



Arbeitspapier zur Vorbereitung des Stakeholderdialogs zur Klimaanpassung Von Starkregen bis Trockenheit – Anpassungsstrategien für die deutsche Landwirtschaft

Autorinnen: Lea Kliem, Katja George

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)

November 2017

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	4
2 Klimawandel in Deutschland und dessen Auswirkungen auf die deutsche Landwirtschaft.....	5
2.1 Klimaveränderungen in Deutschland	5
2.2 Auswirkungen auf den Pflanzenbau in Deutschland	6
2.2.1 Auswirkungen von Temperaturveränderungen: Hitze, Fröste und Schadorganismen.....	6
2.2.2 Auswirkungen von Niederschlagsänderungen: Von Starkregen bis Trockenheit..	8
2.2.3 Auswirkungen von veränderter CO ₂ -Konzentration: Pflanzenwuchs und Wasserverfügbarkeit.....	10
2.3 Auswirkungen auf die Nutztierhaltung in Deutschland	10
2.3.1 Auswirkungen von Temperaturveränderungen: Hitzestress und Krankheiten	10
2.3.2 Auswirkungen von Niederschlagsänderungen: Trockenstress für die Futterwirtschaft	11

2.3.3	Auswirkungen von veränderter CO ₂ -Konzentration: Verbesserte Grünlandproduktivität.....	11
2.4	Zusammenfassung und Wirkungsketten von Klimaauswirkungen für die Landwirtschaft	11
3	Politische Anpassungsaktivitäten auf Bundesebene	12
4	Anpassungsoptionen für die Landwirtschaft.....	13
4.1	Fruchtfolgen, Sorten- und Artenwahl	14
4.2	Schonende Bodenbearbeitung und zielgerichtete Pflanzenernährung.....	14
4.3	Effektives Wassermanagement	15
4.4	Integrierter Pflanzenschutz.....	16
4.5	Optionen für die Tierhaltung	17
4.6	Ökolandbau: Spezifische Maßnahmen und Beitrag zur Anpassung	17
4.7	Ökonomisches Risikomanagement.....	18
5	Schlussfolgerungen und Diskussionsfragen	18
	Quellenverzeichnis	20
	Anhang 1: Wirkungskette der Klimaveränderungen in der Landwirtschaft.....	24

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	In Baden-Württemberg neu aufgetretene Vektor-Erkrankungen von Tieren	11
------------	--	----

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Jahresmitteltemperaturen in Deutschland seit 1881	5
Abbildung 2:	Regionale Unterschiede der Veränderung der Vegetationsperiode	7
Abbildung 3:	Erosionsgefährdung durch veränderte Niederschlagsintensität	9
Abbildung 4:	Sommerliche Tage mit Bodenfeuchten unter 50% nutzbarer Feldkapazität	9

Abkürzungsverzeichnis

APA	Aktionsplan Anpassung
APA II	Aktionsplan Anpassung II
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
DAS	Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel
DWD	Deutscher Wetterdienst
INKA BB	Innovationsnetzwerk Klimaanpassung Brandenburg Berlin
IÖW	Institut für ökologische Wirtschaftsforschung
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KomPass	Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung
LTZ Augustenberg	Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg
nFK	Nutzbare Feldkapazität
ppm	parts per million
UBA	Umweltbundesamt

1 Einleitung

Der Klimawandel ist eine der weltweit größten Herausforderungen unserer Zeit. Dies zeigen nicht zuletzt die Berichte des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) sowie die spürbare Zunahme an extremen Wetterereignissen. Als gesellschaftliche Antwort stand bisher der Klimaschutz im Mittelpunkt. So vereinbarten fast alle Nationen bei der Klimakonferenz von Paris 2015 die deutliche Reduktion ihrer Treibhausgasemissionen, um die Erderwärmung auf unter 2 °C, möglichst 1,5 °C zu begrenzen (UN, 2015). Doch auch wenn nationale und internationale Klimaschutzanstrengungen erfolgreich sein sollten, können zu diesem Zeitpunkt Veränderungen des Klimas nicht mehr vollständig verhindert, sondern nur noch gemindert werden (IPCC, 2012). Denn selbst bei einer sofortigen Minderung der Emissionen auf ein klimaverträgliches Maß würde der Klimawandel aufgrund der verzögerten Reaktion des Klimasystems mindestens einige Jahrzehnte weiter voranschreiten (IPCC, 2007). Daher muss es neben Klimaschutzmaßnahmen auch Bestrebungen zur Anpassung an die unvermeidbaren Folgen eines veränderten Klimas geben. Anpassung sollte dabei nicht als Rückzug aus der Verantwortung für den Kampf gegen den anthropogenen Klimawandel, sondern als Versuch zur Minderung der Vulnerabilität von Gesellschaft, Wirtschaft und Ökosystemen gegenüber unvermeidbaren Klimafolgen verstanden werden.

Die Bundesregierung verabschiedete im Jahr 2008 die Deutsche Anpassungsstrategie (DAS), um die physischen und sektoralen Wirkungen des Klimawandels aufzuzeigen und zu vermindern. Diese bereitet seitdem den politischen Rahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Deutschland (Bundesregierung, 2008). Daran anknüpfend wurde 2011 der Aktionsplan Anpassung (APA) beschlossen, der die DAS mit konkreten Maßnahmen des Bundes unterlegte (Bundesregierung, 2011). Im Jahr 2015 erschienen der erste Monitoringbericht (UBA, 2015c) und der erste Fortschrittsbericht zur DAS. Im Fortschrittsbericht wurde der Stand der Umsetzung des APA analysiert, die Verwundbarkeit gegenüber Klimafolgen bewertet und daraus weitere Maßnahmen des Bundes abgeleitet, die im Aktionsplan Anpassung II (APA II) fortgeschrieben sind (Bundesregierung, 2015).

Kaum ein Wirtschaftsbereich ist so direkt von Klimawandelfolgen betroffen wie die Landwirtschaft. So lassen sich beispielsweise ca. 80 Prozent der Ertragsvariabilität von Freilandkulturen auf Witterungsverhältnisse und klimatische Bedingungen zurückführen (UBA, 2015d). Die möglichen direkten Effekte des Klimawandels auf die deutsche Landwirtschaft sind in dem ersten Fortschrittsbericht zur DAS (2015) und dem dazugehörigen Bericht zur Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel (UBA, 2015d) ausführlich dargestellt worden. Auch hat das Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) im Auftrag des Umweltbundesamtes bereits verschiedene Stakeholderdialoge zur Klimaanpassung¹ durchgeführt (beispielsweise zu den Themen Grundwasser und Naturschutz), bei denen Wechselwirkungen mit landwirtschaftlichen Fragestellungen identifiziert wurden.

Mit dem Klimawandel werden für die Landwirtschaft in Deutschland sowohl Risiken als auch Chancen verbunden. Einerseits verspricht eine erhöhte CO₂-Konzentration eine Zunahme des Ertrags für einige Pflanzenarten. Andererseits werden sich veränderte Temperatur- und Niederschlagsmuster voraussichtlich negativ auf Wasserhaushalt, Pflanzenaufwuchs- und Tierhaltungsbedingungen auswirken. Besonders relevant sind dabei zunehmend auftretende

¹ www.umweltbundesamt.de/dialog

Extremwetterereignisse und ein veränderter Schädlings- und Krankheitsdruck, welche zu Ernteaussfällen und zu Verlusten im Nutztierbestand führen können (Weigel, 2011).

Das vorliegende Arbeitspapier dient als Informations- und Diskussionsgrundlage für den Dialog zur Klimaanpassung „Von Starkregen bis Trockenheit – Anpassungsstrategien für die deutsche Landwirtschaft“, der am 16. November 2017 in Berlin stattfindet. Kapitel 2 stellt die agrarrelevanten Klimaveränderungen in Deutschland und deren mögliche Auswirkungen auf die Landwirtschaft dar. Der Pflanzenbau und die Nutztierhaltung werden dabei jeweils gesondert betrachtet. Kapitel 3 erläutert politische Anpassungsaktivitäten auf Bundesebene, die die Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft betreffen. Kapitel 4 beschreibt konkrete Anpassungsoptionen für landwirtschaftliche Akteure. Zentrale Fragestellungen des Dialoges sind im abschließenden Teil des Arbeitspapiers aufgeführt.

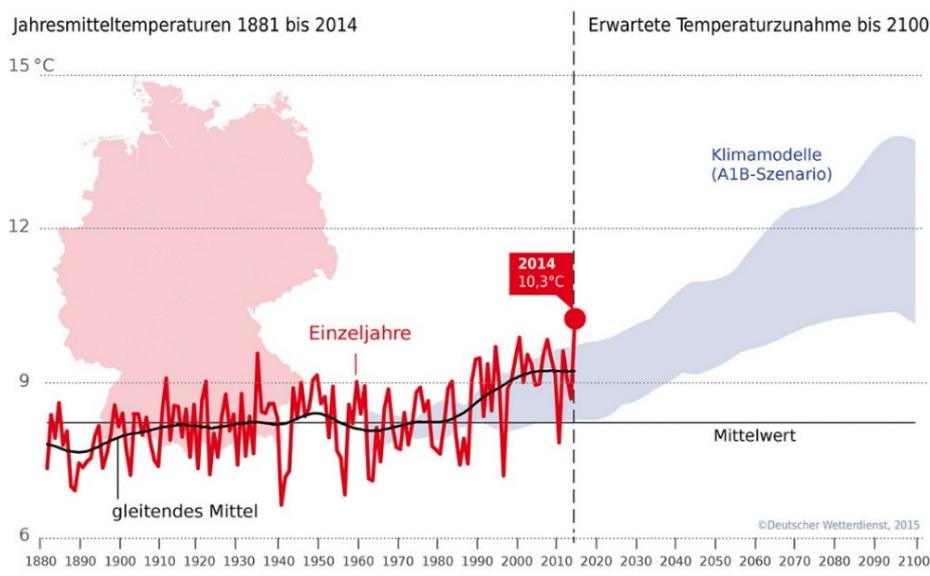
2 Klimawandel in Deutschland und dessen Auswirkungen auf die deutsche Landwirtschaft

2.1 Klimaveränderungen in Deutschland

Im Vergleich zu vielen anderen Ländern ist Deutschland weniger stark vom globalen Klimawandel betroffen. Jedoch sind auch hier die Folgen des Klimawandels bereits deutlich spürbar. Extreme Wetterverhältnisse wie die Hitzewelle des Jahrhundertsommers 2003, die in Deutschland zu Ernteaussfällen von Weizen von bis zu 30% geführt hat (Anter, Gömann, Kreins, & Richmann, 2009), sind in den letzten Jahrzehnten vermehrt aufgetreten (IPCC, 2012).

Der Klimawandel führt in Deutschland zu steigenden Jahresdurchschnittstemperaturen und veränderten Niederschlagsmengen. So sind im letzten Jahrhundert die mittleren Temperaturen um 1,3 °C gestiegen (siehe Abbildung 1). Sowohl im Sommer als auch im Winter sind höhere Temperaturen zu verzeichnen (Kaspar & Mächel, 2017). Der Deutsche Wetterdienst (DWD, 2017) geht bis zum Jahr 2050 von einer Erhöhung der Durchschnittstemperatur um 1,5 °C bis 2,5 °C im Sommer und 1,5 °C bis 3 °C im Winter, im Vergleich zum Zeitraum von 1961 bis 1990, aus.

Abbildung 1: Jahresmitteltemperaturen in Deutschland seit 1881



Quelle: DWD (2015)

Die durchschnittlichen Niederschlagsmengen haben in Deutschland seit 1881 um ungefähr 10% zugenommen. Dies ist vor allem auf die Zunahme von Niederschlägen im Winter von bis zu 26% zurückzuführen. Im Sommer hingegen nahm der Niederschlag in den meisten Regionen leicht ab (Kaspar & Mächel, 2017). Dabei ist mit einer zunehmenden regionalen Ungleichverteilung des Niederschlags zu rechnen. So drohen in den Sommermonaten besonders im Nordosten Trockenheitsperioden. Im Winter hingegen wird es besonders im Süden und Südwesten Deutschlands feuchter werden. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) projiziert bis zum Jahr 2050 eine Zunahme von Niederschlägen von bis zu 30% im Winter und eine Abnahme von bis zu 40% im Sommer mit unterschiedlicher regionaler Verteilung (DWD, 2017).

Neben den Änderungen von Niederschlag und Temperatur ist zu erwarten, dass der Klimawandel auch Extremwetterereignisse in ihrer Häufigkeit, Dauer und Intensität verschärft (IPCC, 2012). Hagel- und Starkregenereignisse, Frost und Hitzewellen, Überschwemmungen und Trockenheitsperioden werden in der Zukunft öfter und heftiger auftreten. Im gesamten Bundesgebiet ist beispielsweise die Anzahl von Hitzetagen insbesondere im Juli und August seit den 1950er Jahren deutlich gestiegen (Deutschländer & Mächel, 2017). Ebenso haben Starkregenereignisse besonders im Winter in den letzten sechzig Jahren mit Ausnahme von Nordostdeutschland deutlich zugenommen (Kunz, Mohr, & Werner, 2017). Insgesamt ist eine starke regionale Variabilität von diesen und anderen Wetterereignissen zu erwarten. So ist beispielsweise Süddeutschland verstärkt von Hagelschlägen betroffen, während in Nordostdeutschland Trockenheit und Hitze in größerem Ausmaß zunehmen dürften (Gömann u. a., 2015). Die beschriebenen zukünftigen klimatischen Veränderungen wurden unter Annahme von Szenarien zukünftiger Treibhausgasemissionen durch computergestützte Modelle projiziert. Obwohl sich diese Modelle in den letzten Jahren sehr verbessert haben, sind die Projektionen mit großen Unsicherheiten verbunden. Dies ist besonders auf komplexe Wechselwirkungen und Rückkopplungseffekte zurückzuführen (Dobler, Feldmann, & Ulbrich, 2017).

Im Zusammenhang mit dem Klimawandel verändert sich auch die atmosphärische Zusammensetzung. In den letzten Jahren ist die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre stetig gestiegen und liegt nun erstmals in der Menschheitsgeschichte bei Werten von über 400 ppm (Seinfeld & Pandis, 2016). Auch sind in Mitteleuropa extreme Werte von bodennahem Ozon zu beobachten, welche durch zunehmende Hitzewellen ausgelöst werden und für Pflanzen giftig sind (Otero, Sillmann, Schnell, Rust, & Butler, 2016). In Deutschland werden kritische Werte für die Landwirtschaft seit Jahren vielerorts überschritten (UBA, 2015a).

Die deutsche Landwirtschaft ist vom Klimawandel durch Veränderungen in Temperaturen, Niederschlägen und atmosphärischer Zusammensetzung direkt und indirekt betroffen. Von großer Relevanz für die Produktion sind dabei extreme Wetterereignisse wie Dürreperioden. Im Folgenden sind die Auswirkungen des Klimawandels auf den Pflanzenbau und die Nutztierhaltung jeweils detaillierter ausgeführt.

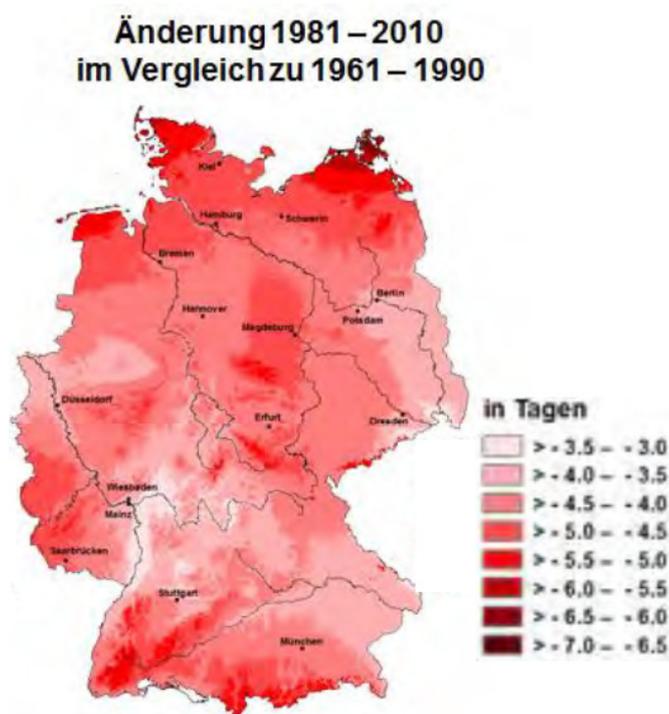
2.2 Auswirkungen auf den Pflanzenbau in Deutschland

2.2.1 Auswirkungen von Temperaturveränderungen: Hitze, Fröste und Schadorganismen

Temperaturveränderungen wirken sich je nach Pflanzenart, Sorte und Standort sehr unterschiedlich auf Wachstum und Stoffwechsel von Pflanzen aus (Gömann u. a. 2017). Dadurch ergeben sich regional- und sortenspezifische Risiken und Chancen für den Ackerbau.

Der in Deutschland zu erwartende Temperaturanstieg führt bei einigen Kulturen zu verlängerten Vegetationsperioden, die auf beschleunigte und im Jahresverlauf früher beginnende phänologische Phasen zurückgeführt werden können. Je nach Region ergibt sich so eine Verfrühung der Vegetationsperioden um bis zu sechs Tagen. Die stärkste Veränderung zeigt sich in den Küsten- und Bergregionen sowie in Sachsen-Anhalt (siehe Abbildung 2). Insbesondere Kulturen mit einer langen Reifeperiode, wie beispielsweise Hirse, können davon profitieren. Einige Fruchtarten wie Soja, Sorghum oder Hartweizen, die zuvor nur in südlicheren Gebieten ertragreich waren, können auf Grund der Temperatursteigerungen nun erstmals auch in Deutschland angebaut werden (BMEL, 2017). Bei einigen bereits in Deutschland kultivierten Arten wie Mais und Zuckerrüben sind Ertragssteigerungen zu erwarten. Bei anderen Kulturen sind auf Grund des Temperaturanstiegs jedoch Ertragsminderungen zu erwarten. So zeigen beispielsweise Simulationsstudien mit Getreide, dass durch frühere Blüte zwar späterer Hitzestress umgangen werden kann, höhere Temperaturen jedoch zu einem schnelleren Wachstum führen. Dadurch wird die Phase der Kornfüllung schneller durchlaufen und der Getreideertrag sinkt (Gömann, Frühauf, Lüttger, & Weigel, 2017).

Abbildung 2: Regionale Unterschiede der Veränderung der Vegetationsperiode



Quelle: DWD Klimaatlas, zitiert nach Gömann u. a. (2015)

Temperaturveränderungen beeinflussen auch das Vorkommen und die Verbreitung von Unkräutern und Schädlingen. Die Verbreitungsgrenze verschiebt sich dabei tendenziell nach Norden. Wärmeliebende Unkräuter wie Melde, Unkrauthirsen und Franzosenkraut profitieren von wärmeren und trockeneren Sommern. Auch trockenheitsresistente Arten wie Distel, Ampfer und Quecken haben in langen Trockenphasen einen Vorteil gegenüber vielen Nutzpflanzen (LTZ Augustenberg, 2008). Ähnliches lässt sich für viele Krankheitserreger und Schädlinge vermuten, deren Überlebenschancen durch mildere Winter steigen dürften. Bereits jetzt besteht in einigen Regionen aufgrund steigender Durchschnittstemperaturen ein erhöhter Schädlingsdruck durch beispielsweise Maiszünsler und Spinnmilben (UBA 2015a). Auch Blattläuse sind durch erhöhte Temperaturen in Folge des Klimawandels im Jahresverlauf länger aktiv und wirken so verstärkt

als Vektoren für Krankheiten wie den Gelbverzwergungsvirus bei der Gerste (LTZ Augustenberg, 2008). Allerdings dürften auch Nützlinge wie beispielsweise Hummeln und Raubmilben von den Temperaturveränderungen profitieren, so dass sich langfristig möglicherweise neue Gleichgewichte einstellen (Chmielewski, 2011; UBA, 2015d). Komplexe Wechselwirkungen und vielfältige Standortbedingungen lassen daher keine eindeutigen Prognosen zu Ertragsentwicklungen für Deutschland in Bezug auf Temperaturveränderungen zu.

Klarer hingegen sind Prognosen bezüglich der Auswirkungen von Extremtemperaturen. Extreme Temperaturereignisse wie Hitze oder Frost können zu Ertragsverlusten und Qualitätseinbußen führen. Bei Weizen und Mais sind bei sehr hohen Temperaturen an Hitzetagen beispielsweise Störungen der Befruchtung zu beobachten. Bei Rüben können sie zu Verminderung des Zuckergehalts und bei Raps zu Ölverlust führen (Gömann u. a. 2017). Möhren entwickeln einen bitteren Geschmack (BMEL, 2017). Auch eine Zunahme der Temperaturvariabilität, also die Schwankung zwischen kalten und heißen Tagen, führt insbesondere bei Weizen zu Ertragsverlusten. Das zukünftige Auftreten von Früh-, Spät- und Kahlfrösten sinkt in Deutschland insgesamt. Durch das frühere Einsetzen der Vegetationsperiode könnte das Risiko für Schäden durch Spätfröste jedoch wieder steigen (Gömann u. a., 2015). Die Folgen von Spätfrösten ließen sich dieses Jahr beobachten. Durch Fröste Ende April 2017 wurden in Baden-Württemberg ca. ein Viertel des Weinbaus und ein Drittel des Obstanbaus sehr stark geschädigt (BW Agrar, 2017).

2.2.2 Auswirkungen von Niederschlagsänderungen: Von Starkregen bis Trockenheit

Starkregen verursachen extreme Nässe, welche zu Sauerstoffmangel bei Pflanzen und so zu verringertem Wachstum führt. Zudem steigt die Anfälligkeit für andere Schadereignisse und bei längeren Nässeperioden können Pflanzen faulen. Im schlimmsten Falle stirbt die ganze Pflanze bzw. der ganze Baum (Gömann u. a., 2015). Durch eine Zunahme der Niederschläge im Winter ist zu erwarten, dass besonders in Regionen mit Marsch- und Lössböden sowie in Jungmoränenlandschaften das Risiko zur Bodenverdichtung und Staunässe wächst (UBA, 2011).

In vielen Regionen steigt durch den Klimawandel die Hagelwahrscheinlichkeit und besonders im Sommer kann es vermehrt zu Starkregenereignissen kommen. Dies kann zu hohen Ernteverlusten führen. Bisher sind für das laufende Jahr 2017 aufgrund von Unwettern mit Starkregen und Hagel in Mitteldeutschland Ertragseinbußen von bis zu 10 Millionen Euro zu verzeichnen (Awater-Esper, 2017). Starkregenereignisse haben zudem negative, indirekte Auswirkungen. In Kombination mit ausgetrockneten Böden steigern sie das Erosionspotenzial. So können landwirtschaftliche Böden humoses Oberflächenmaterial verlieren und Nährstoffe ausgewaschen werden. Als Konsequenz sinken Bodenfruchtbarkeit und somit der Ertrag. Regionale Schwerpunkte der Zunahme der Erosionsgefährdung in naher Zukunft liegen in Rheinland-Pfalz (Eifel und Hunsrück) sowie in ferner Zukunft auch im Hessischen Berg- und Hügelland (siehe Abbildung 3). Durch Starkregen wächst darüber hinaus die Wahrscheinlichkeit von Überschwemmungsereignissen, die zu großen Ernteverlusten führen können (UBA, 2011). Als indirekte Folge könnten durch die vermehrte Inanspruchnahme von Flächen für den Hochwasserschutz möglicherweise Landnutzungskonflikte entstehen. Dies verdeutlicht, dass die Landwirtschaft kein isolierter Sektor ist, sondern zusammen mit anderen Akteuren und Sektoren agieren muss, um sowohl aus einzelbetrieblicher, als auch aus sektorübergreifender Perspektive, die Klimaresilienz zu erhöhen.

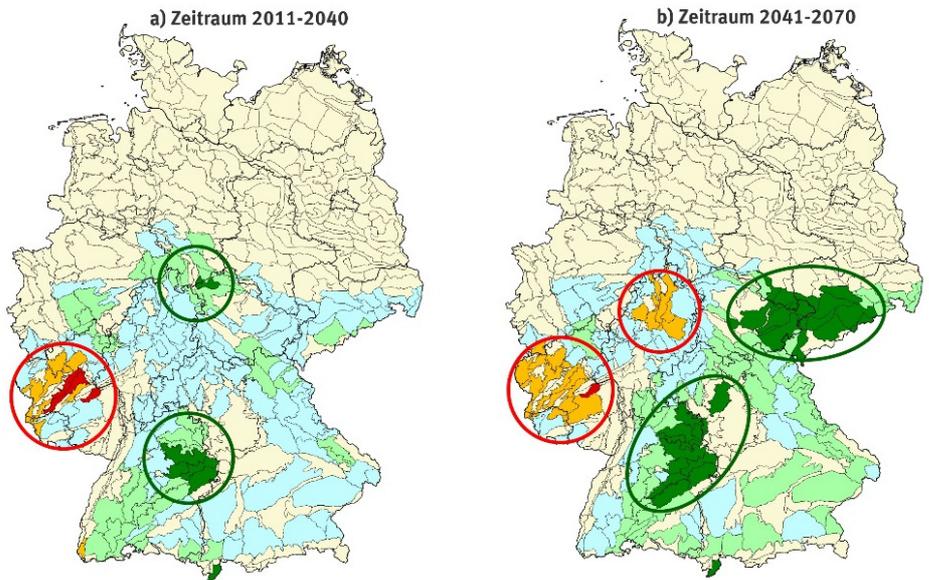
Abbildung 3: Erosionsgefährdung durch veränderte Niederschlagsintensität

Veränderung der standörtlichen, potenziellen Erosionsgefährdung durch Wasser in Folge des Klimawandels (veränderte Niederschlagsintensität)

Veränderung gegenüber Zeitraum 1971-2000



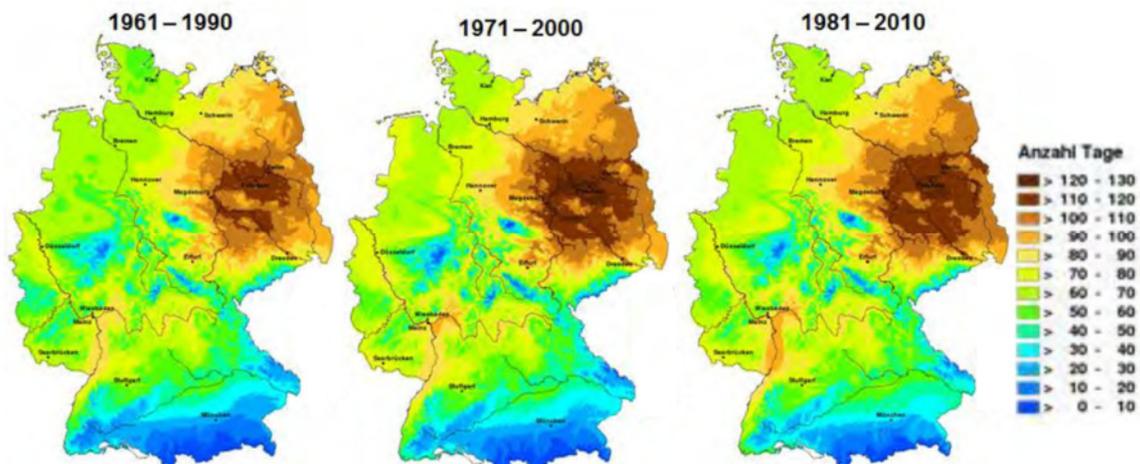
Kartengrundlage:
a) Naturräumliche Gliederung v. Deutschland, Bundesamt für Naturschutz, Stand 2008



Quelle: Wurbs und Steininger (2011), zitiert nach UBA (2016a)

Durch den Klimawandel kann es besonders im Sommer zu Trockenheitsperioden kommen. Trockenstress führt bei Pflanzen zu einer Unterversorgung von Nährstoffen und Wasser. Weitere negative Auswirkungen für das Agrarökosystem sind die gesteigerte Anfälligkeit des Bodens für Winderosion, verringerter Humusaufbau und sinkende Wirksamkeit von Pflanzenschutzmitteln (Gömman u. a., 2015). Zwar ist im Allgemeinen für Deutschland keine Wasserknappheit zu erwarten, jedoch kommt es durch den Klimawandel zu steigenden regionalen Unterschieden und jahreszeitlicher Variabilität von Niederschlagsmengen. Durch eine hohe Verdunstungsrate und geringeren Niederschlag in den Sommermonaten ist besonders Nordostdeutschland anfällig für Wasserknappheit (Gömman u. a., 2015). Dies führt in steigender Tendenz zu Tagen mit geringer Bodenfeuchte von unter 50% nutzbarer Feldkapazität (nFK; siehe Abbildung 4). Besonders durch das Zusammenspiel mit den sandigen Böden Nordostdeutschlands kann es durch Trockenstress bei Getreide zu Ertragsverlusten von bis zu 14% kommen (Lotze-Campen u. a., 2009).

Abbildung 4: Sommerliche Tage mit Bodenfeuchten unter 50% nutzbarer Feldkapazität



Quelle: DWD Klimaatlas, zitiert nach Gömman u. a. (2015)

Im Wechselspiel von Niederschlagsänderungen und Temperaturveränderungen sowie zunehmenden Extremwetterereignissen kann das Vorkommen und Schadensausmaß von Schadorganismen positiv oder negativ beeinflusst werden. Präzise Vorhersagen sind auch hier schwierig. Die Auswirkungen variieren je nach Kulturpflanze, Schadorganismus und Umweltbedingungen. Es ist daher anzunehmen, dass die Zunahme oder Abnahme von Schadorganismen durch den Klimawandel regional sehr unterschiedlich ausfallen wird (Juroszek & von Tiedemann, 2013; Seidel, 2014).

2.2.3 Auswirkungen von veränderter CO₂-Konzentration: Pflanzenwuchs und Wasserverfügbarkeit

Die Konzentration des atmosphärischen CO₂ ist besonders für sogenannte C3-Pflanzen, also viele Kulturpflanzen der mittleren Breiten wie Weizen, Roggen, Zuckerrüben und Soja relevant. Für diese ist die derzeitige CO₂-Konzentration suboptimal, so dass ein Anstieg der Konzentration ihr Wachstum potentiell fördert (Gömann u. a., 2017). Allerdings spiegelt sich dieser Düngeeffekt teilweise nur in steigender Biomasse und nicht zwingendermaßen in einem gesteigerten Ertrag wieder (UBA, 2015d). Auch kann der Nährwert von pflanzlichen Produkten gemindert werden. So zeigen Studien, dass durch erhöhte atmosphärische Kohlendioxidkonzentration Zucker- und Stärkewerte von Nahrungspflanzen steigen, der Anteil von Proteinen und ernährungswichtigen Mineralien wie Kalzium, Zink und Eisen jedoch sinkt (Loladze, 2014).

Die veränderte CO₂-Konzentration gewinnt auch in Interaktion mit anderen Klimavariablen an Bedeutung. So zeigen Studien, dass Kulturpflanzen unter höheren CO₂-Konzentrationen Hitze besser vertragen können und sich die Wasserverfügbarkeit von C3- als auch von C4-Pflanzen wie Hirse oder Mais verbessert. Möglicherweise können dadurch negative Folgen extremer Witterungsverhältnisse wie Hitze oder Trockenheit in Deutschland abgeschwächt oder gar kompensiert werden. Die Wechselwirkungen zwischen CO₂-Konzentrationen, Temperatur, Niederschlag und Nährstoffverfügbarkeit sind jedoch bisher noch nicht ausreichend erforscht (Gömann u. a., 2017).

2.3 Auswirkungen auf die Nutztierhaltung in Deutschland

2.3.1 Auswirkungen von Temperaturveränderungen: Hitzestress und Krankheiten

Die Nutztierhaltung ist durch den Klimawandel direkt betroffen. Erhöhte Temperaturen beeinträchtigen Tiere in ihrer Gesundheit und Leistung. Hochleistungsmilchviehrassen haben beispielsweise ein Temperaturoptimum von 20 °C. Dieses wird bereits aktuell im Sommer oft überschritten. Hitzestress betrifft dabei sowohl Tiere in Weidehaltung als auch in Stallungssystemen und kann zu Gesundheitsproblemen wie Hitzschlag und Kreislaufkollaps führen. Hohe Luftfeuchtigkeit bereitet den Tieren zusätzlichen Stress. Folgen sind die Abnahme der Fruchtbarkeit und das Sinken von Milchleistung und -qualität (Lotze-Campen u. a., 2009). Andere Nutztierarten wie Geflügel und Schweine sind ebenso von erhöhter Mortalität und Kreislaufversagen betroffen. Schafe hingegen erweisen sich als hitzetoleranter (Döll & Schulze, 2010).

Für alle Tierarten steigt das Risiko der Übertragung von wärmeliebenden Krankheiten wie Salmonellen. Dies ist u. a. darauf zurückzuführen, dass die Leistung des tierischen Immunsystems bei Hitzestress verringert ist (Döll & Schulze, 2010). Zudem verbessern sich mit den steigenden Temperaturen die Lebensbedingungen von Seuchenerregern, Parasiten und

Vektoren wie Fliegen, Mücken und Gnitzen (kleine, blutsaugende Fliegen) (Schwerin, 2012). In Baden-Württemberg, der wärmsten Region Deutschlands, wurde in den letzten Jahren eine Reihe von neu aufgetretenen, vektorübertragenen Krankheiten beobachtet (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Neu aufgetretene Vektor-Erkrankungen von Tieren in Baden-Württemberg

Seuche	Erreger	Vektoren	Betroffene Tierarten
Blauzungenkrankheit	Reovirus	Gnitzen und Stechmücken	Wiederkäuer
Schmallenberg-Virus	Orthobunyavirus	Gnitzen und Stechmücken	Wiederkäuer
Usutu-Virus	Flavivirus	Stechmücken	Insbesondere Vögel

Quelle: LTZ Augustenberg (2013)

Der Schmallenberg-Virus, welcher vor 2011 in Deutschland unbekannt war, hat sich innerhalb eines Jahres im ganzen Bundesgebiet verbreitet. Inzwischen haben Rinder dagegen eine Immunität ausgebildet, so dass die Krankheit in Deutschland bereits ihre Relevanz verloren hat (LTZ Augustenberg, 2013). Allgemein ist aber anzunehmen, dass sich mittel- und langfristig neue Tierkrankheiten in Deutschland ausbreiten.

2.3.2 Auswirkungen von Niederschlagsänderungen: Trockenstress für die Futterwirtschaft

Änderungen in den Niederschlagsmengen wirken sich besonders auf die Futterwirtschaft aus. Lange Trockenheitsphasen und andere Extremwetterereignisse können sich negativ auf Grünlandflächen auswirken. Diese benötigen pro Einheit produzierter Biomasse mehr Wasser als Ackerpflanzen und sind daher besonders anfällig für Wassermangel (Weigel, 2016). Das zeigte sich auch im Jahr 2003, als der Jahrhundertssommer viele Landwirt/innen zum Zukauf von teuren Futtermitteln zwang und dadurch zu erhöhten Produktionskosten führte (BMEL 2017). Auch kann Trockenheit im Zusammenspiel mit höheren Temperaturen den Unkrautdruck auf Grünlandflächen erhöhen (LfULG, 2009). Nässe kann hingegen Weidegang verhindern, Flächen unbefahrbar machen und zu Kornverlusten der Maissilage führen. Indirekt kann sich Wasserüberschuss durch Anstieg von Pilzinfektionen bei allen Getreidearten negativ auf Schweine und Geflügel auswirken, welche besonders empfindlich auf Schimmelpilzgifte im Futter reagieren (AgriAdapt, 2017).

2.3.3 Auswirkungen von veränderter CO₂-Konzentration: Verbesserte Grünlandproduktivität

Die gesteigerte CO₂-Konzentration könnte insbesondere auf die Grünlandproduktivität einen positiven Effekt haben (Weindl u. a., 2015). Durch verbesserte Wassernutzungseffizienz können dadurch möglicherweise auch die erwähnten negativen Effekte von Trockenheit teilweise ausgeglichen werden. Insgesamt sind noch viele Auswirkungen des Klimawandels auf die Tierhaltung unbekannt. Es besteht daher ein großer Forschungsbedarf (UBA, 2015d).

2.4 Zusammenfassung und Wirkungsketten von Klimaauswirkungen für die Landwirtschaft

Die Zusammenhänge der Klimawirkungen in der Landwirtschaft können schematisch in einer Wirkungskette² dargestellt werden (siehe Anhang 1). Veränderte Temperaturen, Niederschläge,

² Solche Wirkungsketten wurden für die Bewertung der Vulnerabilität Deutschlands (2015c) im Rahmen der DAS für insgesamt 16 Handlungsfelder erstellt und im Jahr 2016 aktualisiert.

CO₂-Konzentration und Extremwetterereignisse wirken sich auf den Ertrag in der Pflanzenproduktion aus. Höhere Temperaturen beeinflussen direkt die Agrarphänologie und führen zu einer längeren Vegetationsphase. Dies birgt Chancen für den Anbau neuer Arten, kann aber auch negative Folgen haben, beispielweise für die Kornfüllung von Getreide. Zudem kann die mildere Witterung Lebensbedingungen von Schadorganismen begünstigen und sich daher negativ auf die Pflanzengesundheit auswirken. Auch rufen häufigere und intensivere Extremwetterverhältnisse wie Starkregen oder Hagel Schäden in den Pflanzen hervor. Veränderte Niederschlagsregime wirken direkt auf die klimatische Wasserbilanz. Kritisch betroffen sind vor allem Standorte mit einer Kombination aus sandigen Böden und einem Rückgang von Niederschlägen. Positiv könnte die steigende atmosphärische CO₂-Konzentration auf das Wachstum von Pflanzen und ihre Wassernutzungsfähigkeit wirken. Auch die Nutztierhaltung ist direkt und indirekt vom Klimawandel betroffen. Eine direkte Herausforderung ergibt sich besonders durch Hitzestress und vektorübertragene Krankheiten. Indirekt wirkt sich die veränderte Pflanzenproduktion auf die Futtermittelwirtschaft aus.

Klimaereignisse wie z.B. Hochwasser wirken sich indirekt auch auf landwirtschaftliche Infrastruktur (zum Beispiel auf Höfe und Fahrwege) aus. Eine weitere wichtige indirekte Folge sind Auswirkungen auf Weltagrarpreise aufgrund von Klimawandelfolgen in anderen Regionen der Erde. Simulationen prognostizieren einen Anstieg der Agrarpreise um 15 bis 20% bis 2050 (Wiebe u. a., 2015). Dies würde einerseits die Kosten von externen Betriebsmitteln (z. B. Dünger und Tierfutter) erhöhen, könnte jedoch auch zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von deutschen Betrieben auf dem Weltmarkt führen.

Die Abbildung in Anhang 1 verweist auch auf Überschneidungen zu anderen Handlungsfeldern der DAS. Eine direkte Verbindung besteht zur biologischen Vielfalt, zum Beispiel durch das Auftreten von Schadorganismen, und der Verschiebung des Anbauspektrums. Zudem hängt die Landwirtschaft von Klimawirkungen auf andere Handlungsfelder wie Böden (zum Beispiel Humusverlust durch Erosion) und Wasserhaushalt (zum Beispiel Hochwasser und Wasserverfügbarkeit) ab.

Insgesamt ergeben sich durch den Klimawandel sowohl Chancen als auch Risiken für die deutsche Landwirtschaft, welche jeweils einen stark regionalen Charakter aufweisen. Im Folgenden werden Strategien und Maßnahmen vorgestellt, die den Umgang mit Klimaänderungen aufzeigen und das Potential haben die Klimaresilienz der deutschen Landwirtschaft zu erhöhen.

3 Politische Anpassungsaktivitäten auf Bundesebene

Im Jahr 2008 hat die Bundesregierung die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) beschlossen. Diese hat das langfristige Ziel „die Verwundbarkeit gegenüber den Folgen des Klimawandels zu mindern bzw. die Anpassungsfähigkeit natürlicher, gesellschaftlicher und ökonomischer Systeme zu erhalten oder zu steigern und mögliche Chancen zu nutzen“ (Bundesregierung, 2008, S. 4). Zur Ableitung von Handlungsoptionen wurden verschiedene Handlungsfelder identifiziert, die vom Klimawandel betroffen sind. Landwirtschaft ist dabei eines der insgesamt 16 adressierten politischen Handlungsfelder.

Mit der DAS wurde ein Prozess initiiert, der die Festlegung und stete Aktualisierung von konkreten Maßnahmen des Bundes, eine Vulnerabilitätsbewertung Deutschlands und ein regelmäßiges Monitoring vorsieht. Erstmals wurden 2011 im Aktionsplan Anpassung (APA I)

konkrete Maßnahmen vorgelegt (Bundesregierung, 2011). Im Jahr 2015 wurde der Aktionsplan Anpassung II (APA II) als Teil des ersten Fortschrittsberichts zur DAS fortgeschrieben. Im Handlungsfeld Landwirtschaft sind mehrere Forschungsaktivitäten des Bundes geplant, die sich im Wesentlichen den Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln unter geänderten Klimabedingungen widmen (Bundesregierung, 2015). Der Ende 2015 erschienene erste Fortschrittsbericht zur DAS enthält ebenfalls eine Vulnerabilitätsanalyse. Die Vulnerabilität der deutschen Landwirtschaft gegenüber Klimafolgen wird auf Grund von kurzen Bewirtschaftungszeiträumen und guten Anpassungsmöglichkeiten insgesamt als eher gering eingeschätzt (UBA, 2015d). Als Verantwortliche für die Entwicklung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen benennt die DAS Akteure von landwirtschaftlichen Betrieben, der Landwirtschaftskammern, der Tier- und Pflanzenzüchtung, der Beratungswirtschaft sowie der Politik. Neben der Verminderung der Verletzlichkeit hat die DAS das Ziel durch Anpassungsmaßnahmen Synergien zwischen Landwirtschaft und anderen Handlungsfeldern wie Naturschutz, Bodenschutz und Klimaschutz herzustellen und zu fördern (Bundesregierung, 2008). Beispielsweise können durch Naturschutzmaßnahmen wie Moorschutz Moore als Wasserrückhaltegebiete aufrechterhalten werden. Dadurch werden Extremwetterereignisse entschärft und Klimafolgen für die Landwirtschaft vermindert. Andererseits würde eine intensivere Bekämpfung eines vermehrten Schädlingsaufkommens durch chemische Pflanzenschutzmittel Naturschutzzielen entgegenwirken.

Auch direkte finanzielle Ausgleichsmaßnahmen für Schäden in Folge des Klimawandels sind vom Bund vorgesehen. So wurde 2015 die „Nationale Rahmenrichtlinie zur Gewährung staatlicher Zuwendungen zur Bewältigung von Schäden in der Land- und Forstwirtschaft verursacht durch Naturkatastrophen oder widrige Witterungsverhältnisse“ auf Antrag des BMEL durch die Europäische Kommission genehmigt (BMEL, 2017). In dringenden Schadsituationen durch Extremwetterereignisse wie Überschwemmungen oder starkem Frost soll Landwirt/innen so finanzielle Hilfe zukommen.

4 Anpassungsoptionen für die Landwirtschaft

Wie weitreichend Anpassungsmaßnahmen umgesetzt und weiterentwickelt werden, ist entscheidend dafür, wie sich die deutsche Landwirtschaft in Folge des Klimawandels entwickeln wird (Weigel 2011). Dies gilt allumfassend von der Wahl der richtigen Sorte im Ackerbau, über Stallsysteme in der Tierhaltung bis zum Management von landwirtschaftlichen Betrieben. Um bewerten zu können, ob eine Anpassungsmaßnahme sinnvoll ist, hat das Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung (KomPass) des Umweltbundesamts ein Set von Kriterien entwickelt. Anpassungsmaßnahmen werden hier als sinnvoll eingestuft, wenn sie wirksam, robust (das heißt auch unter verschiedenen Klimaszenarien wirksam), nachhaltig und finanziell tragbar sind. Außerdem sollten sie flexibel, also mit geringem Kostenaufwand veränderbar sein. Als weiteres Kriterium sollten sie positive Nebeneffekte auch für andere Sektoren aufweisen. In diesem Sinne müssen Anpassungsmaßnahmen sowohl agrarökonomischen Zielsetzungen, als auch weitergehenden ökologischen und gesellschaftlichen Ansprüche gerecht werden (UBA, 2015b).

Im Folgenden werden einige Maßnahmen vorgestellt, die teilweise bereits in der Praxis umgesetzt werden und/oder noch Forschungs- und Weiterentwicklungsbedarf vorweisen.

4.1 Fruchtfolgen, Sorten- und Artenwahl

Die Anpassung von Arten- und Sortenwahl ist eine wichtige Maßnahme in der Anpassung an den Klimawandel. Durch die Wahl von wassernutzungseffizienteren Arten und tiefwurzelnden und hitzeresistenten Sorten können Ernteverluste durch Trocken- und Hitzestress eingedämmt oder vermieden werden. Innerhalb der Fruchtfolgen besteht die Möglichkeit, ein erweitertes Kulturartenspektrum zu nutzen, auch um durch Diversifizierung das Ernteverlustrisiko zu streuen. Beispielsweise könnten Fruchtfolgen von C4- und C3-Pflanzen an Bedeutung gewinnen, da C4-Pflanzen durch weniger Verdunstung in trockenen Perioden überlegen sein sollten und andererseits C3-Pflanzen Ertragssteigerungen durch erhöhte CO₂-Konzentration erfahren dürften³ (Weigel 2011). In den wärmeren Wintermonaten könnte auf neue Arten wie Winterhafer oder Winterleguminosen zurückgegriffen werden. Durch Temperatursteigerungen, verlängerten Vegetationsperioden und in einigen Gebieten zunehmende Trockenheit in den Sommermonaten kann das Anbauspektrum besonders mit trockenresistenten Arten wie Hirse, Sudangras oder Miscanthus erweitert werden (LfULG, 2009). Auch der Anbau von Zwischenfrüchten kommt als Anpassungsmaßnahme in Frage. Durch einen dauerhaften Bewuchs kann Erosionsgefahr besonders auf leichten Böden verringert werden. In trockenen Gebieten ist allerdings zu beachten, dass die Zwischenfrüchte möglicherweise eine Wasserkonkurrenz für Nachfrüchte darstellen (Christen, 2008). Zum Boden- und Erosionsschutz eignen sich zudem Agroforstsysteme und das Anlegen von Hecken und Grünstreifen quer zum Gefälle bei Ackerflächen in Hanglage (UBA, 2016b). Auch ist die Anpassung der Saatzeiten eine wichtige Strategie an die veränderte Vegetationsperiode. Bei Sommerkulturen muss gegebenenfalls die Aussaat vorgezogen werden, um Ertragsverluste durch sommerliche Trockenheit zu vermeiden. Im Herbst kann später gesät werden, um so den Schädlings-, Krankheits- und Unkrautdruck zu minimieren (LTZ Augustenberg, 2008).

Die Pflanzenzüchtung muss besonders auf erhöhte Temperaturen, Trockenstress und veränderten Schädlingsdruck reagieren. Potential bieten auch die Züchtung von standortangepassten Sorten sowie die Ausrichtung von Kulturpflanzen auf eine optimale Ausnutzung des CO₂-Düngeeffekts. Ein hohes Maß an Biodiversität von Wild- und Nutzpflanzen ist dabei eine essentielle genetische Quelle für die weitere Pflanzenzüchtung. Arten- und Naturschutz sind daher unabdingbar, um die genetische Vielfalt einer klimaangepassten Landwirtschaft zu sichern (Weigel 2011).

Durch Anpassung der Sortenwahl und in der Fruchtfolge sowie züchterisch angepasste Sorten lassen sich Ernteverluste voraussichtlich nur teilweise kompensieren (UBA, 2012). Effektiv sind Anpassungsmaßnahmen besonders, wenn sie ein weites Spektrum von Betriebsvorgängen miteinbeziehen. Im Folgenden wird daher auf weitere Maßnahmen eingegangen.

4.2 Schonende Bodenbearbeitung und zielgerichtete Pflanzenernährung

Durch Maßnahmen bei der Bodenbearbeitung können Prozesse und Eigenschaften wie Erosionswahrscheinlichkeit, Nährstoffaustrag, Verdunstung, Wasseraufnahmevermögen, Humusbildung und Bodenleben beeinflusst werden. Es muss zwischen Bodenbearbeitung durch Pflügen und pfluglosen Bodenbearbeitungsmethoden unterschieden werden. Bei pfluglosen Methoden, wie der konservierenden Bodenbearbeitung und der Direktsaat, wird der Boden nicht

³ Ein Beispiel für eine solche Fruchtfolge ist der Anbau einer wassereffizienten C4-Kultur wie Mais oder Hirse im Sommer und einer C3-Folgekultur aus Roggen oder Weizen.

gewendet. Durch Ausbildung einer Mulchschicht im obersten Bodenhorizont wird so gleichzeitig die Verdunstung reduziert und die Wasserinfiltration gesteigert. Dadurch ist mehr Wasser für Pflanzen verfügbar und der Oberflächenabfluss kann minimiert werden. Dies verringert die Erosionsgefahr und Hochwasserwahrscheinlichkeit. Zudem kann die Verdichtung des Unterbodens (Pflugsohlen) vermieden werden. Bei Böden die zuvor jahrelang mit dem Pflug bearbeitet wurden, können konservierende Bearbeitungsverfahren jedoch zur Verdichtung von Böden führen. Dem kann je nach Standort zum Beispiel mit tiefwurzelnden Leguminosen entgegengewirkt werden (Daubitz, 2010). Da die konservierende Bodenbearbeitung mehr CO₂ im Boden speichert und verbesserte Lebensbedingungen für Wildtiere schafft, ergibt sich eine positive Synergiewirkung mit dem Klima- und Naturschutz (Jat, Sahrawat, & Kassam, 2014). Pfluglose Bodenbearbeitung hat jedoch auch Nachteile. Beispielsweise dient die Pflugbodenbearbeitung besonders im Ökolandbau als wichtiges Mittel zur Unkrautbekämpfung (Bloch & Bachinger, 2010). Im konventionellen Landbau könnte die Wahl von konservierenden Methoden einen stärkeren Herbizideinsatz zur Folge haben. Insbesondere in trockenen Regionen wie Nordostdeutschland dürfte die konservierende Bodenbearbeitung in Zukunft dennoch eine große Rolle spielen. Als Entscheidungshilfe für Landwirt/innen ist im Rahmen des Projekts „Innovationsnetzwerk Klimaanpassung Brandenburg Berlin“ (INKA BB) der „Pfluglotse“ erschienen⁴. Mit diesem Onlinetool kann standortgerecht und zielorientiert über die Anwendung von Pflug, Mulch- oder Direktsaat entschieden werden.

Bei der Pflanzenernährung spielen insbesondere der Zeitpunkt des Ausbringens und die Menge des Düngers eine Rolle. Oft ist Dünger im Boden nicht pflanzenverfügbar, wenn nach seiner Ausbringung nicht genügend Niederschlag vorhanden ist (Gömann u. a. 2015). Zudem kommt es besonders in den milden, niederschlagreichen Wintern zu mehr Stickstoff-Mineralisierung und Auswaschung (Bloch & Bachinger, 2010). Daher sollte die Ausbringung flexibel an Witterungsverhältnisse und den damit verbundenen Pflanzenbedarf angepasst werden. Zudem zeigen Studien Möglichkeiten auf alternative Düngeverfahren wie Injektions- und Unterfußdüngungsverfahren sowie Blattdüngung anzuwenden und weiterzuentwickeln (LfULG, 2009). In einem Projekt des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie wurde auf drei Versuchsstandorten erforscht, ob das Injektionsverfahren im Zuge des Klimawandels eine effektive Düngemethode darstellt. Bei dieser Methode wird flüssiger Dünger in Form von hochkonzentrierten Depots direkt in den Boden eingebracht. Anders als bei festen Stickstoffdüngern müssen die Nährstoffe nicht gelöst werden, so dass auch bei Trockenheit Dünger verfügbar ist. Im Ergebnis war die Methode auf sandigen, trockenen Standorten der konventionellen Stickstoffdüngung überlegen und könnte so in manchen Regionen eine Anpassungsoption darstellen (LfULG, 2011).

4.3 Effektives Wassermanagement

Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, beeinflusst die Bodenbearbeitung das für Nutzpflanzen verfügbare Wasser. Allerdings wird dies als Anpassungsoption für viele trockene Standorte nicht ausreichen. An diesen wird zusätzliches Wasser benötigt werden (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz, 2012). Bisher werden in Deutschland nur etwa 3,8% der landwirtschaftlichen Nutzfläche bewässert. Im Kontext des Klimawandels gewinnt Beregnung als Anpassungsmaßnahme besonders in Regionen mit zunehmender Trockenheit an Bedeutung (Gömann u. a. 2015). Für bestimmte Kulturen wie Obst,

⁴ www.klima-bob.de/login/Pflug-Lotse/

Salat, Kartoffel und Zuckerrüben wird Bewässerung bei steigender Trockenheit sogar unumgänglich sein. Da dies nur bei entsprechendem Wasserangebot möglich ist, werden Bewässerungsmöglichkeiten in manchen Regionen eingeschränkt sein oder möglicherweise zu Wassernutzungskonflikten führen. Um einen effizienten Umgang mit knappen Wasserressourcen zu gewährleisten, kann es daher sinnvoll sein, auf wassersparende Verfahren wie die in Deutschland bisher wenig genutzte Tröpfchenbewässerung zurückzugreifen, die jedoch nur für ein eingeschränktes Spektrum von Kulturen geeignet ist. Da solche Technologien mit höheren Kosten verbunden sind, muss ihre Wirtschaftlichkeit im Einzelfall geprüft werden (UBA, 2012). Grundsätzlich erscheint es sinnvoll Maßnahmen zur regionalen Wasserrückhaltung und saisonalen Speicherung von Regenwasser zu fördern, statt Grundwasser für die Bewässerung zu nutzen. So würde Regenwasser aus feuchten Wintern im Sommer effektiv genutzt werden (UBA, 2016b).

Zur Ertragssicherung bei Nässe sind verbesserte Entwässerungsmaßnahmen relevant. Zur Ableitung von Wasser kommen verschiedene Systeme von Dränungs- oder Grabenentwässerung in Frage, wobei hierbei auf wirksamen Nährstoffrückhalt zu achten ist, damit keine zusätzlichen Belastungen der Vorfluter entstehen. Auf Grund der hohen Investitionskosten muss sowohl für Beregnungs- als auch für Entwässerungssysteme im Einzelfall der landwirtschaftliche Betrieb die langfristige Rentabilität ermitteln. Investitionen sollten ggf. stärker durch öffentliche Förderprogramme unterstützt werden (Gömann u. a., 2015).

4.4 Integrierter Pflanzenschutz

Der Klimawandel birgt Herausforderungen im Umgang mit verändertem Befallsdruck durch Schädlinge, Krankheiten und Unkräuter. Daher sollte auch der Pflanzenschutz angepasst werden. Hierbei ist zu beachten, dass sich ein übermäßiger Einsatz von Pestiziden problematisch auf Ökosysteme und Biodiversität auswirkt (van der Sluijs u. a., 2015). Pestizide haben beispielsweise einen negativen Effekt auf die Gesundheit und die Überwinterungschancen von Bienen, die essenziell für die Bestäubung von Kultur- und Wildpflanzen sind (Woodcock u. a., 2017). Eine aktuelle Studie zeigt, dass die Biomasse der Insekten in Deutschland in den letzten 27 Jahren um 76% zurückgegangen ist. Als mögliche Ursache nennen die Autoren die zunehmende Intensivierung der Landwirtschaft (Hallmann u. a., 2017). Es sollten daher verstärkt Alternativen zu chemischem Pflanzenschutz zum Einsatz kommen, wie zum Beispiel die Verwirrmethode für Maiszünsler im Maisanbau, die bereits in Frankreich angewendet wird oder der Anbau von Opferpflanzen im Gemüsebau (van der Sluijs u. a., 2015).

Zu einem klimaangepassten, integrierten Pflanzenschutz zählt auch das regelmäßige Monitoring von Schaderregern, um früh und effizient auf diese reagieren zu können. Auch Diversität auf vielen Ebenen des Anbausystems kann das Risiko von Schäden an Pflanzenbeständen vermindern. Das verstärkte Anlegen von Mischkulturen und viergliedrige Fruchtfolgen gewinnen dabei an Bedeutung (BLV 2011). Ebenso können Hecken, Blühstreifen und Feldgehölz Nützlinge wie Marienkäfer und Nutzwespen anlocken, welche als natürliche Konkurrenten das Aufkommen von Schadorganismen reduzieren können (ISOE, 2014). In größerem Maßstab kann auch räumliche Vielfalt negativen Klimafolgen durch Schaderreger vorbeugen. Innerhalb von Betrieben, aber auch innerhalb von Regionen ist daher ein hohes Maß an Sortenvielfalt anzustreben.

4.5 Optionen für die Tierhaltung

Um Verluste in der Tierhaltung zu vermeiden, muss insbesondere der Hitzestress und der Krankheitsdruck für die Tiere verringert werden. Eine mögliche Strategie dazu wäre die Ausrichtung von Züchtungsvorhaben auf wärmetolerante, robuste und krankheitsresistente Tiere (DGfZ, 2012). Denkbar sind etwa Kreuzungsversuche mit Rassen aus wärmeren Klimazonen wie Australien. Um Herausforderungen wie erhöhter Seuchengefahr zu begegnen, bedarf es außerdem weiterer Forschung zu Krankheitserregern und Vektoren.

Landwirtschaftliche Betriebe werden mittelfristig in zusätzliche Belüftungs- und Klimatisierungssysteme sowie in Staubschutz für ihre Ställe investieren müssen. In der intensiven Geflügel- und Schweinehaltung ist damit zu rechnen, dass durch solche Maßnahmen die Energiekosten um ca. 10% ansteigen oder der Tierbestand pro Stallfläche um 10% verringert werden müsste (Lotze-Campen u. a., 2009). Besonders die Entwicklung von neuen offenen Stallhaltungs- und Weidesystemen ist eine wichtige Strategie, um Hitzestress zu vermeiden. Hier besteht Forschungsbedarf für ganzheitliche Systeme, die sowohl den Genotyp der Nutztiere als auch ökonomische und ökologische Auswirkungen mit einbeziehen (DGfZ, 2012). Bei der Weidehaltung sollte besonders auf das Schattenangebot durch Bäume, ausreichende Futtermittelversorgung und Trinkmöglichkeiten geachtet werden. Auch die Anpassung der Futterqualität ist relevant, da Tiere bei Hitzestress weniger Nahrung zu sich nehmen. Dabei sollte besonders auf eine Erhöhung des Energieanteils und ein ausgewogenes Verhältnis von Rohfasern und Eiweißen geachtet werden (Lotze-Campen u. a., 2009). Zudem kann das Artenspektrum auf Grünlandflächen um tiefwurzelnde Arten, trockenheitsverträgliche Gräser und aktuell wenig verbreitete Futterleguminosen erweitert werden (Weigel 2016).

4.6 Ökolandbau: Spezifische Maßnahmen und Beitrag zur Anpassung

Im Kontext des Klimawandels birgt der Ökolandbau eine Reihe von spezifischen Vorteilen und Herausforderungen. Im Ökolandbau wird von einer großen Bandbreite von Kulturpflanzen und Sorten bzw. Tierrassen mit spezifischer Standorteignung Gebrauch gemacht. Durch diese Vielfalt kann die Resilienz der Agrarökosysteme durch breitere Risikostreuung steigen. Auch die für den ökologischen Landbau typische schonende, humusanreichernde Bodenbearbeitung ist als eine gute Anpassungsmaßnahme gegenüber Witterungsextremen wie Trockenheit oder Starkregen zu bewerten. Nachteilig auswirken könnte sich besonders die durch den Klimawandel erhöhte bakterielle Stickstoffmineralisierung, die durch mildere Winter und verstärkte Stickstoffauswaschung durch Starkregeneignisse entsteht. Diesem Phänomen kann in der ökologischen Landwirtschaft, anders als in der konventionellen Landwirtschaft, nicht kurzfristig durch mineralischen Stickstoffdünger entgegengewirkt werden. Dies könnte künftig zu erheblichen Ertragseinbußen führen (Weigel, 2011). Eine mögliche Anpassungsmaßnahme ist der Zwischenfruchtanbau mit Leguminosen, die zur Stickstofffixierung beitragen. Allerdings sind solche Praktiken besonders in Gebieten mit zunehmender Trockenheit stark eingeschränkt.

Um diesen Herausforderung zu begegnen, wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens INKA BB mit einem wassereffizienten Stoppelsaatverfahren experimentiert. Durch flache Stoppelbearbeitung mit Hilfe eines Ringschneiders konnte der kapillare Aufstieg unterbrochen und Restfeuchte genutzt werden, um Wasserverluste zu minimieren. Als Nachteil des Verfahrens sind hohe Saatkosten zu nennen (Bloch, Bachinger, & Häring, 2014). Für diese und andere Maßnahmen herrscht weiterhin großer Forschungsbedarf. Wesentlich für den Ökolandbau und

den Ackerbau allgemein ist die Erforschung von Kombinationen aus reduzierter Bodenbearbeitung, neuen Fruchtfolgen mit angepassten Sorten und Arten sowie veränderten Aussatterminen und Ansaatetechniken (Bloch u. a., 2014).

Nachhaltigkeit und das positive Wirken auf andere Sektoren gelten als Kriterien für sinnvolle Anpassungsmaßnahmen (UBA 2015b). Verglichen mit konventioneller Bewirtschaftung, leistet der ökologische Landbau bereits heute einen großen Beitrag zum Boden- und Gewässerschutz sowie zum Erhalt von Agrobiodiversität (Gomiero, Pimentel, & Paoletti, 2011). Ökologischer Landbau kann daher Wege zu einer ressourcenschonenden, anpassungsfähigeren Landwirtschaft aufzeigen. Das Anpassungswissen und die Erfahrung der Praktizierenden im Ökolandbau haben daher Potential, eine tragende Rolle für die Zukunft der Landwirtschaft im Allgemeinen zu spielen.

4.7 Ökonomisches Risikomanagement

Um Produktionsrisiken in Folge des Klimawandels entgegenzuwirken, können innerbetriebliche Risikomanagementstrategien helfen. Produktionsprogramme und Einnahmequellen können beispielsweise durch außerlandwirtschaftliche Tätigkeiten im Tourismusbereich diversifiziert werden. Weitere Möglichkeiten sind der Ausbau von Lagerungsmöglichkeiten für Getreide und Reservekapazitäten (Briner, Lehmann, & Finger, 2015; Mußhoff & Feil, 2015).

Eine weitere Option zur finanziellen Absicherung können Versicherungen bieten. Mit der Ausnahme von Hagelschäden haben Landwirt/innen in Deutschland allerdings bisher nur wenige Möglichkeiten, sich gegen Schäden von Extremwetterereignissen zu versichern. Grund dafür ist, dass bei Extremwetterschäden wie Hochwasser oder Dürre viele Betriebe auf einmal betroffen sind, so dass die Kosten für ein einzelnes Ereignis sehr hoch ausfallen. Versicherungsbeiträge sind dementsprechend teuer, und Versicherungsoptionen werden daher nur von wenigen Betrieben genutzt (BMEL 2017). Ein Nebeneffekt solcher Schadensversicherungen ist auch, dass sie Landwirt/innen nur wenige Anreize bieten, proaktiv Vorsorge zu betreiben und selbst Anpassungsmaßnahmen umzusetzen. Eine Möglichkeit, dies zu umgehen, ist der Einsatz von Indexversicherungen. Bei diesen erfolgen Zahlungen nicht auf Grundlage von Schäden einzelner Betriebe, sondern werden nach einem außerbetrieblichen, durchschnittlichen Regionalindex berechnet (Regionsindexversicherungen). Bei Wetterindexversicherungen erhalten Landwirt/innen eine Zahlung, wenn beispielsweise der Niederschlag, gemessen durch eine festgelegte Wetterstation, unterhalb eines langjährigen Mittels bleibt. Bei Indexversicherungen bleibt für die Versicherten dennoch ein Risiko, da sich der tatsächliche Schaden von den gemessenen Durchschnittswerten unterscheiden kann (Mußhoff & Feil, 2015). Eine Studie von Feil und Mußhoff (2015) zeigt, dass sowohl Index- als auch schadensbezogene Versicherungen einen positiven Effekt auf die Risikominimierung landwirtschaftlicher Betriebe in Folge von Extremwetterereignissen haben. Besonders Wetterindexversicherungen erweisen sich als effektiv mit Kostenersparnissen von über 24% gegenüber Schadensversicherungen.

5 Schlussfolgerungen und Diskussionsfragen

Vor dem Hintergrund der in diesem Papier ausgewerteten Studien ergeben sich zusammenfassend folgende Schlussfolgerungen:

- ▶ Die deutsche Landwirtschaft ist insbesondere mittel- und langfristig von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen. Die Veränderungen von Temperatur, Niederschlag, Extremwetterereignissen und CO₂-Konzentration haben Auswirkungen auf Pflanzen, Böden und Nutztiere. Dabei ergeben sich regional unterschiedliche Herausforderungen.
- ▶ Die Pflanzenproduktion ist besonders von der Zunahme extremer Witterungsverhältnisse wie Trockenheit, Hagel und Starkregen betroffen. Auch ein veränderter Schädlings-, Krankheits- und Unkrautdruck ist zu erwarten. Aufgrund der Interaktionen unterschiedlicher Klimafolgen sind eindeutige Prognosen jedoch schwer.
- ▶ Die Nutztierhaltung ist vom Klimawandel direkt durch steigenden Hitzestress und Vektor-übertragene Krankheiten betroffen. Indirekt wirkt sich die veränderte Pflanzenproduktion auf die Futtermittelwirtschaft aus.
- ▶ Durch Anpassungsmaßnahmen auf allen Ebenen des Betriebsablaufs können landwirtschaftliche Betriebe ihre Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel mindern.
- ▶ Um negative Klimafolgen abzufedern, liegt für die Züchtung und den Anbau der Fokus auf robusten, trockenheits- und krankheitsresistenten Sorten, Arten und Rassen.
- ▶ Insbesondere für reduzierte Bodenbearbeitungsmethoden, innovative Düngetechniken und neue Fruchtfolgen mit angepassten Sorten- und Arten besteht Forschungs- und Erprobungsbedarf.
- ▶ Die Versicherungswirtschaft kann durch Produkte für die Herausforderungen des Klimawandels zur Risikominimierung von landwirtschaftlichen Betrieben beitragen.
- ▶ Die Landwirtschaft ist kein isoliertes Handlungsfeld. Handlungsoptionen in der Anpassung an Klimafolgen sollten daher zusammen mit anderen Sektoren wie Naturschutz, Hochwasserschutz, Klimaschutz etc. gedacht und umgesetzt werden.

Diskussionsfragen

Im Rahmen des UBA-Dialogs zur Klimaanpassung „Von Starkregen bis Trockenheit – Anpassungsstrategien für die deutsche Landwirtschaft“ wollen wir daran anknüpfend u.a. folgende Fragen mit Ihnen diskutieren:

- ▶ Welche Risiken und Chancen durch den Klimawandel sind für die deutsche Landwirtschaft zu erwarten?
- ▶ Welche Maßnahmen ergreifen landwirtschaftliche Akteure bereits, um klimawandelbedingten Herausforderungen zu begegnen?
- ▶ Welche Möglichkeiten bestehen für Landwirt/innen, sich auf Klimafolgen vorzubereiten?
- ▶ Welche Rolle wird zukünftig die Be- und Entwässerung spielen?
- ▶ Welche Relevanz hat der Ökolandbau für eine klimaangepasste Landwirtschaft?
- ▶ Wie sollte sich die landwirtschaftliche Praxis ändern, um klimaresilient zu werden? Welche Restriktionen gibt es hierbei?
- ▶ Welche Rahmenbedingungen und Akteure können standortspezifische, klimaresiliente Landwirtschaft befördern?
- ▶ Welche Anforderungen ergeben sich für die Versicherungswirtschaft und politische Akteure um klimawandelbedingte Ernteauffälle abzufedern?

Quellenverzeichnis

- AgriAdapt. (2017). Nachhaltige Anpassung der europäischen Landwirtschaft an den Klimawandel - A1: Grundlagenbericht für die 4 Klimarisikoregionen in der EU. Abgerufen von <https://agriadapt.eu/wp-content/uploads/2017/05/Grundlagenbericht.pdf>
- Anter, J., Gömann, H., Kreins, P., & Richmann, A. (2009). Einfluss sich wandelnder ökonomischer Rahmenbedingungen auf die Beregnung landwirtschaftlicher Kulturen in Deutschland. *Landbauforschung*, (328), 21–28.
- Awater-Esper, S. (2017). Hitzewelle endet mit Millionenschäden in der Landwirtschaft. top agrar online. Abgerufen von <https://www.topagrar.com/news/Acker-Agrarwetter-Ackernews-Hitzewelle-endet-mit-Millionenschaeden-in-der-Landwirtschaft-8290799.html>
- Bloch, R., & Bachinger, J. (2010). Anpassungen an den Klimawandel im Praxistest - Innovationen im Ökologischen Landbau (2/2010 ForschungsReport).
- Bloch, R., Bachinger, J., & Häring, A. M. (2014). Praxisversuche zur Erhöhung der Anpassungskapazität im Ökolandbau. In R. Bloch, J. Bachinger, R. Fohrmann, & R. Pfriem (Hrsg.), *Land- und Ernährungswirtschaft im Klimawandel - Auswirkungen, Anpassungsstrategien und Entscheidungshilfen*. München: oekom Verlag.
- BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft). (2017). Extremwetterlagen in der Land- und Forstwirtschaft - Maßnahmen zur Prävention und Schadensregulierung.
- Briner, S., Lehmann, N., & Finger, R. (2015). Bio-economic modelling of decisions under yield and price risk for suckler cow farms. *Animal Production Science*, 55(1), 64.
- Bundesregierung. (2008). Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Abgerufen von http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf
- Bundesregierung (Hrsg.). (2011). Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Abgerufen von http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/aktionsplan_anpassung_klimawandel_bf.pdf
- Bundesregierung. (2015). Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Abgerufen von http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimawandel_das_fortschrittsbericht_bf.pdf
- BW Agrar (2017, August 31). Frosthilfe-Anträge können ab 11. September 2017 gestellt werden. Abgerufen von <https://www.bwagrar.de/Aktuelles/Politik/Frosthilfe-Antraege-koennen-ab-11-September-2017-gestellt-werden,QUIEPTU1MzkwMDkmTULEPTUyNjEz.html>
- Chmielewski, F.-M. (2011). Der Einfluss des Klimawandels auf den Wirtschaftssektor Landwirtschaft. In H. von Storch & M. Claussen (Hrsg.), *Klimabericht für die Metropolregion Hamburg* (S. 211–227). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Christen, O. (2008). Langfristige Trends und Anpassung der Anbausysteme an den Klimawandel. *DPG Spectrum Phytomedizin*. DPG Selbstverlag Braunschweig, 57–64.
- Daubitz, P. (2010). Auswirkungen des Klimawandels auf die pflanzliche Produktion. *Klimanavigator*. Abgerufen von <http://www.klimanavigator.de/dossier/artikel/037646/index.php>
- Deutschländer, T., & Mächel, H. (2017). Temperatur inklusive Hitzewellen. In G. Brasseur, D. Jacob, & S. Schuck-Zöller (Hrsg.), *Klimawandel in Deutschland*. Berlin Heidelberg: Springer Spektrum.

- DGfZ (Deutsche Gesellschaft für Züchtungskunde). (2012). Der Klimawandel und die Herausforderungen für die Nutztierhaltung von morgen in Deutschland. *Züchtungskunde*, 84(2), 103–128.
- Dobler, A., Feldmann, H., & Ulbrich, U. (2017). Grenzen und Herausforderungen der regionalen Klimamodellierung. In G. Brasseur, D. Jacob, & S. Schuck-Zöller (Hrsg.), *Klimawandel in Deutschland*. Berlin Heidelberg: Springer Spektrum.
- Döll, S., & Schulze, S. (2010). Klimawandel und Perspektiven der Landwirtschaft in der Metropolregion Hamburg (HWWI Research Paper, No. 1-34).
- DWD (Deutscher Wetterdienst). (2015). 2015, März: Neue Stadtklimasimulation unterstützt Städte bei der Klimaanpassung. Abgerufen von https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/_functions/aktuellemeldungen/150312_stadtklimasimulation_pk.html
- DWD (Deutscher Wetterdienst). (2017). Klimawandel - ein Überblick. Abgerufen von https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/ueberblick/ueberblick_node.html
- EURAC Research und Bosch & Partner. (2006). *Klimawirkungsketten*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Abgerufen von https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/380/dokumente/klimawirkungsketten_umweltbundesamt_2016.pdf
- Gömman, H., Bender, A., Bolte, A., Dirksmeyer, W., Englert, H., Feil, J.-H., ... Zimmer, Y. (2015). Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten von Risikomanagementsystemen: Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut. Abgerufen von http://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn055248.pdf
- Gömman, H., Frühauf, C., Lüttger, A., & Weigel, H.-J. (2017). Landwirtschaft. In G. Brasseur, D. Jacob, & S. Schuck-Zöller (Hrsg.), *Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven* (S. 183–191). Berlin: Springer Spektrum.
- Gomiero, T., Pimentel, D., & Paoletti, M. G. (2011). Environmental Impact of Different Agricultural Management Practices: Conventional vs. Organic Agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30(1–2), 95–124. <https://doi.org/10.1080/07352689.2011.554355>
- Hallmann, C. A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., ... de Kroon, H. (2017). More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLOS ONE*, 12(10), e0185809. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2012). Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Abgerufen von http://www.ipcc-wg2.gov/SREX/images/uploads/SREX-All_FINAL.pdf
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Summary for Policy Makers*. Abgerufen von http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf
- ISOE (Institut für sozial-ökologische Forschung). (2014). *Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen: Zielkonflikte und Synergien mit dem Biodiversitätsschutz*. Abgerufen von http://www.isoe.de/uploads/media/isoe-msoe-43-2014_02.pdf
- Jat, R. A., Sahrawat, K. L., & Kassam, A. H. (2014). *Conservation agriculture: global prospects and challenges*. Wallingford, Oxfordshire: CABI.
- Juroszek, P., & von Tiedemann, A. (2013). Climate change and potential future risks through wheat diseases: a review. *European Journal of Plant Pathology*, 136(1), 21–33.

- Kaspar, F., & Mächel, H. (2017). Beobachtung von Klima und Klimawandel in Mitteleuropa und Deutschland. In G. Brasseur, D. Jacob, & S. Schuck-Zöller (Hrsg.), Klimawandel in Deutschland. Berlin: Springer Spektrum.
- Kunz, M., Mohr, S., & Werner, P. (2017). Niederschlag. In G. Brasseur, S. Schuck-Zöller, & D. Jacob (Hrsg.), Klimawandel in Deutschland (S. 57–64). Berlin: Springer Spektrum.
- LfULG (Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie). (2009). Klimawandel und Landwirtschaft - Strategie zur Anpassung der sächsischen Landwirtschaft an den Klimawandel. Dresden: Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft. Abgerufen von <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/11557/documents/11994>
- LfULG (Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie). (2011). Verbesserung der Nährstoffeffizienz durch Injektionsdüngung unter Berücksichtigung des Klimawandels (Schriftenreihe des LfULG, Heft 12/2011).
- Loladze, I. (2014). Hidden shift of the ionome of plants exposed to elevated CO₂ depletes minerals at the base of human nutrition. *eLife*, 3. <https://doi.org/10.7554/eLife.02245>
- Lotze-Campen, H., Claussen, L., Dosch, A., Noleppa, S., Rock, J., Schuler, J., & Uckert, G. (2009). Klimawandel und Kulturlandschaft Berlin. Berlin: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung.
- LTZ Augustenberg (2008). Herausforderung Klimawandel Chance oder Risiko für die Landwirtschaft in Baden-Württemberg? Karlsruhe: Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg.
- LTZ Augustenberg (2013). Anpassungsstrategie Baden-Württembergs an die Folgen des Klimawandels - Fachgutachten für das Handlungsfeld Landwirtschaft. Karlsruhe: Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg.
- Mußhoff, O., & Feil, J.-H. (2015). Innerbetriebliche Risikomanagementinstrumente. In H. Gömann, A. Bender, A. Bolte, & W. Dirksmeyer (Hrsg.), Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten von Risikomanagementsystemen. Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz. (2012). Empfehlung für eine niedersächsische Strategie für die Anpassung an die Folgen des Klimawandels.
- Otero, N., Sillmann, J., Schnell, J. L., Rust, H. W., & Butler, T. (2016). Synoptic and meteorological drivers of extreme ozone concentrations over Europe. *Environmental Research Letters*, 11(2), 024005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/2/024005>
- Schwerin, M. (2012). Globalisierung und Klimawandel – neue Herausforderungen für die Nutztierhaltung und-wissenschaften. *Züchtungskunde*, 84(1), 12–22.
- Seidel, P. (2014). Extremwetterlagen und Auswirkungen auf Schaderreger – extreme Wissenslücken. *Gesunde Pflanzen*, 66(3), 83–92. <https://doi.org/10.1007/s10343-014-0319-8>
- Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change (3rd edition). Hoboken, New Jersey: Wiley.
- UBA (Umweltbundesamt). (2011). Anpassung an den Klimawandel Boden. Umweltbundesamt. Abgerufen von https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/364/publikationen/kompass_themenblatt_boden_net.pdf
- UBA (Umweltbundesamt). (2012). Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel - Analyse von 28 Anpassungsmaßnahmen in Deutschland. Abgerufen von <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/515/dokumente/4298.pdf>
- UBA (Umweltbundesamt). (2015a). Anwendung und Überprüfung neuer Methoden zur flächenhaften Bewertung der Auswirkung von bodennahem Ozon auf die Biodiversität terrestrischer Ökosysteme (TEXTE 70/2015). Abgerufen von

- https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_70_2015_anwendung_und_ueberpruefung_neuer_methoden_0.pdf
- UBA (Umweltbundesamt). (2015b). Gute Praxis der Anpassung an den Klimawandel in Deutschland (CLIMATE CHANGE 22/2015). Abgerufen von https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_22_2015_gute_praxis_der_anpassung_an_den_klimawandel.pdf
- UBA (Umweltbundesamt). (2015c). Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Abgerufen von https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/monitoringbericht_2015_zur_deutschen_anpassungsstrategie_an_den_klimawandel.pdf
- UBA (Umweltbundesamt). (2015d). Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel (CLIMATE CHANGE 24/2015). Abgerufen von https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_24_2015_vulnerabilitaet_deutschlands_gegenueber_dem_klimawandel_1.pdf
- UBA (Umweltbundesamt). (2016a). Erosion. Abgerufen von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/bodenbelastungen/erosion#textpart-1>
- UBA (Umweltbundesamt). (2016b). Vorschlag für einen Policy Mix für den Aktionsplan Anpassung an den Klimawandel II (CLIMATE CHANGE 19/2016). Abgerufen von https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_19_2016_vorschlag_fuer_einen_policy_mix.pdf
- UN (United Nations). (2015). Adoption of the Paris Agreement. Abgerufen von https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf
- van der Sluijs, J. P., Amaral-Rogers, V., Belzunces, L. P., Bijleveld van Lexmond, M. F. I. J., Bonmatin, J.-M., Chagnon, M., ... Wiemers, M. (2015). Conclusions of the Worldwide Integrated Assessment on the risks of neonicotinoids and fipronil to biodiversity and ecosystem functioning. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(1), 148–154. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3229-5>
- Weigel, H.-J. (2011). Klimawandel – Auswirkungen und Anpassungsmöglichkeiten. In G. Rahmann & Schumacher, Ulrich (Hrsg.), *Praxis trifft Forschung Neues aus dem Ökologischen Ackerbau und der Ökologischen Tierhaltung 2011*. Braunschweig: vTI.
- Weigel, H.-J. (2016). Auswirkungen des Klimawandels auf die pflanzliche Biodiversität in Agrarökosystemen. In J. L. Lozán, S.-W. Breckle, R. Müller, & E. Rachor (Hrsg.), *Warnsignal Klima: Die Biodiversität*. (S. 196–203). Abgerufen von <http://www.klimawarnsignale.uni-hamburg.de>
- Weindl, I., Lotze-Campen, H., Popp, A., Müller, C., Havlík, P., Herrero, M., ... Rolinski, S. (2015). Livestock in a changing climate: production system transitions as an adaptation strategy for agriculture. *Environmental Research Letters*, 10(9), 094021.
- Wiebe, K., Lotze-Campen, H., Sands, R., Tabeau, A., Mensbrugghe, D. van der, Anne Biewald, ... Willenbockel, D. (2015). Climate change impacts on agriculture in 2050 under a range of plausible socioeconomic and emissions scenarios. *Environmental Research Letters*, 10(8), 085010.
- Woodcock, B. A., Bullock, J. M., Shore, R. F., Heard, M. S., Pereira, M. G., Redhead, J., ... Pywell, R. F. (2017). Country-specific effects of neonicotinoid pesticides on honey bees and wild bees. *Science*, 356(6345), 1393–1395.
- Wurbs, D., & Steininger, M. (2011). Wirkungen der Klimaänderungen auf die Böden: Untersuchungen zu Auswirkungen des Klimawandels auf die Bodenerosion durch Wasser. Umweltbundesamt.

Anhang 1: Wirkungskette der Klimaveränderungen in der Landwirtschaft

Handlungsfeld: Landwirtschaft

Bodeneigenschaften

- Bodenart und Bodentyp
- Bodenfruchtbarkeit
- Wasserhaltekapazität
- Infiltrationskapazität

Agrarmanagement

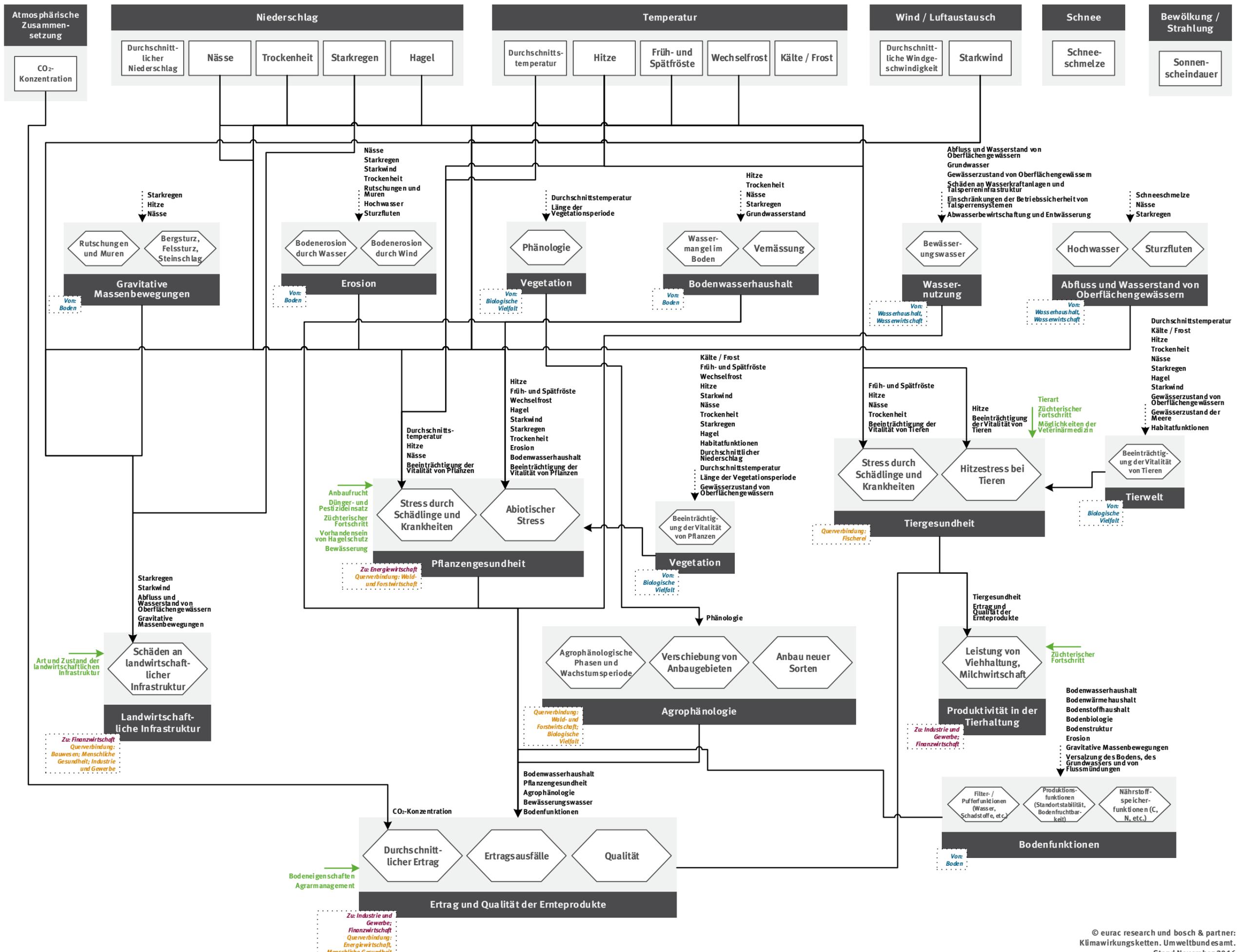
- Anbaufrucht
- Tierart
- Bewässerung
- Art der Bewirtschaftung (Dauerkultur, Fruchtfolgen, etc.)
- Dünger- und Pestizideinsatz
- Züchterischer Fortschritt
- Möglichkeiten der Veterinärmedizin
- Vorhandensein von Hagelschutz

Landwirtschaftliche Infrastruktur

- Art und Zustand der landwirtschaftlichen Infrastruktur

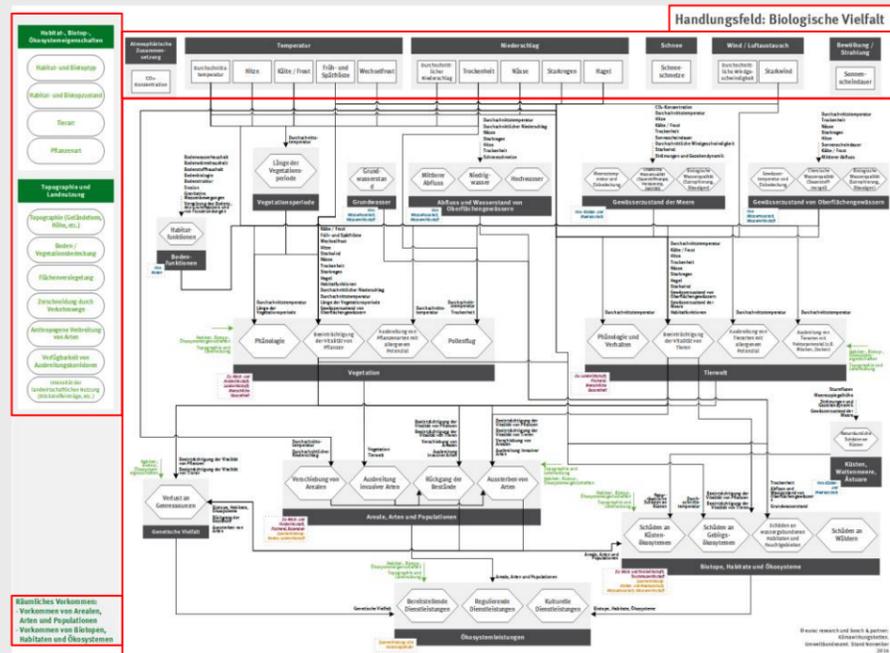
Räumliches Vorkommen:

- Vorkommen von landwirtschaftlicher Nutzfläche
- Vorkommen von Anbauart
- Vorkommen von Tierhaltung
- Vorkommen von landwirtschaftlicher Infrastruktur



Erläuterungen zu den Klimawirkungsketten

Genereller Aufbau der Wirkungsketten (am Beispiel der Wirkungskette Biologische Vielfalt):



- Die obere rechte Ecke zeigt das Handlungsfeld der Wirkungskette an.
- Die obere Reihe stellt die für die Klimawirkungen der Wirkungskette erforderlichen klimatischen Einflüsse dar.
- Das zentrale Feld stellt die Klimawirkungen und Verbindungen dar.
- Auf der linken oberen Seite werden die Sensitivitäten des Handlungsfelds aufgezeigt.
- Die linke untere Ecke benennt die Elemente des räumlichen Vorkommens des Handlungsfelds.

Erläuterung der einzelnen Elemente der Wirkungsketten:

	<p>Klimatischer Einfluss: Die Themenfelder der klimatischen Einflüsse werden als Überschrift des Containers dargestellt, die relevanten Zustände als Rechtecke.</p>
	<p>Klimawirkungen: Die Themenfelder der Klimawirkungen werden als Unterschrift des Containers dargestellt, die relevanten Zustände als Sechsecke.</p>
	<p>Wirkungsbeziehungen: Die Wirkungsbeziehungen zwischen klimatischen Einflüssen und Klimawirkungen, sowie zwischen den Klimawirkungen selbst werden über schwarze Pfeile dargestellt. Dabei wird (zur besseren Nachverfolgung der Pfeile) neben jedem Pfeilendpunkt der Titel des Ausgangselements angezeigt. Die Pfeile können alle relevante Klimawirkungen des Containers (Pfeil führt auf Container) oder nur einzelne relevante Klimawirkungen des Containers (Pfeil führt auf relevante Formulierung) betreffen.</p>
	<p>Sensitivitäten: Die Oberkategorie der Sensitivitäten wird als Überschrift des Containers dargestellt, die einzelnen Sensitivitäten als abgerundete Rechtecke.</p>
	<p>Verbindungen von Sensitivitäten: Die Sensitivitäten werden aus Übersichtsgründen nicht über durchgehende Pfeile dargestellt, sondern durch kurze, grüne Endpfeile. Neben jedem Pfeilendpunkt wird der Titel des Ausgangselements in Grün angezeigt (falls die Oberkategorie der Sensitivitäten als Titel neben dem Pfeilendpunkt genannt ist, umfasst dies alle Sensitivitäten innerhalb dieser Oberkategorie). Die Sensitivitäten können alle relevanten Klimawirkungen des Containers (Pfeil führt auf Container) oder nur einzelne Klimawirkungen des Containers (Pfeil führt auf relevante Formulierung) betreffen.</p>
<p>Räumliches Vorkommen: - Vorkommen von Arealen, Arten und Populationen - Vorkommen von Biotopen, Habitaten und Ökosystemen</p>	<p>Räumliches Vorkommen: Das räumliche Vorkommen wird als Aufzählungstext dargestellt. Die Aufzählung enthält die Systeme, die im Fokus des Handlungsfeldes stehen, d.h. die von den Klimawirkungen betroffen sind.</p>
	<p>Nicht-Handlungsfeldspezifische Klimawirkungen: Klimawirkungen, die prinzipiell in einem anderen Handlungsfeld erklärt werden und in der Wirkungskette als nicht-handlungsfeldspezifische Klimawirkungen (siehe auch Anhang 1) auftauchen, werden anders dargestellt: Der Container und die Klimawirkungen sind kleiner und die Verbindungen der Ausgangselemente werden nicht durch durchgehende Pfeile dargestellt, sondern durch einen kurzen, gepunkteten Pfeil. Die Titel der Verbindungen stehen auch hier neben dem Pfeil. Im linken unteren Eck wird in Dunkelblau dargestellt aus welchem Handlungsfeld die Klimawirkung stammt. Diese nicht-handlungsfeldspezifischen Klimawirkungen stellen Bindeglieder zwischen Handlungsfeldern dar.</p> <p>Da prinzipiell alle klimatischen Einflüsse, die ein Handlungsfeld beeinflussen in den Wirkungsketten genannt werden, auch wenn die Verbindung indirekt über nicht-handlungsfeldspezifische Klimawirkungen besteht, kommt es vor, dass nicht alle klimatischen Einflüsse Verbindungspfeile besitzen.</p>
	<p>Wirkungsbeziehungen und Querverbindungen: Neben den „Wirkungsbeziehungen von“ der nicht-handlungsfeldspezifischen Klimawirkungen in Dunkelblau (siehe oben), werden noch die „Wirkungsbeziehungen zu“ in Dunkelflieder und „Querverbindungen“ in Dunkelocker links unten dargestellt:</p> <ul style="list-style-type: none"> „Wirkungsbeziehungen von“ geben an, von welchem Handlungsfeld nicht-handlungsfeldspezifische Klimawirkung stammen. „Wirkungsbeziehungen zu“ geben an, zu welchen Handlungsfeldern nicht-handlungsfeldspezifische Klimawirkung führen. „Querverbindungen“ stellen Verbindungen zwischen generell ähnlichen Klimawirkungen in verschiedenen Handlungsfeldern dar.

Veranstalter:

Umweltbundesamt (UBA)

KomPass – Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung

Sebastian Ebert

Wörlitzer Platz 1

D-06844 Dessau-Roßlau

Tel.: +49 (0)340-2103-3122

Fax: +49 (0)340-2104-3122

E-Mail: sebastian.ebert@uba.de

www.anpassung.net



Konzeption und Durchführung:

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) GmbH, gemeinnützig

Lea Kliem

Potsdamer Straße 105

D-10785 Berlin

Tel. +49 (0)30-884 594-34

Fax +49 (0)30-882 543 9

E-Mail: lea.kliem@ioew.de

www.ioew.de

