

Entwicklung einer Bewertungsmethode für die Effekte des Klimawandels auf Produktion und Tierwohl sowie die Anpassungsfähigkeit der Nutztierhaltung

Institut für Nutztierwissenschaften
Universität für Bodenkultur Wien



Dr. Stefan Hörtenhuber, Ao.Univ.Prof. Dr. Werner Zollitsch

Institut für Nutztierwissenschaften,

Department für Nachhaltige Agrarsysteme, Universität für Bodenkultur Wien

Diese Publikation sollte folgendermaßen zitiert werden:

Hörtenhuber, S., Zollitsch, W. (2015): Entwicklung einer Bewertungsmethode für die Effekte des Klimawandels auf Produktion und Tierwohl sowie die Anpassungsfähigkeit der Nutztierhaltung. Endbericht von StartClim2014.B in StartClim2014: Beiträge zur Umsetzung der österreichischen Anpassungsstrategie, Auftraggeber: BMLFUW, BMWFW, ÖBF, Land Oberösterreich

Wien, im Juli 2015

StartClim2014.B

Teilprojekt von StartClim2014

Projektleitung von StartClim2014:

Universität für Bodenkultur, Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt

Institut für Meteorologie, Peter Jordan-Straße 82, 1190 Wien

URL: www.startclim.at

StartClim2014 wurde aus Mitteln des BMLFUW, des BMWFW, der ÖBF und des Landes Oberösterreich gefördert.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	4
Abstract	4
B-1 Einleitung	5
B-1.1 Problemstellung	5
B-1.2 Ziele des gegenständlichen Forschungsprojektes	6
B-2 Material und Methoden	7
B-2.1 Literaturrecherche, ExpertInnen-Wissen und Qualitative Systemanalyse	7
<i>B-2.1.1 Literaturrecherche</i>	<i>7</i>
<i>B-2.1.2 Qualitative Systemanalyse</i>	<i>7</i>
<i>B-2.1.3 Entwicklung der Indikatoren-Checkliste und der Betriebsbewertungsmethode</i>	<i>8</i>
B-2.2 Analyse von Fallbeispielen (Modellbetriebe und Praxisbetriebe)	9
B-3 Ergebnisse und Diskussion	11
B-3.1 Literaturanalyse	11
<i>B-3.1.1 Klimawandelfolgen und Effekte auf Nutztierhaltung und Futterpflanzenbau</i>	<i>11</i>
<i>B-3.1.2 Resilienz von Agrarökosystemen und agrarischen Produktionssystemen</i>	<i>19</i>
B-3.2 Ergebnisse der Systemanalyse: Beschreibung wichtiger Einflussfaktoren für Pflanzenbau und Nutztierhaltung	20
B-3.3 Wirkung von Faktoren auf Zielkriterien	26
B-3.4 Ergebnisse der beispielhaften Betriebsbewertungen	32
<i>B-3.4.1 Ergebnisse für zwei Milchvieh-Modellbetriebe</i>	<i>32</i>
<i>B-3.4.2 Ergebnisse zu je zwei Praxisbetrieben mit Milchvieh- und Mastschweinehaltung</i>	<i>34</i>
<i>B-3.4.3 Ergebnisse der subjektiven Betriebsbewertungsmethode und objektive Klimadaten</i>	<i>37</i>
B-4 Schussfolgerungen & Ausblick	43
Danksagung	44
Literaturverzeichnis	45
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	49

Kurzfassung

Die landwirtschaftliche Nutztierhaltung einschließlich Futtererzeugung ist vom Klimawandel unmittelbar betroffen. Bisher wurden Überlegungen zum Umgang mit Klimawandelfolgen (KWF) in der Nutztierhaltung zumeist entweder auf die Politikberatung hin ausgerichtet oder auf die technische Anpassung von Haltungssystemen reduziert. Anwendbare Konzepte zur Bewertung von Einzelbetrieben hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit gegenüber KWF, die die vielfachen Beziehungen zwischen verschiedenen Betriebselementen berücksichtigen, fehlen bislang. Ziel des gegenständlichen Projektes war es daher, eine Methode zur Beurteilung der Anfälligkeit bzw. Widerstandsfähigkeit von tierhaltenden Betrieben gegenüber KWF zu entwickeln, die der gesamtbetrieblichen Komplexität einigermaßen gerecht wird.

Es konnte im Rahmen einer, durch Literaturbefunde ergänzten Systemanalyse gezeigt werden, dass der Einfluss von KWF auf Produktivität, Tierwohl und Tiergesundheit von einer Reihe von Faktoren abhängt, die für die betriebliche Anpassung genutzt werden können (etwa genetisches Potenzial von Futterpflanzen und Tieren, Sicherung der Verfügbarkeit von Futterflächen und kritischer Infrastruktur für Wasser- und Energieversorgung). Die Bewertungsmethode für die Empfindlichkeit gegenüber KWF umfasst 10 Kriterien mit insgesamt 63 Merkmalen. Damit wurden 4 Praxis- und 2 Modellbetriebe mit Milch- bzw. Schweinefleischherzeugung bewertet. Über alle Betriebe hinweg war die Ertragsstabilität bei Futterpflanzen jener Bereich, der höchste potenzielle Anfälligkeit gegenüber dem Klimawandel aufwies; die übrigen kritischen Aspekte variierten je nach Betrieb. Die Gegenüberstellung dieser Ergebnisse mit Klimadaten für Zukunftsszenarien unterstreicht den langfristig nötigen Anpassungsbedarf für tierhaltende Betriebe, die bisher noch kaum diesbezügliche Maßnahmen ergriffen haben.

Abstract

Agricultural animal husbandry, including feed production, is directly affected by climate change. So far, considerations on the adaptation of livestock production systems (PS) to climate change impacts (CCI) mostly focussed on policy advice or were reduced to the technical adjustment of housing systems. Applicable concepts for assessing individual farms in terms of their sensitivity to CCI are still missing, which take into account the multiple relationships between a PS' various elements. Consequently, the aim of this project was to provide a method for assessing the susceptibility and the resistance of livestock farms towards CCI, which reasonably addresses the overall PS complexity.

Based on a system analysis and on literature it was shown that the influence of CCI on productivity, animal welfare and animal health depends on a number of factors, which can be used for the PS' adjustment (e.g. genetic potential of fodder plants and animals, securing access to land for fodder production and to infrastructure for supply with key factors such as water or energy). The method which evaluates the sensitivity to CCI is based on 10 criteria with a total of 63 indicators. Two model farms and four practical farms with milk and slaughter pig production were evaluated. For all farms, yield stability of fodder plants showed the highest potential vulnerability to CCI. The other critical aspects varied, depending on the farm. The comparison of these results with climate data for future scenarios underlines the need for long term-adjustment of livestock farms, which have not yet taken action in this respect.

B-1 Einleitung

B-1.1 Problemstellung

Die Landwirtschaft verursacht anthropogene Klimawandeleffekte mit, ist aber auch einer der am unmittelbarsten betroffenen Sektoren (Rosenzweig et al. 2014). In Österreich kommt der Sektor Landwirtschaft nach aktuellen Ergebnissen des Nationalen Inventars für Klimaemissionen (Anderl et al. 2015) auf 8,6 % der nationalen Treibhausgasemissionen in CO₂-Äquivalenten. Ein großer Teil davon ist direkt und über die Futtermittelbereitstellung indirekt der Nutztierhaltung zuzuschreiben. Werden zusätzlich Emissionen aus den der landwirtschaftlichen Produktion vor- und nachgelagerten Wirtschaftsbereichen im gesamten Feld „Ernährung/Nahrungsmittelbereitstellung“ (wie Düngemittelherstellung, Verarbeitung und Vermarktung bis hin zur Zubereitung der Speisen und Konsumation) mitgerechnet, so steigt der Anteil beträchtlich. Für Deutschland werden bspw. etwa ein Fünftel der klimarelevanten Emissionen dem Bereich Ernährung zugeschrieben (von Koerber und Kretschmer 2007).

Ein Teil dieser Treibhausgas (THG)-Emissionen kann im Sektor Landwirtschaft direkt beeinflusst werden. Ein weiterer Teil der THG-Emissionen des Bereichs Ernährung kann über Managemententscheidungen, bspw. über die Einsatzmengen von mineralischen Düngemitteln, indirekt beeinflusst werden. Der Sektor Landwirtschaft hat die vorgegebenen Reduktionsziele aus der Kyoto-Periode, d.h. eine Verpflichtung auf eine Reduktion um 13%, nach aktuellen Ergebnissen mit den Methoden-Richtlinien nach IPCC (2006) gegenüber dem Basisjahr 1990 erfüllt (-14,5 % für die Periode von 1990 auf 2013, Anderl et al. 2015). Allerdings weisen andere Sektoren (wie v.a. der Verkehr) und auch die gesamten österreichischen THG stetig steigende bzw. etwa gleich hoch bleibende Werte auf, die über den Reduktionszielen liegen (Anderl et al., 2015). So ist beim Trend von 1990 auf 2013 eine Steigerung der gesamten Emissionen in Österreich um 1,2 % ersichtlich, beim Straßentransport gar eine Steigerung um 63,0 % für den Vergleichszeitraum (Anderl et al. 2015). Auch global ist, abgesehen von einer wirtschaftlich bedingten Stagnation in den letzten Jahren, keine allgemeine Trendwende hin zu einer Reduktion der THG in Sicht. Zudem treten die Folgen aktueller THG – besonders für Kohlendioxid – erst mit Verzögerung und lang andauernder Nachwirkung auf (IPCC 2013).

Einen großen Teil der THG-Emissionen kann der Sektor Landwirtschaft nicht bzw. kaum beeinflussen, bekommt aber auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen die Auswirkungen der (anthropogenen) Klimaveränderung zu spüren. Dementsprechend ist es dringend erforderlich, für die Landwirtschaft als einen vom Klimawandel besonders betroffenen Sektor, Anpassungsstrategien an klimawandelbedingte Umweltänderungen als notwendige zweite Säule der Klimapolitik neben dem Klimaschutz zu überlegen. Innerhalb der Landwirtschaft ist die tierische Produktion in ihren Bereichen Pflanzenbau (Futtermittelbereitstellung) und Tierhaltung stark von Klimawandelfolgen (KWF) betroffen (Howden et al. 2007).

Verschiedene landwirtschaftliche Produktionssysteme (PS) weisen aufgrund typischer Standorte, der spezifischen Sensibilität der gehaltenen Tiere für sich ändernde Umweltbedingungen etc. bestimmte Stärken und Schwächen hinsichtlich der Anfälligkeit des PS gegenüber dem Klimawandel auf. Bisherige Arbeiten zu Indikatoren, die den Grad der Bedrohung durch bzw. des Anpassungspotenzials an den Klimawandel erfassen können, sind auf nationale Ebenen (Politikberatung) hin ausgerichtet (siehe Schönthaler et al. 2010). Konkrete und detaillierte Betrachtungen auf der Einzelbetriebsebene fehlen weitgehend und waren daher das übergeordnete Ziel der vorliegenden Arbeit. Überlegungen zum Umgang mit Klimawandelfolgen einschließlich Anpassungsstrategien werden derzeit in die Betriebsentwicklung kaum einbezogen; in dieser Hinsicht sollte das gegenständliche Projekt Anstöße und ein brauchbares Werkzeug für eine Betriebsanalyse liefern, besonders für eine mittel- bis langfristige Betriebsplanung. Für produktionstechnische Interventionen im Bereich der Nutztierhaltung (z.B. Stallneubauten, Adaptation der Haltungssysteme bzw. des Umweltmanagements einschließlich der Futterbereitstellungssysteme, Berücksichtigung kritischer Fakto-

ren in den Zuchtstrategien) ist die Klimawandelthematik vielfach noch kein Bestandteil der Entscheidungsgrundlagen. Bei der Betrachtung der Wirkungskdauer vieler dieser Entscheidungen ist jedoch festzustellen, dass die Auswirkungen des Klimawandels berücksichtigt werden sollten.

Bisher fehlen für die Betriebsberatung methodisch fundierte Werkzeuge, mit denen Betriebe hinsichtlich ihrer Anfälligkeit bzw. Widerstandsfähigkeit gegenüber Klimawandelfolgen charakterisiert werden können; solchermaßen sind auch keine fundierten Abschätzungen der Erfolgsaussichten von Einzelmaßnahmen bzw. Strategien zur Anpassung möglich.

Aus der Literatur (siehe Kapitel 3.1, Ergebnisse der Literaturrecherche) lässt sich auch folgern, dass in bisherigen Strategien und Maßnahmen zur Klimawandelanpassung Aspekte der Nutztierhaltung zumeist auf die Betrachtung von Haltungssystemen und auf andere spezifische Bereiche reduziert wurden. Es fehlt dabei eine umfassende, systemare Analyse unterschiedlicher Aspekte im Wirkungsgefüge der Klimawandelfolgen auf eine nachhaltig produktive und tiergerechte Nutztierhaltung, die auch den Bereich Futterpflanzenbau integrieren. Neben Aspekten der Haltung sollten auch die Produktionssysteme determinierende Faktoren wie Fütterung inkl. Futterbereitstellung oder genetisches Potenzial und andere, in diesem Kontext relevante Eigenschaften integriert werden (siehe folgendes Kapitel 1.2, Ziele des gegenständlichen Forschungsprojektes).

B-1.2 Ziele des gegenständlichen Forschungsprojektes

Ein erstes Ziel der vorliegenden Studie war die Identifikation der Klimawandelfolgenbedingten Einflussfaktoren und der Elemente in Ökosystemen bzw. in tierhaltenden PS, die von Klimawandelfolgen vorrangig betroffen sind. In einer gemeinsamen Betrachtung dieser Einflussfaktoren und Elemente mittels einer Systemanalyse werden deren Interaktionen und die wichtigsten Stellschrauben/Angriffspunkte analysiert. In Kapitel 2.1 (Material und Methoden) sowie in den Kapiteln 3.1 (Ergebnisse zur Literaturanalyse) und 3.2 (Ergebnisse der Systemanalyse – wichtige Einflussfaktoren für Pflanzenbau und Nutztierhaltung) werden die Herangehensweise, die Inhalte und Ergebnisse dazu ausgeführt.

Ein zweites Ziel der Studie war die Bereitstellung einer Checkliste mit der Beschreibung von Faktoren, die in tierischen Produktionssystemen (Milchrinder und Mastschweine) im Kontext Klimawandel beachtet werden sollten – sofern sie eben für das betrachtete PS relevant sind. Diese Checkliste stellt einen kondensierten Auszug aus den Ergebnissen von Kapitel 3.1 unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus Kapitel 3.2 dar und wird in Kapitel 3.3 beschrieben. Die Methoden und das Material dazu sind in Kapitel 2.2 erläutert.

Das dritte Ziel der vorliegenden Studie war die Entwicklung einer (MS-Excel-basierten) Bewertungsmethode, die in einer Folgeversion auch als Selbstevaluierungstool zur Verfügung stehen sollte und die geeignet ist, um auf Betrieben den Grad der Anfälligkeit bzw. die Widerstandsfähigkeit sowie die Erfolgsaussichten der Anpassung an erwartete Klimawandelfolgen zu erheben. Die methodische Herangehensweise wird in Kapitel 2.2 beschrieben.

Die Bewertungsmethode basiert auf der Checkliste (siehe Ziel 2) bzw. auf Ergebnissen des Kapitels 3.1. Die Ergebnisse zur Bewertung werden in Kapitel 3.3 wiedergegeben. Dieses inkludiert auch ausgesuchte Ergebnisse zum vierten Ziel, der Analyse von jeweils zwei Praxisbetrieben mit Milcherzeugung bzw. Mastschweinen sowie von zwei Modellen für Milchviehbetriebe. Neben der teilweise subjektiven Betriebsbewertung auf Basis eines BetriebsleiterInnen-Interviews werden auch objektive Klimadaten für die untersuchten Standorte in die Analyse mit einbezogen und betriebliche Optimierungsmaßnahmen abgeleitet. Abgeleitete Lösungsansätze werden auch bezüglich ihrer Beziehungen zu Klimaschutz-Maßnahmen bzw. allgemein einer nachhaltigen Entwicklung bewertet.

Weitere Ziele der Studie sind die Publikation ausgewählter Projektergebnisse in wissenschaftlichen bzw. populärwissenschaftlichen Medien, die Erstellung einer für InteressentInnen zugänglichen Version 1.0 der Bewertungsmethode (siehe Kapitel 4.3, Schlussfolgerungen und Ausblick).

B-2 Material und Methoden

B-2.1 Literaturrecherche, ExpertInnen-Wissen und Qualitative Systemanalyse

B-2.1.1 Literaturrecherche

Am Beginn der Arbeiten für das gegenständliche Projekt erfolgte eine Literaturrecherche zum aktuellen Stand des Wissens aus der nationalen und internationalen Fachliteratur zu Wirkungen des Klimawandels auf Tierwohl und „nachhaltige Produktivität“ von Nutztieren inkl. Effekten auf Futtererzeugung und für landwirtschaftliche Produktionssysteme allgemein.

Nach einer ersten Phase mit „offener Suche“ bei der Literaturrecherche, wurde später Literatur auch gezielt auf Basis des im Folgenden beschriebenen ExpertInnen-Wissens gesucht.

Die Analyse von Klimawandelfolgen auf tierhaltende Betriebe wurde in der vorliegenden Studie auf den zeitlichen Rahmen bis 2050 und das geografische Gebiet Österreichs eingeschränkt. Bereits bei der Durchführung der Literaturrecherche wurde ersichtlich, dass die internationale Literatur neben allgemeinen Grundlagen vorrangig Ergebnisse und Bezüge zu jenen Regionen beinhaltet, die schon jetzt Probleme mit Wasserknappheit (v.a. hinsichtlich Pflanzenbau) und Hitze (v.a. betreffend Nutztierhaltung) aufweisen, und für die weitere Verschlechterungen prognostiziert werden. Die Literaturanalyse beinhaltet daher die nationale sowie die deutschsprachige Literatur, da für diese vermutet wird, regionale Probleme und regional angepasste bisherige Lösungsstrategien am besten abzudecken. Zusätzlich wurde die internationale (englischsprachige) Literatur zum Themenbereich Klimawandelfolgen und Adaptation analysiert und Ergebnisse daraus – wenn sie auch für nationale Gegebenheiten relevant sind – im weiteren Projektverlauf, d.h. der Erstellung der Indikatoren-Checkliste und der Betriebsbewertungsmethode verwendet.

B-2.1.2 Qualitative Systemanalyse

Die Systemanalyse beginnt mit

- einer Definition der räumlichen und zeitlichen Skala (z.B. Österreich; von 2015 bis 2050),
- der Festlegung von Systemelementen und Einflüssen von außen ins System bzw. Wirkungen vom PS nach außen,
- der Dokumentation von Beteiligten und betroffenen Akteuren und
- von Rahmenbedingungen sowie von Stärken und Schwächen des zu untersuchenden Systems.

Die Definition der Systemelemente und der Einflussfaktoren (die auf Systemelemente wirken) erfordert deren Beschreibung und die Bewertung der Ausprägung ihrer Beziehungen untereinander (positive und negative Wirkung in verschiedener Stärke, hier von -3 bis +3). Als Systemelemente bzw. Einflussfaktoren werden jene treibenden Kräfte eines Systems bezeichnet und in die Analyse mit einbezogen, welche dessen Entwicklung wesentlich steuern; weniger bedeutende Elemente werden bei der Systemanalyse mitunter weggelassen, um das zu analysierende System überschaubar zu halten.

Auf Basis von Literaturrecherche und ergänzend von ExpertInnenwissen wurden die 20 bis 30 wichtigsten Systemelemente und Einflussfaktoren, die auf das Gesamtsystem wirken, definiert und zur besseren Nachvollziehbarkeit in zwei Subsysteme aufgeteilt.

Die zwei Subsysteme beschäftigen sich erstens mit „Klimawandelfolgen und Pflanzenbau“, zweitens mit „Klimawandelfolgen und Nutztierhaltung“. Für beide Themenbereiche wurden direkte sowie indirekte Wirkungen (Impacts) zwischen Systemelementen mittels der qualitativen Systemanalyse festgelegt. Dazu wurde die Software Systain SystemQ (Scholz und Tiet-

je 2002; Tietje 2013) verwendet. Diese Festlegung erfolgt auf Basis von ExpertInnenwissen sowie der Fachliteratur. Details zu Möglichkeiten der Analyse mit der Software, z.B. zur automatisierten Charakterisierung der Systemelemente in die Gruppen der aktiven, passiven, ambivalenten oder puffernden Systemelemente, sind bei den Ergebnissen der Systemanalyse in Kapitel 3.2 beschrieben.

Die Ergebnisse der Systemanalyse wurden auch dazu herangezogen, wichtige Aspekte für die Erstellung der Checkliste sowie im Weiteren der Betriebsbewertungsmethode zu identifizieren. In einem dynamischen Entwicklungsprozess wurden bei der Checkliste sowie der Betriebsbewertungsmethode hinzukommende Indikatoren in eine zweite Schleife der Systemanalyse einbezogen und die Methode solchermaßen verbessert.

B-2.1.3 Entwicklung der Indikatoren-Checkliste und der Betriebsbewertungsmethode

Folgend wurde eine Liste mit relevanten Indikatoren („Checkliste“) erstellt, die für Pflanzenbau und Nutztierhaltung Klimawandelfolgen für ein Produktionssystem charakterisieren. Dies inkludiert für einige Indikatoren Tierart-spezifische Klimawandelfolgen und Anpassungsstrategien und nimmt Bezug auf den Erhalt der Produktivität sowie auf Tierwohl und Tiergesundheit.

Viele Indikatoren stammen von internationaler Literatur zu „Klimaresilienz“. Zwei Projekte sind hier besonders zu nennen (siehe auch Kapitel 3.1.2): Choptiany et al. (2014) und The International Institute for Sustainable Development (2012). Zusätzlich wurden die SAFA-Richtlinien (FAO 2013; Sustainability Assessment of Food and Agriculture systems – guidelines & indicators) als Grundlage verwendet, um wichtige Indikatoren zu definieren, die für die nachhaltige Entwicklung landwirtschaftlicher PS bedeutend sind und mit KWF in Verbindung stehen. Dies betrifft Indikatoren in allen Dimensionen der Nachhaltigkeit, d.h. „Ökologische Integrität“, „Ökonomische Resilienz“, „Soziale Integrität“ und „Betriebsführung“. Daneben wurden Studien zu KWF und Optionen der Adaptation bei Tierhaltung, Futterbau, etc. herangezogen, siehe hierzu Grundlagen in Nelson et al. (2009) oder Howden et al (2007) und v.a. das Kapitel 3.1.1.

Zur Beurteilung der Wirkung der Indikatoren auf bestimmte Kriterien wurden weitere Literaturquellen verwendet, wie dies am Beispiel des Indikators „Managementpläne“ (siehe Tabelle 3 in Kapitel 3.3) verdeutlicht werden sollte: Grundlegend wurde der Indikator auf Basis wissenschaftlicher Literatur (Choptiany et al. 2014, FAO-Projekt „SHARP“) in die Liste aufgenommen. Spezifische Literaturquellen belegen seine Verbindung zu den beurteilten Kriterien: Poiger et al. (2005) beschreiben bspw. die positive Wirkung von Managementplänen auf den Schutz von Wasserreserven. Starz (2010) beschreibt den Schutz bzw. die effiziente Nutzung von externen Produktionsmitteln durch Managementpläne. Schmitz et al. (2010) weisen u.a. auf den Schutz von Biodiversität durch Managementpläne hin. Für die Einschätzung der Wirkung von Managementplänen auf Rentabilität wurden eigene Berechnungen auf Basis betriebswirtschaftlicher Analysen des Projekts „Nachhaltige Milch“ (Hörtenhuber et al. 2013) herangezogen.

Basierend auf der Indikatoren-Checkliste wurde ein einfaches Bewertungsmodell (MS-Excel-Anwendung) erstellt, mit dem folgende mögliche Konsequenzen von Klimawandelfolgen anhand der spezifischen Ausprägung relevanter Indikatoren mittels BetriebsleiterInnen-Interviews betriebsindividuell semi-quantitativ charakterisiert werden:

- Risiko für reduziertes Tierwohl bzw. reduzierte Tiergesundheit und verminderte tierische Produktivität,
- Risiko für verminderte Produktivität im Futterpflanzenbau inkl. Berücksichtigung von Resilienzaspekten in den betroffenen Agrar-Ökosystemen (durch Managementeinflüsse auf die Bereiche Boden oder Biodiversität),
- Ausmaß der Widerstandsfähigkeit bzw. des Anpassungspotenzials eines Betriebs an Klimawandelfolgen inkl. Berücksichtigung von ökonomischer Resilienz.

Ein Teil der Indikatoren geht mit kontinuierlichen Ausprägungen zwischen 0 und 1 (z.B. für Anteile von Flächen mit bestimmten Eigenschaften) in die Bewertung ein. Ein großer Teil der Indikatoren folgt drei Ausprägungsstufen (0 / 0,5 / 1 – entsprechend den Attributen „schlecht“, „nicht“ oder „kaum“ über „mäßig“ bis „gut“ oder „zur Gänze“) oder fünf Ausprägungsstufen. Skalen für andere Indikatoren folgen einer binären Ausprägung, d.h. es kommen nur die Werte 0 oder 1 vor.

Die Beurteilungsskala beschreibt den Zielerreichungsgrad für die Kriterien in Quantilen zwischen „negativ“ (0 % bis 20 %) über „mangelhaft“, „mittelmäßig“ und „mäßig bis gut“ bis „sehr gut“ (>80 % bis 100 %). Die Ergebnisse für Ausprägungen der bewerteten Kriterien wurden grafisch in Form eines Spinnendiagramms nach einem Ampelschema bewertet (rot: für den jeweiligen Indikator bzw. Kriterium ist ein bedeutendes Risiko gegeben bzw. ist die Anpassung an die Folgen ungenügend; orange: Risiko scheint gegeben bzw. das Anpassungspotenzial ist mangelhaft; gelb: begrenztes Risiko bzw. mäßiges Anpassungspotenzial; helles grün: geringes Risiko bzw. gutes Anpassungspotenzial; dunkles grün: kein erkennbares Risiko bzw. sehr gutes Anpassungspotenzial).

Optimierungspotenziale wurden betriebsindividuell analysiert und an die Betriebe rückgemeldet. Aus der hier vorgestellten Betriebsbewertungsmethode wurde dieses Optimierungspotenzial insofern abgeleitet, als die Indikatoren mit mangelnder Ausprägung auf ihre Wirkung auf Kriterien hin untersucht wurden. Je größer das noch zu realisierende betriebliche Potenzial (d.h. je schlechter die Ausprägung des Indikators auf einem Betrieb) ist und je stärker der Indikator auf Kriterien wirkt, desto höher stellt sich sein Optimierungspotenzial dar.

B-2.2 Analyse von Fallbeispielen (Modellbetriebe und Praxisbetriebe)

Es werden zwei Milchvieh-Modellbetriebe und je zwei Praxisbetriebe mit Milchvieh- bzw. Mastschweinehaltung mit der entwickelten Bewertungsmethode analysiert. Diese erlaubt die Berücksichtigung der subjektiven Stärken-Schwächen-Einschätzung aus BetriebsleiterInnen-Interviews. Darauf aufbauend werden Optimierungsmaßnahmen für die Risikobereiche bzw. jene Indikatoren abgeleitet, die größtmögliche Verbesserung versprechen. Die Datenaufnahme für die Bewertung der Praxisbetriebe erfolgte auf Basis von BetriebsleiterInnen-Interviews. Für die Bewertung der zwei Modellbetriebe wurden Parameterwerte von zwei konkreten Betrieben aus dem Projekt *Farmlife* (siehe Herndl et al. 2012) sowie statistische Daten und Annahmen verwendet.

Der subjektiven Stärken-Schwächen-Einschätzung durch BetriebsleiterInnen-Interviews wird eine auf Basis von Klimaszenarien modellierte Entwicklung von klimatischen Kennzahlen (BOKU-Met 2015) für den Zeithorizont bis 2050 bzw. bis 2100 gegenübergestellt. Dazu wurden vom Institut für Meteorologie an der BOKU Daten für die Betriebsstandorte (Milchrinder: Mühlviertel und öö. Alpenvorland; Mastschweine: nordöstliches Flach- und Hügelland und öö. Alpenvorland) spezifisch ausgewertet (BOKU-Met 2015). Dies inkludiert einerseits in die Fläche übertragenen Daten von Messreihen des BOKU-Met für 2003 bis Ende 2014, andererseits nach einem Klimaszenario für die Vergangenheit und die Zukunft (1951 bis Ende 2100) berechnete Klimadaten. Zu folgenden klimatischen Kennwerten wurden dazu Daten übermittelt: 1) zum THI (temperature humidity index) auf Tagesbasis: dieser kann herangezogen werden, um für Tiere den Hitzestress in einem Haltungssystem abzuschätzen. Die einfache Version des THIs bezieht nur Temperatur und Luftfeuchtigkeit mit ein (siehe NOAA 1976); diese Methode wurde zur Abschätzung für Schweine angewendet. Ein modifizierter THI nach Mader et al. (2006) wurde für Rinder verwendet, der auch die Sonneneinstrahlung und die Luftgeschwindigkeit inkludiert. In beiden Fällen beziehen sich die verwendeten Parameter auf Außenklimafaktoren, d.h. die Außentemperaturen, die Luftfeuchtigkeit im Freien, ungetrübte/unbeschattete Sonneneinstrahlung und ungebremste Luftgeschwindigkeit. Die THIs gelten direkt also nur für auf der Weide (und allenfalls in großen Ausläufen) gehaltene Tiere; in Stallhaltungssystemen sind viele der angesprochenen Parameter im Vergleich zum Außenklima modifiziert. 2) zu Start, Ende und Dauer für Vegetationsperioden, zu Hitzetagen, Wasserbilanzen (für Vegetationsperioden, für den Sommer (Juni bis August) und über das

ganze Jahr) wurden Daten auf Jahresbasis übermittelt. Ebensolche Daten auf Basis des Jahres wurden für die Relation Niederschlag zu berechneter Verdunstung (Evapotranspiration nach Penman–Monteith; Allen et al. 1998) übermittelt. Der Zwölfjahreszeitraum für die gemessenen (Basis-) Daten wird auch für den Zeitraum um 2050 (2045-2056) sowie für die 12 Jahre bis 2100 (2089-2100) verwendet.

Ziel der Gegenüberstellung ist die Untersuchung zweier Fragestellungen: ob 1.) Landwirte beim Interview die regionale klimatische Entwicklung (v.a. Temperaturen und Niederschläge) ähnlich zu objektiven Klimadaten einschätzen und ob 2.) sich Unterschiede zwischen den Standorten so wie sie in Klimadaten zu finden sind auch in subjektiven Stärken-Schwächen-Einschätzung aus BetriebsleiterInnen-Interviews ähnlich wiederfinden. Nachdem es sich nur um eine äußerst kleine Stichprobe (vier Betriebe) handelt, werden hierzu keine grundlegenden Ergebnisse, aber vielleicht die eine oder andere Erklärung erwartet.

B-3 Ergebnisse und Diskussion

B-3.1 Literaturanalyse

B-3.1.1 Klimawandelfolgen und Effekte auf Nutztierhaltung und Futterpflanzenbau

Aus der Analyse der internationalen wissenschaftlichen Publikationen der letzten Jahre zu Klimawandelfolgen (KWF) und Tierhaltung lässt sich schlussfolgern, dass sich diese primär mit jenen Regionen beschäftigen, wo klimatische Bedingungen bereits jetzt für die Tiere grenzwertig sind, und wo sich eine weitere Verschärfung der Problematik abzeichnet (siehe u.a. Thornton et al. 2009; Nardone et al. 2010). Vielfach behandeln Studien zu KWF und Tierhaltung daher Entwicklungsländer und deren Produktionssysteme, die zumeist in Form von Subsistenzwirtschaft die lokale Bevölkerung versorgen.

Hoffmann (2010) beschreibt, dass Klimawandeleffekte in den aktuellen nutztierwissenschaftlichen Studien (noch) nicht stark berücksichtigt werden, da sie langsam vonstatten gehen und aktuell größere, kurzfristige Herausforderungen im Bereich Nutztierhaltung anstehen, vorrangig die global steigende Nachfrage nach tierischen Lebensmitteln. Dies gilt wohl besonders für die gemäßigten Breiten, in denen sich die Effekte des Klimawandels noch nicht so drastisch wie in anderen Weltteilen abzeichnen oder in denen gegenwärtig sogar die positiven Effekte des Klimawandels, vorwiegend aufgrund der höheren Temperaturen, vorherrschen.

Relevante internationale Studien beschreiben mit Fokus auf KWF und Nutztierhaltung primär folgende fünf grundlegende Themen: 1) Hitzestress und Thermoregulierung, 2) (Stress durch) unzureichende Futter- und Wasserversorgung, 3) Stress durch erhöhten Krankheitsdruck, 4) Adaptationen in Haltungssystemen, 5) Anpassung der tierischen Genetik (d.h. bessere Anpassung gegenüber Hitze oder Krankheiten bzw. Erhöhung der Produktivität). Internationale wissenschaftliche Publikationen zur spezifischen Thematik KWF und Futterproduktion konnten – unabhängig von Tierhaltungsaspekten – nicht gefunden werden; daher ist dieser Thematik in den folgenden Unterkapiteln kein eigenes Kapitel gewidmet. In der praxisrelevanten, nationalen bzw. deutschsprachigen Literatur (Kapitel 3.1.1.7) wird darauf jedoch eingegangen.

In den folgenden Unterkapiteln werden zu den fünf oben genannten Themenfeldern im Bereich KWF und Nutztierhaltung grundlegende Zusammenhänge aus der wissenschaftlichen Literatur wiedergegeben. Darauf folgt in einem weiteren Unterkapitel der Vergleich zwischen verschiedenen Produktionssystemen und zwischen verschiedenen Regionen. Den Abschluss der Literaturanalyse bildet die Darstellung spezifischer Themen aus der nationalen bzw. deutschsprachigen, d.h. regional bedeutenderen und oft praxisrelevanteren Literatur.

B-3.1.1.1 Hitzestress und Thermoregulierung

Bei Nutztieren existieren deutliche Unterschiede zwischen Arten und Rassen in Bezug auf Hitzestress. Wiederkäuer weisen aufgrund anderer Anatomie und Physiologie höhere Hitzetoleranz als Monogastriden auf, es existieren allerdings Überschneidungen. Verantwortlich dafür sind die tierart- und rassenspezifischen Funktionen von Haut und Haaren sowie den inneren Organen (z.B. Möglichkeiten zu Schwitzen und die Kapazität der Atmung/Lungengröße, Isolierung durch äußere Gewebeschichten, Relation zwischen Oberfläche und Körpermasse, endokrinologische Systeme, etc.). Viele zugrundeliegende physiologische oder genetische Zusammenhänge sind noch unbekannt (Hall 2004; McManus et al. 2008; beide zitiert nach Hoffmann 2010).

Bei Rindern sind jene der Art *Bos indicus* prinzipiell besser an hohe Temperaturen und trockene Verhältnisse angepasst als die bei uns anzutreffenden Rinder der Art *Bos taurus* (Burns et al. 1997). Die global bedeutenden und auch in gemäßigten Breiten vorkommenden

Vertreter werden aufgrund ihrer verhältnismäßig hohen Leistungen allerdings zumeist bevorzugt eingesetzt. In den allermeisten der betrachteten internationalen wissenschaftlichen Studien wird die Beachtung der Genetik der Tiere hinsichtlich Hitzestress bzw. die Züchtung auf höhere Hitzetoleranz angesprochen (siehe u.a. Hoffmann 2010, Nardone 2009, Thornton 2009), wobei teilweise auf relativ eindeutige phänotypische Charakteristika wie Fellfarbe Bezug genommen wird (Brown-Brandl et al. 2006). Auch für gemäßigte Breiten bringt Rowlinson (2008) – mit schwächerer Betonung – die Frage der Selektion auf verbesserte Hitzetoleranz in die Diskussion.

Auf die Relevanz der Selektion auf Hitzetoleranz, um die generelle Robustheit von Schweinen zu erhöhen hat Knap (2005) hingewiesen. Unterschiede in der Hitzetoleranz zwischen unterschiedlichen genetischen Herkünften wurde für Merkmale der Reproduktionsleistung von Sauen belegt (Bloemhof et al. 2008).

Es besteht ein grundsätzlicher Einfluss des Hitzestress auf das Auftreten Krankheiten (durch Immunsuppression) und Mortalitätshäufigkeit, auf Fruchtbarkeit und andere Leistungsmerkmale, bspw. Wachstum, Milchmenge, Eizahl/-masse. Die Mechanismen, die zu verringerter Leistung führen umfassen v.a. Futteraufnahmepression („Akklimatisierung“; siehe u.a. Nardone et al. 2009) und einen höheren (Erhaltungs-) Energiebedarf infolge Thermoregulierung (siehe u.a. Hoffmann 2010). Für Milchleistungen kann bei hohen Temperaturen (und unzureichend kompensierendem Management) die Gefahr von Mastitis deutlich ansteigen und einen weiteren Rückgang bewirken (Nardone et al. 2009). Bei längerem Hitzestress erfolgt allgemein eine Änderung des Hormonstatus und der Stoffwechsellage (siehe in Nardone et al. 2009 zitierte Literatur). Um einem Einbruch der Leistungen entgegenzuwirken, bedarf es aufgrund der Futtermengenreduktion einer Anpassung der Nährstoffdichte in Rationen (Hoffmann 2010). Einer Verringerung der metabolischen Wärmeproduktion lässt sich auch über geänderte Nährstoffzusammensetzung erreichen (Erhöhung Fettanteil und Reduktion Kohlehydrat- bzw. Proteinanteil; Spencer et al. 2005; Black et al. 1993; Schoenherr et al. 1989).

Bei steigenden Leistungen steigt in der Regel die metabolische Wärmeproduktion und die Toleranz gegenüber Hitze geht zurück (Zumbach et al. 2008, Dikmen & Hansen 2009). Die wissenschaftlichen Kenntnisse mit einem Schwerpunkt der Studien in den 1970er und 1980er-Jahren weisen dazu jedoch noch große Lücken und Unsicherheiten auf (Hoffmann 2010). Für Weidetiere stehen laut Hoffmann (2010) bspw. Messungen bzw. Modelle aus, die bestimmte Klimafaktoren wie Netto-Sonneneinstrahlung oder Luftgeschwindigkeit sowie die tierbezogenen Faktoren (Alter, Laktationsstatus, Gesundheit- und Ernährungszustand, Leistungen, emotionaler Zustand des Tieres oder Management-Effekte) adäquat inkludieren, um damit Hitzestress und Auswirkungen auf verminderte Leistungen gut abzuschätzen.

B-3.1.1.2 (Stress durch) unzureichende Futterqualität und Futtermengen sowie Wasserversorgung

Hoffmann (2010) verweist auf eine Reihe von Arbeiten, die zeigen, dass die genetisch festgelegte Sensibilität hinsichtlich eines Leistungsrückganges für unzureichende Futtermengen höher als für Hitzestress ausfällt. Verschiedene Rassen zeigen unterschiedliche Mobilisierung von Nährstoffen und unterschiedliche Verhaltensweisen oder Leistungsbereitschaft, wenn Futterknappheit durch (u.a.) KWF, besonders auf der Weide, auftritt.

Während bei hohen Futterqualitäten *Bos taurus*-Rinder eine allgemein günstigere Futterverwertung aufweisen, können *Bos indicus*-Tiere besser mit geringerwertigen Futtermitteln umgehen, bringen aber entsprechend geringere Leistungen (Albuquerque et al. 2006).

Viele Kulturen im Pflanzenbau sind von biotisch und abiotisch bedingten Schäden betroffen, mit denen Erntemengen und Futterqualität zurückgehen (siehe u.a. Rowlinson 2010, Hoffmann 2010). Nach Rowlinson (2010) sind vor allem Wiederkäuer in extensiven PS mit lokalen Futterquellen von Klimawandelwirkungen auf Pflanzenbau betroffen; für Schweine und Geflügel, die vor allem in intensiven PS eher von Kosten für Zukaufsfutter, von Transportmöglichkeiten und deren Kosten und vom Konflikt „Lebensmittel vs. Futtermittel vs. Agro-

energie bzw. agrarische Rohstoffe“ abhängig sind, trifft der Einfluss von KWF auf die Futterbereitstellung weniger unmittelbar zu.

Hinsichtlich Pflanzenbau bzw. Futterbereitstellung lässt sich aus der Sicht der Tierernährung zusammenfassend nach Rowlinson (2010) feststellen, dass für gemäßigte Breiten die Temperaturerwärmung per se eher einen Vorteil darstellt. Auch Trnka et al. (2011) weisen für Erträge im Pflanzenbau eher Vorteile als Nachteile für den Klimawandel in Europa aus. Dies trifft besonders für Nord- und Nord-West-Europa zu; für Südeuropa werden die Erträge dagegen zurückgehen. Ein Rückgang ist auch für die z.T. in Österreich gelegene agroökologische Zone „Alpiner Süden“ zu erwarten, die sich an mediterranes Klima annähern wird. Nach Dumont et al. (2015) muss für die Grünlandfutterqualität in alpinen (und mediterranen) Gebieten gegenüber dem status quo mit keinem signifikanten Rückgang gerechnet werden. Dies deckt sich auch mit nationalen Ergebnissen (Pötsch et al. 2014). Thaler et al. (2012) geben für Zentraleuropa (am Beispiel der Ackerbauregion Marchfeld in Ostösterreich) einen Rückgang der Erträge bei Getreide aufgrund eines Wasserdefizits an, wobei in der Praxis Maßnahmen wie Hecken Abhilfe schaffen können. Grundlegende Zusammenhänge zwischen Ackerbau sowie Grünlandwirtschaft und dem Klimawandel, z.B. betreffend Physiologie der Pflanzen sind u.a. in einer Übersichtsarbeit von Tubiello et al. (2007) beschrieben.

In Regionen mit guter Wasserversorgung werden höhere Temperaturen günstigere Verhältnisse für Maisanbau schaffen (siehe u.a. Rowlinson 2010, Nardone et al. 2009). Mit einem für die meisten Regionen erwarteten Rückgang der Niederschläge während der Vegetationsperiode, d.h. einer reduzierten Wasserbilanz, ist jedoch ein potenzieller Rückgang von Trockenmasseerträgen zu erwarten, sofern nicht Bewässerung eingesetzt wird. In trockenen Gebieten kann Mais bspw. durch die hinsichtlich Wasserbedarf günstigere Hirse ersetzt werden (Nardone et al. 2009). Der Großteil des global genutzten Wassers wird von der Landwirtschaft benötigt, ein großer Teil davon für Bewässerungszwecke (siehe u.a. Hoekstra und Chapagain 2006: 86 % des globalen Wasserfußabdrucks sind der Landwirtschaft anzurechnen). Im Mittelmeerraum werden schon jetzt 60–80 % der Wasserreserven für die Bewässerung verbraucht, im Durchschnitt Europas etwa ein Viertel (EEA 2009).

Der Anstieg des Wasserbedarfs von Tieren mit der Umgebungstemperatur ist beachtlich: Am Beispiel der Rinder (*Bos taurus*) lässt sich feststellen, dass je kg Futtertrockenmasse-Aufnahme bei einer Temperatur von 10 °C gesamt etwa 3 Liter Wasser benötigt werden, bei 30 °C etwa 8 Liter Wasser und bei 35 °C etwa 14 Liter Wasser. Für *Bos indicus* fällt der Bedarf bei gleichen Umgebungstemperaturen je kg verzehrter Futtertrockenmasse mit 3, 5 und 10 Litern im wärmeren Bereich deutlich geringer aus (NRC 1981). Ein Teil des benötigten Wassers stammt vom Futter selbst – je nach Art und Zustand des Futters zwischen etwa 10 % und 80 %.

Wird Tränkewasserbedarf über den Lebenszyklus, d.h. inkl. Bedarf der Aufzucht und exkl. Wasser für das Koppelprodukt Rindfleisch, berechnet, werden etwa 5 Liter je kg Milch benötigt. Mit den Wasserbedarfsmengen der Futterproduktion für 1 kg Milch verglichen, zeigt sich dabei ein Faktor in der Größenordnung 100 (siehe Hörtenhuber et al. 2014). Der allergrößte Teil dieses hohen Futterpflanzen-Wasserbedarfs stammt weltweit und in unseren Breiten aus Niederschlag, regional kommt allerdings die Bewässerung für hohe Anteile davon auf.

B-3.1.1.3 Stress durch erhöhten Krankheitsdruck

Erhöhte Temperaturen erhöhen die Gefahr von durch Vektoren (z.B. Gnitzen, *Culicoides imicola*) übertragenen Krankheiten, z.B. die durch Arboviren verursachte Blauzungenkrankheit. Der Klimawandel erhöht die Gefahr, dass Vektoren in nördlicheren Breiten und höheren Lagen bessere Bedingungen vorfinden und dass Viren damit besser überleben. Allerdings spielen diesbezüglich andere Faktoren eine größere Rolle als der Klimawandel selbst, z.B. die Wanderungen von Wirten aufgrund Veränderungen der Struktur von PS und anthropogen verursachte Änderungen in Ökosystemen (siehe Hoffmann 2010 und darin zitierte Literatur).

Bestimmte Pathogene reagieren sensibel auf höhere Temperaturen und mangelnde Wasserverfügbarkeit. Somit kann für bestimmte Erreger in spezifischen Regionen der Krank-

heitsdruck infolge der KWF auch zurückgehen. Nahrungskonkurrenten für Vektoren, deren Fraßfeinde und Parasiten der Vektoren reagieren ebenso auf Klimaänderungen. Ein komplexes System verschiedener Wirkungen beeinflusst das Auftreten von Krankheiten und macht es daher schwer vorhersagbar (siehe Thornton et al. 2009).

Während Tieren unserer Breiten die Immunität für viele dieser neuen Krankheiten fehlt, sind Tiere aus jenen Regionen, woher die Krankheiten stammen, teilweise tolerant oder resistent. Eine Einkreuzung dieser Genotypen kann gegen Seuchen Abhilfe schaffen; eine wissenschaftliche Untersuchung der physiologischen und genetischen Mechanismen sowie der praktischen Optionen fehlt jedoch für die meisten Krankheiten noch (Hoffmann 2010). In einer Studie der FAO (2007) werden Rassen von Wiederkäuern und Pferden genannt, die bspw. gegen die Schlafkrankheit (Trypanosomiasis), gegen von Zecken übertragene Krankheiten, gegen Endoparasiten oder Dermatophilose tolerant oder resistent sind. Es handelt sich dabei um 59 Rinderrassen, 33 Schafrassen, 6 Ziegenrassen, 5 Pferderassen und 4 Büffelrassen; die meisten davon stammen aus Entwicklungsländern.

Ein Rückgang der Wassermengen (in Gewässern) und der Wasserqualität erhöhen die Gefahr für Krankheiten, die durch Wasser übertragen werden. Auch Überflutungen werden im Zusammenhang mit neuen Krankheiten durch KWF genannt, fehlen zur Bestimmung deren Relevanz aber konkrete Untersuchungen und Ergebnisse (Few et al. 2004; zitiert nach: Thornton et al. 2009).

B-3.1.1.4 Adaptationen in Haltungssystemen

Bezüglich direkter Klimawirkungen auf die Tierhaltung trennt Hoffmann (2010) klar zwischen einerseits Hochleistungstieren in ganzjährigen Stallhaltungssystemen mit einer künstlichen Haltungsumwelt und andererseits Tieren in extensiven PS, bspw. mit Weidehaltung, mit ihren geringen Möglichkeiten der Anpassung an KWF. Für Regionen mit extensiven PS beschreibt Hoffmann (2010) eine deutlich größere Gefährdung der Tierhaltung als für die Regionen mit intensiven PS. Zum gleichen Schluss kommen Thornton et al. (2009) sowie Nardone et al. (2009). Letztere verweisen dabei auch auf eine größere Abhängigkeit von Energie (und Technik), auf klimarelevante Emissionen und auf höhere potenzielle Kosten der industrialisierten Tierhaltung. Hoffmann (2010) weist in diesem Zusammenhang auch auf die grundlegend höhere Resilienz lokal angepasster Rassen gegenüber einer sich verändernden Umwelt im Vergleich zu den Hochleistungsrassen hin.

Adaptationen der Haltungsumwelt beziehen sich für heimische tierhaltende PS vorwiegend auf die Stallhaltung. Nachdem global und v.a. in den vom Klimawandel besonders betroffenen Regionen eine mangelnde Relevanz von geschlossenen Stallhaltungssystemen vorliegt und potenzielle Gefahren für extensive Systeme größer sind, nimmt die wissenschaftliche internationale Literatur relativ wenig Bezug auf die Stallhaltung. Insofern muss an dieser Stelle besonders auf nationale bzw. deutschsprachige und praxisrelevante Literatur (siehe Kapitel 3.1.1.7) verwiesen werden.

B-3.1.1.5 Anpassung der tierischen Genetik

Das Themenfeld „Anpassung der tierischen Genetik“ kann neben einer Züchtung auf bestimmte Merkmale auch einen Austausch der Arten- und Rassenzusammensetzung beinhalten. Die Bevorzugung bestimmter Tierarten oder Rassen kann entweder in Richtung besserer Anpassung der Tiere bzw. des PS an die Standortbedingungen oder in Richtung einer Intensivierung im Sinne eines effizienteren Ressourceneinsatzes sowie geringerer Umweltwirkungen bei Produktbezug (Hoffmann 2010) wirken. Bei der Intensivierung der Produktion wird auf entsprechende Genetik und gleichzeitig auf Änderungen im Produktionssystem (z.B. beim Fütterungssystem) gesetzt. Für extensivere Haltungsformen in Entwicklungsländern kann erstere Strategie mit einem Wechsel von Rindern und Hühnern zu Kleinwiederkäuern Vorteile für Kleinbetriebe gegenüber größeren spezialisierten Betrieben bringen (Seo & Mendelsohn 2007, 2008; zitiert nach Hoffmann 2010). Zweitere Strategie der Intensivierung wird v.a. in Anbetracht einer Reduktion der tierischen Emissionen, primär von Methan durch

Wiederkäuer, ins Auge gefasst. Hoffmann (2010) beschreibt in diesem Zusammenhang mit einer Züchtung auf höhere Leistungen Konzentratfutter-basierte Wiederkäuerfütterung als eine praktizierte Option. Die Beachtung gesteigerter Futterqualitäten und verbesserten Wirtschaftsdüngermanagements wird betreffend geringerer Umweltwirkungen allgemein und auch für Weide-basierte Systeme betont. Die Autorin verweist mit Bezug auf THG-Emissionen differenziert auf Vor- und Nachteile der als „unproduktiv“ bezeichneten lokalen Rassen; eine eindeutige Befürwortung der Intensivierungsstrategie kann daraus nicht abgeleitet werden.

Hoffmann (2010) stellt fest, dass die Zuchtwertschätzung für Vatiertiere in der Regel nur Daten von Hochleistungstieren in Ganzjahresstallhaltung inkludiert. Folglich bestehen für extensivere Haltungssysteme, speziell in wärmeren Regionen, mit hoher Wahrscheinlichkeit Genotyp-Umwelt-Interaktionen und die abgeleiteten Zuchtwerte treffen für diese Systeme nicht zu. Insofern empfiehlt Hoffmann (2010) die Einbeziehung von Hitzetoleranz in Zuchtindizes und die Berücksichtigung der diesbezüglichen Genotyp-Umwelt-Interaktionen bei der Zuchtwertschätzung, um spezifisch die am besten angepassten Tiere identifizieren zu können. Nardone et al. (2009) beschreiben neben der Einkreuzung von hitzetoleranteren Rassen ebenfalls die Einbeziehung von Merkmalen der Hitzetoleranz als eine Möglichkeit, um hier Fortschritte zu erzielen.

Auf die züchterische Bearbeitung der Krankheitsresistenzen wurde zum Teil bereits in obigen Unterkapiteln Bezug genommen (siehe 3.1.1.3). Hoffmann (2010) verweist auf die Züchtung auf Krankheitsresistenzen gegenüber Wurmbefall, Zecken, Mastitisserregern oder *Escherichia coli*.

B-3.1.1.6 *Vergleiche von Regionen und Produktionssystemen*

Rowlinson (2010) schreibt den hinsichtlich Produktionsmitteleinsatz intensiven Produktionssystemen der gemäßigten Breiten allgemein nur geringe Gefährdung durch direkte Klimawirkungen zu. Dies wird damit begründet, dass intensive PS oft von den Futterflächen entkoppelt funktionieren und sie daher weniger auf regionale Flächenproduktivität als vielmehr auf die Verfügbarkeit von fossiler Energie und deren geringe Kosten zum Futtermittelimport angewiesen sind. Entscheidend sind demnach für industrialisierte tierhaltende Betriebe der sogenannten entwickelten Länder Faktoren wie a) die Entwicklung der Weltbevölkerung (sowie ihre Nachfrage nach tierischen Produkten), b) der globale Bedarf an pflanzlicher Biomasse für menschliche Ernährung, Futter, Agrarenergie und agrarische Rohstoffe, c) die Verfügbarkeit und die Kosten von Erdöl (und Energiealternativen). Danach erst nennt Rowlinson (2010) die Verfügbarkeit von Wasserressourcen als kritischen Einflussfaktor von KWF auf die Tierhaltung.

Ein großer Teil jener wissenschaftlichen internationalen Literatur, der (auch) auf gemäßigte Klimazonen bezogen werden kann, beschäftigt sich vorwiegend mit tierspezifischen Aspekten. Es fehlt dabei eine umfassende, systemare Analyse unterschiedlicher Aspekte im Wirkungsgefüge der Klimawandelfolgen auf eine nachhaltig produktive und tieregerechte Nutztierhaltung, die auch den Pflanzenbau inkl. Aspekten mit Funktionen für die Resilienz integrieren. Deshalb werden im folgenden Kapitel die Ergebnisse der Analyse der praxisrelevanten Literatur für regionalspezifische Themen zusammengefasst.

B-3.1.1.7 *Regionalspezifische Themen in der praxisrelevanten Literatur*

Die in der nationalen bzw. deutschsprachigen, d.h. aufgrund der regionalen Nähe oft bedeutenden und v.a. auch unmittelbar praxisrelevanten Literatur behandelten Themen heben sich teilweise von den in der wissenschaftlichen Literatur bearbeiteten Themen ab. Dies liegt auch an regionalen Spezifika, z.B. am gemäßigten Klima sowie dem Umstand, dass ein großer Teil der heimischen Tierhaltung (v.a. der Wiederkäuer) in höhergelegenen alpinen Regionen erfolgt. Aufgrund verhältnismäßig niedriger Wintertemperaturen dominieren traditionell verschiedene Stallhaltungsformen (die durchschnittliche Milchkuh verbringt in Österreich deutlich weniger als 10 % der Zeit auf der Weide, bei Schweinen ist diese Haltungsform

überhaupt vernachlässigbar; siehe u.a. Amon und Hörtenhuber 2008, Amon et al. 2007). Beeinflusst durch die allgemeine Orientierung der landwirtschaftlichen Tierhaltung an Produktivität und ihre Ausrichtung hin zu intensiven Systemen, nahm einerseits der Anteil der Weide- und Freilandssysteme über die letzten Jahrzehnte ab und jener der ganzjährigen Stallhaltung zu (Willerstorfer 2013). Dies führt unter anderem dazu, dass sich die heimische praxisrelevante Literatur vorwiegend mit der Adaptation von Stallhaltungssystemen beschäftigt, wenn es um KWF im Bereich der Tierhaltung geht. Die verhältnismäßig starke Entwicklung der Biologischen Landwirtschaft in den letzten zwei Jahrzehnten, verbunden mit einer teilweisen Extensivierung der PS bzw. einer weniger starken Intensivierung, bewirkte andererseits, dass die Beschäftigung mit bspw. KWF für Weidesysteme in nationalen Beiträgen überhaupt vorkommt (siehe u.a. Starz und Steinwider 2007).

Im Vergleich mit anderen industrialisierten Ländern gibt es in der verhältnismäßig kleinstrukturierten Landwirtschaft in Österreich mit ihren traditionellen Familienbetrieben anstatt industrialisierter Großbetriebe noch einen hohen Anteil von selbst bzw. regional produzierten Futtermitteln, d.h. eine vergleichsweise flächenbezogene Tierhaltung. Dies gilt besonders für die heimische Rinder- und Schweinehaltung, wo abgesehen von zugekauften Proteinkonzentraten die Futtererzeugung größtenteils noch in den Betrieben bzw. in die Regionen integriert ist. Dadurch ergibt sich, dass die Futtererzeugung im Rahmen der Nutztierhaltung für heimische Betriebe eine wesentliche Rolle spielt und auch in der regionalspezifischen praxisrelevanten Literatur daher entsprechend präsent ist.

Grundlegend gilt aber auch für die klimatisch gemäßigten Breiten, dass auf PS bezogene, gesamtsystemare Betrachtungen weitgehend fehlen. Besonders hierzulande scheint das an der aktuell und regional *noch* mangelnden Relevanz problematischer Klimawandelfolgen zu liegen. Bei einem Betrachtungszeitraum bis 2050 bzw. darüber hinaus (bis 2100) ist jedoch eine pro-aktive, vorausschauende Beschäftigung mit dem Thema unverzichtbar. Bezüglich der Auswirkungen des Klimawandels auf den Pflanzenbau werden in der gesichteten nationalen bzw. deutschsprachigen Literatur – die oftmals auf Beratung der Politik bzw. der Landwirtschaft hin ausgerichtet ist – neben einer Beschreibung der Grundlagen vorwiegend folgende Themen behandelt (mit den wichtigsten Ergebnissen; siehe Tabelle 1):

Tab. B-1: Themen und wichtigste Ergebnisse nationaler bzw. deutschsprachiger Literatur zu den Auswirkungen des Klimawandels auf den Pflanzenbau.

Themen	Ergebnisse/Kernaussagen
Ergebnisse von Klimaszenarien: Temperaturanstieg und Auswirkungen von Niederschlägen oder Witterungsextremereignissen; Entwicklung der Erträge im Futterpflanzenbau (Ackerkulturen und Grünland) sowie Anpassungsmaßnahmen im Futterbau (siehe u.a. Pötsch et al. 2014, Gobiet 2010, Eitzinger et al. 2009)	<ul style="list-style-type: none"> • Erwärmung in Österreich um etwa +2°C bis ca. 2040 • Niederschlagsrückgang im Sommer und -anstieg im Winter → zunehmender Hitze- und Trockenstress im Sommer, besonders für niederschlagsarme und wärmere Regionen (v.a. in Ostösterreich) • Bodenspeichervermögen als wichtiger Standortunterschied • Zunahme potenzieller Schäden durch Witterungsextremereignisse; Trocken- und Hitzeschäden, Starkniederschläge (mit Schäden infolge Bodenerosion), Auswinterungsschäden oder Zunahme der Gewitterhäufigkeit (Hagelschäden) könnten v.a. in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts positive Auswirkungen des Klimawandels auf Erträge (verlängerte Vegetationsperiode, Düngungseffekt des steigenden CO₂-Gehaltes der Luft) zunichtemachen • Probleme der Trockenheit nicht nur in ostösterreichischen Trockengebieten, sondern auch in inneralpinen Grünlandregionen • Vermeidung von Grünlandschäden durch bspw. tiefen Schnitt oder Beweidung bei ungeeigneten Bedingungen • Verstärkte Nutzung von Almfutterflächen als Option
Wasserverfügbarkeit (Wasserbilanzen), Wasserbedarf unterschiedlicher Kulturen (inkl. Aspekten von wassersparenden Kulturen, Anbau-	<ul style="list-style-type: none"> • Mit zunehmend knappen oder negativen Wasserbilanzen steigt der Bedarf an (rechtzeitiger und effizienter) Bewässerung gegen Hitze- und Trockenstress • Landnutzungsänderungen, Anpassungen in der Fruchtfolge (z.B. mit trockenheitstoleranteren Kulturen wie Hirse) und von Zwischenfrüchten, Sortenauswahl, Grünlandmischungen (z.B. mit trockenheitstole-

<p>techniken oder Fruchtfolgen) und Bewässerung (siehe u.a. Eitzinger 2010, Drastig et al. 2010)</p>	<p>ranteren Arten wie Glatthafer, Rotschwingel, Trespen, Luzerne, Italienisches Raygras), geeignete Bodenbearbeitung oder Verschiebung des Anbauzeitpunktes stellen weitere Strategien gegen zunehmende Trockenheit dar</p> <ul style="list-style-type: none"> • Maßnahmen zur Vermeidung von Bodenerosion durch Starkniederschläge oder für die Verbesserung des Bodenspeichervermögens (Humus), sollten geplant und umgesetzt werden
<p>Zunahme von Krankheiten, Schadorganismen und Unkräutern mit Klimawandel (biotische Klimawandelfolgen; siehe u.a. Eitzinger et al. 2009)</p>	<p>Bedeutende Veränderungen (Auswahl):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Auftreten von wärmeliebenden Unkrautarten wie Gemeiner Stechapfel (<i>Datura stramonium</i>), Samtpappel (<i>Abutilon avicennae</i>), Kleeseide (<i>Cuscuta sp.</i>), • Ausbreitung von Blattfleckenkrankheit bei Mais (<i>Helminthosporium turcicum</i>) in klimatisch begünstigten Lagen (bspw. Steiermark), Ausbreitung des Maiszünslers und des Maiswurzelbohrers • Befall mit Braunfleckigkeit der Gerste (<i>Cochliobolus sativus</i>) • Befall mit Flugbrand bei Gerste und Weizen (<i>Ustilago nuda</i>)
<p>Risikoabsicherung (siehe u.a. Eitzinger 2010)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Versicherungen als Option für Risikoabsicherung • Sozio-ökonomische Resilienz der Produktionssysteme beachten (Marktentwicklung, Diversität der Produkte,...)

Für den Bereich Tierhaltung sind die wichtigsten Ergebnisse der gesichteten nationalen bzw. deutschsprachigen Literatur in Tabelle 2 dargestellt.

Tab. B-2: Themen und wichtigste Ergebnisse nationaler bzw. deutschsprachiger Literatur zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Tierhaltung.

Themen	Ergebnisse/Kernaussagen
<p>Hitzestress bei Milchrindern (siehe u.a. Gastelner 2014, Brade 2013)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Wenn Milchrindern bei Temperaturen über 30 °C Außentemperatur und einer relativen Luftfeuchte von 35 – 50 % nicht ein gut ventilierter und bspw. mit Wassersprenklern ausgestatteter Stallplatz oder ein schattiger Platz auf der Weide geboten wird, kommt es zu einem deutlichen Rückgang der Milchleistung oder zu Krankheitsbildern wie erhöhten Zellzahlen und Euterentzündungen, Klauenproblemen, verminderter Fruchtbarkeit, Ketose, etc. • Bereits ab einer Umgebungstemperatur von ca. 24 °C und einer relativen Luftfeuchte von rund 70 % resultiert für Milchkühe mit mittlerer Milchleistung (d.h. ≈ 30 Kilogramm Milch je Kuh und Tag) ein beginnender Hitzestress; bei Temperaturen von über 28°C kommen der rel. Luftfeuchte sowie der Luftbewegung eine besondere Bedeutung zu • Die (Grund-) Futteraufnahme geht zurück – dies erfordert eine Überprüfung bzw. Reduktion der zumeist weiterhin hohen Konzentratfutteraufnahme (Vorbeugung von Pansenübersäuerung) • Bezüglich Rationszusammensetzung: zur Aufrechterhaltung der Energieaufnahme können spezifische Ergänzungsfuttermittel wie (pansengeschützte) Fette, Lebendhefen etc. eingesetzt werden; eine Erhöhung der Mineralfuttermenge (um ca. 20 %; inkl. den pH-Wert im Pansen puffernde Substanzen wie Natriumbicarbonat) gleicht den Verlust durch Schwitzen aus • Klinische Fälle von Hitzestress sind selten, subklinische Belastungen bleiben oft unbemerkt und unbehandelt, können aber die oben beschriebenen Krankheiten wesentlich beeinflussen • Der Temperatur-Humiditäts-Index (THI) ist ein geeignetes Maß für Tiere um (auf der Weide bzw. im Freien) Aussagen zur Belastung des Organismus durch Hitzestress zu treffen. THI-Grenzwerte bei Rindern: THI ≥ 72 beginnender Hitzestress, bei THI ≥ 78 bereits deutlicher Hitzestress, bei THI ≥ 82 schwerer/lebensbedrohlicher Hitzestress; • Messungen an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein zeigten bspw. für das Jahr 2013 insgesamt 39 Tage mit THI ≥ 72 und 2 Tage mit THI ≥ 78. → Für (inner-) alpine, traditionelle Regionen mit Rinderhaltung wird eine geringe bis mittelgradige Hitzestressbelastung von Milchkühen ausgewiesen (siehe auch eigene Berechnungen in Kapitel 3.4.3 zu analysierten Standorten)

<p>Maßnahmen gegen Hitzestress in Haltungssystemen bei Milchrinder (siehe u.a. Zentner 2014, Koller et al. 2012)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • In der heimischen Praxis sind viele Milchrinder-Haltungssysteme hinsichtlich Hitzestress nicht optimal ausgestaltet (obwohl sich Investitionen rasch amortisieren würden) • Folgende Aspekte sind bereits bei Planung/Bau eines Rinderstalles zu beachten: <ul style="list-style-type: none"> ○ Ein Offenfrontstall oder eine passende Ausrichtung des Stalls (nach der Hauptwindrichtung, sodass Querdurchlüftung erreicht werden kann, und nach Sonneneinstrahlung) ○ Gedämmte Dachkonstruktionen (Kaltdach mit Hinterlüftung) vermeiden Belastungen der Tiere durch Strahlungswärme ○ Die Bodenbeschaffenheit von Auslauf- oder Liegeflächen ist zu beachten (bei letzteren können bspw. Umsetzungsprozesse einer Stroh-Mist-Matratze oder in einem Kompoststall weitere relevante Wärmequellen darstellen) • Technische Adaptationsmöglichkeiten: <ul style="list-style-type: none"> ○ (drückende und nicht saugende) Ventilatoren (mit frischer angesaugter Luft aus den kühleren nord- oder ostausgerichteten Bereichen), wobei die feuchte und emissionshältige Stallluft ungehindert austreten sollte und der Luftstrom über den Tieren geführt werden sollte; lange Ställe brauchen mehrere Ventilatoren ○ Wasserspenkler/Niederdruckvernebelung oder Hochdruckvernebelung • Geweidete Tiere: Weidezeiten im Hochsommer evtl. in den Morgen, den Abend oder die Nacht verlegen
<p>Abkalbepause gegen Hitzestress bei Milchrindern (siehe Brade 2013)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • In (Stall-) Haltungssystemen mit geringen (technischen) Möglichkeiten zur Luftkühlung könnte eine Abkalbepause zwischen etwa Anfang Mai und Mitte August Abhilfe schaffen, weil die Phasen der höchsten Milchleistung und höchsten Futteraufnahme (d.h. Phasen mit hoher Stoffwechsel-Wärmebildung) dann nicht mit den üblichen Hitzephasen zusammenfallen
<p>Hitzestress bei Mastschweinen (siehe u.a. Holzheu 2014; Zentner und Mösenbacher 2012)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bei Temperaturen von über 28 °C über mehrere Tage werden (Mast-) Leistungseinbußen deutlich sichtbar • Ab einer Temperatur von 23 °C geht bei Zucht- und Mastschweinen die Futteraufnahme zurück (im Mittel um 100 g je Tag und je 1 °C) • Die täglichen Zunahmen gehen im Mittel bei Mastschweinen je 1 °C Temperaturabweichung von der thermoneutralen Zone um – je nach Lebendmasse – 10 bis 22 g zurück • THI-Grenzwert für Schweine: bei ≥ 85 schwerer Hitzestress; Tod durch Kreislaufversagen („Hitzeschlag“) als letzte Konsequenz (siehe auch eigene Berechnungen in Kapitel 3.4.3 zu analysierten Standorten) • Die Problematik des Hitzestress ist für Schweine – physiologisch gesehen – prinzipiell groß, scheint aber infolge der Stallhaltungssysteme für Mastschweine in der Praxis eine geringere Rolle zu spielen
<p>Maßnahmen gegen Hitzestress in Haltungssystemen bei Mastschweine (siehe u.a. Heidenreich 2014; Zentner und Mösenbacher 2012; Koller et al. 2012; FiBL 2011)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bevor einer Installation von Kühlsystemen sollte – falls möglich – eine Optimierung der Zuluftführung erfolgen; im Optimalfall erfolgt das Ansaugen der Luft im Sommer nordseitig und im Winter südseitig • In der Praxis häufig eingesetzte Systeme: Wasservernebelung (bzw. Zerstäuben von Wasser an den Lufteinlässen zum Zentralgang), Duschen, Kühlpads; problematisch bis unmöglich ist deren Nutzung bei hohen Außenluftfeuchten; sie sind meistens gut nachträglich einzubauen • Systeme mit der Nutzung von Erdwärme bringen hohe Investitionskosten mit sich, kühlen allerdings verhältnismäßig gut, energie- und wassereffizient; gleichzeitig dienen sie im Winter zum Vorheizen der Zuluft und zeichnen sich durch geringe Wartungskosten aus • Kühlsysteme wie Kühldecke oder Wasser-Luftkühler weisen einen hohen (Grund-)Wasserbedarf auf, lassen sich aber meist gut nachrüsten • Belegdichten in Ställen reduzieren • Eventuell Fütterungszeiten in kühlere Tageszeiten verlegen (morgens kühler und abends später) • Haltungssysteme mit Auslauf- oder Weidehaltung bzw. Außenklimaställe spielen nur eine sehr untergeordnete Rolle in der Literatur; Bio-

	Schweinehaltung im Freiland erfordert Elemente zur Beschattung, Suhlen und/oder Duschen gegen Hitzestress
Wasserbedarf (siehe u.a. Brade 2013)	<ul style="list-style-type: none"> • Auf ausreichend Tränken (Platz), Wasserzulauf (Funktionstüchtigkeit) und deren Sauberkeit achten
Beeinflussung der Futterqualität durch Klimawandelfolgen auf Pflanzenbau, Lagerhaltung bzw. Fütterungssysteme (siehe u.a. Pötsch et al. 2014; Miller 2004; Brade 2013)	<ul style="list-style-type: none"> • Die Futterqualität für heimisches Grünlandfutter ändert sich bei angepasster Bewirtschaftung mit dem Klimawandel kaum; die Effekte des Grünlandmanagements dominieren • Proteingehalte in Getreide gehen geringfügig zurück • Risiko für Qualitätsminderung von Silagen: Verschimmelte oder nacherwärmte Silagen enthalten Toxine – bei einer Verfütterung drohen Leistungseinbußen, Klauenprobleme, Euterentzündungen, Fruchtbarkeitsstörungen, Gelenkentzündungen oder Durchfall; die Gründe für verschimmelte oder erwärmte Silagen liegen neben verschiedensten Fehlern beim Silierprozess (u.a. zu trockenes Erntegut) an Nacherwärmung im Sommer (besonders bei hohen Temperaturen) infolge zu geringen Vorschubs bei der Entnahme von Futter aus dem Silo bzw. verhältnismäßig zu großer (aerober) Anschnittfläche, besonders, wenn diese nach Westen oder Süden zeigt • Grundfutter (v.a. Silage oder Totale Mischration TMR) wenn möglich zweimal täglich frisch vorlegen, sodass die Tiere ausreichend strukturwirksames Grundfutter fressen können
Risikoabsicherung (siehe u.a. Eitzinger 2010)	<ul style="list-style-type: none"> • Sozio-ökonomische Resilienz der Produktionssysteme beachten (Marktentwicklung, Versicherungen,...) • Erhöhung von Lagerkapazitäten (v.a. für Futtermittel)

Nach Chase (s.a.) gelten folgende von den in der obigen Tabelle 2 abweichende Kategorien für den THI bei Milchrindern: 72 – 79 „Mild“, 80 – 89 „Mittel“, 90 – 98 „Stark“, > 98 „ernste Gefahr“ (bis zum Tod der Tiere). Die Gründe für derlei Abweichungen erscheinen multifaktoriell: sie können nicht nur einem Interpretationsspielraum geschuldet sein, der sich auf die charakterisierenden Bezeichnungen bezieht, sondern auch auf unterschiedliche Genetik (Rassen), unterschiedliche Nutzungsrichtungen (Fleisch- vs. Milchrinder), unterschiedliche Lebendmassen und Verhältnisse zwischen Oberfläche und Lebendmasse der Tiere oder differierendes Leistungsniveau. Für THI-Grenzwerte der Schweine kann aus internationaler Literatur ergänzt werden, dass ein Leistungsrückgang ab einem Wert von 72-74 erreicht ist (Chase s.a.).

B-3.1.2 Resilienz von Agrarökosystemen und agrarischen Produktionssystemen

Schutzgüter (wie Boden und Wasser), Produktionsmittel (Ressourcen) und bestimmte Produktionsfunktionen innerhalb eines PS können von Klimawirkungen bzw. Klimawandelfolgen direkt betroffen sein. Des Weiteren können sie über Managementmaßnahmen, d.h. Reaktionen des PS auf die treibenden Effekte von KWF, auch indirekt betroffen sein. Neben direkten Lösungen zur Behebung negativer Klimawandelfolgen, z.B. an der Infrastruktur in Stallungen oder im Bereich des Pflanzenbaus, wurden insofern auch PS-bezogene sozio-ökonomische Resilienz sowie agrar-ökologisch resiliente Strukturen (z.B. Vielfalt der Habitats und Nutzflächen) mitbetrachtet und in die Literaturrecherche inkludiert.

Nach Cabell und Oelofse (2012) kommt der Fähigkeit zur Selbstregulierung sozialer und ökologischer Systeme eine große Bedeutung zum Erreichen von resilienten Strukturen zu. Weitere in der Literatur genannte Fähigkeiten stabiler – u.a. Klimawandelfolgen-resilienter – sozial-ökologischer Systeme (bzw. PS) sind: Persistenz (Durchhaltevermögen), Adaptationsvermögen, Diversität und generell eine „Wandlungsfähigkeit“ („transformability“; siehe Walker et al. 2004).

Aufbauend darauf identifizierten Cabell und Oelofse (2012) ein Rahmenwerk und 13 potenzielle Indikatoren, um die Resilienz von Agrarökosystemen mittels verhaltens-orientierter, sozialer, sozio-ökonomischer und ökologischer Kennwerte zu analysieren. Dieses Rahmenwerk wird von der gegenständlichen Studie genutzt, um geeignete Indikatoren für die Bewer-

tung einer „Klimafolgenresilienz“ („climate [change] resilience“; Choptiany et al 2104) zu ermitteln. Die 13 Indikatoren (Cabell und Oelofse 2012) sind gemäß der hier verwendeten Begriffsdefinitionen als Kriterien zu interpretieren (und werden fortan auch als solche bezeichnet), für die auf der nächsten Ebene Indikatoren zu quantifizieren sind. Für die Inhalte dieser Indikatoren stellt u.a. die Publikation von Choptiany et al (2104) eine gute Grundlage dar.

Die Tabelle A.2 im Anhang (siehe digitale Version und unter www.startclim.at) stellt die Kriterien nach Cabell und Oelofse (2012) dar, die für das Erreichen resilienter (PS-) Strukturen zu beachten sind. Diese Kriterien wurden sowohl bei der Identifizierung von wichtigen Systemelementen aus der Literatur (siehe Ergebnisse in Kapitel 3.2) als auch der Erstellung der Checkliste bzw. der Betriebsbewertungsmethode (siehe Ergebnisse in den Kapiteln 3.3 und 3.4) berücksichtigt. Die von Cabell und Oelofse (2012) angesprochenen Kriterien weisen für resiliente PS auf die Relevanz der Selbstorganisation, der sozio-ökonomischen Diversität sowie der Vernetzung hin. Diese Kriterien werden bei einigen Indikatoren der Checkliste bzw. der Bewertungsmethode zu den Themen *Rentabilität/Liquidität* oder *Ertragsstabilität* einbezogen (in der Themen-Checkliste bzw. der Bewertungsmethode angesprochene Themen sind mit kursiver Schrift gekennzeichnet). Eine Reihe von Indikatoren der Betriebsbewertungsmethode sprechen Diversität in der ökologischen Dimension, eine „optimale Redundanz“ sowie eine „räumliche und zeitliche Heterogenität“ (Cabell und Oelofse 2012) an (siehe Tab. A.2). Neben dem Themenbereich *Biodiversität* betreffen diese Abfragen bzw. Indikatoren teilweise auch die Themenbereiche *Schutz von Böden*, *Schutz von Wasserreserven*, *Ertragsstabilität im Pflanzenbau* und *Rentabilität/Liquidität*. Zusätzlich werden hinsichtlich Resilienz von Cabell und Oelofse (2012) genannten Kriterien bei Indikatoren der Checkliste sowie der Betriebsbewertungsmethode für zahlreiche sozio-ökonomische, soziale und ökologische Themen behandelt: *Standortangepasste Bewirtschaftung*, die *Unabhängigkeit von globalen Strukturen* sowie *lokale Vernetzung*, *Kooperation*, *Traditionelles und lokales Wissen*, *Aufbau von Wissen* und *Angemessener Profit*.

Auch Nardone et al. (2009) weisen mit der Referenz auf Thornton et al. (2007) auf die Relevanz der Erforschung bzw. Kenntnis von bio-physikalischen (agrar-ökologischen) Systemen sowie von sozialen Vulnerabilitäten bzw. resilienten sozio-ökonomischen Strukturen für eine positive Entwicklung tierhaltender PS bei Bestehen nachteiliger Einflüsse von KWF hin.

Nardone et al. (2009) benennen für Anpassungsfähigkeit von durch u.a. KWF vulnerablen PS folgende wichtige Optionen: Diversifikation von Pflanzen und Nutztieren (Arten und Rassen) und Bewässerung (beide Optionen besonders für integrierte, tierhaltende Betriebe), besseres Betriebsmanagement und Unterstützung durch beratende Strukturen, Versicherungen (für technisiertere bzw. kapitalintensivere PS), Betriebserweiterungsmöglichkeiten, Planungen und Nutzung von Vorhersagemodellen, Investitionen in den Betrieb sowie die Erschließung eines temporären oder permanenten Zugangs zu alternativen Flächen bzw. Diversifikation von Standorten (letzteres für Weidebetriebe). Je nach Art des tierhaltenden Betriebs, d.h. ob Weide-(basierter) Betrieb, industrialisierter Betrieb (ohne eigene Futterflächen) oder integrierter Tierhaltungs-Betrieb (mit hauptsächlich eigener Futtererzeugung) haben diese Optionen verschiedene Bedeutungen inne.

Diese mit der Resilienz von Produktionssystemen in Verbindung stehende Optionen werden bei der Systemanalyse zu den durch KWF beeinflussten Systemelementen sowie der Erstellung der Checkliste und der Entwicklung der Betriebsbewertungsmethode mit berücksichtigt (siehe Kapitel 3.2, 3.3 und 3.4).

B-3.2 Ergebnisse der Systemanalyse: Beschreibung wichtiger Einflussfaktoren für Pflanzenbau und Nutztierhaltung

Auf Basis von Literaturrecherche und ExpertInnenwissen (siehe Kapitel 2.1) wurde eine Analyse der Klimawandelfolgen für die Sub-Systeme Pflanzenbau und Nutztierhaltung, sowie des integrierten Gesamtsystems "tierhaltender Betrieb" durchgeführt. Zentraler Untersuchungsgegenstand waren dabei Wirkungen von KWF auf die Produktivität der Systeme und auf Tierwohl bzw. -gesundheit sowie Wechselwirkungen zwischen den Systemelementen.

Der Fokus dieser Betrachtung lag nicht auf der Ebene konkreter Einzelbetriebe, sondern der Gesamtheit der österreichischen Milchvieh- und Mastschweinebetriebe.

Analog zur Literaturrecherche wurden nicht nur direkte Klimafaktoren bzw. KWF, sondern auch potenzielle Maßnahmen und Reaktionen des Betriebsmanagements auf KWF bei der Systemanalyse betrachtet. Diese Erweiterung der indirekt mit Klimawandelfolgen in Verbindung stehenden Einflussfaktoren dehnt den Bereich an betroffenen Systemelementen für die Systemanalyse stark aus. Auf spezifische Klimawandelfolgen kann ein PS gut oder schlecht vorbereitet sein und auch adäquat oder unzureichend reagieren, d.h. seinen (potenziellen) Spielraum damit erweitern oder einschränken. Dieser Teil der Studie orientiert sich daher auch an Überlegungen zur Resilienz von PS, d.h. ihrer Reaktionsfähigkeit auf KWF. Letztendlich wird im gegenständlichen Forschungsprojekt damit eine „Klimafolgenresilienz“ bewertet. Der Begriff wurde als Resilienz definiert, die es ermöglicht, dass ein PS klimawandelverursachte Stressoren übersteht, sich von deren Wirkungen erholt und letztlich mit diesen Klimawandelfolgen umgehen kann (siehe ACCRN, www.acccrn.org/).

Abbildung 1 gibt einen Überblick über Elemente im System „Klimawandelfolgen und Pflanzenbau“ bei der Analyse mittels Software Systaim SystemQ. Mittels Pfeilen werden die unterstellten Beziehungen zwischen den Systemelementen angezeigt. Durchgezogene Pfeile stellen positive, direkt proportionale Wirkungen dar; strichlierte Pfeile geben negative, indirekt proportionale Wirkungen wieder. Die Eigenschaften der Systemelemente sind in der Darstellung mittels verschiedener Farben charakterisiert:

Gelb dargestellt sind aktive Elemente. Diese wirken auf andere Elemente, empfangen selbst aber keine oder kaum Einwirkungen von anderen Systemelementen. Können aktive Elemente durch das betriebliche Management gesteuert werden, so geht von ihnen grundlegend großes Potenzial aus, um ein System zu beeinflussen. Sie stellen die entscheidenden Hebel für die Systemsteuerung dar.

Mit grüner Farbe werden passive Systemelemente wiedergegeben; diese empfangen hauptsächlich Wirkungen von anderen Elementen und steuern das System daher nicht. Passive Elemente stellen aber wertvolle Indikatoren dar, um die Situation in einem System zu charakterisieren.

Von rosafärbigen, ambivalenten Systemelementen gehen einerseits relevante Wirkungen auf andere Systemelemente aus, sie empfangen gleichzeitig aber auch starke Einwirkungen von anderen Stellen. Weil sie von anderen Faktoren beeinflusst werden, eignen sie sich schlecht, um das System zu steuern. Ambivalente Elemente können ein System mitunter jedoch stark beeinflussen. Mit blauer Farbe gekennzeichnete Elemente wirken puffernd auf ein System, sie wirken in geringem Umfang auf andere Elemente und empfangen ebenfalls in geringer Weise Einwirkungen von anderen Systemelementen. Sie könnten zwar ohne größeren Aufwand beeinflusst werden, ihre Wirkung auf das System ist allerdings eher gering. Puffernde Faktoren heben sich in ihren Wirkungen oft gegenseitig auf und stabilisieren damit das System.

Folgende 13 Systemelemente in Tabelle 3 wurden aus einer Liste mit ca. 50 potenziellen Elementen letztlich in die Analyse für das System „Klimawandelfolgen und Pflanzenbau“ aufgenommen. Um die Darstellung und die Analyse des Systems überschaubar zu halten, wurden nur ausgesuchte wichtige Elemente individuell berücksichtigt, während andere zusammengefasst betrachtet wurden. Tabelle 3 beschreibt für die Elemente neben Erklärungen teilweise auch Gründe für ihre Berücksichtigung und ihre wichtigsten Wirkungen auf das System. Die Zuordnung der Elemente in die Gruppen aktiv, passiv, ambivalent und puffernd erfolgt automatisiert auf Basis von Ergebnissen der Systemanalyse. Gerade die Kategorisierung nach ambivalenten und puffernden Faktoren ist in den Tabellen 3 und 4 teilweise schwierig, da sich fließende Übergänge zwischen diesen Gruppen ergeben können.

Tab. B-3: Betrachtete Elemente im System „Klimawandelfolgen und Pflanzenbau“.

Systemelemente	Das Systemelement beschreibt...
<i>AKTIVE Elemente</i>	
Klimafaktoren-Änderung	...die treibenden Kräfte hinter abiotischen KWF (Anstieg Lufttemperatur, etc.) und damit einen wesentliche Einflussfaktor auf den Pflanzenbau
Genetisches Potenzial der Pflanzen (gegenüber KWF)	...den Einsatz von Pflanzen, die aufgrund ihrer genetischen Veranlagung gegen Krankheiten oder abiotische KWF tolerant oder resistent sind
Bewässerung	... die Verwendung oder/und Installation von Bewässerungssystemen
<i>PASSIVE Elemente</i>	
Erträge im Pflanzenbau	...hohe Erträge, die ein Optimierungs-Ziel bei der Analyse darstellen
Abhängigkeit von Technik und Energie	...eine unerwünschte Situation (und in einem Szenario der Analyse ein Nicht-Ziel für die Optimierung)
<i>AMBIVALENTE Elemente</i>	
Biotische KWF	...durch Klimawandel verstärkte und von Schaderregern bedingte Schäden im Pflanzenbau
Maßnahmen zur Erhöhung der Resilienz im PS	...Funktionen, die ein PS v.a. in sozio-ökonomischer Hinsicht widerstandsfähiger machen; bspw. die Diversifikation bei Produkten (Einkommensquellen), Nutzung von Versicherungsoptionen oder Investitionen in KWF-kritische betriebliche Infrastruktur
Biogene Strukturen zur Erhöhung der (agrar-ökologischen) Resilienz im Pflanzenbau	...Maßnahmen zum Schutz von Biodiversität oder Böden, z.B. Hecken oder Begrünungen
(Änderung der) Faktorkosten für Boden	...die Auswirkung von geänderten (primär erhöhten) Faktorkosten für Boden aufgrund Bodenverknappung durch Verbauung oder klimabedingte Ertragsänderungen
Finanzielle Situation Landwirtschaft	... das sozio-ökonomische Wohlergehen für Landwirtschaftsbetriebe bzw. der darin tätigen Personen; ...eine Nebenbedingung bzw. ein Optimierungs-Ziel bei der Analyse
<i>PUFFERENDE Elemente</i>	
Angepasste Nutzungsintensität	...eine spezifische Maßnahme zur Anpassung an den Standort und das PS, die zum Erhalt bzw. der Förderung von Resilienz wesentlich beiträgt
Kooperation mit anderen Betrieben	...eine spezifische und bedeutende Maßnahme zum Erhalt bzw. der Förderung von sozio-ökonomischer Resilienz im PS
Versicherung Pflanzen (und relevante Infrastruktur)	...eine spezifische und bedeutende Maßnahme zum Erhalt bzw. der Förderung von sozio-ökonomischer Resilienz im PS

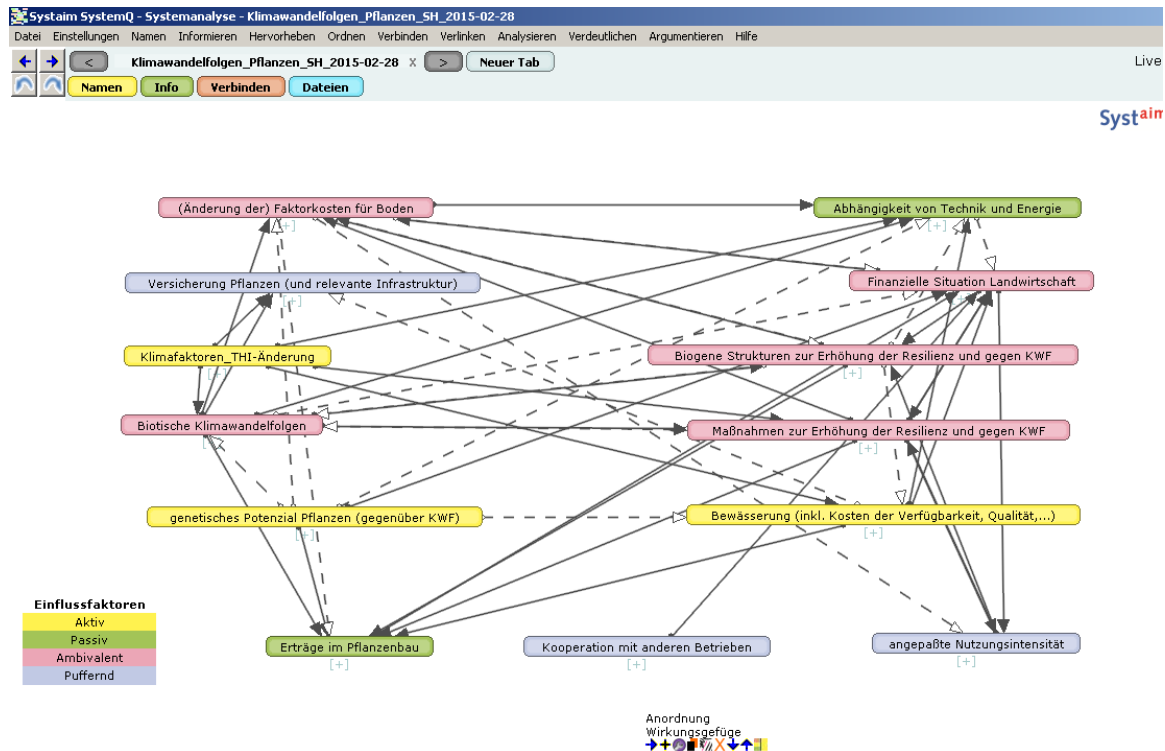


Abb. B-1: Unterstellte Beziehungen zwischen den Elementen im System „Klimawandelfolgen und Pflanzenbau“ (durchgezogen: positive, direkt proportionale Wirkungen; strichliert: negative, indirekt proportionale Wirkungen) sowie Eigenschaften der Systemelemente (aktive Wirkungen; passiv; ambivalent; puffernd; Quelle: SystemQ).

Einen sehr hohen Einfluss zeigt die Beachtung eines angepassten genetischen Potenzials der Pflanzen sowie volkswirtschaftlich gesehen der Umfang verfügbarer landwirtschaftlicher Nutzflächen bzw. deren Faktorkosten. Der Sicherung der Flächenverfügbarkeit für Futtererzeugung (v.a. gegenüber konkurrierender Flächennutzung durch Verbauung und Agroenergieerzeugung) kommt daher mittelfristig besondere Bedeutung zu. Weitere wichtige Einflussgrößen sind eine an den Standort angepasste Nutzungsintensität und Maßnahmen zur Erhöhung der spezifischen ökologischen und sozio-ökonomischen Widerstandsfähigkeit in von KWF betroffenen Produktionssystemen. Beispiele dafür sind Maßnahmen zum Schutz von Biodiversität und Böden bzw. die Diversifikation bei Produkten (Einkommensquellen), Nutzung von Versicherungsoptionen und Kooperationen (überbetriebliche Zusammenarbeit) oder Investitionen in KWF-kritische betriebliche Infrastruktur. In geringerem Umfang zeigte sich auch die Installation von wassersparenden Bewässerungssystemen als Puffermöglichkeit in Trockenjahren als relevant, um KWF bestmöglich abzufedern. Einzelne Maßnahmen haben trotz anscheinend geringer genereller (volkswirtschaftlicher) Bedeutung eine hohe Relevanz für besonders betroffene Einzelbetriebe.

In gleicher Weise wie für den Pflanzenbau sind in Tabelle 4 jene 12 Systemelemente dargestellt, die aus einer Liste mit ca. 50 potenziellen Elementen letztendlich in die Analyse von „Klimawandelfolgen und Tierhaltung“ genommen wurden. Auch hier wurden aufgrund der Begrenzung der Anzahl an Elementen nur ausgesuchte Faktoren spezifisch behandelt, während andere aggregiert analysiert wurden. Auch hier fällt auf, dass die automatisierte Zuordnung der Systemelemente in die Gruppen aktiv, passiv, ambivalent und puffernd aufgrund spezifischer Konstellationen zustande kommt, z.B. wird die Wasserversorgung als aktiv beeinflussend, die Futtermittelversorgung dagegen als puffernd interpretiert.

Tab. B-4: Betrachtete Elemente im System „Klimawandelfolgen und Tierhaltung“.

Systemelemente	Das Systemelement beschreibt...
<i>AKTIVE Elemente</i>	
Maßnahmen gegen direkte KWF in Haltungssystemen	...die Wirkung von bspw. Ventilatoren, Beschattungen, Duschen, Klimaanlage, etc. auf Tierwohl/-gesundheit und Produktivität
Gesundheitspläne und Aktivitäten gegen Krankheiten mit Bezug zu KWF	...Maßnahmen, die pro-aktiv gegen KWF-bedingte Probleme am Tier vorgehen
Vorkehrungen zur Überbrückung von Energieversorgungsproblemen	...Vorkehrungen, um gegen Stromausfall gerüstet zu sein, v.a. hinsichtlich Lüftungs- und Klimaanlage sowie der Wasserversorgung
Wasserversorgung	...die Situation betreffend der Verfügbarkeit von ausreichend Wasser in Trinkwasserqualität
<i>PASSIVE Elemente</i>	
Finanzielle Situation Betriebe	...eine betriebswirtschaftliche Leistungsfähigkeit des Betriebs, d.h. das Ergebnis einer langfristigen Rentabilität
Erträge in Tierhaltung (v.a. Hauptprodukte Milch / Schweinefleisch)	...den Grad der Produktivität der Tierhaltung
Tierwohl/-gesundheit	...den realisierten Grad an Tierwohl/-gesundheit
<i>AMBIVALENTE Elemente</i>	
Krankheiten und Abgänge mit Bezug zu KWF	...die Häufigkeit des Auftretens von Krankheiten und Abgängen mit Bezug zu KWF
<i>PUFFERENDE Elemente</i>	
Genetisches Potenzial Tiere	...die Nutzung von Tieren mit gegenüber Krankheiten oder gegenüber abiotischen KWF (z.B. Hitze oder Wassermangel) toleranter oder resistenter Genetik
Futtermittelsversorgung	...die Situation betreffend der Verfügbarkeit von ausreichend Futter in dem Bedarf (d.h. der Leistung) entsprechender Qualität
Versicherung Tiere	...eine spezifische und bedeutende Maßnahme zum Erhalt bzw. der Förderung von sozio-ökonomischer Resilienz im PS (der Tierhaltung)
Geänderter Produktbedarf tierischer Produkte aufgrund Beratung/Gesellschaft/Politik/NGOs	...eine Situation, in der sich der Bedarf an tierischen Produkten ändert, weil bspw. politische Maßnahmen fördernd oder hemmend wirken

Die folgende Abbildung 2 zeigt jene Elemente im System „Klimawandelfolgen und Tierhaltung“ bei der Analyse in der Software Systain SystemQ.

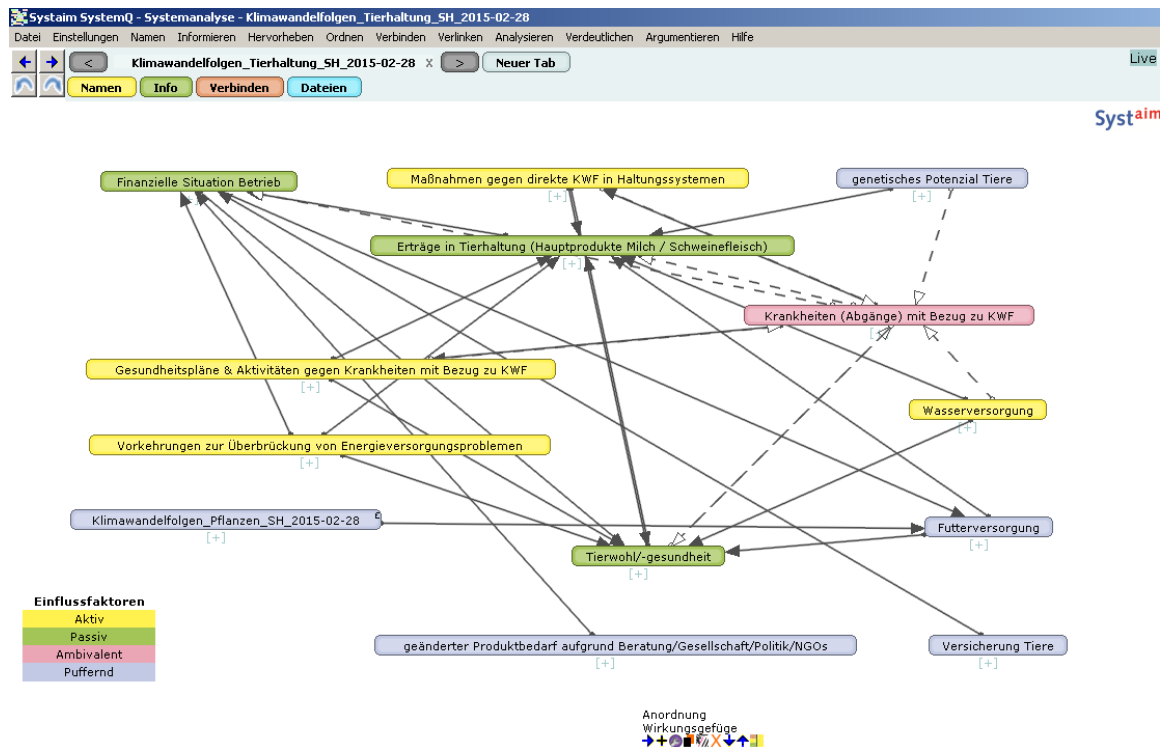
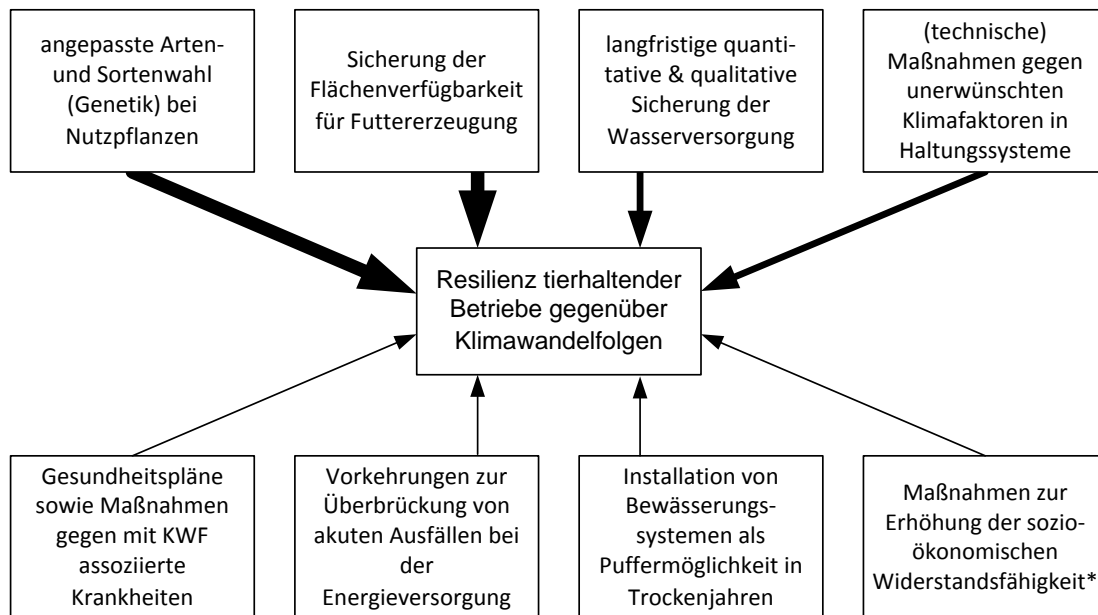


Abb. B-2: Unterstellte Beziehungen zwischen den Elementen im System „Klimawandelfolgen und Tierhaltung“ (durchgezogen: positive, direkt proportionale Wirkungen; strichliert: negative, indirekt proportionale Wirkungen) sowie Eigenschaften der Systemelemente (aktive Wirkungen; passiv; ambivalent; puffernd; Quelle: Systaim SystemQ).

Bezüglich der Nutztierhaltung wurden folgende Faktoren als besonders wichtig für das Erreichen einer optimalen Produktivität, eines möglichst hohen Tierwohls und günstiger ökonomischer Leistungsfähigkeit identifiziert: die langfristige quantitative und qualitative Sicherung der Wasserversorgung sowie der Einsatz von (technischen) Maßnahmen gegen die Einwirkung von Klimafaktoren wie hohe Temperaturen oder direkte Sonneneinstrahlung in Haltungssysteme. Managementmaßnahmen wie der Einsatz von Gesundheitsplänen sowie Maßnahmen gegen Krankheiten, die mit KWF assoziiert sind, sind von potenziell hohem Einfluss. Beachtung sind auch der langfristigen Sicherung der Futterversorgung und dem genetischen Potenzial der Tiere zu schenken. Insbesondere in der Schweinemast sind Vorkehrungen zur Überbrückung von akuten Ausfällen bei der Energieversorgung notwendig.

Wird das Gesamtsystem „tierhaltender Betrieb“ für die Summe österreichischer Milchvieh- und Mastschweinebetriebe mit ihrer primär an hofeigene Flächen gebundenen Futtererzeugung betrachtet, spielen folgende Systemelemente bzw. Managementmaßnahmen eine besondere Rolle (in absteigender Bedeutung): 1) Beachtung einer gegenüber potenziellen KWF angepassten Arten-/Sortenwahl (Genetik) bei Nutzpflanzen; 2) Sicherung der Flächenverfügbarkeit für Futtererzeugung; 3) Sicherung der Wasserversorgung; 4) Maßnahmen gegen die Einwirkung von Klimafaktoren in Haltungssystemen; 5) Gesundheitspläne sowie Maßnahmen gegen KWF-bezogene Krankheiten, 6) Vorkehrungen zur Überbrückung von akuten Ausfällen bei der Energieversorgung (v.a. in „intensiven Haltungssystemen“ der Schweinemast zur Überbrückung von akuten Ausfällen wichtig); 7) Installation von Bewässerungssystemen als Puffermöglichkeit in Trockenjahren; 8) Maßnahmen zur Erhöhung der sozio-ökonomischen Widerstandsfähigkeit in von KWF betroffenen Produktionssystemen, bspw. über die Diversifikation bei Produkten (Einkommensquellen), Nutzung von Versicherungsoptionen und Kooperationen (überbetrieblicher Zusammenarbeit) oder Investitionen in KWF-kritische betriebliche Infrastruktur. Für besonders betroffene Einzelbetriebe können einzelne und weitere Maßnahmen trotz anscheinend geringer genereller Bedeutung eine hohe Relevanz aufweisen.

Abbildung 3 stellt die wichtigsten Systemelemente und ihre Beziehungen zur Resilienz tierhaltender Betriebe gegenüber KWF grafisch dar.



* z.B. Diversifikation bei Produkten (Einkommensquellen), Nutzung von Versicherungsoptionen und Kooperationen (überbetriebliche Zusammenarbeit), Investitionen in KWF-kritische betriebliche Infrastruktur

Abb. B-3: Wichtigste Systemelemente und ihre Beziehungen zur Resilienz tierhaltender Betriebe gegenüber Klimawandelfolgen.

B-3.3 Wirkung von Faktoren auf Zielkriterien

Im gegenständlichen Kapitel wurde auf Basis der wissenschaftlichen Literatur und des ExpertInnen-Wissens (umfassender Workshop und ergänzende Interviews mit ausgewählten Personen) sowie der im vorigen Kapitel 3.2 beschriebenen Systemanalyse eine Checkliste mit 63 Indikatoren erstellt. Diese Indikatoren sind im Gegensatz zu den Ergebnissen der zuvor dargestellten Systemanalyse nicht nur auf einer aggregierten Ebene österreichischer Milchvieh- und Mastschweinebetriebe relevant, sondern wurden primär für die Analyse einzelner landwirtschaftlicher Betriebe festgelegt.

Tabelle 5 fasst die 63 Indikatoren der Checkliste nach Themen zusammen und charakterisiert ihren Inhalt kurz. Bei einigen Indikatoren werden je nach bewerteter Tierart (ob Milchvieh oder Mastschweine) spezifische Formulierungen verwendet, in der Tabelle 5 sind beispielhaft jene für Milchvieh dargestellt.

Tab. B-5: Indikatoren-Checkliste zur Bewertung der Effekte von Klimawandelfolgen (KWF) auf milchviehhaltende Betriebe.

Thema	Indikatorname	Der Indikator beschreibt...
<i>Eng mit direkten KWF in Verbindung stehende Indikatoren – Bereich Pflanzenbau</i>		
KWF & Pflanzenbau	Biotisch bedingte Ertragsreduktion	...ob auf dem Betrieb in den vergangenen 5 Jahren ein Ertragsrückgang durch Schadorganismen festgestellt werden konnte
	Zunahme potenzieller Schadorganismen	...ob Hinweise bestehen, dass (die in einer Liste angeführten) Schadorganismen, Krankheiten oder Unkräuter in der Region oder in angrenzenden Regionen zunehmen (siehe Liste in Tabelle A.3 in Anhang)
	Informationen zu Klimawandelfolgen	...ob für den Pflanzenbau am Betrieb Szenarien der Klimaentwicklung (verfügbar und) bekannt sind, pro-aktiv eingeholt wurden und schon für die Planung verwendet werden
	Genetisches Potenzial Pflanzen	...ob bei der Sortenwahl und Anbauplanung im Grünland und im Ackerbau das genetische (Anpassungs-) Potenzial der verwendeten Kulturen bzw. Sorten gegenüber KWF (z.B. Hitze, Wassermangel, Überschwemmungen, Vernässung im Winter, Widerstandsfähigkeit gegenüber Krankheiten und Schädlingen, etc.) beachtet wird
	Managementpläne	...ob Managementpläne bestehen, die gezielte Regulierungsmaßnahmen (z.B. nach dem Schadschwellenprinzip durchgeführte Pflanzenschutzmittel-Anwendungen) anstelle von routinemäßigen Anwendungen für u.a. KWF-bedingte Erkrankungen beinhalten
	wirksame Pflanzenschutzmittel	...ob wirksame Pflanzenschutzmittel, auch für neue KWF-bedingte Schädlinge, zur Verfügung stehen
	Abiotisch bedingte Ertragsreduktion	...ob abiotische KWF, bspw. geringe Niederschlagsmengen, Hitzeperioden, Überschwemmungen oder Vernässung im Winter in den vergangenen 5 Jahren bereits einen ertragslimitierenden Faktor darstellten
Nährstoffmanagement	Nährstoffmanagement an Pflanzenbedarf angepasst	...ob an den Bedarf der Kulturen angepasstes Nährstoffmanagement praktiziert wird, bspw. Düngung auf Basis von Bodenanalysen, Berechnungen zu Nährstoffabfuhr & unvermeidlichen Verlusten unter Berücksichtigung weiterer Informationen (bspw. Zeigerpflanzen)
	Nährstoffmanagement an Wetter und Klima angepasst	...ob am Betrieb ein angepasstes und zeitlich flexibles Nährstoffmanagement mit Bezugnahme auf Wetterprognosen und klimatische Änderungen existiert; ob z.B. Beachtung der richtigen Temperaturverhältnisse bei der Düngerausbringung, und v.a. auch die Anpassung an die sich ändernde Dauer der Vegetationsperiode
Bewässerung	Installation Bewässerungsanlage	...ob bereits eine Bewässerung (im Not-/Bedarfsfall) angewendet wird
	Knappheit Bewässerungswasser	...ob Wasser für Bewässerungszwecke in der Region ein begrenztes Gut ist
	Investitions-/ Kosten Bewässerung	...ob die am Betrieb angewendete Bewässerung mit hohen Investitionskosten bzw. Abschreibungen verbunden ist oder ob die ökonomischen Vorteile der Bewässerung überwiegen
	Wassersparende Bewässerung	...ob wassersparende Techniken (z.B. Tropfbewässerung) und Strategien (z.B. Bewässerung zu Zeitpunkten mit geringer Verdunstung) bei der Bewässerung eingesetzt werden
	Kalkulation Bewässerungsmenge	...ob zur Abschätzung der Bewässerungsmenge Informationen zu Niederschlagsmenge und spezifischem Wasserbedarf der Kulturen genutzt werden
	Regenwasser nutzen	...ob Regenwasser am Betrieb gesammelt und genutzt wird (z.B. im Stall) und ob es ausreichend Wasserspeichermöglichkeiten auf dem Betrieb (Rückhaltebecken, Zisternen) gibt, um einen relevanten Teil des Nutzwassers zu speichern; oder ob "hygienisch geeignetes Brauchwasser", z.B. von der Reinigung der Melkmaschine, zur Reinigung von Stallflächen, etc. wiederverwendet wird

Vorwiegend über resiliente Strukturen im Produktionssystem mit KWF in Verbindung stehende Indikatoren – Bereich Pflanzenbau		
Hecken	Anlage von Agroforst/Hecken	...ob Hecken oder Agroforst-Mischflächen angelegt wurden oder ob sie erhalten werden, wenn sie in der Region von der landwirtschaftlichen Beratung empfohlen werden
Biodiversität	Flächennutzungsformen am Betrieb	...ob auf Betriebsflächen eine Mischung aus Ackerflächen, Dauergrünland, Wechselwiesen und Leguminosen-Ackerfutterflächen in Gebieten existiert, in denen das aufgrund von Höhenlage, Topografie, etc. auch möglich ist
	Ökologische Ausgleichsflächen	...in welchem Ausmaß der Betrieb über „ökologische Ausgleichsflächen“, z.B. Stilllegungs- oder Blühflächen, Waldsäume, extensives Grünland (≤ 2 Nutzungen), Hecken oder Feldraine verfügt
	Anzahl Kulturen in Fruchtfolgen	...die Anzahl unterschiedlicher Kulturen in der Fruchtfolge am Betrieb
	Anpassung Fruchtfolgeplanung an KWF	...ob für die Fruchtfolgeplanung die KWF berücksichtigt werden, bspw. durch eine Ausnutzung der verlängerten Vegetationsperiode (z.B. mit Buchweizen nach Getreide)
Bodenbearbeitung und Erosion	Direktsaat & reduzierte Bodenbearbeitung	...in welchem Ausmaß auf den Ackerflächen Direktsaat und/oder reduzierte Bodenbearbeitung eingesetzt werden
	Zwischenfrüchte & Winterungen	...in welchem Ausmaß auf den Ackerflächen Zwischenfrüchte und Winterungen mit dem Ziel der dauerhaften Bodenbedeckung angebaut werden
	Untersaaten	...in welchem Ausmaß auf den Ackerflächen Untersaaten verwendet werden
	Erosionsanfällige Kulturen	...in welchem Ausmaß auf den Ackerflächen erosionsgefährdete Kulturen (u.a. Mais, Sonnenblume) kultiviert werden
	Flächen mit Hangneigung	...welcher Anteil (laut Flächenbogen Mehrfachantrag) der Ackerflächen keine Hangneigung aufweist
	Bewuchs von Flächen mit Hangneigung	...welcher Anteil der Flächen mit Hangneigung nicht durch Haupt- und Zwischenfrüchte sowie Untersaaten dauerhaft bewachsen ist
Flächenzustand	Ergebnis Humusbilanz	...welches Ergebnis eine Bewertung der Humusbilanz zeigt
	Humusgehalt Ackerböden	...wie hoch der Humusgehalt der durchschnittlichen Ackerflächen ist
	Humusreproduktionspotenzial für Ackerflächen	...wie hoch das Humusreproduktionspotenzial auf den Ackerflächen liegt und ob organisches Material (z.B. Stroh, Teil des Erntegutes) auf der Fläche belassen oder hingbracht (z.B. Mist, Kompost, Gülle) wird
	Maßnahmen gegen Bodenverdichtung	...ob Maßnahmen gegen Bodenverdichtung (und andere Formen der Bodendegradation) umgesetzt werden, z.B. reduzierter Reifendruck, Doppelbereifung, Spatenprobe zur Feststellung der Befahrbarkeit; ob „Starkwurzler“ in der Fruchtfolge eingesetzt werden, etc.
	Rekultivierung degradierter Flächen	...ob ehemals degradierte Flächen z.B. mittels Kompostausbringung oder Unterbodenlockerung wieder rekultiviert werden; dies betrifft Flächen, die unabhängig von Management oder Wetterereignissen deutlich reduzierte Erträge oder Qualität des Erntegutes – z.B. infolge Bodenverdichtung oder persistenter Schadstoffe (wie Schwermetalle) verursacht – aufweisen
	Zustand Grünland	...inwiefern dem Zustand des Grünlands Beachtung geschenkt wird; ob z.B. eine angepasste Nutzung, das Erhalten einer intakten Grasnarbe bei Beweidung und Befahren, die Vermeidung lückiger Bestände aufgrund Übernutzung, die korrekte Schnitthöhe bei Grünland ($\varnothing \geq 8$ cm) oder das Vorkommen von Arten, die eine nicht adäquate Nutzung anzeigen, beachtet werden

<i>Eng mit direkten KWF in Verbindung stehende Indikatoren – Bereich Tierhaltung</i>		
Klimawandelfolgen und Tierhaltung	Genetisches Potenzial der Tiere zur Anpassung an KWF	...ob Merkmale, die eine Anpassung an mögliche Klimawandelfolgen ermöglichen, in der Zuchtstrategie berücksichtigt werden; ob die Rasse gegenüber hohen Temperaturen widerstandsfähig ist (höhere Hitzetoleranz), sowie gegen Krankheiten, deren Auftreten durch Hitze gefördert wird (u.a. Mastitis); ob die Tiere generell als "robust" zu bezeichnen sind
	Milchleistung Kühe	...wie hoch das Tagesgemelk des besten Viertels der Kühe als Risikofaktor für potenziellen Hitzestress durch Stoffwechselwärme ist
	Anstieg Krankheitsbehandlungen mit KWF	...ob es in den letzten 5 Jahren einen Anstieg der Häufigkeit von Krankheitsbehandlungen mit Bezug zu Klimawandelfolgen gab, z.B. bezüglich reduzierter Fruchtbarkeit und Eutererkrankungen während oder kurz nach Hitze-Perioden
	Abgänge aufgrund KWF	...ob es Abgänge aufgrund von Erkrankungen mit Bezug zu KWF, z.B. nach Kreislaufversagen und andere direkt den KWF zuordenbare Krankheitssymptome, jedoch nicht multifaktoriell verursachte Erkrankungen als Abgangsursachen in den letzten 5 Jahren gab
	Maßnahmen gegen KWF-bezogene Krankheiten	...ob aktiv Maßnahmen gegen Krankheiten mit Bezug zu Klimawandelfolgen unternommen werden, z.B. besondere Zitzen-/ Euterpflege oder Rationsanpassung; dies betrifft Maßnahmen außerhalb der technischen Adaptation des Haltungssystems
	Gesundheitspläne	...ob Gesundheitspläne (bspw. Tiergesundheitsdienst, individuelle Beratung, etc.), existieren, in denen potenzielle KWF-Effekte berücksichtigt werden
	Wasserversorgung Tierhaltung	...ob es bereits Phasen mit unzureichender Wasserversorgung in der Tierhaltung gab; wie die grundsätzliche Verfügbarkeit (auch auf Almen, Weiden, etc.) sowie die Zahl der Tränkestellen, der Wasserdurchfluss und das Fassungsvermögen von Tränken je Kuh ist; ...ob Trinkwasserqualität an der Quelle zu finden ist und wie der Grad der Verschmutzung der Tränken ist
	Maßnahmen gegen ungünstige Klimafaktoren in Haltungssystemen	...ob Maßnahmen zur Milderung von direkten KWF im Haltungssystem betreffend Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftgeschwindigkeit und Einstrahlung gegeben sind; z.B. Ventilatoren, Duschen, Beschattungen, großes und hinsichtlich Klimafaktoren differenziertes Platzangebot, Dämmung, aktive Klimatisierung,...
	Futtermittelsversorgung	...ob es in den letzten 5 Jahren schon Probleme mit der Futtermittelsversorgung gab, d.h. ob diese unzureichend bzw. die Vorräte im Lager zu knapp waren ...welche Preisentwicklungen für Futtermittelkäufe erwartet werden
	Futterqualität	...ob es in Verbindung mit KWF, z.B. heißeren Temperaturen im Stall oder im Silo als in vergangenen Jahrzehnten, bereits Probleme mit der Futterqualität im Erntegut gab; bspw. geringe Energie-/Nährstoffdichte infolge verfrühtem Abreifen nach Wassermangel/Hitzephase oder Schimmel bei Silage als Folge von zu hohen Temperaturen und zu geringem Vorschub bei der Entnahme im Sommer
Vorkehrungen zur Überbrückung von Ausfällen der Energieversorgung	...ob Vorkehrungen zur Überbrückung von Ausfällen in der Energieversorgung bestehen, primär ein Notstromaggregat mit ausreichender Kapazität; evtl. auch eine eigene Biogasanlage, eine Heizungsanlage für betriebseigene Energieträger (für Tiere mit erhöhtem Wärmebedarf) oder Warmwasserversorgung mit Solarenergie	

Energie	Verminderung Bedarf an elektrischer Energie / Wärmeenergie	...in welchem Umfang Maßnahmen zur Verminderung des Verbrauchs an elektrischer Energie bzw. an Wärmeenergie ergriffen werden, z.B. betreffend energiesparende Geräte bei Leuchtmitteln und Wärmequellen, ausreichende Isolierung zu beheizender Wirtschaftsgebäude
	Verminderung Treibstoffbedarf	...inwiefern der Betrieb gezielt Maßnahmen zur Reduktion des Treibstoffbedarfs trifft, z.B. ob bei Investitionsentscheidungen für Maschinen und Geräte deren Energieverbrauch berücksichtigt wird, oder ob bewusst eine energiesparende Betriebsweise von Traktoren ("Eco-Drive") eingesetzt wird
<i>Eng mit direkten KWF in Verbindung stehende Indikatoren – Bereich Gesamtbetrieb</i>		
Wasserhaushalt	Nutzungsrechte für Wasser	...ob Nutzungsrechte für die ausreichende Wasserversorgung gesichert sind
	Kosten für Wasserversorgung	...wie die Entwicklung der Kosten für die Wasserversorgung und (falls relevant) für die Sicherung der Wasserqualität für die Tierhaltung eingeschätzt wird
	Informationen zu Wasserverfügbarkeit und Wasserqualität	...wie es um den Zugang zu Informationen bezüglich Wasserverfügbarkeit (z.B. Grundwasserspiegel, Speicherstand, Zulauf) und ggf. auch bezüglich Wasserqualität (Trinkwasserqualität für die Tierhaltung) steht
	Einfluss auf Wasserverfügbarkeit für Nachbarn	...ob durch nicht angemessene Wassernutzung des Betriebes die mengenmäßige Wasserverfügbarkeit für Nachbarn eingeschränkt wird
	Einfluss auf Wasserqualität für Nachbarn	...ob Wasserverschmutzung mit Auswirkung auf benachbarte Betriebe (bspw. durch Abwässer, Nitrat aus der Düngung, Pflanzenschutzmittel-Rückstände, etc.) ausgeschlossen werden kann
<i>Vorwiegend über resiliente Strukturen im Produktionssystem mit KWF in Verbindung stehende Indikatoren – Bereich Gesamtbetrieb / Sozio-Ökonomie</i>		
Hofeigenes Futter & Lagerhaltung	Hofeigenes Grundfutter	...welchen Anteil das betriebseigene Grundfutter, das in durchschnittlichen Jahren ohne große Schwierigkeiten erzeugt werden kann, an der Grundfutter-Gesamtmenge ausmacht
	Hofeigenes Kraftfutter	...welchen Anteil das betriebseigene Kraftfutter, das in durchschnittlichen Jahren ohne große Schwierigkeiten erzeugt werden kann, an der Kraftfutter-Gesamtmenge ausmacht
	Pufferkapazität Lagerhaltung	...welches Puffervermögen der Betrieb hinsichtlich der Lagerkapazität aufweist, d.h. ob Missernten (teilweise) überbrückt werden können oder Preisschwankungen bei Futtermitteln und anderen Produktionsmitteln durch Veränderungen des Lagerstandes teilweise ausgeglichen werden können
Betriebswirtschaftliche Aspekte	Berücksichtigung Marktentwicklung	...ob der Betrieb Zugang zu Informationen bezüglich Marktentwicklungen für aktuell erzeugte Produkte und mögliche Alternativen hat; ...ob diese Informationen aktiv eingeholt werden und in die Planungen zu Betriebsentwicklung oder Produktion einfließen
	Diversität der Produktion	...ob der Betrieb divers (auf mehrere Standbeine gestützt) organisiert ist; ob neben den tierischen Hauptprodukten auch Leistungen bzw. Erlöse durch bspw. Maschinenringtätigkeiten, Landschaftspflege oder Direktvermarktung verschiedener Produkte erzielt werden; oder ob es z.B. durch die Verwendung einer Zweinutzungsrasse eine erhöhte Flexibilität und ökonomisches Optimierungspotenzial hinsichtlich Fleisch-/Milch-Verkäufen gibt
	Investitionen in KWF-kritische Infrastruktur	...ob in den letzten 10 Jahren in langfristig wirkende Verbesserung der hinsichtlich KWF kritischen Infrastruktur (Stallgebäude, Maschinen, Fahrzeuge, Wege) im Bereich Tierhaltung und/oder in Flächenzukauf bzw. -Pacht (Futtermittel-Bereitstellung) investiert wurde

	Versicherung Pflanzen	...wie gut Futterpflanzenbestände (z.B. gegen Hagel, Dürre oder Überschwemmungen) versichert bzw. gesellschaftlich abgesichert sind
	Versicherung Tiere	...wie gut Tiere (z.B. gegen Krankheit, Nottötung, Tierseuchen oder die Folgen von Störungen wichtiger Einrichtungen wie Lüftungssystemen versichert sind
	Versicherung Infrastruktur	...ob die betriebliche Infrastruktur (v.a. für Tierhaltung und Futterpflanzenbau) gegen diverse KWF-mitbedingte Schäden, z.B. hinsichtlich Feuer/Brandschaden, und lokal auftretende Elementarschäden (Überschwemmung, Erdbeben, etc.) versichert bzw. gesellschaftlich abgesichert sind
	Liquiditätsplanung	...ob eine Liquiditätsplanung am Betrieb existiert, die bspw. für Überbrückung von Missernten durch Futterzukauf wichtig ist
	Betriebliche finanzielle Situation	...wie es allgemein um die finanzielle Situation am Betrieb steht. Konkret: wie das Niveau der Deckungsbeiträge der (tierischen Haupt-) Produkte in den letzten 5 Jahren war (positiv oder negativ) und wie der Trend für den Deckungsbeitrag oder den Gewinn war (fallend, stabil, steigend)
Vernetzung	Soziale Vernetzung	...wie die/der BetriebsleiterIn bzw. maßgebliche MitarbeiterInnen im sozialen Umfeld vernetzt sind, wodurch potenziell ein Beitrag zur Abfederung (auch psychologischer) Effekte der KWF gegeben ist; z.B.: Mitwirkung in Arbeitsgruppen für Wissenstransfer und systematischer Betriebsentwicklung, Nachbarschaftshilfe, Gruppierungen zum Schutz von regional verfügbaren Ressourcen/Allgemeingütern (z.B. zum Schutz der Wasserreserven und deren Qualität), Organisationen für Konservierung und Züchtung von angepasstem Saatgut, etc.
	Kooperation mit anderen Betrieben	...ob der Betrieb längerfristig und erfolgreich mit anderen Betrieben kooperiert (inkl. Maschinenringe/-gemeinschaften; evtl. für neue Maschinen und Geräte speziell für die Anpassung an KWF bzw. für Nutzung der kritischen Zeitfenster falls KWF die Anbaupflege- und Erntebedingungen verschlechtern)

Diese Indikatoren wurden in eine Bewertungsmethode integriert, die für Einzelbetriebe mit Milchkuh- bzw. Mastschweinehaltung den Grad der Widerstandsfähigkeit bzw. der Anfälligkeit gegenüber KWF in zehn Kriterien beschreibt, sowie Stärken und Schwächen ausweist.

Nicht alle diese Indikatoren können bei der Analyse eines Praxis- oder Modellbetriebs (siehe Kapitel 3.4) auch bewertet werden, da teilweise Daten dazu fehlen. In dieser Studie war das z.B. beim Thema Flächenzustand (Zustand von Böden) der Fall: nur bei einem der vier bewerteten Praxisbetriebe waren Informationen zu allen drei Indikatoren im Bereich Humus verfügbar. Diese umfassten 1. das Ergebnis einer Humusbilanz (in kg C je Durchschnittshektar), 2. Ergebnisse zum mittleren Humusgehalt der Ackerböden (% C_{organisch}) von Bodenproben und 3. eine (qualitative) Aussage zum Humusreproduktionspotenzial für Ackerflächen. Nur letzterer Indikator im Bereich Humus konnte auf allen drei Betrieben beantwortet werden. Bezüglich fehlender Information zu einzelnen Indikatoren ist die Betriebsbewertungsmethode als relativ robust anzusehen: Aufgrund der zahlreichen (63) Indikatoren, die vielfach auf mehrere Ergebniskriterien wirken, wird das Gesamtbild durch fehlende oder eventuell fehlerhafte Werte einzelner Indikatoren nicht substantiell verfälscht.

Neben der Bewertung einzelner Indikatoren wird in einem Spinnennetzdiagramm ein Überblick auf Basis von zehn im Rahmen des Projektes definierten Kriterien gegeben. Die einzelnen Indikatoren wirken über semi-quantitative Beziehungen (in den Ausprägungen der Wirkungen von 1 bis 3, d.h. gering bis stark) jeweils auf einen oder mehrere der zehn Kriterien. Die Ergebnisse zu den Kriterien geben das Ausmaß der Zielerreichung (von 0 % bis 100 %) wieder.

Kriterien im Bereich der direkten Sicherung der Produktivität betreffen *Ertragsstabilität im Pflanzenbau*, *Ertragsstabilität in Tierhaltung* und die darüber hinausgehende *Ertragsstabilität im Gesamtbetrieb*. Ein weiteres Kriterium beschreibt die Zielerreichung für *Tierwohl und -gesundheit*. Zusätzliche Kriterien sprechen allgemein Resilienz an und sollten helfen, den Betrieb gegenüber Stressoren, die u.a. mit KWF in Verbindung stehen, widerstandsfähiger zu machen: Dies inkludiert den *Schutz von Wasserreserven*, *Schutz von Böden*, *Schutz der Biodiversität*, *Schutz bzw. effiziente Verwendung von externen Produktionsmitteln*, *Rentabilität und Liquidität* des Betriebs und *soziale Sicherheit*.

Im folgenden Kapitel 3.4 sind Ergebnisse zu zwei Milchvieh-Modellbetrieben und je zwei Praxisbetrieben mit Milchvieh- bzw. Mastschweinehaltung dargestellt, die mit der entwickelten Bewertungsmethode analysiert wurden.

B-3.4 Ergebnisse der beispielhaften Betriebsbewertungen

B-3.4.1 Ergebnisse für zwei Milchvieh-Modellbetriebe

Abbildung 4 zeigt am Beispiel eines Milchvieh-Modellbetriebs aus dem Mühlviertel Ergebnisse für jene zehn Kriterien, die einen Überblick darüber geben, wie gut der Betrieb gegenüber erwartbaren KWF gerüstet ist. Es handelt sich dabei um einen Modellbetrieb (und keinen konkreten Praxisbetrieb), in dem zwar u.a. Parameterwerte eines konkreten Betriebs aus dem Projekt *Farmlife* (siehe Herndl et al. 2012) abgebildet werden (für eine Ökobilanzierung erfasste Parameter zu Infrastruktur, grundlegenden Klimabedingungen sowie Milchleistungen oder Flächenausstattung), daneben aber auch statistische Daten verwendet und einige Annahmen getroffen werden. Dieses Vorgehen war nötig, um die erforderlichen Parameterwerte für jene Indikatoren bzw. Abfragen zu Bewirtschaftungsmaßnahmen und Strategien zu bekommen, die in Ökobilanzinventaren nicht abgebildet sind.

Daher wurden für die zwei bewerteten Modellbetriebe unter Berücksichtigung von Ergebnissen der bisher beurteilten Praxisbetriebe mit Milchviehhaltung für jede Abfrage bzw. jeden Indikator eine Minimum-, Maximum- und Durchschnitts-Annahme getroffen. Letztere ergeben die schwarze Linie in Abbildung 4. Werden für alle Indikatoren Minimumwerte unterstellt, ergibt sich die innere graue Ergebnislinie im roten, orangen bzw. gelben Bereich. Werden an allen Stellen die Maximum-Parameterausprägungen unterstellt, dann zeigt sich die äußere graue Ergebnislinie im grünen Bereich. Es fällt auf, dass für das Kriterium *Schutz der Biodiversität* die geringsten Maximum-Ergebnisse resultieren, was damit zusammenhängt, dass der Modellbetrieb ausschließlich über Dauergrünland verfügt. Ein Optimum in diesem Kriterium wäre zu erreichen, wenn der Betrieb auch über kleinstrukturierte, umweltschonend bewirtschaftete Ackerflächen mit verschiedenen Kulturen, d.h. einer vielfältigen Fruchtfolge, verfügt.

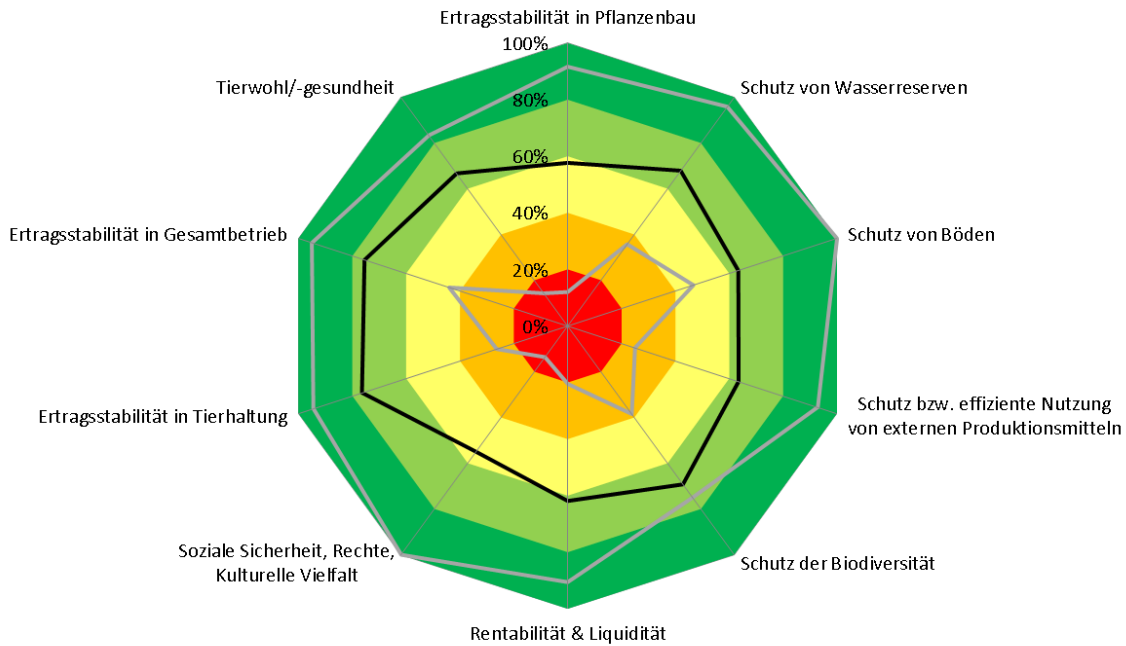


Abb. B-4: Zielerreichungsgrade für Kriterien der Widerstandsfähigkeit gegenüber Klimawandelfolgen für einen Milchvieh-Modellbetrieb aus dem Mühlviertel.

Aus Abbildung 4 wird ersichtlich, dass mit der Methode prinzipiell eine große Variabilität abgebildet werden kann, sofern die für die Analyse erhobenen betrieblichen Eingangsdaten diese auch erfasst. Dass die erreichten Minimum- und Maximum-Ergebnisse nicht noch stärker differieren, hängt damit zusammen, dass für etwa 10 % der Indikatoren konkrete Daten aus dem Projekt *Farmlife* zur Verfügung standen, die teilweise verhältnismäßig hohe Wirkung auf die Kriterien erzielen. Realistische Mittelwerte bzw. Minimum- und Maximum-Annahmen wurden vor allem zu folgenden Indikator-Themen benötigt: 1) Einschätzung zur Höhe des Risikopotenzials eines Ertragsrückgangs durch abiotische und biotische KWF; 2) Anpassung des Nährstoffmanagements an Pflanzenbedarf, Wetter bzw. Klimaänderungen; 3) Vorkehrungen zur Überbrückung von Energieausfällen; 4) Pufferkapazität der Lagerhaltung (v.a. für Futtermittel); 5) Versicherungen für Pflanzenbestände, Tiere und Infrastruktur; 6) Finanzielle Situation am Betrieb und Liquiditätsplanung; 7) Verminderung des Bedarfs an elektrischer Energie, Wärmeenergie oder Treibstoff; 8) Krankheiten in Verbindung mit Hitze-stress (bzw. wie stark diese als Risiko wahrgenommen werden); 9) Absicherung der Wasserversorgung betreffend Quantität und Qualität; 10) Managementpläne.

Daraus wird ersichtlich, dass für diese Modellbetriebsbewertung in Verbindung mit vielen Annahmen eine relativ hohe Parameter-bedingte Unsicherheit der Ergebnisse besteht, diese aber bei der Bewertung von Praxisbetrieben (siehe folgendes Kapitel 3.4.2) bei Vorliegen konkreter Parameterwerte nicht besteht. Methodische Unsicherheiten ergeben sich durch die semi-quantitative Komponente der Gewichte für Indikatoren hinsichtlich ihres Einwirkens auf Kriterien. Mittels einer Monte Carlo-Simulation könnten Unsicherheiten bzw. deren Verteilung für die Ergebnisse der Kriterien bestimmt werden. Eine Aussage zu „durchschnittlichen Unsicherheiten“ könnte auch durch die Methode der Fehlerfortpflanzung erreicht werden. Beide Arten der Quantifizierung der gesamten Unsicherheit (d.h. der kombinierten Parameter-Methoden-Unsicherheit) sind im Rahmen des gegenständlichen Projekts nicht realisierbar, sollten allerdings für weiterführende Untersuchungen bzw. die Weiterentwicklung der Methode eingeplant werden.

Ein grundlegend ähnliches Bild wie für den Mühlviertler Modellbetrieb (Abb. 3) zeigt sich auch für den Modellbetrieb im oberösterreichischen Alpenvorland. Das als Überblick grafisch

dargestellte Ergebnis (Zielerreichungsgrade für Kriterien der Widerstandsfähigkeit gegenüber KWF) ist für diesen Betrieb im Anhang in Abbildung A.1 zu finden.

B-3.4.2 Ergebnisse zu je zwei Praxisbetrieben mit Milchvieh- und Mastschweinehaltung

In diesem Kapitel werden Ergebnisse der Betriebsbewertung zur Widerstandsfähigkeit gegenüber KWF für jeweils zwei Milchvieh- (Abb. 5) und Mastschweinebetriebe (Abb. 6) dargestellt und diskutiert.

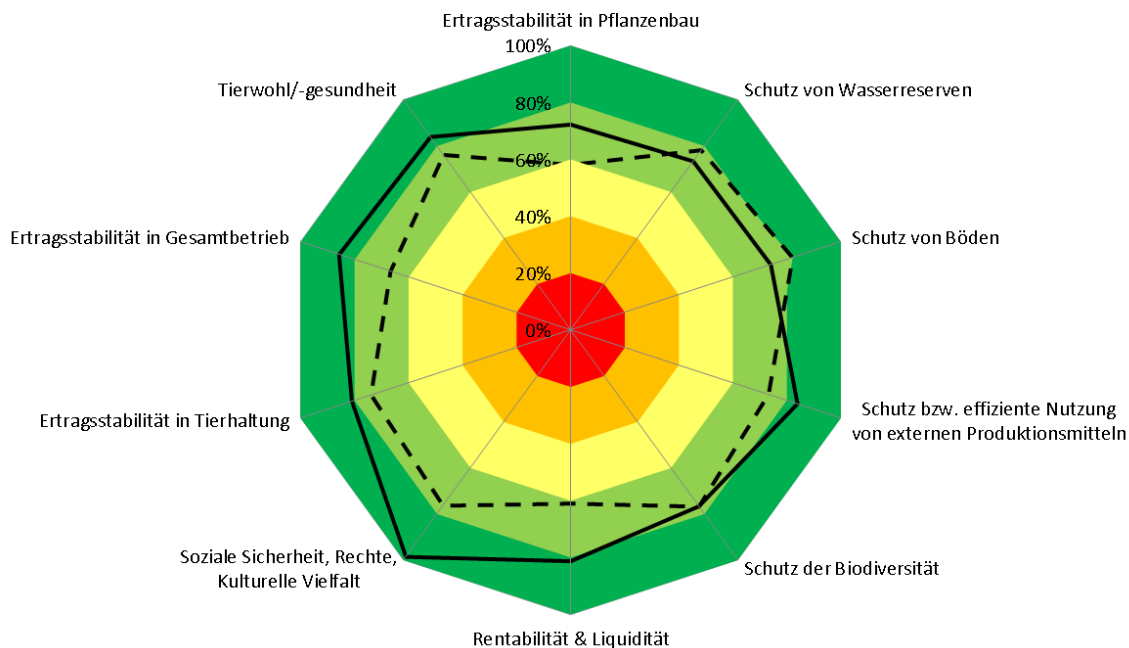


Abb. B-5: Zielerreichungsgrade für Kriterien der Widerstandsfähigkeit gegenüber Klimawandelfolgen für zwei Praxisbetriebe mit Milchviehhaltung. Die durchgezogene Linie beschreibt das Abschneiden eines Betriebes im oberösterreichischen Alpenvorland in pflanzenbaulich verhältnismäßig produktiver Lage, während die strichlierte Linie einen Praxisbetrieb aus dem Mühlviertel beschreibt, der in einer weniger ertragsfähigen Region liegt.

Wie in Abbildung 5 ersichtlich ist, liegen für beide Betriebe die Zielerreichungsgrade zwischen 60 % und 80 % und somit besteht eine als „gute“ bzw. "befriedigend" einzustufende Situation. Am Beispiel der zwei Milchviehbetriebe werden die Differenzen zwischen den Betrieben eingehender erklärt, die sich letztendlich auch im Ergebnis der Betriebsbewertung, d.h. den Zielerreichungsgraden für Kriterien (folgend kursiv geschrieben) niederschlagen. Der Betrieb im oberösterreichischen Alpenvorland hebt sich in den meisten Kriterien positiv vom Betrieb im Mühlviertel ab, was mehrere Ursachen hat:

1. Klimatische Gegebenheiten und Produktivität im Pflanzenbau: Der Betrieb im oberösterreichischen Alpenvorland weist eine um ca. 15 (für die vergangenen 12 Jahre) bis 25 Tage längere Vegetationsperiode gegenüber dem Betrieb im Mühlviertel auf (letzterer Wert für das Szenarienergebnis des Zeitraums um 2050); dazu ist seine Wasserbilanz (übers Jahr oder für die Vegetationsperiode) deutlich günstiger (siehe auch Ergebnisse zu Klimadaten nach BOKU-Met 2015; siehe Abb. A.2 und A.3 im Anhang. Betreffend der Hitzetage als Indikator für potenziellen Hitzestress sind beide Regionen allerdings sehr ähnlich (BOKU-Met 2015).

2. Die *Ertragsstabilität im Pflanzenbau* liegt aufgrund der geringeren Niederschläge und besonders aufgrund von höherem, mit KWF assoziiertem Schädlingsbefall geringer (so wurden bspw. Engerlinge und Maiszünsler bei der Betriebsbefragung im Mühlviertel als relevantes Problem erwähnt, was im öö. Alpenvorland kaum bzw. nicht relevant zu sein scheint). Eine Verzerrung durch unterschiedliche Einschätzungen bzw. Einstellungen der interviewten Personen könnte hier durchaus einen bedeutenden Einfluss haben.
3. Der *Schutz bzw. die effiziente Nutzung von Betriebsmitteln* ist im Mühlviertler Betrieb schwieriger, da verhältnismäßig weniger hofeigenes Konzentratfutter erzeugt und verfüttert werden kann, nachdem die Region aufgrund klimatischer Gegebenheiten geringere Möglichkeiten für Ackerwirtschaft aufweist. Die Pufferkapazität der Lagerhaltung zeigte sich am Mühlviertler Betrieb (auf Basis einer qualitativen Selbsteinschätzung) als geringer. Zudem wird im Vergleich zum Betrieb im öö. Alpenvorland weniger reduzierte Bodenbearbeitung und keine Direktsaat eingesetzt, was aus Sicht des Treibstoffbedarfs Unterschiede bedingt. Ein weiterer Unterschied besteht in der geringeren Anwendung bzw. Anwendbarkeit von Managementplänen (z.B. Applikation von Pflanzenschutzmitteln nach dem Schadschwellenprinzip). Dies resultiert daraus, dass der Betrieb im Mühlviertel ein biologisch wirtschaftender ist, während jener im öö. Alpenvorland eine integrierte Produktionsweise einsetzt, wobei für letztere im Gegensatz zu „Bio“ Informationssysteme mit der Meldung von Schadschwellenüberschreitungen bestehen.
4. Für das Kriterium *Rentabilität und Liquidität* zeigten sich bei Betriebsinterviews Vorteile für den Betrieb im öö. Alpenvorland sowohl bei der betriebsinternen ökonomischen Analyse und Planung (bspw. sind Ergebnisse aus einer Kostenrechnung vorhanden) als auch bei der Einschätzung der realisierten Deckungsbeiträge oder Gewinne. Relevante Nachteile in diesem Kriterium ergab auch eine geringere Risikoabdeckung über Versicherungen des Mühlviertler Betriebs im Vergleich zum Betrieb im öö. Alpenvorland.
5. Die im Mühlviertler Betrieb kaum genutzten Versicherungsoptionen zeigen ihre Wirkung auch beim Indikator *Soziale Sicherheit [Rechte und Kulturelle Vielfalt]* mit Nachteilen beim Zielerreichungsgrad sehr deutlich.
6. Dass sich die *Ertragsstabilität in der Tierhaltung* für den Mühlviertler Betrieb ungünstiger darstellt, kann teilweise auch mit einer selbstkritischeren Haltung verbunden sein, ist zum Teil aber auch gut begründbar. Am Mühlviertler Betrieb wurden bspw. deutlich weniger Maßnahmen zur Adaptation des Haltungssystems gegenüber KWF umgesetzt und Abgänge bzw. Krankheiten wurden deutlicher mit Hitzestress und insofern mit KWF in Verbindung gebracht. Gegenteilig zeigte der Mühlviertler Betrieb bspw. Vorteile beim potenziellen Hitzestress aufgrund deutlich geringerer Milchleistungen.
7. In der (über die Bereiche Tierhaltung und Pflanzenbau hinausgehenden) *Ertragsstabilität im Gesamtbetrieb* fällt neben der gesamtbetrieblich günstigeren finanziellen Situation des Betriebs im öö. Alpenvorland vor allem dessen höhere Diversifikation bei Produkten (Einkommensquellen) auf: Neben der Tierhaltung erfolgen noch Feldgemüseanbau (mit Direktvermarktung) und Marktfruchtanbau.

In zwei Kriterien stellt sich der Mühlviertler Betrieb als potenziell widerstandsfähiger gegenüber Klimawandelfolgen dar. Dies betrifft den *Schutz von Wasserreserven* und von *Böden*, die primär mit der biologischen Wirtschaftsweise zusammenhängen. Beim Indikator *Schutz von Biodiversität* liegen beide Milchviehbetriebe gleichauf, wobei dies verschiedene Ursachen hat. So weist der Betrieb im öö. Alpenvorland z.B. eine deutlich diversere (v.a. hinsichtlich Kulturen in der Fruchtfolge) Landnutzung auf, verwendet allerdings in eingeschränktem Ausmaß (bei integrierter Produktion) Pflanzenschutzmittel, während der Mühlviertler Biobetrieb zur Gänze auf Pflanzenschutzmittel verzichtet.

Neben dem aggregierten Ergebnis in Form von zehn Kriterien wurde für jeden der in den Betrieben bewertbaren Indikatoren eine (in der MS-Excel-Anwendung automatisiert erstellte) qualitative Antwort ausgegeben und auch an die Betriebe rückgemeldet. Dies erfolgt in Form von drei Listen mit positiven, negativen und neutralen Ergebnissen, d.h. die BetriebsleiterInnen erhalten eine Einschätzung darüber, bei welchen Indikatoren der Betrieb gut, schlecht bzw. mittelmäßig an potenzielle negative Einflüsse von KWF angepasst sind. Diese Rückmeldung (die zugleich eine Kontrollmöglichkeit darstellt, ob auch alles richtig erfasst und ver-

rechnet wurde) ist beispielhaft für den Mühlviertler Milchviehbetrieb im Anhang in Tabelle A.4 dargestellt.

Ähnlich wie in Abbildung 5 für die zwei analysierten Milchviehbetriebe gibt die folgende Abbildung 6 die Zielerreichungsgrade für Kriterien der Widerstandsfähigkeit gegenüber KWF für zwei Praxisbetriebe mit Mastschweinehaltung wieder.

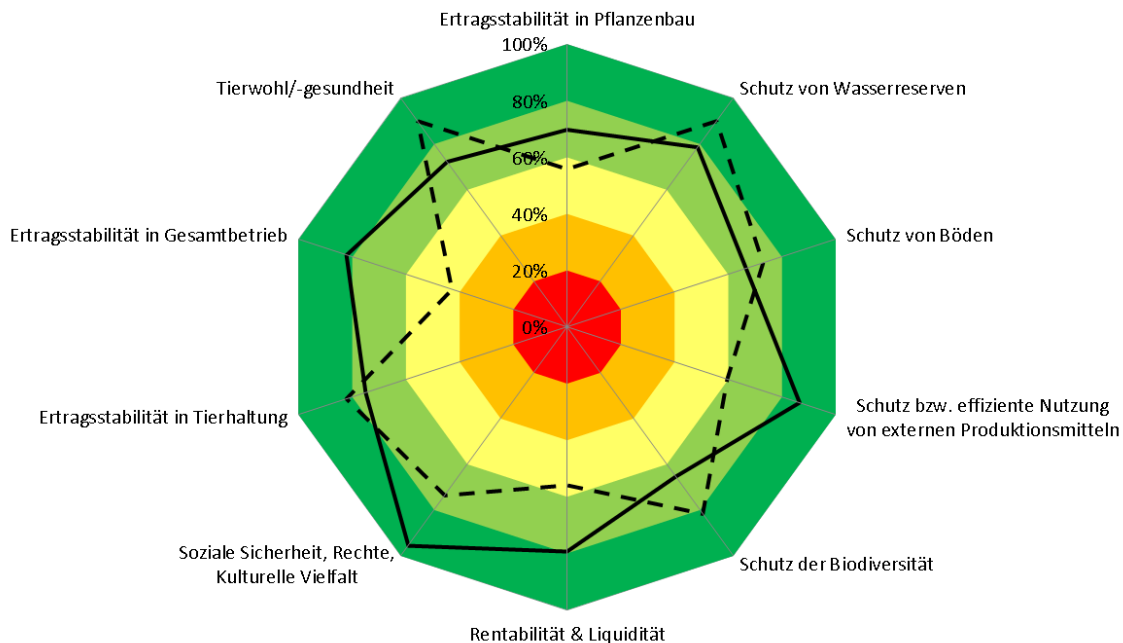


Abb. B-6: Zielerreichungsgrade für Kriterien der Widerstandsfähigkeit gegenüber Klimawandelfolgen für zwei Praxisbetriebe mit Mastschweinehaltung. Die durchgezogene Linie beschreibt das Abschneiden eines intensiv wirtschaftenden Betriebes im niederösterreichischen (nord-östlichen) Flach- und Hügelland, während die strichlierte Linie einen verhältnismäßig extensiven Mastschweinebetrieb des oberösterreichischen Alpenvorlandes beschreibt.

Abschließend lässt sich zum Abschneiden der vier analysierten Praxisbetriebe festhalten, dass ihre durchwegs „guten“ bzw. „befriedigenden“ Ergebnisse zu einem relevanten Anteil aufgrund einer eventuell verzerrten Betriebsauswahl und einer für eine repräsentative Einschätzung der Situation viel zu kleinen Stichprobe so erscheinen können. Allerdings können im internationalen Vergleich (siehe Aussagen der gesichteten Literatur in Kapitel 3.1) Spezifika der heimischen Landwirtschaft zu einer günstigen Benotung führen. Beispielsweise dürfte der *Schutz bzw. die effiziente Nutzung von externen Produktionsmitteln* in Tierhaltungsbetrieben aufgrund von höheren Anteilen hofeigener oder regionaler Futtermittel eindeutig vorteilhafter als in anderen Ländern ausfallen. Dies kann auch aus der Literatur – z.B. ebenso an Umweltwirkungen wie klimarelevanten Emissionen tierischer Produkte – abgelesen werden (Leip et al. 2010). Dass heimische Rinder- und Schweinebetriebe einen sehr großen Teil ihrer Futtermittel hofeigen produzieren oder regional beziehen, ist grundsätzlich ein bedeutender positiver Faktor für die im Rahmen dieses Projektes definierte *Ertragsstabilität der Tierhaltung*. Beim *Schutz der Wasserreserven* zeigen österreichische Betriebe betreffend der Wasserqualität durch z.B. Nitrateinträge im internationalen Vergleich (mit bspw. Betrieben in Teilen Deutschlands, der Niederlande oder Dänemark) gute Resultate (EEA 2009); die Wasserqualität definiert einen relevanten Aspekt des Kriteriums *Schutz der Wasserreserven*. Ähnlich kann auch für die kleinstrukturierte österreichische Landwirtschaft mit einem vergleichsweise hohen Anteil an extensiven PS (höchster Bio-Anteil in Europa; Eurostat 2009)

hinsichtlich Biodiversität eine im internationalen Kontext eher günstige Situation vermutet werden.

Ob strukturbedingte Unterschiede zu größeren und industrialisierten Betrieben mit der Methode abgebildet werden kann, bleibt – solange keine Bewertung mit der gleichen Methode erfolgt – im Bereich der Spekulation. Die Bewertung von Betrieben mit anderer Struktur bzw. in anderen Ländern wäre insofern eine interessante Option für weiterführende Untersuchungen.

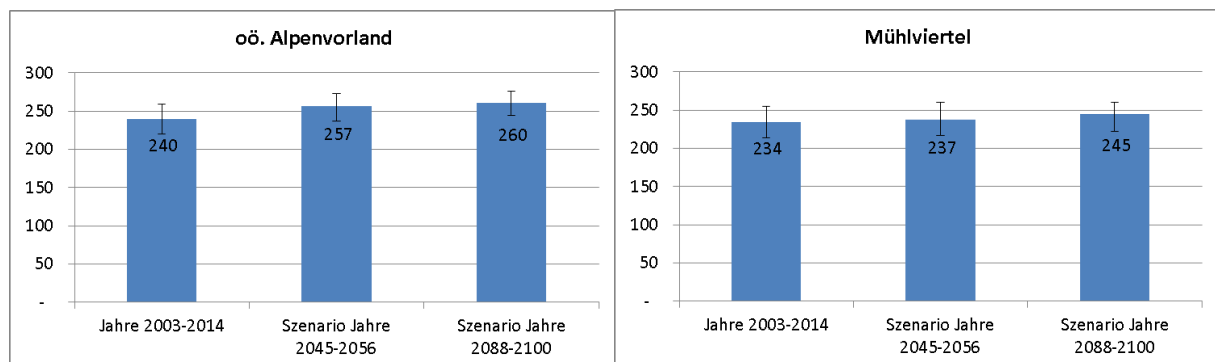
Ein Optimierungspotenzial lässt sich dennoch auch bei den heimischen Betrieben in fast allen Kriterien erkennen. Dieses wurde für alle Betriebe individuell analysiert und ebenso an die Betriebe rückgemeldet. Aus der hier vorgestellten Betriebsbewertungsmethode wurde dieses Optimierungspotenzial insofern abgeleitet, als die Indikatoren mit mangelnder Ausprägung auf ihre Wirkung auf Kriterien hin untersucht wurden. Je größer das noch zu realisierende betriebliche Potenzial (d.h. je schlechter die Ausprägung des Indikators auf einem Betrieb) ist und je stärker der Indikator auf Kriterien wirkt, desto höher stellt sich sein Optimierungspotenzial dar. Im Anhang ist in Tabelle A.4 (der Rückmeldung an die Betriebe) eine Ableitung des Betriebsoptimierungspotenzials für das Beispiel des Mühlviertler Milchviehbetriebs dargestellt.

B-3.4.3 Ergebnisse der subjektiven Betriebsbewertungsmethode und objektive Klimadaten

Die zum Teil durch das Betriebsinterview subjektiv beeinflussten Ergebnisse der Bewertung wurden in der Studie durch objektive Klimadaten ergänzt und dahingehend diskutiert. Dazu wurden vom Institut für Meteorologie an der BOKU Daten für die Betriebsstandorte (Milchrinder: Mühlviertel und oö. Alpenvorland; Mastschweine: nordöstliches Flach- und Hügelland und oö. Alpenvorland) spezifisch ausgewertet (BOKU-Met 2015). Dies inkludiert einerseits in die Fläche übertragene Daten von Messreihen des BOKU-Met für 2003 bis Ende 2014, andererseits nach einem Klimaszenario für die Vergangenheit und die Zukunft (1951 bis Ende 2100) berechnete Klimadaten.

Grundlegend zeigen die objektiven Klimadaten Unterschiede zwischen dem niederschlagsreichen Standort im oö. Alpenvorland (Bezirk Gmunden), jenem kühleren und trockeneren Standort im Mühlviertel (Bezirk Rohrbach) und dem heißeren und trockeneren Standort im nordöstlichen Flach- und Hügelland (Bezirk Wiener Neustadt). Der Milchvieh- und der Mastschweinebetrieb im oö. Alpenvorland sind nur wenige Kilometer voneinander entfernt und zeigen insofern identische Ergebnisse der ausgewerteten Klimadaten.

In der folgenden Abbildung 7 wird die Vegetationsdauer der drei Standorte (für die vier analysierten Praxisbetriebe) und deren berechnete Dauer um 2050 und 2100 verglichen. Dabei ist ein Nachteil für den Standort im Mühlviertel, wie auch ein Vorteil für den Betrieb im nordöstlichen Flach- und Hügelland gegenüber jenem im oö. Alpenvorland ersichtlich.



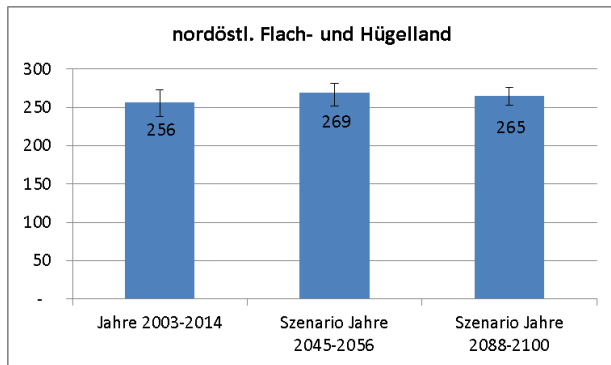


Abb. B-7: Dauer der Vegetationsperiode (Tage) im Vergleich der drei Standorte öö. Alpenvorland, Mühlviertel und nordöstliches Flach- und Hügelland. Der angegebene Wert beschreibt das Mittel für die Periode, der Fehlerindikator zeigt eine Standardabweichung an.

Die je nach Betrachtungszeitraum knappen bzw. negativen Wasserbilanzen für den Standort im nordöstlichen Flach- und Hügelland wirken einem potenziellen Vorteil bei der Vegetationsdauer entgegen. Die Abbildung 8 stellt Wasserbilanzen für die Standorte über die Vegetationsperioden dar. Hier wird ein aktueller Vorteil des Standorts im öö. Alpenvorland ersichtlich, der sich in der Zukunft als vergleichsweise noch größer erweist. Die Wasserbilanzen über das gesamte Jahr sowie während der Sommermonate sind im Anhang dargestellt (Abb. A.2 und Abb. A.3).

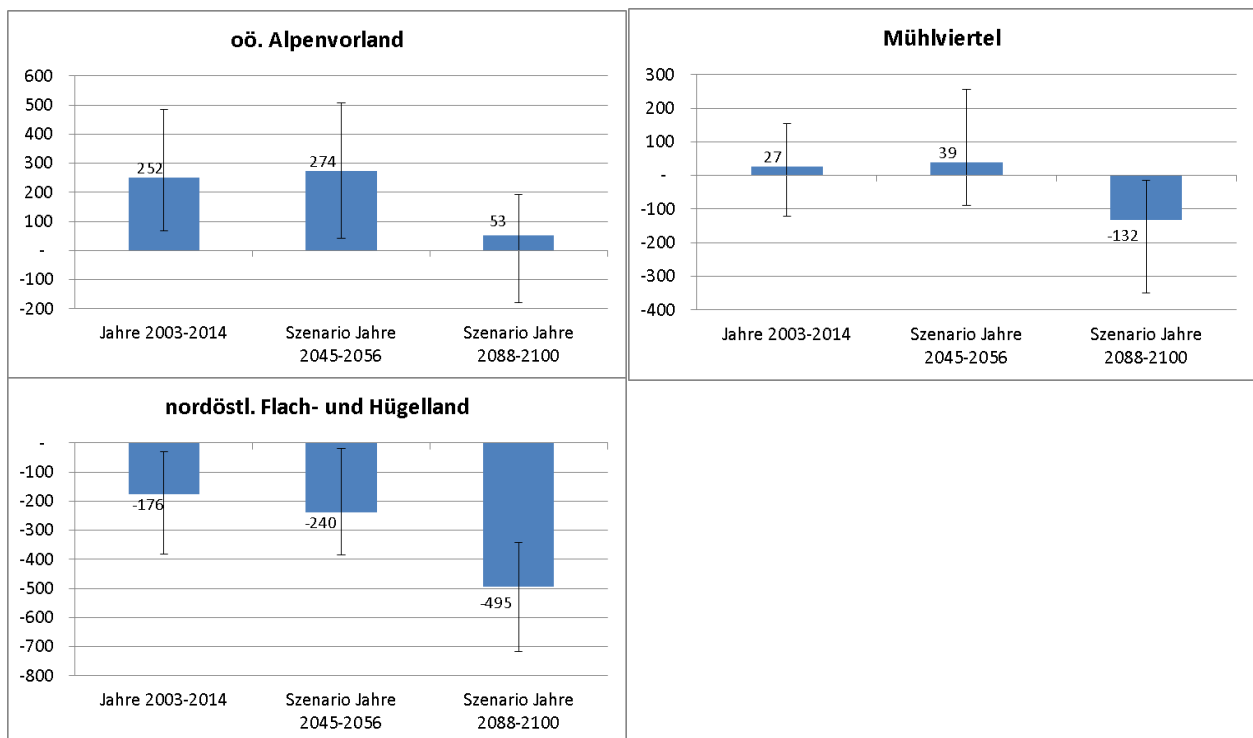


Abb. B-8: Wasserbilanzen für die Vegetationsperiode (in mm) im Vergleich der drei Standorte öö. Alpenvorland, Mühlviertel und nordöstliches Flach- und Hügelland. Der angegebene Wert beschreibt das Mittel für die Periode, der Fehlerindikator zeigt eine Standardabweichung an.

Ein erstes Ziel der Gegenüberstellung von einerseits Ergebnissen der subjektiven Stärken-Schwächen-Einschätzung durch die BetriebsleiterInnen (Betriebsbewertung) und andererseits den Klimadaten war, ob LandwirtInnen die regionale klimatische Entwicklung (v.a. Temperaturen und Niederschläge) ähnlich zu objektiven Klimadaten einschätzen. Aus den (vier) Betriebsinterviews lässt sich folgern, dass Klimaänderungen betreffend Vegetationsdauer und Niederschlagsbilanzen nur im Groben bekannt sind und in der langfristigen Pla-

nung derzeit keine Rolle spielen. Die Zeiträume um 2050 und 2100 lagen für alle interviewten Betriebsleiter zu weit weg (alle vier Betriebe werden spätestens um 2045 von der nächsten Generation geführt). Die Unterschiede der Vegetationsdauer zwischen den drei Standorten sind etwa gleich groß wie jene für den Anstieg der Vegetationsdauer bis 2100. Als wesentlich bedeutender und zeitnaher sehen die interviewten Betriebsleiter biotische Klimawandelfolgen, d.h. die Zunahme von Krankheiten, Unkräutern oder Schädlingen. Dieses größere Problembewusstsein scheint vorwiegend durch mehr verfügbare Information in Fachzeitschriften gegeben.

Ein zweites Ziel der Gegenüberstellung der Betriebsbewertung und der Klimadaten war die Frage ob sich Unterschiede zwischen den Standorten, so wie sie in Klimadaten zu finden sind, auch in subjektiven Stärken-Schwächen-Einschätzungen aus BetriebsleiterInnen-Interviews in ähnlicher Form wiederfinden. Dies betrifft für den Pflanzenbau vor allem die Situation bezüglich Wasserbilanzen. Diesbezüglich ist zu erwähnen, dass – trotz der in Abbildung 8 ersichtlichen Differenzen – kein Unterschied zwischen den Betrieben hinsichtlich des aktuellen Managements festgestellt werden kann: keiner der vier Betriebe hat Bewässerungsanlagen installiert, alle vier beachten dagegen prinzipiell eine angepasste Genetik der Pflanzen, die potenziell auch Trockenheitstoleranz einschließt. Der Betriebsleiter des Betriebs im nordöstlichen Flach- und Hügelland zeigte jedoch (aufgrund der besonderen Relevanz?) tendenziell ausgeprägtere Kenntnis als seine Kollegen zur Thematik von Trockenheit im Pflanzenbau.

Für die aktuelle Situation und die Entwicklung des Hitzestress in der Tierhaltung können Indikatoren wie der THI (temperature humidity index) oder Hitzetage eine potenzielle Gefahr anzeigen. Abbildung 9 stellt die jährlichen Hitzetage für die drei Standorte dar.

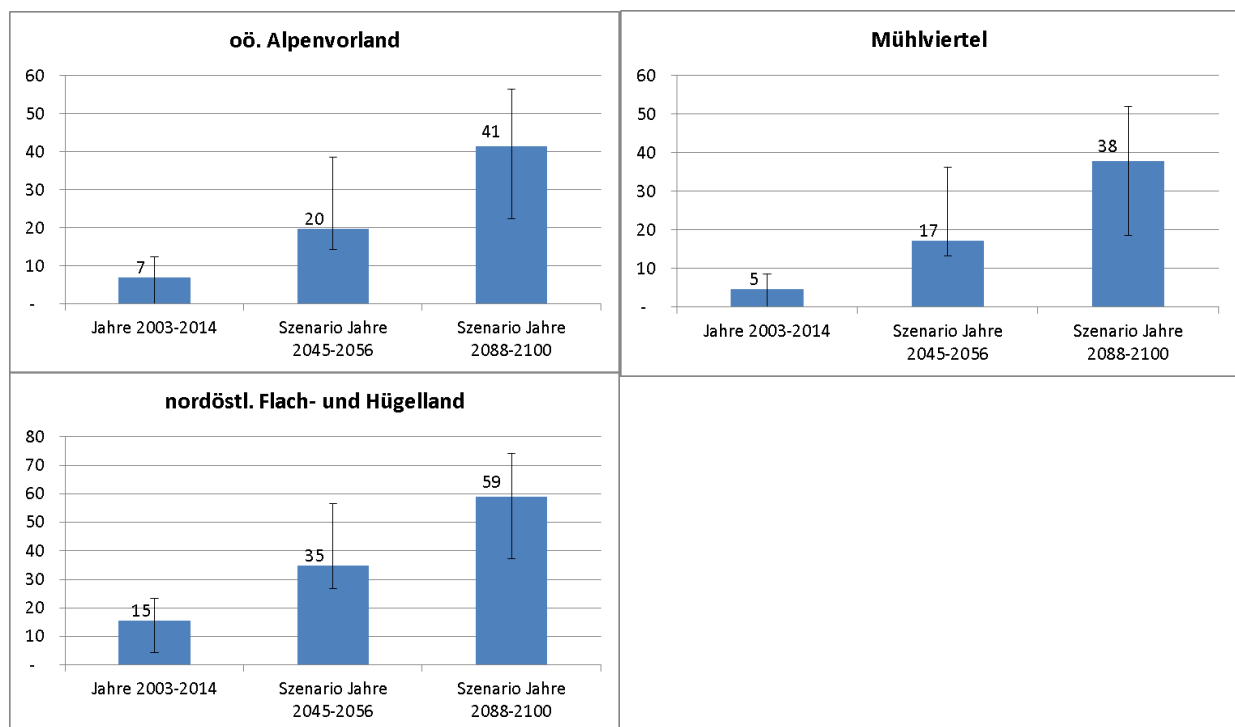


Abb. B-9: Hitzetage im Vergleich der drei Standorte oö. Alpenvorland, Mühlviertel und nordöstliches Flach- und Hügelland. Der angegebene Wert beschreibt das Mittel für die Periode, der Fehlerindikator zeigt eine Standardabweichung an.

Grundlegend lässt sich aus den Daten der Klimamodelle eine Verdoppelung bis Verdreifachung der Anzahl von Hitzetagen bis 2050 erwarten; bis 2100 dürfte gegenüber 2050 nochmals eine Verdoppelung eintreten. Bezüglich der Rinderbetriebe und der zu erwartenden Hitzetage liegt der Standort im oö. Alpenvorland tendenziell ungünstiger als der Standort im

Mühlviertel – sowohl für den aktuellen bzw. vergangenen Zeitraum als auch für die Zukunft. Der Betrieb im öö. Alpenvorland ist in technischer Hinsicht (Adaptierungsmaßnahmen) deutlich besser gegenüber Hitzephasen gerüstet. Das mag auch damit zu tun haben, dass am Betrieb im Alpenvorland wesentlich höhere Milchleistungen erzielt werden und damit die grundlegende Relevanz des Hitzestresses auch deutlicher ausfällt. Da hier nur zwei Betriebe verglichen werden, sind das allerdings nur Mutmaßungen. Bei den Mastschweine-haltenden Betrieben fällt ähnlich auf, dass der intensiver wirtschaftende Betrieb (mit höheren Leistungen) im nordöstlichen Flach- und Hügelland eine stärker technisierte Adaptierung gegenüber Hitze aufweist als der extensive Betrieb im öö. Alpenvorland. Laut Selbsteinschätzung kommen beide zu gleichen Ergebnissen, nämlich eine guten Anpassung der Haltungsumwelt zu erreichen. Der intensivere ostösterreichische Betrieb mit seinen höheren Temperaturen (z.B. mit einer mehr als doppelt so hohen Anzahl von jährlichen Hitzetagen in den letzten zwölf Jahren im Vergleich zu dem extensiveren Betrieb) muss sich das allerdings aufwendiger, energie- und kostenintensiver erkaufen.

Der THI kann herangezogen werden, um für Tiere den Hitzestress in einem Haltungssystem abzuschätzen. Die einfache Version des THIs bezieht nur Temperatur und Luftfeuchtigkeit mit ein (siehe NOAA 1976); diese Methode wurde zur Abschätzung für Schweine angewendet. Ein modifizierter THI nach Mader et al. (2006) wurde für Rinder verwendet, der auch die Sonneneinstrahlung und die Luftgeschwindigkeit inkludiert. In beiden Fällen beziehen sich die verwendeten Parameter auf Außenklimafaktoren, d.h. die Außentemperaturen, die Luftfeuchtigkeit im Freien, ungetrübte/unbeschattete Sonneneinstrahlung und ungebremste Luftgeschwindigkeit. Die THIs gelten direkt also nur für auf der Weide (und allenfalls in großen Ausläufen) gehaltene Tiere; in Stallhaltungssystemen sind viele der angesprochenen Klimafaktoren im Vergleich zum Außenklima modifiziert.

Abbildung 10 zeigt für Mastschweine am Beispiel des Betriebs im nordöstlichen Flach- und Hügelland die Anzahl an Tagen, an denen Grenzwerte des THIs (nach NOAA 1976) überschritten werden. Dieser Betrieb liegt auf dem hinsichtlich Temperatur und Hitzetagen bzw. Hitzestresssituationen am problematischsten Standort. Ein (Mast-) Leistungsrückgang stellt sich nach Chase (s.a.) über einem THI von 72 ein, ein sehr starker bis lebensbedrohlicher Hitzestress über einem THI von 85 – insofern wurden diese Grenzwerte in den beiden Diagrammen herangezogen.

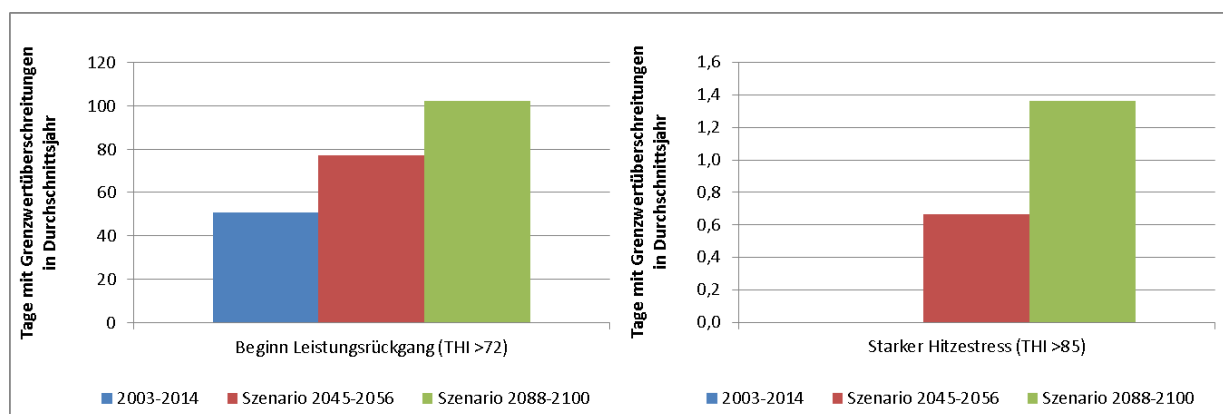


Abb. B-10: Anzahl der Tage mit THI-Grenzwertüberschreitungen im Durchschnittsjahr der bezeichneten Perioden für a) einen spürbaren Leistungsrückgang bei THI >72 und b) einen sehr starken bis lebensbedrohlichen Hitzestress bei THI > 85 für den Betrieb im nordöstlichen Flach- und Hügelland.

Wie aus der Abbildung 10 ersichtlich wird, wären Schweine im Freien (auf der Weide) – insofern ihnen keine Möglichkeit zur Reduktion des Hitzestresses zur Verfügung steht, z.B. eine Suhle, eine Dusche oder Beschattung – in der Periode der vergangenen zwölf Jahre schon an über 50 Tagen je Jahr von einem spürbaren Leistungsrückgang betroffen. Ein Tag mit Grenzwertüberschreitung zu starkem bis lebensbedrohlichem Hitzestress wurde für diese Periode allerdings noch nicht festgestellt. Anders für die Jahre um 2050 und 2100, in denen

durchschnittlich an knapp einem bzw. mehr als einem Tag diese – möglicherweise fatale – Grenzwertüberschreitung zu erwarten ist, falls für die Tiere keine Option zur Minderung des Hitzestresses verfügbar wäre. Ein Hitzestress-bedingter spürbarer Leistungsrückgang würde ohne Anpassung (auf unbeschatteter Weide) an etwa einem Fünftel (um 2050) bzw. über einem Viertel der Tage eines Jahres (um 2100) auftreten. Insofern sind für alternative Haltungsformen bei Schweinen mit Weide oder Auslauf Beschattungen (Bäume und Bewuchs), Duschen, Suhlen oder andere Adaptationsmaßnahmen anzubieten. Schafft ein Stallsystem durch u.a. Beschattung bzw. isolierte Dach- und Wandkonstruktionen, Lüftung oder Klimatisierungsmaßnahmen entsprechend geringere Temperaturen (und dabei eine nur unwesentlich höhere Luftfeuchtigkeit) als im Freien anzubieten, sollte das Hitzestressproblem weniger relevant sein. Bedarf eine Adaptation jedoch der ständigen Energiezufuhr, sollte an eine Notversorgung für den Ausfall dieser gedacht werden.

Im Vergleich zu den das Außenklima stark modifizierenden Stallhaltungssystemen für Schweine, sind moderne Haltungssysteme für Milchrinder zumeist wesentlich „einfacher“ und bspw. gegenüber dem Außenklima „offener“ („Offenfrontstall“, „Außenklimastall“ etc.). Ältere Stallsysteme sind dagegen oft sogenannte „Warmställe“, d.h. isolierte Gebäude mit deutlich geringerem Luftvolumen. In solchen Stallsystemen herrscht eine größere Gefahr für Hitzestress.

Wenn auch im Vergleich mit früheren Jahrzehnten stark rückläufig, ist dennoch Weidehaltung für Rinder (besonders im Vergleich mit Schweinen) ein wichtiges Thema. In Abbildung 11 werden die auf eine unbeschattete Weide bezogenen Tage mit THI-Grenzwertüberschreitungen am Beispiel des Milchviehbetriebs des oö. Alpenvorlandes gezeigt.

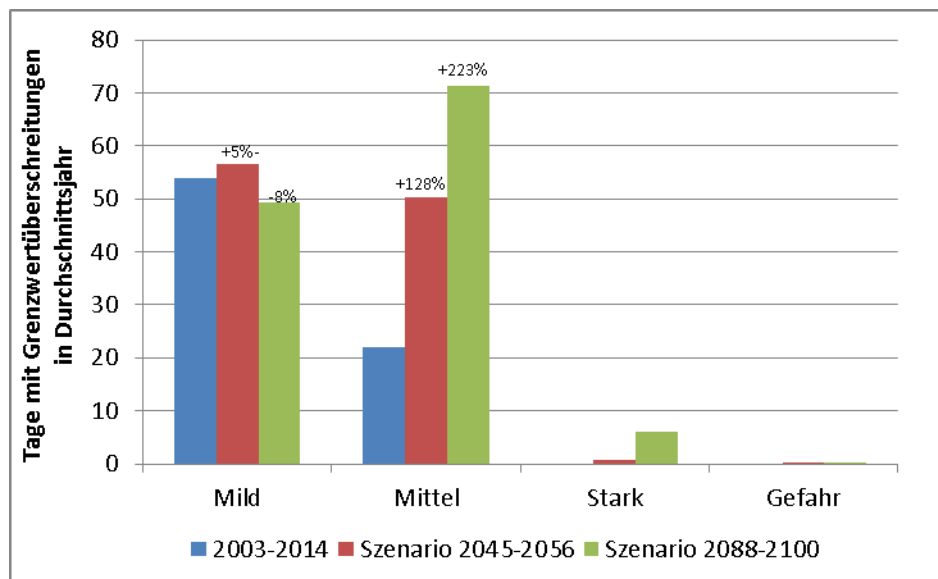


Abb. B-11: Anzahl der Tage mit THI-Grenzwertüberschreitungen im Durchschnittsjahr der bezeichneten Perioden für a) einen milden Hitzestress bei THI 72 bis 79, b) einen mittleren Hitzestress bei THI 80 bis 89, c) einen starken Hitzestress bei THI 90 bis 98 und d) einen lebensbedrohlichen Hitzestress bei THI ≥ 99 für den Milchviehbetrieb im oö. Alpenvorland.

Aus den Ergebnissen der Abbildung 11 wird ersichtlich, dass für die Perioden um 2050 und 2100 die Gefahr vor allem für mittleren Hitzestress (THI von 80-89) und starken Hitzestress (THI von 90-98) ansteigt. D.h., dass nicht nur die Anzahl der Tage mit THI-Grenzwertüberschreitungen ansteigt (um einen Faktor 1,4 von derzeit auf 2050 und einem Faktor 1,7 von derzeit auf 2100), sondern diese Tage v.a. auch deutlich heißer werden. Ein alter, diesbezüglich schlecht eingerichteter Warmstall stellt für hochleistende Milchkühe insofern ein großes Risiko für Tierwohl und Produktivität dar, das allenfalls mit vielen technischen

Adaptationsmaßnahmen (wie Sprenkern zusätzlich zu Ventilatoren) und gutem Management (auch hinsichtlich Fütterung, etc.) einigermaßen kontrolliert werden kann.

Eine Abschätzung für den Effekt eines Warmstalls auf Basis der verwendeten THI-Berechnungen nach Mader et al. (2006) ergab folgende Resultate: liegt die angenommene Temperatur in einem Warmstall um 3 °C und die Luftfeuchtigkeit um 5 % gegenüber den Außenbedingungen höher (letzteres, weil die Tiere viel Feuchtigkeit mit dem Atem abgeben, die im Warmstall nicht gleich zur geringer feuchten Außenluft diffundiert) und herrscht zudem keine nennenswerte Luftbewegung im Warmstall (keine Ventilatoren), dann liegt der mittlere THI für die (kritischen) Monate Mai bis September um etwa 17 % höher als auf der Weide. Während – bezogen auf den absoluten mittleren THI der kritischen Monate – das für eine Milchkuh auf der Weide einem dauerhaften milden Hitzestress entspricht, ist die Milchkuh im Warmstall theoretisch einem dauerhaften mittleren Hitzestress ausgesetzt. Da sich ein Mittelwert aus heißen und weniger heißen Einzeltagen zusammensetzt, ist er für das Risiko ernsthafter Folgeerkrankungen bis letaler Folgen durch sehr hohen Hitzestress keine geeignete Größe. Im Szenario „Warmstall“ sind gegenüber der Weidesituation v.a. auch die mehrfachen THI-Grenzwertüberschreitungen in den Bereichen „Stark“ und „Gefährlich“ als äußerst kritisch anzusehen.

Ausgewertete Klimadaten können nicht nur herangezogen werden, um die Aussagen von subjektiven Stärken-Schwächen-Einschätzungen (Betriebsinterviews) besser reflektieren zu können, sondern helfen in Form einer Rückmeldung an die LandwirtInnen, dass auf den Betrieben objektive, standortbezogene Risiken bewusst gemacht und Wissenslücken geschlossen werden. Die von Hitzestress ausgehende Gefahr kann dadurch besser an Praxisbetriebe vermittelt werden. Zudem kann mit den Wasserbilanzen aus Klimadaten der Bedarf für Bewässerungssysteme konkreter ermittelt werden. Die BetriebsleiterInnen zeigten insofern Interesse – an den „Klimaresilienz“-Betriebsbewertungen wie auch an den standortbezogenen Klimadaten.

Klimadaten und – soweit verfügbar – darauf aufbauende weiterführende Abschätzungen von Hitzestress in verschiedenen Haltungssystemen (siehe Vergleich Warmstall zu unbeschatteter Weide) sind für die Praxis sehr relevant. Weiterführende Arbeiten sollten darauf Bezug nehmen. Beispielsweise wäre auch eine auf die klimatologischen Wasserbilanzen aufbauende Methode praxisrelevant, die in Abhängigkeit des Evapotranspirationswasserbedarfs verschiedener Kulturen bzw. Fruchtfolgen und deren konkreter Trockenmasseerträge den Bedarf für Zusatzbewässerung oder den richtigen Zeitpunkt für die Installation einer Bewässerungsanlage besser abschätzt. Eine Verknüpfung mit ökonomischen Daten zur Bestimmung der Rentabilität wäre hier eine weitere Option. Bei allen relevanten Detailbetrachtungen sollte jedoch das gesamte System nicht aus den Augen verloren gehen, daher empfiehlt sich aus Sicht der Autoren eine Verwendung der Klimadaten zusätzlich zur umfassenden Klimaresilienz-Betriebsbewertung.

B-4 Schussfolgerungen & Ausblick

Im gegenständlichen Forschungsprojekt konnte im Rahmen der auf Literatur und Expertenwissen aufbauenden Systemanalyse gezeigt werden, welche Einflussfaktoren und Systemelemente in den Bereichen Futterpflanzenbau bzw. Tierhaltung zu beachten sind, um eine „Klimaresilienz“ zu erreichen. Der Begriff Klimaresilienz beschreibt einen Zustand bzw. ein Ziel von PS, in dem durch KWF verursachter Stress die Produktivität des PS nicht gefährdet, sondern eine langfristige Ertragsstabilität tierhaltender Betriebe gegeben ist. Zeitgleich wurde als weiteres Ziel der Systemanalyse die Erreichung eines entsprechenden Tierwohls als Nebenbedingung bzw. Ziel angesetzt. Die Systemanalyse zeigt dabei nicht nur Risikobereiche für tierhaltende Betriebe in Österreich auf, sondern identifiziert auch relevante Maßnahmen, die in dieser Hinsicht von Betrieben getroffen werden sollten. Bedeutend ist hier zum Beispiel der Einsatz bzw. die Entwicklung von an KWF angepassten Arten und Sorten bei Nutzpflanzen und Tieren; der Forschung in diesen Bereichen sollte insofern entsprechendes Augenmerk geschenkt werden. Ähnliche Relevanz sollte der Sicherung von Flächenverfügbarkeit und Wasserversorgung zukommen, für die entsprechende Steuerungsmöglichkeiten auf politischer Ebene zu entwickeln sind. Auf der Ebene von einzelbetrieblichen Maßnahmen sind Adaptationen von Haltungssystemen oder die Erstellung und Umsetzung von Gesundheitsplänen zu nennen, um Produktivität und Tierwohl trotz KWF zu sichern; in trockenen Gebieten und bei Möglichkeiten von nachhaltiger Wassernutzung könnte die Futterpflanzenproduktion in Trockenjahren mit der Installation von Bewässerungsanlagen gesichert werden. Neben betrieblichen Maßnahmen zur Erhöhung der ökologischen Resilienz für bewirtschaftete Flächen (z.B. durch Hecken) zeigt sich v.a. auch die Beachtung der sozioökonomischen Widerstandsfähigkeit als bedeutend. Bestimmte Aspekte können dabei von Betrieben umgesetzt werden, z.B. die Nutzung von Versicherungsoptionen, überbetriebliche Zusammenarbeit und ähnliche Kooperationsformen oder Investitionen in KWF-kritische Infrastruktur. Aber auch Gesellschaft, Politik, NGOs und Beratung sind hier gefordert: Anpassungen der Landwirtschaft an KWF erfordern einen Wissenstransfer und sind mitunter mit Investitionen verbunden, die nicht kostenneutral ausfallen und daher entsprechender Unterstützung bedürfen.

Die im Rahmen des Forschungsprojektes entwickelte Bewertungsmethode ist geeignet, die für tierhaltende Betriebe potenziellen Risikobereiche, die aus KWF resultieren, zu identifizieren und zu konkretisieren. Bei den Betriebsinterviews zur Datenerhebung und der Rückmeldung zeigte sich anhand von vier Pilotbetrieben, dass die durchgeführte Bewertung bei den BetriebsleiterInnen ein erhöhtes Bewusstsein zu KWF schafft und Wissen transferiert, wodurch Betriebe potenzielle Gefahren besser einschätzen können. Das Interesse der LeiterInnen der analysierten Pilotbetriebe an dieser Bewertung unterstreicht die Sinnhaftigkeit eines Folgeprojekts zur Weiterentwicklung der Bewertungsmethode in Richtung einer Selbstevaluierungsmethode, die für viele Betriebe die Möglichkeit der Anwendung der Methode erschließen sollte. Die Ergebnisse des Projektes weisen auf Ziele und Möglichkeiten für Erweiterungen der in diesem Projekt angewendeten Methoden in weiterführenden Untersuchungen hin: Eine betriebsindividuelle standortbezogene Abschätzung von Hitzestress für verschiedene Haltungssysteme könnte für einen Stallneubau äußerst nützlich sein. Interessant wäre auch eine Betriebsbewertungsmethode, die aufbauend auf Standort- und PS-bezogenen klimatologischen Wasserbilanzen den Bedarf für Bewässerungssysteme zeigen. Eine Verknüpfung mit ökonomischen Daten zur Bestimmung der Rentabilität wäre hier eine weitere Option. Bei allen Detailbetrachtungen sollte jedoch das gesamte landwirtschaftliche PS nicht aus den Augen verloren gehen. Daher empfiehlt sich aus Sicht der Autoren eine Verwendung der umfassenden „Klimaresilienz“-Betriebsbewertung und deren Weiterentwicklung im Rahmen eines Folgeprojekts.

Danksagung

Folgenden Personen bzw. Institutionen sei besonderer Dank ausgesprochen:

- Imran Nadeem, MSc, und Dr. Herbert Formayer vom Institut für Meteorologie an der Universität für Bodenkultur Wien für die Erstellung und Übermittlung von standortbezogenen Klimadaten für die analysierten Praxisbetriebe.
- Elf ExpertInnen für ihre wichtigen Beiträge bei der Indikatoren- und Kriterienentwicklung (siehe Anhang, Tabelle A.1).
- Vier Landwirten, ohne deren Auskunftsfreudigkeit und Datenbereitstellung für den Praxistest der Bewertungsmethode diese nicht dem aktuellen Stand entsprechen würde.
- Mag. Thomas Guggenberger MSc, und Dr. Markus Herndl vom LFZ Raumberg-Gumpenstein sowie KollegInnen von Agroscope für die Bereitstellung von Daten aus dem Projekt *Farmlife*.
- Den wissenschaftlichen Beiräten und der Projektleitung sowie Koordination des Projekts StartClim für Anregung und Unterstützung während der Begutachtungsphase und bei den Workshops.

Literaturverzeichnis

- Albuquerque, L.G., Mercadante, M.E.Z., Eler, J.P. (2006): Recent Studies on the Genetic Basis for Selection of Bos Indicus for Beef Production. 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, August 13–18, 2006, Belo Horizonte, Brazil.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998): Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Amon, B., Fröhlich, M., Weißensteiner, R., Zablatnik, B., Amon, T. (2007): Tierhaltung und Wirtschaftsdüngermanagement in Österreich Endbericht Projekt Nr. 1441 Auftraggeber: Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft. 114 pp.
- Amon, B., Hörtenhuber, S. (2008): Revision of Austria's Informative Inventory Report (IIR; OLI) for NH₃, NMVOC und NO_X in Agriculture (sector 4). Internal report on behalf of the Environment Agency Austria (Umweltbundesamt GmbH), 62 pp.
- Anderl, M., Haider, S., Lampert, C., Moosmann, L., Pazdernik, K., Pinterits, M., Poupa, S., Purzner, M., Schmidt, G., Schodl, B., Stranner, G., Wieser, M., Zechmeister, A. (2015): Austria's Annual Greenhouse Gas Inventory 1990-2013. Data Status: February 24th 2015. Wien, 2015. REP-0536 Reports, Band 0536. ISBN: 978-3-99004-347-9. 31 pp.
- Black, J.L., Mullan, B.P., Lorsch, M.L., Giles, L.R. (1993): Lactation in the sow during heat stress. *Livestock Production Science* 35(1-2):153-170.
- Bloemhof, S., van der Waaij, E.H., Merks, J.W.M., Knol, E.F. (2008): Sow line differences in heat stress tolerance expressed in reproductive performance traits. *Journal of Animal Science* 86(12), 3330-3337.
- BOKU-Met (2015): Klimadaten für 4 Standorte. Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur Wien (Imran Nadeem, MSc, und Dr. Herbert Formayer).
- Brade, W. (2013): Milcherzeugung unter den Bedingungen des Klimawandels – Möglichkeiten zur Vermeidung oder Minderung des Hitzestresses. *Berichte über Landwirtschaft* 91 (3). http://buel.bmel.de/index.php/buel/article/view/34/Brade-91_3.html (zuletzt abgerufen am 6.7.2015)
- Brown-Brandl, T. M., Nienaber, J. A., Eigenberg, R. A., Mader, T. L., Morrow, J. L., Dailey, J. W. (2006): Comparison of heat tolerance of feedlot heifers of different breeds. *Livestock Science* 105, 19-26.
- Burns, B.M., Reid, D.J., Taylor, J.F. (1997): An evaluation of growth and adaptive traits of different cattle genotypes in a subtropical environment. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 37, 399-405.
- Cabell, J. F., Oelofse, M. (2012): An indicator framework for assessing agroecosystem resilience. *Ecology and Society* 17(1). <http://dx.doi.org/10.5751/ES-04666-170118> (zuletzt abgerufen am 6.7.2015)
- Chase, L.E. (s.a.): Climate Change Impacts on Dairy Cattle. Fact Sheet. <http://dbccc.onep.go.th/Climate/attachments/article/105/Climate%20Change%20Impacts%20on%20Dairy%20Cattle.pdf> (zuletzt abgerufen am 6.7.2015)
- Choptiany, J., Graub, B., Phillips, S., Dixon, J. (2014): SHARP - Self-evaluation and Holistic Assessment of climate Resilience of farmers and pastoralists (FAO; version 3). Interim project report. 154 pp.
- Dikmen, S., Hansen, P.J. (2009): Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *Journal of Dairy Science* 92, 109-116.
- Drastig, K., Prochnow, A., Brunsch, R. (2010): Wassermanagement in der Landwirtschaft. Diskussionspapier 3. Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Interdisziplinäre Arbeitsgruppe Globaler Wandel – Regionale Entwicklung. 43 pp.
- Dumont, B., Andueza, D., Niderkorn, V., Lüscher, A., Porqueddu, C., Picon-Cochard, C. (2015): A meta-analysis of climate change effects on forage quality in grasslands: specificities of mountain and Mediterranean areas. *Grass and Forage Science* 70, Issue 2, 239-254.

- EEA (European Environment Agency, Europäische Umweltagentur; 2009): Annual average river nitrate concentration averaged by National River Basin Districts (mg N/l), EU-27 and EFTA. In: Eurostat (2012): Agri-environmental indicator - nitrate pollution of water. http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Agri-environmental_indicator_-_nitrate_pollution_of_water (zuletzt abgerufen am 8.7.2015)
- Eitzinger, J., Kersebaum, K.C., Formayer, H. (2009): Landwirtschaft im Klimawandel. 376 S. Agrimedia/Erling Verlag, Clenze, Deutschland.
- Eitzinger, J., Kubu, G., Thaler, S. (2010): Konsequenzen des Klimawandels für das Ertragspotenzial und den Wasserhaushalt landwirtschaftlicher Pflanzenproduktion. In: ÖWAV (2010): Auswirkungen des Klimawandels auf Hydrologie und Wasserwirtschaft in Österreich, 11-24.
- Eurostat (2009): Organic farming statistics. http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Organic_farming_statistics (zuletzt abgerufen am 8.7.2015)
- FAO (2007): In: The State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture (Ed. by B. Rischkowsky & D. Pilling). FAO, Rom, 511 S. <http://www.fao.org/docrep/010/a1250e/a1250e00.htm> (zuletzt abgerufen am 5.7.2015)
- FAO (2013): SAFA Sustainability Assessment of Food and Agriculture systems indicators. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 271 S.
- Gasteiner, J. (2014): Hitzestress bei Milchkühen. In: LFZ Raumberg-Gumpenstein (2014): Nutztierschutztagung. Raumberg-Gumpenstein 2014. 15. Mai 2014. 25-28.
- Gobiet, A. (2010): Klimamodelle und Klimaszenarien für Österreich. In ÖWAV (2010): Auswirkungen des Klimawandels auf Hydrologie und Wasserwirtschaft in Österreich, 181-190.
- Heidenreich, T. (2014): Hitzestress bei Schweinen - Baulich technische Lösungsmöglichkeiten. In: LFZ Raumberg-Gumpenstein (2014): Nutztierschutztagung. Raumberg-Gumpenstein 2014. 15. Mai 2014. 37-40.
- Herndl, M., Baumgartner, D., Gaillard, G., Guggenberger, T., Steinwidder, A. (2012): Konzept und Methodik zur einzelbetrieblichen Ökobilanzierung landwirtschaftlicher Betriebe in Österreich. In: ALVA (Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel- Veterinär- und Agrarwesen; 2012): Ernährung sichern – trotz begrenzter Ressourcen. ALVA-Tagungsbericht 2012. 4. - 5. Juni 2012, Wien. 152-154.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K. (2006): Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. Water Resources Management 21 (1), 35-48. DOI: 10.1007/s11269-006-9039-x
- Hoffmann, I. (2010): Climate change and the characterization, breeding and conservation of animal genetic resources. Animal Genetics 41, 32-46.
- Holzheu, M. (2014): Hitzestress bei Schweinen - tiergesundheitsliche Aspekte. In: LFZ Raumberg-Gumpenstein (2014): Nutztierschutztagung. Raumberg-Gumpenstein 2014. 15. Mai 2014. 35-36.
- Hörtenhuber, S., Weissshaidinger, R., Lindenthal, T., Zollitsch, W. (2014): Water-use and impact-weighted water footprints – methodological approach and case study for two Austrian milk production systems. In: Schenck, R., Huizenga, D. (Eds.), Proceedings of 9th International Conference LCA of Food. 9th International Conference LCA of Food, San Francisco, OCT 8-10, 2014. 10 pp. <http://www.lcafood2014.org/papers/129.pdf> (zuletzt abgerufen am 8.7.2015)
- Hörtenhuber, S., Kirner, L., Neumayr, C., Quendler, E., Strauss, A., Drapela, T., Zollitsch, W. (2013): Integrative Bewertung von Merkmalen der ökologischen, ökonomischen und sozial-ethischen Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Produktionssysteme am Beispiel von Milchproduktionssystemen ("Nachhaltige Milch"). Endbericht zum Forschungsprojekt Nr. 100783, Wien. https://www.dafne.at/prod/dafne_plus_common/attachment_download/9f5ee5cf5d893825e3cb16421abffb38/Endbericht_Nachhaltige_Milch_final.pdf (zuletzt abgerufen am 8.7.2015)
- Howden, S. M., Soussana, J.-F., Tubiello, F. N., Chhetri, N., Dunlop, M., Meinke, H. (2007): Adapting agriculture to climate change. PNAS 104 (50), 19691-19696.
- IPCC (International Panel on Climate Change; 2006): Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, ed. by Eggleston,

- H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Kanagawa, Japan.
- IPCC (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/> (zuletzt abgerufen am 10.7.2015)
- Knap, P.W. (2005): Breeding robust pigs. *Animal Production Science* 45(8), 763-773.
- Koerber, von K., Kretschmer, J. (2007): Klimafreundlich essen: weniger Fleisch, bio, regional & frisch. *Ökologie & Landbau*, 143 (3), 20-22.
- Koller, A., Schmied, R., Zentner, E., Grabner, R., Illmayer, S. (2012): Hitzetage für Tiere erträglicher machen. <https://sbq.lko.at/?id=2500,1726276> (zuletzt abgerufen am 6.7.2015)
- Leip A., Weiss, F., Wassenaar, T., Perez, I., Fellmann, T., Loudjani, P., Tubiello, F., Grandgirard, D., Monni, S., Biala, K. (2010): Evaluation of the livestock sector's contribution to the EU greenhouse gas emissions (GGELS) – final report. European Commission, Joint Research Centre. http://ec.europa.eu/agriculture/analysis/external/livestockgas/full_text_en.pdf (zuletzt abgerufen am 5.7.2015)
- Mader, T., Davis, S., Gaughan, J., Brown-Brandl, T. (2004): Wind speed and solar radiation adjustments for the temperature-humidity index. *Proceedings of the 16th Conference on Biometeorology and Aerobiology*; Vancouver, BC; 23 August 2004 – 26 August 2004, 57-62.
- Miller, A. M. (2004): Warme Silagen? Warum - weshalb - was tun? Informationsplattform Proteinmarkt – Verband der ölsaatenverarbeitenden Industrie [Deutschland]. 7 pp. http://www.proteinmarkt.de/uploads/media/Warme_Silagen_Warum_-_weshalb_-_was_tun_.pdf (zuletzt abgerufen am 6.7.2015)
- Nelson, G. C., Rosegrant, M. W., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., Ringler, C., Msangi, S., Palazzo, A., Batka, M., Magalhaes, M., Valmonte-Santos, R., Ewing, M., Lee, D. (2009): Climate change: Impact on agriculture and costs of adaptation. Vol. 21, *Intl Food Policy Res Inst.* 19 pp.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration; 1976): Livestock hot weather stress. *Operations Manual Letter C-31-76*. NOAA, Kansas City, Missouri, USA.
- NRC (National Research Council, 1981): Effect of Environment on Nutrient Requirements of Domestic Animals. Subcommittee on Environmental Stress. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- ÖWAV (Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband; 2010): Auswirkungen des Klimawandels auf Hydrologie und Wasserwirtschaft in Österreich. 202 pp. <http://www.oewav.at/Kontext/WebService/SecureFileAccess.aspx?fileguid={ca55095e-3fad-43d9-9f91-69a3834e9491}> (zuletzt abgerufen am 6.7.2015)
- Pötsch, E. M., Asel, A., Schaumberger, A., Resch, R. (2014): Impact of climate change on grassland productivity and forage quality in Austria. *Grassland Science in Europe* 19, 139-141.
- Poiger, T., Buser, H.R., Müller, M.D. (Agroscope FAW Wädenswil, Eidg. Forschungsanstalt für Obst, Wein- und Gartenbau; 2005): Evaluation der Ökomassnahmen und Tierhaltungsprogramme, Synthesebericht Bereich Pflanzenschutzmittel. http://www.blw.admin.ch/dokumentation/00018/00112/00503/index.html?download=NHZLpZig7t_inp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yug2Z6gpJCDeIR7fmym162dpYbUzd,Gpd6emK2Oz9aGodeTmqaN19XI2ldvoaCUZ,s-&lang=de (zuletzt abgerufen am 10.7.2015)
- 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. *PNAS* 111 (9), 3268-3273. doi:10.1073/pnas.1222463110
- Rowlinson, P. (2008): Adapting livestock production systems to climate change – temperate zones. In: Rowlinson, P., Steele, M., Nefzaoui, A. (2008): *Livestock and Global Climate Change 2008*. 61-63.
- Schmitz, C., Schütte, G., Kullmann, S., Kuschel S. (PAN Deutschland, Pestizid Aktions-Netzwerk Deutschland; 2010): Auswirkungen chemisch-synthetischer Pestizide auf die biologische Vielfalt. 23 pp. Hamburg. <http://www.pan->

- germany.org/download/biodiversitaet/Auswirkungen_chemisch-synthetischer_Pestizide.pdf (zuletzt abgerufen am 5.7.2015)
- Schoenherr, W.D., Stahly, T.S., Cromwell, G.L. (1989): The Effects of Dietary Fat or Fiber Addition on Yield and Composition of Milk from Sows Housed in a Warm or Hot Environment. *Journal of Animal Science* 67(2), 482-495.
- Schönthaler, K., von Andrian-Werburg, S., Wulfert, K., Luthardt, V., Kreinsen, B., Schultz-Sternberg, R., Hommel, R. (2010): Establishment of an Indicator Concept for the German Strategy on Adaptation to Climate Change. Umweltbundesamt Deutschland. 164 pp.
- Scholz, R.W., Tietje, O. (2002): Embedded case study methods. Integrating quantitative and qualitative knowledge. Sage Publications, Thousand Oaks, California, USA.
- Spencer, J.D., Gaines, A.M., Berg, E.P., Allee, G.L. (2005): Diet modifications to improve finishing pig growth performance and pork quality attributes during periods of heat stress. *Journal of Animal Science* 83(1), 243-254.
- Starz, W. (2010): Düngerverständnis und Düngerkonzept in der Biologischen Landwirtschaft. In: Tagungsband zu 2. Umweltökologisches Symposium 2010, LFZ Raumberg-Gumpenstein, 2./3. März 2010. ISBN: 978-3-902559-41-8. S. 51-56.
- Starz, W., Steinwidder, A. (2007): Weidehaltung – mehr als ein Low-Input Produktionssystem. In: (Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Hrgb.; 2007). Tagungsband – Österreichische Fachtagung für biologische Landwirtschaft. Irdning, 14. März 2007. 1-5.
- Thaler, S., Eitzinger, J., Trnka, M., Dubrovsky, M. (2012): Impacts of climate change and alternative adaptation options on winter wheat yield and water productivity in a dry climate in Central Europe. *Journal of Agricultural Science* 150, 537-555. doi:10.1017/S0021859612000093
- Thornton, P.K., van de Steeg, J., Notenbaert, A., Herrero, M. (2009): The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. *Agricultural Systems* 101, 113-127.
- Tietje, Olaf (2013): Systemanalyse. Qualitative Modellierung des Dynamik eines komplexen Systems. Zürich.
- Trnka, M., Bartošová, L., Schaumberger, A., Ruget, F., Eitzinger, J., Formayer, H., Seguin, B., Olesen, J.E. (2011): Climate change and impact on European grasslands. *Grassland Science in Europe* 16, 39-51.
- Tubiello, F N., Soussana, J.-F., Howden, M. S. (2007): Crop and pasture response to climate change. *PNAS* 104, 19686-19690. doi: 10.1073/pnas.0701728104
- Walker, B.H., Anderies, J.M., Kinzig, A.P., Ryan, P. (Hrgb; 2006): Exploring resilience in social-ecological systems: comparative studies and theory development. Special feature of *Ecology and Society*. 11(1), 12 - 21.
- Willerstorfer, T. (2013): Der Fleischverbrauch in Österreich von 1950-2010. Trends und Drivers als Zusammenspiel von Angebot und Nachfrage. Social Ecology Working Paper 139. Institute of Social Ecology, IFF - Faculty for Interdisciplinary Studies (Klagenfurt, Graz, Vienna), Alpen-Adria Universität. https://www.uni-klu.ac.at/socec/eng/downloads/WP139_webversion.pdf (zuletzt abgerufen am 8.7.2015)
- Zentner, E. (2014): Hitzestress bei Rindern - Baulich-technische Lösungsmöglichkeiten. In: LFZ Raumberg-Gumpenstein (2014): Nutztierschutztagung. Raumberg-Gumpenstein 2014. 15. Mai 2014. 29-34.
- Zentner, E., Mösenbacher, I. (2012). Möglichkeiten zur Stallkühlung im Schweinestall. *Blick ins Land* 8/2012, 16-18.
- Zumbach, B., Misztal, I., Tsuruta, S., Sanchez, J.P., Azain, M., Herring, W., Holl J., Long T., Culbertson, M. (2008): Genetic components of heat stress in finishing pigs: development of a heat load function. *Journal of Animal Science* 86, 2082-20

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen

- Abb. B-1:** Unterstellte Beziehungen zwischen den Elementen im System „Klimawandelfolgen und Pflanzenbau“ (durchgezogen: positive, direkt proportionale Wirkungen; strichliert: negative, indirekt proportionale Wirkungen) sowie Eigenschaften der Systemelemente (aktive Wirkungen; passiv; ambivalent; puffernd; Quelle: Systaim SystemQ).23
- Abb. B-2:** Unterstellte Beziehungen zwischen den Elementen im System „Klimawandelfolgen und Tierhaltung“ (durchgezogen: positive, direkt proportionale Wirkungen; strichliert: negative, indirekt proportionale Wirkungen) sowie Eigenschaften der Systemelemente (aktive Wirkungen; passiv; ambivalent; puffernd; Quelle: Systaim SystemQ).25
- Abb. B-3:** Wichtigste Systemelemente und ihre Beziehungen zur Resilienz tierhaltender Betriebe gegenüber Klimawandelfolgen.26
- Abb. B-4:** Zielerreichungsgrade für Kriterien der Widerstandsfähigkeit gegenüber Klimawandelfolgen für einen Milchvieh-Modellbetrieb aus dem Mühlviertel.33
- Abb. B-5:** Zielerreichungsgrade für Kriterien der Widerstandsfähigkeit gegenüber Klimawandelfolgen für zwei Praxisbetriebe mit Milchviehhaltung. Die durchgezogene Linie beschreibt das Abschneiden eines Betriebes im oberösterreichischen Alpenvorland in pflanzenbaulich verhältnismäßig produktiver Lage, während die strichlierte Linie einen Praxisbetrieb aus dem Mühlviertel beschreibt, der in einer weniger ertragsfähigen Region liegt.34
- Abb. B-6:** Zielerreichungsgrade für Kriterien der Widerstandsfähigkeit gegenüber Klimawandelfolgen für zwei Praxisbetriebe mit Mastschweinehaltung. Die durchgezogene Linie beschreibt das Abschneiden eines intensiv wirtschaftenden Betriebes im niederösterreichischen (nord-östlichen) Flach- und Hügelland, während die strichlierte Linie einen verhältnismäßig extensiven Mastschweinebetrieb des oberösterreichischen Alpenvorlandes beschreibt.36
- Abb. B-7:** Dauer der Vegetationsperiode (Tage) im Vergleich der drei Standorte öö. Alpenvorland, Mühlviertel und nordöstliches Flach- und Hügelland. Der angegebene Wert beschreibt das Mittel für die Periode, der Fehlerindikator zeigt eine Standardabweichung an.38
- Abb. B-8:** Wasserbilanzen für die Vegetationsperiode (in mm) im Vergleich der drei Standorte öö. Alpenvorland, Mühlviertel und nordöstliches Flach- und Hügelland. Der angegebene Wert beschreibt das Mittel für die Periode, der Fehlerindikator zeigt eine Standardabweichung an.38
- Abb. B-9:** Hitzetage im Vergleich der drei Standorte öö. Alpenvorland, Mühlviertel und nordöstliches Flach- und Hügelland. Der angegebene Wert beschreibt das Mittel für die Periode, der Fehlerindikator zeigt eine Standardabweichung an.39
- Abb. B-10:** Anzahl der Tage mit THI-Grenzwertüberschreitungen im Durchschnittsjahr der bezeichneten Perioden für a) einen spürbaren Leistungsrückgang bei THI >72 und b) einen sehr starken bis lebensbedrohlichen Hitzestress bei THI > 85 für den Betrieb im nordöstlichen Flach- und Hügelland.40
- Abb. B-11:** Anzahl der Tage mit THI-Grenzwertüberschreitungen im Durchschnittsjahr der bezeichneten Perioden für a) einen milden Hitzestress bei THI 72 bis 79, b) einen mittleren Hitzestress bei THI 80 bis 89, c) einen starken Hitzestress bei THI 90 bis 98 und d) einen lebensbedrohlichen Hitzestress bei THI ≥99 für den Milchviehbetrieb im öö. Alpenvorland.41

Tabellen

Tab. B-1: Themen und wichtigste Ergebnisse nationaler bzw. deutschsprachiger Literatur zu den Auswirkungen des Klimawandels auf den Pflanzenbau.16

Tab. B-2: Themen und wichtigste Ergebnisse nationaler bzw. deutschsprachiger Literatur zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Tierhaltung.17

Tab. B-3: Betrachtete Elemente im System „Klimawandelfolgen und Pflanzenbau“.22

Tab. B-4: Betrachtete Elemente im System „Klimawandelfolgen und Tierhaltung“.24

Tab. B-5: Indikatoren-Checkliste zur Bewertung der Effekte von Klimawandelfolgen (KWF) auf milchviehhaltende Betriebe.....27