

Anpassungsstrategie Baden-Württemberg an die Folgen des Klimawandels

Fachgutachten für das
Handlungsfeld Landwirtschaft

- Teil A: Kurzfassung -

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 Pfeiderer, 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.



Inhalt Kurzfassung

| | |
|---|-----------|
| 1. Das Handlungsfeld Landwirtschaft | 4 |
| 2. Relevante Klimafaktoren und regionale Analyse | 5 |
| 3. Vulnerabilitätsanalyse | 6 |
| 3.1 CO₂-Konzentration der Atmosphäre | 6 |
| 3.2 Höhere mittlere Temperatur | 6 |
| 3.3 Hitzebelastung | 8 |
| 3.4 Trockenheit | 8 |
| 3.5 Hohe Winterniederschläge, Starkniederschlag und Hagel | 9 |
| 3.6 Vulnerabilitätsbewertung für Hitze, Trockenheit und Bodenerosion | 10 |
| 4. Anpassungsmaßnahmen | 11 |
| 4.1 CO₂-Konzentration der Atmosphäre | 11 |
| 4.2 Höhere mittlere Temperatur | 11 |
| 4.3 Hitzebelastung | 13 |
| 4.4 Trockenheit | 15 |
| 4.5 Hohe Winterniederschläge, Starkniederschlag und Hagel | 17 |
| 5. Querschnittsbeziehungen zu anderen Handlungsfeldern | 17 |

Kurzfassung Fachgutachten Landwirtschaft

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.

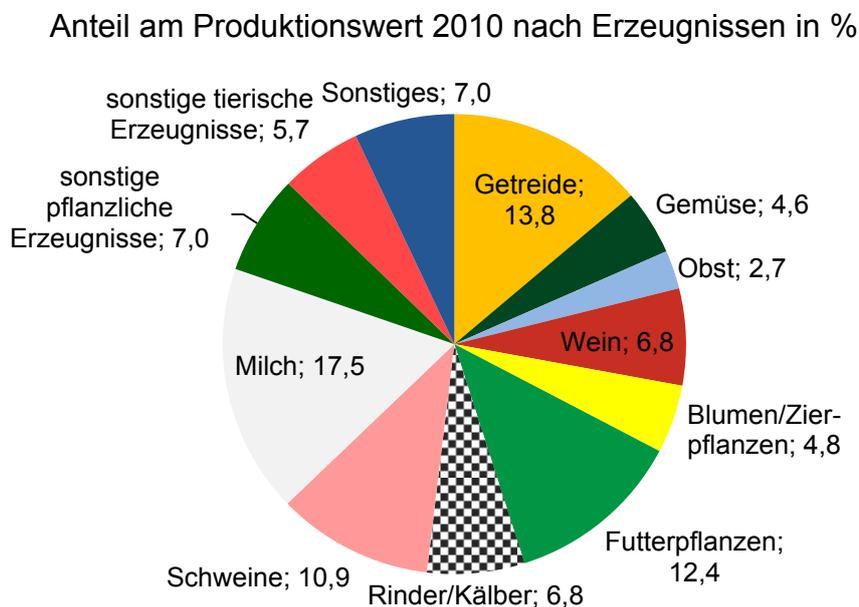


Abb. 1-1: Produktionswert der Landwirtschaft im Jahre 2010 nach Erzeugnissen im Vergleich [Daten: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg]. Obwohl die Sonderkulturen (Garten-, Obst- und Weinbau) nur relativ wenig Fläche einnehmen, leisten sie zur Wertschöpfung aus der Landwirtschaft einen großen Beitrag. 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.

2. Relevante Klimafaktoren und regionale Analyse

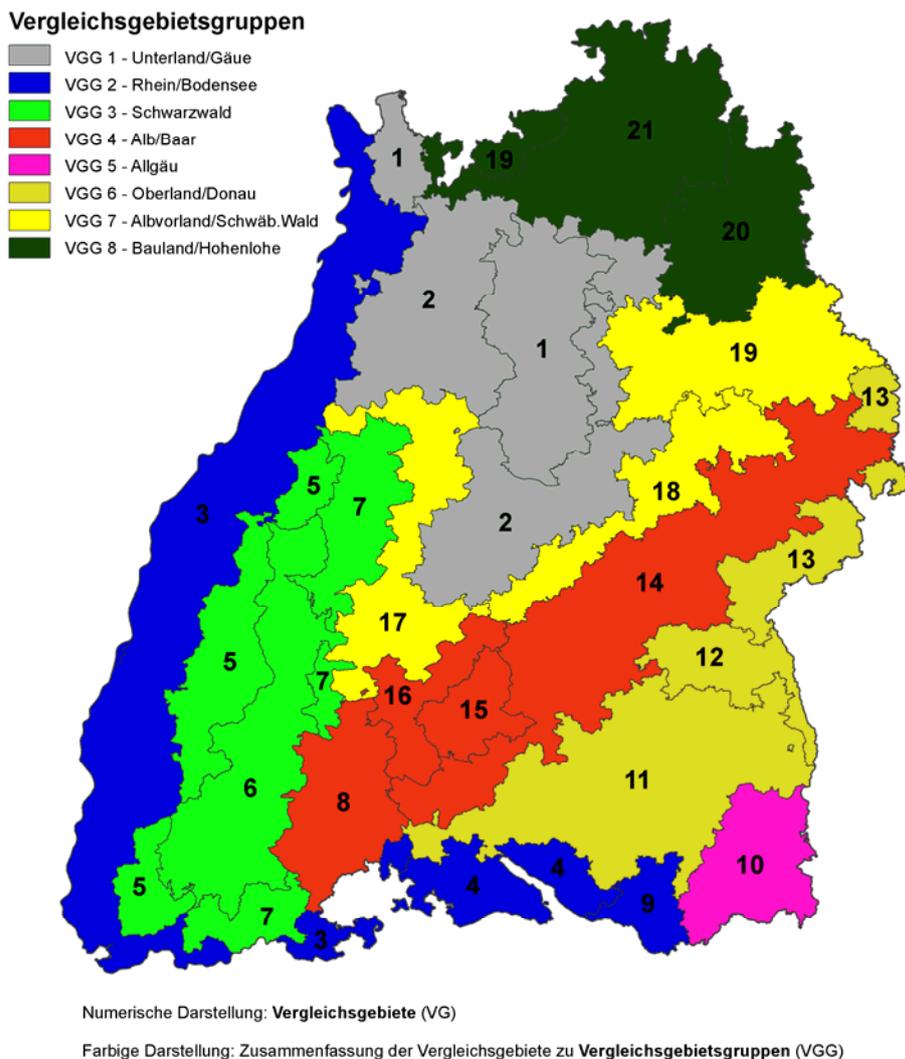


Abb. 1-2: Vergleichsgebietsgruppen Baden-Württembergs (farblich abgegrenzte Gebiete). Die Nummern in den Farbfeldern bezeichnen die einzelnen Vergleichsgebiete. Ihre standörtliche Charakterisierung ist in Teil B des Gutachtens dargelegt. Vergleichsgebiete unterteilen das Land nach Gebieten gleicher natürlicher 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].

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
- CO₂-Konzentration der Atmosphäre als zusätzlicher Parameter, da Kohlendioxid ein wichtiger Nährstoff für Pflanzen ist, die auf Veränderungen der atmosphärischen CO₂-Konzentration auch reagieren

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).

3. Vulnerabilitätsanalyse

3.1 CO₂-Konzentration der Atmosphäre

Wenn Pflanzen mehr CO₂ angeboten wird, steigern sie ihre Photosyntheseleistung. Die dadurch erzielbare Ertragssteigerung bei C3-Pflanzen liegt nach den vorliegenden Freilandversuchen mit höheren CO₂-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 CO₂-Düngung zur Ertragssteigerung im Unterglasanbau seit langem eingesetzt. Höhere CO₂-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.

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 Konkurrenzkraft 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 kühlfeuchte 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.

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 trockentolerant. Die Getreidearten, vor allem Gerste, sind etwas toleranter, zeigen aber mit zunehmender Hitze auch Ertragsdepressionen. Pflanzen subtropischer Herkunft, zumal vom C4-Photosynthese-Typ, 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.

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 (ΔE 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 |
|----------------|--------------|--------------|--------------|----------|-------------|------------|
| ΔE [%] | -12,5 | -12,3 | +2,3 | -13,7 | -28,1 | -20,9 |

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.

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 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.

4. Anpassungsmaßnahmen

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

4.1 CO₂-Konzentration der Atmosphäre

Das Ausmaß der CO₂-Konzentrationserhöhung haben die Menschen selbst in der Hand, allerdings in globalem Maßstab. Die CO₂-Düngung in höheren Ertrag umzusetzen und – wegen der bei höheren CO₂-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.

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 Konkurrenzkräften 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 Nitratauswaschung 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 Frostschuttberegnung, 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 Schaderregern 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.

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 Anbauggebiete 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.

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 Saatkichte 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 Humusproduktion 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. Berechnungsverbände) oder der Bereitstellung der Wasserentnahmerechte. Wegen der wirtschaftlichen Bedeutung der betroffenen Kulturen ist die Anpassungsmaßnahme dringlich und prioritär.

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 entsprechender, 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.

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.