

# Anpassungsstrategie Baden-Württemberg an die Folgen des Klimawandels

Fachgutachten für das  
Handlungsfeld Landwirtschaft

- Teil A: Langfassung -

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.



**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

Dr. Holger Flaig, Gutachter, LTZ Augustenberg, Karlsruhe  
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 Pfeleiderer, MLR, Referat 23 (RAK-Leiterin bis Juni  
2012)  
Ursula Roth, MLR, Referat 26  
Gregor Stephani, Ministerium für Umwelt, Klima und  
Energiewirtschaft, Ref. 22

**Auftragnehmer**



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.



Mit Textbeiträgen von:

Dr. Jan Hinrichs-Berger, Dr. Reinhard Albert, Dr. Kirsten Köppler, Sabine Löcher-Bolz, Klaus Schmidt, Dr. Manfred Schröder und Matthias von Wuthenau; LTZ Augustenberg, Karlsruhe

Ute Ruttensperger, Heike Sauer; LVG Heidelberg

Dr. Dietmar Rupp; LVWO Weinsberg

Dr. Michael Breuer; WBI Freiburg

Prof. Dr. Martin Elsässer, Uwe Eilers, Dr. Thomas Jilg; LAZBW Aulendorf

Dr. Wilhelm Pflanz; LSZ Boxberg

Dr. Esther Moltmann, Dr. Rudolf Span; MLR Stuttgart

Dr. Peter Knuth; Regierungspräsidium Tübingen

Mariana-Christin Bornwasser; Heidelberg

Dr. Joachim Raupp; Groß-Gerau

Wir danken für Daten, Graphiken, fachliche Diskussionen und Erläuterungen:

Dr. Jörn Breuer, Dr. Andreas Butz, Heiner Hartwig, Dr. Markus Mokry, Jürgen Recknagel, Dr. Erich Unterseher; LTZ Augustenberg, Karlsruhe

Richard Müller; LEL Schwäbisch Gmünd

Dr. Jasmin Kuballa, Dr. Kerstin Saenger; CVUA Karlsruhe

Dr. Frank Waldmann; Regierungspräsidium Freiburg

PD Dr. Michael Kunz; KIT Karlsruhe

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg; Stuttgart

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.



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

Das Wichtigste auf zwei Seiten.....	5
1 Kurzfassung.....	7
1.1 Das Handlungsfeld Landwirtschaft .....	7
1.2 Relevante Klimafaktoren und regionale Analyse.....	8
1.3 Vulnerabilitätsanalyse .....	9
1.3.1 CO <sub>2</sub> -Konzentration der Atmosphäre .....	9
1.3.2 Höhere mittlere Temperatur .....	9
1.3.3 Hitzebelastung .....	10
1.3.4 Trockenheit .....	11
1.3.5 Hohe Winterniederschläge, Starkniederschlag und Hagel.....	12
1.3.6 Vulnerabilitätsbewertung für Hitze, Trockenheit und Bodenerosion .....	12
1.4 Anpassungsmaßnahmen.....	13
1.4.1 CO <sub>2</sub> -Konzentration der Atmosphäre .....	13
1.4.2 Höhere mittlere Temperatur .....	14
1.4.3 Hitzebelastung .....	16
1.4.4 Trockenheit .....	17
1.4.5 Hohe Winterniederschläge, Starkniederschlag und Hagel.....	19
1.5 Querschnittsbeziehungen zu anderen Handlungsfeldern.....	19
2 Beschreibung des Handlungsfeldes.....	20
3 Klimatisch wirksame Faktoren und regionale Analyse .....	38
4 Vulnerabilitätsanalyse.....	44
4.1 CO <sub>2</sub> -Konzentration der Atmosphäre .....	44
4.1.1 Auswirkungen auf Photosynthese und Ertrag .....	44
4.1.2 Auswirkungen auf die Transpiration und das Bodenwasser.....	46
4.1.3 Auswirkungen auf die Qualität.....	46
4.2 Temperatur.....	48
4.2.1 Höhere mittlere Temperaturen .....	48
4.2.2 Hitze.....	64

4.3	Niederschläge .....	76
4.3.1	Starkniederschläge, Gewitter und Hagel .....	77
4.3.2	Höhere Niederschläge im Winterhalbjahr .....	84
4.3.3	Geringere Niederschläge während der Vegetationsperiode.....	84
4.3.4	Interaktion Niederschlag mit Temperatur.....	88
4.4	Exkurs: Das „Modelljahr“ 2003: Ein Blick in die Zukunft?.....	89
4.5	Tiergesundheit und Tierkrankheiten .....	97
4.6	Vulnerabilitätsbewertung .....	100
4.6.1	Vulnerabilitätsbewertung Hitze .....	102
4.6.2	Vulnerabilitätsbewertung Trockenheit.....	105
4.6.3	Vulnerabilitätsbewertung Bodenerosion .....	109
4.6.4	Gesamtbewertung der Vulnerabilität .....	111
5	Anpassungsmaßnahmen.....	117
5.1	Anpassungen im Ackerbau.....	117
5.1.1	Höhere CO <sub>2</sub> -Konzentrationen.....	117
5.1.2	Fruchtartenwahl und Fruchtfolgegestaltung.....	117
5.1.3	Sortenstrategie und Bestandesführung .....	123
5.1.4	Bodenbearbeitung.....	125
5.1.5	Düngung .....	128
5.1.6	Bewässerung und Wassermanagement.....	131
5.2	Anpassungen im Grünland .....	137
5.2.1	Änderung der Zusammensetzung von Grünlandbeständen.....	139
5.2.2	Besonderheiten beim Weidegang.....	141
5.2.3	Verfahrenstechnische Fragen .....	142
5.3	Anpassungen im Gartenbau.....	143
5.3.1	Hitzestress .....	144
5.3.2	Trockenstress.....	144
5.3.3	Abiotische Schäden durch Extremereignisse.....	146
5.3.4	Größere Variabilität der Witterung .....	147
5.4	Anpassungen im Obstbau .....	148
5.5	Anpassungen im Weinbau.....	149

5.6	Anpassungen im Pflanzenschutz.....	152
5.6.1	Anpassungen an den direkten Einfluss der Witterung auf die Gesundheit der Pflanzen.....	152
5.6.2	Anpassungen an den Einfluss der Witterung auf die Schaderreger an Pflanzen	153
5.6.3	Anpassungen an den Einfluss der Witterung auf Pflanzenschutzmaßnahmen ..	154
5.7	Anpassungen im Bereich der Rinderhaltung.....	156
5.7.1	Tierernährung, Futtergrundlage und Futtermischungen.....	156
5.7.2	Tierwohl, Stallbau und Technik der Innenwirtschaft.....	157
5.8	Anpassungen im Bereich der Schweinehaltung.....	159
5.8.1	Einsatz von Kühltechniken zur Klimatisierung geschlossener wärmege­dämmter Stallgebäude.....	160
5.8.2	Einsatz von neuen Stallbaukonzepten mit freier Lüftung .....	161
5.9	Anpassungsmöglichkeiten für die Erhaltung der Tiergesundheit.....	163
6	Maßnahmenblätter.....	165
6.1	Maßnahmenblätter – die „TOP 10“ .....	167
6.2	Weitere Maßnahmenblätter .....	177
7	Literaturverzeichnis.....	198





## Das Wichtigste auf zwei Seiten

Die Landwirtschaft Baden-Württembergs nutzt zu 40% die Ressource Boden im Land und liefert durch ihre Produkte die Grundlage für unsere Ernährung. Insofern betreffen Risiken und Chancen für die Landwirtschaft durch den Klimawandel nicht nur die ca. 40 000 landwirtschaftlichen Betriebe, sondern auch die Verbraucher und damit uns alle.

Die steigenden CO<sub>2</sub>-Konzentrationen bedeuten für viele Kulturpflanzen zunächst eine Steigerung der Erträge sowie durch die verringerte Transpiration sogar eine Schonung des Bodenvasservorrats. Möglichen Qualitätseinbußen wie verringerten Rohproteingehalten muss allerdings durch Maßnahmen in Pflanzenzüchtung und Düngung begegnet werden.

Das größte Problem im Klimawandel wird die Hitzebelastung sein, die ab der Mitte des Jahrhunderts deutlich zunehmen wird. Bei Temperaturen über 30 °C kann es im Pflanzenbau zu Ertrags- und Qualitätseinbußen kommen, vor allem, wenn die Hitze deutlich über 30 °C steigt, in sensiblen Entwicklungsphasen auftritt, länger anhält oder Trockenheit hinzu kommt. Auch in der Viehhaltung wird die Hitze zum größten Problem. Besonders vulnerabel sind die im Landesmaßstab bereits heute warmen Regionen Rhein/Bodensee und Unterland/Gäue.

Höhere mittlere Temperaturen bieten zumindest bis zur Mitte des Jahrhunderts auch Chancen für die Landwirtschaft Baden-Württembergs, insbesondere für den Obst-, Gemüse- und Weinbau. Im Ackerbau können wärmeliebende Feldfrüchte wie Soja und Sorghum, aber auch Mais ihre Anbauggebiete ausweiten, bei Getreide hingegen sinkt der Ertrag. Weniger hitze- und trockentolerante Sorten und Kulturen wie Kartoffeln, Raps und Hafer werden in höhere Lagen oder in nördlichere Anbauggebiete abwandern. Grünlandbestände reagieren durch Änderung der Artenzusammensetzung anpassungsfähiger und sind immer noch in der Lage, ausreichend Futter – allerdings meist schlechterer Futterqualität – zu bilden. Eine in milden Wintern verminderte Kälteresistenz der Winterungen und Dauerkulturen könnte möglicherweise zu mehr Schäden durch Früh- und Spätfröste führen.

Die Wahrscheinlichkeit von Gewittern, Starkregen und Hagelschlag wird steigen und damit die Vulnerabilität gegenüber Bodenerosion und Pflanzenschäden. Das größte Problem wird auf den Pflanzenschutz zukommen: Wärmeliebende Unkräuter, Schädlinge, krankheitserregende Bakterien und Pilze werden vom Klimawandel profitieren. Mit einem verstärkten Auftreten von vektorübertragenen Krankheiten ist sowohl bei Pflanzen, als auch bei Tieren zu rechnen.

Auch wenn die Niederschläge in der Vegetationsperiode nur moderat abnehmen werden, wird die Vulnerabilität gegenüber Trockenheit insgesamt zunehmen, weil die Wasserverdunstung aus Boden und Pflanze mit der Temperatur steigt. Besonders vulnerabel sind die im Landesmaßstab bereits heute trockenen Regionen Bauland/Hohenlohe und Albvorland/Schwäbischer Wald. Die Bodenqualität wird vor allem über die nutzbare Feldkapazität künftig größere Bedeutung bekommen und die Differenzierung der Ertragsleistung besserer und geringerer

Böden eher zunehmen. Die Grünlandbestände in Baden-Württemberg sind besonders auf flachgründigen Böden von möglichem Trockenstress betroffen.

Pflanzenbauliche Anpassungsstrategien umfassen den verstärkten Anbau von Sorten und Kulturen, die hitze- und trockenheitstoleranter sind (Gerste, Mais, Hirse, Soja, Luzerne u.a.). Zur Streuung des Anbaurisikos ist eine mehrgliedrige Fruchtfolge und die Verwendung mehrerer Sorten statt nur einiger weniger empfehlenswert. Im Gartenbau sind hitze- und trockenheitstolerante Sortimente gefragt, im geschützten Anbau müssen die Kühlmechanismen optimiert werden. In Obst- und Weinbau kann mit einer Verlagerung der Anbau Räume oder mit einem Wechsel zu späten Sorten reagiert werden. Hinzu kommen önologische Verfahren zum Erhalt der typischen Weincharakteristik. Eine Bewässerung lohnt in der Regel nur bei Sonderkulturen und wenigen Ackerbaukulturen. Der Bedarf wird voraussichtlich zunehmen.

Gerade bei einer möglichen Zunahme der Reihenkulturen wie Mais muss der Schutz vor Erosion und Humuszehrung besonders beachtet werden. Konservierende Bodenbearbeitung, organische Düngung, Zwischenfrüchte und entsprechende Fruchtfolgen sind Mittel der Wahl. Bei der Düngung werden stabilisierte Düngerformen, platzierte Düngung, Depotdüngung im Wurzelraum und Blattdüngung interessanter. Die Ausnutzung der Winterfeuchte für eine zügige Ertragsbildung wird ein wichtiges Kriterium für Sortenwahl, Aussaatzeitpunkt und Bodenbearbeitung. Höhere Niederschläge im Winterhalbjahr können die Bewirtschaftung erschweren. Frostschutzmaßnahmen bleiben weiterhin aktuell, der Schutz wertvoller Kulturen vor Starkregen und Hagel wird sogar wichtiger.

Beim Pflanzenschutz müssen Schaderregerüberwachung intensiviert, Prognosemodelle weiterentwickelt und Bekämpfungsmaßnahmen angepasst werden. Für die Bekämpfung von Tierkrankheiten gilt dies in ähnlicher Weise.

In der Viehhaltung wird man ohne verschiedene Möglichkeiten der Kühlung und Klimatisierung der Ställe nicht auskommen. Beim Weidegang ist auf Tränkwasserverfügbarkeit und Witterungsschutz zu achten.

Die Anpassungsmaßnahmen sind vielfältig. Viele sind schon bekannt und erprobt und können daher von den Landwirten flexibel und relativ kurzfristig nach Bedarf eingesetzt werden, ggf. unterstützt von Beratungsinstitutionen und Landesanstalten. Hohe Priorität haben no-regret-Maßnahmen wie Erosionsschutz und Humusreproduktion. Andere Maßnahmen benötigen längeren Vorlauf, weil noch Forschungen sowie Anstrengungen der Pflanzenzüchtung notwendig sind. Folgende Anpassungsmaßnahmen haben hohe Priorität, weil sie hauptsächlich wertvolle Kulturen bzw. Nutztiere betreffen und eine lange Vorlaufzeit sowie hohe Investitionen erfordern: klimatechnische Um- und Nachrüstung von Gewächshäusern und Ställen, Bewässerungsanlagen und Bewässerungsmanagement einschließlich Frostschutzberegnung, Schutzeinrichtungen vor Hagel und Starkregen. Von hoher Priorität und hoher Dringlichkeit sind Maßnahmen der Pflanzenzüchtung, des Pflanzenschutzes und der Tierseuchenbekämpfung.

# 1 Kurzfassung

## 1.1 Das Handlungsfeld Landwirtschaft

Die Landwirtschaft in Baden-Württemberg bewirtschaftet ca. 40% der Fläche des Landes, davon sind 58,1% Ackerland, 38,4% Grünland und 3,5% so genannte Dauerkulturen (im Wesentlichen Obst und Wein). Die Landwirtschaft nutzt zu erheblichen Anteilen die Ressource Boden im Land und liefert durch ihre Produkte die Grundlage für unsere Ernährung (Abb. 1-1). Insofern betreffen Risiken und Chancen für die Landwirtschaft durch den Klimawandel auch die Verbraucher und damit uns alle.

Anteil am Produktionswert 2010 nach Erzeugnissen in %

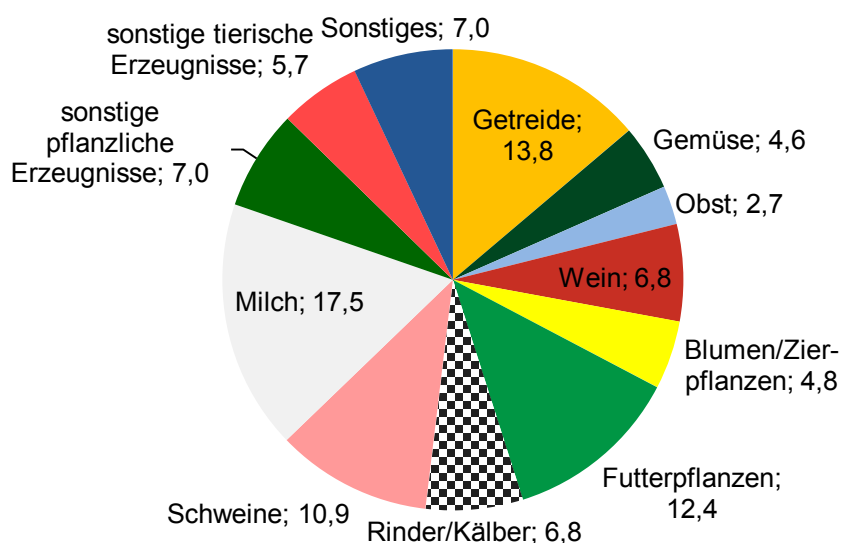


Abb. 1-1: Produktionswert der Landwirtschaft im Jahre 2010 nach Erzeugnissen im Vergleich [Daten: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg]. Obwohl die Sonderkulturen (Garten-, Obst- und Weinbau) nur relativ wenig Fläche einnehmen, leisten sie zur Wertschöpfung aus der Landwirtschaft einen großen Beitrag. Die Viehwirtschaft stellt mit tierischen Produkten wie Milch und Fleisch über 40% des Produktionswerts der baden-württembergischen Landwirtschaft.

In Baden-Württemberg sind noch über 40 000 landwirtschaftliche Betriebe tätig. Im Hinblick auf die Möglichkeiten zur Anpassung an den Klimawandel ist jeder einzelne landwirtschaftliche Betrieb im Prinzip als Einzelakteur anzusehen, insofern werden die Vulnerabilitätsrisiken auf viele Schultern verteilt. Auch die Vielfalt der möglichen Anpassungsmaßnahmen ist hoch und damit insgesamt die Wahrscheinlichkeit, dass eine ausreichende Anzahl der Betriebe im Klimawandel die „richtigen“, regional und individuell angepassten Entscheidungen trifft. Außerdem kann sich die Landwirtschaft zumindest in der ackerbaulichen Nutzung von Jahr zu Jahr oder zumindest von Fruchtfolge zu Fruchtfolge neu auf die klimatischen Gegebenheiten einstellen. Auch dies erhöht ihre Flexibilität.

## 1.2 Relevante Klimafaktoren und regionale Analyse

Für die Beurteilung der Vulnerabilität der Landwirtschaft wurden folgende Klimafaktoren näher betrachtet:

- Temperatur, einschließlich Hitze, Früh-/Spätfröste
- Niederschläge, einschließlich Trockenheit und Dürreperioden, aber auch Starkregen, Gewitter und Hagel
- CO<sub>2</sub>-Konzentration der Atmosphäre als zusätzlicher Parameter, da Kohlendioxid ein wichtiger Nährstoff für Pflanzen ist, die auf Veränderungen der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration auch reagieren

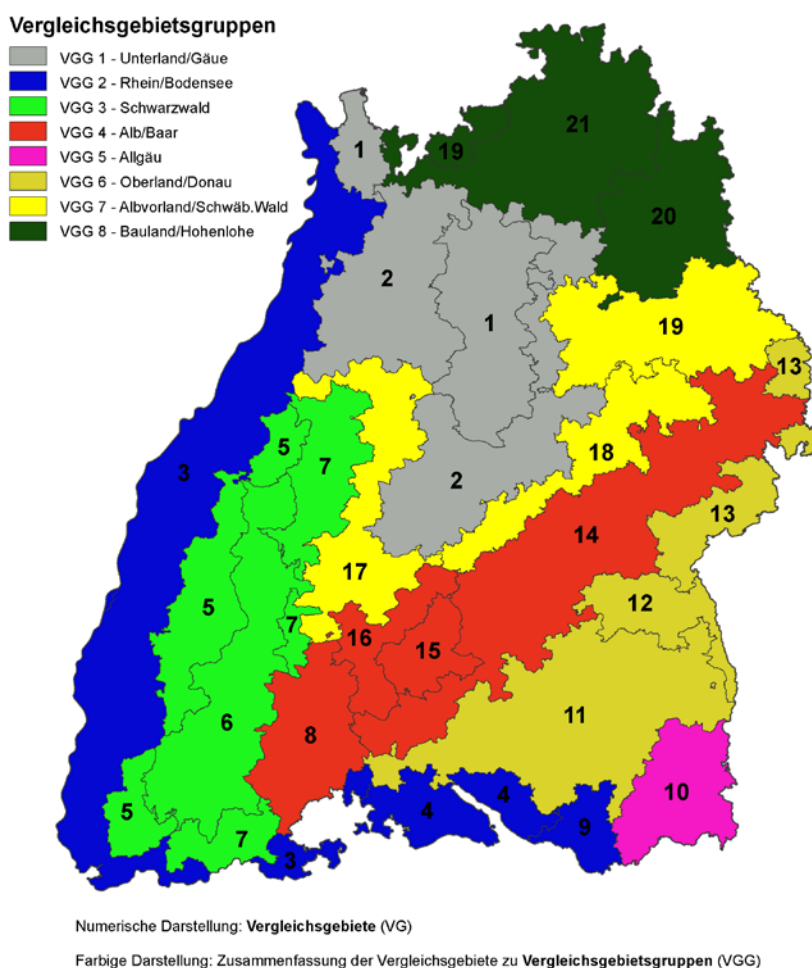


Abb. 1-2: Vergleichsgebietsgruppen Baden-Württembergs (farblich abgegrenzte Gebiete). Die Nummern in den Farbfeldern bezeichnen die einzelnen Vergleichsgebiete. Ihre standörtliche Charakterisierung ist in Teil B des Gutachtens dargelegt. Vergleichsgebiete unterteilen das Land nach Gebieten gleicher natürlicher landwirtschaftlicher Ertragsfähigkeit. In den Vergleichsgebietsgruppen (Nummerierung in der Legende) sind Vergleichsgebiete mit ähnlichen natürlichen Bedingungen bei Höhenlage, Oberflächenform, Boden, Klima und Vegetationszeit zusammengefasst [LEL 2012a].

Baden-Württemberg bietet hinsichtlich Klima, Relief und Boden eine Vielfalt an landwirtschaftlichen Standortbedingungen. In den verschiedenen Naturräumen des Landes wird sich der Klimawandel unterschiedlich auswirken. Um die mögliche Wirkung der Klimaveränderungen auf die Landwirtschaft räumlich differenziert zu analysieren, bietet sich eine Einteilung in die landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete bzw. Vergleichsgebietsgruppen an (Abb. 1-2).

## **1.3 Vulnerabilitätsanalyse**

### **1.3.1 CO<sub>2</sub>-Konzentration der Atmosphäre**

Wenn Pflanzen mehr CO<sub>2</sub> angeboten wird, steigern sie ihre Photosyntheseleistung. Die dadurch erzielbare Ertragssteigerung bei C3-Pflanzen liegt nach den vorliegenden Freilandversuchen mit höheren CO<sub>2</sub>-Konzentrationen, wie sie in den Jahren nach 2050 erwartet werden, bei 8-15%. Bei Grünland wurden Ertragssteigerungen zwischen 10 und 20% beobachtet. Im Gartenbau wird die CO<sub>2</sub>-Düngung zur Ertragssteigerung im Unterglasanbau seit langem eingesetzt. Höhere CO<sub>2</sub>-Konzentrationen führen nicht nur zu einer Steigerung der Photosynthese, sondern auch zu einer Minderung der Transpiration mit der Folge, dass der Bodenwasservorrat messbar geschont wird. Manche Qualitätseigenschaften hingegen werden negativ beeinflusst, darunter der Rohproteingehalt von Getreide.

### **1.3.2 Höhere mittlere Temperatur**

Höhere mittlere Temperaturen bieten auch Chancen für die Landwirtschaft Baden-Württembergs, insbesondere für den Obst-, Gemüse- und Weinbau. Hier können wärmebedürftige Arten und Sorten im Freiland angebaut und auch bessere Qualitäten erzielt werden. Im Ackerbau gewinnen wärmeliebende Feldfrüchte wie Soja und Sorghum, aber auch Mais an Konkurrenz-kraft und können ihre Anbauggebiete (zusätzlich) ausweiten.

Bei Getreide wird bei höheren Temperaturen jedoch die Kornfüllungsphase verkürzt, und damit sinkt der Getreideertrag. Im Weinbau bedeuten höhere Temperaturen ein höheres Risiko für Traubenfäule, zu hohe Alkoholgehalte und eine veränderte Aromatik bei Weißweinen. Bei Gartenbaukulturen ist im Sommer mit einem erhöhten Kühlbedarf unter Glas zu rechnen.

Die Entwicklungsstadien (Phänologie) der Kulturpflanzen verschieben sich im Jahreslauf zu früheren Zeitpunkten. Dieser bereits jetzt nachweisbare Trend wird sich fortsetzen. Höhere Temperaturen in Herbst, Winter und Frühjahr könnten dazu führen, dass sich Winterungen zu schnell entwickeln, wodurch sie anfälliger gegen Frostschäden, Schädlinge und Pflanzenkrankheiten werden. Eine verminderte Kälteresistenz der Winterungen und Dauerkulturen könnte zu Schäden durch Früh- und Spätfröste führen.

Mit steigenden Durchschnittstemperaturen steigt auch die Wahrscheinlichkeit von extrem hohen Temperaturen (Hitze). Dies ist den Wuchsbedingungen in der Regel abträglich. Hinzu kommt eine höhere Wasserverdunstung aus Boden und Pflanzen (Evapotranspiration). Bei einem bereits vorhandenen Niederschlagsdefizit trocknet der Boden dadurch noch mehr aus. Außerdem wird die Wahrscheinlichkeit von Gewittern, Starkregen und Hagelschlag erhöht. Die Folgen sind Bodenerosion und Pflanzenschäden, die zu Ertragsminderungen und Qualitätsbeeinträchtigungen bis hin zu totalem Ertragsausfall führen können.

Höhere mittlere Temperaturen beeinflussen nicht nur die Gesundheit der Kulturpflanzen selbst über Hitzestress und Witterungsereignisse, sondern auch Unkräuter, Schädlinge und Krankheitserreger. Wärmeliebende und tief wurzelnde Unkrautarten werden profitieren; insgesamt wird das Unkrautartenspektrum zunehmen. Tierische Schädlinge sind in der Regel wärmeliebend. Ihre Überwinterung wird erleichtert, die Verlängerung der Vegetationsperiode begünstigt das Auftreten weiterer Generationen und die Erwärmung bisher kühlerer Lagen fördert ihre Ausbreitung. Da viele Schädlinge auch als Virusvektor fungieren, ist mit einem verstärkten und früheren Auftreten von Viruskrankheiten zu rechnen. Krankheiten durch wärmeliebende Pilze und Bakterien während der Vegetationsperiode werden zunehmen, abnehmen werden hingegen Pilze, die in den Sommermonaten kühl-feuchte Bedingungen lieben. Erhöhen wird sich auch das Risiko, dass Tierseuchen, die bisher auf wärmere Regionen beschränkt waren, sich bei uns ausbreiten und etablieren können. Dies gilt insbesondere für Erkrankungen, die durch wärmeliebende Vektoren wie Insekten übertragen werden.

### 1.3.3 Hitzebelastung

Bei Temperaturen über 30 °C kommt es bei den meisten Kulturpflanzen zu Beeinträchtigungen in Ertrag und Qualität. Pflanzen sind in bestimmten sensiblen Phasen (z.B. Blütenentfaltung) für Hitzestress besonders empfindlich – bis hin zum Ertragsausfall. Die Hitzeempfindlichkeit bzw. -toleranz steht im Zusammenhang mit der Wasserversorgung: Hitze wirkt umso schlimmer, je weniger eine Transpirationskühlung Abhilfe schaffen kann, d.h. je trockener es ist. Während die Zunahme der Tage, an denen 30 °C und mehr erreicht werden, bis in die nahe Zukunft (2021-2050) noch moderat verläuft, wird in ferner Zukunft (2071-2100) mit deutlich mehr heißen Tagen gerechnet werden müssen.

Raps, Zuckerrüben und Kartoffeln sind relativ hitzeempfindlich und nur wenig trocken tolerant. Die Getreidearten, vor allem Gerste, sind etwas toleranter, zeigen aber mit zunehmender Hitze auch Ertragsdepressionen. Pflanzen subtropischer Herkunft, zumal vom C4-Photosynthesetyp, sind hingegen ziemlich hitzetolerant (35-40 °C): Mais, Hirsearten, auch Soja oder gar Baumwolle. Mais und Soja können ihr Ertragspotential freilich nur entfalten, wenn genügend Wasser zur Verfügung steht. Hirse verträgt Trockenheit etwas besser.

Grünlandbestände als Gesamtheit reagieren durch Änderung der Artenzusammensetzung weit anpassungsfähiger als Einzelarten. Der Bestand als solches ist immer noch in der Lage, ausreichend Futter – allerdings meist schlechterer Futterqualität – zu bilden.

Hitzebelastung wird das größte Problem in der Viehhaltung werden. Hohe Temperaturen beeinträchtigen Wohlbefinden, Leistung und Gesundheit der Tiere, insbesondere dann, wenn Hitzebelastung mit hoher Luftfeuchte zusammentrifft. Schweine und Geflügel sind besonders empfindlich, bei ihnen kann es zu Kreislaufversagen und erhöhter Mortalität kommen. Hitze beeinträchtigt auch die Futterqualität, insbesondere bei Silagen.

#### **1.3.4 Trockenheit**

Für die nahe Zukunft wird in der Vegetationsperiode geringfügig weniger, für die ferne Zukunft ca. 10% weniger Niederschlag berechnet (50. Perzentil). Doch selbst bei moderatem Niederschlagsrückgang werden in ohnehin niederschlagsarmen Regionen Probleme verschärft bzw. erst geschaffen. Außerdem hängt das für die Pflanzen verfügbare Bodenwasser auch von der Evapotranspiration ab, die mit steigender Temperatur stark zunimmt. Daher zeigt die klimatische Wasserbilanz (Differenz zwischen den Niederschlägen und der potentiellen Evapotranspiration) ein kritischeres Bild, insbesondere für die ferne Zukunft.

Daneben ist die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens bzw. die nutzbare Feldkapazität ein weiteres Kriterium für die potentielle Wasserversorgung der Pflanzen. Bei insgesamt zunehmender Trockenheit in der Vegetationsperiode wird die Bodenqualität künftig größere Bedeutung bekommen und die Differenzierung der Ertragsleistung besserer und geringerer Böden eher zunehmen. Die Grünlandbestände in Baden-Württemberg sind besonders auf flachgründigen Böden, z.B. in den Gäulandschaften, Teilen der Schwäbischen Alb sowie im Bauland betroffen.

Intensiver Gemüsebau und Freilandzierpflanzenbau ist schon heute ohne Zusatzbewässerung nicht möglich, da sonst die Ausschöpfung des Ertragspotentials wie auch die Qualitätssicherheit nicht gewährleistet sind. Im Freilandanbau ist somit eine hohe Vulnerabilität zu erwarten, wenn die Infrastruktur für die Bewässerung und die zur Verfügung stehende Wassermenge nicht ausreichen, um negative Wasserbilanzen im Sommer auszugleichen.

Hinsichtlich Hitze und Trockenheit kann der Sommer 2003 als Modellfall für die ferne Zukunft gelten. Die Abweichung der Temperatur im Monatsdurchschnitt vom langjährigen Mittel betrug sowohl im Juni, als auch im August 2003 zwischen 5 und 7 Grad. Die Bodenfeuchte erreichte außergewöhnlich niedrige Werte. Die landwirtschaftlichen Erträge brachen gegenüber den Vorjahren teilweise deutlich ein, der Ertragsrückgang war jedoch regional und kulturartspezifisch unterschiedlich stark (Tab. 1-1).

Tab. 1-1: Ertragsdifferenzen ( $\Delta E$  in %) verschiedener Kulturen 2003 im Vergleich zum Vorjahr im Durchschnitt Baden-Württembergs [nach Daten des Statistischen Landesamtes B-W].

Kultur	Winterweizen	Wintergerste	Sommergerste	Silomais	Zuckerrüben	Kartoffeln
$\Delta E$ [%]	-12,5	-12,3	+2,3	-13,7	-28,1	-20,9

### 1.3.5 Hohe Winterniederschläge, Starkniederschlag und Hagel

Durch die höheren Niederschläge im hydrologischen Winterhalbjahr werden die Grundwasservorräte wieder aufgefüllt. Allerdings besteht auch das Risiko, dass Auswaschungsvorgänge (z.B. Nitrat) und Bodenerosion verstärkt werden, zumal auch die Starkniederschläge eher zwischen September und Februar zunehmen werden, wenn auch nur moderat. Möglich sind auch Entwicklungsbeeinträchtigungen der Pflanzen (Winterungen, Dauerkulturen) durch Staunässe und Überflutung. Im Herbst und Frühjahr kann es zu Problemen mit der Befahrbarkeit der Böden kommen und dadurch die Bewirtschaftung der Flächen erheblich erschwert werden. Wird der zu feuchte Boden dennoch befahren, kann es zur Beeinträchtigung von Bodenfunktionen durch Verdichtung kommen.

Hagelereignisse sind zumeist räumlich begrenzt, können jedoch gerade in kleinflächigen, aber wertvollen Sonderkulturen des Garten-, Obst- und Weinbaus immensen Schaden anrichten. Die Kombination aus ansteigenden Temperaturen und zumindest zeitweise höheren Luftfeuchtwerten in den bodennahen Luftschichten lassen künftig eine weitere Zunahme des Gewitterpotentials und damit der Hagelereignisse erwarten.

### 1.3.6 Vulnerabilitätsbewertung für Hitze, Trockenheit und Bodenerosion

Als Maß für die Hitzebelastung wurde die Anzahl der Tropentage im Jahr (Tage, an denen das Temperaturmaximum größer oder gleich 30 °C ist) gewählt. Für die Vulnerabilitätsbewertung gegenüber Trockenheit wurde die nutzbare Feldkapazität der Böden mit der klimatischen Wasserbilanz verknüpft. Die Vulnerabilität gegenüber Starkniederschlägen und Bodenerosion folgt dem Gutachten im Handlungsfeld Boden [Billen und Stahr 2013].

Im 50. Perzentil der nahen Zukunft (2021-2050) sind noch alle Vergleichsgebietsgruppen des Landes gering vulnerabel. Bei stärker ausgeprägten Klimakennwerten (85. Perzentil bei Hitze oder 15. Perzentil bei Trockenheit) oder in ferner Zukunft (2071-2100) steigt die Vulnerabilität besonders in den Regionen des Landes, die bereits heute vergleichsweise warm, trocken oder erosionsanfällig sind (Tab. 1-2). Im Prinzip gilt diese Einschätzung auch für die Grünlandbestände, wobei es hier stärker auf Exposition und Gründigkeit ankommt.



Tab. 1-2: Gesamtbewertung der Vulnerabilität landwirtschaftlicher Vergleichsgebietsgruppen in Baden-Württemberg gegenüber Hitze, Trockenheit und Bodenerosion für verschiedene Zukunftsperioden. Bewertungsskala Vulnerabilität:

hoch mittel gering

H: Hitze bestimmt Gesamtbewertung; T: Trockenheit bestimmt Gesamtbewertung; E: Erosionsrisiko bestimmt Gesamtbewertung.

VGG-Nr.	Bezeichnung	p50	p50	p85 H/ p15 T	p85 H/ p15 T
		nahe Z.	ferne Z.	nahe Z.	ferne Z.
1	Unterland/Gäue	E	H/E	H/T/E	H/T/E
2	Rhein/Bodensee	H/T	H	H/E	H/E
3	Schwarzwald	H/T	H/T/E	H/T/E	H
4	Alb/Baar	H/T	H/T/E	T	H/T
5	Allgäu	H/T	H/T/E	H/T	H
6	Oberland/Donau	H/T	H	H	H
7	Albvorland/Schwäb. Wald	H/T	H/T	T	H/T
8	Bauland/Hohenlohe	H/T	H/T	T	H/T

Im 85. Perzentil der nahen Zukunft und im 50. Perzentil der fernen Zukunft sind die Vergleichsgebietsgruppen Unterland/Gäue und Rhein/Bodensee hoch vulnerabel gegenüber Hitze. Beim 85. Perzentil der fernen Zukunft sind alle Regionen hoch vulnerabel gegen Hitzebelastung. Im 15. Perzentil der nahen und fernen Zukunft erweisen sich die Gebiete Bauland/Hohenlohe und Albvorland/Schwäbischer Wald als hoch vulnerabel gegenüber Trockenheit. Die Bodenerosion zeigt für das 85. Perzentil der Zukünfte eine deutliche Zunahme der Vulnerabilität vor allem in den Landschaften Unterland/Gäue und Oberrhein/Hochrhein.

## 1.4 Anpassungsmaßnahmen

Akteure für die Umsetzung der Maßnahmen sind Pflanzenzüchter, Forschungsinstitutionen, Landwirtschaftsverwaltung, Landesanstalten, Berater und vor allem die Landwirte selbst.

### 1.4.1 CO<sub>2</sub>-Konzentration der Atmosphäre

Das Ausmaß der CO<sub>2</sub>-Konzentrationserhöhung haben die Menschen selbst in der Hand, allerdings in globalem Maßstab. Die CO<sub>2</sub>-Düngung in höheren Ertrag umzusetzen und – wegen der bei höheren CO<sub>2</sub>-Konzentrationen veränderten Qualitätseigenschaften – gleichzeitig die notwendige Qualität zu sichern, ist ein Ziel für die Pflanzenzüchtung. Hier ist auch eine angepasste Düngungsstrategie besonders für Stickstoff gefragt. Im Grünland bietet sich eine

stärkere Beimischung von Leguminosen zur Verbesserung der Stickstoffversorgung des Bestandes an. Im Gartenbau müssen ggf. die Anzuchtbedingungen optimiert werden.

Fazit: Die Anpassungsmaßnahmen sind insgesamt nicht dringlich, erfordern aber langfristige Planung, um rechtzeitig neue Pflanzensorten zur Verfügung stellen zu können.

#### 1.4.2 Höhere mittlere Temperatur

Die Chancen, gerade im Sonderkulturbereich, werden bereits jetzt und auch in Zukunft genutzt. In der Regel reagieren die Landwirte schnell auf sich bietende Möglichkeiten, neue Kulturen und Sorten auszuprobieren.

Wärmeliebende Arten werden ihren Anbauumfang ausweiten können (Abb. 1-3). Am Beispiel Sojabohne lässt sich die mögliche Entwicklung bereits heute ablesen. Mais wird bei weiter steigenden Temperaturen weiter an Konkurrenzkraft gewinnen, so dass der Anbauumfang vermutlich noch zunehmen wird. Zu beachten ist jedoch, dass – wie das Jahr 2003 gezeigt hat – das hohe Ertragspotential nur bei ausreichender Wasserversorgung ausgenutzt werden kann. Auf leichten Böden in eher niederschlagsarmen Regionen wird eine Ausweitung des Maisanbaus an Grenzen stoßen. Hirsearten werden vermutlich ebenfalls an Konkurrenzkraft gewinnen.



Abb. 1-3: Mais, Soja, Sorghum-Hirse (von links nach rechts; Photos: LTZ)

Sowohl bei Mais, als auch bei Hirse ist der Boden erosionsanfälliger als bei anderen Kulturen mit längerer Bodenbedeckung. Hinzu kommt zumindest bei Nutzung als Silomais eine negative Humusbilanz. Bei Ausweitung des Anbaus ist daher sowohl dem Erosionsschutz, als auch der Humuserhaltung besondere Beachtung zu schenken. Leguminosen und Zwischenfrüchte sind hierbei ein wichtiger Baustein. Zwischenfrüchte bieten auch Schutz vor Erosion und Nitrat-

auswaschung und sind somit eine no-regret-Option, es sei denn, sie würden den Bodenwasservorrat für die Folgefrucht spürbar mindern.

Im Gartenbau ermöglichen die Verminderung der Frosttage und die Verschiebung des letzten Frostes längere Anbauzeiträume im Freiland. Gering wärmebedürftige Arten wie Rucola, Spinat und Salate im Gemüsebau und *Viola* und *Primula* im geschützten Zierpflanzenbau können dann weitgehend ohne Heizenergie kultiviert werden. Die Nutzung der erweiterten Anbauzeiträume macht allerdings die Erstellung neuer Kulturfolgepläne sowohl im Freilandanbau, als auch im geschützten Anbau notwendig.

Auch wenn mildere Winter in Zukunft vermutlich häufiger werden, muss weiterhin mit Spät- und auch Frühfrösten gerechnet werden. Eventuell werden Kaltlufteinbrüche sogar gefährlicher, wenn sie auf Pflanzen treffen, die in milden Phasen ihre Frostresistenz verloren haben. Insofern sind Maßnahmen gerade im Sonderkulturbereich wie Frostschutzberegnung, Bewindung, Abdeckung mit Vliesen oder geschützter Anbau (im Gartenbau) weiterhin unabdingbar.

Der Pflanzenschutz sieht sich vor enorme Herausforderungen gestellt, denn es wird nicht berechenbar sein, wann welche „neuen“ Schaderreger in Baden-Württemberg ankommen. Wahrscheinlich ist lediglich die Tendenz, dass wärmeliebende Unkräuter, Schädlinge und Krankheitserreger an Bedeutung gewinnen werden, und zwar auch jene, die bereits etabliert sind. Um schnell reagieren zu können, muss die Schaderregerüberwachung (Monitoring), einschließlich der Überwachung der Quarantäne-Schaderreger mit den internationalen Warenströmen, intensiviert werden. Datenlücken zur Biologie, Epidemiologie, Populationsdynamik, Befalls-Verlust-Relationen und Schad- bzw. Bekämpfungsschwellen von Schadern sind für die Entwicklung von Prognosemodellen möglichst kurz- und mittelfristig zu schließen. Die Bekämpfungsmaßnahmen müssen angepasst werden. Das betrifft die Entwicklung und Optimierung von Pflanzenschutzmitteln, aber auch den integrierten Pflanzenschutz, die biologische Bekämpfung und die Züchtung auf Schaderregerresistenz.

Auch für den Schutz vor Tierkrankheiten sind präventive Maßnahmen besonders wichtig. Dazu dienen die Kontrolle des internationalen Handels mit Tieren und Produkten tierischen Ursprungs, die Hygieneregeln der guten landwirtschaftlichen Praxis und zentral koordinierte Bekämpfungsmaßnahmen, wie flächendeckende Impfung und Handelsrestriktionen.

Fazit: Die Anpassungsmaßnahmen sind im Falle der Fruchtfolgen, Nutzung der Anbauzeiträume und bereits zugelassener neuer Arten und Sorten vom Landwirt sofort und nach Bedarf und Möglichkeit umsetzbar. Angepasste Sorten und Kulturfolgepläne im Gartenbau müssen noch entwickelt und geprüft werden. Frostschutzmaßnahmen im Sonderkulturbereich oder auch bei Frühkartoffeln haben eine hohe Priorität, allerdings ist nicht klar, inwieweit sie in Zukunft häufiger als heute zum Einsatz kommen müssen. Falls erosionsanfällige Kulturen wie Mais und Hirse im Ackerbau verstärkt angebaut werden, haben Maßnahmen zum Erosionsschutz wie konservierende Bodenbearbeitung und Begrünung hohe Priorität. Sie sind allerdings

bekannt und kurzfristig umzusetzen. Ähnliches gilt für die Humusreproduktion als eines der Ziele der Fruchtfolgegestaltung. Hohe Priorität und Dringlichkeit haben die Maßnahmen des Pflanzenschutzes und der Tierseuchenbekämpfung.

### 1.4.3 Hitzebelastung

Im Ackerbau kann man gegen akute Hitzebelastung wenig ausrichten. Eine Bewässerung würde über Transpirationskühlung Linderung verschaffen, ist aber im Ackerbau nur in Ausnahmefällen wirtschaftlich. Hier bleiben lediglich präventive Maßnahmen wie die Streuung des Anbaurisikos durch eine mehrgliedrige Fruchtfolge und die Verwendung mehrerer Sorten statt nur einiger weniger. Je nach Standort können „neue“ Winterungen wie Winter-Körnerleguminosen oder C4-Pflanzen wie Mais und Sorghum-Hirse eine Zusatzoption sein, aber auch Soja, Sonnenblumen oder hitzetolerante Sorten.

Mit zunehmender Erwärmung, damit verbundener höherer Hitzebelastung und ggf. Trockenheit werden Kulturarten, die weniger hitze- und trockentolerant sind, in den vulnerablen Gebieten des Landes an Konkurrenzkraft verlieren und in höhere Lagen oder in nördlichere Anbaugebiete abwandern. Dazu gehören Kartoffeln, Raps und Hafer. Eine ähnliche Differenzierung gilt für Sorten.

Für die Pflanzenzüchtung muss Hitzetoleranz in das bisherige Zuchtprogramm integriert bzw. verstärkt bearbeitet werden, damit eine hohe und zuverlässige Ertragsbildung auch bei hohen Temperaturen möglich wird, ohne dass die Kälteresistenz, die weiterhin benötigt wird, leidet.

Im Gartenbau ist die Zusammenstellung von Sortimenten, die eine hohe Hitzetoleranz aufweisen, gefragt. In Gewächshäusern müssen weitreichende Maßnahmen und verschiedene Materialien gegen Hitzeschäden erprobt und in der Praxis eingeführt werden. Dazu gehören die Optimierung des Sprühnebeleinsatzes, Bodenkühlung, Mattenkühlung und aktive Luftkühlung.

Um im Obstbau Hitzeschäden zu vermeiden, bietet sich in warmen Regionen ein Sortenwechsel hin zu Spätsorten an, die auch bessere Marktchancen versprechen. Eine Beregnung kann einen klimatisierenden Effekt haben. Auch andere Wuchsformen sind denkbar (Säulenwuchsformen, so genannte Columnare). Mit der Verlagerung des Anbaus z.B. mancher Apfelsorten und Weißweinreben in höhere und/oder kühlere Regionen des Landes kann den klimabedingten Nachteilen entgegengewirkt werden. Hinzu kommen z.B. önologische Verfahren zum Erhalt der typischen Weincharakteristik.

In den Stallungen von Rindern, Schweinen und Geflügel müssen verschiedene Möglichkeiten der Kühlung und Klimatisierung vorgesehen werden. So muss die Luft frei anströmen und zirkulieren können, ggf. ist eine Unterstützungslüftung durch Ventilatoren vorzusehen.

Wasservernebelungstechniken, Kühl-Pads am Lufteintritt, automatische Stallklimaregulierung und optimale Tränkwasserversorgung sind weitere einsetzbare Maßnahmen. Der Erwärmung

von Futtermischungen muss z.B. durch hygienische Maßnahmen oder Zusätze vorgebeugt werden. Beim Weidegang ist auf die Sicherung der Tränkwasserverfügbarkeit und -qualität und auf Witterungsschutz, insbesondere Schattenangebot, zu achten. Der Weidegang sollte an Temperaturverläufe und Sonneneinstrahlung angepasst werden.

Fazit: Die pflanzenbaulichen Anpassungsmaßnahmen an die Hitzebelastung werden mit zunehmender Anzahl von Hitzetagen sukzessive von den Landwirten umgesetzt werden, sofern sie sich ökonomisch lohnen. Gegebenenfalls kann die landwirtschaftliche Beratung unterstützen. Längere Vorlaufzeiten benötigen die Pflanzenzüchtung zur Bereitstellung angepasster Sorten und der Bau bzw. die klimatechnische Um- und Nachrüstung der Gewächshäuser und Viehställe. Hier liegt die höchste Priorität; wegen der Vorlaufzeiten ist der Maßnahmenbeginn auch dringlich.

#### 1.4.4 Trockenheit

Viele Aussagen, die bei der Hitzebelastung zu Fruchtfolge, Kulturarten und Sorten gemacht wurden, gelten auch für die Anpassung gegen Trockenstress, da Hitze und Trockenheit oft zusammen auftreten.

Die Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen ist wegen ihrer hohen Kosten derzeit lediglich im Garten-, Obst- und Weinbau weiter verbreitet. Wenn die Infrastruktur bereits vorhanden ist, werden gelegentlich auch Ackerbaukulturen wie Körner- und Saatmais, Kartoffeln, Zuckerrüben, und eventuell Getreide beregnet.

Inwieweit sich die Wirtschaftlichkeit der Bewässerung im Ackerbau in Zukunft ändern wird, ist nicht abschätzbar. Unabhängig vom Klimawandel wird jedoch mit einer weiteren Zunahme der Gartenbaukulturen gerechnet. Im Zuge des Klimawandels mit höherer Evapotranspiration und weniger Niederschlägen wird die Notwendigkeit der Bewässerung zunehmen, damit ein ausreichender Ertrag und eine akzeptable, marktfähige Qualität erzielt werden kann. Die Weiterentwicklung effizienter, wassersparender Bewässerungsverfahren und Bewässerungssteuerungen bleibt hier eine wichtige Aufgabe und erfordert entsprechende Investitionen.

Wenn nicht bewässert werden kann oder sich eine Bewässerung nicht lohnt, dann bleiben pflanzenbauliche Strategien:

- Kulturen, die die Bodenstruktur verbessern und durch ihre tiefe Durchwurzelung auch tiefere Schichten für die Wasserversorgung erschließen, gewinnen an Bedeutung, z.B. Luzerne.
- Trockentoleranz wird ein Anbaukriterium: Hirse ist trockentoleranter als Mais, Gerste als Weizen. Gärtnerische Kulturpflanzen sollten im Hinblick auf Trockentoleranz bewertet werden, um Sortenempfehlungen für die gärtnerische Beratung und Praxis geben zu können.

- Die Winterfeuchte sollte optimal ausgenutzt werden, z.B. über eine frühere Aussaat von Sommerungen oder die Weiterentwicklung von Winterformen von Kulturen, die bisher als Sommerungen angebaut wurden (z.B. Hafer, Ackerbohnen, Erbsen). Eine geringere Saatedichte lässt mehr Raum (und Wasser) für die Entwicklung der Einzelpflanzen.
- Methoden witterungsunabhängigerer Nährstoffversorgung werden attraktiver: Platzierte Düngung als Band- oder Unterfußdüngung, stabilisierte Düngerformen, Depotdüngung im Wurzelraum der Pflanzen, Blattdüngung (insbesondere für Mikronährstoffe). Dabei ist auf ausreichende Versorgung mit Kalium, Phosphor und Mangan zu achten.
- Im Hinblick auf die Humusreproduktion ist eine regelmäßige und ausreichende Zufuhr von organischer Substanz (Ernterückstände, Zwischenfrüchte, Wirtschaftsdünger, Kompost) im Düngekonzept zu beachten. Damit wird nicht nur die organische Substanz erhalten bzw. aufgebaut, sondern auch die Wasser- und Nährstoffkapazität und das Bodenleben gefördert
  - im Zeichen von mehr Hitze und Trockenheit eine klassische win-win-Strategie.
- Konservierende Bodenbearbeitung hat vorteilhafte Auswirkungen auf die Bodenfeuchte, so dass Langzeitversuchen zufolge in Trockenphasen den Kulturpflanzen mehr Wasser zur Verfügung steht.

Grünlandpflanzenbestände sind in aller Regel Mischbestände, deren botanische Zusammensetzung je nach Standort und Nutzungsintensität stark variieren kann und nicht rasch und einfach zu ändern ist. Werden trockenheitsverträgliche Arten eingesät, so ist das meist mit einem Verlust an Futterqualität verbunden. Einsaaten von Leguminosen sind jedoch durchaus empfehlenswert. Um den Futtermangel während der Sommerdürre auszugleichen, wird empfohlen, Futterreserven anzulegen.

Züchtungsziele für Ackerbaukulturen, aber auch Gräser sind neben Trockentoleranz die Entwicklung von Sorten mit früher Abreife, um vor einer möglichen Sommerhitze und -trockenheit den Ertrag zu sichern. Futterpflanzen mit höherer Trockentoleranz müssen auf bessere Futterqualität und Verdaulichkeit hin gezüchtet werden.

Im Obstbau sind neben Bewässerungsmaßnahmen andere Kulturverfahren (Erziehungsformen, Standweiten, Bodenpflege etc.) zu nennen. Sie sollten den sich ändernden Bedingungen angepasst werden.

Fazit: Die pflanzenbaulichen Anpassungsmaßnahmen sind bekannt und relativ leicht umsetzbar. Sie sind eine Frage der Beratung, der technischen Ausstattung und des ökonomischen Vorteils. Bei Düngung, Grünlandeinsaat und Verfahrensänderungen bei Sonderkulturen sind verstärkt Versuche notwendig. Die Züchtung trocken toleranter Arten und Sorten benötigt mehrere Jahre Vorlaufzeit. Bewässerungsmaßnahmen benötigen erhebliche Investitionen und sind eine langfristige Aufgabe, nicht nur hinsichtlich der Optimierung der Technik, sondern auch der Organisationsstrukturen (z.B. Beregnungsverbände) oder der Bereitstellung der Wasserent-

nahmrechte. Wegen der wirtschaftlichen Bedeutung der betroffenen Kulturen ist die Anpassungsmaßnahme dringlich und prioritär.

#### **1.4.5 Hohe Winterniederschläge, Starkniederschlag und Hagel**

Bei höheren Niederschlägen im Winterhalbjahr ist eine funktionierende Dränung wichtig, um eine zügige Abtrocknung der Ackerflächen zu erreichen und Staunässe zu vermeiden. Zu feuchte Böden behindern die Bearbeitbarkeit und bergen das Risiko der Bodenverdichtung. Entsprechend wichtig ist die zeitliche Planung der Bearbeitung und die breite Verfügbarkeit entsprechend geeigneter, bodenschonender Landtechnik (z.B. Niederdruckreifen).

Erosionsschutzmaßnahmen werden weiter an Bedeutung gewinnen. Konservierende Bodenbearbeitung, vor allem Mulchsaat und auf geeigneten Standorten auch Direktsaat, schont darüber hinaus die Bodenwasservorräte und das Bodenleben. Sie ist damit eine Anpassungsmaßnahme sowohl gegen die Auswirkungen von Starkniederschlägen, als auch gegen Trockenheit.

Im Gartenbau bieten Gewächshäuser Schutz vor Wind und Niederschlägen einschließlich Hagel. In Garten-, Obst- und Weinbau lassen sich die Auswirkungen von Hagel und Starkregen durch Hagelschutznetze und Überdachungen vermeiden bzw. abmildern. Die Investitionskosten sind allerdings erheblich. Eventuell müssen Versicherungslösungen angepasst werden, wenn Unwetter und Hagelschlag im Zuge des Klimawandels zunehmen.

Fazit: Konservierende Bodenbearbeitung hat mehrere Vorteile, ist mit Anpassungen in Pflanzenschutz und ggf. Fruchtfolge relativ leicht und kurzfristig umsetzbar und den meisten Akteuren bereits bekannt. Schutzeinrichtungen gegen Hagel und Starkregen sind hingegen mit erheblichen Investitionen verbunden, aber wegen der wirtschaftlichen Bedeutung der betroffenen Kulturen von hoher Priorität und vermutlich auch hoher Dringlichkeit.

### **1.5 Querschnittsbeziehungen zu anderen Handlungsfeldern**

Vielfältige Beziehungen bestehen zum Handlungsfeld Boden, von dessen Gutachten beispielsweise die Vulnerabilitätsanalyse für Bodenerosion übernommen wurde und das umgekehrt auch auf die Anpassungsmaßnahmen der Landwirtschaft Bezug nimmt. Der Wasserbedarf der Landwirtschaft wird vermutlich steigen, ist aber noch nicht quantifizierbar. Mögliche Konflikte gerade um fruchtbare Böden könnten sich mit den Handlungsfeldern Wasserhaushalt, Energiewirtschaft und Naturschutz entwickeln. Positive Wechselwirkungen bestehen mit der Energiewirtschaft über die energetische Nutzung von Reststoffen und nachwachsenden Rohstoffen.

## 2 Beschreibung des Handlungsfeldes

Insgesamt werden ca. 84% der Landesfläche von Baden-Württemberg land- und forstwirtschaftlich genutzt (Tab. 2-1). Die Landwirtschaftsfläche macht mit rund 1,64 Mio. ha fast die Hälfte (46%) der Gesamtfläche Baden-Württembergs aus. Die landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF) ist kleiner, da zur Landwirtschaftsfläche auch Moor- und Heideflächen, Brachland sowie unbebaute landwirtschaftliche Betriebsflächen zählen. Auch die Erhebungsmethodik spielt hier eine Rolle, so sind ab 2010 kleine Betriebe unterhalb einer bestimmten Grenze (derzeit 5 ha) nicht mehr erfasst. Um auch kleinere Betriebe zu erfassen, wird in Einzelfällen (z.B. Abb. 2-4) auf Zahlen von 2007 zurückgegriffen.

Tab. 2-1: Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung in Baden-Württemberg 2010. Ab 2010: Erfassung landwirtschaftlicher Betriebe ab 5 Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche oder mit Mindesterzeugungseinheiten, daher mit den Vorjahren nur eingeschränkt vergleichbar. LF: landwirtschaftlich genutzte Fläche. Daten: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

Fläche	Mio. ha	Anteil in %
Landwirtschaftsfläche	1,636	46
(darunter LF)	1,401	39)
Waldfläche	1,369	38
Siedlungs- und Verkehrsfläche	0,505	14
Wasserfläche	0,039	1
Sonstige Nutzungsarten	0,024	1
<b>Gesamtfläche</b>	<b>3.575</b>	<b>100</b>

Tatsächlich bewirtschaftet die Landwirtschaft in Baden-Württemberg ca. 40% der Fläche des Landes (Stand 2007), davon sind 58,1% Ackerland (834 500 ha einschl. Feldfutter und Gartenbauerzeugnisse), 38,4% Grünland (551 400 ha) und 3,5% Dauerkulturen (im Wesentlichen Obst und Wein).

Die landwirtschaftlich genutzte Fläche hat in den vergangenen Jahrzehnten zugunsten der Siedlungs- und Verkehrsfläche sowie der Waldfläche kontinuierlich abgenommen. Dies ging vor allem zu Lasten des Grünlandanteils (Abb. 2-1). In welchen Regionen und Kreisen des Landes wie viel Fläche landwirtschaftlich genutzt wird – und dass sich die Größe dieser Fläche je nach Kreis erheblich unterscheiden kann, zeigt Abbildung 2-2.



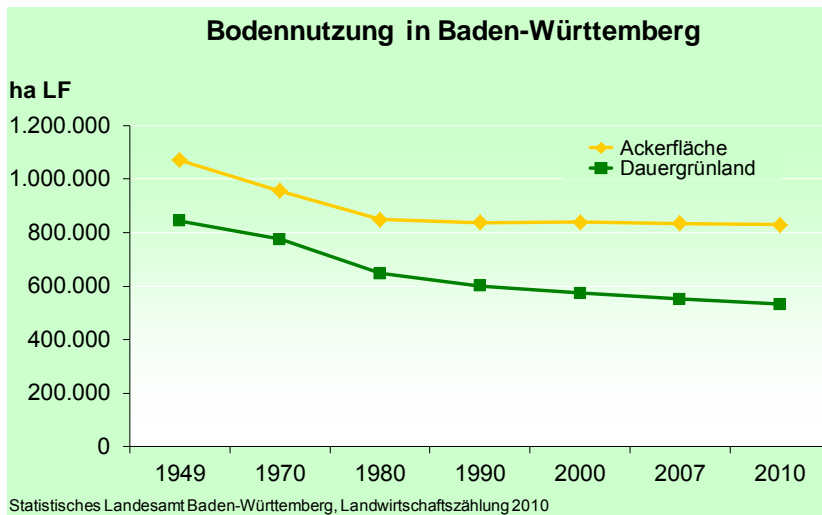
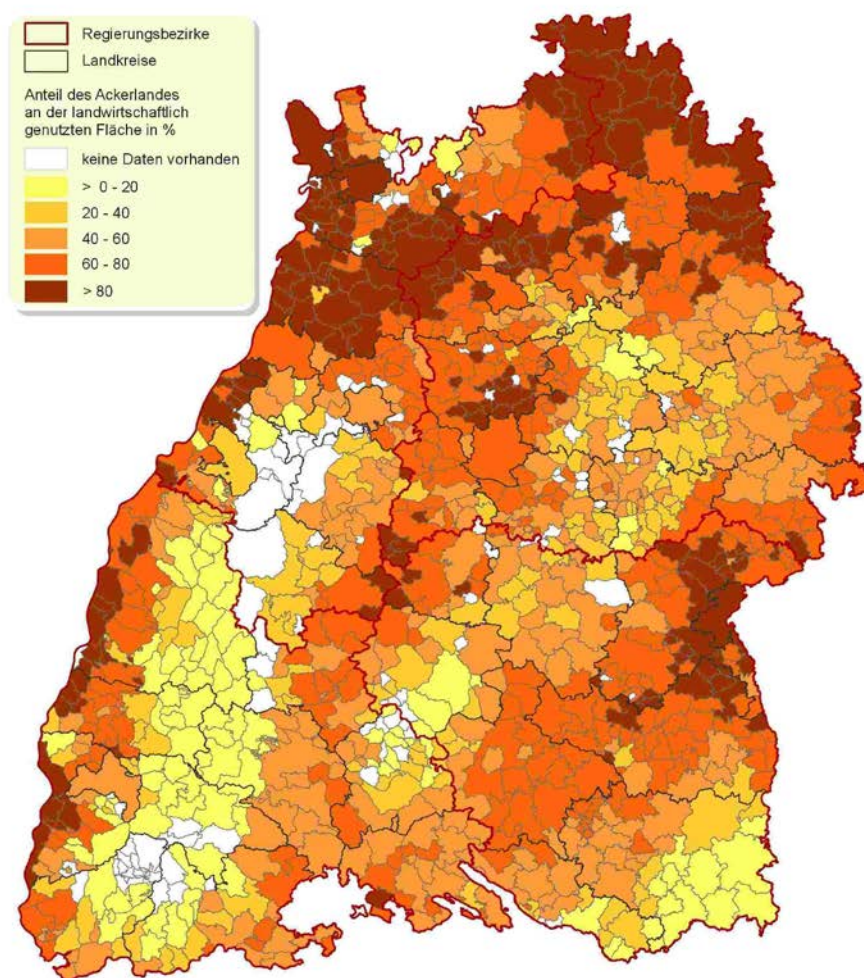


Abb. 2-1: Entwicklung der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Baden-Württemberg [LEL 2012b]



Abb. 2-2: Landwirtschaftlich genutzte Fläche in den Kreisen Baden-Württembergs [LEL 2012b]

Wo die Standortbedingungen es zulassen, wird Ackerbau betrieben (Abb. 2-3 und 2-4). Große Bedeutung hat er im nördlichen Rheintal, im Kraichgau, im Norden und in den Gäulandschaften in der Mitte des Landes. Mit zunehmender Höhenlage und damit sinkenden Temperaturen und steigenden Niederschlägen erhöht sich der Anteil des Grünlandes, das in den Mittelgebirgen dominiert (Abb. 2-10). Der Gartenbau erreicht in Kreisen mit günstigen natürlichen Bedingungen und/oder Verbrauchernähe (Oberrheintal, Region Stuttgart/Heilbronn, Bodenseegebiet) deutliche Flächenanteile (Abb. 2-5 bis 2-7). Der Obstbau ist in der Ortenau, der Region Stuttgart/Heilbronn und am Bodensee stark vertreten (Abb. 2-8). Schwerpunkte des Weinbaus finden sich am Oberrhein vom Markgräfler Land bis zur Ortenau, um Heilbronn und in Tauberfranken (Abb. 2-9).



Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg  
Bearbeitung: LEL Schwäbisch Gmünd, Abt. 3  
Stand: Dezember 2012

0 5 10 20 30 40  
Kilometer

LEL  
SCHWÄBISCH GEMÜND

Abb. 2-3: Anteil des Ackerlandes an der landwirtschaftlich genutzten Fläche in den Gemeinden Baden-Württembergs in %, Stand 2010. Darstellung: LEL, Daten: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

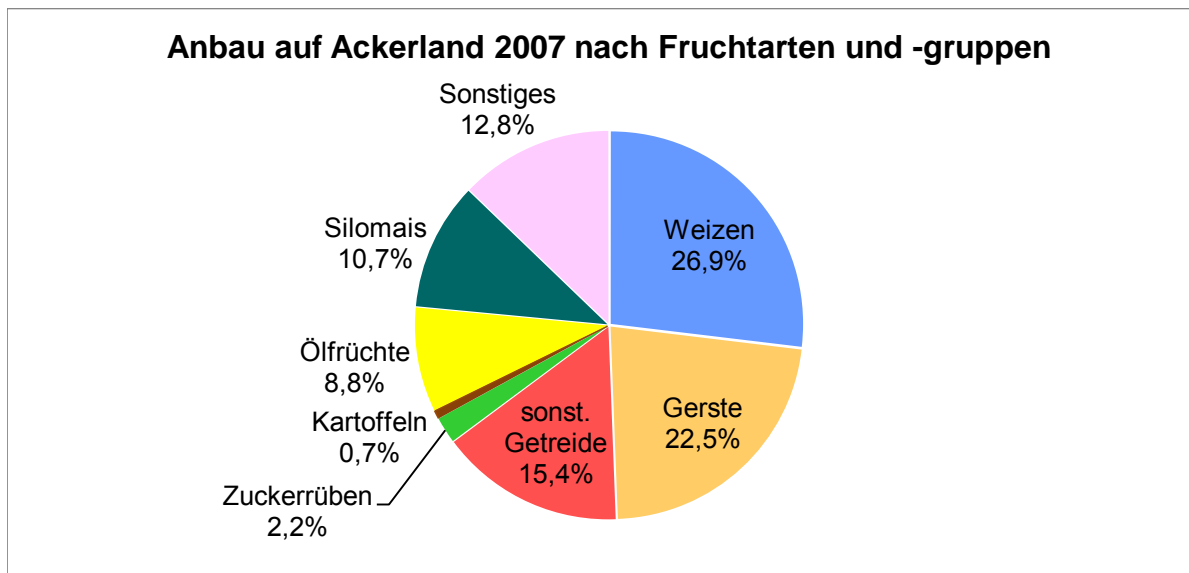


Abb. 2-4: Anbauverhältnisse der Fruchtarten auf Ackerland gemäß Agrarstrukturerhebung 2007. Daten: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

Mit einem Gebietsmittel der Jahresdurchschnittstemperatur von 8,1 °C (bezogen auf 1970-2000) und einer Vegetationsperiode von 170 Tagen zählt Baden-Württemberg zu den wärmsten Gebieten in Deutschland. Im Oberrheintal finden sich sogar überwiegend Werte um die 10 °C. Klimatisch begünstigt sind insbesondere der Anbau von Mais, Obst (hier insbesondere die Bodenseeregion) und Wein. Nach Rheinland-Pfalz besitzt Baden-Württemberg mit über 27 000 ha die zweitgrößte Rebfläche in Deutschland.

Ein großer Teil der landwirtschaftlichen Nutzfläche (Wiesen, Weiden, Futtermittelerzeugung) dient der Ernährung der Nutztiere. Tabelle 2-2 listet die Viehbestandszahlen in Baden-Württemberg im Jahre 2010 auf. Die Abbildungen 2-11 bis 2-13 zeigen die Verteilung der Viehbestände in den Landkreisen Baden-Württembergs, zum einen in Großvieheinheiten aufgeschlüsselt, zum anderen separat für die Rinder- und Schweinebestände als wichtigste Nutztiere des Landes. Während die Rinderbestandszahlen in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich abgenommen haben (Abb. 2-14), sind die Schweinebestände insgesamt etwa gleich geblieben. Die Kartendarstellungen machen deutlich, dass die Schwerpunkte der Rinderhaltung im Südosten und die der Schweinehaltung im Osten und Nordosten des Landes liegen.

Tab. 2-2: Viehbestände in Baden-Württemberg gemäß Landwirtschaftszählung 2010. Daten: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

Rinder	Schweine	Hühner	anderes Geflügel	Schafe	Ziegen	Pferde
1 027 500	2 132 800	3 558 600	1 008 100	248 700	25 200	59 700

### Gartenbau-Anbauflächen in den Kreisen Baden-Württembergs 2010

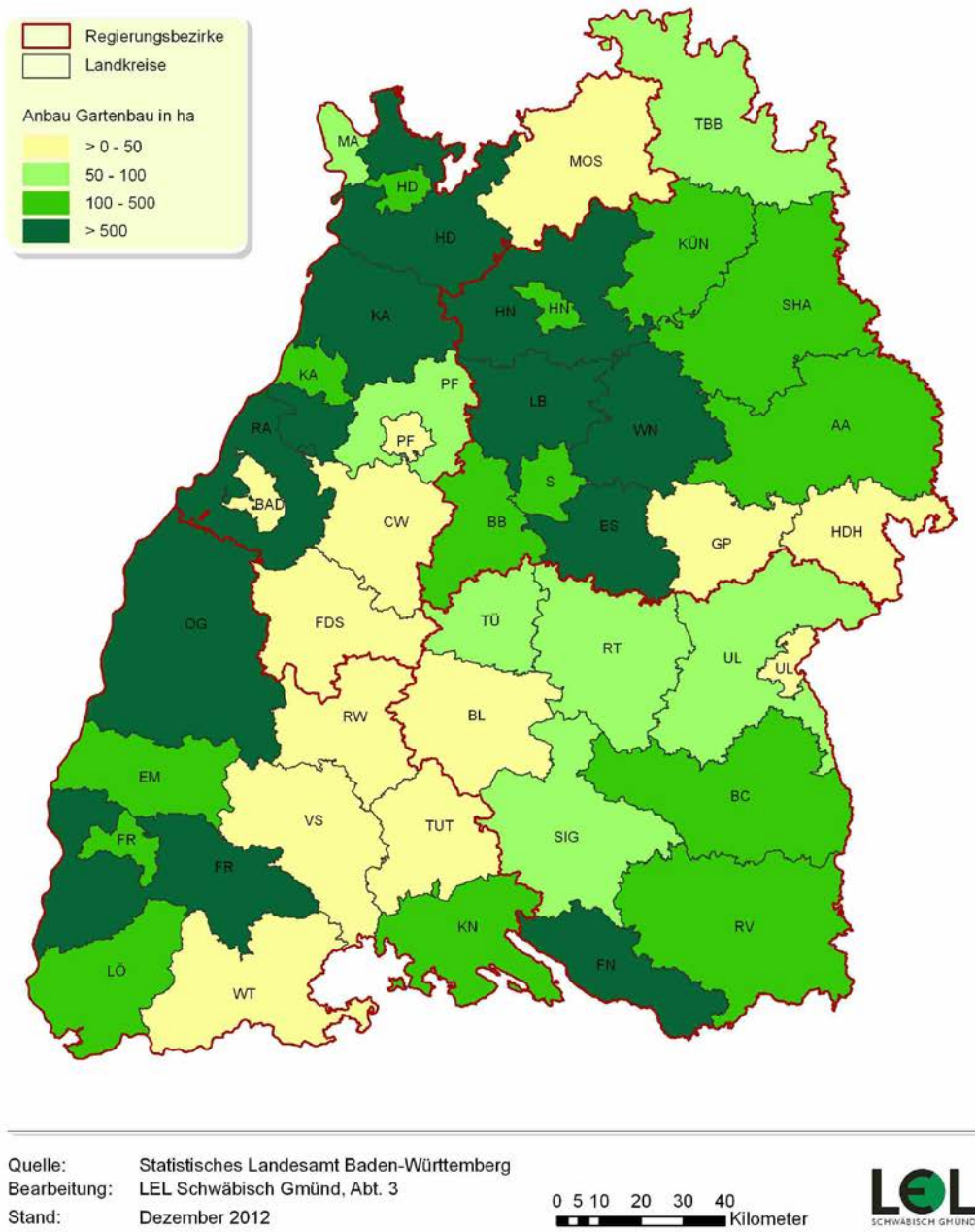


Abb. 2-5: Gartenbau-Anbauflächen in den Kreisen Baden-Württembergs in Hektar, Stand 2010.  
 Quelle: Darstellung: LEL, Daten: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

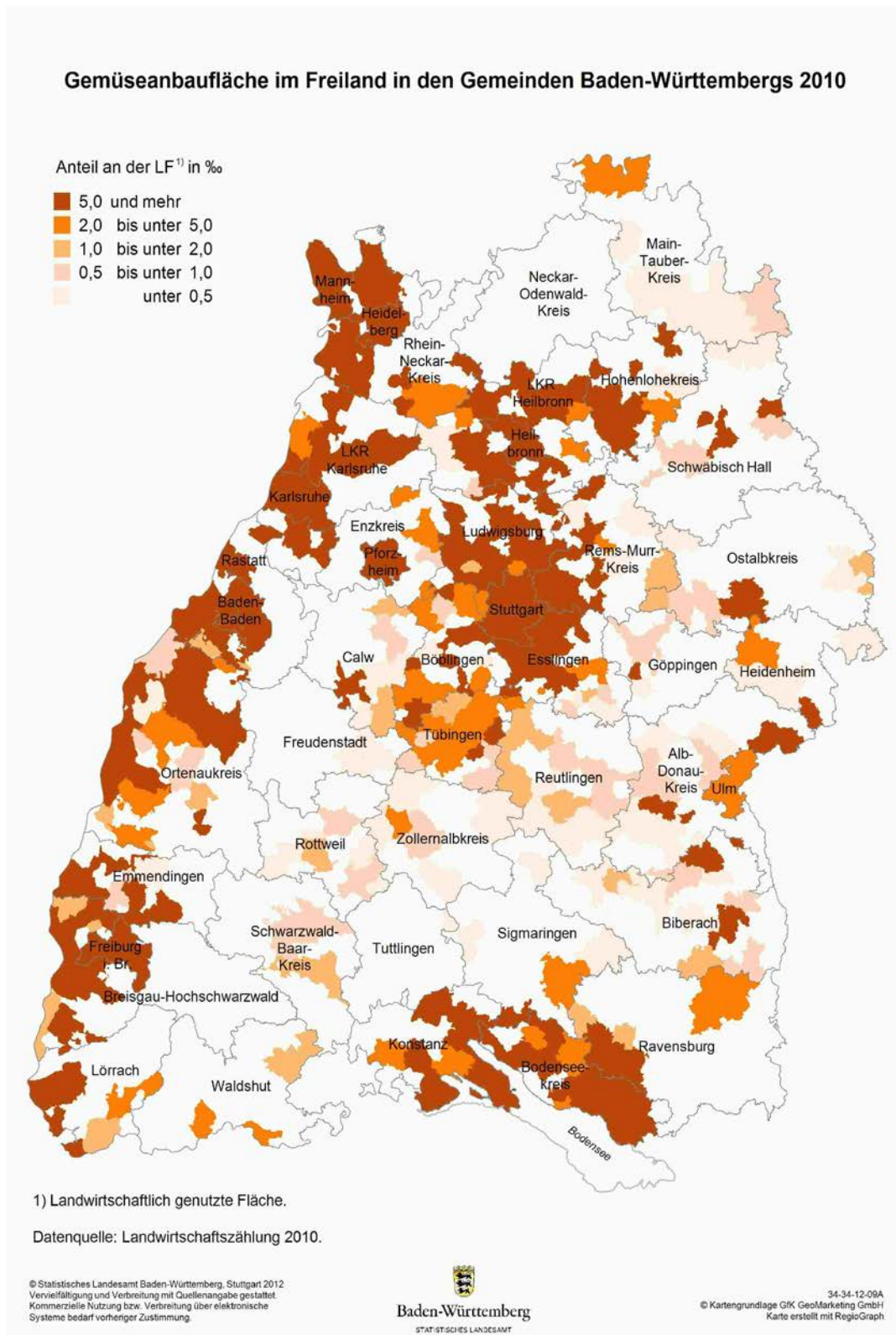
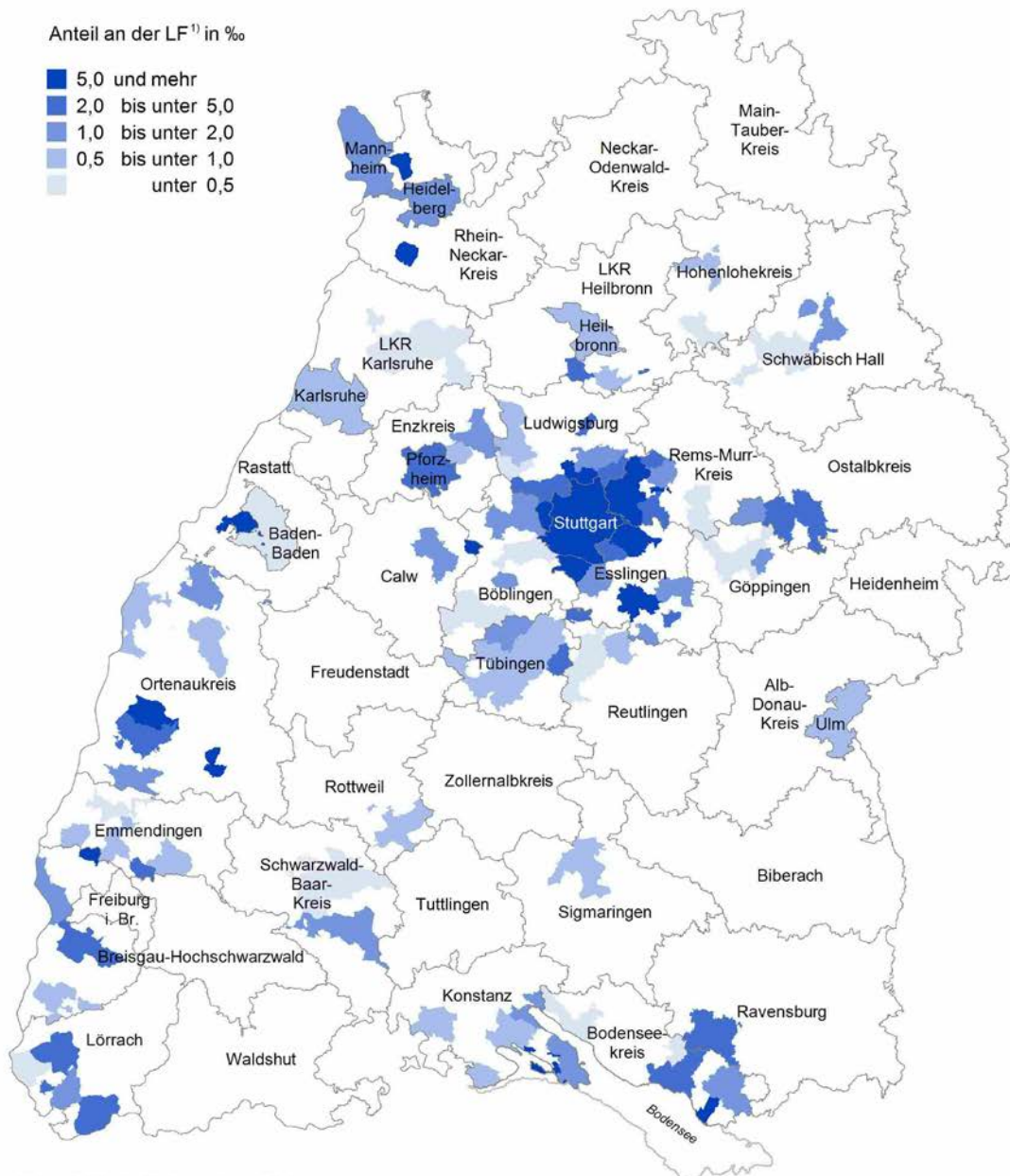


Abb. 2-6: Anteil der Gemüseanbauflächen im Freiland in den Gemeinden Baden-Württembergs in % der landwirtschaftlichen Nutzfläche, Stand 2010. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2012

### Zierpflanzenfläche im Freiland in den Gemeinden Baden-Württembergs 2010



1) Landwirtschaftlich genutzte Fläche.

Datenquelle: Landwirtschaftszählung 2010.

© Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stuttgart 2012  
 Vervielfältigung und Verbreitung mit Quellenangabe gestattet.  
 Kommerzielle Nutzung bzw. Verbreitung über elektronische  
 Systeme bedarf vorheriger Zustimmung.



34-34-12-10A  
 © Kartgrundlage GfK GeoMarketing GmbH  
 Karte erstellt mit RegioGraph

Abb. 2-7: Anteil der Zierpflanzen-Anbauflächen im Freiland in den Gemeinden Baden-Württembergs in % der landwirtschaftlichen Nutzfläche, Stand 2010. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2012

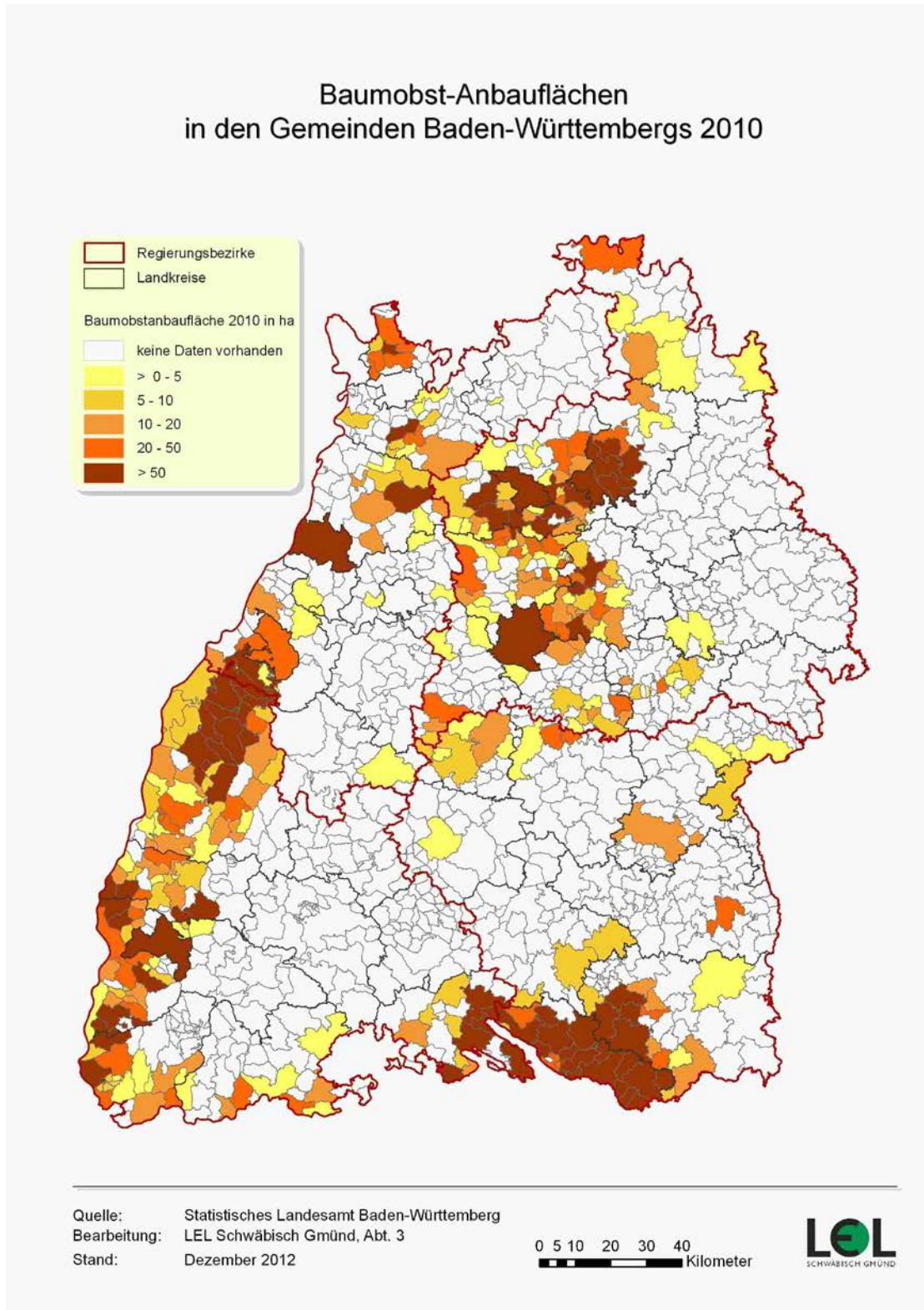


Abb. 2-8: Baumobst-Anbauflächen in den Gemeinden Baden-Württembergs in Hektar, Stand 2010. Darstellung: LEL, Daten: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

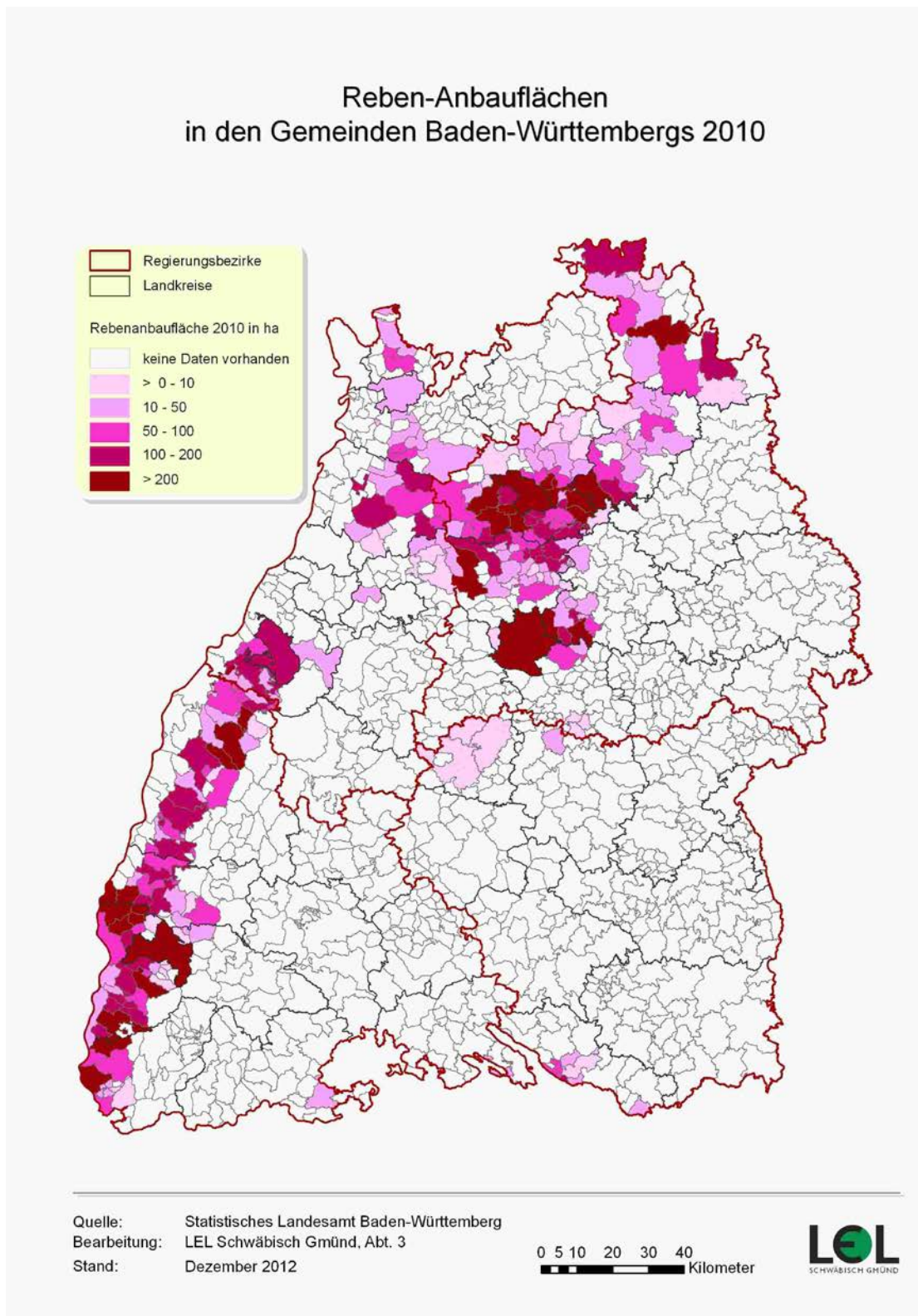
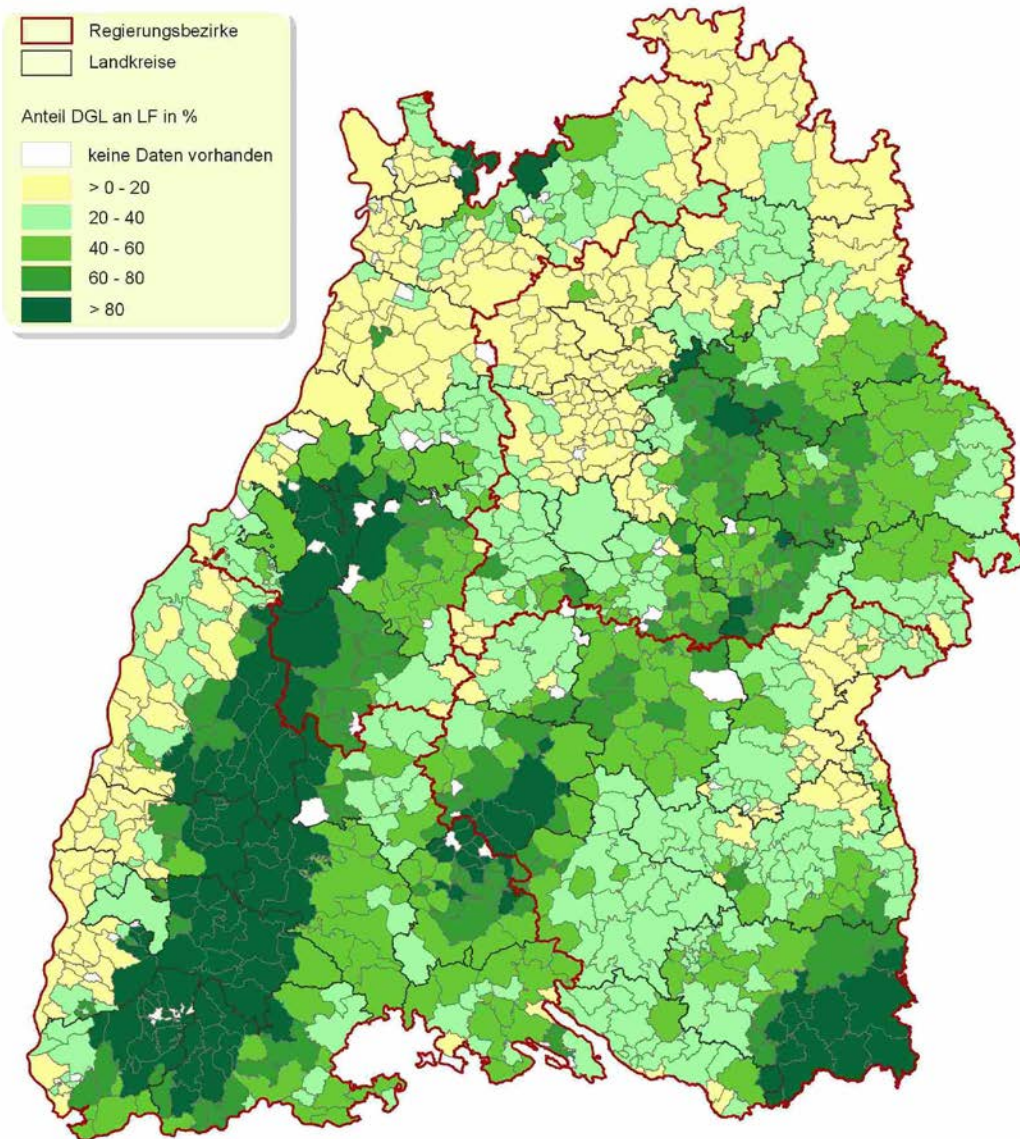


Abb. 2-9: Rebflächen in den Kreisen Baden-Württembergs in Hektar, Stand 2010. Darstellung: LEL, Daten: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg





Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg  
 Bearbeitung: LEL Schwäbisch Gmünd, Abt. 3  
 Stand: Dezember 2012

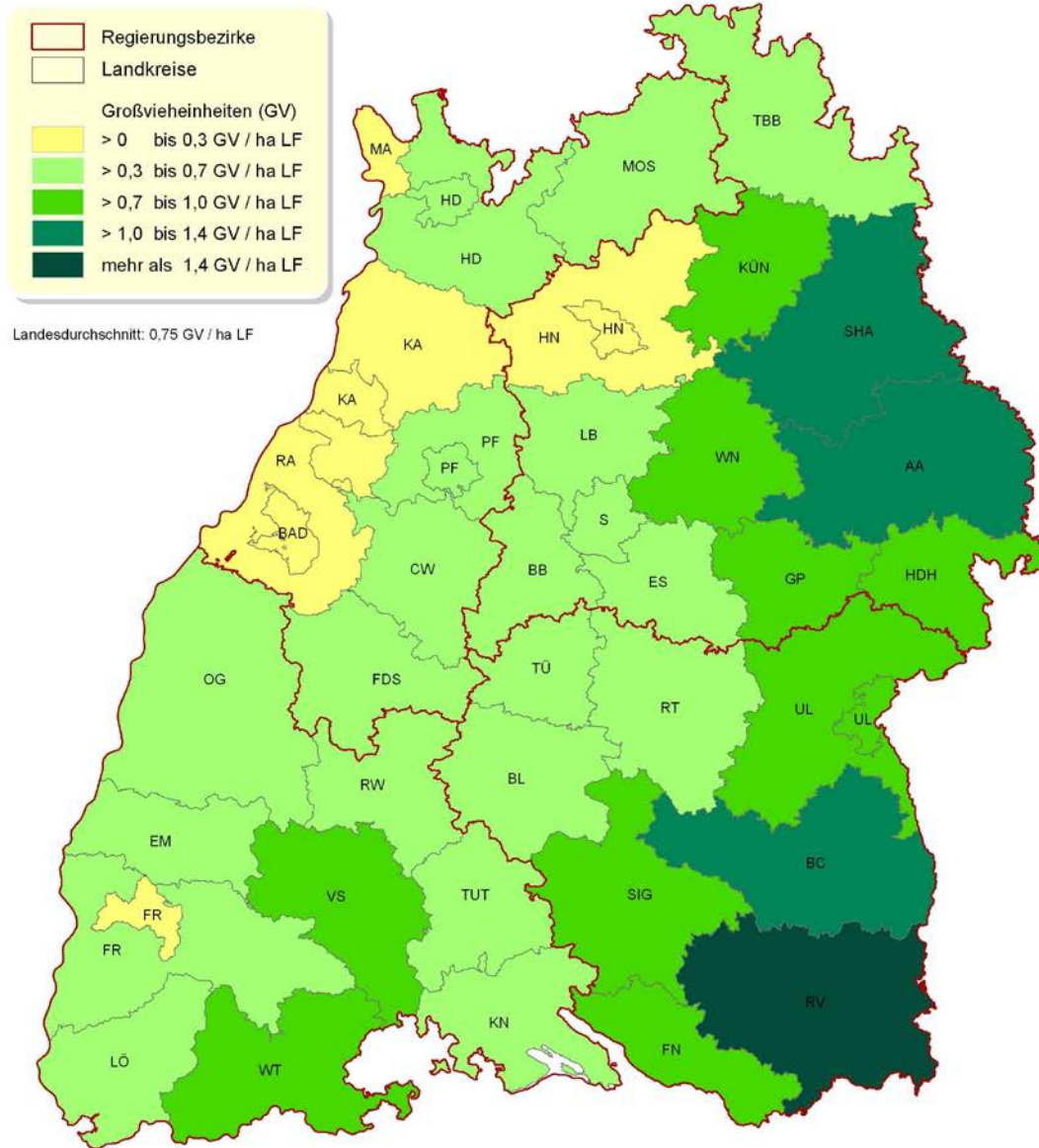
0 5 10 20 30 40  
 Kilometer

**LEL**  
 SCHWÄBISCH G M Ü N D

Abb. 2-10: Anteil des Dauergrünlands an der landwirtschaftlich genutzten Fläche in den Gemeinden Baden-Württembergs in %, Stand 2010. Darstellung: LEL, Daten: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.

## Tierhaltung in den Landkreisen Baden-Württembergs 2010

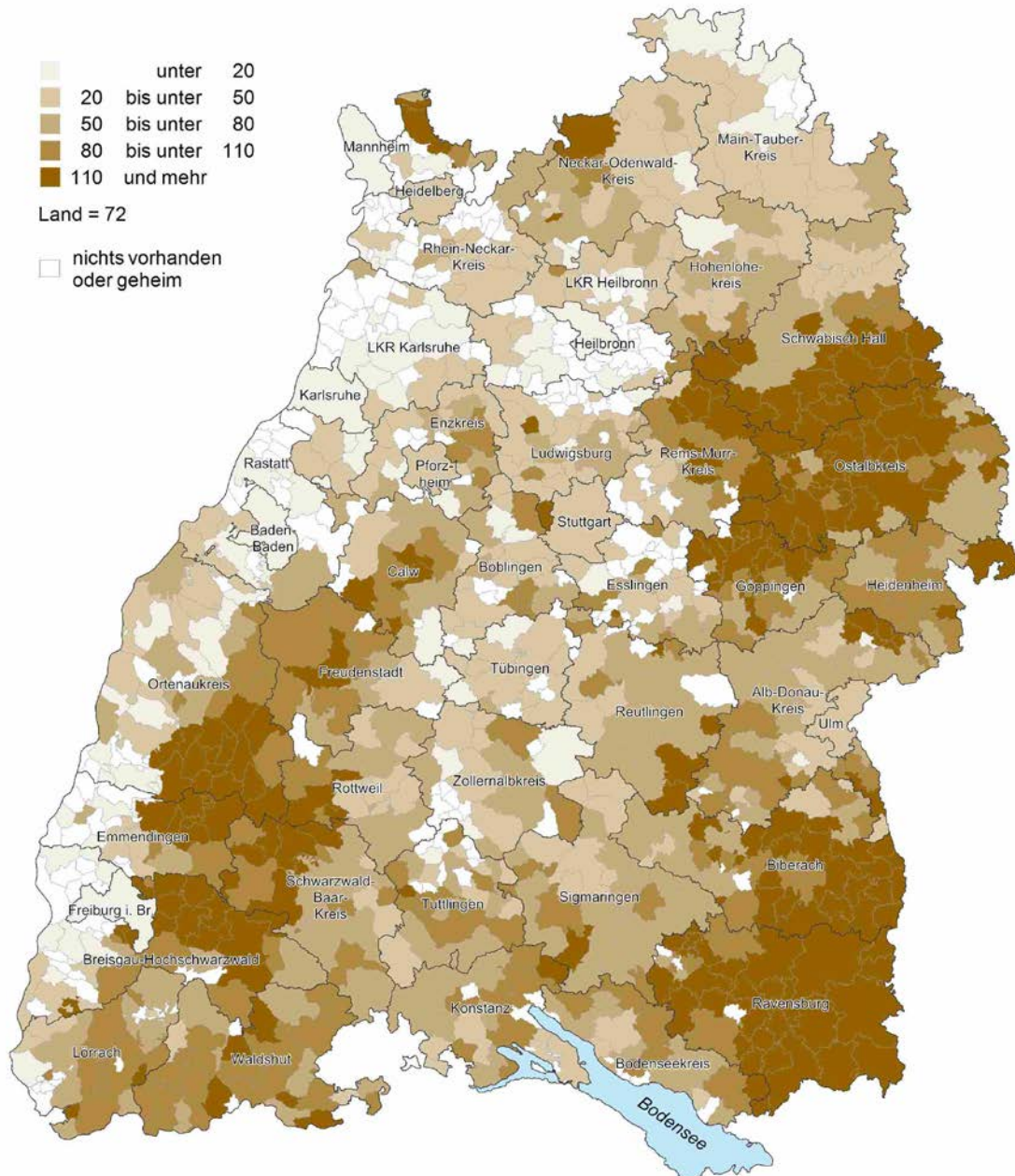
### Großvieheinheiten (GV)



Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Landwirtschaftszählung 2010  
 Bearbeitung: LEL Schwäbisch Gmünd, Abt. 3  
 Stand: Januar 2012



Abb. 2-11: Tierhaltung in den Landkreisen Baden-Württembergs, aufgeschlüsselt nach Großvieheinheiten pro Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche. Dadurch wird die Viehbesatzdichte recht gut charakterisiert [LEL 2012a].



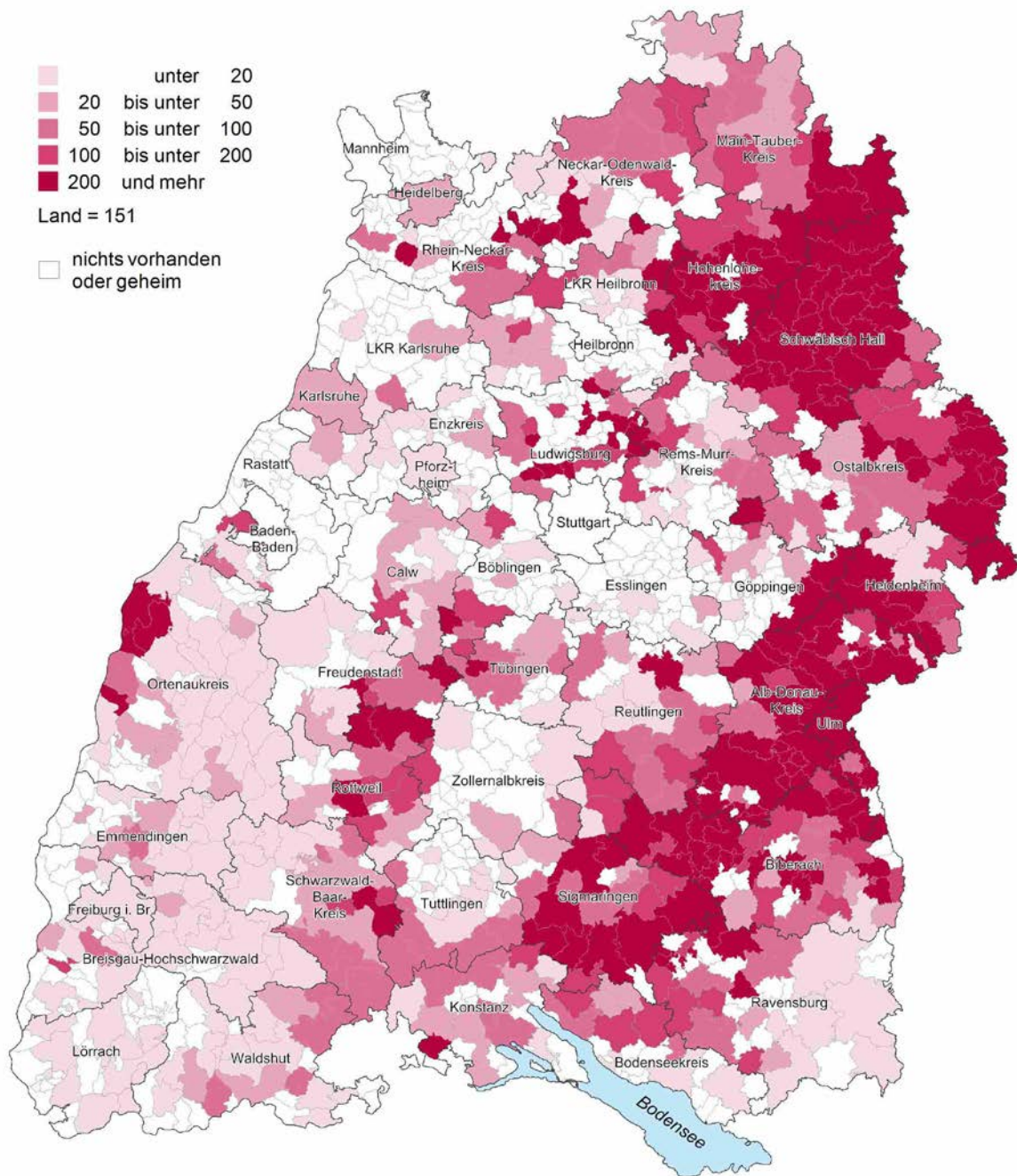
Gebietsstand: 01.01.2009

© Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stuttgart 2012  
Für nicht gewerbliche Zwecke sind Vervielfältigung und unentgeltliche  
Verbreitung, auch auszugsweise, mit Quellenangabe gestattet.

  
**Baden-Württemberg**  
STATISTISCHES LANDESAMT

34-34-12-04A  
© Kartengrundlage GfK GeoMarketing GmbH  
Karte erstellt mit RegioGraph

Abb. 2-12: Rinderdichte in den Gemeinden Baden-Württembergs 2009 in Rindern pro 100 Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2012



Gebietsstand: 01.01.2009

© Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stuttgart 2012  
Für nicht gewerbliche Zwecke sind Vervielfältigung und unentgeltliche Verbreitung, auch auszugsweise, mit Quellenangabe gestattet.



34-34-12-06A  
© Kartengrundlage GfK GeoMarketing GmbH  
Karte erstellt mit RegioGraph

Abb. 2-13: Schweinedichte in den Gemeinden Baden-Württembergs 2009 in Schweinen pro 100 Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2012

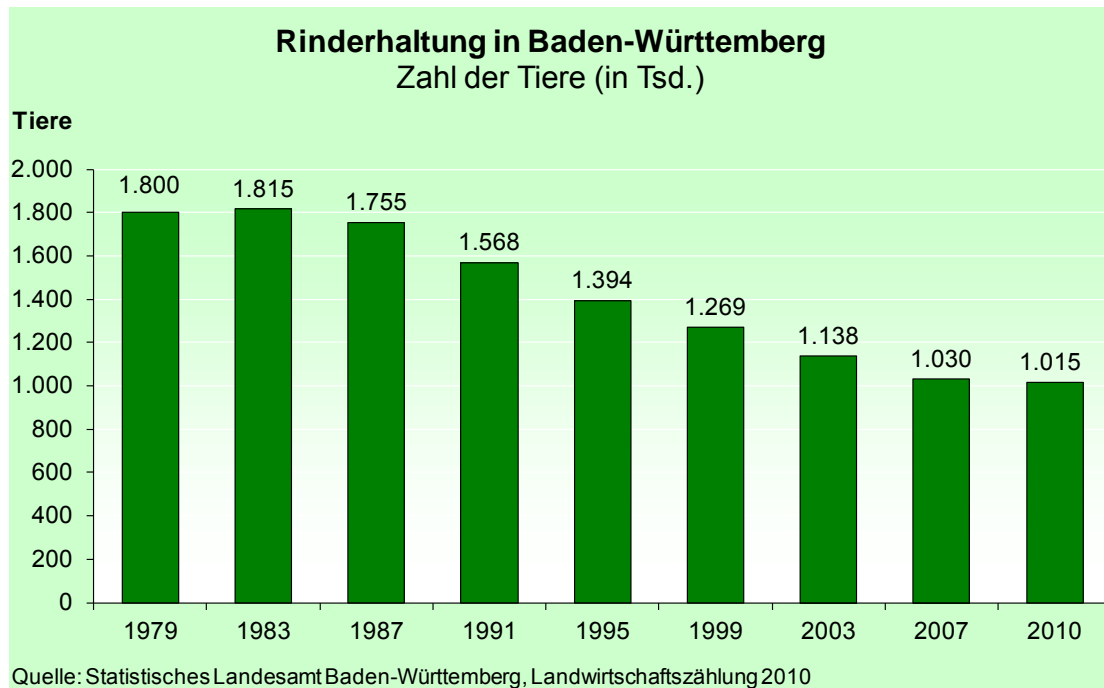


Abb. 2-14: Entwicklung des Rinderbestandes in Baden-Württemberg [LEL 2012b]

Im Jahre 2011 lebten auf einer Fläche von 3 575 141 ha in Baden-Württemberg knapp 10,8 Mio. Einwohner. In Land- und Forstwirtschaft erwerbstätig sind 1,3% von 5,573 Mio. Erwerbstätigen (71 000 in Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei) (Abb. 2-15). Hinzu kommen Familien- und Fremdarbeitskräfte, viele davon saisonal beschäftigt, so dass insgesamt ca. 190 000 Personen in der Landwirtschaft tätig sind. Der Anteil an der Bruttowertschöpfung beträgt 0,7%, das sind knapp 2,3 Mrd. €. Erwirtschaftet wird dies von 43 400 landwirtschaftlichen Betrieben (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg).

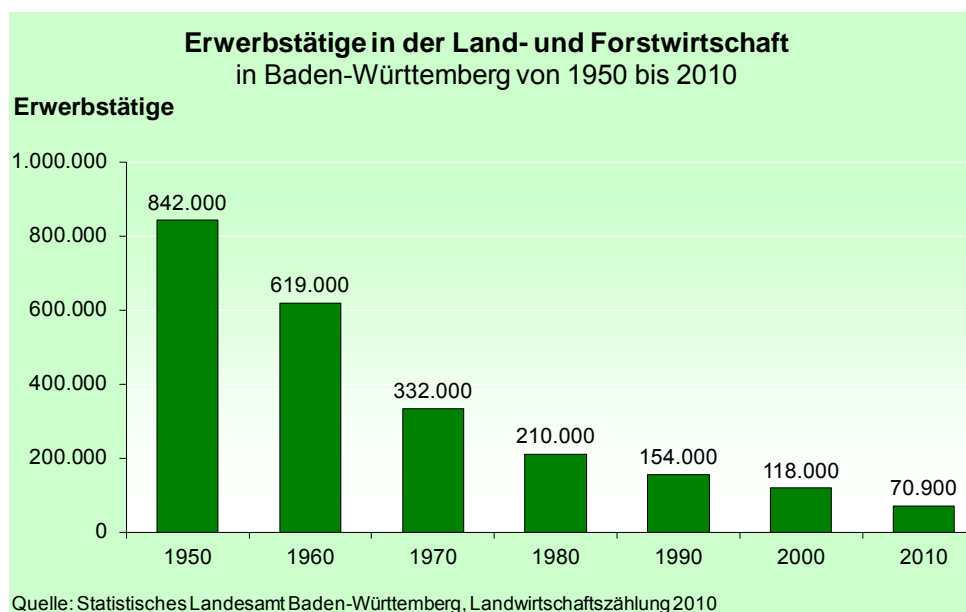


Abb. 2-15: Entwicklung der Erwerbstätigenzahlen in der Land- und Forstwirtschaft Baden-Württembergs [LEL 2012b].

Die durchschnittliche Betriebsgröße der landwirtschaftlichen Betriebe hat im Zeitablauf kontinuierlich zugenommen, liegt im Südwesten mit 38,3 ha LF jedoch deutlich unter dem Bundesdurchschnitt von ca. 61 ha LF (beide Zahlen ab 5 ha LF Erfassungsgrenze). Bundesweit liegt Baden-Württemberg zusammen mit Bayern bei diesem Kennwert am Ende der Skala. Verstärkt wird dieser strukturelle Nachteil durch die in vielen Landesteilen nach wie vor starke Zersplitterung der Flurstücke [MLR 2012]. Im Wesentlichen bedingt durch die Produktionsausrichtung und die unterschiedlichen Erbsitten lassen sich innerhalb Baden-Württembergs jedoch auch regionale Unterschiede in der Flächenausstattung der Betriebe feststellen. So sind die Betriebe auf der Hochfläche der Schwäbischen Alb und im Schwarzwald eher flächenstärker, während in den Gunstlagen entlang des Rheintals und im Neckarbecken kleinbetriebliche Strukturen, meist verbunden mit dem Anbau von Sonderkulturen wie Gemüse, Wein und Obst, dominieren [MLR 2012].

Obwohl die Betriebszahlen besonders stark bei den kleinen Betrieben zurückgegangen sind, prägen noch immer traditionell kleinbetriebliche Strukturen in Form bäuerlicher Familienbetriebe die baden-württembergische Landwirtschaft. So bewirtschafteten im Jahr 2011 34% der landwirtschaftlichen Betriebe eine LF von unter 10 ha (darunter allerdings viele Betriebe mit der Hauptausrichtung Garten- und Weinbau). Demgegenüber bewirtschafteten lediglich 9200 größere Betriebe mit einer Flächenausstattung von über 50 ha mehr als 60% der 1,418 Mill. ha LF (2011) (vgl. Abb. 2-16).

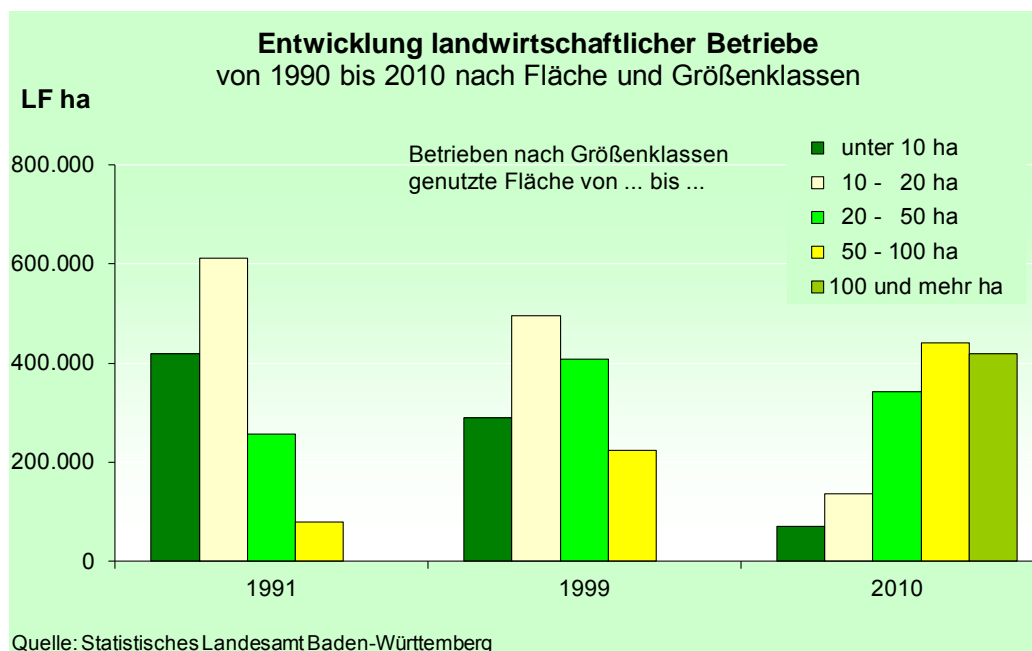


Abb. 2-16: Entwicklung der von den landwirtschaftlichen Betrieben Baden-Württembergs bewirtschafteten Fläche nach Größenklassen [LEL 2012b]

Die pflanzliche Erzeugung trägt zu mehr als 50% zum Produktionswert der Landwirtschaft bei, die tierische Erzeugung zu mehr als 40% (Abb. 2-17). Obwohl die Sonderkulturen einen

vergleichsweise geringen Anteil an der bewirtschafteten Fläche haben, ist ihr Anteil am Produktionswert von ca. 20% beachtlich. Die Obst- und Weinbaubetriebe Baden-Württembergs liefern je etwa ein Viertel des gesamtdeutschen Produktionswerts für diese Kulturen. Entsprechend ihrer hohen Bedeutung für die Wertschöpfung werden daher Garten-, Obst- und Weinbau bei der Betrachtung der Vulnerabilitäten und Anpassungsmaßnahmen ausführlich behandelt.

### Anteil am Produktionswert 2010 nach Erzeugnissen in %

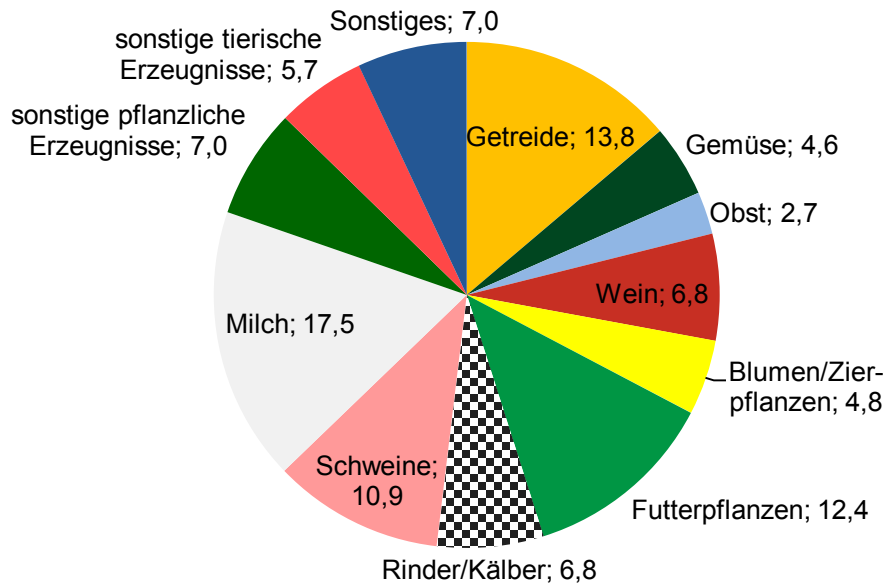


Abb. 2-17: Produktionswert der Landwirtschaft im Jahre 2010 nach Erzeugnissen im Vergleich [Daten: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg].

Die Landwirtschaft in Baden-Württemberg hat auf der einen Seite in diesem hochindustrialisierten Bundesland relativ zu anderen Wirtschaftsbereichen einen vergleichsweise geringen Anteil an der Wertschöpfung und beschäftigt immer weniger Menschen. Auf der anderen Seite produziert die baden-württembergische Landwirtschaft für eine dicht besiedelte Region verbrauchernah Lebensmittel, Futtermittel und nachwachsende Rohstoffe. Sie liefert damit die Grundlage für die Ernährung der Bevölkerung und die Rohstoffe für die nachgelagerte Ernährungs- und Verarbeitungsindustrie. Ihre Rolle als Lieferant nachwachsender Energieträger hat in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Hinzu kommt als Nutzer von mehr als 40 % der Landesfläche die große Bedeutung für die Ressourcen Boden, Wasser, Luft, Biodiversität und Klima.

Im Hinblick auf die Möglichkeiten zur Anpassung an den Klimawandel ist hervorzuheben, dass jeder einzelne landwirtschaftliche Betrieb im Prinzip als Einzelakteur anzusehen ist. Das heißt, derzeit müssen sich rund 40 000 Betriebe im Land auf den Klimawandel einstellen. Einerseits erschwert dies die Durchdringung sinnvoller Maßnahmen, vor allem wenn damit nicht zeitnah erkennbare ökonomische Vorteile für den Betrieb verbunden sind. Auf der anderen Seite bietet

die Vielzahl der Einzelakteure auch Chancen. Die Vielfalt der möglichen Anpassungsmaßnahmen ist hoch, die Vulnerabilitätsrisiken werden auf viele Schultern verteilt und die Fehlerfreundlichkeit für die Gesamtheit der landwirtschaftlichen Anpassungsmaßnahmen ist hoch. Insgesamt ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass eine ausreichende Anzahl der Betriebe im Klimawandel die „richtigen“, regional und individuell angepassten Entscheidungen trifft und ausreichende Erträge erwirtschaftet. Sollten Entscheidungen von einzelnen Landwirten in einem Anbaujahr sich als falsch herausstellen, so werden die Auswirkungen durch die Gesamtheit der Landwirte abgepuffert. Im Gegensatz zur Forstwirtschaft kann die Landwirtschaft zumindest in der ackerbaulichen Nutzung kurzfristig planen und sich von Jahr zu Jahr oder zumindest von Fruchtfolge zu Fruchtfolge neu auf die klimatischen Gegebenheiten einstellen. Auch dies erhöht ihre Flexibilität. Längerfristiger angelegt sind mögliche Anpassungsreaktionen in der Viehhaltung und bei Dauerkulturen.

Querschnittsbeziehungen des Handlungsfelds Landwirtschaft bestehen hauptsächlich zu den Handlungsfeldern Boden, Wasserhaushalt, Naturschutz/Biodiversität und Energiewirtschaft sowie eingeschränkt zu Wald-/Forstwirtschaft und Tourismus.

Zum Handlungsfeld Boden bestehen naturgemäß enge Wechselwirkungen. Im Gutachten wird mehrfach auf die Ergebnisse der Vulnerabilitätsanalyse zur Bodenerosion und zum Humushaushalt Bezug genommen. Umgekehrt bezieht sich das Handlungsfeld Boden auch auf Anpassungsmaßnahmen der Landwirtschaft.

Bezüge zum Wasserhaushalt bestehen bei Anpassungsmaßnahmen wie der konservierenden Bodenbearbeitung oder platzierter Düngung – hier wird die Auswaschung bzw. Abschwemmung von Nährstoffen reduziert – aber auch bei landwirtschaftlichen Bewässerungsmaßnahmen. Ob und in welchem Umfang der landwirtschaftliche Wasserbedarf künftig steigen wird, lässt sich schwer abschätzen. Im Trend ist eine Steigerung des Bewässerungsbedarfs zu vermuten, allerdings sind zunächst weitere Untersuchungen notwendig, um seriöse Aussagen treffen zu können. Sollten Hochwasserschutzmaßnahmen landwirtschaftliche Flächen künftig verstärkt als Retentions- und Überflutungsflächen benötigen, bestünde hier zumindest zeitweilig Konkurrenz um die optimale Nutzung der Fläche.

Ähnliche Konfliktpunkte bestünden zur Energiewirtschaft, wenn im Zuge des Ausbaus erneuerbarer Energien (z.B. Windenergie) oder des Ausbaus der Stromnetze landwirtschaftliche Flächen direkt oder als naturschutzrechtliche Ausgleichsfläche benötigt werden. Da die Landwirtschaft gerade unter den Prämissen des globalen Klimawandels und des weltweit steigenden Bedarfs nach landwirtschaftlichen Produkten auch in Baden-Württemberg kein Interesse daran hat, fruchtbare Böden der Nutzung zu entziehen, muss eine Interessenabwägung stattfinden. Umgekehrt kann die Landwirtschaft über die energetische Nutzung von Reststoffen und den Anbau nachwachsender Rohstoffe zur Energieerzeugung einen aktiven Beitrag zur Energiewirtschaft leisten. Ob im Zuge des Klimawandels die Erzeugung



nachwachsender Rohstoffe ausgebaut werden wird, ist eine Frage der politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen. Zu beachten ist neben der Frage „Energie oder Nahrungsmittel“ auch hier der produktionsbezogene Umweltschutz: Bodenschutz (Erosionsvermeidung, Humuserhalt), Wasserschutz, Landschaftsschutz und Biodiversität sowie in besonderem Maße der Klimaschutz: Gerade bei der energetischen Nutzung von Biomasse muss die Reduktion der Emission von Treibhausgasen im Vergleich zu alternativen Energiequellen und auch einer alternativen Flächennutzung einen hohen Stellenwert haben [SRU 2007, NBBW 2008].

Im Falle des Naturschutzes besteht ein Konfliktpunkt darin, dass im Gutachten dieses Handlungsfelds die Wiedervernässung von Moorböden gefordert wird. Auch hier würden fruchtbare landwirtschaftliche Böden der Nutzung entzogen. Nach den vorliegenden Erkenntnissen würde allerdings eine fachgerechte Wiedervernässung von Moorböden die Treibhausgasbilanz der Landwirtschaft entlasten. Hier bleibt die Frage der Besitzverhältnisse und etwaiger Entschädigungsleistungen.

### 3 Klimatisch wirksame Faktoren und regionale Analyse

Die klimatisch wirksamen Faktoren für die Beurteilung der Vulnerabilität der Landwirtschaft sind:

- CO<sub>2</sub>-Konzentration der Atmosphäre
- Temperatur
- Niederschläge
- Einstrahlungsintensität
- Ozonkonzentration

sowie extreme Ausprägungen dieser Faktoren wie

- Extremtemperaturen: Hitze, Früh-/Spätfröste
- Trockenheit, Dürreperioden (Sommer und/oder Frühsommer)
- Gewitter, Hagel, Starkregen
- Stürme

Die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) hat eine Metastudie zu Ensemble-Simulationen von Klimamodellen durchführen lassen. Dabei wurden für zwei Zeiträume, eine nahe Zukunft (2021-2050) und eine ferne Zukunft (2071-2100), insgesamt 28 Kennzahlen für die klimatisch wirksamen Faktoren errechnet. Diese Kennzahlen wurden von der LUBW im Hinblick auf Streuung, Stärke und Richtungssicherheit des Klimasignals bewertet und eine Einschätzung gegeben, in wie weit die Ergebnisse der Klimaprojektionen zufriedenstellend sind und somit verlässlich erscheinen. Dabei wurden vor allem die Streuung des Klimasignals und die Streuung im Ist-Zustand für die Bewertung herangezogen [LUBW 2012]. Die folgenden Ausführungen zu klimatischen Veränderungen beziehen sich in der Regel auf die Ergebnisse dieser Metastudie. Falls Ergebnisse einzelner oder anderer Klimamodelle Berücksichtigung finden, wird dies explizit erwähnt.

Im Folgenden werden die Klimafaktoren und ein Teil der Kennzahlen aufgelistet, die für die Beurteilung der Vulnerabilität der Landwirtschaft vom Gutachter als relevant beurteilt wurden und die bei der Bewertung durch die LUBW „zufriedenstellend“ oder „bedingt zufriedenstellend“ erreichten. Tabelle 3-1 zeigt die Kennzahlen, die mit Temperaturveränderungen zusammenhängen. Tabelle 3-2 zeigt Kennzahlen, die Niederschlagsveränderungen charakterisieren. Bei den Klimasignalen für die Zukunft wurde jeweils das 50. Perzentil aufgelistet. Das 50. Perzentil ist der Wert, für den jeweils die Hälfte der Modellsimulationen höhere bzw. niedrigere Änderungen zeigt. Er repräsentiert somit den Median und innerhalb des Ensembles ein mittleres Klimaänderungssignal [LUBW 2012].

Darüber hinaus wurde entweder das 15. oder das 85. Perzentil angegeben, je nachdem, welche Wahl die größte Änderung in die vermutete Richtung ergibt. Das 15. Perzentil ist der oberste Grenzwert der untersten 15% aller Modellsimulationen. Das heißt, 15% aller Modellergebnisse liegen unterhalb dieses Werts oder erreichen diesen genau. Die übrigen 85% der Modell-

simulationen zeigen größere Änderungen. Entsprechend umgekehrt verhält es sich mit dem 85. Perzentil. Zwischen das 15. und 85. Perzentil fallen insgesamt 70% aller Modellergebnisse.

Für die Jahresmitteltemperatur beispielsweise wurde das 85. Perzentil gewählt, da 85% aller Simulationswerte durch einen Anstieg von 3,6 Grad erfasst werden und nur 15% einen noch höheren Anstieg anzeigen. Für die Zahl der Frosttage hingegen wurde das 15. Perzentil genommen, da die vermutliche Änderung negativ ist, und damit nur 15% aller Simulationswerte einen noch höheren Rückgang anzeigen.

Tab. 3-1: Kennzahlen für die Temperatur aus der Ensemble-Auswertung regionaler Klimaprojektionen. Erläuterungen und Definitionen: LUBW 2012. Bias: Abweichung des Medians der Klimaprojektionen vom Beobachtungswert.

Kennzahl	Ist-Zustand		Klimasignal, nahe Zukunft (Perzentile)		Klimasignal, ferne Zukunft (Perzentile)	
	Beobachtung	Bias	50	15 bzw. 85	50	15 bzw. 85
T Mittel [°C]	8,4	0,1	1,1	1,7	3,0	3,6
Veg.-Beginn [d]	91	0,7	-5,2	-7,7	-13,3	-20,2
Tropentag [d]	3,8	-0,2	2,8	8,8	20,9	27,9
Frosttag [d]	97	-13,8	-19,1	-27,0	-47,2	-51,9
Letzter Frost [d]	114	-15,1	-6,8	-11,8	-20,5	-26,7

Tab. 3-2: Kennzahlen für den Niederschlag aus der Ensemble-Auswertung regionaler Klimaprojektionen. TP: Trockenperiode. Erläuterungen und Definitionen: LUBW 2012.

Kennzahl	Ist-Zustand		Klimasignal, nahe Zukunft (Perzentile)		Klimasignal, ferne Zukunft (Perzentile)	
	Beobachtung	Bias	50	15 bzw. 85	50	15 bzw. 85
N Sommer [mm]	512	5,8%	-0,7%	-5,8%	-9,4%	-18,3%
N Veg.-Per [mm]	433	6,1%	-1,5%	-6,0%	-9,9%	-18,3%
∅ Dauer TP-Veg. [d]	3,5	-0,5	0,2	0,4	0,7	1,3
Max. Dauer TP [d]	20,7	-3,8	0,9	2,1	1,0	4,5
StarkN [mm]	40,7	-5,6%	6,5%	12,1%	12,8%	24,7%
StarkN Tage [d]	3,6	0,0	0,7	1,1	1,0	2,1

Die Ensemblebetrachtungen der LUBW beruhen auf dem mittleren Szenario A1B der IPCC-SRES-Szenarien [IPCC 2000]. Hier ist anzumerken, dass die derzeitigen weltweiten Emis-

onen treibhausrelevanter Gase eher darauf hindeuten, dass dieses Szenario, aufgestellt vor 13 Jahren, zu moderat ist. Insofern könnten die 15. und 85. Perzentile die zu erwartenden Veränderungen sogar unzureichend widerspiegeln und die Maxima bzw. Minima würden die künftigen Realitäten besser vorweg nehmen. Im schlimmsten Fall wären sogar noch sie zu moderat. Die Vulnerabilitätsanalyse wird sich im Folgenden allerdings auf die 50., 15. und 85. Perzentile der vorhandenen Ensemblebetrachtung stützen.

Die Kennzahl „Anzahl der Tropennächte“ ( $\geq 20$  °C) wäre zwar interessant, schnitt jedoch „nicht zufriedenstellend“ ab. Für die Kennzahl „Summe der Globalstrahlung im Jahr“ ist die Streuung generell hoch bei gleichzeitig schwachem Klimasignal und geringer Richtungssicherheit. Daher werden diese Kennzahlen nicht weiter behandelt.

Hinsichtlich der Vulnerabilität sind des Weiteren besonders die Kennzahlen interessant, bei denen sich für die Zukunft deutliche Veränderungen ergeben (Stärke des Klimasignals). Das umfasst insbesondere die Kennzahlen:

- Jahresmitteltemperatur
- Vegetationsbeginn (Tage von Jahresbeginn ab gezählt)
- Anzahl der Tropentage ( $\geq 30$  °C)
- Anzahl der Frosttage
- Tag des letzten Frostes (von Jahresbeginn ab gezählt)
- Niederschlag im hydrologischen Winterhalbjahr (November bis April)
- Stark-Niederschlagshöhe (als Summe des maximalen Niederschlags an einem Tag innerhalb eines Kalenderjahrs)

Weniger deutliche Änderungen wurden bei folgenden Kennzahlen berechnet:

- Niederschlag im hydrologischen Sommerhalbjahr (Mai-Oktober)
- Niederschlag während der Vegetationsperiode (Mai-September)
- Durchschnittliche Dauer der Trockenperiode während der Vegetationsperiode
- Maximale Dauer einer Trockenperiode pro Jahr
- Anzahl der Tage ohne Niederschlag (unter 1 mm)
- Anzahl der Tage mit Starkniederschlag ( $> 25$  mm)
- Windparameter

Vor allem direkt temperaturabhängige Parameter weisen ein starkes Klimasignal auf, während Niederschlagsparameter sich den Berechnungen zufolge eher moderat ändern dürften. Aus Sicht der Landwirtschaft sind insbesondere die Niederschläge in der Vegetationsperiode von entscheidender Bedeutung. Ausgerechnet dieser Parameter zeigt in den Simulationen jedoch eine breite Streuung und auch keine klare Richtungssicherheit. In den weiteren Betrachtungen zur Vulnerabilität und Anpassung wird das 50. und das 15. Perzentil verwendet, bei denen weniger Niederschläge in der Vegetationsperiode für die nahe und ferne Zukunft berechnet

wurden. Die Unsicherheit dieses Klimaparameters führt allerdings aus heutiger Sicht zu einer vorsichtigen Beurteilung von Priorität und Dringlichkeit.

Von den eingangs erwähnten klimatisch wirksamen Faktoren werden im Folgenden die Einstrahlungsintensität und Stürme nicht näher behandelt. Zur Ozonkonzentration liegen keine Simulationen vor.

Die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Atmosphäre ist über die Emissionsszenarien ein wichtiger Eingangsparameter für alle Klimasimulationen. Kohlendioxid ist darüber hinaus ein wichtiger Nährstoff für Pflanzen, die auf Veränderungen der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration auch reagieren. Daher wird die CO<sub>2</sub>-Konzentration in die Vulnerabilitätsanalyse aufgenommen.

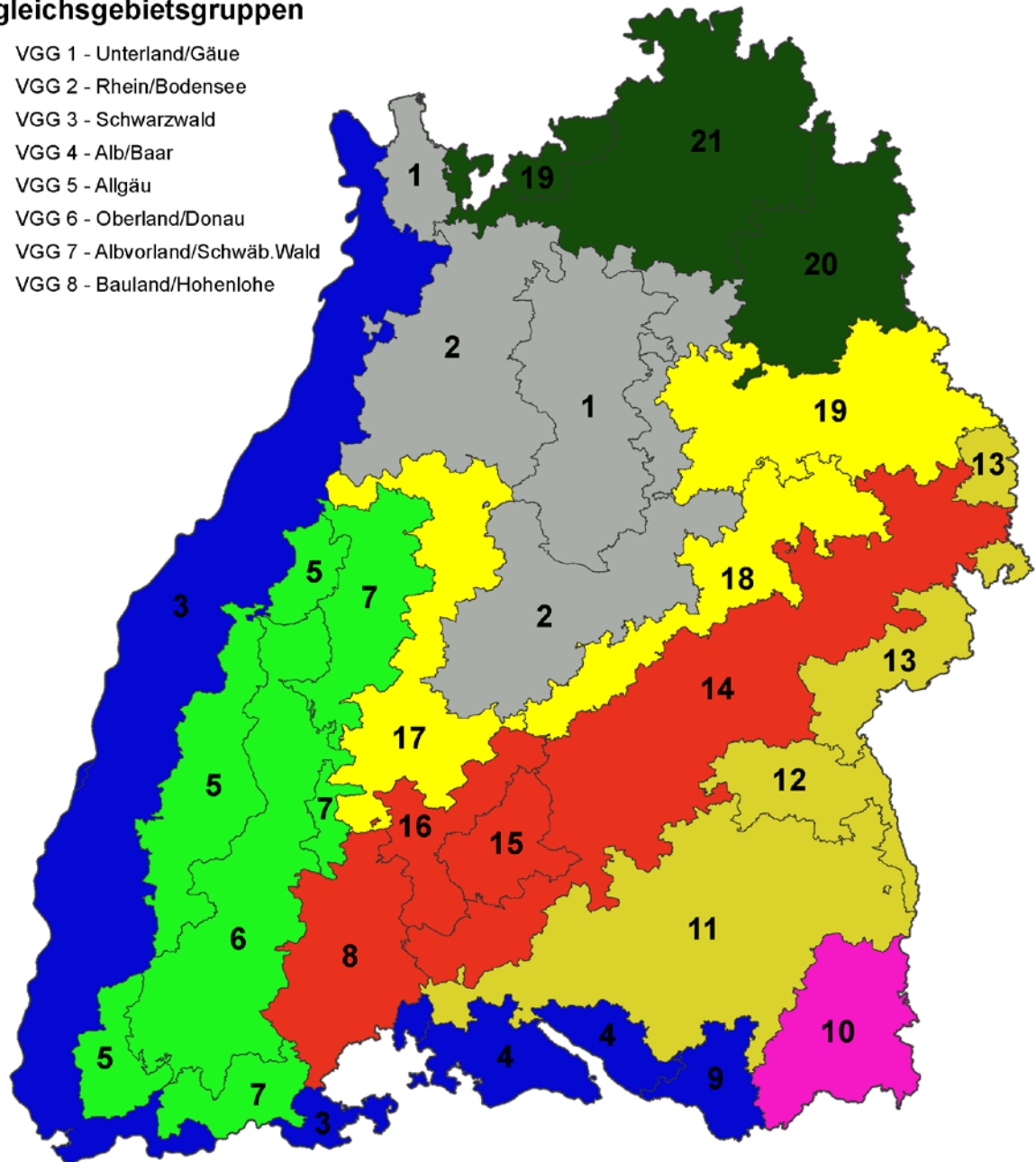
Baden-Württemberg weist in seinen Landesgrenzen ganz unterschiedliche Bedingungen hinsichtlich Klima, Relief und Boden auf, insofern bietet das Land eine Vielfalt an landwirtschaftlichen Standortbedingungen. In den verschiedenen Naturräumen des Landes wird sich der Klimawandel auch unterschiedlich auswirken. Um die mögliche Wirkung der Klimaveränderungen auf die landwirtschaftliche Nutzung und Bewirtschaftung räumlich differenziert zu analysieren, bietet sich eine Einteilung der Naturräume nach landwirtschaftlicher Eignung an. Eine solche Einteilung sind die Vergleichsgebiete bzw. Vergleichsgebietsgruppen (Abb. 3-1).

Vergleichsgebiete unterteilen das Land nach Gebieten gleicher natürlicher landwirtschaftlicher Ertragsfähigkeit, wobei geologische, topographische und klimatische Gegebenheiten den Ausschlag geben. In Gebieten, die sonst als homogen betrachtet werden können, bestehen manchmal aufgrund stark wechselnder Bodenverhältnisse, wie in der Rheinebene von Sand zu Schwemmlandböden oder aufgrund einer stark wechselnden Lößdecke, auf engem Raum erhebliche Unterschiede. Derartige homogene Gebiete werden dennoch zu einem Vergleichsgebiet zusammengefasst und im Bedarfsfall eine weitere Unterteilung ohne direkte Abgrenzung in "a, bessere" und "b, geringere" Standorte anhand der Bodenklimazahl vorgenommen [LEL 2012a].

Um dem relativ groben 25x25 km-Raster der Klimaprojektionen gerecht zu werden, bietet sich eine weitere Aggregation der 21 Vergleichsgebiete zu 8 Vergleichsgebietsgruppen an. In den Gebietsgruppen sind Vergleichsgebiete mit ähnlichen natürlichen Bedingungen bei Höhenlage, Oberflächenform, Boden, Klima und Vegetationszeit zusammengelegt [LEL 2012a].

### Vergleichsgebietsgruppen

- VGG 1 - Unterland/Gäue
- VGG 2 - Rhein/Bodensee
- VGG 3 - Schwarzwald
- VGG 4 - Alb/Baar
- VGG 5 - Allgäu
- VGG 6 - Oberland/Donau
- VGG 7 - Albvorland/Schwäb.Wald
- VGG 8 - Bauland/Hohenlohe



Numerische Darstellung: **Vergleichsgebiete** (VG)

Farbige Darstellung: Zusammenfassung der Vergleichsgebiete zu **Vergleichsgebietsgruppen** (VGG)

Abb. 3-1: Vergleichsgebietsgruppen Baden-Württembergs (farblich abgegrenzte Gebiete, Nummerierung in der Legende). Die Nummern in den Farbfeldern bezeichnen die einzelnen Vergleichsgebiete – s. folgende Seite [LEL 2012a]. Ihre standörtliche Charakterisierung ist in Teil B des Gutachtens dargelegt.

Die Vergleichsgebiete sind den Vergleichsgebietsgruppen wie folgt zugeordnet [LEL 2012a]:

**Vergleichsgebietsgruppe (VGG) Vergleichsgebiet (VG)**

1 = Unterland/Gäue	1 = Unterland/Bergstraße
	2 = Gäulandschaften und deren Randgebiete
2 = Rhein/Bodensee	3 = Rheinebene
	4 = Westlicher Bodensee
	9 = Östlicher Bodensee
3 = Schwarzwald	5 = Westschwarzwald
	6 = Hochschwarzwald
	7 = Ostschwarzwald
4 = Alb/Baar	8 = Baar
	14 = Geringere Alb
	15 = Heuberg
	16 = Westliches Albvorland
5 = Allgäu	10 = Allgäu
6 = Oberland/Donau	11 = Oberland
	12 = Donau-Iller
	13 = Bessere Alb
7 = Albvorland/Schwäb. Wald	17 = Neckar-Nagoldgebiet/ Nördliche Schwarzwaldrand- platte
	18 = Östliches Albvorland
	19 = Schwäbischer Wald
8 = Bauland/Hohenlohe	19 <sup>1)</sup> = Odenwald
	20 = Hohenlohe
	21 = Bauland

1) VG 19 Odenwald wurde zur Abrundung der Gebietskulisse VGG 8 zugeschlagen. Es handelt sich um die Gemeinden Mudau, Eberbach Stadt, Heiligkreuzsteinach, Waldbrunn, Heddesbach, Schönau Stadt, Wilhelmsfeld.

Die Vergleichsgebiete 2, 3 und 21 werden je nach Bodenqualität noch in a (besser) und b (geringer) unterteilt.

## 4 Vulnerabilitätsanalyse

### 4.1 CO<sub>2</sub>-Konzentration der Atmosphäre

#### 4.1.1 Auswirkungen auf Photosynthese und Ertrag

Die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Atmosphäre soll beim Emissionsszenario A1B im Jahre 2050 etwas über 500 ppm und im Jahr 2100 etwa 700 ppm betragen [IPCC 2007]. Derzeit sind es 390 ppm mit weiter steigender Tendenz.

Wenn Pflanzen mehr CO<sub>2</sub> angeboten wird, steigern sie ihre Photosyntheseleistung. C3-Pflanzen wie Weizen, deren CO<sub>2</sub>-Assimilationskapazität bei den derzeitigen Konzentrationen noch nicht gesättigt ist, können bei einer Verdoppelung des CO<sub>2</sub>-Gehalts ihre Netto-Photosyntheserate steigern und erzielen im Experiment einen Mehrertrag von 30% oder mehr [Schaller und Weigel 2007]. C4-Pflanzen wie Mais assimilieren CO<sub>2</sub> auf einem anderen Stoffwechselweg und sind darin bereits so effizient, dass sie von einem höheren CO<sub>2</sub>-Partialdruck kaum profitieren.

Die Schlussfolgerung „mehr Photosynthese im Experiment = mehr Biomassebildung = mehr Ertrag“ gilt nicht ohne weiteres. Die genannten Ertragssteigerungen um 30% wurden in gut kontrollierbaren Kammerexperimenten mit erhöhtem CO<sub>2</sub> erzielt. Auf die Ertragsbildung im Freiland wirken jedoch zum einen vielfältige Faktoren ein (Klima, Bodenart, Wasser- und Nährstoffversorgung, durchwurzelbarer Raum, Unkräuter, Pathogene u.a.), zum anderen treten kompensatorische biochemische und physiologische Mechanismen in Kraft [Schaller und Weigel 2007]. So bilden manche Pflanzen unter erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen weniger Ribulose-Bisphosphat-Carboxylase (das CO<sub>2</sub>-bindende Enzym). Außerdem führt die erhöhte Photosyntheseleistung nur dann zu höheren Erträgen, wenn sich andere Wachstumsfaktoren wie Licht, Wasser und Nährstoffe möglichst im Optimum befinden. Die Ausnutzung eines gestiegenen Ertragspotentials durch einen höheren CO<sub>2</sub>-Gehalt hängt entscheidend von den Faktoren Licht und Temperatur ab. Im Gemüse- und Zierpflanzenbau beispielsweise wird daher insbesondere in den Wintermonaten das Potential eingeschränkt sein [Jansen et al. 1998].

Experimente, in denen Kulturpflanzen unter hiesigen Verhältnissen im Freiland mit höheren CO<sub>2</sub>-Konzentrationen um 550 ppm begast wurden (FACE – free air carbon dioxide enrichment), zeigen, dass in der Tat mehr Ertrag erzielt wird, allerdings lediglich in der Größenordnung von 8-15 % [Schaller und Weigel 2007, Weigel und Manderscheid 2012]. Bei (Sommer-)Raps ist zwar das Gewicht der Schoten erhöht, nicht aber der Ölertrag, zumindest nicht in signifikantem Ausmaß [Franzaring et al. 2008].



Bei Grünland wurden Ertragssteigerungen zwischen 10 und 20% beobachtet, allerdings bei hoher Variabilität und in Abhängigkeit z.B. von Artenmischung und Nutzungsfrequenz. Auch bei Gräsern sinkt der Rohproteingehalt in der Blattmasse unter erhöhtem CO<sub>2</sub>-Angebot [Ehleringer et al. 2002; s. Kap. 4.1.3]. Höhere Ertragszuwächse wurden nur bei höherer Stickstoffdüngung erzielt [Übersicht in Soussana und Lüscher 2007]. Die bessere Stickstoffversorgung mag ein Grund dafür sein, dass stickstoffbindende Leguminosen stärker mit Ertragszuwachs auf einen höheren CO<sub>2</sub>-Gehalt reagieren als Gräser [Trnka et al. 2011, Soussana und Lüscher 2007, Campbell et al. 2000]. Krautartige Pflanzen und hier insbesondere Leguminosen haben tiefer reichende Wurzeln und sind daher besser zum Aufschluss von Wasser und Stickstoff in der Lage bzw. im Falle der Leguminosen zur eigenständigen Luftstickstoffbindung in Symbiose mit Knöllchenbakterien befähigt. Gras-Leguminosen-Mischungen haben bei gesteigertem CO<sub>2</sub>-Angebot einen höheren Biomasse- und Stickstoff-Ertrag. Wenn jedoch die Entwicklung der Leguminosen im Bestand nicht durch ungünstige Rahmenbedingungen, z.B. Phosphor- oder Wassermangel, behindert wird, haben sie einen höheren Ertragsanteil und eine intensivere N<sub>2</sub>-Fixierung. Soussana und Lüscher [2007] nehmen daher an, dass dadurch der sinkende Rohproteingehalt in den anderen Bestandskomponenten ausgeglichen werden kann.

Auch schnitten mit Mykorrhiza-Pilzen inokulierte Gräser besser ab als unmykorrhizierte. Versuche mit Deutschem Weidelgras (*Lolium perenne*) mit bzw. ohne Inokulation mit einem arbuskulären Mykorrhiza-Pilz (AMP) (*Glomus intraradices*) bei normaler bzw. verdoppelter CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre haben gezeigt, dass bei der Biomasse-Produktion zwischen den Faktoren AMP-Inokulation und CO<sub>2</sub>-Konzentration eine signifikante, positive Wechselwirkung bestand [Hartwig et al. 2002]. Die Symbiose hat also die Ertragssteigerung durch CO<sub>2</sub> verbessert. In der hohen CO<sub>2</sub>-Variante war die AMP-Besiedelung etwa doppelt so hoch wie bei normaler CO<sub>2</sub>-Konzentration. In einer zusätzlichen Variante mit einfacher bzw. dreifacher N-Düngung wurde sogar die Reaktion der Biomasse auf das hohe N-Angebot durch die AMP-Besiedelung verbessert.

Auch die AMP-Population im Boden kann durch Einflüsse des Klimawandels verändert werden und dadurch möglicherweise eine effizientere Symbiose ergeben. Sporenisolate aus Versuchsböden, auf die acht Jahre lang die normale bzw. doppelte CO<sub>2</sub>-Konzentration eingewirkt hatte, wurden an Weißkleepflanzen inokuliert. Man stellte eine höhere Gesamtstickstoff-Konzentration in Blättern derjenigen Kleepflanzen fest, die mit dem Isolat aus dem Boden der hohen CO<sub>2</sub>-Variante beimpft worden waren [Gamper et al. 2005]. Außerdem wiesen diese Kleepflanzen eine stärkere Stimulation der N<sub>2</sub>-Fixierung auf. Die Autoren nahmen an, dass die jahrelang höhere CO<sub>2</sub>-Konzentration AMP-Stämme selektiert hat, die den Wirtspflanzen halfen, ihren höheren N-Bedarf zu decken.

Die verstärkte Assimilation führt nicht nur zu mehr Ertrag, sondern auch zu mehr Biomasse, die auf dem Feld verbleibt. Dies könnte zur Humusreproduktion beitragen. Durch das höhere C/N-Verhältnis würde die Abbaubarkeit der Erntereste eher verlangsamt.

Im Gartenbau wird die CO<sub>2</sub>-Düngung zur Ertragssteigerung im Unterglasanbau seit langem eingesetzt. Die meisten gärtnerischen Kulturpflanzen zählen zur Gruppe der C3-Pflanzen und profitieren somit von höheren Werten. Mehr CO<sub>2</sub> führt auch zu Kulturzeitverkürzungen, wie zum Beispiel einer früheren Blüte bei Zierpflanzen [Bettin 2011]. Während für die Unterglaskulturen Kenntnisse zur ertragsfördernden Düngung mit CO<sub>2</sub> beispielsweise bei Tomaten [Jansen et al. 1998] und Gurken [Wonneberger und Keller 2004] sowie Elatiorbegonien [Horn 1996], Poinsettien [Zimmer 1991] und Rosen [Bettin 2011] vorliegen, fehlen Zahlen zur Auswirkung der Erhöhung des CO<sub>2</sub>-Gehalts auf die gärtnerischen Freilandkulturen in Freilandversuchen [Flessa et al. 2012]. Seit kurzem wird über FACE-Versuche der Einfluss einer um 20 % erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentration (500 ppm) im Freiland auf Zierpflanzen wie Calluna, Chrysanthemen und Pelargonien bearbeitet. Erste Ergebnisse zeigen ein verstärktes Pflanzenwachstum und eine früher einsetzende Blüte [Molitor, Forschungsanstalt Geisenheim, pers. Mitt.]. Untersuchungen zum CO<sub>2</sub>-Einfluss auf Gemüse im Freiland werden im Rahmen eines FACE-Projekts 2013 begonnen.

#### **4.1.2 Auswirkungen auf die Transpiration und das Bodenwasser**

Die erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentration ermöglicht eine geringere stomatäre Öffnungsweite, um CO<sub>2</sub> zu assimilieren. Dadurch geht weniger Wasser verloren und pro Einheit transpirierten Wassers wird mehr Biomasse erzeugt. Die höhere Photosyntheseleistung wird also durch eine verringerte Transpiration begleitet. Die höhere Wassereffizienz zeigt sich auch darin, dass unter erhöhtem CO<sub>2</sub> eine höhere Bodenfeuchte messbar ist. In FACE-Versuchen mit 550 ppm CO<sub>2</sub> gegenüber 375 ppm wurde die Wasserersparnis durch erhöhtes CO<sub>2</sub> auf ca. 5% für die gesamte Vegetationsperiode geschätzt [Weigel et al. 2007]. 550 ppm entspricht einer CO<sub>2</sub>-Konzentration, wie sie im Emissionsszenario A1B kurz nach 2050 erwartet wird. Durch die verbesserte Wassernutzungseffizienz profitiert sogar Mais von einer CO<sub>2</sub>-Erhöhung [Manderscheid et al. 2013]. Darüber hinaus steigen durch die verminderte Transpiration und die damit verbundene Verringerung der Verdunstungskühlung auch die Temperaturen im Blatt und im Bestand mit noch kaum untersuchten Folgewirkungen [Schaller und Weigel 2007].

#### **4.1.3 Auswirkungen auf die Qualität**

Mehr Ertrag, weniger Wasserverbrauch – sind unsere CO<sub>2</sub>-Emissionen also willkommener Kohlenstoffdünger für die Pflanzen und sparen sogar noch Wasser? Leider hat sich gezeigt, dass eine höhere CO<sub>2</sub>-Konzentration nicht nur positive Seiten hat. Die Qualität der

Ernteprodukte kann beeinträchtigt werden. Die verstärkte Aufnahme von Kohlenstoff bewirkt ein höheres C/N-Verhältnis der Pflanzen. Der Rohproteingehalt nimmt – abhängig vom Versuchssystem – um 4 bis 15 % ab [Högy und Fangmeier 2008, Manderscheid et al. 2008], was beispielsweise beim Weizen unmittelbar Auswirkungen auf die Qualitätseinstufung hat und den Marktpreis negativ beeinflusst. Mit sinkendem Proteingehalt nimmt die Dehnbarkeit des Klebers und damit auch des Teigs ab. Darüber hinaus gibt es Hinweise darauf, dass sich die Gehalte an Gluten, Gliadin, an Aminosäuren und einigen Makro- wie Mikronährstoffen verringern – mit Auswirkungen auf Klebereigenschaften, Teig- und Backqualität (z.B. Brotvolumen) sowie Nährwert. Albumine und Globuline sind weniger stark betroffen [Högy und Fangmeier 2008, Högy et al. 2009, Högy et al. 2013].

Möglicherweise handelt es sich bei der Verminderung des Proteingehalts nicht nur um einen „Verdünnungseffekt“ (mehr C- bei gleich bleibender N-Aufnahme), sondern auch um eine Störung der Nitrataufnahme [Bloom et al. 2010]. Es gibt Hinweise, dass der abnehmende Proteingehalt nicht ohne weiteres durch eine verstärkte Düngung von Stickstoff kompensiert werden kann [Wieser et al. 2008, Taub et al. 2008].

Bei Kartoffeln wurden ebenfalls qualitätsmindernde Effekte erhöhter CO<sub>2</sub>-Gehalte auf die Konzentration löslicher Zucker, von Protein, Aminosäuren und Nährstoffen beobachtet [Högy und Fangmeier 2009].

Braugerste hingegen könnte prinzipiell von einem verringerten Rohproteingehalt profitieren, denn die Mälzereien verlangen in der Regel einen Proteingehalt von unter 11,5%. Dieser Wert ist trotz vorsichtiger Düngung nicht immer einzuhalten, so dass eine tendenzielle Verringerung eher Vorteile brächte. Weitere Auswirkungen auf die Gerstenqualität sind freilich noch zu erforschen.

Bei Grünland verursachen verringerte Rohproteingehalte und ein weiteres C/N-Verhältnis eine geringere Futterqualität.

Doch es gibt durchaus auch positive Effekte höherer CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf die Qualität von Gemüse und Zierpflanzen. So bilden *Begonia-elatior*-Hybriden reichere Blüten sowie kräftigere Blatt- und Blütenfarben aus und weisen eine reduzierte Anfälligkeit gegenüber dem Grauschimmel auf [Zimmer et al. 1991]. Rosen besitzen unter anderem eine verbesserte Haltbarkeit geschnittener Stiele [Bettin 2011]. Gemüse entwickeln kürzere Internodien, kleinere, aber dickere Blätter und stärkere Seitentriebe und zeigen verstärktes Wachstum von Knollen, Rüben und Wurzeln [Schaller und Weigel 2007]. Bei Brokkoli verändern sich die Glukosinolatgehalte [Schonhof et al. 2007]. Chinakohl, Blattsalate und Sellerie reagieren mit einer durchaus erwünschten Abnahme des Nitratgehalts [Tzortzakis et al. 2007].

## 4.2 Temperatur

Eine Erhöhung der Temperaturparameter im Klimawandel hat mehrere Auswirkungen:

- Die Erhöhung der Jahresmitteltemperatur beeinflusst die Phänologie der Pflanzen, auch der Kulturpflanzen. Blütezeiten und andere Entwicklungsstadien verschieben sich im Jahreslauf zu früheren Zeitpunkten.
- Wärmeliebende Pflanzen finden bessere Wuchsbedingungen vor. Für manche Kulturen wie Soja können die Anbauggebiete ausgeweitet werden, andere künftig erst im Freiland bei uns angebaut werden.
- Nicht nur die mittlere Temperatur steigt, sondern auch die Wahrscheinlichkeit von extrem hohen Temperaturen (Hitze). Dies ist den Wuchsbedingungen in der Regel abträglich.
- Höhere Temperaturen in Herbst, Winter und Frühjahr können zu einer verminderten Kälteresistenz der Winterungen und Dauerkulturen führen. Die Folgen können Schäden durch Früh- und Spätfröste sein.
- Höhere Temperaturen führen auch zu einer höheren Evapotranspiration. Bei einem bereits vorhandenen Niederschlagsdefizit trocknet der Boden dadurch noch mehr aus.
- Höhere Temperaturen erhöhen die konvektive verfügbare potentielle Energie und damit die Wahrscheinlichkeit von Gewittern und Hagelschlag.
- Höhere Temperaturen beeinflussen nicht nur die Gesundheit der Kulturpflanzen selbst über Hitzestress und Witterungsereignisse, sondern auch Unkräuter, Schädlinge und Krankheitserreger. Im Grünland ist damit zu rechnen, dass tiefwurzelnde Unkräuter, wie z.B. Stumpfblättriger Ampfer zunehmen werden.
- Höhere Temperaturen beeinträchtigen Wohlbefinden und Leistung der Nutztiere, insbesondere dann, wenn Hitzebelastung mit hoher Luftfeuchte zusammentrifft. Schweine und Geflügel sind besonders empfindlich und können erhöhte Mortalitätsraten zeigen.
- Höhere Temperaturen erhöhen auch das Risiko, dass Tierseuchen, die bisher auf wärmere Regionen beschränkt waren, sich bei uns ausbreiten und etablieren können. Dies gilt insbesondere für Erkrankungen, die durch Vektoren (Insekten u.a. Arthropoden) übertragen werden.

### 4.2.1 Höhere mittlere Temperaturen

#### 4.2.1.1 Chancen

Höhere mittlere Temperaturen bieten auch Chancen für die Landwirtschaft Baden-Württembergs, insbesondere für den Obst-, Gemüse- und Weinbau. Im Obstbau wäre der Anbau von wärmebedürftigen Arten und Sorten umfassender als bisher möglich, auch von

qualitativ hochwertigen Apfelsorten (z.B. Braeburn oder Pink Lady). Ähnliches gilt für den Weinbau (Sorten mit höheren Temperaturansprüchen wie Syrah und andere Rotwein-Rebsorten). Hier erwartet man generell höhere Mostgewichte. Ein gängiges Maß, die Anbaueignung von Rebsorten für bestimmte Standorte und Lagen einzustufen, ist der so genannte Huglin-Index, ein Wärmesummenindex, der auf Tagesmittel- und Tagesmaximumtemperaturen beruht. Die Berechnung des Huglin-Index mit Hilfe der Klimaprojektionen ergab jedoch kein befriedigendes Ergebnis, da die errechneten Werte die tatsächlichen Gegebenheiten deutlich unterschätzen, wie stichprobenartige Vergleiche zeigten. Lediglich die Tendenz ist klar: Er wird zunehmen und damit die Anbaueignung wärmeliebender Rebsorten. Bessere Qualitäten von Steinobst, Walnuss und Tafeltrauben könnten erzielt werden. Die Bedeutung wärmeliebender Kulturarten (z. B. Artischocken, Paprika, Auberginen) im Freiland-Gartenbau wird zunehmen.

Arten und Sorten, deren Wärmeoptimum bisher nicht erreicht wurde, könnten bei uns das Angebotsspektrum erweitern. Sie würden nicht nur im Gewächshaus oder bevorzugten Wärmelagen, sondern auch im Freiland oder bisher kühleren Lagen anbauwürdig. Wärmeliebende Feldfrüchte wie Sonnenblumen, Soja oder Sorghum gewöhnen an Konkurrenzkraft (vgl. Zunahme der Wachstumsgradtage, Abb. 5-3). Neue Arten und Sorten könnten Landschaftsbild und Produktpalette bereichern, altvertraute Kulturen und Sorten nach Norden abwandern. Zu prüfen blieben allerdings andere möglicherweise begrenzende Faktoren, wie z.B. Ansprüche an die Tageslänge zur Blühinduktion.

Im Gartenbau kann der Beheizungsaufwand für Unterglaskulturen gesenkt werden. Eine Temperaturerhöhung führt im geschützten Anbau zu einem verminderten Einsatz von Heizenergie bei der Produktion von Jung-, Gemüse- und Zierpflanzen [Fink et al. o.J.]. Schätzungen besagen, dass der Heizenergieverbrauch bei einem Anstieg der Lufttemperatur um 1 Grad um etwa 7 % sinkt. Dies stellt einen groben Richtwert dar, der auf die individuelle technische Ausstattung der Produktionsstätten angepasst werden muss.

Salate, Radies, Rucola, Spinat sowie frühblühende Kulturen wie *Viola*, *Primula* und *Bellis* sind Kulturarten mit geringem Wärmebedürfnis. Der Anbau könnte abhängig vom Standort unter Folie und Glas weitgehend ohne Heizung stattfinden. Entscheidend hierfür ist auch die verminderte Anzahl von Frosttagen, die von 97 Tagen (Beobachtungsdaten) auf 78 Tage (nahe Zukunft) bzw. 50 Tage (ferne Zukunft) abnehmen sollen (Delta-Change-Werte, 50. Perzentil) [LUBW 2012]. Die Zahl der Frosttage ist bedeutend, da auftretender Frost bei den obengenannten Kulturen zu Qualitätseinbußen führen könnte.

Der Heizenergieersparnis gegenüberzustellen ist der steigende, zur Luftentfeuchtung notwendige Energieaufwand, um Krankheiten zu vermeiden. Dadurch wird je nach Bauart des Gewächshauses die eingesparte Heizenergie kompensiert [Dirksmeyer 2009].

#### 4.2.1.2 Verlängerung der Vegetationsperiode

Seit 1950 hat sich die Vegetationsperiode in Mitteleuropa durchschnittlich bereits um 10 Tage verlängert [EEA 2008]; sie beginnt vor allem früher. Verglichen mit dem Zeitraum 1961-1990 ist für die Periode 1991-2011 das Ährenschieben bei Winterweizen 10 Tage früher zu beobachten, bei der Wintergerste sind es 8 Tage. Winterraps blüht 7 Tage früher [Holz et al. 2012]. Dieser Trend wird sich den Klimaprojektionen zufolge auch in Zukunft fortsetzen. Manche Ackerbaukulturen wie z.B. Mais, Zuckerrüben, Kartoffeln oder auch Grünland könnten prinzipiell davon profitieren. Wenn der Frühling früher beginnt, können Sommerungen früher eingesät werden, um die Winterfeuchte und die Vegetationsperiode optimal auszunutzen. Die in den letzten Jahren zu beobachtende Erhöhung der Bodentemperaturen ist eine gute Voraussetzung für einen zügigen Aufgang der Saat (Abb. 4-1). Der sehr warme Sommer 2003 hat allerdings gezeigt, dass bei hohen Temperaturen und unzureichender Wasserversorgung das Wachstumspotential der Hackfrüchte nicht realisiert werden kann und mit deutlichen Ertragseinbußen gerechnet werden muss.

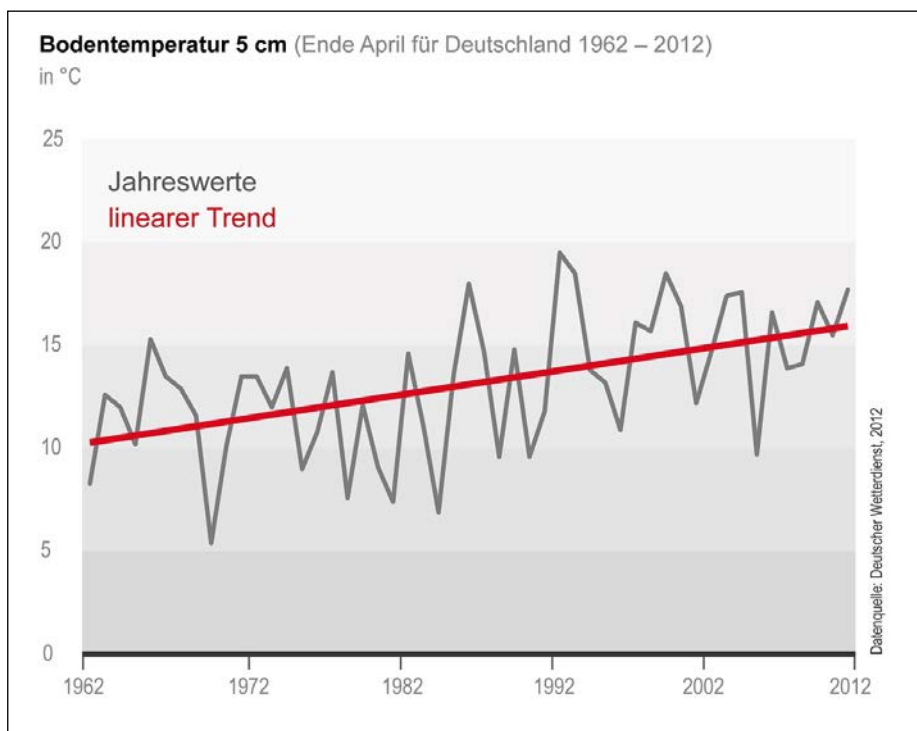


Abb. 4-1: Entwicklung der Bodentemperaturen in 5 cm Tiefe Ende April im Durchschnitt der Messungen in Deutschland von 1962 bis 2011 [© Deutscher Wetterdienst, Offenbach 2012]

Phänologie Golden Delicious (Weinsberg 1962-2009)

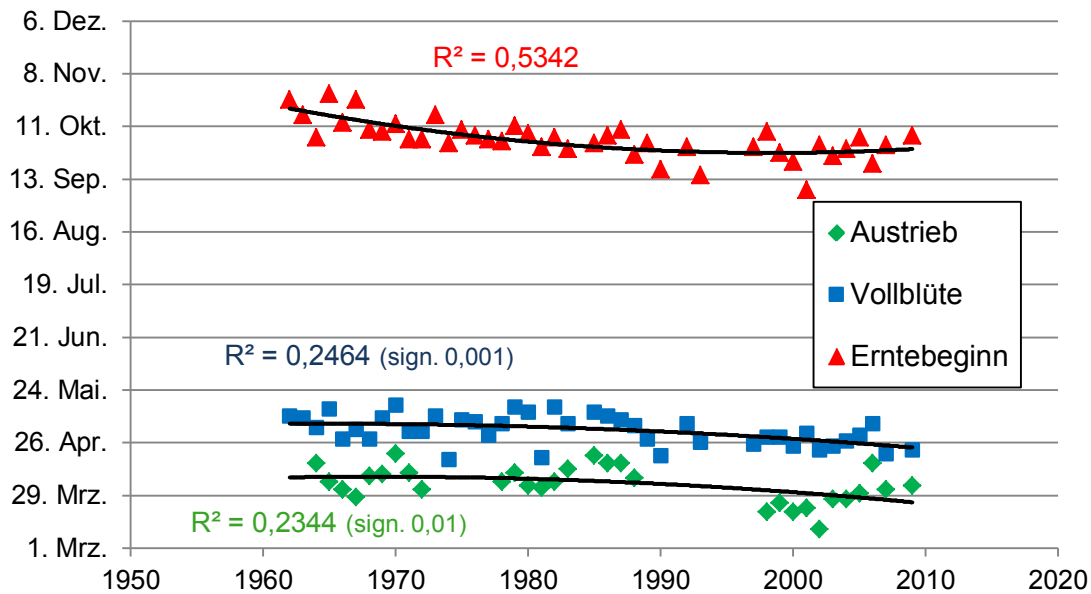


Abb. 4-2: Eintritt wichtiger phänologischer Stadien bei der Apfelsorte Golden Delicious am Standort Weinsberg (1962-2009). Austrieb, Blüte und Ernte beginnen heute 14 Tage früher als in den 1960er Jahren. Daten: Rupp und Rueß, LVWO Weinsberg.

Phänologie Riesling (Weinsberg 1948 - 2011)

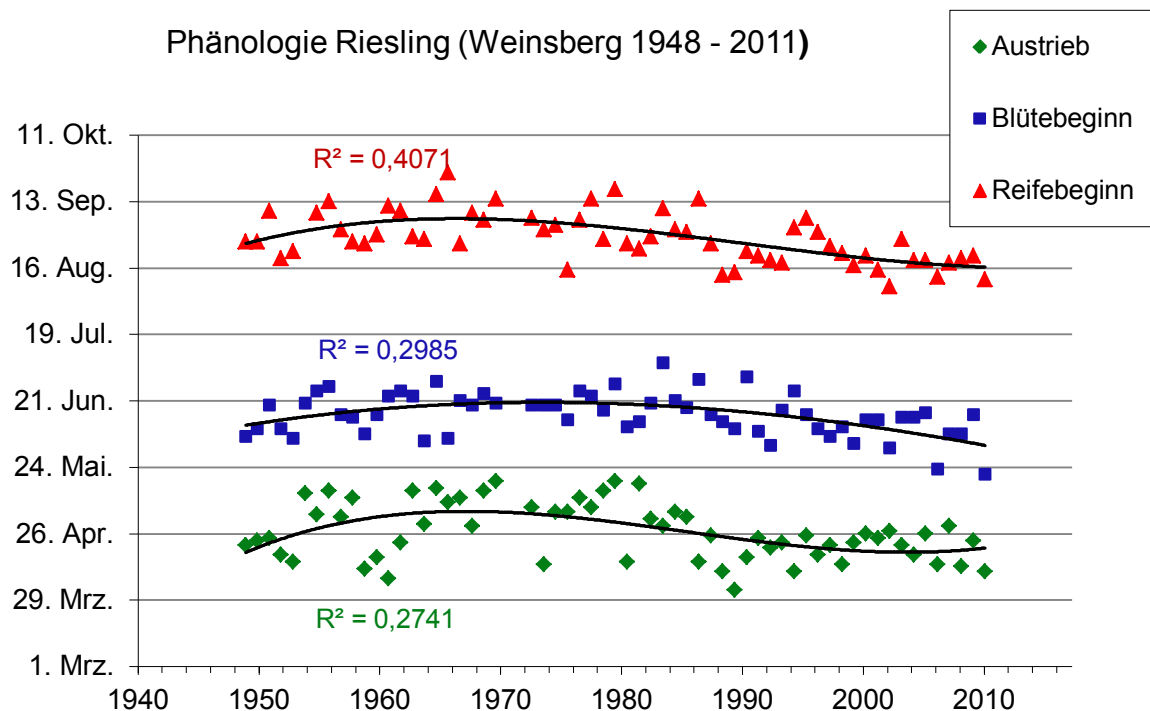


Abb. 4-3: Bei der Leitrebsorte Riesling haben sich wichtige phänologische Termine verschoben. Seit Ende der 1980-er Jahre setzen diese Stadien zunehmend früher ein. Daten: Rupp, LVWO Weinsberg.

Austrieb und Blüte bei Kernobst setzen bereits jetzt 10 Tage, die Erntereife z.T. 3 Wochen früher als vor 30 Jahren ein. Der Reife von Weintrauben beginnt z.T. 2 Wochen früher. Beispiele dafür zeigen Abb. 4-2 und 4-3. Die früher einsetzende Ernte bei Gemüse und Zierpflanzen ermöglicht eine bessere Marktbeschickung.

Höhere Temperaturen können auch genutzt werden, um bei gleichem Energieeinsatz eine Verfrühung der Produktion zu forcieren. So hat sich der Hauptabsatzzeitraum von Beet- und Balkonpflanzen aufgrund der Markterfordernisse in den letzten Jahren verfrüht [Fink et al. o.J.]. Die Ausweitung der Anbauzeiträume durch die frühere Ernte im Frühjahr bzw. die spätere Ernte im Herbst kann die Marktbeförderung verlängern, was wiederum mit Preisvorteilen und/oder einer kürzeren Lagerzeit einhergehen kann.

Grundsätzliche Veränderungen im Produktionssystem „Satzweiser Anbau im Freiland“ werden durch die prognostizierten Temperaturerhöhungen nicht erwartet. Der Anbauzeitraum im Frühjahr und im Herbst wird jedoch ausgeweitet werden. Viele Freilandgemüseulturen könnten trotz etwas geringerer Strahlung in diesen Zeiten ohne Ertrags- und Qualitätsverluste produziert werden [Fink et al. o.J.]. Bei Arten mit langer Wachstumsperiode führt eine längere Kulturdauer zu höheren Erträgen [Krug et al. 2002] bzw. ermöglicht den Anbau einer größeren Zahl kurzlebiger Arten in einem Jahr, d. h. eine größere Anzahl Sätze. Die Ausnutzung der längeren Vegetationsperiode bedingt freilich auch eine entsprechend erhöhte Düngung und gerade im Gartenbau eine ausreichende Wasserversorgung, die in der Regel nur durch Beregnung bzw. Bewässerung sicherzustellen ist.

#### 4.2.1.3 Nachteile höherer Durchschnittstemperaturen im Sommer

Getreidearten können eine längere warme Vegetationszeit nicht unbedingt in höheren Ertrag umsetzen. Getreide reift nach Erreichen einer bestimmten Wärmesumme ab. Je schneller diese Wärmesumme erreicht wird, desto früher wird die Druschreife erreicht. Bei höheren Durchschnittstemperaturen während der Vegetationsperiode wird die Kornfüllungsphase verkürzt. Wie statistische Untersuchungen der Universität Hohenheim ergaben [Franzaring et al. 2007], sinkt mit jedem Grad der Erhöhung der Durchschnittstemperatur der Monate März bis Juli der Getreideertrag um ca. 8% (Abb. 4-4). Vermutlich ist die Verkürzung der Kornfüllungsphase mit steigender Durchschnittstemperatur dafür die Hauptursache, eventuell verbunden mit selteneren Ereignissen der Notreife oder der Einwirkung von Extremtemperaturen (s.u.). Dieser Ursachenkomplex wird auch für die in den letzten Jahren in vielen Ländern Europas zu beobachtende Stagnation der Weizenerträge mit verantwortlich gemacht [Brisson et al. 2010].

Auch wenn die Kornfüllungsrate zunimmt und diesen Effekt teilweise kompensiert – der Ertrag sinkt [Schaller und Weigel 2007]. Die Qualität kann dennoch überraschend gut sein: Im heißen Juli 2006 machte der Weizen vielerorts eine schnelle Notreife durch. Die Körner waren zwar kleiner, die Proteingehalte jedoch relativ hoch. Darüber hinaus wurde mehr Gliadin als Glutenin



gebildet, und damit weichere Kleber und Teige mit guten Verarbeitungseigenschaften [Munzing 2007].

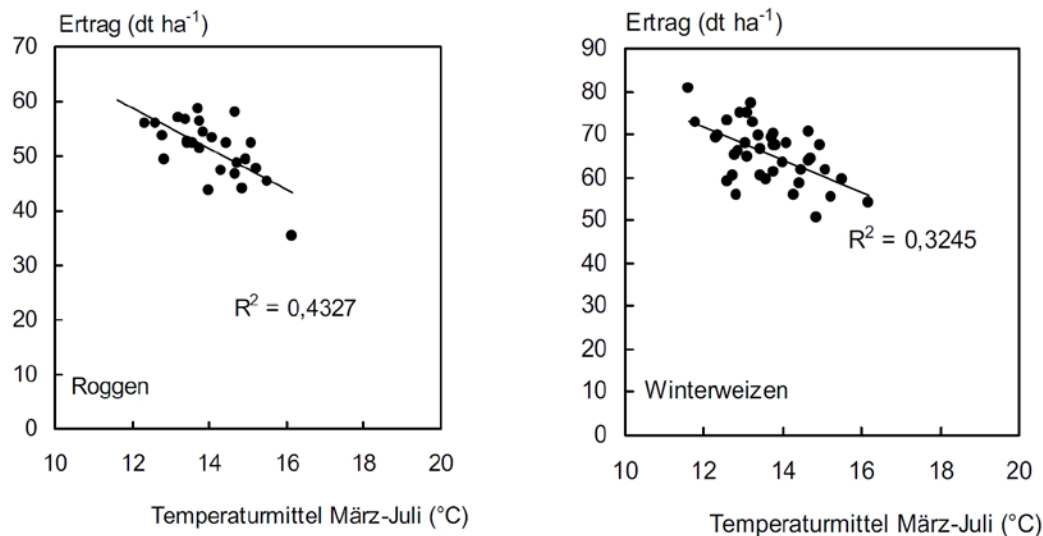


Abb. 4-4: Beziehung der in den 1990er Jahren in Südwestdeutschland erzielten Roggen- und Weizenerträge zur Mitteltemperatur der Monate März bis Juli. Pro Grad Temperaturerhöhung sank der Ertrag um 8%. Ertragsdaten der Kreise Karlsruhe, Stuttgart und Konstanz nach Angaben des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg; Klimadaten nach DWD [Franzaring et al. 2007].

Im Weinbau bedeuten höhere Temperaturen auch ein höheres Risiko für Traubenfäule, zu hohe Alkoholgehalte, eine veränderte Aromatik bei Weißweinen und zu niedrige Säurewerte. Die durch höhere Frühjahrstemperaturen beschleunigte Rebenvegetation nützt das größere Strahlungsangebot zur Bildung von Reservestoffen. Die Folge sind kompakte Trauben, die früher als sonst und damit bei höheren Temperaturen reifen. Verstärkt wird dies durch das gesteigerte CO<sub>2</sub>-Angebot. Dadurch nimmt die Fäulnisanfälligkeit zu. Bei weiterer Temperaturzunahme und steigenden CO<sub>2</sub>-Gehalten wird der Anbau von kompaktraubigen Rebsorten (Burgunder, Riesling) in Zukunft nur unter großen Anstrengungen möglich sein (Abb. 4-5).



Abb. 4-5: Essig-Fäule bei kompakten Burgunder-Trauben (Photo: Rupp, LVWO)

Gartenbaulich relevante Kulturpflanzen zeigen große Unterschiede in ihren Temperaturreaktionen, da sie aus unterschiedlichen Regionen der Erde stammen [Fink et al. o.J.]. Manche Arten können sich an Temperaturveränderungen anpassen, so dass z. B. innerhalb einiger Tage bis Wochen das Temperaturoptimum der Photosynthese mit steigender Lufttemperatur ansteigt.

Im Sommer ist mit einem erhöhten Kühlbedarf bei Gartenbaukulturen unter Glas zu rechnen. Insbesondere bei Gewächshäusern älterer Bauart, die auch in Baden-Württemberg als Kulturflächen vorwiegend genutzt werden, fehlen entsprechende technische Einrichtungen [Fink et al. o.J., Dirksmeyer 2009]. Dies bedeutet höhere Investitionskosten, die den geringeren Ausgaben für die Heizenergie gegenzurechnen sind.

Eine Vielzahl von Zierpflanzen reagiert auf eine Temperaturerhöhung insbesondere im späten Frühjahr und Sommer mit einer Abnahme der Blütengröße, der Blütenfärbung und der Stabilität der Triebe [Bettin 2011]. Ursache für die Qualitätsverluste ist das schnellere Wachstum und damit verbunden die oft unerwünschte Förderung des Streckungs- und des vegetativen Wachstums.

#### **4.2.1.4 Nachteile höherer Durchschnittstemperaturen im Winter**

Ein wärmeres Klima heißt aber auch – zumindest im Durchschnitt – wärmere Winter. Die durch höhere Temperaturen bedingte schnellere Vorwinterentwicklung kann zu Vergeilung, zu viel unproduktiver Blattmasse und zu weniger Ertragsanlagen bei Kulturpflanzen führen. Auch die Anfälligkeit für Auswinterung nimmt dann zu. Dabei handelt es sich um Schäden durch tiefe Temperaturen, die die beim Auftreten des Frostes vorhandene Frosttoleranz der Kulturart oder Sorte überfordern. Außerdem steigt die Gefahr, dass Unkräuter und Schadorganismen von den höheren Temperaturen profitieren und den Pflanzen verstärkt zusetzen. Bereits heute wird empfohlen, Wintergetreide nicht zu früh zu säen. Bei längeren Warmperioden ist es zukünftig sogar vorstellbar, dass der Vernalisationsbedarf mancher Kultursorten wie Getreide nicht mehr gedeckt wird und es zu einer mangelnden Blühinduktion kommt. Die notwendigen Temperaturen für die Vernalisation liegen für viele Kulturarten bei 0 bis 8 °C für 30-60 Tage (Winterweizen je nach Sorte auch darüber, Wintergerste auch darunter) [nach Geisler 1980 in Lütke Entrup und Oehmichen 2006]. Diese Temperaturen sollten für die nächsten Jahrzehnte noch erreicht werden.

Mit einer befriedigenden Frostgare der Böden wird nicht jedes Jahr zu rechnen sein. Als Frostgare wird ein poröser Bodenzustand bezeichnet, bei dem die Ausdehnungskraft des Eises das Gefüge – je nach Frost auch tiefreichend – gelockert hat. Besonders wirksam ist die Garebildung in Böden mit höherem Wassergehalt wie Löß-, Lehm- und Tonböden. Die

Frostgare verbessert gerade bei schweren Böden die Sauerstoff- und Wasserversorgung und kann somit positiv auf den Ertrag wirken.

Alle regionalen Klimamodelle rechnen mit einer Abnahme der Frosttage insgesamt und auch mit einem „Datum des letzten Frostes“ immer früher im Jahr, und zwar um ca. 7 Tage (nahe Zukunft) bzw. 20 Tage (ferne Zukunft) für Baden-Württemberg und das 50. Perzentil. Man muss sich allerdings darüber im Klaren sein, dass dies modellierte Durchschnittswerte über eine 30-Jahresperiode sind. Im Einzeljahr kann die Situation völlig anders aussehen! Hinzu kommt, dass die Modelle das Datum des letzten Frostes der Periode 1971-2000, für die beobachtete Werte vorliegen, um 15 Tage zu früh ansetzen und damit die für die Zukunft berechneten Termine vermutlich auch zu früh liegen.

Das Risiko von Auswinterungsschäden könnte also insgesamt geringer werden. Dennoch wäre es zu früh, sich auf Oliven und Zitronen als Alternativkulturen zu freuen. Es wird weiterhin Frostereignisse geben, wenn auch seltener, und diese können streng sein. Mindestens zwei unabhängige Untersuchungen haben einen Zusammenhang zwischen dem durch den Klimawandel verstärkten Abtauen des arktischen Meereises und dem Vordringen polarer Kaltluft nach Mitteleuropa postuliert [Petoukhov und Semenov 2010, Jaiser et al. 2012]. Durch das Tauen des Eises im Sommer im Nordpolarmeer erwärmt sich das Wasser stärker und gibt mehr und länger Wärme an die Atmosphäre ab. Im Herbst und Winter ist die Erwärmung bodennaher Luftschichten daher stärker und verändert übliche Luftdruck- und Zirkulationsmuster, wodurch der Luftdruck-Gegensatz zwischen Arktis und mittleren Breiten geringer wird und kalte arktische Luft bis Mitteleuropa vordringen kann. Wir müssen also trotz steigender Durchschnittstemperaturen und häufigerer milderer Winter auch weiterhin mit sehr kalten Wintern rechnen!

Die Gefahr der Auswinterung und von Spätfrostschäden in Getreide, Raps und Sonderkulturen ist damit in Deutschland auch 2090 nicht ausgeschlossen – eine Entwicklung, die bei immer früher einsetzender Blüte beispielsweise von Obstbäumen desto riskanter ist. Die Abhärtung der Pflanzen gegen kalte Temperaturen ist durch den früheren Vegetationsbeginn zum Zeitpunkt des Eintretens von Frostereignissen u.U. schon weitgehend abgebaut bzw. durch das spätere Vegetationsende noch nicht aufgebaut. Damit nimmt die Gefahr von Schäden durch Spät- und Frühfröste zu.

Mit steigenden Durchschnittstemperaturen verändert sich auch die Phänologie der Pflanzen. Die Rapsblüte z.B. hat sich in den letzten 50 Jahren um 7 Tage vorverlegt, beim Apfel sind es etwa 10 Tage [Holz et al. 2010, 2012]. Inwieweit die Vorverlegung der pflanzlichen Entwicklung und die Vorverlegung des letzten Frostes parallel verlaufen oder auseinander driften, ist eine offene Frage. In Österreich zeigte ein Vergleich der Zeitreihen der Tagesminima der Lufttemperatur mit den Zeitreihen der phänologischen Frühjahrsphasen, dass sich die letzten Frostereignisse rascher zu früheren Terminen hin verschieben als die Pflanzenphasen [Koch und Scheifinger 2004]. Im Obstbaugesamt des „Alten Landes“ hingegen ist der Trend beim

Blühbeginn dreier Apfelsorten pro Dekade um einen Tag schneller als der Verfrühungstrend beim Datum des letzten Frostes [Henniges et al. 2007]. Wenn der Termin des spätesten Nachtfrostes sich nicht mindestens in gleicher Weise verfrüht wie z.B. der Blühbeginn der Obstbäume, erhöht sich die Gefahr von Spätfrostschäden.

Dies ist insbesondere auch dann der Fall, wenn nach einem milden Winter, wie er in Zukunft häufiger zu erwarten ist, die Pflanzen bereits ihre Winterhärte verlieren und es dann doch noch zu einem Einbruch polarer Kaltluft kommt, was auch in der Zukunft möglich und eventuell nicht selten sein könnte (s.o.). In wärmeren Wintern werden die Niederschläge häufiger als Regen fallen und die Dauer der Schneebedeckung abnehmen. Fehlt dann eine schützende Schneedecke, sind Auswinterungsschäden bei Ackerbaukulturen vorprogrammiert (ähnlich wie im Februar 2012). Über die Schneebedeckung (z.B. Dauer, Höhe etc.) liegen keine regionalen Aussagen von Klimaprojektionen vor.

Erhöhte Wintertemperaturen haben sich auf den Spargelaustrieb in einigen Anbauregionen (z. B. in der Pfalz und der Rheinebene) in den letzten Jahren negativ ausgewirkt. Die Folge war ein verzögerter Saisonbeginn durch ungleichmäßigen Austrieb der Stangen, da vermutlich das Kältebedürfnis während der Ruhezeit des Spargels nicht erfüllt war [Fink et al. o.J.]. Durch eine weitere Temperaturerhöhung wird dies vermehrt auftreten. Hier sind neue Anbaustrategien in Anlehnung an den Anbau in den Tropen zu entwickeln, um Ertrags- und Qualitätsverluste zu vermeiden.

Vernalisationsempfindliche Kulturen wie Möhren, Sellerie, Lauch und andere neigen durch längere Phasen zwar frostfreier, aber niedriger Temperaturen leichter zum Schossen [Krug et al. 2002]. Im Zierpflanzenbau kann es zu einer zu raschen und schnell vergehenden Blüte mit der Folge einer Angebotsschwemme kommen [Jentzsch und Thal 2007].

Ein Teil der gärtnerischen Kulturpflanzen benötigt zur Anlage von Blüten relativ niedrige Temperaturen. Blumenkohl reagiert beispielsweise bei konstanter Temperatur über 16 °C sortenabhängig mit einer verzögerten Vernalisation und damit Kopfbildung. Bei Chrysanthemen führen hohe Nachttemperaturen zu einem verzögerten Blütenwachstum (sortenabhängig) [Bettin 2011].

#### **4.2.1.5 Pflanzenschutz**

Die Witterung im Verlauf eines Jahres hat einen großen Einfluss auf den Pflanzenschutz. Dabei versteht man unter Pflanzenschutz die Gesamtheit aller Bemühungen, Schäden und Leistungsminderungen von Pflanzen durch Schaderreger und nicht-parasitäre Schadursachen zu unterbinden oder abzumildern. Der Einfluss der Witterung auf die Gesundheit der Pflanzen erfolgt zum einen direkt über Witterungsextreme, die die Pflanzen schädigen (Frühfröste, Spätfroste, sehr tiefe Temperaturen im Winter, Hagel, starke Winde, Hitze, Trockenheit,

Starkregenereignisse). Alle witterungsbedingten Schädigungen erhöhen grundsätzlich die Anfälligkeit für Schaderreger. Zum anderen wirkt die Witterung indirekt auf die Schaderreger an Pflanzen (Krankheiten, Schädlinge, Unkräuter) über den Zeitpunkt und den Zeitraum des Auftretens, die Aktivität, das Rassen- und Artenspektrum und die Populationsentwicklung. Letztlich werden ebenfalls die Pflanzenschutzmaßnahmen selbst, die zur Abwehr von Schaderregern und zur Gesunderhaltung der Pflanzen ergriffen werden, und deren Erfolg von der Witterung beeinflusst.

Während der direkte Einfluss der Witterung auf die Pflanzen im Zuge des Klimawandels sehr gut abschätzbar ist, gestaltet sich dies für Krankheitserreger und Schädlinge an Pflanzen deutlich schwieriger. Die Entwicklung von bakteriellen und pilzlichen Schaderregern sowie deren Infektionsmöglichkeit wird zwar sehr stark vom Wetter, insbesondere von der Temperatur und der Blattnässedauer bestimmt [von Tiedemann und Ulber 2008]. Hier sind aber nicht längere Betrachtungszeiträume wie Monate oder Jahre relevant, sondern sehr kurze Zeiträume. So arbeiten viele Prognose- und Simulationsprogramme zur Vorhersage von Krankheiten mit Stundenwerten für die Temperatur und die Blattnässedauer. Kleine Veränderungen in der Blattnässedauer im Bereich von wenigen Stunden können beispielsweise darüber entscheiden, ob es zum epidemischen Auftreten von pilzlichen Erkrankungen wie dem Apfelschorf (*Venturia inaequalis*) kommt oder nicht.

Die Betrachtung dieser kurzen Zeiträume findet in den zugrundeliegenden Klimaprojektionen keine Berücksichtigung. Ähnliches gilt, wenn auch in etwas geringerem Ausmaß, für das Auftreten und den Befallsumfang durch tierische Schaderreger. Bei denjenigen Viruskrankheiten, die durch tierische Vektoren übertragen werden, ist eine Zu- oder Abnahme von der Anwesenheit und Aktivität der betreffenden Überträger (z. B. Blattläuse) abhängig. Dagegen wird das Vorkommen und vor allem die Artenzusammensetzung von Unkraut-/Beikrautgesellschaften eher von klimatischen bzw. standortkundlichen (Klima plus Boden und Bewirtschaftung) als von Witterungsparametern bestimmt.

Eine weitere wesentliche Erschwernis für die Abschätzung der künftigen Anpassungsnotwendigkeiten für den Pflanzenschutz ist, dass die Landwirtschaft auf den Klimawandel und auf die sich ändernden wirtschaftlichen Rahmenbedingungen reagiert und sich den jeweiligen Gegebenheiten anpasst. So ist derzeit nicht absehbar, welche „neuen“ Kulturen (z. B. Soja, Durchwachsene Silphie, Virginiamalve, Kaki) in Baden-Württemberg mittel- und langfristig in welchem Umfang angebaut werden. Da das Schaderregerspektrum neben der Witterung wesentlich von dem Vorkommen und der Häufigkeit von Wirtspflanzen bestimmt wird [Shaw und Osborne 2011], ist derzeit nicht absehbar, welche Schaderreger kurz- und mittelfristig Probleme bereiten werden und welche Bedeutung derzeit als problematisch betrachtete Schaderreger (z. B. *Ramularia collo-cygni*) künftig noch haben werden.

Darüber hinaus werden neue Sorten auf den Markt gebracht, die unter anderem neue Resistenzen und Anfälligkeiten besitzen. So haben vor 30 Jahren die Halmbasiserkrankungen und der Echte Mehltau große Probleme im Getreideanbau dargestellt, während sie heute mit den neuen Sorten fast keine Bedeutung mehr besitzen, ohne dass der Klimawandel daran beteiligt war. Dagegen hat der Ährenbefall mit *Fusarium* und der Befall mit *Septoria* in Getreide an Relevanz gewonnen. Auch die Schaderregerpopulationen reagieren auf Klimaänderungen, so dass es zu Verschiebungen in ihrer Virulenz/Aggressivität kommen kann [Milus et al. 2009; Pritchard 2011].

Schließlich sind auch die Produktionsverfahren in der Landwirtschaft Veränderungen unterworfen, die das Schaderregerauftreten beeinflussen. Beispielsweise führt eine nichtwendende Bodenbearbeitung, die Wasser konserviert und Erosion vermeidet, gegenüber der Bodenbearbeitung mit wendenden Geräten (z.B. Pflug) zu einem höheren Unkrautbesatz und einem verstärkten Auftreten von Fusarien in Getreidebeständen. Andererseits wurden dadurch auch krankheitsmindernde Effekte beobachtet, z. B. beim „*Syndrome de Basses Richesses*“ an Zuckerrüben. Der Anbau unter einem Regendach im Kirschanbau hat den Pilzbefall (z. B. *Botrytis*, *Monilia*) reduziert, den Befall mit tierischen Schaderregern jedoch vergrößert (z. B. Spinnmilben).

Außerdem muss man zwischen Klimawandelgewinnern und Globalisierungsgewinnern unterscheiden. Nicht jeder neu auftretende Schädling, Erreger oder jedes neue Unkraut ist auf den Klimawandel zurückzuführen. Globalisierungsgewinner sind Schaderreger, die mit den weltweiten Handelsströmen verbreitet werden. Dazu gehört der Westliche Maiswurzelbohrer, die Amerikanische Kirschfruchtfliege, die Walnussfruchtfliege, die Kirschessigfliege, der Buchsbaumzünsler, die Rosskastanienminiermotte, die Beifüßige Ambrosie oder der Erreger der Fruchtfäule und Spitzendürre, *Monilia fructicola*, ein Schlauchpilz. Ihr Auftreten in Baden-Württemberg hat nichts mit dem Klimawandel zu tun. Ihre Temperaturansprüche wären nach bisheriger Kenntnis auch ohne Klimawandel hierzulande bereits erfüllt. Sie könnten sich jedoch schneller und weiter ausbreiten.

Vorstellbar wäre, dass sich im Zuge der Erwärmung wärmeliebende Schaderreger aus dem Mittelmeerraum auf natürliche Weise unabhängig vom Menschen und seinen Handelsströmungen nach Baden-Württemberg ausbreiten. Schnellkäfer wie *Agriotes sordidus* (Abb. 4-6) sind neben der Platanennetzwanze oder der Pfirsichschildlaus jetzt schon Beispiele dafür. Mancher künftig eingeschleppte Erreger oder Schädling könnte freilich, durch den Klimawandel bedingt, auch bessere Lebensbedingungen vorfinden und sich etablieren.



Abb. 4-6: Der Schnellkäfer *Agriotes sordidus* könnte ein Beispiel für einen Klimawandel-Gewinner sein. Der wärmeliebende Käfer mit Schwerpunkt in Südeuropa hat sich nach Erstfängen 2002 vermutlich erst in den letzten Jahren in der Rheinebene ausgebreitet. Bisher wird er nicht in höheren und kühleren Lagen gefunden. Er kann durch vergleichsweise kurze Entwicklungszeiten schnell hohe Populationsdichten aufbauen. Die Schnellkäfer-Larven („Drahtwürmer“) sind nicht wählerisch: Sie fressen an Jungpflanzen und Wurzeln von Mais, Getreide, Kartoffeln und verschiedenen Gartenkulturen [Schneller und Albert 2010, Albert und Schneller 2010; Photo: Schrameyer, LRA Heilbronn].

Insgesamt betrachtet ist die Unsicherheit in der Vorhersage von Einflüssen des Klimawandels auf das mittel- und langfristige Auftreten von Schaderregern wegen der nicht vorhersehbaren Reaktion der Landwirtschaft so groß, dass man keine seriösen Angaben zu den für die Vulnerabilität wichtigen Faktoren Exposition, Sensitivität und potentielle Auswirkungen machen kann.

Einige Tendenzen lassen sich hinsichtlich des Klimafaktors Temperatur jedoch aufzeigen:

- Zunehmen werden wärmeliebende Krankheitserreger während der Vegetationsperiode. Dazu gehören Schadpilze, die mit trocken-warmen Bedingungen gut zurechtkommen, wie die Dürffleckenkrankheit der Kartoffel (*Alternaria solani*, *Alternaria alternata*), die Blattfleckenerreger in Mais (*Setosphaeria*, *Drechslera* spp., *Biploris* spp.), *Cercospora* (Zuckerrübe), die Echten Mehltaupilze sowie die Brand- und Rostpilze des Getreides (*Puccinia* spec., Abb. 4-7). Apfelschorf und Apfelmehltau werden durch trockene heiße Sommer gefördert.
- Abnehmen werden vermutlich in den Sommermonaten Pilze, die kühl-feuchte Bedingungen lieben, wie *Rhynchosporium* in Getreide, *Septoria*- und *Phoma*-Arten sowie die Kraut- und Knollenfäule. Zunehmend warm-trockene Frühjahrswitterung könnte im Weinbau den Befallsdruck durch *Phomopsis* verringern.
- Die Erwärmung fördert wärmeliebende phytopathogene Bakterien. Hierzu gehören insbesondere der Feuerbrand des Kernobstes (*Erwinia amylovora*), die Xanthomonaden und einige Weichfäuleerreger (*Dickeya* sp., *Pectobacterium* sp.), deren Temperaturoptima bei 28-30° C oder höher liegen. Durch diese Bakterien sind zunehmende Schäden zu erwarten,

da sie bei optimalen Temperaturen ein enorm hohes Vermehrungspotential besitzen. Ihre Zahl verdoppelt sich innerhalb von Stunden. Zudem stehen für ihre Eindämmung keine wirksamen Pflanzenschutzmittel zur Verfügung. Vorbeugende Hygienemaßnahmen und Quarantäne sind die einzigen, nur begrenzt wirksamen Abwehrmöglichkeiten.

- Durch die früher einsetzende Traubenreife bei höheren Temperaturen können im Weinbau neben Fäulniserregern (*Penicillium*, *Trichothecium* u.a.) vor allem Essigbakterien ein verstärktes Problem werden.
- Während milderer und feuchterer Winter ist die Entwicklung pilzlicher und bakterieller Krankheitserreger nicht unterbrochen. Krankheitserreger wie *Pseudomonas syringae*, Echter Mehltau, *Rhynchosporium*, Fuß- und Wurzelkrankheiten (*Fusarium*, *Gaeumannomyces*, *Pseudocercospora*) entwickeln sich dann weiter und können schon ausgangs Winter epidemisch auftreten.
- Im Weinbau führt der Befall durch holzerstörende Pilze zum Absterben der Rebstöcke (Esca-Krankheit). Hauptverursacher ist der wärmeliebende Mittelmeerfeuerschwamm (*Fomitipora mediterranea*, Abb. 4-8), der sich seit einigen Jahren immer weiter nach Norden ausbreitet.
- Weniger schädigend werden Pseudomonaden auftreten, die ein niedrigeres Temperatur-optimum haben (24 – 26 °C) und die aufgrund ihrer Eigenschaft, als Kristallisationskern für die Eisbildung dienen zu können, Frostschäden im Winter verstärken können.
- Eine Verlängerung der Vegetationsperiode begünstigt das Auftreten weiterer Generationen bei den tierischen Schaderregern. So trat der Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*) bislang nur mit einer Generation pro Jahr in Baden-Württemberg auf. Seit 2006 werden im warmen Oberrheingraben allerdings zwei Generationen beobachtet (bivoltine Rasse, Abb. 4-10). Arten, die schon jetzt in warmen Jahren zwei anstelle von einer Generation durchlaufen, werden dann regelmäßig zwei Generationen je Jahr haben. Dies werden unter anderem der Apfelwickler – mit teilweise schon drei Generationen – oder viele Borkenkäferarten sein. Im baden-württembergischen Weinbau dominierte bisher der einbindige Traubenwickler (*Lobesia botrana*). Seit einigen Jahren scheint nun auch der Wärmebedarf des Bekreuzten Wicklers (*Eupoecilia ambiguella*) flächendeckend erfüllt zu sein. Typisch für den Traubenwickler sind zwei Generationen („Heuwurm“, „Sauerwurm“). Seit einigen Jahren wird regelmäßig eine dritte Generation („Süßwurm“) beobachtet (Abb. 4-9). Aber auch Tagfalter, wie das Pfauenauge oder Wanderfalter wie *Helicoverpa armigera* treten früher im Jahr auf und vermehren sich stärker.
- Wärmeliebende Tiere, die bislang vor allem in tieferen Regionen (Rhein, Neckar) auftraten, werden künftig auch die Höhenlagen von Schwarzwald und Alb erobern (z. B. Schnellkäfer, Maikäfer).
- Die Generationsfolge vieler tierischer Schaderreger wird mit steigenden Temperaturen schneller werden. Das ist jetzt schon im Rheingraben zu beobachten, wo sich die Entwicklung der Maikäfer schneller vollzieht als in kühleren Regionen des Landes. Eine



zweijährige Generationsfolge wird dann einen großen Teil der Population betreffen. Vor allem bei Spinnmilben kann es zu einer rasanten Steigerung der Population durch mehrere Generationen kommen.

- Mildere Winter werden dazu führen, dass viele Schädlinge bessere Möglichkeiten für die Überwinterung haben und sich in diesem Zeitraum möglicherweise weiter vermehren. So können viele Blattläuse strenge Winter nur im Eistadium (holozyklisch) überdauern, so dass sich im Frühjahr nur relativ langsam eine Schädlingspopulation aufbaut. In wärmeren Wintern überdauern sie hingegen in großer Zahl im Larven- oder adulten Stadium, was zu einem frühen epidemischen Auftreten führt. Hierdurch erklärt sich auch das zunehmende Auftreten der Blutlaus im Obstbau, da sie im adulten Stadium überwintert und immer seltener durch strenge Winter dezimiert wird.
- Eher wärmeliebende Arten, wie Thripse und Zikaden, die bisher nur in Gewächshäusern überdauern konnten, werden das künftig vermutlich auch im Freiland können. Deckel- und Napfschildläuse (z. B. Maulbeerschildlaus) sowie Spinn- und Gallmilben werden weiter an Bedeutung gewinnen.
- Viele Schädlinge schädigen nicht nur durch ihre Fraß- oder Saugtätigkeit, sondern fungieren auch als Virusvektor. So ist bei einer Überwinterung der Tiere in großer Zahl mit einem verstärkten und früheren Auftreten von Viruskrankheiten zu rechnen. Darüber hinaus sind virusinfizierte Pflanzen oftmals auswinterungsgefährdet. Sie sterben daher in kalten Wintern ab, während sie milde Winter überleben. Damit stellen sie für die gesunden Pflanzen im Bestand ein hohes Inokulumpotenzial dar.
- Eine Zunahme der Arten- und Individuenzahlen bei den Zikaden und Blattsaugern führt zu einer verstärkten Ausbreitung von Phytoplasmen und Viren, die derzeit schon vor allem im Obst-, Wein- und Getreidebau Probleme bereiten (z. B. Apfeltriebsucht, Birnenverfall, Schwarzholzkrankheit bei Reben, Weizenverzweigung). Das Gelbverzweigungsvirus der Gerste – durch Blattläuse übertragen – war nach dem außergewöhnlich warmen Herbst und Winter 2006 im Folgejahr ein großes Problem.
- Durch eine Verlängerung der Vegetationsperiode können annuelle Unkräuter mehrere Generationen hervorbringen. Durch die mittel- und langfristige Erwärmung werden sich zunehmend wärmeliebende Arten (*Abutilon spp.*, *Datura spp.*, *Nicandra physalodes*, Hirsen) einstellen, ohne dass damit zu rechnen ist, dass derzeit vorhandene Arten verschwinden werden. Dadurch wird insgesamt das Unkrautartenspektrum zunehmen.
- Durch die milde Winterwitterung kommt es zu einer Weiterentwicklung der Herbstkeimer (z. B. Klettenlabkraut, Ackerfuchsschwanz). Sie erlangen damit im Frühjahr ein fortgeschrittenes Entwicklungsstadium, in dem sie schwerer bekämpfbar sind als zuvor.



Abb. 4-7: Braunrost an Weizen, Photo: LTZ



Abb. 4-8: Mittelmeerfeuerschwamm an Rebe, Photo: Kast, LVWO

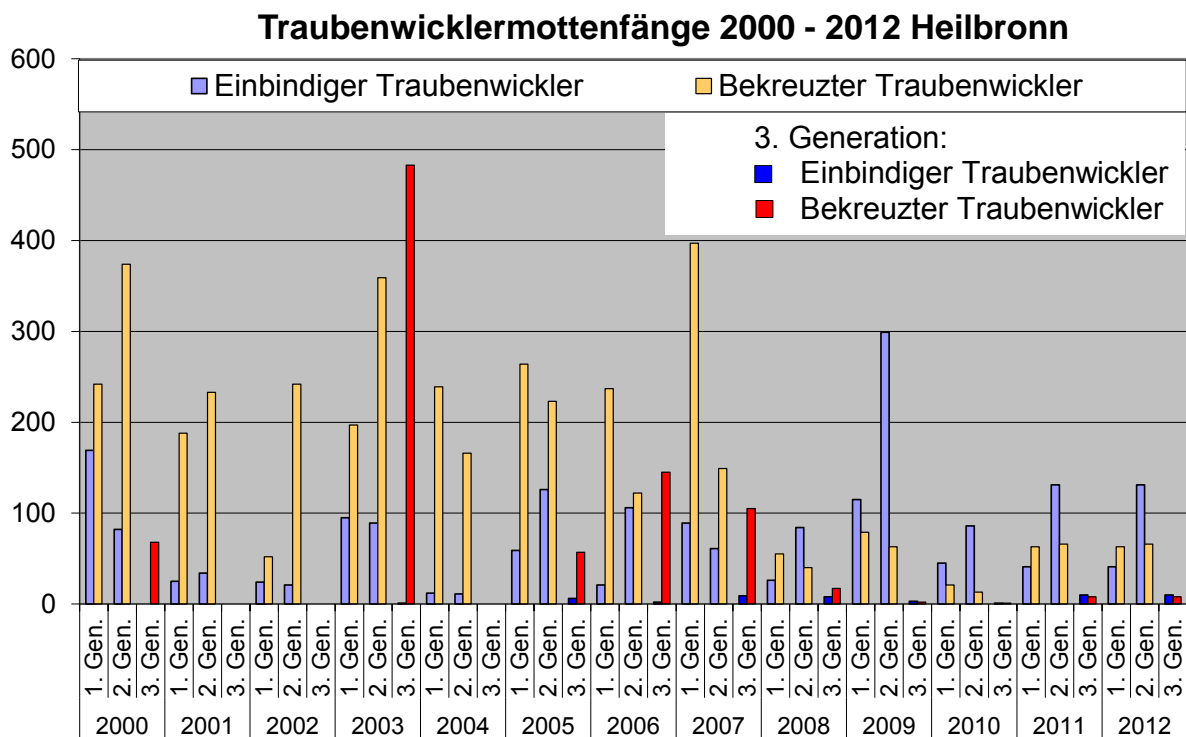


Abb. 4-9: Die dritte Generation der Traubenwickler-Arten, besonders des Bekreuzten Traubenwicklers tritt nur in den warmen Jahren auf (Durchschnittstemperatur April bis September >16 °C). Man beachte das Jahr 2003 (Daten und Graphik: K. Bleyer, LVWO).

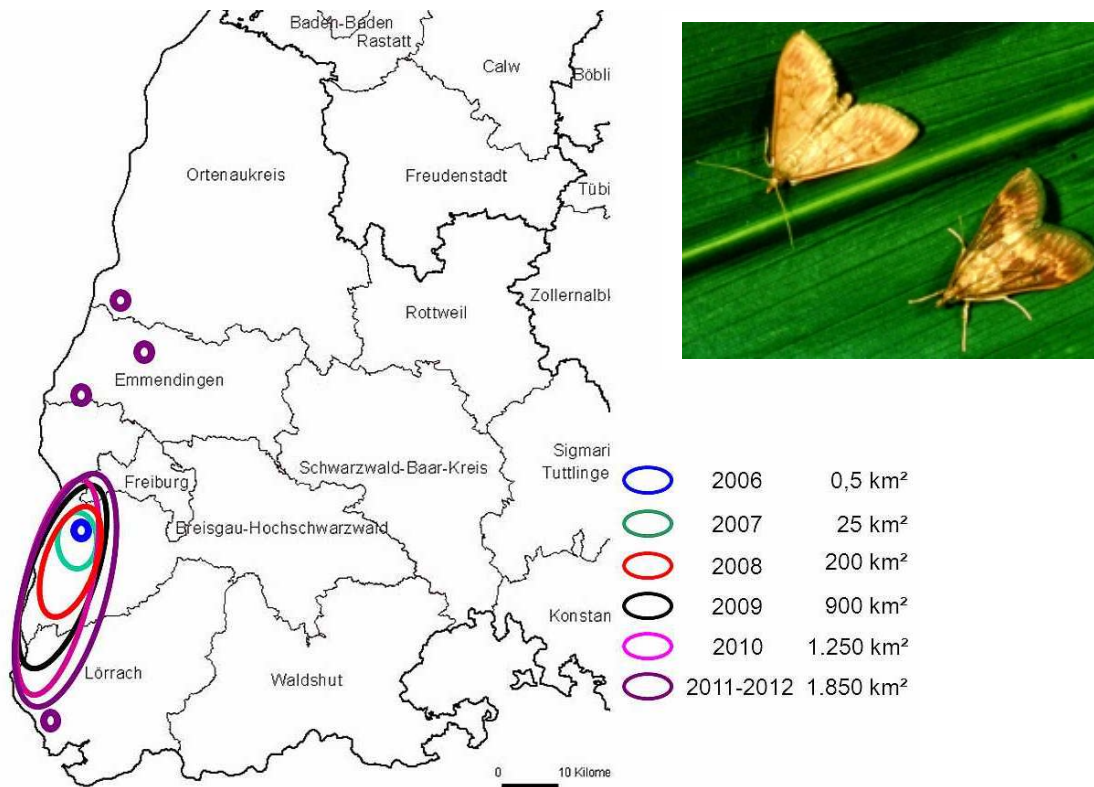


Abb. 4-10: Auftreten und Ausbreitung der bivoltinen Rasse des Maiszünslers am südlichen Oberrhein [nach F.-J. Kansy, LTZ]. Hierbei handelt es sich um eine Rasse dieses Kleinschmetterlings, die statt einer wie die bisher verbreitete Rasse zwei Generationen im Jahr ausbilden kann. Durch die bereits messbare Erwärmung der Region auch schon früh im Jahr wird der mögliche Entwicklungszeitraum länger. Die regional hohe Anbaudichte von Mais und eventuell auch zunehmender Verzicht auf den Pflug sind weitere begünstigende Faktoren. Sollten die Winter künftig allerdings feuchter werden, so wäre das den Überlebensbedingungen des Maiszünslers eher abträglich [Kansy, LTZ, pers. Mitt.]. Photo (LTZ): Maiszünsler, links (oben) Weibchen, rechts (unten) Männchen.

Durch die mittel- und langfristig zu erwartende längere Vegetationsperiode ist mit einem häufigeren Einsatz von Pflanzenschutzmaßnahmen gegen Unkräuter, Krankheitserreger und Schädlingen zu rechnen. Damit wird sich zwangsläufig die Einsatzhäufigkeit von chemischen Pflanzenschutzmitteln (Herbizide, Insektizide, Akarizide, Fungizide) erhöhen. Das gleiche gilt für die prognostizierte mildere Winterwitterung mit weniger Frosttagen, die die Schaderregerentwicklung über den Winter begünstigen. Damit ist künftig deutlich früher im Jahr mit hohen, bekämpfungswürdigen Schaderregerpopulationen zu rechnen.

Durch den häufigeren Einsatz von Pflanzenschutzmitteln gegen den gleichen Zielorganismus besteht die Gefahr, dass sich in dem Schaderreger Resistenzen gegen die eingesetzten Wirkstoffe entwickeln. Das gilt insbesondere in den Fällen, in denen nur wenige Wirkstoffe mit unterschiedlichem Wirkmechanismus zur Bekämpfung der Schaderreger zur Verfügung stehen. Eine derartige Situation tritt jetzt schon unter anderem bei der Bekämpfung der Trespe, des Rapsglanzkäfers, des Apfelschorfs, des echten Mehltaus bei der Rebe und der *Botrytis* bei

Erdbeeren auf. Die Entwicklung von Wirkstoffresistenzen schreitet selbst ohne Klimawandel fort. Durch einen witterungsbedingt häufigeren Einsatz wird diese Entwicklung forciert.

Die Temperaturerhöhung während der Vegetationsperiode wird in Verbindung mit einer geringeren Anzahl von Niederschlagsereignissen und möglicherweise höheren Strahlungsintensitäten dazu führen, dass die Wachsschicht der Pflanzen auf der Epidermis dicker wird. Damit ist mit einer verringerten und verzögerten Aufnahme der Pflanzenschutzmittel zu rechnen, die über den Spross aufgenommen werden. Das führt bei Blattherbiziden zu einer Minderwirkung bei der Unkrautbekämpfung beziehungsweise einer reduzierten Schutzwirkung von systemisch wirksamen Fungiziden und Insektiziden. Darüber hinaus nimmt mit der Zunahme der Temperatur die Verflüchtigung von Wirkstoffen in die Luft zu. Dadurch ist zum einen mit deutlichen Minderwirkungen von Pflanzenschutzmitteln zu rechnen, zum anderen mit einer höheren Belastung der Luft durch Pflanzenschutzmittel und ihre Abbauprodukte.

Bodenherbizide wirken bei Trockenheit schlechter wegen der verminderten Wirkstoffaufnahme durch die Zielpflanze bzw. wegen Inaktivierung durch Festlegung an Bodenpartikeln. Fungizide und Insektizide unterliegen neben der Abdampfung zum Teil auch einem schnelleren Abbau durch UV-Licht. Damit ergibt sich eine verminderte Wirkung, z. B. gegen die Larven des Kartoffelkäfers. Durch die suboptimale Wirkstoffkonzentration trägt dies auch zu einer Verschärfung der bestehenden Resistenzprobleme bei, z. B. bei der Wirkung gegen Rapsglanzkäfer [LfL 2013].

Pflanzenschutzmaßnahmen wie die Solarisation, die bislang keine Bedeutung hatten, können mittel- und langfristig durch die Temperaturerhöhung an Bedeutung gewinnen. Bei der Bodensolarisation werden durch die Einwirkung der Sonnenhitze an der Bodenoberfläche lebende Schaderreger (Pilze, Bakterien, Nematoden und andere Schädlinge) abgetötet. Auf diese Weise wird das Inokulum im Boden, das die sich entwickelnden Pflanzen bedroht, reduziert.

#### 4.2.2 Hitze

Die Klimaprojektionen berechnen parallel mit der ansteigenden Durchschnittstemperatur eine Zunahme der Anzahl von Tropentagen: Im Durchschnitt Baden-Württembergs steigt die Anzahl von derzeit 3,8 Tagen im Mittel der Modelle auf 6,2 in der nahen und 26,6 Tage in der fernen Zukunft. Regional sieht die Hitzebelastung noch deutlich anders aus: Im Oberrheingraben verdoppelt sich in der nahen Zukunft die Zahl der heißen Tage auf ca. 20 Tage, in der fernen Zukunft werden 35-40 Tage erreicht – im 50. Perzentil der Modellergebnisse. Wird das 85. Perzentil betrachtet (hier liegen noch 15% der Modellergebnisse darüber), dann ist bereits 2021-50 mit ca. 40 und 2071-2100 mit mehr als 60 Hitzetagen in der Region zu rechnen. Die derzeitigen globalen Emissionen treibhausrelevanter Gase lassen eher das 85. Perzentil als realitätsnah erscheinen. Werte von 40-50 Hitzetagen im Oberrheingraben wurden im

Rekordsommer 2003 erreicht und werden den Projektionen zufolge gegen Ende des Jahrhunderts zu einem normalen Sommer gehören.

Neben der ansteigenden Anzahl der Tropentage treten den Berechnungen zufolge die heißen Tage sowohl früher, als auch später im Jahr auf als bisher. Im 85. Perzentil für Baden-Württemberg muss man im Juni mit durchschnittlich vier in der nahen Zukunft und acht heißen Tagen in der fernen Zukunft rechnen, in regionalen „Hitzeschwerpunkten“ sind es acht bzw. 12 Tage. Mit den ansteigenden Temperaturen verlaufen die Entwicklungsvorgänge der Pflanzen auch schneller. Hier wird die Frage sein, wie sich die Verschiebung der empfindlichen Entwicklungsphasen der Pflanzen zu früheren Zeitpunkten hin und die Zunahme der heißen Tage in Mai und Juni „einpendeln“.

Neben höheren mittleren Temperaturen können auch extrem hohe Temperaturen Ertrag und Qualität beeinträchtigen. Die Wirkung hoher Temperaturen ist vielfältig.

Ab ca. 30°C steigen die CO<sub>2</sub>-Verluste aus der so genannten Photorespiration im Blatt – einer enzymatischen Nebenreaktion des CO<sub>2</sub>-bindenden Enzyms Ribulose-Bisphosphat-Carboxylase – exponentiell an und vermindern die Effizienz der Photosynthese stark. Es kommt zu Wachstumsstockungen und geringem Ertragszuwachs, ggf. werden sogar gebildete Kohlehydratverbindungen wieder veratmet. C<sub>4</sub>-Pflanzen können durch besondere histologische und physiologische Anpassungen diesen Verlust an CO<sub>2</sub> vermeiden und damit das Temperaturoptimum des eigentlichen Photosynthesevorgangs voll ausnutzen, das bei 30-35°C liegt. Diese Temperaturen führen bei Mais noch nicht zu Wachstumseinbußen [Wahid et al. 2007]. Es gibt allerdings auch Hinweise darauf, dass Mais bereits bei häufigen und längeren Temperaturen von 29-30 °C mit Ertragseinbußen reagiert und hitzebedingt sein globales Ertragspotential in den letzten Jahren nicht ausschöpfen konnte [Schlenker und Roberts 2009, Lobell und Field 2007].

Das Optimum der Photosynthese liegt daher bei C<sub>4</sub>-Pflanzen wie Mais bei höheren Temperaturen als bei C<sub>3</sub>-Pflanzen. Außerdem ist ihre Hitzetoleranz größer. Daher ist zu vermuten, dass bei wärmeren Sommern und auch bei einer Zunahme der Hitzeextreme ihre Konkurrenzkraft bei uns zunehmen wird. Allerdings wird bei C<sub>3</sub>-Pflanzen unter erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen das Temperaturoptimum der (lichtgesättigten) Photosynthese angehoben [Schaller und Weigel 2007], was ihre Konkurrenzkraft in Zukunft zumindest unter nicht-extremen Temperaturbedingungen wiederum stärkt.

Der Temperaturabstand zwischen noch funktionierender Photosynthese und irreversiblen Hitzeschäden durch Denaturierung von Proteinen ist nicht groß. Bei Temperaturen über 35°C treten daher biochemische „Notprogramme“ in Aktion, die die Denaturierung wichtiger Proteine verhindern sollen: Hitzeschockproteine werden synthetisiert, die z.B. den Photosyntheseapparat schützen. Allerdings werden im Gegenzug die normalen physiologischen Abläufe abgeschaltet oder zumindest auf Sparflamme geschaltet [Schulze et al. 2002].

Entscheidend für diese physiologischen Prozesse ist die Temperatur im Blatt. Die Aufnahme von CO<sub>2</sub> über die Spaltöffnungen ist immer auch mit einem Verlust an Wasser gekoppelt. Steht ausreichend Wasser zur Verfügung, so kann über die damit einhergehende Transpirationskühlung die Blatttemperatur gegenüber der Umgebungstemperatur um mehrere Grad gesenkt werden. Eine meteorologisch gemessene Lufttemperatur von 35°C muss deshalb noch nicht für die Blatt-Temperatur gelten. Das heißt umgekehrt aber auch, dass Wassermangel bzw. Trockenheit die Effekte hoher Temperaturen erst zum Tragen bringt bzw. verschärft.

Der optimale Temperaturbereich für Wachstum, Entwicklung und Reife bei Weizen liegt zwischen 20 und 25 °C [Porter und Gawith 1999]. Getreide reagiert auf widrige Wachstumsbedingungen in der Reifephase mit einer so genannten Notreife. Die noch verfügbaren Ressourcen werden in „die nächste Generation“, also ins Korn gesteckt, die Körner werden schneller reif, die Kornfüllungsphase wird dadurch verkürzt. Die Körner bleiben kleiner, der Ertrag ist geringer. Auslöser für eine solche Reaktion können Hitzeperioden, aber auch Trockenheit oder oft eine Kombination aus beiden Stressoren sein. Wenn die Lufttemperaturen 30 °C längere Zeit und häufig überschreiten (wie im Juli der Jahre 2006 und 2010), muss mit Notreifereaktionen gerechnet werden.

Bei Raps wird der Ölgehalt vermindert. Die Fettsäure-Zusammensetzung bei Rapsöl hängt unter anderem von der Temperatur während der Wachstumsphase ab. Hohe Temperaturen begünstigen einen höheren Anteil gesättigter Fettsäuren, während ernährungsphysiologisch erwünschte ungesättigte, gerade auch mehrfach ungesättigte Fettsäuren abnehmen [Deng und Scarth 1998]. Unter Umständen spielen hohe Nachttemperaturen während der Körnerbildung des Rapses eine wichtige Rolle. So hat der Linolensäuregehalt mehrerer Rapsorten im Schweizer Mittelland innerhalb von acht Jahren um 25 % abgenommen. Die Tiefsttemperaturen im Monat Juni sind an den entsprechenden Standorten in den letzten 20 Jahren um 2,6 Grad gestiegen [Pellet et al. 2008].

Kartoffeln sind – möglicherweise durch ihre Herkunft aus den Anden Südamerikas – an kühlere Klimate adaptiert und reagieren auf Hitzeperioden mit empfindlichen Ertragseinbußen. Zuckerrüben weisen unter Hitzestress erhöhte Amino-N-Gehalte auf.

#### **4.2.2.1 Hitzeempfindlichkeit in sensiblen Entwicklungsphasen**

Die meisten Kulturpflanzen sind in bestimmten sensiblen Phasen für Hitzestress besonders empfindlich. Die Ausdifferenzierung von Pollen und Ovarien und die Blütenentfaltung sind solche Phasen, in denen auch kurzfristige Temperaturanstiege auf über 30 °C zu einem dramatischen Rückgang der Kornzahl in Getreide führen können (Abb. 4-11). Im Hitzesommer 2003 (s.u.) wurden solche Temperaturen regional bereits im Juni während der Blütenentfaltung erreicht. Derartige Effekte sind auch für Tomaten und Raps bekannt (Entwicklung von Pollen,

Antheren, Ovarien und Samenansatz) [z.B. Peet et al. 1998, Polowick und Sawhney 1988, Young et al. 2004].

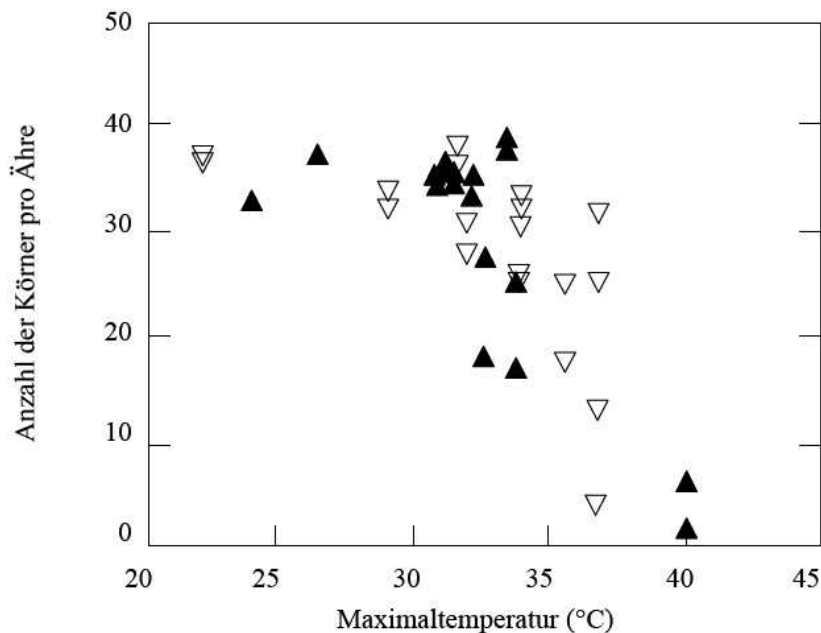


Abb. 4-11: Beziehung zwischen der Kornzahl pro Ähre bei Winterweizen und der maximalen halbstündigen Temperatur in den letzten 5 Tagen vor der Anthese. Die schwarz gefüllten Symbole repräsentieren erhöhte atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentrationen während des Pflanzenwachstums. Quelle: Wheeler et al. [1996]: J. Agric. Sci. 127, 37-48; zitiert in: Weigel et al. [2007].

Dies gilt auch für Grünland: Hohe Temperaturen reduzierten in einem Langzeitversuch der Kansas State University die Gras-Biomasse nur während einer kritischen Phase von 25 Tagen zwischen 9. Juli und 2. August. Obwohl nur in dieser kurzen Zeitspanne wirksam, konnten Hitzewellen starke Ertragseinbußen hervorrufen. Pro 1 Grad Anstieg der maximalen Tages-temperatur in dieser Periode sank die oberirdische Netto-Primärproduktion um 19,6 g/m<sup>2</sup>. Vor dem 9. Juli und später im August waren Hitze-Effekte gering und variabel.

Entscheidend ist also, wann in naher und ferner Zukunft die Hitzephase auftreten und ob sie während der empfindlichen Entwicklungsphasen der Kulturpflanzen – die sich wegen der Veränderung der Phänologie verschieben werden – häufiger auftreten.

#### 4.2.2.2 Hitzestress in Obst- und Gartenbau

Hitzestress kann auch im Obst- und Gartenbau zu erheblichen Qualitätsproblemen führen. In Verbindung mit einer hohen Sonneneinstrahlung können an der Pflanzenoberfläche Temperaturen erreicht werden, bei denen es zu einer Schädigung der Proteine und damit der Stoffwechselfvorgänge kommt, die sich in Qualitätsverlusten bemerkbar machen. Temperaturen über 30 °C führen zu Ertragsrückgängen durch schlechte bzw. fehlende Blütenauslösung, mangelnde Befruchtung und Fruchtqualitätsverluste wie Blütenendfäule, Grünkragen bei Tomaten und schlechte Ausfärbung bei vielen Unterglaskulturen (z. B. Tomate, Gurke, Stangenbohne, Paprika) [Krug et al. 2002, Schaller und Weigel 2007]. Gurken erleiden bei einem Temperaturmaximum um 40 °C – dies kann in Sommermonaten durchaus in Gewächshäusern auftreten – nach 1-2 Stunden Schäden durch Austrocknung bei zu hoher Verdunstung und gleichzeitig unzureichendem Wassernachlieferungsvermögen. Dabei wird zuerst die Triebspitze geschädigt, und es treten sogenannte Brennköpfe auf.

Möhren zeigen oberhalb von 28 °C verminderten Zuwachs. Die Qualität von Radies und Kohlrabi wird durch schnell auftretende Pelzigkeit beeinträchtigt. Bei Spargel kann bei extremer Hitze die Anzahl dünner oder auch hohler Stangen zunehmen [Krug et al. 2002].

Das Auftreten von Sonnenbrand durch starke Sonneneinstrahlung erfolgt beispielweise bei Kohl, indem äußere Blätter verbleichen und papierartig werden und beschädigte Blätter absterben [Tzortzakis et al. 2007]. Salat weist ähnliche Symptome auf.

Hohe Temperaturen können zu erhöhter Glasigkeit durch die Einlagerung von Wasser in die Zellen z. B. bei Äpfeln führen und Einfluss auf die Lagerfähigkeit der Früchte haben. Beim Sonnenbrand von Äpfeln scheint selbst die Hitzeschock-Protektion überfordert zu sein. Mit Apfel-Sonnenbrand (Abb. 4-12) muss an exponierten Baumstellen bei einer Lufttemperatur von ca. 30 °C und einer korrespondierenden Fruchtemperatur von >40 °C gerechnet werden [Yuri et al. 2004]. Bei der Birne kann es zu Fruchtdeformationen und -schäden kommen (z.B. Orangenhäutigkeit).





Abb. 4-12: Sonnenbrand an Äpfeln (Elstar) und Trauben (Trollinger). Photos: Rupp, Rueß (LVWO)

#### 4.2.2.3 Hitzestress und Wasserversorgung

Die Hitzeempfindlichkeit bzw. -toleranz ist kein isoliertes Phänomen, sondern immer im Zusammenhang mit der Wasserversorgung zu sehen, sei es über Niederschläge oder über Bodenwasservorräte, die wiederum von den Bodeneigenschaften abhängen (vor allem Bodenart und nutzbarer Feldkapazität). Hitze wirkt umso schlimmer, je weniger eine Transpirationskühlung Abhilfe schaffen kann, d.h. je trockener es ist. Trockenschäden und Hitzeschäden treten in Wechselwirkung und können sich verstärken. Darüber hinaus ist die Anfälligkeit gegen Hitzestress auch eine Sorteneigenschaft und damit züchterisch zu beeinflussen.

Das Klima der genetischen Herkunftsregion der jeweiligen Kulturart lässt in Grenzen Rückschlüsse auf ihre Hitzetoleranz zu. Deshalb sind Raps und Kartoffeln relativ hitzeempfindlich. Zuckerrüben benötigen zwar eine relativ warme Vegetationsperiode für einen optimalen Zuckerertrag, vertragen aber hohe Temperaturen, vor allem in Verbindung mit Trockenheit, nicht gut.

Ähnliches gilt für Grünland. Hier geht es zum einen um spezielle Arten, die durchaus unterschiedliche morphologische Eigenschaften aufweisen können. Knautgras z.B. hat eine dicke Kutikula und gilt ebenso wie Rohrschwengel und Wiesenrispe im Gegensatz zu Deutschem Weidelgras als deutlich trockenheitsverträglicher. Grünlandbestände als Gesamtheit reagieren dagegen aber weit anpassungsfähiger als Einzelarten, denn wenn flachwurzelnde Grasarten wie z.B. Gemeine Rispe durch fortschreitende Trockenheit wegfallen, so können auftretende Lücken durchaus von tiefwurzelnden Arten mit besserer Trockenheitstoleranz oder

Arten mit dickerer Kutikula ersetzt werden. Der Bestand als solches ist immer noch in der Lage, ausreichend Futter – allerdings meist schlechterer Futterqualität – zu bilden.

Die Getreidearten sind etwas toleranter, zeigen aber mit zunehmender Hitze auch Ertragsdepressionen. Roggen hat einen recht großen Toleranzbereich, von feucht-kühler Witterung bis zu Trockenheit. Bei Weizen ist die Toleranz stark sortenabhängig, er zeigt aber in der Regel bei hohen Temperaturen Ertragsdepressionen (s.o.). Wintergerste gilt als relativ hitzetolerant.

Pflanzen subtropischer Herkunft, zumal vom C4-Photosynthese-Typ, sind hingegen ziemlich hitzetolerant: Mais, Hirsearten, auch Soja oder gar Baumwolle [Wahid et al. 2007]. Mais und Soja können ihr Ertragspotential freilich nur entfalten, wenn genügend Wasser zur Verfügung steht – Hitzetoleranz hin oder her. Hirse (*Sorghum* spp.) verträgt Trockenheit etwas besser [Stolzenburg und Monkos 2012].

Fazit: Über 30 °C (Lufttemperatur) zeigen fast alle bei uns angebauten Kulturpflanzen bereits Ertragsdepressionen, ab 35 °C kommen nur noch hitzetolerante Kulturen und Sorten einigermaßen klar, ab 40 °C muss man mit irreversiblen Schäden rechnen.

#### 4.2.2.4 Hitzestress und Schweinehaltung

Schweine besitzen keine Schweißdrüsen, somit haben die Tiere nur eine eingeschränkte Hitzetoleranz. Bei lang anhaltenden hohen Umwelttemperaturen wie mehrwöchigen Hitzeperioden (> 30 °C) im Sommer sowie zunehmender Anzahl an Tropennächten (kein Abkühlen mehr in den Nachtstunden) kommt es schnell zu Hitzestress (vermindertes Wohlbefinden) bis zu Kreislaufversagen und erhöhter Mortalität. Bei Schweinen ist die Wärmestresstoleranz deutlich geringer ausgeprägt als die Kältestresstoleranz (Abb. 4-13). Mit zunehmendem Gewicht sinkt die Temperatur für die Behaglichkeitszone (Abb. 4-14). Die Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung fordert für Schweine eine geeignete Vorrichtung zur Verringerung der Wärmebelastung bei hohen Temperaturen.

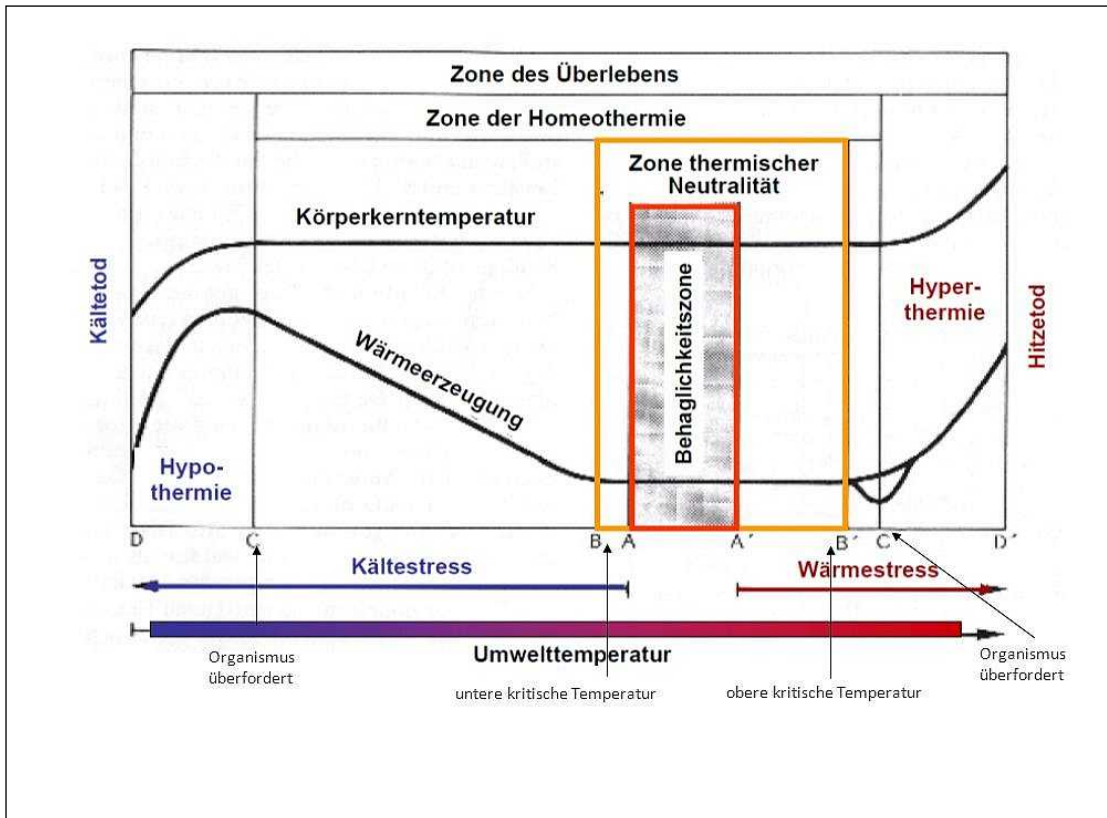


Abb. 4-13: Definition von Kälte- und Wärmestress bei Schweinen (Bianca 1968, verändert nach Häußermann, Universität Kiel)

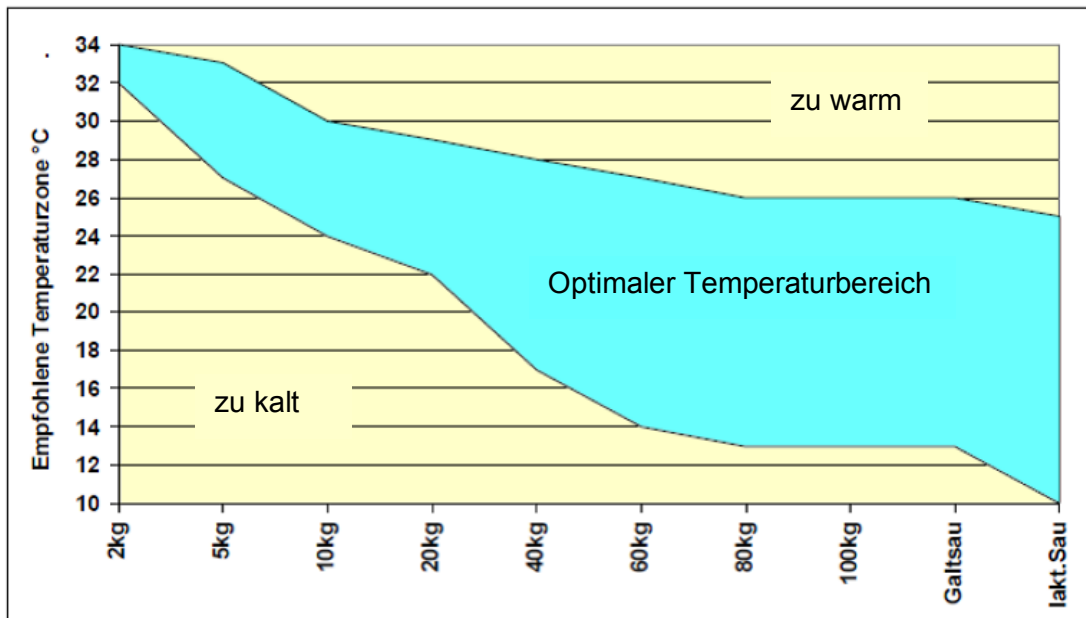


Abb. 4-14: Konkrete Temperaturansprüche von Schweinen in Abhängigkeit vom Gewicht. Galtssau: Tragende Muttersau, die (bis zur Geburt) keine Milch gibt. Graphik: Estermann 2010, Schweizerischer Schweinegesundheitsdienst, verändert.

Den Berechnungen der Klimaprojektionen zufolge wird in Zukunft die relative Luftfeuchte im Sommer tendenziell abnehmen, und es wird spürbar weniger Tage im Sommer mit hoher relativer Luftfeuchte (>85%) geben. Diese Entwicklung ist hinsichtlich der Wärmeregulation der Schweine grundsätzlich positiv zu sehen, da die Schweine den Großteil ihrer Wärme über die Ausatemluft abgeben, welche sie in der Lunge mit Feuchtigkeit anreichern. Hat die eingeatmete Luft schon eine hohe Feuchte, so sinkt das Potential der Wärmeabgabe. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass die Wärmeregulation der Schweine zwar grundsätzlich schwieriger wird, wenn es zukünftig zu heißeren Tagen im Sommer kommt. Ist die Luft jedoch gleichzeitig trockener, erleichtert dies die Abkühlung, da die Tiere über Hechelatmung vermehrt Wärme abgeben und/oder die Schweinehalter verfahrenstechnisch Kühlsysteme mit Luftbefeuchtung einsetzen können. Würde die Luft hingegen nicht nur wärmer, sondern auch feuchter, würde eine Abkühlung über die Hechelatmung und über Kühlsysteme mit Luftbefeuchtung nicht mehr funktionieren.

Die Hitzestressbelastung wird in naher und ferner Zukunft deutlich unterschiedlich sein. So steigt z.B. die Tagesmitteltemperatur im Juli um etwa 1 Grad in naher Zukunft und um knapp 4 Grad in ferner Zukunft. Die mittlere Tagesmaximumtemperatur im Juli steigt bis in die ferne Zukunft sogar um mehr als 4 Grad an. Die Anzahl der Hitzetage im Jahr steigt von heute 3,8 Tage auf 6,2 in naher und 26,6 Tage in ferner Zukunft. Ein Grad durchschnittliche Erwärmung kann in bestehenden Stallungen über die bestehende Zwangslüftung ausgeglichen werden. Bei 3 Grad mehr hingegen sind die Lüftungen in der Regel nicht ausreichend dimensioniert und konzipiert und müssen ausgetauscht bzw. umgebaut werden, damit die Tiere nicht unter Hitzestress zu leiden haben. In naher Zukunft wird die Hitzebelastung für die Schweine noch erträglich sein, in ferner Zukunft wird es erhebliche Klimatisierungsprobleme in Altställen für die Schweine geben.

Hinsichtlich der regionalen Differenzierung in den Schwerpunkten der Schweinehaltung in Baden-Württemberg werden nur geringe Auswirkungen erwartet, weil die Hitzebelastung ohnehin durch stalltechnische Maßnahmen ausgeglichen werden muss. Neben Hitzestress sind an klimabedingten Vulnerabilitäten mögliche Krankheiten zu erwähnen, und auch bei diesen lassen sich regionale Unterschiede für die Zukunft nicht festlegen (s. Kap. 4.4). Eine Bewertung der Vulnerabilität ist insofern nur für die Zeitschiene sinnvoll: Mit fortschreitender Erwärmung steigt die Vulnerabilität. Besonders für die ferne Zukunft müssen deutliche Anstrengungen unternommen werden, um bestehende Stallsysteme umzurüsten oder neue Konzepte zu etablieren.

#### 4.2.2.5 Hitzestress und Rinderhaltung

Bei der Verstoffwechslung der Nahrung fallen unverdauliche Stoffe (Kot), Stoffwechselreste (Harn, Atemluft) und Wärme an. Der Wärmeanteil an der zugeführten Bruttoenergie liegt zwischen 20 und 30%. Bei Milchkühen sind dies in Abhängigkeit von Lebendmasse und Leistung zwischen 25 und 90 MJ/Kuh und Tag. Das entspricht für eine Hochleistungskuh im ersten Laktationsdrittel einer Wärmeleistung von 2000 Watt. Je nach Außentemperatur wird diese Wärme direkt oder indirekt an die Umgebung abgegeben. Die direkte Wärmeabgabe erfolgt über folgende Mechanismen:

- Wärmeleitung (Konduktion) vom Körper der Kuh zu kälteren Körpern (z.B. Liegefläche)
- Wärmeübergang zu vorbei strömender Luft (Konvektion)
- Wärmestrahlung (Radiation)

Die indirekte Wärmeabgabe (latente oder evaporative Wärme) erfolgt über Wasserdampfproduktion entweder durch die Feuchtigkeit der Atemluft oder durch das direkte Schwitzen. Je niedriger die Umgebungstemperatur, desto höher ist der Anteil der sensiblen Wärme, die direkt an die Umgebung abgegeben werden kann und desto leichter fällt Kühen die Wärmeregulation (Tabelle 4-1).

Temperaturen bis  $-20\text{ °C}$  sind für Kühe unschädlich. Tierphysiologisch liegt der optimale Temperaturbereich der Umgebung zwischen  $+4$  und  $+16\text{ °C}$ . In diesem Bereich erfolgt die beste Verwertung des Futters (thermoneutraler Bereich). Oberhalb einer Temperatur von  $22\text{ °C}$  sinkt die direkte Wärmeabgabe aufgrund des geringen Temperaturgefälles zwischen Tier und Umgebung erheblich. Die Bedeutung der indirekten Wärmeabgabe über Wasserdampf steigt entsprechend. Je feuchter die Luft ist, desto schlechter wirkt allerdings auch dieser Regulationsmechanismus. Deshalb muss die Frage nach einsetzendem Hitzestress immer in Abhängigkeit der Luftfeuchtigkeit gesehen werden (Abbildung 4-15).

Tabelle 4-1: Wärmeproduktion und Wasserdampfabgabe einer Hochleistungskuh (10 000 kg Milch pro Jahr) im ersten Laktationsdrittel (nach DIN 18910-1). Quelle: DLG-Merkblatt 336 [DLG o.J.]

Umgebungs- temperatur in $^{\circ}\text{C}$	Gesamtwärme- produktion in Watt	Wärmeabgabe (sens. Wärme) in Watt	Wasserdampfproduktion (latente Wärme) in g/h
-10	ca. 3500	ca. 2800	ca. 1054
0	ca. 2200	ca. 1800	ca. 650
10	1800	1400	600
20	1730	1120	880
30	1650	540	1640
35	1490	60	2100

Hitzestress wirkt sich wie folgt auf Milchkühe bzw. Rinder aus:

### Leichter Stress

- Liegende Tiere „pumpen“, haben eine erhöhte Atemfrequenz (über 80 pro min.)
- Die Tiere liegen weniger, stehen auf den Gängen, bevorzugt an offenen Toren und Tränken
- Die Wasseraufnahme steigt
- Die Körpertemperatur steigt (Rektaltemperatur über 39°C)

### Erheblicher Stress

- Die Tiere hecheln mit langem Hals und offenem Maul
- Die Futtermittelaufnahme sinkt um 10 bis 25%
- Mit Zeitverzögerung sinkt die Milchleistung um bis zu 20%
- Das Brunstgeschehen ist vermindert, die Fruchtbarkeit sinkt.

Aufzucht- und Mastrinder leiden unter eingeschränktem Wachstum mit geringerem Lebensgewicht sowie verzögerter Entwicklung der Geschlechtsorgane, Milchdrüsen und Föten.

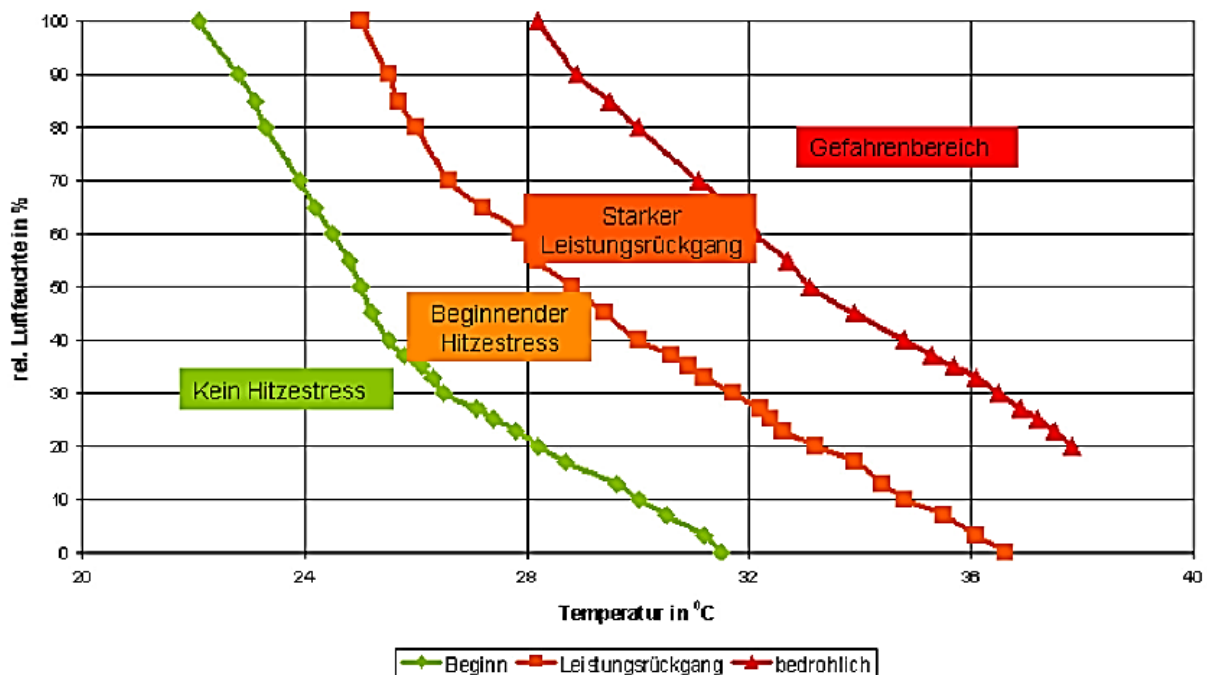


Abbildung 4-15: Hitzestress bei Kühen in Abhängigkeit von Temperatur und Luftfeuchtigkeit [Quelle: DLG-Merkblatt 336, DLG o.J.].

Die beschriebenen Folgen treten insbesondere bei hohen Außentemperaturen in Verbindung mit hoher Luftfeuchtigkeit auf. Um wirtschaftliche Nachteile und Leiden für die Tiere zu verhindern, muss Hitzestress für Rinder vermieden werden. Dazu können stallbauliche Maßnahmen sowie Unterstützungslüftung und ggf. Wasserkühlung beitragen.

#### 4.2.2.6 Hitze und Futterqualität

Auftretende Hitze beeinflusst indirekt die Rinderhaltung durch Beeinflussung der Abbauprozesse von Futter bis hin zur Verfütterung von konserviertem und gelagertem Grobfutter. Je höher die Außentemperatur, desto höher ist die mikrobielle Aktivität bei Silagen (siehe Abb. 4-16). In energiereichen Saffuttern wie Biertrebersilage und Pressschnitzelsilage sowie in Gras- und Maissilagen steigt nach Öffnung der Silobehälter die Gefahr der Hefevermehrung, wenn keine Maßnahmen zur Verbesserung der aeroben Stabilität ergriffen werden. Diese sogenannten Nacherwärmungen führen einerseits zu einer Verminderung des Futterwertes, andererseits kann die Tiergesundheit, speziell die Eutergesundheit beeinträchtigt werden [Gasteiner 2009]. Eine Erhöhung der Umgebungstemperatur von 15 auf 25 °C erhöht die Trockenmasseverluste bei der Nacherwärmung von 2,2% pro Tag auf 3,7% pro Tag (Tab. 4-2).

Tabelle 4-2: Temperaturerhöhung und Verluste von anaerob instabilen Silagen mit unterschiedlichen Trockenmassegehalten [Honig 1974]

TM-Gehalt der Silage	Erhöhung über Umgebungstemperatur				
	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C
	Tägliche Trockenmasse-Verluste [%]				
20%	1,6	3,2			
30%	1,2	2,3	3,5		
50%	0,7	1,5	2,2	2,9	3,7

Besonders energiereiche Silagen mit Hefebesatz sind bei Luftzutritt von Nacherwärmung betroffen, insbesondere bei hohen Außentemperaturen und ungenügender Verdichtung. Das gleiche gilt bei der Verfütterung von TMR (total mixed ratio), d.h. von Mischrationen, in denen Silagen, Heu, Stroh und Krafffutter im Futtermischwagen gemischt und anschließend den Rindern vorgelegt werden.

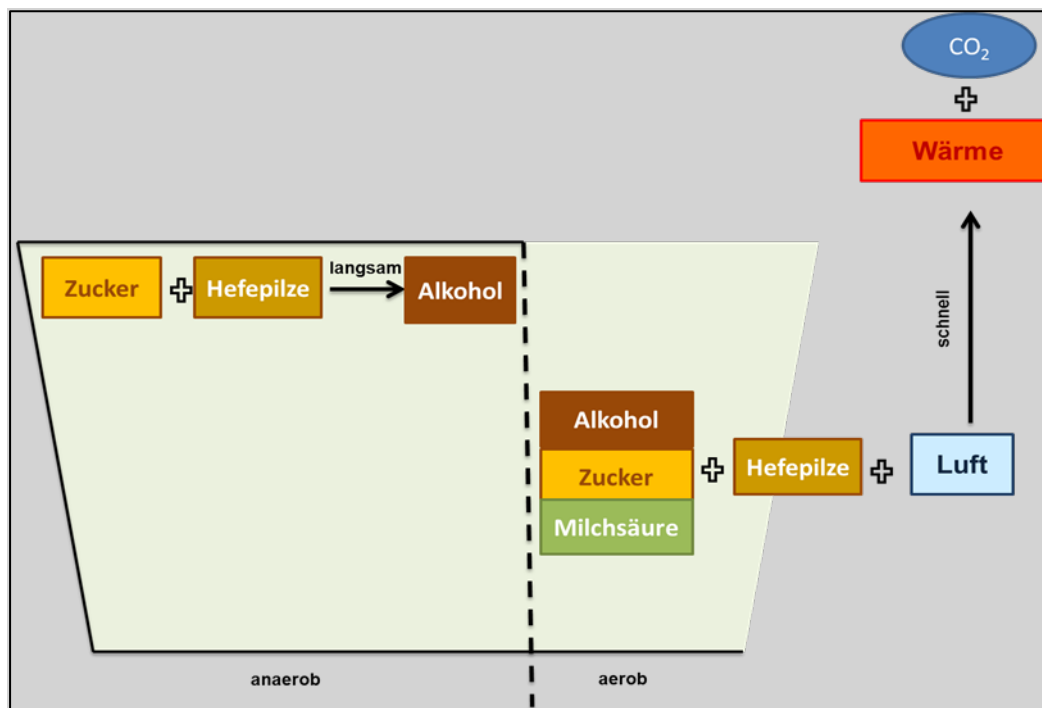


Abbildung 4-16: Hefepilze können mit und ohne Sauerstoff in der Silage aktiv sein. Die alkoholische Gärung ist mit wenig, die Nachwärmung mit hohen Energieverlusten verbunden [Nussbaum 2009].

#### 4.2.2.7 Andere Tiere

Bei der Darstellung der Vulnerabilität wurde nur auf Rinder und Schweine als die wirtschaftlich wichtigsten Nutztiere in Baden-Württemberg eingegangen. Für Hühner, Puten, Gänse, Schafe, Ziegen und Pferde gilt ebenfalls, dass Hitzebelastung ihr Wohlbefinden und ihre Leistungsfähigkeit einschränkt. Dies gilt insbesondere für Geflügel, da Vögel nicht schwitzen können und daher auf indirekte Wärmeabgabe angewiesen sind. Die Anpassungsmöglichkeiten entsprechen den bei Rinder- und Schweinehaltung aufgeführten Optionen (Kap. 5.7 und 5.8) und werden daher nicht näher beschrieben. Bei den Fischen spielt neben der Erwärmung der Gewässer auch die künftig möglicherweise veränderte Wasserführung der stehenden und fließenden Gewässer eine Rolle. Aussagen zur Vulnerabilität und zu Anpassungsmöglichkeiten in Baden-Württemberg bedürfen weiterer Forschungen.

### 4.3 Niederschläge

Bei den Niederschlägen zeichnen sich zwei in ihren Auswirkungen unterschiedliche Entwicklungen ab. Auf der einen Seite ist mit verstärkten Niederschlägen im Winterhalbjahr zu rechnen. Auch nimmt die Anzahl der Tage mit Starkniederschlägen und die dabei erreichte Niederschlagshöhe zu [LUBW 2012]. Auf der anderen Seite fallen in der Vegetationsperiode vermutlich weniger Niederschläge als heute.



### 4.3.1 Starkniederschläge, Gewitter und Hagel

Den Klimaprojektionen zufolge soll die Anzahl der Starkniederschlagstage im Jahr nur geringfügig zunehmen, von derzeit 3,6 Tagen um etwa 1 Tag bis 2100, und dies vornehmlich von September bis Februar. Die Höhe der Starkniederschläge (als Monatssumme des Niederschlags durch Starkniederschlagsereignisse) verhält sich ähnlich, mit moderaten Zunahmen (10% übers Jahr), die vor allem zwischen September und April berechnet werden. Die Summe des maximalen Niederschlags an einem Tag innerhalb eines Kalenderjahrs wächst, übers Jahr gerechnet, bis in die ferne Zukunft um ca. 13% (50. Perzentil). Vermehrte Starkregen erhöhen das Risiko für Bodenerosion (Abb. 4-17), vor allem wenn der Boden unbedeckt ist, und für die Abschwemmung von Stoffen wie Phosphor oder Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer. Eine Beeinträchtigung des Grundwassers durch Einschwemmen von Schadstoffen wie Herbiziden ist ebenfalls möglich. Ebenso kann die Wirkung von Herbiziden durch Bodenabtrag und Abspülung vermindert werden.

Die Vulnerabilitätsanalyse für das Handlungsfeld Boden wurde in einem separaten Gutachten erarbeitet [Billen und Stahr 2013]. Der Zunahme der Starkregenereignisse in Anzahl und Intensität wurde mit einem veränderten R-Faktor (charakterisiert die Erosivität der Niederschläge) in der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (bzw. DIN 19708) Rechnung getragen. Bei der Analyse zeigte sich für das 85. Perzentil der Projektion „ferne Zukunft“ eine deutliche Zunahme der Bodenerosion gegenüber der Gegenwart, entsprechend einer hohen Vulnerabilität, vor allem in den Landschaften Unterland/Gäue und Oberrhein/Hochrhein (vgl. Kap. 4.5.3). Insgesamt werden die bereits jetzt durch Erosion gefährdeten Gebiete durch die häufigeren und höheren Starkniederschläge noch vulnerabler.



Abb. 4-17: Bodenerosion nach Starkniederschlagsereignis (Photo: LTZ)

Dass meteorologische Extremereignisse durch den Klimawandel in ihrer Intensität und Häufigkeit zunehmen werden, gilt nach heutigem Kenntnisstand als wahrscheinlich. Aufgrund

des seltenen Auftretens von Extremereignissen konnte dieser Zusammenhang allerdings noch nicht zweifelsfrei belegt werden. Neben Starkregen und der damit verbundenen Erosionsgefährdung sind vor allem Hagelereignisse, die im Zusammenhang mit starken Gewitterstürmen entstehen können, für die Landwirtschaft wegen ihres potentiell enormen Schadens bedeutsam. Da Hagelereignisse aufgrund ihrer geringen räumlichen Ausdehnung und fehlender geeigneter Mess-Systeme in der Vergangenheit nicht erfasst sind, können direkte Trendanalysen nicht durchgeführt werden [Kunz, pers. Mitt.]. Es gibt aber Hinweise darauf, dass mit steigenden Temperaturen und einer Zunahme der Luftfeuchte eine erhöhte Hagelneigung einhergehen könnte – sowohl in der Vergangenheit, als auch in der Zukunft:

- Die Entstehung von Gewittern hat unter anderem eine labile Schichtung der Atmosphäre und ausreichende Feuchtigkeit der Atmosphäre zur Voraussetzung. Zur Charakterisierung der Gewitterneigung lassen sich verschiedene Konvektionsindizes heranziehen. Sie sind ein Maß für die Stabilität/Labilität der Atmosphäre, helfen bei der Einschätzung der Auftretenswahrscheinlichkeit und Stärke von Gewittern und werden aus Temperatur und Feuchte in verschiedenen Druckniveaus berechnet [Kunz 2007, Mohr und Kunz 2012].
- Ein Maß für die Gewitterwahrscheinlichkeit ist beispielsweise die so genannte konvektive verfügbare potentielle Energie (CAPE). Sie nimmt mit einem Anstieg von Temperatur und Luftfeuchte zu und ist im Durchschnitt an Hageltagen größer als an Gewitter- oder normalen Sommertagen [Kunz 2007; Mohr und Kunz, 2012].
- Seit etwa 1985 ist ein Anstieg der konvektiven verfügbaren potentiellen Energie in den unteren Luftschichten zu verzeichnen, und damit hat auch das Gewitterpotential in den letzten Jahrzehnten zugenommen (Abb. 4-18, Mohr und Kunz 2012). Dies ist besonders im Süden Deutschlands zu verzeichnen. Allerdings hat die Anzahl der Gewittertage nach Beobachtungen an Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes in der Periode von 1949 bis 2003 im Durchschnitt von Baden-Württemberg nicht zugenommen. Zugenommen hat hingegen die Anzahl der Hagelschadentage (Abb. 4-19) und der gemeldeten Hagelschäden an Gebäuden in Baden-Württemberg (Abb. 4-20A, Kunz et al. 2009) – möglicherweise ein Indiz für die steigende Intensität des Konvektionsgeschehens. Allerdings ist dieser Anstieg zum Teil auch durch eine veränderte Bauweise und Beschaffenheit der Materialien von Gebäuden bedingt.

Eine Analyse der Hagelzugbahnen durch die Kombination von Radardaten und Schadensdaten von Versicherungen weist eine erhebliche räumliche Variabilität auf mit einem Maximum in der Region südlich von Stuttgart. Dagegen tritt Hagel über dem Rheintal, dem Schwarzwald und der Schwäbischen Alb eher selten auf (Abb. 4-20B). Der Bodenseeraum wurde in der Untersuchung räumlich nicht erfasst [Kunz und Puskeiler 2010], ist aber nach Schadensdaten von Versicherungen auch deutlich von einer Zunahme der Hageltage betroffen (Abb. 4-20A).

Der Versuch, atmosphärische Wetterlagen mit der Entstehung von hagelträchtigen Gewitterstürmen zu korrelieren, führte zur Identifizierung von vier Großwetterlagen (von insgesamt 40), die mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für schadensrelevante Hagelereignisse zusammenfallen [Kapsch et al. 2012]. Im Zuge des Klimawandels werden die Temperaturen bei uns steigen. Den analysierten Regionalmodellen zufolge werden im Sommer die relativen Luftfeuchten eher zurückgehen. Falls jedoch über eine erhöhte Evapotranspiration zeitweise auch höhere Luftfeuchtwerte in den bodennahen Luftschichten zu erwarten wären, kann man davon ausgehen, dass auch eine Zunahme von Gewittern und Hagelschlag eintreten könnte. Regionale Klimamodelle, aus denen sowohl Großwetterlagen als auch eine Vielzahl von Konvektionsparameter bestimmt wurden und die mit Hilfe moderner statistischer Verfahren ausgewertet wurden (z.B. Bayes'sche Statistik, logistische Regression), zeigen eine weitere Zunahme des Gewitterpotentials bis zum Jahr 2050 [Kapsch et al. 2012].

Nach Aussagen der Vereinigten Hagel, einem Versicherungsunternehmen, das unter anderem Hagelschäden in der Landwirtschaft versichert, hagelt es heute häufiger als in den Jahrzehnten zuvor. Eventuell auch bedingt durch die länger gewordene Vegetationsperiode hat sich die Hagelsaison um 5-10 Tage verlängert. Der Anteil von hagelbedingten Fröhschäden an Kulturen ist beträchtlich gestiegen. Die Kombination mit Sturm und starken Windböen erhöht die Schadensintensität. Analysen aus der Schweiz belegen eine zunehmende Anzahl großer Hagelzellen, die eine Zugbahnlänge von 100 km oder mehr aufweisen. Die Anzahl hat sich in gut 20 Jahren verdoppelt [Caduff 2011]. Langfristig belegen die Schadenstatistiken der landwirtschaftlichen Hagelversicherer in Deutschland freilich keine statistisch nachweisbaren Veränderungen der Ertragsausfälle durch Hagelschlag [Langner 2011].

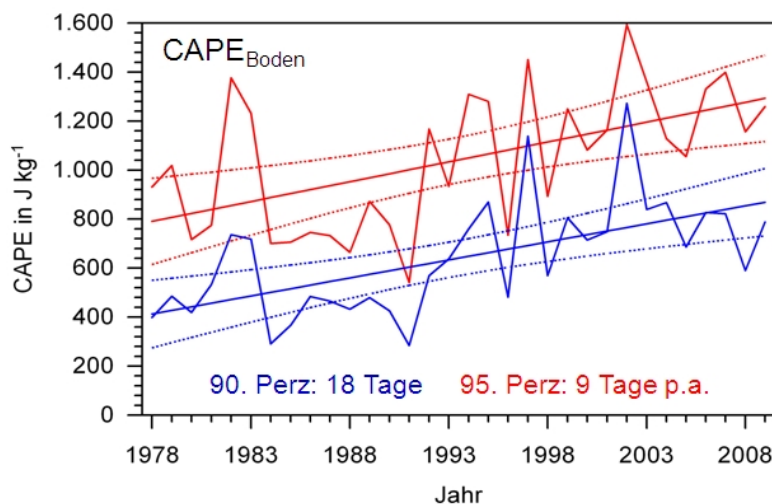


Abb. 4-18: Entwicklung der konvektiven verfügbaren potentiellen Energie (CAPE) in Bodennähe von 1978 bis 2009 in Deutschland [Quelle: Kunz, KIT].

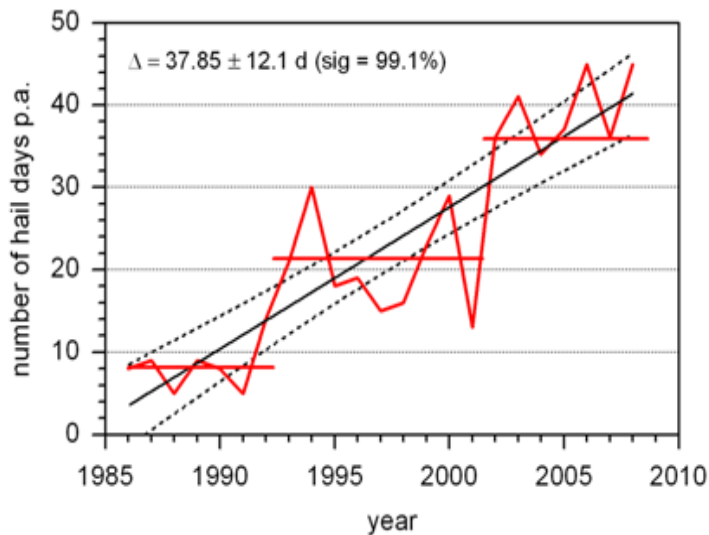


Abb. 4-19: Anzahl der Tage, an denen in Baden-Württemberg mehr als 10 Gebäude durch Hagel beschädigt wurden (Versicherungsdaten korrigiert bezüglich der jährlichen Änderung der Versicherungsverträge und -summen) [Quelle: Kunz, KIT].

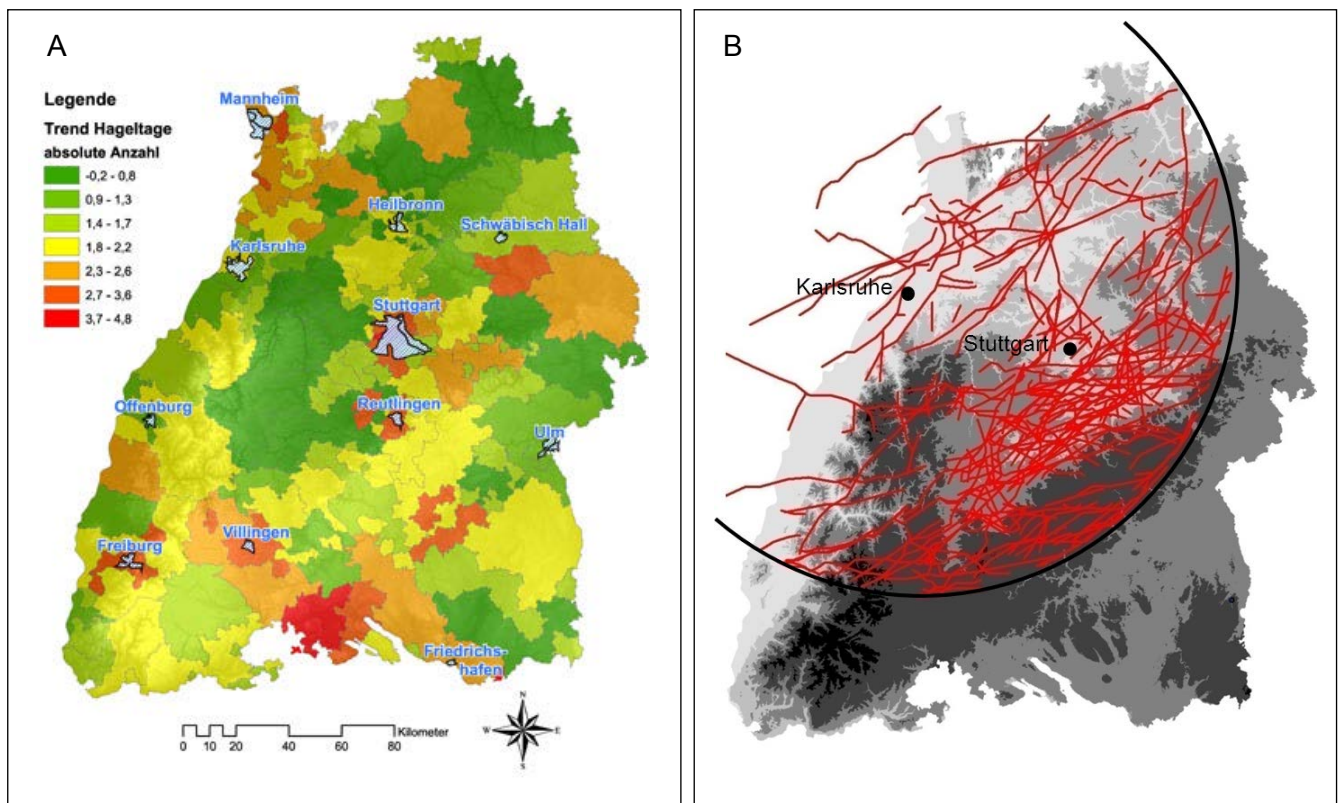


Abb. 4-20: A: Trend in der Anzahl der Hagelschadentage in Baden-Württemberg, berechnet für den Zeitraum von 1986 bis 2004 nach Daten der SV-Gebäudeversicherung für 3-stellige PLZ-Bereiche. In Regionen, in denen viele Gebäudeschäden gemeldet wurden, liegt es nahe, dass auch landwirtschaftliche Kulturen geschädigt wurden. B: Hagelzugbahnen an den 30 stärksten Hageltagen zwischen 1997 und 2007 anhand von Radardaten und dem Analyseprogramm TRACE3D. Die Radarstation steht am KIT Campus Nord in der Nähe von Karlsruhe und erfasst einen Kreis von 120 km Radius [Kunz und Puskeiler 2010].

Die Konvektionsindizes und die Entwicklung der letzten Jahre in Verbindung mit den zu erwartenden höheren Temperaturen deuten auf eine künftig möglicherweise erhöhte Hagelneigung hin.

Im Obstbau führt Hagel zu Schäden an den Pflanzen und an den Früchten mit negativen Folgen für Ertrag und Qualität und damit auch die Vermarktungsfähigkeit (Abb. 4-21). Darüber hinaus erhöht sich der Schorfdruck und die Anfälligkeit für Pflanzenkrankheiten steigt.

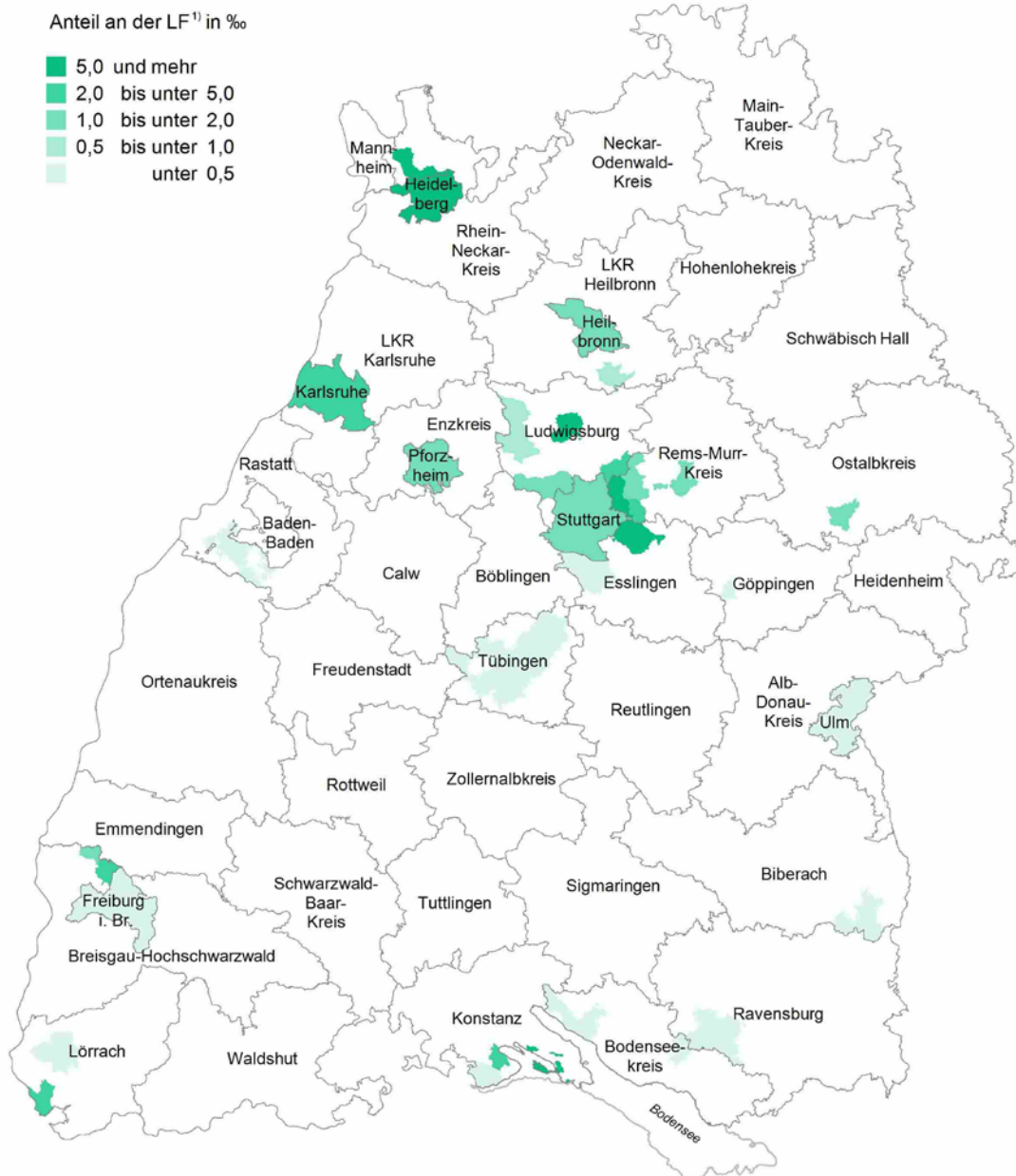


Abb. 4-21: Hagelschäden an Mais (links) und Äpfeln (rechts). Photos: LTZ, LVWO

Hagel und Stürme schädigen Gemüse- und Zierpflanzenprodukte durch mechanische Schäden im Freiland. Gewächshauskulturen werden im Einzelfall durch die Zerstörung von Gewächshausanlagen beeinträchtigt. Es drohen Ertragsausfälle. Insbesondere der satzweise Ausfall der Säkkulturen (z. B. Möhren, Rettich, Radies, Fenchel, Feldsalat) nach Starkniederschlägen oder der Freilandschnittblumensätze kann die Marktversorgung beeinträchtigen. Pflanzenschäden am Blatt und große Verschmutzung zum Beispiel bei Feingemüsearten wie Salat führen nach Starkregen ebenfalls zu Ausfällen und erhöhten Aufwendungen für die Marktaufbereitung.

Die Abbildungen 4-22 und 4-23 bieten einen Eindruck davon, wo die Schwerpunkte des Gemüse- und Zierpflanzenbaus „unter hohen begehbaren Schutzabdeckungen“ (gemeint sind im Wesentlichen Gewächshäuser und Folientunnel) liegen. Beim Vergleich mit den regionalen Zentren des Garten- und Zierpflanzenbaus insgesamt (Abb. 2-6 und 2-7) kann man sehen, dass der geschützte Anbau vor allem in den Ballungszentren zu finden ist. Bei nicht allzu schwerem Hagel werden die abgedeckten Kulturen geschützt, bei schwerem Hagel allerdings können die Schutzabdeckungen selbst beschädigt werden, und dann sind die Schäden desto größer.

### Gemüseanbaufläche unter hohen begehbaren Schutzabdeckungen in den Gemeinden Baden-Württembergs 2010



1) Landwirtschaftlich genutzte Fläche.

Datenquelle: Landwirtschaftszählung 2010.

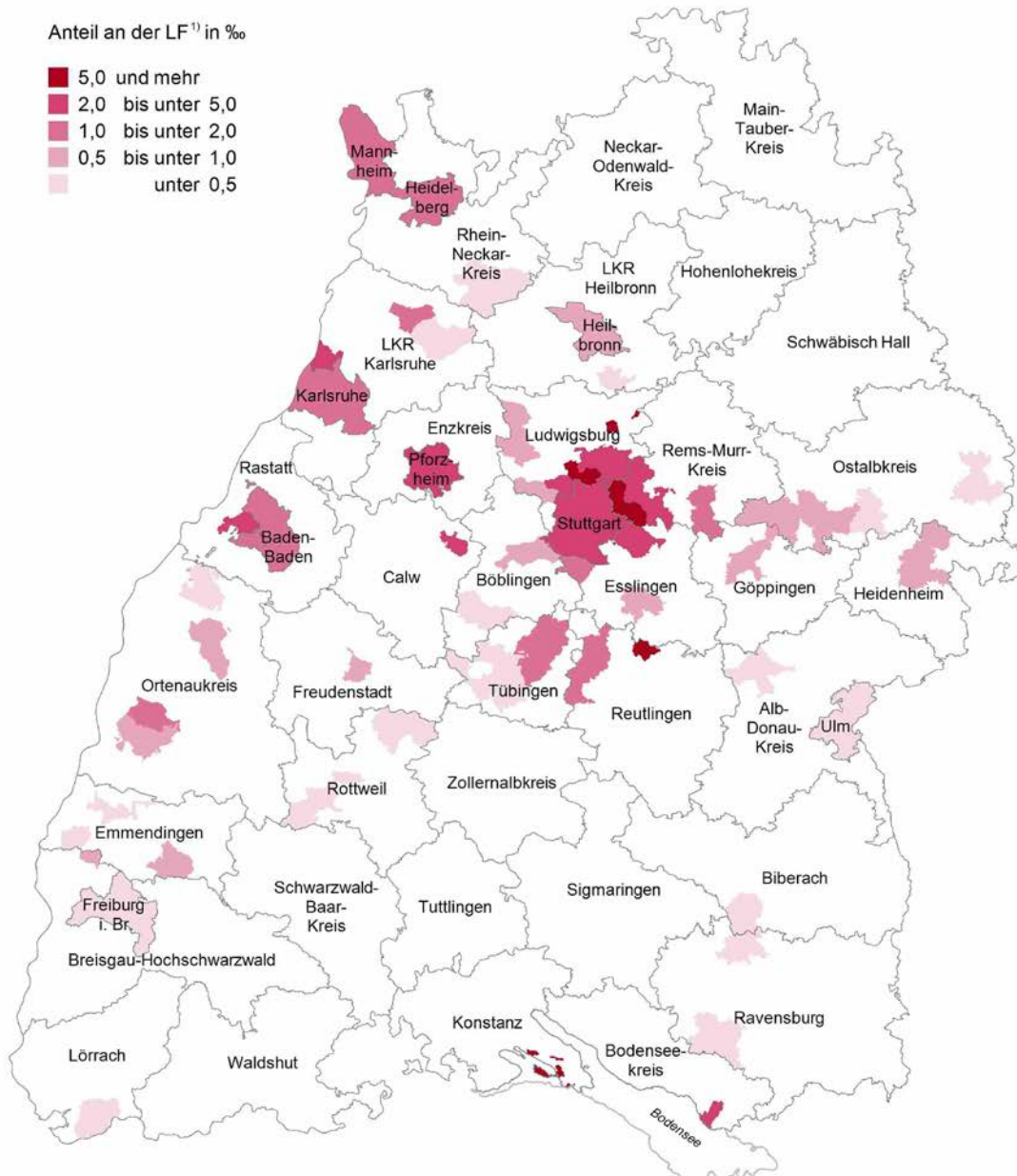
© Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stuttgart 2012  
 Vervielfältigung und Verbreitung mit Quellenangabe gestattet.  
 Kommerzielle Nutzung bzw. Verbreitung über elektronische Systeme bedarf vorheriger Zustimmung.



34-34-12-10A  
 © Kartgrundlage GfK GeoMarketing GmbH  
 Karte erstellt mit RegioGraph

Abb. 4-22: Gemüseanbauflächen unter hohen begehbaren Schutzabdeckungen in den Gemeinden Baden-Württembergs 2010 in % der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2012.

### Zierpflanzenfläche unter hohen begehbaren Schutzabdeckungen in den Gemeinden Baden-Württembergs 2010



1) Landwirtschaftlich genutzte Fläche.

Datenquelle: Landwirtschaftszählung 2010.

© Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stuttgart 2012  
 Vervielfältigung und Verbreitung mit Quellenangabe gestattet.  
 Kommerzielle Nutzung bzw. Verbreitung über elektronische Systeme bedarf vorheriger Zustimmung.



34-34-12-10A  
 © Kartengrundlage GfK GeoMarketing GmbH  
 Karte erstellt mit RegioGraph

Abb. 4-23: Zierpflanzenanbauflächen unter hohen begehbaren Schutzabdeckungen in den Gemeinden Baden-Württembergs 2010 in % der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2012.

### 4.3.2 Höhere Niederschläge im Winterhalbjahr

Im hydrologischen Winterhalbjahr steigen den Klimaprojektionen zufolge die Niederschläge in der nahen Zukunft im 50. Perzentil um ca. 7%, in der fernen Zukunft um ca. 16%. Im 85. Perzentil sind es 15% bzw. 22%. Da im Mittel der Modelle bei der Simulation der Periode 1971-2000 die Winterniederschläge um 16% überschätzt wurden, ist das 85. Perzentil nicht unbedingt wahrscheinlicher. Die Werte des 15. Perzentils deuten sogar auf sinkende Niederschläge hin. Es ist schwierig, hier eine klare Aussage zu treffen.

Im Winter werden die Grundwasservorräte wieder aufgefüllt. Insofern wäre eine Zunahme in dieser Hinsicht positiv zu werten. Allerdings können auch Auswaschungsvorgänge (z.B. Nitrat) beschleunigt werden. Ist die Niederschlagszunahme mit einer längeren Dauer oder mit höherer Intensität der Niederschlagsereignisse verbunden, besteht ohne Vegetations- oder Mulchdecke die Gefahr der Bodenerosion. Möglich sind auch Entwicklungsbeeinträchtigungen der Pflanzen (Winterungen, Dauerkulturen) durch Staunässe und Überflutung. Im Herbst und Frühjahr kann es zu Problemen mit der Befahrbarkeit der Böden kommen, wenn Frostperioden seltener werden und die Niederschläge zunehmen. Dadurch kann die Bewirtschaftung der Flächen erheblich erschwert werden, z.B. bei der Ernte von Mais oder Zuckerrüben, der Aussaat von Winterungen und Sommerungen, bei Düngung und Bodenbearbeitung. Wird der zu feuchte Boden dennoch befahren, kann es zur Beeinträchtigung von Bodenfunktionen durch Verdichtung kommen [vgl. Billen und Stahr 2013].

### 4.3.3 Geringere Niederschläge während der Vegetationsperiode

Bei den diesem Bericht zu Grunde liegenden Klimaprojektionen fällt der Rückgang der Niederschläge geringer aus als bei früheren regionalen Klimaprojektionen (REMO, WETTREG), liegt jedoch im Bereich der vom Deutschen Wetterdienst derzeit veröffentlichten Daten [Becker et al. 2012]. Während REMO und WETTREG mit einem Rückgang der Niederschläge um 30-40% bis zum Jahre 2100 rechneten, sind es in den Ensemble-Auswertungen der LUBW im Median nur ca. 10% (im 50. Perzentil). Die Vulnerabilität der Landwirtschaft sinkt im Modellvergleich also für diesen Klimaparameter, die Anpassung wird weniger dringend als früher vermutet.

Allerdings werden selbst bei 10% Niederschlagsrückgang in ohnehin niederschlagsarmen Regionen Probleme verschärft bzw. können dann Probleme auftreten. Wie Simulationen im Projekt KLIWA zeigen, führt ein relativ moderater Rückgang der Niederschläge zu einer deutlichen Zunahme der Anzahl an Tagen, an denen die nutzbare Feldkapazität unter 30% sinkt (so genannter Trockenheitsindex; AK KLIWA 2012, Tab. 4-3). Während die Niederschläge im Sommerhalbjahr für die Periode 2021-2050 nur um ca. 6% abnehmen, nimmt der



Trockenheitsindex um 13 Tage zu. Das heißt, statt 29 Tagen werden 42 Tage mit einer nFK unter 30% erwartet. Regional können es deutlich mehr sein.

Tab. 4-3: Veränderung der Anzahl der Tage, an denen die nutzbare Feldkapazität unter 30% sinkt (Trockenheitsindex, TI), in Verbindung mit dem relativen Rückgang des Niederschlags (Bezug auf 1971-2000, WETTREG 2006, Szenario A1B, Durchschnitt Baden-Württemberg). Quelle: [AK KLIWA 2012].

Periode	1971-2000	2021-2050	2071-2100
Veränderung Niederschlag		- 6 %	- 18 %
Trockenheitsindex (TI) [d]	29	42	67
Veränderung TI [d]		+ 13	+ 38

Die Vulnerabilität hinsichtlich des Parameters „Niederschläge während der Vegetationsperiode“ hängt entscheidend davon ab, wie stark der erwartete Niederschlagsrückgang tatsächlich sein wird. Angesichts der erheblichen Spannweite der LUBW-Simulationen für diesen Bericht (Niederschlagsveränderungen von + 2,5% bis -13,3% Max./Min. für die nahe Zukunft; +5,4% bis -20,1% Max./Min. für die ferne Zukunft) fällt eine Bewertung schwer. Der Niederschlagsrückgang in den oben erwähnten Simulationen, die auf dem Klimamodell WETTREG 2006 basieren, entspricht sowohl 2021-2050 (-6%) wie 2071-2100 (-18%) dem Wert des 15%-Perzentsils der diesem Bericht zu Grunde liegenden klimatischen Leitplanken. Für die Bewertung der Vulnerabilität werden diese Perzentilwerte herangezogen. Welche Auswirkungen ein Niederschlagsrückgang dieser Größenordnung in Verbindung mit verminderter Bodenfeuchte auf Wachstum und Ertrag verschiedener Kulturpflanzen haben könnte, erfordert jedoch noch genauere Analysen.

Hinzu kommt der Befund, dass die Berechnungen zur Validierung der Modelle für die Periode 1971-2000 – hier liegen reale Messungen vor – zeigen, dass im Durchschnitt der Modelle die Niederschläge überschätzt werden. In der Realität fällt weniger Niederschlag. Für die Zukunft könnte das heißen, dass entgegen den Modellergebnissen eher mit weniger Niederschlag zu rechnen ist bzw. die Ergebnisse des 15. Perzentsils den zukünftigen Verhältnissen näher kommen könnten. Ähnliches gilt für die Kennwerte „durchschnittliche Dauer von Trockenperioden in der Vegetationsperiode“ und die „längste Dauer einer Trockenperiode pro Jahr“. Beide nehmen in der Zukunft leicht zu und beide werden bereits im Istzustand von den Modellen zumeist unterschätzt.

Neben den Niederschlägen ist die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens bzw. die nutzbare Feldkapazität ein weiteres Kriterium für die Wasserversorgung der Pflanzen. Bei insgesamt zunehmender Trockenheit in der Vegetationsperiode wird die Bodenqualität künftig größere

Bedeutung bekommen und die Differenzierung der Ertragsleistung besserer und geringerer Böden eher zunehmen.

Eine etwaige Zunahme der Frühjahrs- oder Frühsommertrockenheit wird im Übrigen von den Modellen nicht gestützt, mit Ausnahme einer leichten Zunahme des Kennwerts „Länge der Trockenperiode“ in den Monaten Mai und Juni.

Die Wasserversorgung beeinflusst auch die Wirkung von Düngung und Pflanzenschutzmitteln, denn eine befriedigende Aufnahme von Stickstoff und Phosphat, aber auch von systemischen Pflanzenschutzmitteln setzt einen ausreichenden Wasserfluss zwischen Boden und Pflanzen voraus.

Dem Faktor Wasser bzw. Trockenstress wird im Gartenbau trotz geringer Veränderung in naher Zukunft und eventuell nur gemäßigter Abweichung in ferner Zukunft eine große Bedeutung zugemessen. Intensiver Gemüsebau und Freilandzierpflanzenbau ist schon heute ohne Zusatzbewässerung nicht möglich, da sonst die Ausschöpfung des Ertragspotentials wie auch die Qualitätssicherheit nicht gewährleistet sind [Sauer und Teichert 2007]. In Sachsen vertritt man die Ansicht, dass ein wirtschaftlich tragfähiger Gemüsebau künftig fast nur noch mit Bewässerung möglich sein wird, da schon gegenwärtig viele Gemüsearten ohne Bewässerung nicht mehr rentabel angebaut werden können [SMUL 2009]. Eine hohe Vulnerabilität ist somit im Freilandgemüse- und -zierpflanzenbau zu erwarten, wenn die Infrastruktur für die Bewässerung und die zur Verfügung stehende Wassermenge nicht ausreichen, um negative Wasserbilanzen im Sommer auszugleichen [Fink et al. o.J.].

Im Grünland als Dauerkultur zeigt sich: Wie gut sich eine Pflanzenart behaupten kann, hängt nicht nur von ihrer unmittelbaren Reaktion auf Schadereignisse (z.B. Hitze, Trockenheit, Sturm oder Starkregen) ab, sondern auch von ihrer langfristigen Reaktionsfähigkeit nach den Ereignissen, auch nach deren wiederholtem, jahrelangem Einwirken. So änderte sich die Bestandszusammensetzung einer semi-natürlichen Wiese in den Schweizer Südalpen erst gewisse Zeit nach einer längeren Trockenheit. Trockenheit kann also Langzeitwirkung womöglich erst im folgenden Jahr entfalten [Stampfli und Zeiter 2004, Trnka et al. 2011].

Die Aussichten des Grünlandes in Deutschland bezogen auf den Klimawandel wurden in einer Expertenbefragung mittel- und langfristig eher negativ bewertet, vor allem wegen des befürchteten Ertragsverlustes durch Sommertrockenheit und Extremereignisse [Zebisch et al. 2005]. In Baden-Württemberg sind hiervon besonders Grünlandbestände auf flachgründigen Böden, z.B. in den Gäulandschaften (Vergleichsgebiet 2b), Teile der Schwäbischen Alb (Vergleichsgebiete 14, 15 und 16) sowie das Bauland (Vergleichsgebiet 21) betroffen. Als einzig positiv bewertete Auswirkung wurde die Steigerung des Ertragspotentials durch Anstieg von Temperatur und CO<sub>2</sub> genannt. Aufgrund zunehmender Variabilität des Klimas und wachsender Unsicherheit halten beispielsweise Finger et al. [2010] ein allgemein höheres Produktionsrisiko für Grünland in Zukunft für sehr wahrscheinlich. Trnka et al. [2011] halten kleinräumig recht

gravierende Folgen für möglich, wenn z.B. traditionelle Grünland-Gebiete in Zukunft wegen Wassermangels in der Vegetationszeit für Grünland ihre bisherige Standortgunst verlieren werden. Das kann durchaus für die sonnenexponierten Lagen des Schwarzwaldes, des Odenwaldes sowie der Gäulandschaften eintreffen.

In den kommenden Jahrzehnten ist zu erwarten, dass

- die Niederschläge im Westen und Norden des Landes deutlich zunehmen (hiervon wird besonders die Vorbergzone des Schwarzwaldes (Vergleichsgebiet 5) betroffen sein. Dadurch ist mit mangelnder oder deutlich eingeschränkter Weidetauglichkeit der Hangweiden aufgrund nasser Bodenbedingungen zu rechnen
- die Niederschläge östlich des Schwarzwaldes, auf der Schwäbischen Alb und im (Süd)-Osten des Landes deutlich geringer werden (betroffen sind davon die bisher im Frühjahr staunassen Gebiete des Albvorlandes (Vergleichsgebiete 16 und 18 sowie die Gebiete 14 und 15 auf der Schwäbischen Alb sowie Vergleichsgebiet 12 Donau-Iller)
- Im Süden wird in der Staulage vor den Alpen mit mehr Niederschlag kalkuliert, wobei die Niederschläge verstärkt als Starkregenereignisse auftreten werden (Vergleichsgebiet 10 Allgäu)
- weiterhin die Sommer trockener und die Winter feuchter werden (das ist besonders problematisch in den Gebieten die bereits jetzt aufgrund mangelnder Wasserverfügbarkeit nur eingeschränkt grünlandfähig sind (Vergleichsgebiete 1, 2a, 2b, 8, 21a und 21b)
- die Anzahl der Sommertage zu-, die der Frosttage abnimmt, vor allem im Nordosten Baden-Württembergs,
- sich die Frostphase in den meisten Teilen des Landes verkürzt (das wird in den Hochlagen des Schwarzwaldes (Vergleichsgebiet 6) und der Schwäbischen Alb (Vergleichsgebiet 13) überwiegende positive Auswirkungen haben),
- Extremereignisse im Westen und Norden häufiger, aber im restlichen Gebiet seltener werden,
- die Winter allgemein milder werden, vor allem im Schwarzwald und auf der Schwäbischen Alb, was sich als vorteilhaft hinsichtlich der Schneeschimmel- und Kältetoleranz hauptsächlich des Deutschen Weidelgrases erweisen kann.

Klimaextreme werden vor allem dann Ertragsdepressionen verursachen, wenn sie in bestimmten, sensiblen Phasen des Vegetationszeitraumes auftreten, welche jedoch auf jedem Standort in einer etwas anderen Zeit liegen dürften. Außerdem ist anzunehmen, dass sich Klimaextreme massiver auswirken, wenn diese, wie angenommen, in Zukunft häufiger auftreten. Generell sind Projektionen oder gar Voraussagen über die zu erwartenden Grünlanderträge aber schwierig, da Wachstum und Ertragsbildung der Pflanzen sehr stark von den kleinräumigen Bedingungen abhängen. So variieren beispielsweise Temperatur und Niederschlag örtlich sehr stark, je nach Geländeform und Exposition (Nordhang oder Südhang).

Trnka et al. [2011] weisen daher darauf hin, dass solche „small-scale-Effekte“ in den gängigen „large-scale-Modellen“ nicht genau genug berücksichtigt werden können.

#### 4.3.4 Interaktion Niederschlag mit Temperatur

Zu den möglicherweise geringeren Niederschlägen kommt hinzu, dass auch eine höhere Temperatur zu einer Verringerung der Bodenfeuchte beiträgt. Die Evapotranspiration, die Wasserverdunstung von Boden und Vegetation, nimmt mit steigender Temperatur exponentiell zu. Die Wasserversorgung unserer Kulturpflanzen während der Vegetationsperiode gerät also von zwei Seiten in die Zange. Ein gewisser kompensatorischer Effekt könnte über die Schonung des Bodenwassergehalts durch die höhere CO<sub>2</sub>-Konzentration der Atmosphäre entstehen (s.o.).

Höhere Temperaturen bringen die Gefahr einer verstärkten Mineralisierung und des Humusabbaus mit sich, allerdings nur, wenn der Boden ausreichend feucht ist. Erste Analysen im Rahmen dieser Anpassungsstrategie erbrachten für die Vulnerabilität der Boden-Humusvorräte kein geradliniges Muster. Dies ist vorrangig auf die multiple Abhängigkeit der Humusvorräte von Temperatur und Niederschlag zurückzuführen, die je nach Klimaprojektion unterschiedlichen Richtungen folgen [Billen und Stahr 2013]. Folgende Entwicklung ist bei höheren Temperaturen denkbar: Während im Herbst, Winter und Frühjahr bei höheren Niederschlägen und im Durchschnitt höheren Temperaturen als heute eine hohe Mineralisation stattfindet, Nährstoffe ausgewaschen werden und organische Substanz abgebaut wird, stockt die Nährstofffreisetzung und Nährstoffaufnahme in den trockenen Sommern. Ebenso denkbar ist bei nasserem Böden eine verstärkte Denitrifikation mit der Emission treibhauswirksamen Lachgases.

Steht ausreichend Wasser zur Verfügung, so können über die damit einhergehende Transpirationskühlung die Blatt-Temperaturen gegenüber der Umgebungstemperatur um mehrere Grad gesenkt und dadurch Hitzeschäden vermieden werden. Wird durch die Entleerung des Bodenwasserspeichers unter die nutzbare Feldkapazität die Transpiration eingeschränkt oder zum Stillstand gebracht, werden die Effekte hoher Temperaturen verschärft. Hitze trägt über eine erhöhte Evapotranspiration zur Trockenheit bei, Trockenheit verstärkt die Effekte der Hitze.

Für die Wasserversorgung der Pflanzen sind jedoch nicht nur die Niederschläge relevant, sondern das verfügbare Bodenwasser, und dieses wird auch durch die Evapotranspiration bestimmt. Die Evapotranspiration steigt exponentiell mit der Temperatur an. Daher zeigt die klimatische Wasserbilanz als Differenz zwischen den Niederschlägen und der potentiellen Evapotranspiration auch ein kritischeres Bild der zukünftigen Wasserversorgung der Pflanzen (Abb. E-4, E-5; Abb. 4-26).

Im Jahresdurchschnitt bewegen sich die Änderungen für die Zukunft nur im einstelligen Prozentbereich. Die Verteilung über die Monate ist aber deutlich verschieden. Alle Modelle berechnen höhere Niederschläge im hydrologischen Winterhalbjahr, dadurch wird die klimatische Wasserbilanz in naher und ferner Zukunft im Durchschnitt Baden-Württembergs für die Monate Oktober bis Mai positiver. Durch die steigende Temperatur und damit einhergehende höhere Evapotranspiration wird die klimatische Wasserbilanz im Juli und August deutlich negativer. Für die ferne Zukunft gilt dies auch für Juni und September.

#### 4.4 Exkurs: Das „Modelljahr“ 2003: Ein Blick in die Zukunft?

Hinsichtlich Hitze und Trockenheit kann das Jahr 2003 als Modellfall gelten. In Karlsruhe beispielsweise lagen die Temperaturen im Juni und im August mehr als 5 Grad über dem langjährigen Mittel. Der Niederschlag war in diesen beiden Monaten gegenüber dem Mittel um 23% bzw. 66% vermindert. Wenn die regionalen Klimamodelle sich bewahrheiten, wird der Rekordsommer 2003 gegen Ende dieses Jahrhunderts eher der Regelfall sein. Wie hat er sich auf die Landwirtschaft in Baden-Württemberg ausgewirkt [Flaig 2009]?

Tabelle E-1: Erträge ausgewählter landwirtschaftlicher Feldfrüchte in Baden-Württemberg [dt/ha] seit 1962. Nach Angaben des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg.

Kulturen/ Jahr	1962	1972	1982	1992	2002	2003	2004	2007	2010
Winterweizen	33,8	38,6	50,0	62,2	68,2	<b>59,7</b>	77,7	72,3	69,0
Wintergerste	31,8	38,7	47,3	61,4	60,2	<b>52,8</b>	64,7	60,2	62,1
Sommergerste	33,8	35,5	42,9	45,9	47,4	<b>48,5</b>	57,0	44,3	55,0
Silomais	374	430	520	475	467	<b>403</b>	447	470	439
Zuckerrüben	376	490	545	554	666	<b>479</b>	647	644	690
Kartoffeln	253	279	287	334	340	<b>269</b>	358	350	347

Der Sommer 2003 war mit einem deutschlandweiten Mittel von 3,4 Grad über dem Durchschnitt der Referenzperiode 1961-1990 der wärmste Sommer seit Beginn der regelmäßigen Wetteraufzeichnungen (1761); vermutlich war kein Sommer der letzten 500 Jahre in Europa wärmer [Luterbacher et al. 2004]. Im Südwesten Deutschlands wurden mehr als vier Grad über dem Mittel erreicht. Hinzu kam eine sehr niedrige Niederschlagssumme von nur 152 mm in den Monaten Juni, Juli und August. Verbunden mit den hohen Temperaturen und entsprechend

gesteigerter Evapotranspiration wurden im Sommer 2003 außergewöhnlich niedrige Bodenfeuchten erreicht [Löpmeier 2004].

Die landwirtschaftlichen Erträge brachen gegenüber den Vorjahren teilweise deutlich ein, der Ertragsrückgang war jedoch regional und kulturartspezifisch unterschiedlich stark. Die Erträge in Baden-Württemberg waren allerdings auch 2003 immerhin etwa auf dem Niveau der 1980-er Jahre (Tab. E-1). Eine Hungersnot war also nicht zu befürchten, allerdings müssten bei häufigeren Erträgen dieser Größenordnung Auswirkungen auf den finanziellen Ertrag, den Handel mit Agrarprodukten und die Flächennutzung (z.B. Biomassenutzung) bedacht werden – falls nicht gegengesteuert wird.

Vergleicht man die Erträge des Jahres 2003 mit denen des Vorjahres, so ergeben sich folgende Ertragsdifferenzen:

Winterweizen	-12,5%
Wintergerste	-12,3%
Sommergerste	+ 2,3%
Silomais	-13,7%
Zuckerrüben	-28,1%
Kartoffeln	-20,9%

Die Grünlanderträge waren je nach Region zwischen 50% und 15% reduziert.

Diese Zahlen spiegeln den landesweiten Ertragsdurchschnitt wider. Ein Blick auf die Erträge aus unterschiedlichen Regionen des Landes mag die Auswirkungen verschiedener Standortbedingungen verdeutlichen. Beispielhaft sind die Landkreise Karlsruhe (Tab. E-2) und Heidenheim (Tab. E-3) aufgeführt [Flaig 2009].

Aus dem Vergleich der Tabellen E-2 bis E-4 lassen sich folgende Aussagen herleiten:

- Verglichen mit den durchschnittlichen Erträgen der 20-Jahresperiode 1983-2002 wurden im Extremjahr 2003 sowohl in Karlsruhe, als auch in Heidenheim deutliche Mindererträge erzielt (Ausnahme: Sommergerste in Heidenheim).
- Die Mindererträge 2003 gegenüber dem Vorjahr 2002 fielen – mit wenigen Ausnahmen – noch deutlicher aus. Hier spielt sicherlich der Ertragsfortschritt während der 20-jährigen Vergleichsperiode eine Rolle; das Referenzniveau 2002 war höher geworden.
- Im Landkreis Karlsruhe wurde 1983 - 2002 bei allen betrachteten Kulturen ein niedrigerer Ertrag erzielt als im kühleren und niederschlagsreicheren Kreis Heidenheim (Tab. E-4).
- Die Ertragsdifferenz Karlsruhe-Heidenheim ist im Extremjahr 2003 sogar noch ausgeprägter (Ausnahme Raps) und erreicht bei den Sommerungen zweistellige Prozentzahlen.
- Obwohl Mais bei höheren Temperaturen in der photosynthetischen Leistung gegenüber Weizen im Vorteil ist, kann er dieses Potential nur realisieren, wenn genügend Wasser für eine entsprechend hohe Biomassebildung zur Verfügung steht. Die extrem niedrige

Bodenfeuchte im Sommer 2003 ist vermutlich dafür verantwortlich zu machen, dass der Ertragsrückgang bei Silomais sowohl in Karlsruhe, als auch in Heidenheim sogar stärker war als bei Getreide. Außerdem sind auch bei Mais Temperaturen über 35°C für Pollenentwicklung und Befruchtungserfolg abträglich. Inwieweit der im Projekt KLARA [Stock 2005] simulierte Rückgang der Weizenproduktion im Rheintal zugunsten des Maises sich bewahrheitet, wird von der Entwicklung der Wasserversorgung abhängen. Ähnliches gilt auch für Zuckerrüben und Kartoffeln.

- Zu Vergleichszwecken lohnt ein Blick ins Jahr 2007: Dieses Jahr war durch eine außergewöhnliche Frühjahrstrockenheit gekennzeichnet. So fielen im Monat April 4 mm Niederschlag in Baden-Württemberg, das sind 5% des Durchschnitts im Referenzzeitraum 1961-1990. In diesem Extremjahr der anderen Art erlitten im wärmeren und trockeneren Karlsruher Kreis vor allem die Winterungen sogar deutlichere Ertragseinbußen gegenüber der Region um Heidenheim als 2003. Die durch den sehr warmen Winter 2006/2007 begünstigten hohen Blattlauspopulationen dürften als Überträger des Gelbverzwergungsvirus der Gerste ein Übriges getan haben (vgl. Wintergerste, Tab. E-4). Die Sommerungen hingegen kamen dank der ab Mai einsetzenden ausreichenden Niederschläge vergleichsweise gut über die Vegetationsperiode. Da den Klimaprojektionen zufolge die Witterungsschwankungen und die Wahrscheinlichkeit für Extremereignisse zunehmen werden, könnten auch solche Episoden häufiger werden.

Tabelle E-2: Erträge und Ertragsvergleiche ausgewählter landwirtschaftlicher Kulturen im Landkreis Karlsruhe (KA, Station Karlsruhe Jahresmitteltemperatur 10,3°C, Niederschlag 770 mm; Station Rheinstetten 9,9°C, Niederschlag 856 mm für die Periode 1961-1990; Klimadaten DWD). Ertragsangaben in [dt/ha]. Eigene Berechnungen nach Daten des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg.

Kulturen/ Vergleich	KA 2003	KA 2002	KA 1983-2002	KA 2003 vs. 2002	KA 2003 vs. 1983-2002
Winterweizen	54,3	64,0	60,9	-15 %	-11 %
Wintergerste	47,5	54,1	55,6	-12 %	-15 %
Sommergerste	42,9	46,4	45,9	-7,5 %	-7 %
Silomais	356	456	440	-22 %	-19 %
Zuckerrüben	446	600	537	-26 %	-17 %
Kartoffeln	268	330	309	-19 %	-13 %
Winterraps	25,5	30,5	27,0	-16 %	-6 %

Tabelle E-3: Erträge und Ertragsvergleiche ausgewählter landwirtschaftlicher Kulturen im Landkreis Heidenheim (HDH, Station Heidenheim Jahresmitteltemperatur 6,8°C, Niederschlag 879 mm für die Periode 1961-1990; Klimadaten DWD). Ertragsangaben in [dt/ha]. Eigene Berechnungen nach Daten des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg.

Kulturen/ Vergleich	HDH 2003	HDH 2002	HDH 1983 - 2002	HDH 2003 vs. 2002	HDH 2003 vs. 1983-2002
Winterweizen	59,1	66,1	62,7	-11 %	-6 %
Wintergerste	52,4	60,2	56,5	-13 %	-7 %
Sommergerste	51,7	48,5	47,4	+7 %	+9 %
Silomais	404	449	469	-10 %	-14 %
Zuckerrüben	493	661	552	-25 %	-11 %
Kartoffeln	307	360	329	-15 %	-7 %
Winterraps	27,7	32,2	31,5	-14 %	-12 %

Tabelle E-4: Ertragsunterschiede zwischen den Landkreisen Karlsruhe und Heidenheim bei verschiedenen Feldfrüchten und in ausgewählten Jahren. langj.: durchschnittlicher Ertrag der Jahre 1983 - 2002. Eigene Berechnungen nach Daten des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg.

Vergleich / Kulturen	Winter- weizen	Winter- gerste	Sommer- gerste	Silomais	Zucker- rüben	Kar- toffeln	Winter- raps
KA vs. HDH langj.	-3 %	-2 %	-3 %	-6 %	-3 %	-6 %	-14 %
KA vs. HDH 2003	-8 %	-9 %	-17 %	-12 %	-10 %	-13 %	-8 %
KA vs. HDH 2007	-15 %	-21 %	-9 %	-3 %	-14 %	+4 %	-15 %

Der Sommer 2003 hat jedoch keineswegs überall im Bundesgebiet zu Mindererträgen geführt. Im ozeanisch geprägten, ausgeglichenen Klima Schleswig-Holsteins wurden bei Winterweizen und Wintergerste im Jahr 2003 6% bzw. 7% mehr Ertrag als 2002 erzielt, bei Sommergerste waren es sogar 19%. Dafür hinterließ das Frühjahr 2007 seine Spuren. Umgekehrt hatten Länder wie Brandenburg 2003 unter Ertragseinbußen von mehr als 30% bei Winterweizen oder Sommergerste erheblich stärker zu leiden.

Doch sollte man nicht vergessen: Die Mindererträge des Jahres 2003 wurden mit bekannten Sorten und ohne besondere Anpassungsmaßnahmen eingefahren.



Die geringen Erträge waren bei der Planung der Düngungsmaßnahmen nicht vorhersehbar. Gedüngt wurde zumindest zu Beginn der Pflanzenentwicklung in Erwartung eines normalen Ertrages. Die Pflanzenentwicklung wurde durch die Hitze beschleunigt (Getreide) bzw. durch Hitze und Trockenheit gehemmt und dadurch der Entzug an Nährstoffen behindert. Hinzu kam, dass durch die Trockenheit ausgebrachter Dünger nicht oder nur unzureichend im Bodenwasser aufgelöst wurde und damit den Pflanzen nicht zur Verfügung stand. Die trockenheitsbedingte Hemmung der Mineralisation im Sommer tat ein Übriges, dass im feuchteren Herbst 2003 Rekordwerte an mineralisiertem und auswaschbarem Stickstoff (im Wesentlichen Nitrat) in den Bodenproben für die Kontrolle der SchALVO zu finden waren (Abb. E-1). Dies ist ein deutliches Indiz für die Notwendigkeit der mittelfristigen Anpassung von Düngemaßnahmen, sollen solche Probleme künftig vermieden oder gemildert werden.

Wie außergewöhnlich der Sommer 2003 (noch) war, zeigen die Abbildungen E-2 und E-3. Die Anzahl der heißen Tage über 30 °C lag im Oberrheingraben mit mehr als 35 Tagen im Bereich des 85. Perzentils der diesem Bericht zu Grunde liegenden Projektionen für die nahe und ferne Zukunft. Man sieht auch, dass gerade der Südwesten Deutschlands besonders betroffen war (Abb. E-2). Die Abweichung der Temperatur im Monatsdurchschnitt vom langjährigen Mittel (1961-1990) betrug im Süden Deutschlands sowohl im Juni, als auch im August 2003 zwischen 5 und 7 Grad (Abb. E-3). Die Auswirkungen der vergleichsweise geringen Niederschläge der ersten Jahreshälfte und der hohen (potentiellen) Evapotranspiration in den Sommermonaten zeigen sich in der klimatischen Wasserbilanz. Gegenüber der meteorologischen Referenzperiode 1961-90 sind deutlich negativere Werte in ganz Baden-Württemberg zu verzeichnen (Abb. E-4 und E-5). Dies wirkte sich auch auf die Bodenfeuchte aus (unter Gras bei sandigem Lehm, Schichtmittelwert 0-60 cm). Nach dem heißen August wurden im nördlichen Landesteil und in Franken Werte unter 30% nutzbarer Feldkapazität erreicht (Abb. E-6). Es steht angesichts der Klimakennzahlen zu vermuten, dass ähnlich schwierige Verhältnisse für die Wasserversorgung der Kulturen aus dem Boden in der fernen Zukunft häufiger auftreten werden.

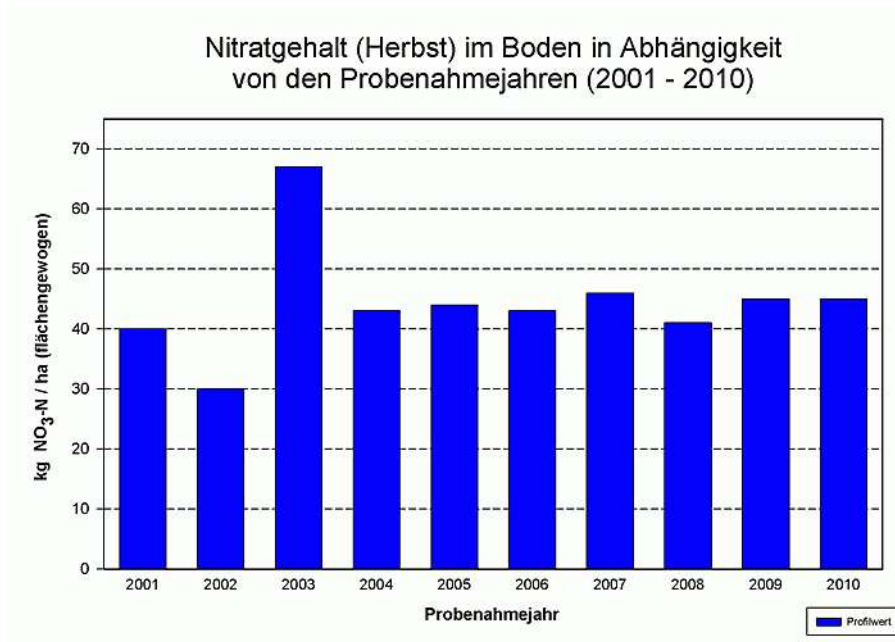


Abb. E-1: Nitratgehalt der Bodenproben für die SchALVO-Kontrolle im Herbst bis zur Profiltiefe (je nach Gründigkeit 30-90 cm Tiefe), Durchschnitt Baden-Württemberg, von 2001 bis 2010. Quelle: Finck, LTZ

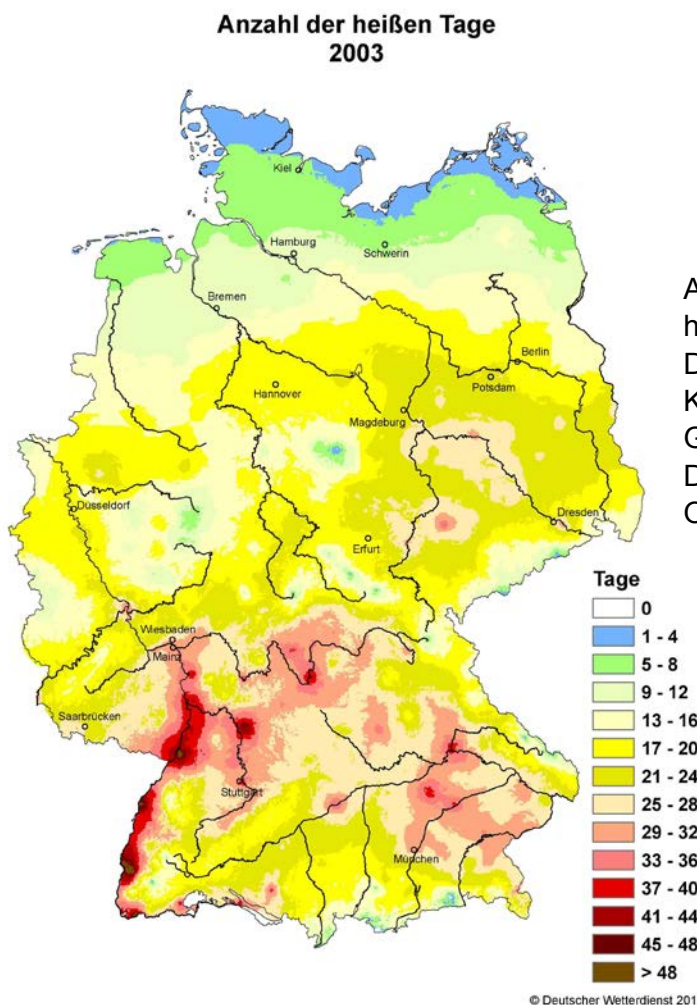
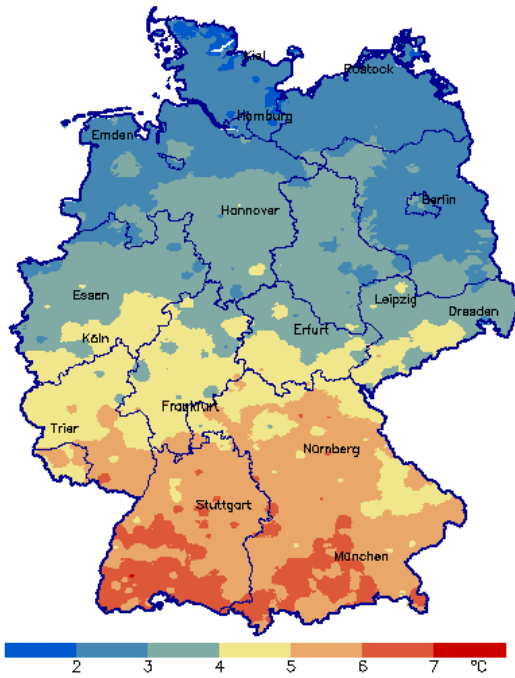


Abb. E-2: Anzahl der heißen Tage in Deutschland im Jahr 2003. Karte mit freundlicher Genehmigung des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach

ta\_200306.asc



ta\_200308.asc

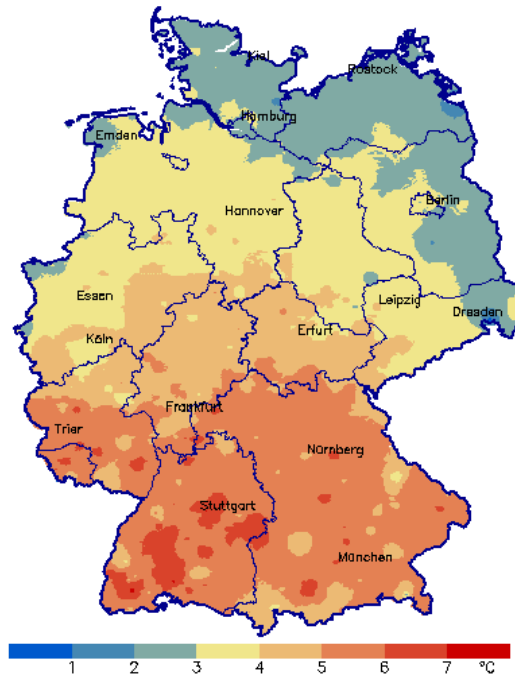
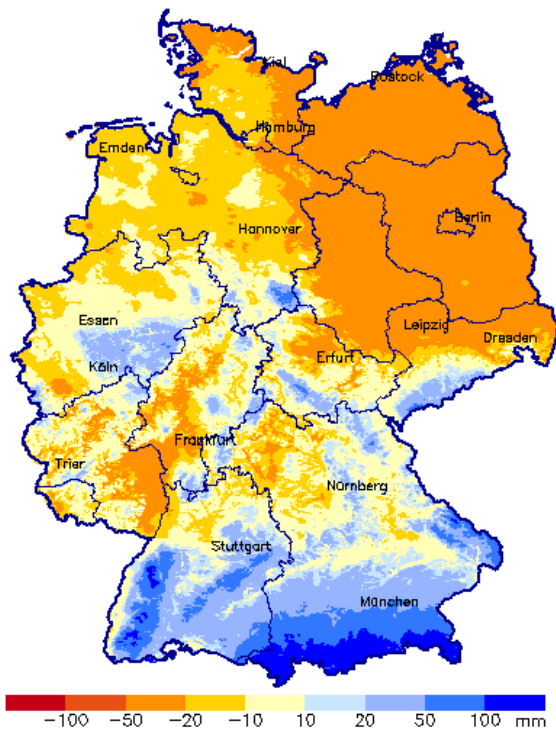


Abb. E-3: Abweichung der Monatsmitteltemperatur vom jeweiligen Monatsmittel der Referenzperiode 1961-90 im Juni (links) und im August (rechts) des Jahres 2003. © DWD, Offenbach

wb\_1961x1990\_06.asc



wb\_200306.asc

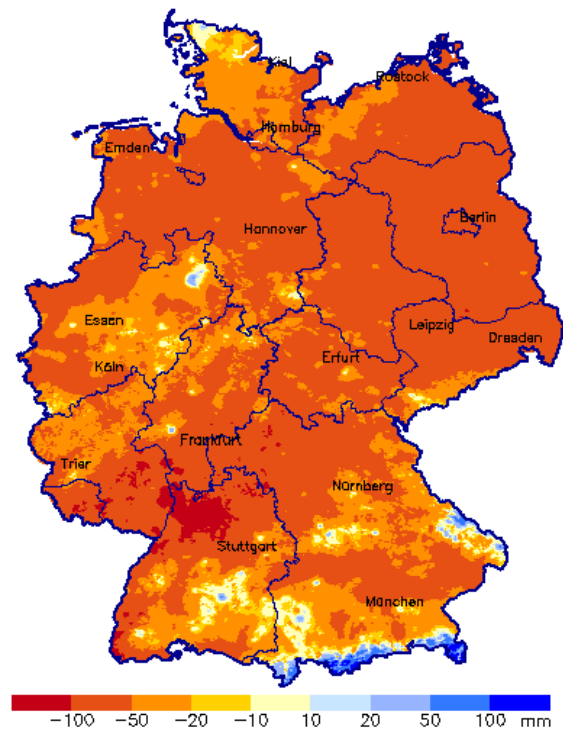


Abb. E-4: Klimatische Wasserbilanz im Juni 2003 (rechts) im Vergleich zum Juni-Durchschnitt der meteorologischen Referenzperiode 1961-1990 (links). © DWD, Offenbach

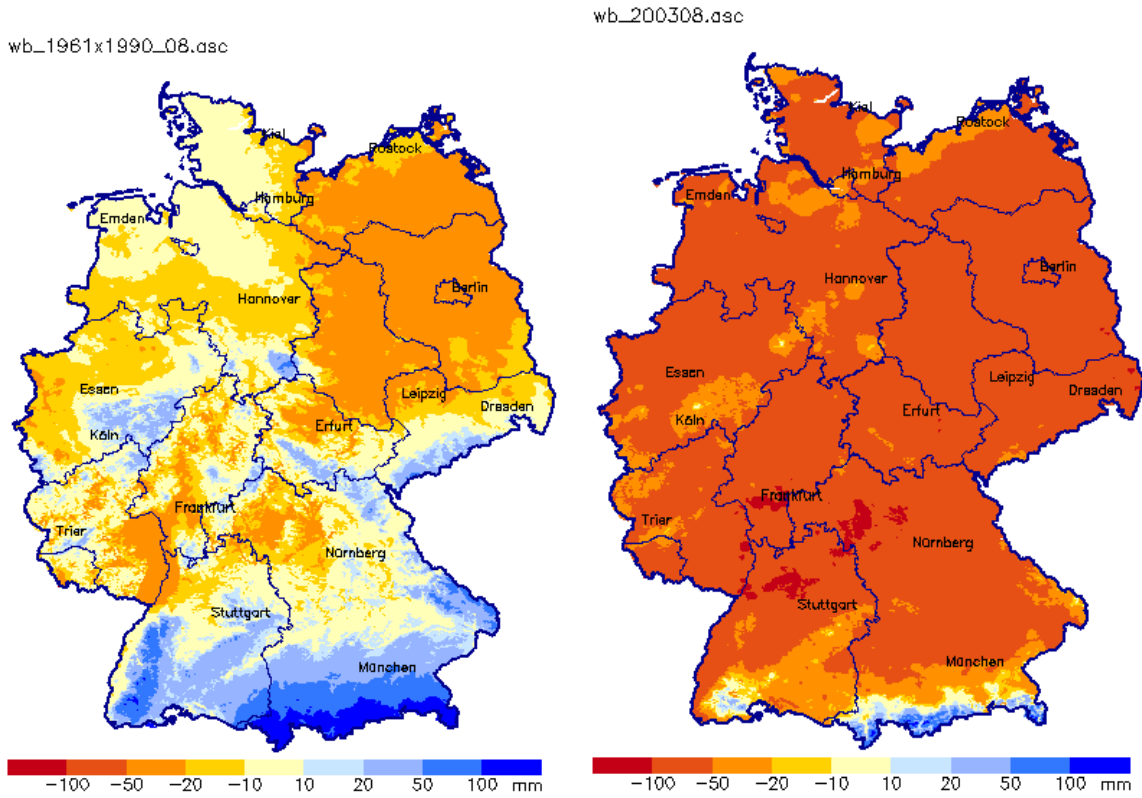


Abb. E-5: Klimatische Wasserbilanz im August 2003 (rechts) im Vergleich zum August-Durchschnitt der meteorologischen Referenzperiode 1961-1990 (links). © DWD, Offenbach

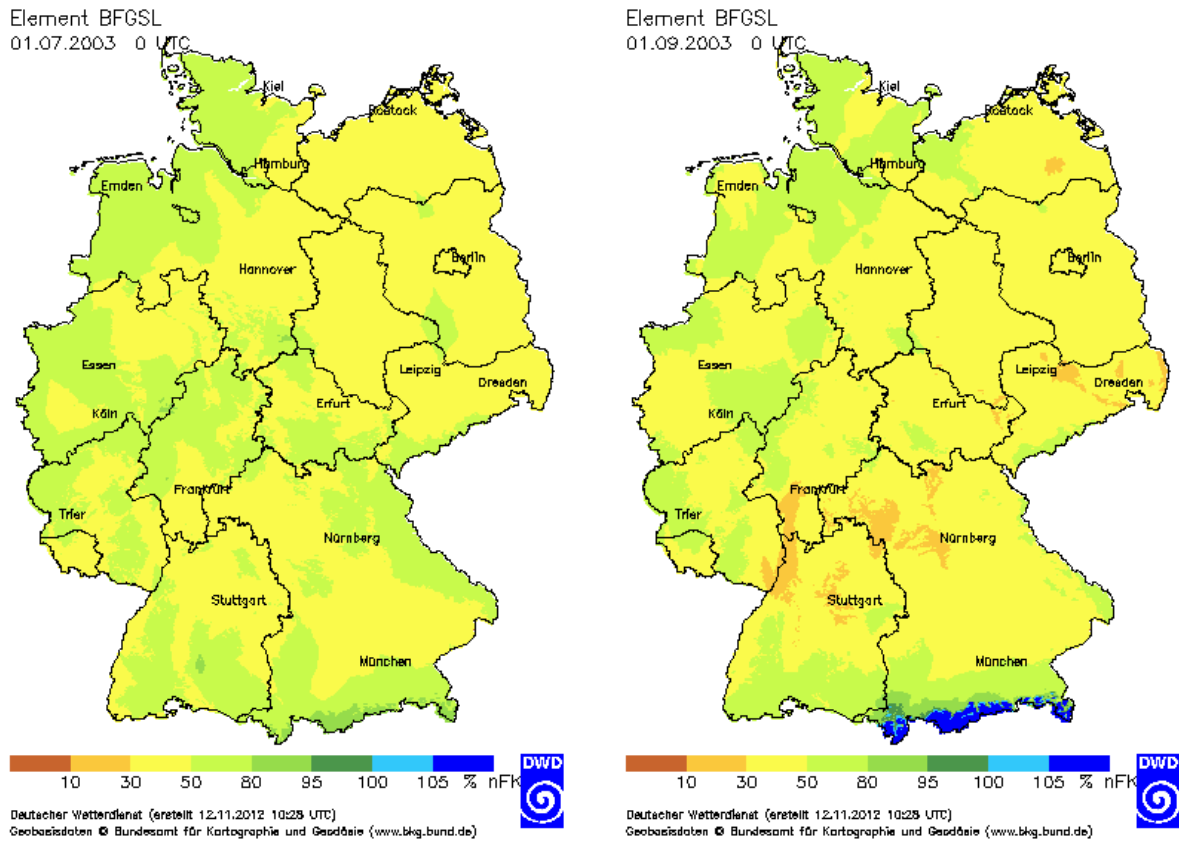


Abb. E-6: Bodenfeuchte nach Juni (links) und August (rechts) 2003 in Deutschland. © DWD

## 4.5 Tiergesundheit und Tierkrankheiten

Für die Gesundheit unserer Tierbestände in Baden-Württemberg resultieren künftige Gefahren aus zwei verschiedenen Quellen: aus dem Klimawandel und der Globalisierung. Das Gefährdungspotenzial wird durch die Interaktion der zwei Faktoren verstärkt. Daher ist bei der Einschätzung des Potentials von Tierseuchen, in Baden-Württemberg heimisch zu werden, das Zusammenspiel zwischen klimaunabhängigen und klimaabhängigen Faktoren zu beachten. Die zunehmende Globalisierung erhöht deutlich die Gefahr der Einschleppung von Seuchen über den Handel mit Tieren und tierischen Produkten und mit dem Personenverkehr, sowohl über mitgebrachte Produkte tierischer Herkunft, als auch über Gegenstände, die mit Tieren oder Produkten von Tieren in Kontakt gekommen sind. Solche Gegenstände sind Schuhe, Kleider, Gerätschaften, aber auch Fahrzeuge.

Wie bei Pflanzenkrankheiten ist es schwierig, zwischen den Faktoren Globalisierung bzw. Einschleppung und Begünstigung durch den Klimawandel zu unterscheiden. Am wahrscheinlichsten ist eine Begünstigung vektorübertragener Krankheiten. Mit der weiteren Erwärmung in Baden Württemberg, ohnehin eine der wärmsten Regionen Deutschlands, können sich die Voraussetzungen für eine Ausbreitung und Etablierung neuer Erkrankungen und deren Vektoren, die zuvor in wärmeren Klimazonen von Bedeutung waren, verbessern. Beispiele für Vektoren sind Gnitzen, Mücken und Zecken. Unter Umständen können auch einheimische Arten als Vektoren bisher unbekannter Krankheiten fungieren. Drei relevante exotische Seuchen sind in den letzten Jahren bereits nach Baden-Württemberg eingedrungen und haben hier Schäden in der Tierwelt und in der Landwirtschaft angerichtet (Tab. 4-4).

Tab. 4-4: Charakterisierung der in den letzten Jahren in Baden-Württemberg neu aufgetretenen vektorübertragenen Viruskrankheiten der Tiere

<b>Seuche</b>	<b>Erreger</b>	<b>Vektoren</b>	<b>betroffene Tierarten</b>
Blauzungenkrankheit	Reovirus	Gnitzen und Stechmücken	Wiederkäuer
Schmallenberg-Virus	Orthobunyavirus	Gnitzen und Stechmücken	Wiederkäuer
Usutu-Virus	Flavivirus	Stechmücken	insbesondere Vögel

Wie schnell sich ein vektorübertragenes Virus ausbreiten kann, illustriert die Abb. 4-24 am Beispiel des Schmallenberg-Virus. Werden trächtige Tiere infiziert, können zeitverzögert zum Teil erhebliche Missbildungen, Frühgeburten und Störungen im Fruchtbarkeitsgeschehen auftreten. Einmal infizierte Tiere bilden einen Immunschutz aus und sind nach bisherigen Untersuchungen vor einer erneuten Infektion geschützt. Wie lange dieser Immunschutz hält, ist noch nicht bekannt [FLI 2013].

Nicht nur die exotischen Vektoren, sondern auch die einheimischen Mücken- und Gnitzenarten würden von der Klimaerwärmung profitieren. Wenn die Temperaturen zunehmen, dann reifen die Larven in kürzerer Zeit, es wird mehr Nachwuchs erzeugt und die Viren beenden ihre Inkubationszeit im Vektor früher. Das führt zu einer deutlichen Erhöhung des Infektionsdrucks.

Einige durch Viren verursachte Seuchen, die möglicherweise künftig über Vektoren nach Deutschland eingeschleppt werden könnten, wurden in der folgenden Tabelle 4-5 aufgelistet:

Tab. 4-5: Viruskrankheiten der Tiere, die möglicherweise künftig über Vektoren nach Deutschland eingeschleppt werden könnten

Seuche	Erreger	Vektoren	betroffene Tierarten
Rifttal-Fieber	Phlebovirus	Stechmücken	Wiederkäuer, Mensch
West-Nil-Fieber	Flavivirus	Stechmücken	Vögel, Pferd, Mensch
Afrikanische Schweinepest	Asfarviridae	Zecken möglich, aber nicht erforderlich	Schweine
Ansteckende Blutarmut	Retrovirus	Blutsaugende Insekten, auch Bremsen	Pferde und Esel
Pest der kleinen Wiederkäuer	Paramyxovirus	nicht erforderlich	Schafe und Ziegen
Nairobi-Schafkrankheit	Bunyaviren	Zecken	Schafe und Ziegen
African Horse Sickness	Reovirus	Stechmücken	Pferde und Esel

Neben den genannten Viruserkrankungen sind noch das Frühsommer-Meningoencephalitis (FSME)-Virus (Vektor: Zecken), das Tollwut-Virus und das Aviäre Influenza-Virus (AIV) zu nennen.

Folgende durch Bakterien und Parasiten verursachte Tiererkrankungen könnten aus exotischen Teilen der Welt zu uns eingeschleppt werden und unsere Landwirtschaft gefährden (\*: durch Arthropoden-Vektoren übertragene Erreger):

Relevante Bakterien:

- Mykobakterien: *Mycobacterium tuberculosis complex* (*M. tuberculosis*, *M. bovis*)
- *Leptospira spp.*
- *Burkholderia mallei*
- *Borrelia spp.* (z. B. Lyme-Borreliose)\*
- *Francisella spp.* (z. B. Tularämie)\*
- *Coxiella burnetii* (Q-Fieber)\*
- *Ehrlichia spp.* (Ehrlichiose)\*
- *Rickettsia spp.* (Rickettsiose)\*
- *Anaplasma spp.* (Anaplasmosen)\*

Relevante Parasiten:

- *Leishmania spp.* \*
- *Plasmodium spp.* \* (z. B. Geflügel malaria)
- *Filaria spp.* \*
- *Babesia spp.* \*
- *Dirofilaria spp.* \*

Beispielhaft werden das West-Nil-Virus (WNV) und das Usutu-Virus (USUV) aus der Familie der *Flaviviridae*, zwei durch Stechmücken übertragene Viruskrankheiten und Zoonosen, aufgeführt. In Nordamerika erfolgte bereits eine flächenhafte Ausbreitung des WNV, eine Erregerausbreitung in Europa ist nicht auszuschließen.

Im Jahr 2001 wurde erstmals in Österreich das USUV nachgewiesen. In den folgenden Jahren erfolgte in vielen europäischen Ländern ein USUV-Antikörper-Nachweis, eine Virusausbreitung in Europa ist demnach anzunehmen. Im Jahr 2011 wurde das USUV erstmalig auch bei Amseln in Baden-Württemberg nachgewiesen. Nachfolgend war auch bei anderen Vögeln, wie zum Beispiel dem Bartkauz, das USUV als Erkrankungs- und Todesursache nachweisbar. Die verstorbenen Vögel kommen aus der nördlichen Oberrheinebene, der angrenzenden Pfalz und dem Neckartal. Die dortigen klimatischen Verhältnisse bieten gute Bedingungen für Wirte und Vektoren (blutsaugende Insekten und Spinnentiere) und sind damit eine gute Voraussetzung für ein endemisches USUV-Vorkommen.

Für die meist vektorspezifischen Erkrankungen ist das Vorkommen der Vektoren Voraussetzung für die Einschleppung und Verbreitung. Für bestimmte Tierkrankheiten, wie das WNV, hat sich der Hauptvektor (*Culex pipiens*-Stechmücken) bereits in Süddeutschland angesiedelt.

Auch Zecken spielen eine wichtige Rolle als Vektoren. Die wärmeliebende „Auwald-Zecke“ (*Dermacentor reticulatus*) stammt ursprünglich aus Osteuropa und kommt mittlerweile an mehreren Stellen in Baden-Württemberg endemisch vor. Diese Art kann u.a. Babesien (z. B. *Babesia canis* „Hundemalaria“), Rickettsien (z. B. *Rickettsia slovaca*, *R. raoultii*), Anaplasmen und weitere zoonotisch relevante Erreger übertragen.

Die braune Hundezecke (*Rhipicephalus sanguineus*) wird durch den Import von Hunden aus dem Mittelmeerraum des Öfteren nach Deutschland eingeschleppt. Sie kann derzeit zwar noch keine Freilandpopulation ausbilden, dies kann sich zukünftig aber ändern.

Das Risiko einer dauerhaften Etablierung der Erreger und Vektoren und damit der Tierseuche bei uns sollte im Zusammenhang mit den geographischen Besonderheiten der Regionen in Baden-Württemberg eingestuft werden. Feuchte und warme Regionen, wie die Rheinebene, bieten für Wirte und Vektoren (z. B. Stechmücken, Zecken) gute Lebensräume. Das Risiko einer Endemie ist demnach hier wahrscheinlich höher.

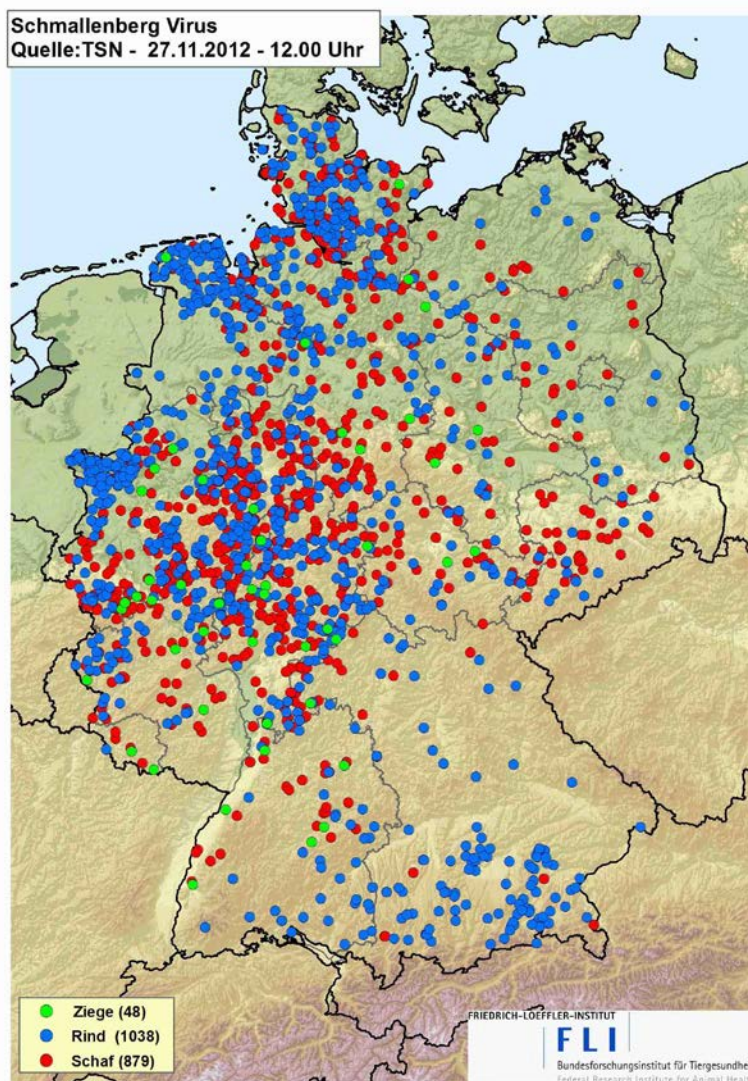


Abb. 4-24: Ausbreitung des Schmallenbergvirus in Deutschland. Vor 2011 war das Virus in Mitteleuropa unbekannt. Ausgehend von zwei nachgewiesenen Fällen im Dezember 2011 in Nordrhein-Westfalen wurde im Laufe des Frühjahrs 2012 durch die Erkrankungsmeldungen schnell klar, dass das Virus sich in der vektoraktiven Zeit von April bis November 2011 schnell über große Teile Deutschlands verbreitet haben musste. Bis Ende November 2012 verbreitete sich das Virus auch in bisher nicht oder wenig befallene Gebiete. Im Jahr 2013 traten wegen der eingetretenen Immunität nur noch wenige Fälle in den neuen Befallsgebieten auf. Quelle: Friedrich-Loeffler-Institut, Tierseuchen-Nachrichtensystem (TSN), Wusterhausen

#### 4.6 Vulnerabilitätsbewertung

Eine Bewertung der Vulnerabilität wurde lediglich für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft und die Exposition gegenüber Hitze und Trockenheit durchgeführt. Die Vulnerabilitätsbewertung gegenüber Starkniederschlägen wird durch das Gutachten im Handlungsfeld Boden [Billen und Stahr 2013] ausreichend abgedeckt und hier lediglich zitiert.

Für alle anderen landwirtschaftlich relevanten Klimaparameter hingegen wurde auf eine Vulnerabilitätsbewertung verzichtet. Manche Parameter zeigen in den regionalen Klima-



projektionen keine eindeutige Tendenz (Einstrahlungsintensität bzw. Globalstrahlung, Stürme) oder sind hinsichtlich ihrer Integration in Klimamodelle erst im Stadium der Erforschung (Gewitter, Hagel). Wie die Ozonkonzentrationen sich im Zuge der zu erwartenden klimatischen Veränderungen verhalten werden, ist wegen ihres komplexen Entstehungsmechanismus noch nicht Gegenstand regionaler Klimaprojektionen. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Atmosphäre ist in regionalem Maßstab annähernd gleich und erlaubt insofern keine regionale Differenzierung. Die Konzentration wird in Zukunft aller Voraussicht nach weiter zunehmen. Da eine höhere CO<sub>2</sub>-Konzentration jedoch sowohl positive (Ertrag, Wassereffizienz), als auch negative (Qualitätseigenschaften) Auswirkungen auf den Pflanzenbau hat und eine Gesamtabwägung noch weitere wissenschaftliche Ergebnisse benötigt, wird auf eine Bewertung der Vulnerabilität verzichtet.

Früh- und Spätfröste sind Extremereignisse mit hohem Schadpotential. Eine Vulnerabilitätsbewertung ist dennoch schwierig:

- Ihr Auftreten ist durch große Variabilität von Jahr zu Jahr gekennzeichnet. Besonders vulnerabel sind die Pflanzen dann, wenn sie durch vorherige milde Witterung eine ausreichende Frosthärte noch nicht erreicht bzw. schon wieder verloren haben. Diese Kombination ist nicht berechenbar.
- Da das Datum des letzten Frostes beispielsweise, den Projektionen zufolge, immer früher im Jahr zu liegen kommt, könnte man mit gewisser Wahrscheinlichkeit ableiten, dass in den 30-Jahrperioden der nahen und fernen Zukunft auch Frostschäden seltener werden könnten. Allerdings werden auch die frostempfindlichen phänologischen Entwicklungsstadien der Kulturpflanzen, z.B. die Blüte der Obstbäume, vorverlegt, und es ist keineswegs klar, ob insgesamt die Vulnerabilität sinkt oder steigt.
- Nach neueren meteorologischen Erkenntnissen können auch in Zukunft gerade wegen des Klimawandels Kaltlufteinbrüche in Mitteleuropa vorkommen, womöglich sogar häufiger als derzeit (s. Kap. 4.2.1). Diese Entwicklung macht trotz insgesamt milderer Winter eine Abschätzung der Vulnerabilität vor allem gegenüber Spätfrösten unkalkulierbar.
- Frostschäden in ackerbaulichen Kulturen treten insbesondere dann auf, wenn eine Schneebedeckung fehlt. Zwar waren in der Periode 1951-1996 Parameter wie die Schneedeckendauer und die Schneedeckenbeständigkeit vor allem in unteren und mittleren Höhenlagen Süddeutschlands rückläufig [AK KLIWA 1996]. Dauer, Beständigkeit und Dicke einer Schneebedeckung sind jedoch keine Parameter in den vorliegenden Klimaprojektionen.
- Frostschäden treten häufig kleinräumig auf, z.B. in Kaltluftsenken. Ihre Vulnerabilität ist entsprechend schwierig zu räumlichen Komplexen zu aggregieren.

Insgesamt ist es vermutlich vernünftig anzunehmen, dass Gebiete und Lagen, die bereits bisher gegen Früh- und Spätfröste anfällig waren, dies auch in Zukunft mehr als andere sein werden. In welchem Umfang sie das sein werden, lässt sich freilich nicht seriös abschätzen.

Beim Pflanzenschutz ist die Vulnerabilität der Kulturpflanzen gegenüber neuen oder verstärkt auftretenden Krankheitserregern, Schädlingen und Unkräutern potentiell hoch. Wann die Schaderreger wo in welcher Virulenz auftauchen, ist allerdings eher von kurzfristigen Witterungsereignissen abhängig und unterliegt neben den klimatischen Gegebenheiten einer Vielzahl anderer beeinflussender Faktoren (Globalisierung, Resistenzeigenschaften der Sorten, veränderte Bewirtschaftungsbedingungen usw.). Nach Einschätzung der Fachleute ist beim Pflanzenschutz eine seriöse Einschätzung schon des mittelfristigen Schaderregerauftretens in Baden-Württemberg nicht möglich. Eine räumlich oder zeitlich differenzierte Vulnerabilitätsbewertung erscheint daher nicht sinnvoll (nähere Erläuterungen s. Kap. 4.2.1), zumal eine solche Bewertung streng genommen für eine Vielzahl von Schaderregern unterschiedlich ausfallen müsste.

Bei den Tieren gibt es Kompensationsmöglichkeiten gegen die Haupt-Klimastressoren Hitze und Trockenheit, zumindest im Stallbereich. Die Gegensteuerungsmaßnahmen werden allerdings desto schwieriger und aufwändiger, je heißer es ist (ggf. gekoppelt mit hoher Luftfeuchte). Insofern ließe sich eine räumlich und zeitlich differenzierte Vulnerabilität gegenüber Hitze ableiten, die sich jedoch eng an die Bewertung für den Pflanzenbau anschließt.

#### **4.6.1 Vulnerabilitätsbewertung Hitze**

Alle Kulturpflanzen zeigen eine hohe Sensitivität gegenüber Hitze. Die meisten Arten sind gegenüber Temperaturen über 30 °C vulnerabel, zumal wenn diese in sensiblen Entwicklungsphasen auftreten. Daher erscheint die Anzahl der Tropentage im Jahr (Tage, an denen das Temperaturmaximum größer oder gleich 30 °C ist) als ein gutes Maß für die Charakterisierung der Vulnerabilität gegenüber Hitzebelastung (Abb. 4-25). Solche Tage kommen gemäß der Monatsaufschlüsselung auch künftig nur in der Vegetationszeit (Mai-September) vor, insofern muss hier nicht nach Monaten differenziert werden. Für Dauerkulturen und Kulturen mit langer Vegetationszeit ist die Jahresbetrachtung (analog der Vegetationsperiode) durchaus angemessen, vielleicht auch für den Gartenbau (Anbau mehrerer Sätze im Jahr). Denkbar wäre, separat oder zumindest als weiter differenzierendes Element die Anzahl der Tropentage in den Monaten mit empfindlichen Entwicklungsstadien zu nehmen, z.B. die Summe der Tropentage in Mai und Juni für Getreide. Die Analyse zeigte jedoch, dass Unterschiede in der Anzahl der Tropentage in diesen Monaten ziemlich genau mit den Unterschieden in der Anzahl der Tropentage im Jahr korrelieren. Insofern ist eine weitere Differenzierung nicht notwendig. Daher entfällt auch eine Unterscheidung nach Kulturen und damit ist auch eine Kulturartenverteilung nicht so bedeutsam. Etwaige Unterschiede in der Hitzeempfindlichkeit (z.B. C3/C4 oder saisonal) werden in Kap. 4.2.2 erläutert. Kartendarstellungen für die Hitzebelastung in den Monaten Mai bis August sind exemplarisch in Teil B des Gutachtens zu finden.

Wie ein Vergleich mit dem Jahr 2003 zeigte, korrespondierten die Regionen mit deutlichem Ertragsrückgang mit den Regionen, in denen 30 Hitzetage und mehr auftraten (vgl. zum Beispiel Abb. E-2 mit Tab. E-4). Daher wurde für die Einteilung der Bewertungsklassen bei mehr als 30 Hitzetagen die Vulnerabilität als „hoch“ eingestuft.

Vom möglichen Schadensausmaß her sind die Gebiete im Land besonders vulnerabel, die einen besonders hohen Anteil an Obst-, Wein- und Gartenbau aufweisen, da Ertrags- und Qualitätsminderungen in den Sonderkulturen mit hoher Wertschöpfung besonders zu Buche schlagen (s. Kap. 2). Wie ein Vergleich der Karten für die landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete und -gruppen einerseits (Abb. 3-1) und der Anbauschwerpunkte andererseits (Abb. 2-3 bis 2-10) mit der Vulnerabilitätsbewertung (Tab. 4-6) zeigt, liegen die Schwerpunkte für Sonderkulturen oft in Regionen, die besonders in ferner Zukunft unter hoher Hitzebelastung leiden werden.

Die Schwerpunkte der Rinder- und Schweinehaltung liegen in den östlichen Regionen des Landes (Abb. 2-12 und 2-13) und damit in den Vergleichsgebietsgruppen, die bezüglich der Hitzebelastung erst in ferner Zukunft und auch eher im 85. Perzentil hoch vulnerabel sein werden. Dennoch werden in manchen Jahren auch in diesen Gebieten mehr Tropentage als heute zu erwarten sein. Abgesehen davon gibt es auch Viehbestände (insbesondere Schweine) in vulnerableren Vergleichsgebieten.

Weitere Parameter wie die Anzahl der Hitzeperioden oder die mittlere Dauer von Hitzeperioden im Jahr (eine Hitzeperiode ist dabei definiert als mindestens 1 Tag mit einer Tagesmaximum-Temperatur von mindestens 30 °C) sind nicht zielführender als die Anzahl der Tropentage. Allenfalls die mittlere Tagesmaximum-Temperatur (das arithmetische Mittel aller Tagesmaximum-Temperaturen im betrachteten Zeitbereich) wäre noch eine Option, hier liegen aber nur Juli und August über 30°C. Die Wahrscheinlichkeit hoher Tagesmaximum-Temperaturen wächst auch mit zunehmender Anzahl von Tropentagen im Jahr.

Zur Ermittlung der für die Vergleichsgebietsgruppen gemittelten Werte wurden die Rasterpunkte aus der Perzentilverteilung (25x25 km) den Vergleichsgebieten (VG) zugeordnet. Rasterpunkte, die grenznah außerhalb der Landesgrenzen liegen, wurden in die Analyse einbezogen. Im VG 13 (Bessere Alb) mussten mangels „eigener“ Rasterpunkte zwei Punkte aus benachbarten VG herangezogen werden. Der Mittelwert für die VGG wurde aus Originaldaten für die VG (jeder Punkt gleichberechtigt) berechnet. Die Aggregation der VG zu VGG ist vertretbar, die Bewertungsunterschiede sind gering – mit wenigen Ausnahmen: Innerhalb der VGG sind die Rheinebene (VG 3) und das östliche Albvorland (VG 18) wärmer als der Rest in VGG 2 bzw. VGG 7. Der Hochschwarzwald (VG 6) und der Heuberg (VG 15) sind kälter als der Rest in VGG 3 bzw. VGG 4.

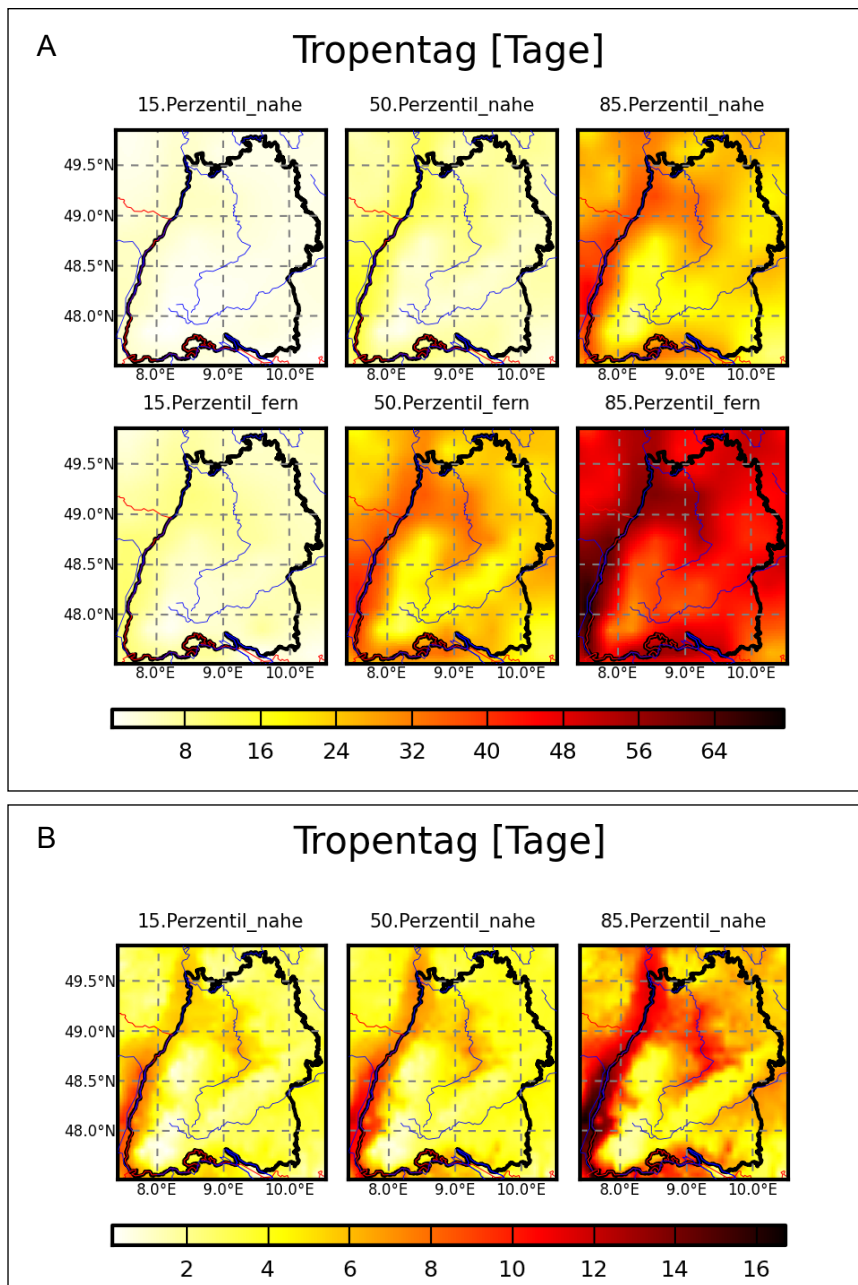


Abb. 4-25: Regionale Differenzierung der Anzahl der Tropentage im Jahr in Baden-Württemberg für die nahe und ferne Zukunft sowie drei Perzentilwerte [LUBW 2012]. A: Regionale Klimamodelle mit 25x25 km-Auflösung; B: Regionale Klimamodelle mit 7x7 km-Auflösung (nur nahe Zukunft). Die hitzevulnerablen Gebiete des Landes heben sich farblich gut heraus (man beachte die unterschiedliche Farbgebung in den Legenden zu A und B).

Im 85. Perzentil der nahen Zukunft und im 50. Perzentil der fernen Zukunft sind die Vergleichsgebietsgruppen Unterland/Gäue und Rhein/Bodensee hoch vulnerabel gegenüber Hitze. Beim 85. Perzentil der fernen Zukunft sind alle Regionen hoch vulnerabel gegen Hitzebelastung.

Tab. 4-6: Anzahl der Tropentage im Jahr in den landwirtschaftlichen Vergleichsgebietsgruppen Baden-Württembergs (Abb. 3-1) als Maß für die Vulnerabilität gegenüber Hitze. p50: 50. Perzentil, p85: 85. Perzentil der Klimamodellergebnisse hinsichtlich Tropentagen.

VGG-Nr.	Bezeichnung	p50 nahe Z.	p50 ferne Z.	p85 nahe Z.	p85 ferne Z.
1	Unterland/Gäue	10	32	31	54
2	Rhein/Bodensee	11	34	33	56
3	Schwarzwald	3	15	14	34
4	Alb/Baar	4	19	20	40
5	Allgäu	5	19	17	38
6	Oberland/Donau	5	24	23	45
7	Albvorland/Schwäb. Wald	6	25	22	44
8	Bauland/Hohenlohe	7	23	25	48

Einteilung der Bewertungsklassen:

bis 20 Tage		gering
21-30 Tage		mittel
mehr als 30 Tage		hoch

#### 4.6.2 Vulnerabilitätsbewertung Trockenheit

Auch wenn die Stärke und Richtungssicherheit des Klimasignals „Niederschläge in der Vegetationsperiode“ insgesamt nur mäßig ist, muss dennoch mit der Möglichkeit gerechnet werden, dass es vor allem in ferner Zukunft trockener wird. Gründe dafür liegen in der Überschätzung der derzeitigen Niederschläge durch die Modelle, vor allem aber in der deutlichen Temperaturerhöhung mit der Folge, dass mehr Wasser aus Boden und Pflanzen verdunstet wird (s. Kap. 4.3.3).

Zur Charakterisierung des Trockenstresses wäre die Ermittlung des Trockenheitsindex (Anzahl der Tage, an denen die nutzbare Feldkapazität unter 30% sinkt; AK KLIWA 2012) die beste Lösung. Dies ist allerdings im Rahmen dieser Studie nicht machbar, da zu seiner Berechnung die Klimaprojektionen mit einem geeigneten Bodenwasserhaushaltsmodell in Beziehung gebracht werden müssen. Die Ermittlung der Veränderung der bodenkundlichen Feuchtestufe mit der Änderung der klimatischen Wasserbilanz (KWB) wäre die zweitbeste, aber ebenfalls aufwändige Lösung.

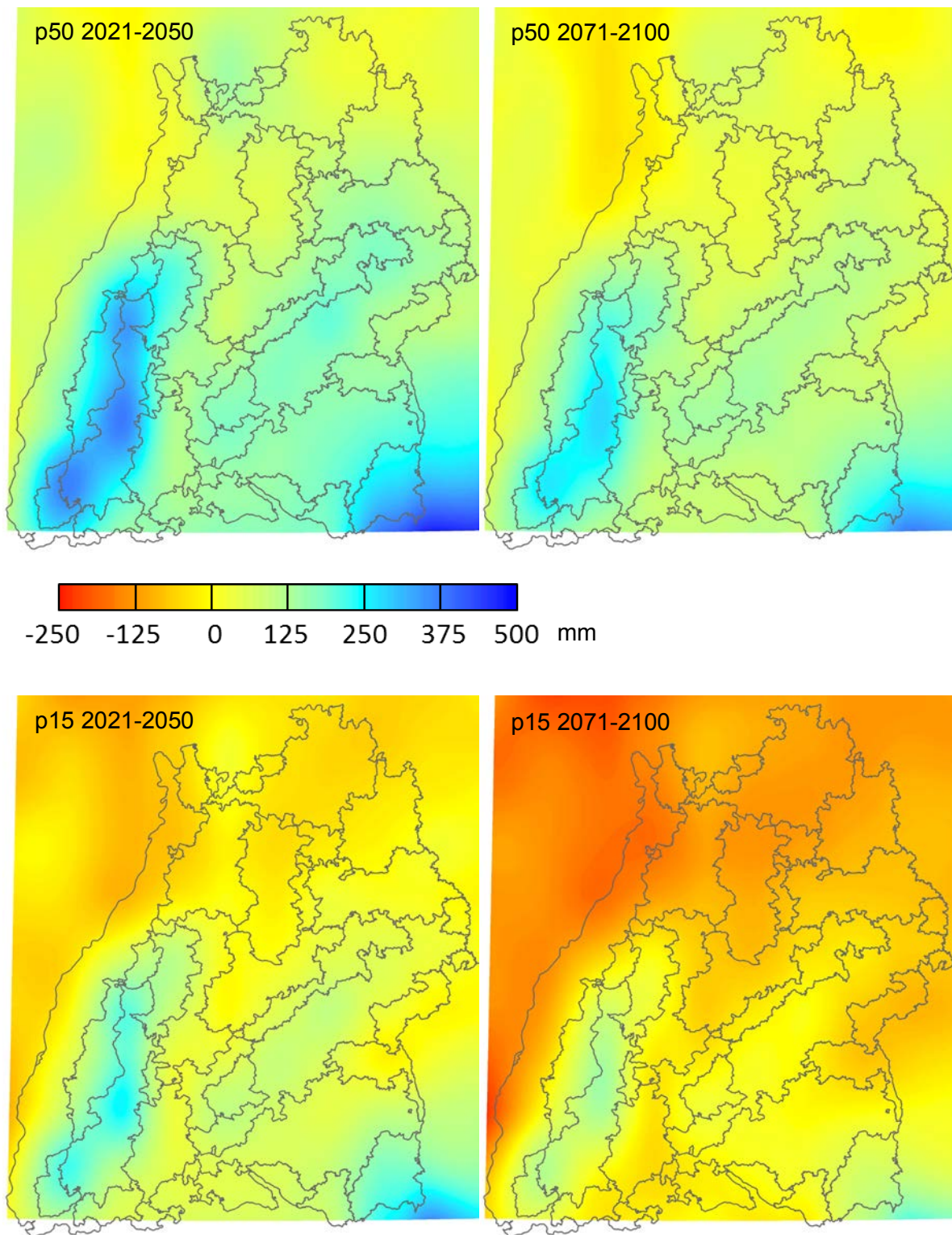


Abb. 4-26: Summe der mittleren klimatischen Wasserbilanz für die Monate Mai bis September in der nahen und fernen Zukunft, jeweils im 50. und im 15. Perzentil [Daten: LUBW, Kartendarstellung: LTZ].

Leichter umsetzbar und für eine räumliche und zeitliche Differenzierung der Vulnerabilität gegenüber Trockenheit ebenfalls geeignet ist die Verknüpfung von nutzbarer Feldkapazität und klimatischer Wasserbilanz (Abb. 4-26). Damit ist einerseits die für die Wasserversorgung der Pflanzen wichtigste hydrologische Bodeneigenschaft und andererseits ein Klimaparameter mit

einbezogen, der von Niederschlag und Temperatur abhängt. Die klimatische Wasserbilanz wird aus der Differenz zwischen Niederschlag und potentieller Evapotranspiration, die auch von der Temperatur abhängt, ermittelt. Zur Bewertung der Vulnerabilität wurde die Summe der KWB der Monate Mai bis September (Vegetationsperiode) einer Vergleichsgebietsgruppe gebildet und in einer Matrix mit der über die Böden der Vergleichsgebiete gemittelten nutzbaren Feldkapazität (nFK) verknüpft (Tab. 4-7, Tab. 4-8). Für die Bewertungsskala wurde die Differenz zwischen der KWB-Summe im berechneten Istzustand und der modellierten KWB-Summe in den verschiedenen Zukünften verwendet. Die Verfügbarkeit von Grundwasser spielt bei dieser Bewertungsmethodik keine Rolle.

Weitere Klimakennwerte sind nach Sichtung der Daten nicht zielführender. Dazu gehören die Anzahl der Trockenperioden im Jahr (eine Trockenperiode ist dabei definiert als Zeitbereich von mindestens 11 Tagen, bei der pro Tag weniger als 1 mm Niederschlag fällt), die Länge der Trockenperiode, die Lage der Trockenperioden im Jahr und die Anzahl Tage ohne Niederschlag.

Die Werte der KWB an den Punkten des 25x25 km-Rasters wurden wie bei der Hitzebewertung den Vergleichsgebieten zugeordnet. Die nFK wurde aus der Bodenübersichtskarte 1:200 000 (BÜK200) durch Herrn Dr. Waldmann, Regierungspräsidium Freiburg, für die Vergleichsgebiete gemittelt. Die Aggregation zu VGG erfolgte für die KWB wie bei der Hitzebewertung, die nFK-Werte für die VGG wurden aus den Mittelwerten der VG nochmals gemittelt.

Tab. 4-7: Beziehung zwischen klimatischer Wasserbilanz (KWB) und nutzbarer Feldkapazität (nFK) in den landwirtschaftlichen Vergleichsgebietsgruppen Baden-Württembergs (Abb. 3-1) als Maß für die Vulnerabilität gegenüber Trockenheit. P50: 50. Perzentil, p15: 15. Perzentil der Klimamodellergebnisse hinsichtlich KWB. Bedeutung der Farbgebung s. Tab. 4-8.

VGG-Nr.	Bezeichnung	Mittl. nFK der Böden	p50 nahe Z. – p50 Ist	p50 ferne Z. – p50 Ist	p15 nahe Z. – p50 Ist	p15 ferne Z. – p50 Ist
1	Unterland/Gäue	180	-17	-51	-108	-191
2	Rhein/Bodensee	140	-24	-79	-135	-225
3	Schwarzwald	90	-29	-107	-154	-257
4	Alb/Baar	80	-26	-67	-122	-205
5	Allgäu	140	-51	-121	-133	-246
6	Oberland/Donau	140	-19	-78	-133	-207
7	Albvorland/Schwäb. Wald	100	-15	-58	-120	-196
8	Bauland/Hohenlohe	115	-14	-39	-116	-193

Tab. 4-8: Einteilung der Bewertungsklassen zu Tab. 4-7

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

Im 15. Perzentil der nahen und fernen Zukunft erweisen sich die Gebiete Unterland/Gäue, Bauland/Hohenlohe und Albvorland/Schwäbischer Wald als hoch vulnerabel gegenüber Trockenheit.

Im Prinzip gilt diese Einschätzung auch für die Grünlandbestände, wobei es hier stärker auf Exposition und Gründigkeit ankommt. Da bei Grünland Wachstum und Ertragsbildung stark von den kleinräumigen Bedingungen abhängen und je nach Geländeform und Exposition Temperatur und Niederschlag örtlich stark variieren (Kap. 4.3.3), ist eine Vulnerabilitätsbewertung für Vergleichsgebietsgruppen wenig sinnvoll. Mit der nachstehenden Tabelle (Tab. 4-9) wird daher der Versuch unternommen, die Empfindlichkeit von intensiv genutztem Grünland gegenüber auftretender Trockenheit in Baden-Württemberg abzuschätzen. Berücksichtigt sind hier die kleinräumigen Unterschiede in Vergleichsgebieten, die sich vor allem in der Exposition und damit der veränderten Wasser-Verfügbarkeit ausdrücken.



Tab. 4-9: Abschätzung der Trockenheitsanfälligkeit intensiv genutzter Grünlandbestände in Baden-Württemberg bezogen auf unterschiedliche Vergleichsgebiete (Vulnerabilitätsgrade:

	hoch	mittel	gering
<b>Vergleichsgebiet</b>			
	sonnexponiert, flachgründig	Schattlage, tiefgründig	
1 Unterland/Bergstrasse	hoch	mittel	gering
2a Bessere Gäulandschaften	mittel	mittel	gering
2b Geringere Gäulandschaften	hoch	mittel	gering
3a Bessere Rheinebene	mittel	mittel	gering
3b Geringere Rheinebene	hoch	mittel	gering
4 Westlicher Bodensee	gering	gering	gering
9 Östlicher Bodensee	gering	gering	gering
5 Westschwarzwald	gering	gering	gering
6 Hochschwarzwald	hoch	mittel	gering
7 Ostschwarzwald	hoch	mittel	gering
8 Baar	hoch	mittel	gering
14 Geringere Alb	hoch	mittel	gering
15 Heuberg	hoch	mittel	gering
16 Westliches Albvorland	mittel	mittel	gering
10 Allgäu	gering	gering	gering
11 Oberland	gering	gering	gering
12 Donau-Iller	mittel	mittel	gering
13 Bessere Alb	mittel	mittel	gering
17 Neckar/Nagoldgebiet	hoch	mittel	gering
18 Östliches Albvorland	mittel	mittel	gering
19 Schwäbischer Wald	mittel	mittel	gering
19 Odenwald	hoch	mittel	gering
20 Hohenlohe	hoch	mittel	gering
21b Besseres Bauland	hoch	mittel	gering
21b Geringeres Bauland	hoch	mittel	gering

#### 4.6.3 Vulnerabilitätsbewertung Bodenerosion

Die Bewertung wurde im Gutachten zum Handlungsfeld Boden durchgeführt [Billen und Stahr 2013] und dort ausführlich hergeleitet und begründet. Die Vulnerabilität ergibt sich hierbei aus der Veränderung der Erosionsgefährdung in naher und ferner Zukunft zur aktuellen Erosionsgefährdung. An dieser Stelle wird lediglich das Ergebnis zitiert (Tab. 4-10, 4-11). Die regionale Abgrenzung orientiert sich an so genannten Landschaftsökologischen Regionen (LÖR), abgeleitet aus den Naturräumen nach Meynen und Schmithüsen.

Tab. 4-10: Aggregiert-gewichtete Vulnerabilitätsstufen der Landschaftsökologischen Regionen (LÖR) für den Teilbereich Bodenerosion in Abhängigkeit der Klimaprojektionsvarianten [Billen und Stahr 2013].

Landschaftsökologische Region	LÖR Nr.	nah 50	nah 85	fern 50	fern 85	f85 o.LN <sup>1)</sup>
Oberrhein. Tiefland + Hochrhein	1	1	3.1	2.2	3.1	3.2
Unterland/Gäue	2	2.2	3.1	3.1	3.1	3.2
Schwarzwald	3	1	1	1	1	3.2
Voralpines Hügel- und Moorland	4	1	2.1	1	2.1	3.2
Donau-Iller-Lech-Platte	5	1	1	1	1	3.2
Schwäbische Alb	6	1	1	1	1	3.2
Schwäb. Keuper-Lias Land	7	1	1	1	1	3.2
Bauland/Hohenlohe	8	1	2.1	1	2.1	3.1
Baden-Württemberg	1-8	1	2.1	1	2.1	3.2

1) ohne aktuelle Landnutzung = potenzielle Vulnerabilität; angenommen: Schwarzbrache

Bei nahezu jeder betrachteten Klimaprojektion weisen Unterland/Gäue und Oberrheinisches Tiefland mit Hochrhein eine hohe Vulnerabilität auf. Diese Landschaften sind ackerbaulich geprägt und weisen weit verbreitet erosionsempfindliche Böden aus Löss in Kombination mit hügeligem Relief auf. Risikobereiche im Voralpinen Hügel- und Moorland sowie Bauland/Hohenlohe führen bei den Klimaprojektionen mit 85. Perzentil zu mittlerer Vulnerabilität (s. Tab. 4-11). Bei dieser Bewertung wurde die aktuelle Landnutzung zu Grunde gelegt und über den so genannten C-Faktor in der Allgemeinen Abtragungsgleichung berücksichtigt. Bei der exemplarischen Darstellung der Vulnerabilität ohne aktuelle Landnutzung in der fernen Klimaprojektion mit 85. Perzentil zeigt sich die Veränderung des potenziell-natürlichen Erosionsrisikos. Dabei ist die Vulnerabilität durchgängig hoch.

Tabelle 4-11: Regionale Risikobereiche in den Landschaftsökologischen Regionen, die einen Flächenanteil von über 15 % mit hoher Vulnerabilität aufweisen. [Billen und Stahr 2013].

LÖR-Nr.	Landschaftsökologische Region	regionale Risikobereiche
1	Oberrhein. Tiefland + Hochrhein	Kaiserstuhl, Markgräfler Land Nördlicher Oberrhein
2	Unterland/Gäue	Kraichgau Neckarbecken
4	Voralpines Hügel- und Moorland	Hegau Bodenseebecken Oberschwaben
8	Bauland/Hohenlohe	Hohenloher-Haller Ebene

#### 4.6.4 Gesamtbewertung der Vulnerabilität

Für eine Gesamtbewertung der Vergleichsgebietsgruppen hinsichtlich der Vulnerabilität des Ackerbaus gegen Hitze, Trockenheit und Bodenerosion wurden die drei Bewertungen miteinander verknüpft mit der einfachen Regel, dass der höhere Vulnerabilitätsgrad in einer der drei Matrices für die Gesamtbewertung gelten soll. Dies erscheint insofern sinnvoll, als zumindest Hitze und Trockenheit oft in Kombination auftreten und sich hinsichtlich der Auswirkungen potenzieren. Tab. 4-12 zeigt, dass die treibende Kraft für die Gesamtbewertung in der Regel die Vulnerabilität gegenüber Hitze ist.

Tab. 4-12: Gesamtbewertung der Vulnerabilität landwirtschaftlicher Vergleichsgebietsgruppen in Baden-Württemberg gegenüber Hitze, Trockenheit und Bodenerosion. Bewertungsskala Vulnerabilität:

hoch mittel gering

H: Hitze bestimmt Gesamtbewertung; T: Trockenheit bestimmt Gesamtbewertung; E: Erosionsrisiko bestimmt Gesamtbewertung.

VGG-Nr.	Bezeichnung	p50	p50	p85 H/p15 T	p85 H/p15 T
		nahe Z.	ferne Z.	nahe Z.	ferne Z.
1	Unterland/Gäue	E	H/E	H/T/E	H/T/E
2	Rhein/Bodensee	H/T	H	H/E	H/E
3	Schwarzwald	H/T	H/T/E	H/T/E	H
4	Alb/Baar	H/T	H/T/E	T	H/T
5	Allgäu	H/T	H/T/E	H/T	H
6	Oberland/Donau	H/T	H	H	H
7	Albvorland/Schwäb. Wald	H/T	H/T	T	H/T
8	Bauland/Hohenlohe	H/T	H/T	T	H/T

Im 50. Perzentil der nahen Zukunft sind noch (fast) alle Vergleichsgebietsgruppen des Landes gering vulnerabel. Bei stärker ausgeprägten Klimakennwerten (85. Perzentil bei Hitze oder 15. Perzentil bei Trockenheit) oder in ferner Zukunft steigt die Vulnerabilität besonders in den Regionen des Landes, die bereits heute vergleichsweise warm, trocken oder erosionsanfällig sind.

Zur Visualisierung der verschiedenen Vulnerabilitätsbewertungen der Regionen wurden Karten der Vergleichsgebietsgruppen erstellt und Balken für Hitze, Trockenheit und Bodenerosion, eingefärbt mit den jeweiligen Farben der Bewertungsstufen, eingefügt. Die Abbildungen 4-27 und 4-28 zeigen die Ergebnisse für die nahe und ferne Zukunft der mittleren Modellergebnisse (p50, 50. Perzentil) und die Abbildungen 4-29 und 4-30 für die extremere Klimaausprägung der Modellergebnisse (p85 Hitze und Bodenerosion, p15 Trockenheit bzw. 85. oder 15. Perzentil). 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 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 (Darstellung in Teil B des Gutachtens) und der Bewertungsbalken entsprechend aufgeteilt. Für die Gesamtbewertung hat das Vorgehen kaum Einfluss (nur p50 nahe Zukunft, VGG 1 Unterland/Gäue) und erscheint angesichts des ohnehin hohen Aggregierungsgrads vertretbar.

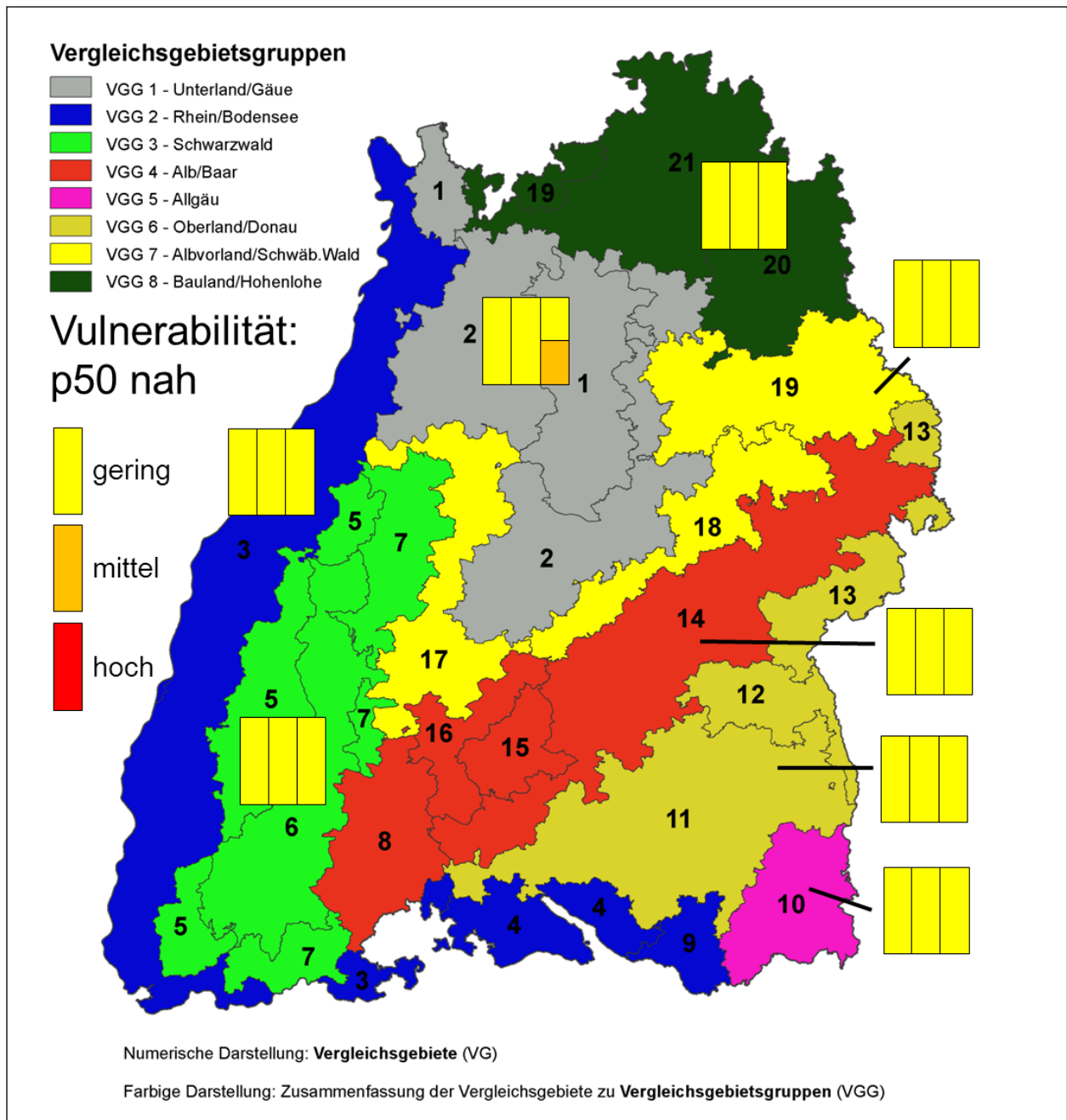


Abb. 4-27: Zusammenfassende Vulnerabilitätsbewertung für das 50. Perzentil der nahen Zukunft (2021-2050) in den landwirtschaftlichen Vergleichsgebietsgruppen Baden-Württembergs. Linker Balken: Hitze, mittlerer Balken: Trockenheit, rechter Balken: Bodenerosion.

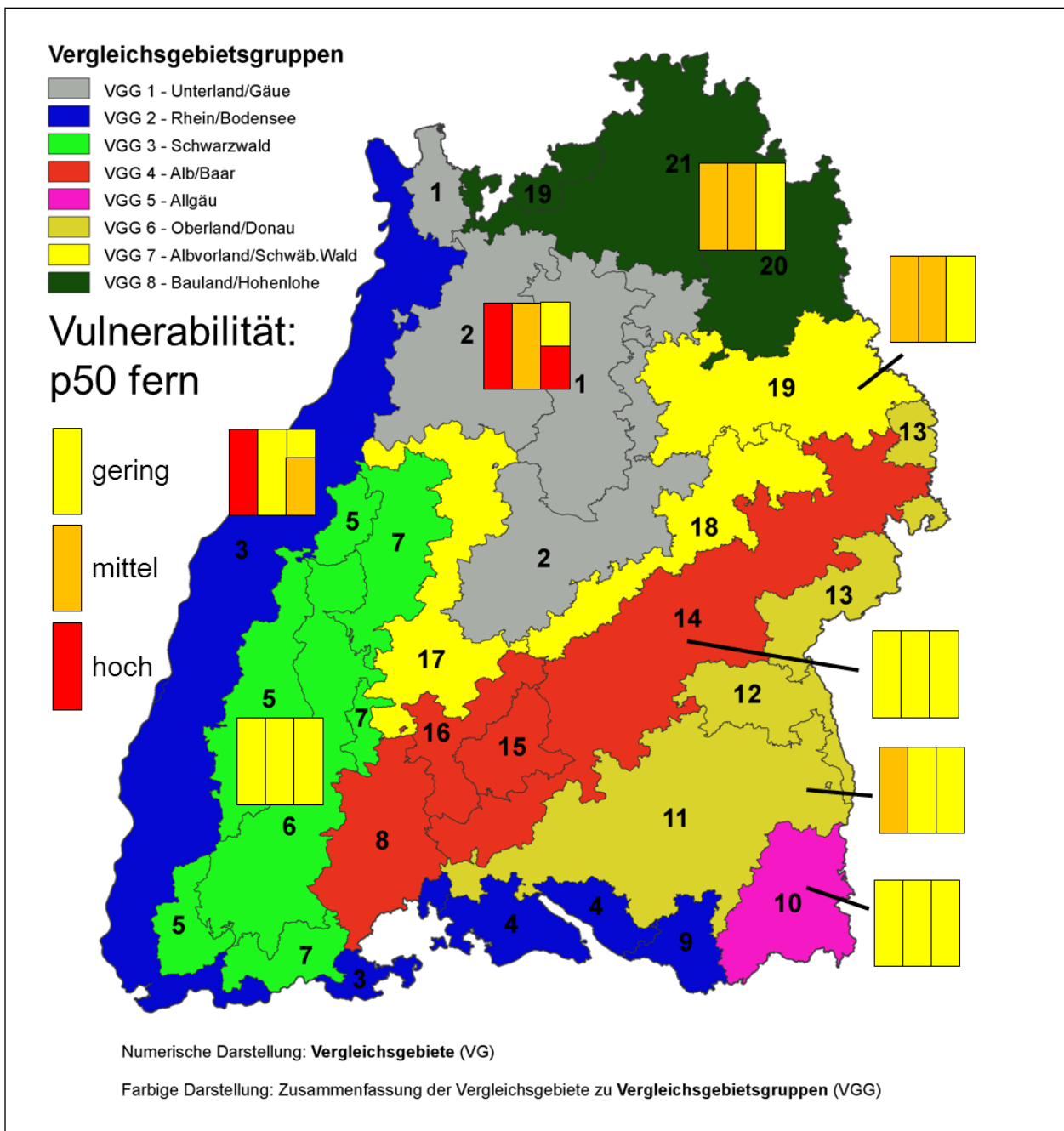


Abb. 4-28: Zusammenfassende Vulnerabilitätsbewertung für das 50. Perzentil der fernen Zukunft (2071-2100) in den landwirtschaftlichen Vergleichsgebietsgruppen Baden-Württembergs. Linker Balken: Hitze, mittlerer Balken: Trockenheit, rechter Balken: Bodenerosion.

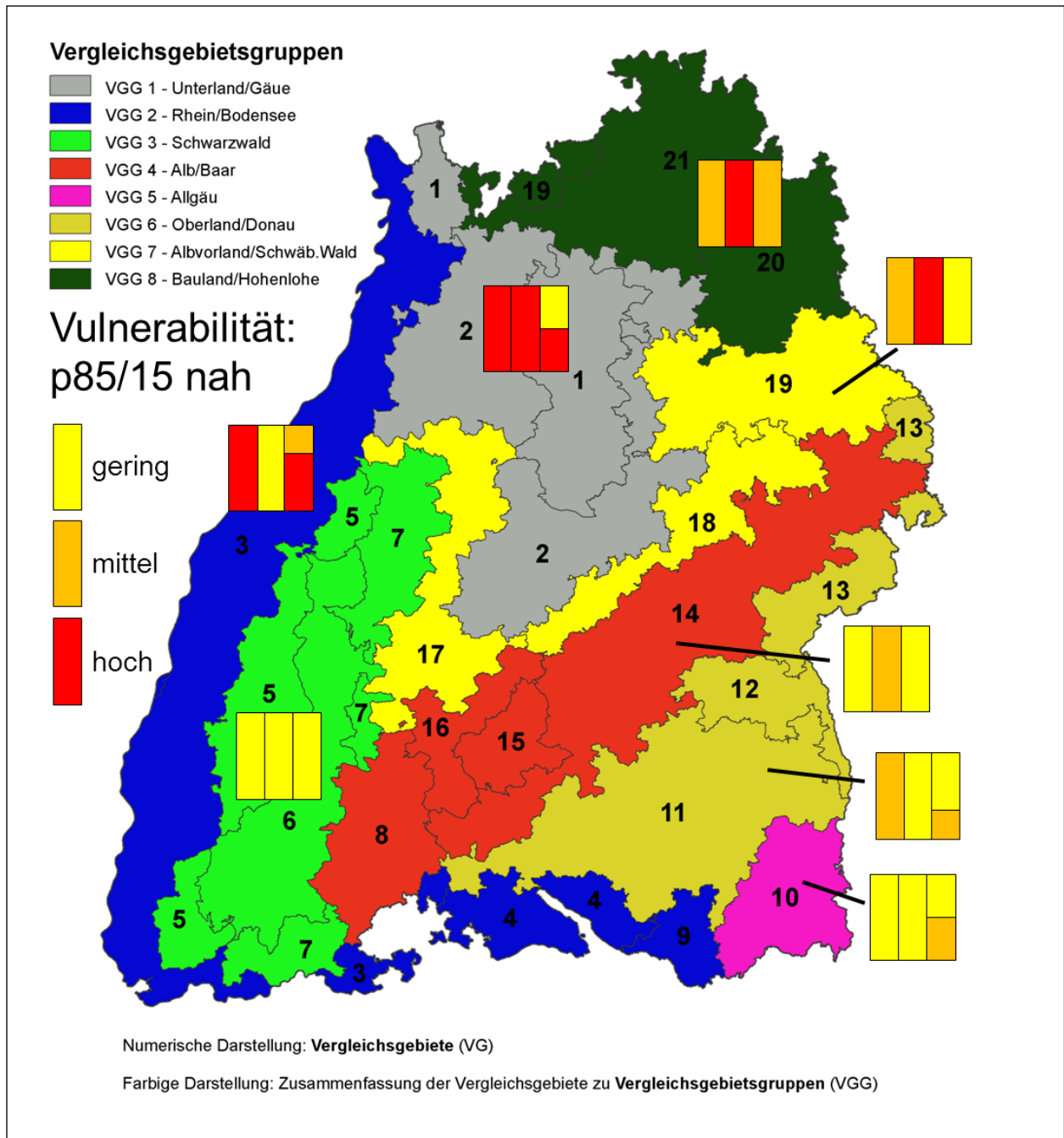


Abb. 4-29: Zusammenfassende Vulnerabilitätsbewertung für das 85./15. Perzentil der nahen Zukunft (2021-2050) in den landwirtschaftlichen Vergleichsgebietsgruppen Baden-Württembergs. Linker Balken: Hitze (p85), mittlerer Balken: Trockenheit (p15), rechter Balken: Bodenerosion (p85).

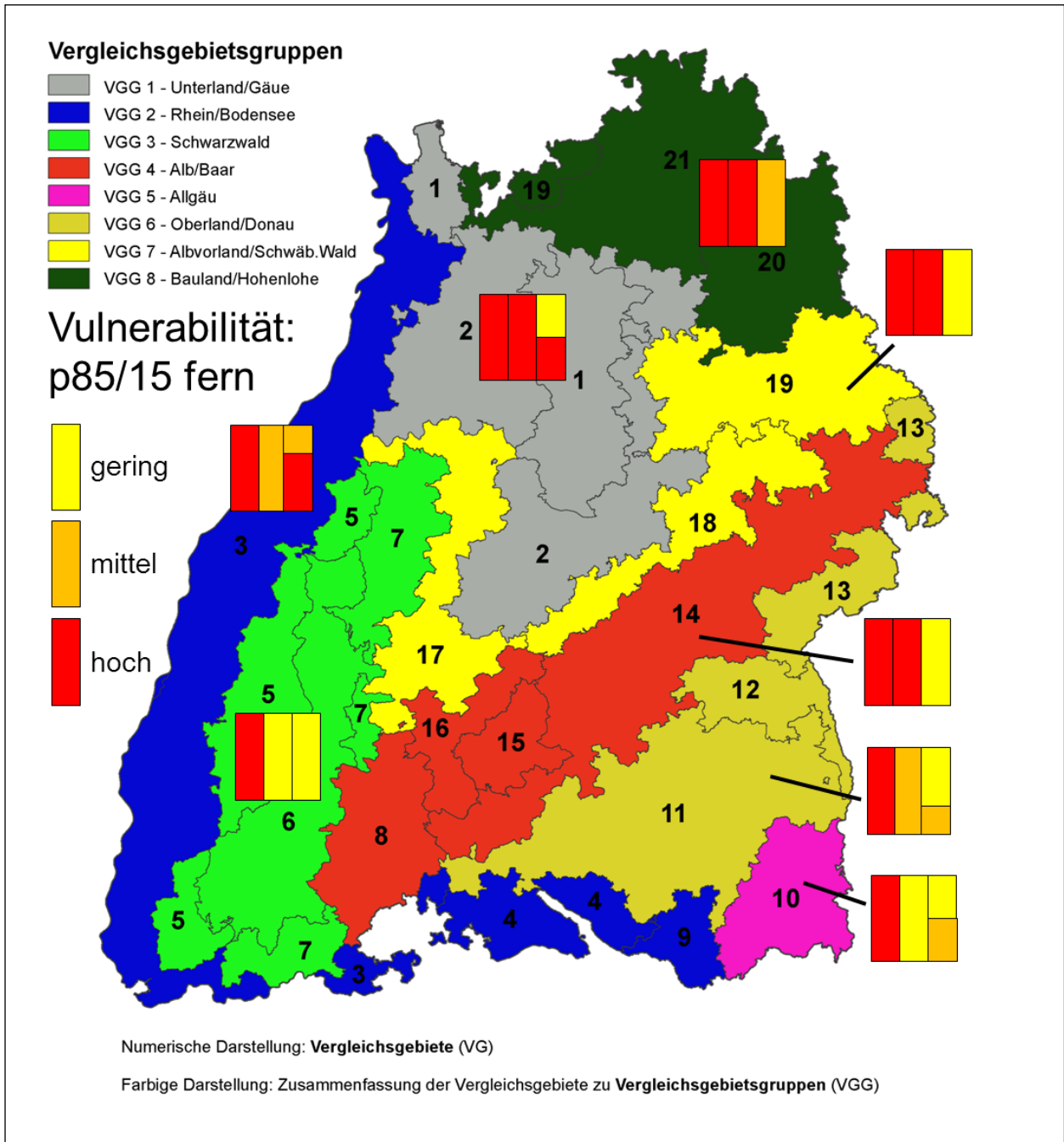


Abb. 4-30: Zusammenfassende Vulnerabilitätsbewertung für das 85./15. Perzentil der fernen Zukunft (2071-2100) in den landwirtschaftlichen Vergleichsgebietsgruppen Baden-Württembergs. Linker Balken: Hitze (p85), mittlerer Balken: Trockenheit (p15), rechter Balken: Bodenerosion (p85).



## 5 Anpassungsmaßnahmen

### 5.1 Anpassungen im Ackerbau

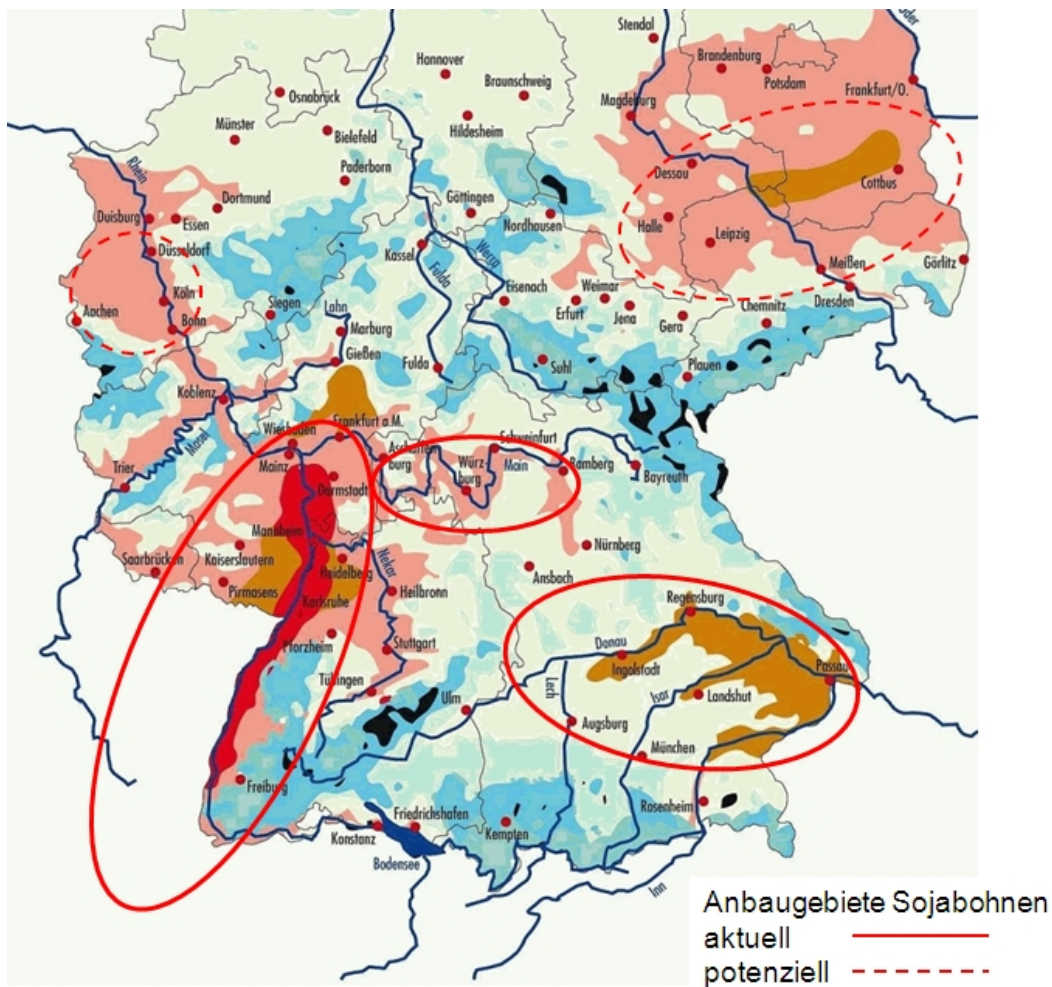
#### 5.1.1 Höhere CO<sub>2</sub>-Konzentrationen

C4-Pflanzen wie Mais gewinnen bei einer deutlichen Temperaturerhöhung und bei Hitzeperioden gegenüber C3-Pflanzen wie Weizen an Konkurrenzkraft. C3-Pflanzen profitieren im Ertrag wiederum stärker von einer Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre als C4-Pflanzen. Insofern könnte die erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentration für einen gewissen Ausgleich zwischen den Kulturarten sorgen, vor allem dann, wenn das hohe Ertragspotential z.B. von Mais oder Hirse durch längere Trockenphasen nicht ausgenutzt werden kann.

Das CO<sub>2</sub>-bedingte höhere Ertragspotential – verbunden mit einer höheren Wassereffizienz – sollte sich in den Zielen für die Pflanzenzüchtung widerspiegeln: Die CO<sub>2</sub>-Düngung sollte in Ertrag umgesetzt werden können [Ziska et al. 2012]. Gleichzeitig muss die notwendige Qualität gesichert werden, indem die CO<sub>2</sub>-bedingte Ertragssteigerung durch eine angemessene Stickstoffversorgung ergänzt wird. Neben der Pflanzenzüchtung [Tausz et al. 2013] ist hier auch eine angepasste Düngungsstrategie gefragt: Dabei muss nicht nur die Menge, sondern ggf. auch die Darreichungsform (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) angepasst werden. Ob eine Düngung mit Betonung des Ammoniums die Stickstoffversorgung verbessern könnte, muss durch praxisnahe Versuche noch weiter geprüft werden. Dabei ist auf eine gute Stickstoffausnutzung zu achten. Sie ist nicht nur für den Ertrag nützlich, sondern hat auch Auswirkungen auf die Emission von N<sub>2</sub>O. Könnte der Düngestickstoff sogar schlechter ausgenutzt werden als bisher, wäre eine Erhöhung der N<sub>2</sub>O-Emissionen die Folge. Dies würde das Treibhausgasbudget der Landwirtschaft belasten.

#### 5.1.2 Fruchtartenwahl und Fruchtfolgegestaltung

Bei der zu erwartenden Temperaturerhöhung werden wärmeliebende Arten ihren Anbauumfang ausweiten können. Am Beispiel Sojabohne lässt sich die mögliche Entwicklung bereits heute ablesen. Innerhalb weniger Jahrzehnte ist ihr Anbauumfang von wenigen Dutzend Hektar in Südbaden auf derzeit ca. 1400 ha in Baden-Württemberg angestiegen. Mit zunehmender Erwärmung wird die für Wachstum und Ertragsbildung notwendige Wärmesumme in immer mehr Regionen des Landes erreicht werden (Abb. 5-1, Abb. 5-3). Allerdings benötigt die Sojabohne gute, nicht allzu schwere, leicht erwärmbare Böden und eine gute Wasserversorgung besonders während Blüte, Hülsenbildung und -füllung, d.h. im Juli und August [Recknagel und Imgraben 2013].



Reife-Positionierung nach Wärmesummen (°C\*)

■ 1001 bis 1100	} raue Lagen
■ 1101 bis 1200	
■ 1201 bis 1300	} Übergangslagen
■ 1301 bis 1400	
■ 1401 bis 1500	} günstige Lagen
■ 1501 bis 1600	
■ über 1600	} beste Lagen

\* Frostfreie Tage zwischen 15.04. und 15.11. (8 – 30°C), 1961 – 1990

Abb. 5-1: Aufgrund der Wärmesumme bereits heute geeignete Gebiete für den Sojaanbau in Deutschland. Aktuelle Gebiete mit Sojaanbauflächen und potentielle Gebiete für die Ausweitung des Anbaus in nächster Zukunft. Auch innerhalb der als „aktuell“ gekennzeichneten Gebiete ist die Ausweitung der Anbauflächen möglich. Der Oberrheingraben kommt als wärmstes Gebiet gut zur Geltung. Nach einer Karte des Julius-Kühn-Instituts, verändert [Recknagel (LTZ), pers. Mitt.].

Mais wird bei weiter steigenden Temperaturen weiter an Konkurrenzkraft gewinnen und der Anbauumfang wird daher vermutlich noch zunehmen. Abbildung 5-2 zeigt die derzeitige Bedeutung des Maisanbaus in den Kreisen Baden-Württembergs. In der südlichen Oberrheinebene nimmt der Maisanbau bereits mehr als die Hälfte der Ackerfläche ein, wobei der Körnermais dominiert. Im Zuge der weiteren Erwärmung wird die Maisanbaufläche sich in

den östlichen und höher gelegenen Landesteilen ausdehnen können, und auch der Anteil des Körnermaises wird vermutlich gegenüber der derzeitig überwiegenden Silomaisnutzung zulegen. Bereits die Klima- und Ertragssimulationen des KLARA-Projektes [Stock 2005] wiesen auf die Möglichkeit hin, dass in den warmen Gebieten Baden-Württembergs Winterweizen gegenüber Mais an Konkurrenzkraft verliert.

Zu beachten ist jedoch, dass – wie das Jahr 2003 gezeigt hat – das hohe Ertragspotential von Mais nur bei ausreichender Wasserversorgung ausgenutzt werden kann. Auf leichten Böden in eher niederschlagsarmen Regionen wird eine Ausweitung des Maisanbaus an Grenzen stoßen, vor allem dann, wenn die Niederschläge in der Vegetationsperiode deutlich zurückgehen sollten.

Hirsearten wie *Sorghum* und *Panicum* werden vermutlich ebenfalls an Konkurrenzkraft gewinnen. In Versuchen des LTZ hat sich gezeigt, dass *Sorghum*-Hirsens z.B. mit Trockenheit besser zurecht kommen als Mais. *Sorghum* benötigt im Vergleich zu Mais ca. 30 % weniger Wasser für eine vergleichbare Biomasseleistung [Stolzenburg und Monkos 2012]. Das würde den Anbau auch in niederschlagsärmeren Regionen attraktiv machen, in denen die Ertragssicherheit von Mais bereits beeinträchtigt ist. Sowohl bei Mais, als auch bei Hirse ist der Boden erosionsanfälliger als bei anderen Kulturen mit längerer Bodenbedeckung. Hinzu kommt zumindest bei Nutzung als Silo- oder Biogasmais eine negative Humusbilanz [Schmid et al. 2010, Möller 2011]. Bei Ausweitung des Anbaus ist sowohl dem Erosionsschutz, als auch der Humuserhaltung besondere Beachtung zu schenken.

Bisherige Nischenkulturen wie Amaranth und Quinoa, aber auch nachwachsende Rohstoffe, darunter mehrjährige Arten wie *Miscanthus* oder Durchwachsene Silphie, werden vom LTZ Augustenberg pflanzenbaulich intensiv geprüft. Interessant angesichts der künftigen Hitzebelastung sind auch Agroforstsysteme mit ihrer teilweise beschattenden Wirkung.

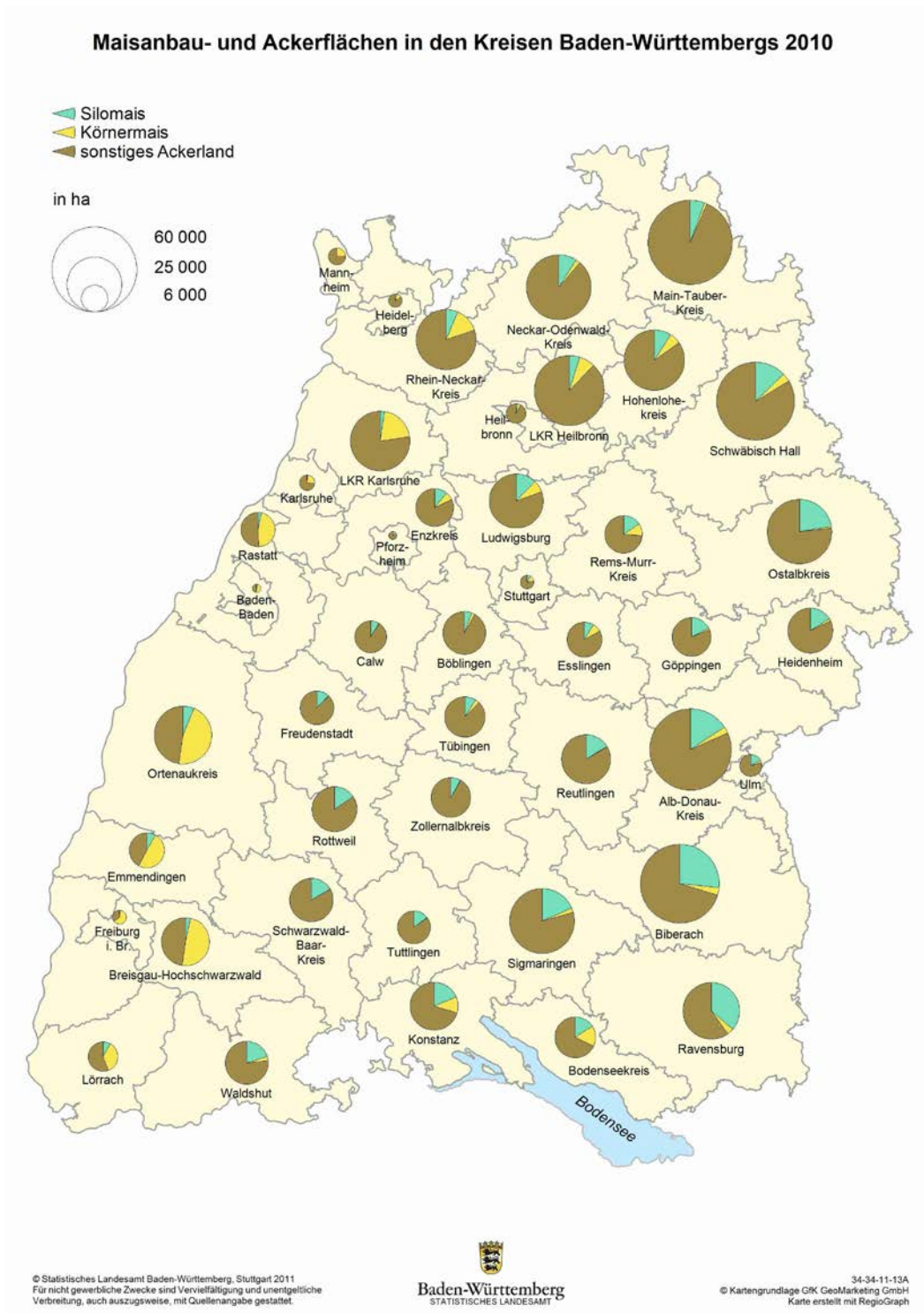


Abb. 5-2: Anteil von Silomais und Körnermais an den Ackerflächen Baden-Württembergs [Statistisches Landesamt Baden-Württemberg 2011]

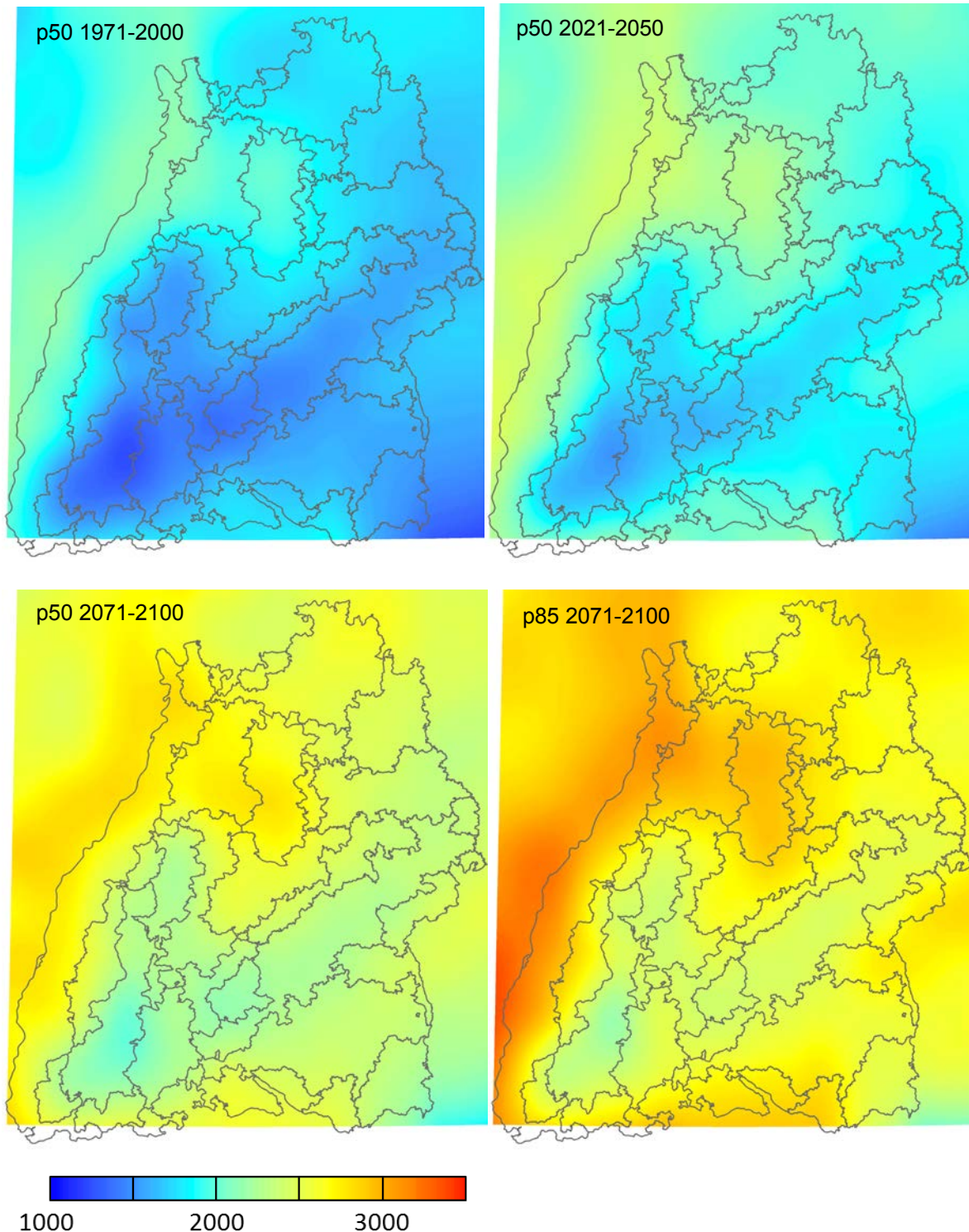


Abb. 5-3: Wachstumsgradtage pro Jahr in Baden-Württemberg, 50. Perzentil der Modellergebnisse aktuell sowie in naher und ferner Zukunft. Als Vergleich das 85. Perzentil in ferner Zukunft. Ein Wachstumsgradtag wird aus der Tagesminimum- und der Tagesmaximum-

Temperatur wie folgt berechnet: 
$$\text{WGT} = \frac{T_{\min} + T_{\max}}{2} - T_z \quad (\text{mit } T_z \approx 10 \text{ }^\circ\text{C}).$$

Der Beginn der Wachstumsgradtage ist festgelegt auf den Zeitpunkt, wenn drei Tage in Folge die 10 °C-Marke überschritten wird. Das Ende der Wachstumsgradtage ist durch den ersten Frosttag gegeben. Daten: LUBW, Kartendarstellung: LTZ.

Sonnenblumen wären von den Standortansprüchen her durchaus eine Option für die Zukunft [LfL 2006]: Sie benötigen eine hohe Keimtemperatur (ca. 8 °C), eine lange Vegetationszeit bis in den September hinein (ca. 150 frostfreie Tage), viel Wärme in der Vegetationsperiode und anhaltend trockene Witterung bei beginnender Reife, d.h. von Anfang August bis Ende September. Die eher kontinentalen Klimaansprüche sind nicht immer gegeben; zu viel Niederschlag führt zu Ertragsausfällen (Fäulnisrisiko durch *Sclerotinia* und Korb-*Botrytis*). Ebenso problematisch kann der Bedarf nach ausreichender Wasserversorgung zur Zeit der Blüte (Mitte bis Ende Juli) sein. Hier sind tiefgründige Böden mit hoher Wasserkapazität von Vorteil. Um den Ausfall durch Vogelfraß zu kompensieren, sind in der Regel größere Flächen notwendig.

Durum-Weizen oder Hartweizen (*Triticum durum*) ist zur Herstellung von Grieß und hochwertigen Teigwaren wie Nudeln, Makkaroni oder Spaghetti unverzichtbar. Etwa 80% des Verbrauchs in Deutschland werden importiert. Durumweizen ist ziemlich trockentolerant und benötigt sogar warme und trockene Sommer, da Feuchtigkeit während der Reife leicht zu Auswuchs und Fusariumbefall führen können. In der Abreifephase sind zur Ausbildung der gewünschten Glasigkeit der Körner hohe Temperaturen und Trockenheit erforderlich. Dafür ist die Winterfestigkeit von Durum begrenzt. Bei stärkeren Frösten besteht das Risiko der Auswinterung [Mielke und Rodemann 2007].

Die verlängerte Vegetationsperiode könnte dadurch ausgenutzt werden, dass zwei Fruchtarten hintereinander angebaut werden. Bei Früchten, die für die Verwendung in der Biogasanlage gedacht sind und nicht vollständig ausreifen müssen, funktioniert das bereits heute. Der Anbau zweier marktfähiger Früchte im Ackerbau hintereinander ist nach Versuchen des LTZ Augustenberg auch künftig nur auf guten Böden und nicht ohne erhebliche Anpassungen beim Pflanzenschutz und ggf. in der Wasserversorgung möglich [Flaig und Mastel 2012].

Kulturen, die die Bodenstruktur verbessern und durch ihre tiefe Durchwurzelung auch tiefere Schichten für die Wasserversorgung erschließen, werden an Bedeutung gewinnen. Dazu gehören Leguminosen wie z.B. die Luzerne. In Versuchen am LAZBW zeigte sich auch im Trockenjahr 2003 eine hervorragende Ertragsstabilität und verglichen mit anderen Grünland- oder Feldfutteransaaten weit höhere Erträge [Elsässer 2004].

Umgekehrt werden mit zunehmender Erwärmung, damit verbundener höherer Hitzebelastung und ggf. Trockenheit Kulturarten, die weniger hitze- und trockentolerant sind, zumindest in den vulnerablen Gebieten des Landes an Konkurrenzkraft verlieren und in höhere Lagen oder in nördlichere Anbauggebiete abwandern. Dazu gehören Kartoffeln, Raps und Hafer. Ähnliches gilt für weniger hitze- und trockentolerante Sorten.

Durch die Temperaturerhöhung muss auch damit gerechnet werden, dass der Humusgehalt der Böden langfristig abnimmt, auch wenn die Projektionen und Humusgehaltsberechnungen [Billen und Stahr 2013] noch keine klare Tendenz erkennen lassen. Künftige Fruchtfolgen müssen

daher der Humusproduktion besondere Aufmerksamkeit widmen. Leguminosen und Zwischenfrüchte sind hierbei ein wichtiger Baustein. Zwischenfrüchte bieten auch Schutz vor Erosion und Nitratauswaschung.

Ein wichtiger Aspekt bei der Fruchtfolge ist die Risikostreuung. Mit der zu erwartenden größeren Variabilität der Witterung innerhalb eines Jahres und zwischen den Jahren, zwischen Hitzeperioden, Trockenheit, Starkniederschlägen, warmen und kalten Wintern und auch günstig verlaufenden Vegetationsperioden wird es ratsam sein, nicht nur auf eine Frucht oder auf eine zwei- bis dreigliedrige Fruchtfolge zu setzen, sondern das Spektrum zu erweitern und die Kulturartenauswahl an die sich verändernden klimatischen Standortbedingungen anzupassen. Das können je nach Standort z.B. „neue“ Winterungen sein wie Winter-Körnerleguminosen oder C4-Pflanzen wie Mais und Sorghumhirse, aber auch Soja, Sonnenblumen und Durum-Weizen.

Die agrarpolitischen Rahmenbedingungen unterstützen bereits jetzt eine vielfältigere Fruchtfolge. Im Agrarumweltprogramm MEKA III des Landes fördern die Maßnahmen N-A2 und N-A3 (viergliedrige bzw. fünfgliedrige Fruchtfolge) die Fruchtartendiversifizierung. Gemäß der Verordnung (EG) Nr. 73/20091 ist die Gewährung von Direktzahlungen ab dem Jahr 2005 auch an die Einhaltung von Vorschriften in den Bereichen Umwelt, Lebensmittel- und Futtermittelsicherheit sowie Tiergesundheit und Tierschutz (Cross Compliance) geknüpft. Die Cross-Compliance-Regelungen umfassen u.a. den Erhalt der organischen Substanz im Boden und den Schutz der Bodenstruktur. Um nachzuweisen, dass diese Regelungen eingehalten werden, hat ein landwirtschaftlicher Betrieb mehrere Möglichkeiten. Der Nachweis kann durch Aufstellen einer Humusbilanz, eine Untersuchung auf Humusgehalt oder durch ein Anbauverhältnis mit mindestens drei Kulturen erbracht werden.

### 5.1.3 Sortenstrategie und Bestandesführung

Der Klimawandel erfordert auch neue Ziele in der Pflanzenzüchtung, die in das bisherige Zuchtprogramm integriert werden müssen:

- Hitzetoleranz: Hohe und zuverlässige Ertragsbildung auch bei hohen Temperaturen, ohne dass die Kälteresistenz, die weiterhin benötigt wird, leidet
- Trockenheitstoleranz. Dazu gehört auch eine gute und schnelle Wurzelentwicklung, um die Bodenwasservorräte ausnutzen zu können, ggf. auch in tieferen Bodenschichten
- Toleranz gegen hohe natürliche Sonneneinstrahlung
- Ausnutzung des erhöhten CO<sub>2</sub>-Angebots zur Ertragsbildung bei weiterhin guter Qualität. Wahrscheinlich ist eine Züchtung auf Erhaltung/Verbesserung der Qualitätseigenschaften unter erhöhtem CO<sub>2</sub> notwendig.
- Resistenzentwicklung gegenüber Krankheitserregern und Schädlingen bleibt weiterhin ein wichtiges Zuchtziel

- Sorten mit früherer Abreife entwickeln, um vor einer möglichen Sommertrockenheit den Ertrag zu sichern
- Aber auch Sorten mit später Abreife (weiter) entwickeln, die in höheren und/oder niederschlagsreicheren Regionen die lange Vegetationszeit nutzen können

Sollte die Variabilität der Witterung mit fortschreitendem Klimawandel eher zunehmen, werden an die regionalen Standortbedingungen gut angepasste Sorten desto wichtiger. Insofern sind Landessortenversuche mit Auswertung auf Basis von Boden-Klima-Räumen unverzichtbar. Neben der Diversität der angebauten Kulturarten wird auch die Diversität der angebauten Sorten ein wichtiger Baustein der Risikostreuung.

Wenn die Anbaubedingungen trockener werden, müssen vermutlich die Aussaatmengen angepasst werden. Eine geringere Saatchichte lässt mehr Raum (und Wasser) für eine ausreichende Entwicklung der Einzelpflanzen.

Ebenso empfiehlt sich eine Anpassung der Saatzeiten: Sommerungen könnten früher gesät werden, da es früher warm genug dafür ist (Abb. 4-1; Abb. 5-3). Außerdem würde die Winterfeuchte besser ausgenutzt. Bei Winterungen wäre eher zu überlegen, sie wegen der wärmeren Herbstwitterung später als heute üblich zu säen, um die Vorwinterentwicklung zu begrenzen. Ein kritischer Faktor könnte die Befahrbarkeit der Böden sein. Für Hafer und manche Körnerleguminosen könnten auch Wintersorten eine Option sein: Sie hätten gegenüber den derzeit üblichen Sommersorten einen Entwicklungsvorsprung und könnten noch vor der größten Sommerhitze und –trockenheit abreifen. Allerdings sind sie empfindlich gegen Auswinterung.

Ein vermehrter Anbau von Zwischenfrüchten wäre wünschenswert, um das Restnitrat im Boden zu nutzen und im Aufwuchs festzulegen, aber auch um den Boden zu bedecken und einen positiven Beitrag zur Humusbilanz zu leisten. Damit würde den Risiken der vermehrten Auswaschung von Nitrat und der Bodenerosion vorgebeugt. Insbesondere bei Sommerzwischenfrüchten stellt sich künftig jedoch das Problem, ob noch genügend Wasser für eine erfolgreiche Etablierung und ausreichendes Wachstum der Zwischenfrucht vorhanden ist. Winterzwischenfrüchten wird manchmal eine mögliche Wasserkonkurrenz mit der Folgefrucht unterstellt, vor allem in Jahren mit Frühjahrstrockenheit. Versuchen im östlichen Österreich zufolge sollten Zwischenfrüchte aber selbst in trockeneren Gebieten für die Wasserversorgung der Folgefrucht (z.B. Mais, Zuckerrüben) kein wesentliches Problem sein [Bodner et al. 2011].



### 5.1.4 Bodenbearbeitung

Starkniederschläge sind eine wesentliche Ursache für die Erosion von Boden. Die Möglichkeiten, die Bodenerosion zu verringern, werden mittlerweile in einer ganzen Anzahl von Standardwerken behandelt und haben teilweise bereits Eingang in die landwirtschaftliche Beratung und Praxis gefunden. Ein aktuelles Werk [DWA 2012] enthält auch praktische Maßnahmensteckbriefe (hier eine Auswahl):

- Bodenbedeckung durch Pflanzenreste nach der Ernte oder durch Zwischenfrüchte, ggf. Aufbringung von Mulch. Bereits bei 30% Bodenbedeckung halbiert sich der relative Bodenabtrag gegenüber Schwarzbrache.
- Fruchtfolgegestaltung mit dem Ziel einer möglichst langen Bodenbedeckung (Betonung der Winterkulturen, weniger Reihenfrüchte wie Mais, Verkürzung der Brachezeiten durch Begrünung mit Sommer-/Winter-Zwischenfrüchten oder Klee gras).
- Konservierende (pfluglose) Bodenbearbeitung: Bei der Mulchsaat wird die Hauptfrucht in die Erntereste der Vorfrucht, Zwischenfrucht oder Untersaat eingesät. Bei der Streifenbearbeitung wird nur ein schmales Band gelockert oder intensiver bearbeitet, in dem das Saatgut abgelegt wird. Zwischen den Saatreihen bleibt der Boden unbearbeitet.
- Bei der Direktsaat wird mit einem speziellen Gerät ein Schlitz in den unbearbeiteten, mit Pflanzenresten bedeckten Boden eingebracht und dort das Saatgut abgelegt. Eine weitere Bodenbearbeitung unterbleibt.
- Bei der Querbewirtschaftung wird der Boden quer zum Gefälle statt in Gefällerrichtung bearbeitet. Die quer zum Hang verlaufenden Bearbeitungsspuren schaffen bei geringem Seitengefälle wirksame Barrieren.
- Teilung von Hängen und Schlägen durch streifenförmigen Anbau unterschiedlicher Kulturen. Der Anteil erosionsgefährdeter Kulturen wie Mais, Kartoffeln und Zuckerrüben auf einem großen Schlag oder Hang wird dadurch reduziert. Der Wechsel erosionsanfälliger und weniger anfälliger Kulturen bedeutet eine Streuung des Risikos.
- Anlage von linearen Landschaftselementen mit abflussbremsender oder abflussleitender Wirkung. Dazu gehören Kleinterrassen, Dämme, Hochraine, Hecken, Ackerrandstreifen, Dauerbegrünung von Hangmulden und wassersammelnden Tiefenlinien sowie Gewässerrandstreifen.
- Im Kartoffelanbau ist als spezielle Maßnahme die Anlage von angehäufelten Dämmen quer zu den eigentlichen Kartoffeldämmen zu nennen.
- Dauerhafte Begrünung unter Sonder- und Dauerkulturen, auf stark erosionsgefährdeten Standorten u.U. Umwidmung von Acker- zu Grünland.
- Anlage dezentraler Rückhalteeinrichtungen und Retentionsflächen.

Die Maßnahmen dienen der Gestaltung der Bodenoberfläche, der Pflege der Bodenstruktur und dem Management des Wasserabflusses und der Flächennutzung. In der Regel sind Kombinationen dieser Maßnahmen zielführender als Einzelmaßnahmen. Welche Maßnahme oder Maßnahmenkombination empfehlenswert ist, kann von Standort zu Standort und Betrieb zu Betrieb verschieden sein. Die Akzeptanz bei den Landwirten hängt neben den betriebswirtschaftlichen Kosten und Nutzen auch von den Auswirkungen auf den arbeitswirtschaftlichen Aufwand ab. Direktsaat ist beispielsweise sehr wirksam, allerdings muss das gesamte Anbausystem (Fruchtfolge, Zwischenfruchtanbau, Pflanzenschutz, Düngung etc.) gegenüber dem Pflugsystem verändert werden, um optimale Erträge zu erzielen. Hinzu kommt die Investition in neue Arbeitsgeräte, auch wenn die Kosten langfristig durch Abstockung des Maschinenbestandes und frei werdende Arbeitskapazitäten wieder kompensiert werden können [DWA 2012].

Empirische Daten, die eine Entscheidung für ein bestimmtes Maßnahmenbündel erleichtern, liegen nur in seltenen Fällen vor. Die mögliche Wirksamkeit erosionsmindernder Maßnahmen kann auch durch Modellierungen überprüft werden. Zur Simulation des Bodenabtrags wurde eine ganze Reihe von Modellen entwickelt [Übersicht in DWA 2012]. Ein solches Modell – „EROSION-3D“ – wird seit 2004 in der Landwirtschaftsverwaltung in ausgewählten Einzugsgebieten eingesetzt. Es wird von Fachinstitutionen, z.B. dem Bundesverband Boden, als besonders geeignet angesehen, um einzelne Schadensereignisse nachzubilden [Unterseher et al. 2012]. Bei der Modellierung von Schadensereignissen für Kleineinzugsgebiete in drei Gemarkungen (Friesenheim-Oberschopfheim im Ortenaukreis, Efringen-Kirchen im Landkreis Lörrach, Neuhausen auf den Fildern im Landkreis Esslingen) zeigte sich, dass konservierende Bodenbearbeitung eine der effizientesten Maßnahmen zur Verringerung des Bodenabtrags darstellt. Die Wirksamkeit erhöht sich in Kombination mit anderen Maßnahmen wie der Begrünung von Tiefenlinien in Friesenheim (Tab. 5-1).

Konservierende Bodenbearbeitung wie Mulchsaat hat bereits heute zumindest in einigen Regionen eine gute Akzeptanz bei Landwirten. In den neuen Bundesländern werden ca. 50% der Ackerflächen pfluglos bestellt. In Baden-Württemberg hat sich vor allem im erosionsgefährdeten Lössgebiet des Kraichgau die Mulchsaat in weiten Teilen als Standardverfahren durchgesetzt. Landesweit werden etwa 40% der Ackerfläche konservierend bearbeitet [Hartmann 2011], allerdings mit agrarpolitischer Förderung. Mit gezielter Beratung für Maschinenkooperationen können die einzelbetrieblichen Anschaffungskosten für Mulchsaattechnik gesenkt werden; dies erhöht die Akzeptanz deutlich [DWA 2012].

Tab. 5-1: Ergebnisse der Simulationen mit EROSION-3D für Friesenheim [Cesarz et al. 2006]. Simuliert wurde zum einen ein kurzes Starkregenereignis, das 2003 tatsächlich zu Überschwemmungen und Erosionsvorgängen geführt hatte: Es fielen 28 mm Niederschlag innerhalb von 60 Minuten. Um die Bedeutung der Niederschlagscharakteristik hervorzuheben, wurde zum anderen ein lang anhaltender Regen geringerer Intensität mit 63,5 mm Niederschlag in 14 Stunden simuliert. Konservierend: Mulchsaat und nicht wendende Bodenbearbeitung bei Mais und Getreide. GWW: an den kritischen Punkten (Talstreifen) wurde für die Simulation die tatsächliche Flächennutzung durch begrünte Streifen (Grassed Waterways) ersetzt.

Niederschlagsereignis 1 h mit 28 mm		Einzugsgebietsfläche [m <sup>2</sup> ]		619500
		Niederschlagsvolumen [m <sup>3</sup> ]		17346
Szenario	Oberflächenabfluss [m <sup>3</sup> ]	Sedimentaustrag [t]	Nettoerosion [t/ha]	Oberflächenabfluss [in % des Niederschl.]
<b>Pflug</b>	9906	8221,40	133,32	57,1
<b>Pflug + GWW</b>	8107	4272,05	69,28	46,7
<b>Konservierend</b>	8705	296,85	4,81	50,2
<b>Kons. + GWW</b>	7275	176,65	2,87	41,9

Niederschlagsereignis 14 h mit 63,5 mm		Einzugsgebietsfläche [m <sup>2</sup> ]		619500
		Niederschlagsvolumen [m <sup>3</sup> ]		39338
Szenario	Oberflächenabfluss [m <sup>3</sup> ]	Sedimentaustrag [t]	Nettoerosion [t/ha]	Oberflächenabfluss [in % des Niederschl.]
<b>Pflug</b>	3610	925,58	15,01	9,2
<b>Pflug + GWW</b>	870	160,69	2,61	2,2
<b>Konservierend</b>	324	0,45	0,01	0,8
<b>Kons. + GWW</b>	307	0,02	0,00	0,8

Konservierende Bodenbearbeitung mindert nicht nur die Bodenerosion, sondern fördert – nicht zuletzt durch die Schonung der Regenwürmer – das Bodenleben. Damit wird die Schaffung wasserabführender Regenwurmröhren ermöglicht, und es werden die Aggregatstabilität und der Humusgehalt gefördert. Durch die Erhöhung des Gehalts an organischer Substanz in den oberen Bodenschichten wird die Verschlammungs- und Verdichtungsneigung verringert, das Bodengefüge stabilisiert und die Fähigkeit des Oberbodens, Wasser zu leiten und zu speichern, verbessert [DWA 2012]. Der Vergleich von Bodenbearbeitungsverfahren in systematischen Versuchen hat gezeigt, dass konservierende Verfahren im Vergleich zum Pflugeinsatz die Bodenwasservorräte schonen und damit gerade in Trockenjahren zu Ertragsvorteilen führen können [Chervet et al. 2006, Flaig und Schickler 2012]. Sie sind damit als Anpassungsmaßnahme sowohl gegen die Auswirkungen von Starkniederschlägen, als auch gegen Trockenheit

zu betrachten. Mulchsaat – und auf geeigneten Standorten auch Direktsaat – sind wegen der vielfältigen positiven Wirkungen als no-regret-Maßnahme anzusehen. Im Zuge des Klimawandels ist daher davon auszugehen, dass konservierende Bodenbearbeitung und Direktsaat weiter an Bedeutung gewinnen werden.

Die agrarpolitischen Rahmenbedingungen unterstützen bereits jetzt konservierende Bodenbearbeitung. Im Agrarumweltprogramm MEKA III des Landes fördert die Maßnahme N-E4 die Anwendung von Mulch- oder Direktsaat im Ackerbau. Diese Förderung läuft allerdings aus. Die Cross Compliance-Regelungen der Verordnung (EG) Nr. 73/20091 umfassen u.a. Maßnahmen zur Erosionsvermeidung, die im Wesentlichen zeitliche Begrenzungen des Pflugeinsatzes und das Verbot der Beseitigung von Terrassen umfassen. Die landwirtschaftlichen Flächen wurden hierfür je nach Grad der Wasser- oder Winderosionsgefährdung bestimmten Klassen zugeordnet.

Durch den Rückgang der Frosttage kann der Landwirt nicht mehr in jedem Jahr mit einer ausreichenden Frostgare der Böden rechnen. Mit gleichzeitiger Zunahme der Niederschläge im Winterhalbjahr kann es verstärkt Probleme mit der Befahrbarkeit der Böden geben. Entsprechend wichtiger wird die zeitliche Planung der Bearbeitung in Abhängigkeit von Bodenzustand, Witterung und Arbeitsbelastung, eine bodenschonende Befahrung und die breite Verfügbarkeit entsprechend geeigneter Landtechnik (z.B. Niederdruckreifen).

### 5.1.5 Düngung

Wenn weniger Niederschläge fallen, die Variabilität der Niederschlagsereignisse größer wird oder Trockenheitsphasen ausgedehnter werden sollten, ist eine Anpassung der Düngung erforderlich. Eine präzise, standortabhängige Düngebedarfsermittlung und eine am Bedarf der Pflanzen ausgerichtete Ausbringung der berechneten Düngermengen wird noch wichtiger. Allerdings kann es auch häufiger vorkommen, dass die Ertrags Erwartung und damit der prognostizierte Nährstoffentzug sich als nicht zutreffend erweisen.

Platzierte Düngung als Band- oder Unterfußdüngung bringt die Nährstoffe zielgerichteter an die Wurzeln. Besonders bei häufiger auftretender (Frühsommer-)Trockenheit kann man nicht davon ausgehen, dass die ausgebrachten Dünger auch im Bodenwasser gelöst und folglich von den Pflanzen in ausreichender Menge aufgenommen werden können. Vermutlich wird eine Aufteilung der Düngung nicht mehr oder nicht mehr an allen Standorten vorteilhaft sein. Die Qualitätspätdüngung könnte den Pflanzen noch öfter nicht mehr im gewünschten Umfang und zeitgerecht zur Verfügung stehen.

Stabilisierte Düngerformen werden den sich verändernden Wachstumsbedingungen womöglich besser gerecht werden, da sie ein- oder zweimal in Perioden mit ausreichenden Niederschlägen ausgebracht werden können und so die Nährstoffe, dem jeweiligen Entwicklungs-

stadium entsprechend, den Pflanzen zur Verfügung stehen. Stabilisierte Dünger sind ammoniumbasierte Dünger mit einem Nitrifikationshemmstoff (in der Regel Dicyandiamid oder Dimethylpyrazolphosphat), der den ersten Schritt der mikrobiellen Nitrifikation vom Ammonium zu Nitrit hemmt. Ammonium bleibt länger erhalten und Nitrat wird erst verzögert und gleichmäßig freigesetzt – im Idealfall angepasst an Entwicklungsstand und Bedarf der Pflanzen. Die hemmende Wirkung hält je nach Bodenart und Temperatur 4-10 Wochen an. Versuche in Getreide, Raps und Mais haben gezeigt, dass die sonst übliche Aufteilung der Düngergaben weitgehend unterbleiben kann oder zumindest weniger Teilgaben gegeben werden müssen [Baumgartner 2012].

Stabilisierter Ammonium-Stickstoff ist bei Starkniederschlägen und nassen Perioden von Vorteil, da er im Gegensatz zu Nitrat wegen seiner Bindung an Tonminerale und Humus kaum ausgewaschen wird. Er ist aber auch bei Trockenperioden im Frühjahr und Frühsommer vorteilhaft, weil früh ausgebrachter stabilisierter Stickstoff aufgrund der noch vorhandenen Winterfeuchte zur Wirkung kommt. Pflanzen können ihren Stickstoffbedarf nicht nur durch Nitrat, sondern auch durch Ammonium decken. Wenn Ammonium von der Pflanze aufgenommen wird, wird die Wurzelumgebung saurer und damit die Aufnahme von Phosphor und Spurenelementen wie Mangan und Eisen sogar verbessert. Versuchsergebnisse zeigen, dass durch die Verwendung stabilisierter Stickstoffdünger im Vergleich zu konventionellen Mineraldüngern selten Ertragseinbußen auftreten [Hege und Offenberger 2004], sondern in der Regel weder Ertrag noch Qualität leiden (Zuckerrübe, Haberland und von Wulffen 2012; Winterweizen, Knittel et al. 2007). In manchen Fällen werden sogar Mehrerträge bei geringerem Stickstoffaufwand erzielt (Mais in der Rheinebene, Sprich in Baumgartner 2012). Besonders deutlich ist die ertragsfördernde Wirkung stabilisierter Dünger gerade auf leichteren Böden, aus denen Nitrat leicht ausgewaschen werden kann [Knittel et al. 2007].

Verschiedene Formen der Depotdüngung im Wurzelraum der Pflanzen (z.B. Injektionsverfahren nach dem sog. CULTAN-Prinzip) [Mastel 2007, Mokry 2011] versprechen eine gewisse Unabhängigkeit von der Witterung, da die Wurzeln sich aus dem Düngerdepot nach Bedarf „bedienen“ können. Bei diesem Düngeverfahren werden konzentrierte Ammonium- oder Ammoniumnitrat-Lösungen in die Nähe des Wurzelraums injiziert. Durch die hohe Konzentration wird die Nitrifikation verzögert, die Pflanzenwurzeln wachsen an das Depot heran und können sich vom Rand her sowohl vom Ammonium, als auch von dem allmählich freigesetzten Nitrat ernähren. Allerdings muss man sich schon früh auf die gesamte zu düngende N-Menge festlegen, so dass man die N-Versorgung später kaum mehr korrigieren oder den Mineralisationsbedingungen anpassen kann.

Versuchsergebnisse des LTZ zeigen, dass bei dieser Düngungsform Erträge und Qualitäten wie bei herkömmlicher Düngung bei geringerer Witterungsabhängigkeit erzielt werden können (Abb. 5-4 und 5-5). Bei Starkregenereignissen hätte diese Düngeform den Vorteil, dass eine

oberflächliche Abschwemmung bzw. eine Tiefenverlagerung des Düngers nicht relevant ist. Bei Trockenheit muss der Dünger nicht erst gelöst werden (und damit auf Niederschläge warten), sondern liegt bereits in gelöster Form im Wurzelraum vor. Ähnliches gilt für Düngesysteme mit Injektion von Gülle und flüssigen Gärresten in den Boden.

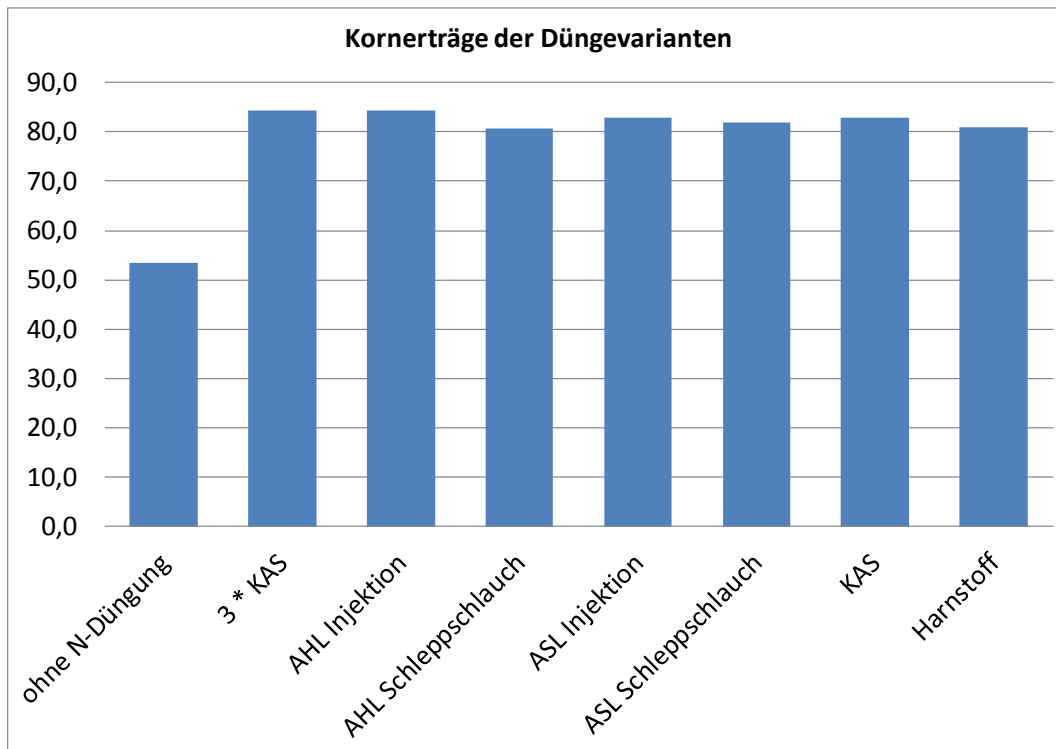


Abb. 5-4: Kornerträge von Winterweizen [dt/ha] im Durchschnitt dreier Jahre an drei Standorten im Vergleich verschiedener Düngevarianten: ohne Zufuhr von Stickstoff; 180 kg N in Form von: dreimaliger Ausbringung von Kalkammonsalpeter (KAS), einmaliger Injektion von Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung (AHL), einmaliger Injektion von Ammoniumsulfat-Lösung (ASL), Ausbringung von AHL oder ASL per Schleppschauch (oberirdisch), einmaliger oberflächlicher Ausbringung von KAS oder Harnstoff [Quelle: Mokry, LTZ].

Bei Trockenheit gewinnt auch die Blattdüngung, insbesondere für die Versorgung mit Mikronährstoffen, an Bedeutung. Hier ist besonders das Mangan hervorzuheben, das für eine gute Wurzelentwicklung notwendig ist. Auch die Versorgung mit Phosphor und Kalium muss unter Berücksichtigung der Nährstoffvorräte des Bodens ausreichend sein. Kalium ist für den Wasserhaushalt der Pflanze generell unverzichtbar: Es fördert das Wurzelwachstum und als Osmotikum die Wasseraufnahme und den Wassertransport, und es reguliert die Öffnungsweite der Stomata. Phosphat ist für alle Wachstumsvorgänge essentiell; dies gilt insbesondere auch für das Wurzelwachstum. Sollten in Zukunft trockenere Phasen häufiger werden, wird eine gute Wurzelentwicklung desto wichtiger.

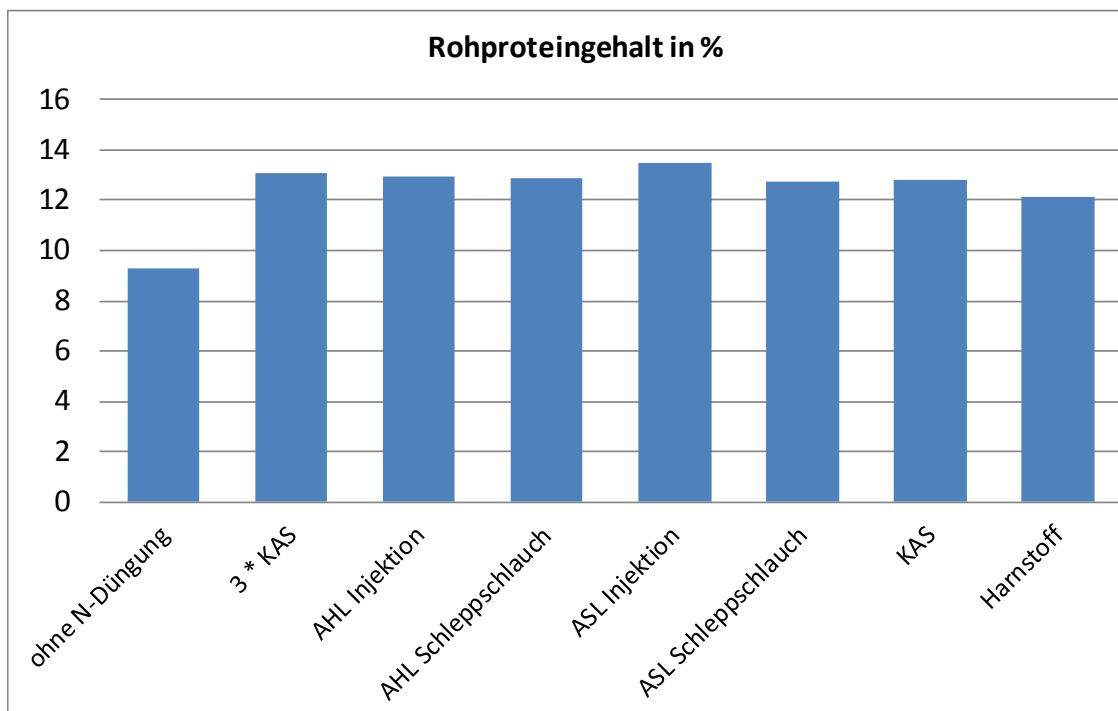


Abb. 5-5: Rohproteingehalt von Weizenkörnern des Düngerversuchs, Beschreibung s. Abb. 5-4

Im Hinblick auf die Humusproduktion ist eine regelmäßige und ausreichende Zufuhr von organischer Substanz (Verbleib von Ernterückständen, Zwischenfrüchte, Wirtschaftsdünger, Kompost) im Düngekonzept zu beachten. Damit wird nicht nur die organische Substanz erhalten bzw. aufgebaut, sondern auch die Wasser- und Nährstoffkapazität und das Bodenleben gefördert – im Zeichen von mehr Hitze und Trockenheit eine klassische *win-win*-Strategie. Insofern spielt neben angepasster mineralischer auch die organische Düngung über Mist und Gülle, Gärreste und Kompost eine wichtige Rolle. Bei der Verwendung von Gülle und Gärresten muss in Zukunft noch mehr als bisher darauf geachtet werden, dass die Emission von Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) so weit wie möglich vermieden wird, denn mit steigenden Temperaturen erhöht sich die Menge gasförmiger  $\text{NH}_3$ -Verluste aus Lagerung und Ausbringung der Wirtschaftsdünger in die Atmosphäre. Damit geht nicht nur Stickstoff für die Düngewirkung auf dem Feld verloren, sondern über die Deposition des verlagerten Stickstoffs auf naturnahe Standorte wie Wälder wird auch die Eutrophierung gefördert. Darüber hinaus führen Nitrifikation und Denitrifikation des deponierten Ammoniaks/Ammoniums zur Freisetzung von treibhauswirksamem  $\text{N}_2\text{O}$ .

### 5.1.6 Bewässerung und Wassermanagement

Bei höheren Niederschlägen im Winterhalbjahr ist eine funktionierende Dränung wichtig, um eine zügige Abtrocknung der Ackerflächen zu erreichen und Staunässe zu vermeiden. Zu feuchte Böden behindern die Bearbeitbarkeit oder bergen das Risiko der Bodenverdichtung,

wenn in zu nassem Zustand befahren wird. Aufgang und Entwicklung der Pflanzen werden behindert.

Nehmen die Niederschläge ab und sollten trockene Phasen im Frühsommer zunehmen, so ist es desto wichtiger, die Winterfeuchte optimal auszunutzen. Dazu gehören Maßnahmen wie eine frühere Aussaat von Sommerungen oder die Weiterentwicklung von Winterformen von Kulturarten, die bisher zumeist nur als Sommerungen angebaut wurden (z.B. Hafer, Ackerbohnen, Erbsen). Konservierende Bodenbearbeitung hat vorteilhafte Auswirkungen auf die Bodenfeuchte, so dass Langzeitversuchen zufolge in Trockenphasen den Kulturpflanzen mehr Wasser zur Verfügung steht. Bereits eine Mulchdecke wäre vorteilhaft, um unproduktive Evaporation zu verringern. Weitere pflanzenbauliche Möglichkeiten sind:

- Modifikationen der Fruchtfolge (wassereffiziente Kulturen, tiefe Durchwurzelung, Integration humusreproduzierender Kulturen, früh abreifende Sorten in trockeneren Anbauregionen),
- Anpassung der Saatstärke und der Bestandesdichte (Entwicklung üppiger Bestände mit hohem Wasserverbrauch vermeiden)
- Eventuell Zwischenfruchtanbau
- Düngung unter Berücksichtigung der Erhaltung und Mehrung organischer Substanz, die die Wasserkapazität der Böden vergrößert: Erntereste, Mist und Gülle, Gärreste, Kompost
- Düngung mit stabilisierten Düngern, um vorhandene Feuchte früh auszunutzen oder Injektionslösungen wie das CULTAN-Verfahren; Wurzelwachstum fördern (K, P, Mn)

Eine mögliche Steuerungsgröße gegen abnehmende Bodenfeuchten bietet der Klimawandel selbst: Bei erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen um 550 ppm sinkt in FACE-Versuchen nachweislich die Transpiration, und die Bodenfeuchte ist nach Ende der Vegetationsperiode ca. 5% höher als bei der derzeit herrschenden CO<sub>2</sub>-Konzentration [Weigel et al. 2007].

Vor einem Jahrzehnt waren bereits ca. 20 000 ha der Ackerfläche Baden-Württembergs für die Beregnung bzw. Bewässerung erschlossen [Mastel 2002]. Als potentielle Beregnungsgebiete sind dabei der gesamte Oberrheingraben und der Raum Heilbronn anzusehen. Im Jahre 2009 bestand bereits für rund 26 700 Hektar landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF) oder knapp 2 % der LF insgesamt die Möglichkeit zur Bewässerung [Schaber 2012], davon wurden in diesem klimatisch durchschnittlichen Jahr ca. 14 000 Hektar tatsächlich bewässert. Gerade im Gartenbau ist es bereits heute häufig notwendig, die Kulturen zu bewässern und damit mit Zusatzwasser zu versorgen. Im Jahr 2009 wurden von 14 000 ha Gemüse-, Erdbeer- und Spargelanbaufläche 4739 ha bewässert [Schaber 2012], das sind ca. 37% der Gemüse- und Erdbeerfläche im Freiland (Tab. 5-2). Abb. 5-6 zeigt, dass gerade in den Stadtkreisen mit einer hohen Dichte von Kunden der Anteil von Betrieben mit Bewässerungsmöglichkeit besonders hoch ist (vgl. dazu Abb. 2-5 bis 2-7). Das Wasser stammt zu zwei Dritteln aus Grundwasservorräten [Schaber 2012].



Im Zuge des Klimawandels mit höherer Evapotranspiration und weniger Niederschlägen wird die Notwendigkeit der Bewässerung für Gemüse, manche Obstarten und Reben zunehmen, damit ein ausreichender Ertrag und eine akzeptable, marktfähige Qualität erzielt werden kann. Im Ackerbau sind hier Kartoffeln, Zuckerrüben, Körner- und Saatmais und eventuell Getreide zu nennen (Tab.5-2).

Tab. 5-2: Bewässerte Fläche in Baden-Württemberg 2009 in Hektar [Schaber 2012]. Etwa 37% der Gemüse- und Erdbeerfläche und 6% der Körner- und Saatmaisfläche wurden bewässert.

insgesamt	14 169
Gemüse, Erdbeeren (Freiland)	4739
Körner-und Saatmais	3992
Kartoffeln	1395
Baumobst, Nüsse	996
Getreide	505
Rebflächen	439
Beerenobst	274
Zuckerrüben	238
Raps	117

Durch Bewässerung können in der Regel Mehrerträge und auch bessere Qualitäten erzielt werden, die über Zuschläge auch besser vergütet werden. Dennoch stellt sich bei allen Bewässerungsmaßnahmen, insbesondere aber bei den Flächenkulturen des Ackerbaus, die Frage nach der Wirtschaftlichkeit, denn die Installation von Bewässerungsanlagen erfordert je nach verwendeter Technik hohe Investitionskosten von mehreren zehntausend Euro. Die Wirtschaftlichkeit einer Bewässerung hängt nicht nur von den Mehrerlösen für die Produkte, sondern auch von den Investitions- und Betriebskosten, einschließlich Energie- und Wasserpreis ab. Auch das Wasser selbst ist nicht kostenlos zu haben, da immer Bereitstellungskosten durch den Energieverbrauch der Pumpen anfallen [Butz, pers. Mitt.]. Die Weiterentwicklung effizienter, wassersparender Bewässerungsverfahren bleibt hier eine wichtige Aufgabe. Selbst bei beachtlichen Ertragssteigerungen rechnet sich eine Bewässerung nur, wenn die Erzeugerpreise für die Produkte dauerhaft ausreichend hoch sind. Die Wirtschaftlichkeit gerade im Ackerbau lässt sich derzeit nicht zuletzt wegen der Volatilität der Erzeugerpreise weder für die nahe noch für die ferne Zukunft seriös berechnen.

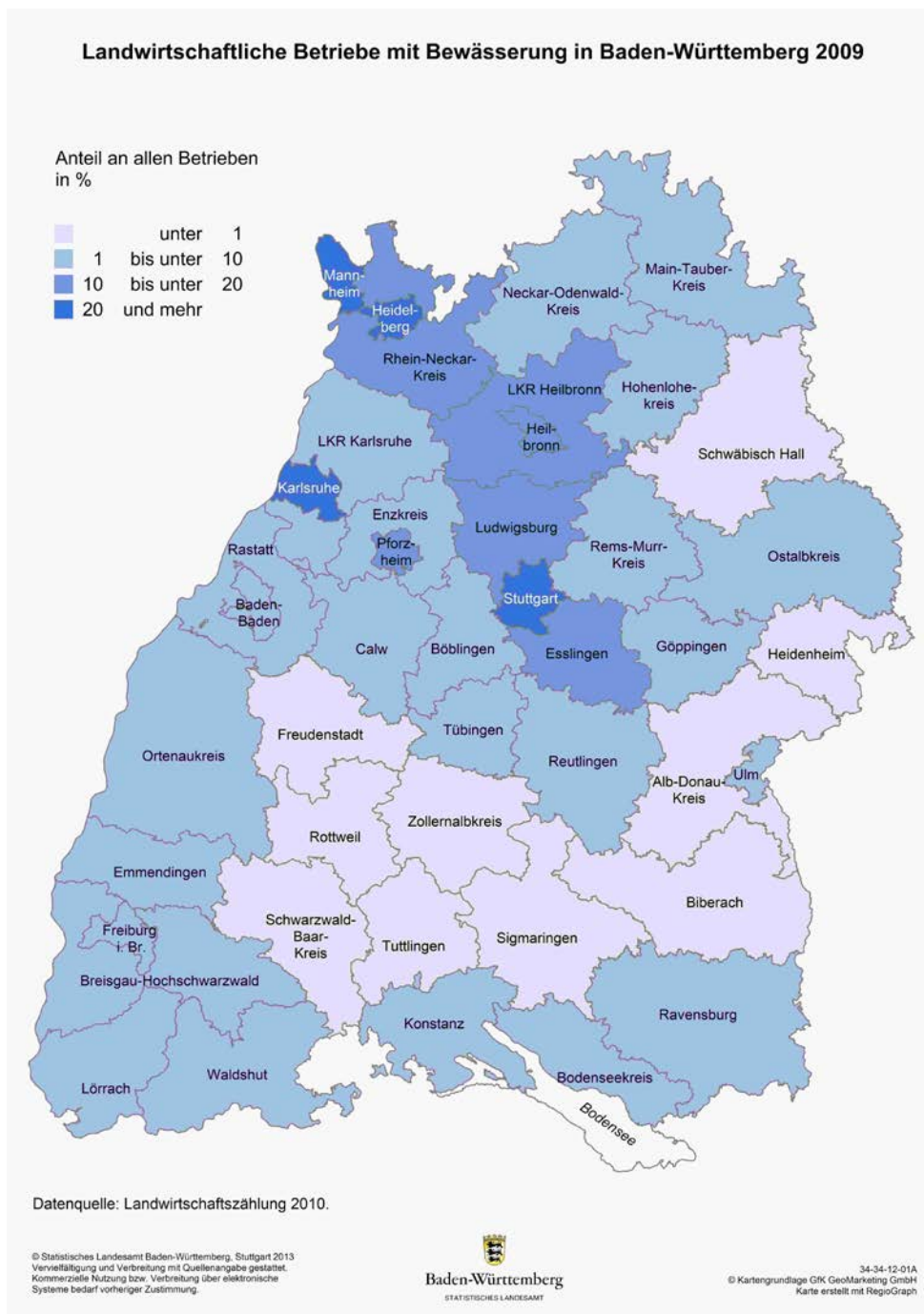


Abb. 5-6: Anteil der landwirtschaftlichen Betriebe mit Bewässerungsmöglichkeit in Baden-Württemberg 2009. Insgesamt hatten 2600 Betriebe die Möglichkeit zur Bewässerung ihrer landwirtschaftlich genutzten Flächen, 85% davon haben sie 2009 auch genutzt [Schaber 2012].

Unabhängig vom Klimawandel wird mit einer weiteren Zunahme der Gartenbaukulturen gerechnet: Für die Kalkulation eines möglichen Wasserbedarfs im rheinland-pfälzischen Teil des Oberrheingrabs wurden folgende Angaben zugrunde gelegt [Gockel 2012]:

- weitere Zunahme der Nutzung von Intensivkulturen,
- 100 bis 150 mm/ha je Gemüsekultur,
- zwei Durchgänge pro Standort,
- ca. 10 000 ha mit zusätzlichem Wasserbedarf,
- ca. 10 000 ha mit Bedarf an stabilerer Wasserversorgung

und dies ohne zusätzliche Berücksichtigung von klimabedingt erhöhtem Wasserbedarf.

Sollte der Wasserbedarf für die Bewässerung in den nächsten Jahrzehnten tatsächlich steigen, so sind regional durchaus Konflikte mit der Wasserversorgung und anderen Wassernutzern zu erwarten, vor allem dann, wenn nicht auf Grundwasser zurückgegriffen werden kann und Extremjahre wie 2003 mit niedrigen Wasserständen in Oberflächengewässern auftreten. Auch Grundwasserabsenkungen wären in Jahren mit extremem Wasserbedarf denkbar, verbunden mit möglichen Konflikten mit dem Naturschutz. Simulationen, wie sich ein Bewässerungsbedarf bei verschiedenen Klimaszenarien entwickeln könnte, gibt es bereits in Hessen und Niedersachsen [HLUG 2010, LBEG 2011], in Ansätzen auch in Rheinland-Pfalz. Um diese zusätzliche Wasserversorgung sicherzustellen, müssen rechtzeitig Wasserentnahmerechte für die Landwirtschaft gesichert werden. Langfristig kann die Planung von Hochwasser- und Regenwasser-Rückhaltebecken als Speicher notwendig werden. Allerdings betragen nach Angaben des Statistischen Landesamtes die Leitungsverluste der öffentlichen Wasserversorgung 2010 mehr als das Fünffache des Wasserbedarfs für Beregnung oder Bewässerung.

Die im Vergleich zu den temperaturabhängigen Klimakennwerten unsichereren Kennwerte des Niederschlags stellen ein Problem dar. Wenn selbst die Richtungssicherheit der Entwicklung der Niederschläge in der Vegetationsperiode unsicher ist, werden kostspielige Investitionen in eine Infrastruktur für Bewässerung und Wasserspeicherung vermutlich erst erfolgen, wenn sie unabdingbar sind. Auch wenn man angesichts der Überschätzung des aktuellen Niederschlags im Mittel der verwendeten Modelle real eher mit einem Rückgang der sommerlichen Niederschläge rechnen muss, ist das quantitative Ausmaß alles andere als klar. Die Berechnungen der klimatischen Wasserbilanz für die Zukunft unter Einbeziehung der temperaturabhängigen Evapotranspiration lassen insgesamt eine angespanntere Wasserversorgung während der Vegetationsperiode zumindest für die ferne Zukunft erwarten.

### Exkurs: Klimatische Wasserbilanz und Beregnung im Jahr 2003

Einer der häufig verwendeten Parameter, um die Notwendigkeit einer Beregnung abzuschätzen, ist die klimatische Wasserbilanz (KWB). Hier lohnt ein Blick ins Jahr 2003: Gegen Ende des 21. Jahrhunderts wird ein Sommer wie 2003 zumindest hinsichtlich der Temperatur ein ganz normaler Sommer sein, wenn auch das vor allem in der ersten Hälfte dieses Jahres herrschende Niederschlagsdefizit nicht der Normalfall sein muss, aber dennoch auftreten kann.

Im Jahr 2003 war die KWB in ganz Baden-Württemberg gegenüber dem Durchschnitt der meteorologischen Referenzperiode deutlich negativer, z.T. um über 200 mm. Die Niederschläge der Einzelmonate waren zwar unterdurchschnittlich, aber mehrheitlich nicht als extrem seltene Ereignisse zu bezeichnen. Die übergreifende Periode von Februar bis August hingegen war mit 1976 zusammen die trockenste seit 100 Jahren [Beck et al. 2004]. Zusammen mit den hohen Sommertemperaturen und entsprechend erhöhter Evapotranspiration wurden Rekord-Niedrigwerte in der Bodenfeuchte erreicht [Löpmeier 2004].

Jahre wie 2003 bedeuten auch erhöhten Aufwand für die Bewässerung: Während z.B. im Beregnungsgebiet östliches Niedersachsen im Mittel im Jahr bei Getreide 2,5 Beregnungsgaben von 30 mm bei Getreide und ca. 3,5 Gaben bei Zuckerrüben (Abb. 5-7) verabreicht werden, erfolgten 2003 bei Hackfrüchten z.T. bis zu acht Beregnungen [Löpmeier 2004]. Für den Zeitraum Juli bis Mitte August 2003 lagen nach Berechnungen für das östliche Niedersachsen die Wasserverluste bei Beregnung am Tage infolge der Verdunstung des Beregnungswassers in der Luft und von den Blättern (Interzeptionsverdunstung) im Mittel bei ca. 14 %. Ein derart hoher Verlust ist für diesen Zeitraum seit 1961 bisher noch nicht ermittelt worden [Löpmeier 2004].

Die verschiedenen Gemüsearten benötigen im deutschen Klimaraum zwischen 200 und mehr als 600 l/m<sup>2</sup> [Sauer und Teichert 2008]. Dieser Bedarf wird durch die Bodenspeicherung und die Niederschläge während der Vegetationsperiode an den meisten Standorten nicht gedeckt, zumal oftmals nicht nur eine, sondern zwei Kulturen im Jahr gepflanzt werden. Im Jahr 2003 musste an der LVG Heidelberg Knollensellerie mit einem Wasserverbrauch im Freiland von 400-600 l/m<sup>2</sup> bei Niederschlägen von 174 mm und einer Verdunstung von 468 mm zusätzlich mit 337 mm bewässert werden [Sauer und Teichert 2008].

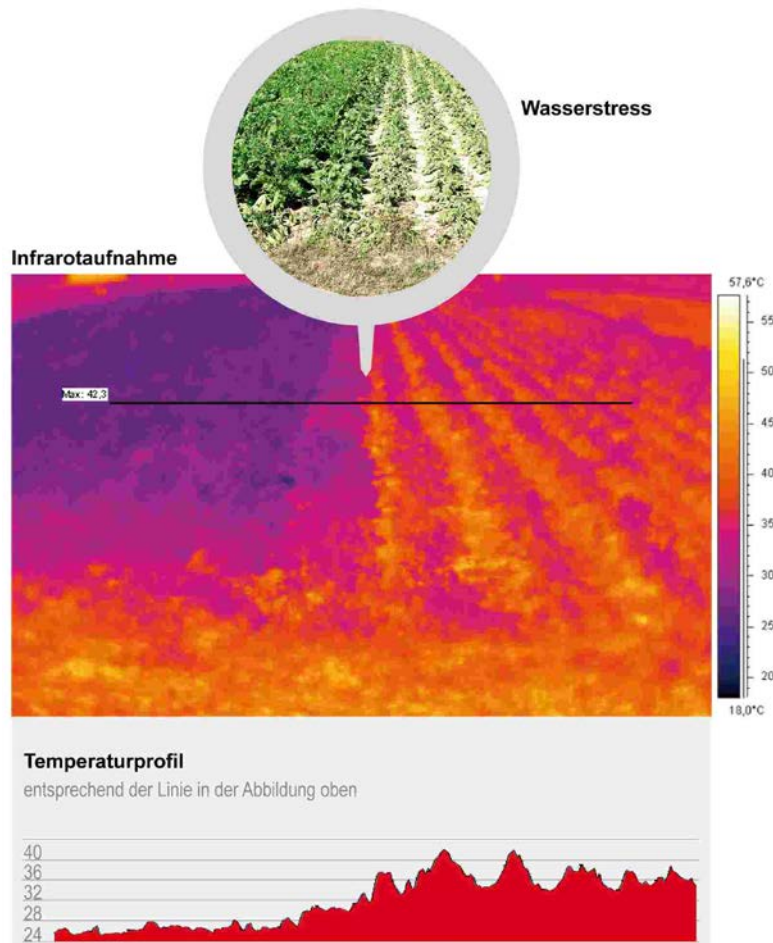


Abb. 5-7: Effekt der Transpirationskühlung durch Beregnung: Temperaturprofil eines beregneten (links) und unberegneten (rechts) Zuckerrübenbestandes (Bild im Kreis oben) im August 2003. Die Infrarotaufnahme (Mitte) zeigt deutlich die Temperaturunterschiede auf. Das Temperaturprofil entlang der schwarzen Linie der Infrarotaufnahme macht deutlich, dass in der beregneten Parzelle etwa 27 °C herrschten, in der unberegneten wurden hingegen über 40 °C erreicht. Dies führte zu Verbrennungen der Rübenblätter und damit zu deutlichen Ertragseinbußen [© Deutscher Wetterdienst, Offenbach].

## 5.2 Anpassungen im Grünland

Grünland ist nicht gleich Grünland und so werden sich Anpassungsstrategien zunächst nach dem jeweiligen Grünlandbestand und dessen Verwendungszweck ausrichten müssen. Extensiv genutztes Grünland wird sich durchaus in ökologisch wertvolle Bestände weiterentwickeln können. Gleichzeitig wird sich das Problem der potentiellen Verwendbarkeit extensiver Grünlandaufwüchse massiv verschärfen. Als Anpassungsstrategie könnte die Ausdehnung der bioenergetische Nutzung entweder durch Verbrennung (zentral oder dezentral) sowie durch Vergärung in optimierten Biogas-Reaktoren mit längerer Verweildauer und damit intensiverem Stoffaufschluss notwendig werden. Hier wäre aber eine vernünftige Mechanisierbarkeit der

Bewirtschaftung der jeweiligen Standorte unabdingbar. Agrarstruktur und Geländeexposition müssen großflächige maschinelle Bewirtschaftung ermöglichen.

Im Bereich der Viehhaltung wäre die Installierung extensiver Weideverfahren für Wiederkäuer angezeigt, die aber aus mehreren Gründen nicht unproblematisch ist: Zum einen werden für optimierte Weidewirtschaft größere zusammenhängende Weideflächen gebraucht, die im verkehrstechnisch gut erschlossenen Baden-Württemberg nur eingeschränkt zur Verfügung stehen. Zum anderen werden genügend Viehhalter benötigt, die derzeit agrarstrukturell bedingt allerdings immer weniger werden und es müssen Marktpotentiale für eigenerzeugtes Fleisch aus Baden-Württemberg in weit höherem Maße als bisher geschaffen werden (siehe auch Unterpunkt Weidegang).

Im Dauergrünland ist es dabei entscheidend, sich immer wieder vor Augen zu führen, dass die bestehende botanische Zusammensetzung von Grünland, so günstig oder ungünstig sie für die sich verändernden Klimaverhältnisse sein mag, nicht rasch und einfach zu ändern ist. Grünland unterscheidet sich hier maßgeblich vom Ackerbau.

Grünlandpflanzenbestände sind in aller Regel Mischbestände, die je nach Standort und Nutzungsintensität sowie der Nutzungsform in ihrer Zusammensetzung sehr stark variieren. Notwendige Anpassungen von Grünland an den Klimawandel sind daher neben dem Bezug zum Standort auch generell immer im Kontext des gesamten Produktionssystems zu sehen. Für Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels werden mehrere Ansätze vorgeschlagen, die man kurz in vier verschiedene Strategien zusammenfassen kann [Stock 2005; Schaller und Weigel 2007; Zebisch et al. 2005]:

1. Anpassung durch geeignete Bewirtschaftungsmaßnahmen (z.B. Steuerung der Pflanzenbestände, Wasserersparnis, verbesserte Beregnung, Sorten- und Artenwahl),
2. Anpassung durch gezielte Pflanzenzüchtung (Entwicklung neuer Sorten: z.B. Dürretoleranz, Nährstoffeffizienz, Robustheit gegenüber Extremereignissen),
3. Anpassung durch Vorsorge, Minderung der potenziellen Risiken (z.B. Schaffung von Futterreserven für Trockenphasen, Hagel, Sturm oder Wasser, gegebenenfalls mit öffentlichen finanziellen Anreizen; Information und Aufklärung im Rahmen der landwirtschaftlichen Beratung; Aufbau und Pflege von Saatgutbanken),
4. Anpassung durch unterstützende Maßnahmen auf politischer Ebene (z.B. Unterstützung alternativer Einkommensquellen für Landwirte).

Potentielle Wechsel von Grünland auf Ackerfutterbau mit Anbau eher trockenholder Fruchtarten – mit ökologischen Nachteilen wie höhere CO<sub>2</sub>-Emission durch Humusabbau und höheres Erosionsrisiko – werden durch das derzeit bestehende Grünlandumwandlungsverbot wirksam verhindert. Der Maisanbau würde in dem künftig wärmeren Klima ausgedehnt werden können.

Dies gilt sehr wahrscheinlich auch für Silomais, der auf manchen Standorten die Nachfolge von unrentablem oder aus anderen Gründen nicht mehr zu bewirtschaftetem Grünland antreten könnte. Dies hätte einerseits negative Auswirkungen auf Umwelt und Landschaftsbild, unterliegt aber eben auch dem Grünlandumbruchsverbot, wie es aktuell in Baden-Württemberg gilt. Abzuwarten bleibt, wie die Handhabung eines Grünlandumbruchs in der aktuellen Reformdiskussion der EU-Agrarpolitik entschieden wird.

### 5.2.1 Änderung der Zusammensetzung von Grünlandbeständen

Generell mag es zunächst vorteilhaft sein, dass sich Grünlandbestände als solches in aller Regel an veränderte Bedingungen anpassen können. Grünland bleibt auch nach Trocken- oder extremen Nassphasen immer noch „Grünland“, allerdings mit großen und teilweise spontan verlaufenden Veränderungen der botanischen Zusammensetzung der Bestände und daraus resultierend deutlichen Veränderungen der Ertragsfähigkeit. Unter Umständen zeigen sich die Folgen von Trockenheit erst im Folgejahr oder später. Sollen Bestände allerdings gezielt durch pflanzenbauliche Maßnahmen verändert werden, sind gegebenenfalls andere Mischungen für Einsaaten erforderlich und die seither empfohlene Zusammensetzung für Ansaatmischungen muss überdacht werden. Stand bislang Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne*) uneingeschränkt im Vordergrund, werden evtl. für intensiv genutztes Grünland bislang kaum beachtete Grasarten zukünftig an Bedeutung gewinnen, weil die Wachstums- und Nutzungsansprüche des Deutschen Weidelgrases (ausreichende Wasserverfügbarkeit, hoher Nährstoffanspruch, hohe Nutzungsfrequenz) in immer weniger Bereichen des Landes erfüllt werden können. Andere Grasarten könnten deshalb an Bedeutung gewinnen.

So wurden zum Beispiel in Feldversuchen an einem feuchten und einem trockenen Standort Österreichs verschiedene Sorten mehrerer Grasarten über drei Jahre hinweg verglichen [Graiss et al. 2011]. Sorten von Rohrschwengel (*Festuca arundinacea*) und Wiesenschweidel (*Festulolium loliaceum*) zeigten unter trockenen Bedingungen die beste Leistung bezüglich Trockenmasse-Produktion und Verdaulichkeit der organischen Substanz. Sorten von Furchenschwengel (*Festuca rupicola*), Wiesenrispe (*Poa pratensis*) und Schmalblättrigem Rispengras (*Poa angustifolia*) brachten dagegen sehr schlechte Leistungen. Wehrlose Trespe-Sorten (*Bromus inermis*) hatten zudem einen höheren Unkrautbesatz als die der Aufrechten Trespe (*Bromus erectus*). Um hohe Futterqualität auf trockenen Standorten in Österreich in Zukunft zu garantieren, empfehlen die Autoren auch die Züchtung mit *Bromus erectus* und *Bromus inermis* zu intensivieren. Ähnliche Versuche liefen auch in der Schweiz, wobei hier der sogenannte Sanftblättrige Rohrschwengel (*Festuca arundinacea*) als beste Art beschrieben wurde [Mosimann, Agroscope Changins-Wädenswil (CH), pers. Mitt.].

Stark zur Austrocknung oder zu periodischer Trockenheit neigende Standorte sind in Baden-Württemberg in erster Linie in den Vergleichsgebieten 21 Bauland, 19 Odenwald sowie ganz generell auf der Schwäbischen Alb (13, 14, 15) zu finden. Dabei können kleinräumig vorhandene Tallagen mit gutem Anschluss an Grundwasser durchaus auch in diesen Gebieten vom generellen Trend ausgenommen sein. Die genannten Gebiete sind allerdings auch heute schon keine hervorragenden Grünlandgebiete und die dort meist vorkommenden Extensivwiesen oder -weiden werden unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten kaum verbesserungswürdig sein.

Interessant wird die Entwicklung auf den heute für die Futtermittellieferung der Tiere intensiv genutzten Grünlandbeständen des Oberlandes und des Allgäus (Vergleichsgebiete 10, 11 und 12). Hier können unter Umständen massive Einbußen bei Trockenmasse-Erträgen und der Qualität des Grünlandfutters infolge Sommertrockenheit eintreten. Das ist vor allem auf den kiesigen Standorten im Vergleichsgebiet 12 (Donau/Iller) zu erwarten. Hier wird das Deutsche Weidelgras aufgrund fehlenden Niederschlagswassers seine Vorzüglichkeit verlieren und durch Rohrschwengel, Wiesenrispe oder Knautgras ersetzt werden müssen. Diese bekannt trockenheitsverträglicheren Arten haben allerdings einen weit schlechteren Futterwert als Deutsches Weidelgras und werden zudem bei Weidegang deutlich schlechter gefressen. Wird also auf mögliche Trockenheit durch Einsatz trockenheitsverträglicher Arten reagiert, so ist das meist mit einem Verlust an Futterqualität im Grünland verbunden.

Die Gräserzüchtung wird sich daher zunehmend mit Arten und Sorten mit schnellerer Wachstumsentwicklung beschäftigen müssen, um die Zeiten mit guten Wachstumsbedingungen besser ausnutzen zu können. Zudem werden Futterpflanzen mit höherer Trockenheitstoleranz auf bessere Futterqualität und Verdaulichkeit hin gezüchtet werden müssen.

Aufgrund der hohen regionalen Variabilität des Klimawandels wird es lokal große Unterschiede geben. Um den Futtermangel während der Sommerdürre auszugleichen, wird daher zusätzlich als eine mögliche und realistische Anpassungsstrategie empfohlen, Futterreserven anzulegen.

Einsaat von Leguminosen und hier in erster Linie von Leguminosen mit besonderer Relevanz in Trockenlagen, z.B. Luzerne (*Medicago sativa*), machen als Anpassungsstrategie durchaus Sinn. In Ansaatversuchen am LAZBW in Aulendorf reagierten z.B. Grünland-Neuansaat mit Luzerne im Vergleich mit unterschiedlichen Sorten von Deutschem Weidelgras oder Weißklee weitaus positiver auf die Verhältnisse des Trockenjahres 2003 [Elsässer 2004]. Gleichwohl ist der Anbau bekannt trockenheitsverträglicher Arten wie Luzerne nicht unproblematisch, weil die Bewirtschaftungsintensität des Grünlandes dann an diese Art angepasst werden muss.

Seitherige Vier- bis Fünfschnittnutzung muss mindestens um einen Schnitt reduziert werden, weil Luzerne eine so häufige Nutzung nicht dauerhaft verträgt. Zudem verändern sich in der Folge die Anforderungen an eine verlustarme Futtermittelkonservierung, weil die Gärfutterbereitung bei eiweißreichen Pflanzen erheblich anspruchsvoller ist. In diesem Zusammenhang darf die



generelle Fruchtfolgeproblematik der Leguminosen nicht unerwähnt bleiben (Kleemüdigkeit, Fruchtfolgekrankheiten).

Die generelle Strategie wird deshalb sein, auf negative Veränderungen infolge des Klimawandels durch gezielte Anwendung von sogenannten Grünlandverbesserungsmaßnahmen rasch und zielgerichtet zu reagieren. Die methodischen und maschinellen Voraussetzungen sind hierfür gegeben, die jeweiligen Einsatzbedingungen sollten den handelnden Landwirten in Beratungsinitiativen nahegebracht werden. Das „Was? Wann? Wie?“ der Grünlandverbesserung ändert sich nach dem jeweiligen Einsatzzweck. Uneingeschränkt für alle Maßnahmen gilt aber, dass Wasser das wichtigste Medium zum Erfolg von Keimung der angesäten Arten und deren dauerhaftem Verbleib in der Grünlandnarbe ist.

### **5.2.2 Besonderheiten beim Weidegang**

Noch problematischer als bei schnittgenutztem Grünland ist die Situation bei Beweidung, die allerdings in Baden-Württemberg nicht sehr verbreitet ist. Traditionell wird am ehesten in den Gebieten des Schwarzwaldes und in einigen Teilen des Oberlandes geweidet, zudem sind infolge der EU-Ökoverordnung ökologische Betriebe gezwungen, Auslauf oder Weidegang zu gewährleisten.

Für jeglichen Weidegang ist eine kontinuierliche, gleichmäßige und bedarfsgerechte Futterversorgung der Tiere über die gesamte Weidedauer wichtig. Diese kann in Trockenphasen mit schlechtem Pflanzenwachstum oder auch in Nässeperioden, bei denen der Weidegang aufgrund der auftretenden Trittschäden eingestellt werden muss, nur durch Verfütterung vorher angelegter Futterkonserven gewährleistet werden. Dauern die Phasen der nicht ausreichenden Futterverfügbarkeit nur kurz, dann ist es unmöglich oder zumindest sehr unwirtschaftlich, Futterreserven aus großen Siloanlagen zu verfüttern. Landwirte müssen auf auftretende kurze Phasen mit unsicherer Futterversorgung flexibel mit Verfütterung kleiner Einheiten von Silage (z.B. Rundballensilagen) oder Heu reagieren können. Unsichere Niederschlagsverhältnisse können zu Schwankungen im Futteraufwuchs führen. Für eine sichere Futterplanung im Hinblick auf konstante tierische Leistungen ist die Schaffung von Futterreserven schon jetzt notwendig. Dies gilt in erster Priorität für das Grobfutter. Grobfutter ist am Markt nur eingeschränkt, im Notfall gar nicht verfügbar. Kraftfutterkomponenten hingegen können auf dem globalen Futtermittelmarkt eingekauft werden. Die Erfahrung lehrt, dass unter heutigen Bedingungen 20 % Grobfutterreserve sinnvoll sind. Falls die Ertragssicherheit zurückgeht, muss dieser Anteil ggf. bis auf 50 % erhöht werden. Dies erhöht den Bedarf an Lagerräumen. Aufgrund der vorne geschilderten jahreszeitlichen Wetterereignisse wird es darüber hinaus wohl aufgrund zunehmender Nässe zu zeitigerem Weideabtrieb kommen.

### 5.2.3 Verfahrenstechnische Fragen

Versuchsergebnisse auf Grünland und Berechnungen entsprechender Szenarien bestätigen, dass die Unsicherheit der Ertragsbildung in Zukunft stark zunehmen wird. Grünlandfutter wird im Frühling früher, im Winter mehr und im Sommer weniger wachsen [u.a. Ruget et al. 2010]. Das hat durchaus ganz praktische Auswirkungen, denn Deutsches Weidelgras ist auch noch bei niedrigen Plusgraden im Winter noch wachstumsfähig und die dann noch wachsenden und höheren Bestände werden Mäusepopulationen verstärkt Schutz und Deckung bieten und deren Verbreitung fördern, wobei diese dann im Frühjahr auf dem Grünland erhebliche Schäden anrichten können. Ohnehin werden die Populationen an Feld- und Wühlmäusen durch warme Winter stark gefördert, und es werden dringend Konzepte entwickelt werden müssen, die dieser extremen Populationsdynamik entscheidend Einhalt gebieten können. Bessere direkte Bekämpfungsmethoden aber auch Zulassung chemischer Bekämpfungsmittel und häufige Nachsaat, um wieder dichte Grasnarben zu erlangen, sind mögliche Anpassungsstrategien in diesem Bereich.

Unter den Bedingungen des Klimawandels ist einerseits mit einer Zunahme der N-Düngungsintensität vor allem auf intensiv genutztem Grünland zu rechnen, mit möglichen Folgen für Ökonomie und Umwelt. Andererseits kann davon ausgegangen werden, dass Nitrifikationshemmer bei der Ausbringung flüssiger Wirtschaftsdünger an Bedeutung gewinnen, denn durch ihren Einsatz kann die Nitrifikation wenigstens ansatzweise gesteuert und damit dem tatsächlichen Nährstoffbedarf der Pflanzen angeglichen werden. Problematisch dürfte sich auch die bisherige Praxis der breitflächigen Gülleausbringung auf die Grünlandbestände auswirken, denn die durch Kontamination mit Gülle auftretenden Ätزشäden werden insbesondere in Phasen mit starker Sonneneinstrahlung stark zunehmen. Dieser Effekt tritt in allen Vergleichsgebieten gleichermaßen ein, er tritt aber vor allem bei viehstarken Betrieben mit Zwang zur häufigen Wirtschaftsdüngerausbringung und auf sonn-exponierten Flächen auf. Angepasste Applikationstechnik für Gülle und damit bodennahe Ausbringung ohne großen Kontakt mit den Pflanzen oder stärkere Verdünnung mit Wasser wird noch mehr als bisher notwendig.

Ernte in Nassphasen wird unweigerlich mit verschmutztem Futter und demnach hohen Aschegehalten einhergehen, wodurch zum einen die Futterqualität sinkt, zum anderen aber auch die Futterkonservierung durch die dem Futter anhaftenden Clostridien und Colibakterien schwieriger wird. Aufgrund der hohen regionalen Variabilität des Klimawandels wird es aber lokal große Unterschiede geben. So variieren beispielsweise Temperatur und Niederschlag örtlich sehr stark, je nach Geländeform und Exposition (Nordhang oder Südhang bzw. Winter- und Sommerberg). Die Biomasseproduktion und die Artenzusammensetzung hängen dabei u.a. von Höhenlage und Grünlandtyp ab.

### 5.3 Anpassungen im Gartenbau

Die Erhöhung der Anzahl heißer Tage in den Frühjahrs- und Sommermonaten erfordert eine kritische Betrachtung der bisherigen Anbauprogramme und der Sortimentszusammenstellung sowie der bisherigen Klimaführungen bei den Sommerkulturen, um pflanzenbauliche und damit auch monetäre Nachteile zu vermeiden.

Die Verminderung der Frosttage und die Verschiebung des letzten Frostes ermöglichen längere Anbauzeiträume im Freiland und haben Konsequenzen für gering wärmebedürftige Arten wie Rucola, Spinat und Salate im Gemüsebau und *Viola* und *Primula* im geschützten Zierpflanzenbau, die dann weitgehend ohne Heizenergie kultiviert werden können. Dabei muss das Ziel darin liegen, diese erweiterten Anbauzeiträume zu nutzen, um höhere Flächenerträge zu erreichen und damit auch höhere Gewinne zu erzielen. Durch mildere Winter besteht ebenfalls die Möglichkeit, Kulturen wie Blumenkohl ganzjährig in optimaler Qualität anzubauen und damit eine Autarkie von Importen zu erzielen [Ernst 2012].

Im Sommer ist bei Gartenbaukulturen unter Glas allerdings mit einem erhöhten Kühlbedarf zu rechnen. Dies macht den Einsatz von Einrichtungen zur Schattierung, zur verbesserten Lüftung oder sogar die Installation aktiver Kühlverfahren notwendig, um Qualitäts- und Ertragsverluste zu vermeiden. Insbesondere bei Gewächshäusern älterer Bauart fehlen entsprechende technische Einrichtungen (s. Kap. 4.2.1). Hier besteht dringender Modernisierungsbedarf, der mit hohem Kapitaleinsatz verbunden ist. Dies bedeutet höhere Investitionskosten, die den geringeren Ausgaben für die Heizenergie gegenzurechnen sind.

Die Nutzung der erweiterten Anbauzeiträume macht die Erstellung neuer Kulturfolgepläne [Stahl et al. 2004] sowohl im Freilandanbau, als auch im geschützten Anbau notwendig. Kulturen und Sorten, darunter durchaus auch wärmeliebende Kulturen wie Melone [Ernst 2012], und vor allem Kulturarten im Winter müssen im Hinblick auf ihr Wachstum unter lichtarmen und relativ niedrigen Temperaturen bewertet werden. Die Einführung neuer Kulturarten ist möglich und muss berücksichtigt werden. Die erhöhte Produktivität erfordert einen höheren Wasser- und Nährstoffbedarf [Ernst 2012] mit der Folge, dass die Kulturmaßnahmen auf die erweiterten Anbauprogramme abgestimmt und neu zusammengestellt werden müssen [Bettin 2011, Ruttensperger et al. 2006, Flessa et al. 2012].

Hinsichtlich der Ausnutzung der höheren CO<sub>2</sub>-Konzentrationen müssen ggf. die Anzuchtbedingungen optimiert werden.

Auch bei der Züchtung von Gemüse- und Zierpflanzensorten gibt es Möglichkeiten zur Anpassung, in die investiert werden kann. So besteht die Möglichkeit die weitgefächerten Ursprünge der Pflanzen zu nutzen, um über Kreuzungen eine Variabilität im Leistungsmaterial herzustellen [Stahl et al. 2004]. Im Freilandzierpflanzenbau können spätere (bisher

frostgefährdete) Sorten zunehmend Verwendung finden [Fink et al. o.J.]. Zur Züchtung muss das zur Verfügung stehende Material kontinuierlich durch gezielte Selektion an die klimatischen Veränderungen angepasst werden [Stahl et al. 2004]. Dafür müssen spezielle Zuchtziele festgelegt werden. Diese können sowohl die Trockentoleranz und damit den Wasserverbrauch, als auch die Nährstoffeffizienz bzw. die CO<sub>2</sub>-Ausnutzung der Gemüse- und Zierpflanzensorten betreffen [Stahl et al. 2004]. Zu beachten ist, dass Ertragsleistung, Resistenzeigenschaften und Qualität als Zuchtziele oft nur schwer miteinander vereinbar sind [Schaller und Weigel 2007].

### 5.3.1 Hitzestress

Temperaturen über 30 °C führen bei vielen Zierpflanzen, Stauden und Gemüsearten zu Hitzestress, der sich zunächst im Schließen der Stomata äußert. Folgen sind Wachstumsstockungen und Blattdeformationen. Besonders betroffen wäre die Poinsettienproduktion, die mit einer Produktion von 7,2 Mio. Stück/Jahr in erheblichem Maße zur Standortsicherung des baden-württembergischen Zierpflanzenbaus beiträgt. Ertragseinbußen wären auch in der Staudenproduktion zu erwarten. Hier würden insbesondere die Mutterpflanzenquartiere mit deutlich geringeren Stecklingserträgen auf die Zunahme der Tropentage reagieren. Um die Auswirkungen des Hitzestresses zu mindern, müssen weitreichende Maßnahmen gegen Hitzeschäden erprobt und in der Praxis eingeführt werden. Verschiedene Eindeckmaterialien für Gewächshäuser, Schirme, Folien und andere, auch organische Materialien, sind auf ihre Funktionalität und Wirtschaftlichkeit zur Vermeidung von Überhitzung zu überprüfen.

Technische Lösungsansätze bestehen in der Verwendung von Materialien, die bisher noch keine Anwendung im Gartenbau finden, in der Überprüfung üblicher Materialien auf alternative Einsatzmöglichkeiten, in der Optimierung des Sprühnebeleinsatzes, der Bodenkühlung, der Mattenkühlung und der aktiven Luftkühlung [Krug et al. 2002, Bettin 2011, Siemonsma 2012].

Eine weitere Maßnahme, um die Auswirkungen des Hitzestresses zu mindern, ist die zukünftige Zusammenstellung von Sortimenten, die eine hohe Hitzetoleranz aufweisen. Dies betrifft sowohl die Artenwahl der Gemüse und Zierpflanzenproduzenten (z. B. Melonen und Paprika; Krug et al. 2002) als auch die Züchtungskriterien der Züchter und die Sortenprüfungen der Versuchsanstalten.

### 5.3.2 Trockenstress

Um die Kulturen vor den negativen Auswirkungen des Trockenstress zu schützen, müssen die angebauten Kulturen optimal mit Wasser versorgt, Wasserverluste soweit wie möglich vermieden und Sorten angebaut werden, die eine hohe Trockentoleranz aufweisen.

Die Sichtung der gärtnerischen Kulturpflanzen auf Stresstoleranz gegenüber Trockenheit ist eine Maßnahme, um Sortenempfehlungen für die gärtnerische Beratung und Praxis geben zu können. So benötigen die gartenbauliche Kulturen des Stadtgrüns bzw. für die Friedhofsbepflanzung besonders viel Wasser. Die Verwendung von trockenresistenten Pflanzenarten und -sorten ist hier eine geeignete Anpassungsstrategie [Fink et al. o.J.].

Wasserverluste durch Evaporation treten insbesondere auf freien, nicht bedeckten Bodenoberflächen auf, daher sollten diese möglichst andauernd und ausreichend bedeckt werden [Turner 2004]. Brachezeiten sind zu vermeiden [Ernst 2012] und daher Zwischenbegrünungen mit möglichst geringen Ansprüchen an den Wasserbedarf auszuwählen [Schaller und Weigel 2007]. Eine Sichtung solcher Pflanzen ist erforderlich. Die Evaporation kann bei pflugloser Bearbeitung auch durch die auf dem Boden verbleibende Mulchdecke vermindert werden [Turner 2004, Hatfield et al. 2001]. Verfahren zur pfluglosen Bearbeitung sind auch im Gemüsebau zu entwickeln. Der Vorteil konservierender Systeme ist, dass sie nicht nur die Evaporation vermindern, sondern auch die Wasserspeicherkapazität des Bodens nach Niederschlagsereignissen durch Humusaufbau im Oberboden verbessern und somit Verlusten von Wasser durch Oberflächenabfluss entgegenwirken.

Investitionen sind beim Wassermanagement bzw. der Bewässerung (ortsfeste, teilortsfeste und bewegliche Anlagen) in wassersparende Verfahren und in die Entwicklung einer optimierten Bewässerungssteuerung nötig [Stahl et al. 2004, Krug et al. 2002]. Daraus folgend sollte geprüft werden, welche Bewässerungsverfahren (z. B. Tropfbewässerung) unter dem Aspekt eines geringen Wasser- und Energieverbrauches für die in Baden-Württemberg vorhandenen Betriebsstrukturen, die mit teilweise sehr kleinen Kulturflächen arbeiten, geeignet sein könnten. Der Kapitalbedarf für diese Bewässerungsform schwankt erheblich und liegt je nach Kultur und Ausführung bei 2650 – 5000 € ha<sup>-1</sup>. Die Tropfbewässerung im Gemüsebau lässt sich erfolgreich bei Spargel, Rhabarber, Pflanzkulturen (Kohl, Salate), Kürbis, Zucchini und Kartoffeln einsetzen [Jentzsch und Thal 2007]. Entscheidend ist, aus dem zur Verfügung stehenden Wasser (Niederschlag, kapillar aufsteigendes Grundwasser und möglichst wenig Bewässerung) einen möglichst hohen Ertrag zu erzielen.

An der LVG Heidelberg finden seit den 1980er Jahren Versuche zum Einsatz von Tropfbewässerung, verschiedenen weiteren Bewässerungsverfahren und zur Bewässerungssteuerung bei gärtnerischen Kulturen statt. Durch den technischen Fortschritt werden die Systeme kontinuierlich optimiert und den Bedürfnissen angepasst. So wurden zunächst auf dem Markt befindliche Tropfbewässerungssysteme hinsichtlich ihrer Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten im Gartenbau geprüft. Später wurden diese Versuche ergänzt durch Versuchsarbeiten zum Einsatz in verschiedenen gärtnerischen Kulturen, auch in Kombination mit der Düngung (Fertigation). Schwerpunkte im Gemüsebau waren Sellerie und Tomaten, im Zierpflanzenbau insbesondere die Balkonkastenbewässerung und die Verwendung bei der

Mattenbewässerung. Weiterhin wurden Beratungs- und Kalkulationsunterlagen erstellt, die aufzeigen, wie eine Tropfbewässerung aufgebaut und installiert wird bzw. welche Systeme für den jeweiligen Einsatz geeignet sind. Die im Investitionsbedarf relativ teure Tropfbewässerung erlangt aufgrund ihres geringen Wasserverbrauchs bei knapp werdenden Wasserressourcen momentan wieder ein hohes Interesse.

Die LVG Heidelberg führt Versuche zur Trockenstressresistenz diverser Zierpflanzen auf Beeten durch (bundesweiter gemeinsamer Praxisversuch, Symptombewertungen). Weiterhin laufen Versuche zur Erfassung und Standardisierung genotypischer Trockenstressresistenz durch computertomographische Messmethodik. Im Versuchsvorhaben sollen eine nicht-invasive Standard-Messmethode über den Wassergehalt der Pflanzen entwickelt und Prognosemodelle zur reversiblen Welke erarbeitet werden.

Ergänzt werden können die bekannten Bewässerungstechniken durch Anbaumaßnahmen wie Häufeln oder Mulchen [Fink et al. o.J.]. Weltweit verfügbare Techniken für den Anbau in Trockengebieten müssen an die Bedingungen in Baden-Württemberg angepasst werden.

### **5.3.3 Abiotische Schäden durch Extremereignisse**

Sturm, Hagel und Gewitter verursachen qualitative und quantitative Beeinträchtigungen des Ernteguts, so dass die Förderung von Strategien zur Verminderung des Anbaurisikos erforderlich ist. Diese Anpassungen machen einen zukünftig steigenden Kapitaleinsatz für technische Vorrichtungen notwendig. Technische Einrichtungen wären z. B. sehr kostenintensive Hagel- und Regenschutzanlagen [SMUL 2009, Ernst 2012].

Starkregenniederschläge können zur Verschlammung und Verkrustung der Bodenoberfläche führen. Um dies zu vermeiden, müssen neue Aussaattechniken oder das Umstellen auf die Direktpflanzung als Anbaualternativen geprüft sowie neue Bodenbearbeitungsverfahren eingeführt werden. Für manche Sonderkulturen gibt es noch keine Produktionstechnik, die sowohl den Anforderungen des Erosionsschutzes, als auch den Ansprüchen der Erzeuger gerecht wird. Bei der Produktion von Feldgemüsearten wie Kohl oder Salat beispielsweise ist der Boden lange Zeit unbedeckt. Verschärft wird dieses Problem durch produktionsbedingt teilweise weite Reihenabstände und die sehr hohe Bodenbearbeitungsintensität zur Saat bzw. Pflanzung [Sauer 2010]. Zudem ist die Durchwurzelungstiefe des Bodens wesentlich geringer als bei Getreide mit einem vergleichsweise dichten Wurzelsystem. Daher besteht noch erheblicher Forschungsbedarf. An einem Projekt zur Bodenerosion im Feldgemüsebau im Anbaugbiet der Fildern sind Institute der Universität Hohenheim, die Staatsschule für Gartenbau und Landwirtschaft Hohenheim und die Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau Heidelberg (LVG) beteiligt. Die ersten Ergebnisse haben gezeigt, dass ein Paket von Maßnahmen erforderlich sein wird [Bengs et al. 2010]. Für Kohl scheint sich die Streifen-

bearbeitung zu eignen [Übelhör et al. 2012]; allerdings muss die Pflanztechnik angepasst werden. Als vielversprechend gilt auch die Einsaat von Winterweizen in der Traktorspur in Kombination mit hangparalleler Bewirtschaftung.

Extremereignisse wie Sturm, Gewitter und Hagel werden nur bedingt durch entsprechende Versicherungen abgedeckt, so dass Versicherungen weitere Schadensfälle mit aufnehmen müssen. Dies ist jedoch für den Versicherungsnehmer mit erhöhten Kosten verbunden. Förderprogramme könnten hier unterstützend eingesetzt werden.

### 5.3.4 Größere Variabilität der Witterung

Eine Anpassung des Gemüsebaus an verringerte Niederschlagsmengen kann durch die Anpassung und Umstellung der Fruchtfolgen, die gezielte Stabilisierung der Humusgehalte sowie den Einsatz wassersparender Beregnungs- und Bewässerungstechniken wie Tröpfchenbewässerung [Krug et al. 2002] oder der Einsatz geschlossener Bewässerungssysteme erreicht werden. Eine mögliche zunehmende Ertragsvariabilität lässt sich durch die Diversifizierung des Fruchtartenspektrums, durch Versicherungssysteme für Ernteauffälle (Vollschutz) und durch die Anwendung von Ertragsprognosemodellen ausgleichen [Stahl et al. 2004].

Gegen variabler auftretende Früh- und Winterfröste hilft die Bedeckung mit Boden (z. B. Anhäufeln) oder anderen Materialien (Vliese, Folien) [Krug et al. 2002]. Diese Verfahren sind heute schon etabliert.

Die Investition in Drainagesysteme gegen Staunässe in den Wintermonaten [Schaller und Weigel 2007] muss standortabhängig geprüft werden.

Die Erweiterung des Genpools für eine Anpassung an Klimaextreme (Starkregen, Dürre) und damit eine Erhöhung der Adaptionfähigkeit ist sinnvoll. Hohe Kosten führen allerdings dazu, dass nur die wichtigsten Anbaukulturen züchterisch bearbeitet werden [Schaller und Weigel 2007].

Eine weitgehende Unabhängigkeit von der Witterung erlauben Gewächshäuser, die die Klimasteuerung durch Heizung (Frosttage), Kühlung (Hitzetage), CO<sub>2</sub>-Anreicherung (Ertragserhöhung), Luftbefeuchtung, Schattierung (Hitzestress) und/oder Kunstlicht möglich machen [Krug et al. 2002]. Außerdem bieten sie Schutz vor Wind, Niederschlägen einschließlich Hagel und ggf. gegen den Zuflug von Schaderregern. Dies erlaubt längere Kulturperioden bis hin zu ganzjährigen Produktionsprogrammen, den Anbau klimatisch anspruchsvoller Kulturen, höhere Erträge, z. T. bessere Qualitäten und weitere ökonomische Vorteile.

Es ist davon auszugehen, dass weltweit die landwirtschaftlichen Produktionsrisiken steigen und damit Preisschwankungen (Volatilitäten) bei gartenbaulichen Produkten zunehmen werden [MU

Niedersachsen 2009]. Um diese Risiken zu mildern, muss ein breit angelegtes gartenbauliches Risikomanagement aufgestellt werden in dessen Zuge sich die Einkommen diversifizieren, die Liquiditätsreserven ausbauen und Versicherungslösungen genutzt werden.

## 5.4 Anpassungen im Obstbau

Um die Auswirkungen möglicher Spätfröste zu mindern, gibt es nur wenige wirksame Möglichkeiten. Eine davon ist die kontinuierliche Beregnung der Knospen und Blüten, um sie durch die Nutzung der Kristallisationswärme vor Frost zu schützen. Allerdings muss hierfür ausreichend Wasser ( $> 3 \text{ mm/m}^2\cdot\text{h}$ ) und eine Beregnungsanlage vorhanden sein. Gelegentlich angewandt wird auch die so genannte Bewindung, bei der örtliche Kaltluftseen durch den Einsatz von Windmaschinen oder Helikoptern aufgelöst werden.

Um Hitzeschäden zu vermeiden, bietet sich in warmen Regionen ein Sortenwechsel hin zu Spätsorten an, die auch bessere Marktchancen versprechen. Eine Beregnung kann einen klimatisierenden Effekt haben. Auch andere Wuchsformen sind denkbar (Säulenwuchsformen, so genannte Columnare). Mit der Verlagerung des Anbaus (z.B. Äpfel, Weißweinreben) in höhere und/oder kühlere Regionen des Landes kann den klimabedingten Nachteilen entgegengewirkt werden.

Um Trockenschäden zu vermeiden, sind neben Bewässerungsmaßnahmen (möglichst Tropfbewässerung) auch andere Kulturverfahren denkbar (Erziehungsformen, Standweiten, Bodenpflege etc.). Sie sollten den sich ändernden Bedingungen angepasst werden.

Die Auswirkungen von Hagel und Starkregen lassen sich durch Hagelschutznetze und Überdachungen vermeiden bzw. abmildern (Abb. 5-8). Allerdings können die Konstruktionen durch Wind geschädigt werden. Die Investitionskosten sind erheblich und liegen derzeit bei 20.000 – 35.000 € pro Hektar. Überdachungen schützen auch vor Regen und damit Kirschen vor dem Aufplatzen und Beeren vor *Botrytis*-Befall. Die Effizienz kostenintensiver Silberiodid-Impfung von Wolken mittels Hagelfliegern ist nicht zweifelsfrei nachgewiesen. Eventuell müssen Versicherungslösungen angepasst werden, wenn Unwetter und Hagelschlag im Zuge des Klimawandels zunehmen.





Abb. 5-8: Hagelschutznetze im Apfelanbau (Photo: LVWO)

## 5.5 Anpassungen im Weinbau

Die deutschen Weinanbaugebiete, ganz überwiegend in Flusstälern des Südwestens gelegen (62,7 % in Rheinland-Pfalz, 26,7 % in Baden-Württemberg), gehören zu den wärmsten Regionen Deutschlands, aber international betrachtet zu den sogenannten Cool-Climate-Weinbaugebieten. Dies hat sowohl Vor- als auch Nachteile. Ein Vorteil ist, dass man in solchen Regionen besonders fruchtige Weißweine erzeugen kann. Für Riesling, aber auch für den Spätburgunder als wichtigste deutsche Rotweinsorte, darf es nicht zu warm sein. Ein Nachteil ist die in kühlen Vegetationsperioden unzureichende Reife, wodurch besonders die nördlicheren Anbaugebiete in Jahren wie 1978, 1980 oder 1984 erhebliche Qualitätseinbußen hatten.

Zunächst ist festzuhalten, dass bei den mit dem erwarteten Klimawandel einhergehenden Veränderungen der Witterungsfaktoren Niederschlag, Temperatur, Luftfeuchte und Strahlung aufgrund der Anpassungsfähigkeit der Rebkultur nur mit begrenzten Auswirkungen auf den Weinbau und auf die Weinwirtschaft allgemein zu rechnen ist. Allerdings müssen auch in dieser Kultur Anpassungen vorgenommen werden. Das Ziel der Anpassungen ist, auch in Zukunft mit den regional bewährten Sorten qualitativ hochwertige Weine zu erzeugen.

Viele der Anpassungsmaßnahmen, die im Obstbau aufgeführt wurden, greifen auch im Weinbau. Dazu gehören:

- Frostschutzberegnung und Bewindung
- Erziehungssysteme, Kulturmaßnahmen
- Standortwechsel (Wanderung der Anbauflächen)
- Sortenwechsel
- Bewässerung
- Schutz gegen Hagel und Starkregen
- Versicherungen

Hinzu kommen z.B. önologische Verfahren zum Erhalt der typischen Weincharakteristik. Ein wichtiger Unterschied zu früheren Verhältnissen wird die bereits jetzt schon zu beobachtende Reifeverfrühung sein (Abb. 4-3). Reifeverfrühung wie auch Trockenperioden haben generell Effekte auf den Säurehaushalt der Trauben. Bei solchen Verhältnissen wird die Säure rascher abgebaut, die Aromareife der Beeren gleichzeitig aber verlangsamt. Besonders bei den frühreifenden und säurearmen Sorten treten dadurch im Lesegut sehr niedrige Säuregehalte und höhere pH-Werte auf. Dies wird sich in vielen Regionen, insbesondere aber in den südbadischen Weinbaugebieten noch verstärken. Dadurch wird sich in Zukunft vermehrt die Notwendigkeit einer Korrektursäuerung ergeben. Die Säuerung von Wein ist in südlichen Ländern der EU erlaubt und kann in Deutschland im Rahmen einer Ausnahmeregelung in Jahren mit außergewöhnlichen Witterungsverhältnissen erfolgen.

Die hohen Zuckergehalte führen nach kompletter Vergärung zu erhöhten Alkoholgehalten. Dieses Problem wird sich auch in Deutschland verstärken, existiert aber nahezu weltweit in allen Anbaugebieten. In Deutschland sind die Burgundersorten davon am stärksten betroffen, während die Zuckerbildung bei Riesling nicht so stark beeinflusst wird. Hier muss eventuell die Möglichkeit einer teilweisen Entalkoholisierung in Betracht gezogen werden. Auch eine geänderte kellertechnische Strategie und kontrollierte Gärführung wird zur Erhaltung des Aromaprofils notwendig werden.

Die sich ändernden Bedingungen werden auch das Auftreten von Schädlingen und Krankheiten begünstigen. In Deutschland sind bislang in der Regel zwei Generationen der Traubenwickler, die Schlüsselschädlinge für Reben in unserer Region, aufgetreten. Die höheren Temperaturen haben bereits in den letzten Jahren regelmäßig zu drei Generationen geführt (Abb. 4-9). Dieser Trend wird sich verstärken. Somit ist mit weiteren Schäden an Beeren und damit von Beerenfäule zu rechnen. Die Traubenwickler können auf umweltverträgliche Weise mit dem Pheromonverwirrverfahren bekämpft werden. Die auf dem Markt befindlichen neuen Pheromondispenser haben eine erhöhte Füllung des Sexualpheromons der Traubenwickler und decken auch drei Generationen ab, so dass eine ausreichende Bekämpfung auch in Zukunft

erfolgen kann. Die Zuwanderung und Etablierung neuer Schädlinge wird die Erarbeitung neuer Bekämpfungsstrategien notwendig machen.

Gewitter und Starkregenereignisse werden auch die Rebenperonospora fördern. Dies kann durch eine Kombination von Prognoseverfahren (VitiMeteo), die Weiterentwicklung von Bekämpfungsstrategien, Maßnahmen des integrierten Pflanzenschutzes sowie neuen Ansätzen in der Rebenzüchtung und angepasste Kulturführung (s.u.) beherrscht werden. Die Krankheiten wie Esca (Abb. 4-8) und Eutypa, verursacht durch holzbewohnende Pilze, werden durch die sich ändernden Bedingungen verstärkt auftreten. Eine Bekämpfung ist zur Zeit noch nicht möglich, die Erarbeitung von neuen Maßnahmen für die Zukunft aber dringend erforderlich.

Die hohen Temperaturen fördern außerdem essigsäurebildende Hefen und Bakterien. Dadurch kommt es aufgrund der frühen Reife zu Ernteverlusten durch Essigfäule. Auch *Botrytis* wird verstärkt auftreten. Dieser Krankheit kann durch den vermehrten Einsatz von Botrytiziden begegnet werden. Daneben sind in den letzten Jahren Klone der baden-württembergischen Hauptrebsorten entstanden, die aufgrund ihrer Traubenstruktur den Befall mit Schadpilzen und Essigsäurebakterien minimieren.

Hinsichtlich der Erziehungssysteme laufen in Baden-Württemberg seit mehreren Jahren Versuche mit Minimalschnittsystemen, die zu einer Verzögerung der Beerenreife führen, was sich positiv auf den möglichen Befall mit Schaderregern auswirkt. Die Durchführung von weinbaulichen Pflegearbeiten (Entblättern, Entfernen von Doppel- und Kümmertrieben u.a.) führt zu einer Verbesserung der Beerenabtrocknung und Applikationsqualität der Pflanzenschutzmittel.

Eine allgemeine Erwärmung wird auch zu einer Erhöhung der Bodentemperatur führen. Dies hat zwangsläufig Auswirkungen auf die Bodenorganismen und damit auch auf den Humusgehalt. Hier sind ein verändertes Düngemanagement sowie eine behutsame Bodenbearbeitung erforderlich.

In den letzten Jahren wurden, auch aufgrund der Förderung im Rahmen der Umstrukturierung und Umstellung von Rebflächen, auf vielen Trockenstandorten Tröpfchenbewässerungsanlagen installiert. Der Hagelschutz (Abb. 5-9) wurde in den letzten Jahren weiterentwickelt. So ist mit der Whailex-Schutznetztechnik ein System entstanden, das die Trauben effektiv vor Hagel schützt und den praxisüblichen Maschineneinsatz ermöglicht. Die Kosten belaufen sich inklusive Montage auf rund 17.000 €/ha. Aufgrund der Zusatznutzen (Hefhilfe, Schutz vor Wildverbiss, Vogel- und Wespenfraß) lässt sich die Investition betriebswirtschaftlich positiv darstellen. Darüber hinaus bestehen die Möglichkeiten des Einsatzes von Hagelfliegern und der Hagelversicherung.



Abb. 5-9: Auswirkung eines Hagelereignisses im Juni 2008 auf Reben (links) und Hagelschutznetze um Weinstöcke (Photos: LVWO).

## 5.6 Anpassungen im Pflanzenschutz

### 5.6.1 Anpassungen an den direkten Einfluss der Witterung auf die Gesundheit der Pflanzen

Den Schäden durch hohe Sonneneinstrahlung kann man auf verschiedene Weise begegnen. Bei Sonderkulturen, wie im Obstbau, kommt die Errichtung von Überdachungssystemen in Betracht. Diese sind jetzt schon als Hagelschutz und/oder Regenschutz im Einsatz und verhindern durch eine mehr oder minder starke Beschattung den Sonnenbrand an Früchten. Der technische Aufwand und die damit verbundenen Kosten sind sehr hoch, so dass sich diese Maßnahmen nur bei hochpreisigen Erntegütern (z. B. Süßkirsche, Apfel) rechnen. Neben dem Schutz vor der intensiven Strahlung verhindern die Überdachungssysteme auch Schäden durch Hagel und gegebenenfalls Regen. Sie sind insofern eine sogenannte „no regret-Maßnahme“, deren Dringlichkeit davon abhängt, wie oft und wie hoch die Schäden durch Hagel, Niederschlag und Strahlung sind. So wird sie dringender sein, wenn die zu schützende Anlage in einem sogenannten Hagelzuggebiet liegt und eine wertvolle Kultur wie die Kirsche zu schützen ist, die darüber hinaus auch empfindlich auf Regen zum Zeitpunkt der Ernte reagiert. Akteur wäre der betroffene Landwirt, der gegebenenfalls auf günstige Kredite und eine unabhängige, intensive Beratung angewiesen ist.

Bei niederpreisigen und ackerbaulichen Kulturen scheiden Überdachungen zur Vermeidung von Sonnenbrand und anderen strahlungsbedingten Schäden aus. Hier kann die Züchtung langfristig reagieren, indem sie Sorten anbietet, die nicht mit physiologischen Blattflecken auf hohe Strahlungsintensitäten reagiert. Außerdem gibt es Pflanzenschutzmittel wie die

Strobilurine, die einen Schutz vor Strahlungsschäden bieten. Die Forschung und Entwicklung von entsprechenden Produkten wäre zu intensivieren. Hier sind als Hauptakteure die Züchter bzw. die chemische Industrie sowie Universitäten und andere landwirtschaftliche Forschungsanstalten zu nennen.

Die Frostgefährdung der Kulturpflanzen zu Beginn und zum Ende der Vegetationszeit wird zunehmen. Besonders problematisch sind die Spätfröste, die zudem meistens mit empfindlichen Entwicklungsperioden wie der Blüte zusammenfallen. Zur Schadensverhütung wird künftig darauf verzichtet werden, in Frostlagen empfindliche Kulturen anzubauen. Relativ kurzfristig und kostengünstig ist in Flächenkulturen (z. B. Erdbeere) die Ausstrahlung durch Abdeckung mit Vliesen während Frostperioden zu verhindern. Deutlich kostenintensiver, aber in frostgefährdeten Lagen durchaus ratsam, ist die Installation einer Frostschutzberegnung. Dafür müssten gegebenenfalls von staatlicher Seite die Voraussetzungen geschaffen werden (Erlaubnis zur Wasserentnahme, Bereitstellung eines Wasseranschlusses, Vorratsbehälter).

Qualitätsverlusten durch höhere Temperaturen insbesondere im Obstbau ist kurz- bis mittelfristig durch die Sortenwahl bzw. langfristig durch die Züchtung neuer Sorten zu begegnen. Bei Dauerkulturen ist das ein kontinuierlicher Prozess, bei dem die Anbauer die sich ändernden Anbaubedingungen im Hinblick auf die Sortenwahl bei jeder Neupflanzung zu berücksichtigen haben. Bei der Sortenbewertung im Rahmen der Zulassung und in der Beratung sollte die Hitze- und Trockentoleranz eine künftig höher zu gewichtende Rolle spielen.

### **5.6.2 Anpassungen an den Einfluss der Witterung auf die Schaderreger an Pflanzen**

Im Zuge des Klimawandels ist damit zu rechnen, dass in Baden-Württemberg die Witterung von Jahr zu Jahr und auch innerhalb eines Jahres mittel- und langfristig stärker schwanken wird. Das hat einen direkten Einfluss auf die Schaderreger, deren Häufigkeit von Jahr zu Jahr ebenso stark fluktuieren wird. Überlagert wird das Ganze dadurch, dass sich die Produktionstechniken ändern und neue Kulturen auf größeren Flächen (z. B. Energiepflanzen) angebaut werden [von Tiedemann und Ulber 2008]. Damit werden sich die witterungsbedingt zunehmenden Schwankungen in dem Auftreten und der Frequenz von Schaderregerpopulationen voraussichtlich verstärken.

Um diesen Schwankungen zu begegnen, ist die Schaderregerüberwachung generell, vor allem aber in den wirtschaftlich wichtigen Kulturen in Baden-Württemberg zu intensivieren. Dieses Monitoring sollte nicht nur „neue“ Schaderreger erfassen, sondern auch etablierte Arten und in einem Frühwarnsystem zum regionalspezifischen Schaderregerauftreten in der Landwirtschaft münden. Damit können dann rechtzeitig über bereits vorhandene Informationssysteme (z. B. ISIP) und eine intensivere Beratung der Landwirtschaft geeignete Abwehrmaßnahmen ergriffen werden.

Voraussetzung für das Frühwarnsystem ist eine schnelle und exakte Bestimmung der Schad-erreger sowie ausreichende Untersuchungskapazitäten in geeigneten Laboratorien. Dafür müssen vor allem durch die Entwicklung von Schnelltests, eine intensive Schulung der Berater und die notwendige personelle und technische Ausstattung von Laboren die Voraussetzungen geschaffen werden.

Zur Abwehr nicht direkt bekämpfbarer Pflanzenkrankheiten (z. B. Virosen, Bakteriosen) sind umfangreiche Untersuchungen von Jungpflanzen auf latenten Befall erforderlich, damit diese Krankheiten gar nicht erst in die Betriebe gelangen (Quarantäne). Das erhöht die Kosten der Produktion.

Für viele „neue“, aber auch etablierte Schaderreger fehlen Daten zur Biologie, Epidemiologie und Populationsdynamik im Hinblick auf durch den Klimawandel zu erwartende Änderungen der Witterung. Diese Lücken sind für die Entwicklung von Prognosemodellen möglichst kurz- und mittelfristig zu schließen. Das gleiche gilt für die Ermittlung von Befalls-Verlust-Relationen und den damit verbundenen Schad- bzw. Bekämpfungsschwellen. Durch Prognosemodelle in Verbindung mit den entsprechenden Schwellenwerten kann man den Bekämpfungszeitpunkt optimieren oder gegebenenfalls auf Bekämpfungen verzichten.

Durch eine Änderung des Klimas könnten sich in Baden-Württemberg bestimmte Quarantäne-schaderreger dauerhaft etablieren. Arten, die bisher auf Grund der klimatischen Bedingungen nicht überleben konnten, könnten dann als neue Schaderreger und invasive Arten langfristig ein hohes Schad- und Verdrängungspotential in der Nahrungsmittelproduktion, der Forstwirtschaft und einheimischen Pflanzenwelt darstellen. Außereuropäische Quarantäneschaderreger, die sich ursprünglich zum Beispiel nur im Mittelmeerraum ansiedeln konnten, würden dann auch für Baden-Württemberg ein ernsthaftes Risiko darstellen. Deshalb müssen die internationalen Warenströme, mit denen die Quarantäneschaderreger vorwiegend verschleppt werden, bei Eintritt in den EU-Raum noch strenger überwacht werden. Daher steigt die Bedeutung der Arbeit der Pflanzenbeschau und -quarantäne, deren personelle und materielle Ausstattung entsprechend anzupassen ist.

### **5.6.3 Anpassungen an den Einfluss der Witterung auf Pflanzenschutzmaßnahmen**

Insgesamt gesehen sind die Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes unter besonderer Berücksichtigung des Klimawandels weiter zu entwickeln, so dass man zu einer Stärkung und Ausweitung der nicht-chemischen Pflanzenschutzverfahren kommt. Eine weitere Intensivierung des chemischen Pflanzenschutzes ist zum einen von der Bevölkerung und der Politik nicht gewollt, zum anderen aus ökotoxikologischer Sicht problematisch und aufgrund der Entwicklung von Wirkstoffresistenzen in den Schaderregerpopulationen nicht zielführend. Daher sind praxistaugliche, pflanzenbauliche Verfahren (z. B. Bodenbearbeitung, Fruchtfolge, Sortenwahl) zu entwickeln und in der Praxis zu etablieren, die unter anderem über eine Förderung von

Gegenspielern bzw. eine verbesserte Vitalität der Pflanzen das Schadpotenzial von Krankheiten, Schädlingen und Unkräutern reduzieren. Insbesondere verdient die Pflanzenzüchtung neben dem Ziel einer Hitze- bzw. Trockenheitstoleranz auch im Hinblick auf eine Schaderregerresistenz eine vermehrte Förderung. Resistente Sorten benötigen weniger oder keinen Einsatz von Pflanzenschutzmaßnahmen gegen bestimmte Schaderreger.

Zu stärken ist weiterhin die biologische Bekämpfung, um den vielfach sehr effektiven Einsatz gegen Schädlinge im geschützten Anbau auf das Freiland und gegen Krankheitserreger und Unkräuter auszudehnen. Erfolgreiche, bereits in der Praxis etablierte Verfahren sind der Schlupfwespeeneinsatz gegen den Maiszünsler, die Anwendung von *Bacillus thuringiensis*-Präparaten zur Bekämpfung von Schadschmetterlingen oder die Applikation eines Pilz-Gegenspielers zur *Sclerotinia*-Bekämpfung. Ein eingeführtes und bewährtes biotechnisches Verfahren ist der flächendeckende Pheromoneinsatz gegen beide Arten des Traubenwicklers (Konfusionsmethode). Bei all diesen Ansätzen ist zu überprüfen, ob Änderungen der Applikations- und Anwendungsbedingungen bei veränderten Witterungssituationen notwendig werden.

Die Klimaerwärmung ermöglicht auch die Etablierung neuer Pflanzenschutzverfahren wie die Bodensolarisation zur Abtötung von Schadorganismen in der oberen Bodenschicht. Sie müsste für die hiesigen Gegebenheiten optimiert und in geeignete Anbausysteme integriert werden.

Pflanzenschutzmittel zielten bislang primär auf die Abwehr von Schaderregern ab. Sie sollten künftig auch entwickelt werden, um nicht-parasitäre Schäden zu reduzieren, die beispielsweise mit steigenden Temperaturen, einem geringeren Wasserangebot und höheren Strahlungsintensitäten in Verbindung stehen (z. B. Strobilurine gegen nicht-parasitäre Blattflecken im Getreide).

Die Formulierung und Applikationstechnik von Pflanzenschutzmitteln sind an die sich witterungsbedingt ändernden Bedingungen anzupassen. So sollte durch die Formulierung zum einen die Aufnahme des Wirkstoffs in den Zielorganismus verbessert werden (bessere Aufnahme durch die Wachsschicht der Pflanze), damit die Wirkungssicherheit erhalten bleibt. Zum anderen sollte über die Formulierung und die Applikationstechnik der Austrag von Pflanzenschutzmitteln in die Umwelt durch Verdunstung und Abwaschverluste von der Pflanze reduziert werden. Eine Optimierung der Applikationstechnik (z. B. Unterblattspritzungen, Tropfenspektrum) kann ebenfalls dazu beitragen, die Mittel exakter an die Zielfläche heranzubringen.

Die Entwicklungen des „Precision Farmings“ tragen unabhängig vom Klimawandel dazu bei, die Pflanzenschutzmittel zielgerichtet einzusetzen. So werden über die Verwendung von optischen Geräten, schnellen Computern und geeigneten Programmen Schaderreger bei der Überfahrt mit dem Pflanzenschutzgerät automatisch erkannt. Der Rechner steuert dann das Pflanzenschutzgerät so an, dass treffgenau nur der Schaderreger bzw. die befallene Pflanze behandelt

wird. Damit gehen große Einsparungen bei der ausgebrachten Menge an Pflanzenschutzmitteln einher. Erste positive Erfahrungen hat man damit in der Unkrautbekämpfung gemacht.

Vorhandene und neue Pflanzenschutzmittel sollten weiterhin in Freilandversuchen an mehreren Standorten in Baden-Württemberg mit den für die jeweilige Region klimatisch repräsentativen Anbaubedingungen an „neuen“ Kulturen und „neuen“ Schaderregern geprüft werden. Auf diese Weise können etwaige Wirkungslücken von einzelnen Pflanzenschutzmitteln ausgemacht und möglicherweise durch die Verwendung anderer Mittel oder alternativer Bekämpfungsverfahren geschlossen werden.

## 5.7 Anpassungen im Bereich der Rinderhaltung

Der Klimawandel tangiert die Rinderhaltung in folgenden Bereichen:

- Rinderzucht
- Fütterung / Futtermittelsversorgung
- Rinderhaltung / Stallbau / Technik der Innenwirtschaft
- Management der Exkremente Kot und Harn

Im Bereich der Rinderhaltung sind die wesentlichsten Sachverhalte hinsichtlich der Anpassungsstrategien im Positionspapier der DGfZ-Projektgruppe „Klimarelevanz in der Nutztierhaltung“ [Bongartz et al., 2011] enthalten. Den Aussagen von Bongartz et al. [2011] zufolge wird „der prognostizierte Klimawandel erhebliche Auswirkungen auf die Nutztierhaltung haben“. Temperaturerhöhungen, Veränderungen der Niederschlagsereignisse nach Zeitpunkt, Summe und Intensität und die allgemeine Zunahme von Extremwetterereignissen werden die Tiere belasten und Minderleistungen erwarten lassen.

### 5.7.1 Tierernährung, Futtergrundlage und Futtermischungen

So ist mit einer signifikant veränderten Futtergrundlage für die Futtermittelsversorgung zu rechnen. Im Grünland wird es vermutlich zu einer veränderten Zusammensetzung der Grünlandbestände und damit einhergehend zu veränderter Futterqualität kommen. Die Erträge werden variieren und Futter wird vor allem bei Weidehaltung nicht kontinuierlich in gleichem Maße zur Verfügung stehen. Nach Menge und Qualität ausreichende Futtermittelvorräte sind daher nicht nur für die herkömmliche Periode der Zufütterung im Winter, sondern auch für Trockenzeiten oder Nässeperioden während der Vegetationsperiode bereit zu stellen. Das kann im Einzelnen dazu führen, dass in besonders trockenheitsanfälligen Gebieten zusätzlicher Lagerraum für verschiedene Grundfuttermittel verfügbar sein muss (Siloanlagen oder Heubergeraum). Teilweise werden andere Konservierungsformen notwendig werden. Denkbar sind hier z.B. kleinere Einheiten, die problemlos und verlustfrei geöffnet und gegebenenfalls wieder



verschlossen werden können, um Zwischenversorgungen zu ermöglichen (z.B. Rundballensilagen). Die zu einer Stabilisierung der Futtermittellieferung notwendigen Maßnahmen, wie der Anbau trockenheitsunempfindlicher Pflanzenarten etc., wurden im Kapitel Grünlandwirtschaft (Kap. 5.2) näher beschrieben.

Warme Futtermischungen verursachen Energieverluste, geringere Verdaulichkeit und verminderte Futteraufnahme. Verantwortlich dafür sind Hefepilze, die vor allem über warme Silagen oder schlecht gelagerte Zusatzkomponenten in die Mischungen gelangen [Nussbaum 2009]. Die Erzeugung stabiler Silagen, häufiges Mischen, saubere und kühle Lagerung von Zukaufsfuttermitteln sowie Futtermittelhygiene beugen der Erwärmung vor. Marktübliche Zusätze zur Stabilisierung von Mischungen aus Grund- und Kraftfutterkomponenten (Total-Mischrationen, TMR) können bei Problemen die aerobe Stabilität verbessern. Instabile Komponenten bedeuten eine raschere Erwärmung und geringere Effekte der Zusätze bzw. machen eine höhere Dosierung notwendig. Die Dauer der Stabilisierung korreliert überwiegend mit den Gehalten an Propion-, Sorbin- oder Benzoesäure. Empfohlen werden 0,2 bis 0,3 %. Die Zusätze kosten zwischen 3,00 und 5,00 € je Tonne TMR (Stand: 2012). Werden warme Silagen im Futtermischwagen mit Kraftfutter zu TMR-Mischungen aufbereitet, erwärmen sich diese vor allem im Sommer im Mischwagen bzw. Trog sehr rasch. Die im Zuge des Klimawandels projizierte Temperaturzunahme verschärft dieses Problem und macht eine Stabilisierung schwieriger. Zusätze zur Stabilisierung von TMR-Mischungen sind dann mehr als sinnvoll [Nussbaum 2009].

### 5.7.2 Tierwohl, Stallbau und Technik der Innenwirtschaft

Der Klimawandel wirkt sich auf Tier und Technik insbesondere durch häufiger zu erwartende Wetterextreme wie starke Hitze und extreme Kälte aus. Rinder sind insbesondere hitzeempfindlich. Hitzestress führt zu physiologischen Belastungen und in der Folge zu Leistungseinbußen.

Tiergerechte Haltung erfordert daher bei Weidegang ausreichenden Schutz vor Hitze und gegebenenfalls extremen Niederschlägen:

- Sicherung der Tränkwasserverfügbarkeit und –qualität
- Witterungsschutz, insbesondere Schattenangebot
- Anpassung des Weideganges an Temperaturverläufe und Sonneneinstrahlung (Teilweidegang)

Maßnahmen im Bereich Stallbau sowie der Stallklimatisierung sind geeignet, Leiden bei den Tieren und wirtschaftliche Einbußen zu minimieren. Da die negativen Folgen durch Hitzestress bereits in der Gegenwart für Außenklimaställe und Weidesysteme eine Rolle spielen, kann

darauf im Rahmen von Anpassungsmaßnahmen an die Folgen des Klimawandels zurückgegriffen werden. Folgende Aspekte spielen eine Rolle:

- Standorte mit möglichst ungehinderter Luftanströmung über die Hauptwindrichtung
- Möglichst große Zu- und Abluftflächen, z.B. durch hohe Traufen (mindestens 4,50 m)
- Keine Ein- und Anbauten, die die freie Querlüftung behindern (z.B. Melkstand)
- Flexible Wandkonstruktionen hinsichtlich Regulierbarkeit und Maximierung des Luftstroms (Wickellüftung, Zulufffenster)
- Helle und/oder wärmegeämmte Dachflächen mit ausreichend Dachüberstand
- Unterstützungslüftung durch Ventilatoren (Belüftungsleistung 1.000 m<sup>3</sup> je Kuh und h)
- Wasservernebelungstechniken
- Automatische Stallklimaregulierung
- Optimale Tränkewasserversorgung

Aufgrund des Investitions-, Unterhaltungs- und Energieaufwandes von ergänzenden technischen Einrichtungen (z.B. Ventilatoren) sollten zunächst möglichst alle standort- und konstruktionsbedingten Faktoren optimal umgesetzt werden. Ventilatoren und Wasservernebelungsanlagen dienen im Bedarfsfall der Nachrüstung bzw. können suboptimale Bedingungen (z.B. Altgebäude) verbessern (vgl. Abb. 5-10).

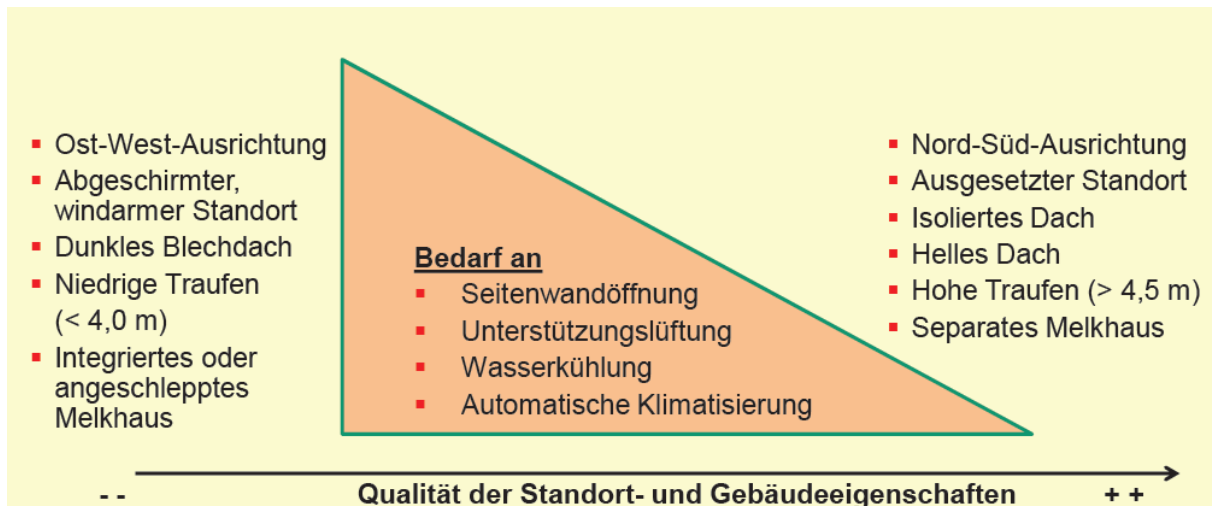


Abb. 5-10: Abhängigkeit des Technikeinsatzes zur Stallklimatisierung von den Standort- und Gebäudeeigenschaften [Quelle: Eilers, LAZBW]

Längere Frostperioden sowie extreme Kälte können zu Ausfällen in den technischen Einrichtungen und damit zu Problemen in der Tierversorgung und Milchgewinnung sowie zu Verletzungsgefahren für die Tiere führen. In modernen Außenklimaställen sind folgende Einrichtungen besonders anfällig:

- Tränkewasserversorgung
- Entmistung / Flüssigmistsysteme
- Melktechnik / Automatische Melksysteme

Entsprechende Witterungsverhältnisse in der Vergangenheit haben dazu geführt, dass geeignete Frostschutzmaßnahmen entwickelt wurden. Dazu zählen z.B. Wärmedämmung und Beheizbarkeit von Gebäudeteilen, Wasserleitungen und Tränkebecken, frostsichere Verlegung von Wasserzuleitungen, automatische Steuerung von Entmistungsanlagen, konstruktive Besonderheiten für Flüssigmistsysteme (z.B. Kanaltiefen, Staunashöhe, Spülsysteme).

Um die geschilderten negativen Auswirkungen der Witterungseinflüsse Hitze und Kälte zu verhindern, sind die genannten Maßnahmen und technischen Lösungen bereits Bestandteil der aktuellen Stallbau- und Technikberatung. Im Zuge des Klimawandels steigt die Relevanz dieser Zusammenhänge. Hitze- und Frostschutz müssen deshalb systematisch Inhalt von Planungs-, Beratungs- und Bildungsaktivitäten für Rinderhalter werden.

## **5.8 Anpassungen im Bereich der Schweinehaltung**

Schweinen stehen folgende physiologische Mechanismen zur Wärmeabgabe zur Verfügung [Irgang 2001]:

- Wärmeleitung durch Kontakt (Konduktion)
- Wärmestrahlung (Radiation)
- Ausscheidungen (Elimination)
- Wasserverdunstung (Transpiration)

Daraus lassen sich folgende Anpassungsstrategien ableiten:

### 5.8.1 Einsatz von Kühltechniken zur Klimatisierung geschlossener wärmegeprägter Stallgebäude

Dies können unter anderem sein:

- a) Hochdruckbefeuchtung, feine Vernebelung von Wasser bei 70 bar Druck
- b) Kühl-Pads zur zentralen Kühlung am Lufteintritt
- c) Unterflurzuluft: Die Zuluft wird durch den Betonunterbau angesaugt bzw. geführt. Sie kann sich somit auf dem Weg ins Abteil abkühlen und steigt dann über den Servicegang bzw. über die Trennwände ins Abteil.



Abb. 5-11: Hochdruckdüse (70 bar) mit Wasservernebelung



Abb. 5-12: Kühlpad an zentralem Lufteintritt



Abb. 5-13: Servicegang mit perforierten Bodenelementen, über welche konditionierte Frischluft aus Bodenkanälen unter dem Stall in den Tierbereich aufsteigt.

Derzeit werden in einem von der BLE (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Bonn) geförderten Forschungsprojekt diese Techniken in den Stallungen der LSZ Boxberg erprobt und bewertet. Die ersten Ergebnisse zeigen, dass mit allen Verfahren in Abhängigkeit von den

Umweltparametern eine Abkühlung der Zuluft von 4-6 Grad erzielt werden kann. Dies bringt eine erhebliche Entlastung für die Tiere, wenngleich noch stärkere Kühlleistungen an sehr heißen Tagen von Vorteil wären. Bei einer Vollkostenbetrachtung ist in Abhängigkeit des Verfahrens mit 3 bis 8 Euro Kühlkosten pro Mastplatz und Jahr zu kalkulieren. Die Umsetzbarkeit ist relativ gut, da die Hochdruckbefeuchtung sowie das Kühlpad auch in die meisten bestehenden Stallungen nachgerüstet werden kann. Die Unterflurzuluft ist in der Regel nur im Neubau umzusetzen.

### **5.8.2 Einsatz von neuen Stallbaukonzepten mit freier Lüftung**

Außenklimagebäude mit freier Lüftung für Schweine sind eine weitere Variante für die Anpassung an den Klimawandel. Sie zeichnen sich durch niedrigere Sommertemperaturen im Vergleich zu konventionellen zwangsbelüfteten Ställen aus, da die Gebäude bauartbedingt in den Nachtstunden gut abkühlen können und sich somit kein Wärmepolster bzw. -stau im Vergleich zu gedämmten Stallungen aufbauen kann. Weiterhin können auch einfache kostengünstige Kühltechniken, wie z.B. eine Schweinedusche, im Wasser-Niederdruckbereich eingesetzt werden, was so in konventionellen Stallungen nicht möglich ist (führt hier zu hoher Luftfeuchte). Die Gebäude wirken gleichzeitig positiv auf den Klimawandel, da sie im Vergleich zu konventionellen Gebäuden einen geringeren Energieverbrauch (insbesondere für die Lüftung) aufweisen, wodurch deren CO<sub>2</sub>-Bilanz begünstigt ist.

In einem von der LUBW geförderten Forschungsprojekt wurden an der LSZ Boxberg eine Weiterentwicklung und Optimierung verschiedener Elemente der Verfahrenstechnik durchgeführt, wie z.B. Konstruktion der Frontseiten oder auch der Antriebstechniken zum funktionssicheren Öffnen und Schließen verschiedener Frontelemente, sowie eine sensorbasierte automatisierte Regel- und Steuerstrategie entwickelt, welche zu einer weiteren Optimierung der Temperaturen im Stall und somit zu weniger Hitzestress für die Tiere führt. Die Anwendung steht der landwirtschaftlichen Praxis zur Verfügung. Die Stallplatzkosten derart ausgerüsteter Außenklimaställe entsprechen annähernd denen konventioneller Gebäude, jedoch sind geringere Betriebskosten, insbesondere für die Lüftung, zu kalkulieren. Eine Umsetzung ist allerdings nur in Neubausituationen möglich. Hier sind dann auch Synergieeffekte zu weiteren Ansprüchen, wie z.B. mehr Buchtenfläche pro Tier (wie z.B. im Rahmen von Tierwohl-Label-Programmen) gut nutzbar.

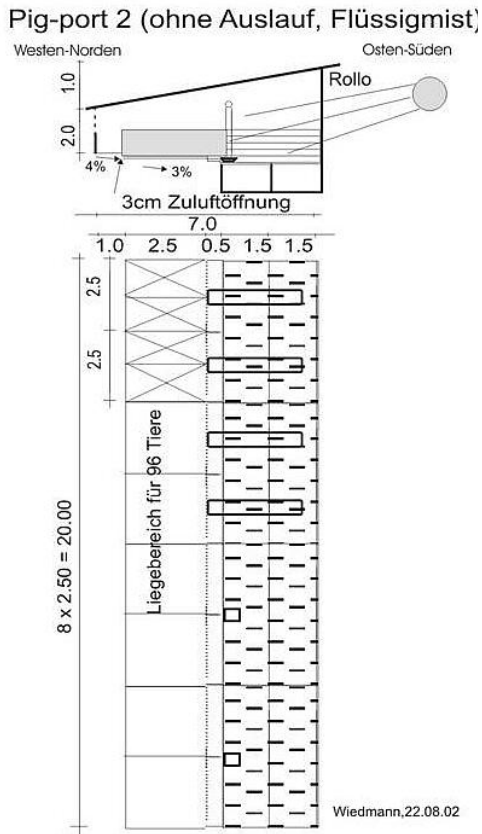


Abb. 5-14: Pultdachkonstruktion eines frei belüfteten Schweinemaststalls mit ganzflächiger Frontöffnung (Schnitt und Grundriss)

Abb. 5-15: Front- und Rückseite eines Außenklimastalls



Abb. 5-16: Einfache Schweinedusche zur Abkühlung

Abb. 5-17: Blick in Buchtenbereich

## 5.9 Anpassungsmöglichkeiten für die Erhaltung der Tiergesundheit

Tierseuchen können enorme Schäden für Wirtschaft und Gesellschaft verursachen. Die wirtschaftlichen Schäden können mehreren Milliarden Euro erreichen. Grund dafür sind Tier- und Produktionsverluste, Handelshemmnisse, existentielle Gefährdung von landwirtschaftlichen Betrieben, kollaterale Verluste der Futtermittel- und der Agrartechnikindustrie, negative Beeinträchtigungen der Tourismusbranche etc.

Manche Tierseuchen sind auch auf Menschen übertragbar und können schwere Erkrankungen und sogar Todesfälle verursachen. Dieser zoonotische Aspekt kann der Tierseuchenbekämpfung ebenso eine hochbedeutende Dimension verleihen. Aus diesem Grund sind präventive Maßnahmen besonders wichtig.

Der internationale Handel mit Tieren und Produkten tierischen Ursprungs wird von den zuständigen Behörden streng kontrolliert. Besonders vorsichtig wird bereits jetzt mit den Speiseresten von internationalen Verkehrsmitteln wie Flugzeugen, Schiffen und Eisenbahnen umgegangen. Diese Reste sind alle nach strengen tierseuchenrechtlichen Vorgaben zu beseitigen.

Weniger kontrollierbar ist allerdings die private, nicht gewerbliche Einfuhr von Lebensmitteln tierischer Herkunft mit dem eigenen Pkw. Hier würde eine Informationskampagne helfen, der Bevölkerung das Thema näher zu bringen und Verständnis für das Thema zu gewinnen.

Die Hygieneregeln der guten landwirtschaftlichen Praxis unterstützen die Landwirte dabei, eine Infektion des eigenen Tierbestandes zu vermeiden. Folgende Maßnahmen werden zusätzlich als zweckmäßig angesehen:

- Enge Zusammenarbeit der Forschungsstellen, der Untersuchungsämter und der Veterinärverwaltung mit den internationalen Counterparts.
- Weiterentwicklung der Forschung und Vorbereitung von Impfstoffen
- Erarbeitung von Notfallplänen
- Gezielte Schulungen der Veterinärverwaltung
- Unterstützung von betroffenen Staaten, um selbst Erfahrung zu sammeln sowie um die Seuche bereits vor Ort zu bekämpfen und nicht darauf zu warten, dass sie in Baden-Württemberg ausbricht.

Um auf das Vorkommen von exotischen Tierseuchen vorbereitet zu sein, müssen die zuständigen Instanzen über ausreichende Kenntnisse aus wissenschaftlichen Studien verfügen, um die neuen Erkrankungen zu erkennen und zu diagnostizieren. Hierzu sind Fortbildungsangebote der universitären und bundeseigenen Forschungseinrichtungen wünschenswert. Weiterhin ist die Bereitstellung von Mitteln durch das Land zur Wahrnehmung derartiger Fortbildungsveranstaltungen erforderlich. Die bisherige gute Zusammenarbeit mit den

entsprechenden Forschungseinrichtungen muss intensiviert werden, z. B. durch die Möglichkeit von Hospitationen von Landesmitarbeitern in diesen Einrichtungen.

Zentral koordinierte Bekämpfungsmaßnahmen, wie die flächendeckende Impfung und Handelsrestriktionen, haben geholfen, z.B. die Blauzungkrankheit aus unseren Tierbeständen zu entfernen (Abb. 5-18). Deutschland und ebenso einige Nachbarländer sind jetzt dank der gelungenen Bekämpfungsstrategie wieder frei von dieser Seuche. Die Blauzungkrankheit ist eine durch Gnitzen der Gattung *Culicoides* übertragene schwere Viruserkrankung der Wiederkäuer. In Mitteleuropa trat die Blauzungkrankheit erstmals im August 2006 auf. In Deutschland wurden bis zum Jahresende Fälle in Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Hessen, Saarland und Niedersachsen gemeldet. Das Wiederauftreten der Krankheit im Juni 2007 hat gezeigt, dass das Virus in Mitteleuropa überwintern kann [FLI 2013]. Die Krankheit breitete sich sehr schnell in nördliche, östliche und südliche Richtung aus und verursachte eine erhebliche Anzahl klinischer Erkrankungen und große wirtschaftliche Verluste. Der rasante Anstieg von Fällen im Spätsommer ist durch die verstärkte Aktivität der Gnitzen zu dieser Jahreszeit bedingt. Bis Ende 2007 wurden in Deutschland insgesamt 20 623 Fälle gemeldet. Ab Mitte Mai 2008 wurde mit der flächendeckenden Pflichtimpfung gegen das Virus begonnen. Der Erfolg war sofort erkennbar – 2009 blieb die Anzahl der festgestellten Neuinfektionen auf 12 beschränkt, im Jahr 2010 wurde kein einziger Fall gemeldet [FLI 2013].

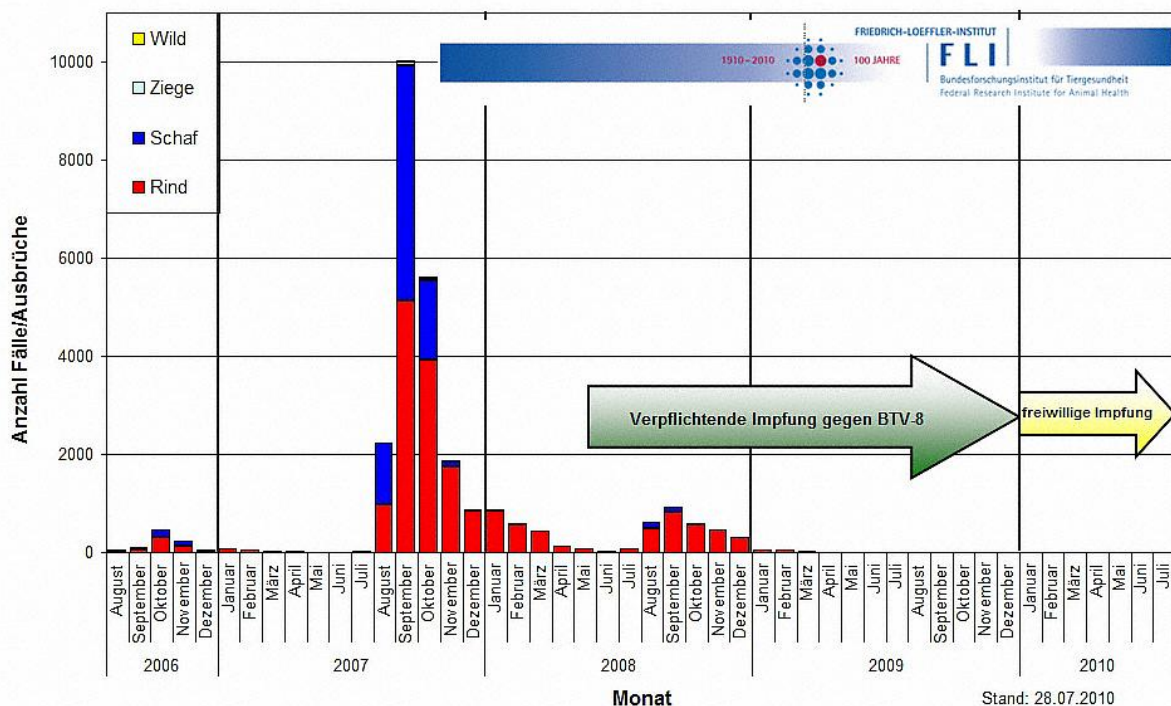


Abb. 5-18: Schnelle Wirkung der Impfkampagne gegen den Erreger der Blauzungkrankheit in Wiederkäuern. Zusammen mit Handelsrestriktionen konnte die Infektionshäufigkeit 2008 bereits stark gesenkt und 2009 fast auf Null gedrückt werden. BTV-8: Blue Tongue Virus, Serotyp 8. Quelle: Friedrich-Loeffler-Institut, Insel Riems.



## 6 Maßnahmenblätter

### Übersicht

#### TOP 10:

Teilbereich	Maßnahme
Ackerbau	Konservierende Bodenbearbeitung
Ackerbau	Erweiterte Fruchtfolgen, Verwendung verschiedener Sorten pro Kulturart im Anbau
Ackerbau u.a.	Optimierung der Bewässerungsverfahren
Pflanzenschutz	Frostschutzmaßnahmen
Pflanzenschutz	Schaderregerüberwachung
Pflanzenschutz	Errichtung von Überdachungssystemen zum Schutz gegen Hagel und Starkregen
Obst- und Weinbau	Anpassung Sortenspektrum
Gartenbau	Anpassung der Klimaführung und der Kulturfolge gemüsebaulicher Kulturen im Gewächshaus
Grünland	Gezielte Grünlandverbesserung durch Verbesserung lückiger Grasnarben
Schweinehaltung	Verminderung der Wärmebelastung für Schweine in konventioneller Stallhaltung

#### Weitere Maßnahmenblätter:

Teilbereich	Maßnahme
Pflanzenzüchtung	Züchtung von klimaadaptierten Arten und Sorten
Ackerbau	Wassereffiziente Anbauverfahren und Bestandesführung
Ackerbau	Neue Düngungsformen
Ackerbau	Erosionsschutz durch Begrünung und Landschaftselemente
Ackerbau	Humusproduktion
Ackerbau	Zweikulturnutzung
Pflanzenschutz	Weiterentwicklung des integrierten Pflanzenschutzes
Pflanzenschutz	Weiterentwicklung von Pflanzenschutzmitteln und der Applikationstechnik
Pflanzenschutz	Schutz vor Strahlungsschäden an Kulturpflanzen
Gartenbau	Einführung wassersparender Bewässerungsverfahren
Gartenbau	Anpassung der Kulturprogramme für Freilandkulturen im Gemüsebau
Gartenbau	Optimierung der Kulturführung von gering wärmebedürftigen Kulturen im geschützten Anbau

Gartenbau	Technische Anpassungen im Unterglas- und Freilandanbau zur Reduzierung der Hitzestressbelastung bei Zierpflanzen und Stauden
Gartenbau	Anpassung der Klimaführung und Sortenwahl bei Zierpflanzenkulturen im Gewächshaus
Obst- und Weinbau	Anpassung der Kulturverfahren an Hitze und Trockenheit
Obst- und Weinbau	Standortwechsel
Weinbau	Önologische Verfahrensanpassungen
Grünland/Rinder	Anpassung der Weideführung an Trockenphasen
Grünland	Bessere Strategie zur Ausbringung wirtschaftseigener Düngemittel durch Gülleseparierung
Rinderhaltung	Bauliche Maßnahmen zur Verminderung der Wärmebelastung über Haltung in Ställen
Schweinehaltung	Bauliche Maßnahmen zur Verminderung der Wärmebelastung über frei belüftete Stallungen

## 6.1 Maßnahmenblätter – die „TOP 10“

<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Ackerbau	
<b>Maßnahme:</b> Konservierende Bodenbearbeitung	<b>Bestehende Maßnahme:</b> ja
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Minderung der Bodenerosion durch Starkniederschläge, Schonung Bodenwasservorräte, Schonung Bodenleben	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Mulchsaat und auf geeigneten Standorten und Betrieben Direktsaat statt wendender Bodenbearbeitung, wie z.B. Pflugeinsatz	
<b>Priorisierung der Maßnahme<sup>1</sup>:</b> III	<b>No-regret-Maßnahme:</b> ja
<b>Zuständigkeit<sup>2</sup>:</b> Landwirtschaftsverwaltung über Beratung und Kontrolle Cross Compliance	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure<sup>3</sup>:</b> Landwirte, Berater, Agrartechnik-Industrie	
<b>Zeithorizont<sup>4</sup> und Dringlichkeit der Maßnahme:</b> K, mittel (in erosionsgefährdeten Gebieten oft schon verwirklicht, zumindest Mulchsaat)	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> <b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> <b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b>	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b> Cross Compliance „Erosionsvermeidung“, MEKA III – Maßnahme N-E4	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> Wasserhaushalt: vermehrter Einsatz von Herbiziden und ggf. Molluskiziden möglich	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> Wasserhaushalt: Verminderung der Abschwemmung von Boden, Nähr- und Schadstoffen in Oberflächengewässer; Boden(schutz)	
<b>Kenntnisdefizite:</b> Mulchsaat wenig, Direktsaat noch Entwicklungs- und Beratungsbedarf	
<b>Forschungsbedarf:</b> Bekämpfung Nager und Schnecken bei der Direktsaat, optimale Fruchtfolgen	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b> erfordert zumeist andere Fruchtfolgen und Pflanzenschutzmaßnahmen. Auch im Gartenbau ein wichtiges Thema.	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)

<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Ackerbau	
<b>Maßnahme:</b> Erweiterte Fruchtfolgen, Verwendung verschiedener Sorten pro Kulturart im Anbau	<b>Bestehende Maßnahme:</b> Ja, aber noch zu selten
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Streuung des Anbaurisikos durch eine mehrgliedrige Fruchtfolge und die Verwendung mehrerer Sorten statt nur einiger weniger. Anbaurisiko steigt durch größere Variabilität der Witterung innerhalb eines Jahres und zwischen den Jahren, Hitzeperioden, Trockenheit, Starkniederschläge, warme Winter mit Kaltlufteinbrüchen	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Statt nur ein bis drei Kulturarten pro Fruchtfolge werden 4-5-gliedrige Fruchtfolgen gefahren. Statt einer dominanten Hohertragsorte werden mehrere angebaut.	
<b>Priorisierung der Maßnahme<sup>1</sup>:</b> II	<b>No-regret-Maßnahme:</b> nein
<b>Zuständigkeit<sup>2</sup>:</b> Landwirtschaftsverwaltung, Landesanstalten	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure<sup>3</sup>:</b> Landwirte, Abnehmer landwirtschaftlicher Produkte, Berater, Pflanzenzüchter, Versicherungen	
<b>Zeithorizont<sup>4</sup> und Dringlichkeit der Maßnahme:</b> K, mittel	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> <b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> <b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b>	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b> MEKA III, Maßnahmen N-A2, N-A3; Cross Compliance-Regelungen für Humuserhalt und Fruchtfolge	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> keine	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> Naturschutz/Biodiversität: Erhöhung der Agrobiodiversität wahrscheinlich Boden: Bodenschutz durch bessere Humusreproduktion möglich	
<b>Kenntnisdefizite:</b> Bei einzelnen Landwirten	
<b>Forschungsbedarf:</b> Ökonomische Optimierung vielfältiger Fruchtfolgen	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b> Bisher noch mit ökonomischen Nachteilen verbunden	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)

<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Ackerbau, Garten-, Obst- und Weinbau	
<b>Maßnahme:</b> Optimierung der Bewässerungsverfahren	<b>Bestehende Maßnahme:</b> Nein, nur teilweise
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Optimale Wasserversorgung wertvoller Kulturen nach Bedarf zur Erzielung ausreichender/hoher Erträge und hoher Qualität unter Schonung der Wasserressourcen	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Erfassung der verfügbaren Wasserreserven in Grund- und Oberflächenwasser für Bewässerungszwecke in der Landwirtschaft zusammen mit der Wasserwirtschaft im Hinblick auf die künftigen Klimaveränderungen (Zunahme Niederschläge im Winterhalbjahr, moderate Abnahme im Sommer, höhere Evapotranspiration). Erschließung je nach Möglichkeit, Bereitstellung und Aufbau der notwendigen Infrastruktur (Brunnen, Leitungen, Pumpen usw.), ggf. überbetrieblich (Beregnungsverbände u.ä) und unter Ausnutzung von Synergien zwischen Sonderkulturen und Ackerbau. Ständige technische Optimierung der Bewässerungsverfahren (s. auch Maßnahme „Einführung wassersparender Bewässerungsverfahren“ im Gartenbau).	
<b>Priorisierung der Maßnahme<sup>1</sup>:</b> III	<b>No-regret-Maßnahme:</b> nein
<b>Zuständigkeit<sup>2</sup>:</b> Landwirtschaftsverwaltung, Wasserwirtschaft, Landwirtschaftsverbände	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure<sup>3</sup>:</b> Landwirtschaftsverwaltung, Wasserwirtschaftsverwaltung, Wasserwirtschaft, Hersteller und Handel, Landwirte, Gemeinden	
<b>Zeithorizont<sup>4</sup> und Dringlichkeit der Maßnahme:</b> M, hoch (Vorlaufzeit, bereits jetzt ist Gartenbau dringend auf Bewässerung angewiesen)	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> schwer abschätzbar <b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> hoch bis hin zum Ertragsausfall <b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b> Anfangsinvestitionen hoch, Wirtschaftlichkeit später abhängig von Energie- und Wasserkosten sowie Mehrerlösen für landwirtschaftliche Produkte	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b> Wasserrecht	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> Wasserhaushalt: Schifffahrt, Trinkwasserversorgung Energiewirtschaft: Kühlwasser Naturschutz/Biodiv.: Grundwasserabsenkung? Geringere Wasserführung Oberflächengewässer?	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht bekannt; eventuell Wasserhaushalt: Verminderung Nitratauswaschung durch höhere Erträge und damit höhere Nährstoffabfuhr	
<b>Kenntnisdefizite:</b> Künftiger Wasserbedarf der Landwirtschaft und anderer Nutzer, Wirtschaftlichkeit in der Zukunft	
<b>Forschungsbedarf:</b> Ergibt sich aus Kenntnisdefiziten; Forschung und Entwicklung ressourcensparender Bewässerungsverfahren	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b>	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)

<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Pflanzenschutz, vor allem Garten-, Obst- und Weinbau	
<b>Maßnahme:</b> Frostschutzmaßnahmen	<b>Bestehende Maßnahme:</b> ja
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Schutz vor Frostschäden (Früh- und Spätfröste) an Kulturpflanzen	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Verhütung der Schäden durch Früh- und Spätfröste durch Abdecken mit Vliesen, Frostschutzberegnung, ggf. Bewindung etc.	
<b>Priorisierung der Maßnahme<sup>1</sup>:</b> III	<b>No-regret-Maßnahme:</b> nein
<b>Zuständigkeit<sup>2</sup>:</b>	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure<sup>3</sup>:</b> Landwirte, Wasserwirtschaft	
<b>Zeithorizont<sup>4</sup> und Dringlichkeit der Maßnahme:</b> M, hoch	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> <b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> hohe Ertragsverluste bis Totalausfall der Kultur <b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b> mittel	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b> keine	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> wahrscheinlich keine; Beregnungsbedarf nur temporär, mengenmäßig begrenzt und nicht zu Trockenzeiten	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht bekannt	
<b>Kenntnisdefizite:</b> keine	
<b>Forschungsbedarf:</b> keiner	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b>	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)

<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Pflanzenschutz	
<b>Maßnahme:</b> Schaderregerüberwachung	<b>Bestehende Maßnahme:</b> ja
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Schutz vor Schaderregern zur Vermeidung von Ertrags- und Qualitätsverlusten. Aufgrund der zunehmend höheren Temperaturen ist gerade auch mit der Zuwanderung neuer, bisher unbekannter Schadorganismen zu rechnen. Das Schadenspotential und die Verbreitung soll rechtzeitig erkannt werden.	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Überwachung des Auftretens neuer und etablierter Schaderreger (Frühwarnsystem) und intensive Beratung der Landwirtschaft über Prognosen zum Schaderregerauftreten und geeignete Abwehrmaßnahmen	
<b>Priorisierung der Maßnahme<sup>1</sup>:</b> III	<b>No-regret-Maßnahme:</b> ja
<b>Zuständigkeit<sup>2</sup>:</b> Landwirtschaftsverwaltung und Institutionen der angewandten Forschung auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure<sup>3</sup>:</b> Forschung, Pflanzenschutzberatung, Landwirte, Winzer, Obstbauern, Verbände, staatliche Behörden, Bevölkerung	
<b>Zeithorizont<sup>4</sup> und Dringlichkeit der Maßnahme:</b> k, hoch	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> <b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> hohe Ertragsverluste bis Totalausfall von Kulturen <b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b> mittel	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b> Bereitstellung von qualifiziertem Personal zur Schaderregerüberwachung und ausreichend Laborkapazität; Intensivierung der Beratung; Ausweitung des Schaderreger-Monitorings. Pflanzenschutzgesetz, Naturschutzrecht	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> wahrscheinlich keine	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> denkbar für Wald/Forstwirtschaft und Gesundheit (Co-Monitoring, Vektoren)	
<b>Kenntnisdefizite:</b> schnelle Diagnoseverfahren; Abwehrmaßnahmen bei „neuen“ Schaderregern; effiziente Prognosemodelle für das Auftreten von Schaderregern, Entwicklung von Befalls-Verlust-Relationen (Bekämpfungsschwellen), Dynamik bereits eingewanderter Arten und Potenzial an zu erwartenden Neuankömmlingen	
<b>Forschungsbedarf:</b> Monitoring, Entwicklung von schnellen Diagnoseverfahren, exakten Prognosemodellen, Befalls-Verlust-Relationen, Bekämpfungsstrategien. Identifizierung von Lebenszyklen unter hiesigen Bedingungen, Erkennung von Vektoren, Abschätzung des Gefahrenpotentials, Vorhandensein natürlicher Regulatoren	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b> Bei der Ausbildung von für die Landwirtschaft Tätigen ist auf eine hohe Qualität der Kenntnisse in der Phytomedizin zu achten.	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)

<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Pflanzenschutz, Sonderkulturen	
<b>Maßnahme:</b> Errichtung von Überdachungssystemen zum Schutz gegen Hagel und Starkregen	<b>Bestehende Maßnahme:</b> ja
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Schutz vor Hagel, Regen, Sonnenbrand. Starkniederschläge schädigen die Fruchtqualität (z.B. Beeren, Kirschen), Hagel schädigt alle Kulturen. Aufgrund von Klimaprojektionen sind vermehrt Unwetter mit Starkregen und Hagel zu erwarten.	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Überdachung von wertvollen Kulturen im Obstbau und anderen Sonderkulturen, z.B. mit Hagelnetzen und/oder Foliendächern	
<b>Priorisierung der Maßnahme<sup>1</sup>:</b> II	<b>No-regret-Maßnahme:</b> nein
<b>Zuständigkeit<sup>2</sup>:</b>	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure<sup>3</sup>:</b> Landwirte, Winzer, Obstbauern, Gartenbauer, Beratung, Banken, Verbände, Kommunen	
<b>Zeithorizont<sup>4</sup> und Dringlichkeit der Maßnahme:</b> M, hoch	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> <b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> Totalverlust von Ernten bzw. Anlagen im Schadensjahr 5.000 – 15.000 €/ha <b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b> 20.000 – 35.000 € pro Hektar und Maßnahme	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b> unabhängige Beratung; Förderung durch Kredite	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> Naturschutz/Biodiversität und Tourismus: Beeinträchtigung des Landschaftsbildes; Entzug von Lebensraum	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht bekannt	
<b>Kenntnisdefizite:</b> Gestaltung der Produktionstechnik (Pflanzenschutz) bei überdachten Kulturen, Nebenwirkungen (Beschattungswirkung etc.)	
<b>Forschungsbedarf:</b> Optimierung der Produktionstechnik in überdachten Kulturen, Haltbarkeit, Zweckmäßigkeit der verfügbaren Schutzsysteme, pflanzenbauliche Auswirkungen, großflächige Umsetzbarkeit	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b>	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)



<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Garten-, Obst- und Weinbau	
<b>Maßnahme:</b> Anpassung Sortenspektrum	<b>Bestehende Maßnahme:</b> ja
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Den sich ändernden Bedingungen (Temperatur, Strahlung, Niederschläge, Vegetationsverlauf, erhöhter Krankheitsdruck) soll mit dem Anbau geeigneter Sorten begegnet werden	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Anbaueignung, Sortenprüfung, Züchtung	
<b>Priorisierung der Maßnahme<sup>1</sup>:</b> I	<b>No-regret-Maßnahme:</b> ja
<b>Zuständigkeit<sup>2</sup>:</b> Landesanstalten, Sortenämter, Saatgutunternehmen	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure<sup>3</sup>:</b> Winzer, Obstbauern, Verbände, staatliche Behörden, Pflanzenzüchter, Berater	
<b>Zeithorizont<sup>4</sup> und Dringlichkeit der Maßnahme:</b> k, hoch	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> <b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> <b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b>	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b> Pflanzenschutzgesetz, Naturschutzrecht	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht bekannt	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht bekannt	
<b>Kenntnisdefizite:</b> Leistungsfähigkeit neuer Sorten	
<b>Forschungsbedarf:</b> Sichtung vorhandener, brauchbarer Sorten, Resistenzzüchtung, Adaptionenmöglichkeiten an hiesige Standorte, spezifische Ansprüche, Marktgängigkeit der Ernteprodukte neuer Sorten, Entwicklung neuer Verarbeitungsverfahren	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b> Thema wird bereits ohne „Klimahintergrund“ bearbeitet	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)

<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Gartenbau	
<b>Maßnahme:</b> Anpassung der Klimaführung und der Kulturfolge gemüsebaulicher Kulturen im Gewächshaus	<b>Bestehende Maßnahme:</b> nein
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Erstellung von Beratungsempfehlungen für die gemüsebauliche Praxis. Zusammenstellung von Sortimenten der wirtschaftlich wichtigen Kulturen unter dem Aspekt der Hitzetoleranz.	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Kritische Betrachtung der bisherigen Anbauprogramme und Klimaführungen für die Sommerkulturen und Entwicklung neuer Anbauverfahren und Sortimentszusammenstellungen. Notwendig sind Klimastrategien für die wirtschaftlich wichtigen Kulturen Tomaten und Gurken. Die Steuerung der Klimabedingungen soll mit Hilfe eines Klimacomputers, dem Einsatz von Schattierung und Temperaturregulation sowie optimierter Bewässerungs- und Düngungsverfahren erfolgen.	
<b>Priorisierung der Maßnahme<sup>1</sup>:</b> III	<b>No-regret-Maßnahme:</b> ja
<b>Zuständigkeit<sup>2</sup>:</b> Landesanstalten, Forschungseinrichtungen	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure<sup>3</sup>:</b> Gemüsebauberatung, Produktionsbetriebe Gemüsebau, Züchter, Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt, Universität Hohenheim	
<b>Zeithorizont<sup>4</sup> und Dringlichkeit der Maßnahme:</b> K, hoch (in Bezug auf wirtschaftliche Produktion)	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> Tomaten und Gurken zählen zu den Hauptkulturen der Unterglasproduktion in Baden-Württemberg. Baden-Württemberg besitzt bundesweit die größte Unterglas-Gemüsefläche	
<b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> Ertragsverluste bei den Gewächshauskulturen Gurke und Tomate 20-30 %	
<b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b>	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b> Förderprogramm für Forschung im Bereich Klimawandel	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht erkennbar	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht bekannt	
<b>Kenntnisdefizite:</b> Effektive Klimaregelstrategien, die höhere Außentemperaturen berücksichtigen. Düngungsstrategien, um Qualitätsverluste durch Blütenendfäule und andere Schäden an Fruchtgemüse zu verringern.	
<b>Forschungsbedarf:</b> hoch	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b> Durch das Forschungsvorhaben gewonnene Ergebnisse sind für die oberrheinischen Gartenbaubetriebe verwertbar. Deshalb sind hier Verbundprojekte mit Rheinland-Pfalz und Hessen sowie dem Elsass sinnvoll.	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)

<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Grünland	
<b>Maßnahme:</b> Gezielte Grünlandverbesserung: Verbesserung von durch Trockenheit oder Überschwemmung lückig gewordenen Grünlandnarben	<b>Bestehende Maßnahme:</b> ja
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Einführung einer besseren Systematik hinsichtlich des „Was-Wann-Wie?“ bei der Grünlandverbesserung	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> In Zeiten des Klimawandels stehen für Verbesserungen wahrscheinlich nur noch sehr verkürzte Perioden mit optimalen Bedingungen zur Etablierung von Grünlandbeständen zur Verfügung bzw. die derzeitigen Methoden müssen zielgerichtet verändert werden. Neue, trockenheitsverträglichere Pflanzenarten, andere Düngesysteme und gezielte Maßnahmen der Folgenutzung sind erforderlich, um nachhaltig erfolgreich zu sein. Diese Methoden müssen erprobt und in die landwirtschaftliche Praxis transferiert werden.	
<b>Priorisierung der Maßnahme<sup>1</sup>:</b> I	<b>No-regret-Maßnahme:</b> ja
<b>Zuständigkeit<sup>2</sup>:</b> LAZBW, Landratsämter bzw. Beratungsdienste für Rinderhaltung	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure<sup>3</sup>:</b> Produktionsbetriebe, Pflanzenzüchter, LAZBW, Universität Hohenheim	
<b>Zeithorizont<sup>4</sup> und Dringlichkeit der Maßnahme:</b> ständige Anpassung der Methoden erforderlich; Maßnahme ist kurzfristig realisierbar; Maßnahme kann nicht ersetzt werden, sondern muss auf Methoden zum Erhalt extensiver Grünlandssysteme erweitert werden.	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> Die Kosten sind für den einzelnen Landwirt nicht unerheblich, aber die bessere Erfolgssicherheit ist vorteilhaft <b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> Bleiben Grünlandverbesserungsmaßnahmen aus bzw. werden sie nicht durchgeführt, werden die Rohasche- und Schmutzgehalte von Grünlandfutter zunehmen; die Grünlanderträge gehen deutlich zurück <b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b> mittel	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b> keine	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht bekannt	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> Boden: Grünlandverbesserung dient der Ertragsstabilität der Pflanzenbestände und damit dem Erhalt von Grünland; Umbruch und Anbau von z.B. Silomais wird weniger wichtig; CO <sub>2</sub> -Freisetzung aus Humus wird eingeschränkt. Evtl. auch Tourismus durch Grünlanderhalt.	
<b>Kenntnisdefizite:</b> Beratungsdefizit dergestalt, dass den handelnden Landwirten nicht zwingend klar ist, wann welche Maßnahmen durchzuführen sind und welche Erfolgchancen die ausgewählten Verfahren haben.	
<b>Forschungsbedarf:</b> Überprüfen der Ansaattauglichkeit trockenheitsverträglicher Grünlandpflanzen; Züchtung höherwertiger und besser verdaulicher Sorten entsprechender Arten	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b>	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)

<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Schweinehaltung	
<b>Maßnahme:</b> Verminderung der Wärmebelastung für Schweine in konventioneller Stallhaltung – verfahrenstechnische/bauliche Maßnahme	<b>Bestehende Maßnahme:</b> ja
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Verminderung der Wärmebelastung für Schweine an heißen Tagen.	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Einsatz von Kühlsystemen Aktive Abkühlung der Umgebungsluft im unmittelbaren und/oder mittelbaren Tierbereich. Bei Neu- und Umbau von Stallanlagen: Verfahrenstechnische Nachrüstung bzw. Kombination mit marktgängigen Kühlsystemen, wie z.B. Hochdruckbefeuchtung der Innenluft oder Führung der Zuluft über zentrales Kühlpadsystem. Bei Neubau von Stallanlagen: baulich - konstruktiver Einbau von Erdwärmetauschern wie z.B. Rippenrohrtaucher oder Betonkanäle unter dem Stall zur Konditionierung der Zuluft	
<b>Priorisierung der Maßnahme<sup>1</sup>:</b> II	<b>No-regret-Maßnahme:</b> ja
<b>Zuständigkeit<sup>2</sup>:</b> LSZ, Landratsämter, Beratungsdienste und Erzeugerringe für Schweinehaltung,	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure<sup>3</sup>:</b> Schweinehaltende Betriebe, Stallbaufirmen	
<b>Zeithorizont<sup>4</sup> und Dringlichkeit der Maßnahme:</b> k, jedoch mit Zusatzkosten für die Betriebe verbunden;	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> Kosten für den einzelnen Landwirt nicht unerheblich, jedoch können auch weitere produktionstechnische Vorteile generiert werden, wie z.B. höhere Futteraufnahme, weniger Verluste usw. <b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> zunehmende biologische Leistungsdepression bei langanhaltenden Hitzeperioden sowie erhöhte Mortalitätsrate <b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b> mittel	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b> keine	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht bekannt	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht bekannt	
<b>Kenntnisdefizite:</b> Landwirte und Berater verfügen über keine objektiven Daten zu den einzelnen Systemen, deren Einbau, Konstruktion, Management, Kosten und Wirkungsgrade.	
<b>Forschungsbedarf:</b> verfahrenstechnische und ökonomische Bewertung der einzelnen Kühlsysteme und Weiterentwicklung (teilweise derzeit an der LSZ Boxberg in Bearbeitung)	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b> Durch Abkühlen der Abteilttemperaturen werden auch geringere Emissionsmassenströme (u.a. Ammoniak, Methan) freigesetzt, somit positiver Beitrag zum Klima- und Umweltschutz. Verminderung der Wärmebelastung führt auch zu mehr Wohlbefinden der Tiere. In der (Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung - TierSchNutztV) § 22 Absatz 2, Satz 4 wird eine geeignete Vorrichtung zur Verminderung der Wärmebelastung bei hohen Stalllufttemperaturen gefordert. Praktische Umsetzung und Verwaltungskontrolle derzeit noch unübersichtlich.	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)

## 6.2 Weitere Maßnahmenblätter

<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Pflanzenzüchtung; Acker-, Garten-, Obst- und Weinbau	
<b>Maßnahme:</b> Züchterische Bearbeitung von bereits bei uns angebauten Kulturen, aber auch möglichen neuen Kulturarten; Züchtung klimaadaptierter Sorten	<b>Bestehende Maßnahme:</b> Ja, aber zu intensivieren
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Bereitstellung von Kulturarten und Sorten, die bei fortschreitendem Klimawandel dennoch hohen Ertrag und hohe Qualität liefern.	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Integration folgender Züchtungsziele ins Zuchtprogramm: Ausnutzung CO <sub>2</sub> -Düngung bei Erhaltung/Verbesserung der Qualitätseigenschaften, Hitzetoleranz unter Beibehaltung der Kältetoleranz, Trockenheitstoleranz, frühe Abreife bei Getreide und Raps, gute und schnelle Wurzelentwicklung, Resistenz gegen Schädlinge und Krankheitserreger. Prüfung der Kulturen und Sorten auf Eignung in Baden-Württemberg, Zulassung	
<b>Priorisierung der Maßnahme</b> <sup>1</sup> : III	<b>No-regret-Maßnahme:</b> ja
<b>Zuständigkeit</b> <sup>2</sup> : Sortenämter, Landesanstalten, Pflanzenzüchter	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure</b> <sup>3</sup> : Pflanzenzüchtungsunternehmen, Forschungsinstitute, Beratungsinstitutionen, Landesanstalten, Landwirte	
<b>Zeithorizont</b> <sup>4</sup> und <b>Dringlichkeit der Maßnahme:</b> L, hoch	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> hohe Entwicklungskosten, lange Vorlaufzeit	
<b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> Ertragsrückgänge gewohnter Arten/Sorten	
<b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b>	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b> vorhanden	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht bekannt	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht bekannt	
<b>Kenntnisdefizite:</b> Von Züchtungsforschern zu formulieren	
<b>Forschungsbedarf:</b> Von Züchtungsforschern zu formulieren	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b>	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)

<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Ackerbau	
<b>Maßnahme:</b> Wassereffiziente Anbauverfahren und Bestandesführung	<b>Bestehende Maßnahme:</b> Ja, aber auszuweiten
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Bei zunehmender Hitze und eventuell zunehmender Trockenheit wird es darauf ankommen, gerade die Winterfeuchte des Bodens und die Niederschläge im Frühjahr/Frühsummer schnell und effizient in Ertrag (und Qualität) umzusetzen.	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Kombinationen folgender Maßnahmen: Sommerungen früher säen, Winterformen bisheriger Sommerungen weiter entwickeln und erproben (Hafer, Körnerleguminosen, Braugerste), Saatkichte reduzieren, konservierende Bodenbearbeitung, Sortenwahl, Fruchtfolge mit Einschluss tiefwurzelnder Kulturen zur Erschließung des Unterbodens	
<b>Priorisierung der Maßnahme<sup>1</sup>:</b> I	<b>No-regret-Maßnahme:</b> nein
<b>Zuständigkeit<sup>2</sup>:</b> Landesanstalten, Forschungseinrichtungen	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure<sup>3</sup>:</b> Landwirte, Berater	
<b>Zeithorizont<sup>4</sup> und Dringlichkeit der Maßnahme:</b> K, mittel	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> <b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> <b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b>	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b>	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht bekannt	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht bekannt	
<b>Kenntnisdefizite:</b> Auswirkungen der Maßnahmen auf Ertrag, Pflanzenschutzsituation, Spätfrostgefährdung bzw. Auswinterung	
<b>Forschungsbedarf:</b> Entwicklung von Winterformen bisheriger Sommerungen, optimale Saatkichte, optimale Fruchtfolgen, Integration von Zwischenfrüchten und Untersaaten, wassereffiziente Ackerfutterkulturen	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b> Derzeit für Landwirte noch Experimentierstadium und daher mit Risiko behaftet, zunächst Forschungs- und Entwicklungsarbeit nötig	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)

<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Ackerbau	
<b>Maßnahme:</b> Neue Düngungsformen	<b>Bestehende Maßnahme:</b> Ja, aber Bedeutung wird wachsen
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Nährstoffe auch bei unsicherer Wasserversorgung oder geringer Bodenfeuchte in der Vegetationsperiode zielgerichtet und bedarfsgerecht den Pflanzen zur Verfügung zu stellen	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> mehrere mögliche Maßnahmen: Platzierte Düngung als Streifenablage, Unterfußdüngung oder Injektion; stabilisierte Dünger mit zeitlich verzögerter Nitrifikation und allmählicher Nährstofffreisetzung; CULTAN-Verfahren: Schaffung eines konzentrierten Ammonium-Depots in der Nähe des Wurzelraums, Pflanze kann sich nach Bedarf bedienen; Blattdüngung; Optimierung der Düngung für Qualitätssicherung bei hohem CO <sub>2</sub>	
<b>Priorisierung der Maßnahme</b> <sup>1</sup> : II	<b>No-regret-Maßnahme:</b> nein
<b>Zuständigkeit</b> <sup>2</sup> : Landesanstalten	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure</b> <sup>3</sup> : Düngemittelindustrie, Landtechnik-Unternehmen, Berater, Landwirte	
<b>Zeithorizont</b> <sup>4</sup> und <b>Dringlichkeit der Maßnahme:</b> K, niedrig	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> <b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> <b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b>	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b> Düngemittelgesetz, Düngeverordnung	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> Klimaschutz: eventuell erhöhte Freisetzung von N <sub>2</sub> O möglich	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> Wasserhaushalt: verringerte Auswaschung von Nitrat ins Grundwasser	
<b>Kenntnisdefizite:</b> Treibhausgasbilanz von Düngemitteln mit Injektionsverfahren (einschl. CULTAN) im Vergleich zu oberflächlicher Ausbringung	
<b>Forschungsbedarf:</b> Integriertes Konzept „neue Mineraldüngung“ und organische Düngung; Ausbringungszeitraum und Ausbringungshöhe in Anpassung an die Ertragserwartung mit fortschreitendem Klimawandel; Optimierung der N-Düngung für Qualitätssicherung bei hoher CO <sub>2</sub> -Konzentration (Protein- und Aminosäuregehalte)	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b>	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit (kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) = bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)

<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Ackerbau	
<b>Maßnahme:</b> Erosionsschutz durch Begrünung und Landschaftselemente	<b>Bestehende Maßnahme:</b> ja
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Die Niederschläge im Winterhalbjahr sollen zunehmen. Die Anzahl der Tage mit Starkniederschlägen und die Starkniederschlagshöhe sollen moderat zunehmen, das Risiko für Unwetter steigt. Das Erosionsrisiko wird in einigen Regionen des Landes zunehmen. Daher ist eine Begrenzung der Bodenerosion notwendig.	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Kombination verschiedener Maßnahmen je nach Standort, Betrieb und angebauten Kulturen: Begrünungsmaßnahmen in Dauerkulturen, Zwischenfrüchte, Untersaat, begrünte Tiefenlinien, Belassen von Ernteresten oder Aufbringen von Mulch, Fruchtfolgegestaltung mit dem Ziel einer langen Bodenbedeckung, Querbewirtschaftung am Hang, Teilung von Hängen und Schlägen durch Anbau unterschiedlicher Kulturen, Anlage linearer Landschaftselemente (Terrassen, Hecken, Randstreifen etc.), Rückhalteeinrichtungen, konservierende Bodenbearbeitung (s. eigenes Maßnahmenblatt, Kap. 6.1)	
<b>Priorisierung der Maßnahme<sup>1</sup>:</b> III	<b>No-regret-Maßnahme:</b> nein
<b>Zuständigkeit<sup>2</sup>:</b> Landwirtschaftsverwaltung, Bodenschutz-Behörden	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure<sup>3</sup>:</b> Landwirte, Berater	
<b>Zeithorizont<sup>4</sup> und Dringlichkeit der Maßnahme:</b> K, mittel	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> <b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> <b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b>	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b> Cross Compliance „Erosionsvermeidung“, MEKA III – Maßnahme N-E4	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> Wasserhaushalt: eventuell vermehrter Einsatz von Herbiziden	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> Wasserhaushalt: Verminderung der Abschwemmung von Boden, Nähr- und Schadstoffen in Oberflächengewässer	
<b>Kenntnisdefizite:</b> Auswirkungen der Maßnahmen, auch in Kombination, auf die einzelbetriebliche Gewinnsituation. Verhältnis Aufwand, Ertrag und langfristiger Nutzen durch Erhalt und Verbesserung der Krume.	
<b>Forschungsbedarf:</b>	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b>	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)



<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Ackerbau	
<b>Maßnahme:</b> Humusreproduktion	<b>Bestehende Maßnahme:</b> Ja, aber auszuweiten
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Erhalt und Förderung des Gehalts an organischer Substanz im Boden. Im Zuge der weiteren Erwärmung könnten Kulturen wie Mais und Hirse an Konkurrenzkraft gewinnen. Bei Nutzung als Silomais oder für die Biogasanlage wird die Humusbilanz negativ. Hinzu kommt eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass durch die Erwärmung auch im Winterhalbjahr die organische Substanz im Boden stärker als bisher abgebaut wird.	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Fruchtfolgegestaltung mit insgesamt ausgeglichener Humusbilanz (Integration Leguminosen), Belassen von Ernteresten im Boden, Zufuhr organischer Substanz über Düngung (Wirtschaftsdünger, Gründüngung, Gärreste, Kompost), konservierende Bodenbearbeitung (Humus im Oberboden),	
<b>Priorisierung der Maßnahme<sup>1</sup>:</b> II	<b>No-regret-Maßnahme:</b> nein
<b>Zuständigkeit<sup>2</sup>:</b> Landwirtschaftsverwaltung	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure<sup>3</sup>:</b> Landwirte, Berater	
<b>Zeithorizont<sup>4</sup> und Dringlichkeit der Maßnahme:</b> K, mittel	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> <b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> <b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b>	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b> MEKA III, Maßnahmen N-A2, N-A3; Cross Compliance-Regelungen für Humuserhalt und Fruchtfolge, Düngeverordnung	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht bekannt	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> Boden: Bodenschutz durch bessere Humusreproduktion möglich Naturschutz/Biodiversität: Erhöhung der Agrobiodiversität wahrscheinlich	
<b>Kenntnisdefizite:</b> bei einzelnen Landwirten	
<b>Forschungsbedarf:</b> Ökonomische Optimierung der Maßnahmen in Betriebskonzepten	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b> Besonders eine veränderte Fruchtfolgegestaltung stellt sich für den Betrieb nicht immer ökonomisch vorteilhaft dar	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)

<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Ackerbau	
<b>Maßnahme:</b> Zweikulturnutzung	<b>Bestehende Maßnahme:</b> nein (nur für Biogas)
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Ausnutzung der länger werdenden Vegetationsperiode durch den Anbau zweier Kulturen	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Nach einer früh räumenden Kultur wird eine zweite Hauptkultur angebaut. Bisher werden zwei Kulturen pro Jahr im Ackerbau nur für die Biogasnutzung angebaut, wobei mindestens eine Kultur nicht ganz ausgereift ist (Grünroggen, Ganzpflanzensilage u.ä.). Denkbar wären zukünftig zwei vollständig ausgereifte Kulturen auf demselben Acker in einem Jahr. Das Problem wird die ausreichende Wasserversorgung und der Aufwand für den Pflanzenschutz sein.	
<b>Priorisierung der Maßnahme<sup>1</sup>:</b> I	<b>No-regret-Maßnahme:</b> nein
<b>Zuständigkeit<sup>2</sup>:</b>	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure<sup>3</sup>:</b> Landwirte, Berater	
<b>Zeithorizont<sup>4</sup> und Dringlichkeit der Maßnahme:</b> L, gering	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> <b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> <b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b>	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b>	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> Wasserhaushalt, falls bewässert werden muss	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht bekannt	
<b>Kenntnisdefizite:</b> Außer Anbau für die Biogasnutzung keine Erfahrungen vorhanden	
<b>Forschungsbedarf:</b> Sortenentwicklung (frühe Abreife, Wassereffizienz), Optimierung der Fruchtfolgen für Wassereffizienz und Humusreproduktion, rechtzeitiger und ausreichender Pflanzenschutz (andere Unkraut- und Schädlingsproblematik als bisher erfordert anderes Management)	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b>	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)

<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Pflanzenschutz	
<b>Maßnahme:</b> Weiterentwicklung des integrierten Pflanzenschutzes	<b>Bestehende Maßnahme:</b> ja
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Schutz vor Schaderregern zur Vermeidung von Ertrags- und Qualitätsverlusten bei minimiertem, gezieltem Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln unter sich ändernden Witterungseinflüssen	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Weiterentwicklung der Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes in Richtung nicht-chemischer Pflanzenschutzverfahren; Stärkung des biologischen Pflanzenschutzes und der Resistenzzüchtung; Precision Farming	
<b>Priorisierung der Maßnahme<sup>1</sup>:</b> II	<b>No-regret-Maßnahme:</b> ja
<b>Zuständigkeit<sup>2</sup>:</b> Landwirtschaftsverwaltung, Landesanstalten	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure<sup>3</sup>:</b> Forschungsinstitutionen, Pflanzenschutzberatung, Landwirte	
<b>Zeithorizont<sup>4</sup> und Dringlichkeit der Maßnahme:</b> M, mittel	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> <b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> hohe Ertragsverluste bis Totalausfall von Kulturen <b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b> mittel bis hoch	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b> Förderung nicht-chemischer Verfahren im Pflanzenschutz durch Intensivierung der Forschung und Beratung; finanzielle Förderung der Nützlingsproduzenten und der Landwirtschaft bei der Einführung neuer biologischer Pflanzenschutzverfahren	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht bekannt	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> Naturschutz/Biodiversität, Gesundheit: weniger Pflanzenschutzmittelrückstände	
<b>Kenntnisdefizite:</b> biologische Pflanzenschutzverfahren im Freiland; biologische Pflanzenschutzverfahren gegen Unkräuter, phytopathogene Bakterien und Pilze; Prognosemodelle; Befalls-Verlust-Relationen unter sich ändernden Witterungseinflüssen	
<b>Forschungsbedarf:</b> biologische Pflanzenschutzverfahren im Freiland; biologische Pflanzenschutzverfahren gegen Unkräuter, phytopathogene Bakterien und Pilze; Prognosemodelle; Resistenzzüchtung; Befalls-Verlust-Relationen; optische Erkennung eines Schaderregerbefalls im Rahmen des Precision Farmings	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b> Bisher gültige Maßnahmen/Empfehlungen im integrierten Pflanzenschutz sind insgesamt für veränderte Witterungseinflüsse zu überprüfen und gegebenenfalls zu adaptieren	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)

<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Pflanzenschutz	
<b>Maßnahme:</b> Weiterentwicklung von Pflanzenschutzmitteln und der Applikationstechnik	<b>Bestehende Maßnahme:</b> ja
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Geringere Umweltbelastung durch ökotoxikologisch bedenkliche Pflanzenschutzmittel. Im Zuge des Klimawandels kann die Wirksamkeit herkömmlicher Wirkstoffe und Formulierungen nachlassen oder sich die Einsatzhäufigkeit erhöhen	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Neuentwicklung von spezifischen, umweltverträglichen Pflanzenschutz- bzw. Stärkungsmitteln gegen Schaderreger und nicht-parasitäre Schadursachen; Optimierung der Applikationstechnik zum zielgerichteten Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln auf den Zielorganismus	
<b>Priorisierung der Maßnahme<sup>1</sup>:</b> II	<b>No-regret-Maßnahme:</b> ja
<b>Zuständigkeit<sup>2</sup>:</b> Zulassungsbehörden, Landwirtschaftsverwaltung	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure<sup>3</sup>:</b> Forschungsinstitutionen, Pflanzenschutzmittelindustrie; Pflanzenschutzgeräteindustrie	
<b>Zeithorizont<sup>4</sup> und Dringlichkeit der Maßnahme:</b> L, mittel	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> <b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> nicht zu beziffern <b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b> hoch	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b> strengere gesetzliche Regelungen zur Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> wahrscheinlich keine	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> Naturschutz/Biodiversität, Gesundheit: weniger Pflanzenschutzmittelrückstände	
<b>Kenntnisdefizite:</b> neue Wirk- und Aufnahmemechanismen von Pflanzenschutzmitteln; optische Erkennung von Schaderregern und Kulturpflanzen durch Pflanzenschutzgerät; Wirkmechanismen von Pflanzenschutzmitteln zur Reduktion nicht-parasitärer Schäden (Trockenheit, Hitze, Strahlung)	
<b>Forschungsbedarf:</b> optische Erkennung von Kulturpflanzen und Schaderreger; Erarbeitung neuer Wirk- und Aufnahmemechanismen von Pflanzenschutzmitteln; Eingriffsmöglichkeiten zur Vermeidung nicht-parasitärer Schäden	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b>	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)

<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Pflanzenschutz	
<b>Maßnahme:</b> Schutz vor Strahlungsschäden an Kulturpflanzen	<b>Bestehende Maßnahme:</b> ja
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Schutz vor strahlungsbedingten Schäden, die im Zuge des Klimawandels möglicherweise zunehmen	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Züchtung neuer Sorten und Entwicklung von Pflanzenschutz- bzw. Stärkungsmitteln, die strahlungsbedingte Schäden (physiologische Blatt- und Fruchtflecken) reduzieren	
<b>Priorisierung der Maßnahme<sup>1</sup>:</b> II	<b>No-regret-Maßnahme:</b> ja
<b>Zuständigkeit<sup>2</sup>:</b>	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure<sup>3</sup>:</b> Züchter, Pflanzenschutzmittelindustrie, staatliche und private Forschungsinstitutionen	
<b>Zeithorizont<sup>4</sup> und Dringlichkeit der Maßnahme:</b> M, gering	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> <b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> <b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b>	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b> gegebenenfalls Forschungsförderung	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> wahrscheinlich keine	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht bekannt	
<b>Kenntnisdefizite:</b> Stoffwechselprozesse zur Vermeidung von Strahlungsschäden	
<b>Forschungsbedarf:</b> Züchtung von Sorten und Entwicklung von Pflanzenschutz- bzw. Stärkungsmitteln zur Vermeidung von Strahlungsschäden	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b>	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)

<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Gartenbau	
<b>Maßnahme:</b> Einführung wassersparender Bewässerungsverfahren	<b>Bestehende Maßnahme:</b> Nein, nur teilweise
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Mit einer weitgehend flächendeckenden Bereitstellung von Bewässerung für gärtnerische Kulturen im Freiland soll ein hohes Ertrags- und Qualitätsniveau beibehalten werden. Die Ressource Wasser ist dabei zu schonen.	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Für gärtnerische Kulturen, insbesondere Gemüse, sollen verschiedene Tropfbewässerungsverfahren zur Wasserversorgung hinsichtlich Effektivität, pflanzenbaulicher und wirtschaftlicher Vorteilhaftigkeit im Versuch miteinander verglichen und bewertet werden. Unter praxisnahen Gesichtspunkten soll eine Optimierung der Bewässerungssteuerung erfolgen.	
<b>Priorisierung der Maßnahme<sup>1</sup>:</b> III	<b>No-regret-Maßnahme:</b> ja
<b>Zuständigkeit<sup>2</sup>:</b>	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure<sup>3</sup>:</b> Gartenbauverbände, Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau, Beratung, Herstellerfirmen im Bereich Tropfbewässerung	
<b>Zeithorizont<sup>4</sup> und Dringlichkeit der Maßnahme:</b> K, mittel	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> Bewässerung wird im Zuge des Klimawandels Voraussetzung für einen wirtschaftlich vertretbaren gärtnerischen Freilandanbau. Schon heute bestehen Wasserdefizite. Mit Tropfbewässerungsverfahren reduziert sich der Wasserverbrauch gegenüber Kreisregnern mindestens um ein Drittel. Damit sinken die Wasserbereitstellungskosten in ähnlicher Höhe.	
<b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> Ertragsverluste bis hin zum Totalausfall	
<b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b>	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b> Förderprogramm für Beregnung als zusätzliche Maßnahme	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> keine	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> Wasserhaushalt	
<b>Kenntnisdefizite:</b> Neue Tropfbewässerungsverfahren müssen im Hinblick auf effektive Wasserversorgung noch beurteilt werden. Es fehlt eine Bewertung der Wirtschaftlichkeit unter dem Aspekt steigender Wasserkosten. Der Einsatz moderner Informationstechnologien ermöglicht weitere Steuerungsmöglichkeiten. Hier fehlen Praxiserfahrungen.	
<b>Forschungsbedarf:</b> hoch	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b> Verbundprojekte mit weiteren Bundesländern und landwirtschaftlichen Versuchsstationen (LTZ) sind auch hier möglich.	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)

<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Gartenbau	
<b>Maßnahme:</b> Anpassung der Kulturprogramme für Freilandkulturen im Gemüsebau	<b>Bestehende Maßnahme:</b> nein
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Eine Temperaturerhöhung im Zuge des Klimawandels ermöglicht die Nutzung erweiterter Anbauzeiträume und damit die Erzielung höherer Flächenerträge und größerer Umsätze. Durch mildere Winter besteht ebenfalls die Möglichkeit, Kulturen wie Blumenkohl ganzjährig in optimaler Qualität anzubauen. Um diese positiven Effekte zu realisieren, sind neue Anbauprogramme bzw. Kulturfolgen zusammenzustellen.	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Erarbeitung von Kulturprogrammen, die unter Berücksichtigung der Temperaturerhöhung in Zukunft durch die Betriebe praxisgerecht durchgeführt werden können. Hierfür sind die bisher angebauten Kulturarten und Sortimente unter den Gesichtspunkten Temperaturtoleranz und hinreichender Zuwachs unter lichtarmen Bedingungen zu bewerten.	
<b>Priorisierung der Maßnahme<sup>1</sup>:</b> III	<b>No-regret-Maßnahme:</b> ja
<b>Zuständigkeit<sup>2</sup>:</b>	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure<sup>3</sup>:</b> Gemüsebauberatung, Produktionsbetriebe Gemüsebau, Züchter, LVG, Universität Hohenheim, weitere bundesdeutsche Lehr- und Versuchsanstalten.	
<b>Zeithorizont<sup>4</sup> und Dringlichkeit der Maßnahme:</b> k, hoch in Bezug auf wirtschaftliche Produktion	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> Umsatzsteigerungen von jeweils 10 % im Frühjahr und im Herbst sind ebenso denkbar wie ein höheres Preisniveau. <b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> Nachteile durch Nichtausschöpfen des Vermarktungspotentials in den Zeiträumen Frühjahr und Herbst und ggf. im Winter. <b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b>	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b> keine	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht bekannt	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht bekannt	
<b>Kenntnisdefizite:</b> Eignung des bisherigen Sortiments an Salaten, Blumenkohl, Möhren u. ä. für lichtarme Bedingungen, Wachstumsraten und Standzeiten für einzelne Kulturen. Änderung des Pflanzenschutzmanagements durch verlängerte Anbauzeiten. Höherer Bedarf an Wasser und Nährstoffen erfordert neue Bewässerungs- und Düngungskonzepte.	
<b>Forschungsbedarf:</b> hoch	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b> Durch das Forschungsvorhaben gewonnene Ergebnisse sind für die oberrheinischen Gartenbaubetriebe verwertbar. Deshalb sind hier Verbundprojekte mit Rheinland-Pfalz und Hessen sowie dem Elsass sinnvoll.	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)

<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Gartenbau	
<b>Maßnahme:</b> Optimierung der Kulturführung von gering wärmebedürftigen Kulturen im geschützten Anbau unter Ausnutzung der Temperaturerhöhung im Winter	<b>Bestehende Maßnahme:</b> nein
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Durch die Verminderung der Frosttage und die Verschiebung des letzten Frostes können gering wärmebedürftige Arten wie Rucola, Spinat, Salate im Gemüsebau und <i>Viola</i> und <i>Primula</i> im Zierpflanzenbau im geschützten Anbau weitgehend ohne Heizenergie kultiviert werden.	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Entwicklung eines Konzepts, welche Eigenschaften die Gewächshäuser unter dem Aspekt maximaler Energieersparnis haben sollten und Erarbeitung von Anbauplänen, die dies mit berücksichtigen. Bewertung marktrelevanter Arten und Sorten unter dem Aspekt Kältetoleranz und Anpassung an lichtarme Bedingungen.	
<b>Priorisierung der Maßnahme<sup>1</sup>:</b> II	<b>No-regret-Maßnahme:</b> ja
<b>Zuständigkeit<sup>2</sup>:</b>	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure<sup>3</sup>:</b> Gartenbauberatung, Produktionsbetriebe Gemüse- und Zierpflanzenbau, Züchter, Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt, weitere bundesdeutsche Lehr- und Versuchsanstalten	
<b>Zeithorizont<sup>4</sup> und Dringlichkeit der Maßnahme:</b> k, hoch in Bezug auf wirtschaftliche Produktion	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> Heizkostensparnis. Die Flächenbelegung mit gering wärmebedürftigen Kulturen ( <i>Viola</i> , Salate, Spinat, Rucola, Primeln) beträgt ca. ¼ der Anbaufläche unter Glas in Baden-Württemberg (170 ha).	
<b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b>	
<b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b>	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b> keine	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht erkennbar	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> Energiewirtschaft	
<b>Kenntnisdefizite:</b> Höhe der Energieeinsparung; Auswirkungen auf und Aufwendungen für den Pflanzenschutz, um Qualität und Ertrag sicherzustellen.	
<b>Forschungsbedarf:</b>	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b> Mit diesen Maßnahmen können die Wirtschaftlichkeit der Betriebe und damit die Wettbewerbsfähigkeit verbessert werden.	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)



<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Gartenbau	
<b>Maßnahme:</b> Technische Anpassungen im Unterglas- und Freilandanbau zur Reduzierung der Hitzestressbelastung bei Zierpflanzen und Stauden	<b>Bestehende Maßnahme:</b> nein
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Temperaturen über 30 °C führen bei vielen Zierpflanzen und Stauden zu Hitzestress, der sich in Wachstumsstockungen und Blattdeformationen zeigt. Besonders betroffen wären Zierpflanzen von erheblicher wirtschaftlicher Bedeutung und die Staudenproduktion. Durch die Entwicklung entsprechender Anpassungsstrategien soll mittelfristig die Produktion von Zierpflanzen und Stauden in den bestehenden Anbaugebieten des süddeutschen Raumes gesichert werden.	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Verschiedene Eindeckmaterialien für Gewächshäuser, Schirme, Folien und andere, auch organische oder bisher nicht übliche Materialien sollen auf ihre Funktionalität und Wirtschaftlichkeit hin überprüft werden. Technische Lösungsansätze bestehen in der Überprüfung aktiver Kühlverfahren (Boden, Matten, Luft) oder der Optimierung des Sprühnebeleinsatzes. Die Dokumentation bzw. die Ergebnisse des Maßnahmen-Mixes sollen zur Erstellung von Beratungsempfehlungen verwendet werden.	
<b>Priorisierung der Maßnahme<sup>1</sup>:</b> III	<b>No-regret-Maßnahme:</b> nein
<b>Zuständigkeit<sup>2</sup>:</b>	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure<sup>3</sup>:</b> Gartenbauverbände, Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau, Universität Hohenheim, Beratung, Herstellerfirmen im Bereich Schirmung und Eindeckmaterialien	
<b>Zeithorizont<sup>4</sup> und Dringlichkeit der Maßnahme:</b> K, hoch	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> Produktionswert Zierpflanzenbau in Bezug auf o. g. Kulturen	
<b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> 20 % des Produktionswertes	
<b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b>	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b> Förderprogramm für Forschung im Bereich Klimawandel	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht bekannt	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht bekannt	
<b>Kenntnisdefizite:</b> Gewächshausbedachungen und Beschirmungen sind auf Energieeffizienz optimiert. Verstärken die eingesetzten Materialien den Hitzestress in den Sommermonaten? Verwendung neuartiger Gewebe, die bisher keinen Einsatz im Gartenbau gefunden haben.	
<b>Forschungsbedarf:</b>	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b> Die Hitzestressproblematik besteht insbesondere entlang des Rheingrabens. Aus diesem Grund sind Verbundprojekte mit Rheinland-Pfalz und Hessen sowie dem Elsass sinnvoll.	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)

<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Gartenbau	
<b>Maßnahme:</b> Anpassung der Klimaführung und Sortenwahl bei Zierpflanzenkulturen im Gewächshaus	<b>Bestehende Maßnahme:</b> nein
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Die Erhöhung der Anzahl heißer Tage in den Frühjahrs- und Herbstmonaten muss zu einer kritischen Betrachtung der bisherigen Anbauprogramme und Klimaführungen für die Frühjahrskulturen und zur Neuentwicklung neuer Anbauverfahren und Sortimentszusammenstellungen führen. Beet- und Balkonpflanzen reagieren auf hohe Kulturtemperaturen mit verstärktem Wachstum. Zweijährige Kulturen wie Primeln oder Viola benötigen sortenabhängig über mehrere Wochen tiefe Temperaturen, um den Qualitätsansprüchen für die Vermarktung zu entsprechen.	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Entwicklung von Klimaregelstrategien für die wirtschaftlich wichtigen Kulturen (Primeln, Viola sowie Beet- und Balkonpflanzen): Klimacomputer, Schattierung, optimierte Bewässerungs- und Düngungsverfahren. Sortimentsanpassung in Absprache mit Züchtern, Saatguterzeugern und Jungpflanzenbetrieben, Erstellung von Beratungsempfehlungen für die Praxis.	
<b>Priorisierung der Maßnahme<sup>1</sup>:</b> III	<b>No-regret-Maßnahme:</b> ja
<b>Zuständigkeit<sup>2</sup>:</b>	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure<sup>3</sup>:</b> Beratung, Produktionsbetriebe, Züchter, Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt, Universität Hohenheim	
<b>Zeithorizont<sup>4</sup> und Dringlichkeit der Maßnahme:</b> k, hoch in Bezug auf wirtschaftliche Produktion	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> Frühjahrsblüher sowie Beet- und Balkonpflanzen zählen zu den Hauptkulturen der Zierpflanzenproduktion in B-W. <b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> Ertragsverluste bei Frühjahrskulturen 20-30% <b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b>	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b> Förderprogramm für Forschung im Bereich Klimawandel	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht bekannt	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht bekannt	
<b>Kenntnisdefizite:</b> Für die überwiegende Mehrheit der Zierpflanzenarten ist das Kältebedürfnis nicht bekannt. Es fehlen effektive Klimaregelstrategien, die höhere Außentemperaturen berücksichtigen.	
<b>Forschungsbedarf:</b>	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b> Durch das durchzuführende Forschungsvorhaben gewonnene Ergebnisse sind für die oberrheinischen Gartenbaubetriebe verwertbar. Deshalb sind hier Verbundprojekte mit Rheinland-Pfalz und Hessen sowie dem Elsass sinnvoll.	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)

<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Obst- und Weinbau	
<b>Maßnahme:</b> Anpassung der Kulturverfahren an Hitze und Trockenheit	<b>Bestehende Maßnahme:</b> ja
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Obstbäume, Beerensträucher und Reben sollen vor Hitze und hoher Sonneneinstrahlung geschützt werden. Die Wasserversorgung soll auch bei angespannter Versorgung in Trockenjahren noch ausreichend sein, um zufriedenstellenden Ertrag und Qualität zu erzielen.	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Die Kulturverfahren (Erziehungsformen, Standweiten, Bodenpflege etc.) sollen den sich ändernden Bedingungen angepasst werden.	
<b>Priorisierung der Maßnahme<sup>1</sup>:</b> I	<b>No-regret-Maßnahme:</b> ja
<b>Zuständigkeit<sup>2</sup>:</b>	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure<sup>3</sup>:</b> Winzer, Obstbauern, Verbände, staatliche Behörden	
<b>Zeithorizont<sup>4</sup> und Dringlichkeit der Maßnahme:</b> L, mittel	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> <b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> <b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b>	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b>	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> Tourismus, Wasserhaushalt, Energiewirtschaft	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> Naturschutz/Biodiversität, Wasserhaushalt, Boden	
<b>Kenntnisdefizite:</b> Auswirkungen auf die Ernteprodukte, die Vitalität der Bestände und die Wirtschaftlichkeit sowie eventuelle Umwelteffekte	
<b>Forschungsbedarf:</b> andere Baumformen (Obst), neue Laubwandgestaltungen (Reben), Schnittsysteme, adaptierte Bodenpflege- und Düngesysteme, weitere Optimierung von Tropfbewässerung und Mikrosprinklern, Bewässerungssteuerung, Diagnostik von Nährstoff- und Wassermangel, Berücksichtigung der schlaginternen Varianz (z.B. precision viticulture)	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b>	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)

<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Obst- und Weinbau	
<b>Maßnahme:</b> Standortwechsel	<b>Bestehende Maßnahme:</b> nein
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Mit der Verlagerung des Anbaus (z.B. Äpfel, Weißweinreben) in höhere und/oder kühlere Regionen des Landes wird den klimabedingten Nachteilen entgegengewirkt	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Verlagerung der Anbauflächen	
<b>Priorisierung der Maßnahme<sup>1</sup>:</b> I	<b>No-regret-Maßnahme:</b> nein
<b>Zuständigkeit<sup>2</sup>:</b>	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure<sup>3</sup>:</b> Winzer, Obstbauern, Verbände, staatliche Behörden, Politik, Bund, EU	
<b>Zeithorizont<sup>4</sup> und Dringlichkeit der Maßnahme:</b> I, gering	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> <b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> <b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b>	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b> Weinrecht	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> Tourismus, Wald- und Forstwirtschaft, Boden, Infrastruktur, Landwirtschaft (intern)	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> Wasserhaushalt, Boden	
<b>Kenntnisdefizite:</b> Vorhandensein von Ersatzstandorten, Wirtschaftlichkeit	
<b>Forschungsbedarf:</b> Klimatisch-standortkundliche Vorerhebungen, rechtliche Möglichkeiten, wirtschaftliche Folgen für den Sektor	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b>	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)

<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Weinbau	
<b>Maßnahme:</b> Önologische Verfahrensanpassungen	<b>Bestehende Maßnahme:</b> ja
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Durch hohe Temperaturen und beschleunigtes Reifeverhalten werden Weine alkoholreicher sowie säureärmer und entwickeln ein verändertes Aromaprofil. Säuerung, Alkoholreduzierung und kontrollierte Gärführung können entgegenwirken.	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Önologische Verfahren zum Erhalt der typischen Weincharakteristik	
<b>Priorisierung der Maßnahme<sup>1</sup>:</b> I	<b>No-regret-Maßnahme:</b> nein
<b>Zuständigkeit<sup>2</sup>:</b>	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure<sup>3</sup>:</b> Winzer, Obstbauern, Verbände, staatliche Behörden, Bund, EU	
<b>Zeithorizont<sup>4</sup> und Dringlichkeit der Maßnahme:</b> M, mittel	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> <b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> <b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b>	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b> z.B. Weinrecht	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht bekannt	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht bekannt	
<b>Kenntnisdefizite:</b> Vorhandensein und Zulässigkeit von Verfahren	
<b>Forschungsbedarf:</b> Erprobung und Entwicklung von Verfahren	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b>	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)

<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Grünland und Rinderhaltung	
<b>Maßnahme:</b> Anpassung der Weideführung an Trockenphasen	<b>Bestehende Maßnahme:</b> nein
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Durchgängige Bereitstellung von Futter auf Rinderweiden durch Einbeziehung geeigneter Standorte als Weideflächen sowie Bereitstellung von Lagerraum für Grundfutter	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Für die kontinuierlich notwendige Futtermittellieferung von Rindern auf der Weide während der Vegetationsperiode sind Weideflächen mit unterschiedlicher Anfälligkeit für Trockenheit notwendig. Entweder müssen Flächen mit besserer Wasserversorgung vorhanden sein oder aber die für die Trockenphasen vorgesehenen Weideflächen werden mit besser an Hitze oder Trockenheit adaptierten Weidegräsern nachgesät. Zudem müssen auch beweidbare trockenheitsverträgliche Leguminosen wie z.B. Luzerne vorhanden sein. Alternativ oder zusätzlich kann Lagerraum für Grundfutter (Heu, Silage) bereit gestellt werden.	
<b>Priorisierung der Maßnahme<sup>1</sup>:</b> I	<b>No-regret-Maßnahme:</b> ja
<b>Zuständigkeit<sup>2</sup>:</b> Landratsämter bzw. Beratungsdienste für Rinderhaltung	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure<sup>3</sup>:</b> Produktionsbetriebe, Züchter, LAZBW, Universität Hohenheim	
<b>Zeithorizont<sup>4</sup> und Dringlichkeit der Maßnahme:</b> M, mittel	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> <b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> <b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b>	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b> keine	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht bekannt	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht bekannt	
<b>Kenntnisdefizite:</b> Beratungsdefizit dergestalt, dass den handelnden Landwirten nicht zwingend klar ist, dass Futterreserven auch auf der Fläche zur Verfügung stehen könnten, wenn geeignete Weideflächen vorhanden sind.	
<b>Forschungsbedarf:</b> Überprüfen der Weidetauglichkeit in Frage kommender trockenheitsverträglicher Grünlandpflanzen; Züchtung höher und besser verdaulicher Sorten entsprechender Arten.	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b> Im Ökolandbau müssen Rinder artgerecht gehalten werden. Weidegang zählt dazu. Maßnahme könnte auch durch Bereitstellung geeigneter Futterreserven aus konserviertem Futter ersetzt werden. Die Kosten für die Bereitstellung von Rundballensilagen oder Heu sind u.U. deutlich höher.	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)

<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Grünland	
<b>Maßnahme:</b> Bessere Strategie zur Ausbringung wirtschaftseigener Düngemittel durch Gülleseparierung	<b>Bestehende Maßnahme:</b> ja
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Durch die Temperaturerhöhung steigt das Risiko der Emission von Ammoniak aus Gülle. 1. Deutliche Reduzierung der Ammoniak-Abgasung aus Wirtschaftsdüngern; 2. Geringere Pflanzenbedeckung und –schädigung durch Düngung der Flüssigphase von Gülle auf Grünland 3. Bessere Ausnutzung der Düngenährstoffe	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Mit einer verstärkten Einführung von Gülleseparier-Anlagen und der selektiven Verwendung der entstehenden Substrate (Dünngülle auf Grünland; Feststoffausbringung auf Ackerland) können Schädigungen von Grünlandpflanzen deutlich eingeschränkt werden. Bodennahe Ausbringung fördert die positiven Effekte weiter. Dünngülle hat bessere Wirksamkeit und Feststofftransporte sind effizienter hinsichtlich der Transportwürdigkeit der im Feststoff enthaltenen Nährstoffe.	
<b>Priorisierung der Maßnahme</b> <sup>1</sup> : II	<b>No-regret-Maßnahme:</b> nein
<b>Zuständigkeit</b> <sup>2</sup> : MLR; Landratsamt, LAZBW, LTZ	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure</b> <sup>3</sup> : praktizierende Landwirte	
<b>Zeithorizont</b> <sup>4</sup> und <b>Dringlichkeit der Maßnahme:</b> K, mittel (die Maßnahme kann im Bedarfsfall mit einem gewissen zeitlichen Vorlauf realisiert werden)	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> Maßnahme ist für den landwirtschaftlichen Einzelbetrieb sehr teuer <b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> ineffiziente Ausbringung von Nährstoffen kostet Geld für die Ersatzbeschaffung anderer Dünger. <b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b>	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b> MLR (Förderpolitik oder Gesetzesvorlage ändern)	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> nicht bekannt	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> Naturschutz/Biodiversität: bessere Nährstoffstrategie; verringerte Eutrophierung durch deponierten Stickstoff, der aus Ammoniak stammt	
<b>Kenntnisdefizite:</b> kaum	
<b>Forschungsbedarf:</b> gering, weil bereits Ergebnisse vorliegen, allenfalls werden Untersuchungen bei verschiedenen Grünlandbeständen notwendig	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b>	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)

<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Rinderhaltung	
<b>Maßnahme:</b> Bauliche Maßnahmen zur Verminderung der Wärmebelastung über Haltung in Ställen	<b>Bestehende Maßnahme:</b> ja
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Verminderung der Wärmebelastung für Rinder an heißen Tagen	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Konstruktion oder Umbau von Ställen mit dem Ziel möglichst ungehinderter Luftzirkulation (Standortwahl, hohe Traufen, flexible Wandkonstruktionen, wärmegeämmte Dachflächen, Ventilatoren, Wasservernebelung, Stallklimatisierung)	
<b>Priorisierung der Maßnahme<sup>1</sup>:</b> II	<b>No-regret-Maßnahme:</b> nein
<b>Zuständigkeit<sup>2</sup>:</b> Landratsämter bzw. Beratungsdienste für Rinderhaltung	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure<sup>3</sup>:</b> Rinderhaltende Betriebe, Stallbaufirmen, Baugenehmigungsbehörden	
<b>Zeithorizont<sup>4</sup> und Dringlichkeit der Maßnahme:</b> M, mittel	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> <b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> <b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b>	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b>	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> Tourismus, Naturschutz/Biodiversität: Emissionen im Nahbereich der Stallanlagen	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> Naturschutz/Biodiversität: geringere Emissionen (Ammoniak, Methan)	
<b>Kenntnisdefizite:</b>	
<b>Forschungsbedarf:</b>	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b>	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)



<b>Handlungsfeld:</b> Landwirtschaft	
<b>Teilbereich:</b> Schweinehaltung	
<b>Maßnahme:</b> Bauliche Maßnahmen zur Verminderung der Wärmebelastung über Haltung in frei belüfteten Ställen	<b>Bestehende Maßnahme:</b> ja
<b>Welche/s Anpassungsziel/e verfolgt die Maßnahme:</b> Verminderung der Wärmebelastung für Schweine an heißen Tagen	
<b>Beschreibung der Maßnahme:</b> Einsatz von frei belüfteten Pultdachkonstruktionen mit Süd-Ostausrichtung und maximaler Gebäudetiefe von 8 m als alternative Bauweise (hohe Luftwechselrate, kein Wärmestau) zu herkömmlichen zwangsbelüfteten Stallungen. Einsatz von einfachen Wassersprengern (Niederdruck) im Aktivitätsbereich oder Bodenkühlung im Liegebereich der Tiere.	
<b>Priorisierung der Maßnahme<sup>1</sup>:</b> II	<b>No-regret-Maßnahme:</b> ja
<b>Zuständigkeit<sup>2</sup>:</b> LSZ, Landratsämter, Beratungsdienste und Erzeugerringe für Schweinehaltung	
<b>Von den Auswirkungen der Maßnahme betroffene Akteure<sup>3</sup>:</b> Schweinehaltende Betriebe, Stallbauunternehmen, Baugenehmigungsbehörden	
<b>Zeithorizont<sup>4</sup> und Dringlichkeit der Maßnahme:</b> Maßnahme ist einzelbetrieblich nur mittel- bis langfristig umzusetzen bei Neu- bzw. Ersatzinvestitionen von Stallanlagen	
<b>Finanzielle und gesamtökonomische Aspekte der Anpassungsmaßnahme:</b> Im Vergleich zu zwangsbelüfteten Gebäuden sind die Baukosten für den einzelnen Landwirt nahezu gleich, die Betriebskosten sind im Vergleich reduziert, da kein Strom für Ventilatoren benötigt wird. <b>Mögliche Kosten bei ausbleibender Anpassung:</b> zunehmende biologische Leistungsdepression bei langanhaltenden Hitzeperioden sowie erhöhte Mortalitätsrate <b>Kosten für Maßnahme gemäß Anpassungsziel:</b> mittel bis hoch	
<b>Gesetzliche oder verwaltungstechnische Voraussetzungen für die Umsetzung:</b> verlässliche Emissionsdaten und Bewertungswerkzeuge (Abstandsermittlung) sowie die Schulung hierfür, Baugenehmigungsbehörden haben oftmals noch wenig Erfahrung mit diesem Haltungssystem	
<b>Konflikte mit anderen Handlungsfeldern:</b> Tourismus, Naturschutz/Biodiversität: Emissionen im Nahbereich der Stallanlagen	
<b>Synergien mit anderen Handlungsfeldern:</b> Naturschutz/Biodiversität: geringere Emissionen (Ammoniak, Methan).	
<b>Kenntnisdefizite:</b> wenig bekannt bei Landwirten, Beratern, Stallbauunternehmen und Genehmigungsbehörden, insbesondere wichtige Detailausführungen	
<b>Forschungsbedarf:</b> verfahrenstechnische und ökonomische Bewertung sowie weitere verfahrenstechnische Optimierungen (teilweise derzeit an der LSZ Boxberg in Bearbeitung)	
<b>Allgemeine Bemerkungen / Anregungen:</b> Verbesserung des Tierwohls (höheres Flächenangebot, strukturierte Funktionsbereiche in Buchten). Könnte durch staatliche Anreizprogramme weiter unterstützt werden. In der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung (TierSchNutztV) § 22 Absatz 2, Satz 4 wird eine geeignete Vorrichtung zur Verminderung der Wärmebelastung bei hohen Stalllufttemperaturen gefordert. Praktische Umsetzung und Verwaltungskontrolle derzeit noch unübersichtlich.	

<sup>1</sup> Priorisierung nach Effektivität und Aufwand - **Prio** = Priorität: (III = hoch, II = mittel, I = niedrig, 0 = keine Bewertung möglich)

<sup>2</sup> Welche Behörde / Stelle müsste zur Umsetzung der Maßnahme aktiv /initiativ werden?

<sup>3</sup> Auf wen wirkt die Maßnahme, wer muss etwas hinnehmen oder auf andere Weise als bisher handeln?

<sup>4</sup> Zeithorizont in Bezug auf Umsetzbarkeit ( kurzfristig (k) = bis 5 Jahre, mittelfristig (m) =bis 10 Jahre, langfristig (l) = > 10 Jahre). Dringlichkeit aufgrund der Vulnerabilität (gering, mittel, hoch, Bewertung derzeit nicht möglich)

## 7 Literaturverzeichnis

- AK KLIWA (1996): Langzeitverhalten der Schneedecke in Baden-Württemberg und Bayern. KLIWA-Berichte, Heft 6. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München
- AK KLIWA (2012): Auswirkungen des Klimawandels auf Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz. KLIWA-Berichte, Heft 17. LUBW, Karlsruhe
- Albert, R. und Schneller, H. (2010): Werden Schnellkäfer in der Landwirtschaft zum Problem? Landinfo 6/2010: 33-38
- Baumgartner, N. (2012): Mit stabilisiertem Stickstoff die Nährstoffeffizienz erhöhen. Lohnunternehmen 3/2012: 59-61
- Beck, Ch., Grieser J., Trömel S. (2004): Die Trockenperiode des Jahres 2003 in Deutschland im Kontext langzeitlicher Niederschlagsvariabilität. In: DWD (Hrsg.): Klimastatusbericht 2003, S. 142-151
- Becker, P., Deutschländer, T. und Imbery, F. (2012): Wie hart trifft es Deutschland? Spektrum der Wissenschaft, April 2012, S. 19-23
- Bengs, F., Pfenning, J. und Liebig, H.-P. (2010): Erosionsschutz im Gemüsebau. Gemüse 12/2010, 18-20
- Bettin, A. (2011): Kulturtechniken im Zierpflanzenbau. Eugen Ulmer, Stuttgart
- Bianca, W. (1968): Neuzeitliche Ergebnisse und Aufgaben der Bioklimatologie bei Haustieren. Tierzüchter 20, 438-442
- Billen, N. und Stahr, K. (2013): Gutachten zum Handlungsfeld „Boden“ in der Anpassungsstrategie an den Klimawandel für Baden-Württemberg. LUBW, Karlsruhe
- Bloom, A.J., Burger, M., Rubio Asensio, J.S. und Cousins, A.B. (2010): Carbon Dioxide Enrichment Inhibits Nitrate Assimilation in Wheat and Arabidopsis. Science 328, 899-903
- Bodner, G., Summerer, H., Ecker, F. und Rosner, J. (2011): Zwischenfruchtbau ist auch im Trockengebiet machbar. Ländlicher Raum 09/2011, 1-14
- Bongartz, B., Cramer, H., Eurich-Menden, B., Flachowsky, G., Gauly, M., Heißenhuber, A., Höppner, D., Ingwersen, J., Marquardt, O.W., Menzel, A., Osterburg, B., Schwerin, M., Taube, F., und G. Wittkowski (2011): „Klimarelevanz in der Nutztierhaltung“ - „Der Klimawandel und die Herausforderungen für die Nutztierhaltung von morgen in Deutschland“. Positionspapier der DGfZ-Projektgruppe vom 30. September 2011
- Brisson, N., Gate, P., Gouache, D., Charnet, G., Oury, F.-X. und Huard, F. (2010): Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. Field Crops Research 119, 201–212
- Caduff, Ch. (2011): Hagelgefährdung in der Schweiz. Vortragsmanuskript zum Symposium 2011 der Stiftung Umwelt und Schädenvorsorge (Stuttgart): Hagel-Blitz-Tornado: Millionenschäden in Minuten
- Campbell, B.D.; Stafford Smith, D.M.; Ash, A.J.; Fuhrer, J.; Gifford, R.M.; Hiernaux, P.; Howden, S.M.; Jones, M.B.; Ludwig, J.A.; Manderscheid, R.; Morgan, J.A.; Newton, P.C.D.; Nösberger, J.; Owensby, C.E.; Soussana, J.F.; Tuba, Z. und ZuoZhong, C. (2000): A synthesis of recent global change research on pasture and rangeland production: reduced uncertainties and their management implications. Agriculture, Ecosystems and Environment 82, 39–55
- Cesarz, R., Hölscher, Th. und Müller-Sämann, K. (2006): Modellierung von Bodenerosion/Oberflächenabfluss in den Kleineinzugsgebieten Schlossberg-Maiertal der Gemarkung Friesenheim und in Efringen-Kirchen im Landkreis Lörrach mit dem Computermodell Erosion-3D. Agentur für Nachhaltige Nutzung von Agrarlandschaften (ANNA), Freiburg, im Auftrag des LTZ Augustenberg
- Chervet, A., Ramseier, L., Sturny, W.G., Weisskopf, P., Zihlmann, U., Müller, M. und Schafflützel, R. (2006): Bodenwasser bei Direktsaat und Pflug. AGRARForschung 13(4), 162-169
- Deng, X. und Scarth, R. (1998): Temperature effects on fatty acid composition during development of low-linolenic oilseed rape (*Brassica napus* L.). JAOCS 75, 759-766
- Dirksmeyer W. (Hrsg.) (2009): Status quo und Perspektiven des deutschen Produktionsgartenbaus. Landbauforschung, Sonderheft 330. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig
- DLG (Hrsg.) (o.J.): Merkblatt 336: Vermeidung von Wärmebelastungen für Milchkühe. Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (DLG), Frankfurt

- DWA (Hrsg.) (2012): Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.): Berücksichtigung der Bodenerosion durch Wasser bei der Maßnahmenplanung nach EG-Wasser-rahmenrichtlinie. DWA-M 910. DWA, Hennef
- EEA (Hrsg.) (2008): Impact of Europe's changing climate – 2008 indicator-based assessment. European Environment Agency, Kopenhagen (DK)
- Ehleringer, J.R.; Cerling, T.E. und Dearing, M.D. (2002): Atmospheric CO<sub>2</sub> as a global change driver influencing plant-animal interactions. *Integrative and Comparative Biology* 42, 424–430
- Elsaesser, M. (2004): Optimum management intensity of legume- and grass-based grassland swards. *Grassland Science in Europe*, Vol. 9, 510-512
- Ernst M. (2012): Vortrag „Klimawandel und Gemüseanbau am Oberrhein“. Staatsschule für Gartenbau, Stuttgart-Hohenheim, Workshop II: Landwirtschaft, Karlsruhe, den 27. März 2012
- Estermann, A. (2010): Optimales Stallklima - Voraussetzung für hervorragende Leistung. Vortrag auf der „Schweinefachtagung 2010“ am 3.3.10, Hohenrain (CH)
- Finger, R.; Lazzarotto, P. und Calanca, P. (2010): Bio-economic assessment of climate change impacts on managed grassland production. *Agricultural Systems* 103, 666–674
- Fink, M., Kläring, H.-P. und George, E. (o.J.): Gartenbau und Klimawandel in Deutschland. Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau, Großbeeren
- Flaig, H. (2009): Der Klimawandel und seine Auswirkungen auf die baden-württembergische Landwirtschaft. *Landinfo* 7/2009: 21-28
- Flaig, H. und Mastel, K. (2012): Ermöglicht der Klimawandel zwei Ernten im Jahr vom selben Acker? *VDLUFA-Schriftenreihe* 68, S. 380-387
- Flaig, H. und Schickler, J. (2012): Bodenwasserhaushalt bei konservierender Bodenbearbeitung als Baustein der Nachhaltigkeit. *VDLUFA-Schriftenreihe* 68, S. 450-457
- Flessa, H., Müller, D., Plassmann, K., Osterburg, B., Techen, A.-K., Nitsch, H., Nieberg, H., Sanders, J., Meyer zu Hartlage, O., Beckmann, E. und Anspach, V. (2012): Studie zur Vorbereitung einer effizienten und gut abgestimmten Klimaschutzpolitik für den Agrarsektor. *Landbauforschung, Sonderheft* 361. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig
- FLI (2013): Friedrich-Loeffler-Institut (Hrsg.): [http://www.fli.bund.de/no\\_cache/de/startseite/aktuelles/tierseuchengeschehen/blauzungenkrankheit/archiv-blauzungenkrankheit-in-deutschland.html](http://www.fli.bund.de/no_cache/de/startseite/aktuelles/tierseuchengeschehen/blauzungenkrankheit/archiv-blauzungenkrankheit-in-deutschland.html)  
[http://www.fli.bund.de/no\\_cache/de/startseite/aktuelles/tierseuchengeschehen/schmallenberg-virus.html](http://www.fli.bund.de/no_cache/de/startseite/aktuelles/tierseuchengeschehen/schmallenberg-virus.html)
- Franzaring, J., Henning-Müller, I., Funk, R., Hermann, W., Wulfmeyer, V. und Fangmeier, A. (2007): Auswirkungen solarer, klimatischer und atmosphärischer Komponenten auf landwirtschaftliche Erträge? *Ber. Inst. Landsch. Pflanzenökol. Univ. Hohenheim*, Heft 14/15/16, 2004-2006, S. 67-78
- Franzaring, J., Högy, P. und Fangmeier, A. (2008): Effects of free-air CO<sub>2</sub> enrichment on the growth of summer oilseed rape (*Brassica napus* cv. *Campino*). *Agric. Ecosys. Environ.* 128, 127-134
- Gamper, H.; Hartwig, U.A. und Leuchtmann, A. (2005): Mycorrhizas improve nitrogen nutrition of *Trifolium repens* after 8 yr of selection under elevated atmospheric CO<sub>2</sub> partial pressure. *New Phytologist* 167, 531–542
- Gasteiner, J. (2009): Einfluss der Futterqualität auf die Eutergesundheit von Milchkühen. Symposium on Nutrition of Domestic Animals; Zdravec-Erjavec Days, Murska Sobota, 5.-6. Nov. 2009, pp. 247-255
- Gockel, R. (2012): Beregnungsbedarf der Landwirtschaft im Rheingraben. Vortrag bei „Der Oberrheingraben im Klimawandel – eine Region passt sich an“. Regionalkonferenz des Bundes und der Länder Baden-Württemberg, Hessen und Rheinland-Pfalz, 26/27. März 2012 in Karlsruhe.  
[http://www.regionalkonferenz.org/fileadmin/website/klimakompetenz-zentrum/Regionalkonferenz/Gockel\\_WS\\_Landwirtschaft.pdf](http://www.regionalkonferenz.org/fileadmin/website/klimakompetenz-zentrum/Regionalkonferenz/Gockel_WS_Landwirtschaft.pdf)
- Graiss, W.; Krautzer, B. und Pötsch, E. M. (2011): Suitability of alternative grass species for grassland management in Austria under changing climatic conditions. In: *Grassland farming and land management systems in mountainous regions. Proceedings of the 16th Symposium of the European Grassland Federation*, Gumpenstein, Austria, 29th-31st August, 2011; 440-442
- Haberland, R., und von Wulffen, U. (2012): Was stabilisierte N-Dünger in Rüben bringen. *top agrar* 4/2012

- Hartmann, A. (2011): Maßnahmen zur nachhaltigen Bodenbewirtschaftung. Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 9/2011, S. 33-35
- Hartwig, U.A.; Wittmann, P.; Braun, R.; Hartwig-Rätz, B.; Jansa, J.; Mozafar, A.; Lüscher, A.; Leuchtmann, A.; Frossard, E. und Nösberger, J. (2002): Arbuscular mycorrhiza infection enhances the growth response of *Lolium perenne* to elevated atmospheric pCO<sub>2</sub>. Journal of Experimental Botany 53, 1207-1213
- Hatfield, J.L., Sauer, T.J. und Prueger, J.H. (2001): Managing soils to achieve greater water use efficiency: a review. Agron. J., 93, 271-280
- Hege, U. und Offenberger, K. (2004): Integrierter Pflanzenbau in Bayern – Ergebnisse aus Feldversuchen. Düngungsversuch zu Winterweizen, Ernte 2000 – 2002, mineralische Düngung. Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP), jetzt Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung (Hrsg.); Freising
- Henniges, Y., Chmielewski, F.-M., Weber, R.W.S. und Görgens, M. (2007): Klimawandel, eine Herausforderung für den deutschen Obstbau. Phänologie-Journal 29, ohne Seitenangabe.
- HLUG (Hrsg.) (2010): Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG), Hessenwasser und Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH (BGS Umwelt) (Hrsg.): Anpassungsstrategien an Klimatrends und Extremwetter und Maßnahmen für ein nachhaltiges Grundwassermanagement (AnKliG) – Schlussbericht. Im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme „Forschung für den Klimaschutz und Schutz vor Klimawirkungen, Teilaspekt B: Anpassung an Klimatrends und Extremwetter“. BGS Umwelt, Darmstadt
- Högy, P. und Fangmeier, A. (2008): Effects of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on grain quality of wheat. Journal of Cereal Science 48 (3), 580-591
- Högy, P. und Fangmeier, A. (2009): Atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment affects potatoes: 2. Tuber quality traits. Europ. J. Agron. 30, 85-94
- Högy, P., Wieser, H., Köhler, P., Schwadorf, K., Breuer, J., Erbs, M., Weber, S. und Fangmeier, A. (2009): Does elevated atmospheric CO<sub>2</sub> allow for sufficient wheat grain quality in the future? Journal of Applied Botany and Food Quality 82, 114 – 121
- Högy, P., Brunnbauer, M., Köhler, P., Schwadorf, K., Breuer, J., Franzaring, J., Zhunusbayeva, D. und Fangmeier, A. (2013): Grain quality characteristics of spring wheat (*Triticum aestivum*) as affected by free-air CO<sub>2</sub> enrichment. Environmental and Experimental Botany 88, 11-18
- Holz, I., Franzaring, J. und Fangmeier, A. (2012): Auswirkungen des Klimawandels auf die Phänologie von Feldfrüchten in Baden-Württemberg. Vorläufiger Endbericht an das LTZ Augustenberg, Universität Hohenheim, Stuttgart
- Holz, I., Franzaring, J., Böcker, R. und Fangmeier, A. (2010): Die Eintrittsdaten phänologischer Phasen und ihre Beziehung zu Witterung und Klima. Abschlussbericht für die LUBW. Universität Hohenheim, Stuttgart
- Honig, H. (1974): Losses by secondary fermentation during unloading the silo. 3<sup>rd</sup> Silage Conference, Edinburgh, September 1974
- Horn W. (1996): Zierpflanzenbau. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, Wien
- IPCC (2000): IPCC Special Report on Emission Scenarios. Intergovernmental Panel on Climate Change, Genf
- IPCC (2007): IPCC Fourth Assessment Report (AR4): Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis (Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA
- Irgang, P. (2001): Anpassungsmöglichkeiten von Schweinen an stallklimatische Gegebenheiten. Gumpensteiner Bautagung 2001, „Stallbau - Stallklima - Verfahrenstechnik“, Tagungsband, S. 87-91
- Jaiser, R., Dethloff, K., Handorf, D., Rinke, A. und Cohen, J. (2012): Impact of sea ice cover changes on the Northern Hemisphere atmospheric winter circulation, Tellus A 2012, 64, 11595
- Jansen H., Bachtaler E., Fölster E. und Scharpf H.-C. (1998): Gärtnerischer Pflanzenbau - Grundlagen des Anbaus unter Glas und Kunststoffen. 3. Auflage, Eugen Ulmer, Stuttgart

- Jentzsch M. und Thal J. (2007): Produktion von Freilandschnittblumen - Sommerblumen, Stauden und Gehölze. Eugen Ulmer, Stuttgart
- Kapsch, M.-L., Kunz, M., Vitolo, R. und Economou, T. (2012): Long-term trends of hail-related weather types in an ensemble of regional climate models using a Bayesian approach. *Journal of Geophysical Research* 117, D15107, doi:10.1029/2011JD017185
- Knittel, H., Pasda, G. und Mannheim, T. (2007): Düngestrategien beim Einsatz von stabilisierten Stickstoffdüngern zu Winterweizen. 1. Wechselwirkungen zwischen Düngesystemen, Witterung und Boden. *Pflanzenbauwissenschaften* 11: 77–83
- Koch, E. und Scheifinger, H. (2004): Phänologie – ein Bioindikator für den Klimawandel. In: ALVA (Arbeitsgemeinschaft landwirtschaftlicher Versuchsanstalten in Österreich, Hrsg.): Bericht ALVA-Jahrestagung 2004 zum Thema „Klimawandel – Auswirkungen auf Umwelt und Agrarproduktion“, S. 12-14. Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit, Wien
- Krug H., Liebig H.-P. und Stützel H. (2002): Gemüseproduktion. Eugen Ulmer, Stuttgart
- Kunz, M. (2007): The skill of convective parameters and indices to predict isolated and severe thunderstorms. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 7, 327–342
- Kunz, M. und Puskeiler, M. (2010): High-resolution assessment of the hail hazard over complex terrain from radar and insurance data. *Meteorologische Zeitschrift* 19, 427-439
- Kunz, M., Sander, J. und Kottmeier, Ch. (2009): Recent trends of thunderstorm and hailstorm frequency and their relation to atmospheric characteristics in southwest Germany. *Int. J. Climatol.* 29: 2283–2297
- Langner, R. (2011): Risiko Hagelschlag: Auswirkungen auf die Landwirtschaft. In: Stiftung Umwelt und Schadenvorsorge (Hrsg.): Symposium 2011. Hagel-Blitz-Tornado: Millionenschäden in Minuten, S. 8-9. Stuttgart
- LBEG (Hrsg.) (2011): Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen (Hrsg.): Klimafolgenmanagement in der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen. *GeoBerichte* 18. LBEG, Hannover
- LEL (Hrsg.) (2012a): Landwirtschaftliche Betriebsverhältnisse und Buchführungsergebnisse, Wirtschaftsjahr 2010/11, Heft 60. Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der Ländlichen Räume (LEL), Schwäbisch Gmünd
- LEL (Hrsg.) (2012b): Agrarstruktur in Baden-Württemberg. Fachinformationen für Bildung, Beratung und Verwaltung, Ausgabe 1-Juli 2012. Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der Ländlichen Räume (LEL), Schwäbisch Gmünd
- LfL (Hrsg.) (2006): Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.): Sonnenblumen zur Kornnutzung (*Helianthus annuus L.*). LfL-Information, Freising
- LfL (Hrsg.) (2013): Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.): Resistenzsituation von Rapsglanzkäfer gegen Insektizide aus der Gruppe der Pyrethroide in Bayern. [http://www.lfl.bayern.de/ips/blattfruechte\\_mais/36477/](http://www.lfl.bayern.de/ips/blattfruechte_mais/36477/)
- Lobell, D. und Field, C. (2007): Global scale climate – crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environ. Res. Lett.* 2, 014002; doi:10.1088/1748-9326/2/1/014002
- Löpmeier, F.J. (2004): Das Trockenjahr 2003 aus agrarmeteorologischer Sicht. In: DWD (Hrsg.): Klimastatusbericht 2003, S. 163-169
- LUBW (Hrsg.) (2012): Vergleich regionaler Klimaprojektionen für Baden-Württemberg – Kurzfassung und Langfassung. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe
- Luterbacher, J., Dietrich, D., Xoplaki, E., Grosjean, M. und Wanner, H. (2004): European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. *Science* 303, 1499-1503
- Lütke Entrup, N. und Oehmichen, J. (Hrsg.) (2006): Lehrbuch des Pflanzenbaus, Bd. 1: Grundlagen. AgroConcept, Bonn
- Manderscheid, R., Jansen, G. und Weigel, H.-J. (2008): Wirkungen erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf Protein- und Stärkegehalt bei verschiedenen Getreidearten und -sorten. Poster der 43. Vortragsagung der DGQ e.V., 17./18. 3. 08, Quedlinburg

- Manderscheid, R., Erbs, M. und Weigel, H.-J. (2013): Interactive effects of free-air CO<sub>2</sub> enrichment and drought stress on maize growth. *European Journal of Agronomy*, in press: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2011.12.007>
- Mastel K. (2002): Berechnung und Bewässerung landwirtschaftlicher und gärtnerischer Kulturen. Merkblätter für die Umweltgerechte Landbewirtschaftung Nr. 24. LTZ Augustenberg, Karlsruhe
- Mastel, K. (2007): Das CULTAN-Verfahren im Ackerbau. *Landinfo* 1/2007: 25-26.
- Mielke, H. und Rodemann, B. (2007): *Triticum durum* (Hartweizen), eine wenig angebaute Weizenart in Deutschland. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.*, 59, S. 113–117
- Milus, E. A., Kristensen, K. und Hovmøller, M. S. (2009): Evidence for Increased Aggressiveness in a Recent Widespread Strain of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* Causing Stripe Rust of Wheat. *Phytopathology* 99: 89–94
- MLR (2012): Maßnahmen- und Entwicklungsplan Ländlicher Raum Baden-Württemberg 2007-2013 (MEPL II). Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg, Stuttgart
- Mohr, S. und Kunz, M. (2012): Recent trends and variabilities of convective parameters relevant for hail events in Germany and Europe. *Atmos. Res.*, doi:10.1016/j.atmosres.2012.05.016
- Möller, K. (2011): Humusbilanz nicht vernachlässigen. Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Hannover
- Mokry, M. (2011): Bedarfsgerechte N-Düngung im Depotverfahren. Vortrag bei der Fortbildung „Konzepte und Projekte zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie“. LEL Schwäb. Gmünd, 28.3.2011. [https://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/show/1318205\\_11/ltz\\_Bedarfsgerechte%20N-Düngung%20im%20Depotverfahren.pdf](https://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/show/1318205_11/ltz_Bedarfsgerechte%20N-Düngung%20im%20Depotverfahren.pdf)
- MU Niedersachsen (Hrsg.) (2009): Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz (Hrsg.): Der Klimawandel als Herausforderung für Staat und Gesellschaft - Struktur für eine Anpassungsstrategie. MU, Hannover. [www.umwelt.niedersachsen.de/download/6903](http://www.umwelt.niedersachsen.de/download/6903)
- Munzing, K. (2007): zitiert in: Betzholz, Th.: Unser täglich Brot - ein steter Quell der Lebensfreude. *Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg* 2/2007, 33-36
- NBBW (Hrsg.) (2008): Der Nachhaltigkeitsbeitrag der Landesregierung Baden-Württemberg (Hrsg.): Energie aus Biomasse: Potenziale und Empfehlungen für Baden-Württemberg. NBBW, Stuttgart
- Nussbaum, H. (2009): Futterkonservierung. In: Spiekers, H., Nussbaum, H. und V. Potthast: Erfolgreiche Milchviehfütterung. DLG-Verlag, Frankfurt a.M., 111-203
- Peet, M. M., Sato, S. und Gardner, R. G. (1998): Comparing heat stress effects on male-fertile and male-sterile tomatoes. *Plant Cell Environ* 21, 225-231.
- Pellet, D., Baux, A., Grosjean, Y., Hebeisen, T., Hiltbrunner, J. und Hunziker, H. (2008): Temperatur und Nährwert von Rapsöl. *Agrarforschung* 15 (10), 480-485
- Petoukhov, V. und Semenov, V. A. (2010): A link between reduced Barents-Kara sea ice and cold winter extremes over northern continents. *J. Geophys. Res.*, 115, D21111
- Polowick, P. L. und Sawhney, V. K. (1988): High temperature induced male and female sterility in canola (*Brassica napus* L.). *Ann. Bot.* 62, 83-86
- Porter, J.R. und Gawith, M. (1999): Temperatures and the growth and development of wheat: a review. *European Journal of Agronomy* 10, 23–36
- Pritchard, S.G. (2011): Soil organisms and global climate change. *Plant Pathology*, 60: 82–99
- Recknagel, J. und Imgraben H. (2013): Anbauanleitung für Sojabohnen 2013. LTZ Augustenberg, Karlsruhe
- Ruget, F.; Moreau, J.C.; Cloppet, E. und Souverain, F. (2010): Effect of climate change on grassland production for herbivorous livestock systems in France. In: Proceedings 23rd General Meeting of the European Grassland Federation, Kiel, Germany, 29th August - 2nd September 2010; 75-77
- Ruttensperger U., ter Hell B. und Koch R. (2006): Blüteninduktion bei Primeln. LVG Heidelberg und LVG Hannover-Ahlem
- Sauer, H. (2010): Erosion im Gemüsebau - eine Herausforderung für Forschung und Praxis. *Landinfo* 6/2010, 15-18

- Sauer, H. und Teichert, A. (2007): Bewässerungs- und Beregnungsverfahren in Gartenbau und Sonderkulturen - Wasserbedarf, Bewässerungsverfahren & Kapitalbedarf, LVG Heidelberg
- Sauer, H. und Teichert, A. (2008): Zusatzbewässerung in Gartenbau und Sonderkulturen. Landinfo 5/2008, S. 12-13
- Schaber, J. (2012): „Wasser marsch!“ für Gemüse, Mais und Co. Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 5/2012, S. 29-33
- Schaller, M. und Weigel, H.-J. (2007): Analyse des Sachstands zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 316, 247 S. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig
- Schlenker, W. und Roberts, M.J. (2009): Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change. PNAS 106, 15594–15598
- Schmid, W., Deller, B., Mastel, K. und Rather, K. (2010): Humusbilanzierung – Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Merkblätter für die Umweltgerechte Landbewirtschaftung Nr. 26. LTZ Augustenberg, Karlsruhe.
- Schneller, H. und Albert, R. (2010): Schnellkäfermonitoring in Baden-Württemberg. Landinfo 7/2010: S. 22-26
- Schonhof I., Kläring H.-P., Krumbein A. und Schreiner M. (2007): Interaction between atmospheric CO<sub>2</sub> and glucosinolates in broccoli. Journal of Chemical Ecology 33, 105-114
- Schulze, E.-D., Beck, E. und Müller-Hohenstein, K. (2002): Pflanzenökologie. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin
- Shaw, M. W. und Osborne, T. M. (2011): Geographic distribution of plant pathogens in response to climate change. Plant Pathology, 60: 31–43
- Siemonsma, R. (2012): The Effects of Heat Stress during Poinsettia Production. <http://www.ecke.com/ecke/?p=2225>, [www.EckeRanchTechHelp.com](http://www.EckeRanchTechHelp.com), [rsiemonsma@eckeranch.com](mailto:rsiemonsma@eckeranch.com) (2012/09/25)
- SMUL (2009): Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (Hrsg.): Klimawandel und Landwirtschaft - Strategie zur Anpassung der sächsischen Landwirtschaft an den Klimawandel. SMUL, Dresden.
- Soussana, J.F. und Lüscher, A. (2007): Temperate grasslands and global atmospheric change: a review. Grass and Forage Science 62, 127–134
- SRU (Hrsg.) (2007): Sachverständigenrat für Umweltfragen (Hrsg.): Klimaschutz durch Biomasse - Sondergutachten. Erich Schmidt Verlag, Berlin
- Stahl, H., Kraatz, M., Beese, G. und Albert, E. (2004): Acker- und Pflanzenbau im Klimawandel - Handlungsoptionen und Rahmenbedingungen. Infodienst 04/2004, S. 41-47
- Stampfli, A. und Zeiter, M. (2004): Plant regeneration directs changes in grassland composition after extreme drought: a 13-year study in southern Switzerland. Journal of Ecology 92, 568-576
- Stock, M. (Hrsg.) (2005): KLARA: Klimawandel – Auswirkungen, Risiken, Anpassung. PIK-Bericht Nr. 99, Potsdam
- Stolzenburg, K. und Monkos, A. (2012): Sorghumhirsen zur Biogasnutzung als Alternative bzw. Ergänzung zum Energiemaisanbau. LTZ Augustenberg (Hrsg.), Karlsruhe
- Taub, D.R., Miller, B. und Allen, H. (2008): Effects of elevated CO<sub>2</sub> on the protein concentration of food crops: a meta-analysis. Global Change Biology 14, 565-575
- Tausz, M., Tausz-Posch, S., Norton, R.M., Fitzgerald, G.J., Nicolas, M.E. und Seneweera, S. (2013): Understanding crop physiology to select breeding targets and improve crop management under increasing atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations. Environmental and Experimental Botany 88, 71-80
- Trnka, M.; Bartošová, L.; Schaumberger, A.; Ruget, F.; Eitzinger, J.; Formayer, H.; Seguin, B. und Olesen, J. E. (2011): Climate change and impact on European grasslands. In: Grassland farming and land management systems in mountainous regions. Proceedings of the 16th Symposium of the European Grassland Federation, Gumpenstein, Austria, 29th-31st August, 2011; 39-51
- Turner N.C. (2004): Agronomic options for improving rainfall-use efficiency of crops in dryland farming systems. Journal of Experimental Botany, 102, 658-666

- Tzortzakis N., Borland A., Singleton I. und Barnes J. (2007): Impact of atmospheric ozone-enrichment on quality-related attributes of tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology* 45 (3): 317-325
- Übelhör, A., Pfenning, J., Hermann, W., Billen, N., Morhard, J. und Claupein, W. (2012): Erosionsschutz im Feldgemüsebau – Etablierung des Strip-tillage Verfahrens bei Weißkohl. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* Band 24: 202-203
- Unterseher, E., Hartwig, H., Schröder, A., von Werner, D.M. und Hölscher, Th. (2012): Einsatz des Modells „EROSION-3D“ für die Landwirtschaft und für den Schutz von Umwelt und Infrastruktur. *Landinfo* 2 (2012): 32-36
- von Tiedemann, A. und Ulber, B. (2008): Verändertes Auftreten von Krankheiten und Schädlingen durch Klimaschwankungen. In: von Tiedemann, A., Heitefuss, R. und Feldmann, F.: *Pflanzenproduktion im Wandel - Wandel im Pflanzenschutz*; S. 78-89. Deutsche Phytomedizinische Gesellschaft, Braunschweig
- Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M. und Foolad, M.R. (2007): Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany* 61, 199–223
- Weigel, H.-J., Manderscheid, R. und Schaller, M. (2007): Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf Ertrag und Qualität von Getreide. *Getreidetechnologie*, Band 61 (3), S. 142-149
- Weigel, H.-J. und Manderscheid, R. (2012): Crop growth responses to free air CO<sub>2</sub> enrichment and nitrogen fertilization: Rotating barley, ryegrass, sugar beet and wheat. *Europ. J. Agron.* 43, 97-107
- Wieser, H., Manderscheid, R., Erbs, M. und Weigel, H.-J. (2008): Auswirkungen erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf die Protein-Zusammensetzung von Weizen. Poster der 43. Vortragsstagung der DGQ e.V., 17./18.3.08, Quedlinburg
- Wonneberger, Ch. und Keller, F. (2004): *Gemüsebau*. Eugen Ulmer, Stuttgart
- Young, L. W., Wilen, R. W. und Bonham-Smith, P. C. (2004): High temperature stress of *Brassica napus* during flowering reduces micro- and megagametophyte fertility, induces fruit abortion, and disrupts seed production. *J. Exp. Bot.* 55, 485-495.
- Yuri, J. A., Lepe, V., Moggia, C., Bastias, R., und Bertschinger, L. (2004): Sonnenbrand beim Apfel. *Schweiz. Z. Obst-Weinbau* Nr. 8/04, S. 7-9
- Zebisch, M., Grothmann, T., Schröter, D., Hasse, C., Fritsch, U. und Cramer, W. (2005): Klimawandel in Deutschland - Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. *Climate Change* 08/05. Umweltbundesamt, Dessau
- Zimmer, K. (Hrsg.) (1991): *Handbuch des Erwerbsgärtners: Hauptkulturen im Zierpflanzenbau*. Eugen Ulmer, Stuttgart
- Ziska, L.H., Bunce, J.A., Shimono, H., Gealy, D.R., Baker, J.T., Newton, P.C.D., Reynolds, M.P., Jagadish, K.S.V., Zhu, C., Howden, M. und Wilson, L.T. (2012): Food security and climate change: on the potential to adapt global crop production by active selection to rising atmospheric carbon dioxide. *Proc. R. Soc. B* 279, 4097-4105