

Klimaresilienz durch Agrobiodiversität?

Literaturstudie zum Zusammenhang zwischen Elementen der Agrobiodiversität und der Empfindlichkeit von landwirtschaftlichen Produktionssystemen gegenüber dem Klimawandel

Ute Petersen, Hans-Joachim Weigel

Thünen Report 25

Bibliografische Information:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikationen in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter www.dnb.de abrufbar.

Bibliographic information:
The Deutsche Nationalbibliothek (German National Library) lists this publication in the German National Bibliography; detailed bibliographic data is available on the Internet at www.dnb.de

Bereits in dieser Reihe erschienene Bände finden Sie im Internet unter www.ti.bund.de

Volumes already published in this series are available on the Internet at www.ti.bund.de

Zitationsvorschlag – Suggested source citation:
Petersen U, Weigel H-J (2015) Klimaresilienz durch Agrobiodiversität? Literaturstudie zum Zusammenhang zwischen Elementen der Agrobiodiversität und der Empfindlichkeit von landwirtschaftlichen Produktionssystemen gegenüber dem Klimawandel. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 132 p, Thünen Rep 25

Die Verantwortung für die Inhalte liegt bei den jeweiligen Verfassern bzw. Verfasserinnen.

The respective authors are responsible for the content of their publications.



THÜNEN

Thünen Report 25

Herausgeber/Redaktionsanschrift – *Editor/address*

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
Germany

thuenen-report@ti.bund.de
www.ti.bund.de

ISSN 2196-2324

ISBN 978-3-86576-130-9

DOI:10.3220/REP_25_2015

urn:nbn:de:gbv:253-201503-dn054807-8

Klimaresilienz durch Agrobiodiversität?

Literaturstudie zum Zusammenhang zwischen Elementen der Agrobiodiversität und der Empfindlichkeit von landwirtschaftlichen Produktionssystemen gegenüber dem Klimawandel

Ute Petersen, Hans-Joachim Weigel

Thünen Report 25

Ute Petersen

Thünen-Institut für Biodiversität
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
E-Mail: ute.petersen@ti.bund.de

Hans-Joachim Weigel

Thünen-Institut für Biodiversität
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
Telefon: 0531 596-2501
Fax: +49 531 596-2599
E-Mail: hans.weigel@ti.bund.de

Thünen Report 25

Braunschweig, im März 2015

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	ii
1. Hintergrund, Schwerpunkt und Zielsetzung	1
2. Methodik	3
A Grundlagen und Begriffe	6
A.3. Elemente des Klimawandels	6
A.4. Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung	12
A.5. Biodiversität und Agrobiodiversität	19
A.6. Stabilität, Resistenz und Resilienz von Ökosystemen	23
A.7. Ökonomische Risikobetrachtung und Resilienz	30
B Ergebnisse	37
B.8. Überblick über Art und Untersuchungsgegenstand der Fallstudien	37
B.9. Drei Beispielstudien	41
B.10. Ergebnisse der ermittelten Fallstudien	46
B.10.1. Zur Rolle der genetischen Vielfalt bzw. Sortenvielfalt	46
B.10.2. Zur Rolle der Artenvielfalt (genutzte und assoziierte Artenvielfalt)	51
B.10.3. Zur Rolle der Vielfalt der Betriebsstrukturen	59
B.11. Zur Situation in Deutschland	64
12. Zum Stellenwert der Agrobiodiversität im Rahmen von Anpassungsstrategien an den Klimawandel	68
13. Zusammenfassung und Ausblick	74
Literatur	77
Abbildungsverzeichnis	96
Tabellenverzeichnis	97
Anhang	98
Aufstellung der Quellen mit Primärdaten zum Thema	98

Kurzfassung

Im globalen und regionalen Kontext wird wiederholt auf eine Diversifizierung der Agrarproduktion von der genetischen über die Betriebs- bis hin zur Landschaftsebene als eine entscheidende Maßnahme zur Anpassung an den Klimawandel hingewiesen. Allgemein bekannt ist, dass für die züchterische Anpassung von Nutzpflanzen auf künftige Klimaverhältnisse (insbesondere die graduelle Änderung des Klimas) ausreichende genetische Ressourcen in Form von Varietäten und Wildformen der Kulturpflanzen unerlässlich sind. Kaum untersucht sind dagegen mögliche Anpassungsstrategien an die zukünftig häufiger auftretenden Extremwetterereignisse (u.a. Hitze- und Trockenheitswellen, Starkregen, Sturm). Ob Elemente der Agrobiodiversität (u.a. Sorten-, Arten-, Fruchtfolgenwahl, Landschaftsgliederung, angebaute und assoziierte Biodiversität) als eine Art Versicherung gegen Verluste durch diese Klimaextreme dienen können, ist umstritten. Es wurde eine Auswertung aller relevanten Literatur zu diesem Thema im Hinblick auf alle relevanten Ebenen der Agrobiodiversität vorgenommen. Nur ein geringer Teil (< 15%) der über 1000 ermittelten Quellen waren Studien mit Primärdaten, die sich mit dem Einfluss der Agrobiodiversität auf die Ertragsstabilität unter extremen oder variablen Wettereinflüssen befassten. Die verwertbaren Quellen bezogen sich zu ca. 45% auf kleinbäuerliche Systeme vorwiegend in den Tropen oder Subtropen, die sich in ihrer Struktur und in der Bedeutung der Agrobiodiversität für das gesamte System deutlich von der industrialisierten Landwirtschaft in Mitteleuropa unterscheiden. Die am häufigsten untersuchten Extremereignisse waren Trockenheit bzw. Dürre und damit im Zusammenhang stehend die Niederschlagsvariabilität. Starkregen, Überschwemmung und Hitze bzw. hohe Temperaturen standen kaum im Fokus. Vor allem in low-input Systemen der Entwicklungsländer der Tropen und Subtropen hilft eine Diversifizierung von Sorten einer Kulturart und von verschiedenen Kulturarten klimatische Risiken und insbesondere extreme klimatische Ereignisse abzumildern. Auf der Betriebsebene sorgen hier z.B. vielfältige Gehölz-Strukturen meist in Kombination mit ökologischer oder konservierender Bewirtschaftung für eine höhere Resilienz gegenüber Starkregen und Überschwemmung. Aus der vergleichsweise sehr geringen Zahl der Studien, die sich in der industrialisierten Landwirtschaft der gemäßigten Zone mit dem Zusammenhang zwischen Sorten- und Artenvielfalt und Klimaveränderungen bzw. klimatischen Extremereignissen befassen, sind keine konsistenten Ergebnisse ableitbar. Für die deutsche Landwirtschaft können fundierte Aussagen über eine mögliche Versicherungsfunktion von Elementen der Agrobiodiversität gegenüber dem Klimawandel aufgrund fehlender Studien zurzeit nicht getroffen werden.

Schlüsselworte:

Klimawandel, Extremereignisse, Agrobiodiversität, Pflanzengenetische Ressourcen, Kulturar- tendiversität, Ertragsstabilität, Resilienz, Risiko

Abstract

In the context of climate change impacts on agricultural production it has repeatedly been discussed to what extent an enhancement of agricultural biodiversity (agrobiodiversity) at the genetic, species and farm level could contribute to an adaptation towards climate change. It is generally accepted that in order to adapt crops to climate change by plant breeding there is a need for sufficient and suitable plant genetic resources (cultivars; crop wild relatives). However, there is little information on how other elements of agrobiodiversity (e.g. selection of crop cultivars, species and rotations, landscape structure, planned and associated biodiversity) might contribute as an “insurance” against production from climate change and particularly from increasing frequencies of events of climate extremes like heat and drought spells, floods, storms, hail etc. A literature survey was conducted which addressed these questions at all relevant levels of agrobiodiversity. Less than ca. 15% of the ca. 1000 studies found provided relevant data that directly linked aspects of agrobiodiversity to crop yields under conditions of weather extremes or highly variable weather conditions. Roughly 45% of the relevant studies addressed small-holder agricultural systems in the tropics or subtropics. These systems differ markedly from the more industrialized agricultural systems in central Europe with respect to farm structures and the importance of elements of agrobiodiversity for the farm system in total. Drought stress events and related to this variability in precipitation were clearly dominating the studies, while heat stress, intense rain and flooding were hardly addressed. The data provide evidence that mostly in the low-input agricultural systems of the tropics and subtropics a high diversity of cultivars of a crop species and a high species diversity, respectively, may help to mitigate risks from climate change and particularly from extreme weather events. At the farm level, for example, agroforestry systems mostly combined to ecological or conservation agriculture practices contribute to a comparatively high resilience towards intense rain events and flooding. In the temperate zone with its highly industrialized agricultural systems very few studies have addressed the relationship between agrobiodiversity, climate change and extreme events. No consistent information could be drawn from these studies. Particularly for Germany, a possible role of agrobiodiversity as a means to mitigate climate change impacts can presently not be observed due to a lack of relevant studies.

Key words:

climate change, extreme events, agrobiodiversity, plant genetic resources, crop species diversity, resilience, risk, crop yield stability

1. Hintergrund, Schwerpunkt und Zielsetzung

Klimawandel und der Verlust biologischer Vielfalt (= Biodiversität) gehören zu den drängendsten Problemen des sogenannten globalen Wandels. Beide Problemkreise stehen in enger Wechselwirkung. Einerseits spielt Biodiversität für die Regulation von Ökosystemfunktionen bzw. für die Klimaregulation, z.B. im Rahmen der biogeochemischen Spurengaskreisläufe, eine entscheidende Rolle, andererseits ist die biologische Vielfalt vom Klimawandel betroffen und sie kann zur Anpassung an den Klimawandel entscheidende Beiträge liefern.

Für den Agrarsektor wird Biodiversität mit dem Begriff „Agrobiodiversität“ fokussiert. Dessen Bedeutung bezieht sich auf

- die genetischen Ressourcen von Kulturpflanzen, Nutztieren und Fischen sowie nicht domestizierte ("wilde") biologische Ressourcen innerhalb von Acker-, Wald-, Weide- und aquatischen Ökosystemen sowie auf
- Elemente der Biodiversität, die für Ökosystemfunktionen von Produktionssystemen entscheidend („assoziierte Biodiversität“) sind bzw. "ökologische Dienstleistungen" gewährleisten (z.B. Bodenbildung, Nährstoffumsatz, Bestäubung, Wasserschutz, Klimaregulation, Kohlenstoffspeicherung).

Bestandteile der Agrobiodiversität werden wesentlich durch die Tätigkeit des Menschen gesteuert und sind auf den menschlichen Einfluss angewiesen. Zwischen Umweltfaktoren, Bewirtschaftungsmethoden und biologischer Ausstattung in Agrarökosystemen bestehen enge Wechselwirkungen, die die Funktionen der jeweiligen Ökosysteme bestimmen.

Mit dem Erscheinen des aktuellen IPCC Berichts (IPCC 2013) wurde erneut deutlich, dass der vom Mensch verursachte Klimawandel nicht mehr aufzuhalten ist. Wegen seiner unmittelbaren Abhängigkeit von Witterung und Klima gehört der Agrarsektor prinzipiell zu den sensiblen Bereichen, die der Klimawandel in den nächsten Jahrzehnten betrifft. Die in den letzten Jahrzehnten bzw. Jahren beobachtete Veränderung des Durchschnittsklimas mit einer ungewöhnlichen Wettervariabilität einerseits und die immer konkreter werdenden Modell-Projektionen des Klimawandels der Zukunft andererseits haben dazu beigetragen, dass Aspekte der möglichen Folgen des Klimawandels für den Agrarsektor und die Suche nach Anpassungsmöglichkeiten im Vordergrund von wissenschaftlichen und politischen Aktivitäten stehen.

Agrobiodiversität ist die essentielle Grundlage für die weltweite Ernährungssicherung. Ihre Bewahrung trägt u.a. auch dazu dabei, für eine ungewisse Zukunft mit variablem Klima vorzusorgen. Im Kontext globaler und regionaler Risikobetrachtungen wird wiederholt auf eine Diversifizierung der Agrarproduktion auf allen Ebenen von der genetischen über die Betriebs- bis hin zur Landschaftsebene als eine entscheidende Maßnahme zur Anpassung an den Klimawandel hingewiesen. Welche Rolle Agrobiodiversität (u.a. Sorten-, Arten-, Fruchtfolgenwahl, Sicherung von Ökosystemdienstleistungen, Landschaftskontext) auf diesen Ebenen dazu

spielen kann, ist umstritten. Ob Agrobiodiversität z.B. einen Beitrag zur Absicherung gegen häufiger auftretende extreme Wetterereignisse (z.B. Starkregen, Dürre, Überschwemmung) leisten kann, wurde wenig untersucht. Unter den möglichen Anpassungsmaßnahmen der Agrarproduktion gegenüber dem Klimawandel standen bisher eher technische Maßnahmen bzw. andere Bewirtschaftungsformen im Vordergrund der Betrachtung. Ob und inwieweit eine verstärkte Einbeziehung oder gezielte Nutzung der Agrobiodiversität in ihrer Gesamtheit, gerade im Hinblick auf klimatische Extremereignisse, als Anpassungsmaßnahme möglich ist, wurde auch in der Forschung bisher kaum thematisiert.

Vor diesem Hintergrund war es Ziel der vorliegenden Studie, den Sachstand zu dieser Problematik in Form einer Literaturstudie aufzuarbeiten und - wenn möglich – zu bewerten. Dabei sollte insbesondere die Datenlage in Deutschland betrachtet werden. Es wurden Untersuchungen recherchiert, in denen Zusammenhänge zwischen verschiedenen Elementen der Agrobiodiversität und der Empfindlichkeit bzw. Stabilität von Agrarökosystemen gegenüber verschiedenen Formen klimatischer Variabilität erkennbar sind.

Aufgrund der verfügbaren Datenlage beziehen sich die Literaturlauswertungen zu diesem Thema auf die globale Situation und schließen den deutschen Raum nur vereinzelt mit ein. Schwerpunkt ist der Bereich der ackerbaulichen Pflanzenproduktion (incl. Beispiele zu Sonderkulturen und Gartenbau), während Fragen im Bereich Gras- bzw. Grünland nur exemplarisch berücksichtigt werden und agrobiodiversitätsrelevante Themen zur Nutztierhaltung nicht Gegenstand der Studie sind. Andere Anpassungsmaßnahmen, die dem landwirtschaftlichen Sektor zur Verfügung stehen (z.B. Bewässerung, Ersetzen von Sorten, Anpassung der Pflanztermine, geänderte Bodenbearbeitung) werden nur thematisiert, sofern sie in einem Zusammenhang mit Fragen der Agrobiodiversität stehen.

In Teil A der Studie werden zunächst in kurzer Form Grundlagen und Begriffe zu den Themen Klimawandel, Auswirkungen des Klimawandels, Biodiversität, Ökosystemstabilität und -resilienz sowie zu Risikobetrachtungen erläutert. Teil B stellt die Ergebnisse der Literaturlauswertung in Form besonders aussagekräftiger Fallbeispiele und als zusammenfassende Auswertungen verschiedener Untersuchungen vor, die Agrobiodiversität im Kontext zu Fragen des Klimawandels auf der Ebene von Genen (=Sorten), Arten und auf der Ebene von Betrieben betrachten. Abschließend werden die Ergebnisse vergleichend bewertet. Auf die deutsche Situation wird jeweils gesondert eingegangen.

2. Methodik

Der vorliegende Bericht sammelt und gruppiert die wissenschaftlichen Studien und Experimente, die sich mit dem Thema „Zusammenhang zwischen Elementen der Agrobiodiversität und der Empfindlichkeit von Agrarökosystemen gegenüber dem Klimawandel“ befassen. Dazu wurden drei anerkannte Literaturdatenbanken (ISI web of knowledge®, CAB Abstracts® und Scopus®) nach der Schlagwortkombination Agrobiodiversität – Resilienz – Klima inklusive deren Synonymen durchsucht. Bis einschließlich Dezember 2013 lief diese Abfrage automatisch weiter. Dabei sind Beiträge enthalten, die bis zu diesem Zeitpunkt nur in elektronischer Form online veröffentlicht waren, aber erst im Jahr 2014 gedruckt wurden bzw. noch in Papierform veröffentlicht werden. Zusätzlich wurden die Suchmaschinen Google scholar und MetaGer (<http://www.metager.de/>) abgefragt. Ein Teil der Studien wurde sekundär, also über Verweise in anderen Artikeln (meist umfangreiche Reviews) gefunden.

Für die Suchanfragen in den Datenbanken wurden jeweils an die Datenbanken angepasste Schlagwortkombinationen verwendet.

Scopus®: (TITLE-ABS-KEY("climate change" OR "extreme event" OR "extreme rainfall" OR flood OR storm OR drought OR hurricane OR heat OR "irregular rainfall" OR "climate variability" OR "extreme weather" OR "climate hazard") AND TITLE-ABS-KEY(resilience OR adaptation OR stability OR "risk minimizing" OR "risk spreading" OR insurance OR adaptive OR cope OR vulnerability) AND TITLE-ABS-KEY("organic farming" OR "organic agriculture" OR "traditional agriculture" OR agroeco* OR agrobiodiversity OR agrodiversity OR "genetic divers*" OR "crop divers*" OR "crop variet*")) AND SUBJAREA(mult OR agri OR bioc OR immu OR neur OR phar OR mult OR ceng OR CHEM OR comp OR eart OR ener OR engi OR envi OR mate OR math OR phys OR mult OR arts OR busi OR deci OR econ OR psyc OR soci) AND (EXCLUDE(SUBJAREA, "MEDI") OR EXCLUDE(SUBJAREA, "MEDI") OR EXCLUDE(SUBJAREA, "VETE") OR EXCLUDE(SUBJAREA, "NEUR")) AND (EXCLUDE(EXACTKEYWORD, "Animals") OR EXCLUDE(EXACTKEYWORD, "Animal"))

Um molekularbiologische Artikel zu finden, die sich eher mit Züchtungsaspekten und besonderen pflanzlichen Eigenschaften befassen: (TITLE-ABS-KEY("climate change" OR "extreme event" OR "extreme rainfall" OR flood OR storm OR drought OR hurricane OR heat OR "irregular rainfall" OR "climate variability" OR "extreme weather" OR "climate hazard") AND TITLE-ABS-KEY(resilience OR adaptation OR stability OR "risk minimizing" OR "risk spreading" OR insurance OR adaptive OR cope OR vulnerability) AND TITLE-ABS-KEY("organic farming" OR "organic agriculture" OR "traditional agriculture" OR agroeco* OR agrobiodiversity OR agrodiversity OR "genetic divers*" OR "crop divers*" OR "crop variet*")) AND SUBJAREA(mult OR agri OR bioc OR immu OR neur OR phar OR mult OR ceng OR CHEM OR comp OR eart OR ener OR engi OR envi OR mate OR math OR phys OR mult OR arts OR busi OR deci OR econ OR psyc OR soci) AND (EXCLUDE(SUBJAREA, "MEDI") OR EXCLUDE(SUBJAREA, "MEDI") OR

EXCLUDE(SUBJAREA, "VETE") OR EXCLUDE(SUBJAREA, "NEUR")) AND (EXCLUDE(EXACTKEYWORD, "Animals") OR EXCLUDE(EXACTKEYWORD, "Animal")) AND (LIMIT-TO(SUBJAREA, "BIOC"))

Die o.g. Suchanfrage wurde monatlich wiederholt und neue Artikel per Hand in „molekularbiologisch“ und „andere“ unterteilt.

CAB Abstracts®: Topic=("climate change" OR "extreme event" OR "extreme rainfall" OR flood OR storm OR drought OR hurricane OR heat OR "irregular rainfall" OR "climate variability" OR "extreme weather" OR "climate hazard") AND Topic=(resilience OR adaptation OR stability OR "risk minimizing" OR "risk spreading" OR insurance OR adaptive OR cope OR vulnerability) AND Topic=("organic farming" OR "organic agriculture" OR "traditional agriculture" OR agroeco* OR agrobiodiversity OR agrodiversity OR "genetic divers*" OR "crop divers*" OR "crop variet*")

ISI web of knowledge®: Topic=("climate change" OR "extreme event" OR "extreme rainfall" OR flood OR storm OR drought OR hurricane OR heat OR "irregular rainfall" OR "climate variability" OR "extreme weather" OR "climate hazard") AND Topic=(resilience OR adaptation OR stability OR "risk minimizing" OR "risk spreading" OR insurance OR adaptive OR cope OR vulnerability) AND Topic=("organic farming" OR "organic agriculture" OR "traditional agriculture" OR agroeco* OR agrobiodiversity OR agrodiversity OR "genetic divers*" OR "crop divers*" OR "crop variet*")

Diese monatliche Suchanfrage wurde aus Gründen der Vorsortierung der Ergebnisse unter Ausschluss der genetischen/molekularbiologischen Quellen durchgeführt.

Topic=("climate change" OR "extreme event" OR "extreme rainfall" OR flood OR storm OR drought OR hurricane OR heat OR "irregular rainfall" OR "climate variability" OR "extreme weather" OR "climate hazard") AND Topic=(resilience OR adaptation OR stability OR "risk minimizing" OR "risk spreading" OR insurance OR adaptive OR cope OR vulnerability) AND Topic=("organic farming" OR "organic agriculture" OR "traditional agriculture" OR agroeco* OR agrobiodiversity OR agrodiversity OR "genetic divers*" OR "crop divers*" OR "crop variet*")

Refined By: [excluding] Web of Science Categories=(CHEMISTRY ANALYTICAL OR HISTORY PHILOSOPHY OF SCIENCE OR LIMNOLOGY OR ANTHROPOLOGY OR BIOCHEMICAL RESEARCH METHODS OR OCEANOGRAPHY OR FORESTRY OR IMMUNOLOGY OR INFECTIOUS DISEASES OR MARINE FRESHWATER BIOLOGY OR FISHERIES OR MEDICINE RESEARCH EXPERIMENTAL OR VETERINARY SCIENCES OR PALEONTOLOGY OR SOCIOLOGY OR TROPICAL MEDICINE) AND [excluding] Research Areas=(GENETICS HEREDITY OR CELL BIOLOGY OR BIOCHEMISTRY MOLECULAR BIOLOGY)

Google scholar: Volltextsuche climate & resilience & agrobiodiversity.

Hier ergaben sich über 1800 Ergebnisse, von denen die ersten 500 nach verwertbaren Quellen durchsucht wurden. 166 Quellen wurden gespeichert, darunter auch einige in ISI web of knowledge®, CAB Abstracts® oder Scopus® gelistete Zeitschriften, die bei der Datenbanksuche nicht gefunden worden waren.

MetaGer: „Klima extrem“ * „agrobiodiversität resilienz“ unter hoher Bewertung der wissenschaftlichen Quellen. Hier ergaben sich 20 Ergebnisse, von denen einige bereits in den anderen Datenbanken aufgetaucht waren und die sich meist mehr mit dem Verlust der *allgemeinen* Biodiversität in Folge des Klimawandels beschäftigten.

Die Suchanfragen umfassten weltweit veröffentlichte Studien und schließen dabei den deutschsprachigen Raum mit ein. Alle Literaturangaben wurden in einer Datenbank (Endnote X7.0.1 von Thomson Reuters) archiviert. Alle Studien, die auf experimentell oder per Umfrage und durch Beobachtung erhobenen Daten aufbauen, wurden gesondert gruppiert. Sie sind in Tabelle 5 im Anhang dargestellt.

A Grundlagen und Begriffe

A.3. Elemente des Klimawandels

Nachfolgend werden die wichtigsten Elemente des Klimawandels mit Schwerpunkt auf die deutsche Situation kurz skizziert. Klima ist charakterisiert durch physikalische und chemische Klimaelemente. Zu den physikalischen Elementen zählen Lufttemperatur, Strahlung, Niederschlag, Luftfeuchte, Sonnenscheindauer, Bewölkung, Luftdruck und Wind. Chemische Klimaelemente beschreiben die stoffliche Zusammensetzung der Luft oder des Niederschlags. Durch die Beobachtung der Klimaelemente in bestimmten Zeitabschnitten lassen sich Aussagen zu Wetter (wenige Stunden bis Tage), Witterung (Wochen bis Monate) oder Klima (mittlere Wetterbedingungen in einem meist 30-jährigen Beobachtungszeitraum) machen. Für die Landwirtschaft sind vor allem die Witterung (z.B. ein zu kaltes und nasses Frühjahr) und das Wetter (einzelne Ereignisse wie Hagelschauer oder Spätfröste) von Bedeutung.

Der bisherige bzw. der vorausgesagte zukünftige globale Klimawandel (IPCC 2013) umfasst alle genannten Aspekte des Klimas. Er lässt sich durch folgende generellen Trends beschreiben

- steigende Durchschnittstemperaturen
- Zunahme von wärmeren, trockeneren Sommern
- Zunahme von wärmeren, feuchteren, schneeärmeren Wintern
- zunehmende Klimavariabilität bzw. –extreme (Hitzeperioden; Sommerdürren; Starkniederschläge etc.)
- Abnahme der Eisbedeckung (Gletscher in Arktis, Hochgebirgsgletscher) der nördlichen Hemisphäre
- (rasch) zunehmende CO₂-Konzentration
- zunehmende troposphärische Ozon-Konzentration
- Meeresspiegelanstieg

Beobachtungs- bzw. Messdaten zeigen, dass sich die globale Durchschnittstemperatur zwischen 1900-2010 um 0,78° C erhöht hat (Becker et al., 2012). Die Oberflächentemperatur der Erde der letzten drei Dekaden war sukzessive wärmer als in jeder Dekade davor seit 1850. Auf der Nordhemisphäre waren die letzten 30 Jahre wahrscheinlich der wärmste 30-Jahr-Abschnitt seit 1400 Jahren (IPCC, 2013). Mit der globalen Temperaturerhöhung verbunden war eine Zunahme der durchschnittlichen globalen Niederschläge. Gesichert ist jedoch nur die Zunahme der Niederschläge in den mittleren Breiten der nördlichen Hemisphäre seit 1951. Für die übrigen Regionen waren keine gesicherten Trends zu beobachten (IPCC, 2013).

In Europa stiegen die Jahresdurchschnittstemperaturen von 1951-2000 um bis zu 1,8°C an. Dies geschah nicht gleichmäßig, sondern in Form eines „Erwärmungskorridors“ vom Süd-Westen Richtung Nord-Osten. Grund hierfür waren im Wesentlichen höhere Wintertemperaturen. Nördlich von Großbritannien und Norwegen sowie im Südosten (Türkei, Iran) war eine leichte Abkühlung zu verzeichnen (Schönwiese und Janoschitz, 2008). Die Niederschlags-trends zeigten ein deutliches Nord-Süd-Gefälle. Während die Niederschlagsmengen im ozeanisch geprägten Nordwesten leicht zunahmen, war in den Mittelmeerländern und im kontinental geprägten Osten eine Abnahme zu verzeichnen (Schönwiese und Janoschitz, 2008). Generell variieren die Niederschlagstrends regional und zwischen verschiedenen Zeitabschnitten sehr stark. Zum Beispiel können bei gleich bleibenden Jahresniederschlagsmengen Umverteilungen der Niederschläge im Jahresverlauf auftreten.

Die Entwicklung von Klimawerten in Deutschland ist beispielhaft in Tabelle 1 dargestellt (vgl. auch www.dwd.de). Die Durchschnittstemperatur zeigt seit ca. 1880 eine Zunahme von ca. 1,2°C, wobei dieser Anstieg im Frühjahr stärker als im Winter ausgeprägt war und in den südwestlichen und westlichen Bundesländern stärker verlief war als im Nordosten. Im Norden stiegen dabei vor allem die Temperaturen der heißesten Tage zum Teil um über 2°C an, während sich im restlichen Deutschland die Durchschnittstemperatur der Sommermonate erhöhte (Stainforth et al., 2013). Im entsprechenden Zeitraum hat die jährliche Durchschnittsniederschlagsmenge zwar leicht zugenommen, die Entwicklung zeigt dabei aber für die Sommermonate deutschlandweit keine Zunahme, allerdings mit einer starken räumlichen Differenzierung. Grundsätzlich haben die Sommerniederschläge im Osten und Südwesten abgenommen (bis - 9%), im Norden und in Bayern dagegen leicht zugenommen (bis + 10%). Dagegen haben die Winterniederschläge deutschlandweit deutlich zugenommen (im Mittel ca. + 27%).

Tabelle 1. Beobachtete Temperatur- und Niederschlagstrends in Deutschland zwischen 1881-2000.

Temperatur in °C, Niederschlag in %, zusammengestellt aus online veröffentlichten Daten des Deutschen Wetterdienstes (Deutscher Wetterdienst, 2013).

Klimaelement	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr
Temperatur 1881-2012	+ 1,4	+ 1,1	+ 1,2	+ 1,0	+ 1,2
Niederschlag 1881-2012	+ 11,0	0,0	+ 7,5	+ 27,4	+ 10,8

Quelle: eigene Zusammenstellung, DWD 2013

Im Vergleich zum Kenntnisstand der Veränderungen mittlerer Klimawerte ist das Wissen um die Veränderungen der Klimavariabilität und von Extremwerten geringer. Extremereignisse sind Wetterereignisse, die sehr stark von den langjährigen Mittelwerten abweichen und dazu nur mit geringer Häufigkeit auftreten. Die Schwellen für ein Extremereignis sind regional sehr unterschiedlich definiert. So reichen beispielsweise die Schwellen für extreme Niederschläge von > 20 mm in Russland oder Kanada bis zu > 100 mm pro Tag in Japan oder Brasilien

(Easterling et al., 2000). Für Deutschland hat der Deutsche Wetterdienst die Grenzwerte von > 25 mm pro Niederschlagsereignis oder > 35 mm pro 6 Stunden festgelegt. Heiße Tage („Hitzestress“) sind in Deutschland definiert als Tage mit $> 30^{\circ}\text{C}$ mittäglicher Lufttemperatur.

Für Deutschland zeigt die Entwicklung der letzten Jahrzehnte u.a. eine Abnahme der Anzahl der Frosttage und eine Zunahme der Andauer von Dürreperioden und Hitzewellen, d.h. die Wahrscheinlichkeit des Eintretens von 5 Hitzetagen mit Temperaturen $> 30^{\circ}\text{C}$ in Folge hat sich in den letzten Jahrzehnten erhöht (Abbildung 1). Speziell im Süden und Osten Deutschlands treten geringere monatliche Niederschlagsmengen häufiger auf, während ein häufigeres Auftreten hoher monatlicher Niederschlagsmengen im Westen zu beobachten ist.

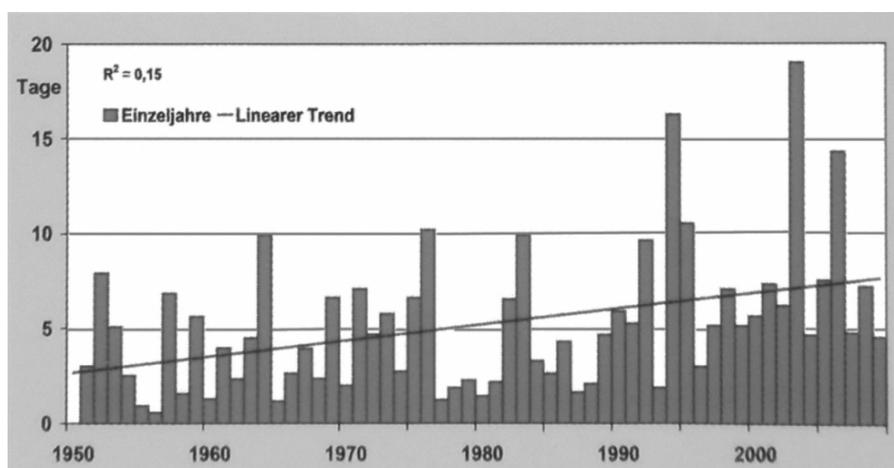


Abbildung 1. Gebietsmittel der Anzahl der Heißen Tage ($T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$), Deutschland, Zeitraum 1951-2009.

Quelle: Becker et al. (2012).

Wiedergabe mit Erlaubnis der Wissenschaftlichen Buchgesellschaft Darmstadt.

Dies ist verbunden mit Trends zu höheren monatlichen und saisonalen Niederschlagssummen sowie zu gesteigerter Niederschlagsvariabilität im Winter und zu verringerter monatlicher und saisonaler Variabilität der Niederschlagsmengen im Sommer (Jonas et al., 2005; Becker et al., 2012). Die mittleren sowie die extrem hohen Windgeschwindigkeiten zeigten über das letzte Jahrhundert gesehen eher eine abnehmende Tendenz. Für Hagelereignisse war in den letzten 30 Jahren ein erhöhtes Potential zu verzeichnen (Becker, 2013).

Aussagen zu Änderungen des zukünftigen Klimas werden mittels Klimamodellen bzw. Klimaszenarien getroffen und beziehen sich meist auf den Zeitraum der nächsten 50-100 Jahre. Die Projektionen basieren auf unterschiedlichen Emissionsszenarien klimawirksamer Spurengase, die wiederum von der zukünftigen wirtschaftlichen Gesamtentwicklung der unterschiedlichen Gesellschaften der Erde abhängen. Entscheidend ist ferner, welches Emissionsszenario angewandt wird. Beispielsweise wird für das mittlere Emissionsszenario A1B, das bisher in vielen Zukunftsszenarien zugrunde gelegt wird, angenommen, dass die Emissionen von Treibhaus-

gasen bis Mitte des laufenden Jahrhunderts zunächst weiter ansteigen und danach zurückgehen.

Die auf diesen Emissionsszenarien basierenden sogenannten Globalen Zirkulationsmodelle (GCM) bilden die Klimaveränderungen nur mit sehr großer räumlicher Auflösung ab und sind für regionale Fragestellungen nur sehr eingeschränkt geeignet. Für kleinräumige Klimaszenarien sind daher verschiedene Regionalmodelle entwickelt und eingesetzt worden. In Deutschland werden z.B. die Modelle WETTREG, STAR, REMO und CLM verwendet. Detaillierte Aussagen zu diesen regionalen Klimaszenarien in Form von Kartendarstellungen finden sich auf den Internetseiten www.dwd.de oder www.klimafolgenonline.com. Auf die neuen [RCP- \(Representative Concentration Pathways\)](#) Szenarien, mit denen neue globale und regionale Klimaprojektionen gerechnet werden, wird hier nicht eingegangen.

Bis ca. 2021-2050 wird im Vergleich zum Kontrollzeitraum 1961-1990 je nach Modell mit einem deutschlandweiten Anstieg der Jahresmitteltemperatur um 0,5°C bis max. 2,0°C gerechnet. Für den Zeitraum bis 2071-2100 soll dieser Anstieg zwischen 2,0°C bis 4,0°C liegen. Die mittlere jährliche Niederschlagsmenge soll bis 2021-2050 je nach Modell und Region deutschlandweit leicht zunehmen, bzw. (Modell STAR) um bis zu 15% abnehmen, wobei dies besonders auf die östlichen und südlichen Landesteile zutreffen soll. Für den Sommer zeigen fast alle der o.g. Modelle eine deutschlandweite Abnahme der Niederschlagsmenge zwischen ca. 5% - 25%. Für den Zeitraum 2071-2100 wird dagegen unabhängig vom Modell deutschlandweit keine wesentliche Änderung der mittleren jährlichen Niederschlagsmenge vorausgesagt, jedoch eine deutliche Abnahme der Niederschlagsmengen im Sommer um bis zu 40%. Besonders betroffen sein können dabei die südwestlichen und Teile von Regionen der nordöstlichen Bundesländer. Dagegen werden erhebliche Zunahmen (+ 5% bis > + 70%) der Niederschlagsmengen im Winter vorausgesagt.

Die Ableitung von Szenarien über das zukünftige Auftreten von Klimaextremen (Frost-, Hitze- und Trockenperioden, Starkniederschläge, Hagel, Stürme, Hochwasser und Sturmfluten) ist schwierig. Für zukünftige Windgeschwindigkeiten prognostizieren die einzelnen Modelle unterschiedliche zum Teil gegensätzliche Tendenzen (Becker, 2013). Grundsätzlich wird von einer generellen Tendenz zur weiteren Zunahme von extremen Klimaereignissen (z.B. Hitzeperioden, Sommertrockenheit) ausgegangen. Alle vier Regionalmodelle bilden für Deutschland eine starke Zunahme vom Sommertagen (Tage mit Mittagtemperaturen > 25°C) und heißen Tagen (Tage mit Mittagtemperaturen > 30°C) ab. Auch die Variabilität zwischen den Jahren wird zunehmen. Für Zentraleuropa prognostizieren Schär et al. (2004) für die Jahre 2071-2100 eine Zunahme der Temperatur-Variabilität um bis zu 100% zwischen den einzelnen Jahren.

Auch die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre hat sich im Laufe des letzten Jahrhunderts deutlich verändert, da z.B. die Konzentrationen der Spurengase Kohlenstoffdioxid (CO₂), troposphärisches Ozon (O₃), Distickstoffmonoxid/Lachgas (N₂O), Stickstoffmonoxid und

-dioxid (NO/NO_2) sowie Methan (CH_4) stark zugenommen haben. Neben ihrer Wirkung als „Treibhausgase“ sind diese Gase in die biogeochemischen Kreisläufe eingebunden und wirken direkt auf Vegetation und Landwirtschaft ein, indem sie unmittelbar mit Pflanzen und Böden interagieren.

Von besonderer Bedeutung ist CO_2 . Während die globale CO_2 -Konzentration der Atmosphäre bis etwa zum Ende des 19. Jahrhunderts bei ca. 280-290 ppm lag, steigt sie seitdem stark an und liegt zurzeit bei ca. 395-400 ppm (NOAA Climate.gov, 2013). Hält der jüngste Trend an, werden die Werte in nur 50 Jahren global bei ca. 500–650 ppm liegen. Erhöhte CO_2 -Konzentrationen beeinflussen das Pflanzenwachstum in der Regel positiv (u.a. Norby und Luo, 2004; Ainsworth und Long, 2005). Trenaussagen zum zukünftigen Verhalten der anderen Spurengasen sind schwieriger. Bodennahe O_3 -Konzentrationen, die ein hohes phytotoxisches Potential besitzen, sollen insbesondere in den urban-agroindustriellen Ballungsräumen der Erde mit einer Rate von 0,3 –1,0% pro Jahr weiter zunehmen. In Deutschland war nach einem stetigen Anstieg sowohl der Mittelwerte als auch der Spitzenkonzentrationen von bodennaheem Ozon in den letzten 10 Jahren kein Trend zu erkennen (vgl. www.dwd.de/ozon).

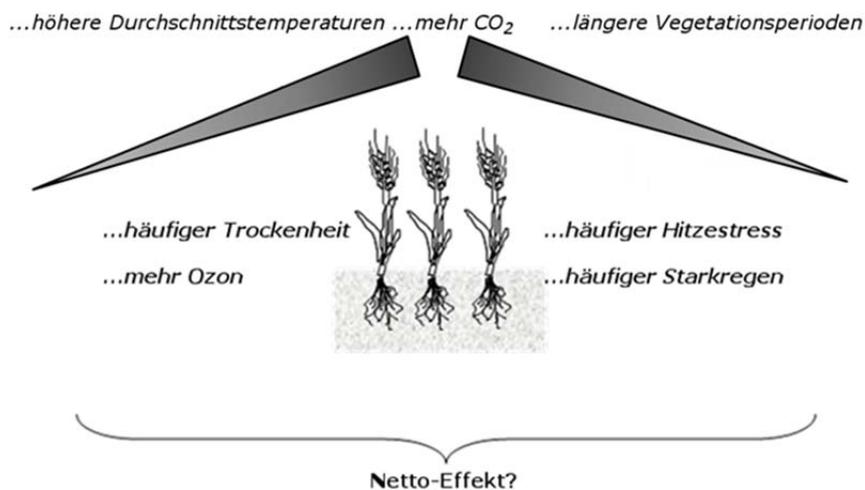


Abbildung 2. Agrarökosysteme im Klima der Zukunft.

Quelle: eigene Darstellung

Die direkten Interaktionen zwischen diesen Spurengasen und Elementen der Agrobiodiversität werden in der vorliegenden Studie nicht betrachtet.

Zusammengefasst bedeutet die oben skizzierte Entwicklung, dass die Agrarökosysteme der Zukunft mit einem Durchschnittsklima konfrontiert sind, das mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit wärmer ist, das dadurch längere Vegetationsperioden ermöglicht und das ein in der jüngeren Erdgeschichte einmalig hohes CO_2 -Angebot der Atmosphäre für alle Pflanzen bereit-

stellt. Vor dem Hintergrund dieser neuen klimatischen Durchschnittsbedingungen ist zusätzlich mit einer höheren Variabilität einzelner Witterungs- bzw. Wetterereignisse zu rechnen, d.h. mit dem vermehrten Auftreten von räumlich und zeitlich stark variierenden Perioden extremer Ereignisse wie Hitze, Trockenheit, Ozonperioden, Starkniederschläge etc. (Abbildung 2). Die interaktiven Auswirkungen dieser verschiedenen Faktoren für die Agrarproduktion müssen erkannt werden, um daraus Konsequenzen zur Anpassung abzuleiten.

A.4. Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung

Änderungen der Klimaparameter Temperatur, Niederschlag und Spurengase (CO₂) wirken direkt auf pflanzenphysiologische Prozesse und damit auf die Quantität und die Qualität der Ernteprodukte. Ferner wirken sich Klimaänderungen auf strukturelle und funktionelle Eigenschaften von Agrarökosystemen z.B. Bodeneigenschaften oder Pflanzenkrankheiten und damit indirekt auf die Pflanzenproduktion aus. Daraus resultieren Folgewirkungen auf die jeweilige regionale und nationale Agrarproduktion und letztlich auf die Agrarmärkte insgesamt.

Die Verletzlichkeit bzw. Vulnerabilität des Agrarsektors insgesamt hängt dabei davon ab, wie Art und Intensität der Klimaänderung selbst ablaufen, wie stark das jeweils betrachtete System innerhalb des Agrarsektors betroffen sein kann und wie die Fähigkeiten ausgeprägt sind, durch geeignete Maßnahmen Folgen des Klimawandels abzumildern oder zu vermeiden, d.h. sich anzupassen. Nachfolgend wird eine kurze Übersicht über die Auswirkungen einzelner Klimaelemente auf die Pflanzenproduktion gegeben.

Temperaturveränderungen

Stoffwechsel und Wachstum von Pflanzen sind durch Kardinaltemperaturen (Minimum, Optimum, Maximum) gekennzeichnet, die je nach Pflanzenart oder -sorte bzw. je nach Standort und Herkunft sehr unterschiedlich ausgeprägt sind. Weiter steigende Durchschnittstemperaturen und zunehmend auftretende Extremtemperaturereignisse (Hitzestress) werden sich daher unterschiedlich auf die Produktion der verschiedenen Kulturpflanzen auswirken (Morison und Lawlor, 1999; Porter und Gawith, 1999).

Oberhalb ihres art- bzw. sortenspezifischen Temperaturoptimums werden Kulturpflanzen durch Temperaturextreme jedoch meist geschädigt. Besonders Phasen der Samen- und Fruchtbildung z.B. sind relativ temperaturempfindlich. Extremtemperaturen (z.B. Hitzeperioden in heißen Sommermonaten), die nur wenig oberhalb der Durchschnittstemperaturen liegen, beeinträchtigen generative Stadien, wie z.B. die Anthese, d.h. das Entfalten der Blüte bei Getreide (Porter und Gawith, 1999; Barnabás et al., 2008). Hier können hohe Temperaturen (für Weizen und Mais ab $T > 30^\circ$ bzw. 35°C) zu Problemen bei der Befruchtung bis hin zur Sterilität führen, was bei Getreide durch die Verringerung der potentiellen Kornzahl deutliche Ertragseinbußen nach sich zieht.

Kritisch für den Ackerbau ist die generelle Zunahme der Klimavariabilität. Hierzu sind bisher allerdings kaum Szenarien der möglichen Folgewirkungen entwickelt worden. Eine Modellrechnung für Weizen ergab z.B., dass eine simulierte Verdopplung der Standardabweichung der saisonalen Durchschnittstemperatur unter gleichzeitiger Beibehaltung des Mittelwertes den gleichen Ertragsrückgang bewirken kann wie eine durchschnittliche Temperaturerhöhung um 4°C und gleichzeitig die Variabilität der Erträge verdoppelt (Semenov und Barrow, 1997; Porter und Semenov, 1999).

Auch Qualitätseigenschaften pflanzlicher Produkte können von den Temperaturveränderungen betroffen sein. Zum Beispiel führt Hitzestress bei Weizen während der Kornfüllung z.B. zu einer Erhöhung und qualitativen Veränderung des Proteingehalts und beeinflusst funktionelle Eigenschaften für das Brotbacken (Tester et al., 1995). Zuckerrüben weisen unter Hitzestress erhöhte Amino-N-Gehalte auf (Demmers-Derks et al., 1998), bei Raps reduzieren hohe Temperaturen den Ölgehalt (Lütke Entrop, 1986; Aksouh et al., 2001).

Niederschlagsveränderungen

Innerhalb einer relativ weiten Temperaturspanne ist grundsätzlich der Niederschlag bzw. der Wasserhaushalt ausschlaggebend, welche Kulturpflanzen erfolgreich angebaut werden kann. Selbst geringe Veränderungen der Niederschlagsmengen wirken sich deutlich auf die Produktivität von Agrarökosystemen aus. Da die Verdunstung insbesondere von der Temperatur abhängt und um ca. 5% pro °C Temperaturerhöhung steigt, wird der Wasserhaushalt eines Agrarökosystems auch durch die klimatische Erwärmung beeinflusst.

Mit abnehmender Verfügbarkeit des Bodenwassers wird die Wasseraufnahme durch die Wurzel eingeschränkt und reduziert meist unmittelbar das Pflanzenwachstum. Davon kann zunächst das oberirdische Sprosswachstum stärker betroffen sein als die Wurzelentwicklung selbst. Verschiedene Arten und verschiedene Sorten einer Art reagieren sehr unterschiedlich auf Wassermangel. Darüber hinaus sind bei den vielen Kulturpflanzen unterschiedliche Entwicklungsstadien unterschiedlich empfindlich gegenüber Wassermangel. Nutzpflanzen sind besonders im Stadium der Fortpflanzung (bei Getreide: Blüte; Bestäubung, Kornfüllung) empfindlich gegenüber Wassermangel.

Sensitiv reagiert u.a. auch die Blattentwicklung, so dass sich auch temporär begrenzter Wasserstress durch die Reduktion des Blattflächenindex nachhaltig auf die Photosynthese- und Ertragsleistung auswirken kann. Insbesondere bei einjährigen Kulturpflanzen verkürzt eine zunehmende Sommertrockenheit die effektive Entwicklungsdauer, wobei eine beschleunigte Abreife der Pflanzen in der Regel nicht nur auf Kosten der Fruchtbildung, sondern auch der Produktqualität geht. Tritt eine zunehmende Trockenheit bereits zu Vegetationsbeginn auf, kann sich in Abhängigkeit vom Bodentyp auch das Keimen bzw. Aufgehen von Ackerkulturen verringern. Darüber hinaus sind Nährstoffe bei geringer Bodenfeuchte schlechter verfügbar und die Anfälligkeit gegenüber Winderosion nimmt zu. Das gegensätzliche Extrem, Starkregen, fördert ebenfalls die Erosion, vor allem, wenn der Boden frisch gepflügt ist oder keine ausreichend stabilen Bodenaggregate besitzt.

Veränderungen der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre

CO₂ aus der Atmosphäre ist als Substrat für Wachstum und Entwicklung aller Pflanzen von fundamentaler Bedeutung. Die heutige CO₂-Konzentration ist für die meisten C₃-Pflanzen suboptimal. Eine Erhöhung der CO₂-Konzentration bei diesen Pflanzen (z.B. Reis, Weizen, Soja, Zuckerrübe) führt in der Regel zu einer Stimulation der Photosyntheserate und gleichzeitig zu einer Verminderung der Transpiration. C₄-Pflanzen (z.B. Mais, Hirse, Zuckerrohr) reagieren

nicht mit einer Photosynthesesteigerung, verringern aber ebenfalls ihre Transpirationsrate (Leakey et al., 2009). Bei beiden Pflanzentypen resultiert daraus eine Verbesserung der Wassernutzungseffizienz.

Inwieweit diese Effekte auf der Blattebene zu einer Steigerung des Wachstums bzw. Ertrages von Kulturpflanzen führen können, ist nicht abschließend geklärt. Mit einer Vielzahl von CO₂-Anreicherungsversuchen hat man bisher versucht, die mögliche Größe dieses sog. „CO₂-Düngeeffektes“ zu ermitteln. Diese Untersuchungen erbrachten je nach Versuchsanstellung Ertragszuwächse im Bereich von ca. 10% bis + 25% bei einer CO₂-Erhöhung um 250-300 ppm gegenüber der jeweils aktuellen Umgebungskonzentration (350-385 ppm) (Kimball und Idso, 1983; Ainsworth und McGrath, 2010; Weigel und Manderscheid, 2012).

Eine in fast allen Studien zum „CO₂-Düngeeffekt“ beobachtete Reaktion ist die Veränderung der Gehalte an Makro- (z.B. Stickstoff, Schwefel) und Mikroelementen (z.B. Zink, Eisen) sowie sonstiger (z.B. Proteine, Zucker, Vitamine, sekundäre Pflanzenstoffe) Inhaltsstoffe (Taub et al., 2008; Erbs et al., 2010).

Veränderungen des bodennahen Ozons

Die potentielle Phytotoxizität des bodennahen Ozons ist seit mehr als 50 Jahren bekannt. Schäden an Kultur- und Wildpflanzen sowie an Waldbäumen werden seit den letzten Jahrzehnten des vorigen Jahrhunderts in den USA sowie in großen Teilen Europas einschließlich Deutschlands immer wieder nachgewiesen (z.B. Ashmore, 2005; U.S. EPA., 2006; Grünhage et al., 2011). Dazu gehören Ertragsminderungen und Qualitätsverluste durch sichtbare Blattschädigungen bzw. Veränderungen von Inhaltsstoffen bei landwirtschaftlichen Kulturpflanzen, unter denen z.T. sehr ozonempfindliche Arten (z.B. Weizen und Sojabohne) und Sorten zu finden sind (Mills et al., 2007; Weigel und Bender, 2012).

Interaktionen und Rückkopplungseffekte von Temperatur, Niederschlag, CO₂

In welcher Weise die o.g. Klimaelemente bei ihrer Wirkung auf die Pflanzenproduktion in Wechselwirkung treten, ist noch nicht geklärt. Modelle und Experimente zeigen z.B., dass die positive CO₂-Wirkung auf die Photosynthese mit steigender Temperatur zunimmt (Long, 1991; Manderscheid et al., 2003). Dies zeigt sich jedoch nicht immer auf der Ebene des Pflanzenwachstums. Es wurden sowohl positive (Batts et al., 1997), keine (Mitchell et al., 1993) als auch negative (Prasad et al., 2006) Interaktionen festgestellt, d.h. die CO₂-Anreicherung kann unter erhöhten Temperaturen auch einen Wachstumsabfall bewirken.

Die Reduktion der pflanzlichen Transpiration durch mehr CO₂ ist häufig mit einer Temperaturzunahme (ca. + 1° bis 2°C) der Bestandesoberflächen verbunden. Dies könnte die Wirkung einer klimatischen Temperaturerhöhung weiter verstärken. Ob die CO₂-Wirkung auf den pflanzlichen Wasserhaushalt durch die Reduktion der Wasserabgabe an die Atmosphäre in einem zukünftig wärmeren Klima Probleme mit Bodentrockenheit bzw. Trockenstress tatsächlich abmildert, bleibt jedoch Spekulation.

Der „CO₂-Düngeeffekt“ spielt daher eine entscheidende Rolle für die Bewertung von Klimafolgen für die Pflanzenproduktion. In vielen entsprechenden Pflanzenwachstums- bzw. Ertragsmodellen fallen negative Ertragseffekte, die allein aufgrund erhöhter Temperaturen (und schlechterer Wasserversorgung) berechnet werden, wesentlich geringer aus bzw. kehren sich in positive Wirkungen um, wenn der CO₂-Düngeeffekt in die Bewertung mit einbezogen wird. Auch für die Bewertung der Folgen einer zunehmenden Klimavariabilität bzw. der Zunahme von Extremereignissen muss berücksichtigt werden, dass diese Szenarien in einer Atmosphäre wirksam werden, in der allen Pflanzen grundsätzlich mehr CO₂ zur Verfügung steht. Die Hitzetoleranz von Kulturpflanzen unter hohen CO₂-Konzentrationen ist z.B. höher als unter den heutigen CO₂-Bedingungen (Hamilton et al., 2008).

Phänologische und Arealveränderungen

Auf Grund der zunehmend milderen Winter wird sich die Vegetationszeit in Deutschland weiter verlängern. Im Vergleich zum langjährigen Mittel 1961-1990 tritt beispielsweise die Apfelblüte nun 15 Tage früher ein (Müller-Westermeier, 2002). Von der Verlängerung der Vegetationszeit profitieren z.B. Zuckerrüben und viele Arten des Grünlands. Die Überlebensrate von Winterkulturen wird auf Grund der milderen Temperaturen zwar steigen, dieser Effekt könnte jedoch durch Spätfrostschäden, erhöhtes Schädlingsaufkommen oder eine zeitliche Asynchronität von Bestäubern und Blühzeitpunkten zunichte gemacht werden (Kreyling, 2010).

Nicht nur die Kulturpflanzen, sondern auch deren Schädlinge werden durch die milden Winter begünstigt. Deren Areale werden nach Norden hin nicht mehr durch die kalten Winter beschränkt, so dass wir mit dem verstärkten Auftreten wärmeliebender Schädlinge rechnen müssen. Eine Zunahme wärmeliebender Unkräuter wie Storchschnabel-, Hirse- und Gänsefußarten wurde beispielsweise in Niedersachsen schon beobachtet, zukünftige Prognosen sind jedoch mit Unsicherheiten behaftet (Breitsameter und Steinmann, 2014).

Ertragsprognosen

Die Auswirkungen des projizierten Klimawandels auf die Erträge landwirtschaftlicher Kulturen werden meist über Pflanzenwachstumsmodelle simuliert. Die Simulationen zukünftiger Erträge erfolgen je nach Modell in unterschiedlicher räumlicher Auflösung (z.B. Länder, Boden-Klima-Räume) dargestellt. Bei allen Impakt-Modellierungen haben die Wahl des Emissions-szenarios, das eingehende globale Zirkulationsmodell (GCM) und die Wahl des Regionalisierungsmodells für die Klimadaten einen Einfluss auf die daraus abgeleiteten Größen.

Stellvertretend für derartige Klimafolgenabschätzungen zeigt Tabelle 2 ein Beispiel aus Deutschland für Winterweizen. Die Ertragssimulationen bis Mitte des Jahrhunderts zeigen für die ausgewählten Anbauregionen aufgrund der unterschiedlichen naturräumlichen Standort- und Klimabedingungen unterschiedliche Ertragsveränderungen durch den Klimawandel. Demnach können die Ertragszunahmen mehr als 20% betragen, aber auch Rückgänge um bis zu 24% bei Nichtberücksichtigung des CO₂-Düngeeffektes sind möglich.

Tabelle 2. Relative Ertragsänderungen von Winterweizen in einzelnen Bundesländern, Naturräumen und Flusseinzugsgebieten in Deutschland ermittelt aus verschiedenen regionalen Klima-Impaktstudien mittels Modellberechnungen ohne Berücksichtigung des CO₂-Düngeeffektes sowie (in Klammern) mit CO₂ Effekt.

Bundesland / Naturraum-Flusseinzugsgebiet	Ertragsänderung	[%] Szenarium (SRES, RCP)	Zeithorizont
Baden Württemberg	-14	A1	2050
Hessen	-10	B2	2041-2050
Brandenburg [3]	-17 (-10)	A1B	2055
Märkisch-Oderland	- 5 (+0,5)	A1B	2055
Sachsen-Anhalt [1]	- 7 ... -1	A1B	2071-2100
Elbeinzugsgebiet	- 7,5	A1, B2	2020
Elbeinzugsgebiet [2]	-14 ... - 8	RCP 2.6	2031-2060
	-24 ... -20	RCP 8.5	
Rheineinzugsgebiet [2]	- 3 ... + 3	RCP 2.6	2031-2060
	+ 8 ... +11	RCP 8.5	
Nordrhein-Westfalen [4] + [5]	bis -5 (+10 bis > +20)	A1B	2050
(verschiedene Regionen)	bis -7 (+5 bis > +15)	B1	

Quellen: [1] Vulnerabilitätsstudie für Sachsen-Anhalt (Kropp et al., 2006); [2] Klimafolgen online (Lüttger und Gottschalk, 2013); [3] Ertragsfähigkeit ostdeutscher Ackerflächen unter Klimawandel (Wechsung et al., 2008); [4] Modellierung der Folgen des Klimawandels in Nordrhein-Westfalen (Burkhardt und Gaiser, 2010); [5] Klimawandel in Nordrhein-Westfalen (Kropp et al., 2009)

Allerdings kann es durch die zunehmende jährliche Variabilität des Klimas und durch Klimaextremereignissen wie Hitzewellen und Trockenheit zu stärkeren jährlichen Schwankung der Erträge kommen. Extremereignisse sind es, die der Landwirtschaft schwere Schäden zufügen können. Zu hohe (z.B. bei Getreide) oder zu tiefe Temperaturen (Obstanbau) während der Blütezeit können die gesamte Fruchtbildung einschränken oder gar verhindern (Hedhly, 2011; Semenov und Shewry, 2011). Hagelschauer können die Jungpflanzen ganzer Felder zerstören. Starkregenereignisse erhöhen die Bodenerosion (Michael et al., 2005).

Anpassung

Die Entwicklung und Anwendung von Anpassungsmaßnahmen entscheidet mit darüber, welche tatsächlichen Konsequenzen die zukünftige Klimaveränderung für die Agrarproduktion haben wird (Vulnerabilität). Für die Ableitung von Anpassungen müssen die verschiedenen Ebenen der landwirtschaftlichen Produktion von der Auswahl der einzelnen Kulturpflanze bis

hin zum gesamtbetrieblichen Management sowie vor- und nachgelagerte Produktionszweige und der internationale Agrarhandel betrachtet werden.

An Veränderungen mittlerer Klimawerte passt sich die Landwirtschaft fortlaufend mit kurz- bis mittelfristigen Maßnahmen an. Während diese Anpassungen selbständig (und mehr oder weniger kostenneutral) von den Landwirten durchgeführt werden können (autonome Anpassung), benötigen längerfristig notwendige Maßnahmen gezielte Vorgaben seitens Wissenschaft, Politik und Verwaltung (geplante Anpassung). Anpassungsmaßnahmen an die zunehmende Klimavariabilität bzw. an die Zunahme extremer Ereignisse sind weit schwieriger zu planen und zu realisieren. Einige Anpassungsmaßnahmen werden nachfolgend stichwortartig für den Bereich Pflanzenbau und Boden angesprochen.

- Anbaueignung, Wachstum, Produktivität und Gesundheit von Kulturpflanzen
 - Änderung von Aussatterminen (im Herbst bzw. Frühjahr) und von Saaddichten und Reihenabstand
 - Auswahl geeigneter Arten (z.B. mit höherer Wassernutzungseffizienz) und Sorten (höhere generelle Trocken-, Hitze- bzw. Klimatoleranz) sowie stärkere Nutzung von Arten/Sorten mit „escape Strategien“ (z.B. Vermeidung von Trockenphasen durch frühe Entwicklung)
 - Anpassung von Fruchtfolgen durch Anbau von anderen Kulturen bzw. Sorten (Mischung von C3/C4 Pflanzen)
 - generell stärkere Diversifizierung von Fruchtfolgen zur Risikominimierung und zur Stärkung der Klimaplastizität des Anbaus
 - Optimierung von Düngestrategien zur max. Nutzung des positiven CO₂-Effektes und zur Sicherstellung von Qualitätseigenschaften (z.B. unter Hitzestress)
 - Änderung des Pflanzenschutzmanagements z.B. aufgrund veränderter Entwicklungsverläufe der Pflanzen und höherem Trockenstressrisiko sowie auf der Basis fortlaufend neuer Fachinformationen zur veränderten Relevanz bekannter und zum Auftreten neuer Schaderreger
- Verfügbarkeit und Nutzungsmöglichkeiten von Wasserressourcen sowie Schonung biotischer und abiotischer Bodenressourcen
 - Optimierung der landwirtschaftlichen Beregnung durch technische Maßnahmen (z.B. Präzisionsbewässerung), Verbesserung der Steuerung des Bewässerungseinsatzes und durch Anlage von Wasserreservoirien in trockenheitsgefährdeten Regionen
 - Mehrfachnutzung von Wasser (z.B. Rückhalt von Oberflächenabfluss und Brauchwasser)
 - Ausbau von Entwässerungssystemen (Drainage) zum Schutz gegen Extremniederschläge in gefährdeten Regionen

- Optimierung von Techniken zur Konservierung der Bodenfeuchte (z.B. konservierende Bodenbearbeitung, Minimalbodenbearbeitung, Mulchsaat)
- Förderung von Maßnahmen zum Erosionsschutz, zur Vermeidung von Bodenverdichtungen sowie zur Förderung der org. Bodensubstanz durch Änderungen der Bodenbearbeitung
- Förderung und Einsatz von natürlichen Bodenverbesserern
- Änderungen der Bodenbearbeitung (u.a. gezielter Humusaufbau) zur Verbesserung der Wasserregulation.
- Züchtung, genetische Ressourcen
 - generelle Weiterentwicklung robuster und unter wechselnden Witterungsbedingungen ertragsstabiler Kulturen
 - züchterische Verbesserung der Hitze- und Trockenstresstoleranz traditioneller Kulturpflanzen und Anpassung der Entwicklungsraten von Pflanzen an die geänderten Temperatur- und Niederschlagsbedingungen
 - Bereitstellung von Saatgut neuer, Wärme liebender Pflanzensorten
 - die Erhöhung des Wachstums- und Ertragspotentials zur optimalen Ausnutzung des CO₂-Düngeeffektes
 - Sicherstellung einer hohen stofflichen Qualität unter veränderten Wuchsbedingungen durch Züchtung
 - Resistenzzüchtung zur Abwehr von neuen, durch den Klimawandel auftretenden Schädlingen und Krankheiten
 - Prüfung der Klimasensitivität traditionell genutzter und alter Sorten und Förderung des Anbaus
 - ev. Koppelung von Arten- und Biotopschutzprogrammen mit Maßnahmen zum Schutz (pflanzen)genetischer Ressourcen
 - grundsätzliche Förderung von Kulturarten- bzw. Nutzungsvielfalt.

Die überwiegende Mehrheit dieser Anpassungsmaßnahmen beinhaltet eine Änderung des Managements, oft kombiniert mit dem Einsatz neuer Technik und neu gezüchteter Sorten. Diese Arten von Anpassungsmaßnahmen werden im folgenden Text nur marginal behandelt. Von Interesse sind vielmehr diejenigen Maßnahmen, die eine direkte (z.B. Erweiterung der Fruchtfolge) oder indirekte Erhöhung der Agrobiodiversität (z.B. Förderung von Bodenlebewesen über spezielle Bodenbearbeitung) beinhalten.

A.5. Biodiversität und Agrobiodiversität

Das Übereinkommen über die biologische Vielfalt (Convention on Biodiversity, CBD) definiert „Biodiversität“ oder „biologische Vielfalt“ als „...die Variabilität unter lebenden Organismen jeglicher Herkunft, darunter unter anderem Land-, Meeres- und sonstige aquatische Ökosysteme und die ökologischen Komplexe, zu denen sie gehören.“ Dies umfasst die Vielfalt innerhalb der Arten und zwischen den Arten und die Vielfalt der Ökosysteme. Biodiversität umfasst somit nicht nur die Anzahl aller Arten von Tieren, Pflanzen, Pilzen und Mikroorganismen auf der Erde, sondern schließt auch die genetische Variabilität (Sorten- und Rassenvielfalt) und die Strukturvielfalt ganzer Lebensräume und Regionen mit ein.

Biodiversität ist eine existentielle Grundlage des menschlichen Lebens. Ohne funktionierende Nährstoff- und Wasserkreisläufe, ohne fruchtbare Böden und Nahrungsmittel könnte die Menschheit nicht existieren. All diese Prozesse und Produkte werden durch biologische Vielfalt gesteuert bzw. hervorgebracht. In der o.g. CBD und in der nationalen Biodiversitätsstrategie wurde daher festgeschrieben (BMU, 2007), dass die Biodiversität als menschliche Lebensgrundlage zu pflegen, zu schützen, zu entwickeln und auch wieder herzustellen ist. Dabei sollen Schutz und Nutzung der Biodiversität stets aus ökonomischer, ökologischer und sozialer Sicht betrachtet werden.

Biodiversität, die direkt oder indirekt mit Landwirtschaft in Verbindung steht, wird als Agrobiodiversität bezeichnet. Sie kann definiert werden als Summe aller mittelbar und unmittelbar durch die Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei genutzten oder nutzbaren Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen (FAO, 1999; Wood und Lenné, 1999; vgl. Tabelle 3). Da deren Eigenschaften genetisch bedingt sind, werden sie im Hinblick auf die Möglichkeit der Veränderung durch Züchtung auch als genetische Ressourcen für Ernährung, Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft bezeichnet (BMELV, 2007). Ebenso bereichern alle „wildlebenden“ Verwandten der Nutzpflanzen und Nutztiere als potentiell nutzbare Ressourcen sowie alle in Genbanken verwahrten Sorten die Agrobiodiversität (Smale et al., 1998). Dieser Teil der Agrobiodiversität wird „geplante“ Agrobiodiversität genannt (Tabelle 3).

Zur Agrobiodiversität gehören auch alle nicht direkt durch den Menschen genutzten Lebewesen, ohne die Agrarökosysteme nicht funktionieren würden, wie zum Beispiel Mikroorganismen im Boden, Bestäuber oder Räuber und Parasiten. Dieser Teil der Diversität wird als „begleitende“ oder „assoziierte“ Agrobiodiversität bezeichnet (Tabelle 3). Auf Landschaftsebene werden wichtige ökologische Funktionen wie Grundwasserbildung, Bodenschutz oder Kohlenstoffsequestrierung durch diese assoziierte Agrobiodiversität aufrechterhalten.

Einige Besonderheiten grenzen Agrobiodiversität gegen die „natürliche“ Biodiversität ab (FAO, 1999). Agrobiodiversität wird grundsätzlich aktiv durch den Menschen verwaltet und genutzt und ohne ihn würde sie in der heutigen Form nicht existieren. Deshalb gehören nicht nur die Arten und Sorten selbst, sondern auch die Kenntnis über deren Nutzung und Verwendungsmöglichkeiten werden der Agrobiodiversität zugerechnet, d.h. sie besitzt neben der

ökologischen auch eine sozioökonomische und kulturelle Dimension (Tabelle 3). Dies wird deutlich durch die Einführung nicht heimischer Arten in viele Regionen der Erde (z.B. Kartoffeln und Mais nach Europa, schwarzbuntes Milchvieh nach Afrika). So entstand eine enge Wechselbeziehung zwischen Regionen mit hoher genetischer Vielfalt an nutzbaren Lebewesen und den Regionen, die diese Vielfalt nutzen (Smale und Day-Rubenstein, 2002).

Tabelle 3. Übersicht Agrobiodiversität.

Geplante Agrobiodiversität	Assoziierte Agrobiodiversität	
Genetische Ressourcen für Ernährung und Landwirtschaft	Beiträge zur Sicherstellung ökologischer Funktionen	
Gen- und Artebene Arten, Rassen, Varietäten, verwandte Wildformen	Agrarökosystemebene	Landschaftsebene
<ul style="list-style-type: none"> • Pflanzengenetische Ressourcen • Tiergenetische Ressourcen • Mikrobielle genetische Ressourcen 	z.B. <ul style="list-style-type: none"> • Nährstoffumsatz • Streuabbau • Krankheits- u. Schädlingsregulation • Bestäubung 	z.B. <ul style="list-style-type: none"> • Grundwasserneubildung • Regionale Hydrologie • Lokale Klimaregulation • Boden- und Gewässerschutz • Kohlenstoffsequestrierung
⇒ Produktion in der Landwirtschaft	⇒ Ökologische Leistungen in der Landwirtschaft ⇒ „ecological services“	
Sozioökonomische und kulturelle Dimension (Traditionswissen, Vermarktungspraktiken, Eigentumsrechte, etc.)		

Quelle: eigene Darstellung, zusammengestellt gemäß der Definitionen von UNEP (United Nations Environment Programme), CBD, SBSTTA (Subsidiary Body on Scientific, Technical and Technological Advice) und FAO.

Auch in den vom Menschen genutzten und modifizierten Ökosystemen kann Biodiversität auf verschiedenen Skalen oder hierarchischen Ebenen betrachtet werden (Tabelle 3). Auf der untersten Ebene dieser Agrobiodiversität steht dabei die genetische Vielfalt jeder genutzten Art. Diese umfasst zum einen die gesamte Menge an verschiedenen Varietäten oder Rassen einer Kulturpflanze oder eines Nutztieres. Zum anderen zählt hierzu auch die genetische Variabilität innerhalb eines Feldes, das mit einer Pflanzensorte bestellt wird, bzw. die Variabilität der Individuen innerhalb einer Nutztierherde. Werden z.B. (patentierte) genetisch modifizierte Varietäten in der Landwirtschaft genutzt, so ist deren genetische Vielfalt eher gering, wäh-

rend traditionelle Landrassen genetisch noch sehr heterogen sind (Greenpeace, 2010). Auch der Anbau verschiedener Pflanzensorten auf einem Feld erhöht die genetische Vielfalt.

Die nächsthöhere Ebene umfasst die Diversität von Arten auf der Ebene des landwirtschaftlichen Betriebes. Hierunter fallen beispielsweise der zeitlich variierende Anbau von Fruchtarten im Rahmen von Fruchtfolgen, sowie der räumlich variierende Gemengeanbau, die Vielfalt der angebauten Kulturpflanzen oder Agroforstsysteme, in denen Baum- oder Gehölzreihen zwischen den Feldern angepflanzt und genutzt werden (FAO, 1999; Greenpeace, 2010; PAR und FAO, 2011).

Die oberste Ebene kennzeichnet die Agrobiodiversität einer Landschaft oder Region. Bestimmt wird diese durch die Größe der Betriebe selbst (es ist z.B. offen, ob bzw. inwieweit kleinere Betriebe die Landschaftsagrobiodiversität erhöhen), durch die Vielfalt der von den Landwirten genutzten Anbausysteme (Greenpeace, 2010) und vom Landschaftskontext, in den die Betriebe eingebettet sind.

Landwirtschaft und (Agro)Biodiversität stehen in einem komplexen Verhältnis zueinander. Erst die „Erfindung“ der Landwirtschaft hat eine hohe Anzahl an Kulturpflanzensorten und Nutztierassen hervorgebracht (Kotschi und von Lossau, 2011; GIZ 2013). Zum Beispiel werden über 10.000 Pflanzenarten vom Menschen genutzt und dadurch erhalten. Gegenüber der ursprünglichen, artenärmeren Waldvegetation sorgte die durch die Landwirtschaft reich strukturierte Landschaft in Mitteleuropa zusammen mit der Einführung neuer Arten für eine stetige Biodiversitätszunahme bis etwa Mitte des 19. Jahrhunderts (Ellenberg, 1996; Klotz et al., 2012; Werner et al., 2013), da durch die bis dahin praktizierte, traditionelle kleinräumige Landwirtschaft viele neue Habitate entstanden.

Seit Beginn des 20. Jahrhunderts ist die Biodiversität weltweit und auch in Europa rückläufig und vor allem seit den 1950er Jahren nimmt sie mit Besorgnis erregender Geschwindigkeit ab (Sala et al., 2000). Hauptverursacher dafür ist, neben unerwünschten Stoffeinträgen in Ökosysteme, Veränderungen des Klimas, der Verbreitung gebietsfremder Organismen und dem vermehrten Fangen und Absammeln von Tieren und Pflanzen, der Landnutzungswandel (Sala et al., 2000). Dieser ist auch wichtigste Ursache für den Rückgang an Agrobiodiversität selbst, u.a. durch Intensivierung landwirtschaftlicher Nutzung in Gunstregionen, Aufgabe extensiver Nutzungssysteme in Ungunstregionen sowie in jüngerer Zeit durch Ausweitung des Anbaus von Energiepflanzen und den damit verbundenen Veränderungen der Nutzungsintensität. Zum Beispiel wurden und werden artenreiche, naturnahe Biotope in großflächige Agrarmonokulturen umgewandelt oder artenreiches, extensiv genutztes Grünland aufgegeben, was durch die Sukzession der Vegetation zum Wald ebenfalls zu einem Artenverlust führt.

Speziell in Mitteleuropa wurde durch die Trennung von Mischbetrieben in spezialisierte Vieh- und Ackerbaubetriebe sowie durch mineralische Düngung, durch zusätzlichen Stickstoffeintrag aus der Luft, großflächige Entwässerung und Flurbereinigung die Agrarlandschaft stark vereinheitlicht, was vor allem zu einem Verlust an Arten auf oligotrophen, mageren Standor-

ten führte (Ellenberg, 1996; Klotz et al., 2012; Werner et al., 2013). In Deutschland wachsen rund 75% der gefährdeten Pflanzenarten auf land- oder forstwirtschaftlich genutzten Flächen (Werner et al., 2013).

Nicht nur die Zahl der mit der Landwirtschaft assoziierten Arten (assoziierte Agrobiodiversität; s.o.) hat abgenommen, auch die Anzahl der landwirtschaftlich genutzten Arten selbst nahm in den letzten 60 Jahren weltweit dramatisch ab. Im Zuge der „grünen Revolution“ in Asien und Lateinamerika wurden viele traditionelle Landrassen durch Hochleistungssorten ersetzt und es gingen viele auf spezielle Standorte angepasste Landrassen für immer verloren (FAO, 2007, 2010). So sind beispielsweise von den ca. 10.000 lokalen Weizenrassen, die es 1949 noch in China gab, nun nur noch weniger als 1000 übrig (GIZ, 2013). Wurden auf den Philippinen vor der „grünen Revolution“ noch ca. 3000 lokale Reissorten angebaut, wachsen heute auf 80% der Reisanbauflächen im Tiefland nur fünf Sorten (Blessin, 2009). Diese dramatische Abnahme der genetischen Diversität behindert insbesondere auch die Züchtung neuer, z.B. an den Klimawandel besser angepasster Sorten (Gepts, 2006; Pascual et al., 2011; Padulosi et al., 2012). Denn je kleiner das Reservoir an genetischen Merkmalen ist, desto schwieriger wird es, wichtige Eigenschaften wie etwa Toleranz gegenüber Trockenheit für die intensiv genutzten Kulturpflanzenarten züchterisch zu nutzen.

A.6. Stabilität, Resistenz und Resilienz von Ökosystemen

Definitionen

Ökosysteme werden meist als Beziehungsgeflechte zwischen Organismen und ihrer Umwelt auf begrenztem Raum bezeichnet (z.B. Schulze et al., 2002). Sie sind charakterisierbar u.a. durch Einteilung in Kompartimente (z.B. oberirdisch/unterirdisch), trophische Ebenen (Produzenten, Konsumenten und Destruenten bilden jeweils eine Ebene), funktionelle Gruppen (alle Organismen, die sich hinsichtlich bestimmter Eigenschaften ähnlich verhalten, lassen sich zu funktionellen Gruppen zusammenfassen (z.B. Gräser, Stickstoff-fixierende Pflanzen oder Bestäuber) oder durch strukturelle Merkmale (hierdurch wird der räumliche Aufbau eines Ökosystems beschrieben; z.B. Bäume, Sträucher, Kräuter). Zur weiteren Charakterisierung eines Ökosystems können Messgrößen für Prozesse (z.B. Bilanzen von Stoffflüssen) herangezogen werden. Alle kollektiven inter- und intraspezifischen Interaktionen wie z.B. Primär- und Sekundärproduktion oder mutualistische Beziehungen sowie Beziehungen zwischen Organismen und ihrer materiellen Umwelt (u.a. Nährstoffzyklen, Wasserrückhaltung, Bodenentwicklung) gehören zu den sogenannten Ökosystemfunktionen.

Einige der Ökosystemfunktionen sind für den Menschen von besonderer Bedeutung, da er einen unmittelbaren Nutzen aus diesen Funktionen zieht. Zu diesen als Ökosystemdienstleistungen bezeichneten Funktionen (Schulze et al., 2002; Begon et al., 2006) gehören z.B. die Produktion von Biomasse, die Versorgung mit Trinkwasser oder der Abbau von Schadstoffen. Ökosysteme werden oft auch nach dem Grad der menschlichen Einflussnahme unterteilt (z.B. natürliche/naturnahe/halbnatürliche/Agrar- u. Forstökosysteme).

Betrachtet man die o.g. Kenngrößen von Ökosystemen über einen längeren Zeitraum, so lassen sich Aussagen über die Stabilität eines Ökosystems treffen. Ein Ökosystem wird als stabil bezeichnet, wenn sich sein ursprünglicher Zustand auf lange Zeit gesehen nicht oder kaum verändert. Da Ökosysteme jedoch offene Systeme sind, die durch äußere Umwelteinflüsse verändert werden können, kann man ihre Stabilität nicht mit einem undynamischen, stationären Zustand gleichsetzen (Dierschke, 1994; Ellenberg, 1996). Zudem ist Variabilität auf einer bestimmten Ebene (z.B. auf Populationsebene) nicht gleichzusetzen mit einer Instabilität des gesamten Systems.

Die Stabilität wird durch mehrere Aspekte beschrieben (Begon et al., 2006). Zunächst wird zwischen Resistenz und Resilienz bzw. Elastizität eines Ökosystems unterschieden. Resistenz bezeichnet dabei die Fähigkeit eines Systems seinen ursprünglichen Zustand auch bei einer Störung von außen beizubehalten. Eine solche Störung kann witterungs- oder wetterbedingt sein (Dürre, Kältewelle, Spätfrost, Sturm, Hagel, Überschwemmung) oder auch durch den Menschen verursacht werden (Feuer, Bewirtschaftungsmaßnahmen wie z.B. ein Herbizid Einsatz). Resistente Systeme tolerieren einen weiten Bereich von Störungsereignissen. Die Resilienz wiederum gibt an, wie schnell ein System nach einer Störung (durch die es verändert wurde) wieder in seinen Ausgangszustand zurückkehrt.

Ein weiterer Aspekt im Hinblick auf Ökosystemeigenschaften bezieht sich auf die Umweltbedingungen, unter denen ein Ökosystem stabil ist, sowie auf die Eigenschaften bzw. Populationsdichten der in ihm enthaltenen Arten. Bleibt ein System nur unter ganz spezifischen Umweltbedingungen mit einer scharf abgegrenzten Kombination von Arten stabil, so sprechen z.B. Begon et al. (2006) von dynamisch-fragilen („dynamically fragile“) Systemen. Dynamisch-robuste („dynamically robust“) Systeme sind dagegen in einem weiten Bereich von Umweltbedingungen stabil und tolerieren einen erweiterten Bereich von Artkombinationen und Populationsdichten innerhalb des Systems.

Die Stabilität von landwirtschaftlichen Systemen wird meist über den Ernte-Ertrag oder den daraus erzielten finanziellen Gewinn als Indikator beschrieben. Für ganzheitliche Betrachtungen werden häufig mehrere Ökosystemfunktionen bzw. -dienstleistungen (z.B. Wasserspeicherung, Schadstofffilterung, Ertrag, Erholungswert, Schutz bestimmter Arten) gegeneinander abgewogen.

Im Zusammenhang mit Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel werden weitere Begriffe zur Charakterisierung der Stabilität von (Öko)Systemen angewandt. So wird in der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) an den Klimawandel (BMU, 2011) nicht von der Stabilität eines Systems, sondern von dessen „Klimarobustheit“ gesprochen. Sie ist dort definiert als „die Fähigkeit von Systemen, Organisationen oder (einzelnen) Akteuren ohne wesentliche Funktionseinbußen in einem breiten Bereich von Klimabedingungen zu bestehen oder Klimaänderungen hinnehmen zu können“. Diese Formulierung lässt sich somit sowohl auf soziale wie auf ökologische oder ökonomische Systeme anwenden.

In Rahmen der DAS werden darüber hinaus die Begriffe „Vulnerabilität“ und „Empfindlichkeit“ oder „Sensitivität“ angewandt. Vulnerabilität bzw. Verwundbarkeit beschreibt demnach das Ausmaß, in welchem ein System anfällig gegenüber externen Störungen wie beispielsweise Wetterextremen oder Klimavariabilität ist, bzw. die Unfähigkeit, solche externen Störungen zu bewältigen. Die Vulnerabilität ist dabei abhängig von der Dauer und Ausmaß der Störung (Exposition) und von der Empfindlichkeit sowie der jeweils eigenen Anpassungskapazität. Die Empfindlichkeit gibt an, bis zu welchem Grad ein System positiv oder negativ von außen beeinflusst werden kann, ist also ein Maß für dessen Resistenz. Unter „Anpassungskapazität“ werden in der DAS die Fähigkeiten oder Ressourcen eines Systems verstanden, durch geeignete Anpassungsmaßnahmen die Folgen des Klimawandels abzumildern oder zu vermeiden. Die Vulnerabilität eines Systems ist umso höher, je größer die externe Störung (Exposition) und seine Empfindlichkeit sind und je geringer die Anpassungskapazität ist, bzw. je niedriger sowohl Resistenz als auch Resilienz sind. Je größer die Vulnerabilität eines Systems ist, desto größer ist damit sein Risiko, im Falle eines Extremereignisses schwere Schäden davon zu tragen, bzw. zusammen zu brechen. Das Risiko im naturwissenschaftlichen Bereich ist dabei gleich dem Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Ausmaß bzw. Schadwirkung (WBGU Bericht, 1999). Da das Auftreten von klimatischen bzw. witterungsbedingten Extre-

mereignissen nicht durch den Menschen beeinflusst werden kann, kann das Risiko nur gesenkt werden, indem die Vulnerabilität reduziert wird.

Zum Zusammenhang zwischen Biodiversität und Stabilität

Ob und wie sich die Komplexität und (Bio)Diversität eines Ökosystems auf dessen Stabilität auswirkt, ist umstritten. Wurde in den 1970er Jahren noch davon ausgegangen, dass Biodiversität und Stabilität von Ökosystemen positiv korreliert seien, erwies sich diese Annahme später als nicht belastbar (Ellenberg, 1996). Beispielsweise hat der artenarme Schilfgürtel des Neusiedler Sees Jahrhunderte lang allen geologischen und klimatischen Katastrophen „getrotzt“, während die artenreichen Regenwälder eine vergleichsweise geringe Resilienz zeigen; es dauert viele Jahrzehnte, bis sie sich nach einer heftigen Störung z.B. durch Brandrodung wieder regeneriert haben.

Es existieren diverse Hypothesen, die im Zusammenhang mit Fragen zum Zusammenhang zwischen Artenverlusten und Ökosystemfunktionen vorwiegend von naturnahen bzw. natürlichen Ökosystemen stehen (Schulze et al., 2002):

- Verschiedene Arten können eine Ökosystemfunktion in ähnlicher Weise erfüllen. Solange alle wichtigen funktionellen Gruppen (z.B. N-Fixierer, Primärproduzenten, Zersetzer) mit einer Art besetzt sind, kann das Ökosystem bis auf eine „Mindest-Diversität“ an Schlüsselarten verarmen. Die übrigen Arten sind somit entbehrlich oder auch redundant (sogenannte *Redundanz-Hypothese*).
- In eine ähnliche Richtung geht die sogenannte *Versicherungs-Hypothese*. Sie besagt, dass bei einem Ausfall einer Art bisher unwichtige Arten für sie einspringen und alle zuvor durch die verloren gegangene Art sicher gestellten Ökosystemprozesse aufrechterhalten können.
- Mit jedem Verlust einer Art werden ein oder mehrere Ökosystemprozesse beeinträchtigt. Das bleibt solange ohne Folgen, bis ein bestimmter Schwellenwert unterschritten wird und das gesamte Ökosystem zusammenbricht (sogenannte *Nieten-Hypothese*)
- Es wird von einer mehr oder weniger linearen Beziehung zwischen Ökosystemprozess und Artenzahl ausgegangen. Jede Art, die verschwindet, beeinträchtigt damit einen oder mehrere Ökosystemprozesse (sogenannte *Stabilitäts-Diversitäts-Hypothese*)
- Es existiert zwar ein Zusammenhang zwischen Biodiversität und Ökosystemfunktion, aber dessen Richtung und Amplitude sind nicht vorhersagbar, denn sie sind abhängig von den Rahmenbedingungen und den beteiligten Arten (sogenannte *Idiosynkratische Hypothese*)
- Prozessraten zeigen bei zunehmender Artenzahl eine Sättigung, das bedeutet, dass sich je nach Gesamtartenzahl der Wegfall ein oder mehrere Arten unterschiedlich stark auswirkt (*Sättigungs-Hypothese*)

Für jede der o.g. Hypothesen existieren Bestätigungen aus Experimenten und Beobachtungen, es wurden aber auch immer Gegenbeispiele gefunden. Generell wird zurzeit ein positiver Zusammenhang zwischen Biodiversität und Ökosystemfunktionen favorisiert (Balvanera et al., 2006; Begon et al., 2006). Nicht nur die strukturelle Artenvielfalt, sondern auch die funktionelle Diversität soll sich positiv auswirken. Scherer-Lorenzen (1999) konnte beispielsweise in einem Experiment zeigen, dass im Grasland die Erhöhung der Artenzahl allein keine höheren Erträge brachte. Erst mit Anwesenheit von Leguminosen, also der Erhöhung der funktionellen Diversität, waren positive Effekte festzustellen. Die o.g. Versicherungs-Hypothese wurde damit ebenfalls bestätigt. Je komplexer und variabler die Umweltbedingungen sind, denen ein Ökosystem ausgesetzt ist, desto mehr Arten braucht es im Minimum, um zu funktionieren (Schulze et al., 2002; Isbell et al., 2011).

Allerdings zeigte der Zusammenhang zwischen Biodiversität und diversen Ökosystemfunktionen im Rahmen von experimentellen Modellsystemen die Form einer Sättigungskurve, d.h. mit einer Zunahme der Biodiversitätselemente geht zunächst eine Steigerung der Ökosystemfunktionsraten einher, bevor es ab einer gewissen Zahl von Biodiversitätselementen keine nennenswerten Effekte mehr gibt. Zudem wurde sehr häufig nur die Zahl der Primärproduzenten variiert (Balvanera et al., 2006) wobei dort wurde die Sättigung bei einer Artenzahl von etwa 5 Arten erreicht wurde (Roy, 2001). Für ein Grünlandökosystem wäre das eine vergleichsweise geringe Biodiversität. In einem ackerbaulichen System, das auf verschiedenen, in der Regel annuellen Monokulturen aufgebaut ist, sind fünf Arten dagegen gleichzusetzen mit einer mittleren bis hohen Vielfalt. Die Übertragbarkeit von Ergebnissen von experimentellen (Pflanzen)Gesellschaften auf reale Ökosysteme und Agrarökosysteme ist nicht unumstritten (Schulze et al., 2002; Diaz et al., 2003; Lepš, 2004; Thompson et al., 2005; Esser et al., 2006; Jiang et al., 2009; Wrage et al., 2011).

Agrarökosysteme

Landwirtschaftlich geprägte Ökosysteme, sogenannte Agrarökosysteme, sind auf Grund der starken Beeinflussung durch den Menschen künstliche Systeme, geprägt und reguliert durch hohen externen Stoff- und Energie-Input und häufigen Störungen (z.B. durch Arbeit, Mahd oder Agrochemikalien wie Herbizide). Es bleibt fraglich, in wieweit die o.g. Gesetzmäßigkeiten für natürliche bzw. naturnahe Ökosysteme für Agrarökosysteme von Bedeutung sind. Agrarökosysteme sind in ihrer biologischen Struktur, auf Grund der klimatischen und sozioökonomischen Einflüsse, die sie antreiben, und in den Leistungen, die sie erbringen, extrem variabel, d.h. sie unterscheiden sich in ihrer Struktur und damit auch in der vorherrschenden Agrobiodiversität voneinander. Das ist eine wichtige Voraussetzung, um den Einfluss der Agrobiodiversität auf die Resilienz dieser Systeme zu überprüfen.

Eine Einteilung von Agrarökosystemen ist z.B. an Hand der angewandten landwirtschaftlichen Praktiken bzw. der verschiedenen Bewirtschaftungssysteme möglich (Tabelle 4). Zu dieser Einteilung gibt es Mischformen, speziell in den Entwicklungsländern, wo sog. „low-input“ Sys-

teme (Smith et al., 2007) existieren, die den hiesigen konventionellen Systemen, aber mit deutlich geringere Input an Mineraldünger und Pestiziden ähneln. Ähnlich verhält es sich mit der „integrierten Landbewirtschaftung“, die zwar nicht gänzlich auf Pestizide und Mineraldünger verzichtet, aber bemüht ist, möglichst ressourcen- und umweltschonend zu wirtschaften.

Tabelle 4. Unterschiede zwischen landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsformen.

	Konventionelle Landwirtschaft	Ökologische Landwirtschaft	Konservierende Landwirtschaft
Pflügen	Ja	Ja	Nein
Ernterückstände zurückgeführt	Nein	Begrenzt	Ja
Fruchtfolgen	Begrenzt	Ja	Ja
Nutzung von Mineraldünger	Ja	Nein	Ja
Ausbringung von Pestiziden	Ja	Nein	Ja
Agrobiodiversitätseffekte	Niedrig	Hoch	Mittel bis hoch*

*Die Agrobiodiversität wird dabei maßgeblich durch die Menge der eingesetzten Dünger und Pestizide variiert.

Quelle: Eigene Darstellung nach Aune (2012).

Agroforstsysteme sind eine Sonderform von Agrarökosystemen. Hier werden frei stehende Baumarten mit Ackerbau (= silvoarables Systems), Weideland (=silvopastoral) oder beidem (=agrosilvopastoral) kombiniert (Nair, 1985). Je nach Artenwahl und räumlicher Anordnung erfüllen die meist ausdauernden Gehölze verschiedene Funktionen in den Agroforstsystemen. Dazu zählen z.B. Produktionsfunktionen Nahrung, Tierfutter oder Brenn- und Bauholz sowie Schutzfunktionen (Windschutz, Erosionsschutz und Bodenschutz, Beschattung). Zusätzlich erhöhen Agroforstsysteme die Kohlenstoffbindung und die Biodiversität in der Landschaft (Palma et al., 2007).

Agroforstsysteme sind vor allem in den kleinbäuerlichen Betrieben der Tropen und Subtropen zu finden. Vor der landwirtschaftlichen Industrialisierung waren sie auch Europa und Deutschland weit verbreitet. Bekannte Beispiele sind Streuobstwiesen, Waldweidenutzung, Waldfeldbau und Windschutzhecken (Eichhorn et al., 2006). Erst in den letzten 15 Jahren wurden in Europa moderne Systeme eingeführt, die dem aktuellen Mechanisierungsgrad der Landwirtschaft angepasst sind (Graves et al., 2007). Dabei werden die Gehölze nicht mehr verstreut auf den landwirtschaftlichen Flächen verteilt, sondern in Reihen angepflanzt.

Agrarökosysteme werden auch nach dem Grad ihrer „Natürlichkeit“, d.h. der Ähnlichkeit zu den sie umgebenden natürlichen Ökosystemen, klassifiziert. Dies reicht von nahezu natürlichen strukturreichen Wald- oder Graslandökosystemen mit allen Ökosystemfunktionen bis hin zum anderen Extrem der industrialisierten, modernen Landwirtschaft mit ausgedehnten, strukturarmen Monokulturen, geringer Agrobiodiversität und hohem externen Input (Dünger,

Pestizide), die ausschließlich die Produktionsfunktion optimal bedienen (Gomiero et al., 2011). Dazwischen stehen die traditionelle kleinbäuerliche Landwirtschaft in den Tropen und die moderne ökologische Landwirtschaft. Erstere „imitiert“ mit ihrem Mosaik aus einjährigen und ausdauernden Bäumen und Sträuchern die Strukturvielfalt des Regenwalds und ist durch eine sehr hohe Agrobiodiversität gekennzeichnet, die alle Ökosystemfunktionen erfüllt (Produktivität, Nährstoffrecycling, Kontrolle des lokalen Mikroklimas, Regulierung der lokalen hydrologischen Prozesse, Entgiftung des Bodens und Regulierung der Populationsgrößen von Schädlingen (Altieri, 1999)). Letztere besitzt ebenfalls eine ausgeprägte Agrobiodiversität sowie mittleren bis hohem Strukturreichtum (je nach Schlaggröße und Ausdehnung der Raine und Feldgehölze), so dass alle Ökosystemfunktionen bedient werden. Hier ist allerdings der „trade-off“ zwischen den einzelnen Funktionen und Dienstleistungen von Bedeutung (Gomiero et al., 2011), der zu reduzierten Erträgen verglichen mit industrialisierter Landwirtschaft führt (Seufert et al., 2012).

Landwirte wählen in der Regel die Strategie aus, die unter den in ihrer Region vorherrschenden Gegebenheiten kostenoptimal die höchsten Erträge bringt. Wo menschliche Arbeitskraft nicht kostengünstig ist, sind auf maschinelle Bearbeitung angepasste Felder zu finden. Wo man den Boden relativ kostengünstig durch Düngung und Bewässerung verbessern kann, sind Boden konservierende Maßnahmen wie Mulchen, Verzicht auf Pflügen oder Zwischenfrüchte als Erosionsschutz weniger verbreitet. Ähnliches gilt für die Schädlingsbekämpfung. In der konventionellen Landwirtschaft werden große Mengen an Herbiziden und Pestiziden ausgebracht, da Gegenspieler für Schadinsekten oder Unkräuter fehlen.

Die Art der Bodenbearbeitung entscheidet maßgeblich über Leistungen, die der Boden zu erbringen vermag. Durch Pflügen wird zwar eine gute Unkrautunterdrückung gewährleistet, jedoch nehmen die Vielfalt und Anzahl der Bodenlebewesen sowie der Gehalt an organischer Substanz im Boden ab. Letzteres wirkt sich wiederum negativ auf die Wasserspeicherkapazität des Bodens aus, was im Hinblick auf die zu erwartenden Trockenperioden ein entscheidender Nachteil sein kann (Aune, 2012).

Vergleiche der Stabilität bzw. Resistenz und Resilienz zwischen den verschiedenen Agrarökosystemen gegenüber externen Einflüssen wie z.B. durch das Klima sind schwierig, da sich nicht nur die Agrobiodiversität, sondern auch meist die Bewirtschaftungspraktiken unterscheiden. Zwar stehen die Stabilität (gemessen an der Variationsbreite der Ertragsschwankungen über mehrere Jahre hinweg) sowie die Höhe der Erträge im Vordergrund, aber auch die oben genannten übrigen Dienstleistungen eines Agrarökosystems müssen stabil sein. Zudem sind die maximalen Erträge der konventionellen Systeme oft mit hohen Kosten für die sie umgebende Umwelt verbunden. Der sogenannte ökologische Fußabdruck (ecological footprint) pro Flächeneinheit ist in einem konventionellen verglichen mit einem organischen Weizenanbausystem beispielsweise um den Faktor vier erhöht (Bavec et al., 2012).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass in der modernen industrialisierten Landwirtschaft der Mensch fast alle regulierenden Funktionen des Ökosystems übernommen hat. Wasserhaushalt, Nährstoffzufuhr und Krankheiten oder Schädlinge werden systematisch kontrolliert und durch Inputs von außen reguliert. In der eher traditionellen Landwirtschaft, wie sie zum größten Teil noch in den Entwicklungsländern praktiziert wird und teilweise auch in der ökologischen Landwirtschaft, muss der Landwirt ohne umfangreiche Inputs von außen auskommen. Dort haben die natürlichen Stoffkreisläufe und internen Regulationsmechanismen des Agrarökosystems eine viel größere Bedeutung.

Zwischen diesen beiden Extremen gibt es zahlreiche Übergänge, sowohl was die Inputs von außen als auch die jeweils existierende Agrobiodiversität betrifft. Folglich kann sich eine Änderung in der Agrobiodiversität ganz unterschiedlich auf die Stabilität der jeweils betrachteten Systeme auswirken. Bei der Analyse der Resilienz eines Agrarökosystems ist zudem immer abzuwägen, mit welchen zusätzlichen Inputs oder unter welchen Kosten für die Umwelt eine Steigerung der Stabilität erfolgt.

A.7.Ökonomische Risikobetrachtung und Resilienz

Jedes Agrarökosystem hätte ohne die gestalterische Wirkung des Landwirts keinen Bestand, es würde sich wieder in ein dem Standort angepasstes natürliches Ökosystem zurückentwickeln. Für diese Ausgestaltung muss der Landwirt unterschiedliche Entscheidungen treffen. Die Wahl der Anbauprodukte, der Maschinen und der Arbeitskräfte sowie der Bewirtschaftungstermine wie Aussaat und Düngung usw. beeinflussen das Agrarökosystem. Ziel des Landwirts ist es, einen optimalen finanziellen Gewinn zu erwirtschaften und die dauerhafte Produktivität seines Betriebes zu sichern.

Diese betrieblichen Entscheidungen sind mit Risiken behaftet. Im betriebswirtschaftlichen Sinn umschreibt der Begriff Risiko die Informationsunsicherheit, ob ein bestimmter Sachverhalt eintreten wird, der sich wiederum negativ auf das Betriebsergebnis auswirken kann. Jede der oben genannten Entscheidungen ist mit einem gewissen Risiko behaftet und jeder Landwirt versucht, die möglichen negativen Folgen seines Handelns zu reduzieren.

Das unternehmerische oder Betriebsrisiko eines Landwirts bündelt alle Faktoren, die den wirtschaftlichen Erfolg eines Betriebs unsicher machen. Nach Mußhoff und Hirschauer (2010) lässt sich das Betriebsrisiko in Geschäfts- (operatives) und Finanzrisiko unterteilen (vgl. Abbildung 3). Letzteres wird umso höher, je mehr dauerhafte Abgaben (z.B. Pacht, Investitionskredite) oder je mehr nicht betriebseigene Produktionsfaktoren (z.B. Arbeitskräfte, Maschinen) ein Betrieb hat. Es kann durch einen hohen Eigenkapitalanteil gesenkt werden.

Zu den Geschäftsrisiken gehören vier sowohl inner- als auch außerbetriebliche Risikoquellen. Preisrisiken ergeben sich zum einen durch die Entwicklung auf den internationalen Nahrungsmittelmärkten bedingt durch Angebot und Nachfrage. Es besteht z.B. das Risiko, dass der Preis für die gewählte Hauptanbauprodukt eines Betriebes gerade zur Erntezeit stark fällt. Zum anderen schwanken auch die Kosten für die Produktionsmittel. Hier eingeschlossen sind auch Zinsänderungen, die die Kosten für den Input „Kapital“ beeinflussen.

Das Mengenrisiko beschreibt sowohl die Variabilität des Outputs (Ertrag) als auch die des benötigten Inputs (Dünger, Saatgut, Arbeit) und zählt damit zu den innerbetrieblichen Risiken. Es schwankt wetter- und witterungsbedingt. Im Hinblick auf die durch den Klimawandel verursachte zukünftig höhere Zahl an Wetterextremen wird also das Mengenrisiko erhöht. Gleiches gilt für die (klima- und witterungsbedingte) Zunahme von Schaderregern und Krankheiten. Aber auch menschliches oder technisches Versagen (z.B. Unfälle oder Maschinenausfall) verstärkt das Mengenrisiko. Darüber hinaus erhöhen ungünstige Lagen (Hanglage) und schlechte Bodeneigenschaften (Sandboden, Versalzung, Erosionsanfälligkeit) das Risiko eines Totalausfalls (Mendelsohn, 2007).

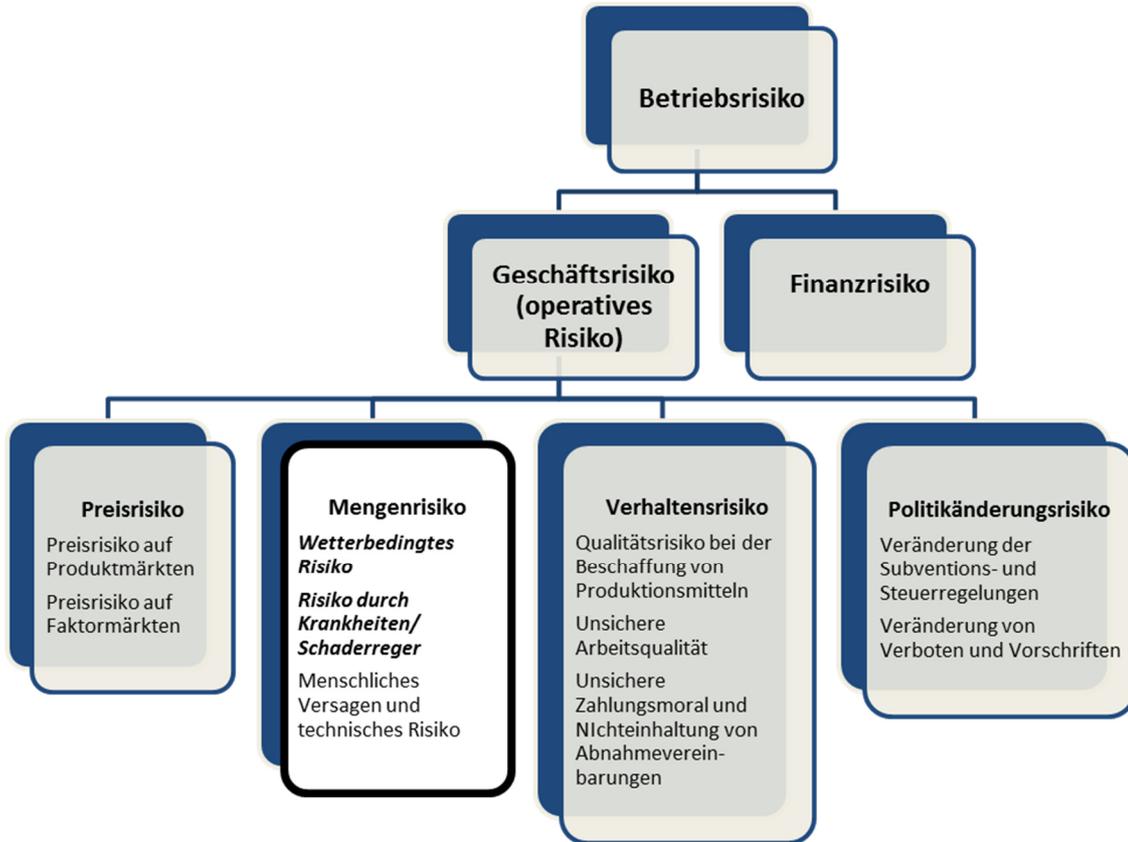


Abbildung 3. Einordnung der durch den Klimawandel verstärkten Risiken in die Gesamtheit der betriebswirtschaftlichen Risikotypen.

Die im vorliegenden Bericht relevanten Risiken sind fett-kursiv gedruckt.

Quelle: Eigene Darstellung nach Mußhoff und Hirschauer (2010).

Das sogenannte Verhaltensrisiko („Moral Hazard“) geht von eigennütigen oder inkompetenten Geschäftspartnern aus. Schlechte Qualität oder zu späte Lieferung von Saatgut betreffen dabei eher die Beschaffungsseite. Gleiches gilt für fehlerhaft ausgeführte Reparaturen an benötigten Maschinen. Die Arbeitsqualität der angestellten Arbeitskräfte zählt ebenfalls zum Verhaltensrisiko. Wird ein Arbeitsgang nur schlecht oder zu langsam erledigt, drohen gegebenenfalls Ertragseinbußen. Auch die Abnehmerseite kann ein Risiko darstellen, wenn Vertragspartner Produkte nicht zum festgelegten Preis oder Zeitpunkt abkaufen.

Ebenso wie das Preisrisiko ist auch das Politikänderungsrisiko eine außerbetriebliche Risikoquelle, die der Landwirt nicht beeinflussen kann. Je nachdem, wie die Gesetze und Förderrichtlinien geändert werden, fallen beispielsweise Subventionen weg oder zuvor garantierte Abnahmepreise sind plötzlich variabel. Hier wäre also das Preis- und das Mengenrisiko durch politische Entscheidungen erhöht worden. Vorschriften, die das betriebliche Management beeinflussen, wie zum Beispiel das Verbot von Käfighaltung bei Legehennen, können erhebliche Kosten verursachen.

Für jeden landwirtschaftlichen Betrieb sind diese verschiedenen Risiken unterschiedlich zu bewerten. Geringe Risiken können getragen werden, die relevanten sollten entweder vermieden werden (z.B. riskante Investitionen unterlassen), abgegeben werden (z.B. durch Kauf einer Versicherung) oder vermindert werden (z.B. durch Diversifizierung der Produktion oder der Einkünfte). Letzteres weist grundsätzlich auf die Bedeutung der Agrobiodiversität auf Betriebsebene als Form der Risikoreduzierung hin.

Das Preisrisiko ist in den vergangenen Jahren seit der Liberalisierung der Märkte deutlich gestiegen und auch das Finanzrisiko nahm durch stärkeren Einsatz von Fremdkapital und Pachtland zu (Mußhoff und Hirschauer, 2010). Da die Anzahl und Heftigkeit von Wetterextremen zunehmen wird (vgl. Kapitel A.3), wird in Zukunft das Mengenrisiko auf Grund der höheren Häufigkeit von Ertragsausfällen ebenfalls steigen. Dieser Teil des Gesamt-Betriebsrisikos könnte durch eine Erhöhung der Agrobiodiversität, die gekoppelt ist mit einer Erhöhung der Ertragsresilienz, d.h. z.B. der Verbesserung der Toleranz von Arten und Sorten gegen klimatische Stressfaktoren, minimiert werden. Damit könnte die Vulnerabilität (vgl. Kapitel A.6) gegenüber klimatischen Extremereignissen reduziert werden.

Inwieweit Agrobiodiversität für die Vulnerabilität eines gesamten Betriebs von Bedeutung ist, hängt ganz erheblich vom jeweiligen Lebensumfeld der Landwirte ab. Deren Existenz ist nach Scoones (1998) definiert als Summe aller materiellen und sozialen Ressourcen, Fähigkeiten und Aktivitäten. Daraus ergibt sich unter Hinzunahme von äußeren Einflüssen ein Gesamtschema, das die Lebensumstände beschreibt (Abbildung 4, nach Pascual et al. (2011), verändert).

Je nachdem, welche Art von Kapital vorhanden ist, bleiben dem Landwirt verschiedene Strategien zur Gestaltung seines Lebensumfelds zur Auswahl. In Abbildung 4 sind nur die im vorliegenden Zusammenhang relevanten Strategien zur Nutzung des natürlichen Kapitals, d.h. hier der Agrobiodiversität, dargestellt. Die Möglichkeiten und die räumliche Ausdehnung der Diversifizierung steigen dabei von der Sortenebene bis zur überbetrieblichen Ebene an. Innerhalb jeder Ebene kann die Diversität ebenfalls variiert werden, was sich wiederum auf die Vulnerabilität gegenüber externen Störungen wie Wetterextremen auswirkt (Pascual et al., 2011). Beispielsweise sorgen verschiedene Anbaufrüchte, die zu unterschiedlichen Jahreszeiten reifen, für eine gewisse Risikostreuung.

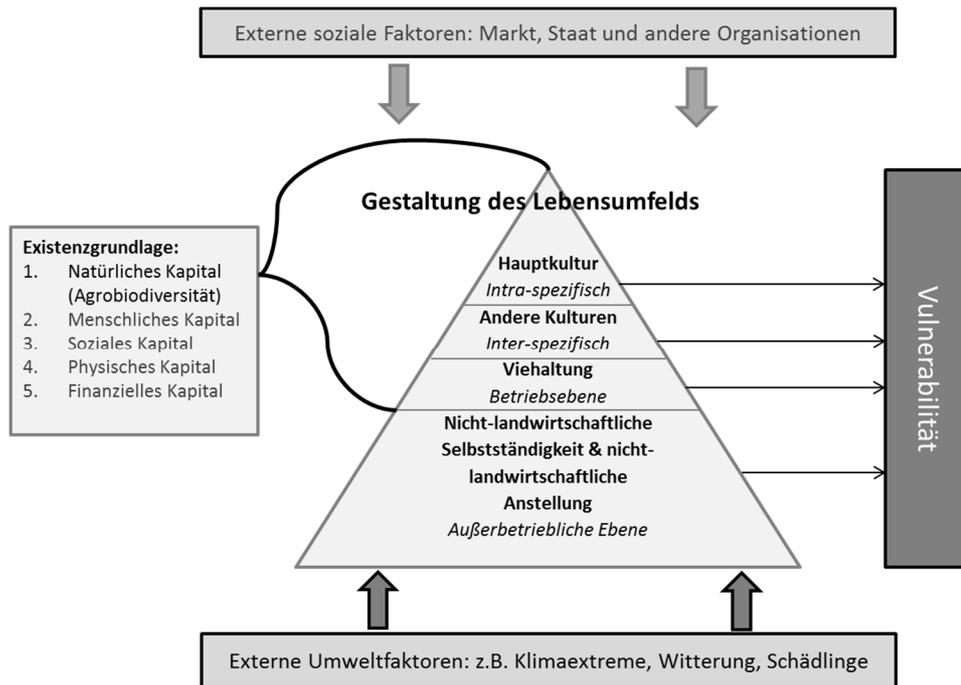


Abbildung 4. Gestaltung des Lebensumfelds unter Nutzung der Agrobiodiversität und Einfluss dieser Entscheidungen auf die Vulnerabilität gegenüber externen Einflüssen.

Quelle: Eigene Darstellung nach Pascual et al. (2011).

Eventuelle Ertragsausfälle können auch anderweitig kompensiert werden, wenn es genügend materielles oder soziales Kapital gibt (z.B. durch Versicherungspauschalen, soziale Netzwerke oder Kompensationszahlungen vom Staat). Selbst wenn die Erträge stark schwanken und anfällig sind gegenüber Extremereignissen, sorgen diese anderen Ressourcen dafür, dass der Lebensstandard erhalten bleibt oder sich nur geringfügig verschlechtert (The World Bank Group, 2008). Nur wer seine Ressourcen schont und auf extreme Störungen vorbereitet ist, kann auf Dauer seinen Lebensunterhalt nachhaltig bestreiten (Scoones, 1998). Je geringer jedoch das eigene Kapital ist, desto bedeutsamer wird das natürliche Kapital.

Um diesen Zusammenhang umfassend darzustellen, wurde von Fraser (2007) ein Schema zur Analyse der Resilienz von Ernährungssystemen ganzer Gesellschaften entwickelt. Die Resilienz eines sozio-ökologischen Systems wird dabei über drei verschiedene Vulnerabilitätsachsen festgelegt (Abbildung 4). Die Resistenz gegenüber externen Einflüssen wird als konstant angenommen, so dass sich eine Veränderung der Resilienz unmittelbar auf die Vulnerabilität oder Verletzlichkeit auswirkt.

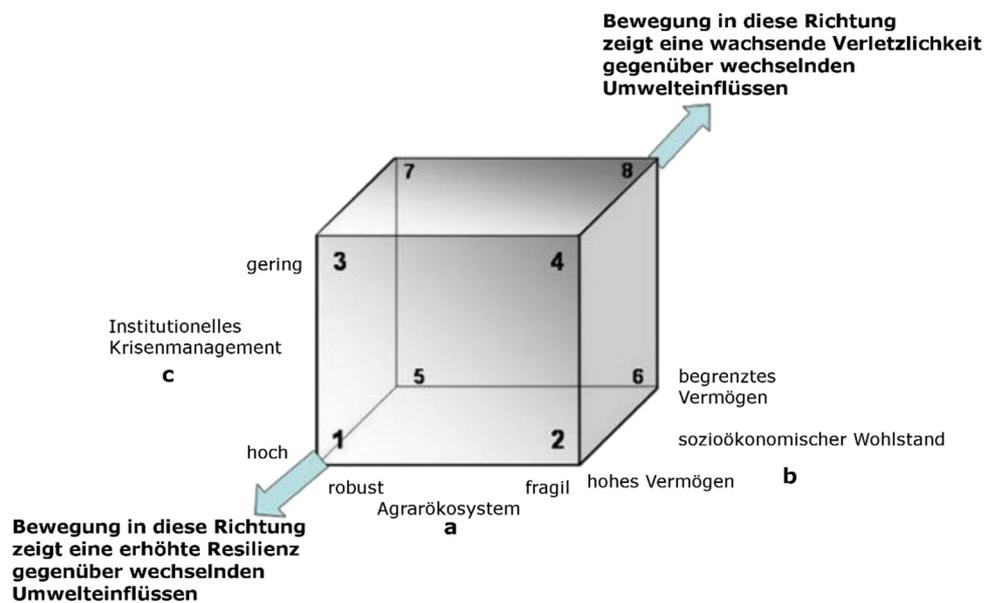


Abbildung 5. Allgemeingültiges Schaubild aus drei Dimensionen, die wichtig für eine Vulnerabilitätsanalyse sind.

a) Agrarökosystem-Resilienz, die beschreibt, ob ein Agrarökosystem robust oder anfällig gegenüber äußeren Störungen ist. b) Sozioökonomischer Wohlstand, der angibt, inwieweit die Haushalte über Vermögen verfügen, die Folgen eines extremen Ereignisses abzufangen. c) Institutionelles Krisenmanagement, das angibt, inwieweit gesellschaftliche Institutionen im Falle einer Katastrophe Linderung verschaffen können. Die Nummerierung der Ecken dient der besseren Übersichtlichkeit.

Quelle: Fraser et al. (2011), übersetzt und Achsenbeschriftungen (a-c) eingefügt.
Wiedergabe mit persönlicher Erlaubnis des Autors

Die Resilienz des jeweiligen Agrarökosystems ist als gleichwertig zu den beiden anderen Achsen zu betrachten. Es gibt durchaus sozio-ökonomische Systeme, die auf sehr fragilen Agrarökosystemen aufbauen, deren Bevölkerung aber dennoch gut gegen das Auftreten von Klimaextremen gewappnet ist, da die Resilienz auf den anderen beiden Achsen sehr hoch ist. Dieses System wäre in der Ecke 2 des Schaubildes (Abbildung 5) angesiedelt. Ein Beispiel dafür aus Fraser (2007) ist die Hortikultur in Kalifornien. Diese ist sehr stark Wasser abhängig und so anfällig für Dürre. Sollte tatsächlich einmal die gesamte Ernte ausfallen, gäbe es genug staatliche Hilfen zur Unterstützung der Landwirte (Achse c), zudem sind sie durch ein höheres Vermögen (finanzielle Rücklagen, Versicherungen, viele außerbetriebliche Einkommensmöglichkeiten, Achse b) abgesichert. Auch die übrige Bevölkerung würde nicht unter dem Ernteausfall leiden, da sie über genug finanzielle Ressourcen verfügt, aus anderen Regionen die gewünschten Nahrungsmittel zu beziehen. Anders sieht es laut Fraser (2007) in den Regionen der Welt aus, die unter politischer Instabilität leiden und zudem nur über geringes finanzielles Vermögen verfügen. Die Bewohner vieler Regionen in West Afrika, deren Agrarökosysteme durch Bewässerungsprojekte zurzeit robust sind, sind nur solange gegenüber Extremen abgesichert, wie die Agrarökosysteme nicht übernutzt werden. Zusätzliche Absicherung aus Vermögen oder durch die Regierung ist nicht gegeben (Ecke 7 des Schaubildes Abbildung 5). In der

Kalahari, wo die Weiden übernutzt und degradiert sind, kann schon eine geringe klimatische Störung zum Zusammenbruch der bäuerlichen Existenzen führen (Ecke 8).

Als Beispiel für ein sehr resilientes System führt Fraser (2007) verschiedene agrarökologische Regionen in den industrialisierten Ländern an (sein Beispiel: Emilia-Romagna Region in Italien). Vorausgesetzt, dass eine solche Region nicht in Monokultur produziert, sondern eine breite Palette an landwirtschaftlichen Produkten zu bieten hat, ist sie im Schaubild in der Ecke 1 mit der höchsten Resilienz anzusiedeln. In der EU werden die Landwirte unter anderem über die gemeinsame Agrarpolitik der EU (GAP) finanziell unterstützt. Neben dem bei Pascual et al. (2011) erwähnten natürlichen Kapital gibt es noch diverse weitere Einkommens- und Kapitalquellen, so dass die Vulnerabilität des gesamten sozio-ökonomischen Systems sehr gering ist.

Allerdings ist die Robustheit unserer Agrarökosysteme die einzige Komponente des Vulnerabilitäts-Schaubildes, die sich in naher Zukunft verändern könnte. Es ist nicht garantiert, dass sich die mitteleuropäischen Agrarökosysteme von den immer extremer werdenden Witterungsbedingungen, die als Folge des Klimawandels auf uns zukommen, genauso schnell wieder erholen, wie es aktuell der Falls ist. Durch eine höhere Exposition steigt die Vulnerabilität an, wenn sich die Resilienz nicht erhöht. Inwieweit ein fragileres Agrarökosystem und die daraus resultierenden Ertragsschwankungen der gesamten Resilienz, ob nun auf Betriebs- oder auf Gesellschaftsebene, auf Dauer schaden, ist schwer vorherzusagen.

Möglicherweise lassen ganz andere Faktoren (zum Beispiel soziale Faktoren wie Preisschwankungen oder politische Maßnahmen) die Vulnerabilität in größerem Maße steigen. Es ist z.B. nicht garantiert, dass eine Reduzierung der Schwankung einer einzelnen Risikoquelle wie z.B. des Kartoffelertrags die Variabilität der Zielgröße (Betriebseinkommen) verringert, da die Preise meist entgegengesetzt zum Ertrag einer Feldfrucht schwanken (Mußhoff und Hirschauer, 2013). In diesem Fall wäre ein Betrieb dadurch resilient, dass zwei seiner Risikoquellen (Kartoffelpreis und -ertrag) antizyklisch schwanken. Wäre nur eine von beiden dauerhaft stabil, würde sich das wiederum negativ auf die Betriebsbilanz auswirken. Solche entgegengesetzten Schwankungen, die die gesamte Betriebsbilanz stabilisieren, lassen sich laut Mußhoff und Hirschauer (2013) auch durch eine Diversifizierung der Anbaufrüchte (= Erhöhung der Agrobiodiversität) oder der Betriebszweige (z.B. Ackerbau und Biogasanlage) erreichen. Ob dieses Instrument zur Risikosenkung verwendet wird, hängt aber wiederum von den für den Landwirt entstehenden Kosten (z.B. durch verschiedene Erntemaschinen) ab.

Im folgenden Text erfolgt bei der Betrachtung der Resilienz bzw. Anfälligkeit gegenüber klimatischen Extremereignissen eine Beschränkung auf Ertragsschwankungen, d.h. es wird nur das Mengenrisiko eines Betriebs genauer betrachtet. Wie stark diese Ertragsschwankungen allein - bzw. die Vermeidung derselben durch eine erhöhte Resilienz - die Vulnerabilität eines ganzen Betriebes oder einer Gesellschaft beeinflussen, hängt vom komplexen Zusammenspiel

verschiedener weiterer sozioökonomischer Faktoren ab, die im Rahmen der vorliegenden Studie nicht näher betrachtet werden können.

B Ergebnisse

B.8. Überblick über Art und Untersuchungsgegenstand der Fallstudien

Für die vorliegende Studie wurden > 1000 Quellen gesichtet. Davon wurden 183 Fallstudien extrahiert, die auf originären Daten beruhen und die sich direkt mit der Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel bzw. Extremereignisse befassen. Sie sind als Tabelle 5 im Anhang aufgeführt. Studien, die sich auf dieselben Rohdaten beziehen und deren Autoren diese entweder zwei Mal veröffentlicht haben oder sie mit nur leicht abweichenden Fragestellungen bearbeitet haben, sind in einer Tabellenzeile zusammengefasst, so dass die Tabelle 5 Studien aus 174 verschiedenen Datenerhebungen enthält.

Die in den Studien untersuchten klimatischen Aspekte sind in Abbildung 6 zusammengestellt und lassen sich wie folgt charakterisieren.

- Die am häufigsten untersuchten Extremereignisse sind Dürre bzw. Trockenheit.
- Der Faktor Niederschlagsvariabilität beinhaltet grundsätzlich alle Schwankungen des jährlichen oder monatlichen Niederschlags innerhalb einer Vegetationsperiode und beschränkt sich nicht nur auf extremste Varianten von Trockenheit bzw. Dürre oder von Starkregen und Überflutungen. Hierzu zählen auch der verspätete Beginn der Regenzeit in tropischen Ländern oder untypische Niederschläge während der Abreife oder Ernte.
- In ca. 15% der Fallstudien wird die Anpassung an den Klimawandel im Allgemeinen analysiert, ohne speziell auf Extremereignisse einzugehen.
- Untersuchungen der interannuellen Variabilität eines Klimaparameters schließen nicht zwangsläufig extreme Witterungsereignisse ein; unter diesem Klimaaspekt sind sowohl Studien mit „normalen“ jährlichen Schwankungen enthalten, als auch solche, in denen im Untersuchungszeitraum ein Extremereignis auftrat. Da sich die Witterung verschiedener Jahre auch deutlich unterscheiden kann, lässt sich aus den daraus resultierenden Ertragsschwankungen auch eine Aussage über die Resilienz des untersuchten Systems ableiten. Allerdings wird in den meisten Fällen nur gezeigt, wie gut die „normalen“ jährlichen Schwankungen abgepuffert werden, da nicht in allen Zeitreihen ein extremes Jahr vorhanden war.
- In Tabelle 5 sind auch Studien aufgeführt, die nicht explizit auf den Klimawandel eingehen. Hier waren vor allem die Bewertung von Effekten durch Schädlinge und deren Bekämpfung Ziel der Untersuchung. Da sich bedingt durch den Klimawandel die Verbreitung von Schädlingen ändern wird (Reilly et al., 1996; Gerowitt und Struck, 2008; Ziska et al., 2011; Gerard et al., 2012), ist dieser Aspekt, bei dem sich das Klima oder

eine bestimmte Witterung nur indirekt (über vermehrtes Schädlingsaufkommen) auf die Erträge auswirken kann, mit aufgeführt.

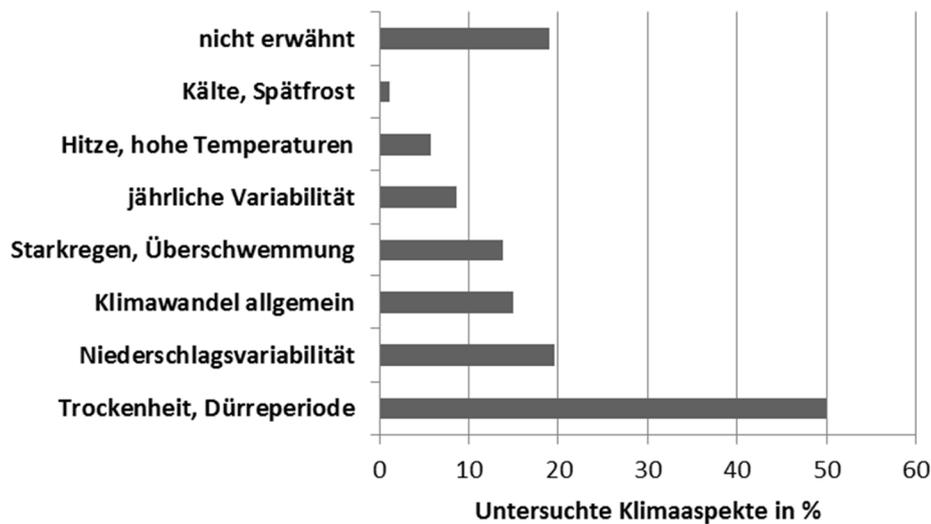


Abbildung 6. In den vorliegenden Fallstudien untersuchte Klimaaspekte.

Da in einigen Studien mehrere Klimaaspekte berücksichtigt worden sind, übersteigt die Summe der Prozente 100%.

Quelle: eigene Darstellung

Etwa 40% der Studien sind der empirischen Sozialforschung zuzuordnen. In diesen Untersuchungen wurden lediglich Befragungen der handelnden Akteure (z.B. Landwirte) zur Wahrnehmung und Anpassung an den Klimawandel durchgeführt. Bei den aufgeführten Ergebnissen handelt es sich um Listen der gewählten Anpassungsmaßnahmen, versehen mit einer prozentualen Häufigkeitsangabe, die angibt, wie häufig eine bestimmte Anpassungsmaßnahme von den Landwirten gewählt wurde. Selten wurde dabei zusätzlich untersucht, ob eine bestimmte Maßnahme signifikant häufiger als eine andere gewählt wurde. In der Tabelle 5 sind diese Studien mit den Worten „Befragung zu“ (Spalte „Titel/Thema“) bzw. „nur Maßnahmen genannt“ (Spalte Kernaussage) gekennzeichnet.

Aus den Ergebnissen dieser letztgenannten Studien lassen sich keine statistisch gesicherte Vor- oder Nachteile der Agrobiodiversität im Hinblick auf eine größere Resilienz gegenüber Veränderungen des Klimas ableiten. Die Tatsache, dass Diversifizierung auf einer beliebigen betrieblichen Ebene als Anpassungsmaßnahme genannt bzw. angewendet wird, deutet aber darauf hin, dass ein positiver Effekt der Diversität erwartet bzw. wahrgenommen wurde. In einigen Untersuchungen wurden primär andere Anpassungsmaßnahmen genannt (vorwiegend z.B. Bewässerung oder der Austausch von Sorten) und Diversifizierung als Anpassungsstrategie nur als unwichtigste Option unter mehreren erwähnt. Derartige Studien, die zwar

nach Strategien zur Anpassung an extreme klimatische Ereignisse gesucht haben, aber eine Erhöhung der Agrobiodiversität nicht ansprechen, sind in Tabelle 5 ebenfalls aufgeführt aber grau unterlegt. Daraus lässt sich nur ableiten, dass andere Maßnahmen als eine Diversifizierung erfolgreicher sind, nicht jedoch, ob Diversifizierung generell eine positive oder negative Wirkung auf die Resilienz des untersuchten Agrarökosystems gegenüber klimatischen Veränderungen hatte.

Ein weiteres Problem bei der Ergebnisinterpretation derartiger, auf Umfragen aufbauenden Studien ist die unklare Trennung der Auswirkungen der verschiedenen genannten Anpassungsmaßnahmen. Es ist aus den Ergebnistabellen der Umfragen nicht ersichtlich, welcher Landwirt welche Maßnahmen kombiniert hat und ob einige der genannten Maßnahmen nur in Kombination mit anderen eine positive Wirkung zeigten. Zudem fehlt meistens eine exakte Angabe zur Ertrags- oder Einkommenserhöhung nach Anpassung. Di Falco und Veronesi (2013) konnten allerdings zeigen, dass die Wirkung einzelner Maßnahmen und deren Interaktionen auch getrennt untersucht werden können. Die Autoren gruppierten Anpassungsstrategien in die drei Gruppen Wassermanagement, Bodenkonservierung und neue bzw. andere Sorten und modellierten, welche Einkommenserhöhung sich durch einzelne und kombinierte Anwendung der drei Strategie-Pakete erzielen ließen. Ebenfalls überprüft wurde die positive Wirkung einzelner Maßnahmen, wie z.B. Baumpflanzung.

Aus Abbildung 7 wird ersichtlich, dass ca. 60% der in der vorliegenden Studie ausgewerteten Untersuchungen nicht aus der Landwirtschaft in Mitteleuropa bzw. Deutschland stammen, sondern dass kleinbäuerliche Systeme vorwiegend der tropischen und subtropischen Länder untersucht wurden. Wesentliche Unterschiede dieser Systeme im Vergleich zu den mitteleuropäischen Verhältnissen sind, neben dem Klima selbst, z.B. die geringe Größe der Betriebe, der geringe Mechanisierungsgrad sowie eine geringe oder lückenhafte Verwendung von Düngern und Pestiziden.

In einigen der in Tabelle 5 aufgeführten Studien wurden verschiedene Bewirtschaftungssysteme verglichen. Dies geschah sowohl zwischen Betrieben direkt als auch zwischen Experimenten, bei denen verschiedene Bewirtschaftungspraktiken gezielt angewendet wurden. Der Fokus lag bei diesen Untersuchungen auf dem Vergleich von konventionellen mit ökologisch arbeitenden Betrieben. Auf Grund der Prinzipien der ökologischen Landwirtschaft (u.a. keine mineralische Düngung, weitgehender Verzicht auf Pestizide, erweiterte Fruchtfolge) ist bei den letzteren die Agrobiodiversität speziell auf Betriebsebene und vor allem die assoziierte Biodiversität (Wildkräuter, Arthropoden, Säuger, Vögel, Regenwürmer und zum Teil auch Bodenmikroorganismen) meist höher als bei konventioneller Landwirtschaft (Bengtsson et al., 2005; Hole et al., 2005). Hier wird speziell durch konservierende Bodenbearbeitung in Kombination mit dauerhafter Bodenbedeckung und Mulchen (konservierende Landwirtschaft) der Gehalt an organischer Substanz im Boden (Uri, 2001; Corsi et al., 2012; Scopel et al., 2013) und damit indirekt die Menge und Aktivität der Bodenfauna und Bodenmikroben (Jangid et al., 2008; Subbulakshmi et al., 2009; Kaisermann et al., 2013) erhöht.

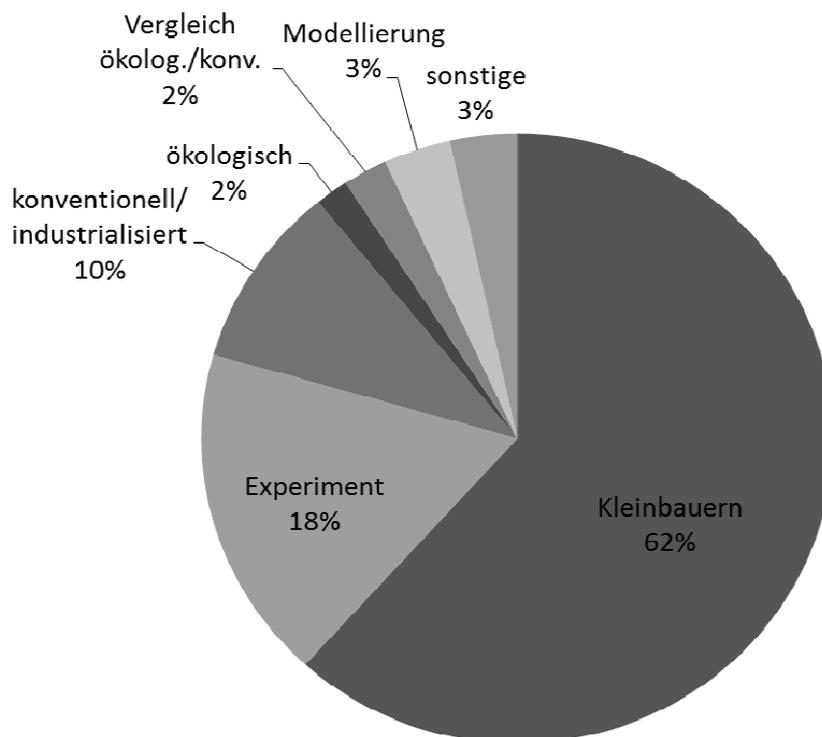


Abbildung 7. Art und Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Fallstudien.

Studien der Kategorien „Kleinbauern“, „Experiment“ und „Modellierung“ umfassen ökologische, konventionelle und Boden konservierende landwirtschaftliche Systeme. Kleinbauern: Betriebe in (sub)tropischen Regionen mit etwa 1 ha Flächengröße. Experimente: Labor- und Feldexperimente. Modellierung: Modellierung von Erträgen unter zukünftigen klimatischen Bedingungen. Übrige Kategorien: Betrachtung der Ertragsdaten in den genannten landwirtschaftlichen Betriebsformen.

Quelle: eigene Darstellung

Folglich ist bei verschiedenen Systemvergleichen generell darauf zu achten, ob die Diversifizierung bzw. Variation von Elementen der Agrobiodiversität auf einer bestimmten Ebene des Betriebs gezielt angestrebt wurde oder nur ein Nebenprodukt einer anderen, speziellen Bewirtschaftungsstrategie ist. Ebenso wie bei der Bewertung mehrerer Anpassungsstrategien gleichzeitig (s.o.), ist auch beim Vergleich verschiedener Bewirtschaftungssysteme die spezielle Wirkung des Faktors Agrobiodiversität nicht einfach zu quantifizieren, da sich ein System immer durch mehrere Komponenten und Prozesse definieren lässt, von denen die Diversifizierung nur eine unter vielen ist.

B.9.Drei Beispielstudien

Wie im vorigen Kapitel dargestellt, umfasst die Liste der recherchierten Fallstudien verschiedenste Arten von Umfragen, Experimenten und Beobachtungsstudien. In nicht allen dieser Studien konnte die Wirkung von Elementen der Agrobiodiversität auf die Resilienz von Kulturpflanzenerträgen bzw. auf die Betriebsgewinne im Hinblick auf klimatische Extremereignisse ursächlich deutlich in Zusammenhang gebracht werden. Drei Beispielstudien, die am besten die Zielstellung der im der vorliegenden Fall angewandten Suchanfrage repräsentieren, sollen hier kurz präsentiert werden.

Beispiel 1: Genetische Vielfalt in einer Region

Der Einfluss der genetischen Variabilität innerhalb einer Region auf langjährige zurückliegende und zukünftige Weizenerträge wurde von Di Falco und Chavas (2008) für Süditalien analysiert. In ihrer Studie untersuchten sie zunächst die Höhe und Variabilität der Weizenerträge in den Jahren 1970 – 1993 in Abhängigkeit vom jährlichen Niederschlag und der genetischen Vielfalt von Weizen in den acht Regionen Süditaliens. Als Maß für die Sortenvielfalt bei Hart- und Weichweizen verwendeten die Autoren den Shannon-Index (beschreibt die Vielfalt der betrachteten Daten, d.h. berücksichtigt sowohl die Anzahl unterschiedlicher Sorten als auch deren räumliche Anteile), der umso höher lag, je mehr Sorten zu gleichen Flächenanteilen (= höhere Gleichverteilung oder Evenness) angebaut werden. Daraus wurde ein Modell entwickelt, welches die Erträge in dieser Region in Abhängigkeit von Niederschlag und Shannon-Index (und einigen Bewirtschaftungsparametern wie Düngung, Mechanisierung und Arbeitskräfte) vorhersagen kann. Di Falco und Chavas (2008) konnten damit errechnen, wie sich die Erträge bei zukünftig zu erwarteten geringeren Niederschlagsmengen bei gleichbleibender und erhöhter Diversität entwickeln würden.

Als Ergebnis fanden sie heraus, dass neben der bekannten positiven Korrelation von Düngung, Arbeitskraft und finanziellen Mitteln auch der Shannon-Index, hier gleichbedeutend mit der genetischen Diversität, positiv mit den Erträgen in der Region korreliert war. Dieser Effekt war in Jahren mit geringem Niederschlag besonders deutlich ausgeprägt, zudem vergrößerte sich die Wirkung der Diversität über die Zeit – je höher die Vielfalt der angebauten Sorten im Vorjahr war, desto höher waren auch die Erträge des darauf folgenden Jahres.

Um die Wirkung eines zukünftigen, trockeneren Klimas für die Region auf die Erträge zu modellieren, wurden für alle untersuchten Parameter einschließlich der Diversität zunächst mittlere Werte angenommen. Da in der Region Regenfeldbau vorherrscht, wurde in das Modell die Anpassungsmaßnahme „Bewässerung“ nicht integriert. Wurde die Entwicklung der Erträge über die Jahre berechnet, zeigte sich wie erwartet, dass die Erträge im ersten Jahr mit geringerem Niederschlag im Vergleich zum Basisertrag deutlich abnahmen, während die weitere Abnahme in den Folgejahren geringer ausgeprägt war. Ebenso sorgte bei gleichbleibendem Niederschlag eine Abnahme der Diversität um 5, 10 oder 15% für

dauerhafte Ertragseinbußen von bis zu 45%. Wurde nun aber bei reduzierter Regenmenge die Diversität leicht erhöht, so nahmen die Erträge schon im zweiten Jahr der Simulation wieder zu und übertrafen in dritten Jahr zum Teil sogar die langjährigen Ertrags-Mittelwerte.

Das „diversifizierte Weizenanbau-System“ zeigt daher trotz dauerhafter Verschlechterung der Umweltbedingungen eine hohe Resilienz. Dieses Beispiel zeigt damit, wie durch die Erhöhung der Diversität bei gleichbleibender Bewirtschaftung langfristig Ertragsverluste verhindert und die Produktivität sogar erhöht werden könnte – ohne Zunahme externer Inputs wie beispielsweise Bewässerung oder Düngung.

Beispiel 2: Artenvielfalt auf Feldebene

Der Gemengeanbau oder die Bedeutung der Agrobiodiversität auf Feldebene unter Trockenstress wurde von Natarajan und Willey (1986) in einem semi-ariden Regenfelddbau-Gebiet in Indien untersucht. In einem Feldexperiment wurden in zwei aufeinanderfolgenden Jahren die Erträge von Mohrenhirse (*Sorghum bicolor*), Perlhirse (*Pennisetum glaucum*) und Erdnuss (*Arachis hypogaea*) als Monokultur und im Gemengeanbau mit jeweils zwei der genannten Früchte untersucht (Abbildung 8). Durch Bewässerung wurde ein Gradient des jährlichen Niederschlags von 584 (Behandlung S1) bis 297 mm (Behandlung S5) geschaffen.

In Abbildung 8 ist jeweils der Ertrag pro Hektar angegeben, wobei zu beachten ist, dass die im Gemenge angebauten Arten nur jeweils eine Fläche von 0,5 ha belegten. Jegliche Erträge, die mehr als die Hälfte der Erträge in Monokultur ausmachen, sind somit schon als Ertragsgewinn zu verbuchen. In allen Kombinationen (Gemengeanbau mit Mohrenhirse hier nicht gezeigt) erbrachten die im Gemenge produzierten Früchte mindestens 50% oder mehr der Erträge (Frucht- bzw. Kornertrag) in Monokultur, lediglich die Gesamtbiomasse der Erdnuss lag in der Stufe S1 unter 50% (vgl. Abbildung 8A). Je stärker der Trockenstress, umso höher war der Ertragsgewinn gegenüber der Monokultur, vor allem bei der Erdnuss.

Die gesamt land equivalent ratio (LER), die angibt, wie viel Land mit der jeweiligen Monokultur bepflanzt werden müsste, um denselben Ertrag wie im Gemenge zu erreichen, war größer als eins. Sollte beispielsweise in der Trockenstress Stufe S4 in Monokultur der gleiche Ertrag an Perlhirse und Erdnuss erzielt werden wie im Gemengeanbau, müsste die Anbaufläche um den Faktor 1,6 vergrößert werden (Abbildung 8B, rechts). Die positive Wirkung des Gemengeanbaus kommt in diesem Beispiel besonders unter extremen Bedingungen (sehr hoher Trockenstress) zum Tragen. Trockenheit bzw. Dürre reduziert zwar die Erträge, jedoch nicht in so hohem Maße wie beim Anbau in Monokultur.

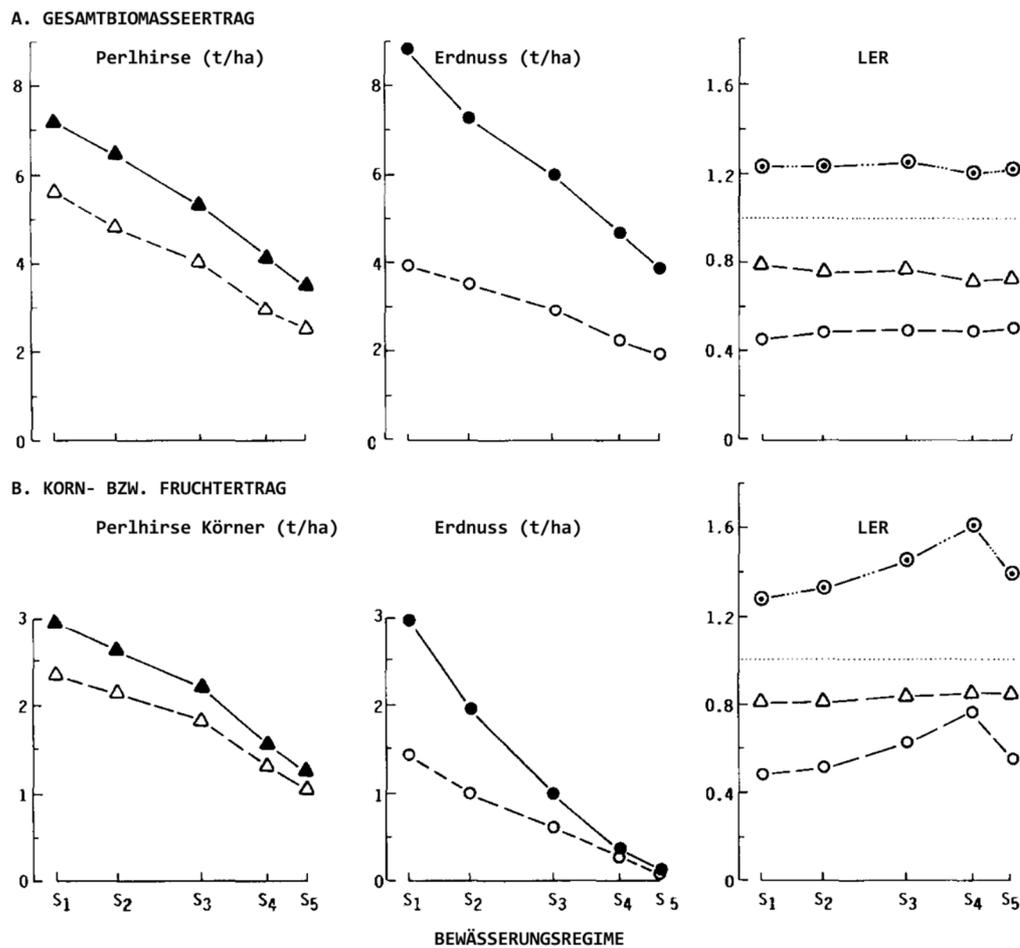


Abbildung 8. Gesamtbiomasseerträge (A), Korn- bzw. Nusserträge (B) und land equivalent ratio (LER) bei Perlhirse und Erdnuss im Gemengeanbau (Verhältnis 1:1, d.h. 0,5 ha Anbaufläche pro ha) unter verschiedenen Trockenstress-Intensitäten (Bewässerungsregime).

Legende: ▲—▲ Perlhirse in Monokultur, △---△ Perlhirse im Gemenge, ●—● Erdnuss in Monokultur, ○---○ Erdnuss im Gemenge, ⊙—⊙ gesamt LER (= Verhältnis der für den äquivalenten Ertrag benötigten Fläche in Monokultur zur Fläche im Gemengeanbau), S₁: ausreichend Wasser, S₅: stärkster Trockenstress.

Quelle: Natarajan und Willey (1986), übersetzt. Wiedergabe mit Erlaubnis des Elsevier Verlags

Beispiel 3: Strukturelle Vielfalt auf Betriebsebene

Nachdem der Hurrikan „Mitch“ im Oktober 1998 über Nicaragua hinweg gezogen war, untersuchte Holt-Gimenez (2002) im März des Folgejahres anhand paarweiser Betriebsvergleiche von konventionell (vergleichsweise geringe strukturelle Vielfalt auf Betriebsebene) und nachhaltig bewirtschafteten landwirtschaftlichen Betrieben (hohe strukturelle Diversität, vor allem durch Zwischenfrüchte, Hecken und Agroforst) dessen Folgen. Verglichen wurden Erosionsschäden und Erdbeben, Vegetationsbedeckung (Deckung der Feldfrüchte und der assoziierten Vegetation in unterschiedlichen Höhen), sowie

wirtschaftliche Verluste in Form von Ertragsverlusten vorwiegend auf 0,5 bis 1,5 ha großen Flächen. Oft entsprach diese Flächengröße auch der Betriebsgröße.

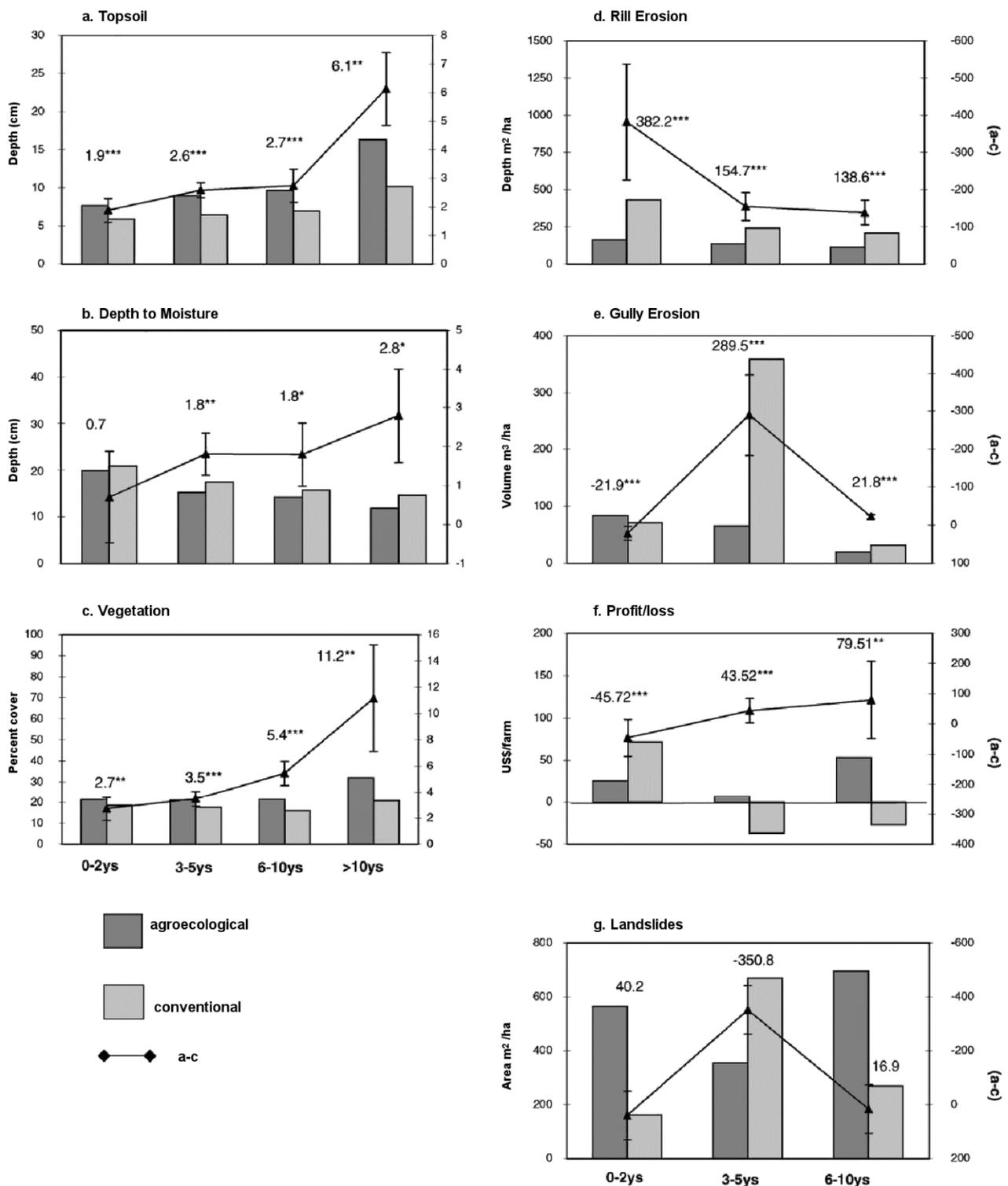


Abbildung 9. Hurrikan Schäden bei gepaarten (agrarökologisch/konventionell) Betrieben in Nicaragua mit Mittelwerten der Schäden in Abhängigkeit von der Sturmstärke.

Quelle: Holt-Gimenez (2002). Wiedergabe mit Erlaubnis des Elsevier Verlags

Da die gepaarten Betriebe über den gesamten Nord-Westen Nicaraguas verteilt waren, konnten verschiedenste geografische Gegebenheiten sowie die unterschiedliche Schwere von Sturmschäden verglichen werden. In allen untersuchten Betriebspaaren zeigte sich das gleiche Bild: die nachhaltig nach agrarökologischen Prinzipien bewirtschafteten Betriebe hatten eine etwa halb so hohe Bodenerosion (gemessen u.a. an der Zahl von Erosionsrinnen (Abbildung 9d) und Dicke der organischen Schicht, Abbildung 9c), eine höhere Vegetationsbedeckung (Abbildung 9b) sowie insgesamt geringere wirtschaftliche Verluste (Abbildung 9f) zu verzeichnen. In diesem Beispiel zeigte sich, dass Betriebe mit einer höheren strukturellen Vielfalt selbst stärkste Extreme (zum Teil fielen während des Hurrikans mehr als 500 mm Niederschlag) besser abpuffern können als eher einheitlich strukturierte Betriebe.

B.10. Ergebnisse der ermittelten Fallstudien

In den folgenden Kapiteln werden die Ergebnisse der in Tabelle 5 gesammelten Fallstudien zusammenfassend besprochen, in denen nach dem Auftreten eines extremen Klimasignals (Trockenheit bzw. Dürre, Hitze, o.ä.) bzw. unter dem Einfluss einer starken interannuellen Variabilität der Witterung ein Zusammenhang zwischen dem Ertrag der Kulturpflanzen bzw. dem Betriebsgewinn und der Auswahl oder dem Einsatz von Sorten bzw. Genotypen (Kapitel B.10.1.), Arten (Kapitel B.9.2) sowie der Betriebsstruktur (Kapitel B.9.3) zu erkennen ist. Es würde den Rahmen dieses Berichtes sprengen, jede Fallstudie einzeln vorzustellen. Fallstudien, die in Deutschland oder durch deutsche Forschungseinrichtungen angefertigt wurden, sind in einem gesonderten Kapitel (Kapitel B.10) aufgeführt.

Vor allem in Studien der empirischen Sozialforschung wird nicht nur die Vielfalt auf einer Ebene, z.B. die Sortenvielfalt allein, sondern zusätzlich die Artenzahl oder Betriebsstruktur variiert. Solche Studien fließen dann mehrfach in die Auswertung ein.

B.10.1. Zur Rolle der genetischen Vielfalt bzw. Sortenvielfalt

In den kleinbäuerlichen Betrieben der Tropen und Subtropen, wo häufig die Nährstoff- und Wasserversorgung der Kulturen nicht optimal sind, können Extremereignisse wie Dürren ganze Ernten vernichten. Da meist finanzielle Rücklagen fehlen, um in Bewässerung oder Düngung zu investieren, müssen die betroffenen Landwirte sich anderweitig auf mögliche klimatische Extremereignisse vorbereiten. Aus den Umfragen zur Anpassung ging hervor, dass die Landwirte oft Sortenmischungen anbauen oder verschiedene Felder mit verschiedenen Sorten bepflanzen. Es werden in einer Wachstumsperiode früh und spät reifende, Trockenheits- bzw. Dürre resistente und Hohertragssorten angebaut. Da der Witterungsverlauf einer Wachstumsperiode nie exakt vorher gesagt werden kann, sind die Landwirte so am besten auf alle möglichen Witterungsbedingungen vorbereitet. Kommt ein vergleichsweise „gutes“ Jahr, so werden vor allem mit den Hohertragssorten Gewinne erzielt. In einem extremen Jahr fallen diese oft aus, während lokale Landrassen immer noch Erträge bringen (Uchida und Ando, 2007; Cavatassi, 2010; Balemie, 2011; Cavatassi et al., 2011). Hadgu et al. (2009) konnten bei einer Korrelation verschiedener Anpassungsmaßnahmen, unter anderem der Agrobiodiversität (hier Zahl der Baumarten und Zahl der verschiedenen Landrassen) mit dem kalorischen Ertrag (= Energiewert der gesamten Ernte ausgedrückt in Kalorien) ausgewählter Betriebe feststellen, dass mit zunehmender Diversität auch eine größere Menge an Nahrungsmittelkalorien produziert wurde.

Statt zwei verschiedene Sorten anzubauen, kann auch die genetische Variabilität innerhalb einer Sorte durch Kreuzung zweier Sorten mit sich ergänzenden Eigenschaften erhöht werden. In einem Experiment mit Hirsesorten kreuzten Yadav und Bidinger (2007) in der Provinz Rajasthan in Indien vier Hohertragssorten mit fünf Landrassen. Verschiedenste Merkmale

der daraus folgenden F1 Generation wurden untersucht und zusätzlich auf Trockenheits- bzw. Dürre-resistenz getestet (Yadav, 2010). Generell vereinten die Hybride alle positiven Eigenschaften ihrer Eltern und waren unter normalen Wachstumsbedingungen ertragreicher als die Landrassen und Trockenheits- bzw. Dürre-resistenter als die Hochleistungssorten (Abbildung 10). Zudem kamen sie mit verschiedensten Standorten gleichermaßen zurecht. 40% der Hybride erreichten in einer Dürresaison einen ebenso hohen Korn-ertrag wie die beste Landrasse. Hier führte also die Erhöhung der genetischen Variabilität innerhalb einer Sorte zu höheren Erträgen selbst bei Dürre.

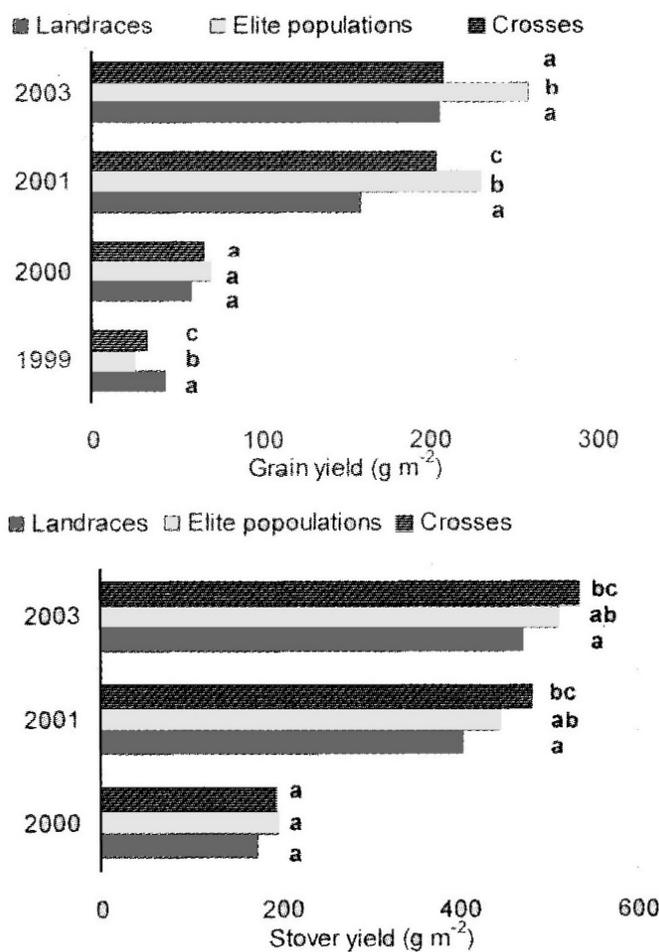


Abbildung 10. Mittelwerte des Korn- (grain) und Strohertrags (stover yield) bei verschiedenen Hirsesorten und deren Kreuzungen (crosses).

Von den abgebildeten Jahren waren die Jahre 1999 und 2000 Dürrejahre.

Quelle: Yadav (2007), zur besseren Unterscheidung der Sorten farblich angepasst. Wiedergabe mit Erlaubnis des Verlags Indian Journals

Unabhängig von einer konkreten Betrachtung einer Resilienz gegenüber Witterungsschwankungen bzw. Klimaextremen zeigen auch in Europa verschiedene Untersuchungen mit Sortenmischungen meist eine höhere Ertragsstabilität. In Großbritannien führten z.B. Wolfe et al. (2006; 2008b) einen Versuch mit Weizenrassen unter konventioneller und organischer Bewirtschaftung durch. Die Nachkommen von Kreuzungen aus je einem Hohertragselternanteil und einem Elternteil mit ausgezeichneten Qualitätseigenschaften wurden über vier Jahre angebaut. Deren Erträge wurden mit denen der Eltern in Reinsaat und bei Sortenmischung verglichen. Zwar wurden keine Extremereignisse untersucht, aber über den Untersuchungszeitraum hinweg gemessen, erzielten die gekreuzten Nachkommen signifikant höhere Erträge als die jeweiligen Eltern. Dieser Effekt war unter ökologischer Bewirtschaftung deutlicher ausgeprägt. Die Erträge sowohl aus Sortenmischung sowie die der neu gezüchteten Population zeigten eine deutlich höhere Ertragsstabilität als die Reinsaaten. Ob damit auch Extreme besser abgefangen werden können oder nur die normalen jährlichen Witterungsschwankungen, kann hier leider nicht geklärt werden.

Dass zumindest die jährliche Variabilität des Ertrags durch Gemengeanbau zweier Weizensorten verringert werden kann, bewiesen auch Toncea et al. (2010) für ökologisch bewirtschaftete Betriebe in Rumänien. Barkley et al. (2010) erstellten aus Ertragsdaten der im Bundesstaat Kansas/USA angebauten Weizensorten regionsspezifische Portfolios aus verschiedenen Sortenkombinationen zusammen, die im Gemenge angebaut die Ertragsvariabilität verglichen mit den zum Untersuchungszeitpunkt in Kansas angebauten Weizensorten deutlich herabsetzten. Zusätzlich erzielten diese aus mehreren Sorten bestehenden Gemenge höhere Erträge.

Der Zusammenhang zwischen interannueller Ertragsstabilität und genetischer Variabilität der angebauten Reissorten in zwei chinesischen Provinzen wurde von Widawsky und Rozelle (2000) untersucht. Sie korrelierten die Ertragsdaten mehrerer Jahre mit der genetischen Ähnlichkeit der angepflanzten Sorten, dem Auftreten von klimatischen Extremereignissen und verschiedenen Bewirtschaftungsparametern. Je enger die Sorten verwandt waren, desto geringer war die Vielfalt der Gene. Die mittleren Erträge der Regionen lagen in Jahren mit einer hohen genetischen Reissvielfalt auf den Feldern leicht unter dem mittleren Ertrag über alle Jahre hinweg, aber die Ertragsschwankungen zwischen den Jahren wurden durch eine Erhöhung der genetischen Vielfalt deutlich gesenkt.

Abgesehen von der klimatischen Variabilität spielt das soziale und politische Umfeld eine Rolle bei der Auswahl verschiedener Anpassungsmaßnahmen, wie die folgenden zwei Beispiele zeigen. Smale et al. (1998) untersuchten die Weizenenerträge des Punjab in Pakistan in bewässerten Regionen und verglichen sie mit strukturschwachen Regionen, wo Regenfeldbau vorherrschte. In bewässerten Regionen, wo vorwiegend Hohertragsorten angebaut wurden, spielte die Diversität der angebauten Sorten keine Rolle bei der Ertragsbildung. Unter Regenfeldbau waren jedoch die mittleren Erträge höher und die jährlichen Ertragsschwankungen geringer, wenn unterschiedliche Weizensorten angebaut wurden.

In Neuseeland wurden im Jahr 1984 alle Subventionen und Vergünstigungen für die Landwirtschaft gestrichen, so dass die dortigen Landwirte allen Risiken, die sich aus Veränderungen der Weltmarktpreise und der Umwelt ergeben, direkt ausgesetzt waren. Rinder- und Schafbetriebe wurden befragt, wie versucht wird, alle unternehmerischen Risiken zu minimieren (Martin und McLeay 1998). Als bedeutendste Risikoquellen wurden Politikänderungen und Preise genannt, erst danach folgten die Risiken von Ernteverlusten auf Grund der Witterung oder in Folge von klimatischen Extremereignissen. Diese letzten Risiken wurde hauptsächlich durch die Verwendung mehrerer Sorten der angebauten Feldfrüchte/Grünfutters bzw. Haltung mehrerer Rassen von Rindern oder Schafen begegnet, weniger durch Versicherungen bzw. gezieltes Schuldenmanagement.

Einer möglichen durch den Klimawandel bedingten Zunahme von Schädlingen z.B. aus wärmeren Regionen kann prinzipiell mit erhöhten Pestizidanwendungen begegnet werden. Wenn es allerdings auf Grund besonderer Witterungsverhältnisse in einzelnen Jahren zu Massenvermehrungen und Resistenzen kommt, sind massive Ernteverluste in genetisch einheitlichen Monokulturen die Folge. Das bekannteste Beispiel dafür ist die Hungersnot in Irland 1845-1849, ausgelöst durch mehrere Ausbrüche von Kartoffelfäule, die zum Totalausfall der zwei einzigen angebauten Kartoffelsorten führten (Corves, 2009). Aktuell wird vor allem in den USA die Vereinheitlichung des Saatguts zum Problem. Erst kürzlich wurde festgestellt, dass der westliche Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera*) den sogenannten Bt-Mais (produziert dank eines transferierten Gen Toxine des *Bacillus thuringiensis* (Bt)) schädigen kann. Dieser macht 45% des in den USA angebauten Maises aus (Gassmann et al., 2011).

Statt durch Einsatz von Pestiziden oder durch die Züchtung resistenter, aber genetisch einheitlicher Sorten kann Schädlingsbefall durch genetische Diversifizierung eingedämmt werden. Sowohl im Reisanbau in China (Zhu et al., 2000) als auch in Getreideanbau in Europa (Limpert et al., 1996) konnte gezeigt werden, dass bei Verwendung von Sortenmischungen trotz Verzicht auf Fungizide höhere Erträge als in mit Fungizid behandelten Monokulturen erzielt. Um dem Risiko durch vermehrten Schädlingsdruck aufgrund klimatischer Veränderungen zu begegnen, wird nicht nur die genetische Vielfalt, sondern vor allem auch die Vielfalt der angebauten Pflanzenarten zu erhöhen sein (vgl. Kapitel B.9.2).

Die Untersuchung von Sortenmischungen und Gemengeanbau zur Reduzierung des Krankheits- oder Schädlingsbefalls ist keine aktuelle Entwicklung und begann schon Anfang der 1980er Jahre (Altieri, 1980; Altieri und Whitcomb, 1980; Altieri, 1989; Altieri et al., 1990; Altieri und Nicholls, 2004), wobei meist auch alle Ebene eines Agrarökosystems nach Prinzipien der Agrarökologie als zu diversifizieren betrachtet wurden.

Umfassende Studien, die untersucht haben, ob bzw. inwieweit die weltweiten Erträge der wichtigsten Kulturpflanzen Reis, Weizen, Mais und Kartoffeln mit der Vielfalt der angebauten Sorten korrelieren, sind nur vereinzelt vorhanden. Grundsätzlich sind diese genetischen Ressourcen eine unverzichtbare Quelle für die Züchtung neuer Sorten, die besser an zukünftige

klimate Verhältnisse angepasst sind. Die Bedeutung der genetischen Vielfalt landwirtschaftlich bedeutsamer Arten im Kontext des Klimawandels wurde vielfach betont (u.a. Smale und Day-Rubenstein, 2002; Kotschi, 2006; Kotschi, 2007; FAO, 2010; Jacobsen et al., 2013) und auch die Notwendigkeit der Forschung zur Bewahrung und zum Schutz dieser Ressourcen wird häufig betont (u.a. Sthapit et al., 2009; Narloch et al., 2011; Padulosi et al., 2012).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass es einige Beispiele gibt, in denen eine Erhöhung der genetischen Vielfalt im Kulturpflanzenanbau auf einem Feld, in einem Betrieb oder in einer Region die Erträge gegenüber dem Einfluss klimatischer Extreme oder ungewöhnlicher Witterungsvariabilität stabilisieren konnte. Ob damit generell auch ein unmittelbarer Schutzeffekt bzw. eine Risikominimierung gegenüber klimatisch bedingten Extremereignissen verbunden sein kann, ist kaum gezielt untersucht worden.

Hierbei spielt auch die Verfügbarkeit weiterer Anpassungsmaßnahmen eine wichtige Rolle. Stehen andere Maßnahmen (z.B. durch Düngung; Bewässerung; Ernteversicherungen) zur Verfügung, wird auf die Versicherungswirkung der genetischen Diversität meist nicht mehr zurückgegriffen und werden vor allem ertragreiche Hochleistungssorten angebaut. Wo diese externen Inputs begrenzt sind, etwa durch Auflagen wie in der ökologischen Landwirtschaft oder durch Mangel an finanziellen Ressourcen, spielt die Sortenvielfalt durchaus eine Rolle bei der Stabilisierung der Erträge.

B.10.2. Zur Rolle der Artenvielfalt (genutzte und assoziierte Artenvielfalt)

Dieses Kapitel befasst sich mit dem Einfluss der Artenvielfalt auf die Resilienz der Erträge eines Betriebes oder einer Region gegenüber klimatischen Veränderungen bzw. Einflüssen. Es werden Beispiele von Ertragsuntersuchungen an Feldfrüchten aus dem Ackerbau und beispielhaft aus dem Bereich Grünland sowie Untersuchungen mit dem Fokus auf den finanziellen Ertrag der Betriebe vorgestellt. Dabei wird entweder verglichen, wie sich eine gezielte Erhöhung der angebauten Artenzahl (=Diversifizierung) ausgewirkt hat (Vorher-Nachher Vergleich) oder ob es im Verlauf von mehreren Jahren Unterschiede zwischen Betrieben bzw. Regionen gibt, die einen unterschiedlichen Reichtum an Kulturarten aufweisen. Die Erhöhung der Diversität der angebauten Feldfrüchte geht in der Regel mit einer Erweiterung der Fruchtfolge einher. Gelegentlich wurden z.B. Zwischenfrüchte zur speziell Reduzierung der Verdunstung und damit zur Wasserersparnis angebaut (Adeola et al., 2012; Idrisa et al., 2012; Khatiwada et al., 2012).

Analog zur Diversifizierung auf Sortenebene wurde die Erhöhung der Zahl der angebauten Kulturarten innerhalb eines Betriebes oder einer Region als eine unter vielen Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel betrachtet (vgl. Tabelle 5). Diese Strategie wird den Studien, die auf Umfragen aufbauen, etwa doppelt so häufig genannt wie eine Erhöhung der Sortenvielfalt. Zum Teil wird nicht nur die Zahl der angebauten Kulturarten aufgestockt, sondern gleichzeitig der Gemengeanbau als Strategie verwendet und somit die Diversität innerhalb eines Feldes auf verschiedenen biologischen Ebenen erhöht (u.a. Salimonu und Falusi, 2009; Khatiwada et al., 2012; Ogalleh et al., 2012; Bola et al., 2013). Integriert wirtschaftende Betriebe z.B. in den USA und Neuseeland haben sich, neben anderen Maßnahmen, durch Diversifizierung der Feldfrüchte (statt Mais werden Perlhirse, Hafer, Mohrenhirse und Sonnenblumen angebaut; Knutson et al., 2011) und der Vieh-Weiden auf Trockenheit bzw. Dürren vorbereitet (Kenny, 2011).

Der Diversifizierung auf Artniveau wird bei allen Maßnahmen, die in den Untersuchungen der Tabelle 5 aufgeführt sind, eine unterschiedliche Bedeutung beigemessen. Sie reicht von „Diversifizierung als am häufigsten angewendete Maßnahme“ (Bantilan und Anupama, 2002; Ayinde et al., 2012; Fosu-Mensah et al., 2012) über „Diversifizierung als eine von vielen Maßnahmen“ bis zu „kaum verwendet“ bzw. „nicht erwähnt“ (u.a. Bryan et al., 2009; Dougill et al., 2010; Hassan, 2010; Ebi et al., 2011; Adimo et al., 2012; Di Falco und Veronesi, 2013). In zwei Studien wird für Gebiete, die durch Trockenheit bzw. Dürre besonders gefährdet sind, eine Spezialisierung auf nur Dürre resistente Arten als Anpassung genannt, d.h. eine Reduzierung der Artenvielfalt empfohlen (Molua, 2011; Abraham et al., 2012).

Ertragsuntersuchungen im Ackerbau

Wie schon im Abschnitt über die genetische Diversität erwähnt, unterscheiden sich die gewählten Anpassungsstrategien je nach „Gunstlage“ der untersuchten Region. Landwirte in durch Trockenheit bzw. Dürre gefährdeten Regionen versichern sich meist selbst gegen Ern-

teausfälle durch den Anbau verschiedener Kulturen. Sowohl in Indien (Barah und Binswanger, 1982) als auch in Kanada (Bradshaw et al., 2004) zeigen Anbaustatistiken in benachteiligten Gebieten (geringerer Niederschlag, schlechtere Böden) eine höhere Vielfalt an Kulturen als in den Gunstregionen, wo annähernd optimale Wachstumsbedingungen vorherrschen. In Kanada nahm die Kulturartenvielfalt von 1994 bis 2002 in den Gunstregionen dabei ab, da mehr unterschiedliche Kulturen auch immer ein höheres Maß an Wissen erfordern und den Einsatz von mehr Maschinen voraussetzten, was nicht rentabel war (Bradshaw et al., 2004). Demgegenüber wurde in Kamerun nur in klimatisch begünstigten Regionen diversifiziert, während in durch Trockenheit bzw. Dürre gefährdeten Regionen nur wenige Arten und von diesen nur die am besten angepassten Sorten angebaut wurden (Molua 2011).

In einigen Studien, die sich auf Befragungen stützen, wurde untersucht, ob eine Erhöhung der Artenvielfalt der Feldfrüchte eine Veränderung der Gesamterträge oder finanzielle Gewinne der Betriebe erbrachte. Mandal und Bezbaruah (2013) berichteten, dass eine höhere Anzahl an Feldfrüchten signifikant zur Einkommenserhöhung der von Überschwemmung bedrohten Kleinbauern in der Assam Ebene (Indien) beitrug. In einem OXFAM Projekt in Thailand, dessen Hauptziel eine Erhöhung der Ernährungssicherheit der Reisbauern durch die Etablierung eines besseren Bewässerungssystem für Reis war, wurde zusätzlich der Anbau von Obst und Gemüse inner- und vor allem außerhalb der Reissaison gefördert (Anuchiracheeva und Pinkaew, 2010). Als im ersten Jahr des Projekts eine schwere Dürre auftrat, konnten alle am Projekt teilnehmenden Familien - im Gegensatz zu den Familien, die nicht am Projekt teilgenommen hatten - Überschüsse an Obst und Gemüse auf den lokalen Märkten verkaufen.

In Malawi untersuchten Pangapanga et al. (2012b) die Kulturpflanzenenerträge sowie die Ernährungssicherheit (als ausreichend mit Nahrungsmitteln versorgt galten Kleinbauern, wenn sie durch eigene Produktion oder durch Erwerb von Lebensmitteln vom lokalen Markt für jede im Haushalt lebende Person 300 kg Nahrung pro Jahr bereitstellen konnten) von Kleinbauern aus der Tiefebene und aus dem Hochland. Die Erträge und die Ernährungssicherheit wurden mit der Anwendung bzw. Unkenntnis verschiedener Anpassungsmaßnahmen in Beziehung gesetzt und für jede Maßnahme wurde die positive bzw. negative Wirkung auf Ertrag und Ernährungssicherheit berechnet. Hierbei erzielte eine Diversifizierung der angebauten Arten eine ähnlich hohe Ertragssteigerung (25% in der klimatisch bevorzugten Tiefebene) bzw. eine ähnlich hohe Steigerung der Ernährungssicherheit (26% im Tiefland, 5% im Hochland) wie Bewässerung oder zusätzliches Einkommen durch Arbeit außerhalb des Hofes.

Rayhan und Grote (2010) schlussfolgerten nach einer Analyse der Verluste durch übermäßigen Monsunregen und daraus resultierenden rasch auftretenden Überschwemmungen im Jute- bzw. Reisanbau in Bangladesch, dass eine Mischung von Reis und Jute im Anbau die Verluste reduzieren würde, da die einzelnen Feldfrüchte von den Extremereignissen unterschiedlich schwer getroffen werden.

Ähnliche Zusammenhänge untersuchten Dhindsa und Singh (1996) in einem Experiment mit Triticale und Weizen in der Ganges Ebene in Indien. Da Triticale erheblich widerstandsfähiger gegen Krankheiten und Trockenstress war und geringere Ertragseinbußen gegenüber diesen Einflüssen als der Weizen zeigte, empfahlen sie, die Weizen-Monokulturen durch Triticale aufzulockern.

In den USA und in Europa wurden Untersuchungen zur Diversifizierung der Fruchtfolge eines Betriebs als Maßnahme gegen die Auswirkungen klimatischer Ereignisse oft in Form von Experimenten durchgeführt. Unter konventioneller Bewirtschaftung wurde bei Experimenten in der Schweiz und in den USA kein Vorteil einer erweiterten Fruchtfolge gegenüber der regulär vorherrschenden im Hinblick auf klimatische Einflüsse gefunden. Modellierungen der Erträge unter zukünftigen Klimaszenarien zeigten, dass zur Anpassung an trockenere Sommer vielmehr die Sorten ausgetauscht (Klein et al., 2014) und die Bodenbearbeitung reduziert werden sollte (Ko et al., 2012). In einem weiteren Experiment in Iowa/USA konnten Liebman et al. (2013) allerdings zeigen, dass es bei einer Diversifizierung der gängigen, kurzen Mais-Soja Fruchtfolge mit Triticale oder Hafer und Futterleguminosen zwar zu keiner Ertragsverbesserung kam, dass aber die benötigte Düngermenge gesenkt und die Wasserspeicherkapazität des Bodens erhöht werden konnte. Letzteres sichert die Feldfrüchte besser gegen Trockenheit bzw. Dürre ab.

Ebenfalls in den USA wurde die Wirkung der Vorfrucht auf die nachfolgenden Getreideerträge in „normalen“ und in Trockenheits- bzw. Dürrejahre untersucht (Miller und Holmes, 2005). Da das Getreide in normalen Jahren einen höheren Ertrag nach einer nicht-Getreide Vorfrucht als nach Getreide erbrachte, dieses Verhältnis in den Trockenheits- bzw. Dürrejahre jedoch umgekehrt war, wurde empfohlen, die Fruchtfolgen innerhalb eines Betriebes zu diversifizieren. Hannukkala et al. (2007) konnten für Finnland zeigen, dass sich ein Verzicht auf einen Fruchtfolgenwechsel im Hinblick auf Krankheiten negativ auswirken kann. Dort setzte im Zeitraum von 1933-2002 die Kartoffelfäule klimabedingt immer früher im Jahr ein. Die Krankheit wurde zusätzlich gefördert, wenn im Jahr zuvor ebenfalls Kartoffeln angebaut wurden.

Ertragsuntersuchungen in Graslandökosystemen

Die Untersuchung von Graslandökosystemen im Hinblick auf Zusammenhänge zwischen Agrobiodiversität und Klimawandel steht nicht im Vordergrund der vorliegenden Studie. Hierzu werden nur drei Beispiele gezeigt. Bei der Frage nach der Bedeutung von biologischer Vielfalt für die Reaktion von Graslandökosystemen auf klimatische Extremereignisse wird auf ökologisch ausgerichtete Experimente zurückgegriffen, in denen das jeweilige Graslandökosystem stellvertretend für andere terrestrische Ökosysteme untersucht wird. Dabei wurden in der Regel Gräser, Kräuter und Leguminosen in Monokultur und in Mischungen von bis zu 64 Arten angesät, um die Wirkung einer zunehmenden Arten- und funktionellen Diversität auf verschiedene Ökosystemfunktionen zu untersuchen.

So konnten z.B. Pfisterer und Schmid (2002) bei der Untersuchung der Wirkung von Trockenheit bzw. Dürre auf den Ertrag von Grasland mit einer Artenspanne von 2 bis 32 Arten feststellen, dass die artenreicheren Grasnarben zwar sowohl vor als auch während und nach der Störung durch das Extremereignis mehr Biomasse produzierten als die artenärmeren, dass aber die Resistenz und die Kurzzeit-Resilienz in den artenreichen Grasnarben geringer waren. Während es in den Monokulturen keine Ertragsunterschiede zwischen dem „normalen“ und dem Dürrejahr gab, fiel der Ertrag in der artenreichsten Variante deutlich ab. Ein Jahr nach der klimatischen Störung war die Ausgangsproduktivität jedoch wieder erreicht. Artenreiche und artenarme Bestände unterschieden sich nicht in ihrer Langzeit-Resilienz.

Unter Praxisbedingungen verglichen Ospina et al. (2012) die Produktivität von angesäten Gras-Monokulturen mit halbnatürlichem, artenreicherem Grasland in Nicaragua. Zwar war die Monokultur in der Regenzeit produktiver, zeigte jedoch einen starken Ertragsabfall in der Trockenzeit, der im artenreichen Grasland weit weniger ausgeprägt war. Letzteres zeigte also geringere jährliche Ertragsschwankungen und über das Jahr gesehen keine geringere Produktivität als die Monokultur.

Eine bessere Resilienz artenreicher Gras-Mischungen unter durchschnittlichen Witterungsschwankungen fanden auch Picasso et al. (2011). In ihrem mehrjährigen Experiment mit Grasmischungen (2 – 6 Arten, z.T. mit Leguminosen) stellten sie fest, dass je nach Witterungsbedingungen unterschiedliche Arten den jeweils höchsten Einzelertrag brachten. Die Mischungen konnten die jährlichen Witterungsschwankungen besser abfangen als die Monokulturen. Zusätzlich lagen die Erträge in den artenreichen Parzellen immer über denen der Monokulturen.

Generell scheint eine höhere Artenzahl in Graslandökosystemen bzw. im Grünland vorteilhaft zu sein, um höhere und vor allem stabilere Erträge zu erzielen. Hier ist im Gegensatz zu den annuellen Feldkulturen nicht nur die Kurzzeit-Resilienz (den Ertrag derselben Saison betreffend), sondern auch die Langzeit-Resilienz, die bestimmt, ob der Ertrag der folgenden Saison wieder im Durchschnitt liegt, von Bedeutung. Verschiedene entsprechende Experimente zeigen, dass in der folgenden Wachstumsperiode unabhängig von der Biodiversität in der Regel kein unterdurchschnittlicher Ertrag zu erwarten ist.

Untersuchungen mit Fokus auf finanziellen Erträgen

Di Falco und Perrings (2005) sowie Nastis et al. (2013) modellierten die finanziellen Einkünfte von landwirtschaftlichen Betrieben in Süditalien und in Griechenland und fanden heraus, dass die Landwirte nur solange eine Risikostreuung durch Diversifizierung auf Artebene betreiben, wie die der gemeinschaftlichen europäischen Agrarpolitik entstammenden Subventionen für bestimmte Feldfrüchte einen bestimmten Grenzwert nicht überschreiten. Bei hohen finanziellen Gewinnen mit subventionierten Feldfrüchten wird von der „Diversität-Strategie“ auf die „Beihilfe-Strategie“ gewechselt und die Agrobiodiversität auf den Betrieben gesenkt. Im Modell war dies unabhängig davon, ob es sich um konventionelle (Di Falco und Perrings, 2005)

oder um ökologisch wirtschaftende Betriebe (Nastis et al., 2013) handelt. Nach Máñez Costa et al. (2011) verdrängt in Portugal speziell der durch Subventionen geförderte Olivenanbau die traditionelle, weitaus vielfältigere Landwirtschaft, was zu einer erhöhten Trockenheits- bzw. Dürreanfälligkeit der Betriebsproduktion führt. Ein Wegfall von Subventionen im Obst- und Gemüseanbau in British Columbia in Kanada führte hingegen zu einer Diversifizierung der angebauten Kulturen (Fraser, 2006).

Schläpfer et al. (2002) untersuchten an Hand der Ertragsdaten aus einem Diversitätsexperiment mit verschiedenen Graslandarten in Minnesota/USA (Tilman et al., 1996), ob der finanzielle Gewinn aus der Ernte gesteigert werden kann, indem Versicherungskosten, die gezahlt werden, um einen fixen finanziellen Gewinn aus der Heugewinnung zu garantieren, durch den Anbau weniger riskanter Kulturen eingespart werden können. Die mutmaßlichen Versicherungsprämien für gedüngtes und daher ertragreicheres Grünland waren auf Grund der durch Trockenheit bzw. Dürre verursachten Ertragsschwankungen deutlich höher als für wenig gedüngtes, artenreicheres Grünland. Die eingesparten Versicherungssummen zusammen mit eingesparten Düngerkosten könnten in bestimmten Jahren den etwas niedrigeren Ertrag des wenig gedüngten Grünlands aufheben.

Wenige Studien befassen sich mit dem Einfluss der Artenvielfalt einer Region auf die regionale Resilienz gegenüber Klimaänderungen bzw. gegenüber klimatischen Extremereignissen. Für die Flussniederung des Guadiana in Südspanien modellierten Werners et al. (2007) die Erträge und das Einkommen einzelner Betriebe unter zukünftigen Klimaszenarien. Dabei wendeten die Autoren die sogenannte „Portfolio-Theorie“ an, die besagt, dass bei einer Kombination verschiedener Investitionen (hier Kulturarten), das Gesamtrisiko kleiner ist als die Summe der Einzelrisiken. Wurden zwei in Bezug auf Witterungsansprüche während der Wachstumsperiode relativ unähnliche Kulturen wie Gerste und Sonnenblume für das Portfolio gewählt, wurden die geringsten Einkommensschwankungen erzielt.

In Abbildung 11 ist das für jeden Landschaftsausschnitt optimale Verhältnis von Gerste zu Sonnenblumen dargestellt, mit dem unter gegenwärtigen klimatischen Bedingungen (Abbildung 11 linke Spalte) und unter zukünftigem Klima (Abbildung 11 rechte Spalte) die geringsten Einkommensschwankungen zu erreichen waren. Monokulturen erzielten durchweg schlechtere Ergebnisse. Leider wurde in der Studie nicht gezeigt, wie sich eine weitere Diversifizierung auf diese Schwankungen auswirken würde.

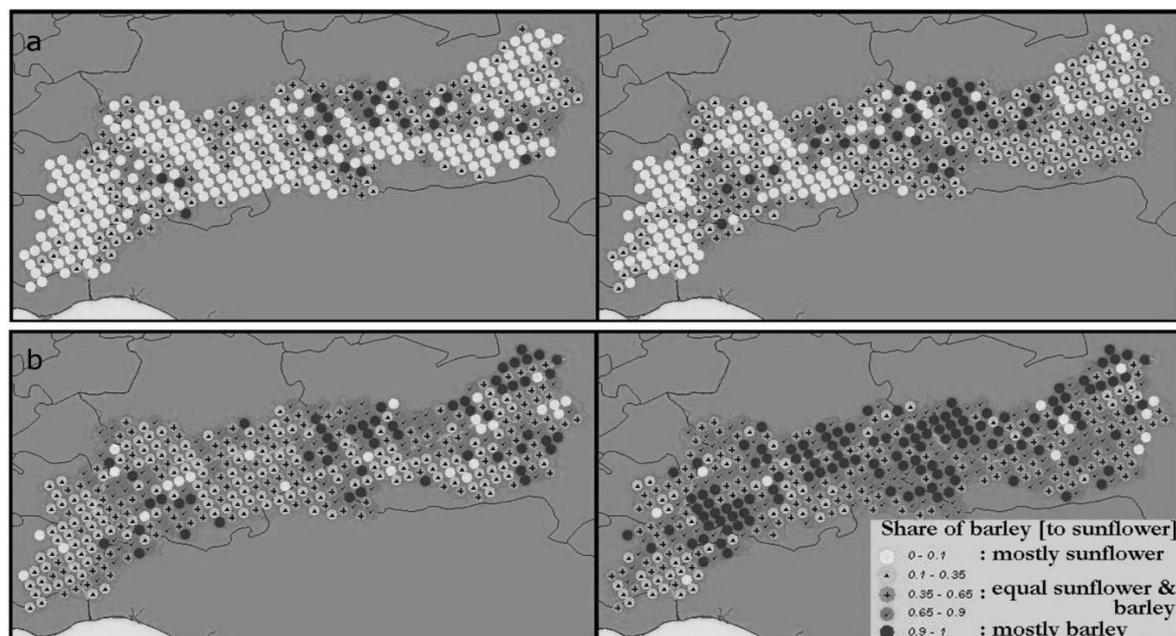


Abbildung 11. Verhältnis von Gerste zu Sonnenblume auf 12,5 km² Flächen um a) die geringsten Einkommensschwankung und b) das beste Verhältnis Einkommen : Einkommensschwankung zu erreichen.

Links: Klimaszenario 1961-1990, rechts simulierte Werte (Klimaszenario A2) von 2071-2100.

Quelle: Werners et al. (2007), zwei Abbildungen zu einer (mit Teilgrafiken a und b) zusammengefügt.

Simelton (2011) untersuchte, ob die Ernteverluste in allen Provinzen Chinas bei Überschwemmung oder bei Trockenheit bzw. Dürre in Zusammenhang mit der Anzahl der angebauten Hauptkulturen (je > 10% der Anbaufläche, nur Getreide betrachtet) standen. Bei Überschwemmung hatten die Provinzen mit nur einer Hauptkultur die größten Verluste zu verzeichnen, bei Trockenheit bzw. Dürre hingegen die mit den meisten (in diesem Fall vier verschiedenen) Hauptkulturen. Provinzen mit 2 oder 3 Hauptkulturen erreichten am häufigsten die angestrebte Selbstversorgung mit landwirtschaftlichen Produkten. Allerdings wurde hier das Bild etwas verzerrt, da nicht alle Regionen von denselben Extremen betroffen sind. Die Hochwasser gefährdeten Regionen liegen im Süden Chinas und dort wird vorwiegend Reis angebaut, während im trockeneren Norden die Trockenheits- bzw. Dürrewahrscheinlichkeit am höchsten ist. In diesen Regionen wurde bisher zwar schon diversifiziert, um sich anzupassen, da aber dort die Trockenheits- bzw. Dürreereignisse extremer sind und häufiger auftreten, sind die Verluste dennoch größer als in klimatisch besser gestellten Regionen.

Ähnlich wie durch eine Erhöhung der Sortenvielfalt können sich Landwirte auch durch die Mischung angebaute Arten z.B. im Gemengeanbau (Altieri, 1980; Limpert et al., 1996; Khan et al., 2011; Mulumba et al., 2012) und durch diverse Feldrainbepflanzungen (Altieri und Whitcomb, 1980; Khan et al., 2011) gegen witterungs- bzw. klimabedingtes bedingtes massenhaftes Auftreten von Schädlingen und Krankheiten schützen. Khan et al. (2011) stellten

z.B. fest, dass ihr sogenanntes „push-pull System“ mit einer von den Schädlingen gemiedenen Stickstoff-fixierenden Grünfütterpflanze (*Desmodium sp.*) in der angebauten Kultur (Mais oder Sorghum) und einer für die Schädlinge attraktiven Grasart (*Pennisetum purpureum*) in unmittelbarer Nähe außerhalb der Felder nicht nur die Fraßschäden reduzierte, sondern auch für Bodenverbesserung und folglich für höhere Erträge bei Mais und Hirse sorgte. In der untersuchten Region führte dies zu einer Verdreifachung des Gesamtertrags.

Untersuchungen zur Rolle der assoziierten Agrobiodiversität

Grundsätzlich spielt nicht nur die über die Aktivitäten der Landwirte gesteuerte, geplante Agrobiodiversität, sondern auch die sogenannte assoziierte Agrobiodiversität (vgl. Kapitel A.5.) eine Rolle im Hinblick auf Anpassungen an klimatische Veränderungen bzw. klimatische Extremereignisse. Hierzu zählt z.B. die Möglichkeit zur Ergänzung des Nahrungsangebots für Mensch und Tier über essbare Wildpflanzen (Tengö und Belfrage, 2004; Hachileka, 2010; da Costa et al., 2013) bzw. die in Notzeiten mögliche Suche nach Essbarem in Wäldern (Connelly und Wilson, 2001; da Costa et al., 2013). Über ursächliche Zusammenhänge zwischen assoziierter Agrobiodiversität und der Resistenz bzw. Resilienz von Agrarökosystemen gegenüber klimatischen oder witterungsbedingten Extremen liegen kaum Informationen vor.

Untersucht wurde die assoziierte Agrobiodiversität experimentell nur im Zusammenhang im Bereich Nützlinge und Schädlingsdruck. Insofern dieser durch klimatische Ereignisse ausgelöst bzw. durch diese beeinflusst wird, ist ein indirekter Zusammenhang denkbar. Zum Beispiel erbrachte eine Förderung der assoziierten Agrobiodiversität (Nützlinge, Bodenfauna) Ertrags- und finanzielle Gewinne durch geringere Fraßverluste in der Sahelzone (Bhatnagar, 1987) bzw. durch Einsparung an Dünger im Reisanbau in Gambia (Ceesay, 2011). In einem Agroforstsystem in Mexiko konnten Altieri und Trujillo (1987) zeigen, dass die Nährstoffversorgung im Boden umso besser war, je dichter heran die das Feld begrenzenden Baumstreifen wuchsen. Zusätzlich erhöhten bestimmte Pflanzen in den Feldrainen die Zahl der Nützlinge und senkten so die Befallsdichte eines Maisschädlings. Durch derartige Maßnahmen könnte eine Stabilisierung des Anbausystems erreicht werden, die auch unter ungünstigen klimatischen Bedingungen hilfreich ist.

Wichtige Elemente der assoziierten Agrobiodiversität sind die Bestäuber und hier hauptsächlich Honigbienen aber auch wildlebende Bienen, Hummeln und andere Insekten. Diese für ca. ein Drittel aller angebauten Kulturpflanzen als Bestäubung unerlässlich. Ihre Zahl ist weltweit rückläufig (Potts et al., 2010; Tschardt et al., 2012). Dies liegt vor allem an der Landschaftsfragmentierung und Habitatzerstörung, zum Teil aber auch am Klimawandel (Le Conte und Navajas, 2008; Potts et al., 2010). Um dem Verlust zu begegnen, wird verstärkt über die Nutzung und Förderung alternativer Bestäuber nachgedacht. Dies vor allem im asiatischen Raum, dessen Bienenpopulationen keine so große ökologische Spannweite haben wie die europäische Honigbiene (Le Conte und Navajas, 2008; Christmann und Aw-Hassan, 2012). Geschehen

könnte dies vor allem durch die Pflanzung von Gehölzstreifen, also durch Diversifizierung auf der Ebene der landschaftsbestimmenden Strukturen der Betriebe.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass gemessen an der Zahl der sich mit Arten beschäftigenden Veröffentlichungen eine Diversifizierung auf Artniveau in Agrarsystemen häufiger untersucht wurde als auf der Ebene von Sorten. Der Anbau verschiedener Arten mit sehr unterschiedlichen Ansprüchen und Reifezeiten bewirkt eine breitere Risikostreuung als durch Sortenvielfalt erreicht werden kann. Wie auch für die genetische Ebene gezeigt, werden die Vorteile einer Diversifizierung stark vom äußeren Umfeld beeinflusst. Während die Mehrzahl der Studien zu kleinbäuerlichen Betrieben in den Tropen und Subtropen positiven Wirkung der Diversifizierung belegen bzw. zumindest die Nutzung der Diversifizierung als wichtige Anpassungsstrategie fanden, wurden in den wenigen Experimenten z.B. zur Fruchtfolgenerweiterung, die auf hoch technisierten Betrieben der gemäßigten Klimazone stattfanden, für im Hinblick auf zukünftige Klimabedingungen bzw. unter extremen Witterungsbedingungen weder positive noch negative Wirkungen der Agrobiodiversität gefunden.

Für Grasland, das auf Grund seiner Mehrjährigkeit eine besondere Betrachtung erfordert, sind Untersuchungen vorhanden, die sowohl ertragsstabilisierende als auch keine Effekte einer variierten Agrobiodiversität gefunden haben. Tendenziell sind zur Ertragsstabilisierung in Trockenheit- bzw. in Dürre gefährdeten Gebieten artenreichere (es reichen schon sechs bis acht Arten) Grasländer den Monokulturen vorzuziehen.

Für die regionale Ebene ist grundsätzlich festzustellen, dass Agrobiodiversität stärker durch finanzielle Anreize bzw. Wegfall derselben als durch variable Umweltbedingungen beeinflusst wird.

B.10.3. Zur Rolle der Vielfalt der Betriebsstrukturen

In diesem Kapitel werden die Fallstudien besprochen, die die Rolle der Betriebsstruktur auf die Stabilität (Resistenz/Resilienz) gegenüber extremen klimatischen Ereignissen untersuchen. Dabei geht es zum einen um die Frage, ob die Resilienz durch eine höhere Anzahl an verschiedenen Betriebszweigen wie Ackerbau, Dauerkulturen wie Obstbäume, Milch- oder Fleischviehhaltung erhöht werden kann. Zum anderen wird die Wirkung der räumlichen Struktur auf den Betrieben auf die Resilienz betrachtet. Dabei spielen die Größe der einzelnen Schläge und die sie trennenden Strukturelemente (Hecken, Bäume, Gräben usw.) eine Rolle. Unter Vielfalt der Betriebsstrukturen fallen auch Systemvergleiche wie etwa von ökologischer mit konventioneller Landwirtschaft oder von Agroforstsystemen mit Betrieben ohne derartige Produktionsstrukturen.

In der Hälfte aller Fallstudien, bei denen es sich um Befragungen von Landwirten handelt, wurde nur „Betriebsdiversifizierung“ als Anpassungsmaßnahme genannt und nicht weiter ausgeführt, ob diese Maßnahme einen messbaren Erfolg brachte. Am häufigsten wurden Agroforstsysteme als Anpassung angeführt (u.a. Dossou und Glehouenou, 2009; Kenny, 2011; Bello et al., 2013; Biggs et al., 2013; Nguyen et al., 2013). Oft benannt wurde auch die integrierte Landbewirtschaftung, u.a. da z.B. Weideland meist einer Trockenperiode bzw. einer Dürre besser stand hält als ackerbauliche Kulturen (u.a. Connelly und Wilson, 2001; Wajih, 2008; Ozor et al., 2012). Als weitere die Strukturvielfalt im landwirtschaftlichen Betrieb erhöhende Maßnahme werden Hausgärten genannt (u.a. Birol et al., 2006; Aguilar-Støen et al., 2009; Regmi et al., 2009b). Dabei handelt es sich um Gärten nahe dem Wohngebäude des Betriebes, in denen Obst und Gemüse für den familiären Bedarf angebaut wird.

Durch Vergleichsuntersuchungen von Kulturpflanzenerträgen vor und nach einer Einführung von Agroforstsystemen konnte die Wirksamkeit dieser Strukturelemente unter „normaler“ Klimavariabilität nachgewiesen werden. Hierbei wurden z.B. im Getreideanbau in Untersuchungen in verschiedenen (Entwicklungs-)Ländern mit geringem Ertragsniveau Ertragssteigerungen von bis zu 81% (Branca et al., 2013), sowie eine Zunahme der finanziellen Gewinne (Kamerun; Asaah et al., 2011) und des kalorischen Ertrags (Äthiopien; Hadgu et al., 2009) gefunden. In Kaffeeplantagen bewirkten Agroforstsysteme signifikant verbesserte und stabilere mikroklimatische Bedingungen (Lin und Richards, 2007; Lin, 2010; de Souza et al., 2012) und pufferten extreme Temperaturen besser ab als unter ausschließlicher Kaffeebaumnutzung.

Beispiele aus Indien und von den Philippinen zeigen, dass die Einführung von ökologischem Landbau die Ernährungssicherheit und die finanziellen Gewinne der Landwirte positiv beeinflusste. Eine Befragung der teilnehmenden Landwirte offenbarte, dass nach den Übergangsjahren nach der Umstellung annähernd gleiche Kulturpflanzenerträge erzielt wurden wie unter konventionellem Anbau, die Produktionskosten jedoch deutlich geringer waren (Lukas und Cahn, 2008). Auf den Philippinen wurden ökologisch wirtschaftende und konventionelle Betriebe direkt verglichen. Es zeigte sich, dass die geringeren Produktionskosten, kombiniert

mit besseren Bodeneigenschaften dem ökologischen Landbau steigende Einkommen bescherte, während die konventionell wirtschaftenden Kleinbauern mit einer Stagnation des Einkommen leben mussten (Bachmann et al., 2009). In den Studien wurden nicht die Erträge der angebauten Kulturpflanzen direkt, sondern der finanzielle Gewinn verglichen, der nicht nur durch die reale Ernte, sondern auch durch die vorher geleisteten Zahlungen für Saatgut, Dünger und Arbeitskräfte bestimmt wird. Die genannten Beispiele haben explizit nicht die Zusammenhänge zwischen Bewirtschaftungsform und klimatischen Extremereignissen untersucht. Es kann lediglich spekuliert werden, dass beispielsweise die geringere Verdunstung und erhöhte Bodenfeuchten unter den Bäumen dazu führen, dass Trockenheit bzw. Dürren den angebauten Kulturpflanzen weniger schaden.

Die im vorliegenden Fall ermittelten Studien über Betriebe mit unterschiedlich hoher struktureller Vielfalt vergleichen alle konventionelle Betriebe (Referenz, geringe strukturelle Vielfalt) mit solchen, die nach den Regeln der ökologischen Landwirtschaft arbeiten bzw. die nach den Prinzipien der Agrarökologie natürliche Ökosysteme imitieren. Agrarökologisch wirtschaftende Betriebe versuchen nicht nur durch die strukturellen Diversifizierung durch Bäume, sondern auch durch Bewirtschaftungsmaßnahmen wie Mulchen, Verzicht auf Pflügen, verbesserte Wasserspeicherung und -nutzung oder die Nachempfindung aller Prozesse eines natürlichen Ökosystems bestmöglich und nachhaltig (unter Verwendung nur geringer Mengen von Dünger und Pestiziden und Nutzung interner Stoffkreisläufe) zu wirtschaften.

Die im Kapitel B.8 vorgestellte Studie von Holt-Gimenez (2002) aus Nicaragua zeigt eindrucksvoll, dass strukturell diversere Betriebe bei einer sehr extremen Wetterlage (Hurrikan) geringere Schäden und geringere finanzielle Verluste zu verbuchen haben als konventionell bewirtschaftete. Ähnliche Ergebnisse fanden auch Philpott et al. (2008) nach einem Hurrikan in Mexico. Hier hatten Kaffeepflanzungen mit einer komplexeren Vegetationsstruktur (mehr Bäume und Sträucher, höhere Bodendeckung) eine geringere Erdrutschhäufigkeit als weniger komplexe. Bei dem Tsunami von 2004 in Sri Lanka wurde die Bedeutung bzw. Schutzwirkung von Bäumen im landwirtschaftlichen Betrieb besonders deutlich, da vor allem die Hausgärten zerstört wurden, die keinen „Schutzzaun“ aus Bäumen und Sträuchern besaßen. Darüber hinaus waren Kokospalmen eine der wenigen angebauten Arten, die trotz des eingedrungenen Salzwassers noch Erträge erbrachte (Harvey und Wijewardane, 2008). Diese Beispiele belegen, dass Bäume und Sträucher vor allem bei Starkregenereignissen und Überschwemmungen schützen.

Lotter et al. (2003) verglichen in einem Langzeit-Versuch in Pennsylvania, USA über mehrere Jahre drei landwirtschaftliche Anbausysteme, wobei es in einem Jahr zunächst eine Dürre und kurz vor der Ernte ein Starkregenereignis gab (Abbildung 12). Dadurch konnte die „Klima-Resilienz“ der Systeme verglichen werden. Mais aus ökologischem Anbau erbrachte 38% (Leguminosen gedüngt) bzw. 137% (organisch mit Mist gedüngt) des Ertrags des konventionell angebauten Maises. Bei Soja lagen die Erträge in beiden ökologischen Systemen höher als im konventionellen System (196% und 152%). Die Autoren führen diese Ergebnisse vor allem auf

die besseren Bodeneigenschaften im ökologischen System zurück. Der Boden dort konnte zum einen mehr Wasser speichern und zum anderen hatte er eine doppelt so hohe Infiltrationsrate wie der konventionelle Boden. Das schlechte Abschneiden des mit Leguminosen gedüngten Mais lag an der starken Verunkrautung in dem Versuchsjahr.

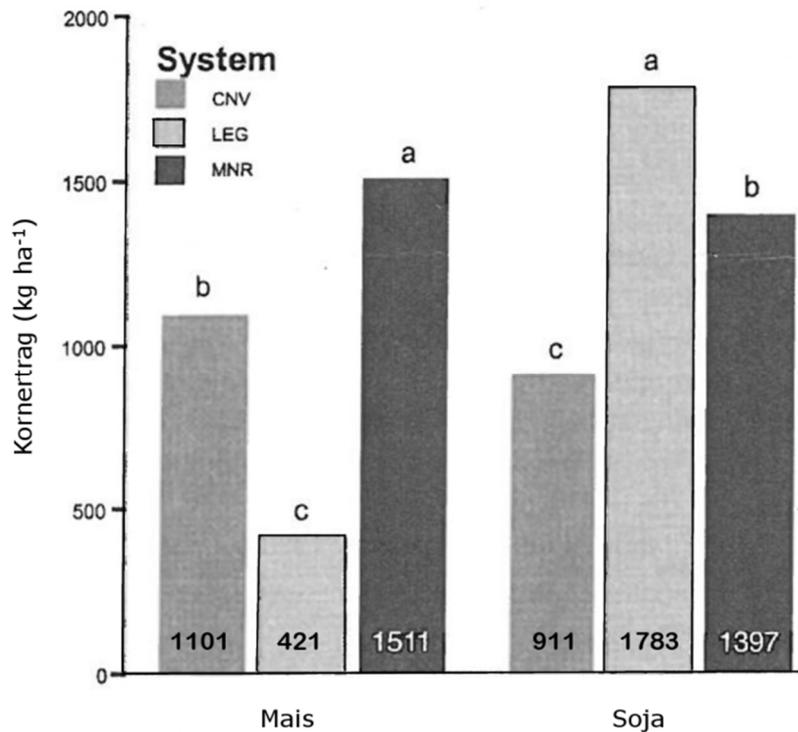


Abbildung 12. Mais- und Soja-Kornertrag in konventionellen (CNV), Leguminosen gedüngten (LEG) und mit Mist gedüngten (MNR) ökologischen Parzellen in einem Versuchsjahr mit extremer Witterung (Dürre + Starkregen).

Verschiedene Buchstaben zeigen statistisch signifikante Unterschiede auf dem 5% Level an.

Quelle: Lotter et al. (2003), übersetzt und Säule „Leg“ mit Rand versehen.
Wiedergabe mit Erlaubnis von Cambridge University Press

Besser geschützt gegen Starkregen zur Saatzeit gefolgt von einer langen Trockenperiode waren auch die nach agrarökologischen Prinzipien wirtschaftenden Maisbauern, die de Almeida da Silva et al. (2009) in Brasilien mit konventionell wirtschaftenden Landwirten verglichen. Zwar zeigten beide Bewirtschaftungsformen in dem untersuchten extremen Jahr ein ähnlich hohes Ertragsniveau, jedoch bedeutete dies einen Ertragsverlust von 50% (konventionell) gegenüber nur 20% (agrarökologisch) verglichen mit einem „normalen“ Jahr. In beiden Fällen musste nach Ende der Regenfälle eine Neupflanzung erfolgen. Da die Produktionskosten (vor

allem neues Saatgut und Düngemittel) im konventionellen Betrieb jedoch deutlich höher waren, und die Erträge aufgrund der folgenden Trockenperiode geringer als üblich ausfielen, ergaben sich finanzielle Verluste im konventionellen Betrieb, während der agrarökologisch bewirtschaftete einen Gewinn erzielte.

Die Bedeutung verschiedener Bodeneigenschaften in ökologischen bzw. Agroforst- und in konventionellen Systemen wurde experimentell bewiesen. In Kanada konnten Rivest et al. (2013) zeigen, dass bei simulierter Trockenheit bzw. Dürre die Erträge von Weizen auf Böden in Agroforst-Systemen höher waren als auf konventionell bewirtschaftetem Boden. Zudem wiesen die Mikroorganismen, die für die Nährstoffumsetzung von essentieller Bedeutung sind, in dem Agroforst-Boden eine höhere Resilienz gegenüber Trockenheit bzw. Dürre sowie gegenüber Überflutung auf. Diese positiven Bodeneigenschaften sind allerdings nicht allein der höheren Biodiversität in den ökologischen Systemen geschuldet, sondern sie ergeben sich aus einer Kombination mit der Bodenbewirtschaftung (z.B. flaches bzw. kein Pflügen; Mulchen). In ansonsten konventionell aber pfluglos bewirtschafteten Systemen mit konservierender Bodenbearbeitung werden ähnlich positive Wirkungen verzeichnet (Aune, 2012; Aguilera et al., 2013), wobei dies vor allem die organische Substanz betrifft, die für die Wasserspeicherkapazität der Böden von großer Bedeutung ist.

Untersuchungen von Boisdon und Capitaine (2008) im Zentralmassiv in Frankreich demonstrieren deutlich, wie wichtig eine Diversifizierung der Betriebszweige ist, um gegen Trockenheit bzw. Dürre geschützt zu sein. In Frankreich werden seit dem Jahr 2000 konventionelle und ökologische Viehbetriebe hinsichtlich der Futterselbstversorgung verglichen. Die Betriebe bewirtschaften neben ausgedehnten Grünlandflächen auch Ackerland, um selber Futter für die Tiere anzubauen. Als in den Jahren 2003 und 2005 extreme Trockenheit auftrat, sank auf beiden Betriebstypen der Grad der Futterselbstversorgung (Abbildung 13). Während die konventionellen Betriebe sich nach dem ersten Trockenjahr auf die veränderten Bedingungen einstellten und so im Jahr 2005 nur geringe Einbußen hatten, war das bei den ökologisch wirtschaftenden Betrieben nicht der Fall. Die größere Resilienz der konventionellen Betriebe lag darin begründet, dass sie sich zum einen auf eine breitere Auswahl an Futtermitteln stützten (es wurde zusätzlich zum Grünfutter auch Mais angebaut) und zum anderen, dass sie die Zahl ihrer Rinder einfacher reduzieren konnten, da sie im Gegensatz zu den ökologischen Betrieben sowohl Milchvieh als auch Fleischvieh hielten. Die Mastviehhaltung wurde aufgegeben, um Futter einzusparen. Das Beispiel zeigt, dass weniger die Wirtschaftsform (konventionell vs. ökologisch) als vielmehr die Risikostreuung an sich ausschlaggebend für die Resilienz gegenüber den klimatischen Extremen ist.

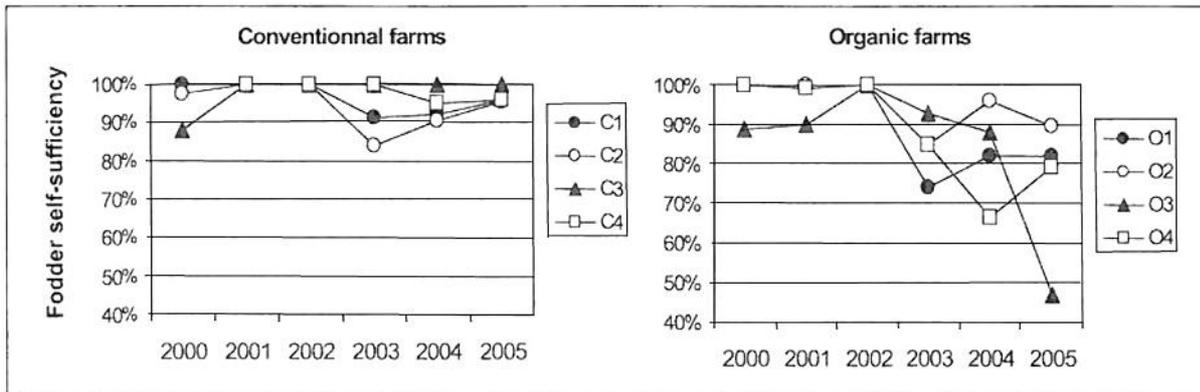


Abbildung 13. Selbstversorgung mit Viehfutter auf konventionellen (C1-C4) und ökologischen (O1-O4) Betrieben im französischen Massif Central mit den Dürrejahren 2003 und 2005.

Quelle: Boisdon und Capitaine (2008)

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass im Hinblick auf die strukturelle Diversifizierung auf der Betriebsebene Agroforstsysteme eine herausragende Rolle spielen. Agroforstsysteme sorgen sowohl bei Starkregenereignissen (geringere Erosionsanfälligkeit) als auch bei Trockenheit bzw. Dürre (dank Beschattung und verbesserter Bodeneigenschaften) für stabilere Erträge als in der baumfreien Landwirtschaft. In ökologischen Betriebssystemen sind die Feldfrüchte auf Grund der höheren Wasserspeicherkapazität besser gegen Dürre bzw. Trockenheit geschützt als in konventionellen Systemen. Hier kann durch schonende Bodenbearbeitung dieser Effekt ebenfalls erreicht werden.

In den Entwicklungsländern ist die ökologische Landwirtschaft im Hinblick auf die Klima- bzw. Witterungsvariabilität vor allem finanziell von Vorteil. Die Hektarerträge sind meist nur in Jahren mit Extremereignissen höher als in konventionellen Anbau, jedoch sind die Produktionskosten deutlich geringer, was die Gewinnspanne erhöht.

Neben den Agroforstsystemen bietet auch die Risikostreuung auf verschiedene Betriebszweige (Tierhaltung zur Mast bzw. für Milch, Futterbau, Feldfrüchte) einen gewissen Schutz gegen klimatische Extremereignisse.

B.11. Zur Situation in Deutschland

Nur zehn der in Tabelle 5 gelisteten 183 Fallstudien stammen aus Forschungsaktivitäten in Form von experimentellen Untersuchungen bzw. aus Betriebsuntersuchungen in Deutschland. Die Untersuchungen wurden vor allem an verschiedenen Graslandökosystemen, kaum unter ackerbaulicher Nutzung durchgeführt. Sie werden im folgenden Kapitel kurz vorgestellt.

Die Untersuchung des Einflusses von genetischer Vielfalt auf die Resilienz gegenüber klimatischen Extremereignissen war Ziel einer experimentellen Studie mit artifiziellen Graslandparzellen von Beierkuhnlein et al. (2011). Die Autoren untersuchten die Resilienz verschiedener Gras-Ökotypen oder Provenienzen (= Individuen derselben Art, die unter sehr unterschiedlichen Bedingungen wachsen bzw. gekeimt sind, keine wirklichen Sorten im züchterischen Sinn) gegenüber Trockenheit bzw. Dürre. Die Versuchspflanzen kamen aus verschiedenen europäischen Regionen von Skandinavien bis zum Mittelmeerraum. Die Gräser wurden einer mehr als zweiwöchigen Trockenheit bzw. Dürre ausgesetzt und anschließend wieder bewässert, bevor ihre oberirdische Biomasse geerntet wurde. Dabei wurde festgestellt, dass die aus südlichen europäischen Ländern stammenden Ökotypen nicht unbedingt am besten an Trockenheit bzw. Dürre (sowie an Hitze) angepasst waren. Die Ertragsschwankungen zwischen den Ökotypen waren teilweise größer als zwischen den untersuchten Arten. Die Autoren empfahlen grundsätzlich, Mischungen verschiedener Arten und Ökotypen zur Vermeidung von Verlusten durch diese Klimabedingungen zu verwenden.

In der gleichen Autorengruppe (Jentsch und Beierkuhnlein 2010) wurde an Heide- und Graslandökosystemen experimentell untersucht, welche Wirkungen verschiedene klimatische Szenarien (Sommererwärmung, Wintererwärmung, erhöhter Winterniederschlag, Sommer-trockenheit, sommerlicher Starkregen und veränderte Frost-Auftau-Zyklen) auf diese Systeme haben. Erste Ergebnisse zeigen, dass die Biomasseproduktion in den Graslandsystemen durch die Extremereignisse nicht verringert wird. Die über die jeweiligen Untersuchungszeiträume erzeugte Biomasse wurde nicht durch die Artenvielfalt (2 bzw. 4 Arten) und nicht durch die funktionelle Diversität der Grasnarbe (Varianten: nur Gräser; Gräser und Kräuter; Gräser, Kräuter und Leguminosen) beeinflusst (Kreyling et al., 2008c). Es wurde lediglich die Menge der durch die Extremereignisse abgestorbenen Biomasse durch eine höhere Diversität vermindert. Die unterirdische Biomasse, die Menge an aktiven Bodenenzymen (wichtig für den Nährstoffkreislauf) und der Streuabbau (gemessen nach Ende aller Manipulationen) wurden ebenfalls nicht durch die Extremereignisse beeinflusst und zeigten eine bemerkenswerte Resilienz, nach Starkregen waren die Cellulose Abbauraten sowie die enzymatische Aktivität im Boden sogar erhöht (Kreyling et al., 2008b).

Vergleichbar mit diesen Ergebnissen fanden auch Kahmen et al. (2005) in Graslandökosystemausschnitten des Thüringer Mittelgebirges, in denen die Wasserversorgung manipuliert wurde, keinen Bezug zwischen oberirdischer Produktivität und Artenzahl (hier 13 - 38) und zwar weder in den Kontroll- noch in den durch Trockenheit bzw. Dürre gestressten Versuchs-

einheiten. Die unterirdische Biomasse nahm dagegen in den Varianten mit geringer Artenzahl ab, während die artenreichen Versuchseinheiten einen Zuwachs an unterirdischer Biomasse nach der Trockenheits- bzw. Dürrebehandlung vorweisen konnten. Die artenreichen Grasnarben hatten mehr Ressourcen für die nächste Vegetationsperiode speichern können als die artenarmen, was unter variablen Klimabedingungen von Vorteil ist. Wie auch in dem in Kapitel B.9.2 vorgestellten Experiment von Pfisterer und Schmid (2002) wurde die Kurzzeit-Resilienz nicht durch Artenvielfalt erhöht.

Eine bisher unveröffentlichte Untersuchung (nicht in Tabelle 5 aufgeführt) wurde an drei Grasland-Standorten im niedersächsischen Tiefland sowie in der Mittelgebirgsregion durchgeführt. Gedüngtes sowie ungedüngtes Grasland mit unterschiedlicher funktioneller Diversität und mit unterschiedlicher Artenvielfalt (3% bzw. 18% dikotyle Arten in der Grasnarbe) wurde im Frühjahr und Sommer jeweils mit einer 5-wöchigen Trockenheits- bzw. Dürre-Behandlung gestresst (Hoffstätter-Müncheberg et al., 2013). Während die Produktivität vor allem durch die Düngung und den Trockenstress bzw. die Dürre beeinflusst wurde, gab es keine konsistenten Effekte der Grasnarbenzusammensetzung. Je nach Jahreszeit (Frühjahrs- bzw. Sommerernte) und Standort wirkte sich die Vielfalt der Grasnarbe unterschiedlich auf die Produktivität unter Trockenheit bzw. bei Dürre aus.

Die Mineralisierung von aufgebrachtem organischem Material unter Trockenstress bzw. Dürre durch Boden-Mikroorganismen wurde von Vogel et al. (2013) im Rahmen eines experimentellen Graslandprojektes (Jena-Experiment) untersucht. Es wurde keine Abhängigkeit der Abbauraten von der Trockenstress- bzw. Dürrebehandlung gefunden, jedoch bauten die Mikroorganismen unter artenreicher Grünlandvegetation fremdes, also nicht aus der Pflanzengesellschaft stammendes, Streu schneller ab als die unter artenarmen Beständen. Dieser Zusammenhang blieb auch bei der experimentellen Trockenheits- bzw. Dürrebehandlung bestehen.

Für Ackerbausysteme konnte für ökologisch bewirtschaftete Betriebe in Hessen am Beispiel Weizen gezeigt werden, dass zumindest die Ertragsvariabilität über verschiedene Standorte hinweg (Witterung, Bodentyp, Nährstoffversorgung verschieden) durch Gemengeanbau zweier Weizensorten verringert werden (Finck et al., 2003). Als stabil wurden Erträge eingestuft, die linear mit dem Ertragspotential eines Standorts (Summe aus Bodeneigenschaften, Nährstoff- und Wasserverfügbarkeit sowie Witterung) korreliert waren. Diese Korrelation war nur bei der Mischung der Sorten linear. Die ertragsstarke Sorte der Mischung verlor als Monokultur auf Standorten mit niedrigem Ertragspotential unverhältnismäßig viel an Ertrag, konnte aber auf den guten Standorten ihren Ertrag überdurchschnittlich steigern, die Korrelation zwischen Ertrag und Ertragspotential war nicht linear. Die zweite in der Mischung angebaute Sorte verhielt sich genau umgekehrt. Obwohl hier kein unmittelbarer Bezug zu klimatischen Ereignissen erkennbar ist, kann daraus geschlossen werden, dass eine Mischung aus zwei in ihren Ansprüchen unterschiedlichen Sorten von starken Änderungen des Ertragspotentials

eines Standorts (z.B. durch extreme Witterungsverhältnisse) weniger betroffen ist als Monokulturen.

Es liegt eine deutsche Studie auf Ackerland vor, die sich mit einer Diversifizierung der angebauten Kulturen und der Etablierung von Zwischenfrüchten befasst. In Brandenburg wurde im Rahmen des Innovationsnetzwerkes „Klimaanpassung Brandenburg Berlin“ (INKA BB) untersucht, mit welchen praktischen Maßnahmen sich der Ökolandbau auf zukünftige Klimaverhältnisse, insbesondere Sommerdürre, einstellen kann (Bloch und Bachinger, 2010, 2013). Der Fokus liegt dabei vor allem auf der Bodenbearbeitung und auf den Aussaatvarianten für die Zwischenfrucht und die Folgekultur. Die bisher ausgewerteten Daten zeigen, dass eine unmittelbar nach der Ernte eingesäte Zwischenfrucht die Erosionsgefahr auf den leichten Sandböden Brandenburgs herabsetzte und dass eine Diversifizierung über den Anbau von Sommer- und Wintergetreide sinnvoll ist, wenn es beispielsweise wie im Jahr 2011 ein überdurchschnittlich nasses Frühjahr gibt. Während die Wintergetreide nur als Tierfutter taugten, konnte der Sommerweizen des Jahres 2011 als Brotgetreide verkauft werden (Bloch und Bachinger, 2012).

Eine weitere deutsche Studie befasste sich mit der indirekten Wirkung der Agrobiodiversität auf die Leistung eines Agrarökosystems. Die abhängige Variable war nicht der Kulturpflanzenertrag selbst, sondern die Bodeneigenschaften, die Voraussetzung für hohe Erträge sind. Diese werden von der Bewirtschaftung und Textur auch von der Vielfalt der Bodenorganismen beeinflusst, wobei diese unter ökologisch bewirtschafteten Böden meist höher ist als bei konventioneller Bewirtschaftung (Fliessbach et al., 2000; Bengtsson et al., 2005). In Schleswig-Holstein wurden Infiltrations- und Erosionsraten bei Starkregen in konventionell bewirtschafteten, in über längere Zeiträume ökologisch bewirtschafteten und in erst kürzlich auf ökologische Bewirtschaftung umgestellten Böden verglichen (Zeiger und Fohrer, 2009). Die geringste Infiltration und größte Erosion wurde in den konventionellen Böden gemessen. Am wenigsten durch den Starkregen verschlämmt und in ihrer Funktion eingeschränkt wurden die seit langem ökologisch bewirtschafteten Böden.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass für Deutschland grundsätzlich nur sehr wenige gesicherte Ergebnisse vorliegen, aus denen sich Schlussfolgerungen zur Rolle von Agrobiodiversität im Hinblick auf die Resilienz gegenüber klimatischen Extremereignissen bzw. gegenüber Elementen des Klimawandels insgesamt ziehen lassen. Dies gilt insbesondere für den ackerbaulichen Bereich. Vor dem Hintergrund des erwarteten Klimawandels gibt es für Deutschland und auch für die einzelnen Bundesländer verschiedene Anpassungsstrategien für die Landwirtschaft der Zukunft, die auch die vermehrt auftretenden Extremereignisse mit einbeziehen (u.a. Steffen und Bergknecht, 2006; Beierkuhnlein und Foken, 2008; BMU, 2011; Regierungskommission Klimaschutz, 2012). Dort wird vorwiegend bis ausschließlich über technische Anpassungsmaßnahmen (Wassermanagement incl. Beregnung; Bodenbearbeitung;

Sortenwahl) berichtet. Beispielsweise nannten Landwirte in Niedersachsen bei einer Befragung zur Anpassung an den Klimawandel die Beregnung mit Abstand am häufigsten (20% der freien Antworten). Bodenschutz und Fruchtfolgegestaltung wurden an zweiter Stelle genannt. Maßnahmen, die sich auf eine Veränderung von Elementen der Agrobiodiversität beziehen, wurden nicht benannt (Rühling, 2014).

12. Zum Stellenwert der Agrobiodiversität im Rahmen von Anpassungsstrategien an den Klimawandel

Grundsätzliches

Eine stärkere Berücksichtigung von Elementen der Agrobiodiversität allein ist nicht die einzige Möglichkeit der Anpassung an den Klimawandel im landwirtschaftlichen Sektor. Wie schon erwähnt, wurden im vorliegenden Fall trotz der auf Agrobiodiversität fokussierenden Suchanfrage auch Studien (ca. 20% aller Studien) ermittelt, die sich hauptsächlich mit der technischen Anpassung oder Anpassung der Bewirtschaftung an den Klimawandel befassen. Im Folgenden wird diskutiert, welchen Stellenwert Elemente der Agrobiodiversität im Rahmen aller bisherigen oder geplanten Anpassungsmaßnahmen haben.

Für die tropischen Regionen (Mittel- und Südamerika, Afrika, Asien und die Pazifikstaaten) haben Mijatovic et al. (2013) dazu 172 Fallstudien zur Anpassung an den Klimawandel untersucht und gruppiert. Dabei wurden für die verschiedenen Maßnahmen, welche die Resilienz von Agrarökosystemen stärken, verschiedene räumliche Ebenen definiert. Jede Ebene ist dabei nicht isoliert zu betrachten, sondern steht in Wechselwirkung mit der bzw. den angrenzenden Ebenen (s. Abbildung 14). Wird etwa ein Betrieb nachhaltig bewirtschaftet und fördert die assoziierte Biodiversität in der ihn umgebenden Landschaft, so resultieren daraus für ihn Ökosystemdienstleistungen, die beispielsweise vor Überflutung oder Trockenheit bzw. Dürre schützen (Interaktion Landschaft-Betrieb). Die Anpassung bzw. Nutzung von Agrobiodiversität auf einem Betrieb wiederum funktioniert nur, wenn die dafür nötigen genetischen Ressourcen bewahrt werden und für jedermann zugänglich sind.

Von den o.g. Autoren wurden insgesamt fünf mögliche Maßnahmenpakete ermittelt, die sich auf verschiedene Ebenen verteilen (s. Abbildung 14). Auf Landschaftsebene wird zum einen in Schutz und Wiederherstellung des gesamten Ökosystems investiert (Aufforstung, Restauration von Wassereinzugsgebieten, Habitatschutz) und zum anderen das gesamte Boden- und Wassermanagement verbessert. Dazu gehören Maßnahmen zum Erosionsschutz (Baumreihen, Terrassen, ...) sowie Techniken zur Wasserspeicherung und Bewässerung (Kanäle, Brunnen, Zisternen). Auf der betrieblichen Ebene spielen zwei große Maßnahmenpakete eine Rolle. Zum einen sind dies die hier behandelte Nutzung von Elementen der Agrobiodiversität (Gemengeanbau, verschiedene Kulturen, ausdauernde Kulturen wie Obstbäume, Viehhaltung und Agroforst) zum anderen alle technischen Innovationen und neue Bewirtschaftungspraktiken. Hierzu zählen die Änderung bzw. Streuung der Pflanztermine, Düngung und Bewässerung sowie vor allem die konservierende Bodenbearbeitung in Kombination mit Mulchen, um die Wasserspeicherkapazität der Böden zu erhöhen und die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten. Als letztes Maßnahmenpaket soll die genetische Vielfalt der genutzten Sorten bzw. Rassen erhalten bleiben und neu gezüchtete Stress tolerante Sorten weiter verbreitet werden.

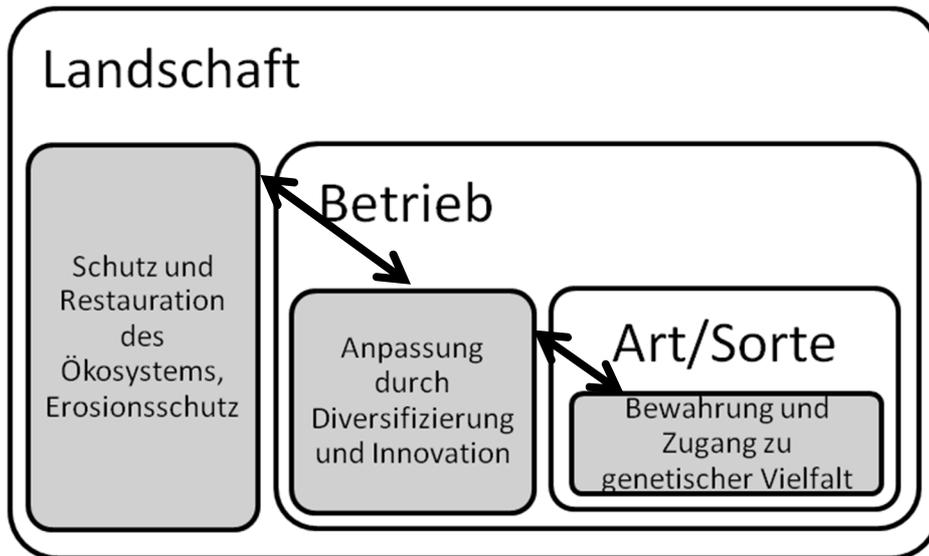


Abbildung 14. Resilienz stärkende Maßnahmen auf verschiedenen räumlichen Ebenen.

↔ Positive Wechselwirkung zwischen Ebenen.

Quelle: Eigene Darstellung nach Mijatovic et al. (2013).

In den untersuchten tropischen Regionen haben diese Maßnahmenpakete die gleiche Wertigkeit. Sie wurden jeweils in etwa einem Fünftel der in Mijatovich et al. (2013) betrachteten 172 Fallstudien als Anpassung vorgeschlagen oder umgesetzt. Die stärkere Einbeziehung von Agrobiodiversität auf dem landwirtschaftlichen Betrieb steht gleichberechtigt neben technischen und sonstigen Management- und Restaurationsmaßnahmen. Zählt man die Restauration von Ökosystemen ebenfalls als Diversifizierung, da in einem intakten Ökosystem mehr Arten vorkommen als in einem degradierten, so wird in den Tropen Diversifizierung fast in der Hälfte aller Fälle als Anpassungsstrategie gewählt.

Auch der Bericht des High Level Panel of Expertes on Food Security and Nutrition (HLPE, 2012) propagiert für die besonders von Nahrungsmittelknappheit bedrohten Gebiete der Erde Anpassungsmaßnahmen wie in der o.g. Studie von Mijatovic et al. (2013), gibt aber zusätzlich noch weitere Hinweise zur Umsetzung dieser Maßnahmen und bezieht die gesellschaftliche Ebene mit ein. Letzteres beinhaltet die Weitergabe von neuen Techniken, Zugang zu Saatgut, relevanten Wetterinformationen und finanziellen Mitteln. Vor allem großräumige Maßnahmen wie die Restauration von Wassereinzugsgebieten oder Küstenstreifen sollten durch gesetzliche Regelungen unterstützt werden.

Bei einer Betrachtung des Ostasiatischen Raumes (ohne Russland), der Indien und China sowie die Industrienation Japan mit einschließt (Iglesias et al., 1996), tauchte das Thema Nutzung der Agrobiodiversität als Anpassungsstrategie an den Klimawandel hingegen nicht explizit auf. Nach Ansicht der Autoren werden in Zukunft am wahrscheinlichsten aktuelle

Kulturpflanzenarten durch stresstolerantere Sorten ersetzt, Pflanztermine geändert und die Bewässerung sowie Düngung angepasst.

Für den europäischen Raum trugen Olesen et al. (2011) Expertenmeinungen zur Auswirkung des Klimawandels auf die Landwirtschaft zusammen und erfassten per Fragebogen wichtige geplante und schon umgesetzte Anpassungsmaßnahmen. Diese wurden unterschiedlichen Naturräumen bzw. Agrarregionen Europas zugeordnet.

Beobachtet wurde nach dieser Untersuchung bisher in allen Regionen Europas z.B. eine zeitliche Anpassung der Aussattermine, eine stetige Ausdehnung des Maisanbaus nach Norden, sowie im Osten eine verstärkte Aufnahme von Sonnenblumen und Soja in die Fruchtfolge und im Süden eine reduzierte Nutzung Trockenstress anfälliger Kulturen. Eine komplette Neuausrichtung des angebauten Arten-Portfolios erfolgte nicht, d.h. es wurden kaum neue Arten hinzugenommen, sondern nur Anteile genutzter Arten verändert oder einzelne Sorten durch besser angepasste ersetzt. Für fast alle Regionen stellten die Autoren eine Verbesserung der Wassernutzungseffizienz der Kulturen fest, kombiniert mit Maßnahmen zur Verringerung der Bodenerosion. Zusätzlich wurden die Bewässerungsmaßnahmen verstärkt und in fast allen Regionen Europas wurden Züchtungsanstrengungen in Richtung Resistenzen gegen Extremereignisse fokussiert. Eine explizite Nennung von Agrobiodiversität als Anpassungsstrategie erfolgte nicht.

Die für die Zukunft unter verändertem Klima wichtigen Anpassungsmaßnahmen haben die Autoren ebenfalls untersucht. Sie richten sich nach der Kulturart und dem Naturraum. Auch hier wird eine stärkere Diversifizierung biologischer Systeme nicht explizit erwähnt. Für ausdauernde Kulturen wie Grünland oder Weinbau werden für die Zukunft nur wenige Anpassungsstrategien als sehr wichtig angesehen. Als generelle Maßnahmen werden hier erneut die Bearbeitungstermine und vor allem im Getreideanbau die Einführung der konservierenden Bodenbearbeitung genannt.

Vor allem in den nördlichen Regionen wird die Düngung auf Grund der längeren Vegetationszeit erhöht werden müssen. Europaweit werden neue, stresstolerante Sorten nachgefragt werden. Vor allem im Süd-Osten sollten empfindlich Hohertragskulturen wie Weizen und Mais durch Hitze und Dürre tolerantere wie Sorghum ersetzt oder Kulturflächen in Grünland umgewandelt werden.

Auch Wreford und Adger (2010) führen in ihrer Untersuchung, die sich mit Anpassungsmaßnahmen an Hitzewellen und Trockenheit bzw. Dürre speziell in England befasst, als erfolgreichste Anpassung flexible Aussattermine bei Getreide und bei Kartoffeln zusätzliche Bewässerung an.

Im Gegensatz zu den tropischen Ländern mit ihrer kleinbäuerlichen Landwirtschaft wird in Ländern der gemäßigten Zone mit genügend externen Ressourcen in Form von Kapital, Wasser und Agrochemikalien die Diversifizierung biologischer Systeme in Form einer Verstärkung von Elementen der Agrobiodiversität nicht explizit als „nützliche“ Anpassungsstrategie ange-

sehen. Nach Frison et al. (2011) werden entweder Sorten oder die Anbaubedingungen gezielt verändert, so dass optimale Erträge erzielt werden, und bei unvorhergesehenen Extremereignissen sichern Versicherungen größere finanzielle Schäden ab.

Eine besondere Rolle spielt in diesen Überlegungen stets der Boden als Wasser- und Nährstoffspeicher. Je mehr Wasser ein Boden speichern kann, desto besser sind die auf ihm wachsenden Kulturen gegen Trockenheit und Dürre geschützt. Textur und Porenverteilung im Boden werden durch eine artenreiche Bodenfauna positiv beeinflusst, indem dadurch z.B. die Wasserspeicherfähigkeit eines Bodens heraufgesetzt wird. Die hauptsächlich durch Regenwürmer bedingte krümelige Struktur mit ihren stabilen Bodenaggregaten ist zudem ein guter Erosionsschutz bei Starkregen. Alle Maßnahmen, die in irgendeiner Form die organische Substanz im Boden positiv beeinflussen oder dessen Struktur verbessern, dienen der Absicherung gegen extreme Ereignisse wie Starkregen oder Trockenheit und Dürre. Zum Beispiel sorgen Zwischenfrüchte in der Fruchtfolge und Agroforstsysteme für Wind- bzw. Erosionsschutz und erhöhen so die Bodenfeuchte.

Grundsätzlich am häufigsten wird die Wichtigkeit von Agrobiodiversität auf Arten- und Sortenebene als Ressource für die Züchtung von neuen, angepassten Sorten genannt (u.a. Kotschi, 2006; Dulloo et al., 2010; FAO, 2010; Borromeo, 2012). Die Erhaltung und nachhaltige Nutzung dieser genetischen Ressourcen ist eine Herausforderung, da meist große Mengen einer jeweils neusten Sorte von den Saatgutfirmen verkauft werden müssen und sich der Trend zur Vereinheitlichung der Zusammensetzung der Lebensmittelrationen weltweit fortsetzt (Pautasso, 2012; Khoury et al., 2014).

Es stellt sich die Frage, warum in Europa oder in Ländern mit vergleichbarem gesamtgesellschaftlichem Entwicklungsstand die Diversifizierung biologischer Systeme in der Landwirtschaft kaum thematisiert wird. Hauptgrund hierfür ist, dass sich die Art der Diversifizierung als finanziell lohnend erweisen muss. Wenn die Kosten für neue Maschinen, Saatgut und neues Fachwissen (z.B. andere Vermarktungsstrategie) höher sind als die zu erwartenden Gewinne, wird trotz einer möglichen Risikominimierung nicht diversifiziert. So ging z.B. in Kanada der Trend zur Spezialisierung auf die ertragsreichsten Weizen-Kulturen darauf zurück, dass der Preis der Hauptfrucht Weizen eng an den der möglichen alternativen Anbaufrüchten gekoppelt war. Eine Diversifizierung verringerte zwar das Mengenrisiko, was allerdings durch ein hohes Preisrisiko und höhere Produktionskosten (mehr verschiedene Maschinen, Dünger etc.) überdeckt wurde (Bradshaw et al., 2004, vgl. Kapitel A7).

Für die französische Landwirtschaft wurde in einer Studie untersucht, welche die größten Hinderungsgründe für die „Agrobiodiversifizierung“ sind und welche Anreize geschaffen werden könnten, um diese aufzuheben (Meynard et al., 2013). Als dominanter Einflussfaktor, der mehr Agrobiodiversität verhindert, erwies sich die Spezialisierung der gesamten landwirtschaftlichen Produktionskette (über Saatgut, Dünger, Pestizide bis zu der verarbeitenden In-

dustrie) auf wenige Hauptkulturen, die dann auch den größten Teil der landwirtschaftlichen Produktion ausmachen.

Würde ein französischer Landwirt seine Fruchtfolge mit weniger populären Arten wie Kichererbse, Lupine, Linsen, Soja oder Sonnenblume diversifizieren wollen, so steht ihm kaum genetisch verbessertes oder gar an zukünftiges Klima angepasstes Saatgut zur Verfügung. Auch für die Entwicklung von Pestiziden für diese Kulturen wird kaum Geld investiert, weil sich der Aufwand aufgrund der geringen Anbaufläche nicht lohnt. Obwohl eine stärkere Diversifizierung den Schädlingsdruck verringern könnte, scheuen sich die Landwirte oft, eine neue Kulturart anzubauen, bei der sie nicht mit den „altbewährten“ Mitteln arbeiten können, bzw. nicht sicher sein können, dass sie in den Kulturen den gewünschten Effekt bringen. Das Wissen um biologische Schädlingsbekämpfung ist zudem nicht sehr weit verbreitet. Zudem fehlt oft das Knowhow zu den veränderten Anbautechniken und benötigten Geräten und eine Kooperation bei der Vermarktung gestaltet sich ungleich schwieriger als bei den weit verbreiteten Kulturen.

Zur Situation in Deutschland

Die vorliegende Literaturlauswertung zeigt, dass auch in Deutschland bisher kaum gezielte Aktivitäten in Forschung und Praxis existieren, die eine stärkere Beachtung von Agrobiodiversität als Anpassungsstrategie an klimatische Veränderungen thematisieren. In sechs der zehn ermittelten deutschen Studien wurden ökologische Grundlagenprozesse und Ökosystemfunktionen im Bereich Grünland untersucht. Drei Fallstudien sind im Bereich der ökologischen Landwirtschaft angesiedelt und behandeln Schädlingsminimierung im Getreide im ökologischen Landbau (Finck et al. 2003), Zwischenfruchtanbau zur Bodenverbesserung (Bloch und Bachinger, 2012, 2013) und Vergleich der Stabilität von Bodenaggregaten bei Starkregen in konventionellen und ökologisch bewirtschafteten Böden (Zeiger und Fohrer 2009).

Dass im ökologischen Landbau Wert auf eine hohe Agrobiodiversität gelegt wird, ergibt sich u.a. durch die Richtlinien des ökologischen Landbaus und damit verbundenen strukturreichen Agrarökosystemen. Aufgrund der Anbauvorgaben sind ökologisch angebaute Kulturpflanzen allerdings meist variableren Umwelteinflüssen ausgesetzt (Schädlingsdruck, Wasserhaushalt, Nährstoffverfügbarkeit) als im konventionellen Landbau (Desclaux et al., 2012; Jaradat, 2012). Zusätzlich ist es in der ökologischen Landwirtschaft nicht möglich, ähnlich schnell und flexibel wie im konventionellen Landbau durch entsprechenden Betriebsmitteleinsatz (Agrochemikalien) auf biotische und abiotische Stressfaktoren zu reagieren (Jaradat, 2012). Beide Faktoren sind im Hinblick auf den Klimawandel als Nachteil anzusehen.

In Zukunft könnte sich die Nährstoffversorgung bei ökologischer Bewirtschaftung bedingt durch die Häufung von trockenen Witterungsbedingungen eher noch verschlechtern, da das zur Düngung aufgebrauchte organische Material bei Trockenheit langsamer zersetzt wird. Darüber hinaus wird kritisiert, dass es zu wenige an den ökologischen Landbau angepasste Sorten gibt (u.a. Hampl, 2002; Wolfe et al., 2008a; Goldringer et al., 2010; Navazio et al., 2012).

Die geplante Verschärfung der Zulassungsverordnung für neue Sorten in der EU, die kleinere Anbieter vom Markt drängt und die internationalen Saatgutfirmen bevorzugt, wie in dem im Sommer 2013 vorgelegten (und zunächst abgelehnten) Entwurf der EU-Saatgutverordnung vorgeschlagen wurde, hätte die Vielfalt der für den ökologischen Landbau geeigneten Sorten noch weiter eingeschränkt.

13. Zusammenfassung und Ausblick

Einführung

Mit dem Erscheinen des aktuellen IPCC Berichts wurde noch einmal verdeutlicht, dass der vom Menschen verursachte Klimawandel nicht mehr aufzuhalten ist. Wegen seiner unmittelbaren Abhängigkeit von Witterung und Klima gehört der Agrarsektor prinzipiell zu den sensiblen Bereichen, die in den nächsten Jahrzehnten vom Klimawandel betroffen sein werden. Vor allem die zunehmende Variabilität des Klimas und die Zunahme von extremen Wetterereignissen wie Trockenheit bzw. Dürre, Hitze oder Starkregen können die landwirtschaftliche Produktion empfindlich treffen.

Um den zum Teil negativen Folgen des Klimawandels zu begegnen, wird im Agrarsektor verstärkt nach Anpassungsmaßnahmen gesucht. Dazu standen bisher eher technische Anpassungsmaßnahmen, angepasste Sorten oder neue Bewirtschaftungsformen im Vordergrund der Überlegungen. Eine verstärkte Nutzung von Elementen der Agrobiodiversität, d.h. der Vielfalt aller landwirtschaftlich genutzten und nutzbaren Gene, Arten und Ökosysteme in ihrer Gesamtheit zur Anpassung gerade im Hinblick auf klimatische Extremereignisse wurde in Wissenschaft und Praxis dagegen kaum thematisiert.

Daher ist das Ziel der vorliegenden Literaturstudie eine Analyse vorhandener Informationen zu expliziten Zusammenhängen zwischen Elementen der Agrobiodiversität in landwirtschaftlichen Produktionssystemen und der Reaktion bzw. der Stabilität (Resistenz und Resilienz) dieser Systeme gegenüber klimatischer Variabilität bzw. klimatischen Extremereignissen. Berücksichtigt wurden weltweite und in Deutschland verfügbare Studien.

Inhalt und Aufbau

Aufgrund der verfügbaren Datenlage beziehen sich die Literaturlauswertungen zu diesem Thema auf die globale Situation und schließen den deutschen Raum nur vereinzelt mit ein. Schwerpunkt ist der Bereich der ackerbaulichen Pflanzenproduktion (inkl. Beispiele zu Sonderkulturen und Gartenbau), während Fragen im Bereich Gras- bzw. Grünland nur exemplarisch berücksichtigt werden und agrobiodiversitätsrelevante Themen zur Nutztierhaltung nicht Gegenstand der Studie sind. Andere Anpassungsmaßnahmen, die dem landwirtschaftlichen Sektor zur Verfügung stehen (z.B. Bewässerung, Ersetzen von Sorten, Anpassung der Pflanztermine, geänderte Bodenbearbeitung) werden nur thematisiert, sofern sie in einem Zusammenhang mit Fragen der Agrobiodiversität stehen.

Im ersten Teil der Studie werden zunächst die wichtigsten Elemente des Klimawandels weltweit und in Deutschland sowie die grundlegenden Wirkungen der sich ändernden Klimaelemente auf die Pflanzenproduktion beschrieben. Danach folgt eine kurze Erläuterung bzw. Definition der im Bericht behandelten Themen Biodiversität, Ökosystemstabilität, -resistenz und -resilienz sowie eine Betrachtung des Risikobegriffs. Der zweite Teil stellt die Ergebnisse

der Literaturlauswertung vor. Dazu werden zunächst drei besonders aussagekräftige Fallbeispiele vorgestellt und anschließend werden zusammenfassende Auswertungen der ermittelten Untersuchungen vorgenommen, in denen Agrobiodiversität im Kontext zu Fragen des Klimawandels auf der Ebene von Genen (=Sorten), Arten und auf der Ebene von Betrieben betrachtet werden. Abschließend werden die Ergebnisse vergleichend bewertet. Auf die deutsche Situation wird jeweils gesondert eingegangen.

Ergebnisse

Es wurden insgesamt 183 verwertbare Literaturstudien ermittelt, in denen der formulierte Zusammenhang zwischen Elementen der Agrobiodiversität und dem Klimawandel analysiert wurde. Die am häufigsten untersuchten Extremereignisse sind Trockenheit bzw. Dürre und damit im Zusammenhang stehend die Niederschlagsvariabilität. Starkregen, Überschwemmung und Hitze bzw. hohe Temperaturen allgemein stehen kaum im Fokus.

Ca. 60% der ermittelten Studien sind nicht direkt für die Landwirtschaft in Deutschland relevant, da kleinbäuerliche Systeme der tropischen und subtropischen Länder untersucht wurden. Wesentliche Unterschiede dieser Systeme im Vergleich zu mitteleuropäischen Verhältnissen sind — neben dem Klima — der geringe Mechanisierungsgrad, geringe oder lückenhafte Verwendung von Agrochemikalien (Dünger; Pestizide) sowie die geringe Größe der Betriebe. Im größten Teil dieser Studien sind darüber hinaus lediglich Umfrageergebnisse dargestellt, aus denen sich nur indirekt ein positiver oder negativer Effekt der Agrobiodiversität auf die Resilienz gegenüber klimatischen bzw. witterungsbedingten Extremereignissen ableiten lässt. Bei den übrigen Studien handelt es sich um Experimente, Betriebsvergleiche und Beobachtungen auf Betriebsebene. Die wichtigsten Aussagen aus diesen Studien sind nachfolgend aufgelistet.

- Vor allem in low-input Systemen der Entwicklungsländer der Tropen und Subtropen hilft der Anbau verschiedener Sorten der jeweiligen Kulturarten, extreme klimatische Ereignisse abzumildern. Aus der sehr geringen Zahl der Studien, die sich in der eher industrialisierten Landwirtschaft der gemäßigten Zone mit Sortenvielfalt und Extremereignissen befassen, gehen keine einheitlichen Ergebnisse hervor. Es wurden sowohl positive als auch neutrale Beziehungen zwischen der Resilienz gegenüber Klimaereignissen und genetischer Diversität gefunden.
- Die Diversifizierung auf Artebene wurde im Zusammenhang mit klimatischen Extremereignissen am häufigsten untersucht. Während die meisten Studien zu kleinbäuerlichen Betrieben in den Tropen und Subtropen eine positive Wirkung dieser Art der Diversifizierung zur Minimierung von klimatischen Risiken fanden oder zumindest die Nutzung dieser Diversifizierung als wichtige Anpassungsstrategie kennzeichnen, wurden in Experimenten zur Fruchtfolgerweiterung, die auf hoch technisierten Betrieben der gemäßigten Klimazone stattfanden, für simulierte zukünftige Klimaszenarien bzw. unter der Einwirkung ext-

remer Witterungsbedingungen weder positive noch negative Wirkungen der Agrobiodiversität gefunden.

- Auf Betriebsebene ist in der Regel nicht klar zwischen der Wirkung der strukturellen Vielfalt und den zum betreffenden Betriebssystem gehörenden Bewirtschaftungspraktiken zu trennen. In den Tropen und Subtropen sorgen z.B. vielfältige Gehölzstrukturen auf den Betrieben meist in Kombination mit ökologischer oder konservierender Bewirtschaftung aufgrund einer gut ausgebildeten Bodenstruktur für eine höhere Resilienz gegenüber Starkregen und Überschwemmung. Auch in experimentellen Untersuchungen in der industrialisierten Landwirtschaft sorgen nicht eine diverse Betriebsstruktur direkt, sondern die vorwiegend durch Bewirtschaftungsvorgaben bestimmten Bodeneigenschaften für eine höhere oder geringere Resilienz unter Trockenheit bzw. bei Dürre oder Starkregen. Ob eine bodenkonservierende Bearbeitung allein die Bodeneigenschaften ebenso positiv beeinflusst wie die ökologische Bewirtschaftung mit diversen Fruchtfolgen, Mulchen und Zwischenfruchtanbau ist aus den Studien nicht herauszulesen.

Für Deutschland gibt es kaum belastbare Daten zum hier untersuchten Thema, was insbesondere für den Bereich Ackerbau gilt. Eine hohe Agrobiodiversität ist bisher nur für den ökologischen Landbau relevant und nur aus diesem Bereich wurden einige wenige landwirtschaftlich relevante Studien ermittelt, die einen Zusammenhang zwischen klimatischen Ereignissen und Elementen der Agrobiodiversität herstellen. Einige deutsche Studien stammen aus der Grundlagenforschung im Bereich der Grünlandökologie. Für beide Landnutzungssysteme ist aus der begrenzten Datenlage kein konsistenter Zusammenhang zwischen Agrobiodiversität und der Resilienz der untersuchten Systeme gegenüber den klimatischen Ereignissen erkennbar.

Ein Ansatz zur Nutzung von mehr Agrobiodiversität als Anpassung an den kommenden Klimawandel bieten u.U. die modernen Agroforstsysteme. Die zur Energieholz- oder Wertholzgewinnung angepflanzten Baumarten erhöhen bekanntermaßen die räumliche Strukturvielfalt auf landwirtschaftlichen Betrieben und sorgen z.B. für Erosions- und Verdunstungsschutz, Nährstoffnachlieferung oder Erosionsschutz. Im Zusammenhang mit einer möglichen Schutz- oder Minderungsfunktion bei extremen Witterungsereignissen bzw. klimatischen Extremen wurden diese Systeme in Deutschland bisher nicht gezielt untersucht. Erste Forschungsansätze in dieser Richtung kommen aus Frankreich, wo unter anderem die Wassernutzungseffizienz in Agroforstsystemen sowie deren Verdunstungsraten bei Trockenheit bzw. Dürre untersucht werden.

Literatur

- Abraham, F., Bamidele, F.S., Adebola, A.J. und Kobe, I.H. 2012.** Climate change mitigation activities and determinants in the rural Guinea Savannah of Nigeria. *Sustainable Agriculture Research* 1: 170-177.
- Abu, S.T. und Malgwi, W.B. 2012.** Effects of irrigation regime and frequency on soil physical quality, water use efficiency, water productivity and economic returns of paddy rice. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science* 7: 86-99.
- Adejuwon, J. 2005.** Assessing the suitability of the epic crop model for use in the study of impacts of climate variability and climate change in West Africa. *Singapore Journal of Tropical Geography* 26: 44-60.
- Adeola, R.G., Kuponiyi, F.A. und Adebayo, O.O. 2012.** Climate change and cropping techniques among farmers in Oyo State: implications for extension systems. *Agricultural Journal* 7: 339-342.
- Adimo, A.O., Njoroge, J.B., Claessens, L. und Wamocho, L.S. 2012.** Land use and climate change adaptation strategies in Kenya. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 17: 153-171.
- Adjei-Nsiah, S., Issaka, R.N., Fening, J.O., Mapfumo, P., Anchirina, V. und Giller, K.E. 2010.** Farmers' perceptions of climate change and variability and existing opportunities for adaptation in Wenchi area of Ghana. *International Journal of Climate Change: Impacts and Responses* 2: 49-60.
- Aguilar-Støen, M., Moe, S. und Camargo-Ricalde, S. 2009.** Home Gardens Sustain Crop Diversity and Improve Farm Resilience in Candelaria Loxicha, Oaxaca, Mexico. *Human Ecology* 37: 55-77.
- Aguilera, E., Lassaletta, L., Gattinger, A. und Gimeno, B.S. 2013.** Managing soil carbon for climate change mitigation and adaptation in Mediterranean cropping systems: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 168: 25-36.
- Ainsworth, E.A. und Long, S.P. 2005.** What have we learned from 15 years of free-air CO₂ enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy. *New Phytologist* 165: 351-371.
- Ainsworth, E.A. und McGrath, J.M. 2010.** Direct effects of rising atmospheric carbon dioxide and ozone on crop yields. In: D.B. Lobell und M.B. Burke (Hrsg.): *Climate Change and Food Security: Adapting Agriculture to a Warmer World*. Advances in Global change research 37, S. 109-130. Springer, Dordrecht.
- Ajao, A.O., Ogunniyi, L.T. und Acquah, H.D.G. 2011.** Farmers' strategies for adapting to climate change in ogbomoso agricultural zone of Oyo state. *Agris On-line Papers in Economics and Informatics* 3: 3-13.
- Aksouh, N.M., Jacobs, B.C., Stoddard, F.L. und Mailer, R.J. 2001.** Response of canola to different heat stresses. *Australian Journal of Agricultural Research* 52: 817-824.
- Altieri, M.A. 1989.** Agroecology: A new research and development paradigm for world agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 27: 37-46.
- Altieri, M.A. 1980.** Diversification of corn agroecosystems as a means of regulating fall armyworm populations. *Florida Entomologist* 63: 450-456.
- Altieri, M.A. 1999.** The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 74: 19-31.
- Altieri, M.A., Glaser, D.L. und Schmidt, L.L. 1990.** Diversification of agroecosystems for insect pest regulation: experiments with collards. *Ecological Studies* 78: 70-82.
- Altieri, M.A. und Nicholls, C.I. 2004.** Biodiversity and pest management in agroecosystems, 2nd edition. Food Products Press.

- Altieri, M.A. und Trujillo, J. 1987.** The agroecology of corn production in Tlaxcala, Mexico. *Human Ecology* 15: 189-220.
- Altieri, M.A. und Whitcomb, W.H. 1980.** Weed manipulation for insect pest management in corn. *Environmental Management* 4: 483-490.
- Anik, S.I. und Khan, M.A.S.A. 2012.** Climate change adaptation through local knowledge in the north eastern region of Bangladesh. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 17: 879-896.
- Antwi-Agyei, P., Dougill, A.J., Fraser, E.D.G. und Stringer, L.C. 2013.** Characterising the nature of household vulnerability to climate variability: Empirical evidence from two regions of Ghana. *Environment, Development and Sustainability* 15: 903-926.
- Anuchiracheeva, S. und Pinkaew, T. 2010.** Jasmine rice in the weeping plain: adapting rice farming to climate change in Northeast Thailand. *Oxfam Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation Resources*, Oxfam, Großbritannien.
- Asaah, E.K., Tchoundjeu, Z., Leakey, R.R.B., Takou sting, B., Njong, J. und Edang, I. 2011.** Trees, agroforestry and multifunctional agriculture in Cameroon. *International Journal of Agricultural Sustainability* 9: 110-119.
- Asfaw, A., Almekinders, C.J.M., Struik, P.C. und Blair, M.W. 2013.** Farmers' common bean variety and seed management in the face of drought and climate instability in southern Ethiopia. *Scientific Research and Essays* 8: 1022-1037.
- Ashmore, M.R. 2005.** Assessing the future global impacts of ozone on vegetation. *Plant, Cell & Environment* 28: 949-964.
- Aune, J.B. 2012.** Conventional, Organic and Conservation Agriculture: Production and Environmental Impact. In: E. Lichtfouse (Hrsg.): *Agroecology and Strategies for Climate Change*, S. 149-165.
- Ayinde, O.E., Muchie, M., Maharajh, R., Ojo, V. und Ayinde, K. 2012.** Multi-risk model and management strategies of climate change in Nigeria agricultural production and innovation systems. *International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering (IPCBE)* 47: 87-91.
- Bachmann, L., Cruzada, E. und Wright, S. 2009.** Food Security and Farmer Empowerment. A study of the impacts of farmer-led sustainable agriculture in the Philippines, Masipag und Misereor, Los Baños, Philippines.
- Balemie, K. 2011.** Management and uses of farmers' varieties in Southwest Ethiopia: A Climate change perspective. *Indian Journal of Traditional Knowledge* 10: 133-145.
- Balvanera, P., Pfisterer, A.B., Buchmann, N., He, J.-S., Nakashizuka, T., Raffaelli, D. und Schmid, B. 2006.** Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecology Letters* 9: 1146-1156.
- Bantilan, M.C.S. und Anupama, K.V. 2002.** Vulnerability and adaptation in dryland agriculture in India's SAT: experiences from ICRIAT's village-level studies. Working Paper Series - International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.
- Barah, B.C. und Binswanger, H.P. 1982.** Components of fluctuation in Indian agriculture and impact of infrastructure on risk reduction. In: R.E. Kalman und J. Martinez (Hrsg.): *Proceedings of the IFIP TC 5 Working Conference, Havana, Cuba, 26-30 October 1981. Computer applications in food production and agricultural engineering.*, S. 135-153
- Bardsley, D.K. und Pech, P. 2012.** Defining Spaces of Resilience within the Neoliberal Paradigm: Could French Land Use Classifications Guide Support for Risk Management Within an Australian Regional Context? *Human Ecology* 40: 129-143.
- Barkley, A., Peterson, H.H. und Shroyer, J. 2010.** Wheat variety selection to maximize returns and minimize risk: an application of portfolio theory. *Journal of Agricultural and Applied Economics* 42: 39-55.
- Barnabás, B., Jäger, K. und Fehér, A. 2008.** The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell & Environment* 31: 11-38.

- Batts, G.R., Morison, J.I.L., Ellis, R.H., Hadley, P. und Wheeler, T.R. 1997.** Effects of CO₂ and temperature on growth and yield of crops of winter wheat over four seasons. *European Journal of Agronomy* 7: 43-52.
- Bavec, M., Narodoslawsky, M., Bavec, F. und Turinek, M. 2012.** Ecological impact of wheat and spelt production under industrial and alternative farming systems. *Renewable Agriculture and Food Systems* 27: 242-250.
- Becker, P. 2013.** Klimawandel in Deutschland: Stand und neue Erkenntnisse. In: O. Christen, G. Flachowsky, U. Latacz-Lohmann, P. Leinweber, K.H. Mühling, R. Waldhardt, A. Werner, H.-J. Weigel und M. Packeiser (Hrsg.): Klimawandel und Extremwetterereignisse: ein Problem für die Landwirtschaft?, S. 10-19. Dachverband für Agrarforschung (DAF), Frankfurt.
- Becker, P., Jacob, D., Deutschländer, T., Imbery, F., Namyslo, J., Müller-Westermeier, G. und Roos, M. 2012.** Klimawandel in Deutschland. In: V. Mosbrugger, G. Brasseur, M. Schaller und B. Stribrny (Hrsg.): Klimawandel und Biodiversität. Folgen für Deutschland, S. 23-37. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- Begon, M., Townsend, C.R. und Harper, J.L. 2006.** Ecology. From individuals to ecosystems. Blackwell, Oxford, UK.
- Beierkuhnlein, C. und Foken, T. 2008.** Klimawandel in Bayern. Auswirkungen und Anpassungsmöglichkeiten, Bayreuther Zentrum für Ökologie und Umweltforschung (BayCEER), Bayreuth.
- Beierkuhnlein, C., Thiel, D., Jentsch, A., Willner, E. und Kreyling, J. 2011.** Ecotypes of European grass species respond differently to warming and extreme drought. *Journal of Ecology* 99: 703-713.
- Bello, M., Salau, E.S., Galadima, O.E. und Ali, I. 2013.** Knowledge, perception and adaptation strategies to climate change among farmers of central state Nigeria. *Sustainable Agriculture Research* 2: 107-117.
- Bellon, M.R., Hodson, D. und Hellin, J. 2011.** Assessing the vulnerability of traditional maize seed systems in Mexico to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108: 13432-13437.
- Bengtsson, J., Ahnström, J. und Weibull, A.-C. 2005.** The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology* 42: 261-269.
- Bérard, A., Bouchet, T., Sévenier, G., Pablo, A.L. und Gros, R. 2011.** Resilience of soil microbial communities impacted by severe drought and high temperature in the context of Mediterranean heat waves. *European Journal of Soil Biology* 47: 333-342.
- Bhatnagar, V.S. 1987.** Conservation and encouragement of natural enemies of insect pests in dryland subsistence farming: problems, progress and prospects in the Sahelian zone. *Insect Science and its Application* 8: 791-795
- Biggs, E.M., Tompkins, E.L., Allen, J., Moon, C. und Allen, R. 2013.** Agricultural adaptation to climate change: Observations from the Mid-Hills of Nepal. *Climate and Development* 5: 165-173.
- Birol, E., Smale, M. und Gyovai, Á. 2006.** Using a choice experiment to estimate farmers' valuation of agrobiodiversity on Hungarian small farms. *Environmental and Resource Economics* 34: 439-469.
- Björklund, J., Araya, H., Edwards, S., Goncalves, A., Hook, K., Lundberg, J. und Medina, C. 2012.** Ecosystem-Based Agriculture Combining Production and Conservation-A Viable Way to Feed the World in the Long Term? *Journal of Sustainable Agriculture* 36: 824-855.
- Blessin, S. 2009.** Angepasste Landwirtschaft in Zeiten des Klimawandels. Agrarstudien. BUKO Agrar Koordination (Hrsg.), Forum für internationale Agrarpolitik (FIA) e.V., Hamburg.
- Bloch, R. und Bachinger, J. 2010.** Anpassung an den Klimawandel im Praxistest. Innovationen für den Ökolandbau. *ForschungsReport 2/2010*. Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) (Hrsg.), Frick, Schweiz.
- Bloch, R. und Bachinger, J. 2013.** Assessing the vulnerability of organic farming systems - a case study from the federal state of Brandenburg, Germany. In: The 10th European IFSA Symposium.

Producing and reproducing farming systems. New models of organisation for sustainable food systems of tomorrow. Aarhus, Denmark.

- Bloch, R. und Bachinger, J. 2012.** Entwicklung klimaangepasster Anbauverfahren für den Ökolandbau. *Naturland Nachrichten* 01: 1-27.
- BMELV 2007.** Agrobiodiversität erhalten, Potenziale der Land-, Forst-, und Fischereiwirtschaft erschließen und nachhaltig nutzen, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Bonn.
- BMU 2007.** Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin.
- BMU 2011.** Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel, Drucksache des Dt. Bundestages. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin.
- Boisdon, I. und Capitaine, M. 2008.** Impact of the drought on the fodder self-sufficiency of organic and conventional highland dairy farms. In: D. Neuhoff, N. Halberg, T. Alfoldi, W. Lockeretz, A. Thommen, I.A. Rasmussen, J. Hermansen, M. Vaarst, L. Lueck, F. Caporali, H.H. Jensen, P. Migliorini und H. Willer (Hrsg.): *Cultivating the future based on science. Volume 2: Livestock, socio-economy and cross disciplinary research in organic agriculture. Proceedings of the Second Scientific Conference of the International Society of Organic Agriculture Research*, S. 220-223. International Society of Organic Agricultural Research (ISOFAR).
- Bola, G., Mabiza, C., Goldin, J., Kujinga, K., Nhapi, I., Makurira, H. und Mashauri, D. 2013.** Coping with droughts and floods: A Case study of Kanyemba, Mbire District, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*.
- Bonifacio, E. und Zanini, E. 1999.** Sustainable domestication of indigenous fruit trees: the interaction between soil and biotic resources in some drylands of southern Africa. UNESCO Best Practices on Indigenous Knowledge, UNESCO.
- Borromeo, T.H. 2012.** Importance of plant genetic resources in sustainable development: Global challenges, and solutions being developed in the Philippines. *Journal of Developments in Sustainable Agriculture* 7: 23-32.
- Bradshaw, B., Dolan, H. und Smit, B. 2004.** Farm-level adaptation to climatic variability and change: Crop diversification in the Canadian prairies. *Climatic Change* 67: 119-141.
- Branca, G., Lipper, L., McCarthy, N. und Jolejole, M. 2013.** Food security, climate change, and sustainable land management. A review. *Agronomy for Sustainable Development*: 1-16.
- Breitsameter, L. und Steinmann, H.-H. 2014.** Rezente Veränderungen von Unkrautflora und -management als Basis für zukünftige Managementanpassungen. 26. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung. Julius-Kühn-Archiv 443, S. 225-233, Braunschweig.
- Bryan, E., Deressa, T.T., Gbetibouo, G.A. und Ringler, C. 2009.** Adaptation to climate change in Ethiopia and South Africa: options and constraints. *Environmental Science & Policy* 12: 413-426.
- Bryan, E., Ringler, C., Okoba, B., Koo, J., Herrero, M. und Silvestri, S. 2013a.** Can agriculture support climate change adaptation, greenhouse gas mitigation and rural livelihoods? insights from Kenya. *Climatic Change* 118: 151-165.
- Bryan, E., Ringler, C., Okoba, B., Roncoli, C., Silvestri, S. und Herrero, M. 2013b.** Adapting agriculture to climate change in Kenya: Household strategies and determinants. *Journal of Environmental Management* 114: 26-35.
- Buchmann, C. 2009.** Cuban Home Gardens and Their Role in Social–Ecological Resilience. *Human Ecology* 37: 705-721.
- Burkhardt, J. und Gaiser, T. 2010.** Modellierung der Folgen des Klimawandels auf die Pflanzenproduktion in Nordrhein-Westfalen, Abschlussbericht im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-

Westfalen, Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz der Universität Bonn, Abteilung Pflanzenernährung (INRES-PE), Bonn.

- Cavatassi, R. 2010.** Small scale agriculture, marginal conditions and market access: impacts on natural resources and farmers' welfare. PhD thesis, Wageningen Universiteit.
- Cavatassi, R., Lipper, L. und Narloch, U. 2011.** Modern variety adoption and risk management in drought prone areas: insights from the sorghum farmers of eastern Ethiopia. *Agricultural Economics* 42: 279-292.
- Ceesay, M. 2011.** An opportunity for increasing factor productivity for rice cultivation in The Gambia through SRI. *Paddy and Water Environment* 9: 129-135.
- Chen, X., Yang, Y.S. und Tang, J.J. 2004.** Species-diversified plant cover enhances orchard ecosystem resistance to climatic stress and soil erosion in subtropical hillside. *Journal of Zhejiang University: Science* 5: 1191-1198.
- Chidanti-Malunga, J. 2011.** Adaptive strategies to climate change in Southern Malawi. *Physics and Chemistry of the Earth* 36: 1043-1046.
- Choudri, B.S., Al-Busaidi, A. und Ahmed, M. 2013.** Climate change, vulnerability and adaptation experiences of farmers in Al-Suwayq Wilayat, Sultanate of Oman. *International Journal of Climate Change Strategies and Management* 5: 445-454.
- Christmann, S. und Aw-Hassan, A.A. 2012.** Farming with alternative pollinators (FAP)—An overlooked win-win-strategy for climate change adaptation. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 161: 161-164.
- Connelly, S. und Wilson, N. 2001.** Trees for semi-nomadic farmers: a key for resilience. *Leisa* 17: 10-11.
- Corsi, S., Friedrich, T., Kassam, A., Pisante, M. und Sa, J.d.M. 2012.** Soil organic carbon accumulation and greenhouse gas emission reductions from conservation agriculture: a literature review. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rom.
- Corves, C. 2009.** Crop diversity and food security. [Biologische Vielfalt in der Landwirtschaft]. *Geographische Rundschau* 61: 38-45.
- da Costa, M.d.J., Lopes, M., Ximenes, A., Ferreira, A.d.R., Spycckerelle, L., Williams, R., Nesbitt, H. und Erskine, W. 2013.** Household food insecurity in Timor-Leste. *Food Security* 5: 83-94.
- de-Graft Acquah, H. 2011.** Farmers perception and adaptation to climate change: a willingness to pay analysis. *Journal of Sustainable Development in Africa* 13: 150-161.
- de-Graft Acquah, H. und Onumah, E.E. 2011.** Farmers perception and adaptation to climate change: An estimation of willingness to pay. *Agris On-line Papers in Economics and Informatics* 3: 31-39.
- de Almeida da Silva, E., Petersen, P. und Júnior Pereira, F. 2009.** Lidando com extremos climáticos: análise comparativa entre lavouras convencionais e em transição ecológica no Planalto Norte de Santa Catarina. *Agriculturas: experiências em agroecologia* 6: 28-32.
- de Bruin, K., Dellink, R.B., Ruijs, A., Bolwidt, L., Buuren, A., Graveland, J., Groot, R.S., Kuikman, P.J., Reinhard, S., Roetter, R.P., Tassone, V.C., Verhagen, A. und Ierland, E.C. 2009.** Adapting to climate change in The Netherlands: an inventory of climate adaptation options and ranking of alternatives. *Climatic Change* 95: 23-45.
- de Souza, H.N., de Goede, R.G.M., Brussaard, L., Cardoso, I.M., Duarte, E.M.G., Fernandes, R.B.A., Gomes, L.C. und Pulleman, M.M. 2012.** Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the Atlantic Rainforest biome. *Agriculture Ecosystems & Environment* 146: 179-196.
- Demmers-Derks, H., Mitchell, R.A.C., Mitchell, V.J. und Lawlor, D.W. 1998.** Response of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) yield and biochemical composition to elevated CO₂ and temperature at two nitrogen applications. *Plant, Cell & Environment* 21: 829-836.
- Derbile, E.K. 2013.** Reducing vulnerability of rain-fed agriculture to drought through indigenous knowledge systems in north-eastern Ghana. *International Journal of Climate Change Strategies and Management* 5: 71-94.

- Deressa, T.T. 2011.** Effects of climatic conditions and agro-ecological settings on the productive efficiencies of small-holder farmers in Ethiopia. Working Papers - Economic Research Southern Africa.
- Deressa, T.T., Hassan, R.M. und Ringler, C. 2011.** Perception of and adaptation to climate change by farmers in the Nile basin of Ethiopia. *Journal of Agricultural Science* 149: 23-31.
- Deressa, T.T., Hassan, R.M., Ringler, C., Alemu, T. und Yesuf, M. 2009.** Determinants of farmers' choice of adaptation methods to climate change in the Nile Basin of Ethiopia. *Global Environmental Change* 19: 248-255.
- Desclaux, D., Ceccarelli, S., Navazio, J.P., Coley, M.R., Trouche, G., Aguirre, S., Weltzien, E. und Lancon, J. 2012.** Centralized or decentralized breeding: the potentials of participatory approaches for low-input and organic agriculture. In: E.T. Lammerts van Bueren und J.R. Myer (Hrsg.): *Organic Crop Breeding*, S. 99-123. John Wiley & Sons, New York.
- Deutscher Wetterdienst 2013.** Zahlen und Fakten zum Klimawandel in Deutschland. Klima- Pressekonferenz des Deutschen Wetterdienstes am 7. Mai 2013 in Berlin.
- Dhindsa, G.S. und Singh, J. 1996.** Triticale cultivation for diversifying and stabilising a wheat dominated agroecosystem. In: H. Guedes-Pinto, N. Darvey und V.P. Carnide (Hrsg.): *Triticale: today and tomorrow.*, S. 731-735. Kluwer Academic Publishers.
- Di Falco, S. und Chavas, J.-P. 2008.** Rainfall Shocks, Resilience, and the Effects of Crop Biodiversity on Agroecosystem Productivity. *Land Economics* 84: 83-96.
- Di Falco, S. und Perrings, C. 2005.** Crop biodiversity, risk management and the implications of agricultural assistance. *Ecological Economics* 55: 459-466.
- Di Falco, S. und Perrings, C. 2003.** Crop Genetic Diversity, Productivity and Stability of Agroecosystems. A Theoretical and Empirical Investigation. *Scottish Journal of Political Economy* 50: 207-216.
- Di Falco, S. und Veronesi, M. 2013.** How can African agriculture adapt to climate change? A counterfactual analysis from Ethiopia. *Land Economics* 89: 743-766.
- Diaz, S., Symstad, A.J., Chapin, F.S., Wardle, D.A. und Huenneke, L.F. 2003.** Functional diversity revealed by removal experiments. *Trends in Ecology & Evolution* 18: 140-146.
- Dierschke, H. 1994.** Pflanzensoziologie. Grundlagen und Methoden. Ulmer, Stuttgart.
- Dillehay, T.D. und Kolata, A.L. 2004.** Long-term human response to uncertain environmental conditions in the Andes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101: 4325-4330.
- Dossou, K. und Glehouenou, B. 2009.** Vulnerability and adaptation of communities to climate change: a Benin case study Lower Ouémé Valley, Adjohoun District, Benin. Organisation des Femmes pour la gestion de l'Énergie, de l'Environnement et la promotion du Développement Intégré (OFEDI), Cotonou, Benin.
- Dougill, A.J., Fraser, E.D.G. und Reed, M.S. 2010.** Anticipating Vulnerability to Climate Change in Dryland Pastoral Systems: Using Dynamic Systems Models for the Kalahari. *Ecology and Society* 15(2). doi: <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss2/art17/>
- Dulloo, M.E., Hunter, D. und Borelli, T. 2010.** Ex Situ and In Situ Conservation of Agricultural Biodiversity: Major Advances and Research Needs. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 38: 123-135.
- Eakin, H. 2005.** Institutional change, climate risk, and rural vulnerability: Cases from Central Mexico. *World Development* 33: 1923-1938.
- Eakin, H. und Wehbe, M. 2009.** Linking local vulnerability to system sustainability in a resilience framework: two cases from Latin America. *Climatic Change* 93: 355-377.
- Easterling, D.R., Evans, J.L., Groisman, P.Y., Karl, T.R., Kunkel, K.E. und Ambenje, P. 2000.** Observed variability and trends in extreme climate events: A brief review. *Bulletin of the American Meteorological Society* 81: 417-425.
- Ebi, K.L., Padgham, J., Doumbia, M., Kergna, A., Smith, J., Butt, T. und McCarl, B. 2011.** Smallholders adaptation to climate change in Mali. *Climatic Change* 108: 423-436.

- Egerton-Warburton, L.M., Graham, R.C. und Hubbert, K.R. 2003.** Spatial variability in mycorrhizal hyphae and nutrient and water availability in a soil-weathered bedrock profile. *Plant and Soil* 249.
- Eichhorn, M.P., Paris, P., Herzog, F., Incoll, L.D., Liagre, F., Mantzanas, K., Mayus, M., Moreno, G., Papanastasis, V.P., Pilbeam, D.J., Pisanelli, A. und Dupraz, C. 2006.** Silvoarable Systems in Europe – Past, Present and Future Prospects. *Agroforestry Systems* 67: 29-50.
- Ellenberg, H. 1996.** Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht: 170 Tabellen. Ulmer, Stuttgart.
- Erbs, M., Manderscheid, R., Jansen, G., Seddig, S., Pacholski, A. und Weigel, H.-J. 2010.** Effects of free-air CO₂ enrichment and nitrogen supply on grain quality parameters and elemental composition of wheat and barley grown in a crop rotation. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 136: 59-68.
- Esser, K., Lüttge, U., Beyschlag, W., Murata, J., Beierkuhnlein, C. und Nesshöver, C. 2006.** Biodiversity experiments—artificial constructions or heuristic tools? *Progress in Botany* 67: 486-535.
- Fanelli, C.W. und Dumba, L. 2006.** Conservation farming in rural Zimbabwe. *Leisa* 22: 18-19.
- FAO 1999.** Agricultural Biodiversity, Multifunctional Character of Agriculture and Land Conference, Background Paper 1, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Maastricht, Netherlands.
- FAO 2010.** The second report on the state of the world's plant genetic resources for food and agriculture. Synthetic account, FAO, Rom.
- FAO 2007.** The state of the world's animal genetic resources for food and agriculture – in brief. D. Pilling und B. Rischkowsky (Hrsg.), FAO, Rom.
- Finck, M.R., Schulze-Schilddorf, G., Butz, A., Greiner, L., Knape, C., Lützkendorf, K. und Rabenstein, F. 2003.** Interaktionen zwischen Anbaubedingungen, Pilzbefall, Backqualität und Mykotoxinbelastung in der ökologischen Weizenproduktion. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau, Bonn.
- Fliessbach, A., Mäder, P., Pfiffner, L., Dubois, D. und Gunst, L. 2000.** Erkenntnisse aus 21 Jahren DOK-Versuch. Bio fördert Bodenfruchtbarkeit und Artenvielfalt. FiBL Dossier, 1. Forschungsinstitut für biologischen Landbau. (FiBL) (Hrsg.), Frick, Switzerland.
- Fosu-Mensah, B.Y., Vlek, P.L.G. und MacCarthy, D.S. 2012.** Farmers' perception and adaptation to climate change: A case study of Sekyedumase district in Ghana. *Environment, Development and Sustainability* 14: 495-505.
- Fraser, E.D.G. 2006.** Crop diversification and trade liberalization: Linking global trade and local management through a regional case study. *Agriculture and Human Values* 23: 271-281.
- Fraser, E.D.G., Dougill, A.J., Hubacek, K., Quinn, C.H., Sendzimir, J. und Termansen, M. 2011.** Assessing Vulnerability to Climate Change in Dryland Livelihood Systems: Conceptual Challenges and Interdisciplinary Solutions *Ecology and Society* 16: 3.
- Fraser, E.G. 2007.** Travelling in antique lands: using past famines to develop an adaptability/resilience framework to identify food systems vulnerable to climate change. *Climatic Change* 83: 495-514.
- Frison, E.A., Cherfas, J. und Hodgkin, T. 2011.** Agricultural biodiversity is essential for a sustainable improvement in food and nutrition security. *Sustainability* 3: 238-253.
- Gassmann, A.J., Petzold-Maxwell, J.L., Keweshan, R.S. und Dunbar, M.W. 2011.** Field-Evolved Resistance to Bt Maize by Western Corn Rootworm. *PLoS ONE* 6.
- Gepts, P. 2006.** Plant genetic resources conservation and utilization: The accomplishments and future of a societal insurance policy. *Crop Science* 46: 2278-2292.
- Gerard, P.J., Barringer, J.R.F., Charles, J.G., Fowler, S.V., Kean, J.M., Phillips, C.B., Tait, A.B. und Walker, G.P. 2012.** Potential effects of climate change on biological control systems: case studies from New Zealand. *BioControl*: 1-14.

- Gerowitt, B. und Struck, C. 2008.** Klimawandel und phytomedizinische Risiken. In: U. Klöble, W. Achilles und H. Döhler (Hrsg.): Klimawandel und Ökolandbau. Situation, Anpassungsstrategien und Forschungsbedarf, S. 176-185. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt, Germany.
- GIZ 2013.** Themeninfo Agrobiodiversität. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Eschborn.
- Goldringer, I., Dawson, J.C., Rey, F., Vettoretti, A., Chable, V., Lammerts van Bueren, E., Finckh, M. und Barot, S. 2010.** Breeding for resilience: a strategy for organic and low-input farming systems? Paris, France.
- Gömann, H., Kreins, P., Julius, C. und Wechsung, F. 2003.** Landwirtschaft unter dem Einfluss des globalen Wandels sowie sich ändernde gesellschaftliche Anforderungen : interdisziplinäre Untersuchung künftiger Landnutzungsänderungen und resultierender Umwelt- und sozioökonomischer Aspekte. *Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues* 39: 201-208.
- Gomiero, T., Pimentel, D. und Paoletti, M.G. 2011.** Environmental Impact of Different Agricultural Management Practices: Conventional vs. Organic Agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences* 30: 95-124.
- Graves, A.R., Burgess, P.J., Palma, J.H.N., Herzog, F., Moreno, G., Bertomeu, M., Dupraz, C., Liagre, F., Keesman, K., van der Werf, W., de Nooy, A.K. und van den Briel, J.P. 2007.** Development and application of bio-economic modelling to compare silvoarable, arable, and forestry systems in three European countries. *Ecological Engineering* 29: 434-449.
- Greenpeace 2010.** Ecological farming: drought resistant agriculture. Amsterdam: Greenpeace Research Laboratories technical note 02/2010, 15 S.
- Grünhage, L., Bender, J., Jäger, H.-J., Matyssek, R. und Weigel, H.-J. 2011.** Beurteilungswerte für Ozon zum Schutz der Vegetation. [Environmental assessment levels for ozone effects on vegetation]. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 71: 79-89.
- Habiba, U. und Shaw, R. 2013.** Enhancing farmers resilience to cope with climate induced drought in northwestern Bangladesh. *Journal of Disaster Research* 8: 203-204.
- Hachileka, E. 2010.** Climate change adaptation strategies in the Chiawa community of the Lower Zambezi Game Management Area, Zambia. In: A. Andrade Perez, B. Herrera Fernandez und R. Cazzolla Gatti (Hrsg.): Building resilience to climate change: ecosystem-based adaptation and lessons from the field, S. 89-97. The World Conservation Union (IUCN).
- Hadgu, K., Rossing, W.H., Kooistra, L. und Bruggen, A.C. 2009.** Spatial variation in biodiversity, soil degradation and productivity in agricultural landscapes in the highlands of Tigray, northern Ethiopia. *Food Security* 1: 83-97.
- Hamilton, E.W., 3rd, Heckathorn, S.A., Joshi, P., Wang, D. und Barua, D. 2008.** Interactive effects of elevated CO₂ and growth temperature on the tolerance of photosynthesis to acute heat stress in C3 and C4 species. *Journal of Integrative Plant Biology* 50: 1375-1387.
- Hampf, U. 2002.** Bodenbearbeitung und Bodengesundheit Zwischenergebnisse im Projekt Ökologische Bodenbewirtschaftung in Wörrstadt-Rommersheim (Rheinhessen, RheinlandPfalz). Schriftenreihe der Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz, Mainz 13 (2002).
- Hannukkala, A.O., Kaukoranta, T., Lehtinen, A. und Rahkonen, A. 2007.** Late-blight epidemics on potato in Finland, 1933–2002; increased and earlier occurrence of epidemics associated with climate change and lack of rotation. *Plant Pathology* 56: 167-176.
- Harvey, M. und Wijewardane, S. 2008.** Cultivating resilience: lessons from the 2004 tsunami. *Leisa* 24: 26-27.
- Hassan, R.M. 2010.** Implications of climate change for agricultural sector performance in Africa: policy challenges and research agenda. *Journal of African Economies* 19: ii77-ii105
- Head, L., Atchison, J., Gates, A. und Muir, P. 2011.** A fine-grained study of the experience of drought, risk and climate change among australian wheat farming households. *Annals of the Association of American Geographers* 101: 1089-1108.

- Hedhly, A. 2011.** Sensitivity of flowering plant gametophytes to temperature fluctuations. *Environmental and Experimental Botany* 74: 9-16.
- Heinemann, J.A., Massaro, M., Coray, D.S., Agapito-Tenfen, S.Z. und Wen, J.D. 2013.** Sustainability and innovation in staple crop production in the US Midwest. *International Journal of Agricultural Sustainability*.
- HLPE 2012.** Climate change and food security. A report by the High Level Panel of Experts (HLPE) on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, Rome.
- Hoffstätter-Müncheberg, M., Merten, M., Kayser, M., Wrage-Mönnig, N. und Isselstein, J. 2013.** Der Einfluss von simulierten Dürreereignissen auf Produktivität und Qualität niedersächsischer Grünlandprodukte. In: S. Aspelmeier (Hrsg.): Vom globalen Klimawandel zu regionalen Anpassungsstrategien. Tagungsband KLIFF-Tagung 2.-3.9.2013 in Göttingen, S. 47-48.
- Hole, D.G., Perkins, A.J., Wilson, J.D., Alexander, I.H., Grice, P.V. und Evans, A.D. 2005.** Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation* 122: 113-130.
- Holt-Gimenez, E. 2002.** Measuring farmers' agroecological resistance after Hurricane Mitch in Nicaragua: a case study in participatory, sustainable land management impact monitoring. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 93: 87-105.
- Holt-Gimenez, E. 2001.** Measuring farmers agroecological resistance to Hurricane Mitch. *Leisa* 17: 18-20
- Idrisa, Y.L., Ogunbameru, B.O., Ibrahim, A.A. und Bawa, D.B. 2012.** Analysis of awareness and adaptation to climate change among farmers in the Sahel Savannah agro-ecological zone of Borno State, Nigeria. *British Journal of Environment and Climate Change* 2: 216-226.
- Iglesias, A., Erda, L. und Rosenzweig, C. 1996.** Climate change in Asia: A review of the vulnerability and adaptation of crop production. *Water, Air and Soil Pollution* 92: 13-27.
- IPCC 2013.** Summary for Policymakers. In: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on climate Change. T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex und P.M. Midgley (Hrsg.), Cambridge University Press, Cambridge, New York.
- IPCC 2007.** Synthesis Report. An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, Cambridge.
- Isbell, F., Calcagno, V., Hector, A., Connolly, J., Harpole, W.S., Reich, P.B., Scherer-Lorenzen, M., Schmid, B., Tilman, D., van Ruijven, J., Weigelt, A., Wilsey, B.J., Zavaleta, E.S. und Loreau, M. 2011.** High plant diversity is needed to maintain ecosystem services. *Nature* 477: 199-202.
- Jackson, L.E., Santos-Martin, F., Hollander, A.D., Horwath, W.R., Howitt, R.E., Kramer, J.B., O'Geen, A.T., Orlove, B.S., Six, J.W., Sokolow, S.K., Sumner, D.A., Tomich, T.P. und Wheeler, S.M. 2009.** Potential for adaptation to climate change in an agricultural landscape in the Central Valley of California. Draft paper.
- Jackson, L.E., Wheeler, S.M., Hollander, A.D., O'Geen, A.T., Orlove, B.S., Six, J., Sumner, D.A., Santos-Martin, F., Kramer, J.B., Horwath, W.R., Howitt, R.E. und Tomich, T.P. 2011.** Case study on potential agricultural responses to climate change in a California landscape. *Climatic Change* 109: 407-427.
- Jacobsen, S.-E., Sørensen, M., Pedersen, S. und Weiner, J. 2013.** Feeding the world: genetically modified crops versus agricultural biodiversity. *Agronomy for Sustainable Development*: 1-12.
- Jangid, K., Williams, M.A., Franzluebbers, A.J., Sanderlin, J.S., Reeves, J.H., Jenkins, M.B., Endale, D.M., Coleman, D.C. und Whitman, W.B. 2008.** Relative impacts of land-use, management intensity and fertilization upon soil microbial community structure in agricultural systems. *Soil Biology and Biochemistry* 40: 2843-2853.
- Jaradat, A.A. 2012.** Anticipating impacts of climate change on organic agriculture. *CAB Reviews*: 2012-07-62, 22 S. doi: 10.1079/PAVSNNR20127062.
- Jentsch, A. und Beierkuhnlein, C. 2010.** Simulating the future - responses of ecosystems, key species and European provenances to expected climatic trends and events. *Nova Acta Leopoldina* 112: 89-98.

- Jentsch, A., Kreyling, J., Elmer, M., Gellesch, E., Glaser, B., Grant, K., Hein, R., Lara, M., Mirzae, H., Nadler, S.E., Nagy, L., Otieno, D., Pritsch, K., Rascher, U., Schaedler, M., Schloter, M., Singh, B.K., Stadler, J., Walter, J., Wellstein, C., Woellecke, J. und Beierkuhnlein, C. 2011. Climate extremes initiate ecosystem-regulating functions while maintaining productivity. *Journal of Ecology* 99: 689-702.
- Jiang, L., Wan, S.Q. und Li, L.H. 2009. Species diversity and productivity: Why do results of diversity-manipulation experiments differ from natural patterns? *Journal of Ecology* 97: 603-608.
- Jonas, M., Tim, S. und Schönwiese, C.-D. 2005. Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen – Schwerpunkt Deutschland –. Kurzbericht zum Forschungsvorhaben 201 41 254, Institut für Atmosphäre und Umwelt der Universität Frankfurt/Main Arbeitsgruppe Klimaforschung, Frankfurt/Main.
- Jongman, R.H.G., Bunce, R.G.H., Metzger, M.J., Múcher, C.A., Howard, D.C. und Mateus, V.L. 2006. Objectives and Applications of a Statistical Environmental Stratification of Europe. *Landscape Ecology* 21: 409-419.
- Kahmen, A., Perner, J. und Buchmann, N. 2005. Diversity-dependent productivity in semi-natural grasslands following climate perturbations. *Functional Ecology* 19: 594-601.
- Kaisermann, A., Roguet, A., Nunan, N., Maron, P.-A., Ostle, N. und Lata, J.-C. 2013. Agricultural management affects the response of soil bacterial community structure and respiration to water-stress. *Soil Biology & Biochemistry* 66: 69-77.
- Kenny, G. 2011. Adaptation in agriculture: lessons for resilience from eastern regions of New Zealand. *Climatic Change* 106: 441-462.
- Khan, Z., Midega, C., Pittchar, J., Pickett, J. und Bruce, T. 2011. Push—pull technology: a conservation agriculture approach for integrated management of insect pests, weeds and soil health in Africa. *International Journal of Agricultural Sustainability* 9: 162-170.
- Khatiwada, B.P., Ghimire, R., Adhikari, R. und Osti, S. 2012. Increasing Crop Water Productivity through Local Crops and Technologies: A Case from the Ethnic Chepang Community of Nepal. *Hydro Nepal: Journal of Water, Energy and Environment*: 50-53.
- Khoury, C.K., Bjorkman, A.D., Dempewolf, H., Ramirez-Villegas, J., Guarino, L., Jarvis, A., Rieseberg, L.H. und Struik, P.C. 2014. Increasing homogeneity in global food supplies and the implications for food security. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Accessed March 3, 2014. doi: 10.1073/pnas.1313490111.
- Kimball, B.A. und Idso, S.B. 1983. Plant production and management under drought conditions: Increasing atmospheric CO₂: effects on crop yield, water use and climate. *Agricultural Water Management* 7: 55-72.
- Klein, T., Holzkämper, A., Calanca, P. und Fuhrer, J. 2014. Adaptation options under climate change for multifunctional agriculture: a simulation study for western Switzerland. *Regional Environmental Change*: 167-184.
- Klotz, S., Baessler, C., Klussman-Kolb, A. und Muellner-Riehe, A.N. 2012. Biodiversitätswandel in Deutschland. In: V. Mosbrugger, G. Brasseur, M. Schaller und B. Stribrny (Hrsg.): Klimawandel und Biodiversität: Folgen für Deutschland, S. 28-56. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- Knutson, C.L., Haigh, T., Hayes, M.J., Widhalm, M., Nothwehr, J., Kleinschmidt, M. und Graf, L. 2011. Farmer perceptions of sustainable agriculture practices and drought risk reduction in Nebraska, USA. *Renewable Agriculture and Food Systems* 26: 255-266.
- Ko, J.H., Ahuja, L.R., Saseendran, S.A., Green, T.R., Ma, L.W., Nielsen, D.C. und Walthall, C.L. 2012. Climate change impacts on dryland cropping systems in the Central Great Plains, USA. *Climatic Change* 111: 445-472.
- Kotschi, J. 2007. Agricultural biodiversity is essential for adapting to climate change. *GAIA. Ökologische Perspektiven für Wissenschaft und Gesellschaft. [Ecological perspectives for science and society]* 16: 98-101.

- Kotschi, J. 2006.** Agrobiodiversity vital in adapting to climate change. *Appropriate Technology* 33: 63-66.
- Kotschi, J. und von Lossau, A. 2011.** Agrobiodiversität — Schlüssel für Ernährungssicherung und Anpassung an Klimawandel. 28.
- Kreyling, J. 2010.** Winter climate change: a critical factor for temperate vegetation performance. *Ecology* 91: 1939-1948.
- Kreyling, J., Beierkuhnlein, C., Ellis, L. und Jentsch, A. 2008a.** Invasibility of grassland and heath communities exposed to extreme weather events – additive effects of diversity resistance and fluctuating physical environment. *Oikos* 117: 1542-1554.
- Kreyling, J., Beierkuhnlein, C., Elmer, M., Pritsch, K., Radovski, M., Schloter, M., Woellecke, J. und Jentsch, A. 2008b.** Soil biotic processes remain remarkably stable after 100-year extreme weather events in experimental grassland and heath. *Plant and Soil* 308: 175-188.
- Kreyling, J., Wenigmann, M., Beierkuhnlein, C. und Jentsch, A. 2008c.** Effects of extreme weather events on plant productivity and tissue die-back are modified by community composition. *Ecosystems* 11: 752-763.
- Kropp, J., Holsten, A., Lissner, T., Roithmeier, O., Hattermann, F., Huang, S., Rock, J., Wechsung, F., Lüttger, A., Pompe, S., Kühn, I., Costa, L., Steinhäuser, M., Walther, C., Klaus, M., Ritchie, S. und Metzger, M. 2009.** Klimawandel in Nordrhein-Westfalen. Regionale Abschätzung der Anfälligkeit ausgewählter Sektoren. Abschlussbericht. Potsdam: Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK).
- Kropp, J., Roithmeier, O., Hattermann, F., Rachimow, C., Lüttger, A., Wechsung, F., Lasch, P., Christiansen, E.S., Reyer, C., Suckow, F., Gutsch, M., Holsten, A., Kartschall, T., Wodinski, M., Hauf, Y., Conradt, T., Österle, H., Walther, C., Lissner, T., Lux, N., Tekken, V., Ritchie, S., Kossak, J., Klaus, M., Costa, L., Vetter, T. und Klose, M. 2006.** Klimawandel in Sachsen-Anhalt–Verletzlichkeiten gegenüber den Folgen des Klimawandels. Endbericht. Potsdam: Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK).
- La Rovere, E.L., Avzaradel, A.C. und Monteiro, J.M.G. 2009.** Potential synergy between adaptation and mitigation strategies: production of vegetable oils and biodiesel in northeastern Brazil. *Climate Research* 40: 233-239.
- Le Conte, Y. und Navajas, M. 2008.** Climate change: impact on honey bee populations and diseases. *Revue Scientifique et Technique - Office International des Epizooties* 27: 499-510.
- Leakey, A.D.B., Ainsworth, E.A., Bernacchi, C.J., Rogers, A., Long, S.P. und Ort, D.R. 2009.** Elevated CO₂ effects on plant carbon, nitrogen, and water relations: six important lessons from FACE. *Journal of Experimental Botany* 60: 2859-2876.
- Lepš, J. 2004.** What do the biodiversity experiments tell us about consequences of plant species loss in the real world? *Basic and Applied Ecology* 5: 529-534.
- Lereboullet, A.-L., Beltrando, G. und Bardsley, D.K. 2013.** Socio-ecological adaptation to climate change: A comparative case study from the Mediterranean wine industry in France and Australia. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 164: 273-285.
- Liebman, M., Helmers, M.J., Schulte, L.A. und Chase, C.A. 2013.** Using biodiversity to link agricultural productivity with environmental quality: Results from three field experiments in Iowa. *Renewable Agriculture and Food Systems* 28: 115-128.
- Limpert, E., Finck, M.R. und Wolfe, M.S. 1996.** Final Report COST 817, Working Group on Cereal Variety Mixtures, Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg.
- Lin, B.B. 2010.** The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology* 150: 510-518.
- Lin, B.B. und Richards, P.L. 2007.** Soil random roughness and depression storage on coffee farms of varying shade levels. *Agricultural Water Management* 92: 194-204.
- Long, S.P. 1991.** Modification of the response of photosynthetic productivity to rising temperature by atmospheric CO₂ concentrations: Has its importance been underestimated? *Plant, Cell & Environment* 14: 729-739.

- Lotter, D.W., Seidel, R. und Liebhardt, W. 2003.** The performance of organic and conventional cropping systems in an extreme climate year. *American Journal of Alternative Agriculture* 18: 146-154.
- Lütke Entrop, E. 1986. Raps.** In: J. Oehmichen (Hrsg.): Pflanzenproduktion. Band 2, Produktionstechnik, S. 463-484. Parey Verlag, Berlin und Hamburg.
- Lukas, M. und Cahn, M. 2008.** Organic agriculture and rural livelihoods in Karnataka, India. In: D. Neuhoff, N. Halberg, T. Alfoldi, W. Lockeretz, A. Thommen, I.A. Rasmussen, J. Hermansen, M. Vaarst, L. Lueck, F. Caporali, H.H. Jensen, P. Migliorini und H. Willer (Hrsg.): Cultivating the future based on science. Volume 2: Livestock, socio-economy and cross disciplinary research in organic agriculture. Proceedings of the Second Scientific Conference of the International Society of Organic Agriculture Research, S. 476-479. International Society of Organic Agricultural Research (ISOFAR).
- Lüttger, A. und Gottschalk, P. 2013.** Regionale Projektionen für Deutschland zu Erträgen von Silomais und Winterweizen bei Klimawandel. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Vortrag auf der Kliff-Tagung Göttingen, 2.-3.9.2013.
- Mandal, R. und Bezbaruah, M.P. 2013.** Diversification of cropping pattern: Its determinants and role in flood affected agriculture of assam plains. *Indian Journal of Agricultural Economics* 68: 169-181.
- Manderscheid, R., Burkart, S., Bramm, A. und Weigel, H.-J. 2003.** Effect of CO₂ enrichment on growth and daily radiation use efficiency of wheat in relation to temperature and growth stage. *European Journal of Agronomy* 19: 411-425.
- Máñez Costa, M.A., Moors, E.J. und Fraser, E.D.G. 2011.** Socioeconomics, Policy, or Climate Change: What is Driving Vulnerability in Southern Portugal? *Ecology and Society*. doi: <http://www.ecologyandsociety.org/vol16/iss1/art28/>.
- Martin, S. und McLeay, F. 1998.** The Diversity of Farmers' Risk Management Strategies in a Deregulated New Zealand Environment. *Journal of Agricultural Economics* 49: 218-233.
- Mendelsohn, R. 2007.** What causes crop failure? *Climatic Change* 81: 61-70.
- Mengistu, D.K. 2011.** Farmers' perception and knowledge on climate change and their coping strategies to the related hazards: case study from Adiha, central Tigray, Ethiopia. *Agricultural Sciences* 2: 138-145.
- Mertz, O., Mbow, C., Reenberg, A. und Diouf, A. 2009.** Farmers' Perceptions of Climate Change and Agricultural Adaptation Strategies in Rural Sahel. *Environmental Management* 43: 804-816.
- Metzger, M.J., Bunce, R.G.H., Jongman, R.H.G., Múcher, C.A. und Watkins, J.W. 2005.** A climatic stratification of the environment of Europe. *Global Ecology and Biogeography* 14: 549-563.
- Meynard, J.M., Messéan, A., Charlier, A., Charrier, F., Fares, M., Le Bail, M., Magrini, M.B. und Savini, I. 2013.** Freins et leviers à la diversification des cultures. Étude au niveau des exploitations agricoles et des filières. Synthèse du rapport d'étude, INRA.
- Michael, A., Schmidt, J., Enke, W., Deutschländer, T. und Malitz, G. 2005.** Impact of expected increase in precipitation intensities on soil loss—results of comparative model simulations. *Catena* 61: 155-164.
- Mijatovic, D., Van Oudenhoven, F., Eyzaguirre, P. und Hodgkin, T. 2013.** The role of agricultural biodiversity in strengthening resilience to climate change: towards an analytical framework. *International Journal of Agricultural Sustainability* 11: 95-107.
- Miller, P.R. und Holmes, J.A. 2005.** Cropping sequence effects of four broadleaf crops on four cereal crops in the Northern Great Plains. *Agronomy Journal* 97: 189-200.
- Mills, G., Buse, A., Gimeno, B., Bermejo, V., Holland, M., Emberson, L. und Pleijel, H. 2007.** A synthesis of AOT40-based response functions and critical levels of ozone for agricultural and horticultural crops. *Atmospheric Environment* 41: 2630-2643.
- Mitchell, R.A.C., Mitchell, V.J., Driscoll, S.P., Franklin, J. und Lawlor, D.W. 1993.** Effects of increased CO₂ concentration and temperature on growth and yield of winter wheat at two levels of nitrogen application. *Plant, Cell & Environment* 16: 521.

- Mogina, J. 1999.** Maintenance of crop diversity and food security in rural Papua New Guinea: case studies from Cape Vogel and Goodenough Island. *Development Bulletin* 50: 32-37.
- Molua, E.L. 2011.** Farm income, gender differentials and climate risk in Cameroon: typology of male and female adaptation options across agroecologies. *Sustainability Science* 6: 21-35.
- Morison, J.I.L. und Lawlor, D.W. 1999.** Interactions between increasing CO₂ concentration and temperature on plant growth. *Plant, Cell & Environment* 22: 659-682.
- Mpandeli, S. und Maponya, P. 2013.** The use of climate forecasts information by farmers in Limpopo Province, South Africa. *Journal of Agricultural Science (Toronto)* 5: 47-55.
- Mruthyunjaya und Sirohi, A.S. 1979.** Enterprise system for stability and growth on drought-prone farms: an application of parametric linear programming. *Indian Journal of Agricultural Economics* 34: 27-42
- Müller-Westermeier, G. 2002.** Die phänologische Entwicklung. In: Deutscher Wetterdienst (Hrsg.): Klimastatusbericht 2002, S. 101-104. DWD, Offenbach.
- Mulumba, J.W., Nankya, R., Adokorach, J., Kiwuka, C., Fadda, C., De Santis, P. und Jarvis, D.I. 2012.** A risk-minimizing argument for traditional crop varietal diversity use to reduce pest and disease damage in agricultural ecosystems of Uganda. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 157: 70-86.
- Murendo, C., Keil, A. und Zeller, M. 2011.** Drought impacts and related risk management by smallholder farmers in developing countries: Evidence from Awash River Basin, Ethiopia. *Risk Management* 13: 247-263.
- Mußhoff, O. und Hirschauer, N. 2010.** Abriss des Risikomanagements im landwirtschaftlichen Unternehmen. In: O. Christen, G. Erhardt, H. Flessa, U. Latacz-Lohmann, J. Müller und A. Otte (Hrsg.): Wie gehen wir mit Risiken um? Risiko und Risikomanagement in Agrarwirtschaft, Agrarpolitik und Agrarforschung, S. 10-25. Dachverband für Agrarforschung (DAF), Frankfurt/Main.
- Mußhoff, O. und Hirschauer, N. 2013.** Risikomanagement wetterbedingter Erfolgsrisiken aus Sicht landwirtschaftlicher Unternehmen. In: O. Christen, G. Flachowsky, U. Latacz-Lohmann, P. Leinweber, K.H. Mühling, R. Waldhardt, A. Werner, H.-J. Weigel und M. Packeiser (Hrsg.): Klimawandel und Extremwetterereignisse: ein Problem für die Landwirtschaft?, S. 101-118. Dachverband für Agrarforschung (DAF), Frankfurt.
- Nair, P.K.R. 1985.** Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 3: 97-128.
- Narloch, U., Drucker, A.G. und Pascual, U. 2011.** Payments for agrobiodiversity conservation services for sustained on-farm utilization of plant and animal genetic resources. *Ecological Economics* 70: 1837-1845.
- Nastis, S.A., Michailidis, A. und Mattas, K. 2013.** Crop biodiversity repercussions of subsidized organic farming. *Land Use Policy* 32: 23-26.
- Natarajan, M. und Willey, R.W. 1986.** The effects of water stress on yield advantages of intercropping systems. *Field Crops Research* 13: 117-131.
- Navazio, J.P., Zystro, J.P. und Shelton, A.C. 2012.** Introduction to organic on-farm plant breeding. Strengthening Community Seed Systems. Proceedings of the 6th Organic Seed Growers Conference, Port Townsend, Washington, USA, 19-21 January, 2012, S. 61-67 Organic Seed Alliance.
- Nguyen, Q., Hoang, M., Öborn, I. und Noordwijk, M. 2013.** Multipurpose agroforestry as a climate change resiliency option for farmers: an example of local adaptation in Vietnam. *Climatic Change* 117: 241-257.
- NOAA Climate.gov 2013.** State of the Climate in 2012: Highlights. In: *Special Supplement to the Bulletin of the American Meteorological Society*, 94 (8).
- Norby, R.J. und Luo, Y.Q. 2004.** Evaluating ecosystem responses to rising atmospheric CO₂ and global warming in a multi-factor world. *New Phytologist* 162: 281-293.
- Ofuoku, A.U. 2011.** Rural farmers' perception of climate change in central agricultural zone of Delta State, Nigeria. *Indonesian Journal of Agricultural Science* 12: 63-69.

- Ogalleh, S.A., Vogl, C.R., Eitzinger, J. und Hauser, M. 2012.** Local perceptions and responses to climate change and variability: The case of Laikipia District, Kenya. *Sustainability* 4: 3302-3325.
- Okonya, J.S., Syndikus, K. und Kroschel, J. 2013.** Farmers' perception of and coping strategies to climate change: evidence from six agro-ecological zones of Uganda. *Journal of Agricultural Science (Toronto)* 5: 252-263.
- Olesen, J.E., Trnka, M., Kersebaum, K.C., Skjelvåg, A.O., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., Rossi, F., Kozyra, J. und Micale, F. 2011.** Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *European Journal of Agronomy* 34: 96-112.
- Omer, A., Pascual, U. und Russell, N. 2010.** A theoretical model of agrobiodiversity as a supporting service for sustainable agricultural intensification. *Ecological Economics* 69: 1926-1933.
- Ospina, S., Rusch, G.M., Pezo, D., Casanoves, F. und Sinclair, F.L. 2012.** More Stable Productivity of Semi Natural Grasslands than Sown Pastures in a Seasonally Dry Climate. *PLoS ONE*. Accessed 09/05/2013. doi: 10.1371/journal.pone.0035555.
- Oyekale, A.S. und I., O.S. 2012.** Farmers' perception of vulnerability to climate change and adaptation strategies in Isuiwuato local government area, Abia State, Nigeria. *Asia Life Sciences Supplement* 8: 143-152.
- Oyekale, A.S. und Oladele, O.I. 2012.** Determinants of climate change adaption among cocoa farmers in southwest Nigeria. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 10: 1562-1567.
- Ozor, N., Madukwe, M.C., Enete, A.A., Amaechina, E.C., Onokala, P., Eboh, E.C., Ujah, O. und Garforth, C.J. 2012.** A framework for agricultural adaptation to climate change in southern Nigeria. *International Journal for Agricultural Sciences* 4: 243-251.
- Padulosi, S., Bergamini, N. und Lawrence, T. 2012.** On farm conservation of neglected and underutilized species: status, trends and novel approaches to cope with climate change. Proceedings of an international conference, Frankfurt, Germany, 14-16 June, 2011. Bioersivity International.
- Palma, J.H.N., Graves, A.R., Bunce, R.G.H., Burgess, P.J., de Filippi, R., Keesman, K.J., van Keulen, H., Liagre, F., Mayus, M., Moreno, G., Reisner, Y. und Herzog, F. 2007.** Modeling environmental benefits of silvoarable agroforestry in Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 119: 320-334.
- Pangapanga, P.I., Jumbe, C.B., Kanyanda, S. und Thangalimodzi, L. 2012a.** Unravelling strategic choices towards droughts and floods' adaptation in Southern Malawi. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 2: 57-66.
- Pangapanga, P.I., Jumbe, C.B.L., Kanyanda, S. und Thangalimodzi, L. 2012b.** Policy implications of droughts and floods adaptation on household crop production and food security in Southern Malawi. *British Journal of Environment and Climate Change* 2: 245-258.
- PAR und FAO 2011.** Biodiversity for food and agriculture. Contributing to food security and sustainability in a changing world. Outcomes of an expert workshop held by FAO and the Platform on Agrobiodiversity research (PAR), 14-16 April 2010 in Rome. G. Galluzzi, C. van Duijvendijk, L. Collette, N. Azzu and T. Hodgkin (Hrsg.), FAO, Rom.
- Pascual, U., Narloch, U., Nordhagen, S. und Drucker, A.G. 2011.** The economics of agrobiodiversity conservation for food security under climate change. *Economia Agraria y Recursos Naturales* 11: 191-220.
- Pautasso, M. 2012.** Challenges in the conservation and sustainable use of genetic resources. *Biology Letters* 8: 321-323.
- Pfisterer, A.B. und Schmid, B. 2002.** Diversity-dependent production can decrease the stability of ecosystem functioning. *Nature* 416: 84-86.
- Philpott, S.M., Lin, B.B., Jha, S. und Brines, S.J. 2008.** A multi-scale assessment of hurricane impacts on agricultural landscapes based on land use and topographic features. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 128: 12-20.

- Picasso, V.D., Brummer, E.C., Liebman, M., Dixon, P.M. und Wilsey, B.J. 2011.** Diverse perennial crop mixtures sustain higher productivity over time based on ecological complementarity. *Renewable Agriculture and Food Systems* 26: 317-327.
- Porter, J.R. und Gawith, M. 1999.** Temperatures and the growth and development of wheat: a review. *European Journal of Agronomy* 10: 23-36.
- Porter, J.R. und Semenov, M.A. 1999.** Climate variability and crop yields in Europe. *Nature* 400: 724-724.
- Potts, S.G., Biesmeijer, J.C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O. und Kunin, W.E. 2010.** Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution* 25: 345-353.
- Prasad, P.V.V., Boote, K.J. und Allen Jr, L.H. 2006.** Adverse high temperature effects on pollen viability, seed-set, seed yield and harvest index of grain-sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] are more severe at elevated carbon dioxide due to higher tissue temperatures. *Agricultural and Forest Meteorology* 139: 237-251.
- Pretty, J.N., Noble, A.D., Bossio, D., Dixon, J., Hine, R.E., Penning de Vries, F.W.T. und Morison, J.I.L. 2006.** Resource-Conserving Agriculture Increases Yields in Developing Countries. *Environmental Science & Technology* 40: 1114-1119.
- Rayhan, M.I. und Grote, U. 2010.** Crop diversification to mitigate flood vulnerability in Bangladesh: An economic approach. *Economics Bulletin* 30: 597-604.
- Regierungskommission Klimaschutz 2012.** Empfehlungen für eine niedersächsische Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels, Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz, Hannover.
- Regmi, B., Suwal, R., Shresha, G., Bandhu Sharma, G., Thapa, L. und Manandhar, S. 2009a.** Community resilience in Nepal. *Tiempo*: 7-10.
- Regmi, B.R., Thapa, L., Suwal, R., Khadka, S., Sharma, G.B. und Tamang, B.B. 2009b.** Agro-biodiversity management: An opportunity for mainstreaming community-based adaptation to climate change. *Forest and Livelihood* 8: 113-121.
- Reilly, J., Baethgen, W., Chege, F.E., Geijn, S.C.v.d., Lin, E., Iglesias, A., Kenny, G., Patterson, D., Rogasik, J., Rötter, R., Rosenzweig, C., Sombroek, W., Westbrook, J., Bachelet, D., Brklacich, M., Dämmgen, U. und Howden, M. 1996.** Agriculture in a changing climate: impacts and adaptation. In: R.T. Watson, M.C. Zinyowera und R.H. Moss (Hrsg.): *Climate change 1995; impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analyses*, S. 427-467. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.
- Rivest, D., Lorente, M., Olivier, A. und Messier, C. 2013.** Soil biochemical properties and microbial resilience in agroforestry systems: Effects on wheat growth under controlled drought and flooding conditions. *Science of the Total Environment* 463-464: 51-60.
- Roy, J. 2001.** How does biodiversity control primary productivity? In: J. Roy, B. Saugier und H.A. Mooney (Hrsg.): *Terrestrial global productivity*. Academic Press, San Diego.
- Rühling, I. 2014.** Anpassung an den Klimawandel: inwieweit sind die Landwirte Niedersachsens informiert? In: H. Korn, K. Brockmühl und R. Schliep (Hrsg.): *Biodiversität und Klima - Vernetzung der Akteure in Deutschland X - Ergebnisse und Dokumentation des 10. Workshops*. BfN-Skripten 357, S. 21-25. Bundesamt für Naturschutz, Bonn.
- Russell, N., Omer, A. und Pascual, U. 2009.** Technology, preferences and the sustainable intensification of agricultural production. In: the International Association of Agricultural Economists Conference August 16-22, 2009. Beijing, China.
- Sala, O.E., Chapin III, F., Stuart, A., Juan, J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Hueneke, L.F., Jackson, R.B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D.M., Mooney, H.A., Oesterheld, M., Poff, N.L., Sykes, M.T., Walker, B.H., Walker, M. und Wall, D.H. 2000.** Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287: 1770-1774.
- Salimonu, K.K. und Falusi, A.O. 2009.** Sources of risk and management strategies among food crop farmers in Osun State, Nigeria. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development* 9: 1591-1605.

- Sanni, S.A., Oluwasemire, K.O. und Nnoli, N.O. 2012.** Traditional capacity for weather prediction, variability and coping strategies in the front line states of Nigeria. *Agricultural Sciences* 3: 625-630.
- Schär, C., Vidale, P.L., Lüthi, D., Frei, C., Häberli, C., Liniger, M.A. und Appenzeller, C. 2004.** The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature* 427: 332-336.
- Scherer-Lorenzen, M. 1999.** Effects of plant diversity on ecosystem processes in experimental grassland communities. *Bayreuter Forum Ökologie* 75: 193.
- Schläpfer, F., Tucker, M. und Seidl, I. 2002.** Returns from Hay Cultivation in Fertilized Low Diversity and Non-Fertilized High Diversity Grassland. *Environmental and Resource Economics* 21: 89-100.
- Schönwiese, C.-D. und Janoschitz, R. 2008.** Klima-Trendatlas Europa 1900-2000. Berichte des Instituts für Atmosphäre und Umwelt der Universität Frankfurt am Main, Nr. 7, Eigenverlag des Instituts, Frankfurt/Main.
- Schulze, E.-D., Beck, E. und Müller-Hohenstein, K. 2002.** Pflanzenökologie. Spektrum, Heidelberg.
- Scoones, I. 1998.** Sustainable rural livelihoods: A framework for analysis. IDS Working Paper 72. Institute for Development Studies (IDS) (Hrsg.), Brighton, Großbritannien.
- Scopel, E., Triomphe, B., Affholder, F., Macena Da Silva, F.A., Corbeels, M., Valadares Xavier, J.H., Lahmar, R., Recous, S., Bernoux, M., Blanchart, E., Mendes, I.d.C. und De Tourdonnet, S. 2013.** Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 33: 113-130.
- Semenov, M. und Barrow, E. 1997.** Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. *Climatic Change* 35: 397-414.
- Semenov, M.A. und Shewry, P.R. 2011.** Modelling predicts that heat stress, not drought, will increase vulnerability of wheat in Europe. *Scientific Reports* 1: 1-5.
- Seufert, V., Ramankutty, N. und Foley, J.A. 2012.** Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature* 485: 229-232.
- Shumba, O. 2001.** Farmers' responses to reduce the risk of drought. *Leisa* 17: 8-9.
- Simelton, E. 2011.** Food self-sufficiency and natural hazards in China. *Food Security* 3: 35-52.
- Simelton, E., Fraser, E.D.G., Termansen, M., Forster, P.M. und Dougill, A.J. 2009.** Typologies of crop-drought vulnerability: an empirical analysis of the socio-economic factors that influence the sensitivity and resilience to drought of three major food crops in China (1961–2001). *Environmental Science & Policy* 12: 438-452.
- Singh, P., Ghose, N., Chaudhary, N. und Hansda, R. 2009.** Life in the shadow of embankments: turning lost lands into assets in the Koshi Basin of Bihar, India. International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD), Kathmandu.
- Smale, M. und Day-Rubenstein, K. 2002.** The Demand for Crop Genetic Resources: International Use of the US National Plant Germplasm System. *World Development* 30: 1639-1655.
- Smale, M., Hartell, J., Heisey, P.W. und Senauer, B. 1998.** The Contribution of Genetic Resources and Diversity to Wheat Production in the Punjab of Pakistan. *American Journal of Agricultural Economics* 80: 482-493.
- Smith, R.G., Menalled, F.D. und Robertson, G.P. 2007.** Temporal Yield Variability under Conventional and Alternative Management Systems. *Agronomy Journal* 99: 1629-1634.
- Speranza, C.I. 2013.** Buffer capacity: capturing a dimension of resilience to climate change in African smallholder agriculture. *Regional Environmental Change* 13: 521-535.
- Stainforth, D.A., Chapman, S.C. und Watkins, N.W. 2013.** Mapping climate change in European temperature distributions. *Environmental Research Letters*. Accessed 12/09/2013. doi: 10.1088/1748-9326/8/3/034031.
- Steffen, E. und Bergknecht, S. 2006.** Futterpflanzen und Klimawandel. *Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft* 15: 1-81.

- Sthapit, B., Paludosi, S. und Mal, B. 2009.** Role of on-farm/in situ conservation and underutilized crops in the wake of climate change. In: National Symposium on Recent Global Developments in the Management of Plant Genetic Resources, NBPGR. New Delhi, India.
- Su, Y., Xu, J., Wilkes, A., Lu, J., Li, Q., Fu, Y., Ma, X. und Edward Grumbine, R. 2012.** Coping with climate-induced water stresses through time and space in the mountains of Southwest China. *Regional Environmental Change* 12: 855-866.
- Subbulakshmi, S., Harisudan, C., Saravanan, N. und Subbian, P. 2009.** Conservation tillage - an eco friendly management practices for agriculture. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 5: 1098-1103.
- Tao, F.L. und Zhang, Z. 2010.** Adaptation of maize production to climate change in North China Plain: Quantify the relative contributions of adaptation options. *European Journal of Agronomy* 33: 103-116.
- Taub, D.R., Miller, B. und Allen, H. 2008.** Effects of elevated CO₂ on the protein concentration of food crops: a meta-analysis. *Global Change Biology* 14: 565-575.
- Tengö, M. und Belfrage, K. 2004.** Local management practices for dealing with change and uncertainty: A cross-scale comparison of cases in Sweden and Tanzania. *Ecology and Society* 9: 11 p.
- Tester, R.F., Morrison, W.R., Ellis, R.H., Piggo, J.R., Batts, G.R., Wheeler, T.R., Morison, J.I.L., Hadley, P. und Ledward, D.A. 1995.** Effects of elevated growth temperature and carbon dioxide levels on some physicochemical properties of wheat starch. *Journal of Cereal Science* 22: 63-71.
- The World Bank Group 2008.** Climate change and adaptation. Environment Matters. A. Hillers und F.Y. Iqbal (Hrsg.), The World Bank, Washington DC, USA.
- Thomas, T.S., Ponlok, T., Bansok, R., Lopez, T.d., Chiang, C., Phirun, N. und Chhun, C. 2013.** Cambodian agriculture: adaptation to climate change impact. *IFPRI - Discussion Papers*: viii + 52 pp.
- Thompson, K., Askew, A.P., Grime, J.P., Dunnett, N.P. und Willis, A.J. 2005.** Biodiversity, ecosystem function and plant traits in mature and immature plant communities. *Functional Ecology* 19: 355-358.
- Tilman, D., Reich, P.B. und Knops, J.M.H. 2006.** Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature* 441: 629-632.
- Tilman, D., Wedin, D. und Knops, J. 1996.** Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature* 379: 718-720.
- Tin, H.Q., Berg, T. und Bjornstad, A. 2001.** Diversity and adaptation in rice varieties under static (ex situ) and dynamic (in situ) management: a case study in the Mekong Delta, Vietnam. *Euphytica* 122: 491-502.
- Toncea, I., Alionte, E., Gargata, R., Lacatusu, R. und Lazar, R. 2010.** Complex interaction " climate * agrobackground * previous crop * genotype" on grain yield and its quality indices of winter wheat cultivated under organic farming system at Nardi Fundulea. [Interactiuni complexe " clima * agrofond * planta premergatoare * genotip" asupra productiei de boabe si calitatii acesteia la graul cultivat in sistem ecologic la I.N.C.D.A. Fundulea]. *Analele Institutului National de Cercetare-Dezvoltare Agricola Fundulea* 78: 89-109.
- Tscharntke, T., Clough, Y., Wanger, T.C., Jackson, L., Motzke, I., Perfecto, I., Vandermeer, J. und Whitbread, A. 2012.** Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation* 151: 53-59.
- U.S. EPA. 2006.** Air quality for criteria for ozone and related photochemical oxidants. EPA/600/R-05/004aF-cF, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Washington, DC
- Uchida, H. und Ando, K. 2007.** Adaptive agricultural system to dynamic water condition in a low-lying area of Bangladesh. *Japan Agricultural Research Quarterly* 41: 25-30.
- Ulsrud, K., Sygna, L. und O'Brien, K. 2008.** More than rain. Identifying sustainable pathways for climate adaptation and poverty reduction, Development Fund, Norway, Oslo.

- Uri, N.D. 2001.** Conservation practices in US agriculture and their impact on carbon sequestration. *Environmental Monitoring and Assessment* 70: 323-344.
- Uzokwe, U.N. und Okonkwo, J.C. 2012.** Survival strategies of women farmers against climate change in Delta State and implication for extension services. *Banats Journal of Biotechnology* 3: 97-103
- Vasconcelos, A.C.F., Bonatti, M., Schlindwein, S.L., D'Agostini, L.R., Homem, L.R. und Nelson, R. 2013.** Landraces as an adaptation strategy to climate change for smallholders in Santa Catarina, Southern Brazil. *Land Use Policy* 34: 250-254.
- Vermuelen, S., Dossou, K., Macqueen, D., Walubengo, D. und Nangoma, E. 2008.** Springing back: climate resilience at Africa's grassroots. Sustainable Development Opinion, May 2008, London, UK.
- Vogel, A., Eisenhauer, N., Weigelt, A. und Scherer-Lorenzen, M. 2013.** Plant diversity does not buffer drought effects on early-stage litter mass loss rates and microbial properties. *Global Change Biology* 19: 2795-2803.
- Wajih, S.A. 2008.** Adaptive agriculture in flood affected areas. *Leisa* 24: 24-25.
- WBGU Bericht 1999.** Welt im Wandel: Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Wechsung, F., Gerstengarbe, F., Lasch, P. und Lüttger, A. 2008.** Ertragsfähigkeit ostdeutscher Ackerflächen unter Klimawandel, Studie im Auftrag von BVVGmbH, PIK, Potsdam.
- Weigel, H.-J. und Bender, J. 2012.** Bodennahes Ozon - ein Problem für Kulturpflanzen und Ernährungssicherheit? *Gesunde Pflanzen* 64: 79-87.
- Weigel, H.-J. und Manderscheid, R. 2012.** Crop growth responses to free air CO₂ enrichment and nitrogen fertilization: Rotating barley, ryegrass, sugar beet and wheat. *European Journal of Agronomy* 43: 97-107.
- Werner, A., Glemnitz, M., Stein-Bachinger, K., Berger, G. und Stachow, U. 2013.** Biologische Vielfalt mit der Landwirtschaft. In: E. Beck (Hrsg.): Die Vielfalt des Lebens. Wie hoch, wie komplex, warum?, S. 246 p. Wiley VCH, Weinheim.
- Werners, S., Incerti, F., Bindi, M., Moriondo, M. und Cots, F. 2007.** Diversification of agricultural crops to adapt to climate change in the Guadiana River Basin. In: Chartered Institution of Water and Environmental Management Hong Kong und Hong Kong Institution of Engineers (Hrsg.): Proceedings from the international conference on climate change, Hong Kong, 29–31 May 2007, S. 1-12.
- Widawsky, D. und Rozelle, S. 2000.** Varietal Diversity and Yield Variability in Chinese Rice Production. In: M. Smale (Hrsg.): Farmers Gene Banks and Crop Breeding: Economic Analyses of Diversity in Wheat Maize and Rice, S. 159-172. Kluwer Academic Publishers, Boston/Dodrecht/London.
- Wolfe, M.S., Baresel, J.P., Desclaux, D., Goldringer, I., Hoad, S., Kovacs, G., Loschenberger, F., Miedaner, T., Ostergard, H. und van Bueren, E.T.L. 2008a.** Developments in breeding cereals for organic agriculture. *Euphytica* 163: 323-346.
- Wolfe, M.S., Haigh, Z., Jones, H. und Pearce, H. 2008b.** Wheat populations: stability in an increasingly unstable environment. *Aspects of Applied Biology* 88: 61-67.
- Wolfe, M.S., Hinchcliffe, K.E., Clarke, S.M., Jones, H., Haigh, Z., Snape, J. und Fish, L. 2006.** Evolutionary breeding of wheat. In: Proceedings of the COST SUSVAR workshop on Cereal Crop Diversity: Implications for Production and Products. La Besse, Frankreich.
- Wood, D. und Lenné, J.M. 1999.** Agrobiodiversity: Characterization, utilization and management. CABI, Wallingford, UK.
- Wrage, N., Strodthoff, J., Cuchillo, M.H., Isselstein, J. und Kayser, M. 2011.** Phytodiversity of temperate permanent grasslands: ecosystem services for agriculture and livestock management for diversity conservation. *Biodiversity and Conservation* 20: 3317-3339.
- Wreford, A. und Adger, W.N. 2010.** Adaptation in agriculture: historic effects of heat waves and droughts on UK agriculture. *International Journal of Agricultural Sustainability* 8: 278-289.

- Yadav, O.P. 2010.** Drought response of pearl millet landrace-based populations and their crosses with elite composites. *Field Crops Research* 118: 51-56.
- Yadav, O.P. 2007.** Genetic diversification of landrace-based populations of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L. R. Br.) to enhance productivity and adaptation to arid zone environments. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding* 67: 358-364.
- Yadav, O.P. und Bidinger, F.R. 2007.** Utilization, diversification and improvement of landraces for enhancing pearl millet productivity in arid environments. *Annals of Arid Zone* 46: 49-57.
- Zavaleta, E.S., Pasari, J.R., Hulvey, K.B. und Tilman, G.D. 2010.** Sustaining multiple ecosystem functions in grassland communities requires higher biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107: 1443-1446.
- Zeiger, M. und Fohrer, N. 2009.** Impact of organic farming systems on runoff formation processes-A long-term sequential rainfall experiment. *Soil & Tillage Research* 102: 45-54.
- Zhu, Y., Chen, H., Fan, J., Wang, Y., Li, Y., Chen, J., Fan, J., Yang, S., Hu, L., Leung, H., Mew, T.W., Teng, P.S., Wang, Z. und Mundt, C.C. 2000.** Genetic diversity and disease control in rice. *Nature* 406: 718-722.
- Zimmerer, K.S. 2003.** Just small potatoes (and ulluco)? The use of seed-size variation in "native commercialized" agriculture and agrobiodiversity conservation among Peruvian farmers. *Agriculture and Human Values* 20: 107-123.
- Zimmerer, K.S. 2011.** The landscape technology of spate irrigation amid development changes: Assembling the links to resources, livelihoods, and agrobiodiversity-food in the Bolivian Andes. *Global Environmental Change* 21: 917-934.
- Ziska, L.H., Blumenthal, D.M., Runion, G.B., Hunt, E.R., Jr. und Diaz-Soltero, H. 2011.** Invasive species and climate change: an agronomic perspective. *Climatic Change* 105: 13-42.
- Zivanomoyo, J. und Mukarati, J. 2013.** Determinants of choice of crop variety as climate change adaptation option in arid regions of Zimbabwe. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences* 3: 54-62.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Gebietsmittel der Anzahl der Heißen Tage ($T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$), Deutschland, Zeitraum 1951-2009.	8
Abbildung 2. Agrarökosysteme im Klima der Zukunft.	10
Abbildung 3. Einordnung der durch den Klimawandel verstärkten Risiken in die Gesamtheit der betriebswirtschaftlichen Risikotypen.	31
Abbildung 4. Gestaltung des Lebensumfelds unter Nutzung der Agrobiodiversität und Einfluss dieser Entscheidungen auf die Vulnerabilität gegenüber externen Einflüssen.	33
Abbildung 5. Allgemeingültiges Schaubild aus drei Dimensionen, die wichtig für eine Vulnerabilitätsanalyse sind.	34
Abbildung 6. In den vorliegenden Fallstudien untersuchte Klimaaspekte.	38
Abbildung 7. Art und Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Fallstudien.	40
Abbildung 8. Gesamtbiomasseerträge (A), Korn- bzw. Nusserträge (B) und land equivalent ratio (LER) bei Perlhirse und Erdnuss im Gemengeanbau (Verhältnis 1:1, d.h. 0,5 ha Anbaufläche pro ha) unter verschiedenen Trockenstress-Intensitäten (Bewässerungsregime).	43
Abbildung 9. Hurrikan Schäden bei gepaarten (agrarökologisch/konventionell) Betrieben in Nicaragua mit Mittelwerten der Schäden in Abhängigkeit von der Sturmstärke.	44
Abbildung 10. Mittelwerte des Korn- (grain) und Strohertrags (stover yield) bei verschiedenen Hirsesorten und deren Kreuzungen (crosses).	47
Abbildung 11. Verhältnis von Gerste zu Sonnenblume auf 12,5 km ² Flächen um a) die geringsten Einkommensschwankung und b) das beste Verhältnis Einkommen : Einkommensschwankung zu erreichen.	56
Abbildung 12. Mais- und Soja-Kornertrag in konventionellen (CNV), Leguminosen gedüngten (LEG) und mit Mist gedüngten (MNR) ökologischen Parzellen in einem Versuchsjahr mit extremer Witterung (Dürre + Starkregen).	61
Abbildung 13. Selbstversorgung mit Viehfutter auf konventionellen (C1-C4) und ökologischen (O1-O4) Betrieben im französischen Massif Central mit den Dürre Jahren 2003 und 2005.	63
Abbildung 14. Resilienz stärkende Maßnahmen auf verschiedenen räumlichen Ebenen.	69

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Beobachtete Temperatur- und Niederschlagstrends in Deutschland zwischen 1881-2000.	7
Tabelle 2. Relative Ertragsänderungen von Winterweizen in einzelnen Bundesländern, Naturräumen und Flusseinzugsgebieten in Deutschland ermittelt aus verschiedenen regionalen Klima-Impaktstudien mittels Modellberechnungen ohne Berücksichtigung des CO ₂ -Düngeeffektes sowie (in Klammern) mit CO ₂ Effekt.	16
Tabelle 3. Übersicht Agrobiodiversität.	20
Tabelle 4. Unterschiede zwischen landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsformen.	27
Tabelle 5. Mit Hilfe der Literaturrecherche gefundene Studien, die sich mit Agrobiodiversität und /oder Anpassung an den Klimawandel befassen.	98

Anhang

Aufstellung der Quellen mit Primärdaten zum Thema

Tabelle 5. Mit Hilfe der Literaturrecherche gefundene Studien, die sich mit Agrobiodiversität und /oder Anpassung an den Klimawandel befassen.

Legende: ganze Zeile grau hinterlegt: Studien, die sich vorwiegend auf technische Anpassung und Bewirtschaftungsmaßnahmen beschränken; nur Region grau hinterlegt: Studien, deren Daten in Ländern der EU oder unter ähnlichen landwirtschaftlichen Systemen erhoben wurden; Codierung der Wirkung der Biodiversität: + positiv; - negativ; (+) positiv aber nur in Kombination mit anderen Maßnahmen (Biodiversitätswirkung nicht isoliert untersucht); (-) analog, nur mit negativer Wirkung; ~ kein Effekt der Biodiversität gefunden oder Biodiversität nicht untersucht; (indirekt): Biodiversität wirkt nicht direkt auf Ertrag sondern auf anderen Faktor, welcher erst den Ertrag beeinflusst

Titel/Thema	Klimaaspekt	Region	System	Kernaussage	Wirkung Diversität	Quelle
Wasserversorgung in Trockengebiet verbessert	Nicht erwähnt	Maharashtra, India	Kleinbauern	Wassermanagement in Kombination mit Hausgärten und Dürre resistenter Hirse verbessert Gesamtsituation (Tabelle vorher-nachher)	(+)	2012 <i>Farming Matters</i> , 28
Befragung zu Ernteverlusten 2008-2010 und Gegenmaßnahmen	allgemein Klimawandel, Σ Temperaturanstieg, Überflutungen, reduzierter Niederschlag, trockene Wetterlage	Guinea Savannah of Kwara State, Nigeria	Kleinbauern, konventionell low input	Nur Maßnahmen angeführt – nicht deren Effekt; vorwiegend Bewirtschaftung, aber auch Spezialisierung (auf bewässerte Früchte) und früh reifende Varietäten	(-)	Abraham F., Bamidele F. S., Adebola A. J., Kobe I. H. 2012
Bewässerungsschema für Reis	Trockenheit	Talata Mafara, Nigeria	Feld-Experiment, Reisedüngt	Höchste Erträge bei Bewässerung mit 85% der verfügbaren Menge, alle 8 Tage	~	Abu S. T., Malgwi W. B. 2012
Reisertrag modelliert und validiert	Niederschlagsvariabilität (Einsetzen/Dauer Regenzeit)	West Afrika	Kleinbauern	(Modell funktioniert) Reis nicht so Niederschlags abhängig wie Mais, Sorghum, Hirse; standortangepasste Varietäten wählen – da gibt es Unterschiede	~	Adejuwon J. 2005
Befragung 2008 zu Anbaufrüchten und -techniken	allgemein – mehr heiße Tage, Niederschlagsvariabilität, Extremereignisse	Oyo State, Nigeria	Kleinbauern	Nur Maßnahmen angeführt, neben Mulchen + Saattermin auch Diversifizierung dabei (Gemenge, Boden-decker, Fruchtfolge geändert, andere Anbaufrüchte)	(+)	Adeola R. G., Kuponiyi F. A., Adebayo O. O. 2012

Titel/Thema	Klimaaspekt	Region	System	Kernaussage	Wirkung Diversität	Quelle
Befragung 2009 zu Wahrnehmung und Anpassung an den Klimawandel	Dürre, unregelmäßige Niederschläge	Mt Kenya, Uganda, Äthiopien, Kenia	Kleinbauern	Erwogene Maßnahmen: Bewässerung; Wassereinzugsgebiet verbessern; Bewirtschaftung/Sorten anpassen; Informationssysteme; Bodenverbesserung durch Düngung	~	Adimo, A. O., Njoroge, J. B., Claessens, L. und Wamocho, L. S. 2012
Befragung 2007 über vergangene Dekaden und Maßnahmen	allgemein Klimawandel und Variabilität	Ghana	Kleinbauern	Nur Maßnahmen angeführt – neuen neuen Aussaatterminen + Pestiziden Diversifizierung durch Hinzunahme von früh reifenden + Dürre resistenten Früchten/Varietäten	(+)	Adjei-Nsiah S., Issaka R.N., Fening J.O., Mapfumo P., Anchirina V., Giller K. E. 2010
Erhalt von Agrobiodiversität in Bauerngärten, Befragung und Aufnahmen	Nicht erwähnt	Oaxaca, Mexico	Kleinbauern mit Hausgärten und Kaffeeanbau	Hausgärten sind multifunktional – „Versicherungsfunktion“ durch die Daten aber nicht beweisbar	(+)	Aguiar-Støen M., Moe S., Camargo-Ricalde S. 2009
Gehalt von organischer Substanz im Boden gefördert durch Art der Düngung und Bodenbearbeitung	allgemein zunehmende Trockenheit	Mediterrane Gebiete, v.a. Mittelmeerraum	Vergleich konventionell mit alternativen (ökologisch, pfluglos, anderer Dünger)	V.a. externe ökologische Inputs, aber auch pfluglose Bodenbearbeitung und Zwischenfrüchte erhöhen C-Sequestrierung > höhere nFK	(+)	Aguilera, E., Lassaletta, L., Gattinger, A. und Gimeno, B. S. 2013
Befragung 2010 über Wahrnehmung Klimawandel und Maßnahmen	allgemein – spätere Regenzeit, weniger Niederschlag, höhere Temperaturen	Oyo State, Nigeria	Kleinbauern	Nur Maßnahmen angeführt: neue früh reifende/dürre resistente Früchte/Varietäten und Systemdiversifizierung – Fokus nun auf Tierproduktion und Agroforst mit Obstbäumen, dazu Bewirtschaftung angepasst (Nährstoffe, Erosion)	(+)	Ajao A.O., Ogunniyi L.T., Acquah H.D.G. 2011
Gemengeanbau Mais-Bohne oder Mais-Beikraut gegen <i>Spodoptera frugiperda</i>	Nicht erwähnt	Florida, Colombia N-Amerika	Feld-Experiment konventionell	Komplexität auf Feldebene vermindert Fraß Schäden	+	Altieri, M. A. 1980
Agroforstsystem beschreiben mit Mais und diversen Bäumen	Nicht erwähnt	Tlaxcala, Mexico	Kleinbauern	Bodenfruchtbarkeit in Nähe von Bäumen erhöht, Mais Schädling <i>Macroductylus</i> sp. seltener wenn Luzerne in der Nähe wuchs	+	Altieri, M. A. und Trujillo, J. 1987
Gemengeanbau oder erhöhte Unkrautdichte im Mais gegen <i>Spodoptera frugiperda</i> und <i>Heliothis zea</i>	Nicht erwähnt	Florida, USA	konventionell ohne Herbizide und Pestizide, z.T. mit mechanischer Unkrautbekämpfung	Schädlinge im Mais durch höhere Unkrautdichte oder in Gemenge mit Soja reduziert. Nützlichsdichten durch diverse perenne Randvegetation erhöht	+	Altieri, M. A. und Whitcomb, W. H. 1980.

Titel/Thema	Klimaaspekt	Region	System	Kernaussage	Wirkung Diversität	Quelle
Befragung 2010 über Wahrnehmung Klimawandel und Maßnahmen	Dürre, hohe Temperaturen, heftige Regenfälle, Stürme	Sunamganj Distrikt Bangladesch	Kleinbauern	Nur Maßnahmen angeführt: Diversifizierung der Anbaufrüchte, neue Anbaufrüchte, Entenzucht und Aquakultur dazu und Wassermanagement	(+)	Anik, S. I. und Khan, M. A. S. A. 2012
Befragung 2012 über Anfälligkeit gegenüber Extremen in stabiler und instabiler Agrarökoregion	Dürre	Ghana	Kleinbauern	u.a. Diversifizierung und Tierhaltung erhöhen die Resilienz - Hauptfaktoren sind aber finanzielles Kapital und externe Einkommensquellen	(+)	Antwi-Agyei, P., Dougill, A. J., Fraser, E. D. G. und Stringer, L. C. 2013
Entwicklungsprogramm für ökologischen Reisanbau 2008 mit Bewässerungssystemen und Diversifizierung der Anbaufrüchte	Ausbleiben der Niederschläge in Regenzeit	Provinz Yasothorn, Thailand	Kleinbauern	Besseres Wasser Management erhöht Reisproduktion im Trockenjahr 2008, aber auch Diversifizierung (neue Anbaufrüchte dazu) erhöht Ernährungssicherheit und bringt finanzielle Gewinne		Anuchiracheeva, S. und Pinkaew, T. 2010
Regeneration von Böden mit Hilfe von Agroforst	Nicht erwähnt	Kamerun	Kleinbauern, Agroforst	Agroforst bringt deutliche finanzielle Gewinne, Einkommens Verzehnfachung von 2 bis 5 Jahre nach Einführung	+	Asaah, E. K., Tchoundjeu, Z., Leakey, R. R. B., Takougang, B., Njong, J. und Edang, I. 2011
Befragung zu Zahl und Verwendung von Bohnen-Sorten und Anpassung des Bohnenanbaus an Dürre	Dürre	Äthiopien	Kleinbauern	Mischungen werden selten angebaut, aber die regionale Vielfalt der Sorten ist hoch, Bewässerung und resistente /früh reifende Sorten als Anpassung	+	Asfaw, A., Almekinders, C. J. M., Struik, P. C. und Blair, M. W. 2013
Befragung 2011 zu Wahrnehmung und Anpassung an Klimawandel	Dürre, höhere Temperatur, variable Niederschläge	Kwara State, Nigeria	Kleinbauern	Häufigste Maßnahme (signifikant am meisten): Anbaufrucht-Diversifizierung	+	Ayinde, O. E., Muchie, M., Maharajh, R., Ojo, V. und Ayinde, K. 2012
Vergleich der Erträge und Einkommen vor und nach Einführung agrarökologischer Anbauprinzipien	Nicht erwähnt	Philippinen	Kleinbauern konventionell vs. ökologisch	Landwirte mit ökologischem Anbau haben signifikant mehr Arten auf ihren Betrieben, eine höhere Ernährungssicherheit und höhere finanzielle Gewinne	(+)	Bachmann, L., Cruzada, E. und Wright, S. 2009

Titel/Thema	Klimaaspekt	Region	System	Kernaussage	Wirkung Diversität	Quelle
Befragung 2011 zu Anbau und Verwendung verschiedener Anbaufrüchte und Varietäten	Variable Niederschläge	Süd-West Äthiopien	Kleinbauern	Genetisch einheitliche, verbesserte Varietäten haben in schlechten Jahren die stärksten Verluste; 16 Anbaufrüchte in der Region mit vielen Varietäten sorgen für Resilienz (gg. klimatische Störungen und Schädlinge)	+	Balemie, K. 2011.
Befragung 2001 zu Risikominimierung	Variable Niederschläge	Semi-aride Tropen Indien	Kleinbauern	Ernteversicherungen und Anbaufrucht-Diversifizierung als häufigste Strategien	(+)	Bantilan, M. C. S. und Anupama, K. V. 2002.
Mengen und Preisrisiken untersucht sowie die Zweckmäßigkeit von Versicherungen	Niederschlagsvariabilität	Indien	Kleinbauern	Landwirte in benachteiligte Gebieten (hohe Niederschlagsvariabilität, schlechtere Böden) versichern sich selbst durch Diversifizierung, dort ist Mengenrisiko höher, in bevorzugten Regionen das Preisrisiko	+ , ~	Barah, B. C. und Binswanger, H. P. 1982
Vorschlag einer neuen Klassifikation für Agrarreionen um Klimangepasste Raumplanung zu fördern	Hitzewelle, Dürre	Adelaide, Australien	industrialisierte LW	Klimawandel ist nur eine von vielen Bedrohungen für LW, bessere Raumplanung benötigt für Anpassung	~	Bardsley, D. K. und Pech, P. 2012
Stabilität von Weizenträgen bei Diversifizierung der Sortenvielfalt pro Region/Bundesstaat	Variabilität über Jahre, Dürre	Kansas, USA	industrialisierte LW	Mit Mischungen oder Portfolios (Verschiedene Sorten pro Feld) können die Erträge stabilisiert und erhöht werden	+	Barkley, A., Peterson, H. H. und Shroyer, J. 2010
Biomasseerträge verschiedener Ökotypen europäischer Grasarten unter Hitze und Trockenstress	Hitze, Dürre	Bayreuth, Deutschland	Experiment, Grünland	Südliche Ökotypen sind nicht immer am besten angepasst (=am wenigsten Ertragsverlust), Variabilität zwischen Ökotypen kann größer sein als zwischen Arten > Mischung aus Ökotypen erhöht Resilienz	+	Beierkuhnlein, C., Thiel, D., Jentsch, A., Willner, E. und Kreyling, J. 2011
Befragung zu Wahrnehmung und Anpassung an Klimawandel	Hohe Temperaturen, weniger und variable Niederschläge	Nigeria	Kleinbauern	Nur Maßnahmen erwähnt: Agroforst, Diversifizierung der Anbaufrüchte, angepasste Sorten	(+)	Bello, M., Salau, E. S., Galadima, O. E. und Ali, I. 2013
Befragung zu Saatguterkenntnis bei Mais	Klimawandel allgemein	Mexiko	Kleinbauern	Wenn Saat gut vermehrt aus entfernteren Gemeinden angeschafft wird, besteht genug genetische Variabilität zur Anpassung; Landrassen werden laufend angepasst	+	Bellon, M. R., Hodson, D. und Hellin, J. 2011

Titel/Thema	Klimaaspekt	Region	System	Kernaussage	Wirkung Diversität	Quelle
Resilienz von Boden-Mikroben	Hitze und Trockenheit	Süd-Frankreich	Experiment	Je länger die Störung (Hitze und Trockenheit), desto geringer die Resilienz ; Diversität der Gesellschaften nicht untersucht	~	Bérard, A., Bouchet, T., Sévenier, G., Pablo, A. L. und Gros, R. 2011.
Natürliche Gegenspieler zur Kontrolle von Schadinsekten an Perlhirse	Nicht erwähnt	Sahel-Zone, Afrika	Vorher-Nachher Experiment, Kleinbauern	Biologische Schädlingskontrolle ist wirksam – assoziierte Biodiversität ist wichtig	+	Bhatnagar, V. S. 1987.
Befragungen 2001-2011 zu Wahrnehmung und Anpassungsstrategien	Dürre, unregelmäßige Niederschläge	Nepal	Kleinbauern	80% haben Agroforst oder Gemanbau eingeführt, zusätzlich mehr organische Düngung	(+)	Biggs, E. M., Tompkins, E. L., Allen, J., Moon, C. und Allen, R. 2013
Wertschätzung und Diversität von Hausgärten	Nicht erwähnt	Ungarn	Hausgärten für Eigengebrauch	Je strukturschwächer die Region, desto mehr Wertschätzung für Sorten/Artenvielfalt und integrierte LW	+, ~	Biroi, E., Smale, M. und Gyovai, A. 2006
Anwendung agrar-ökologischer Prinzipien in Projekt-Regionen	Taifun, Überschwemmung, Dürre	Äthiopien, Brasilien, Philippinen	Kleinbauern	Nur Maßnahmen erwähnt: neben Bodenverbesserung/Erosionsschutz verbessern strukturelle (Bäume), Sorten- und Artenvielfalt die Erträge und erhöhen Schutz vor Schädlingen	(+)	Björklund, J., Araya, H., Edwards, S., Gonçalves, A., Hook, K., Lundberg, J. und Medina, C. 2012
An Sommerdürre angepasste Bodenbearbeitung und Fruchtfolge	Sommerdürre	Brandenburg, Deutschland	ökologische Landwirtschaft	Abmilderung der Dürre durch Bodenverbesserung: mehr organische Substanz durch Leguminosen als Zwischenfrüchte und flaches Pflügen; angepasste Saattermine bei Mais und Weizen variieren verringert das Risiko	(+)	Bloch, R. und Bachinger, J. 2012, 2013.
Einfluss von Trockenjahren auf die Selbstversorgung mit Grünfütter in konventionellen und ökologischen Betrieben	Dürre	Frankreich, Massif Central	ökologisch und konventionell	Hier waren konventionelle Betriebe diverser (Fleisch und Milch, Gras und Mais) als die ökologischen (Milch, nur Gras) - deshalb hatten sie mehr Ausweichmöglichkeiten und eine schnellere Erholung nach dem Dürrejahr	+	Boisdon, I. und Capitaine, M. 2008

Titel/Thema	Klimaaspekt	Region	System	Kernaussage	Wirkung Diversität	Quelle
Befragung 2008 zu Wahrnehmung und Anpassung an den Klimawandel	Dürre, Überschwemmung	Mbire District, Zimbabwe	Kleinbauern	Maßnahmen beschrieben, v.a. technisch/Management, aber auch Gemengeanbau, Viehhaltung	(~)	Bola, G., Mabiza, C., Goldin, J., Kujinga, K., Nhapi, I., Makurira, H. und Mashauri, D. 2013
Projekt zur Domestizierung genutzter Wildpflanzen (Bäume)	Dürre	Botswana, Namibia	Kleinbauern	Verschiedene Obstbäume (asoziierte Biodiversität) werden genutzt (als Versicherung in Dürrejahren) und sollen domestiziert werden	+	Bonifacio, E. und Zanini, E. 1999
Analyse der Anzahl angebauter Feldfrüchte 1994-2000	Extreme in Theorie	Kanada	industrialisierte LW	Nur in trockenen Anbauregionen Diversifizierung, sonst Spezialisierung wegen zu hohem Aufwand (neue Maschinen/Wissen/Methoden)	+, -	Bradshaw, B., Dolan, H. und Smit, B. 2004
Meta-analyse zu Ertragssteigerung (Getreide) und C-Sequestrierung durch nachhaltige Bewirtschaftung	Nicht erwähnt	S-O Asien, Afrika südl. Sahara	Kleinbauern, konventionell und nachhaltig	Neben technischen Maßnahmen erhöht auch Agroforst den Getreideertrag um 81% (trockene Gebiete) bzw. 61% (feuchte Regionen)	+	Branca, G., Lipper, L., McCarthy, N. und Jolejole, M.C. 2013.
Befragung 2009-2010 zu Anpassungsstrategien und Modellierung der Mais Erträge	allgemein Klimawandel	Kenia	Kleinbauern	Kleine Gewinne durch Leguminosen in Fruchtfolge, aber Dünger und Wasser Management sind viel wichtiger	(+)	Bryan, E., Ringler, C., Okoba, B., Koo, J., Herrero, M. und Silvestri, S. 2013a und Bryan, E., Ringler, C., Okoba, B., Roncoli, C., Silvestri, S. und Herrero, M. 2013b
Befragung 2005 zu Wahrnehmung und Anpassungsstrategien	Höhere Temperaturen, Niederschlagsrückgang	Süd Afrika, Äthiopien	Kleinbauern	Nur Maßnahmen erwähnt: Eher Anpassung der Bewirtschaftung – Diversifizierung bei < 1% der Bauern	~	Bryan, E., Deressa, T. T., Gbetibouo, G. A. und Ringler, C. 2009.
Befragung zu Hausgärten 1999+2006/07	allgemein Klimawandel im Beobachtungszeitraum	Kuba	Hausgärten	Sind divers und erhöhen sozio-ökologische Resilienz	+	Buchmann, C. 2009.

Titel/Thema	Klimaaspekt	Region	System	Kernaussage	Wirkung Diversität	Quelle
Vergleich Ernteausfall Landrasse-Hochertragsorte Sorghum in Dürre-Jahr 2002/2003	Dürre	Äthiopien	Kleinbauern	In extremen Jahren ist Totalausfall bei Hochertragsorten wahrscheinlicher als bei angepassten Landrasen – deshalb haben Landwirte mit Hochertragsorten mehrere Sorten (auch Landrassen)	+	Cavatassi, R. 2010 und Cavatassi, R., Lipper, L. und Narloch, U. 2011
Finanzieller Gewinn durch Reisanbau bei althergebrachtem und nachhaltig intensiviertem Reisanbau	Nicht erwähnt	Gambia	Kleinbauern/Experiment	Durch Förderung der Bodenfauna (assoziierte Biodiversität) Einsparung von Dünger bei fast gleichen Erträgen maximiert Gewinnspanne	+	Ceesay, M. 2011
Wirkung von Bodendekern in Obstplantagen	jährliche Mikroklimavariabilität	China	Obstplantage/Experiment	Besseres Mikroklima und weniger Erosion durch diverse Bodendecker	+	Chen, X., Yang, Y. S. und Tang, J. J. 2004
Befragung zu Anpassungsstrategien	Dürre/Überschwemmung	Malawi	Kleinbauern	Nur Maßnahmen erwähnt: u.a. Anbau verschiedener Feldfrüchte als Versicherung (verschiedene Ernte-Zeiten)	(+)	Chidanti-Malunga, J. 2011
Befragung zu Wahrnehmung und Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel	Kürzere Regenzeit, Dürre	Oman	Kleinbauern	Nur Maßnahmen erwähnt: u.a. Diversifizierung der Anbaufrüchte und Einkommensquellen; dazu Bewirtschaftung und Sortenwahl angepasst	(+)	Choudri, B. S., Al-Busaidi, A. und Ahmed, M. 2013
Beschreibung des Betriebsystems der Halbnomaden in Eritrea	Variabilität der Niederschläge, Dürre	Eritrea	Nomaden, Kleinbauern	Drei Betriebszweige zur Risikostreuung, Weide, Acker und Wald; letzterer liefert auch in extremen Jahren noch Erträge	+	Connelly, S. und Wilson, N. 2001
Kartoffel-Hungersnot in Irland wegen Phytophthora	Feuchte Witterung	Irland, EU	Kleinbauern	Monokulturen einer Sorte begünstigen Schädlingsexplosionen, Pestizide werden bald wirkungslos	+	Corves, C. 2009
Vergleich Ernährungssicherheit 2006/7 mit 2010/11	Nicht erwähnt	Timor-Leste	Kleinbauern	Nur Maßnahmen erwähnt: Anbau von Knollenfrüchten zusätzlich zu Mais und Reis als Überbrückung bis zur Erntezeit und Nutzung von Wildpflanzen	+	da Costa, M. d J., Lopes, M., Ximenes, A., Ferreira, A. d R., Spycykerelle, L., Williams, R., Nesbitt, H. und Erskine, W. 2013

Titel/Thema	Klimaaspekt	Region	System	Kernaussage	Wirkung Diversität	Quelle
Vergleich verschiedener Mais Anbausysteme in einem Extrem-Jahr	Starkregen, Überschwemmung	Brasilien	Kleimbauern, konventionell und nach agrarökologischen Prinzipien	Ertragsrückgang um 50% und finanzielle Einbußen (konventionell) vs 20% Rückgang und Gewinn trotz der Dürre (agrarökologisch), reiner Ertrag in beiden Systemen vergleichbar	(+)	de Almeida da Silva, E., Petersen, P. und Júnior Pereira, F. 2009
Sektorale Anpassungsstrategien abgefragt	allgemein Klimawandel	Niederlande	industrialisierte LW	Anpassung in LW eher nachrangig, wenn, dann Wassermanagement verbessern und neue Sorten wählen	~	de Bruin, K., Dellink, R. B., Ruijs, A., Bolwitt, L., Buuren, A., Graveland, J., Groot, R. S., Kuikman, P. J., Reinhard, S., Roetter, R. P., Tassone, V. C., Verhagen, A. und Ierland, E. C. 2009.
Befragung zu Wahrnehmung und Anpassung an den Klimawandel und Bereitschaft, für Klimapolitik zu zahlen	Variabilität und Abnahme der Niederschläge	Ghana	Kleimbauern	Nur Maßnahmen erwähnt: Management angepasst (Bewässerung, Aussaatdaten) aber auch Nutzung verschiedener Sorten und Baumpflanzung	(+)	de-Graff Acquah, H. 2011 und de-Graff Acquah, H. und Onumah, E. E. 2011.
Vergleich Kaffeeanbausysteme Agroforst – volle Sonne	Temperaturanstieg/ -extreme	Brasilien	konventionell, z.T. Kleimbauern	Mikroklima im Agroforst optimal für Kaffee, z.T. auch Boden verbessert	+ (indirekt)	de Souza, H. N., de Goede, R. G. M., Brussaard, L., Cardoso, I. M., Duarte, E. M. G., Fernandes, R. B. A., Gomes, L. C. und Pulleman, M. M. 2012.
Befragung zu indigenen Anpassungsmaßnahmen	Dürre	Ghana	Kleimbauern	Nur Maßnahmen erwähnt: u.a. verschiedenste einheimische Sorten und gestaffelte Pflanztermine erhöhen Resilienz	(+)	Derbile, E. K. 2013.
Produktionseffizienz im Klimawandel untersucht	Klimawandel allgemein	Äthiopien	Kleimbauern	Klima spielt untergeordnete Rolle, Technisierung erhöht Effizienz	~	Deressa, T. T. 2011

Titel/Thema	Klimaaspekt	Region	System	Kernaussage	Wirkung Diversität	Quelle
Befragung 2004/2005 zu Wahrnehmung und Anpassung an Klimawandel	Höhere Temperaturen, weniger Niederschlag	Äthiopien	Kleinbauern	Nur Maßnahmen erwähnt: u.a. Baumpflanzungen und Erhöhung der Sortenvielfalt als Anpassung	(+)	Deressa, T. T., Hassan, R. M. und Ringler, C. 2011. Deressa, T. T., Hassan, R. M., Ringler, C., Alemu, T. und Yesuf, M. 2009
Vergleich Weizen-Monokultur mit Triticale-Sorten	Dürre	Indien	Experiment	Bei Dürre bringt Triticale mehr Ertrag (sonst gleich viel) > Gemenge-Anbau Weizen-Triticale empfohlen	+	Dhindsa, G. S. und Singh, J. 1996
Zusammenhang genetische Diversität Weizen mit mittlerem Einkommen und Ertragsschwankungen 1970-1993	Nicht erwähnt, jährliche Schwankungen	Süd-Italien	Mäßig industrialisierte Landwirtschaft	Genetische Diversität erhöht mittleres Einkommen und senkt Ertragsvariabilität	+	Di Falco, S. und Perings, Ch. 2003. & Di Falco, S. und Chavas, J.-P. 2008
Einfluss von Subventionen auf Getreide Diversität in instabiler Umwelt	jährliche Variabilität	Süd-Italien	Mäßig industrialisierte Landwirtschaft	Sowohl Diversifizierung als auch Subventionen stabilisieren finanzielle Erträge. bei zu hohen Subventionen erfolgt aber eine Spezialisierung	+,-	Di Falco, S. und Perings, C. 2005.
Modellierung des Einkommens in Abhängigkeit von erfragten Anpassungsstrategien	Klimawandel allgemein	Nil-Becken, Äthiopien	Kleinbauern	Erhöhtes Einkommen durch Kombination von mindestens zwei Strategien aus dem Bereich Boden konservierende Maßnahmen, neue Sorten, Bewässerung	~	Di Falco, S. und Veronesi, M. 2013
Beschreibung der Anpassungsstrategien zu El Niño Perioden in den Jahren 500-1500	Überschwemmung, Dürre, El Niño	Anden, Peru	Kleinbauern	Vor allem ausgedehnte, schnell zu reparierende Bewässerungssysteme erhöhen Flexibilität, ebenso schneller Wechsel zwischen Feldfrüchten, ggf. Fokus auf Weide oder Meeressalzwasser zur Versorgung	(+)	Dillehay, T. D. und Kolata, A. L. 2004.
Befragung 1998 und 2006 zu Wahrnehmung und Anpassung an Klimawandel	Niederschlagsvariabilität, spätere Regenzeit	Benin	Kleinbauern	Nur Maßnahme erwähnt: Agroforst-Systeme eingeführt	+	Dossou, K. und Glehouenou, B. 2009.
Modellierung Klimawandel in pastoralen Systemen	Geringere Niederschläge	Botswana	Kleinbauern, Hirten	Biodiversität nicht erwähnt, v.a. gesellschaftlich-politische Maßnahmen und zeitliches Management wichtig	~	Dougill, A. J., Fraser, E. D. G. und Reed, M. S. 2010

Titel/Thema	Klimaaspekt	Region	System	Kernaussage	Wirkung Diversität	Quelle
Vulnerabilitätsanalyse Globalisierung, Liberalisierung der Märkte, Klimawandel 1999	Spätfrost, Dürre, Überschwemmung	Mexiko	Kleinbauern	Ökonomische Unsicherheit übertrifft Klimaschwankungen, aber Diversifizierung (Vieh + drei statt einer Anbaufrucht) reduziert Ernteverluste (28% vs. 68-86%)	+	Eakin, H. 2005.
Befragung 2003 Kaffeeproduktion/Soja-Anbau	allgemein Klimawandel	Mexiko, Argentinien	Kleinbauern	Kurzfristige Gewinnmöglichkeiten (durch Preispolitik, Förderung...) fördern Monokultur trotz Wetterbedingter Risiken	-	Eakin, H. C. und Wehbe, M. B. 2009
Modellierung von Kartoffel und Maiserträgen mit und ohne Anpassungsmaßnahmen	Niederschlagsvariabilität	Sikasso Region, Mali	Kleinbauern	Bewässerung und Verwendung angepasster Sorten (frühe Abreife) verhindern zukünftige Ertragsverluste	~	Ebi, K. L., Padgham, J., Doumbia, M., Kergna, A., Smith, J., Butt, T. und McCarl, B. 2011
Mykorrhiza-, Wasser- und Nährstoffverteilung im mediterranen Chaparral	Dürre	Kalifornien, USA	Chaparral	Nährstoff und Wasserverteilung im Boden sind mit Auftreten von Mykorrhiza korreliert, letztere könnten die Dürretoleranz der Vegetation erhöhen	+ (indirekt)	Egerton-Warburton, L. M., Graham, R. C. und Hubbert, K. R. 2003
Einführung von konservierender Bodenbearbeitung in Zimbabwe 2003/04, 2005/06 Erträge verglichen	Nicht erwähnt, Dürrejahr	Zimbabwe	Kleinbauern	Konservierende Bodenbearbeitung sichert Erträge auch im Dürrejahr 2004/05, Maiseerträge verfünffacht, Wirkung von Bodenbearbeitung/Mulchen und Agrobiodiversität (Rotationen und mehr Bodenlebewesen) schwer zu trennen	~, (+)	Fanelli, C. W. und Dumba, L. 2006.

Titel/Thema	Klimaaspekt	Region	System	Kernaussage	Wirkung Diversität	Quelle
Versuche zu Pilzresistenz im Getreide in Mischungen	Nicht erwähnt	Europa, Schweden (SE), Großbritannien (GB), Polen (PL)	Experiment	SE: Sortenmischung bringt gleichen Ertrag wie Fungizid behandelte Gerste; GB: in Mischungen signifikant weniger Pilzbefall; PL: Gerste Sortenmischungen und Gemengenanbau (Gerste/Weizen/Hafer) hat meist über 50% weniger Pilzbefall und höhere und stabilere Erträge – auch in verschiedenen Umwelten; PL: Winterweizen gleiche und höhere Erträge in Mischungen, signifikant weniger Pilzbefall; PL: im Gemengenanbau (Weizen/Gerste/Hafer) annähernd gleiche Erträge, aber stabiler in verschiedenen Umwelten; PL: Futter- und Braugerste Sortenmischungen drei Sorten gemischt haben weniger Pilzbefall und mehr Ertrag als zwei Sorten gemischt, aber n.s. besser als Monokultur	+	Finck, M. R., Limpert, E. und Wolfe, M. S. 1996
Interaktionen zwischen Anbaubedingungen, Pilzbefall, Backqualität und Mykotoxinbelastung in der ökologischen Weizenproduktion	Nicht erwähnt, Dürrejahr 2003 als Versuchsjahr > kaum Krankheiten	Deutschland	Experiment auf ausgesuchten Höfen	Sortenmischungen Weizen bringen stabilere Erträge (über verschiedene Standorte) und sind z.T. besser aber mindestens von gleicher Qualität	+	Finck, M. R., Schulze-Schilddorf, G., Butz, A., Greiner, L., Knappe, Ch., Lützkendorf, K. und Rabenstein, F. 2003
Befragung 2009 zu Wahrnehmung und Anpassung an den Klimawandel	Höhere Temperatur, weniger Niederschlag	Ghana	Kleinbauern	Nur Maßnahmen angeführt: Hauptanpassungsstrategie (16%) Diversifizierung der Feldfrüchte (55% gar nicht angepasst)	(+)	Fosu-Mensah, B. Y., Vlek, P. L. G. und MacCarthy, D. S. 2012
Befragung 1998 und 2002 zur Betriebsstruktur im Obst- und Gemüsebau nach Wegfall von Subventionen	Nicht erwähnt	British Columbia, Kanada	Industrialisierte Landwirtschaft	Nach Einbruch der Gewinne wurden die Früchte für die verarbeitende Industrie diversifiziert, die für den lokalen Markt blieben unverändert	+	Fraser, E. D. G. 2006

Titel/Thema	Klimaaspekt	Region	System	Kernaussage	Wirkung Diversität	Quelle
Vergleich der Ursachen vergangener Hungersnöte	Extremereignisse	Irland, Süd-Ost Asien, Äthiopien	Kleinbauern	Zu starke Spezialisierung (eine Kartoffelsorte in Irland, großflächiger Zuckerrohranbau Philippinen) verschärft Hungersnöte; Lebensumstände aber nur gefährdet, wenn keine Ausweichmöglichkeit und keine institutionelle Unterstützung erhältlich	(+)	Fraser, E. D. G. 2007
Befragung zu Anpassung an Dürre	Dürre	Bangladesch	Kleinbauern	Nur Resilienz-Typen (sozio-ökonomisch/institutionell/physisch) untersucht, nicht deren genaue Gründe	~	Habiba, U. und Shaw, R. 2013
Befragung zu Wahrnehmung und Anpassung an Klimawandel	Dürre, Überschwemmung, Hitze	Zambia	Kleinbauern, Fischer	Nur Maßnahmen erwähnt: Anpassung meist über Management und Nutzung der Biodiversität in der Landschaft (wilde Früchte & Bienen)	(+)	Hachileka, E. 2010
Verknüpfung von Agrobiodiversität mit Ertrag und Bodenerosion, Vergleich 2000/2005	Nicht erwähnt	Äthiopien	Kleinbauern	Höhere Anbaufruchtvielfalt und Anzahl von Bäumen in Landschaft senkt Bodenerosion und erhöht kalorischen Ertrag	+	Hadgu, K. M., Rossing, W. A. H., Kooistra, L. und Bruggen, A. H. C. 2009.
Vergleich des Auftretens von Phytophthora in Kartoffeln in Abhängigkeit vom Zeitraum (1933-62 vs. 1998-2000) u. Fruchtfolge	Graduelle Erwärmung	Finnland	Konventionelle und ökologische Landwirtschaft	Wegen Erwärmung speziell ab 1998 früheres Auftreten der Krankheit (→ schon weit vor der Ernte sämtliche Blätter befallen); zudem gefördert durch Verzicht auf Fruchtfolgegenwechsel	+	Hannukkala, A. O., Kaukoranta, T., Lehtinen, A. und Raikonen, A. 2007
Beschreibung der Resilienz der Hausgärten nach dem Tsunami 2004	Tsunami	Sri Lanka	Hausgärten	Neben Diversifizierung der Einkommensquellen (um neue Saat zu kaufen) war die Anwesenheit von Bäumen und Sträuchern in den Gärten von Vorteil	+	Harvey, M. und Wijewardane, S. 2008
Befragung von Haushalten und Vulnerabilitätsanalyse, gefolgt von Anpassungsvorschlägen	Klimawandel allgemein	11 Länder Afrikas	Kleinbauern	Nur technische Anpassung (Bewässerung, neue Sorten) vorgeschlagen	~	Hassan, R. M. 2010

Titel/Thema	Klimaaspekt	Region	System	Kernaussage	Wirkung Diversität	Quelle
Befragung zu Dürreerfahrungen und Risikomanagement im Weizenanbau	Dürre	New South Wales, Australien	konventionelle Landwirtschaft	Nur Maßnahmen angeführt: Vor allem ökonomische und soziale Absicherung (Versicherungen), aber auch Futterproduktion als „Versicherung“	(+)	Head, L., Atchison, J., Gates, A. und Muir, P. 2011.
Ertragsschwankungen Mais/Raps/Weizen USA-Europa im Vergleich in Abhängigkeit von genetischen Diversität	jährliche Schwankungen	USA, Kanada, Europa	konventionelle Landwirtschaft	In USA und Kanada steigen die Erträge weniger schnell an und schwanken mehr. Grund: verstärktes Monopol bei Saatgutfirmen → geringere genetische Variabilität	+	Heinemann, J. A., Massaro, M., Coray, D. S., Agapito-Tenfen, S. Z. und Wen, J. D. 2013
Vergleich konventioneller und nachhaltiger Betriebe nach Hurrikan Mitch 1998	Hurrikan	Nicaragua	Kleinbauern	Agrarökologische Betriebe haben weniger Erosion, mehr Oberboden und geringere finanzielle Verluste als konventionelle – wenn Hangneigung und Sturm nicht zu extrem	+	Holt-Gimenez, E. 2001., Holt-Gimenez, E. 2002
Befragung zu Wahrnehmung und Anpassung an Klimawandel	Klimawandel allgemein	Nigeria	Kleinbauern	Nur Maßnahmen angeführt: Neben Anpassung des Aussaatzeitpunkts war Mulchen und Anbau von Zwischenfrüchten die häufigste Anpassung	(+)	Idrisa, Y. L., Ogunbameru, B. O., Ibrahim, A. A. und Bawa, D. B. 2012.

Titel/Thema	Klimaaspekt	Region	System	Kernaussage	Wirkung Diversität	Quelle
Anpassungs- und Mindeststrategien für Kalifornien – Vorschläge nach Modellierung	Klimawandel allgemein, Risiken erwähnt	Kalifornien, USA	konventionell	Vorschlag: Erhöhung der Agrobiodiversität als ein Teil der Anpassung, vor allem bei Gemüse und Obstanbau	(+)	Jackson, L. E., Santos-Martin, F., Hollander, A. D., Horwath, W. R., Howitt, R. E., Kramer, J.B., O'Geen, A. T., Orlove, B. S., Six, J.W., Sokolow, S. K., Sumner, D. A., Tomich, T. P. und Wheeler, S. M. 2009. Und: Jackson, L. E., Wheeler, S. M., Hollander, A. D., O'Geen, A. T., Orlove, B. S., Six, J., Sumner, D. A., Santos-Martin, F., Kramer, J. B., Horwath, W. R., Howitt, R. E. und Tomich, T. P. 2011
Wirkung von Extremereignissen auf Produktivität im Grünland	Dürre	Deutschland	Ansaat-Experiment Grünland	Kein Ertragsabfall (weder unter noch oberirdisch), biodiversitätsunabhängig	~	Jentsch, A., Kreyling, J., Elmer, M., Gellesch, E., Glaser, B., Grant, K., Hein, R., Lara, M., Mirzae, H., Nädler, S. E., Nagy, L., Otieno, D., Pritsch, K., Räscher, U., Schaedler, M., Schloter, M., Singh, B. K., Stadler, J., Walter, J., Weilecke, J. und Beierkuhnlein, C. 2011
Trockenstress-Experiment im landwirtschaftlichen Grünland	Dürre	Thüringen, Deutschland	Feld-Experiment, Grünland	Oberirdischer Ertragsabfall biodiversitätsunabhängig, unterirdisch Biomassezuwachs bei höherer Diversität	~, +	Kahmen, A., Perner, J. und Buchmann, N. 2005

Titel/Thema	Klimaaspekt	Region	System	Kernaussage	Wirkung Diversität	Quelle
Befragung von Landwirten (integriert, Obstbau) zu bereits durchgeführten Anpassungsmaßnahmen	Extreme (Dürre, Starkregen)	Neuseeland	konventionell mit Viehhaltung	Nur Maßnahmen genannt: Nebenbewässerung werden Bäume gepflanzt, Fruchtfolgen diversifiziert, Weiden diversifiziert und Bodenbearbeitung angepasst	(+)	Kenny, G. 2011
Push-Pull-Anbausystem (Gemengeanbau) für Mais und Sorghum	Nicht erwähnt (indirekt Dürre)	Kenia	Kleinbauern	Ertragsverdreifachung in gesamter Region durch Minimierung der Schädlingsverluste und verbesserte Bodeneigenschaften	+	Khan, Z., Midega, C., Pittchar, J., Pickett, J. und Bruce, T. 2011
Zustandserhebung: genutzte Pflanzen und Techniken zum Wasser Sparen	Trockenheit	Nepal	Kleinbauern, low input	Nur Maßnahmen genannt: Neben bestimmter Bodenbearbeitung sichern Agroforst, Gemengeanbau und Fruchtfolge mit N-Fixierern und Nutzung von Wildpflanzen die Ernährung	(+)	Khatiwada, B. P., Ghimire, R., Adhikari, R. und Osti, S. 2012
Modellierung Ertrag, N-Verluste, Erosion unter Klimawandel mit verschiedenen Management Optionen	allgemein Klimawandel	Schweiz	Modellierung, konventionell, z.T. konservierend	Fruchtfolge muss angepasst, nicht notwendigerweise diversifiziert werden um Erträge zu halten	~	Klein, T., Holzkämper, A., Calanca, P. und Fuhrer, J. 2013
Befragung 1999-2007 zu Wahrnehmung und Anpassung an Dürre	Dürre	USA	Nachhaltige integrierte Landwirtschaft	Nur Maßnahmen angeführt: Bodenverbesserung durch Gründüngung/Kompost, Mais durch Hirse, Hafer, Sorghum, Sonnenblumen ersetzt, wenig Bodenbearbeitung, Weidemanagement anpassen	(+)	Knutson, C. L., Haigh, T., Hayes, M. J., Widhalm, M., Nothwehr, J., Kleinschmidt, M. und Graf, L. 2011
Modellierung von Weizen-, Mais-, Hirseerträgen in verschiedenen Fruchtfolgen unter variabler Bewirtschaftung	allgemein Klimawandel	USA	konventionell	Bodenbearbeitung hat Einfluss auf Ertrag, Fruchtfolge (drei vs. eine Anbaufrucht) nicht	~	Ko, J. H., Ahuja, L. R., Saseendran, S. A., Green, T. R., Ma, L. W., Nielsen, D. C. und Walthall, C. L. 2012.
Invasion fremder Arten in Grasland nach extremen Wetterereignissen	Dürre, Starkregen	Bayreuth, Deutschland	Ansaat-Experiment Grünland und Heide	Höhere Biodiversität und Dürre hemmen invasive Arten, Starkregen fördert sie	+	Kreyling, J., Beierkuhnlein, C., Ellis, L. und Jentsch, A. 2008

Titel/Thema	Klimaaspekt	Region	System	Kernaussage	Wirkung Diversität	Quelle
Einfluss von Extremereignissen auf Bodenprozesse in Abhängigkeit von oberirdischer Biodiversität	Dürre, Starkregen	Bayreuth, Deutschland	Ansaat-Experiment Grünland und Heide	Bodenprozesse und unterirdische Biomasse durch Starkregen gefördert, durch Dürre nicht beeinflusst, Biodiversität hat keinen Einfluss	~	Kreyling, J., Beierkuhnlein, C., Elmer, M., Pritsch, K., Radovski, M., Schloter, M., Woellecke, J. und Jentsch, A. 2008
Einfluss von Extremereignissen auf Grünland und Heidegesellschaften	Dürre, Starkregen	Bayreuth, Deutschland	Ansaat-Experiment Grünland und Heide	Biomasseproduktion durch Extreme nicht verringert, abgestorbene Biomasse im Grünland in komplexer Grasnarbe geringer	~, +	Kreyling, J., Wenigmann, M., Beierkuhnlein, C. und Jentsch, A. 2008.
Biodiesel-Produktion für Kleinbauern	Dürre	Brasilien	Kleinbauern	Einbringung der (meist) Dürre resistenten Ölsaaten in die diverse Fruchtfolge erhöht Einkommenssicherheit	+	La Rovere, E. L., Avzaradel, A. C. und Monteiro, J. M. G. 2009
Befragung 2011 zu Wahrnehmung, Anpassung und Anpassungskapazität von Winzern an Klimawandel	allgemein Klimawandel	Frankreich, Australien	Weinbau, konventionell	Bewässerung und neue Varietäten als Kurzeitanpassung, Diversifizierung (Sorten, Traubenverkauf, Absatzmärkte) als Langzeit-Strategie	(+)	Lereboullet, A.-L., Beltrando, G. und Bardsley, D. K. 2013
Diversifizierung von drei Mais-Anbausystemen zur Steigerung aller Ökosystemdienstleistungen	Nicht erwähnt, nur Teilaspekt Wasser/Erosion	Iowa, USA	konventionell	Weniger Dünger/Pestizide gebraucht, bessere Wasserspeicherung und weniger Erosion bei gleichen Erträgen	+	Liebman, M., Helmers, M. J., Schulte, L. A. und Chase, C. A. 2013
Evapotranspiration und Bodenwassergehalt in Kaffeeplantagen mit unterschiedlicher Beschattung	Wasserknappheit, Trockenheit	Chiapas, Mexico	Kaffeeplantage	Je mehr Schatten (durch verschiedene Bäume) desto weniger Austrocknung und mehr Niederschlags-speicherung	+ (indirekt)	Lin, B. B. und Richards, P. L. 2007 ; Lin, B. B. 2010
Beobachtung von Extremereignissen 1999 in konventionell und ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeldern	Dürre, Starkregen	Pennsylvania, USA	Feld-Experiment	Sowohl bei Dürre als auch bei Starkregen brachten die ökologisch bewirtschafteten Flächen (diverse Fruchtfolge) bei Mais (außer die mit Leguminosen-Düngung) und Soja höhere Erträge	+, ~	Lotter, D. W., Seidel, R. und Liebhardt, W. 2003
Umwandlung von konventionellen in organische Betriebe, Vergleich vorher-nachher	Nicht Hauptthema, aber Dürre erwähnt	Karnataka, Indien	Kleinbauern	Nach Umstellung höhere Erträge und geringere Abhängigkeit von externen Inputs	(+)	Lukas, M. und Cahm, M. 2008

Titel/Thema	Klimaaspekt	Region	System	Kernaussage	Wirkung Diversität	Quelle
Befragung zu Anpassung an Überschwemmung	Überschwemmung	Assam-Ebene, Indien	Kleimbauern	Diversifizierung der Anbaufrüchte wurde als Anpassung gewählt und erhöht Einkommen	+	Mandal, R. und Bebaruah, M. P. 2013
Ursachen der Verwundbarkeit der Landwirtschaft in Portugal – sozial-ökonomisch, politisch oder durch Klimawandel?	Dürre	Alentejo, Portugal	Traditionelle Landwirtschaft, konventioneller Olivenanbau	Je mehr der Olivenanbau gefördert wird, desto geringer wird der Anteil traditioneller LW und desto größer die Dürreanfälligkeit	+	Máñez Costa, M. A., Moors, E. J. und Fraiser, E. D. G. 2011
Befragung zum Management verschiedener Risikoquellen und Gewichtung derselben	jährliche Variabilität	Neuseeland	konventionelle Schaf- und Rinderhaltung	64% der befragten Landwirte kombinieren Diversifizierung (angebaute Sorten, Art der Tiere, verschiedene Abnahmestellen) mit einer oder mehr weiteren Risikomanagement Maßnahmen	(+)	Martin, S. und McLeay, F. 1998
Befragung zu Wahrnehmung und Anpassung an Klimawandel	Dürre, Niederschlagsvariabilität	Äthiopien	Kleimbauern	Nur Maßnahmen genannt: neue Varietäten und besseres Wassermanagement/Bewässerung	~	Mengistu, D. K. 2011
Befragung zu Wahrnehmung und Anpassung an Klimawandel	Wind, Starkregen, Niederschlagsvariabilität	Senegal	Kleimbauern	Diversifizierung der Anbaufrüchte, Migration, externe Einkommensquellen als Anpassung	+	Mertz, O., Mbow, C., Reenberg, A. und Diouf, A. 2009
172 Fallstudien zu Agrobiodiversität und Resilienz ausgewertet	Dürre, Flut, Niederschlagsvariabilität	Weitweit Tropen und Subtropen	Kleimbauern	Resilienz in etwa gleichen Teilen erhöht durch Landschafts-Restoration (Wassereinzugsgebiete, Aufforstung), Diversifizierung (Agro-Forst, Anbaufrüchte), Management-Anpassung (Bodenbearbeitung, Saat-Termine, Bewässerung), Züchtung und Verbreitung resistenter Sorten	(+)	Mijatovic, D., Van Oudenhoven, F., Eyzaguirre, P. und Hodgkin, T. 2013
Fruchtfolge "Nicht-Getreide"/Getreide und Getreide/Getreide untersucht	Dürre	Great Plains USA	Experiment, konventionell, pfluglos	Bei normaler Witterung sorgt Nicht-Getreide Vorfrucht für leicht höhere Getreideerträge, in Trockenjahren jedoch für geringere. Alle Erträge sind standort- und witterungsabhängig, Diversifizierung auf Betriebsebene sorgt folglich für Risikominimierung	+,-	Miller, P. R. und Holmes, J. A. 2005

Titel/Thema	Klimaaspekt	Region	System	Kernaussage	Wirkung Diversität	Quelle
Beschreibung der Nah- rungsmittel Verfügbarkeit während einer Dürre	Dürre 1997-98	Papua Neuguinea	Kleinbauern, Hausgärten	Die Gemeinschaft mit mehr Anbau- früchten und mehr Sorten erholte sich schneller, während die andere auf staatliche Reislieferung ange- wiesen war	+	Mogina, J. 1999
Befragung 2005 zu Anpas- sungsstrategien an Klima- variabilität	Dürre, variable Nieder- schläge	Kamerun	Kleinbauern	Nur Maßnahmen genannt: Diversi- fizierung eher bei geringerem Risiko (mehr Niederschlag), in trockenen Gebieten Anpassung des Manage- ments und Dürre tolerante Sorten	+, ~	Molua, E. L. 2011
Befragung zur Nutzung von Klima-Vorhersagen zur Risikominimierung	Niederschlagsvariabilität	Südafrika	Kleinbauern	Nur Maßnahmen erwähnt: Neben technischen Vorhersagen werden auch traditionelle Vorhersage- methoden (z.B. Wolkenbeobachtung) und als weitere Risikominimierung Anbaufrucht Diversifizierung ge- nutzt	(+)	Mpandeli, S. und Maponya, P. 2013.
Modellierung von Frucht- folgen und integriertem Anbau	Dürre	Indien	Kleinbauern	Aktuelle Fruchtfolgen können noch optimiert werden; je mehr externe Inputs (Geld, Ochsenarbeit), desto höher, aber auch instabiler werden die Erträge; integrierter Anbau wirkt dem entgegen	+	Murthyunajaya und Sirohi, A. S. 1979
Krankheitsanfälligkeit in gemischten Bohnen- Bananenplantagen	Nicht erwähnt (höchs- tens sekundär, falls Witterung Schädlinge begünstigt)	Uganda	Kleinbauern	Lokale Varietäten und Anbau ver- schiedener Varietäten zusammen mit Bohnen senken den Schäd- lingsbefall bei je drei artspezifi- schen Schädlingen	+	Mulumba, J. W., Nankya, R., Adoko- rach, J., Kiwuka, C., Fadda, C., De Santis, P. und Jarvis, D. I. 2012
Befragung zu ex-ante An- passungsstrategien an Dürre	Dürre	Äthiopien	Kleinbauern	Nur Maßnahmen genannt: Vor- allem Sortenwahl (Pflanze und Tier) und Bewässerungs-Management, aber auch Gemein角度bau	(+)	Murendo, C., Keil, A. und Zeller, M. 2011
Modellierung der Frucht- wahl gesteuert durch CAP- Subventionen und Risiko Vermeidung	Nicht erwähnt, Risiko allgemein	Griechenland	ökologisch	Durch Erhöhung der externen Inputs (CAP-Subvention), Erhöhung der finanziellen Gewinne und auch der Variabilität > mehr Anbaufrüch- te sorgen für Stabilität	+	Nastis, S. A., Michaili- dis, A. und Mattas, K. 2013

Titel/Thema	Klimaaspekt	Region	System	Kernaussage	Wirkung Diversität	Quelle
Trockenstress im Gemengeanbau Hirse-Erdnuss und Sorghum-Hirse verglichen mit Monokultur	Dürre	Indien	Feld-Experiment	Im Gemenge bis zu 30% mehr Biomasse (kein Trockenstress) und bis zu 93% mehr Kornertrag bei Dürre	+	Natarajan, M. und Willey, R. W. 1986
Befragung zu Wahrnehmung und Anpassung an Klimawandel	Dürre, Flut, Raureif	Vietnam	Agroforst, Kleinbauern Regenfeldanbau, Hausgärten	Nur Maßnahmen genannt: Assoziierte Biodiversität (Wald) als Puffer, über 50% der Bauern baut zusätzlich zu Reis Tee an, über 71% Obst- und Holz liefernde Bäume, Viehhaltung ist resilienter gegen Dürre als Reis	+	Nguyen, Q., Hoang, M.H., Öborn, I. und Noordwijk, M. 2013
Befragung 2008/09 zu Wahrnehmung und Anpassung an Klimawandel	Niederschlagsvariabilität, mehr Überschwemmung	Nigeria	Kleinbauern	Nur Maßnahmen genannt: Fast 40% passen sich nicht an, Hauptstrategien Baumpflanzung (21%) und Bodenkonservierung	~	Ofuoku, A. U. 2011
Befragung 2010/11 zu Wahrnehmung und Anpassung an den Klimawandel	Größere Variabilität, Dürre	Laikipia District, Kenia	Kleinbauern	Nur Maßnahmen genannt: u.a. Diversifizierung der Sorten, Anpflanzung von Bäumen, Gemengeanbau, Verkauf von Vieh und Abwanderung als Lösungsstrategien	+	Ogalleh, S. A., Vogl, C. R., Eitzinger, J. und Hauser, M. 2012
Befragung zu Wahrnehmung und Anpassung an den Klimawandel	Dürre, Überschwemmung	Uganda	Kleinbauern, Süßkartoffeln	Nur Maßnahmen genannt: Neben technischen und Bewirtschaftungsänderung Baumpflanzungen und trockenresistente Varietäten als Anpassung	(+)	Okonya, J. S., Syndikus, K. und Kroschel, J. 2013
Befragung von Agrarexperten zu Wahrnehmung und Anpassung an Klimawandel in der EU	Klimawandel allgemein	Europa	industrialisierte Landwirtschaft	Keine Diversifizierung als Strategie nur Ersetzen von Sorten/Früchten und Bewirtschaftung (v.a. Wasser sparen) ändern – Extreme müssen mehr erforscht werden	~	Olesen, J. E., Trnka, M., Kersebaum, K. C., Skjelvåg, A. O., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., Rossi, F., Kozyra, J. und Micale, F. 2011.
Theoretisches Modell zur nachhaltigen Intensivierung bei Erhaltung/Erhöhung der Agrobiodiversität	Nicht erwähnt	Europa	industrialisierte Landwirtschaft, geringe Agrobiodiversität	Agrobiodiversität wird durch Verzicht auf extreme Intensivierung gefördert, ihre Pufferwirkung hebt die eventuellen Verluste bei geringerer Intensivierung auf	+	Omer, A., Pascual, U. und Russell, N. 2010

Titel/Thema	Klimaaspekt	Region	System	Kernaussage	Wirkung Diversität	Quelle
Ertragsvergleich zwischen angesättem Grünland (Monokultur) und semi-natürlichem Grünland	Dürre/Trockenzeit	Nicaragua	Grünland	Semi-natürliches Grünland ist im Ertrag stabiler und erbringt in der Trockenzeit höhere Erträge	+	Ospina, S., Rusch, G. M., Pezo, D., Casanova, F. und Sinclair, F. L. 2012.
Befragung zu Wahrnehmung und Anpassung an Klimawandel	Niederschlagsvariabilität	Nigeria	Kleinbauern	Nur Maßnahmen genannt: Hauptstrategie ist Zugang zu präzisen Wettervorhersagen	~	Oyekale, A. S. und I., Obi S. 2012
Befragung zu Wahrnehmung und Anpassung an Klimawandel in Kakaobetrieben	Niederschlagsstärke und -Variabilität, Hitze und Kälteextreme	Nigeria	Kleinbauern	Nur Maßnahmen genannt: Diversifizierung, Wetter Monitoring und präzise Pestizideinsätze	(+)	Oyekale, A. S. und Oladele, O. I. 2012.
Befragung 2009-2010 zu Wahrnehmung und Anpassung an den Klimawandel	Überschwemmung, Dürre, sekundär: Zunahme von Schädlingen	Nigeria	Kleinbauern	Nur Maßnahmen genannt: Neben Bewirtschaftungsanpassung auch Diversifizierung der Anbaufrüchte und integrierte Landwirtschaft als Hauptanpassungsstrategie	(+)	Ozor, N., Madukwe, M.C., Enete, A.A., Amaechina, E.C., Onokala, P., Eboh, E.C., Ujah, O. und Garforth, C.J. 2012
Befragung zu Anpassungsmaßnahmen und Modellierung der Effektivität derselben	Dürre, Überschwemmung	Malawi	Kleinbauern	Strategien sind Region spezifisch; durch Diversifizierung werden teilweise ähnliche Anstiege beim Ertrag (+25%) und in der Ernährungssicherheit (+26%) wie durch Bewässerung und nicht landwirtschaftliche Arbeit erreicht	+, ~	Pangapanga, P. I., Jumbe, C. B., Kanyanda, S. und Thangalimodzi, L. 2012a Pangapanga, P.I., Jumbe, C. B. L., Kanyanda, S. und Thangalimodzi, L. 2012b
Untersuchung der Biodiversitäts-Produktivitätsbeziehung bei externen Störungen	Dürre	Schweiz	Ansaat-Experiment Grünland	Immer ein positiver Zusammenhang Biodiversität-Produktivität nachzuweisen, allerdings ist der Ertragsseinbruch nach Störung in artenreichen Parzellen höher	-	Pfisterer, A. B. und Schmid, B. 2002
Vergleich von Erdrutschen auf Kaffeeplantagen verschiedener Bewirtschaftungssensitivität nach Hurricane	Hurricane	Mexiko	Kleinbauern	Zahl und Größe von Erdrutschen nimmt mit zunehmender Komplexität der Kaffeeplantagen ab; bestimmende Erdrutschfaktoren sind jedoch Exposition und Flussnähe	(+)	Philpott, S. M., Lin, B. B., Jha, S. und Brines, S. J. 2008
Biodiversitäts-Produktivitäts-experiment mit Futterpflanzen	Nicht erwähnt, jährliche Variabilität	lowa, USA	Ansaat-Experiment Grünfuttermischung	Für stabile Erträge über mehrere Jahre Mischungen verwenden, da Erträge artspezifisch schwanken	+	Picasso, V. D., Brummer, E. C., Liebman, M., Dixon, P. M. und Wilsey, B. J. 2011.

Titel/Thema	Klimaaspekt	Region	System	Kernaussage	Wirkung Diversität	Quelle
Ertragsvergleich vor und nach Einführung von nachhaltiger Landwirtschaft	Nicht erwähnt	Weitweit Entwicklungsländer	Kleinbauern	Durch Kombination von angepasster Bewirtschaftung (integrierte Schädlingsbekämpfung, integriertes Nährstoffmanagement, gute Regenertesysteme, pfluglose Bewirtschaftung) und Diversifizierung auf vielen Ebenen (Aquakultur in Reisfeldern, Agroforst, integrierte LW, Zwischenfrüchte und Bodendecker) Ertragserhöhungen im Mittel von 64%	(+)	Pretty, J. N., Noble, A. D., Bossio, D., Dixon, J., Hine, R. E., Penning de Vries, F. W. T. und Morison, J. I. L. 2006
Vergleich von Ernteverlusten nach Monsun Flut oder Überschwemmung	Überschwemmung	Bangladesch	Kleinbauern	Da es bei Cash-Crops größere finanzielle und bei Grundnahrungsmitteln größere Ertragsverluste gibt, wird eine Mischung von beidem empfohlen	+	Rayhan, M. I., Grote, U. 2010
Befragung zu Anpassungsstrategien	Extremereignisse, variable Niederschläge	Nepal	Kleinbauern	Nur Maßnahmen erwähnt: Vorwiegend technische/Management Anpassung, aber auch Anbau verschiedener Sorten, Diversifizierung der Hausgärten	(+)	Regmi, B. R., Thapa, L., Suwal, R., Khadka, S., Sharma, G.B. und Tamang, B.B. 2009
Diskussion mit Landwirten zu Anpassungsstrategien	Dürre, Variabilität allgemein	Nepal	Kleinbauern	Nur Maßnahmen genannt: Neben Bewässerungssystemen Pflanzung von Baum-/Grasreihen gegen Erosion, meist etwa acht verschiedene Kulturen, Nutzung Dürre resistenter Varietäten	(+)	Regmi, B. R., Suwal, R., Shresha, G., Bandhu Sharma, G., Thapa, L. und Manandhar, S. 2009
Vergleich von Bodeneigenschaften bei Wasserstress in Agroforst versus konventionellem Anbau	Trockenheit, Überschwemmung	Kanada	Gewächshaus-Experiment, Agroforst versus konventionell	Ertragsverlust durch Dürre bei Weizen ist auf Agroforst-Boden geringer als auf konventionellem Boden; mikrobielle Resilienz gegen Überschwemmung und Dürre ist im Agroforst-System höher	+	Rivest, D., Lorente, M., Olivier, A. und Messier, C. 2013.

Titel/Thema	Klimaaspekt	Region	System	Kernaussage	Wirkung Diversität	Quelle
Modell zur Berechnung des optimalen landwirtschaftlichen Inputs zum Erhalt der Agrobiodiversität und damit der Resilienz eines Agrarökosystems	Variabilität allgemein	allgemein	Modell	Je mehr intensiviert wird, desto naturförmiger (gestört) wird das Agrarökosystem. Dann gibt es zwar hohe Erträge, aber auch geringe Resilienz. Es sei denn, die Biodiversität ist schon sehr niedrig, dann steigt sie möglicherweise trotz Intensivierung.	+	Russell, N., Omer, A. und Pascual, U. 2009
Befragung zu Produktionsrisiken und Vermeidung bzw. Bewältigung	Dürre, Niederschlagsvariabilität	Nigeria	Kleinbauern	Hauptanpassungsstrategien: Beratungsdienste, Geld leihen; nicht-landwirtschaftliche Arbeit und Diversifizierung oder Anbaufrüchte mit Gemengeanbau	(+)	Salimonu, K. K. und Falusi, A. O. 2009
Befragung zu Wahrnehmung und Anpassung an Klimawandel	Niederschlagsvariabilität	Nigeria	Kleinbauern	Nur Maßnahmen genannt: Anpassung durch Austausch von Feldfrüchten/Varietäten und Arbeit außerhalb der Landwirtschaft	~	Sanni, S. A., Oluwasemire, K. O. und Nnoli, N. O. 2012
Modellierung der Produktions- und Versicherungskosten gegen Ertragsverluste in artenreichem (ungedüngt) und artenarmem (gedüngt) Grünland	Nicht erwähnt, generelle jährliche Variabilität	Minnesota, USA	Experimentelles Grünland, Daten modelliert	Da mit zunehmender Düngermenge sowohl Produktionskosten als auch Versicherungskosten steigen (weniger Arten, mehr Ertragsvariabilität), wäre eine geringe Düngermenge auf artenreichem Grünland zu bevorzugen.	+	Schläpfer, F., Tucker, M. und Seidl, I. 2002
Befragung zu Schäden durch Dürren der vergangenen Jahre und Anpassungsstrategien	Dürre	Zimbabwe	Kleinbauern	Nur Maßnahmen genannt: Anpassung durch Permakultur, Ausbau des Bewässerungssystems, bessere Lagerung und finanzielle Rücklagen, Ersetzung von Mais durch traditionelle Feldfrüchte.	(+)	Shumba, O. 2001
Untersuchung der Variabilität Erträge der Grundnahrungsmittel (Reis, Mais, Weizen) in China 1961-2001	Dürre	China	Kleinbauern, konventionelle Landwirtschaft	Besonders anfällig (große Verluste auch bei leichter Dürre) sind Regionen mit wenig Land, Kapital und Arbeitskraft; Intensivierung und Umstieg auf zwei Anbauzyklen pro Jahr verringert Verletzlichkeit.	~	Simelton, E., Fraser, E., D. G., Termansen, M., Forster, P. M. und Dougill, A. J. 2009

Titel/Thema	Klimaaspekt	Region	System	Kernaussage	Wirkung Diversität	Quelle
Ertragsausfall nach Wetter Extremen in Abhängigkeit von Anbauvielfalt pro Provinz	Dürre, Überschwemmung	Alle Provinzen Chinas	Alle Systeme	Provinzen mit einer Hauptfrucht haben bei Überschwemmung die größten Verluste, bei Dürre jedoch die mit den meisten Feldfrüchten (4)	+,-	Simelton, E. 2011
Befragung zu Anpassungsstrategien an Klimawandel	Dürre, Überschwemmung	Indien, Himalaya-Region	Kleinbauern	Nur Maßnahmen genannt: Anpassung durch neue Feldfrüchte/resistente Varietäten, angepasste Bewirtschaftung, Bewässerung und Lebensunterhalt aus nicht-landwirtschaftlicher Arbeit.	~	Singh, P., Ghose, N., Chaudhary, N. und Hansda, R. 2009
Weizen Erträge und Ertragsstabilität in Abhängigkeit von genetischen Variabilität	Nicht erwähnt, jährliche Schwankungen	Pakistan	Kleinbauern	In bewässerten Regionen mit intensiver Landwirtschaft spielt Diversität keine Rolle; bei regenabhängiger LW erhöht sie den mittleren Ertrag und senkt die Variabilität.	+ , ~	Smale, M., Hartell, J., Heisey, P. W. und Senauer, B. 1998
Vergleich Ertragsvariabilität über 12 Jahre in Mais-Soja-Winterweizen Rotation	Nicht erwähnt, jährliche Variabilität	Michigan, USA	Experimentelle Systeme: konventionell, ökologisch, pfluglos, mit geringen Düngergaben	Ertragsvariabilität hängt von Feldfrüchten ab; ist generell im ökologischen System (ohne Düngung) höher als in den anderen, die sich bei Weizen nicht unterscheiden, bei Soja ist pfluglos am besten, bei Mais das System mit geringen Düngergaben um Variabilität zu senken.	~	Smith, R. G., Menalled, F. D. und Robertson, G. P. 2007
Resilienz (ökologisch, ökonomisch, sozial) von Kleinbauern per Befragung 2009 untersucht	Klimaextreme, v.a. Dürre	Kenia	Konservierende Bodenbearbeitung bei Kleinbauern	Wichtig für ökologische Resilienz sind Agroforst-systeme, <i>Pennisetum purpureum</i> als Erosionsschutz und Futter und Bewässerung.	+	Speranza, C. I. 2013
Befragung 2008-2010 zu Anpassungsstrategien	Dürre, Überschwemmung	Yunnan, China	Kleinbauern	Nur Maßnahmen erwähnt: Meist Bewirtschaftung/technische Anpassung (Bewässerung), aber auch Wechsel von Reis Monokultur zu Mais, Gemüse und Bohnen	(+)	Su, Y., Xu, J., Wilkes, A., Lu, J., Li, Q., Fu, Y., Ma, X. und Edward Grumbine, R. 2012
Wirksamkeit von Anpassungsstrategien für Mais untersucht	allgemein Klimawandel	China	Modellierung	Nur technische /Management Anpassungen (Sortenwahl, Pflanzdatum) erwogen	~	Tao, F. L. und Zhang, Z. 2010

Titel/Thema	Klimaaspekt	Region	System	Kernaussage	Wirkung Diversität	Quelle
Vergleich von Anpassungsmaßnahmen in Schweden und Tansania	Klimawandel allgemein, Dürre erwähnt	Schweden (S), Tansania (T)	Integrierte LW, kleine Betriebe, Kleinbauern	Nur Maßnahmen genannt: Gemein- geanbau (S: nur Futterproduktion) und differenzierte Fruchtfolgen z.T. mit lokalen Varietäten (nur T); Wertschätzung/Nutzung der assoziierten Biodiversität (Unkräuter als Futter oder Mulch, Bestäuber); gestaffelte Aussaat-Termine	+	Tengö, M. und Belfrage, K. 2004
Modellierung von Erträgen verschiedener Feldfrüchte mit/ohne Anpassung und Befragung zu Anpassungsstrategien	Klimawandel allgemein	Kambodscha	Modellierung, Kleinbauern	Nur technische /Management Anpassungen (Sortenwahl, Pflanzdatum) erwogen	~	Thomas, T. S., Ponlok, T., Bansok, R., Lopez, T. de, Chiang, C., Phirun, N. und Chhun, C. 2013
Ertragsstabilität über 10 Jahre in Grünland unterschiedlicher Artenvielfalt	jährliche Variabilität	Minnesota, USA	Experimentelles, angesätes Grünland	Je artenreicher und ja älter die Grasnarbe, desto stabilere Erträge wurden erzielt.	+	Tilman, D., Reich, P. B. und Knops, J. M. H. 2006
Vergleich von morphologischen und physiologischen Eigenschaften von Reisvarietäten vor (in Genbank aufbewahrt) und nach jahrelanger Veränderung durch Landwirte	Nicht erwähnt	Mekong-Delta, Vietnam	Kleinbauern	Vermehrung der Reisvarietäten durch die Landwirte passt sie an aktuelle Gegebenheiten an, nicht benötigte Eigenschaften gehen verloren (hier Dürre-Toleranz, da vergangene Jahre feucht waren).	+,-	Tin, H. Q., Berg, T. und Bjornstad, A. 2001
Versuch zu Ertrag und Qualität verschiedener Weizen Sorten nach verschiedenen Vorfrüchten	Jährliche Variabilität	Rumänien	Feld-Experiment, ökologisch	Empfohlen wird Gemengeanbau zweier Sorten, als Vorfrucht Soja oder Kleeegrasmischung	+	Toncea, I., Alifante, E., Gargata, R., Lacatusu, R. und Lazar, R. 2010
Beschreibung eines diversifizierten Anbausystems für Reis	Überschwemmung	Bangladesch	Kleinbauern	Mischung von Reis-Sorten (Hohertrags- und lokale) und Anbau von Senf, Chili, Weizen und Hülsenfrüchten um trotz variabler Wasserstände genug Ertrag zu haben	+	Uchida, H. und Ando, K. 2007

Titel/Thema	Klimaaspekt	Region	System	Kernaussage	Wirkung Diversität	Quelle
Drei Fallstudien zu Wahrnehmung und Anpassung an Klimawandel	Dürre, Überschwemmung, Niederschlagsvariabilität	Äthiopien, Nicaragua, Nepal	Kleinbauern	Nur Maßnahmen genannt: Anpassung durch Einführung einer Samenbank, Ersetzen von Mais durch mehrere Dürre resistente lokale Früchte, Tierhaltung mit Fütterung, Agroforst, Bewässerungssystem, weitere Einkommensquellen (Kenia); Partizipative Pflanzenzüchtung, ökologische Anbaumethoden mit Diversifizierung der Feldfrüchte (Nicaragua, Nepal), Gemüseanbau in „Gewächshäusern“, Kleintierhaltung mit Pflanzung von Futter Bäumen, Infocenter (Nepal)	(+)	Ulsrud, K., Sygna, L. und O'Brien, K. 2008
Befragung von Bäuerinnen zu Anpassung an Klimawandel und Hinderungsgründen	Klimawandel allgemein	Nigeria	Kleinbauern	Nur Maßnahmen genannt: v.a. Management anpassen (Aussaatauten, Mulchen, Düngung organisch), aber auch Baumpflanzung (85%) und Anpassung der Fruchtfolge (75%) als Anpassung	(+)	Uzokwe, U. N. und Okonkwo, J. C. 2012
Befragung zu Wahrnehmung von Extremen und Anpassung	Extreme, v.a. Dürre	Brasilien	Kleinbauern	Nur Maßnahmen genannt: Züchtung eigener, angepasster Landrasen erhöht Resilienz und macht unabhängig	+ genetisch	Vasconcelos, A. C. F., Bonatti, M., Schindwein, S. L., D'Agostini, L. R., Homem, L. R. und Nelson, R. 2013
Befragung zu Wahrnehmung und Anpassung an Klimawandel	Dürre, Niederschlagsvariabilität	Benin (B), Kenia (K), Malawi (M)	Kleinbauern	Nur Maßnahmen genannt: Als Anpassung neue, schnell reife Varietäten, Erhaltung der Agrobiodiversität und der integrierten Bewirtschaftung (B); Ersetzung nicht toleranter Feldfrüchte, Baumpflanzung, Wasser Speicherung (K); neue schnell reife Varietäten, Gemengeanbau mit N-Fixierern, Diversifizierung der Feldfrüchte (M)	(+)	Vermuelen, S., Dossou, K., Macqueen, D., Waulubengo, D. und Nangoma, E. 2008

Titel/Thema	Klimaaspekt	Region	System	Kernaussage	Wirkung Diversität	Quelle
Einfluss von Biodiversität und Dürre auf Abbauraten von organischem Material im Boden	Dürre	Jena, Deutschland	Ansaat-Experiment Grünland	Eingebrachtes fremdes organisches Material wird bei abnehmender oberirdischer Diversität langsamer abgebaut, zunehmende oberirdische Biodiversität erhöht die Abbauraten auch bei Dürre; Pflanzengesellschaft spezifisches Material wird unabhängig von Dürre und Biodiversität abgebaut.	+, ~	Vogel, A., Eisenhauer, N., Weigelt, A. und Scherer-Lorenzen, M. 2013
Befragung 2006/07 zu Anpassungsstrategien an Überschwemmung	Überschwemmung	Indien	Kleinbauern	Nur Maßnahmen genannt: u.a. Diversifizierung der Fruchtfolge, der Anbaufrüchte und Reissorten, dazu Tierhaltung als Anpassung an Überschwemmung	+	Wajih, S. A. 2008
Modellierung von Erträgen bei welcher Fruchtzusammenstellung sind Verluste bzw. Varianz am geringsten in zukünftigem Klima?	Klimawandel und Variabilität allgemein	Guadiana Niederung, Spanien, Portugal	Modellierung	Eine Kombination von Kulturen mit verschiedenen Ansprüchen wie Gerste (toleranter gegen Dürre) und Sonnenblume in bestimmten Anteilen reduziert Ertragsvariabilität in einer Region	+	Werners, S., Incerti, F., Bindi, M., Moriondo, M. und Cots, F. 2007
Einfluss der genetischen Diversität in Reis auf Ertragsmenge und -stabilität	jährliche Schwankungen	China	konventionell	Eine Erhöhung der genetischen Diversität führt zu einer leichten Abnahme des mittleren Ertrags aber zu einer starken Abnahme der Ertragsvariabilität	-, +	Widawsky, D. und Rozelle, S. 2000
Ertrag und Qualität in nicht reinrassigen Weizen-Sorten (F3 und F4 Generation)	jährliche Schwankungen	England	konventionell und ökologisch, Experiment	Ertrag und Proteingehalt lagen oft über dem Mittel der reinrassigen Eltern	+	Wolfe, M. S., Hinchcliffe, K.E., Clarke, S.M., Jones, H., Haigh, Z., Snape, J. und Fish, L. 2006
Ertrag und Qualität in nicht reinrassigen Weizen-Sorten – spätere Generationen	jährliche Schwankungen	England	konventionell und ökologisch, Experiment	Ertrag und Proteingehalt lagen bis zu 4% über dem Mittel der reinrassigen Eltern – Effekt bei ökologischer Bewirtschaftung ausgeprägter	+	Wolfe, M. S., Haigh, Z., Jones, H. und Pearce, H. 2008.

Titel/Thema	Klimaaspekt	Region	System	Kernaussage	Wirkung Diversität	Quelle
Beschreibung der Anpassung an vergangene Hitzewellen (von 1975/76 – 2006)	Hitzewelle, Dürre	England	allgemein	Ertragsverluste schwanken je nach Feldfrucht, nehmen aber generell ab → Anpassung erfolgte durch Bewässerung, Vergrößerung der Anbaufläche, schneller reifende Sorten, Anpassung der Saat- und Erntetermine	~	Wreford, A. und Ad-ger, W. Neil 2010
Züchtung von heterogenen nicht reinen Hirse Hybriden	Dürre	Indien	Experiment	Die F1-Generation aus Hochleistungshirse und einer traditionellen Landrasse zeigte nur die positiven Eigenschaften beider Eltern (hoher Ertrag in normalen Jahren und Widerstandkraft gegen Dürre)	+	Yadav, O. P. und Bidinger, F. R. 2007, Yadav O. P. 2007, Yadav O. P. 2010
Ökosystemfunktionen im Grünland – braucht man für mehrere Leistungen vergleichsweise mehr Arten?	Nicht erwähnt, jährliche Schwankungen	Minnesota, USA	Ansaat-Experiment Grünland	Um mehrere Ökosystemfunktionen ausreichend zu erfüllen, benötigt ein Ökosystem mehrere Arten – für nur eine Funktion entsprechend weniger	+	Zavaleta, E. S., Pasari, J. R., Hulvey, K. B. und Tilman, G. D. 2010
Bodenstabilität und Waserosion bei Starkregen	Starkregen	Schleswig-Holstein, Deutschland	konventionell versus lang- und kurzzeitig ökologisch, Boden im Laborexperiment untersucht	Je länger die ökologische Nutzung (alle Bewirtschaftungspraktiken, nicht nur Diversifizierung), desto größer die Infiltration und desto geringer die Bodenerosion	+	Zeiger, M. und Fohrer, N. 2009
Pilzbefall und Ertragsausfall bei Reis in Monokultur verglichen mit Sortenmischungen	Nicht erwähnt, indirekt durch Schädlinge	China	Feld-Experiment, konventionelle Bewirtschaftung	In Mischungen mit zwei Varietäten 89% mehr Ertrag und 94% weniger Befall. Durch Anbau-Methode wurde vollständiger Verzicht von Fungiziden erreicht.	+	Zhu, Y., Chen, H., Fan, J., Wang, Y., Li, Y., Chen, J., Fan, J. X., Yang, S., Hu, L., Leung, H., Mew, T. W., Teng, P. S., Wang, Z. und Mundt, C. 2000
Verwendung verschiedener Saat-kartoffel Größen	Nicht Hauptthema, Dürre erwähnt	Anden	Kleinbauern	Saatkartoffel Größe ist an spezifische Mikro-Habitate angepasst – große Knollen senken Dürreanfälligkeit	+	Zimmerer, K. S. 2003

Titel/Thema	Klimaaspekt	Region	System	Kernaussage	Wirkung Diversität	Quelle
„Spate“- Bewässerungssystem und Anbautechniken beschrie- ben	Niederschlagsvariabilität	Anden, Bolivien	Kleinbauern	Da die verfügbare Bewässerungs- menge sehr variabel ist, werden 8 Mais Varietäten mit verschiedener Reifungsdauer sowie Bohnen, Kartoffeln, Weizen und Quinoa angebaut.	(+)	Zimmerer, K. S. 2011
Befragung zur Wahl von Sorghum Varietäten (tradi- tionell versus Dürre resis- tent)	Dürre	Zimbabwe	Kleinbauern	Nutzen verschiedener Sorghum Varietäten ist bekannt, aber nur mit Zugang zu Krediten und genug Land können Bauern es sich leisten, Sorghum Varietäten zu mischen.	(+)	Zivanomoyo, J. und Mukarati, J. 2013

Thünen Report

Bereits in dieser Reihe erschienene Hefte – *Volumes already published in this series*

- | | |
|----|---|
| 5 | Bernhard Forstner und Andreas Tietz
Kapitalbeteiligung nichtlandwirtschaftlicher und überregional ausgerichteter Investoren an landwirtschaftlichen Unternehmen in Deutschland |
| 6 | Janina Krug
Perspektiven ackerbaulicher Grenzstandorte in Nordostdeutschland – Übertragbarkeit extensiver Produktionssysteme überseeischer Trockenstandorte |
| 7 | M. Liesebach, B. Degen, H. Grotehusmann, A. Janßen, M. Konnert, H.-M. Rau, R. Schirmer, D. Schneck, V. Schneck, W. Steiner, H. Wolf
Strategie zur mittel- und langfristigen Versorgung mit hochwertigem forstlichem Vermehrungsgut durch Züchtung in Deutschland |
| 8 | Kurt-Jürgen Hülsbergen, Gerold Rahmann (Hrsg.)
Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme - Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben |
| 9 | Holger Weimar und Dominik Jochem (Hrsg.)
Holzverwendung im Bauwesen – Eine Marktstudie im Rahmen der „Charta für Holz“ |
| 10 | Horst Gömann, Thomas de Witte, Günter Peter, Andreas Tietz
Auswirkungen der Biogaserzeugung auf die Landwirtschaft |
| 11 | Bernhard Osterburg, Sebastian Rüter, Annette Freibauer, Thomas de Witte, Peter Elsasser, Stephanie Kätsch, Bettina Leischner, Hans Marten Paulsen, Joachim Rock, Norbert Röder, Jörn Sanders, Jörg Schweinle, Johanna Steuk, Heinz Stichnothe, Wolfgang Stümer, Johannes Welling, Anne Wolff
Handlungsoptionen für den Klimaschutz in der deutschen Agrar- und Forstwirtschaft |
| 12 | Heinrich Becker und Andrea Moser
Jugend in ländlichen Räumen zwischen Bleiben und Abwandern – Lebenssituation und Zukunftspläne von Jugendlichen in sechs Regionen in Deutschland |
| 13 | Bernhard Osterburg, Stephanie Kätsch und Anne Wolff
Szenarioanalysen zur Minderung von Treibhausgasemissionen der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2050 |
| 14 | Philipp Adämmer, Martin T. Bohl und Ernst-Oliver von Ledebur
Die Bedeutung von Agrarterminmärkten als Absicherungsinstrument für die deutsche Landwirtschaft |
| 15 | Simon Walther
Determinants of competitiveness of agriholdings and independent farms in Ukrainian arable production |
| 16 | Nicole Wellbrock, Andreas Bolte et al.
Kohlenstoff- und Nährelementspeicherung von Waldflächen des forstlichen Umweltmonitorings (BZE) in Rheinland-Pfalz |
| 17 | Hans-Dieter Haenel, Claus Rösemann, Ulrich Dämmgen, Eike Poddey, Annette Freibauer, Sebastian Wulf, Brigitte Eurich-Menden, Helmut Döhler, Carsten Schreiner, Beate Bauer und Bernhard Osterburg
Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 - 2012
Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 – 2012 |



- 18 Patrick Küpper, Stefan Kundolf und Anne Margarian
Neue Beteiligungs- und Steuerungsprozesse in der ländlichen Entwicklung
- 19 Frank Offermann, Claus Deblitz, Burkhard Golla, Horst Gömann, Hans-Dieter Haenel, Werner Kleinhanß, Peter Kreins, Oliver von Ledebur, Bernhard Osterburg, Janine Pelikan, Norbert Röder, Claus Rösemann, Petra Salamon, Jörn Sanders, Thomas de Witte
Thünen-Baseline 2013 – 2023: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland
- 20 Gerald Rahmann und Uygun Aksoy (Eds.)
Building Organic Bridges – Volume 1: Argentina – France
Building Organic Bridges – Volume 2: Germany – India
Building Organic Bridges – Volume 3: Indonesia – Sri Lanka
Building Organic Bridges – Volume 4: Sweden – Viet Nam
- 21 Claudia Heidecke, Ulrike Hirt, Peter Kreins, Petra Kuhr, Ralf Kunkel, Judith Mahnkopf, Michael Schott, Björn Tetzlaff, Markus Venohr, Andrea Wagner und Frank Wendland
Endbericht zum Forschungsprojekt „**Entwicklung eines Instrumentes für ein flussgebietsweites Nährstoffmanagement in der Flussgebietseinheit Weser**“
AGRUM⁺-Weser
- 22 Walter Dirksmeyer, Ludwig Theuvsen und Maike Kayser (Hrsg.)
Aktuelle Forschung in der Gartenbauökonomie – Tagungsband zum 1. Symposium für Ökonomie im Gartenbau
- 23 Karsten Mohr, Jerzy Suda, Hans Kros, Christian Brümmer, Werner L. Kutsch, Miriam Hurkuck, Elisabeth Woesner, Wim Wesseling
Atmosphärische Stickstoffeinträge in Hochmoore Nordwestdeutschlands und Möglichkeiten ihrer Reduzierung – eine Fallstudie aus einer landwirtschaftlich intensiv genutzten Region
- 24 Raphael Albrecht
Ein Ansatz zur Abschätzung der interregionalen Wettbewerbsfähigkeit der Zuckerrübenproduktion – am Beispiel ausgewählter europäischer Regionen
- 25 Ute Petersen, Hans-Joachim Weigel
Klimaresilienz durch Agrobiodiversität?
Literaturstudie zum Zusammenhang zwischen Elementen der Agrobiodiversität und der Empfindlichkeit von landwirtschaftlichen Produktionssystemen gegenüber dem Klimawandel



THÜNEN

Thünen Report 25

Herausgeber/Redaktionsanschrift

Johann Heinrich von Thünen-Institut

Bundesallee 50

38116 Braunschweig

Germany

www.ti.bund.de

