

Anpassungsstrategie Baden-Württemberg an die Folgen des Klimawandels

Fachgutachten für das Handlungsfeld Boden

- Kurzfassung -

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

Autoren: Dr. Norbert Billen, bodengut -
Büro für nachhaltige Bodennutzung, Stuttgart
Prof. Dr. Karl Stahr, Universität Hohenheim,
Institut für Bodenkunde und Standortlehre



Stand: August 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, Klima-
wandel
Dr. Kai-Achim Höpker
Dagmar Berberich
Daniel Schulz-Engler

Ressortarbeitskreis Boden unter Leitung von
Frau Stefanie Groh, LUBW Ref. 22 Boden, Altlasten
und Mitwirkung von

Swantje Apel, UM, Ref. 54
Werner Borho, LUBW, Ref. 22
Dr. Peter Dreher, LUBW, Leiter Ref. 22
Dr. Holger Flaig, LTZ, Ref. 12
Heinz-Otto Kühl, LUBW, Ref. 22
Dr. Thomas Nöltner, LUBW, Ref. 22
Dr. Frank Waldmann, Regierungspräsidium Freiburg, Ref. 93

Auftragnehmer bodengut - Büro für nachhaltige Bodennutzung, Stuttgart

Bearbeitet von bodengut - Büro für nachhaltige Bodennutzung, Stuttgart
Dr. Norbert Billen
Prof. Dr. Karl Stahr, Universität Hohenheim
Institut für Bodenkunde und Standortslehre
Fachgebiet Allgemeine Bodenkunde
unter Mitarbeit von Dipl. Geogr. Stefan Klett



Stand: August 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

1	Einleitung.....	1
2	Sensitivität und Exposition: Regionen, Klima, Böden und Landnutzung.....	2
2.1	Sensitivität: Hintergründe	2
2.2	Exposition: Klimaveränderungen.....	3
3	Vulnerabilität.....	5
3.1	Analyse und Bewertungsmethoden.....	5
3.2	Ergebnisse.....	6
3.2.1	Bodenerosion durch Wasser	6
3.2.2	Auswaschung nicht sorbierbarer Stoffe	6
3.2.3	Veränderung des Humusvorrats.....	7
3.2.4	Moorböden	8
3.2.5	Bodenlebensgemeinschaften	9
3.2.6	Bodenverdichtung	9
3.2.7	Fazit	9
4	Anpassungsziele und Maßnahmen.....	10
5	Defizite	12

1 Einleitung

Der Klimawandel kann zu veränderten Bodeneigenschaften führen, die sowohl die Böden als Naturgut selbst wie auch ihre Leistungsfähigkeit im Naturhaushalt und damit ihre langfristige Nutzbarkeit beeinträchtigen. So sind negative Auswirkungen wie z.B. Ertragseinbußen in der Land- und Forstwirtschaft möglich ebenso wie vermehrter Wasser-, Sediment- und Schadstoffeintrag in Gewässer oder der Verlust wertvoller Biotop wie beispielsweise Moore. Ursache kann ein verändertes Niederschlagsregime sein, wodurch Bodenerosion, Wasserabfluss und Bodenverdichtungsrisiko zunehmen sowie Auswaschungsrisiken von Nähr- und Schadstoffen sich verändern. Zunehmende Temperaturen führen möglicherweise zu einem Abbau von Humus und Torf, die wirkungsvolle Kohlenstoffspeicher sind sowie zu einer Veränderung der Vielfalt, Menge oder Aktivität von Bodenorganismen, die z.B. die Bodenfruchtbarkeit sichern oder Schadstoffe abbauen.

Vor diesem Hintergrund galt es, für das Handlungsfeld Boden auf Grundlage der aktuellen Kenntnisse von Wissenschaft und Praxis sowie neuester regionaler Klimaprojektionen eine möglichst fundierte Abschätzung der Vulnerabilität von Böden zu entwickeln sowie in vernetzten Handlungsfeldern die Maßnahmenvorschläge und ihre Wirkung auf Böden zu bewerten. Die Arbeit wurde von einem Ressortarbeitskreis begleitet, der auch die folgenden methodischen und inhaltlichen Vorgaben zur Vulnerabilitätsanalyse erarbeitet hat:

- Das Handlungsfeld Feld Boden umfasst die Teilbereiche
 - Bodenerosion durch Wasser
 - Auswaschung nicht sorbierbarer Stoffe
 - organische Bodensubstanz (Humus)
 - Moorböden
 - Bodenlebensgemeinschaften
 - Bodenverdichtung
- Die Analyse und Bewertung erfolgt mit halbquantitativen Methoden, es werden keine Berechnungen mit Simulationsmodellen durchgeführt.
- Es werden bekannte und etablierte Methoden angewendet. Auf die Herkunft wird verwiesen, so dass keine methodischen Hintergründe darzustellen sind. Bei landesspezifischen Anpassungen erfolgen jedoch kurze Erläuterungen.
- Bei den gewählten Methoden sind die Anforderungen an die boden- bzw. standortkundlichen und klimatischen Eingangsdaten weitgehend vergleichbar, um gleichwertige Ergebnisse zu erzielen.

- Basisdaten sind die Ergebnisse neuester regionaler Klimaprojektionen, die aus Klimamodellierungen resultieren sowie die Merkmale, die Eigenschaften und die räumliche Verteilung repräsentativer Bodentypen und die Landnutzungsverteilung in Baden-Württemberg.
- Die Vulnerabilitätsanalysen basieren auf Informationen zur aktuellen Landnutzung, soweit die gewählten Methoden diese Differenzierung ermöglichen.
- Die komplexen Wechselwirkungen zwischen den Teilbereichen (s.o.) können aufgrund der bewusst einfach gehaltenen Berechnungsmethoden nicht berücksichtigt werden.
- Bei der Bewertung wird die Vulnerabilität in drei Klassen eingeteilt.
- Es wird allein das Maß der Vulnerabilitätszunahme bewertet, unabhängig vom gegenwärtigen Risiko, das jedoch begleitend kurz erläutert wird.

2 Sensitivität und Exposition: Regionen, Klima, Böden und Landnutzung

2.1 Sensitivität: Hintergründe

Baden-Württemberg weist vielfältige Landschaftsregionen auf, die sich im Klima, in der Ausstattung mit natürlichen Böden und in ihrer Landnutzung deutlich unterscheiden. Da bei der Exposition und Sensitivität der Böden gegenüber dem Klimawandel auch künftig von regionalen Unterschieden auszugehen ist, wurde die Landesfläche in acht Landschaftsökologische Regionen differenziert (LÖR, siehe Abbildung 1). Die drei nördlich und westlich gelegenen Regionen Ober-/Hochrhein, Unterland/Gäue und Bauland/Hohenlohe zeichnen sich durch relativ milde Jahrestemperaturen, geringe Niederschläge sowie einen höheren Anteil an Ackerflächen gegenüber den anderen Regionen aus.

Räumliche und inhaltliche Datengrundlage zur Berücksichtigung der Bodenvielfalt ist die Bodenübersichtskarte (Maßstab 1:350000) im Wasser-Boden-Atlas BW mit 394 verschiedenen Bodeneinheiten. Diese Datenbasis wurde ergänzt um Informationen von rund 450 Bodenprofilen aus der Bodendatenbank des Instituts für Bodenkunde und Standortslehre der Universität Hohenheim. Auch die Landnutzungsverteilung wurde dem Wasser-Boden-Atlas BW entnommen und den vier Haupt-Landnutzungen Acker, Grünland, Wald und Dauerkultur zugeordnet wie z.B. Laubwald zu Wald oder Weinbau zu Dauerkultur. Durch die Verschneidung der Bodeneinheiten mit den Haupt-Landnutzungen wurden schließlich 545 standortkundliche Einheiten herausgearbeitet wie z.B. Parabraunerde unter Acker, die neben den klimatischen Kennwerten als Basis für die Vulnerabilitätsanalysen dienen. Die Klima- und Bodenkennwerte, die sich auf die Vulnerabilität des Bodens vorrangig auswirken und deshalb in die Auswertungsalgorithmen eingehen, sind in Tabelle 1 dargestellt.

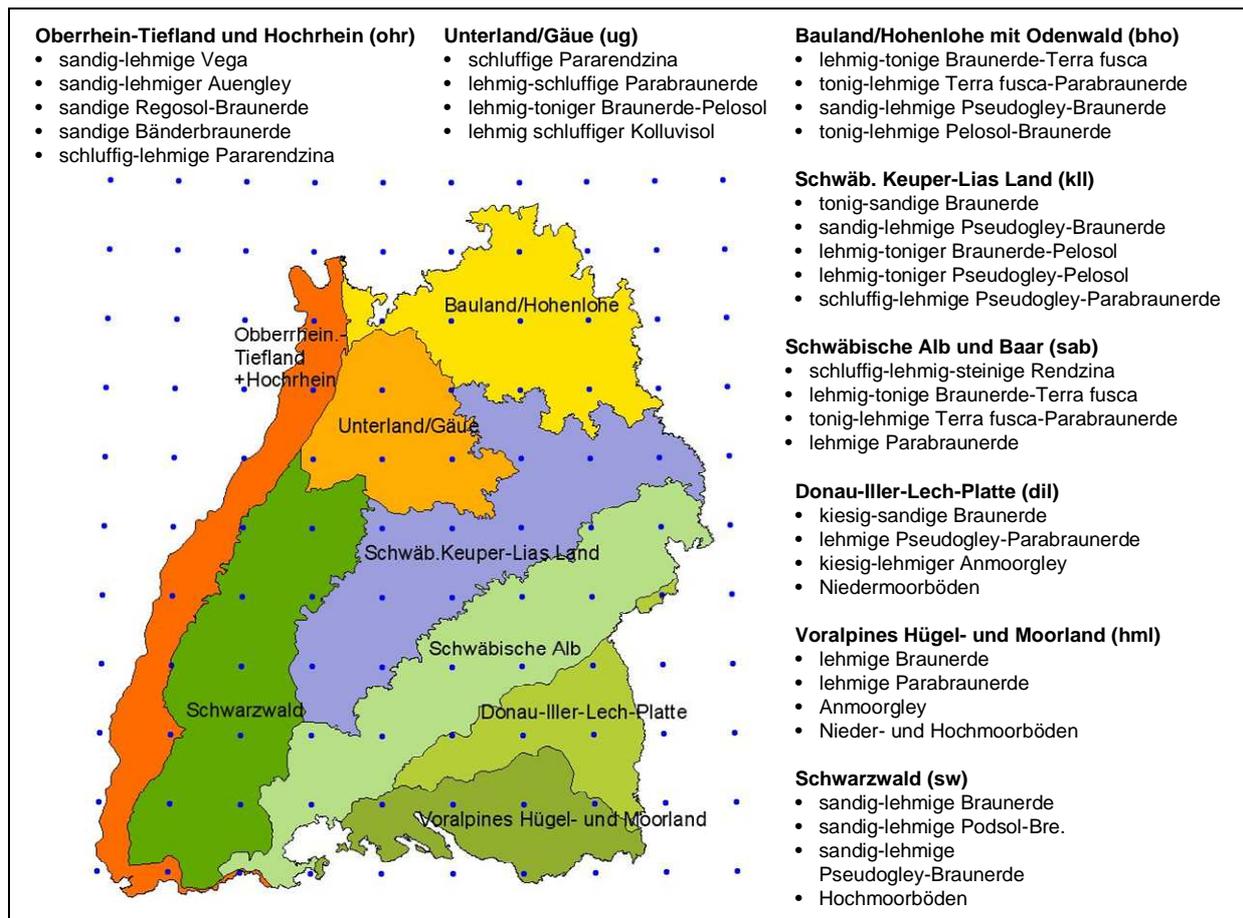


Abbildung 1: Weit verbreitete und charakteristische Böden in den landschaftsökologischen Regionen Baden-Württembergs sowie Klimaprojektionspunkte. Höhere Temperaturen, geringere Niederschläge und Wald- / Grünlandanteil unter 45 % in den nördlich-westlichen Regionen sowie niedrigere Temperaturen, höhere Niederschläge und Wald- / Grünlandanteil über 60 % in den südlich-östlichen Regionen

2.2 Exposition: Klimaveränderungen

Die klimatischen Kennwerte liegen für 100 Projektionspunkte in einem 25-km Raster für das 15., 50. und 85. Perzentil aus den Ensemblemodellierungen der LUBW vor. Für die regionalen Vulnerabilitätsanalysen wurden Mittelwerte der Klimakennwerte jener Klimaprojektionspunkte berechnet, die innerhalb der einzelnen Regionen liegen (siehe Abbildung 2). Den Ergebnissen zufolge bleiben bei allen Kennwerten die aktuell bestehenden klimatischen Unterschiede in den Regionen tendenziell auch in der Zukunft bestehen. Somit bleiben die derzeit schon wärmeren und niederschlagsärmeren Regionen, die im nördlichen und westlichen Baden-Württemberg liegen, auch in Zukunft die wärmeren und niederschlagsärmeren. Die kühleren Regionen im Süden und im Osten des Landes, erreichen zukünftig ähnliche Temperaturen, wie gegenwärtig die wärmeren Regionen. Die Differenzen der Klimakenngrößen zwischen den Regionen bleiben meist bestehen oder nehmen wie beim Niederschlag zu.

Tabelle 1: Abhängigkeit der Teilbereiche im Handlungsfeld Boden von den Klima- und Bodenkennwerten, die aus den Klimamodellierungen verfügbar sind bzw. in die Auswertungs- und Bewertungsalgorithmen eingehen

	Teilbereiche im Handlungsfeld Boden					
	Erosion	Auswaschung	Humus	Moorböden	Bodenleben	Verdichtung
bodenkundlicher Kennwert						
Bodenart	X					X
Tongehalt [%]			X			
Torfmächtigkeit [cm]				X		
Hangneigung [%]	X					
Hanglänge [m]	X					
bodenkundliche Feuchtestufe ¹⁾					X	X
pH-Wert					X	
nFKWe ²⁾ [l/m ²]		X				
FKWe ³⁾ [l/m ²]		X				
Durchwurzelungstiefe [dm]		X				
klimatischer Kennwert						
Jahresniederschlag, mittlerer	X	X	X			
Starkniederschlagstage >25l/m ² , Anz.	X					
max. Starkniederschlagshöhe	X					
Sommerniederschlag, mittl. (Apr.-Sept.)		X				
Durchschnitttemperatur, Jahr			X			
potenzielle Evapotranspiration, Jahr ⁴⁾		X				
Klimatische Wasserbilanz (Mai-Okt.)				X ⁵⁾	X	X

1) bodenkundliche Feuchtestufe, abgeleitet aus KWBv (s. Exposition) und Grund- bzw. Stauwasserverhältnissen

2) nFKWe: nutzbare Feldkapazität = Speicherkapazität eines Bodens für pflanzenverfügbares Wasser im effektiven Wurzelraum

3) FKWe: Feldkapazität = Gesamte Wasserspeicherkapazität eines im effektiven Wurzelraum

4) Berechnung: ETP = N – KWB

5) nur für Hochmoorböden, andere Moorböden nur indirekt beeinflusst

Des Weiteren nehmen in allen Regionen beim 15. Perzentil der Klimaprojektionen für die nahe und ferne Zukunft die Niederschläge ab, so dass die niederschlagsreicheren Regionen auf das gegenwärtige Niveau der niederschlagsärmeren Regionen abfallen. Beim 50. Perzentil der Klimaprojektionen nehmen die Niederschläge leicht, beim 85. Perzentil stärker zu, so dass in den Regionen mit gegenwärtig geringeren Niederschlägen künftig das Niederschlags-Niveau der Regionen mit gegenwärtig höheren Niederschlägen erreicht werden kann. Die projizierte Entwicklung der Wasserbilanzen zeigt ein vergleichbares Bild.

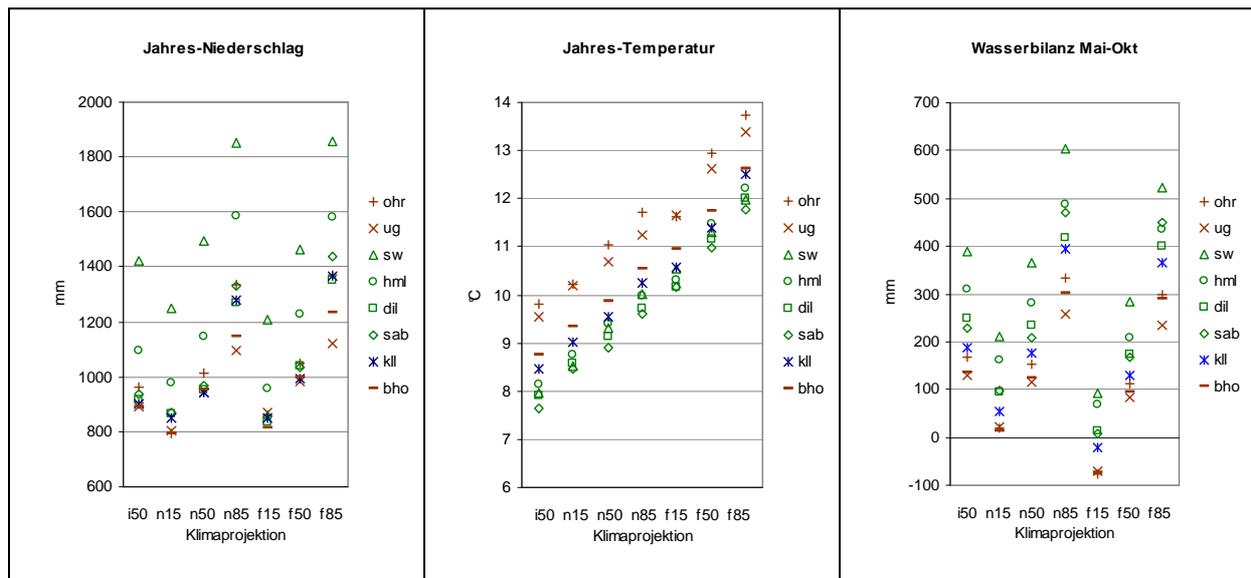


Abbildung 2: Variation von drei ausgewählten, vulnerabilitätssteuernden Klimakennwerten zwischen den landschaftsökologischen Regionen differenziert nach den verschiedenen Klimaprojektionen. Dargestellt sind Mittelwerte je landschaftsökologischer Region (siehe Abbildung 1). i50 = Gegenwart, n15 = 15. Perzentil nahe Zukunft 2021-2050, f85 = 85. Perzentil ferne Zukunft 2071-2100 etc.

3 Vulnerabilität

3.1 Analyse und Bewertungsmethoden

Für die Vulnerabilitätsanalyse wurden halbquantitative Berechnungsverfahren ausgewählt, die in der Bodenschutzpraxis etabliert sind:

- Erosion nach DIN 19708 (Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG = Allgemeine Bodenabtragungsgleichung)
- Auswaschung mit einer Kombination von Auswertungsalgorithmen des Niedersächsischen Bodeninformationssystem (NIBIS), der Bundesanstalt für Geowissenschaften (BGR) und der DIN 19732 (Bestimmung des standörtlichen Verlagerungspotenzials von nicht sorbierbaren Stoffen).
- Humus mit Regressionsgleichungen, die entsprechend einem Ansatz der Landesanstalt für Landwirtschaft Bayern (LfL) mit Boden- / Standortkennwerten aus Baden-Württemberg landesspezifisch ermittelt wurden.
- Moorböden anhand von Informationen aus der Literatur zum Torfabbau und einer exemplarischen Modellierung.
- Bodenlebensgemeinschaften mit einer Klassifikation ihres Lebensraums, basierend auf einem publizierten Ansatz des Instituts für Bodenkunde und Standortlehre der Universität Hohenheim, ergänzt mit Zuordnungsregeln aus dem NIBIS und Expertenwissen.
- Verdichtung mit einem Auswertungsalgorithmus des NIBIS.

Die Vulnerabilität des Bodens in jedem Teilbereich wird durch Klassifikation des Veränderungsausmaßes mit den drei Stufen hoch, mittel und geringe bewertet. Dies erfolgt differenziert für die acht landschaftsökologischen Regionen (LÖR) und zusammenfassend für Baden-Württemberg. Dabei werden auch die Flächenanteile der einzelnen Vulnerabilitätsstufen innerhalb der Regionen dargestellt. Um darüber hinaus für die zusammenfassende Darstellung der Teilbereiche am Ende der Vulnerabilitätsanalyse einen einzigen Vulnerabilitätswert für eine Region bzw. für Baden-Württemberg zu erhalten, werden die drei Vulnerabilitätsstufen der Teilbereiche entsprechend ihrem Flächenanteil in jeder LÖR gewichtet und zu einer „aggregierten Vulnerabilitätsstufe“ aufsummiert. Unter Berücksichtigung des Flächenanteils mit hoher Vulnerabilität wird ein Klassifikationswert für die Gesamtvulnerabilität einer Region abgeleitet. Eine Einschätzung der Dringlichkeit von Anpassungsmaßnahmen wird sowohl regional als auch landesweit unter Berücksichtigung des Klimaprojektionsrahmens und der aggregierten Vulnerabilitätsstufe vorgenommen. Bei regionalen und lokalen Risikobereichen wird die Bewertungsstufe zusätzlich mit einem „+“ markiert.

3.2 Ergebnisse

3.2.1 Bodenerosion durch Wasser

Erosion ist der Abtrag und Abtransport von Bodenmaterial durch Wasser oder Wind. Im Teilbereich Bodenerosion durch Wasser ist aufgrund der projizierten Veränderung der Starkniederschlagscharakteristik regional eine hohe, im Landesdurchschnitt eine mittlere Vulnerabilität zu erwarten. Dies gilt in besonderem Maße für das 85. Perzentil der Klima-Fernprojektion. Von einer hohen Vulnerabilität besonders betroffen sind einige Naturräume innerhalb der LÖR, die aufgrund ihrer erosionsempfindlichen Böden aus Löss (Parabraunerden, Pararendzinen) unter Ackernutzung auch gegenwärtig schon zu den erosionskritischen Regionen gehören. Aufgrund der regionalen Risikobereiche ergibt sich lokal eine mittlere bis hohe, im Landesdurchschnitt eine mittlere Dringlichkeit für Anpassungsstrategien.

3.2.2 Auswaschung nicht sorbierbarer Stoffe

Die Auswaschung nicht sorbierbarer Stoffe aus Böden wie z. B. Nitrat nimmt zu, wenn mehr Sickerwasser die durchwurzelten Bodenhorizonte verlässt. Für den Teilbereich des Auswaschungsrisikos wird aufgrund der projizierten Veränderung der Niederschläge und der klimatischen Wasserbilanzen im Landesdurchschnitt mit einer mittleren Vulnerabilität gerechnet. Dies gilt in besonderem Maße für das 85. Perzentil der Klima-Fernprojektion. Von der hohen Vulnerabilität besonders betroffen sind aber nur einige Naturräume innerhalb zweier landschaftsökologischer Regionen, so dass sich, davon abgesehen, regional und landesweit im Durchschnitt eine geringe Dringlichkeit für Anpassungsmaßnahmen ergibt. Tendenziell, aber nicht einheitlich als zunehmend empfindlich eingestuft, sind Böden unter Acker sowie unter-

schiedliche Parabraunerdetypen unter verschiedenen Landnutzungen gegenüber den anderen Boden-Landnutzungskombinationen.

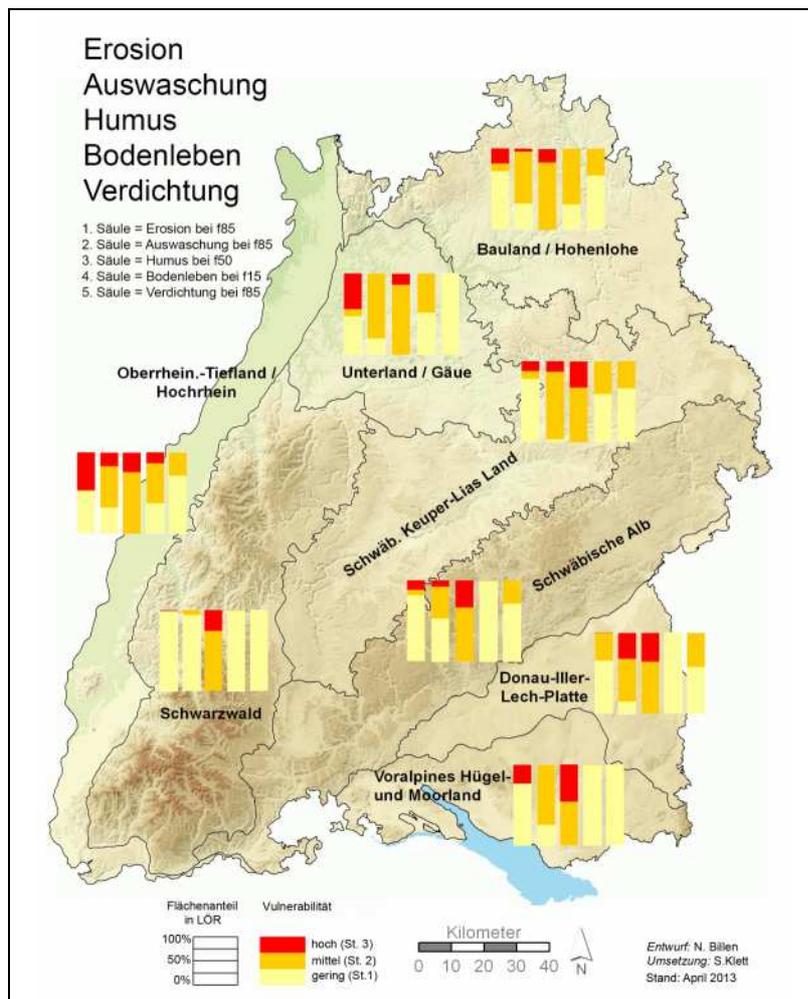


Abbildung 3: Die flächenmäßige Aufteilung der drei Vulnerabilitätsstufen in den acht landschaftsökologischen Regionen bei den ungünstigsten Klimaprojektionen (Geobasisdaten © LUBW, LGL, www.lgl-bw.de, Az: 2851.9-1/19)

3.2.3 Veränderung des Humusvorrats

Organische Bodensubstanz (Humus) ist die Gesamtmenge der organischen Umwandlungsprodukte im Boden einschließlich der abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Stoffe. Beim Humusvorrat von Böden wird aufgrund der projizierten Veränderung der Niederschläge und der Temperaturen landesdurchschnittlich mit einer hohen Vulnerabilität gerechnet. Dies gilt insbesondere für das 50. Perzentil der Klima-Fernprojektion. Allerdings ergibt sich auf regionaler und lokaler Ebene eine ausgeprägte Variation der Vulnerabilität. Weiter weisen die Böden unter Ackernutzung eine geringere Sensitivität auf, so dass die Vulnerabilität in den ackerbaulich geprägten Regionen geringer ist als in Grünland dominierten Regionen. Eine entscheidende Abhängigkeit der Vulnerabilität von Bodentypen ist nicht erkennbar. Aufgrund der hohen Vulnerabilität in fünf Regionen ergibt sich auch im Landesdurchschnitt eine hohe Dringlichkeit für Anpassungsmaßnahmen.

3.2.4 Moorböden

Moorböden sind Böden aus mindestens 30 cm mächtigen Horizonten mit über 30 % organischer Bodensubstanz (Torf), die aus Resten moortypischer und torfbildender Pflanzen unter Wasserüberschuss gebildet werden.

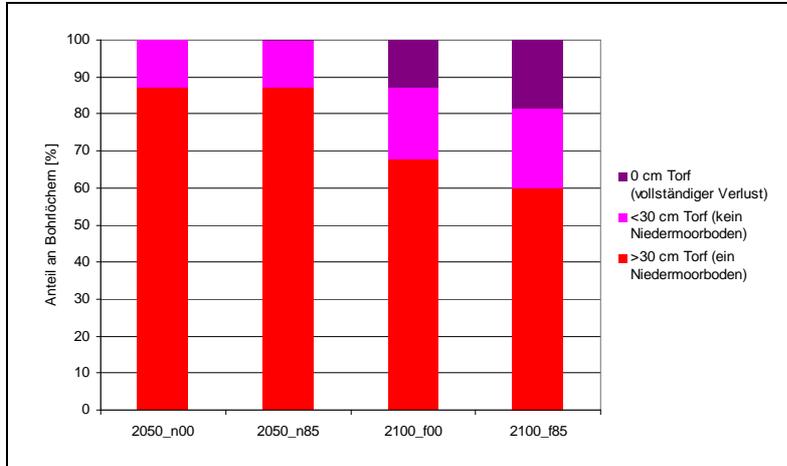


Abbildung 4: Abschätzung der Gefährdung von Niedermoorböden in Baden-Württemberg anhand der künftig verbleibenden Torfreste bei unveränderter Moornutzung ohne (n00, f00) bzw. mit (n85, f85 = wirksamste Projektionen) Auswirkungen des Klimawandels in naher bzw. ferner Zukunft

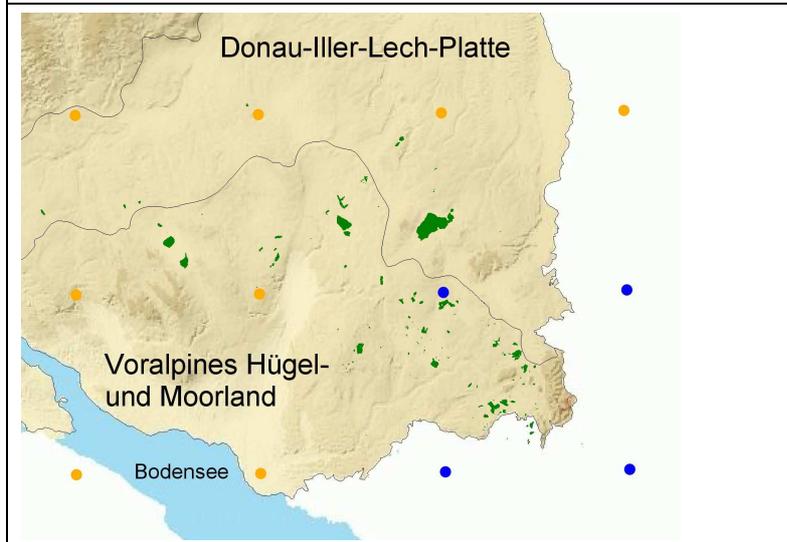


Abbildung 5: Beispiel zur Verteilung der Hochmoorböden (= grüne Flächen) im Südosten BW's und Projektionspunkte des 15. Perzentils der Klimanahprojektion (2020-2050) zur Klimatischen Wasserbilanz von Mai-Oktober. Unter 200 l/m² (= orange) liegt eine hohe Vulnerabilität der Hochmoorböden vor, darüber (blau) höchstens eine geringe

Die Auswirkung des Klimawandels auf die künftige Verbreitung von grundwasserabhängigen Niedermoorböden ist erheblich geringer als die der aktuellen Bodennutzung und Bodenbewirtschaftung. Bereits heute besteht durch die intensive Nutzung nahezu flächendeckend eine hohe Gefährdung. Die Vulnerabilität von niederschlagsabhängigen Hochmoorböden ist aufgrund der projizierten Abnahme der klimatischen Wasserbilanz unter 200 l/m² beim 15. Perzentil der Fernprojektion flächendeckend hoch, ansonsten ist bis zu maximal 30 % der Hochmoorböden mit einer hohen Vulnerabilität zu rechnen. Dabei bestehen regionale Unterschiede. Aufgrund der hohen Vulnerabilität bereits in den Nahprojektionen besteht eine hohe Dringlichkeit für Anpassungsmaßnahmen.

3.2.5 Bodenlebensgemeinschaften

Eine Bodenlebensgemeinschaft ist eine Artenkombination von Mikroorganismen und Tieren im Boden, die von den Umweltbedingungen abhängig ist und deshalb anhand der Veränderung ihres Lebensraums (vorrangig Bodenfeuchte) bewertet wurde. Demnach ist im Landesdurchschnitt mit einer geringen Vulnerabilität zu rechnen. Lediglich im 15. Perzentil der Klima-Fernprojektion mit teilweise sogar negativer Wasserbilanz zeichnet sich für die westlichen und nördlichen Regionen eine zumeist mittlere und nur vereinzelt hohe Vulnerabilität ab, die aus einer abnehmenden Bodenfeuchte resultiert. Tendenziell, aber nicht eindeutig, sind lehmige Parabraunerden und tonige Pelosol-Braunerden etwas stärker betroffen. In den südlichen und östlichen Regionen kann teilweise auch eine Verbesserung des Lebensraums eintreten. Dadurch erklärt sich mit Ausnahme einiger Naturräume auch die regional und landesweit geringe Dringlichkeit von Anpassungsmaßnahmen.

3.2.6 Bodenverdichtung

Bodenverdichtung ist ein Prozess, der mit Zunahme der Dichte und Abnahme des Porenvolumens einhergeht. Beim Risiko schädlicher Bodenverdichtungen aufgrund einer veränderten Bodenfeuchte wird landesdurchschnittlich mit einer geringen Vulnerabilität im Sommerhalbjahr gerechnet. Lediglich in einigen Naturräumen von Regionen mit tonigen Böden zeichnet sich beim 85. Perzentil der Klima-Nahprojektion eine mittlere Vulnerabilität ab. Hier besteht auch eine mittlere Dringlichkeit von Anpassungsmaßnahmen. Eine Abhängigkeit von der Landnutzung ist nicht erkennbar. In den Regionen mit vorherrschend sandigen, schluffigen oder lehmigen Böden, die tendenziell weniger verdichtungsempfindlich sind, ist eine geringe Vulnerabilität dominierend. Dort besteht keine Dringlichkeit von Anpassungsmaßnahmen.

3.2.7 Fazit

Insgesamt ergibt sich im Handlungsfeld Boden die höchste Vulnerabilität und deswegen auch die höchste Dringlichkeit für das gezielte Entwickeln von Anpassungsstrategien in den beiden Teilbereichen organische Bodensubstanz und Moorböden. Diese Teilbereiche weisen gleichzeitig den engsten Bezug zum klimarelevanten CO₂ auf. Aufgrund regionaler und lokaler Brennpunkte sollten aber auch in den Teilbereichen Bodenerosion und Auswaschungsrisiko die Entwicklung geeigneter Anpassungsmaßnahmen mit mittlerer bis hoher Priorität vorangebracht werden. In allen Teilbereichen ist in der fernen Zukunft meist ein größerer Flächenanteil der landschaftsökologischen Regionen von einer hohen Vulnerabilität betroffen als in der nahen Zukunft. Am stärksten ausgeprägt ist dieser Trend in den Teilbereichen Erosion, Auswaschung und Niedermoorböden für das 85. Perzentil, bei der organischen Bodensubstanz für das 50. Perzentil und bei den Hochmoorböden sowie den Bodenlebensgemeinschaften für das 15. Perzentil. Die Teilbereiche Bodenlebensgemeinschaften und Verdich-

tungsrisiko weisen großflächig eine geringe Vulnerabilität auf, teilweise ist sogar mit einer geringfügigen Verbesserung gegenüber der Ausgangssituation zu rechnen. Im Vergleich mit anderen Studien erscheint dies einerseits plausibel, andererseits konnte die Vulnerabilitätsanalyse mangels Alternativen hier nur mit stark generalisierenden Regelwerken durchgeführt werden, so dass für diese Ergebnisse eine große Unsicherheit besteht.

Tabelle 2: Gesamtbeurteilung für Baden-Württemberg im Handlungsfeld Boden und vorläufiger Querverweis auf die Handlungsfelder mit geeigneten Anpassungsstrategien

	Vulnerabilität	Dringlichkeit	Anpassungsstrategie	Handlungsdruck ¹⁾
Erosion	2	2+	s. Kapitel 4 Details siehe Handlungsfelder zu Landwirtschaft Forstwirtschaft Naturschutz Wasserwirtschaft	2+
Auswaschung	2	1+		1+
Humus	3	3		3
Moorböden	3	3		3
Bodenleben	1	1		1
Verdichtung ²⁾	1	1		1

1) aufgrund unbewerteter Anpassungsstrategien identisch mit Dringlichkeit, bei der die Vulnerabilität bereits berücksichtigt ist

2) gilt für Sommerhalbjahr

+ = Regionale und lokale Risikobereiche mit hoher Vulnerabilität und Dringlichkeit von Anpassungsstrategien

4 Anpassungsziele und Maßnahmen

Der Schutz der Böden und ihrer Funktionen vor nachteiligen Auswirkungen durch den Klimawandel kann sich zumeist auf Maßnahmen stützen, die sich bereits in der Vergangenheit im Bodenschutz bewährt haben. Entsprechende Anpassungsstrategien wurden aus dem Vorschlagskatalog der nutzungsorientierten Handlungsfelder Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Naturschutz und Wasserhaushalt ausgewählt. Dabei wurden insgesamt 18 Maßnahmen übernommen, die mit einem direkten Querverweis zum Handlungsfeld Boden versehen sind bzw. bei denen darüber hinaus Wechselwirkungen mit Böden bestehen (siehe Tabelle 3). Anschließend wurde die Wirkungsrichtung jeder Maßnahme in den sechs Teilbereichen bewertet. Dabei wiesen einige Maßnahmen Synergieeffekte bzw. starke Überschneidungen untereinander auf, so dass eine gemeinsame Umsetzung durch die Akteure in den verschiedenen Handlungsfeldern empfehlenswert ist. Weiterhin ist die Wirkung einiger Maßnahmen großflächig und deshalb von besonderer Bedeutung für einen flächendeckenden Bodenschutz. Andere Maßnahmen werden mittel bis kleinflächig umgesetzt, so dass hier zielgerichtet auch auf lokale Risikobereiche reagiert werden kann. Entsprechend ließen sich abschließend zehn Maßnahmen gruppieren, die das höchste Wirkungspotenzial für eine gezielte Anpassung an die Folgen des Klimawandels im Handlungsfeld Boden aufweisen (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Mittel- bis langfristige Wirkungstendenzen auf Böden durch Maßnahmen in den Handlungsfeldern Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Naturschutz und Wasserhaushalt. Gelistet sind Maßnahmen, die in den einzelnen Fachberichten mit einem Querverweis zum Handlungsfeld Boden versehen wurden. Farblich markiert sind die zehn Maßnahmen mit dem am höchsten eingeschätzten Wirkungspotenzial (Umsetzungspotenzial: großflächig = grün, mittel-kleinflächig = blau)

Handlungsstrategie Handlungsfeld	Maßnahme	Eignung für Boden-Teilbereich					
		Erosion	Auswaschung	Humus	Moorböden	Bodenleben ³⁾	Verdichtung
Landwirtschaft	konservierende Bodenbearbeitung	↑	→	↑	→	↑	↑
	Erweiterung der Fruchtfolge	↑	↑	↑	→	↑	↑
	Gezielte Grünlandverbesserung	→	↑	↑	→	↑	↑
	Humusreproduktion	↑	↑↓	↑	→ / ↓ ⁴⁾	→	↑
	Begrünung / Landschaftselemente	↑	→	↑	↑	↑	↑
Forstwirtschaft	Naturnaher Waldbau f. Bodenfruchtbarkeit	→	↑	↑↓	↑	↑	○
	standortdifferenzierte Kalkung	↑	↑	→	↓ ⁵⁾	↑	↑
	Stabilisierung von Biotopen	→	↑↓	→	↑	→	→
	Monitoring (u.a. Bodenzustand)	-	-	-	-	-	-
Naturschutz	naturnaher Wasserhaushalt	-	↑↓	→	↑	↑↓	↑↓
	Renaturierung von Mooren	-	↑↓	-	↑	→	↑↓
	Förderung extensiver Nutzung	↑↓	↑	↑	↑	↑	↑
	Pufferzonen / Schutzstreifen ¹⁾	↑	→	↑	↑	↑	↑
	Bannwald	↑	○	↑↓	↑	↑↓	↑
	Stärkung Schutzgebietssystem ¹⁾	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Wasserhaushalt ²⁾	Verminderung Oberflächenabfluss	↑	↓	↑	-	↑	↑↓
	dezentrale Versickerung	↑↓	↓	○	-	○	↑↓
	Natürlicher Wasserrückhalt	↑↓	↓	↑	↑	↑	↑↓

↑ = tendenziell positive Wirkung ↓ = tendenziell negative Wirkung

→ = tendenziell neutrale bis leicht positive Wirkung ↑↓ = positive oder negative Wirkung, Einzelfallabhängig

○ = keine Angabe, da größere Kenntnislücken bei den Wirkungszusammenhängen

- = zumeist ohne direkte Wirkung für den Bodenschutz

1) bietet Chancen bei Integration der Belange des Bodenschutzes

2) Maßnahmenauswahl basierend auf dem Zwischenbericht für das Handlungsfeld „Wasserhaushalt“ vom 11.3.2013, die Maßnahmenbewertung bezieht sich nur auf die Böden der beanspruchten Freiflächen

3) betrachtet wird der Lebensraum einer Bodenlebensgemeinschaft auf qualitativer Ebene. Die Diversität oder die Reaktion ausgewählter Indikatorarten kann mit dem gewählten Verfahren nicht bewertet werden

4) organische Düngung kann Torfmineralisierung verringern, mineralische Düngung erhöhen und deshalb stärker negativ wirken

5) Moorböden sind zwingend von einer Kalkung auszunehmen

Über die ausgewählten und bewerteten Maßnahmen hinaus wurden das Potenzial zusätzlicher Handlungsoptionen wie bodenkundliche Baubegleitung, Flächenmanagement und Bodenschutzgesetz sowie weitere Ergänzungsmaßnahmen in den Teilbereichen bewertet.

5 Defizite

Die Maßnahmenauswahl basiert auf den Ergebnissen der regionalen Vulnerabilitätsanalysen. Mit einer kartografisch höheren Auflösung und der zusätzlichen Verschneidung von Landnutzung und Bodentypen könnten die Informationen zu lokalen Risikobereichen konkretisiert werden und für verschiedene Querschnittsdisziplinen wie Landwirtschaft oder Wasserwirtschaft in einem planungsrelevanten Maßstab verfügbar sein (Beispiele siehe Abbildung 6 und Abbildung 7). Allerdings weisen die Vulnerabilitätsanalysen in den Teilbereichen Bodenlebensgemeinschaften und Verdichtungsrisiko sowie bedingt organische Bodensubstanz aufgrund fehlender Alternativen große Unsicherheiten auf, so dass im Vorfeld methodische Verbesserungen erforderlich sind. Darüber hinaus konnten weitere umweltrelevante Teilbereiche wie z.B. Stickstoffmineralisierung oder Phosphoraustrag aufgrund von gegenwärtigen Defiziten bei den halbquantitativen und generalisierenden Analysemethoden nicht bewertet werden. Sie dürften jedoch im Zusammenhang mit Regelungen wie der Wasserrahmenrichtlinie oder der Trinkwasserverordnung künftig von größerer Bedeutung sein.

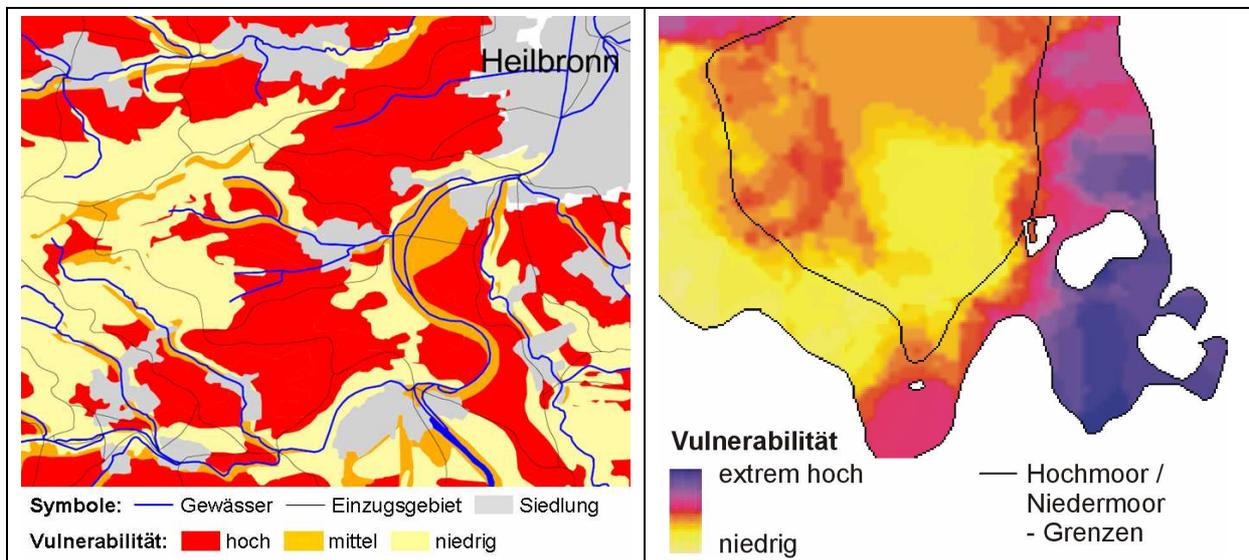


Abbildung 6: Vulnerabilität der Böden durch Erosion (85. Perzentil der Klima-Fernprojektion) bei aktueller Landnutzung in einem größermaßstäbigen Landschaftsausschnitt der Region Unterland/Gäue

Abbildung 7: Geschätzte Vulnerabilität von Moorböden bis 2100 bei einem Torfverlust von 1,0 cm/Jahr am Beispiel des südwestlichen Pfrunger-Burgweiler Rieds in der Region Hügel-/Moorland