

Klimaanpassung in Land- und Forstwirtschaft

**– Ergebnisse eines Workshops der Ressort-
forschungsinstitute FLI, JKI und Thünen-Institut –**

**Sonja Schimmelpfennig, Claudia Heidecke, Holger Beer, Florian Bittner,
Susanne Klages, Sandra Krengel, Stefan Lange**

Thünen Working Paper 86



THÜNEN

FRIEDRICH-LOEFFLER-INSTITUT

FLI

Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit
Federal Research Institute for Animal Health



JKi

Julius Kühn-Institut

Sonja Schimmelpfennig
Claudia Heidecke
Susanne Klages
Thünen-Institut für Ländliche Räume
Stefan Lange, Forschungscoordination

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei
Bundesallee 64
D-38116 Braunschweig

Holger Beer
Florian Bittner
Julius Kühn-Institut, Forschungscoordination
Sandra Krengel
Julius Kühn-Institut, Institut für Strategien und Folgeabschätzungen
Stahnsdorfer Damm 81
14532 Kleinmachnow

Kontakt: Sonja Schimmelpfennig
Telefon: +49 531 596-5213
Fax: +49 531 596-5599
E-Mail: sonja.schimmelpfennig@thuenen.de

Thünen Working Paper 86

Braunschweig/Deutschland, Januar 2018

Weitere Mitwirkende:

Ulrich Baulain	Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für Nutztiergenetik
Karl-Heinz Berendes	Julius Kühn-Institut – Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst
Andreas Bolte	Thünen-Institut – Institut für Waldökosysteme
Joachim Brunotte	Thünen-Institut – Institut für Agrartechnologie
Franz Conraths	Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für Epidemiologie
Sven Dänicke	Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für Tierernährung
Thomas de Witte	Thünen-Institut – Institut für Betriebswirtschaft
Walter Dirksmeyer	Thünen-Institut – Institut für Betriebswirtschaft
Axel Don	Thünen-Institut – Institut für Agrarklimaschutz
Lothar Frese	Julius Kühn-Institut – Institut für Züchtungsforschung an landwirtschaftlichen Kulturen
Cathleen Frühauf	Deutscher Wetterdienst
Hildegard Garming	Thünen-Institut – Institut für Betriebswirtschaft
Joerg-Michael Greef	Julius Kühn-Institut – Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde
Viola Hanke	Julius Kühn-Institut – Institut für Züchtungsforschung an Obst
Susanna Hönle	Thünen-Institut – Institut für Ländliche Räume
Bernd Hommel	Julius Kühn-Institut – Institut für Ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz
Martin Hommes	Julius Kühn-Institut – Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst
Johannes Jehle	Julius Kühn-Institut – Institut für Biologischen Pflanzenschutz
Helge Kampen	Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für Infektionsmedizin
Hella Kehlenbeck	Julius Kühn-Institut – Institut für Strategien und Folgenabschätzung
Martin Köchy	Thünen-Institut – Institut für Marktanalyse
Lorenz Kottmann	Julius Kühn-Institut – Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde
Michael Kube	Thünen-Institut – Institut für Forstgenetik
Thomas Kühne	Julius Kühn-Institut – Institut für Epidemiologie und Pathogendiagnostik
Heike Liesebach	Thünen-Institut – Institut für Forstgenetik
Mirko Liesebach	Thünen-Institut – Institut für Forstgenetik
Holger Lilienthal	Julius Kühn-Institut – Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde
Remy Manderscheid	Thünen-Institut – Institut für Biodiversität
Kirstin Marx	Thünen-Institut – Institut für Ländliche Räume
Ulrich Meyer	Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für Tierernährung
Jürgen Müller	Thünen-Institut – Institut für Waldökologie
Frank Offermann	Thünen-Institut – Institut für Betriebswirtschaft
Martin Ohlmeyer	Thünen-Institut – Institut für Holzforschung
Frank Ordon	Julius Kühn-Institut – Institut für Resistenzforschung und Stresstoleranz
Janine Pelikan	Thünen-Institut – Institut für Marktanalyse
Jens Schell	Friedrich-Loeffler-Institut Forschungskoordinator
Volker Schneck	Thünen-Institut – Institut für Forstgenetik
Lars Schrader	Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für Tierschutz und Tierhaltung

Maximilian Schüler	Thünen-Institut – Institut für Ökologischen Landbau
Hartwig Schulz	Julius Kühn-Institut – Institut für Ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz
Petra Seidel	Julius Kühn-Institut – Institut für Strategien und Folgenabschätzung
Björn Seintsch	Thünen-Institut – Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie
Wolfgang Stümer	Thünen-Institut – Institut für Waldökosysteme
Reinhard Töpfer	Julius Kühn-Institut – Institut für Züchtungsforschung an Reben
Jochen Trautner	Thünen-Institut – Institut für Holzforschung
Rainer Ulrich	Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für Neue und neuartige Tierseuchenerreger
Jens-Georg Unger	Julius Kühn-Institut – Institut für nationale und internationale Angelegenheiten der Pflanzengesundheit
Dirk von Soosten	Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für Tierernährung
Hans-Heinrich Voßhenrich	Thünen-Institut – Institut für Agrartechnologie
Peter Wehling	Julius Kühn-Institut – Institut für Züchtungsforschung an landwirtschaftlichen Kulturen
Hans-Joachim Weigel	Thünen-Institut – Institut für Biodiversität
Ralf Wilhelm	Julius Kühn-Institut – Institut für die Sicherheit biotechnologischer Verfahren bei Pflanzen
Anne Wilstermann	Julius Kühn-Institut – Institut für nationale und internationale Angelegenheiten der Pflanzengesundheit

Zusammenfassung

Das Working Paper stellt die Ergebnisse einer Umfrage und eines Workshops zusammen, die von Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen der Ressortforschungsinstitute Thünen-Institut, Julius Kühn-Institut (JKI) und Friedrich-Loeffler-Institut (FLI) im Herbst 2016 zusammengetragen und diskutiert worden sind. Ziel des Workshops und der Umfrage war, den Stand des Wissens zu Klimaanpassungsthemen in der Ressortforschung des BMEL und die zukünftigen Herausforderungen einer Anpassung an den Klimawandel in der deutschen Land- und Forstwirtschaft zu analysieren.

Die deutsche Land- und Forstwirtschaft ist von primären Klimafolgen wie stetig steigenden Durchschnittstemperaturen, veränderten Niederschlagsmustern und immer häufiger auftretenden, regional und saisonal sehr unterschiedlich ausgeprägten Extremwetterereignissen betroffen. Zudem führen sekundäre Klimafolgen wie ein erhöhter Schaderreger- und Infektionsdruck, Probleme bei der Bekämpfung von Schädigern in Land- und Forstwirtschaft, eine Verschiebung der Vegetationsphasen oder eine Änderung der Produktqualität zu höheren Anbau- und Produktionsrisiken. Viele ertragswirksame Faktoren wie z. B. steigende Ozon-Konzentrationen und deren Interaktion mit Schädlingsbefall und Extremwetterereignissen sind noch weitgehend ungeklärt. Der CO₂-Düngeeffekt, höhere Temperaturen und die Verlängerung der Vegetationsperiode bieten aber auch Chancen für die deutsche Landwirtschaft, vor allem für den Pflanzenbau. Im Vergleich zu anderen Regionen der Welt werden die Produktionsbedingungen in Mitteleuropa voraussichtlich auch künftig stabil und günstig für den Pflanzenbau bleiben. Damit verbunden sind Möglichkeiten, stabil hohe und ggf. höhere pflanzenbauliche Erträge zu erzielen und die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Landwirtschaft an den Weltagarmärkten zu verbessern.

Zum Teil kann durch eine Anpassung der Produktionssysteme von Kulturpflanzen und in der Tierhaltung mit relativ einfachen Maßnahmen auf Klimaänderungen reagiert werden. Es werden jedoch weitere Maßnahmen und vor allem auch Strategien für den Umgang mit Klimafolgen und Extremwetterereignissen benötigt. Insgesamt wird eine regionspezifische Ausrichtung der Produktionssysteme immer wichtiger.

Im Forst ist es von essentieller Bedeutung, die am besten an die zukünftigen Klimabedingungen einzelner Standorte angepassten Baumarten und Herkünfte zu identifizieren und in die Bestände zu integrieren. Parallel dazu sollte die Identifizierung der genetischen Grundlagen einzelner Resistenz- und Toleranzmerkmale gegenüber abiotischen und biotischen Schadfaktoren verstärkt erforscht und die Ergebnisse für die gezielte Züchtung resistenter Bäume genutzt werden.

Für den Ackerbau werden angepasste und tolerante Sorten sowie Ertragsmodelle benötigt, die sowohl Schäden durch Extremwetterereignisse als auch durch Schaderreger vorbeugen, aber auch positive Faktoren und Interaktionen nutzen können. Die Modelle werden auch als Grundlage der Bewertung von Risikomanagementsystemen benötigt. Zudem besteht Bedarf an der Entwicklung von (digitalen) Entscheidungshilfen für den bestmöglichen und effektivsten Dünge-

zeitpunkt, eine gezielte Bewässerung oder auch die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Anpassungsmaßnahmen sollten anhand ihrer Kosten und Nutzen aus ökonomischer, ökologischer und gesellschaftlicher Sicht bewertet werden. Um Handlungsempfehlungen zum Anbau einzelner Kulturen an verschiedenen Standorten erarbeiten zu können, ist neben der wissenschaftlichen Analyse der Risiken ebenso die weitere Erforschung der Chancen, die sich durch die erwarteten Klimaänderungen ergeben könnten, erforderlich.

In der Tierhaltung ist neben den Folgen eines steigenden Krankheitsdrucks eine ganzheitliche Betrachtung unter Einbeziehung aller auf die Tierhaltung wirkender Faktoren, insbesondere von Vektoren und Kleinsäugerreservoirien, notwendig. Dabei bedarf es auch der Erforschung von Stallsystemen, die sowohl dem Tierwohl unter zukünftigen Klimabedingungen als auch den gesellschaftlichen Ansprüchen genügen. Die Möglichkeiten einer erhöhten genetischen Variabilität für resilientere Tierbestände, vor allem in der Milchviehhaltung, sollten näher erforscht werden. Die Auswirkungen von Klimaänderungen, negativer wie auch positiver, müssen auch im Hinblick der Futtermittelgrundlagen für die Tierhaltung unter Einbezug des globalen Marktes und des Futterwerts betrachtet werden. Dabei ist auch die Futterqualität des Grünlands zu berücksichtigen. Grünlandflächen sollten hinsichtlich ihrer Bedeutung für Klimaanpassungsmaßnahmen, wie z. B. Hochwasserschutz, neu bewertet werden.

Im Sonderkulturbereich stellt die langfristige Abwendung der Kombination abiotischer und biotischer Schäden die größte Herausforderung dar. Dabei stellen die Identifizierung resilienter Anbausysteme sowie die Bereitstellung resistenter und toleranter Sorten wichtige Forschungsfelder dar. Auch die Entwicklung von Konzepten für den integrierten Pflanzenschutz sowie die Erforschung möglicher Antagonisten für den Einsatz als Nützlinge gegen etablierte und potenzielle Schädlinge und anderer nichtchemischer Pflanzenschutzverfahren muss zukünftig prioritär behandelt werden.

Da in anderen Regionen der Welt im Vergleich zu Mitteleuropa wesentlich gravierendere, negative Folgen des Klimawandels zu erwarten sind, sollte die internationale Tragweite der Folgen des Klimawandels auf die Land- und Forstwirtschaft und auf die Ernährungs- und Versorgungssicherheit stärker in den Fokus gerückt werden. Die für Mitteleuropa entwickelten Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel sollten daher auch auf ihre Übertragbarkeit und ihre Relevanz für andere Regionen der Welt hin geprüft werden.

JEL: R12, O14, O18, L16, C31

Schlüsselwörter: Klimaanpassung, Ressourcen, Landwirtschaft, Ackerbau, Grünland, Wald- und Forstwirtschaft, Tierhaltung, Klimaänderungen, Klimafolgen

Summary

This Working Paper summarizes the results of a survey and a workshop, which were compiled and discussed by scientists of the research institutes Thünen-Institut, Julius Kühn-Institut (JKI) and Friedrich-Loeffler-Institut (FLI) in autumn 2016. The aim of the workshop and the survey was to analyze the state of knowledge on climate change adaptation in BMEL departmental research and the future challenges of adaptation to climate change in German agriculture and forestry.

German agriculture and forestry is affected by primary climate impacts such as steadily rising average temperatures, altered precipitation patterns and increasingly frequent extreme weather events that vary widely regionally and seasonally. In addition, secondary climate impacts such as increased pest and infection pressure, problems with controlling rodents in agriculture and forestry, a shift in vegetation phases or a change in product quality lead to higher cultivation and production risks. Many income-generating factors such as rising tropospheric ozone concentrations and their interaction with pest infestation and extreme weather events are still largely unexplained. However, the CO₂ fertilization effect, higher temperatures and the extension of the vegetation period also offer opportunities for German agriculture, especially for crop production. Compared to other regions of the world, production conditions in Central Europe are expected to remain stable and favorable for crop production in the future. This includes opportunities to achieve stable, high and possibly increased crop yields and to improve the competitiveness of German agriculture on the world agricultural markets.

In part, adaptation to crop production systems and livestock farming can respond to climate change with relatively simple measures. However, further measures and, above all, strategies for dealing with the impacts of climate change and extreme weather events are needed. Overall, a region-specific orientation of production systems is becoming increasingly important.

In the forestry sector, it is essential to identify the tree species and provenances best adapted to the future climatic conditions of individual sites and to integrate them into the stands. At the same time, the identification of the genetic information of individual resistance and tolerance traits to abiotic and biotic pollutants should be intensively researched and the results used for the targeted breeding of resistant trees.

For agriculture, adapted and tolerant varieties as well as yield models are needed, that can indicate damage caused by extreme weather events as well as by pests, but also positive factors and interactions. Models are also needed as basis for evaluating risk management systems. There is also a need for the development of (digital) decision-making tools for the best possible and most effective fertilization time, targeted irrigation or the use of pesticides. Adaptation measures should be evaluated on the basis of their costs and benefits from an economic, environmental and social point of view. In order to be able to work out recommendations for the cultivation of individual crops at different locations, the scientific analysis of the risks as well as further research into the opportunities that could arise from the expected climate changes are necessary.

In animal husbandry, in addition to the consequences of increasing disease pressure, a holistic approach involving all factors affecting animal husbandry, in particular vectors and small mammal reservoirs, is necessary. It also requires the study of barn systems that meet the animal welfare under future climatic conditions as well as the social demands. The possibilities of increased genetic variability for more resilient livestock, especially in dairy farming, should be further explored. Both negative and positive impacts of climate change should be analyzed with regard to the feedstock for animal husbandry, taking into account the global market and the feed value. Grassland areas should be re-evaluated in terms of their importance for adaptation to climate change, such as flood control.

As compared to Central Europe, other regions in the world will experience more severe and adverse impacts of climate change. Thus, both the international consequences of climate change on agriculture and forestry as well as consequences for food security and security of supply should be handled with high priority in the future. Adaptation measures developed for Central Europe should be proven according to their relevance and transferability to other regions of the world.

JEL: R12, O14, O18, L16, C31

Keywords: Climate change adaptation, resources, agriculture, cropland, grassland, forestry, animal husbandry, climate change, climate impacts

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	i
Summary	iii
Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII
1 Einleitung	1
2 Klimaänderungen in Deutschland	3
2.1 Temperatur	4
2.2 Niederschlag	5
2.3 Extremereignisse	6
3 Bisherige Forschungsprojekte zur Anpassung an den Klimawandel in Land- und Forstwirtschaft	9
4 Wald und Forstwirtschaft	11
4.1 Auswirkungen von Klimaänderungen auf Wald- und Forstwirtschaft	11
4.2 Anpassungsmaßnahmen	13
4.3 Ausblick	17
5 Ackerbau	21
5.1 Auswirkungen von Klimaänderungen auf den Ackerbau	21
5.2 Anpassungsmaßnahmen	24
5.3 Ausblick	32
6 Schweine- und Geflügelhaltung	37
6.1 Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Schweine- und Geflügelhaltung	37
6.2 Anpassungsmaßnahmen	38
6.3 Ausblick	39

7	Milchviehwirtschaft und Rinderhaltung	41
7.1	Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Milchviehwirtschaft	41
7.2	Anpassungsmaßnahmen	41
7.3	Ausblick	43
8	Grünland	45
8.1	Grünland als Futtergrundlage	45
8.1.1	Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Futtergrundlage Grünland	45
8.1.2	Anpassungsmaßnahmen und Ausblick	46
8.2	Ökosystemdienstleistungen des Grünlands	46
8.2.1	Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Ökosystemleistungen des Grünlands	47
8.2.2	Anpassungsmaßnahmen und Ausblick	47
9	Sonderkulturen	49
9.1	Auswirkungen von Klimaänderungen auf Sonderkulturen	49
9.2	Anpassungsmaßnahmen	50
9.3	Ausblick	51
10	Fazit	55
	Literaturverzeichnis	61
	Anhang	67
	Aktuelle Projekte der Ressortforschungseinrichtungen FLI, JKI, Thünen-Institut im Bereich Klimaanpassung	67
	Friedrich-Loeffler-Institut	69
	Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für bakterielle Infektionen und Zoonosen (FLI-IBIZ)	69
	Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für Epidemiologie (FLI-IfE)	70
	Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für Immunologie (FLI-IfI)	71
	Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für Infektionsmedizin (FLI-IMED)	72
	Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für molekulare Pathogene (FLI-IMP)	72
	Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für molekulare Virologie und Zellbiologie (FLI-IMVZ)	73

Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für neue und neuartige Tierseuchenerreger (FLI-INNT)	73
Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für Nutztiergenetik (FLI-ING)	76
Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für Tierernährung (FLI-ITE)	76
Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für Tierschutz und Tierhaltung (FLI-ITT)	77
Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für Virusdiagnostik (FLI-IVD)	78
Julius Kühn-Institut	80
Julius Kühn-Institut – Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland (JKI-A)	80
Julius Kühn-Institut – Institut für nationale und internationale Angelegenheiten der Pflanzengesundheit (JKI-AG)	80
Julius Kühn-Institut – Institut für Biologischen Pflanzenschutz (JKI-BI)	80
Julius Kühn-Institut – Institut für Epidemiologie und Pathogendiagnostik (JKI-EP)	80
Julius Kühn-Institut – Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst (JKI-GF)	81
Julius Kühn-Institut – Institut für Pflanzenschutz in Obst- und Weinbau (JKI-OW)	82
Julius Kühn-Institut – Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde (JKI-PB)	83
Julius Kühn-Institut – Institut für Resistenzforschung und Stresstoleranz (JKI-RS)	84
Julius Kühn-Institut – Institut für Strategien und Folgenabschätzung (JKI-SF)	85
Julius Kühn-Institut – Institut für Züchtungsforschung an landwirtschaftlichen Kulturen (JKI-ZL)	86
Julius Kühn-Institut – Institut für Züchtungsforschung Obst (JKI-ZO)	88
Julius Kühn-Institut – Institut für Züchtungsforschung Reben (JKI-ZR)	88
Thünen-Institut	90
Thünen-Institut – Institut für Agrarklimaschutz (TI-AK)	90
Thünen-Institut – Institut für Agrartechnologie (TI-AT)	90
Thünen-Institut – Institut für Biodiversität (TI-BD)	91
Thünen-Institut – Institut für Betriebswirtschaft (TI-BW)	92
Thünen-Institut – Institut für Forstgenetik (TI-FG)	92
Thünen-Institut – Institut für Holzforschung (TI-HF)	93
Thünen-Institut – Institut für Ländliche Räume (TI-LR)	94
Thünen-Institut – Institut für Marktanalyse (TI-MA)	94
Thünen-Institut – Institut für Ökologischen Landbau (TI-OL)	95

Thünen-Institut – Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie (TI-WF)	95
Thünen-Institut – Institut für Waldökosysteme (TI-WO)	96

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Globale Ertragsänderungen (%) für den Zeitraum 2070-2099 im Vergleich mit Erträgen des Zeitraums 1980-2010 für die landwirtschaftlichen Hauptkulturen Mais, Weizen, Reis und Soja, unter Annahme des RCP-Szenario 8,5 und unter Berücksichtigung des CO ₂ -Düngeeffekts sowie mangelnder sowie ausreichender Stickstoff-Verfügbarkeit (unten links und rechts, klein)	3
Abbildung 2:	Regionale Unterschiede in der Betroffenheit von Klimaänderungen in Deutschland	9

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Jahreszeitliche Mittelwerte der Temperatur für die Beobachtungszeiträume 1961-1990 und 1971-2000 und erwartete Änderungssignale im Vergleich zum Bezugszeitraum 1971-2000 bis zur Mitte und bis zum Ende des Jahrhunderts	5
Tabelle 2:	Jahreszeitliche Mittelwerte des Niederschlages für die Beobachtungszeiträume 1961-1990 und 1971-2000 und erwartete Änderungssignale im Vergleich zum Bezugszeitraum 1971-2000 bis zur Mitte und bis zum Ende des Jahrhunderts	6
Tabelle 3:	Kurze Darstellung der im Workshop identifizierten Hauptfaktoren bei Auswirkungen von Klimaänderungen, Anpassungsmaßnahmen und zukünftigen Forschungsschwerpunkten der einzelnen Sektoren	59

Abkürzungsverzeichnis

B	
BayFORKLIM	Bayerischer Klimaforschungsverbund
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
D	
DCZ	Deutsch-Chinesisches Agrarzentrum
DKD	Deutscher Klimadienst
DNS	Desoxyribonukleinsäure
DWD	Deutscher Wetterdienst
dynaklim	Dynamische Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels in der Emscher-Lippe-Region
E	
ECPGR	European Cooperative Program on PGR
ELER	Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums
Erb-NRW	Ermittlung des regionalen Bewässerungsbedarfs für die Landwirtschaft in Nordrhein-Westfalen
EURAC	Europäische Akademie Bozen
F	
FACE-Anlage	Free Air Carbon Dioxide Enrichment-Anlage
FLI	Friedrich-Loeffler-Institut, Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit
FPD	Forschungsprogramme-Datenbank des BMEL
FSME	Frühsommer-Meningo-Enzephalitis
G	
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
I	
INKA BB	Innovationsnetzwerk Klimaanpassung Brandenburg Berlin
INKLIM	Integriertes Klimaschutzprogramm Hessen
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
J	
JKI	Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
K	
KLARA	Klimawandel – Auswirkungen, Risiken, Anpassung (Baden-Württemberg)
KLIFF	Klimafolgenforschung in Niedersachsen
Klim Adapt	Dienste zur Unterstützung der Klimaanpassung
KLIMZUG-Nord	Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten (Projekt Metropolregion Hamburg)
KLIMZUG-Nordhessen	Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten (Projekt Nordhessen)
N	
nordwest 2050	Perspektiven für klimaangepasste Innovationsprozesse in der Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten
O	
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
P	
PGR	Pflanzengenetische Ressourcen – Plant genetic resources

R

RADOST	Regionale Anpassungsstrategien für die deutsche Ostseeküste (Projekt)
RCP	Die Repräsentativen Konzentrationspfade (engl. Representative Concentration Pathways)
REGKLAM	Regionales Klimaanpassungsprogramm für die Modellregion Dresden

S

SRES	Special Report on Emission Scenarios
------	--------------------------------------

U

UAV	unmanned aerial vehicle
UBA	Umweltbundesamt

1 Einleitung

Häufig werden Maßnahmen zur Klimaanpassung in einem Zug mit Maßnahmen zum Klimaschutz genannt und unter dem Begriff „climate action“ zusammengefasst. Dieser Ausdruck ist für die Forstwirtschaft zutreffend, da im Forst Klimaschutz und Klimaanpassung aufgrund der langen Standzeiten zusammen gedacht werden müssen: Die heute gepflanzten Bäume tragen zur Klimaschutzwirkung von morgen bei und müssen zugleich an künftige Klimaänderungen angepasst sein. In der Landwirtschaft müssen beide Begriffe getrennt werden. Große Teile der Landwirtschaft haben im Gegensatz zur Forstwirtschaft keine intrinsische Klimaschutzfunktion, sondern sind eine erhebliche Quelle von Treibhausgasen. Darum, und aufgrund der Dringlichkeit notwendigen Handelns, sind für die Durchsetzung von Klimaschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft politische Maßnahmen nötig. Die Durchführung von Anpassungsmaßnahmen liegt hingegen eher in der Eigenverantwortung der landwirtschaftlichen Betriebe. Die Aufgabe der Forschung ist es, Wissen als Basis möglicher Anpassungsmaßnahmen bereitzustellen und somit betriebliche Entscheidungen zu erleichtern und zu unterstützen. Die Politik kann diesen Prozess fördern, indem sie Forschungsmittel für die Entwicklung, Erprobung und Implementierung von Technologien und Verfahren zur Klimaanpassung bereitstellt.

Dieses Thünen-Working Paper entstand unter Federführung des Thünen-Instituts für Ländliche Räume in Zusammenarbeit mit den Forschungskoordinatoren, sowie unter Mitwirkung der für den Arbeitsbereich relevanten Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen der Ressortforschungsinstitute Thünen-Institut, Julius Kühn-Institut und Friedrich-Loeffler-Institut. In einer vom Thünen-Institut koordinierten Zusammenarbeit wurden die für das Thema relevanten Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen der drei Fachinstitute identifiziert. Diese wurden in einem zweiten Schritt mittels einer Online-Umfrage zu aktuellen Projekten befragt, sowie um eine Einschätzung des Stands der Forschung im Bereich Klimaanpassung in Deutschland gebeten. Um auf der Basis aktueller Forschungsaktivitäten den zukünftigen Forschungs- und Handlungsbedarf zu definieren und zu diskutieren, wurde ein Lunch-to-Lunch-Workshop mit insgesamt 48 Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen der Ressortforschung und sechs Moderatoren im Stil der World-Café-Methode durchgeführt (Steier et al., 2008). Hierzu fanden sich die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen für rotierende, jeweils 30-minütige Diskussionsrunden zu den Themenbereichen Ackerbau, Forstwirtschaft, Geflügel- und Schweinehaltung, Grünlandwirtschaft und Sonderkulturen zusammen, um die Betroffenheit, die Maßnahmen und zukünftige Forschungsschwerpunkte sowie weiteren Forschungsbedarf in jedem Bereich zu identifizieren. Parallel zur Workshop-Vorbereitung wurde die Online-Befragung durch das Thünen-Institut ausgewertet, als Mind-Map im Workshop vorgestellt und zur Diskussion gestellt. Der Bereich der Fischereiwirtschaft wurde hier nicht mit berücksichtigt.

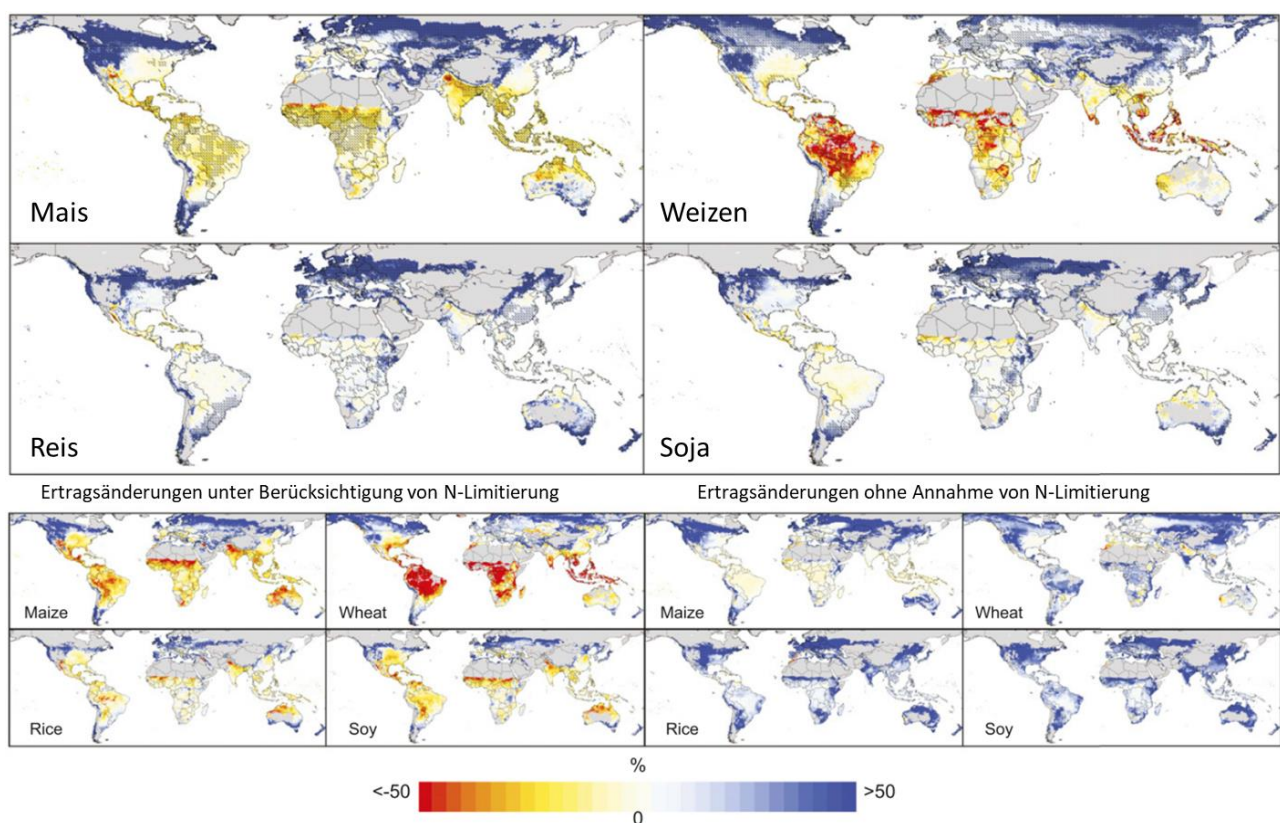
Nachfolgend werden die aus den Workshop-Ergebnissen und den Beiträgen der Online-Umfrage identifizierten zukünftig wichtigen Forschungsthemen im Kontext der Betroffenheit, möglicher Anpassungsoptionen und des derzeitigen Wissensstandes dargestellt. Dafür wird zunächst in Kapitel 2 ein Überblick über Klimaänderungen in Deutschland gegeben. Kapitel 3 umreißt wichtige

bisherige Forschungsprojekte im Bereich Klimaanpassung, die zum Teil bei der Darstellung des bisherigen Wissensstandes berücksichtigt worden sind. Anschließend folgt die Beschreibung der einzelnen Bereiche der Land- und Forstwirtschaft, die während des Workshops diskutiert wurden. Die Betroffenheit von Klimaänderungen wird dabei jedem Kapitel vorangestellt und kurz erläutert, da für jeden Sektor bzw. jede Region unterschiedliche Ausprägungen zu erwarten sind. Der derzeitige Wissensstand wird in Anpassungsoptionen zusammengefasst und mit aktuellen Forschungsprojekten sowie Ergebnissen wegweisender Regionalstudien illustriert. Dabei werden Projekte dargestellt, die laut Online-Fragebogen eine hohe Klimaanpassungsrelevanz hatten. Alle erwähnten Projekte sind im Anhang 1 nach Instituten geordnet aufgelistet. Dabei wurden die Projekte mit den Nummern der Forschungsprogramme-Datenbank (FPD) des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft angegeben. Nicht in der FPD aufgeführte Projekte wurden als solche im Text gekennzeichnet oder auf die Projekt-Webseite verwiesen. Abgeschlossene Projekte, aus denen Veröffentlichungen hervorgegangen sind, werden nicht mit der Projektnummer sondern unter Nennung der Autoren zitiert. Wissensdefizite und offene Fragen wurden sowohl für den Bereich der Klimafolgen als auch für Anpassungsoptionen deutlich. Das Working Paper fasst in einem Fazit die in Zukunft wichtigsten Forschungsbereiche im Themenfeld Klimaanpassung zusammen.

2 Klimaänderungen in Deutschland

Es ist davon auszugehen, dass aufgrund des Bevölkerungswachstums, der Landnutzungsänderungen und nicht zuletzt aufgrund des Klimawandels weltweit der Druck, auf fruchtbaren Ackerflächen Nahrungsmittel zu erzeugen, zunehmen wird. Eine standörtlich angepasste, nachhaltige Produktivitätssteigerung wird daher wichtiger denn je (WBA, 2012). Dabei sind die zu erwartenden Änderungen des landwirtschaftlichen Ertrags hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels weltweit und auch in den europäischen Ländern sehr unterschiedlich ausgeprägt. Nordeuropa gehört dabei eher zu den Gunstregionen (Abbildung 1).

Abbildung 1: Globale Ertragsänderungen (%) für den Zeitraum 2070-2099 im Vergleich mit Erträgen des Zeitraums 1980-2010 für die landwirtschaftlichen Hauptkulturen Mais, Weizen, Reis und Soja, unter Annahme des RCP-Szenario 8,5 und unter Berücksichtigung des CO₂-Düngeeffekts sowie mangelnder sowie ausreichender Stickstoff-Verfügbarkeit (unten links und rechts, klein)



Quelle: Rosenzweig et al., 2013, verändert.

So sind in Deutschland aufgrund der verlängerten Vegetationsperiode Produktionssteigerungen möglich. Die Chancen des Temperaturanstiegs und der höheren CO₂-Konzentrationen können stärker ausgeschöpft werden, wenn die veränderten Produktionspotenziale erkannt und genutzt werden. Gleichzeitig müssen aber auch die Risiken wie z. B. eine veränderte Niederschlagsverteilung

lung und Extremwetterereignisse sowie ein verändertes Schaderregeraufkommen rechtzeitig erkannt und in die Anbauplanung integriert werden. Weitere Risiken bestehen z. B. für die landwirtschaftliche Produktion auf leichten, sandigen Böden, wo das Wasser immer mehr zum begrenzenden Faktor werden wird. Die zunehmende Trockenheit während der Vegetationsperiode, aber auch eine höhere Vernässungsgefahr im Herbst, werden neue Herausforderungen insbesondere an die Bodenbearbeitung und -pflege stellen. Auch in der Tierhaltung ergeben sich Probleme durch den Klimawandel. Höhere Sommertemperaturen können die Nahrungsaufnahme und damit die Produktivität der Tiere mindern. Tierische Überträger von Krankheiten werden eingeschleppt und breiten sich verstärkt aus. Auch in der Forstwirtschaft entstehen durch den Klimawandel erhöhte Risiken durch Trockenheit, Stürme und Schädlingskalamitäten. Kaum ein anderer Wirtschaftszweig ist klimatischen Einflüssen so stark ausgesetzt, selten wird mit ähnlich langen Produktions- und Planungszeiträumen gearbeitet. Insgesamt verstärkt der Klimawandel die Anbaurisiken aller land- und forstwirtschaftlichen Produktionsbereiche.

2.1 Temperatur

Der zwischen 1881 und 2015 beobachtete Anstieg des Jahresmittels der Lufttemperatur in Deutschland liegt bei 1,4 °C. Mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 10,3 °C war 2014 das wärmste Jahr in Deutschland seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Dabei haben sich die Temperaturen in den südlichen und südwestlichen Bundesländern stärker erhöht als im Norden und Osten Deutschlands. So sind im Nordostdeutschen Tiefland mit 0,9 °C die geringsten Temperaturveränderungen, im Westen und Südwesten Deutschlands mit 1,5 °C die stärksten Temperaturänderungen zu verzeichnen (DWD, 2016).

Bis zur Mitte des Jahrhunderts (2021-2050) ist in Deutschland auch bei ambitionierter Klimaschutzpolitik mit einer weiteren Erhöhung der Jahresdurchschnittstemperatur von etwa 1 °C im Vergleich zu dem Zeitraum 1971-2000 zu rechnen. Während bei ambitionierter Klimaschutzpolitik (RCP2.6¹) die Erwärmung bis Ende des Jahrhunderts etwa auf dem Niveau 2021-2050 gehalten werden kann, wird für das „business as usual“-Emissionsszenario (RCP8.5) eine zusätzliche Erwärmung von durchschnittlichen 3,8 °C im Vergleich zu 1971-2000 projiziert. Dabei wird die Erwärmung in allen Jahreszeiten voraussichtlich ähnlich ausfallen (Tabelle 1).

¹ Die Repräsentativen Konzentrationspfade (engl. Representative Concentration Pathways (RCP))-Szenarien sind Emissionsszenarien, die für den fünften IPCC-Bericht (IPCC 2014) entwickelt wurden. Sie ersetzen die bisherigen SRES Szenarien. Die Grundlage der RCPs sind Änderungen der Treibhausgaskonzentration der Atmosphäre und die daraus resultierende Änderung der langwelligen Gegenstrahlung der Atmosphäre in W/m² im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961-1990. Die Stärke der Änderung wird durch die Zahl hinter RCP aufgezeigt. Insgesamt wurden vier RCPs entwickelt, wobei RCP2.6 das Szenario mit ambitionierter Klimaschutzpolitik und einer Änderung der langwelligen Gegenstrahlung der Atmosphäre von 2,6 W/m² darstellt, und RCP8.5 das Szenario mit wenig Klimaschutz.

Tabelle 1: Jahreszeitliche Mittelwerte der Temperatur für die Beobachtungszeiträume 1961-1990 und 1971-2000 und erwartete Änderungssignale im Vergleich zum Bezugszeitraum 1971-2000 bis zur Mitte und bis zum Ende des Jahrhunderts

	1961-1990	1971-2000	2021-2050 (RCP2.6)	2021-2050 (RCP8.5)	2071-2100 (RCP2.6)	2071-2100 (RCP8.5)
Frühjahr	7,7 °C	8,1 °C	+0,9 °C	+1,1 °C	+1,0 °C	+3,2 °C
Sommer	16,3 °C	16,6 °C	+1,1 °C	+1,3 °C	+1,1 °C	+3,9 °C
Herbst	8,8 °C	8,7 °C	+1,1 °C	+1,6 °C	+1,2 °C	+4,1 °C
Winter	0,3 °C	0,8 °C	+1,0 °C	+1,4 °C	+1,2 °C	+4,1 °C
Jahr Ø	8,2 °C	8,6 °C	+1,0 °C	+1,3 °C	+1,1 °C	+3,8 °C

Quelle: (DWD, 2016).

Die bisher beobachteten Temperaturänderungen in Deutschland haben bereits zu einer deutlichen Veränderung der Pflanzenphänologie geführt. Frühlingsphasen treten immer früher ein und es kommt zur Verschiebung von Vegetationsphasen. Die damit verbundene Verlängerung der Vegetationsperiode bietet die Chance, im landwirtschaftlichen Pflanzenbau Ertragssteigerungen zu erzielen. Andererseits kommt den mit diesen Verfrühungen und Verschiebungen verbundenen Risiken im Kontext mit Schaderregern und bestäubenden Insekten sowie Extremwetterereignissen, insbesondere Spätfrost, eine ertragsrelevante Bedeutung zu.

2.2 Niederschlag

Die jährliche Niederschlagsmenge hat seit 1881 deutschlandweit um 11 % (83 mm) zugenommen. Dabei sind, mehr als bei der Temperatur, die jahreszeitlichen und regionalen Änderungen sehr ausgeprägt. Während die Niederschlagsmengen im Winter seit 1881 um 27 % zugenommen haben, ist die Niederschlagsmenge im Sommer nahezu unverändert geblieben. Die starke Zunahme der Winterniederschläge hängt mit den tendenziell wärmeren Wintern zusammen, in denen westliche Strömungen, die feuchte Luft vom Atlantik transportieren, gegenüber trockenen, kontinentalen Hochdruck-Wetterlagen im Winter vorherrschen. Je nach Szenario liegen die projizierten Niederschlagsänderungen bis zur Mitte des Jahrhunderts bei + 2-5 % im Jahresdurchschnitt, im Vergleich zum Zeitraum 1971-2000. Dabei gibt es große jahreszeitliche Unterschiede. Während für das Szenario mit ambitioniertem Klimaschutz (RCP2.6) bis Mitte und Ende des Jahrhunderts vor allem trockenere Sommer projiziert werden, nehmen im „business as usual“-Szenario (RCP8.5) die Niederschläge bis Mitte des Jahrhunderts (2021-2050) ganzjährig zu, am stärksten im Frühjahr- und Sommerhalbjahr. Entgegen der Modelldaten wurde in Deutschland, dessen Treibhausgasemissionen bisher dem RCP8.5 folgen, seit 1990 eine Abnahme der Frühjahrsniederschläge beobachtet. Für das Ende des Jahrhunderts werden für das Szenario RCP8.5 jedoch massive Niederschlagszunahmen im Frühjahr (+ 13 %) und Winter (+ 17 %) und trockene Sommer, im Vergleich zum Zeitraum 1971-2000, projiziert (Tabelle 2).

Tabelle 2: Jahreszeitliche Mittelwerte des Niederschlages für die Beobachtungszeiträume 1961-1990 und 1971-2000 und erwartete Änderungssignale im Vergleich zum Bezugszeitraum 1971-2000 bis zur Mitte und bis zum Ende des Jahrhunderts

	1961-1990	1971-2000	2021-2050 (RCP2.6)	2021-2050 (RCP8.5)	2071-2100 (RCP2.6)	2071-2100 (RCP8.5)
Frühjahr	186 mm	179 mm	+ 5 %	+ 8 %	+ 3 %	+ 13 %
Sommer	239 mm	234 mm	- 6 %	+ 7 %	- 4 %	- 7 %
Herbst	183 mm	191 mm	+ 3 %	+ 4 %	+ 1 %	+ 7 %
Winter	181 mm	183 mm	+ 7 %	+ 5 %	+ 4 %	+ 17 %
Jahr	789 mm	788 mm	+ 2 %	+ 5 %	+ 2 %	+ 9 %

Quelle: (DWD, 2016).

2.3 Extremereignisse

Extremereignisse wie Dürre, Überschwemmungen, Hagel, Hitze, Frost oder Sturm können innerhalb Stunden oder weniger Wochen zu großen Schäden in der Land- und Forstwirtschaft führen (Gömann et al., 2015).

Die **Anzahl an Tagen mit Frost** (Minimumtemperatur $< 0^{\circ}\text{C}$) und Spätfrostereignisse haben im Vergleich zur Klimareferenzperiode 1961-1990 abgenommen und werden weiter abnehmen. Die Frostgefahr, zusammen mit den möglichen negativen Folgen für Kulturpflanzen, bleibt jedoch bestehen oder wird sogar weiter zunehmen: Einerseits muss in einzelnen Jahren weiterhin mit Spätfrost gerechnet werden, andererseits verschieben sich durch den früheren Vegetationsbeginn empfindliche Pflanzenphasen in einen Zeitraum mit höherer Spätfrostgefährdung. Im Hinblick auf das Auftreten von Frühfrost (Frost vor der Ernte im September und Oktober) wurde in der Vergangenheit eine Zunahme im Oktober festgestellt, für die Zukunft wird aber ein Rückgang projiziert. Wechselfrost könnte durch steigende Temperaturen weniger häufig auftreten. Insgesamt ist zukünftig mit mildereren Wintern zu rechnen.

Nässe (100 % nFK in 0-60 cm Bodentiefe) tritt vor allem regional sehr unterschiedlich auf und kann Folgen für die Bearbeitung des Bodens, vor allem im Frühjahr, und die Sauerstoffversorgung der Pflanzenwurzeln nach sich ziehen. Dauerregen in Form wiederholter ergiebiger Niederschläge (langanhaltende Niederschläge), führen zur Vernässung des Bodens (Staunässe). Wird die Wasserhaltekapazität des Bodens überschritten, setzt Versickerung ein und Nährstoffe werden in tiefere Schichten verfrachtet. Wassergesättigte Böden begünstigen zudem Überschwemmungen und Hochwasser.

Zunahmen der Tagesniederschläge ($> 5 \text{ mm}$) werden vor allem für das Winterhalbjahr, besonders für November projiziert, während im Zeitraum Juni bis September eine Abnahme der Tages-

niederschläge zu erwarten ist. **Fehlender Niederschlag** (Regenmenge $< 0,1$ mm pro Tag) nach Düngerausbringung kann unter anderem die Nährstoffversorgung der Kulturen beeinträchtigen und zu gasförmigen Verlusten führen. Dies gilt vor allem für die Wachstumsphase von z. B. Wintergetreide von März bis Mai. Beobachtungen der Jahre 1981-2010 zeigen im Vergleich zu den Jahren 1961-1990 einen Rückgang des Niederschlags besonders im April. Die Klimamodelle bilden den beobachteten Niederschlagsrückgang im Frühjahr in der Vergangenheit nicht ab. Aus diesem Grund müssen die Ergebnisse für die zukünftige Entwicklung der Frühjahrsniederschläge mit Vorsicht betrachtet werden. Die Klimaprojektionen gehen von einer leichten Zunahme der Niederschläge im Frühjahr aus. **Trockenheit**, gemessen an geringen Bodenfeuchten von unter 50 % nFK, wirkt sich vor allem auf flachwurzelnde Kulturen und während der Wachstumsperiode April bis Oktober sehr ungünstig aus. Die Anzahl der Tage mit geringer Bodenfeuchte in diesem Zeitraum hat zugenommen und wird weiter steigen. Ebenso ist für die Monate Mai bis August mit einer steigenden Anzahl von Tagen mit einem Temperaturmaximum über 30 °C (Hitzetage) zu rechnen, was beispielsweise sowohl die Kornfüllung als auch die Kornzahl von Weizen stark beeinträchtigt.

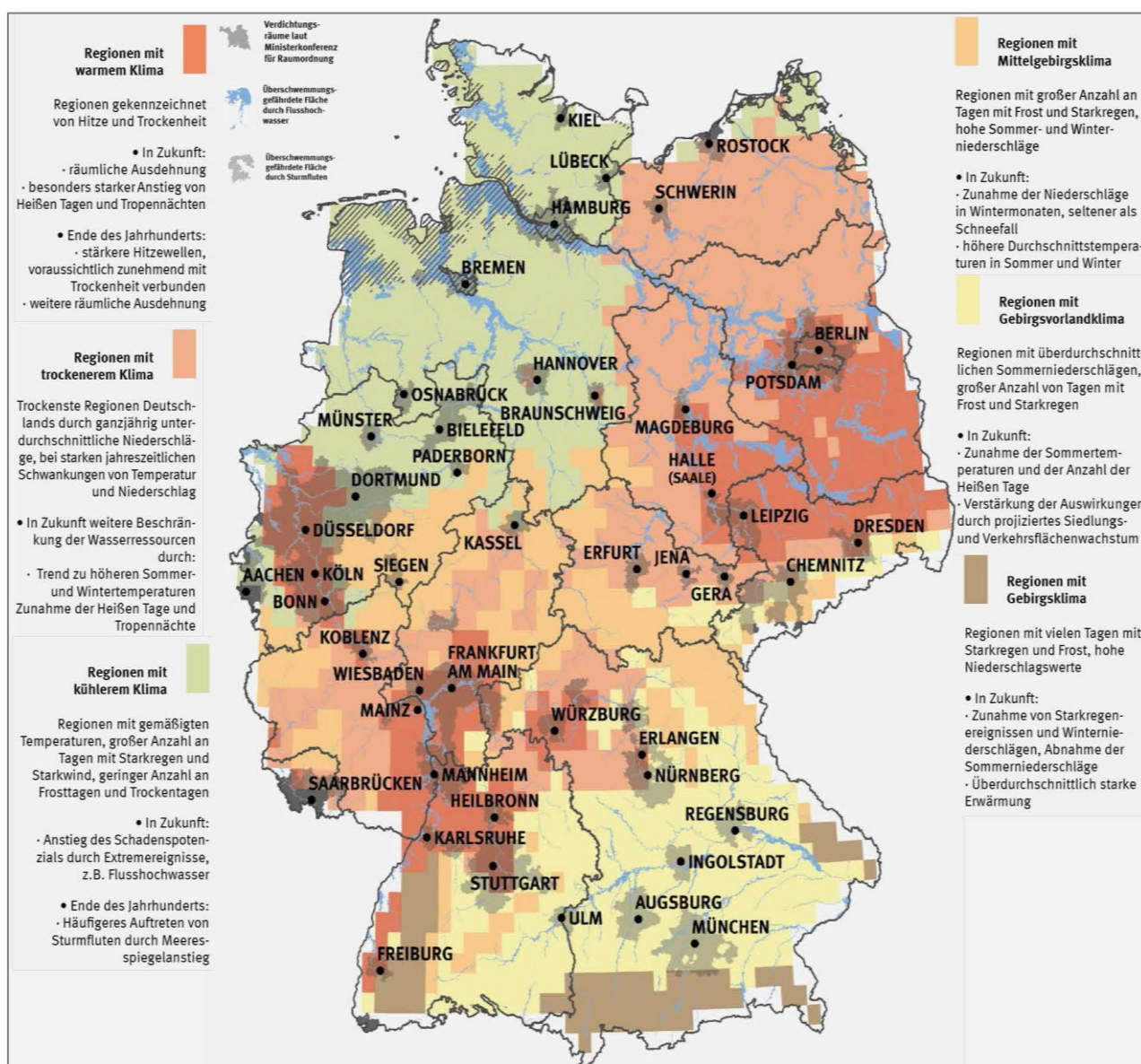
Starkregen mit Niederschlagssummen > 20 mm, oft in Kombination mit starken Windböen, kann zu großen Schäden bei Acker- und Sonderkulturen führen. Hier wird überwiegend ein Anstieg in den Wintermonaten erwartet. Tage mit Wind sind auch für die Applikation von Pflanzenschutzmitteln von Bedeutung. Hohe Windgeschwindigkeiten treten vor allem im Zeitraum von November bis Januar auf, eine Zunahme wird besonders für die norddeutschen Bundesländer erwartet. Sturmereignisse, die mit Windböen und hohen Niederschlägen einhergehen, sind für alle Kulturen, ganz besonders aber für Wälder, Getreide oder Hopfen relevant. Sturmereignisse werden möglicherweise vor allem im Winterhalbjahr von November bis Januar in Zukunft häufiger auftreten und an Intensität gewinnen.

Hagelereignisse sind lokale und seltene Ereignisse, die zu hohen wirtschaftlichen Schäden führen können. Die Erfassung von Änderungen der Häufigkeit des Auftretens ist jedoch schwierig, da Hagelereignisse von den Wetterstationen nur vor Ort (punktuell) erfasst werden und somit keine flächendeckenden Daten vorliegen. Seit 2001 werden die vorliegenden Radardaten genutzt, um die Informationslücke zum Auftreten von Hagel zu schließen (DWD, 2016).

3 Bisherige Forschungsprojekte zur Anpassung an den Klimawandel in Land- und Forstwirtschaft

Wie die bereits beobachteten Veränderungen werden auch zukünftige Klimaänderungen saisonal und regional unterschiedlich ausgeprägt auftreten. Die Anpassung an Klimaveränderungen muss daher auch in nationalem Rahmen auf regionaler und lokaler Ebene erfolgen. Dabei ist sowohl die Betroffenheit als auch die Anpassungsfähigkeit der verschiedenen Regionen Deutschlands gegenüber den erwarteten Klimaänderungen sehr unterschiedlich (Abbildung 2).

Abbildung 2: Regionale Unterschiede in der Betroffenheit von Klimaänderungen in Deutschland



Quelle: adelphi/PRC/EURAC (2015): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Umweltbundesamt Climate Change 24/2015, Dessau-Roßlau.

Einzelne Bundesländer initiierten daher schon früh Projekte zur regionalspezifischen Betroffenheit durch Klimaänderungen, sowie Möglichkeiten des proaktiven Umgangs mit möglichen Folgen, wie z. B. KLARA in Baden-Württemberg und BayFORKLIM in Bayern oder INKLIM in Hessen (Stock, 2005). Um gezielt die gesamtgesellschaftliche und sektorenübergreifende Anpassungsfähigkeit verschiedener Modellregionen zu stärken, wurden im Zeitraum 2008 bis 2014 sieben Regionalstudien im Bundesgebiet gefördert und durchgeführt. Dazu gehören die Projekte KLIFF in Niedersachsen, dynaklim in der Emscher-Lippe-Region im Ruhrgebiet, INKA BB in Brandenburg, KLIMZUG-Nord in Hamburg, nordwest2050 in der Metropolregion Bremen-Oldenburg, KLIMZUG-Nordhessen, REGKLAM in der Region Dresden und RADOST an der Ostseeküste (Biebeler et al., 2014). Neben den fachübergreifenden Regionalstudien, in denen die einzelnen Sektoren Land- und Forstwirtschaft systemintegriert betrachtet wurden, liegen teilweise auch sektoren- und regionalspezifische Studien vor, wie z. B. die in Sachsen 2008 durchgeführte Studie „Klimawandel und Landwirtschaft“, die als Ziel hatte, als Diskussionsgrundlage den Dialog mit betroffenen Akteuren zu fördern. Eine erstmalige, umfassende Bewertung der Betroffenheit der Land- und Forstwirtschaft durch Extremwetterereignisse und die Zusammenfassung möglicher Anpassungsmaßnahmen wurde in einem vom Thünen-Institut koordinierten Verbundprojekt in Zusammenarbeit mit dem JKI, dem DWD und fünf weiteren Einrichtungen von 2013-2015 durchgeführt (Gömann et al., 2015).

Die Anpassungsfähigkeit und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen einzelner Betriebe und Regionen hängt stark von der Verfügbarkeit von Informationen zu zukünftigen, regionalspezifischen Klimaänderungen ab. Um die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie zu verbessern, wurde 2015 der Deutsche Klimadienst (DKD) und das Netzwerk KlimAdapt gegründet. Der DKD ist ein Zusammenschluss von Behörden und Ämtern, der Basisdaten aus Atmosphäre, Ozean und Landoberfläche und handlungsfeldspezifische Informationen (z. B. Windenergiepotential, Bewässerungsbedarf) als Klimadienstleistungen zur Verfügung stellt. Mit KlimAdapt soll die Nutzung der bereitgestellten Informationen auf Länder- und kommunaler Ebene verbessert und die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen gefördert werden.

Im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie wurden von Klimaänderungen betroffene Bereiche, unter anderem innerhalb der Land- und Forstwirtschaft, identifiziert, als Handlungsfelder definiert und spezifische Anpassungsstrategien entwickelt. Der Erfolg in der Umsetzung wird anhand eines umfassenden Monitoringsystems bewertet (UBA, 2015).

4 Wald und Forstwirtschaft

Wälder und die Forstwirtschaft sind durch Klimaänderungen wie den kontinuierlichen Anstieg der Durchschnittstemperaturen, Dürreperioden (Hitze und Trockenheit), Spätfrost und Stürme betroffen. Eine zusätzliche Belastung stellen Änderungen in der Biologie und der Verbreitung vorhandener und potenzieller Schaderreger sowie Probleme bei der Bekämpfung von forstschädlichen Nagetieren dar. In der Folge muss mit Veränderungen sowohl der biologischen Funktion von Wäldern als auch der verschiedenen Nutzungsaspekte von Wäldern und Forstprodukten gerechnet werden.

Nachfolgend werden erwartete Folgen von Klimaänderungen sowie der Stand der Forschung exemplarisch anhand von Beispielprojekten dargestellt, und erforderliche Maßnahmen sowie Rahmenbedingungen beschrieben. Dabei werden auch Zielkonflikte benannt, die der Umsetzung von lösungsorientierten Maßnahmen möglicherweise entgegenstehen. Alle vorgeschlagenen Maßnahmen dienen der Verbesserung der Resilienz der Wald- und Forstbestände sowie der Optimierung der Waldfunktionen „Nutzen, Schutz und Erholung“ durch eine vermehrte Risikostreuung und verbesserte Ressourceneffizienz. Die Maßnahmen wurden ebenso im Kontext der gesellschaftlichen Akzeptanz diskutiert. Dem Wissenstransfer in vielfältige Bereiche der Gesellschaft kommt dabei eine entscheidende Bedeutung zu (Gömann et al., 2015). Eine Besonderheit der Forstwirtschaft, die bei der Entwicklung und Implementierung von Anpassungsmaßnahmen eine wichtige Rolle spielt, sind die langen Produktionszyklen von bis zu mehr als 100 Jahren.

4.1 Auswirkungen von Klimaänderungen auf Wald- und Forstwirtschaft

Klimaänderungen sind in Mitteleuropa mit Chancen für potenziell erhöhte Holzzuwächse durch verlängerte Vegetationsperioden und den CO₂-Düngeeffekt verbunden (von Tiedemann, 2015). Die Vitalität der Wälder und Forstbestände sowie in Folge auch die Produktivität und die Holzqualität ist aber auch durch einen erhöhten Hitze- und Trockenstress, die zunehmende Intensität von Stürmen, ein erhöhtes Waldbrandrisiko als Folge von Hitze- und Trockenperioden sowie durch Änderungen der Ozon- und Stickstoffkonzentration der Atmosphäre betroffen. Auch Frost kann durch Risse in Holz und Rinde große Schäden bei Forstgehölzen verursachen. Trockenperioden stellen vor allem für junge Bäume und die Waldverjüngung durch die Erhöhung der Absterbewahrscheinlichkeit ein großes Problem dar. Insbesondere durch langanhaltende Trockenperioden oder Stürme werden Waldbestände direkt in ihrer Vitalität beeinträchtigt und geschädigt. In der Folge treten zusätzlich auch indirekte Schäden auf. Einerseits werden durch mechanische Beschädigungen Eintrittspforten für Schaderreger (z. B. Pilze) geschaffen, andererseits wird die Anfälligkeit der Bäume gegenüber dem Befall mit Schaderregern erhöht. So sorgt das durch Stürme anfallende Schad- und Totholz für ein größeres Brutraumangebot für Insekten, was in Kombination mit hohen Temperaturen zu einem Massenauftreten von Schaderregern führen kann, mit der Folge hoher Waldschäden und Verluste.

Das Risiko für Ertragseinbußen durch Änderungen im Schadpotenzial vorhandener, teilweise humanpathogener Schaderreger wie z. B. dem Eichenprozessionsspinner wird weiter zunehmen. Zusätzlich kann sich der Schädlingsdruck durch Verschiebungen der Lebensräume der Schaderreger erhöhen. Auch eine durch veränderte klimatische Bedingungen ermöglichte Etablierung thermophiler Schädlinge, die durch Globalisierung und Handel aus wärmeren Gebieten einwandern, kann zu erheblichen Beeinträchtigungen der forstlichen Systeme und wirtschaftlichen Schäden führen.

Die Bedeutung der Berücksichtigung von Interaktionen zukünftiger Klimabedingungen und dem Auftreten von Schaderregern wird in folgendem Beispiel deutlich. In einem fach- und institutsübergreifenden Projekt von JKI und FLI wurde ein Zusammenhang zwischen dem Vorkommen der Rötelmaus als Überträger des für Tiere und Menschen gefährlichen Hantavirus und Buchenmastjahren festgestellt. Dabei sind für das Auftreten von Buchenmastjahren die Witterungsbedingungen im Vorjahr entscheidend: Ein trockener und warmer Sommer bietet gute Voraussetzungen für eine Buchenmast im darauf folgenden Jahr, und diese führt im dritten Jahr zu einer hohen Populationsdichte der Rötelmaus (Jacob et al., 2014; Ulrich et al., 2008).

Im Bereich der Forstschäden durch Wild kann es als Folge des beobachteten und erwarteten Temperaturanstiegs zu einer gesteigerten Vitalität insbesondere von Wildschweinen (z. B. einer höheren Überwinterungsrate) und dementsprechend verstärkten Schäden kommen. Zudem wirken sich Klimaveränderungen auch auf die Reservoirfunktion zahlreicher Wildtierarten für Zoonosenerreger und Infektionskrankheiten von Tieren aus. Dabei ist auch die Rolle von Arthropodenübertragenen Krankheiten bedeutsam, da die Verbreitung dieser wechselwarmen Tiere besonders von klimatischen Faktoren beeinflusst wird.

Einfluss auf Bodenmikrobiologie und biologische Vielfalt

Mit Forstgehölzen assoziierte Mikroorganismen stehen im Zusammenhang mit einem verbesserten Gehölzwachstum, einer erhöhten Stickstoff-Fixierung oder einer erhöhten Phytoremediationsleistung. Das Thünen-Institut für Forstgenetik beschäftigt sich mit der weiteren Charakterisierung der mit Forstgehölzen assoziierten mikrobiellen Gemeinschaften mit dem Ziel der Erhaltung und Erhöhung der Vitalität und somit der Leistung der Gehölze. Die Untersuchungen sollen zu einer ersten Risikoabschätzung der Auswirkungen von Klimaänderungen auf das Vorkommen und die Diversität etablierter mikrobieller Gemeinschaften und Arten beitragen (TI-FG-08-PID807). Dabei muss auch der Einfluss der bereits heute umgesetzten Anpassungsmaßnahmen, wie z. B. der Waldumbau oder der Energieholzanbau, auf die Waldfunktionen und die biologische Vielfalt beachtet werden. Dies wird beispielhaft in einem Feldversuch zum Einfluss des Energieholzanbaus auf die Bodenqualität durch die begleitende Erforschung der auf der Bodenoberfläche lebenden Insekten und Spinnentiere umgesetzt (JKI-GF-08-0047). Zudem werden zur Feststellung von Veränderungen der Kohlenstoffvorräte des Waldes Änderungen der lebenden Biomasse auch in der Bundeswaldinventur mit erfasst (TI-WO-08-PID1736).

Biologische und verfahrenstechnische Anbaursiken

Durch die beschriebenen Stressfaktoren muss mit vielfältigen Auswirkungen sowohl auf die Biologie von Bäumen und Waldökosystemen, als auch auf die Bewirtschaftung von Wäldern gerechnet werden.

Als eine der wirtschaftlich wichtigsten Baumarten in Deutschland gilt vor allem die Fichte als besonders trockenheitsempfindlich. Häufigere und verstärkte Hitze- und Trockenheitsextreme führen zu einer Veränderung der Standortseignung der Fichte mit der Folge einer geringeren Konkurrenzkraft und Ertragsleistung sowie Schadensresistenz und einem erhöhten Anbau- und Bewirtschaftungsrisiko, besonders auf Grenzstandorten. Die am Beispiel der Fichte dargestellten klimawandelbeeinflussten Änderungen der Standortseignung von Baumarten führen auch zur Veränderung des Baumartenspektrums von Wäldern mit Folgen für die Produktivität und die Ökosystemdienstleistungen des Waldes, wie unter anderem die Grundwassererneuerung, den Hochwasser- aber auch den Klimaschutz. Infolgedessen ist auch mit einer veränderten Holzverfügbarkeit vor allem von Nadelholz zu rechnen, mit Auswirkungen auf den Preis für den Rohstoff Holz für die Holzverarbeitende Industrie. Zudem sind durch vermehrte Extremwetterereignisse, vor allem Trocken- und Hitzeperioden, veränderte Holzeigenschaften und -qualitäten zu erwarten, auf die sich die Nutzung und Verarbeitung einstellen muss.

Klimaänderungen, wie steigende Durchschnittstemperaturen oder die Zunahme der Winterniederschläge mit der Folge seltenerer Frostereignisse und häufiger auftretenden Extremwetterereignissen wie Starkregen, könnten sich zudem negativ auf die Flächenzugänglichkeit zur Bewirtschaftung der Wälder auswirken.

Den hinsichtlich der Vitalität der Baumbestände und Ökosysteme oftmals negativen klimawandelbedingten Auswirkungen steht die seit Beginn der kontinuierlichen Datenerhebung stetig steigende CO₂-Konzentration der Atmosphäre als positiver Ertragsfaktor gegenüber. Dabei reagieren unterschiedliche Herkünfte einer Baumart sehr differenziert auf erhöhte CO₂-Konzentrationen, wie in Klimakammerversuchen für Buche gezeigt werden konnte (Veste et al., 2007).

4.2 Anpassungsmaßnahmen

Maßnahmen gegen Trockenstress

In Vergleichsversuchen wurden verschiedene Herkünfte der beiden Hauptbaumarten Buche und Fichte auf ihre Trockenstressresistenz getestet. Die Ergebnisse wurden als Grundlage für die Modellierung kritischer, baumartspezifischer Schwellenwerte für Trockenschäden und zur Ableitung ökonomischer Schäden genutzt (TI-WO-08-PID1345). Die als Daueraufgabe am Thünen-Institut für Waldökologie durchgeführten Versuche sollen langfristig auf weitere Hauptbaumarten ausgeweitet werden. Für trockenheitsgefährdete Randstandorte ist unter anderem die Etablierung von Agroforstsystemen eine mögliche Einkommensquelle. Hierzu wird derzeit am Thünen-Institut

für Forstgenetik in Sorten- und Herkunftsprüfungen die Eignung von Robinien hinsichtlich ihrer Trockenheitstoleranz in Agroforstsystemen getestet (TI-FG-08-PID1548). Auch Fichten weisen je nach Herkunft und Population unterschiedliche Trockenheitstoleranzen auf. Anhand der Unterschiede werden derzeit Optionen und Grenzen der regionalen Anpassung von Fichtenbeständen erfasst und eine differenzierte deutschlandweite Risikokartierung zur Bewertung des Risikos bestehender Fichtenbestände erarbeitet (<https://www.thuenen.de/de/fg/projekte/aktuelle-projekte/fichte-trockenheit/>).

Trockenstresstoleranz ist auch bei der natürlichen Waldverjüngung in Holzerntebeständen zu berücksichtigen. Bei herkömmlichen Systemen, bei denen der Holzertrag im Vordergrund steht, werden vor allem die am schnellsten wachsenden, leistungsstärksten und damit auch stresstolerantesten Bäume bei Erreichen der Zielstärke entnommen. Zur natürlichen Waldverjüngung (Saatgutproduktion) bleiben somit vor allem weniger leistungsstarke und stresstolerante Bäume übrig. Eine selektive Durchforstung kann dem entgegenwirken und dazu beitragen, dass die natürliche Waldverjüngung auf den am besten angepassten Bäumen aufbaut. Im Rahmen eines Projektes des Thünen-Instituts für Forstgenetik werden hierzu vergleichende Untersuchungen durchgeführt und Vor- und Nachteile eines solchen selektiven Bewirtschaftungssystems beleuchtet (TI-FG-08-PID1639).

Waldumbau

Der Waldumbau von Reinbeständen hin zu Mischwaldbeständen, vor allem der Ersatz von Fichten durch Laubbaumarten wie z. B. Buche und Eiche, kann die Anfälligkeit für Schäden durch Stressfaktoren wie Stürme oder Schädlinge verringern. Die Auswirkungen eines veränderten Baumartenspektrums durch Waldumbau auf die Kohlenstoff-Speicherung des Waldes werden seit Anfang 2016 vom Thünen-Institut für Holzforschung als Daueraufgabe beobachtet und dokumentiert (Projektbeschreibung für FPD und Webseite im Aufbau). Ebenso werden auch die Auswirkungen des Waldumbaus auf hydrologische Parameter und den Landschaftswasserhaushalt als Daueraufgabe des Thünen-Institut für Waldökosysteme untersucht. Dazu werden mit Hilfe von Lysimetern die Veränderungen des Wasserhaushaltes aufwachsender Kiefern-Buchen-Eichen-Mischbestände im Vergleich zum Kiefern-Reinbestand untersucht (TI-WO-08-PID1352). Die ökonomischen Auswirkungen eines veränderten Baumartenspektrums und einer geänderten Waldbewirtschaftung durch Klimaänderungen werden in Projekten des Thünen-Instituts für Internationale Waldökonomie und am Thünen-Institut für Waldökosysteme untersucht und quantifiziert (TI-WF-08-PID1542, TI-WO-08-PID1731).

Ressourcennutzung

Der andauernde Waldumbau und die Veränderung der Baumartenzusammensetzung werden weitreichende Folgen für die Rohstoffversorgung der Holzverarbeitenden Industrie haben. Der bislang hauptsächlich genutzte Rohstoff Nadelholz (vornehmlich Fichte, Kiefer) wird national in geringerem Umfang zur Verfügung stehen bzw. wird einer Preissteigerung unterliegen. Einem verringerten Angebot für Nadelholz kann unter anderem mit einem effizienten Einsatz des Rohstoffs Holz durch eine optimierte Ressourcennutzung z. B. durch Kaskadennutzung entgegenge-

wirkt werden. Die Voraussetzung der Kaskadennutzung sind hohe Holzqualitäten, die durch klimaangepasste Sortenentwicklung sichergestellt werden müssen. Die Randbedingungen für die Etablierung von Waldbeständen mit einer erhöhten Stoffproduktion werden in einem Verbundprojekt des Thünen-Institut für Forstgenetik untersucht. Neben der Steigerung der Wuchsleistung (Erhöhung der CO₂-Bindung) wird auch eine Erhöhung der Holzqualität angestrebt (TI-FG-08-PID1641). Zudem ermöglicht die standardisierte Untersuchung von Holz zur Eignung als Bauprodukt am Thünen-Institut für Holzforschung Empfehlungen zur Verwendung von Alternativbaumarten (z. B. Douglasie), deren Anbau im Zuge von Klimaveränderungen an Bedeutung gewinnen wird (TI-HF-08-PID1412).

Eine weitere Möglichkeit, den Rohstoff Holz effizienter zu nutzen ist die Entwicklung verbesserter Produkte für eine neue Generation biobasierter Verbundwerkstoffe. In einem Projekt des Thünen-Institut für Holzforschung werden leichte Plattenwerkstoffe (sog. Sandwichplatten) entwickelt, die aufgrund ihres strukturellen Aufbaus eine deutliche Leistungssteigerung gegenüber konventionellen Holzwerkstoffen aufweisen (TI-HF-08-PID1451). Das Material wird dort verdichtet eingesetzt, wo es zur Aufnahme von Spannungen benötigt wird.

Ökosystemdienstleistungen

Baumbestände, z. B. Erlen, bieten entlang von Gewässern einen effektiven Hochwasserschutz als Ökosystemdienstleistung, dem durch zukünftig häufiger auftretende Hochwasserereignisse eine zunehmende Bedeutung zukommt. Seit etwa 1990 werden europäische Erlenarten durch den Scheinpilz *Phytophthora alni* massiv geschädigt. Die Schäden wirken sich massiv auf die Stabilität von Beständen entlang von Gewässern aus. Da ein Pflanzenschutz Einsatz schlecht möglich ist, werden vor Ort nicht befallene Einzelbäume gezielt auf ihre Resistenz untersucht und zur Vermehrung genutzt (TI-FG-08-PID1653).

Auch die Klimaschutzfunktion des Waldes als Kohlenstoff- und CO₂-Speicher und der Schutz der biologischen Vielfalt stellen Ökosystemdienstleistungen dar. Sie hängen entscheidend von der Vitalität und Produktivität des Waldes ab und können nur durch den Erhalt der Vitalität durch wirksame Anpassungsmaßnahmen garantiert werden. Hier ergibt sich ein direkter Zusammenhang von Klimaanpassungsmaßnahmen und den künftigen Klimaschutzfunktionen der Forstbestände (Naturkapital Deutschland – TEEB DE, 2015).

Schaderreger

Umfassende Forschungsergebnisse zu den Auswirkungen von Klimaveränderungen auf forstwirtschaftlich relevante Schadorganismen und die zukünftige Vulnerabilität der Wälder sind rar und liegen bislang nur zu einzelnen Schaderregern vor. So konnte z. B. für Borkenkäfer ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten von (Extrem-) Wetterereignissen wie Dürreperioden oder Stürmen mit hohem Schadholzanfall und Massenvermehrungen beobachtet werden (Bolte et al., 2010). Aus diesen Zusammenhängen wurden vom Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst des JKI Schwellenwerte und Modelle für das Auftreten des Fichtenborkenkäfers abgeleitet (JKI-GF-08-0014).

Auch für das zukünftige Auftreten der Rötelmaus als Überträger des Hantavirus, werden am Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst des JKI derzeit aus regionalspezifischen Prognosen und Vorhersagen unter Einbeziehung zukünftiger Klimaszenarien Prognosemodelle der Rötelmausabundanz entwickelt (JKI-GF-08-1160/ FLI-INNT-08-Ri-0102 / FLI-INNT-08-Ri-0308). Zudem wird unter der Federführung des FLI – Institut für neue und neuartige Tierseuchenerreger – ein deutschlandweites Netzwerk zum langfristigen Monitoring des Auftretens von Nagetieren und Nagetier-übertragenen Pathogenen, sowie ein nationales Referenzlabor aufgebaut. Sowohl das Monitoring als auch das Referenzlabor sollen als Daueraufgabe weitergeführt werden. Zur Entwicklung von Bekämpfungsprogrammen und eines wirksamen, termingerechten Nützlingseinsatzes wird am Institut für Biologischen Pflanzenschutz des JKI die Biologie der derzeit wichtigsten Schadinsekten im Forst und deren potenzieller Antagonisten erforscht (JKI-BI-08-1103).

Auch für weitere etablierte sowie potenzielle Schaderreger muss das Risiko des Auftretens von Forstschädlingen und Baumpathogenen durch geänderte Klimafaktoren neu bewertet werden. Seit 2009 ist das JKI – Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst federführend an dem Aufbau und der Etablierung eines Informations- und Monitoringsystems zur Dokumentation der Verbreitung, Biologie und Ökologie von forstlichen Schadorganismen in Zusammenarbeit mit den Forst- und Pflanzenschutzdienststellen der Länder beteiligt (JKI-GF-08-0043). Die Ergebnisse sollen zum Aufbau eines Frühwarnsystems zur Hilfestellung bei der Durchführung von Vorsorgemaßnahmen genutzt werden.

Die bislang vergleichsweise seltenen, sehr variablen und regional begrenzt auftretenden Extremereignisse sowie deren Folgeschäden erschweren Vorhersagen des Auftretens von Schaderregern und forstschädlichen Nagetieren erheblich. Um Beeinträchtigungen der Vitalität von Waldökosystemen, z. B. durch das Auftreten von Schaderregern oder ungünstige Temperatur- und Bodenfeuchteverhältnisse, schneller identifizieren zu können, wird unter Koordination des Thünen-Institut für Waldökosysteme seit 1995 ein forstliches Umweltmonitoring durchgeführt und ausgewertet. Das Umweltmonitoring umfasst als Daueraufgabe auch die Untersuchung der Auswirkungen von Schadstoffen, Schaderregern und Klimaänderungen sowie mögliche Interaktionen. Auf dessen Basis soll in internationalen Netzwerken ein adaptives Waldmanagement entwickelt werden (TI-WO-08-PID1566).

Als erster Schritt zur Prävention von Schäden durch potenziell mit einer zunehmenden Globalisierung des Holzhandels und der Klimaerwärmung auftretende, neue Schaderreger wurde am Thünen-Institut für Holzforschung ein Monitoring von Importholzinsekten, wie z. B. dem Schiffsböhrwurm, erprobt (Projektbeschreibung für FPD und Webseite im Aufbau).

4.3 Ausblick

Prognosemodelle

Um den Risiken durch abiotische und biotische Schadfaktoren in Zukunft besser entgegenzutreten zu können und ökologische wie ökonomische Schäden zu vermeiden, ist die Entwicklung und die Anpassung geeigneter Modelle zur Abschätzung regionaler Klimafolgen dringend erforderlich. Darauf aufbauend wäre eine klimaangepasste Risikoanalyse für einzelne Regionen und Baumbestände von besonderem Wert. Oft fehlen aber geeignete Daten aus Versuchen und Erhebungen, z. B. zu Ursache-Wirkung-Zusammenhängen zwischen abiotischen Faktoren und der Pflanzenphysiologie oder dem Auftreten von Schaderregern und ihrer Biologie, oder den Auswirkungen des Klimawandels auf forstschädliche Nagetiere (Rötelmaus, Erdmaus, Schermaus), inkl. der Beeinflussung der mit diesen Schadnagern assoziierten Krankheitserregern. Zudem unterscheiden sich vorhandene Daten teilweise in ihrem Format und ihrer Informationstiefe erheblich, sodass die Entwicklung passender Modelle nur schwer möglich ist. Hier besteht dringender Bedarf, die Datenlücken zu identifizieren und zu schließen, um eine zukunftsfähige Risikomodellierung zu ermöglichen und die Handlungsfähigkeit zu verbessern.

Während für die Auswirkungen von Luftschadstoffen auf den Waldzustand ein etabliertes Monitoringsystem besteht, müssen zukünftig verstärkt auch Einzelwirkungen von Luftschadstoffen wie z. B. Ozon und deren Interaktion mit Klimaparametern wie Trockenstress betrachtet werden. Nur so können frühzeitig Schadbilder erkannt und Gegenmaßnahmen entwickelt werden.

Erhalt der genetischen Vielfalt und Nutzen der Möglichkeiten neuer genetischer Verfahren

Da kleinräumige Klimavorhersagen noch eine große Variationsbreite aufweisen, ist eine hohe genetische Vielfalt eine der wichtigsten Voraussetzungen für anpassungsfähige Waldbestände. Der Erhalt der genetischen Vielfalt (forstgenetischer Ressourcen) mittels in-situ-Maßnahmen (vitaler, natürlicher Waldbestände, die durch natürliche Verjüngung zur Generhaltung beitragen) und ex-situ-Maßnahmen (angelegte Plantagen außerhalb des natürlichen Vorkommens der Arten) ist ein Schlüssel zur Sicherung der Anpassungsfähigkeit der Wälder. Die Anpassungsfähigkeit der Wälder kann durch eine verstärkte internationale, innereuropäische Zusammenarbeit zur Bereitstellung forstgenetischer Ressourcen, die ein noch weiteres Klimaspektrum abdecken, noch entschieden verbessert werden. Bei bestimmten Resistenzeigenschaften gegen Wettereinflüsse und Schädlinge wird gegenwärtig davon ausgegangen, dass sie nicht genetisch sondern epigenetisch reguliert werden. Ein Verständnis epigenetischer Mechanismen bei widerstandsfähigen Bäumen könnte zu einer beschleunigten Züchtungsforschung und besserer Selektion resistenter Bäume führen. Da ein Verständnis epigenetischer Mechanismen die Möglichkeit bieten könnte, die durch lange Reproduktionszyklen von Bäumen erschwerte Züchtungsforschung zu beschleunigen, trägt eine Ausweitung der Forschung in diesem Bereich zur erfolgreichen Klimaanpassung von Wäldern bei.

Auch die Wirkung der mit Bäumen in Symbiose lebenden Organismen (unter anderem Endophyten) wie z. B. verschiedene Pilze und Bakterien, sind noch weitgehend unerforscht. Die Identifizierung probiotischer Organismen und deren gezielte Anwendung könnten zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit von Gehölzen beitragen.

Biotische Schadfaktoren

Die größte Herausforderung für die Vitalität und somit den Erhalt der Produktivität der Wälder, stellen die weitgehend unbekannten Interaktionen sowohl von bereits etablierten als auch von einwandernden Schaderregern und Klimaveränderungen dar. In Anlehnung an bereits etablierte Monitoringsysteme z. B. für Luftschadstoffe, ist die Entwicklung eines umfassenden Monitoringsystems für biotische Schadfaktoren dringend erforderlich. Dazu gehört die präventive Diagnostik zur Identifizierung der Habitatfaktoren einzelner Schaderreger und deren künftigen potenziellen Verbreitungsgebieten. Hier müssen gezielt fehlende Daten zu den klimatischen Ansprüchen einzelner Schaderreger sowie deren Wirten identifiziert und erarbeitet werden. Darauf aufbauend können dann, zur Unterstützung risikobasierter Managemententscheidungen, Prognosemodelle entwickelt oder angepasst werden. Als Vorsorgemaßnahme für die Einschleppung neuer Schaderreger werden Strategien für ein verbessertes und grenzübergreifendes Monitoring sowie für den akuten Befall oder das Sichten neuer Schädlinge benötigt.

Neben der notwendigen Erforschung des zukünftigen Auftretens von Schaderregern und forstschädlichen Nagetieren und der Verbesserung der Vorhersagemodelle sollte auch die Entwicklung wirksamer Pflanzenschutzmaßnahmen für den Schadensfall nicht vernachlässigt werden. Hier kommt sowohl der Entwicklung und Weiterentwicklung effizienter Applikationstechniken als auch der einzelnen Pflanzenschutzverfahren große Bedeutung zu. Es besteht besonderer Forschungs- und Transferbedarf in die Praxis für vorbeugende Maßnahmen und das Aufzeigen der Möglichkeiten von biologischen und chemischen Verfahren sowie von Pflanzenstärkungsmitteln und -verfahren.

Veränderte Standortseignung

Derzeitige Anpassungsmaßnahmen an eine veränderte Standortseignung umfassen sowohl die Mischung unterschiedlicher Baumarten zur Verteilung der Risiken, als auch den Umbau heute schon trockenheitsgefährdeter Waldbestände, vor allem an Standorten mit einem hohen Anteil an Fichten, mit Hilfe toleranterer Arten. Durch die Etablierung von Mischbeständen kann das Risiko für Ertragseinbußen und Schadholz gesenkt und die Resilienz der Bestände erhöht werden. Der Forschung zu den Resistenzen einzelner Baumarten kommt darüber hinaus eine ebenso große Bedeutung zu.

Für einzelne Baumarten (z. B. Fichte, Robinie, siehe Kapitel 4.2) liegen bereits Ergebnisse zur Anbaueignung an verschiedenen Standorten unter gegenwärtigen und erwarteten Klimabedingungen vor. An vielen Standorten wird Waldumbau auch bereits umgesetzt, ein noch gezielterer Umbau besonders gefährdeter Standorte (Fichten-Reinbestände auf trockenheitsgefährdeten Standorten) ist wünschenswert und notwendig. Untersuchungen zur Standorts- und Anbaueig-

nung für weitere Hauptbaumarten sowie für weniger verbreitete Baumarten, denen im Klimawandel eine größere Bedeutung zukommen kann (z. B. Baumhasel, Libanonzeder), fehlen weitgehend. Dem könnte durch in den nächsten Jahren angelegte Versuche entgegengewirkt werden, bei denen diverse Herkünfte einer Baumart auf ihre Vitalität und Leistungsfähigkeit unter verschiedenen klimatischen Bedingungen getestet werden. Auch sollten verstärkt Herkünfte der Hauptbaumarten aus trockenen Gebieten auf ihre Eignung für den Anbau in Deutschland hin geprüft werden.

Eine wichtige Entscheidungsgrundlage für den Waldumbau stellt das Wissen um die Resistenz bzw. Toleranz verschiedener Baumarten und Herkünfte gegenüber Trockenheit, Frost und Schädlingen dar. Bisher fehlen aber noch Informationen zur Anpassungsfähigkeit verschiedener Herkünfte der Hauptbaumarten an den Klimawandel. Die Resistenzforschung trägt dazu bei, an besonders betroffenen Standorten resistente Einzelbäume (Plusbäume) auszuwählen und gezielt zu vermehren, um die Bereitstellung von qualitativ hochwertigem Vermehrungsgut zu gewährleisten. Eine zusätzliche Identifizierung der genetischen Merkmale von Plusbäumen könnte der Entwicklung angepasster, toleranter und schädlingsresistenter Varianten durch eine gezielte Vermehrung von Bäumen mit geeigneten Merkmalen und der Kreuzung mehrerer Individuen mit unterschiedlichen Resistenzmerkmalen zuträglich sein.

Bewirtschaftungs- und Marktfaktoren

Durch die Kaskadennutzung von Holz kann einem zukünftigen, geringeren Nadelholzangebot durch den fortschreitenden Waldumbau entgegengewirkt werden. Die Voraussetzung der Kaskadennutzung sind gute Holzqualitäten, die durch weitere klimaangepasste Sortenentwicklung sichergestellt werden können. Zudem sollten Möglichkeiten der Nutzung von Substitutionshölzern aufgezeigt werden, da die Produktqualitäten von beispielsweise Plantagenholz oder neuen Baumarten (mit Ausnahme der Douglasie) noch wenig bekannt sind. Angepasste technologische Nutzungskonzepte und -verfahren zu neuen aber auch vorhandenen, aber bisher nicht vorzugsweise genutzten Hölzern werden benötigt.

Die Flächenzugänglichkeit muss auch unter den projizierten Klimabedingungen wie niederschlagsreicheren Wintern oder vermehrten Starkregenereignissen gewährleistet werden, was eine Anpassung der Forsttechnik notwendig machen wird.

Management

Das Forstmanagement kann durch verschiedene Faktoren zur Erhöhung der Anpassungsfähigkeit der Wälder beitragen. Dazu muss das Management auf das Auftreten unvorhersehbarer Ereignisse mit großer Schadwirkung vorbereitet sein. Waldbesitzer, wie nachgelagerte Holzverarbeitungsbetriebe, müssen für den Umgang mit einem hohen Schadholzaufkommen als Folge extremer Wetterereignisse oder hohem Schädlingsaufkommen sensibilisiert werden.

Auswirkungen des Waldumbaus auf die C-Speicherung der Wälder sowie die Grundwasserneubildung sind bereits Gegenstand der Forschung. Offen bleibt noch, ob die bisherigen Anpassungs-

maßnahmen wie der Waldumbau die erhoffte Wirkung hinsichtlich Resistenz und Toleranz gegenüber Schaderregern und abiotischen Schadfaktoren entfalten. Ökonomische Bewertungen des aktiven Waldumbaus, der meist mit hohen Investitionskosten verbunden ist, könnten als Entscheidungsgrundlage genutzt werden. Solch eine ökonomische Bewertung ist jedoch oft noch schwierig, da waldwachstumskundliche und klimatische Daten in ausreichender Auflösung benötigt werden. Bei allen Managementmaßnahmen müssen auch die Auswirkungen von Anpassungsmaßnahmen auf die biologische Vielfalt von Wäldern und Waldökosysteme insgesamt, wie z. B. eine stärkere Durchforstung, die Änderung von Bewirtschaftungszeiten und technische Maßnahmen wie eine zeitweise Bewässerung berücksichtigt werden.

Zielkonflikte

Klimaanpassungsmaßnahmen können nur mit einer hohen Akzeptanz aller beteiligten Interessenvertreter wirkungsvoll umgesetzt werden. Dabei kann die frühe Berücksichtigung und Offenlegung möglicher Zielkonflikte durch unterschiedliche Interessen oder rechtliche Rahmenbedingungen die Umsetzung und Akzeptanz oft entscheidend verbessern.

Anpassungsmaßnahmen wirken vor allem im Forstbereich durch die langen Umtriebszeiten eher langfristig, was deren Flexibilität einschränkt. Auch die (ökonomische) Wirkung von Anpassungsmaßnahmen zeigt sich eher langfristig, was die Motivation zu Investitionen in diese Maßnahmen einschränken könnte. Auch die Klimaschutzleistung und der Schutz der biologischen Vielfalt kommen den Forstbetrieben derzeit nicht unmittelbar finanziell zugute. Soll diese problematische Konstellation aufgelöst werden, so erscheint eine entsprechende Ausrichtung des Fördersystems angezeigt. Dazu müssen auch existierende Konflikte zwischen Waldnaturschutz- und Energiewendezielen thematisiert und geklärt werden (Naturkapital Deutschland – TEEB DE, 2015).

Ebenso zu berücksichtigen sind die gesellschaftlichen Erwartungen und Ansprüche an den Wald, der gleichzeitig genutzt und geschützt werden soll und einen hohen Erholungsanspruch erfüllen muss. Durch den Waldumbau als Klimaanpassungsmaßnahme ändert sich das Aussehen des Waldes, sodass zur Erhöhung der gesellschaftlichen Akzeptanz Aufklärungsbedarf bestehen kann.

Zielkonflikte können auch durch rechtliche und politische Rahmenbedingungen bzw. Vorgaben entstehen. So könnten beispielsweise umweltrechtliche Vorgaben im Rahmen der Pflanzenschutzmittelzulassungen die Implementierung im Zuge veränderter Schaderregersituation notwendiger, neuer Pflanzenschutzverfahren erschweren. Zusätzlich können Zertifizierungssysteme die Umsetzbarkeit von Maßnahmen, z. B. mit Bezug zum Waldumbau, beschränken. Darüber hinaus gelten besitz- bzw. eigentumsrechtliche Bestimmungen, die z. B. den Zugang zum Privatwald regeln und dadurch zuweilen eine effektive Umsetzung von Vorsorge- und Anpassungsmaßnahmen beeinflussen können. Bei der Entwicklung geeigneter Anpassungsmaßnahmen und -konzepte für den Wald und die Forstwirtschaft müssen diese Rahmenbedingungen und mögliche Zielkonflikte dringend bedacht und analysiert werden.

5 Ackerbau

Der Ackerbau muss sich mittel- bis langfristig noch stärker auf die Folgen des Klimawandels einstellen. Die Ausprägungen der Klimafolgen sind regional sehr unterschiedlich und werden von Bodeneigenschaften, Orographie sowie den traditionell angebauten Kulturpflanzenarten und ihrer Nutzung beeinflusst.

Da die zukünftigen Klimaänderungen je nach regionalen Bedingungen unterschiedlich ausgeprägt auftreten werden, ist die Entwicklung einer für die verschiedenen Boden-Klima-Räume spezifischen Vorhersage und eines standortbezogenen Managements notwendig. Dieses Management muss eine an regionsspezifische Begebenheiten und zukünftige Klimabedingungen angepasste Bewirtschaftung ermöglichen. Es besteht Bedarf an der Entwicklung eines Katalogs an Maßnahmen, die je nach Bedarf, nach Betroffenheit/Region standortspezifisch ausgewählt werden können. Dazu zählen regionalspezifisch angepasste, leistungsfähige und resistente Kulturpflanzenarten und -sorten sowie eine wassersparende Bodenbearbeitung. Einer verbesserten Prognose von Schaderregern und Schadnagern, wie z. B. Feldmaus, und der Entwicklung innovativer Methoden und Entscheidungshilfen für die termingerechte Anwendung von Pflanzenschutzmaßnahmen kommt ebenfalls große Bedeutung zu. Insgesamt müssen die Maßnahmen anhand ihrer Kosten und Nutzen aus ökonomischer, ökologischer und gesellschaftlicher Sicht bewertet werden.

5.1 Auswirkungen von Klimaänderungen auf den Ackerbau

Der Ackerbau ist von Klimafolgen direkt betroffen. Insgesamt muss mit höheren Temperaturen, häufigeren Extremwetterereignissen, suboptimaler Wasserversorgung (Nässeperioden vor allem im Winterhalbjahr und andauernde Trockenheit insbesondere im Frühjahr) kombiniert mit Hitzestress, sowie einem steigenden Ozongehalt der Luft gerechnet werden. Der Anstieg der CO₂-Konzentration führt zu Ertragssteigerungen (Weigel und Manderscheid, 2012). Andererseits ist in Folge des Temperaturanstiegs und der Zunahme von Extremwetterereignissen auch mit einer Zunahme der Ertragsvariabilität und mit Ertragsausfällen zu rechnen. Die Bedeutung der biotischen Faktoren nimmt ebenfalls zu. Hervorgerufen wird dies unter anderem durch eine höhere Anfälligkeit der Kulturpflanzen durch Extremwetterereignisse, Veränderungen der Phänologie der Kulturpflanzen, das Auftreten neuer und bisher wirtschaftlich nicht relevanter Schadorganismen und möglicherweise veränderte Massenreproduktionszyklen bei Schadnagern sowie Problemen bei deren Bekämpfung. Neben Änderungen im Ertrag kann auch die Qualität der Erntegüter beeinflusst werden.

Betroffenheit durch Extremwetterereignisse

Zwar ist die Anzahl an Tagen mit Frost rückläufig, eine grundsätzliche Frostgefahr bleibt aber bestehen, sodass die Winterhärte ein wichtiges Kriterium bei der Sorten- und Kulturwahl bleibt. Zudem sind häufigere Schäden durch Kahlfröste für Kulturpflanzen (Winterkulturen), z. B. Winterweizen, Wintergerste, Roggen und Winterraps zu erwarten. Wechselfrostereignisse, die vor

allein durch Abreißen der Wurzeln und Frostrocknis das Wachstum von Wintergetreide und Raps beeinträchtigen, könnten durch steigende Temperaturen weniger häufig auftreten. Dagegen bieten mildere Winter Virusvektoren (z. B. Blattläusen) bessere Lebensbedingungen mit der Folge, dass Viruserkrankungen an Bedeutung zunehmen könnten. Beispielsweise wurden in Folge des milden Winters 2015/2016 Wintergetreide und Leguminosen besonders stark durch Viruserkrankungen geschädigt.

Nässe (100 % nFK in 0-60 cm Bodentiefe) tritt vor allem regional sehr unterschiedlich auf und kann sich ungünstig auf die Bearbeitung des Bodens, v. a. im Frühjahr, und auf die Sauerstoffversorgung von Pflanzenwurzeln auswirken. Dauerregen, d. h. wiederholte ergiebige Niederschläge (langanhaltende Niederschläge), führen zur Vernässung des Bodens. Während der Ernte führt Dauerregen zu hohen Kornfeuchten, die die Ernte erschweren und/oder hohe Trocknungskosten verursachen.

Starkregen von > 20 mm Tagesniederschlag, der oft in Kombination mit Windböen auftritt, kann zu irreversiblen Umknicken der Pflanzen (Lagerbildung), besonders von Getreide, Raps und Weizen, und/oder zu Kornverlust führen. Auch Bodenerosion und Verschlammung sind mögliche Folgen. In Folge der Starkregenereignisse nimmt die Gefahr von pilzparasitären Ähren- und Blatterkrankungen zu. Das hat nicht nur negative Folgen für den Ertrag, sondern auch für die Qualität der Erntegüter (z. B. höhere Mykotoxingehalte von Getreide und Mais).

Die Vorhersage des Auftretens von Wind ist für die Applikation von Pflanzenschutzmitteln wichtig, da die Ausbringung nach guter fachlicher Praxis nur bei geringen Windgeschwindigkeiten von < 5 m/s durchgeführt werden darf. Oft müssen Pflanzenschutzmaßnahmen aber binnen weniger Tage bzw. Stunden nach Feststellung eines Auftretens von Schaderregern (z. B. Pilzkrankungen an Getreide oder Kartoffeln) durchgeführt werden. Ein aufgrund ungünstiger Witterung wie hohen Windgeschwindigkeiten oder längeren Niederschlagsperioden verzögerter Einsatz kann so bis zum Totalausfall führen. Das Auftreten von Wind mit Geschwindigkeiten > 5 m/s ist saisonal und regional sehr unterschiedlich. In Deutschland treten vor allem im Norden Deutschlands und von November bis März die häufigsten Tage mit Wind auf. Auch Sturmereignisse (Wind mit > 10 m/s) können z. B. zu hohen Verlusten bei Getreide durch Lagerbildung führen. Eine Trendaussage zur zukünftigen Entwicklung der Anzahl von Tagen mit hohen Windgeschwindigkeiten ist jedoch schwierig. Projektionen haben eine Spannweite von einer deutlichen Abnahme bis zu einer starken Zunahme.

Effekte durch erhöhte CO₂-Konzentrationen der Atmosphäre

Im Gegensatz zu den möglichen Schäden durch häufigere Extremwetterereignisse und den biotischen Folgeschäden fördern die steigenden CO₂-Gehalte der Atmosphäre das Pflanzenwachstum.

CO₂ ist ein Pflanzennährstoff, der unter normalen Klimabedingungen einen limitierenden Faktor für das Pflanzenwachstum darstellt. Eine steigende CO₂-Konzentration in der Atmosphäre fördert daher die Assimilation und das Wachstum und verringert gleichzeitig den Wasserverbrauch. Da-

bei sind positive Ertragseffekte durch höhere CO₂-Konzentrationen von Pflanzenart (Manderscheid et al., 2009, 2010) und auch vom Genotyp abhängig (Mitterbauer et al., 2017). Nichtsdestotrotz werden, vor allem durch die zusätzlich auftretenden Folgen des Klimawandels wie Dürre- und Hitzeperioden oder steigende Ozonkonzentrationen, weltweit Ertragsrückgänge der Hauptkulturen Weizen, Reis und Soja erwartet (Weigel und Bender, 2012; IPCC, 2014). Dies ist vor allem darin begründet, dass Trockenheit und Hitzeperioden je nach Dauer und Intensität sowie Entwicklungszeitpunkt der Pflanze massive Ertragsausfälle und Qualitätsminderungen bei Kulturpflanzen nach sich ziehen können. Negative Effekte durch Hitze (Rezaei et al., 2017), Dürre (Manderscheid et al., 2014) und Ozonbelastung (Weigel und Bender, 2014) werden dabei durch höhere CO₂-Konzentrationen teilweise kompensiert.

Auch Unkräuter profitieren von höheren CO₂-Konzentrationen. So wurde im Zuge der Temperaturerhöhung in den letzten Jahren ein vermehrtes Auftreten wärmeliebender Unkräuter mit teilweise giftigen Inhaltsstoffen beobachtet. Unkräuter können durch die Konkurrenz um Wasser und Nährstoffe zu Ertragseinbußen bei Kulturpflanzen führen, zudem besteht die Gefahr der Kontamination des Erntegutes.

Auswirkungen auf Verbreitungsareale von Pflanzen

Temperaturänderungen führen einerseits zu einer Verschiebung der Verbreitungsareale von Wildpflanzen. Andererseits eröffnen sich durch die Erwärmung aber auch neue Anbaumöglichkeiten für wärmeliebende Kulturpflanzenarten und -sorten.

Die Verbreitungsareale heimischer Wildpflanzen, die einen natürlichen Genpool für Kulturpflanzen darstellen, werden durch den Klimawandel voraussichtlich in ihrer Größe beeinträchtigt. Dies führt zur Minderung der innerartlichen Vielfalt. Andererseits besteht die Möglichkeit der Einwanderung von Pflanzenarten aus dem Süden, insofern geeignete Korridore bestehen. Es ist jedoch unklar, ob geeignete und ausreichende Korridore vorhanden sind, ob sich die eingewanderten Arten an veränderte Tageslängen anpassen können, ob sie geeignete Bodenbedingungen vorfinden und ob die für insektenbestäubte Pflanzen wichtigen Bestäuber mitwandern. Daher ist bisher nicht abzuschätzen, welche mit unseren Kultur- und Nutzpflanzen verwandte Wildarten in ihren natürlichen Lebensräumen innerhalb und außerhalb Deutschlands überleben werden und der Züchtung als genetische Ressource im Jahr 2050 noch zur Verfügung stehen.

Schaderreger

Höhere Temperaturen, Extremwetterereignisse und sekundäre Faktoren wie ein geändertes Bestandesklima und Reifezeiten haben einen unterschiedlichen Einfluss auf das Auftreten und die Schadwirkung von Schaderregern und Schadnagern. So können sich sowohl die geographische Verbreitung von Pflanzenpathogenen als auch die Klimabedingungen für das Vorkommen und die Verbreitung geeigneter Wirte ändern. Dies kann sowohl zum Auftreten neuer Schaderreger als auch zum Bedeutungsverlust oder Verschwinden bisher in einer Region etablierter Arten führen. Durch globale Handels- und Reiseaktivitäten können neue Schadorganismen eingeschleppt werden und sich ansiedeln. Als Beispiel soll hier der Maiswurzelbohrer genannt werden, der sich erst

vor wenigen Jahren in Deutschland etabliert hat. Die Bedeutung von Krankheitsvektoren nimmt zu, wodurch Bakterien- und Viruserkrankungen verstärkt auftreten könnten. Dies ist aktuell bereits bei Getreide für die blattlausübertragenen Gelbverzwergungs- und Weizenverzwergungsviren sowie bei Leguminosen für Nanoviren zu beobachten. Neben den Schaderregern können aber auch blütenbesuchende Insekten und Nützlinge von den Klimaänderungen profitieren.

Auch die Schadwirkung und das Ausmaß von Schäden durch bereits etablierte Krankheiten, Schädlinge und Unkräuter sowie Schadnager könnten sich mit dem Klimawandel ändern. Dabei ist auch die Wirkung einer Verschiebung der Phänologie der Pflanzen auf die Entwicklung von Schaderregern zu berücksichtigen: So muss in Folge eines früheren Vegetationsbeginns und einer längeren Vegetationsperiode der Pflanzen mit einem früheren Auftreten pilzlicher und viraler Krankheiten gerechnet werden. Die Auswirkungen eines erhöhten Schaderregerdrucks sowohl auf Kulturpflanzen als auch auf die Agrarökosysteme insgesamt sind schwer abzuschätzen.

Landwirtschaftliche Betriebe können auf langfristige Klimaänderungen wie dem Anstieg der mittleren Temperatur in der Regel mit einer angepassten Fruchtarten- und Sortenwahl reagieren; gleichwohl lassen sich unvorhersehbare Extremwetterereignisse und Schaderregerbefall dadurch nicht verhindern und Ertragsschwankungen nicht vermeiden. Dies führt, zusammen mit einer zunehmenden Liberalisierung der EU-Agrarpolitik, zu einer Zunahme der Volatilitäten und wirtschaftlichen Risiken für landwirtschaftliche Betriebe.

5.2 Anpassungsmaßnahmen

Züchterische Anpassungsmaßnahmen

Das züchterische Handlungsfeld zur Anpassung unserer landwirtschaftlichen Kulturpflanzen an den Klimawandel ist komplex. Es reflektiert mit seinen verschiedenen Ansatzpunkten die genetische Komplexität von Prozessen der pflanzlichen Ertragsbildung und Qualitätsausprägung und deren vielfältige physiologische Wechselwirkungen und Umweltabhängigkeiten. Klimaangepasste Pflanzen müssen nicht nur Trockenperioden gut überstehen können, sondern unter wechselnden Wetterlagen ertragsfähig sein. Neben der naheliegenden Option, die Toleranz unserer Kulturpflanzen gegenüber Trockenstress und anderen abiotischen Stressfaktoren zu verbessern, müssen also weitere Ansatzpunkte genutzt werden. Einer davon ist die Resistenzzüchtung gegen Schaderreger, die vom Klimawandel profitieren werden. Eine weitere Möglichkeit bietet die Züchtung von früher blühenden Sorten bzw. von frosttoleranten Winterformen, die der Vorsommertrockenheit entkommen (engl. *escape*) können, indem sie trockenheitsempfindliche Entwicklungsphasen bereits zuvor, unter Ausnutzung der im Frühjahr noch vorhandenen Bodenfeuchte, absolvieren. Die züchterische Anpassung etablierter Kulturarten an neue Nutzungsarten und Anbausysteme, etwa an einen Gemenge- oder einen Zweitkulturanbau, kann ebenfalls eine züchterische Anpassungsstrategie sein. Eine weitere Option stellt die ertragliche Weiterentwicklung von Kulturarten wie z. B. Roggen oder Lupinen dar, die bereits heute über eine gute Anbaueignung für trockenstressgefährdete Standorte verfügen und diese künftig – z. T. auch ohne speziell auf

Stresstoleranz fokussierte Zuchtaktivitäten – noch besser als bislang ausspielen könnten. Allgemein stellt die stetige Verbesserung des genetischen Ertragspotenzials unserer landwirtschaftlichen Kulturarten eine wichtige Option für die Anpassung an den Klimawandel dar; denn die Höhe des Ertragspotenzials definiert die obere Grenze jenes Spielraums, in welchem der Landwirt unter den je herrschenden, mehr oder weniger günstigen, Wetter-, Standort- und Praxisbedingungen Erträge realisieren kann. Untersuchungen bei Weizen zeigen, dass jüngere Sorten zwar eine verminderte Ertragsstabilität zeigen, aber dennoch mit ihrem höheren Ertragspotenzial zumeist höhere Erträge als alte Sorten auch unter weniger günstigen Umweltbedingungen ermöglichen (Calderini und Slafer, 1999).

Zur Bewältigung der Aufgabe, unsere Kulturpflanzen nachhaltig an den Klimawandel anzupassen, wird es also erforderlich sein, die Physiologie der Ertragsbildung und -stabilität in ihrer gesamten Breite im Blick zu behalten. Lösungsansätze bietet die Erforschung von Genvarianten, die solche Prozesse günstig beeinflussen und für eine züchterische Anpassung genutzt werden können. Die Erforschung und züchterische Nutzung solcher wertvollen Genvarianten setzt allerdings voraus, dass auch in Zukunft genetisch reichhaltige Genpools für unsere Kulturpflanzen zur Verfügung stehen. Die Ressortforschung des BMEL befasst sich daher sowohl mit der Evaluierung und züchterischen Inwertsetzung von pflanzengenetischen Ressourcen als auch mit Fragen zu ihrem nachhaltigen Management (siehe unten).

Bereitstellung leistungsfähiger und resistenter Kulturpflanzenarten und -sorten

Die Erforschung der Toleranz gegenüber Trockenstress stellt einen Schwerpunkt des Instituts für Resistenzforschung und Stresstoleranz des JKI dar. So wird in umfangreichen Projekten einerseits die Toleranz gegenüber Trockenstress und teilweise auch Stickstoffmangelstress bei Energiepflanzen wie Stärkekartoffeln, Energieroggen und Hybridwintergerste zur Nutzung als Ganzpflanzensilage unter anderem in Rainoutshelteranlagen erforscht (JKI-RS-08-3366 / JKI-RS-08-3373 / JKI-RS-08-3373). Andererseits wird anhand umfangreicher Versuche angestrebt, die Trockenstresstoleranz von Sommer- und Wintergerste, Weidelgras (siehe Kapitel 8.1.2), Ackerbohne, Raps und Weizen zu verbessern (JKI-RS-08-1134 / JKI-RS-08-1135 / JKI-RS-08-1136 / JKI-RS-08-3375 / JKI-RS-08-3376). Auch die Aufklärung der Trockenstresstoleranz von Emmer als einkreuzende Wildpflanze für Weizen ist Gegenstand wissenschaftlicher Forschung (JKI-RS-08-3386). Die Trockenstressforschung wird durch UAV (unmanned aerial vehicle)-gestützte Fernerkundung zur Identifizierung von durch Trockenstress induzierten phänologischen Merkmale vom Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde des JKI sowie um Fragen zu Treibhausgasemissionen bei Kulturen unter Trockenstress zur Identifizierung angepasster Düngestrategien vom Thünen-Institut für Agrarklimaschutz ergänzt (JKI-PB-08-1209 / TI-AK-08-46).

Züchterische Verbesserung der Ertragsphysiologie

Die Steigerung des genetisch angelegten Ertragspotenzials ist eine sehr wirksame Strategie zur Anpassung der in Deutschland gängigen Kulturarten an den Klimawandel. Ein hohes Ertragspotenzial bietet auch unter suboptimalen Wachstumsbedingungen Ertragsreserven. Genetische Verbesserungen der Ertragsphysiologie lassen sich in manchen Fällen vergleichsweise effizient

unter Nutzung genetischer Ressourcen erreichen. Als Beispiel sei die JKI-Züchtungsforschung zur Fruchtart Roggen angeführt. Roggen ist eine Getreideart, deren Anbau sich auf die leichten Standorte nördlich der Mittelgebirge konzentriert. Diese zum Teil grundwasserfernen Standorte sind durch den Klimawandel besonders verwundbar. Bereits heute führt Vorsommertrockenheit hier zu häufig auftretendem Trockenstress. Zusätzlich haben Starkniederschlags- und Starkwindereignisse bei dem auf langem Halm stehenden Roggen Lager zur Folge. Von anderen Kulturarten (Reis, Weizen) ist bekannt, dass Genvarianten ("Kurzstrohgene"), die eine Reduktion der Halmlänge bedingen, nicht nur die Standfestigkeit, sondern auch die Ausnutzung von Wasser und Nährstoffen verbessern und so zu einer Steigerung des Ertrags führen können. Gegenwärtig wird beim Roggen eine Verkürzung der Halmlänge und damit verbunden eine verbesserte Standfestigkeit durch Spritzung mit Mitteln erreicht, welche die Biosynthese des Pflanzenhormons Gibberellin hemmen. Als eine Alternative zur chemischen Behandlung erforscht das JKI, Institut für Züchtungsforschung an landwirtschaftlichen Kulturen, die Wirkung einer in pflanzengenetischen Ressourcen des Roggens natürlich vorkommenden Genvariante, *Ddw1*, welche die Halmlänge moderat verkürzt und erstmalig in russischem Populationsroggen beschrieben wurde. Diese Genvariante unterbindet im Roggen die Biosynthese von Gibberellinen. In Feldversuchen waren Experimentalhybriden, die Träger von *Ddw1* sind, um durchschnittlich 36 cm kürzer als bislang gezüchteter Roggen. In einem zweijährigen Versuch auf neun Versuchsstandorten wurden sie in ihren Erträgen mit normalstrohigen Hybriden verglichen. Die beiden Versuchsjahre 2015 und 2016 waren durch eine ausgeprägt negative klimatische Wasserbilanz in den Hauptanbaubereichen des Roggens gekennzeichnet; in 16 der 18 Prüfumwelten herrschte ausgeprägter Trockenstress. In dieser Prüfung war in fast allen Prüfumwelten ein Ertragsvorteil der *Ddw1*-Testhybriden von bis zu 16 % gegenüber den normalstrohigen Hybriden zu verzeichnen. Es bestehen somit Aussichten, durch die Nutzung einer natürlich vorkommenden Genvariante so genannte Halbzwerge zu züchten, die über eine moderat reduzierte Halmlänge eine verbesserte Standfestigkeit mit höherer Ertragsfähigkeit selbst in ausgeprägten Trockenstress-Umwelten kombinieren.

Eine besondere Möglichkeit für weitere interdisziplinäre Forschung bietet zusätzlich die FACE-Anlage des Thünen-Institut für Biodiversität in Braunschweig. Diese wurde am Institut weiterentwickelt und mit mobilen Rainoutsheltern (Erbs et al., 2012) und mit einer Erwärmungsvorrichtung, bestehend aus Infrarotstrahlern, gekoppelt. Mit diesen Feldversuchseinrichtungen wurden Untersuchungen der Interaktionen erhöhter CO₂-Konzentrationen mit verschiedenen Düngestrategien, Trockenheit und Erwärmung durchgeführt und so besondere Fragestellungen zum Ertrag von Kulturpflanzen unter künftigen Klimabedingungen abgedeckt (TI-BD-08-PID1769 / TI-BD-08-PID718 / vTI-BD-08-23 / TI-BD-08-PID694). Die meisten Untersuchungen sind bereits ausgewertet.

Für Wintergerste und Winterweizen wurden die Effekte erhöhter CO₂-Konzentrationen bei verschiedenen N-Düngestrategien auf den Ertrag und die Ertragsqualität untersucht (Wroblewitz et al., 2014). Bei beiden Kulturen wurden unter höheren CO₂-Konzentrationen höhere Kornerträge (Manderscheid et al., 2009; Weigel und Manderscheid, 2012), aber geringere Proteingehalte gemessen, ein Effekt der durch suboptimale N-Versorgung noch verstärkt wurde (Erbs et al., 2010).

Zusätzlich waren auch die Faser- und Stärkegehalte von Winterweizen sowie der Fruktosegehalt bei Wintergerste beeinträchtigt (Wroblewitz et al., 2013). Die von anderen Forschergruppen aufgestellte These, eine Umstellung der Düngung von Nitrat auf Ammonium würde den niedrigen Proteingehalten in Getreide als Folge erhöhter CO₂-Konzentrationen entgegenwirken (Bloom, 2015; Myers et al., 2014), wurde durch Untersuchungen des Thünen-Institut für Biodiversität widerlegt (Dier et al., 2017). Die Auswirkungen erhöhter CO₂-Konzentrationen auf das Wachstum von Knollen- und Wurzelfrüchten ist noch weit weniger erforscht. FACE-Experimente mit Zuckerrüben ergaben zwar einen höheren Zuckerertrag, der Zuwachs war jedoch niedriger als theoretisch erwartet und wies auf eine Wachstumslimitierung bei der Rübe hin, die verhindert, dass der CO₂-Effekt voll ausgeschöpft wird (Manderscheid et al., 2010). In einer weiteren Versuchsreihe wurde der Einfluss erhöhter CO₂-Konzentrationen in Verbindung mit Sommertrockenheit auf den Maisertrag und die Futterqualität (chemische Zusammensetzung und Verdaulichkeit) von Mais in Kooperation mit dem FLI – Institut für Tierernährung untersucht. Erste Ergebnisse zeigen, dass die Verdaulichkeit von Mais bei Kühen und Schafen am meisten durch den Erntezeitpunkt und nur minimal durch erhöhte CO₂-Konzentrationen und Trockenstress beeinflusst wird (Lohölter et al., 2012a; Lohölter et al., 2012b). Mais profitiert vom Anstieg der CO₂-Konzentration nur unter Trockenheit, nicht aber bei ausreichender Wasserversorgung (Manderscheid et al., 2014), da nur die Transpiration beeinflusst wird (Manderscheid et al., 2016). Diese Maisexperimente des Thünen-Institut für Biodiversität lieferten global erstmals einen Datensatz zur Interaktion von CO₂ und Wasserversorgung auf den Maisertrag. Die Daten konnten daher von einer internationalen Gruppe von Modellierern im Rahmen der AgMIP (=Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project)-Aktivitäten erstmals zur Überprüfung verschiedener Maismodelle hinsichtlich der Abbildung des CO₂-Effekts verwendet werden (Durand et al., 2017).

In einer weiteren FACE-Feldstudie wurde nachgewiesen, dass Sorghum genauso wie Mais vom CO₂-Anstieg durch eine Verringerung der Transpiration profitiert. Die positiven Auswirkungen auf den Ertrag waren jedoch beim Mais aufgrund seines geringeren Temperaturanspruchs größer (Manderscheid, 2014). Die Auswertungen der Weizenversuche mit Erwärmung unter FACE sind zum Teil bereits abgeschlossen. Demnach ist die zukünftige Gefährdung der Weizenerträge durch Hitze während der Blüte weniger dramatisch (Eyshi Rezaei et al., 2017) als in früheren Studien prognostiziert (Semenov und Shewry, 2011).

Im Rahmen des Projektes „Agrarrelevante Extremwetterlagen“ (TI-LR-08-PID1395) wurden die Kosten von Extremwetterereignissen auf den Weizenertrag abgeleitet. In einer weiterführenden Arbeit wurden zusätzlich auch die Kosten für Gerste, Mais, Raps, Kartoffeln und Zuckerrüben ergänzend analysiert (Heidecke et al., 2017).

Für im Ackerbau wichtige neuauftretende Unkräuter werden am JKI – Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland – Untersuchungen zur Biologie sowie zu Bekämpfungsmöglichkeiten durch Herbizide und nicht chemische Verfahren durchgeführt (JKI-A-08-0062).

Aufgrund des Klimawandels ist mit dem Auftreten neuer Erregerstämme, welche die bisherigen Resistenzen schneller überwinden, zu rechnen. Hierfür stehen oft keine hinreichend wirksamen Pflanzenschutzmittel zu Verfügung. Der Verbesserung von Resistenzen der Kulturpflanzen gegen Krankheiten und Schädlinge kommt somit eine zunehmende Bedeutung zu. Am Institut für Züchtungsforschung an landwirtschaftlichen Kulturen des JKI wird an der Erschließung neuer Resistenzquellen und der Aufklärung genetischer Merkmale gearbeitet. Beispielsweise werden die Möglichkeiten des Einkreuzens neuer Resistenzgene gegen *Phytophthora infestans* (Kraut- und Knollenfäule) gegen verschiedene Viren und Virusvektoren sowie den Kartoffelkäfer aus der Wildsorte der Kartoffel erforscht (JKI-ZL-08-0063). Bei Gerste werden Gerstensortenkandidaten als Genpool für Virusresistenzen untersucht. Hierzu unterstützte das BMEL eine Sammelreise von Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen des JKI – Institut für Resistenzforschung und Stresstoleranz; Institut für Züchtungsforschung an landwirtschaftlichen Kulturen – zu den natürlichen Standorten der Wildgerste *Hordeum bulbosum* in Israel (Habekuß und Scholz, 2014). Umfangreiche Arbeiten am JKI – Institut für Züchtungsforschung an landwirtschaftlichen Kulturen – zeigen, dass die Wildgerste *H. bulbosum*, die den sekundären Genpool der Gerste repräsentiert, wirksame Resistenzgene gegen eine Reihe viraler bzw. pilzlicher Pathogene – darunter Gelbverzwergungsviren, Zwergrost und *Rhynchosporium* – trägt (Scholz et al., 2008, 2009).

Wildpflanzenarten sind wichtige ökosystemare Komponenten und zugleich als Quelle neuartiger Gene und Genvarianten für die Ernährungssicherung wichtig und unverzichtbar. Ihre Nutzung zur Züchtung von Kulturpflanzen mit verbesserten Eigenschaften hat zudem große wirtschaftliche Bedeutung. Dem Erhalt, der Sicherung und der Verfügbarkeit von Wildpflanzen als pflanzen genetische Ressourcen (PGR) kommt daher zur Verbesserung der Anpassungsfähigkeit der Kulturpflanzen eine große Bedeutung zu. Benötigt werden regional angepasste, stresstolerante und gegenüber Schaderregern und Krankheiten resistente Kulturpflanzen.

Die Arbeitsgruppe PGR des Instituts für Züchtungsforschung an landwirtschaftlichen Kulturen des JKI unterstützt deshalb seit drei Jahrzehnten das europäische Kooperationsprogramm für pflanzen genetische Ressourcen (European Cooperative Program for PGR, ECPGR) und leistet Beiträge zur Weiterentwicklung des Programms (JKI-ZL-08-3187). Die Erhaltung genetischer Ressourcen unserer Kulturpflanzen und mit ihnen verwandte Wildarten in Genbanken (ex situ), in landwirtschaftlichen Nutzungssystemen (on farm) sowie am natürlichen Wuchsort von Wildpflanzenarten (in situ) ist das Ziel dieses pan-europäischen Kooperationsnetzwerkes. Zu diesem Zweck erforscht die Arbeitsgruppe die Strukturen genetischer Diversität von Wildpflanzenarten (JKI-ZL-08-3200), entwickelt Strategien zum Aufbau genetischer Erhaltungsgebiete für züchterisch relevante Wildpflanzenarten (JKI-ZL-08-3198) und verbessert das Anpassungspotenzial ausgewählter Kulturarten an den Klimawandel durch die Erzeugung multiparentaler, genetisch diverser Populationen (JKI-ZL-08-0038 / JKI-ZL-08-3184). Das Programm des ECPGR wird vom BMEL mitgestaltet und mitfinanziert (<http://www.ecpgr.cgiar.org/>).

Bodenbearbeitung und Wassermanagement

Höhere CO₂-Konzentrationen führen zu einer verbesserten Wassernutzungseffizienz bei Pflanzen (Manderscheid und Weigel, 2014; Manderscheid, 2014). Dadurch können die Folgen von Trockenperioden wie Austrocknung von Böden kurzzeitig abgeschwächt werden. Nichtsdestotrotz sind in Deutschland regional sinkende Bodenwasservorräte zu beobachten, ein Trend der sich mit dem beobachteten und erwarteten weiteren Temperaturanstieg und häufigeren Wetterextremen fortsetzen wird (UBA, 2015). Ausgetrocknete Böden können zu Trockenstress bei Pflanzen und zu Ertragseinbußen führen, und sind zudem auch durch Starkniederschläge stärker erosionsgefährdet.

Um für die möglichen Folgen und Herausforderungen der Klimaänderungen gewappnet zu sein, sollte bei allen Bodenbearbeitungsmaßnahmen die Möglichkeit des Auftretens von Wetterextremen, wie extreme Trockenheit oder Starkniederschläge, berücksichtigt werden. Eine Möglichkeit, niedrigen Bodenwassergehalten und Winderosion entgegenzusteuern, ist der Einsatz verdunstungsschonender Kulturmaßnahmen im Ackerbau, z. B. eine geringe Intensität der Bodenbearbeitung und eine Erhöhung des Bedeckungsgrads des Bodens. Um Bodenerosion und Bodenverdichtungen durch Starkregenereignisse, Hochwasser und höhere Winterniederschläge vorzubeugen, muss die Wasseraufnahmefähigkeit von Böden gestärkt werden. Die Maßnahmen zur Vermeidung von Bodenerosion wurden am Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde des JKI und am Thünen-Institut für Agrartechnologie umfassend erforscht. Grundsätzlich kann eine konservierende oder nicht wendende Bodenbearbeitung mit Optimierung des Strohmanagements, einer Bodenbedeckung im Winterhalbjahr von 30-40 % und Zwischenfruchtanbau zur Vermeidung von Bodenerosion und der langfristigen Ertragsstabilität des Bodens beitragen. Derzeit werden Strategien für die Umsetzung der Maßnahmen in die gute fachliche Praxis erprobt (TI-AT-08-PID559).

Der Zwischenfruchtanbau als Teil der konservierenden Bodenbearbeitung wird auch als Anpassungsmaßnahme an durch Klimaänderungen vermehrt verursachte ungünstige Bodenverhältnisse und das Auftreten von Schaderregern empfohlen. Die Auswirkungen des Zwischenfruchtanbaus und der konservierenden Bodenbearbeitung auf das Schaderregerpotential des Bodens wird anhand des Vorkommens von Nematoden derzeit am Institut für Epidemiologie und Pathogendiagnostik des JKI untersucht (JKI-EP-08-2196). Auch am Thünen-Institut für Ökologischen Landbau wird der Einfluss der konservierenden Bodenbearbeitung auf die Bodengesundheit und den Ertrag untersucht (TI-OL-08-PID1545).

Managementmaßnahmen wie eine geringere Intensität der Bodenbearbeitung und eine Erhöhung des Bedeckungsgrades des Bodens durch Stroh- und/oder Zwischenfruchtreste, werden in erosionsgefährdeten Gebieten bereits auf breiter Basis umgesetzt. Hier zeigt sich ein erfolgreiches Zusammenspiel zwischen Forschungserkenntnissen, praktischer Akzeptanz und politischen Maßnahmen. Durch Grundlagenforschung wurden die Wirkungszusammenhänge zwischen erosiven Niederschlägen, Oberflächenbedeckungsgrad und dem Ausmaß von Bodenerosion klar beschrieben (Brunotte et al., 2015). Anhand von Demonstrationsversuchen auf landwirtschaftlichen Betrieben wurden mögliche Gegenmaßnahmen erprobt und im Praxismaßstab überprüft. Die

daraus entwickelten Handlungsempfehlungen fanden bei Praktikern großen Anklang und werden gezielt umgesetzt. So liegt der Mulchsaatanteil in betroffenen Gebieten bei bis zu 90 %. Zusätzliche politische Maßnahmen wie Cross Compliance-Regelungen garantieren zudem einen nationalen Mindeststandard zur Bodenerosionsvermeidung.

Maßnahmen gegenüber Bodenverdichtungen sind schwieriger zu definieren. Im Grundsatz ist jedoch das komplexe Zusammenspiel von standortspezifischer Verdichtungsempfindlichkeit und Maschineneinsatz von der Wissenschaft erforscht (Brunotte et al., 2015). Was fehlt, sind Online-Messungen zum aktuellen Bodenzustand, mit deren Hilfe der Maschinenführer mit Anpassung von Fahrzeugparametern reagieren kann. Hierzu wird derzeit am Thünen-Institut für Agrartechnologie an der Entwicklung eines Echtzeit-Assistenzsystems geforscht (TI-AT-08-PID1695). Zudem fördert das BMEL als Daueraufgabe die Erfassung eines Statusberichtes zur Bodenverdichtung auf Dauerbeobachtungsflächen, um Zusammenhänge von Bodenbearbeitung und Maschineneinsatz zur Ableitung regionaler Anpassungsmöglichkeiten besser beschreiben und erfassen zu können (TI-AT-08-PID626).

Durch die Auswirkungen des Klimawandels ist eine Ausdehnung der landwirtschaftlichen Bewässerungsflächen in Deutschland zu erwarten. Dabei ergibt sich der ökonomische Nutzen der zusätzlichen Bewässerung aus dem landwirtschaftlichen Mehrertrag und den Investitionskosten zur Bereitstellung oder dem Zugang zur Infrastruktur sowie dem Wasserpreis. Zudem wird die Wirtschaftlichkeit der Bewässerung auch vom Preisniveau der landwirtschaftlichen Produkte bestimmt. So ist für Winterroggen und Silomais die Berechnung weder aktuell noch bei einem Preisanstieg von 20 % rentabel, während die Bewässerung von Kartoffeln auch bei einer Preisminderung von 20 % für den Großteil der Anbauflächen rentabel bleibt (Gömann et al., 2015). Vor dem Hintergrund eines zunehmenden Bedarfs an Bewässerungswasser einerseits und der begrenzten Entnahmemengen andererseits, sind Möglichkeiten zur wassersparenden Bewirtschaftung von landwirtschaftlichen Kulturen von zukünftiger Bedeutung. Um wassersparende und effizienzsteigernde Bewässerungsmaßnahmen für verschiedene Kulturen zu fördern, ist die Weiterentwicklung und Bewertung von Methoden und Verfahren zum Bewässerungsmanagement eine Daueraufgabe des Thünen-Instituts für Agrartechnologie (TI-AT-08-PID604). Auch wurde im Rahmen des Projektes Erb-NRW (TI-LR-08-PID407) der regionale Bewässerungsbedarf in der Landwirtschaft aufgrund des Klimawandels analysiert, um daraufhin den zukünftigen Bewässerungsbedarf abzuleiten und mit der Neubildungsrate des Grundwassers abzugleichen.

Sicherung der Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Kulturpflanzen gegenüber Schaderregern

Zwei wichtige Voraussetzungen für die Sicherstellung der Gesundheit der Kulturpflanzen sind die Prognose des Auftretens sowie die korrekte und zeitnahe Diagnose von Schadorganismen. Um bessere Prognosen zu ermöglichen, wird in mehreren Forschungsvorhaben des JKI der Einfluss künftiger Klimaveränderungen auf die zunehmende Schadwirkung bereits vorhandener Schadorganismen, aber auch die Verschiebung ihres Auftretens untersucht. Für eine bessere Prognose werden am JKI – Institut für Strategien und Folgenabschätzung – Untersuchungen zum Einfluss von Klimaänderungen, speziell Hitze- und Trockenperioden, auf das Vorkommen von Getreide-

blattläusen und deren Gegenspielern, Marienkäfern, durchgeführt (JKI-SF-08-1220). Zudem erfolgte eine erste Abschätzung des Schadpotentials durch Fusarien an Winterweizen und der Auswirkungen auf die Qualität des Erntegutes am JKI anhand einer umfassenden Literaturstudie (Seidel, 2016). Darauf aufbauend führt das Institut für Strategien und Folgenabschätzungen des JKI weitergehende Versuche zu dem Zusammenhang der Schadwirkung von Fusarien an Winterweizen und Überflutungs- und Dürre-Ereignissen durch, um noch genauere Aussagen treffen zu können (JKI-SF-08-1210).

Auch die Entwicklung neuer aggressiver und resistenter Pathotypen bei Schaderregern als Grundlage für die Erarbeitung von Bekämpfungsmaßnahmen wird am JKI untersucht (JKI-AG-08-0033). Das JKI nutzt diese Erkenntnisse für die Entwicklung neuer Resistenzen in Kulturpflanzensorten und gibt die Ergebnisse aus der Züchtungsforschung, zumeist in Form von Pre-Breeding-Material, an die Züchtungsunternehmen weiter. Diese Kenntnisse werden jedoch auch für Empfehlungen zur regionalen Sortenwahl genutzt, da eine Sorte in der Regel nur über Resistenzen gegen ganz bestimmte Pathotypen verfügt.

Beispielsweise konnte die Toleranz gegenüber dem Gelbverzwergungsvirus bei Gerste durch Züchtungsforschung am JKI – Institut für Resistenzforschung und Stesstoleranz – bereits entscheidend verbessert werden; entsprechende Sortenkandidaten werden demnächst in die Wertprüfung gehen. Im Bereich der Nanoviren wird vor allem an Methoden zur verbesserten Detektion der Viren geforscht (JKI-EP-08-2288). Um die Diagnoseverfahren vor allem für eingeschleppte Schadorganismen zu verbessern und zu beschleunigen, werden am Institut für Epidemiologie und Pathogendiagnostik des JKI Vergleichsproben gesammelt und Methoden für Nachweisverfahren entwickelt. In Sammlungen (z. B. Mykothek) und Datenbanken (pflanzenparasitäre Nematoden) werden Organismenproben gelagert und als Vergleichsdaten verfügbar gemacht (JKI-EP-08-1131). Ebenso werden die Möglichkeiten der biologischen Bekämpfung von pflanzen- und humanspezifischen Pathogenen mittels nützlicher Mikroorganismen untersucht. Die Ergebnisse sind besonders für den Ökologischen Landbau zum Schutz wirtschaftlich bedeutsamer Kulturpflanzen wichtig (JKI-EP-08-2216).

Risikomanagement

Das Risikomanagement landwirtschaftlicher Betriebe als Anpassung an Klimaänderungen setzt sich aus innerbetrieblichen Anpassungsmaßnahmen zur Risikovorsorge und Schadensvermeidung und der Inanspruchnahme eines Risikoausgleichs im Schadensfall durch staatliche oder privatwirtschaftliche Risikomanagementsysteme zusammen. Innerbetriebliche, vorsorgende Anpassungsmaßnahmen wie der Anbau passender Kulturen und Sorten liegen vor allem in der Verantwortung der betroffenen Unternehmen (Gömann et al., 2015). Die EU hat die Möglichkeiten zur politischen Förderung von Risikomanagementinstrumenten in den letzten Jahren kontinuierlich gestärkt.

Die Analyse politischer und wirtschaftlicher Faktoren des Risikomanagements auf betrieblicher Ebene gehört seit Anfang 2016 zu den Daueraufgaben des Thünen-Institut für Betriebswirtschaft.

Dies beinhaltet zum einen die systematische Analyse der Risikoexposition landwirtschaftlicher Betriebe in Deutschland auf der Basis der gegenwärtigen Situation und der Analyse von Trends und zukünftigen Entwicklungen. Zum anderen werden anhand quantitativer Kosten-Nutzen-Analysen unterschiedliche Risikomanagementinstrumente und ausgewählte Optionen staatlichen Handelns bewertet. Eine verbesserte Abbildung und Analyse von Volatilitäten in betriebswirtschaftlichen Modellen soll zur Erhöhung der Anpassungsfähigkeit landwirtschaftlicher Betriebe beitragen. Die Aufbereitung und Systematisierung politischer Handlungsoptionen stellt einen zusätzlichen Faktor eines verbesserten Risikomanagements dar (<https://www.thuenen.de/index.php?id=7070&L=0>).

Anpassung des Pflanzenschutzes

Die Ziele einer nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (Nationaler Aktionsplan) werden durch den Klimawandel beeinflusst. Einerseits ändern sich Anbauverhältnisse und Anwendungsstrategien im Pflanzenschutz, andererseits erfolgen Anpassungen in Folge der sich ändernden Rahmenbedingungen für die Landwirte. In einer Studie des JKI – Instituts für Strategien und Folgenabschätzung – werden einerseits die Zulänglichkeit der derzeitigen politischen Instrumente zur Erreichung der Ziele des Nationalen Aktionsplans, und andererseits die ökonomischen und ökologischen Auswirkungen der Änderungen untersucht (JKI-SF-08-1180).

5.3 Ausblick

Standortspezifisches Management

Da die zukünftigen Klimaänderungen je nach regionalen Bedingungen unterschiedlich ausgeprägt auftreten werden, ist die Entwicklung eines für die verschiedenen Boden-Klima-Räume spezifischen Managements notwendig. Die Forschung sollte darauf abzielen, gemeinsam mit der Praxis einen Katalog an Maßnahmen zu entwickeln, die je nach Bedarf, nach Betroffenheit der Region, standortspezifisch ausgewählt werden können. Während es bereits positive Beispiele für integrierte, fachübergreifende Managementmaßnahmen einzelner Problemfelder gibt (Erosionsschutz), besteht für andere Problemfelder noch Bedarf, geeignete Anpassungsstrategien zu identifizieren und anhand von Managementmaßnahmen in die Umsetzung bringen zu können. Dazu zählen die Bereitstellung regionalspezifisch angepasster, leistungsfähiger und resistenter Kulturpflanzenarten und -sorten sowie die Entwicklung und Anwendung wassersparender Bodenbearbeitung und Kulturtechnik. Auch der Sicherung der Gesundheit der Pflanzen durch die Verbesserung der Schaderreger- und Schadnagerprognosen und die Entwicklung innovativer Methoden und Entscheidungshilfen für die termingerechte Anwendung von Pflanzenschutzmaßnahmen kommt eine große Bedeutung zu.

Bereitstellung angepasster Kulturpflanzen

Bisherige Ergebnisse der Klimafolgenforschung im Hinblick auf den landwirtschaftlichen Ertrag machen deutlich, dass noch Fragen zu Interaktionen erhöhter CO₂-Konzentrationen mit anderen

Ertragsfaktoren und erwarteten Klimaänderungen offen sind. Weitere Forschungsfragen als Voraussetzung eines angepassten Kulturmanagements bestehen hier bei der Untersuchung der Interaktionen von CO₂-Konzentrationen mit dem Wasserbedarf der Pflanzen, qualitätsbestimmenden Pflanzeninhaltsstoffen, Hitze- und Trockenperioden oder steigenden Ozonkonzentrationen. Das Screening und die Entwicklung von Sorten der wichtigsten Kulturpflanzen mit einer hohen CO₂-Ausnutzung sind Voraussetzungen für die bestmögliche Nutzung der Chancen, die der Klimawandel in Deutschland bietet. Parallel müssen angepasste Düngestrategien und optimale Bewässerungszeitpunkte für eine maximale Ertragswirkung entwickelt werden.

Derzeitige Pflanzenwachstumsmodelle, die den Ertrag unter zukünftigen Klimabedingungen abbilden, sind aufgrund kaum vorhandener Daten aus experimentellen Feldversuchen unter geänderten Klimabedingungen noch mit großen Unsicherheiten behaftet (Durand et al., 2017). Hier ist eine gezielte Förderung zur Instandhaltung und Modernisierung von Klimaforschungsinstitutionen zur Erhebung valider Daten wie die FACE- und Rainoutshelteranlage, Gewächshäuser und Dauerversuchsfelder der Ressortforschung notwendig.

Verbesserung der Verfügbarkeit von Daten

Für ein standortspezifisches Management werden regionale Monitoring- und Simulationswerkzeuge benötigt. Dabei müssen Aussagen für die künftige Anbaueignung einzelner Kulturen, die auf Statistiken und Klimaszenarien beruhen, anhand von Analysen von Ereignissen der Vergangenheit verifiziert und weiterentwickelt werden. Oft ist es die Kombination aus mehreren Wirkungsfaktoren, die bisher nicht prognostiziert werden können, da die Interdependenzen noch nicht verstanden sind. Dazu müssen Ereignisse identifiziert werden, die in der Vergangenheit zu starken Ernteaussfällen geführt haben.

Die Möglichkeiten einer GIS-gestützten Bewirtschaftung hinsichtlich Precision Farming, Kosten-/Nutzen-Analysen und zur Risikobewertung sowie der Bewertung der Nachhaltigkeit einzelner Anbausysteme, werden durch die Nutzung landwirtschaftlicher Daten (Big Data) maßgeblich erweitert.

Entwicklung angepasster Kulturtechnik

Folgt man den Klimaprojektionen, könnten die Bearbeitungszeiträume für Kulturmaßnahmen, die eine Befahrung des Bodens notwendig machen, zukünftig durch immer häufiger auftretende Extremereignisse eingeschränkt werden. Um auch kleiner werdende Zeitfenster für eine Befahrung optimal ausnutzen zu können, werden zukünftig verstärkt Anwendungstechniken benötigt, die über eine große Schlagkraft verfügen und durch die Kombination mehrerer Arbeitsschritte vielfältige Einsatzmöglichkeiten bieten. Bei der Auswahl und dem Einsatz der Technik muss zukünftig stärker auf die jeweiligen Boden- und Standortverhältnisse eingegangen werden. Eine Herausforderung bei der konservierenden Bodenbearbeitung stellt die Unkrautbekämpfung ohne Glyphosateinsatz dar. Hier bedarf es der Entwicklung und Etablierung alternativer Methoden.

Schaderreger und Schädner

Eine Auswertung der Literatur zur Bedeutung von Extremwetterlagen für das Auftreten von Schaderregern ergab erhebliche Lücken im Bereich der Prognose und Diagnose sowie der Abschätzung des Schadenspotentials von Schaderregern unter zukünftigen Klimabedingungen (Seidel, 2014). Einerseits liegen noch keine ausreichenden Daten zur Biologie vorhandener Schaderreger unter veränderten Klimabedingungen und unter Berücksichtigung multipler Stressfaktoren (z. B. Hitze und Trockenheit) vor. Andererseits fehlen Risikoabschätzungen für neue und bislang bedeutungslose Krankheitserreger, Schädlinge und Unkräuter. Die Untersuchungen sollten im Sinne eines One-Health-Ansatzes an den Interfaces Umwelt/Pflanze/Tier/Mensch einen ganzheitlichen interdisziplinären Ansatz verfolgen. Zudem müssen bei den Risikoabschätzungen z. B. auch Bodenbeschaffenheit und Bewirtschaftungsmaßnahmen, die Einfluss auf das Bestandesklima haben, berücksichtigt werden. Derzeit vorhandene Prognosemodelle und Entscheidungshilfen, die für den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Rodentiziden verwendet werden, teilweise stark veraltet. Sie müssen anhand neuer Daten weiterentwickelt und optimiert werden, um die Trefferquote (Sicherheit) der Voraussage, wann eine Krankheit oder eine Schädnerkalamität auftritt, zu verbessern. Auch der Vorhersagezeitraum muss größer werden, damit dem Landwirt genügend Zeit zur Verfügung steht, um angemessen reagieren zu können.

Neben Prognosemodellen zum Auftreten von Krankheiten und Schädnern müssen auch Entscheidungshilfen (On-farm-Tools) für eine gezielte Düngung, Bewässerung oder auch die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln entwickelt werden. Dabei ist auch die Verfügbarkeit sowohl resistenter Kulturpflanzen als auch hinreichend wirksamer (selektiver) chemischer und nichtchemischer (z. B. biologischer) Pflanzenschutzmittel und Pflanzenschutzverfahren zu beachten und an die Klimaveränderungen anzupassen. Da Schaderreger und Schädner zu entscheidenden Ertragseinbußen führen können, ist die Erforschung der Biologie und Entwicklung etablierter und potenziell auftretender Arten unter geänderten klimatischen Bedingungen auch für die Modellierung künftiger Erträge von entscheidender Bedeutung.

Risikomanagement landwirtschaftlicher Betriebe

Die Analyse und Weiterentwicklung des Risikomanagements kann nicht isoliert für Einzelrisiken oder Instrumente erfolgen, sondern erfordert einen holistischen Ansatz, der das gesamte Spektrum der Risikoquellen, der betrieblichen Risikomanagementstrategien, politischer Instrumente sowie der Interaktionen zwischen diesen berücksichtigt (vgl. OECD, 2009). Vor dem Hintergrund der möglichen Zunahme von agrarrelevanten Extremwetterereignissen muss die zukünftige Bedeutung klassischer innerbetrieblicher Anpassungsstrategien (wie die Wahl anderer Sorten) sowie des potenziellen Beitrags neuer Ansätze zum außerbetrieblichen Risikotransfer in den Fokus gerückt werden. Insbesondere Ertrags- oder Wetterindexversicherungen bieten eine Reihe von Vorteilen (Reduzierung von Transaktionskosten und moral hazard), sind jedoch in Deutschland aufgrund des verbleibenden Basisrisikos sowohl auf der Nachfrage- als auch auf der Angebotsseite bisher wenig verbreitet. Forschung kann hier über die Analyse von Basisrisiko und der Absicherungseffizienz unterschiedlicher Indizes und Ausgestaltungsoptionen die Informationsbasis für die Marktteilnehmer verbessern. Dies kann, ebenso wie eine vertiefte Untersuchung der Determinanten

für die Akzeptanz von indexbasierten Ansätzen durch die Landwirte, zur stärkeren Verbreitung dieses Absicherungsinstrumentes beitragen. Dabei können neue Technologien (z. B. Fernerkundung, Big Data) zur Reduzierung des Basisrisikos und zur Entwicklung neuer Indizes beitragen.

Die politischen Instrumente zur Verbesserung des Risikomanagements in der Landwirtschaft sollten hinsichtlich der folgenden Punkte bewertet werden: a) der potenziellen Wettbewerbsverzerrung durch hohe Subventionsraten für Risikomanagementinstrumente in einigen anderen EU-Staaten sowie den USA und Kanada; b) der Entwicklung eines ‚good-governance‘-Rahmens, der mögliche negative Folgen von staatlichen ad-hoc-Hilfen reduziert; c) der Analyse des tatsächlichen Ausmaßes der Verdrängung des betrieblichen Risikomanagements durch staatliche Intervention und Subventionierung von Versicherungslösungen; d) der Effizienz und Umsetzbarkeit der im Rahmen der ELER-Verordnung geförderten Risikomanagementinstrumente, sowie der Interaktionen mit dem Instrument der Direktzahlungen in der ersten Säule der GAP.

Zielkonflikte und politische Rahmenbedingungen

Die landwirtschaftlich genutzte Fläche in Deutschland unterliegt einem stetigen Wandel. So fanden in den letzten Jahren eine zunehmende Ausdehnung von Siedlungs- und Verkehrsflächen auf fruchtbaren Ackerstandorten, sowie der Umbruch weniger fruchtbarer Grünlandflächen zu Ackerland statt. Dies führte und führt dazu, dass der Ackerbau zunehmend auch auf Flächen mit einem geringen Ertragspotenzial erfolgt. Derartige ackerbauliche Grenzstandorte weisen unter anderem eine höhere Anfälligkeit für Extremwetterereignisse wie Dürren oder Starkniederschläge auf (Gömann et al., 2015; Wendland et al., 1993). Um dieser Entwicklung im Hinblick auf Klimaveränderungen entgegenzuwirken, ist eine Anpassung der politischen Rahmenbedingungen erforderlich. Als erstes Bundesland hat Mecklenburg-Vorpommern die nicht ackerbauliche Nutzung von Böden mit Ackerzahlen > 30 untersagt und im Landesraumentwicklungsprogramm festgesetzt (Ministerium für Energie, Infrastruktur und Landesentwicklung, 2016).

Auch mit Naturschutzmaßnahmen können bei der Klimaanpassung in der Landwirtschaft einerseits Nutzungskonflikte wie z. B. der Erhalt und die Förderung der biologischen Vielfalt durch notwendige Korridore und Habitatverbünde bestehen, teilweise ergeben sich aber auch Synergieeffekte wie der Erhalt von Auwäldern für den Hochwasserschutz zum Schutz von Ackerflächen. Zudem können klimaangepasste Systeme wie Agroforstsysteme zu einem besseren Schutz und einer besseren Nutzung der Biodiversität in Agrarlandschaften beitragen. Für die optimale Ausschöpfung von Synergieeffekten und der Auflösung von Zielkonflikten bedarf es Änderungen bei politischen Rahmenbedingungen, der Nutzung von interdisziplinärem Wissen und dem Wissenstransfer in die Praxis.

Eine gelungene Abstimmung verschiedener, die Landwirtschaft und ländliche Räume betreffender, politischer Maßnahmen wie die Gemeinsame Agrarpolitik ist die Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung solcher Maßnahmen. Dazu wurde am Thünen-Institut für Ländliche Räume, im Zuge der Erarbeitung und Analyse von Vorschlägen zur Weiterentwicklung der EU-Agrarpolitik, die staatliche Förderung von Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen im Rahmen der

Gemeinsamen Agrarpolitik aufgezeigt und bewertet (Röder et al., 2013). Die Auswirkungen politischer Fördermaßnahmen des Ländlichen Raums auf Klimaschutz- und Klimaanpassungs-Ziele ist auch langfristig in das unter der Federführung des Thünen-Institut für Ländliche Räume durchgeführten Evaluierungsprogramm der Agrarpolitik integriert (TI-LR-08-PID1380).

6 Schweine- und Geflügelhaltung

6.1 Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Schweine- und Geflügelhaltung

Landwirtschaftliche Nutztiere in Stallhaltungen wie Mastschweine und Hühner können hohe sommerliche Temperaturen nur schwer vertragen. Zukünftig steigende Temperaturen und zunehmend längere Phasen mit entsprechenden klimatischen Verhältnissen wirken sich daher unmittelbar auf das Tierwohl aus. Kann die im Stoffwechsel der Tiere erzeugte Wärme nicht abgeführt werden, kommt es zu einem Ansteigen der Körpertemperatur. In der Folge kann die Leistungsfähigkeit beeinträchtigt und die Krankheitsanfälligkeit erhöht werden, bis hin zu einem Herz-Kreislaufkollaps. Eine Wärmeabgabe der Tiere ist nur möglich, wenn ein Temperaturgefälle von Körpertemperatur zur Umgebungsluft vorhanden ist. Besondere Vorkehrungen werden erforderlich, wenn die Umgebungstemperaturen/Stallinnentemperaturen auf über 22 °C ansteigen; das gilt insbesondere für Geflügel, Sauen und Schweine in der Endmast (Büscher, 2004).

Steigende Temperaturen sowie Extremwetterlagen führen auch zu einem veränderten Krankheitserregeraufkommen und einer veränderten Krankheitserregerphysiologie. Dabei ist einerseits mit einer Änderung der Vorkommen und der Häufigkeit einheimischer Vektoren und Erreger, andererseits auch mit der Etablierung invasiver Erreger und Vektoren mit tier- und humanpathogenem Potential zu rechnen. Im Bereich der Tierseuchen (und Zoonosen, d. h. vom Tier auf den Menschen übertragbarer Krankheiten) kommt den Arthropoden (Gliederfüßer wie z. B. Insekten, Zecken oder Milben) als Vektoren für Infektionskrankheiten eine besondere Bedeutung zu. Arthropoden sind wechselwarme Tiere und werden in ihrem Lebenszyklus entscheidend von der Umgebungstemperatur beeinflusst. Ein Temperaturanstieg hat vielfältige Auswirkungen auf die Entwicklung von Arthropoden:

- Etablierung invasiver (wärmeliebender) Arten, die zum Teil Vektoren darstellen,
- Ausbreitung einheimischer Arten (inklusive der potenziellen Vektoren),
- Beschleunigte Blutverdauung,
- Erhöhte Stechfrequenz,
- Verlängerte saisonale Aktivität,
- Kürzere Populationsdichten,
- Verkürzte extrinsische Inkubationsperioden oder ausreichend lange Perioden zur Vollendung der Erregerentwicklung im Vektor.

Ein Beispiel eines Arthropoden mit hoher Vektorwirkung sind Zecken. Zecken können für Tiere und Menschen gefährliche Krankheiten wie z. B. Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME), Lyme Borreliose oder Coxielliose (Q-Fieber) übertragen. Ein vermehrtes Auftreten von mit Krankheitser-

regern infizierten Zecken wird bereits seit 20-30 Jahren beobachtet. Das Nationale Referenzlabor für zeckenübertragene Krankheiten (FLI-IBIZ-02-DA_0005) führt hierzu Untersuchungen bei Zecken, und serologische Untersuchungen auf FSME-Virus-(FSMEV)-Antikörpertiter bei Tieren in Deutschland zur Charakterisierung von FSMEV-Naturherden durch. Neben den Arthropoden stellen auch Nagetiere wie die Rötelmaus, Feldmaus und Ratten als Überträger von Hantaviren, Kuhpockenviren und Leptospiren sowie Wildvögel und Wildsäuger potenzielle Reservoirs und Überträger von durch Klimaänderungen neu auftretenden Pathogenen dar. In Bezug auf eine zukünftig größere Verbreitung von humanpathogenen Erregern wie FSME-Virus und Lyme Borreliose-Erreger besteht ein Zusammenhang der Vorkommen von Zecken und Nagetieren, da Nagetiere eine bedeutende Rolle im Vermehrungszyklus der Wirte von Zecken spielen.

Mindestens ebenso wichtig wie der Einfluss der Klimaänderungen auf das Auftreten von Schad- und Krankheitserregern ist die Globalisierung des Personenverkehrs und des Handels, die das Risiko der Einschleppung von bisher in Mitteleuropa nicht heimischen Tierseuchen und Zoonosen birgt. In der Interaktion mit Klimaänderungen kann sich insbesondere das Risiko des Ausbruchs bisher hier nicht heimischer Tierseuchen und Zoonosen erheblich erhöhen.

6.2 Anpassungsmaßnahmen

Stalltechnische Maßnahmen

Stalltechnische Maßnahmen können durch die Unterstützung der Thermoregulation der Tiere die negativen Auswirkungen von Hitzestress und Beeinträchtigungen des Tierwohls reduzieren (Haake, 2002), senken jedoch aufgrund ihrer Kosten die wirtschaftlichen Erträge. Zudem müssen bei der Planung künftiger Haltungssysteme vermehrt Aspekte des Tierschutzes, des Umweltschutzes, der Ökonomie und der gesellschaftlichen Akzeptanz berücksichtigt werden, um mögliche Zielkonflikte zu vermeiden. Um der Komplexität der Änderungen von Klima- und Umweltfaktoren Rechnung zu tragen, wird am FLI in einem Verbundprojekt der Institute für Nutztiergenetik, für Tierernährung und für Tierschutz und Tierhaltung der Frage nachgegangen, ob die Leistungsfähigkeit von Legehühnern auch bei sich wandelnden Umweltbedingungen erhalten werden kann (FLI-ING-ITE-ITT-08-HP-0001).

Maßnahmen gegen Krankheitserreger

Anhand eines gezielten Zeckenmonitorings unter der Federführung des FLI – Institut für bakterielle Infektionen und Zoonosen – und der parallelen Erhebung von Klimaparametern wie z. B. Luft- und Bodentemperatur sowie Luftfeuchte, konnten Szenarien für das zukünftige Auftreten infizierter Zecken entwickelt werden (Süss et al., 2008). Zudem ist am FLI – Institut für Epidemiologie – die Erstellung eines Zeckenatlas für Deutschland zur deutschlandweiten Analyse der räumlichen und zeitlichen Verbreitung von Zecken bei Mensch und Tier in Planung.

Auch das Stechmückenmonitoring in Deutschland wurde seit 2010 wieder intensiviert. Neben dem aktiven Stechmückenmonitoring wurde auch ein Citizen Science-Projekt namens „Mückenatlas“ initiiert. Beide Projekte werden von 2015 bis 2018 in einem großen Verbundprojekt weitergeführt und die wissenschaftlichen Fragestellungen erweitert. Das Projekt wurde um Untersuchungen zu den stechmückenübertragenen Zoonosen und Untersuchungen der Vektorkompetenz (Test potenzieller Vektorarten auf humanpathogene Viren) ergänzt (FLI-IMED-INNT08-HV-0015). Um die Risikoeinschätzung potenzieller vektor-assoziiierter Krankheiten zu verbessern, wurde unter Federführung des FLI – Institut für Infektionsmedizin – zudem ein europäisches Netzwerk für den Datenaustausch zu arthropodischen Vektoren initiiert (FLI-IfE-IMED_INNT-08-HV-0014).

Im Rahmen des Netzwerkes „Nagetier-übertragene Pathogene“ (Ulrich et al., 2009) erfolgt die Koordinierung umfangreicher Untersuchungen zu Krankheitserregern, die bei Mensch und Tier Erkrankungen hervorrufen können. In einem kürzlich begonnenen und vom FLI koordinierten Forschungsverbund (FLI-INNT-Ri-0513) wird, gemeinsam mit dem JKI und weiteren Institutionen des öffentlichen Gesundheitsdienstes sowie universitären Instituten, die Erforschung der Epidemiologie von zwei wichtigen Nagetier-assoziierten Zoonoseerregern, Hantaviren und Leptospiren interdisziplinär vorangetrieben, um Maßnahmen zum besseren Gesundheitsschutz der Bevölkerung zu entwickeln. Wichtige Reservoirs der beiden Erregergruppen sind Röteln- und Feldmaus, die als Schädner in Land- und Forstwirtschaft von großer Bedeutung sind, und durch den Klimawandel beeinflusst werden. Im Rahmen des Deutschen Zentrums für Infektionsforschung (DZIF) beschäftigt sich das FLI auch mit Ratten als Reservoirs für Tierseuchen- und Zoonoseerregern. Weitere Projekte der FLI-Institute, die sich direkt mit vektor-übertragenen Infektionskrankheiten und anderen klimarelevanten Infektionserregern beschäftigen, befinden sich im Anhang. Diese Projekte entwickeln geeignete Diagnostika, Präventions- und Bekämpfungsmaßnahmen. Hierzu zählen auch Untersuchungen zu den empfänglichen Spezies einschließlich heimischer Wildtiere, um deren Funktion als mögliche Überträger oder Reservoirwirte zu verstehen. Weitere Projekte der FLI-Institute, die sich direkt mit vektor-übertragenen Infektionskrankheiten und anderen klimarelevanten Infektionserregern beschäftigen, befinden sich im Anhang. Diese Projekte entwickeln geeignete Diagnostika, Präventions- und Bekämpfungsmaßnahmen. Hierzu zählen auch Untersuchungen zu den empfänglichen Spezies einschließlich heimischer Wildtiere, um deren Funktion als mögliche Überträger oder Reservoirwirte zu verstehen.

6.3 Ausblick

Unter den projizierten zukünftigen Klimabedingungen wird der Infektionsdruck für Nutztiere aus der Umwelt zunehmen, sodass eine Freilufthaltung ein größeres Infektionsrisiko birgt. Andererseits ist zu erwarten, dass sich die gesellschaftlichen Ansprüche an die Tierhaltung weiter hin zu tierwohlorientierten Haltungsformen für Geflügel und Schweine mit entsprechenden Auslaufmöglichkeiten entwickeln werden. Hier ist die Forschung gefordert, in interdisziplinärer Kooperation aller relevanten Teildisziplinen Haltungssysteme und Managementverfahren zu entwickeln,

die die Anforderungen an die Tiergesundheit einerseits und die gesellschaftlichen Erwartungen an eine artgerechtere Nutztierhaltung andererseits bestmöglich in Einklang bringen. Anschließend sollten die Ergebnisse mit den Praxispartnern erprobt werden. In diesem Zusammenhang wären auch ganzheitliche interdisziplinäre Projekte zu Schadnagern und Vektoren im Zusammenhang mit Nutztiergenetik, inkl. Mikrobiomanalytik, Nutztierimmunologie und tierwohlorientierten Haltungsregimen von großer Wichtigkeit. Die Biologie von Erreger-Vektor-Wirt-Systemen ist aber in der Regel so komplex, dass in vielen Fällen zunächst ein genaues Verständnis der Pathogenese erforderlich ist, bevor geklärt werden kann, ob mit Hilfe von Temperatur- und Klimadaten zuverlässigen Vorhersagen für die künftige Entwicklung ermöglicht werden können. Derzeit liegen für solche Erreger-Vektor-Wirt-Systeme lediglich Annahmen oder modellbasierte Projektionen vor, die darauf hindeuten, dass Klimaänderungen erhebliche Effekte haben werden (Cramer, 2014). Das FLI arbeitet in verschiedenen Bereichen sowohl an Erreger-Wirt- als auch an Erreger-Vektor-Wirt-Systemen, um über das Verständnis der molekularen Mechanismen geeignete Präventionsmaßnahmen und Bekämpfungsstrategien zu entwickeln. Bei diesen Untersuchungen kommt erschwerend hinzu, dass in vielen Fällen die Krankheitsverläufe durch ein Zusammenspiel verschiedener Erreger bestimmt werden (Faktorenkrankheiten), und auch hier liegen bis heute nur wenige gesicherte Erkenntnis vor. Das Projekt Koinfekt versucht die Pathomechanismen bakto-viraler Koinfektionen mit einem neuen biomedizinischen Modell aufzuklären (FLI-ATB+IfI+IMVZ+IVD-08-HV-0039).

Gegenwärtige Maßnahmen, das Risiko der Einschleppung von Krankheits- und Schaderregern durch Personen und Handel zu minimieren, umfassen z. B. die Kontrolle von Importgütern an den Ursprungshäfen. Entsprechende Vorkehrungen müssen auch für bisher nicht regulierte Importgüter wie Obst und Gemüse entwickelt werden. Noch schwieriger ist es, Anpassungsmaßnahmen an potenziell mit dem Klimawandel auftretende Erreger zu treffen. Hier müssen spezifische Erreger-Vektor-Wirtssysteme untersucht werden, um Empfehlungen für vorsorgende Maßnahmen erarbeiten zu können.

7 Milchviehwirtschaft und Rinderhaltung

7.1 Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Milchviehwirtschaft

Auswirkungen von Klimaveränderungen, wie z. B. steigende Temperaturen oder häufigere Hitzetage, machen sich auf die Milchviehwirtschaft insbesondere durch Einschränkungen des Tierwohls, die Krankheitsanfälligkeit der Tiere und eine veränderte Futtermittelgrundlage bemerkbar. Auch die Leistungsfähigkeit der bisher auf maximale Milchleistung gezüchteten Tiere nimmt mit Hitze ab, da mehr Energie für die Thermoregulation gebraucht wird. So wurden in Untersuchungen des FLI – Institut für Tierernährung bei Milchkühen (Holstein-Friesian) bereits unter heutigen Bedingungen (2009-2012) Beeinträchtigungen der Milchleistung und Milchqualität und der Futteraufnahme durch moderaten Hitzestress festgestellt (Gorniak et al., 2014). Die bisher schwer vorherzusagende Entwicklung pathogener Belastungen durch mögliche invasive Vektoren und Erreger sowie Änderungen der Häufigkeit und der Vorkommen einheimischer Vektoren und Erreger durch Klimaänderungen stellt, wie in der Geflügel- und Schweinehaltung, einen weiteren Unsicherheits- und Stressfaktor für die Kühe und die Milchwirtschaft dar.

Gnitzen stellen als Überträger der Blauzungenkrankheit für die Landwirtschaft einen Vektor mit hohem Schadpotenzial dar. Vor allem Rinder und Schafe sind betroffen. Wie die Blauzungenepidemie 2007/2008 zeigte, konnten dabei, anders als erwartet, auch einheimische Gnitzen als Vektoren agieren. Das Leid der Tiere während der Infektion, aber auch die wirtschaftlichen Folgen waren sehr groß. Gnitzen als Arthropoden werden von einer weiteren Temperaturerhöhung direkt beeinflusst (siehe Kapitel 6.1).

Eine von 2010-2013 vom Thünen-Institut für Betriebswirtschaft durchgeführte ökonomische Analyse zu Klimafolgen und Anpassungsstrategien niedersächsischer Milchviehhaltungssysteme ergab bei vier Beispielregionen eine Gewinnsteigerung durch den Klimawandel von bis zu 12 %. Dies wurde vor allem auf das positive Ertragspotential von Mais durch höhere CO₂-Konzentrationen und höhere Temperaturen zurückgeführt (TI-BW-08-PID1491, Brewes et al., 2014). Allerdings weisen Pflanzenwachstumsmodelle hinsichtlich möglicher zukünftiger Interaktionen steigender Temperaturen vor allem im Pflanzenbestand mit höheren CO₂-Konzentrationen, Wasserstress und Düngung wegen fehlender Versuchsdaten noch Defizite auf. So sind beispielsweise Änderungen der Nährstoffgehalte von Mais durch Trockenstress festgestellt worden, was eine reduzierte Proteinverträglichkeit von Wiederkäuern zur Folge hatte.

7.2 Anpassungsmaßnahmen

Züchtung

Der gezielten Züchtung durch Selektion innerhalb bestehender Bestände zur Verbesserung der Anpassungsfähigkeit gegenüber Hitze und Krankheiten wird in Zukunft eine größere Bedeutung

zukommen. Teilweise werden bereits Züchtungslinien der Holstein-Friesian-Rasse aus Ländern mit wärmerem Klima (einzelne Staaten der USA und Israel) eingekreuzt. Zudem wurden schon einzelne genetische Merkmale, die zur Erhöhung der Hitzetoleranz beitragen, identifiziert; deren Einkreuzung in verschiedene Bestände war jedoch nicht immer erfolgreich (Gauly et al., 2013). Untersuchungen am FLI – Institut für Tierernährung – konnten entscheidend zur Identifizierung von Indikatoren, z. B. einer reduzierten Fruchtbarkeit für Hitzestress, und damit zur weiterführenden Züchtung klimaangepasster Milchkühe in Deutschland, beitragen (Gorniak et al., 2014).

Fütterung

Erste Versuche zur Reduzierung des Hitzestresses von Milchkühen durch Fütterung mit ballaststoffarmem Konzentrat und dem Futterzusatzstoff Niacin (Nikotinsäure) zeigten nur mäßige Erfolge. Während Niacin keinen Einfluss auf die Körpertemperatur von Milchkühen hatte, führten hohe Anteile an Konzentrat zwar zu einer Verminderung der Pansentemperatur, allerdings mit dem Nebeneffekt höherer Säuregehalte (Lohölter et al., 2013). Am FLI – Institut für Tierernährung – werden seit 2010 im Rahmen verschiedener Fütterungsversuche kontinuierliche und mehrjährige Aufzeichnungen von Stallklimadaten und deren Verknüpfung mit Tierleistungs- und Gesundheitsdaten vorgenommen. Sie sind für ein besseres Verständnis der Beziehungen zwischen Hitzestress und fütterungsbedingten Risikofaktoren von entscheidender Bedeutung, da anhand der multifaktoriellen Daten belastbare Zusammenhänge abgeleitet werden können.

Anpassung der Stallumgebung

Eine Reduzierung von Hitzestress kann auch durch Anpassungen der Stallumgebung und des Weidemanagements erreicht werden. Aus einer Untersuchung zum Einfluss verschiedener Haltungssysteme auf die Auswirkungen von Hitzestress auf Milchkühe konnten keine Vorteile von offenen gegenüber geschlossenen Ställen hinsichtlich der Wettereinflüsse festgestellt werden. Allerdings waren die Hitzestress-Merkmale in geschlossenen Ställen ohne Dämmung stärker ausgeprägt. Bei Angebot von automatischen Melksystemen wurde bei Hitzestress ein häufigeres Aufsuchen der Melkstände festgestellt, was den Stoffwechsel der Tiere entlastete (Brewes et al., 2014). Zur Kühlung der Tiere im Stall können Ventilatoren für einen besseren Luftaustausch eingesetzt werden. Außerdem kann die Vernebelung von Wasser das Wohlbefinden der Tiere steigern. Auf der Weide würde die Etablierung von Agroforstsystemen Möglichkeiten der Beschattung und Kühlung der Tiere bieten.

Maßnahmen gegen Krankheitserreger

Anhand gezielter Monitoringprogramme für klimarelevante Erreger und deren Vektoren, wie z. B. dem Stechmückenmonitoring in Deutschland, können wichtige Informationen zu Vorkommen und Verbreitung einheimischer und invasiver Stechmücken gesammelt werden. In Verbindung mit geeigneten Vektorkompetenzstudien lassen sich dann Risikoabschätzungen zu bestimmten Erregern entwickeln. Neben diesen Aktivitäten auf nationaler Ebene ist es unabdingbar, diese Informationen auch international zu erheben und auszutauschen. Hierzu wurde unter Federführung des FLI – Institut für Infektionsmedizin – ein europäisches Netzwerk für den Datenaustausch

zu Arthropoden-Vektoren initiiert (FLI-IfE-IMED_INNT-08-HV-0014), um bessere Risikoeinschätzungen potenzieller vektor-assoziiierter Krankheiten zu ermöglichen.

Auch Untersuchungen zum Einfluss des Klimawandels auf die Bedeutung der Zecken als Vektoren für das Q-Fieber werden durchgeführt. Die Übertragung des Q-Fiebers erfolgt größtenteils durch eine Übertragung, ausgehend von infizierten Wiederkäuern. Im südlichen Deutschland spielen zudem Zecken des Genus *Dermacentor* als Reservoir und Vektoren ebenfalls eine Rolle. Berechnungen auf Grundlage aktueller Klimadaten zufolge existieren auch geeignete Habitate weiter nördlich bis nach Sachsen-Anhalt und Niedersachsen (Walter et al., 2016), sodass sich diese Zecken-Spezies zukünftig weiter nach Norden ausbreiten und an Bedeutung gewinnen kann (FLI-IBIZ+IfI+IMP-08-HV-0033).

Weitere Projekte der FLI-Institute, die sich direkt mit vektor-übertragenen Infektionskrankheiten und anderen klimarelevanten Infektionserregern beschäftigen, befinden sich im Anhang. In diesen Projekten werden geeignete Diagnostika, Präventions- und Bekämpfungsmaßnahmen entwickelt. Hierzu zählen auch Untersuchungen zu den empfänglichen Spezies einschließlich heimischer Wildtiere, um deren Funktion als mögliche Überträger oder Reservoirwirte zu verstehen.

7.3 Ausblick

Um die Leistungsfähigkeit und Vitalität der Tiere unter zukünftigen Klimabedingungen zu erhalten oder gar zu steigern, bedarf es weitergehender Untersuchungen im Bereich der Züchtung, der Tierernährung und der Tierhaltungssysteme. Der Erforschung der Möglichkeiten der Erhöhung der Variabilität in der genetischen Ausstattung des Tieres als Anpassung an Klimaänderungen sollte große Bedeutung zukommen. Hier ist besonders der Frage nachzugehen, ob durch die Aspekte Genetik-Tierernährung-Tiergesundheit eine bessere Anpassungs- und Widerstandsfähigkeit, auch hinsichtlich eines Zusammenhangs von Mikrobiomzusammensetzung und Immunkompetenz beim Einzeltier erzielt werden kann, und ob damit auch die Herde als Gesamtsystem eine bessere Leistung erbringen kann. Hinsichtlich der Tiergesundheit wären auch hier Vektoren und Wildtiere (u. a. Insekten, Schädner) und die mit ihnen assoziierten Tierseuchen- und Zoonoseerreger zu berücksichtigen. Eine Verknüpfung dieser Betrachtungen mit einer Ökobilanzierung und ökonomischen Analyse würde eine systemintegrierende Bewertung ermöglichen.

Die Wirkungen von Interaktionen erhöhter CO₂-Konzentrationen und höherer Temperaturen sowie verschiedener Düngestrategien auf die Qualität der Futtermittel Mais und Grünfutter sowie auf das Vorkommen und die mögliche Aufnahme von Krankheitserregern mit dem Futter sind noch weitgehend unerforscht. Möglichen Beeinträchtigungen der Tiergesundheit durch biotische Stressfaktoren muss durch gezielte Erreger- und Vektorenbekämpfung vorgebeugt werden. Entscheidende Voraussetzungen dafür sind die Etablierung umfassender Monitoringsysteme für Vektoren und Schädner, inkl. der Rodentizid-Resistenzentwicklung, und die Ermöglichung einer schnellen Erregeridentifizierung (siehe auch Kapitel 6.3).

Unter den projizierten zukünftigen Klimabedingungen wird der Infektionsdruck für Nutztiere aus der Umwelt zunehmen. Forschungs- und Handlungsbedarf besteht in der Rinderhaltung hinsichtlich des Verständnisses des Zusammenspiels von Erreger-(Vektor)-Wirt-Systemen. Hier kommt vor allem der Schnittstelle Mensch-Nutztier-Wildtier eine besondere Bedeutung zu. Mit diesen Erkenntnissen muss dann in einem zweiten Schritt das Vorkommen von Nagetier- und Vektor-assoziierten Krankheitserregern unter zukünftigen Klimabedingungen und die Prävention der Einschleppung neuer Krankheitserreger untersucht werden. Die Rolle möglicher Erregerreservoirs (Wildvögel, Wildwiederkäuer, Wildcarnivore etc.) muss geklärt, und geeignete Maßnahmen der Prävention von Tierseuchen und Zoonosen entwickelt werden. Dies betrifft sowohl die Verhinderung einer Einschleppung dieser Erreger nach Deutschland/Europa als auch deren Ausbreitung sowie deren Etablierung in Deutschland/Europa. Voraussetzung hierfür ist die Entwicklung geeigneter Früh-Warnsysteme und zuverlässiger Bekämpfungsstrategien.

8 Grünland

Die Grünlandnutzung kann in zwei gegensätzliche Anforderungsprofile unterteilt werden. Zum einen dient Grünland in der Milchviehhaltung als Futtergrundlage, zum anderen erbringt Grünland auch Ökosystemdienstleistungen, deren Erhalt und gezielte Nutzung einen wichtigen Beitrag zur Anpassung an den Klimawandel darstellen kann.

8.1 Grünland als Futtergrundlage

8.1.1 Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Futtergrundlage Grünland

Grundsätzlich sind für Grünland durch Klimafolgen wie einen früheren Beginn der Vegetationsperiode mit höheren Temperaturen und eine insgesamt längere Vegetationsperiode sowie höhere CO₂-Konzentrationen positive Effekte auf den Ertrag zu erwarten. Demgegenüber stehen negative Auswirkungen auf den Ertrag und die Qualität des Grünlands durch Extremwetterereignisse wie z. B. Dürreperioden. Auch durch eine höhere Niederschlagsvariabilität sind Ertragsminderungen in Folge einer Verschiebung der Pflanzengruppen hin zu einem niedrigeren Grasanteil zu erwarten (Grant et al., 2014). Gleichwohl wurde eine Veränderung der Pflanzengesellschaft hin zu einem höheren Kräuteranteil unter CO₂-Anreicherung beobachtet (Teyssonneyre et al., 2002). Vor allem aber Leguminosen profitieren von höheren CO₂-Konzentrationen. Während für N-gedüngtes Grünland auf frischen, wärmelimitierten Standorten durch die Temperaturzunahme nur geringfügige Ertragszuwächse bis Ende des Jahrhunderts erwartet werden, waren unter Berücksichtigung des CO₂-Effekts Ertragszuwächse von bis zu 20 % bei Weißklee in Monokultur möglich (Hebeisen et al., 1997). Zudem führten höhere CO₂-Konzentrationen zu einem geringeren Rohfaseranteil und damit einer besseren Verdaulichkeit eines Grünlandbestands, wobei auch der N-Gehalt und in Folge der Rohproteingehalt von Gräsern generell abnahm (Weigel und Manderscheid, 2005). Es muss also mit Veränderungen der Stoffströme zur Nährstoffversorgung und -verfügbarkeit sowie dem Futterwert gerechnet werden. Auch pathogene Risiken müssen beachtet werden. So wurde in Folge verstärkter Sommertrockenheit ein erhöhter Befall von Weißdelgras-Saatgutvermehrungsbeständen mit Schwarzrost festgestellt. Auch der Befall mit Kronenrost sowie Bakterienwelke führt zunehmend zu Schäden mit wirtschaftlicher Bedeutung.

Im Grünland stellt die Feldmaus einen wichtigen Schädner dar, der ein Reservoir für Tierseuchen- und Zoonoseerregern, z. B. Leptospiren und Orthopockenviren (FLI-INNT-08-Ri-0416), bildet. Dabei wirkt sich der Klimawandel vermutlich sowohl auf das Vorkommen der Feldmaus, als auch auf der Erreger aus. Zusätzlich zu den Einflüssen auf die Erreger und Vektoren müssen auch die Auswirkungen der Klimaänderungen auf andere Tierspezies (Wildvögel, Wildsäugetiere) berücksichtigt werden, die als Reservoirwirte wiederum Auswirkungen auf die Rinderhaltung haben (FLI-INNT-08-HV-0011).

8.1.2 Anpassungsmaßnahmen und Ausblick

Um ein für zukünftige Klimabedingungen angepasstes, ertragsstarkes und multiresistentes Gras bereitstellen zu können, werden am JKI – Institut für Züchtungsforschung an landwirtschaftlichen Kulturen – die Grundlagen für die Selektion von Resistenzgenen gegenüber Schwarz- und Kronenrost sowie Bakterienwelke von Weidelgras entwickelt (JKI-ZL-08-3197 / JKI-ZL-08-3171). Ebenso werden zur Züchtungsvorbereitung trockenstresstoleranter Weidelgrasarten Indikatoren für Trockenstresstoleranz ermittelt (JKI-ZL-08-1148). Durch eine präzise Selektion auf die gewünschten Merkmale erlangen die am Vorhaben beteiligten Züchter einen europaweiten Wettbewerbsvorteil auf dem Saatgutmarkt für klimaangepasste Weidelgrassorten.

Zur Anpassung von Grünland an zukünftige Klimaentwicklungen können mehrere Ansätze verfolgt werden. So kann z. B. die Diversifizierung der Artenzusammensetzung des Grünlands das Risiko für Ertragsausfälle minimieren; für den Futterwert ist aber vor allem die Zusammensetzung der Pflanzengruppen Gräser, Kräuter und Leguminosen wichtig. Hier bedarf es weiterer Untersuchungen zur Anfälligkeit und Resistenz einzelner Pflanzengruppen gegenüber den erwarteten Klimaveränderungen und Extremereignissen, besonders in Verbindung mit biotischen Stressfaktoren und verschiedenen Düngeregimes. Wie sehr der CO₂-Düngeeffekt negative Ertragseffekte durch Hitzeperioden und Krankheiten kompensieren oder in Abhängigkeit der N-Düngung sogar überkompensieren kann, bedarf ebenfalls weiterer Untersuchungen. Auch der Einfluss des Klimas auf die Feldmauspopulationen und deren Schadpotenzial im Grünland muss unter Einbeziehung des Monitorings der mit der Feldmaus assoziierten Krankheitserreger weiter charakterisiert werden.

8.2 Ökosystemdienstleistungen des Grünlands

Dem Grünland kommt für den Erhalt der biologischen Vielfalt sowie dem Klima-, Wasser- und Bodenschutz eine große Bedeutung zu. Grünlandböden speichern vor allem in den oberflächennahen Bodenschichten durch eine hohe Wurzelmasse deutlich mehr Kohlenstoff als Böden unter Ackernutzung und stellen somit eine Kohlenstoffsенке dar. In Hanglagen und entlang von Gewässern bietet Grünland Schutz vor dem Eintrag von Nährstoffen und Humus durch Bodenerosion in Gewässer. Dies sind Ökosystemdienstleistungen, die bisher nicht gezielt entlohnt werden. Grünlandgebiete finden sich daher häufig an Standorten, die eine schlechtere Nährstoffversorgung, raueres Klima, regelmäßige Trockenheit und Staunässe als ackerbaulich genutzte Standorte aufweisen, wie z. B. Hang- oder Höhenlagen der Mittelgebirge und Alpen, Niedermoorböden der norddeutschen Tiefebene, Trockenstandorte und Überflutungs-Salzgrünland, und für eine ackerbauliche Nutzung ungeeignet sind (Schramek et al., 2012).

8.2.1 Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Ökosystemleistungen des Grünlands

Die Ökosystemdienstleistungen des Grünlands, wie z. B. Hochwasser- und Erosions- oder Naturschutz, sind vor allem durch ein häufigeres Auftreten von Extremwetterereignissen wie Starkniederschlägen und Hochwasser sowie Trockenperioden und in der Folge von Bodenerosion und Nährstoffauswaschung sowie Verlust an biologischer Vielfalt betroffen. Bei anhaltendem Dauerregen und sich häufenden Starkregenereignissen steigt das Überschwemmungsrisiko, da wassergesättigte Böden kaum bis keine Wasserspeicherkapazität mehr besitzen.

8.2.2 Anpassungsmaßnahmen und Ausblick

Um die Ökosystemdienstleistungen wie Erosions- und Hochwasserschutz auch unter sich ändernden Umweltbedingungen aufrechterhalten zu können oder gezielt zu fördern, bedarf es zuallererst einer Definition der notwendigen Eigenschaften für die jeweiligen Nutzungsarten, Ökosystemdienstleistungen und Standorte. So würde die Ermittlung von Grünlandeigenschaften, die für den Hochwasser- oder Erosionsschutz besonders förderlich sind, die gezielte Nutzung geeigneter Grünlandflächen als Überflutungsflächen oder Erosionsschutzflächen ermöglichen. Anschließend sollte eine standortangepasste Bewirtschaftung und ggf. eine Förderung von Maßnahmen des für die Klimaanpassung wichtigen Grünlanderhalts und der Grünlandpflege erfolgen. Neben dem Hochwasser- und Erosionsschutz können weitere Ökosystemleistungen des Grünlandes definiert werden, wie etwa der Grundwasserschutz (ganzjährige Bodenbedeckung) und der Klimaschutz (durch Bindung des atmosphärischen Kohlenstoffs im Bodenhumus). Denkbar wäre daher, über eine Umverteilung der Cross Compliance-Förderung aus der 1. Säule in die 2. Säule, die Grünlandpflege als spezielle Ökosystemleistung z. B. der Milchviehwirtschaft zu fördern. Offen ist, wie solch ein Fördersystem gestaltet sein könnte.

9 Sonderkulturen

Änderungen der Phänologie der Kulturpflanzen sowie deren Standortseignung erfordern eine vorausschauende Anbauplanung und einen kreativen und offenen Umgang mit Veränderungen nicht nur von den Landwirten, Winzern und Obstbauern, sondern auch von Handel und Verbrauchern. Die Wahl geeigneter und standortangepasster Sorten ist aufgrund der in der Regel mehrjährigen Kulturdauer bei Sonderkulturen jedoch im Vergleich zu landwirtschaftlichen, einjährigen Kulturen nur sehr eingeschränkt möglich. Unregelmäßig wiederkehrende, diverse Extremwetterereignisse machen daher ein umfassendes Risikomanagement erforderlich. Die nachfolgende Beschreibung bisheriger Anpassungsforschung und der offenen Forschungsfragen im Bereich von Sonderkulturen ergibt sich aus den Kompetenzen der jeweiligen Forschungsgebiete der Ressortforschungsinstitute und stützt sich schwerpunktmäßig auf die Anpassung von Reben und Obst sowie die Kalkulation von Risiken im Sonderkulturbereich.

9.1 Auswirkungen von Klimaänderungen auf Sonderkulturen

Der Obst- und Weinbau ist aufgrund der langen Standzeiten der Kulturen besonders von Klimaänderungen betroffen. Dabei stellen sowohl zu hohe Temperaturen und eine hohe Sonneneinstrahlung bei der Fruchtentwicklung, als auch extreme Kälteereignisse im Winter bei nicht ausreichender Winterhärte ein Problem dar. Ebenso negativ wirken sich warme Winter aus, da ein Nichterfüllen des Kältebedürfnisses zu einer unvollständigen Entwicklung der Blüten im nächsten Frühjahr führt und somit geringere Erträge zur Folge hat. Auch eine im Jahresverlauf immer frühere Erwärmung, unterbrochen von Kälteereignissen (Spätfrösten) wirkt sich negativ auf den Austrieb und die Blüte von Obstgehölzen aus. Regional und saisonal auftretende Trockenheit kann zu Einschränkungen der Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit führen und eine Zusatzbewässerung erforderlich machen. Andererseits kann auch ein Zuviel an Wasser in Form regional auftretender Starkniederschläge zu Bodenerosion und Nährstoffauswaschung führen. Von allen Wetterereignissen führt Hagel durch primäre Schäden wie der Zerstörung der Früchte, aber auch durch Folgeschäden in Form von Krankheits- und Schädlingsbefall zu den höchsten wirtschaftlichen Schäden im Obstbau, aber auch bei anderen Sonderkulturen wie Wein. Dem gegenüber können höhere atmosphärische CO₂-Konzentrationen bei optimaler Wasser- und Nährstoffversorgung zu höheren Erträgen im Weinbau führen (Moutinho-Pereira et al., 2015).

Die Veränderungen des Klimas wirken sich mehr oder weniger unmittelbar auch auf die Entwicklung und Merkmalsausprägungen der Pflanzen sowie der Schaderreger, Schädner und Unkräuter aus. Im Unterglasanbau ist ein erhöhter Schädlingsdruck aus dem Freiland zu erwarten. Zudem muss in Zukunft auch mit einer vermehrten Anzahl von Generationen bei Schadinsekten und dem vermehrten Auftreten von Vektoren, Virose- und Phytoplasmen (z. B. Zikaden) gerechnet werden. Auch mit dem Auftreten und der klimawandelbedingten Etablierung neuer invasiver Schädlinge muss gerechnet werden. Eine große Herausforderung für den Obst- und Weinbau

stellt derzeit der Umgang mit der im Jahr 2014 erstmals in Deutschland aufgetretenen Kirschessigfliege *Drosophila suzukii* dar.

9.2 Anpassungsmaßnahmen

Im Weinbau entsteht aufgrund der in Deutschland eher limitierenden Klimabedingungen für Reben mit der Erwärmung ein großes Anbaupotential für wärmeliebende Sorten. Die Anpassungsmöglichkeiten der Rebe im Hinblick auf Extremwetterereignisse sind jedoch nur beschränkt und teilweise für verschiedene Wetterereignisse gegensätzlich (Kulturmaßnahmen) oder nicht wirtschaftlich (Beregnung/Sonnenschutz). So kann eine Begrünung zwischen den Reihen im Weinbau zwar das Erosionsrisiko verringern, jedoch bei Trockenheit auch zu Wassermangel vor allem bei Junganlagen von Reben führen. Die Verschiebung der Standortseignung kann auch dazu führen, dass die Bewirtschaftung von Steillagen in manchen Regionen aufgrund mangelnder Niederschläge und fehlender Bewässerungsmöglichkeiten unrentabel wird.

Die Zusammenhänge zwischen abiotischen Schäden und dem Beginn sowie der Dauer von Infektionen mit Feuerbrand oder Pilzkrankheiten als biotische Folgeschäden im Zusammenhang mit Klimaänderungen werden derzeit am Institut für Pflanzenschutz im Obst- und Weinbau des JKI untersucht, um geeignete Strategien zur Verhinderung von Schäden entwickeln zu können (JKI-OW-08-0008). Auch der Zusammenhang von Witterungsdaten, einer veränderten Phänologie der Obstgehölze und Reben (eine mögliche frühere Blüte und Reife) und der Biologie und Populationsdynamik von Schaderregern (Weiße Fliege, Schild- und Schmierläuse als Virusüberträger sowie Holzkrankheiten der Rebe) werden untersucht. Damit soll eine Abschätzung des Schadpotentials ermöglicht, sowie Schwellenwerte von Witterungsdaten zur Einleitung präventiver Maßnahmen ermittelt werden (JKI-OW-08-1155 / JKI-OW-08-0018).

Speziell die Flugaktivität der Zikade, als Überträgerin der Schwarzholzkrankheit, wird hier mit Klimaparametern abgeglichen, um termingerechte und somit effektive Pflanzenschutzmaßnahmen zu ermöglichen (JKI-OW-08-0047). Zur Abschätzung des möglichen Schadpotentials zusätzlicher, potenziell in Deutschland auftretender Zikadenarten und ihrer Vektorwirkung, werden aktuell Untersuchungen in verschiedenen Anbausystemen und unter unterschiedlichen Klimabedingungen (Deutschland und Ungarn) durchgeführt (JKI-OW-08-1190). Auch wird mit Hochdruck nach Möglichkeiten gesucht, die Kirschessigfliege *Drosophila suzukii* zu bekämpfen. Unter anderem soll die Resistenz der Reben durch züchterische Ansätze, wie z. B. die Erhöhung der mechanischen Stabilität verstärkt werden (JKI-ZR-08-5203). Managementverfahren, die sich an Erhalt und Förderung von biologischer Vielfalt orientieren, können die Etablierung potenzieller Nützlinge zur Schaderregerbekämpfung unterstützen. Der Einfluss der biologischen Vielfalt auf Schaderreger im Weinbau wird derzeit in Steillagen, wo Pflanzenschutzmaßnahmen nur eingeschränkt möglich sind, untersucht (JKI-OW-08-1181). Zudem werden verschiedene Anbaumethoden, unter anderem die Kombination resistenter Rebsorten und Minimalschnitt im Spalier, gegenüber der ver-

breiteten Spaliererziehung hinsichtlich ihres Einflusses auf mikrobiologische Lebensgemeinschaften und Rebenkrankheiten miteinander verglichen (JKI-ZR-08-5172).

Auch bei Obstgehölzen kann die Züchtung zur Erhöhung der Resistenz/Toleranz gegenüber abiotischem Stress und biotischen Schaderregern einen Beitrag zur Anpassung an Klimaveränderungen leisten, ist aber aufgrund der Dauer des Zuchtprozesses eine langfristige Anpassungsmöglichkeit. So werden erste, gegenüber abiotischen und biotischen Faktoren widerstandsfähige Unterlagen für Süßkirschen aus einer 20-jährigen Vorselektion derzeit am Institut für Züchtungsfor-schung an Obst des JKI auf ihre Anbaueignung und Anpassungsfähigkeit in verschiedenen Anbau-regionen getestet (JKI-ZO-08-0042). Vorbeugende Maßnahmen zur Schadensbegrenzung wie z. B. die Überdachung von Süßkirschen, die Installation von Hagelschutz- oder Sonnenschutznetzen sowie die Tröpfchenbewässerung sind ebenfalls wirksame Anpassungsmaßnahmen, verursachen aber hohe Investitionen und Kosten.

9.3 Ausblick

Maßnahmen gegen Schaderreger und Schadnager

Eine breit angelegte, präventive Erfassung und Identifizierung von Schaderregern, die sich in Zukunft in Deutschland etablieren könnten, ist zur Abschätzung eines potenziellen Befalls dringend notwendig. Sind die potenziellen Schaderreger identifiziert, müssen einerseits Schutzmaßnahmen gegen eine mögliche Einschleppung veranlasst werden. Andererseits sollten gezielte Monitoring-systeme entwickelt werden, um einen möglichen Befall frühzeitig festzustellen und Schäden möglichst früh abwenden zu können.

Erforderlich werden außerdem neue Prognosemodelle zur klimaangepassten Risikoabschätzung des Auftretens von Schaderregern und Schadnagern. Entsprechend muss auch der Pflanzenschutz angepasst werden; d. h. es werden Pflanzenschutzmittel mit selektiver Wirkung benötigt. Hier müssen im chemisch-synthetisch basierten Pflanzenschutz wirksame Pflanzenschutzmittel für neue Schaderreger gefunden werden, sowie Zulassungen wirksamer Pflanzenschutzmittel auf den Sonderkulturbereich erweitert werden. Darüber hinaus ist bisher nur wenig zu Schadnagern in Sonderkulturen, z. B. zur Schermaus, bekannt. Eine entsprechende bessere Charakterisierung sollte auch hier die mit der Schermaus assoziierten Krankheitserreger berücksichtigen.

Der Nützlingseinsatz zur Schädlingsbekämpfung hat im Sonderkulturbereich eine große Bedeutung. Im Hinblick auf Klimaveränderungen stellt die Erprobung der Eignung neuer Nützlinge eine mögliche Anpassungsmaßnahme auf einen erhöhten Schädlingsdruck dar. Ihre erfolgreiche Etablierung kann in mehrjährigen Kulturen langfristig wirtschaftlich sein und dazu beitragen, die hohe Intensität der Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel zu reduzieren. Für den Unterglasanbau bietet sich ggf. der Einsatz wärmeliebender Nützlinge, die im Freiland aufgrund zu großer Kälte absterben, als Lösung an. Wichtige Voraussetzungen für eine wirksame Anwendung von Nützlingen sind dabei die Synchronisation von Nützlingen und Schaderregern sowie die Erfor-

schung der Eignung heimischer Nützlinge, die als potenzielle Antagonisten für neue Schaderreger in Frage kommen.

Züchterische Maßnahmen

Die Züchtungsschwerpunkte im Wein- und Obstbau liegen in der Etablierung abiotischer und biotischer Resistenzen. Zusätzlich sollte bei heutigen Züchtungszielen auch deren Klimarelevanz unter zukünftigen Klimabedingungen mit berücksichtigt werden. Bei Reben wird bereits heute auf eine spätere Blüte (um Schäden durch Spätfröste zu umgehen) und eine spätere Fruchtreife (Anpassung an eine verlängerte Vegetationsperiode) hin selektiert. Um die Möglichkeiten der Resistenz- bzw. Toleranzbildung durch Züchtung ausweiten zu können, ist die Erschließung genetischer Ressourcen aus Wildarten notwendig. Während der nordamerikanische Genpool als eines der beiden Genzentren der Gattung *Vitis* der Züchtung zugänglich ist, bestehen für den asiatischen Genpool mit seinen 40 Arten bisher kaum Austauschmöglichkeiten. So kann zur Optimierung des Wissenstransfers die internationale Kommunikation und Netzwerkarbeit sowohl über Sorten als auch Erreger vertieft werden. Als erster Schritt fand im Mai 2016 ein vom JKI und dem Deutsch-Chinesischen Agrarzentrum (DCZ) gemeinsam durchgeführter Züchtungsworkshop mit deutsch-chinesischer Beteiligung statt.

Die bereits angewandte, markergestützte Selektion einzelner Resistenzmerkmale sollte zunehmend zur Evaluierung und Charakterisierung genetischer Ressourcen sowie Nachkommenschaften aus Kreuzungen genutzt werden, um geeignete Merkmale und Merkmalskombinationen zur Einkreuzung in neue Sorten zu identifizieren. Um die Erfassung der gewünschten Merkmalsausprägungen einer Pflanze (Phänotypisierung) zu verbessern, sind erhebliche Anstrengungen zur Entwicklung sensorgesteuerter, automatisierter Verfahren erforderlich, die eine Feldphänotypisierung und eine Typisierung auf Sämlingsniveau ermöglichen. Die Kombination mehrerer, additiv wirkender Resistenzgene (Pyramidisierung) kann zur Verbesserung und dauerhaften Stabilisierung von Resistenzen sowie der Minimierung des notwendigen Einsatzes von Pflanzenschutzmaßnahmen eingesetzt werden. Da die gegenwärtig angewandten Züchtungsverfahren zu langwierig sind, um den Folgen der Klimaänderungen zeitgerecht begegnen zu können, könnte zukünftig den Möglichkeiten des Einsatzes der „New Breeding Technologies“ zur Steigerung der Züchtungseffizienz eine größere Bedeutung zukommen.

Änderung des Kulturartenspektrums und der Anbauform

Der Weinbau in Deutschland befindet sich an der Nordgrenze der Anbaufähigkeit. Durch die beobachteten und projizierten Temperaturänderungen erweitern sich sowohl die möglichen Anbauflächen nach Norden als auch das mögliche Sortenspektrum hin zu südeuropäischen Sorten mit höherem Wärmebedarf. Neue, gut an die geänderten Klimabedingungen angepasste Sorten werden durch den stetigen Ersatz alter oder kranker Rebstöcke in den Weinbergen bereits in das Kulturspektrum aufgenommen. Zusätzlich müssen in Zukunft auch die Produktionssysteme an die geänderten Bedingungen angepasst werden. Dies betrifft vor allem die Bewässerung, da gerade hier ökonomisch attraktive und gleichwohl ökologisch verträgliche technische Lösungen fehlen. So ist die Anwendung von Tröpfchenbewässerung im Weinbau ökonomisch derzeit zwar noch

wenig rentabel, dies könnte sich aber mit zunehmenden Trockenschäden ändern. Auch ist es teilweise schwierig, Genehmigungen für eine zusätzliche Wassernutzung zu bekommen. Ziel im Weinbau sind flexible Anbausysteme, die durch die Kombination widerstandsfähiger Sorten mit Nützlingen eine hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber biotischen und abiotischen Stressfaktoren aufweisen. Die Erforschung klimaangepasster Produktionssysteme sollte oberste Priorität erhalten. Dabei sollte die Wirtschaftlichkeit dieser Systeme vor dem Hintergrund regionaler Rahmenbedingungen stets gegeben sein.

Betriebliche Maßnahmen

Aufbauend auf das Extremwetterprojekt 2015 wurde am Thünen-Institut für Betriebswirtschaft eine ökonomische Analyse von Anpassungsmaßnahmen an Extremwetterereignisse im Weinbau auf einzelbetrieblicher Ebene durchgeführt. Hierzu wurde die Rentabilität verschiedener Anpassungsmaßnahmen (z. B. Hagelversicherung, Minimalschnitt im Spalier, Windmaschinen) anhand des Deckungsbeitrags analysiert. Für präzisere Analysen und konkrete Handlungsempfehlungen für ökonomisch rentable Anpassungsmaßnahmen auf Betriebsebene fehlen verlässliche Daten, beispielsweise zu den Häufigkeiten des Auftretens der Extremwetterereignisse oder zum Schadensminderungspotenzial der Anpassungsmaßnahmen. Dabei ist auch die mögliche Variation relevanter Parameter zu berücksichtigen, um Wege für ein effizientes Risikomanagement aufzeigen zu können (Dirksmeyer et al., 2016; Gömann et al., 2015).

Ein langfristiges Forschungsziel wird es sein, dem Winzer und Obstbauer Simulationswerkzeuge für regional- und/oder kulturspezifische Klimafolgen zur Verfügung zu stellen, die unter Berücksichtigung ökonomischer Kriterien als Entscheidungshilfe für Handlungsoptionen wie Pflanzenschutzmaßnahmen oder den Anbau neuer Sorten genutzt werden können. Dazu gehört auch die Entwicklung effizienter Analysetools zur Ermittlung von Optimal- und Grenzwerten für Merkmale wie Qualität, Resistenz oder Stress, um erforderliche Anpassungsmaßnahmen schneller einleiten zu können. Zusätzlich zu der Entwicklung von Anwendungs-Tools sollte die Sensibilisierung der Winzer (und Obstbauern) für die Herausforderungen des Klimawandels möglichst schon frühzeitig innerhalb der Ausbildung erfolgen.

10 Fazit

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Ressortforschung im Geschäftsbereich des BMEL grundsätzlich gut aufgestellt ist, um Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel für die deutsche Land- und Forstwirtschaft zu erarbeiten. Bei der Analyse zeigten sich jedoch auch Defizite und Handlungsbedarf, die im Folgenden näher beschrieben werden. Grundsätzlich ist darauf hinzuweisen, dass sich die Forschung zur Anpassung an den Klimawandel nicht nur auf Risiken sowie Schäden und Verluste konzentrieren sollte. Zu betrachten sind auch die Chancen, die sich durch längere Vegetationsperioden in Verbindung mit dem CO₂-Düngeeffekt für eine erhöhte Produktivität in der Land- und Forstwirtschaft ergeben. Da in anderen Regionen der Welt im Vergleich zu Mitteleuropa wesentlich gravierende, negative Folgen des Klimawandels zu erwarten sind, sollte zudem die internationale Tragweite der Folgen des Klimawandels auf die Land- und Forstwirtschaft und auf die Ernährungs- und Versorgungssicherheit stärker in den Blick genommen werden. Vor diesem Hintergrund sollten für Mitteleuropa entwickelte Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel auch auf ihre Relevanz für andere Regionen der Welt geprüft werden.

Über alle betrachteten Themenbereiche hinweg sollten zukünftige Forschungsschwerpunkte dahingehend gesetzt werden, das Ökosystemverständnis unter dem Einfluss der projizierten Klimaänderungen zu vertiefen und Anpassungsmaßnahmen aus ökonomischer, ökologischer und gesellschaftlicher Sicht zu bewerten. Dabei bestehen bei den abiotischen Schadfaktoren, besonders bei Extremereignissen, noch erhebliche Datenlücken hinsichtlich der Schadenswirkungen unterschiedlicher Extremereignisse bei den einzelnen Kulturpflanzenarten in verschiedenen Regionen. Im Bereich der Schädlinge, Krankheiten, Unkräuter und anderer biotischer Schadfaktoren bestehen gleichfalls sektorübergreifende Wissenslücken, die anhand umfassender Untersuchungen zur Biologie von Schädlingen- und Infektionserregern und groß angelegten Monitoringflächen geschlossen werden müssen. Wünschenswert wäre ein ganzheitliches, interdisziplinäres Herangehen an die Beschreibung des Ist-Zustandes und die Entwicklung von Klimaanpassungsmaßnahmen. Nachfolgend werden die zukünftigen Forschungsschwerpunkte der einzelnen Sektoren dargestellt. Ein Überblick über Auswirkungen, Anpassungsmaßnahmen und zukünftige Forschungsschwerpunkte gibt auch Tabelle 3.

Forstwirtschaft

Für Anpassungsmaßnahmen in Wald und Forst werden aufgrund der langfristigen Auswirkungen heutiger Entscheidungen detaillierte Risikoanalysen benötigt. Die Grundlage dafür bilden kleinräumig aufgelöste Klimamodelle zur Abbildung von Klimaänderungen in einzelnen Regionen und für einzelne Baumbestände, die um Daten zu möglichen zukünftigen Schaderregern ergänzt werden müssen. Risikoanalysen sollten vermehrt auch ökonomische Bewertungen mit einschließen, da sie eine wichtige Entscheidungsgrundlage für die Durchführung von Anpassungsmaßnahmen darstellen.

Zur Vermeidung der Einschleppung neuer Schaderreger muss durch die Entwicklung effektiver Strategien und die Etablierung von Monitoringsystemen unter Einbeziehung des Monitorings von

Schadnagern und Wildtieren rechtzeitige Vorsorge getroffen werden. Parallel zur Vorsorge sollte im Hinblick auf zukünftige Schaderregerentwicklungen auch die Entwicklung integrierter Pflanzenschutzverfahren sowie Applikationstechniken vorangetrieben werden.

Um der Bandbreite möglicher Auswirkungen von Klimaänderungen gerecht zu werden, ist der Erhalt forstgenetischer Ressourcen eine entscheidende Voraussetzung für den Erhalt und ggf. eine Stärkung der Anpassungskapazität der Wälder. Zudem sollten die Möglichkeiten des Einsatzes wachstums- und vitalitätsfördernder Organismen sowie der Epigenetik weiter erforscht und genutzt werden. Zur Unterstützung der Entwicklung angepasster Baumbestände muss die Eignung unterschiedlicher Herkünfte etablierter Baumarten sowie neuer Baumarten für ausgewählte Standorte erprobt werden. Gleichsam muss auch die Anpassungsfähigkeit der Nutzungskonzepte von Holz hinsichtlich des Einsatzes von Substitutionshölzern geprüft und mit Forschung zur Produktqualität neuer Hölzer unterstützt werden.

Ackerbau

Da Klimaänderungen regional unterschiedlich ausgeprägt auftreten, müssen alle Anpassungsmaßnahmen im Ackerbau regionalspezifisch entwickelt und eingesetzt werden. Zur Ermittlung der zukünftigen Anbauwürdigkeit von Kulturen müssen Ertragsmodelle entwickelt werden, die das Risiko von Schäden durch Extremereignisse, Schaderreger und Schadnager mit abbilden können. In einem ersten Schritt werden dafür einzelbetriebliche Schadensdaten benötigt, welche konkreten Extremwetterereignissen zugeordnet werden können. In einem zweiten Schritt können dann potenzielle Schäden zukünftiger Ereignisse modelliert werden. Zur besseren Abbildung von Schäden durch Schaderreger und Schadnager in Modellen müssen Daten zur Biologie etablierter und potenzieller Schaderreger unter veränderten Klimabedingungen ermittelt werden.

Solch eine Risikoabschätzung ist auch für die Entwicklung eines zukunftsfähigen Pflanzenschutzes ausschlaggebend. Zur Unterstützung von Entscheidungen zu Pflanzenschutzmaßnahmen, Bewässerungs- oder Düngezeitpunkten werden Entscheidungshilfen benötigt, die es möglich machen, anhand spezifischer Parameter regionalbezogene Maßnahmen durchzuführen.

Im Hinblick auf die steigende Variabilität des Klimas und einer Zunahme von Extremwetterereignissen sollten Risikomanagementsysteme analysiert und bewertet werden. Hierzu muss das Ausmaß der zunehmenden Risikofaktoren abgeschätzt und die Absicherungsinstrumente und Anpassungsmaßnahmen auf ihre Wirkung hin bewertet werden. Des Weiteren sollten Klimaanpassungsmaßnahmen anhand ihrer Kosten und Nutzen regionalspezifisch beurteilt werden.

Um die etablierten Kulturpflanzen auf die sich vollziehenden Klimaveränderungen nachhaltig und flexibel vorbereiten und ggf. auch positive Ertragsfaktoren ausnutzen zu können, sollte das komplexe System Pflanze umfassend züchterisch angepasst werden. Eine züchterische Anpassung sollte einerseits im Hinblick auf die Widerstandsfähigkeit gegenüber biotischen Schaderregern und abiotischen Stressfaktoren erfolgen. Andererseits sollte eine züchterische Anpassung auch im Hinblick auf eine weitere Verbesserung des genetisch angelegten Ertragspotenzials und zu-

grundlegender Ertragskomponenten wie z. B. die CO₂-Nutzungseffizienz, auf neue Anbau- und Nutzungsvarianten, Escape-Strategien wie Frühzeitigkeit oder Winterformen und auf die Erhaltung von Qualitäts- und Verarbeitungseigenschaften unter geänderten klimatischen Bedingungen durchgeführt werden. Um die dazu notwendige genetische Diversität nachhaltig verfügbar zu haben, sind parallel Erhaltungs- und Managementstrategien für pflanzen genetische Ressourcen weiterzuentwickeln und breiter als bislang anzuwenden.

Grünland

Zur nachhaltigen Sicherung des Grünlands als Futtergrundlage für Weidetiere müssen einerseits Änderungen des Schädlings- und Krankheits- sowie Schadnagerbefalls erfasst sowie Resistenzen ermittelt werden. Andererseits sollte die Anfälligkeit und Resistenz einzelner Pflanzengruppen gegenüber den erwarteten Klimaveränderungen und Extremereignissen, besonders in Verbindung mit biotischen Stressfaktoren und verschiedenen Düngeregimes näher untersucht werden. Diesen Fragestellungen kann durch Kooperationen innerhalb der Ressortforschung nachgegangen werden. Der langfristige Nutzen eines klimaangepassten Managements von Grünlandflächen an vulnerablen Standorten sollte anhand von Kosten-Nutzen-Analysen ermittelt und ggf. gefördert werden.

Tierhaltung

Sowohl für die Geflügel- und Schweinehaltung als auch für die Milchviehwirtschaft sollten Entwicklungen des Futterwerts von Getreide, Mais sowie Grünfutter unter zukünftigen klimatischen Bedingungen weiter erforscht werden. Dabei sollte der Fokus vor allem auf die Analyse von Interaktionseffekten z. B. von Hitze- und Trockenstress sowie verschiedenen Düngeregimes unter erhöhtem CO₂ gelegt werden und eine Bewertung im Hinblick auf die Futterqualität erfolgen. Die Ressortforschung verfügt hier durch Großversuchsanlagen wie die FACE-Anlage oder den Rain-outshelter über einzigartige Möglichkeiten der Beantwortung sektorübergreifender Fragestellungen. Zusätzlicher Forschungs- und Handlungsbedarf besteht in der Tierhaltung hinsichtlich des Verständnisses des Zusammenspiels von Erreger-(Vektor)-Wirt-Systemen. Hier kommt vor allem der Schnittstelle Mensch-Nutztier-Wildtier eine besondere Bedeutung zu. Mit diesen Erkenntnissen muss dann in einem zweiten Schritt das Vorkommen von Nagetier- und Vektor-assoziierten Krankheitserregern unter zukünftigen Klimabedingungen und der Prävention der Einschleppung neuer Krankheitserreger untersucht werden. Hierbei müssen weitere Erregerreservoirs (Wildvögel, Wildwiederkäuer, Wildcarnivore etc.) in die Untersuchungen mit eingebunden werden. Zur Bearbeitung dieser Forschungsfragen ist eine ganzheitliche Herangehensweise im Sinne der One-Health-Strategie anzustreben. Ein solcher interdisziplinärer Ansatz beinhaltet Expertise aus Tierhaltung, Tierernährung, Tierschutz, Nutztiergenetik, Veterinärmedizin und Humanmedizin sowie zu Schadnagern, Arthropoden und assoziierten Erregern und zur Umweltbiologie. Als weiterer Schwerpunkt sind Stallsysteme zu finden, die einerseits dem Tierwohl und andererseits auch den gesellschaftlichen Ansprüchen an die Tierhaltung genügen.

Sonderkulturen

Die Rebe, aber auch einige Obst- und Gemüsekulturen, können in einigen Regionen Deutschlands durchaus vom Klimawandel profitieren. Es ist jedoch davon auszugehen, dass alle Sonderkulturen auch von negativen Folgen betroffen sein werden. Anpassungsmaßnahmen an Hitzestress, Trockenheit, Frost und andere abiotische Faktoren sind daher unerlässlich. Eine besondere Herausforderung im Sonderkulturanbau besteht in der Abwendung biotischer Schäden, die durch die Kombination von abiotischen Stressfaktoren und der Etablierung neuer Schädlinge sowie der Ausbreitung vorhandener Schädlinge und Schadnager zunehmen werden. Neben der Identifizierung vorsorgender Managementmaßnahmen sind die Erforschung und Entwicklung von Resistenzen bzw. Toleranzen gegen abiotische und biotische Schadfaktoren und von Konzepten für den integrierten Pflanzenschutz wichtige Bereiche, um einen an Klimaänderungen angepassten Sonderkulturanbau zu ermöglichen.

Tabelle 3: Kurze Darstellung der im Workshop identifizierten Hauptfaktoren bei Auswirkungen von Klimaänderungen, Anpassungsmaßnahmen und zukünftigen Forschungsschwerpunkten der einzelnen Sektoren

Sektor	Betroffenheit	Auswirkungen	Anpassungsmaßnahmen	Forschungsschwerpunkte
Wald und Forstwirtschaft	Stürme Waldbrände Trockenheit	Einschränkung der Vitalität und Produktivität Schädlingsbefall Änderung der Holzqualität	Waldumbau Forstschutz Einsatz toleranter und resistenter Baumarten und -herkünfte Monitoring und Vorhersage von Schädnerpopulationen (Rötelmaus, Erdmaus, Schermaus)	Baumarten- und Herkunftswahl Neue Forstschutzstrategien (biologische Methoden und Applikationstechniken für PSM) Resistenz- und Toleranzzüchtung Monitoring und Bekämpfung von Schaderregern und Schädnern
Ackerbau	Trockenheit Spätfrost Starkregen Ozon	Eingeschränkte Flächenzugänglichkeit Eingeschränkte Standorteignung Veränderung des Schaderregerspektrums und der Schädnerpopulationen	Diversifizierung des Anbaus Konservierende Bodenbearbeitung Situationsbezogener Pflanzenschutz Monitoring und Vorhersage von Schädnerpopulationen (Feldmaus)	Züchtung toleranter und resistenter Sorten Untersuchung von Wechselwirkungen multipler Klimafolgen auf Pflanzenwachstum Monitoring und Bekämpfung von Schaderregern und Schädnern Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen Bewertung von Risikomanagementsystemen
Tierhaltung	Hitze Veränderte Futtermittelqualität und -verfügbarkeit Krankheitserreger	Eingeschränkte Vitalität Verhaltensanomalien Höherer Energiebedarf für Stallklimatisierung Zunahme von Tierseuchen	Züchterische Maßnahmen Angepasste Sorten Angepasste Futtermittellagerung Angepasste Haltungsverfahren Monitoring von Infektionserregern, Vektoren, Schädnerpopulationen (Ratten)	Einflüsse auf Futtermittelqualität und Ertrag Monitoring und Bekämpfung von Krankheitserregern und Schädnern Klimaangepasste Stallsysteme Erhöhung der genetischen Variabilität Ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Bewertung
Grünland	Trockenheit Überflutungen Erwärmung	Ertragszuwachs/-rückgang Änderung der Artenzusammensetzung Verringerung der Anbauflächen	Steuerung der Artenzusammensetzung Grünlandschutz, Ausweitung der Grünlandflächen Monitoring und Vorhersage von Schädnerpopulationen (Feldmaus)	Auswirkungen auf Grünlandertrag und Futtermittelqualität Züchtung resistenter Sorten Klimaanpassungsleistung des Grünlands Monitoring und Bekämpfung von Schädnern
Sonderkulturen	Trockenheit Hagel Spätfrost	Verschiebung der Anbauregionen Änderung der Phänologie Ertragsschwankungen Zunahme Schaderreger	Anbau neuer Kulturarten Änderung der Anbausysteme Risikoabsicherung Monitoring und Vorhersage von Schädnerpopulationen (Schermaus)	Züchtung toleranter und resistenter Sorten Monitoring und Bekämpfung von Schaderregern Aufklärung der Schaderregerbiologie Neue PSM-Strategien, -mittel und -applikationstechniken

Quelle: Eigene Darstellung

Literaturverzeichnis

- Biebeler H, Bardt H, Chrischilles E, Mahammadzadeh M, Striebeck J (eds) (2014) Wege zur Anpassung an den Klimawandel; Regionale Netzwerke, Strategien und Maßnahmen. Institut der deutschen Wirtschaft Köln Medien GmbH, Köln
- Bloom A J (2015) The increasing importance of distinguishing among plant nitrogen sources. *Current opinion in plant biology* 25:10-16
- Bolte A, Hilbrig L, Grundmann B, Kampf F, Brunet J Roloff A (2010) Climate change impacts on stand structure and competitive interactions in a southern Swedish spruce-beech forest. *European Journal of Forest Research* 129(3):261-276
- Brewes G, Dänicke S, Demeler J, Hansen H, Isselstein J, König S, Martinsohn M, Meyer U, Potthoff M, von Samson-Himmelstjerna G, Schröder B, Wrage N, Gauly M (2014) 4. Forschungsthema 4: Tierproduktion (FT 4). In: Beese F, Aspelmeier S, (eds) KLIFF-Klimafolgenforschung in Niedersachsen; Abschlussbericht; Göttingen 1:36-45
- Brunotte J, Busch M, Brandhuber R, Breitschuh T, Bug J, von Chappuis A, Fröba N, Henke W, Honecker H, Höppner F, List M, Mosimann T, Ortmeier B, Schmidt W, Schrader S, Vorderbrügge T, Weyer T (2015) Gute fachliche Praxis – Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz. aid Infodienst Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz e.V. Bonn 2:118
- Büscher W (2004) Vermeidung von Hitzestress – Baulich-technische Möglichkeiten in Schweineställen. *LANDTECHNIK–Agricultural Engineering* 59 (2):110-111
- Calderini D F., Slafer G A., (1999) Has yield stability changed with genetic improvement of wheat yield? *Euphytica* 107: 51–59
- Cramer J P (2014) Globale Zunahme von Tropenkrankheiten. In: Lozan J L, Grassl H, Karbe L, Jendritzky G, (eds) Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen. Hamburg 2:1-13
- Dier M, Meinen R, Erbs M, Kollhorst L, Baillie C K, Kaufholdt D, Kücke M, Weigel H J, Zörb C, Hänsch R, Manderscheid R (2017) Effects of free air carbon dioxide enrichment (FACE) on nitrogen assimilation and growth of winter wheat under nitrate and ammonium fertilization. *Global Change Biology* DOI: 10.1111/gcb.13819
- Dirksmeyer W, Bender A, Strohm K (2016) Ökonomische Analyse von Anpassungsmaßnahmen an Extremwetterereignisse im Weinbau auf einzelbetrieblicher Ebene. In: Schulte et al. (eds) Aktuelle Forschung in der Gartenbauökonomie – Tagungsband zum 2. Symposium für Ökonomie im Gartenbau. Thünen Report In Vorbereitung
- Durand J L, Delusca K, Boote K, Lizaso J, Manderscheid R, Weigel H J, Ruane A C, Rosenzweig C, Jones J, Ahuja L, Anapalli S, Basso B, Baron C, Bertuzzi P, Biernath C, Deryng D, Ewert F, Gaiser T, Gayler S, Heinlein F, Kersebaum K C, Kim S H, Müller C, Nendel C, Oliso A, Priesack E, Villegas J R, Ripoche D, Rötter R P, Seidel S I, Srivastava A, Tao F, Timlin D, Twine T, Wang E, Webber H, Zhao Z (2017) How accurately do maize crop models simulate the interactions of atmospheric CO₂ concentration levels with limited water supply on water use and yield? *European Journal of Agronomy* <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2017.01.002>
- DWD (2016) Nationaler Klimareport 2016; Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, Deutschland

- Efken J (eds) (2005) Vermarktungsstrategien für innovative Produkte und Verfahren auf der Basis genetischer Ressourcen für Ernährung und Landwirtschaft. Ergebnisbericht über ein Fachgespräch am 08.06.2004 in Bonn; Schriften zu genetischen Ressourcen, Band 25, ZADI/IBV
- Enjalbert J, Dawson J, Paillard S, Rhoné B, Rousselle Y, Thomas M, Goldringer I (2011) Dynamic management of crop diversity; From an experimental approach to on-farm conservation. *C.R. Biologies* 334, 458-468; <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2011.03.005>
- Erbs M, Manderscheid R, Jansen G, Seddig S, Pacholski A, Weigel HJ (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 and Environment* 136:59-68
- Erbs M, Manderscheid R, Weigel H J (2012) A combined rain shelter and free-air CO₂ enrichment system to study climate change impacts on plants in the field. *Methods in Ecology and Evolution* 3:81-88
- Eyshi Rezaei E, Siebert S, Manderscheid R, Müller J, Mahrookashani A, Ehrenpfordt B, Haensch J, Weigel H J, Ewert F (2017) Quantifying the response of wheat yields to heat stress: the role of the experimental setup. *Field Crops Research*, in press
- Figge F (2001) Biodiversität richtig managen – Effizientes Portfoliomanagement als effektiver Artenschutz. Centrum für Nachhaltigkeitsmanagement, Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insbes. Umweltmanagement, Universität Lüneburg
- Gauly M, Bollwein H, Breves G, Brügemann K, Dänicke S, Daş G, Demeler J, Hansen H, Isselstein J, König S, Lohölter M, Martinsohn M, Meyer U, Potthoff M, Sanker C, Schröder B, Wrage N, Meibaum B, von Samson-Himmelstjerna G, Stinshoff H, Wrenzycki C (2013) Future consequences and challenges for dairy cow production systems arising from climate change in Central Europe – a review. *Animal* 7(5):843-859
- Gömann H, Bender A, Bolte A, Dirksmeyer W, Englert H, Feil JH, Frühauf C, Hauschild M, Krengel S, Lilienthal H, Löpmeider FJ, Müller J, Mußhoff O, Nathkin, M, Offermann F, Seidel P, Schmidt M, Seintsch B, Steidl J, Strohm K, Zimmer Y (2015) Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten von Risikomanagementsystemen: Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Johann Heinrich von Thünen Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei; Thünen Report 30
- Gorniak T, Meyer U, Sudekum KH, Danicke S (2014) Impact of mild heat stress on dry matter intake, milk yield and milk composition in mid-lactation Holstein dairy cows in a temperate climate. *Archives of Animal Nutrition* 68:358-369
- Grant K, Kreyling J, Dienstbach LFH, Beierkuhnlein C, Jentsch A (2014) Water stress due to increased intra-annual precipitation variability reduced forage yield but raised forage quality of a temperate grassland. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 186:11-22
- Haake KW (2002) Erwärmung von Stallgebäuden durch Sonneneinstrahlung. *LANDTECHNIK–Agricultural Engineering* 57:288-289
- Habekuß A, Scholz M (2014) *Hordeum bulbosum* – Eine Quelle wertvoller Resistenzen gegenüber biotischen und abiotischen Stressfaktoren – Bericht über eine Sammelreise nach Israel zu den natürlichen Standorten dieser Gerstenwildart. *Journal für Kulturpflanzen* 66 (7):241-247

- Hebeisen T, Lüscher A, Zanetti S, Fischer B, Hartwig U, Frehner M, Hendrey G, Blum H, Nösberger J (1997) Growth response of *Trifolium repens* L. and *Lolium perenne* L. as monocultures and bi-species mixture to free air CO₂ enrichment and management. *Global Change Biology* 3:149-160
- Heidecke C, Offermann F, Hauschild M (2017) Abschätzung des Schadpotentials von Hochwasser- und Extremwetterereignissen für landwirtschaftliche Kulturen. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 61 p, Thünen Working Paper 76
- IPCC (2014) Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Summaries, Frequent Asked Questions, and Cross-Chapter Boxes. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, (eds) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York NY USA
- Jacob J, Ulrich R G, Freise J, Schmolz E (2014) Monitoring von gesundheitsgefährdenden Nagetieren. Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz; 57:511-518
- Kell S, Maxted N, Frese L, Iriondo J M, (2012) In situ conservation of crop wild relatives: a strategy for identifying priority genetic reserves sites. – In: Maxted N, Dulloo M E, Ford-Lloyd B V, Frese L, Iriondo J M, Pinheiro de Carvalho M Â A (eds) Agrobiodiversity Conservation: Securing the Diversity of Crop Wild Relatives and Landraces; CAB International, Wallingford, 7–19
- Lohölter M, Meyer U, Lebzien P, Manderscheid R, Weigel HJ, Erbs M, Flachowsky G, Daenicke S (2012a) Effects of free air carbon dioxide enrichment and drought stress on the rumen in sacco degradability of corn silage harvested at various times. *Landbauforschung–vTI Agriculture and Forest Research* 62:43-50
- Lohölter M, Meyer U, Manderscheid R, Weigel H J, Erbs M, Flachowsky G, Dänicke S (2012b) Effects of free air carbon dioxide enrichment and drought stress on the feed value of maize silage fed to sheep at different thermal regimes. *Archives of Animal Nutrition* 66:335-346
- Lohölter M, Meyer U, Rauls C, Rehage J, Dänicke S (2013) Effects of niacin supplementation and dietary concentrate proportion on body temperature, ruminal pH and milk performance of primiparous dairy cows. *Archives of animal nutrition* 67:202-218
- Manderscheid R, Pacholski A, Frühauf C, Weigel H J (2009) Effects of free air carbon dioxide enrichment and nitrogen supply on growth and yield of winter barley cultivated in a crop rotation. *Field Crops Research* 110:185-196
- Manderscheid R, Pacholski A, Weigel H J (2010) Effects of free air carbon dioxide enrichment combined with low nitrogen levels on growth, yield and yield quality of sugar beet: Evidence for a sink limitation of beet growth under elevated CO₂. *European Journal of Agronomy* 32: 228-239
- Manderscheid R, Erbs M, Weigel H J (2014 a) Interactive effects of free-air CO₂ enrichment and drought stress on maize growth. *European Journal of Agronomy* 52:11-21
- Manderscheid (2014 b) Klimawandel: Vorteil Mais oder Sorghum? Wie wirken sich unterschiedliche Wasserversorgung und atmosphärische CO₂-Konzentration auf das Wachstum aus? *Mais* 41:22-25
- Manderscheid R, Erbs M, Burkart S, Wittich K-P, Löpmeier F-J, Weigel H-J (2016) Effects of free-air carbon dioxide enrichment on sap flow and canopy microclimate of maize grown under different water supply. *Journal of Agronomy and Crop Science* 202(4):255-268

- Ministerium für Energie, Infrastruktur und Landesentwicklung (2016) Landesraumentwicklungsprogramm Mecklenburg-Vorpommern (LEP M-V) Schwerin
- Mitterbauer E, Enders M, Bender J, Erbs M, Habekuß A, Kilian B, Ordon F & Weigel H J (2017) Growth response of 98 barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes to elevated CO₂ and identification of related quantitative trait loci using genome-wide association studies. *Plant Breeding* 136:483–497
- Moutinho-Pereira J, Gonçalves B, Bacelar E, Cunha J B, Cuntinho J, Correia C M (2015) Effects of elevated CO₂ on grapevine (*Vitis vinifera* L.): physiological and yield attributes. *VITIS-Journal of Grapevine Research*; 48:159
- Myers S S, Zanobetti A, Kloog I, Huybers P, Leakey A D B, Bloom A, Carlisle E, Dietterich L H, Fitzgerald G, Hasegawa T (2014) Rising CO₂ threatens human nutrition. *Nature* 510:139
- Naturkapital Deutschland – TEEB DE (2015) Naturkapital und Klimapolitik – Synergien und Konflikte. Hartje V, Wüstemann H, Bonn A (eds) Technische Universität Berlin, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ; Berlin, Leipzig
- OECD (2009), *Managing Risk in Agriculture: A Holistic Approach*, OECD Publishing, Paris
- Röder N, Osterburg B, Kätsch S (2013) Faktencheck Agrarreform: Integration von Klimaschutz und Klimaanpassung in die Gemeinsame Agrarpolitik der EU nach 2013. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei; Thünen Working Paper 11
- Rötter R P, Palosuo T, Kersebaum K C, Angulo C, Bindi M et al. (2012) Simulation of spring barley yield in different climatic zones of Northern and Central Europe: a comparison of nine crop models. *Field Crops Research* 133, 23-36
- Rosenzweig C, Elliott J, Deryng D, Ruane A C, Müller C, Arneth A, Boote K J, Folberth C, Glotter M, Khabarov N, Neumann K, Piontek F, Pugh T A M, Schmid E, Stehfest E, Yang H, Jones J W (2014) Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111: 3268-3273
- Schramek J, Osterburg B, Kasperczyk N, Nitsch H, Wolff A, Weis M, Hülemeyer K (2012) Vorschläge zur Ausgestaltung von Instrumenten für einen effektiven Schutz von Dauergrünland. BfN, Bonn
- Seidel P (2014) Extremwetterlagen und Schaderreger- extreme Wissenslücken. *Gesunde Pflanzen* 66:83-92
- Seidel P (2016) Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf Schaderreger, ihre Schadwirkung und Pflanzenschutzmaßnahmen – erste Hinweise. *Journal für Kulturpflanzen* 68:253-269
- Semenov M A, Shewry P R (2011) Modelling predicts that heat stress, not drought, will increase vulnerability of wheat in Europe. *Scientific Reports* 66: 1-5
- Steier F, Gyllenpalm B, Brown J, Bredemeier S (2008) World Café. Förderung der Teilhabekultur. In: Kersting N (eds) *Politische Beteiligung: Einführung in dialogorientierte Instrumente politischer und gesellschaftlicher Partizipation*. VS Verlag für Sozialwissenschaften Wiesbaden; 167-180

- Stock M (2005) KLARA-Klimawandel – Auswirkungen, Risiken und Anpassung. In: Gerstengarbe FW (ed) PIK Report; Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam
- Süss J, Klaus C, Gerstengarbe F W, Werner P C (2008) What makes ticks tick? Climate change, ticks, and tick-borne diseases. *Journal of travel medicine* 15(1):39-45
- Teyssonneyre F, Picon-Cochard C, Falcimagne R, Soussana J F (2002) Effects of elevated CO₂ and cutting frequency on plant community structure in a temperate grassland. *Global Change Biology* 8:1034-1046
- UBA (2015) (ed) Monitoringbericht 2015 zur deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Dessau-Roßlau
- Ulrich R, Schmidt-Chanasit J, Schlegel M, Jacob J, Pelz H-J, Mertens M, Wenk M, Büchner T, Masur D, Sevke K (2008) Network “Rodent-borne pathogens” in Germany: longitudinal studies on the geographical distribution and prevalence of hantavirus infections. *Parasitology research* 103:121-129
- Ulrich R G, Heckel G, Pelz H-J, Wieler L H, Nordhoff M, Dobler G, Freise J, Matuschka F-R, Jacob J, Schmidt-Chanasit J, Gerstengarbe F W, Jäkel T, Süss J, Ehlers B, Nitsche A, Kallies R, John R, Günther S, Henning K, Grunow R, Wenk M, Maul L C, Hunfeld K-P, Wölfel R, Schares G, Scholz H C, Brockmann S O., Pfeffer M, Essbauer S S (2009) Nagetiere und Nagetier-assoziierte Krankheitserreger – das Netzwerk „Nagetier-übertragene Pathogene“ stellt sich vor. *Bundesgesundheitsbl. - Gesundheitsforsch. - Gesundheitsschutz* 52, 352-369
- Veste M, Schmitt U, Kriebitzsch W, Beck W (2007) European beech provenances (*Fagus sylvatica* L) under climate change: response of transpiration, chlorophyll fluorescence and tree ring growth. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie Marburg* 37:368
- von Tiedemann A (2015) Profiteur des Klimawandels. *DLG-Mitteilungen*; 11, 69-71
- Walter M, Brugger K, and Rubel F (2016) The ecological niche of *Dermacentor marginatus* in Germany. *Parasitology research* 115, 2165-2174
- WBA (2012) Ernährungssicherung und nachhaltige Produktivitätssteigerung – Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats für Agrarpolitik beim BMELV. http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Ministerium/Beiraete/Agrarpolitik/StellungnahmeErn%C3%A4hrungssicherung.pdf?__blob=publicationFile
- Weigel H, Manderscheid R (2005) CO₂ enrichment effects on forage and grain nitrogen content of pasture and cereal plants. *Journal of Crop Improvement* 13:73-89
- Weigel H J, 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
- Weigel H J, Bender J (2012) Bodennahes Ozon – ein Problem für Kulturpflanzen und Ernährungssicherheit ? *Gesunde Pflanzen* 64, 79-84
- Weigel H J, Bender J (2014) Air pollutants: Interactions with elevated carbon dioxide. In: Wang Y (ed) *Encyclopedia of natural resources*; Boca Raton: CRC Press; Taylor & Francis, pp 925-929

- Wendland F, Albert H, Bach M (1993) Atlas zum Nitratstrom in der Bundesrepublik Deutschland. Springer Verlag, Heidelberg
- Wroblewitz S, Hüther L, Manderscheid R, Weigel H J, Wätzig H, Dänicke S (2013) The effect of free air carbon dioxide enrichment and nitrogen fertilisation on the chemical composition and nutritional value of wheat and barley grain. *Archives of animal nutrition* 67:263-278
- Wroblewitz S, Hüther L, Manderscheid R, Weigel H J, Wätzig H, Dänicke S (2014) Effect of rising atmospheric carbon dioxide concentration on the protein composition of cereal grain. *Journal of agricultural and food chemistry* 62:6616-6625
- Yeates G W, Newton P C D, Ross D J (2003) Significant changes in soil microfauna in grazed pasture under elevated carbon dioxide. *Biology and Fertility of Soils* 38:319-326

Anhang

Aktuelle Projekte der Ressortforschungseinrichtungen FLI, JKI, Thünen-Institut im Bereich Klimaanpassung

Die Auswahl der nachfolgend aufgeführten Projekte basiert auf Antworten des Online-Fragebogens und den Diskussionsschwerpunkten des Workshops. Aufgeführt werden relevante Projekte der Ressortforschungseinrichtungen FLI, JKI und Thünen-Institut im Bereich Klimaanpassung.

Friedrich-Loeffler-Institut

Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für bakterielle Infektionen und Zoonosen (FLI-IBIZ)

Daueraufgabe: FLI-IBIZ-02-DA_0005

Untersuchungen zur Biologie von Zecken und zu durch Zecken übertragenen Krankheiten sowie deren Epidemiologie am Beispiel der Frühsommer-Meningoenzephalitis-Virus-(FSMEV) Infektion.

Ansprechpartner: C. Klaus

Projektnummer: FLI-IBIZ-08-Je-0113

Projekttitle: Brucellose in Pakistan

Projektlaufzeit: 01.06.2013-30.05.2016 Ansprechpartner: I. Khan, H. El-Adawy, H. Neubauer, F. Melzer

Projektnummer: FLI-IBIZ-08-Je-0204

Projekttitle: BrucPak – Aufbau eines Labornetzwerkes unter Biosicherheitsaspekten in Pakistan

Projektlaufzeit: 01.01.2017-31.12.2019 Ansprechpartner: I. Khan, H. El-Adawy, H. Neubauer, F. Melzer

Projektnummer: FLI-IBIZ-INNT-08-HV-0021

Projekttitle: EMERGE – Efficient response to highly dangerous and emerging pathogens at EU level

Projektlaufzeit: 01.06.2015-31.05.2018 Ansprechpartner: M. Elschner, M. Groschup
(FLI im Forschungsverbund mit IBIZ und INNT vertreten)

Projektnummer: FLI-IBIZ-INNT-08-HV-0023

Projekttitle: AA Ägypten I – Brucellose, Q-Fieber und viral-bedingte hämorrhagische Fieber in Ägypten

Projektlaufzeit: 01.07.2013-31.12.2016 Ansprechpartner: H. Neubauer, M. Groschup
(Gemeinsames Forschungsprojekt des IBIZ und INNT)

Projektnummer: FLI-IBIZ-INNT-08-HV-0040

Projekttitle: AA Ägypten II – Stärkung der Zusammenarbeit mit Ägypten im Bereich der Biosicherheit

Projektlaufzeit: 01.01.2017-31.12.2019 Ansprechpartner: H. Neubauer, M. Groschup
(Gemeinsames Forschungsprojekt des IBIZ und INNT)

Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für Epidemiologie (FLI-IfE)

Daueraufgabe: FLI-IfE-08-DA_0014

Projekttitel: Untersuchungen zur epidemiologischen Bedeutung von bestimmten Wildtierarten als Reservoir oder Vektoren von Tierseuchenerregern unter veränderten Umweltbedingungen

Ansprechpartner: Anja Globig, Carolina Probst, Christoph Staubach, Klaus Depner, Carola Sauter-Louis, Franz J. Conraths, Jörn Gethmann

Daueraufgabe: FLI-IfE-02-DA_0002

Projekttitel: Beobachtung von Seuchenentwicklungen über weltweite elektronische Datenverbünde

Ansprechpartner: Franz J. Conraths, Timo Homeier-Bachmann, Klaas Dietze, Carolina Probst, Jörn Gethmann, Anja Globig, Carola Sauter-Louis, Christoph Staubach

Daueraufgabe: FLI-IfE-02-DA_0004

Projekttitel: Räumlich-zeitliche Analysen zur Epidemiologie des kleinen Fuchsbandwurms *Echinococcus multilocularis*; Entwicklung und Validierung diagnostischer Test zum Nachweis von *Echinococcus* spp.-Infektionen beim Endwirt

Ansprechpartner: Franz J. Conraths, Pavlo Maksimov

Daueraufgabe: FLI-IfE-08-DA_0025

Projekttitel: Analyse der internationalen Tiergesundheit

Ansprechpartner: Klaus Depner, Anja Globig, Klaas Dietze

Daueraufgabe: FLI-IfE-02-DA_0010

Projekttitel: Anwendung geographischer Informationssysteme in der Veterinärepidemiologie

Ansprechpartner: Christoph Staubach, Franz J. Conraths

Projektnummer: FLI-IfE-08-Ri-0352

Projekttitel: VICE – Vector-borne Infections: risk based and cost efficient surveillance systems

Projektlaufzeit: 01.04.2012-31.12.2015 Ansprechpartner: J. Gethmann

Projektnummer: FLI-IfE-08-Ri-0516

Projekttitel: Wildlife eNETWild – Wildlife: collecting and sharing data on wildlife populations, transmitting animal and human disease agents

Projektlaufzeit: 26.01.2017-25.01.2018 Ansprechpartner: A. Globig

Projektnummer: FLI-IfE-08-Wu-0055

Projekttitel: RISKSUR – Development and evaluation of scientific methodologies for cost-effective risk-based animal health surveillance

Projektlaufzeit: 01.11.2012-31.10.2015 Ansprechpartner: C. Staubach

Projektnummer: FLI-IfE-08-HR-0029

Projekttitle: OHEA – Support to Pandemic Preparedness in the EAC Region

Projektlaufzeit: 15.10.2017-30.06.2019 Ansprechpartner: K. Dietze

Projektnummer: FLI-IfE-08-HV-0001

Projekttitle: APHAEA – harmonised Approaches in monitoring wildlife Population Health and Ecology and Abundance

Projektlaufzeit: 01.04.2012-30.11.2015 Ansprechpartner: C. Staubach

Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für Immunologie (FLI-IfI)

Projektnummer: FLI-ATB+IfI+IMVZ+IVD-08-HV-0039

Projekttitle: Kolnfekt: Aufklärung der Pathomechanismen bakto-viraler Koinfektionen mit neuen biomedizinischen Modellen

Projektlaufzeit: 01.01.2017-31.03.2021

Ansprechpartner: D. Mettenleiter, T. Schröder, C. Blohm, U. Köllner, B. Finke, S. Beer, M. Höper

Projektnummer: FLI-IBIZ+IfI+IMP-08-HV-0033

Projekttitle: Untersuchungen zur Aufnahme und Organverteilung des Q-Fieber-Erregers *Coxiella burnetii* bei Zecken und deren mögliche Auswirkung auf die Virulenz des Erregers Teilprojekt im Interdisziplinären Deutschen Q-Fieber Forschungsprogramm Q-GAPS

Projektlaufzeit: 01.09.2017-31.08.2020 Ansprechpartner: M. Knittler, K. Mertens, K. Henning, C. Berens;

(FLI im Forschungsverbund mit IfI, IBIZ und IMP vertreten)

Projektnummer: FLI-IfI-08-Ri-0173

Projekttitle: DIREFO2 – Fischzuchtlinien für standortgerechte Aquakultur: Analyse der Stressantwort differenter Regenbogenforellen nach Temperaturerhöhung, Pathogeneinfluss und hohen Besatzdichten unter regionalen Aquakulturbedingungen

Projektlaufzeit: 01.01.2013-15.03.2015 Ansprechpartner: B. Köllner

Projektnummer: FLI-IfI-08-Ri-0237

Projekttitle: Pilot BORN – Fischzuchtlinien für standortgerechte Aquakultur: Biotechnologische Prüfung auf Robustheit selektierter Regenbogenforellen (Stamm BORN) auf Eignung als Standortlinie und Tiermodell in differenten regionalen Aquakulturanlagen

Projektlaufzeit: 01.04.2012-31.08.2015 Ansprechpartner: B. Köllner

Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für Infektionsmedizin (FLI-IMED)

Projektnummer: FLI-IfE-IMED_INNT-08-HV-0014

Projekttitel: Stechmücken und stechmücken-übertragene Zoonosen in Deutschland (CuliFo)

Projektlaufzeit: 15.12.2015-14.02.2019 Ansprechpartner: H. Kampen, M. Groschup und F. Conraths

(FLI im Forschungsverbund mit IMED, INNT und IfE vertreten)

Projektnummer: FLI-IMED-INNT08-HV-0015

Projekttitel: Stechmücken-Monitoring in Deutschland (CuliMo)

Projektlaufzeit: 01.05.2015-30.06.2018 Ansprechpartner: H. Kampen und M. Groschup

(FLI im Forschungsverbund mit IMED und INNT vertreten)

Projektnummer: FLI-IMED-08-Ri-0167

Projekttitel: Monitoring der einheimischen Stechmückenfauna durch regelmäßige Fänge mit Insektenfallen und stichprobenartige Testung potenzieller Vektorarten auf humanpathogene Viren. (Culicoiden Monitoring)

Projektlaufzeit 01.01.2011-28.02.2014 Ansprechpartner: H. Kampen

Projektnummer: FLI-IMED-08-Ri-0361

Projekttitel: VectorNet – European network for sharing data on the geographic distribution of arthropod vectors, transmitting human and animal disease agents

Projektlaufzeit: 09.06.2014-31.05.2018 Ansprechpartner: H. Kampen

Projektnummer: FLI-IMED-08-Ri-0337

Projekttitel: DeBiMo – Repräsentative und aktuelle Datenerfassung zu Betriebsstrukturen und zur Überwinterungsdynamik der Bienenvölker sowie Bienen-, Honig- und Pollenproben für Krankheits- und Rückstandsanalyse

Projektlaufzeit: 01.01.2014-31.12.2016 Ansprechpartner: O. Schäfer

Projektnummer: FLI-IMED-08-Ri-0531

Projekttitel: DeBiMo_2 – Deutsches Bienenmonitoring

Projektlaufzeit: 01.01.2017-31.12.2019 Ansprechpartner: O. Schäfer

Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für molekulare Pathogene (FLI-IMP)

Projektnummer: FLI-IBIZ-IMP-08-HV-0003

Projekttitel: ANTIGONE – ANTicipating the Global Onset of Novel Epidemics

Projektlaufzeit: 01.11.2011-31.10.2016 Ansprechpartner: C. Menge, H. Neubauer

(FLI im Forschungsverbund mit IMP und IBIZ vertreten)

Projektnummer: FLI- IMP-08-Je-0185

Projekttitle: HECTOR – “The impact of Host restriction of *Escherichia coli* on Transmission dynamics and spread of antimicrobial Resistance”

Projektlaufzeit: 01.07.2017-30.06.2020 Ansprechpartner: C. Menge, C. Berens

Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für molekulare Virologie und Zellbiologie (FLI-IMVZ)

Projektnummer: FLI-IMVZ-08-Ri-0048

Projekttitle: ICONZ – Integrated coontrol of neglected zoonoses: improving human health and animal production through scientific innovation

Projektlaufzeit: 01.04.2009-31.12.2014 Ansprechpartner: J. Schell

Projektnummer: FLI-IMVZ-08-Ri-0071

Projekttitle: Mycobacterium bovis – Mycobacterium bovis in the Wildlife- Livestock- Human interface of East and Southern Africa

Projektlaufzeit: 01.06.2009-30.06.2013 Ansprechpartner: J. Schell

Projektnummer: FLI-IMVZ-08-Ri-0176

Projekttitle: Rabies virus transport and signalling – Molecular Mechanisms of Rabies Virus Transport

Projektlaufzeit: 01.01.2012-31.12.2014 Ansprechpartner: S. Finke

Projektnummer: FLI-IMVZ-08-HV-0028

Projekttitle: EBOLA – Ebola Foresight: Die Bedeutung von Nutz-, Haus- und Wildtieren als Infektionsquelle für Ebolaviren – ein Kooperationsprojekt zwischen dem Friedrich-Loeffler-Institut, dem Pasteur-Institut in Conakry, Guinea, dem Sierra Leone Agricultural Research Institut

Projektlaufzeit: 01.03.2016-30.09.2019 Ansprechpartner: T. Mettenleiter, M. Groschup
(Gemeinsames Forschungsprojekt des IMVZ und INNT)

Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für neue und neuartige Tierseuchenerreger (FLI-INNT)

Projektnummer: **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**

Projekttitle: Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf die Verbreitung Hantaviren-übertragender Nagetiere

Projektlaufzeit: 01.07. 2009-31.12.2012 Ansprechpartner: R. G. Ulrich

(gemeinsames Projekt mit JKI, Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst, Wirbeltierforschung, Münster)

Projektnummer: FLI-INNT-08-Ri-0308

Projekttitle: Regionalspezifisches Vorhersagesystem für das Vorkommen gesundheitsgefährdender Nagetiere als Anpassung an den Klimawandel

01.04.2013-31.12.2015 Ansprechpartner: R.G. Ulrich

(gemeinsames Projekt mit JKI, Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst, Wirbeltierforschung, Münster)

Projektnummer: FLI-INNT-08-Ri-0416

Projekttitle: RaLep – Nagetiere als Reservoir von Leptospiren: Wirtsspezifität, Saisonalität und mehrjährige Veränderungen in Abhängigkeit von Habitat- und Klimafaktoren

Projektlaufzeit: 01.01.2016-30.06.2016 Ansprechpartner: R. G. Ulrich

Projektnummer: FLI-INNT-08-Ri-0251

Projekttitle: SPP1596 – Hantaviren – Hantaviruses: crossing the species barrier of natural hosts

Projektlaufzeit: 15.03.2013-31.12.2016 Ansprechpartner: R. G. Ulrich

Projektnummer: FLI-INNT-08-Ri-0510

Projekttitle: Biodiversität – Interaktion von Biodiversität mit Nagetier-übertragenen Pathogenen

Projektlaufzeit: 01.09.2016-31.07.2019 Ansprechpartner: R. G. Ulrich

(gemeinsames Projekt mit JKI, Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst, Wirbeltierforschung, Münster)

Projektnummer: FLI-INNT-08-HV-0011

Projekttitle: PaKoNa – Monitoring of emerging zoonotic virus infections in domestic livestock and in wild mammals and birds in Germany

Projektlaufzeit: 01.01.2013-31.12.2015 Ansprechpartner: M. Groschup, R. Ulrich

Projektnummer: FLI-INNT-08-HV-0013

Projekttitle: WBA-Zoo – Emerging pathogens in rats and wild birds – Wild bird associated zoonoses

Projektlaufzeit: 01.01.2016-31.12.2018 Ansprechpartner: M. Groschup, R. Ulrich

Projektnummer: FLI-INNT-08-Ri-0055

Projekttitle: Nadir – The network of Animal Disease Infectology Research Facilities

Projektlaufzeit: 01.05.2009-31.12.2013 Ansprechpartner: M. Groschup

Projektnummer: FLI-INNT-08-Ri-0102

Projekttitle: UFO Klimawandel Hantaviren

Projektlaufzeit: 01.07.2009-31.12.2012 Ansprechpartner: Rainer Ulrich

Projektnummer: FLI-INNT-08-Ri-0132

Projekttitel: EDENext – Biology and control of vector- borne infections in Europe

Projektlaufzeit: 01.01.2011-30.06.2015 Ansprechpartner: M. Groschup

Projektnummer: FLI-INNT-08-Ri-0139

Projekttitel: ERINHA – European Research Infrastructure on Highly Pathogenic Agents

Projektlaufzeit: 01.11.2010-31.08.2014 Ansprechpartner: M. Groschup

Projektnummer: FLI-INNT-08-Ri-0299

Projekttitel: Vmerge – Emerging viral vector borne diseases

Projektlaufzeit: 01.12.2013-30.11.2016 Ansprechpartner: M. Groschup

Projektnummer: FLI-INNT-08-Ri-0308

Projekttitel: Regionalspezifisches Vorhersagesystem für das Vorkommen gesundheitsgefährdender Nagetiere als Anpassung an den Klimawandel – Validierung eines Schnelltests zur Identifizierung von Puumalavirus-reaktiven Antikörpern bei Rötelmäusen

Projektlaufzeit: 01.04.2013-31.12.2012 Ansprechpartner: Rainer Ulrich

Projektnummer: FLI-INNT-08-Ri-0312

Projekttitel: AA Subsahara – Vorkommen und Verfügbarkeit von Krim-Kongo-hämorrhagische-Fieber-, Rifttal-Fieber- und Nipah-Viren in Mauretanien, Sierra Leone, Kamerun und DR Kongo

Projektlaufzeit: 01.06.2013-31.12.2016 Ansprechpartner: M. Groschup

Projektnummer: FLI-INNT-08-Ri-0558

Projekttitel: AA Subsahara II – Minimierung des Risikos für das Gesundheitswesen und der Gefahr von Bioterrorismus durch Krim-Kongo-Hämorrhagisches-Fieber-Virus und Rift-Tal-Fieber-Virus in Mauretanien, Kamerun und Sierra Leone

Projektlaufzeit: 01.01.2017-31.12.2019 Ansprechpartner: M. Groschup,

Projektnummer: FLI-INNT-08-Ri-0423

Projekttitel: HenRi – Rift Valley Fever and Henipa-like virus infections at the Interface between wildlife, livestock and humans in Nigeria and Cameroon

Projektlaufzeit: 01.05.2017-30.04.2020 Ansprechpartner: M. Groschup

Projektnummer: FLI-INNT-Ri-0513

Projekttitel: RoBoPub – Verbesserung der Öffentlichen Gesundheit durch ein besseres Verständnis der Epidemiologie nagetierübertragener Krankheiten

Projektlaufzeit: 01.08.2017-31.07.2020 Ansprechpartner: R. G. Ulrich

(RoBoPub-Zoonoseverbund unter Beteiligung von JKI, Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst, Wirbeltierforschung, Münster)

Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für Nutztiergenetik (FLI-ING)

Projektnummer: FLI-ING-ITE-ITT-08-HP-0001

Projekttitle: AdaptHuhn ING-HP – Leistungsabhängige Anpassungsfähigkeit an Umweltfaktoren beim Legehuhn

Projektlaufzeit: 01.04.2015-31.07.2018 Ansprechpartner: S. Weigend, Dänicke, Schrader
(Kooperationsprojekt des ING, ITE und ITT)

Projektnummer: FLI-ING-08-Ma-0045

Projekttitle: Kryoreserve Huhn – Modell- und Demonstrationsvorhaben im Bereich der Erhaltung und innovativen nachhaltigen Nutzung der biologischen Vielfalt: "Kryoreserve beim Huhn"

Projektlaufzeit: 11.02.2013-30.09.2017 Ansprechpartner: S. Weigend

Projektnummer: FLI-ING-08-Ma-0078

Projekttitle: IMAGE – Innovative Management of Animal Genetic Resources

Projektlaufzeit: 01.03.2016-29.02.2020 Ansprechpartner: S. Weigend

Projektnummer: FLI-ING-08-Ma-0086

Projekttitle: PorReE – Potentiale der nachhaltigen Nutzung regionaler Rassen und einheimischer Eiweißfuttermittel in der Geflügelproduktion (PorReE)

Projektlaufzeit: 01.01.2017-31.12.2019 Ansprechpartner: S. Weigend

Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für Tierernährung (FLI-ITE)

Projektnummer: FLI-ITE-08-Br-0008

Projekttitle: KLIF – Klimafolgenforschung – Szenarien für die Klimaanpassung (KLIF): Konsequenzen und Anpassungen für die niedersächsische Milch- und Rinderproduktion durch Klimaänderungen auf regionaler Skala

Projektlaufzeit: 01.01.2009-31.08.2014 Ansprechpartner: S. Dänicke

Projektnummer: FLI-ITE-08-Br-0018

Projekttitle: GrainUp – Innovationsforschung zum Futterwert von Getreide und seiner Verbesserung

Projektlaufzeit: 01.02.2011-31.12.2016 Ansprechpartner: L. Hüther

Projektnummer: FLI-ITE-08-Br-0028

Projekttitle: Verfahrensvergleich Milch – Verfahrensanalyse Milch: Produktion von Milch in Weide- oder Stallhaltung

Projektlaufzeit: 01.09.2013-30.09.2018 Ansprechpartner: S. Dänicke

Projektnummer: FLI-ITE-08-Br-0035

Projekttitle: OptiKuh – Verbesserung der Haltung von Milchkühen durch Zuchtverfahren auf Futteraufnahme und Stoffwechselstabilität sowie Umweltverträglichkeit bei optimierter Fütterungsintensität und Nutzung von Stoffwechselindikatoren sowie Sensoren im Herdenmanagement

Projektlaufzeit: 01.09.2014-31.03.2018 Ansprechpartner: U. Meyer

Projektnummer: FLI-ITE-08-Br-0036

Projekttitle: HRE14 – Alternativen (Rapsextraktionsschrot/Erbsen) zu Sojaextraktionsschrot in der Legehennenfütterung

Projektlaufzeit: 01.10.2014-30.06.2015 Ansprechpartner: I. Halle

Projektnummer: FLI-ITE-08-Br-0045

Projekttitle: NtSh – Entwicklung von Indikatoren und eines Analysetools für nachhaltige Schweinehaltung: Fütterung, Haltung, Ressourcen, Klima, Tiergerechtigkeit

Projektlaufzeit: 23.06.2016-22.12.2018 Ansprechpartner: A. Berk

Projektnummer: FLI-ITE-08-Br-0049

Projekttitle: Indikuh – Bewertung der Tiergerechtigkeit in der Milchviehhaltung – Indikatoren im Bereich Stoffwechsel und Fütterung

Projektlaufzeit: 01.08.2016-30.09.2019 Ansprechpartner: U. Meyer

Projektnummer: FLI-ITE-08-Br-0052

Projekttitle: Abo-Vici – Züchtung und Agronomie neuartiger Vici-armer Ackerbohnen und Einsatz als einheimisches Eiweißfutter

Projektlaufzeit: 13.03.2017-31.01.2020 Ansprechpartner: I. Halle

Projektnummer: FLI-ITE-08-Br-0057

Projekttitle: WICKEIWEISS – Einsatz von behandelten Saatenwicklungskörnern (*Vicia sativa* L.) als eiweißreiches Futtermittel für Monogastrier im ökologischen Landbau

Projektlaufzeit: 01.03.2017-28.02.2018 Ansprechpartner: A. Berk

Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für Tierschutz und Tierhaltung (FLI-ITT)

Projektnummer: FLI-ITT-08-Ce-0012

Projekttitle: ProPIG – Farm specific strategies to reduce environmental Impact by improving health, welfare and Nutrition of organic pigs (proPIG)

Projektlaufzeit: 01.11.2011-28.02.2015 Ansprechpartner: S. Dippel

Projektnummer: FLI-ITT-08-Ce-0060

Projekttitle: RetroCort – Etablierung und Validierung einer Methodik zur Bestimmung von Glucocorticoiden in Haaren und Federn als Bioindikator zum retrospektiven nicht-invasiven Monitoring für Tierwohl in verschiedenen Nutztierspezies – Teilprojekt 2

Projektlaufzeit: 01.10.2016-30.09.2019 Ansprechpartner: J. Berk

Projektnummer: FLI-ITT-08-Ce-0061

Projekttitle: SusPigSys – Sustainable pig production systems

Projektlaufzeit: 01.09.2017-31.08.2020 Ansprechpartner: S. Dippel

Projektnummer: FLI-ITT-08-Ce-0062

Projekttitle: Cow-Toilet – Clever cattle to resolve "Klima Killer" conundrum

Projektlaufzeit: 01.10.2017-30.09.2021 Ansprechpartner: L. Schrader

Friedrich-Loeffler-Institut – Institut für Virusdiagnostik (FLI-IVD)

Projektnummer: FLI-IVD-08-Ri-0061

Projekttitle: EMERIE – European management platform for emerging and re-emerging infectious disease entities

Projektlaufzeit: 01.05.2009-30.04.2014 Ansprechpartner: M. Beer

Projektnummer: FLI-IVD-08-Ri-0098

Projekttitle: ORBIVAC – Development of vaccines for BTV, DHDV and AHSU

Projektlaufzeit: 01.02.2010-31.01.2014 Ansprechpartner: M. Beer

Projektnummer: FLI-IVD-08-Ri-0136

Projekttitle: OrbiNet – EMIDA ERA-NET: Combating orbivirus infections of livestock: understanding of the molecular basis for protein function/virus phenotype, molecular epidemiology and improving diagnostic assays

Projektlaufzeit: 01.05.2011-30.04.2014 Ansprechpartner: M. Beer

Projektnummer: FLI-IVD-08-Ri-0368

Projekttitle: COMPARE – Collaborative Management Platform for detection and Analyses of (Re-)emerging and foodborne outbreaks in Europe

Projektlaufzeit: 01.12.2014-30.11.2019 Ansprechpartner: M. Beer

Projektnummer: FLI-IVD-08-Ri-0495

Projekttitle: PALE-Blu – Understanding pathogen, livestock, environment interactions involving bluetongue virus

Projektlaufzeit: 01.06.2017-30.11.2020 Ansprechpartner: B. Hoffmann

Projektnummer: FLI-INNT-IVD-08-HV-0024

Projekttitle: IMI_ZAPI_IVD – Zoonotic Anticipation and Preparedness Initiative

Projektlaufzeit: 01.03.2015-28.02.2019 Ansprechpartner: M. Beer, M. Groschup
(FLI im Forschungsverbund mit IVD und INNT vertreten)

Julius Kühn-Institut

Julius Kühn-Institut – Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland (JKI-A)

Projektnummer: JKI-A-08-0062

Projekttitle: Untersuchungen zur Verbreitung und Entwicklung wärmeliebender Unkrautarten unter Berücksichtigung des Klimawandels

Projektlaufzeit: 01.01.2013-31.12.2019 Ansprechpartner: H.-P. Söchting

Projektnummer: JKI-A-08-0051

Projekttitle: Sortenspezifischer Fungizideinsatz zur Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes

Projektlaufzeit: 01.01.2013-31.12.2019 Ansprechpartner: B. Rodemann

Julius Kühn-Institut – Institut für nationale und internationale Angelegenheiten der Pflanzengesundheit (JKI-AG)

Projektnummer: JKI-AG-08-0033

Projekttitle: Untersuchungen zum Einfluss des Klimawandels auf Schaderregerpopulationen (Pathotypen/Virulenzgruppen)

Projektlaufzeit: 01.01.2008-31.12.2017 Ansprechpartner: S. König, T. Schröder, U. Starfinger

Julius Kühn-Institut – Institut für Biologischen Pflanzenschutz (JKI-BI)

Projektnummer: JKI-BI-08-1103

Projekttitle: Diagnose von Pathogenen verschiedener Schädlinge in der Forstwirtschaft und Prognose von Schädlingskalamitäten

Projektlaufzeit: 01.01.2013-31.12.2018 Ansprechpartner: R. Kleespies

Julius Kühn-Institut – Institut für Epidemiologie und Pathogendiagnostik (JKI-EP)

Projektnummer: JKI-EP-08-0041

Projekttitle: Leitung von bzw. Mitwirkung in Expertengruppen des Europäischen Kooperationsprogramms für pflanzengenetische Ressourcen (ECPGR)

Projektlaufzeit: 01.01.2008-31.12.2015 Ansprechpartner: L. Frese, C. Germeier

Projektnummer: JKI-EP-08-1131

Projekttitle: Erstellung einer Datenbank für geregelte und eng verwandte, nicht-geregelte pflanzenparasitäre Nematoden

Projektlaufzeit: 30.11.2012-31.12.2014 Ansprechpartner: J. Hallmann

Projektnummer: JKI-EP-08-2196

Projekttitel: Verbesserung unterstützender Maßnahmen in Fruchtfolgesystemen (OSCAR)

Projektlaufzeit: 01.03.2012-31.12.2017 Ansprechpartner: J. Hallmann

Projektnummer: JKI-EP-08-2216

Projekttitel: Schutz von wirtschaftlich wichtigen Kulturpflanzen im Ökolandbau durch biologische Bekämpfung von pflanzen- und humanspezifischen Pathogenen mittels nützlicher Mikroorganismen – BioGuard

Projektlaufzeit: 01.06.2014-30.09.2016 Ansprechpartnerin: K. Smalla

Projektnummer: JKI-EP-08-2288

Projekttitel: Optimierung von NGS Technologien zur Virusdetektion (bekannter und unbekannter Viren) in Leguminosen und Gemüse

Projektlaufzeit: 01.07.2016-30.06.2018 Ansprechpartner: H. Ziebell

Julius Kühn-Institut – Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst (JKI-GF)

Projektnummer: JKI-GF-08-0014

Projekttitel: Erarbeitung von Schadensschwellen-Konzepten sowie Erstellung von Prognosemodellen von zur Massenvermehrung neigenden forstlichen Schadorganismen (z. B. Borkenkäfer)

Projektlaufzeit: 01.01.2001-31.12.2013 Ansprechpartner: W. Schumacher

Projektnummer: JKI-GF-08-0025

Projekttitel: Monitoring zum Auftreten thermophiler Schadorganismen in Gartenbau und Forst

Projektlaufzeit: 01.01.2009-31.12.2019 Ansprechpartner: K.-H. Berendes

Projektnummer: JKI-GF-08-0043

Projekttitel: Monitoring zum Auftreten thermophiler Schadorganismen in Gartenbau und Forst

Projektlaufzeit: 01.01.2009-31.12.2019 Ansprechpartner: K.-H. Berendes, N. Bräsicke, M. Hommes, S. Werres

Projektnummer: JKI-GF-08-0047

Projekttitel: Erhebungen zur Biodiversität multifunktionaler Landnutzungssysteme, insbesondere von Kurzumtriebsplantagen und dem Anbau schnellwachsender Baumarten in Agroforstsystemen, auf Folgewirkungen des Energieholzanbaus im Kurzumtrieb

Projektlaufzeit: 01.02.2010-30.06.2016 Projektansprechpartner: K.-H. Berendes, N. Bräsicke

Projektnummer: JKI-GF-08-1158

Projekttitel: Integrierte Bekämpfung der Kohlmottenschildlaus an Gemüsekohlarten

Projektlaufzeit: 01.06.2013-31.12.2016 Ansprechpartner: E. Böckmann

Projektnummer: JKI-GF-08-1160

Projekttitel: Regionalspezifisches Vorhersagesystem für das Vorkommen gesundheitsgefährdender Nagetiere als Anpassung an den Klimawandel

Projektlaufzeit: 01.04.2013-31.03.2017 Projektansprechpartner: J. Jacob

Projektnummer: JKI-GF-08-1210

Projekttitel: Langfristige Populationsentwicklung gesundheitspolitisch relevanter Nagetiere: Interaktion von Klimawandel, Landnutzung und Biodiversität

Projektlaufzeit: 01.09.2016-31.07.2019 Projektansprechpartner: J. Jacob

Julius Kühn-Institut – Institut für Pflanzenschutz in Obst- und Weinbau (JKI-OW)

Projektnummer: JKI-OW-08-0008

Projekttitel: Untersuchungen zum Einfluss abiotischer Faktoren (z. B. Klimaänderungen, unausgewogene Nährstoffversorgung, mechanische Beschädigungen, agrarrelevante Stoffe, Sonnenbrand) auf das Pflanzenwachstum und die Krankheitsepidemiologie

Projektlaufzeit: 01.01.2010-31.12.2018 Ansprechpartner: M. Maixner, A. Kollar, A. Wensing

Projektnummer: JKI-OW-08-0018

Projekttitel: Untersuchungen zu den Folgen der Klimaerwärmung auf die Epidemiologie und Populationsdynamik von Krankheiten und Schädlingen (Holzkrankheiten der Rebe, Weiße Fliege, Schild- und Schmierläuse als Virusvektoren; Korrelation des Auftretens von Schaderregern mit Witterungsdaten, Temperaturabhängigkeit pilzlicher Erreger, Sporenflug)

Projektlaufzeit: 01.01.2010-31.12.2017 Ansprechpartner: M. Fischer, C. Hoffmann, M. Maixner, J. Gross, A. Kollar, W. Jelkmann

Projektnummer: JKI-OW-08-0047

Projekttitel: Prognose der Flugaktivität der Vektorzikade *Hyalesthes obsoletus*

Projektlaufzeit: 01.01.2010-31.12.2015 Ansprechpartner: M. Maixner

Projektnummer: JKI-OW-08-1155

Projekttitel: Untersuchungen zur Charakterisierung und Schadwirkung von Viren an Obstarten und Reben (Virosen an Kirschen, latente Apfelviren, Scharkavirus, Vektorenübertragbare Viren an Erdbeeren und Himbeeren, Blattrollkrankheit der Rebe)

Projektlaufzeit: 10.2010-12.2018 Ansprechpartner: M. Maixner, W. Jelkmann

Projektnummer: JKI-OW-08-1181

Projekttitel: Biodiversität in Weinbausteillagen – Wechselwirkungen zwischen Steillagenbewirtschaftung und Biodiversität unter Berücksichtigung der Ressourcensicherung

Projektlaufzeit: 01.01.2012-31.12.2015 Ansprechpartner: M. Maixner, C. Hoffmann

Projektnummer: JKI-OW-08-1190

Projekttitel: Bedeutung potenzieller Vektorarten von Stolbur-Phytoplasmen im Wein- und Kartoffelanbau in Deutschland und Ungarn

Projektlaufzeit: 31.10.2014-30.09.2016 Ansprechpartner: M. Maixner

Projektnummer: JKI-OW-08-1205

Projekttitel: Neue Anbausysteme für einen nachhaltigen Weinbau

Projektlaufzeit: 01.02.2015-31.01.2018 Ansprechpartner: M. Fischer

Julius Kühn-Institut – Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde (JKI-PB)

Projektnummer: JKI-PB-08-0053

Projekttitel: Ertrags- und Qualitätssicherung von landwirtschaftlichen Kulturpflanzen

Projektlaufzeit: 01.01.2014-31.12.2016 Ansprechpartner: S. Schittenhelm

Projektnummer: JKI-PB-08-0056

Projekttitel: Zeitreihenanalyse von Lysimeterdaten zur Dynamik und Bilanzierung von Wasser- und Stofffrachten

Projektlaufzeit: 01.01.2008-31.12.2018 Ansprechpartner: M. Kücke

Projektnummer: JKI-PB-08-1198

Projekttitel: Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten von Risikomanagementsystemen

Projektlaufzeit: 01.01.2013-31.12.2015 Ansprechpartner: H. Lilienthal

Projektnummer: JKI-PB-08-1209

Projekttitel: Fernerkundliche Beurteilung der Trocken- und Hitzetoleranz von Weizengenotypen auf Selektionsstandorten mit begleitenden Untersuchungen zu Durchwurzelungstiefe, Wurzelmorphologie und Wasserhaushalt

Projektlaufzeit: 01.10.2014-31.05.2018 Ansprechpartner: S. Schittenhelm

Projektnummer: JKI-PB-08-1223

Projekttitel: Wasser- und Klimaschutzorientierte Erzeugung und Verarbeitung von Winterweizen

Projektlaufzeit: 01.09.2014-31.12.2017 Ansprechpartner: G. Rühl

Projektnummer: JKI-PB-08-1233

Projekttitel: Wurzeluntersuchungen mittels Röntgencomputertomographie von Weizen und Grünland in Abhängigkeit von Bewirtschaftungsoptionen

Projektlaufzeit: 01.01.2016-31.12.2017 Ansprechpartnerin: K. Kuka

Julius Kühn-Institut – Institut für Resistenzforschung und Stresstoleranz (JKI-RS)

Projektnummer: JKI-RS-08-1134

Projekttitel: BARSELECT: Genomische Selektion in der Gerstenzüchtung

Projektlaufzeit: 01.09.2011-28.02.2015 Ansprechpartner: F. Ordon

Projektnummer: JKI-RS-08-1135

Projekttitel: "Pre-Breed Yield" Zielgerichtete Züchtung zur Ertragssteigerung bei Raps, Teilprojekt "Phänotypisierung von ausgewählten Genotypen auf Trockentoleranz in Klimakammer- und Rain-Out-Shelter-Feldversuchen"

Projektlaufzeit: 01.09.2011-31.01.2015 Ansprechpartner: F. Ordon, H.-U. Jürgens

Projektnummer: JKI-RS-08-1136

Projekttitel: Erfassung genetischer Unterschiede des Weizens bezüglich der Fähigkeit zur Symbiose mit wurzelendophytisch wachsenden Pilzen und deren Auswirkungen auf die Stresstoleranz

Projektlaufzeit: 01.07.2011-30.11.2014 Ansprechpartner: F. Ordon, A. Serfling

Projektnummer: JKI-RS-02-3356

Projekttitel: Einfluss von abiotischem Stress und Klimaveränderungen auf die Qualitätseigenschaften landwirtschaftlicher Produkte

Projektlaufzeit: 31.01.2008-31.12.2017 Ansprechpartnerin: G. Jansen

Projektnummer: JKI-RS-08-3366

Projekttitel: Charakterisierung des Proteoms unter Stickstoff- und Wassermangelstress als Grundlage für die züchterische Entwicklung stickstoffeffizienter und trockenintoleranter Stärkekartoffeln

Projektlaufzeit: 31.12.2012-31.05.2016 Ansprechpartnerin: A. Schum

Projektnummer: JKI-RS-08-3368

Projekttitel: HybGPS: Optimierung der Hybridgerstenzüchtung für die energetische Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) unter Berücksichtigung des Stay-Green Effekts

Projektlaufzeit: 30.09.2013-31.08.2016 Ansprechpartner: F. Ordon

Projektnummer: JKI-RS-08-3373

Projekttitel: Validierung identifizierter Marker zur Selektion trockenintoleranter Stärkekartoffeln (VALDIS TROST), Teilvorhaben 2: Kandidatengenbasierte Analyse der Trockentoleranz

Projektlaufzeit: 01.03.2014-31.03.2017 Ansprechpartnerin: S. Seddig

Projektnummer: JKI-RS-08-3375

Projekttitel: Identifikation von Genen und Indikatoren für Trockentoleranz der Gerste (*Hordeum vulgare*)

Projektlaufzeit: 01.03.2013-28.02.2016 Ansprechpartner: F. Ordon

Projektnummer: JKI-RS-08-3376

Projekttitle: Genomweite Assoziationsstudien zur Verbesserung der Trockenstresstoleranz in äthiopischen Gerste (*Hordeum vulgare*) und Durum-Weizen Herkünften

Projektlaufzeit: 01.01.2014-31.12.2017 Ansprechpartner: F. Ordon

Projektnummer: JKI-RS-08-3383

Projekttitle: Screening auf WDV (Wheat dwarf virus) Resistenz / Toleranz im Weizen-Genpool und Identifikation von QTL mittels assoziationsgenetischer Verfahren

Projektlaufzeit: 01.12.2014-31.08.2017 Ansprechpartner: F. Ordon

Projektnummer: JKI-RS-08-3385

Projekttitle: Genomik-basierte Verbesserung des heimischen Sojazuchtmaterials und Etablierung eines molekularen Screeningsystems für Soja-Pathogene; Teilprojekt 4: Phänotypisierung einer Population aus Eltern mit Unterschieden in der Kühltoleranz hinsichtlich des Hülsenansatzes nach einer Kühltstressphase

Projektlaufzeit: 01.04.2015-31.12.2017 Ansprechpartnerin: C. Balko

Projektnummer: JKI-RS-08-3386

Projekttitle: Analyse von QTL für Trockenstresstoleranz in Wildemmer

Projektlaufzeit: 01.02.2015-30.09.2017 Ansprechpartner: F. Ordon

Julius Kühn-Institut – Institut für Strategien und Folgenabschätzung (JKI-SF)

Projektnummer: JKI-SF-08-0038

Projekttitle: Betrieb einer Online-Datenbank mit Fakten zu pflanzenschutzrelevanten Folgen der Klimaveränderung

Projektlaufzeit: 01.01.2008-31.12.2018 Ansprechpartnerin: S. Seidel

Projektnummer: JKI-SF-08-1167

Projekttitle: Ökonomische Folgenabschätzung bei der pflanzlichen Produktion unter besonderer Berücksichtigung des Pflanzenschutzes

Projektlaufzeit: 01.01.2014-31.12.2019 Ansprechpartnerin: H. Kehlenbeck

Projektnummer: JKI-SF-08-1170

Projekttitle: Effekte von Witterung und Klimaänderung auf die floristische Artenvielfalt

Projektlaufzeit: 01.01.2008-31.12.2019 Ansprechpartnerin: J. Hoffmann

Projektnummer: JKI-SF-08-1180

Projekttitle: Konsequenzen des Klimawandels für die Nachhaltigkeitsziele beim Pflanzenschutz-mitteinsatz – Effizienz und Zulänglichkeit der Instrumente und Maßnahmen der Bundesregierung zur Erreichung der Umweltziele zum nachhaltigen Einsatz von Pflanzenschutzmitteln

Projektlaufzeit: 01.03.2014-31.08.2016 Ansprechpartnerin: S. Krengel

Projektnummer: JKI-SF-08-1208

Projekttitel: Entwicklung eines Extremwettermonitorings und Risikoabschätzungssystems (EMRA) zur Bereitstellung von Entscheidungshilfen im Extremwettermanagement der Landwirtschaft

Projektlaufzeit: 01.02.2017-31.01.2020 Ansprechpartnerin: S. Krengel

Projektnummer: JKI-SF-08-1210

Projekttitel: Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf Schaderreger und ihren Einfluss auf Leistungsfähigkeit und Qualität

Projektlaufzeit: 01.01.2013-31.12.2017 Ansprechpartnerinnen: P. Seidel, S. Krengel

Projektnummer: JKI-SF-08-1220

Projekttitel: Untersuchungen zum Einfluss des Klimawandels auf Coccinelliden als Gegenspieler von Getreideblattläusen

Projektlaufzeit: 01.01.2009-31.12.2019 Ansprechpartnerin: S. Krengel

Projektnummer: JKI-SF-08-1233

Projekttitel: Entwicklung und Bewertung von Strategien für einen nachhaltigen Pflanzenbau

Projektlaufzeit: 01.07.2014-31.12.2019 Ansprechpartnerin: T. Feike

Julius Kühn-Institut – Institut für Züchtungsforschung an landwirtschaftlichen Kulturen (JKI-ZL)

Projektnummer: JKI-ZL-08-0038

Projekttitel: Netzwerk zur Erhaltung und Förderung der Anpassungsfähigkeit von Kulturpflanzen (NEA-KULT)

Projektlaufzeit: 01.01.2008-28.02.2019 Ansprechpartner: L. Frese

Projektnummer: JKI-ZL-08-0063

Projekttitel: Erschließung und Nutzung von Resistenzen nicht adaptierter PGR gegen wirtschaftlich relevante Pathogene und Schaderreger für die Kartoffelzüchtung unter Einsatz biotechnologischer Verfahren

Projektlaufzeit: 01.01.2009-30.10.2021 Ansprechpartnerin: R. Thieme

Projektnummer: JKI-ZL-08-1148

Projekttitel: Integration innovativer Methoden zur Resistenzpyramidisierung und Charakterisierung von Trockentoleranz in der Gattung *Lolium* mit dem Ziel der Entwicklung klimaangepasster Futterpflanzensorten

Projektlaufzeit: 01.02.2011-30.05.2014 Ansprechpartnerin: B. Ruge-Wehling

Projektnummer: JKI-ZL-08-3118

Projekttitel: Erstellung von züchterisch adaptiertem Keimplasma bei Hafer mit Resistenz gegen Echten Mehltau und Gerstengelverzweigungsvirus

Projektlaufzeit: 01.01.2008-31.12.2017 Ansprechpartner: M. Herrmann

Projektnummer: JKI-ZL-08-3171

Projekttitel: Erarbeitung einer Methode zur Selektion und Züchtung resistenter Sorten von *Lolium* spp. gegenüber dem Erreger des Schwarzrostes, *Puccinia graminis* ssp. *graminicola*

Projektlaufzeit: 31.10.2006-30.09.2009 Ansprechpartner: P. Wehling

Projektnummer: JKI-ZL-08-3179

Projekttitel: Entwicklung eines Testverfahrens zur Bestimmung der Auswuchsfestigkeit von Triticale zur Bioethanolproduktion

Projektlaufzeit: 01.06.2013-31.08.2016 Ansprechpartner: M. Herrmann

Projektnummer: JKI-ZL-08-3184

Projekttitel: Innovative Lösungen zur Optimierung genetischer Diversität für nachhaltige Anbausysteme der Zukunft

Projektlaufzeit: 01.03.2015-31.03.2018 Ansprechpartner: L. Frese

Projektnummer: JKI-ZL-08-3186

Projekttitel: OPTIMALL: Eine Methode zur Präzisionszüchtung ertragreicher Hybridsorten bei Roggen

Projektlaufzeit: 01.10.2013-31.03.2017 Ansprechpartner: B. Hackauf

Projektnummer: JKI-ZL-08-3187

Projekttitel: Neuartige Charakterisierung von Ressourcen verwandter Wildarten von Kulturpflanzen und Landsorten als Grundlage einer verbesserten Pflanzenzüchtung

Projektlaufzeit: 01.03.2011-31.08.2016 Ansprechpartner: L. Frese

Projektnummer: JKI-ZL-08-3188

Projekttitel: Charakterisierung von Introgressionslinien (IL) der Gerste mit *H.-bulbosum*-Chromatin

Projektlaufzeit: 01.01.2014-31.10.2017 Ansprechpartnerin: M. Scholz

Projektnummer: JKI-ZL-08-3191

Projekttitel: Vorkommen von Fusariumarten und deren Toxinen im deutschen Haferanbau sowie Entwicklung von Strategien zu deren Reduktion durch Sortenresistenz

Projektlaufzeit: 01.11.2015-31.10.2018 Ansprechpartner: M. Herrmann

Projektnummer: JKI-ZL-08-3193

Projekttitel: Funktionelle Charakterisierung und Validierung von Nichtwirt-Komponenten für dauerhafte Resistenz gegen Pilzkrankheiten in *Triticale*-Getreidearten (DURESTrit)

Projektlaufzeit: 01.05.2014-31.05.2017 Ansprechpartnerin: B. Ruge-Wehling

Projektnummer: JKI-ZL-08-3197

Projekttitel: Die effiziente Entwicklung multiresistenten Zuchtmaterials bei *Lolium perenne* und *L. multiflorum* durch den Einsatz transkriptombasierter Markertechnologien

Projektlaufzeit: 31.03.2015-28.02.2018 Ansprechpartnerin: B. Ruge-Wehling

Projektnummer: JKI-ZL-08-3198

Projekttitle: Genetische Erhaltungsgebiete für Wildselleriearten (*Apium* und *Helosciadium*) als Bestandteil eines Netzwerkes genetischer Erhaltungsgebiete in Deutschland

Projektlaufzeit: 01.03.2015-28.02.2019 Ansprechpartner: L. Frese, M. Nachtigall

Projektnummer: JKI-ZL-08-3200

Projekttitle: Genetische Diversität bei Patellifolia-Arten

Projektlaufzeit: 01.02.2015-31.01.2017 Ansprechpartner: L. Frese, M. Nachtigall

Julius Kühn-Institut – Institut für Züchtungsforschung Obst (JKI-ZO)

Projektnummer: JKI-ZO-08-0042

Projekttitle: Selektion von neuen Unterlagensorten für Süßkirschen

Projektlaufzeit: 01.01.2009-31.12.2018 Ansprechpartner: M. Schuster

Julius Kühn-Institut – Institut für Züchtungsforschung Reben (JKI-ZR)

Projektnummer: JKI-ZR-08-5172

Projekttitle: Verbindung von innovativem Weinbaumanagement und genetischer Diversität für einen nachhaltigen europäischen Weinbau

Projektlaufzeit: 01.01.2013-31.12.2016 Ansprechpartner: R. Töpfer

Projektnummer: JKI-ZR-08-5176

Projekttitle: Neue Anbausysteme für einen nachhaltigen Weinbau

Projektlaufzeit: 01.02.2015-31.01.2018 Ansprechpartner: F. Schwander

Projektnummer: JKI-ZR-08-5182

Projekttitle: Sammlung von Reben mit Resistenzeigenschaften gegenüber Mehltaukrankheiten, sowie deren phänotypische Evaluierung und genetische Charakterisierung

Projektlaufzeit: 01.01.2014-31.12.2016 Ansprechpartner: R. Eibach

Projektnummer: JKI-ZR-08-5188

Projekttitle: Molekulare Analyse der Traubenarchitektur

Projektlaufzeit: 01.10.2014-30.09.2017 Ansprechpartnerin: E. Zyprian

Projektnummer: JKI-ZR-08-5198

Projekttitle: Schritte zu einem nachhaltigen Weinbau: verbesserte Produktivität und Toleranz gegenüber abiotischem und biotischem Stress durch Kombination von resistenten Sorten und nützlichen Mikroorganismen

Projektlaufzeit: 01.05.2016-30.04.2019 Ansprechpartner: R. Töpfer

Projektnummer: JKI-ZR-08-5202

Projekttitle: Automatische Evaluierung und Vergleich von Genotypen hinsichtlich der Traubenarchitektur

Projektlaufzeit: 01.04.2016-31.03.2019 Ansprechpartner: R. Töpfer

Projektnummer: JKI-ZR-08-5186

Projekttitle: Zusammenhang von Allelkombinationen und Blühzeitpunkts-Phänotyp in der Weinrebe

Projektlaufzeit: 01.07.2014-30.06.2017 Ansprechpartner: R. Töpfer

Projektnummer: JKI-ZR-08-5203

Projekttitle: Die Kirschessigfliege *Drosophila suzukii* – Züchterische Ansätze zu ihrer Bekämpfung

Projektlaufzeit: 01.09.2015-30.08.2017 Ansprechpartner: R. Töpfer

Projektwebsite: <https://www.julius-kuehn.de/zr/projekte/>

Thünen-Institut

Thünen-Institut – Institut für Agrarklimaschutz (TI-AK)

Projektnummer: TI-AK-08-46

Projekttitle: Einfluss verminderter Freilandniederschläge und platzierter N-Düngung auf die Emission klimarelevanter Spurengase aus Ackerböden

Projektlaufzeit: 01.07.2010-30.06.2013 Ansprechpartner: H. Flessa, R. Well, M. Deppe

Thünen-Institut – Institut für Agrartechnologie (TI-AT)

Projektnummer: TI-AT-08-PID559

Projekttitle: Erarbeitung von Strategien und Lösungsansätzen zur guten fachlichen Praxis bei der Bodennutzung durch Strohmanagement und Konservierende Bodenbearbeitung (precision farming)

Projektlaufzeit: 01.01.1993-31.12.2020 Ansprechpartner: J. Brunotte, K.-D. Vorlop

Projektnummer: TI-AT-08-PID604

Projekttitle: Weiterentwicklung und Bewertung von Methoden und Verfahren zum Bewässerungsmanagement

Projektlaufzeit: Daueraufgabe seit August 2011 Ansprechpartner: J. Anter

Projektnummer: TI-AT-08-PID626

Projekttitle: Gute fachliche Praxis bei landwirtschaftlicher Bodennutzung (§17 des BBodSchG)

Projektlaufzeit: Daueraufgabe seit 01.01.2001 Ansprechpartner: J. Brunotte, K.-D. Vorlop

Projektnummer: TI-AT-08-PID1441

Projekttitle: Klimaoptimierte Anpassungsstrategien in der Landwirtschaft (Optimierter Klimabetrieb) II

Projektlaufzeit: 01.10.2013-30.09.2016 Ansprechpartner: J. Brunotte

Projektnummer: TI-AT-08-PID1695

Projekttitle: BonaRes (A): SOILAssist – Nachhaltige Sicherung und Verbesserung von Bodenfunktionen durch intelligente Landbewirtschaftung – Ein Echtzeit-Assistenzsystem für die Praxis

Projektlaufzeit: 01.08.2015-31.07.2018 Ansprechpartner: J. Brunotte, K.-D. Vorlop

Projektnummer: TI-AT-08-PID1737

Projekttitle: Sensorgestützte Beregnungssteuerung in Kartoffeln

Projektlaufzeit: 01.05.2016-31.08.2019 Ansprechpartner: J. Anter

Thünen-Institut – Institut für Biodiversität (TI-BD)

Projektnummer: TI-BD-08-PID694

Projekttitel: Wirkung erhöhter atmosphärischer CO₂-Konzentration auf Kohlenstoff- und Wasserflüsse in Fruchtfolgen (FACE)

Projektlaufzeit: 01.03.2000-31.12.2015 Ansprechpartner: R. Manderscheid

Projektnummer: TI-BD-08-PID698

Projekttitel: Anpassung der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion an den Klimawandel: Untersuchung der Reaktionen verschiedener Gerstegenotypen auf zukünftige atmosphärische CO₂-Konzentrationen als Grundlage zur züchterischen Optimierung des sog. "CO₂-Düngeeffektes"

Projektlaufzeit: 01.01.2011-31.12.2014 Ansprechpartner: J. Bender, H.J. Weigel, E. Mitterbauer

Projektnummer: TI-BD-08-PID718

Projekttitel: Freilanduntersuchungen zur interaktiven Wirkung von Hitzeperioden und erhöhter atmosphärischer CO₂-Konzentration auf Wachstum und Kornbildung von Weizen

Projektlaufzeit: seit 01.04.2012 Ansprechpartner: R. Manderscheid

Projektnummer: TI-BD-08-PID1589

Projekttitel: Auswirkungen des CO₂-Anstiegs auf die Stickstoffaufnahme und Verlagerung in das Korn bei Winterweizen

Projektlaufzeit: 01.05.2014-30.9.2018 Ansprechpartner: R. Manderscheid

Projektnummer: TI-BD-08-PID1596

Projekttitel: Kooperation mit Modelliergruppen und Bereitstellung der FACE-Daten zur Verbesserung der Ertragsprognosen unter Klimawandel

Projektlaufzeit: Daueraufgabe seit 01.01.2001 Ansprechpartner: R. Manderscheid

Projektnummer: TI-BD-08-PID1769

Projekttitel: Untersuchungen zur Wechselwirkung zwischen Wasserversorgung und erhöhten CO₂-Konzentrationen bei Wintergerste-Genotypen

Projektlaufzeit: 01.07.2014-31.12.2016 Ansprechpartner: J. Bender

Projektnummer: vTI-BD-08-23

Projekttitel: Wechselwirkung zwischen atmosphärischer CO₂-Konzentration und anderen Faktoren auf Wachstum, Ertrag und Ertragsqualität von landwirtschaftlichen Kulturpflanzen

Projektlaufzeit: Daueraufgabe seit 01.01.2001 Ansprechpartner: R. Manderscheid

Thünen-Institut – Institut für Betriebswirtschaft (TI-BW)

Projektnummer: TI-BW-08-PID1491

Projekttitle: Ökonomische Analysen zur Anpassung niedersächsischer Milchviehhalter an den Klimawandel

Projektlaufzeit: 01.03.2010-30.11.2013 Ansprechpartner: H. Hansen, M. Martinsohn

Projektnummer: TI-BW-08-PID1810

Projekttitle: Analyse des Potentials der EU-Agrarpolitik zur Förderung des Risikomanagements auf betrieblicher Ebene

Projektlaufzeit: 01.05.2017-31.05.2021 Ansprechpartner: k. A.

Thünen-Institut – Institut für Forstgenetik (TI-FG)

Projektnummer: TI-FG-08-PID807

Projekttitle: Nutzung von endophytischen Bakterien zur Steigerung der Stabilität und Vitalität von Pappeln im Kurzumtrieb mit dem Ziel der Erhöhung der Biomasseproduktion (Endophyten II)

Projektlaufzeit: 01.04.2011-30.09.2014 Projektansprechpartner: D. Ewald

Projektnummer: TI-FG-08-PID831

Projekttitle: FastWOOD III

Projektlaufzeit: 01.12.2014-30.11.2017 Projektansprechpartner: M. Liesebach

Projektwebsite: www.fastwood.org

Projektnummer: TI-FG-08-PID1548

Projekttitle: Selektion trockentoleranter Robinien aus internationalen Herkünften für die Energieholzerzeugung

Projektlaufzeit: 01.04.2013-31.03.2016 Projektansprechpartner: T. Guse

Projektnummer: TI-FG-08-PID1639

Projekttitle: Forstliches Management in zugelassenen Erntebeständen der Buche (*Fagus sylvatica* L.) zur Erzeugung von genetisch hochwertigem und anpassungsfähigem Vermehrungsgut

Projektlaufzeit: 01.10.2014-31.10.2017 Ansprechpartnerin: H. Liesebach

Projektwebsites: <https://www.thuenen.de/de/fg/projekte/aktuelle-projekte/buchensaatgut/>
<http://www.waldklimafonds.de/projekte/>

Projektnummer: TI-FG-08-PID1641

Projekttitle: Bereitstellung von leistungsfähigem und hochwertigem Forstvermehrungsgut für den klima- und standortgerechten Wald der Zukunft (FitForClim)

Projektlaufzeit: 01.01.2014-31.12.2016 Projektansprechpartner: V. Schneck

Projektwebsite: www.fitforclim.de

Projektnummer: TI-FG-08-PID1653

Projekttitel: Selektion von Schwarz-Erle (*Alnus glutinosa* L. Gaertn.) auf Widerstandsfähigkeit gegenüber Phytophthora alni und Untersuchungen zur Resistenz

Projektlaufzeit: 01.01.2015-31.12.2016 Projektansprechpartner: M. Kube

Projektnummer: nicht eingetragen

Projekttitel: Trockenheitsgefährdung und Anpassungspotenzial unterschiedlicher Fichtenpopulationen (Fichte-Trockenheit)

Projektlaufzeit: 01.12.2015-31.12.2018 Projektansprechpartner: A. Bolte, H. Liesebach

Projektwebsite: <https://www.thuenen.de/de/fg/projekte/aktuelle-projekte/fichte-trockenheit/>

Projektnummer: nicht eingetragen

Projekttitel: Optimising the management and sustainable use of forest genetic resources in Europe (GenTree)

Projektlaufzeit: 01.03.2016-28.02.2020 Projektansprechpartner: M. Liesebach

Projektwebsite: www.gentree-h2020.eu

Thünen-Institut – Institut für Holzforschung (TI-HF)

Projektnummer: TI-HF-08-PID1412

Projekttitel: Beurteilung der Materialeigenschaften von Hölzern im Hinblick auf Anwendungsempfehlungen

Projektlaufzeit: Daueraufgabe seit 01.01.2016 Projektansprechpartner: E. Melcher, M. Ohlmeyer

Projektnummer: TI-HF-08-PID1451

Projekttitel: Werkstoff- und Verfahrensentwicklung zur Herstellung einer Holz-Biokunststoff-Sandwichplatte auf Basis nachwachsender Rohstoffe

Projektlaufzeit: 01.01.2014-31.12.2016 Projektansprechpartner: J. Lüdtkke

Projektnummer: nicht eingetragen

Projekttitel: Monitoring C-Speicherung Holz als Folge von Anpassungsmaßnahmen

Projektlaufzeit: Daueraufgabe seit 01.01.2016 Projektansprechpartner: S. Rüter

Projektnummer: nicht eingetragen

Projekttitel: Climate benefits of material substitution by forest biomass and harvested wood products (ClimWood2030)

Projektlaufzeit: 01.01.2014-31.12.2016 Projektansprechpartner: S. Rüter

Projektnummer: nicht eingetragen

Projekttitle: Erzeugung von infektiösfähigen Larven des Schiffsbohrwurms *Teredo navalis* und Durchführung von Dauerhaftigkeitsuntersuchungen für den Einsatz von Holzprodukten in marinen Gewässern

Projektlaufzeit: Daueraufgabe seit 01.05.2016 Projektansprechpartner: J. Trautner, E. Melcher

Thünen-Institut – Institut für Ländliche Räume (TI-LR)

Projektnummer: TI-LR-08-PID407

Projekttitle: Ermittlung des regionalen Bewässerungsbedarfs für die Landwirtschaft in NRW (ERB-NRW)

Projektlaufzeit: 01.09.2010-31.03.2013 Ansprechpartner: P. Kreins, J. Anter

Projektnummer: TI-LR-08-PID1380

Projekttitle: Erarbeitung und Analyse von Vorschlägen zur Weiterentwicklung der 2. Säule der EU-Agrarpolitik

Projektlaufzeit: 01.01.2003-31.12.2024 Ansprechpartner: R. Grajewski, R. Plankl, A. Tietz, B. Osterburg, T. Schmidt, N. Röder

Projektnummer: TI-LR-08-PID1389

Projekttitle: Wechselwirkungen zwischen Landnutzung und Klimawandel – Strategien für ein nachhaltiges Landmanagement in Deutschland (CC-LandStraD)

Projektlaufzeit: 01.04.2015-31.03.2018 Ansprechpartner: P. Weingarten, H. Gömann, P. Kreins, A. Steinführer

Projektwebsite: <http://www.cc-landstrad.de/>

Projektnummer: TI-LR-08-PID1395

Projekttitle: Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten des Risikomanagements

Projektlaufzeit: 01.01.2013-31.03.2015 Ansprechpartner: C. Heidecke, F. Offermann, T. de Witte, W. Dirksmeyer

Projektwebsite: <http://www.agrarrelevante-extremwetterlagen.de/>

Thünen-Institut – Institut für Marktanalyse (TI-MA)

Projektnummer: TI-MA-08-411

Projekttitle: FACCE MACSUR

Projektlaufzeit: 01.06.2012-30.05.2017 Ansprechpartner: M. Köchy

Projektwebsites: <http://www.macsur.eu>

<http://www.thuenen.de/de/ma/projekte/internationaler-agrarhandel-welternaehrung/facce-macsur-landwirtschaft-und-klimawandel/?amp%3BL=1&cHash=1b5f6ededa8c520b42906c0866762f6d>

Projektnummer: TI-MA-08-1401

Projekttitel: SUSDIET-Analyse des Konsumentenverhaltens zur Förderung einer nachhaltigeren Lebensmittelwahl

Projektlaufzeit: 01.04.2014-31.03.2017 Ansprechpartnerin: Y. Feucht

Thünen-Institut – Institut für Ökologischen Landbau (TI-OL)

Projektnummer: TI-OL-08-PID449

Projekttitel: Weideparasitenmanagement – Webbasierte Entscheidungsbäume: Vorausschauende Planung des Weidemanagements bei Wiederkäuern zur Verminderung der Belastung mit Magen-Darm-Würmern und zur Reduktion des Tierarzneimiteleinsatzes – Etablierung eines Online-Tools in der landwirtschaftlichen Praxis in Deutschland

Projektlaufzeit: 01.01.2014-31.12.2017 Ansprechpartner: J. Brinkmann, H. Georg, R. Koopmann, S. March

Projektnummer: TI-OL-08-PID1545

Projekttitel: Temporär reduzierte Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau und deren Auswirkungen auf Regenwürmer, Springschwänze (*Collembolen*) und Erträge

Projektlaufzeit: 01.03.2012-31.08.2016 Ansprechpartner: k. A.

Projektnummer: TI-OL-08-PID1547

Projekttitel: Steigerung der Ressourceneffizienz durch gesamtbetriebliche Optimierung der Pflanzen- und Milchproduktion unter Einbindung von Tierwohlaspekten

Projektlaufzeit: 01.08.2014-31.07.2017

Thünen-Institut – Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie (TI-WF)

Projektnummer: TI-WF-08-PID1542

Projekttitel: CC-LandStraD: Climate Change – Land Use Strategies Deutschland; Teilprojekt: Modellierung unterschiedlicher forstlicher Landnutzungsoptionen unter veränderten Umweltbedingungen

Projektlaufzeit: 01.11.2010-30.10.2015 Ansprechpartner: P. Elsasser

Projektwebsite: <https://www.thuenen.de/index.php?id=3117&L=0>

Projektnummer: nicht eingetragen

Projekttitel: TEEB DE: Klimabericht Kapitel 6: "Klimaschutz als Ökosystemleistung des Waldes in Deutschland"

Projektlaufzeit: n. b. Ansprechpartner: B. Seintsch

Projektwebsite: http://www.naturkapital-teeb.de/fileadmin/Downloads/Projekteigene_Publikationen/TEEB_Broschueren/TEEB_DE_Klimabericht_Langfassung.pdf

Projektnummer: nicht eingetragen

Projekttitle: Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten des Risikomanagements:

Teilprojekt: Ökonomische Bewertungen zu Sturmschäden und letaler Trockenheit

Projektlaufzeit: 01.01.2013-31.03.2015 Ansprechpartner: B. Seintsch

Thünen-Institut – Institut für Waldökosysteme (TI-WO)

Projektnummer: TI-WO-08-PID1342

Projekttitle: Wirkung des Klimawandels auf Waldökosysteme und Optionen zur Anpassung von Waldbeständen und Waldbewirtschaftung

Daueraufgabe seit: 01.01.2001 Ansprechpartner: A. Bolte, J. Müller, W. Beck, T. Sanders

Projektwebsite: <https://www.thuenen.de/de/wo/arbeitsbereiche/waldoekologie/freiland-trockenlabor/>

Projektnummer: TI-WO-08-PID1345

Projekttitle: Auswirkung von Trockenheit auf junge Waldbäume (Freilandlabor, Gewächshaus)

Daueraufgabe seit: 01.01.2001 Ansprechpartner: A. Bolte, J. Müller

Projektwebsite: <https://www.thuenen.de/de/wo/arbeitsbereiche/waldoekologie/freiland-trockenlabor/>

Projektnummer: TI-WO-08-PID1352

Projekttitle: Waldumbau und Wasserhaushalt

Projektwebsite: <https://www.thuenen.de/de/wo/projekte/waldoekologie/projekte-waldoekologie/waldumbau-und-wasserhaushalt/>

Projektlaufzeit: Daueraufgabe seit 01.01.2001 Projektansprechpartner: J. Müller

Projektnummer: TI-WO-08-PID1566

Projekttitle: Intensives Forstliches Umweltmonitoring – Level II

Daueraufgabe seit: 01.01.1995 Ansprechpartner: A. Bolte

Projektwebsite: <https://www.thuenen.de/de/wo/projekte/waldoekologie/projekte-waldoekologie/klimawandel-und-waldanpassung/>

Projektnummer: TI-WO-08-PID1731

Projekttitle: Veränderte Überlebenszeit von Waldbeständen: Ökonomische Folgen des Klimawandels für die Forstwirtschaft (SURVIVAL-KW)

Projektlaufzeit: 01.04.2016-30.09.2019 Ansprechpartner: T. Riedel, L. Henning

Projektwebsite: http://waldinventur.wzw.tum.de/fileadmin/risk2016/paul_brandl.pdf

Projektnummer: TI-WO-08-PID1736

Projekttitle: Kohlenstoffinventur 2017

Projektlaufzeit: 01.01.2015-31.12.2020 Ansprechpartner: A. Bolte, L. Henning, T. Riedel

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 Bibliographie; 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.thuenen.de

Zitationsvorschlag – Suggested source citation:
Schimmelpfennig S, Heidecke C, Beer H, Bittner F, Klages S, Krengel S, Lange S (2018) Klimaanpassung in Land- und Forstwirtschaft – Ergebnisse eines Workshops der Ressortforschungsinstitute FLI, JKI und Thünen-Institut. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 110 p, Thünen Working Paper 86, DOI:10.3220/WP1518167089000

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

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



Thünen Working Paper 86

Herausgeber/Redaktionsanschrift – *Editor/address*
Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
Deutschland

thuenen-working-paper@thuenen.de
www.thuenen.de

DOI:10.3220/WP1518167089000
urn:nbn:de:gbv:253-201802-dn059699-7