

Kühlen Kopf bewahren –
Anpassung der Landwirtschaft
an den Klimawandel

KTBL-Tagung
vom 20. bis 21. März 2019
in Darmstadt





Kühlen Kopf bewahren – Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel

KTBL-Tagung vom 20. bis 21. März 2019
in Darmstadt

Herausgeber

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL) | Darmstadt

Fachliche Begleitung

Programmausschuss

Dr. Johann Bachinger | Henning Eckel | Dr. Holger Flaig | Prof. Dr. Andreas Gattinger |
Dr. Katja Gödeke | Dr. Horst Gömann | Dr. Claudia Heidecke | Prof. Dr. Nicole Kemper (Vorsitzende) |
Prof. Dr. Hermann Lotze-Campen | Prof. Dr. Wilhelm Pflanz | Ursula Roth (Geschäftsführerin) |
Jochen Simon | Prof. Dr. Christine Tamásy | Dr. Frank Wolter

© KTBL 2019

Herausgeber und Vertrieb

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)

Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt

Telefon +49 6151 7001-0 | Fax +49 6151 7001-123 | E-Mail: ktbl@ktbl.de | www.ktbl.de

vertrieb@ktbl.de | Telefon Vertrieb +49 6151 7001-189

Herausgegeben mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Titelfoto

© www.fotolia.com - Carola Schubbel

Inhalt

Vorträge

Klimawandel – Beobachtungen und Prognosen für die Landwirtschaft CATHLEEN FRÜHAUF.....	9
Chancen und Risiken des Klimawandels für die deutsche Landwirtschaft FOLKHARD ISERMEYER.....	31
Anpassung von Anbausystemen an die Auswirkungen des Klimawandels RALF BLOCH.....	36
Anpassungsoptionen an den Klimawandel in der Pflanzenproduktion – Möglichkeiten und Herausforderungen bei Leguminosen JÜRGEN RECKNAGEL.....	53
Anpassungsbedarf bei der Nährstoffversorgung EIKE STEFAN DOBERS.....	75
Anpassung an den Klimawandel – Pflanzenzüchterische Möglichkeiten FRANK ORDON.....	94
Anpassungsbedarf im Pflanzenschutz – Klimatrends und Handlungsoptionen SANDRA KRENGEL, BETTINA KLOCKE, BURKHARD GOLLA.....	115
Anpassungsstrategien zur Sicherung von Ertrag und Qualität im Grünland MARTIN ELSÄSSER, KERSTIN GRANT.....	135
Anpassungen der Landwirtschaft an den Klimawandel: Tierzucht – Möglichkeiten und Grenzen HERMANN H. SWALVE.....	174
Klimawandel und Tierseuchen: Was kommt auf uns zu? Wie können wir reagieren? FRANZ J. CONRATHS.....	194
Der klimaangepasste Rinderstall PETER STOETZEL, JOHANNES ZAHNER.....	214
Der klimaangepasste Stall – Schweine und Geflügel BERNHARD FELLER.....	232

Bodenschonende und humusmehrende Bewirtschaftung ANDREAS GATTINGER.....	252
Risikomanagement im Zeichen des Klimawandels ROBERT FINGER.....	277
Politische Rahmenbedingungen für eine klimaresiliente Landwirtschaft HERMANN LOTZE-CAMPEN	292

Poster

Monitoring von Trockenstresssymptomen bei Kulturpflanzen mittels multispektraler Aufnahmesysteme an Multicoptern sowie Verminderung dieser Stressmerkmale durch Bodenergänzungsstoffe SANDRA MÜNZEL	306
Sensorgestützte Beregnungssteuerung in Kartoffeln (SeBeK) JOHANNA SCHRÖDER, MARTIN KRAFT, IRIS DAHMS, DOMINIC MEINARDI, JÜRGEN GROCHOLL, ANDREAS MEYER, ANGELA RIEDEL, KLAUS DITTERT, KLAUS RÖTTCHER	308
 Innovation unbeheizter Anbau von Bio-Wintergemüse in Österreich – Exploration ökologischer und ökonomischer Parameter MICHAELA CLARISSA THEURL, RUTH BARTEL-KRATOCHVIL, WOLFGANG PALME	311
Sicherung der Beregnung in der Landwirtschaft: Die Auswirkungen von Waldumbaumaßnahmen auf die Grundwasserneubildung in Niedersachsen KILLIAN LOESCH.....	313
 Klimawandelangepasste Tierproduktion – Kühlsystem für Mastschweine mit Wärmerückgewinnung mittels Konduktion KATHRIN ZIEGLER, JOCHEN WIECHA, HEINZ BERNHARDT	316
Beratungsangebot zu Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel in Landwirtschaft und Gartenbau LISA FRÖHLICH, MARCEL PHIELER	318
MUNTER – Entwicklung eines Managementsystems für Landwirte und Kommunen für mehr Umwelt- und Naturschutz durch einen optimierten Energiepflanzenanbau FRANK WAGENER, CAMILLA BENTKAMP, PATRICK BECKER, JÖRG BÖHMER	320
Cropping School: Entwicklung betriebsspezifischer Anpassungskonzepte an den Klimawandel durch regionale Vernetzung von Landwirten und Durchführung von Praxisversuchen SABRINA SCHOLZ, RALF BLOCH, ANNA HÄRING	323



Nachhaltige Anpassung der europäischen Landwirtschaft an den Klimawandel –
LIFE AgriAdapt

CAROLINA WACKERHAGEN, SABINE SOMMER, ANDREAS ZIERMANN, PATRICK TRÖTSCHLER 325

Simulationen betrieblicher und regionaler Anpassung an den Klimawandel:
das Modellsystem MPMAS_XN

CHRISTIAN TROOST, XIAOHONG DUAN, FLORIAN HEINLEIN, CHRISTIAN KLEIN,
JOACHIM AURBACHER, M. SCOTT DEMYAN, SEBASTIAN GAYLER, JOACHIM INGWERSEN,
PASCAL KREMER, FRANCISCO MENDOZA TIJERINO, MORITZ LAUB, LUTZ OTTO, ARNE POYDA,
ECKART PRIESACK, KIRSTEN WARRACH-SAGI, THILO STRECK, THOMAS BERGER..... 327

Optimierung von Nachhaltigkeitsindikatoren im Pflanzenbau
mithilfe des Beratungstools HUNTER

HARALD BECKER, RICHARD BEISECKER, HARALD SCHMID 330

KLIR – ein Modell zur Berechnung der Treibhausgasemissionen
von Milchproduktionsbetrieben

TAMARA KÖKE, BRAIDA DÜR, JAN GRENZ, SEBASTIAN INEICHEN,
ANDREAS STÄMPFLI, BEAT REIDY..... 335

Anhang

Mitwirkende 339

Klimawandel – Beobachtungen und Prognosen für die Landwirtschaft

CATHLEEN FRÜHAUF

Deutscher Wetterdienst, Zentrum für Agrarmeteorologische Forschung Braunschweig, Braunschweig

1 Einleitung

Die Landwirtschaft ist stark von Wetter und Klima abhängig. Sie trägt mit zum Klimawandel bei und ist gleichzeitig auch von ihm betroffen. Durch den Klimawandel verändern sich die Anbaubedingungen in Deutschland nachhaltig. Neben positiven Effekten (Anbau wärmeliebender Kulturen) können ungünstige Bedingungen während empfindlicher Pflanzenstadien den Ertrag nachhaltig beeinflussen. So kann die im Sommer zunehmende Hitze in Kombination mit Trockenheit vor allem die Ertragsbildung bei einigen Ackerkulturen, wie z.B. dem Weizen, beeinträchtigen.

2 Beobachtungen und Prognosen für die Zukunft

2.1 Temperatur

Messungen belegen eindeutig den Klimawandel, denn es gibt einen ungebrochenen Trend der Erwärmung. So ist seit 1881 das Jahresmittel der Lufttemperatur für Deutschland um 1,5 °C gestiegen (Abb. 1). Das vieljährige Mittel für den Zeitraum 1981 bis 2010 liegt bei 8,9 °C. In der Referenzperiode 1961 bis 1990 waren es noch 8,2 °C. Das Jahr 2018 war mit 10,5 °C das wärmste Jahr seit 1881 (Abb. 1). Insgesamt liegen 11 der 18 wärmsten Jahre im 21. Jahrhundert.

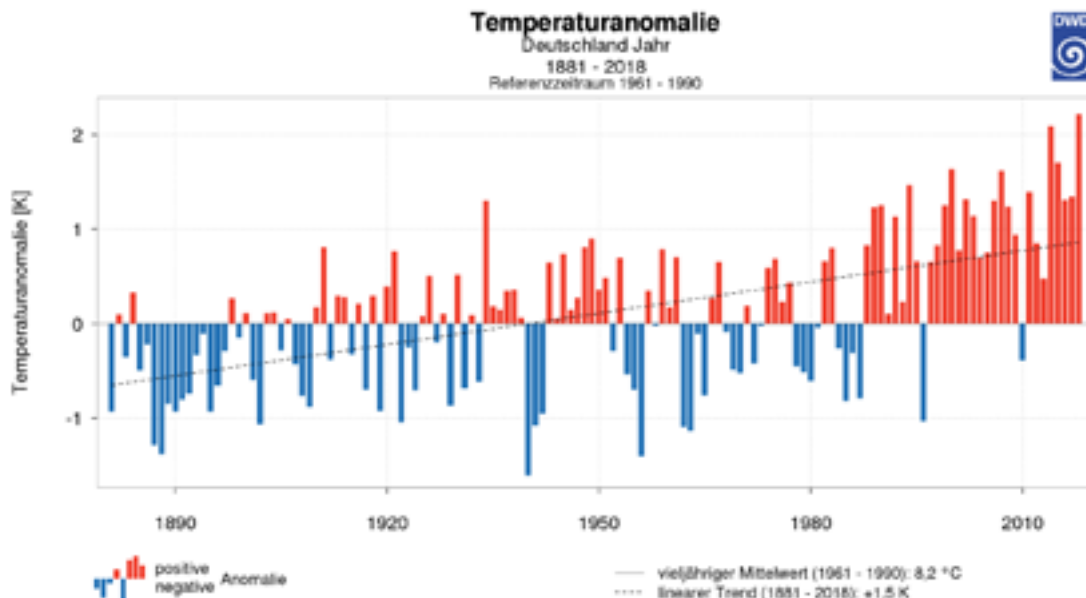


Abb. 1: Veränderung der Jahresmitteltemperatur seit 1881. Dargestellt sind die jährlichen Temperaturanomalien vom vieljährigen Mittel für den Zeitraum 1961 bis 1990 (DWD 2019).

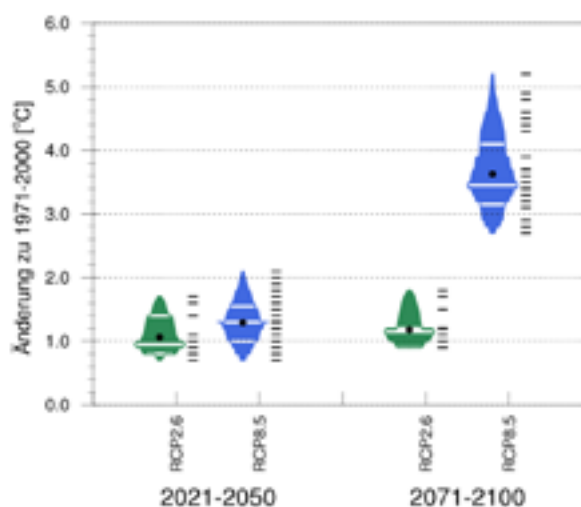


Abb. 2: Darstellung der Bandbreite der vorhandenen Klimaprojektionen für die Jahresmitteltemperatur von Deutschland (DWD 2017). Dargestellt sind die Änderungssignale für die Zeiträume 2021–2050 und 2071–2100 im Vergleich zum Bezugszeitraum 1971–2000 (grün: Klimaschutz-Szenario RCP2.6, blau: Weiter-wie-bisher-Szenario RCP8.5). Die Breite des Körpers signalisiert die Wahrscheinlichkeit des Eintretens (je breiter, umso höher die Wahrscheinlichkeit). Zusätzlich eingetragen sind der Mittelwert (schwarzer Punkt) und die Perzentile (20, 50 und 75 %) als weiße Linien. Neben den Körpern werden als schwarze Linien die Einzelergebnisse der Modelle gezeigt.

Die Klimaprojektionen (Tab. 1 und Abb. 2) zeigen, dass mit einer weiteren Erwärmung zu rechnen ist. Für den kurzfristigen Planungshorizont (2021 bis 2050) ergibt sich eine Änderung von 1,0 bis 1,3 °C im Vergleich zum Zeitraum 1971 bis 2000. Die zu erwartende Temperaturerhöhung für den langfristigen Planungshorizont (2071 bis 2100) wird stark vom gewählten Szenario bestimmt. Auf Basis des Klimaschutz-Szenarios (RCP2.6) ist mit einer Erhöhung von 1,2 °C zu rechnen. Beim Weiter-wie-bisher-Szenario (RCP8.5) beträgt die Erwärmung etwa 3,7 °C, wobei die Bandbreite zwischen 2,7 und 5,3 °C liegt.

Tab. 1: Jahreszeitliche Mittelwerte der Temperatur und erwartete Änderungen (DWD 2017)

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

Die zunehmenden Temperaturen führen bereits jetzt zu einem früheren Vegetationsbeginn. Durch diese Verschiebung können frostempfindliche Entwicklungsphasen der Pflanzen (z.B. Blüte) früher auftreten. Die Spätfrostgefährdung kann so, trotz Klimawandel, deutlich ansteigen. Mit der Temperaturzunahme geht eine markante Zunahme der Temperaturextreme einher. Im Sommer steigt die Anzahl der heißen Tage ($T_{\max} \geq 30 \text{ °C}$). Hohe Temperaturen, vor allem in Kombination mit Trockenheit, führen zu Stressreaktionen bei den Pflanzen und sind in der Lage, sie irreversibel zu schädigen.

2.2 Niederschlag

Die Niederschlagssumme variiert sehr stark zwischen einzelnen Jahren. Seit 1881 konnte eine Zunahme der Jahresniederschlagshöhe von 9 % beobachtet werden, wobei ein Niederschlagsanstieg im Frühjahr, Herbst und Winter zu erkennen ist. Die Analyse der Sommerniederschläge zeigt aktuell keinen Trend. Durch die steigenden Temperaturen steigt jedoch die Verdunstung der Pflanzen. Als Folge kommt es zu einer Abnahme der Bodenfeuchte durch den höheren Wasserverbrauch der Pflanzen. Abbildung 3 zeigt diese Entwicklung schon deutlich für die Vergangenheit. Dargestellt ist die Anzahl an Tagen, bei denen die modellierte Bodenfeuchte den Wert von 50 % nutzbarer Feldkapazität (nFK) unterschreitet, als 30-jährige Mittelwerte für die Zeiträume 1961 bis 1990, 1971 bis 2000 und 1981 bis 2010. In vielen Regionen nimmt die Anzahl an Tagen, an denen dieser Schwellenwert unterschritten wird, zu.

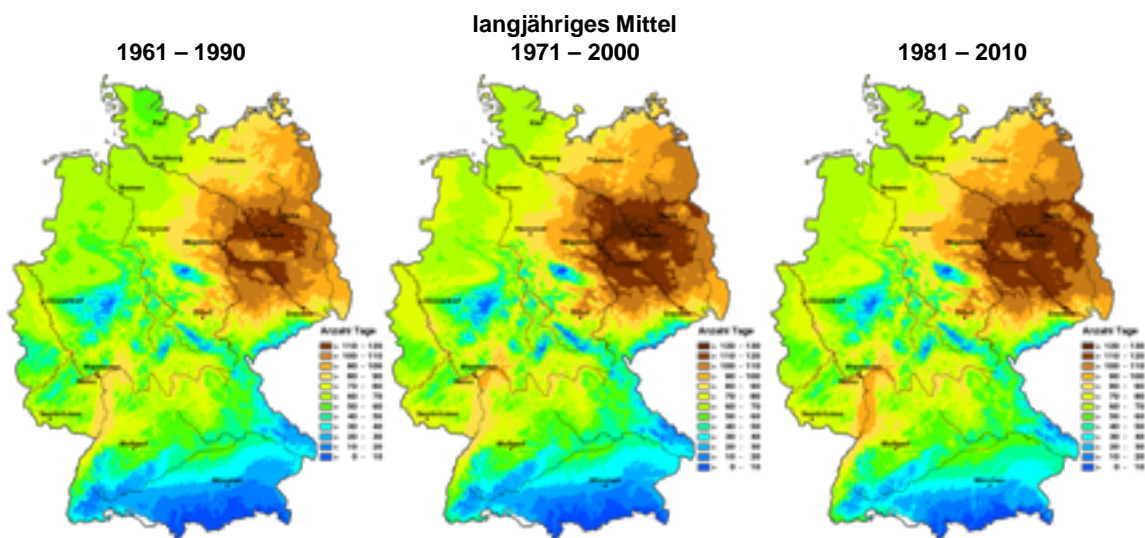


Abb. 3: Anzahl der Tage mit einer Bodenfeuchte < 50 % nFK im Zeitraum April bis Oktober. Wintergetreide auf einem leichten Boden, 30-jährige Mittelwerte. Links: 1961–1990, Mitte: 1971–2000, rechts: 1981–2010 (Gömann et al. 2015).

Tabelle 2 und Abbildung 4 zeigen die zu erwartenden Änderungstendenzen der Niederschlagshöhe für den kurzfristigen und langfristigen Planungshorizont für die RCP-Szenarien RCP2.6 und RCP8.5 im Vergleich zum Zeitraum 1971 bis 2000. Für den Zeitraum 2021 bis 2050 ist keine deutliche Änderung des Jahresniederschlages zu erkennen (RCP8.5: 5 %). Bis zum Ende dieses Jahrhunderts wird mit einer Zunahme des Jahresniederschlages von 9 % gerechnet. Für beide Planungshorizonte wird eine Zunahme der Niederschlagsmenge in den Wintermonaten und für den Sommer eine Spanne von keiner Änderung bis hin zu einer Abnahme simuliert.

Tab. 2: Jahreszeitliche Mittelwerte der Niederschlagshöhe und erwartete Änderungen (DWD 2017)

	1961–1990	1971–2000	2021–2050 (RCP2.6)	2021–2050 (RCP8.5)	2071–2100 (RCP2.6)	2071–2100 (RCP8.5)
Frühjahr	186 mm	179 mm	+5 %	+8 %	+3 %	+13 %
Sommer	239 mm	234 mm	-2 %	±0 %	±0 %	-9 %
Herbst	183 mm	191 mm	+3 %	+4 %	±0 %	+7 %
Winter	181 mm	183 mm	+7 %	+7 %	+4 %	+17 %
Jahr	789 mm	788 mm	+3 %	+5 %	+2 %	+9 %

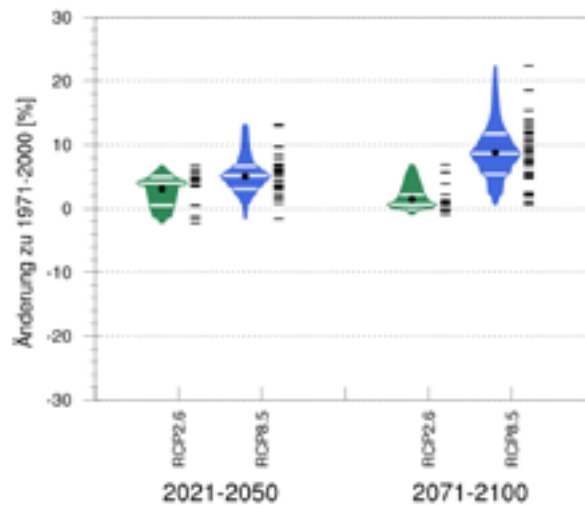


Abb. 4: Darstellung der Bandbreite der vorhandenen Klimaprojektionen für die Jahresniederschlagssumme von Deutschland (DWD 2017). Dargestellt sind die Änderungssignale für die Zeiträume 2021–2050 und 2071–2100 im Vergleich zum Bezugszeitraum 1971–2000 (grün: Klimaschutz-Szenario RCP2.6, blau: Weiter-wie-bisher-Szenario RCP8.5; siehe auch Beschreibung der Symbole bei Abbildung 1).

2.3 Kohlendioxid-Konzentration (CO₂)

Neben ihrem Einfluss auf das Klima hat die steigende CO₂-Konzentration der Atmosphäre (Abb. 5) auch eine direkte Wirkung auf die Pflanzen. Bei einer höheren Konzentration in der Atmosphäre können die Pflanzen das für die Photosynthese benötigte CO₂ leichter aufnehmen. So verbessert sich die Wasserausnutzungseffizienz, d. h. das Verhältnis der Menge des assimilierten CO₂ zur Menge des an die Atmosphäre abgegebenen Wassers (H₂O) (Weigel et al. 2014). Durch die geringere Wasserabgabe durch die Spaltöffnungen verringert sich der Kühleffekt durch die Verdunstung, was zu einer Erhöhung der Oberflächentemperatur der Blätter führt. Dieser Effekt verstärkt somit zusätzlich den Anstieg der Bestandstemperatur durch die erwarteten höheren Lufttemperaturen.

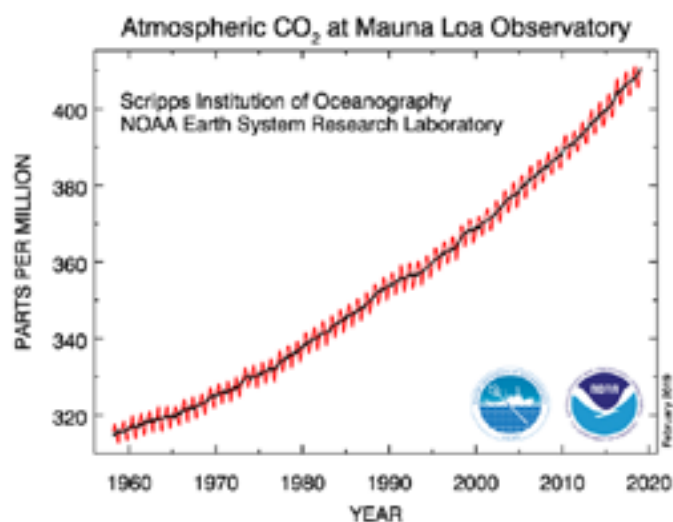


Abb. 5: Gemessene CO₂-Konzentration der Atmosphäre am Mauna Loa Obervatorium auf Hawaii (© NOAA 2019)

3 Fazit

Bis zur Mitte des Jahrhunderts werden für Deutschland nur moderate und teilweise sogar begünstigende Effekte projiziert, sodass sich Land- und Forstwirtschaft an die erwarteten Trends der Temperatur- und Niederschlagsmittel anpassen können (Gömann 2015). Die weitere Entwicklung stellt die Landwirtschaft jedoch vor große Herausforderungen. So ist mit einer höheren zeitlich und räumlichen Variabilität einzelner Wetterereignissen (z.B. Hitze, Trockenheit, Starkniederschlag) zu rechnen (Gömann et al. 2017). Es ist deshalb notwendig, sich auf die Veränderungen vorzubereiten und rechtzeitig auf diese Klimaänderungen zu reagieren, die bereits nicht mehr vermeidbar sind (Umweltbundesamt 2015).

Literatur

- DWD (2019): <https://www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihen/zeitreihen.html>, Zugriff am 01.03.2019
- DWD (2017): Nationaler Klimareport: Klima – Gestern, heute und in der Zukunft, Offenbach am Main
- Gömann, H.; Frühauf, C.; Lüttger, A.; Weigel, H.-J. (2017): In: Brasseur, G.; Jacob, D.; Schuck-Zöller, S. (Hrsg.), Klimawandel in Deutschland; doi: 10.1007/978-3-662-50397-3_18
- Gömann, H.; Bender, A.; Bolte, A.; Dirksmeyer, W.; Englert, H.; Feil, J.-H.; Frühauf, C.; Hauschild, M.; Krengel, S.; Lilienthal, H.; Löpmeier, F.-J.; Müller, J.; Mußhoff, O.; Natkhin, M.; Offermann, F.; Seidel, P.; Schmidt, M.; Seintsch, B.; Steidl, J.; Strohm, K.; Zimmer, Y. (2015): Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten von Risikomanagementsystemen. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL); Abschlussbericht: Stand 3.6.2015. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Rep 30; doi:10.3220/REP1434012425000
- NOAA (2019): <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/full.html>, Zugriff am 01.03.2019
- Umweltbundesamt (Hg.) (2015): Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung. Hg. Schönthaler, K.; von Adrian-Werburg, S.; van Rühl, P.; Hempen, S., Dessau-Roßlau
- Weigel, H.-J.; Manderscheid, R.; Fangmeier, A.; Högy, P. (2014): Mehr Kohlendioxid in der Atmosphäre: Wie reagieren Kulturpflanzen? In: Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen, Hg. Lozán, J.L.; Graßl, H.; Karbe, L.; Jendritzky, G.; <http://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de/wp-content/uploads/2014/04/weigel.etal.pdf>



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Der Klimawandel

Beobachtungen und Prognosen für die Landwirtschaft

Dr. Cathleen Frühauf
Deutscher Wetterdienst – Zentrum für Agrarmeteorologische Forschung – Braunschweig



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

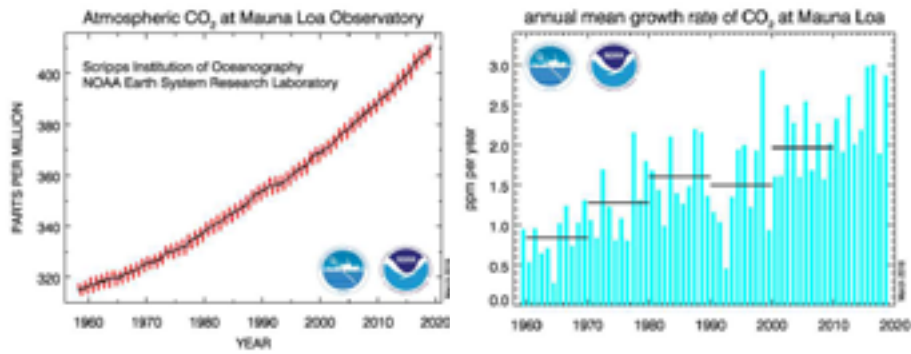
Treibhausgase



Frühauf - KTBL-Tagung Darmstadt - 20.-21.03.2019

2

CO₂



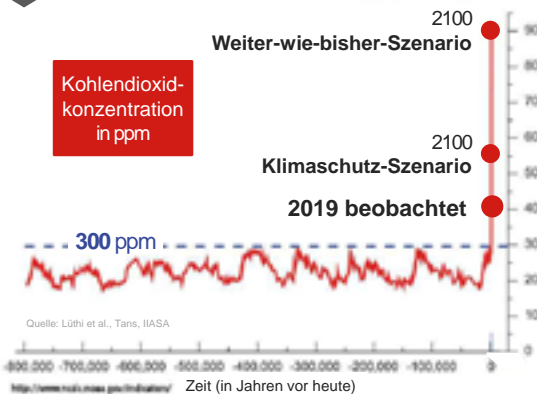
Frühau - KTBL-Tagung Darmstadt - 20.-21.03.2019

3

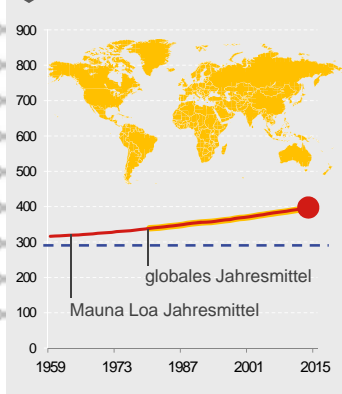
CO₂

Entwicklung der atm. CO₂-Konzentration

Eiskernbohrungen



CO₂-Messungen



Frühau - KTBL-Tagung Darmstadt - 20.-21.03.2019

4

CO₂

Auswirkungen



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Auswirkungen des CO₂-Anstiegs auf das Pflanzenwachstum





- 

höhere Photosynthese- und Wachstumsraten
(Wenn kein anderer Wachstumsfaktor limitierend wirkt)
- 

verbesserte Wassernutzungseffizienz





5

CO₂

Auswirkungen



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Mitwirkung am FACE Projekt des Thünen Instituts Auswirkungen erhöhtes CO₂ auf Pflanzen hier Ringe mit CO₂-Anreicherung



Free Air Carbon dioxide Enrichment = FACE

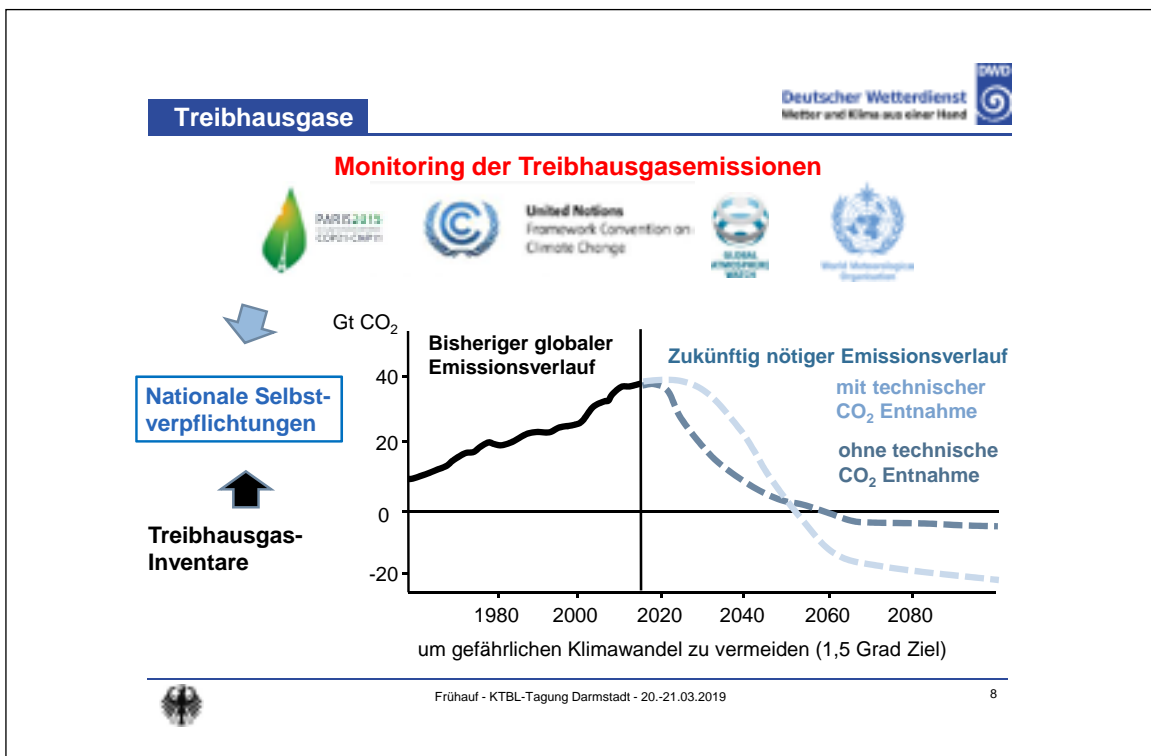
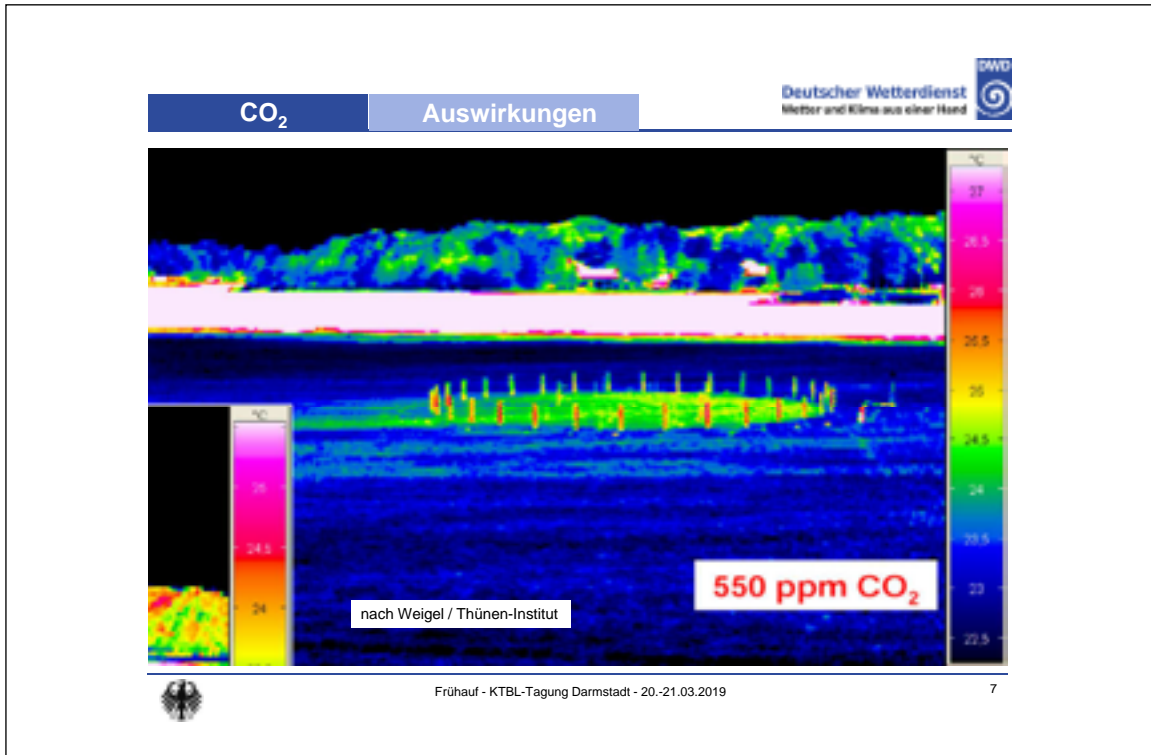
Untersuchungen an Weizen, Reis, Soja, Gerste und Zuckerrüben:
Wachstumssteigerungen von 10 bis 14 %
(Long et al. 2006, Weigel und Manderscheid, 2012)

nach Weigel / Thünen-Institut



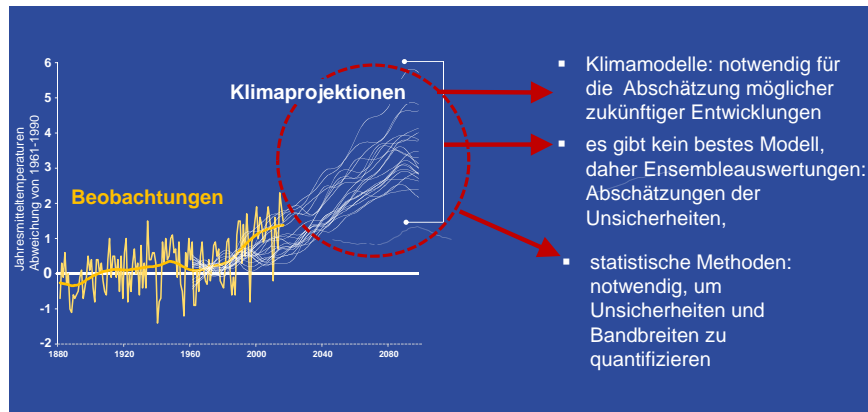
Frühauf - KTBL-Tagung Darmstadt - 20.-21.03.2019

6



In die Zukunft schauen: Wie geht das?

Auswertung von Klimaprojektionsensembles



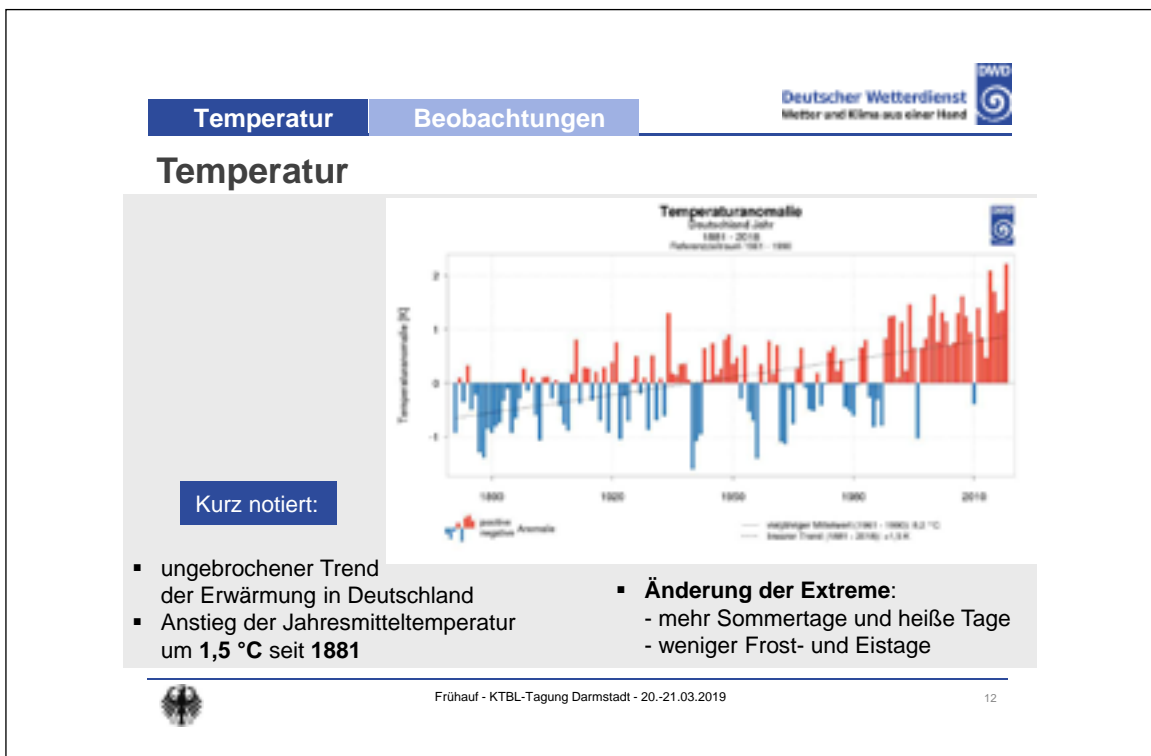
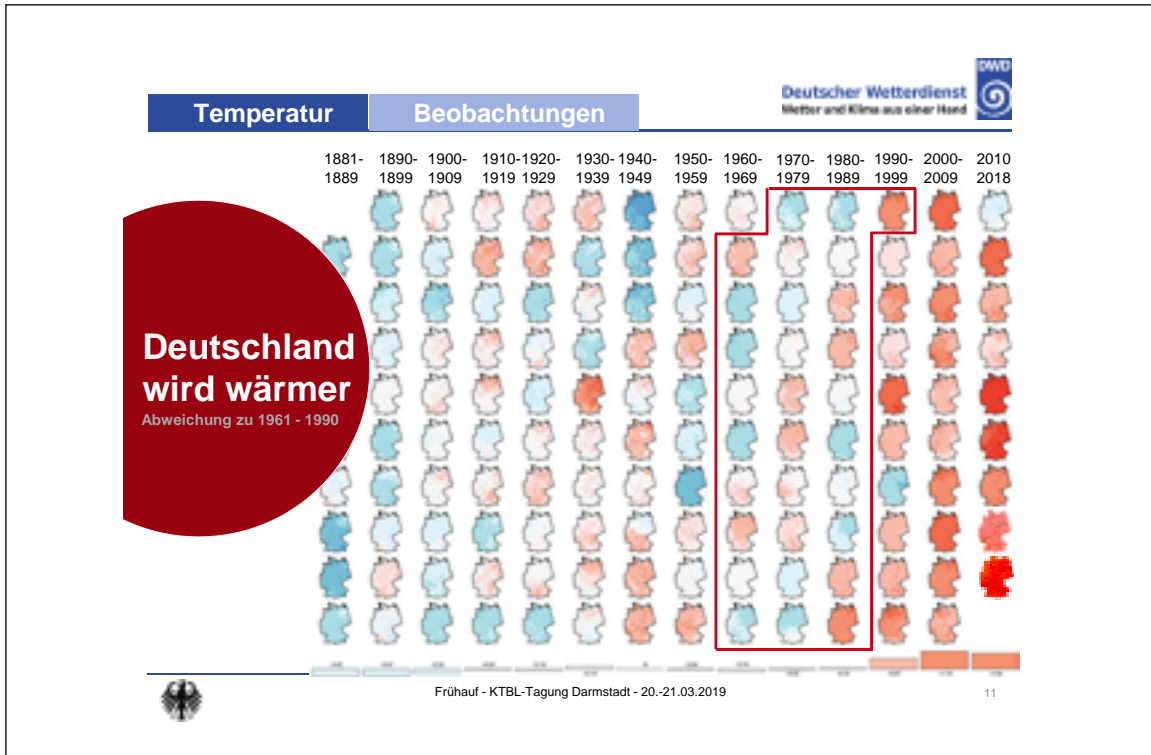
Frühauf - KTBL-Tagung Darmstadt - 20.-21.03.2019

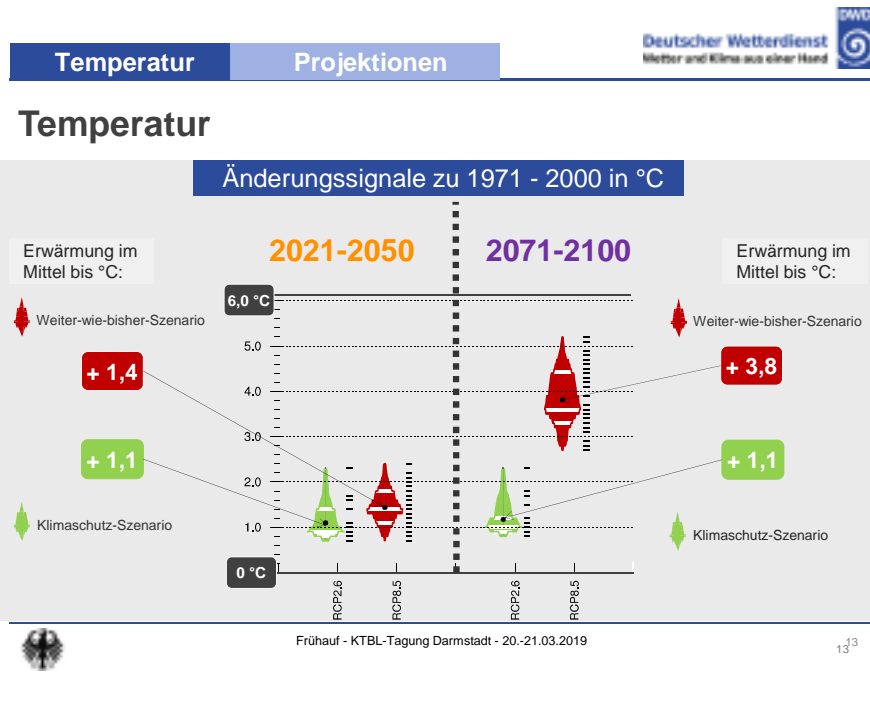
9




Frühauf - KTBL-Tagung Darmstadt - 20.-21.03.2019

10





Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand 

Temperatur Projektionen


Jahreszeitliche Mittelwerte der Temperatur und erwartete Änderungen

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

Quelle: DWD 2017, Nationaler Klimareport


Frühauf - KTBL-Tagung Darmstadt - 20.-21.03.2019 14


Temperatur
Auswirkungen



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand


Auswirkungen des Temperaturanstiegs auf das Pflanzenwachstum





tendenziell


Verfrüfung der Pflanzenentwicklung



Frühauf - KTBL-Tagung Darmstadt - 20.-21.03.2019

15


Temperatur
Auswirkungen

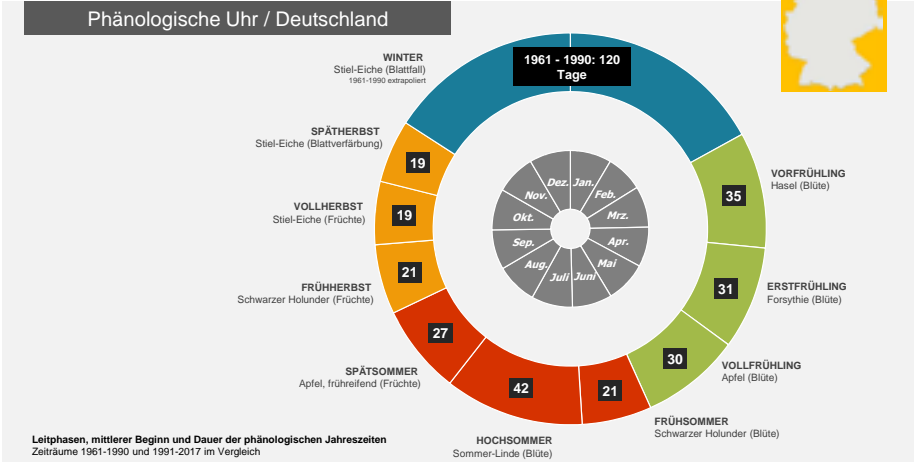


Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand


Pflanzenentwicklung

Phänologische Uhr / Deutschland



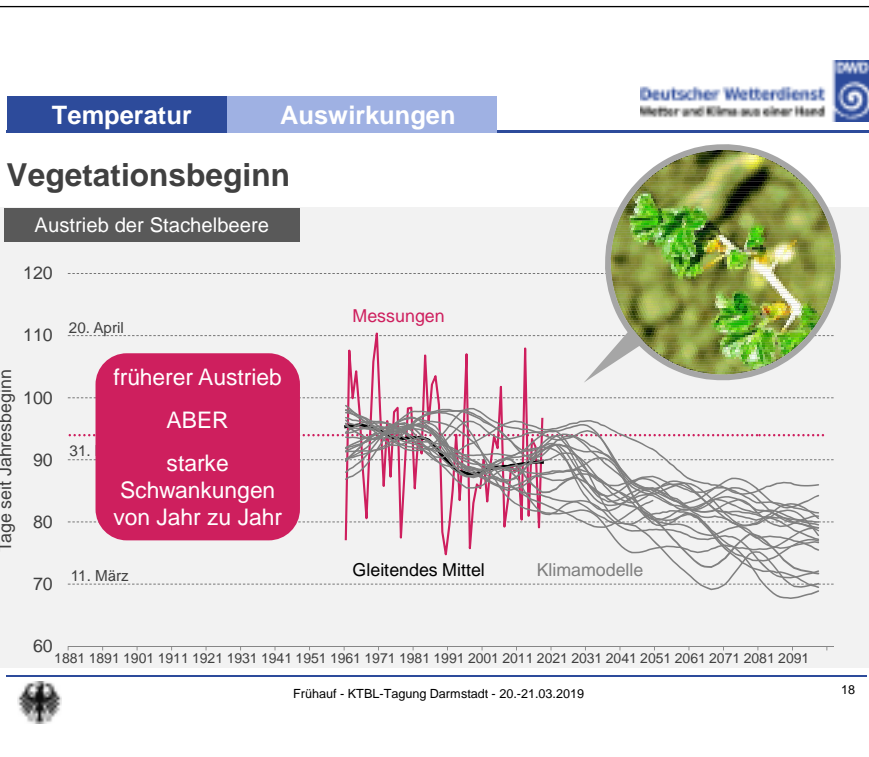
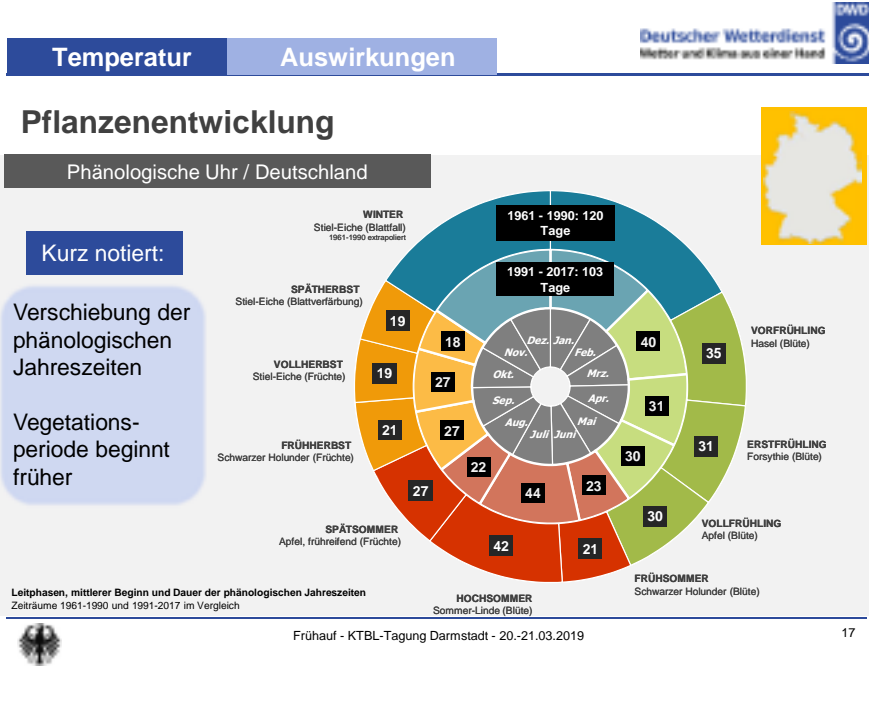


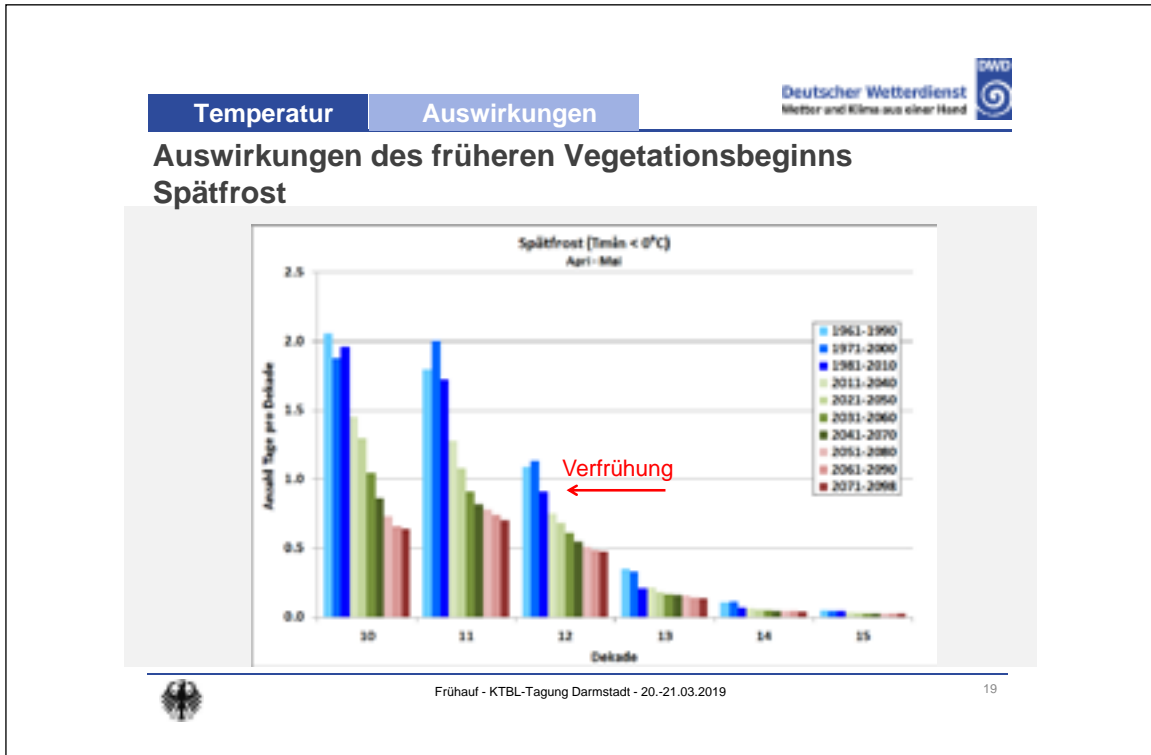
Leitphasen, mittlerer Beginn und Dauer der phänologischen Jahreszeiten
Zeiträume 1961-1990 und 1991-2017 im Vergleich



Frühauf - KTBL-Tagung Darmstadt - 20.-21.03.2019

16






Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand


Temperatur **Auswirkungen**

Auswirkungen des Temperaturanstiegs auf das Pflanzenwachstum



tendenziell


- ➔ Verfrüfung der Pflanzenentwicklung
- ➔ dadurch größere Gefahr durch Spätfröste (Aprikosen, Süßkirschen, Äpfel)



Frühauf - KTBL-Tagung Darmstadt - 20.-21.03.2019


Temperatur

Auswirkungen




Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand


Auswirkungen des Temperaturanstiegs auf das Pflanzenwachstum



tendenziell

- ➔
 frühere Ernte im Herbst wegen beschleunigter Entwicklung
- ➔
 Abnahme der Frostgefahr im Winter
- ➔
 geringere Frosthärte der Pflanzen erforderlich
 Anbau von mediterranen Pflanzen möglich?






Frühauf - KTBL-Tagung Darmstadt - 20.-21.03.2019

21


Temperatur

Auswirkungen




Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand


Auswirkungen des Temperaturanstiegs auf das Pflanzenwachstum



tendenziell

- ➔
 teilweise fehlende Vernalisationsreize bei warmen Wintern
- ➔
 Hitzestress im Sommer (*bei gleichzeitig abnehmendem Wasserangebot*); frühere Abreife / Notreife bei Trockenheit, Sonnenbrand
- ➔
 Teilweise bessere Überlebenschancen für Schädlinge
- ➔
 aber: hohe Variabilität von Jahr zu Jahr





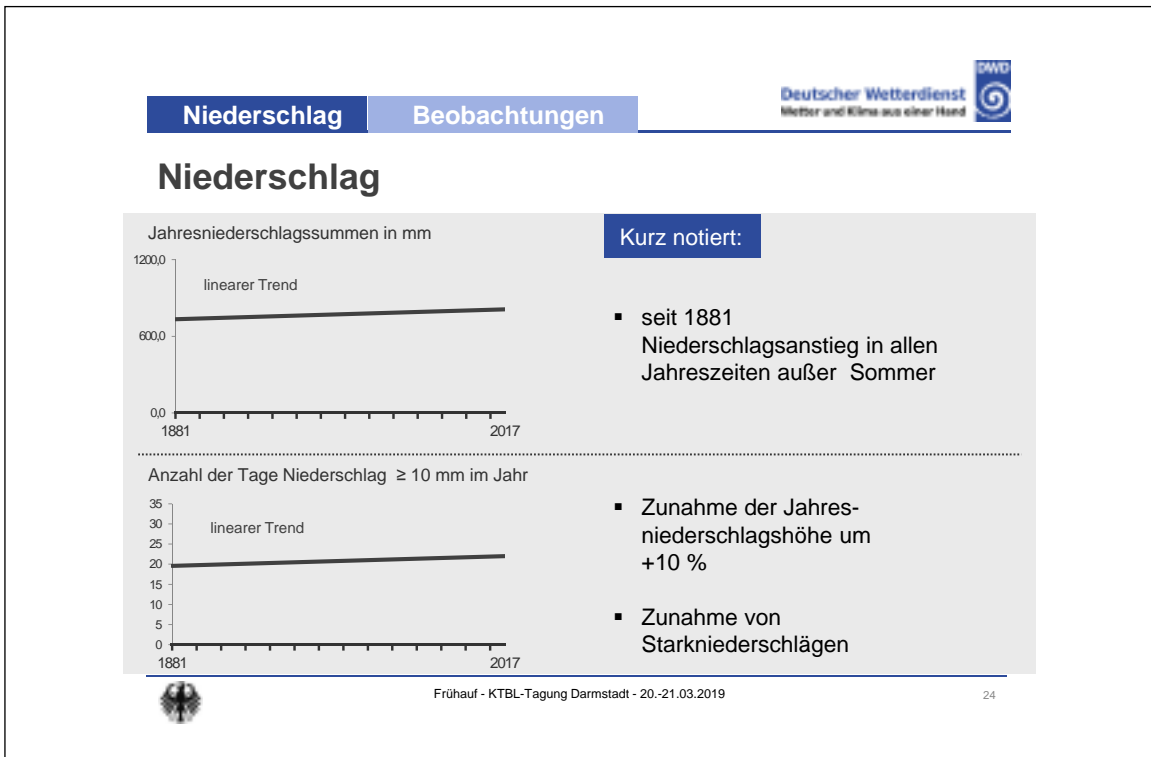
Frühauf - KTBL-Tagung Darmstadt - 20.-21.03.2019

22



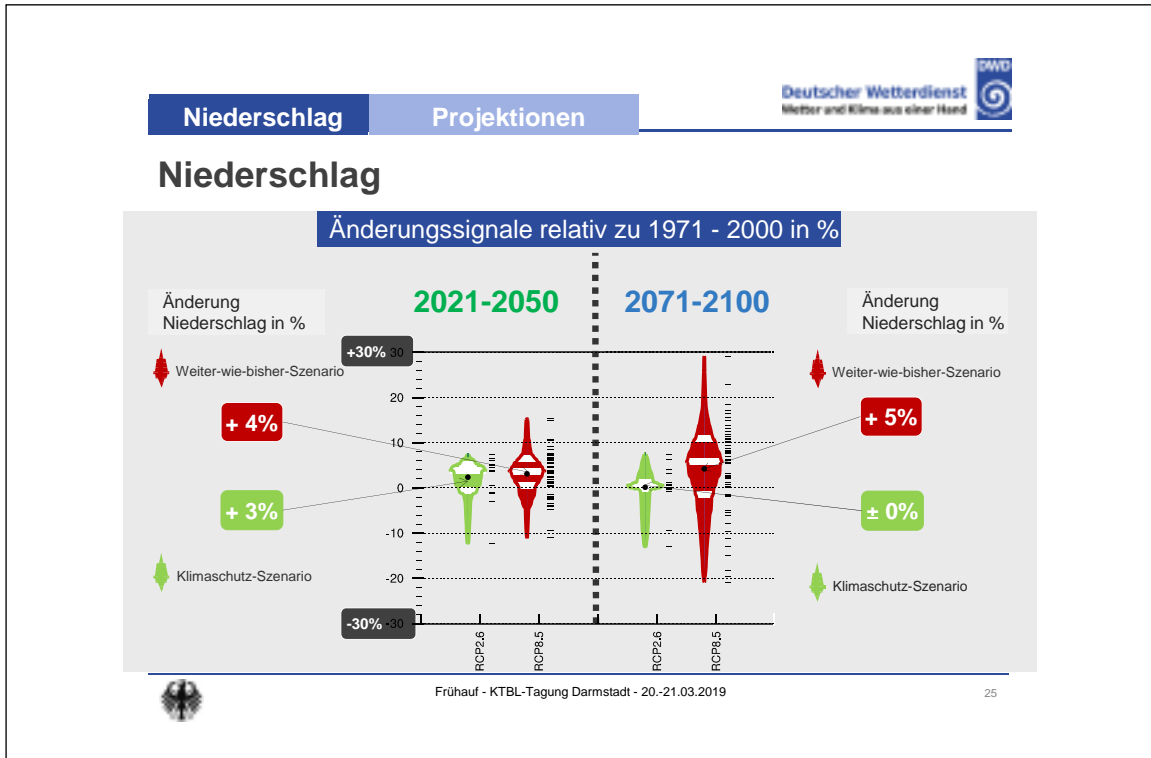
Frühauf - KTBL-Tagung Darmstadt - 20.-21.03.2019

23



Frühauf - KTBL-Tagung Darmstadt - 20.-21.03.2019

24



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand


Niederschlag **Projektionen**

Jahreszeitliche Mittelwerte der Niederschlagshöhe und erwartete Änderungen

	1961-1990	1971-2000	2021-2050 (RCP2.6)	2021-2050 (RCP8.5)	2071-2100 (RCP2.6)	2071-2100 (RCP8.5)
Frühjahr	186 mm	179 mm	+5 %	+8 %	+3 %	+13 %
Sommer	239 mm	234 mm	-2 %	±0 %	±0 %	-9 %
Herbst	183 mm	191 mm	+3 %	+4 %	+0 %	+7 %
Winter	181 mm	183 mm	+7 %	+7 %	+4 %	+17 %
Jahr	789 mm	788 mm	+3 %	+5 %	+2 %	+9 %

Quelle: DWD 2017, Nationaler Klimareport

Frühauf - KTBL-Tagung Darmstadt - 20.-21.03.2019




Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Niederschlag
Extreme
Beobachtungen

Dürre


Allgemeine Definition



Ein **Extremereignis**, bei dem durch unterdurchschnittliche Niederschläge eine **klimatologische Trockenheit** entstanden ist. Dürren sind in Abhängigkeit von **Schwellwert** und **Andauer** mit einer **Wiederkehrzeit** versehen.


→ weit über 100 Dürredefinitionen

Art	Andauer
Meteorologische Dürren	ab 1 Monat
Landwirtschaftliche Dürren	ab 2 Monat oder länger
Hydrologische Dürren	ab 4 Monat oder länger
Sozio-ökonomische Dürren	ab 1 Jahr oder länger



Frühauf - KTBL-Tagung Darmstadt - 20.-21.03.2019




27




Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Niederschlag
Extreme
Projektionen

Dürre

Klimawandel	Erwärmung	Boden
<p>Der Einfluss des Klimawandels auf die Dürreentwicklung ist in den Niederschlagsdaten aufgrund der hohen natürlichen Variabilität bis heute statistisch schlecht nachweisbar.</p>	<p>Jedoch hat und wird die globale Erwärmung aufgrund der erhöhten Verdunstung ihren Effekt besonders in den Regionen entfalten, wo die Bodenfeuchte bisher noch ausreichend war und somit auch zur erhöhten Verdunstung beitragen kann.</p>	<p>Bereits ausgetrockneter Boden verdunstet aber auch bei zukünftig höheren Temperaturen nicht mehr, es sei denn, die Verdunstungsverluste werden durch tiefwurzelnden Bewuchs und/oder Bewässerungswirtschaft vom Menschen aufrecht erhalten.</p>
		



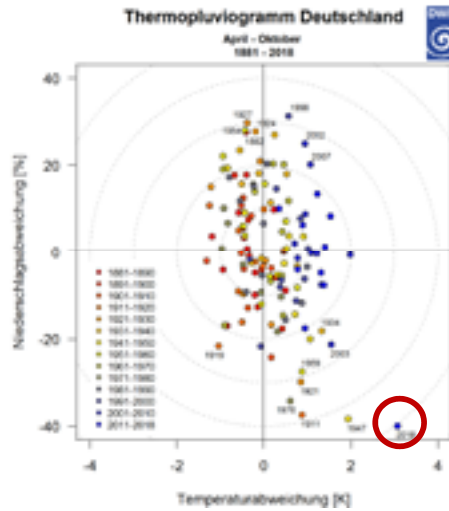
Frühauf - KTBL-Tagung Darmstadt - 20.-21.03.2019

28

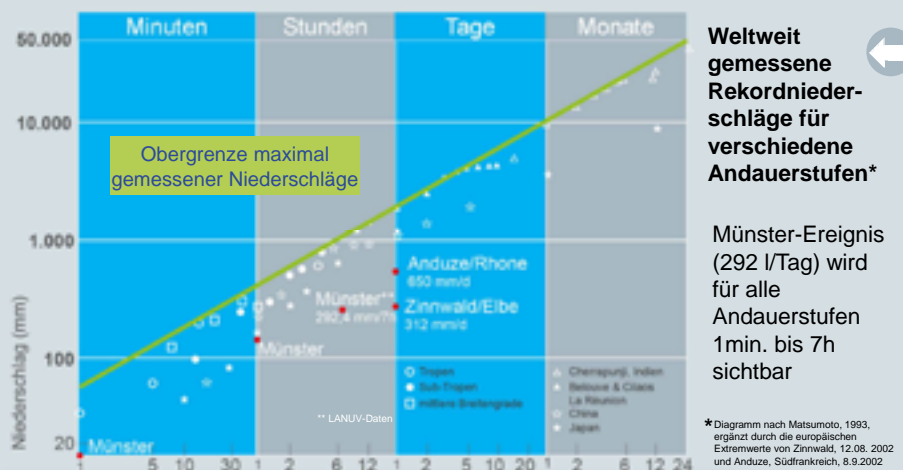
2018 war ein besonderes Jahr !

Abweichungen der Temperatur und des Niederschlags 2018 für Deutschland vom vieljährigen Mittelwert 1961-1990 für den Zeitraum **April - Oktober**.

Eine ähnliche Abweichung wurde für **April - Oktober** noch nie beobachtet.



gemessene Extremniederschläge

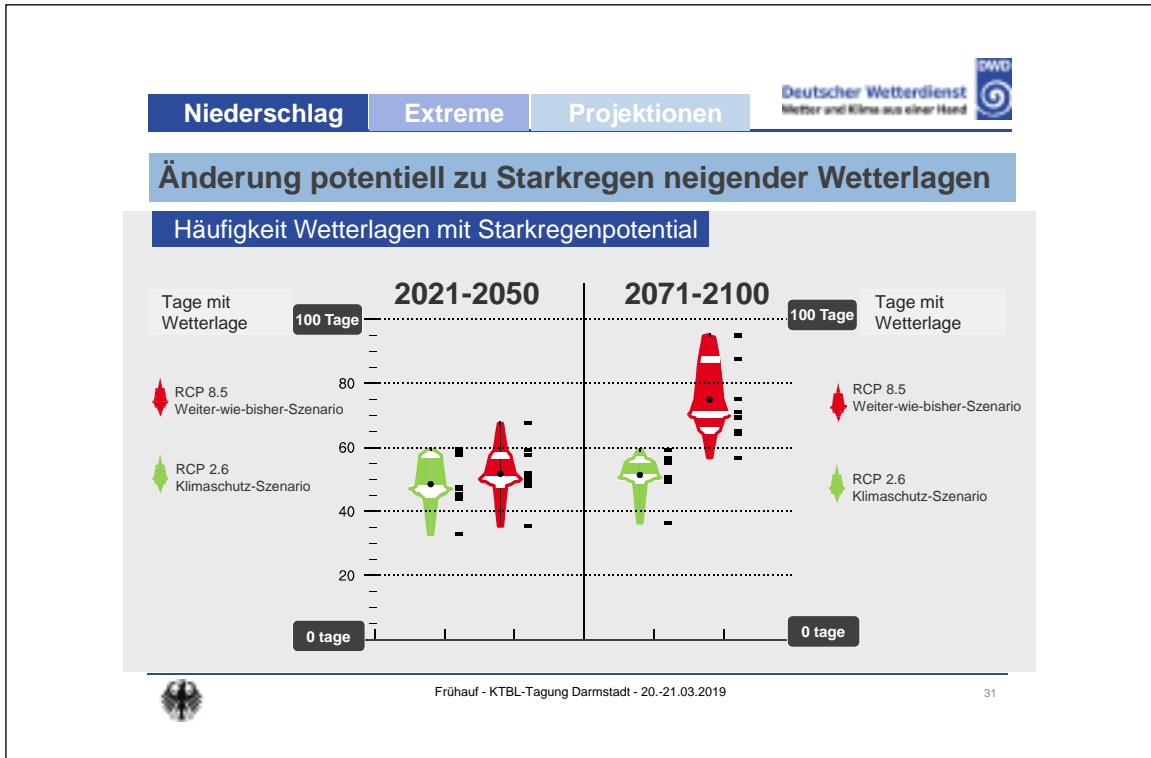


Weltweit gemessene Rekordniederschläge für verschiedene Andauerstufen*

Münster-Ereignis (292 l/Tag) wird für alle Andauerstufen 1min. bis 7h sichtbar

* Diagramm nach Matsumoto, 1993, ergänzt durch die europäischen Extremwerte von Zinnwald, 12.08.2002 und Anduze, Südfrankreich, 8.9.2002





Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Niederschlag Auswirkungen

Auswirkungen der Niederschlagsänderung auf das Pflanzenwachstum

tendenziell

- ➔ Mehr Niederschläge im Winter, weniger im Sommer
- ➔ Erosion und Überflutung im Winter, Nährstoffauswaschung

Frühauf - KTBL-Tagung Darmstadt - 20.-21.03.2019 32

Niederschlag

Auswirkungen



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Auswirkungen der Niederschlagsänderung auf das Pflanzenwachstum



tendenziell


- ➔ Wassermangel im Sommer:
höhere Verdunstung bei weniger Niederschlag
Bewässerung!
- ➔ Niederschlagsereignisse werden extremer
- ➔ Trockenperioden wechseln mit Starkregen, besonders im Sommer
- ➔ aber hohe Variabilität von Jahr zu Jahr



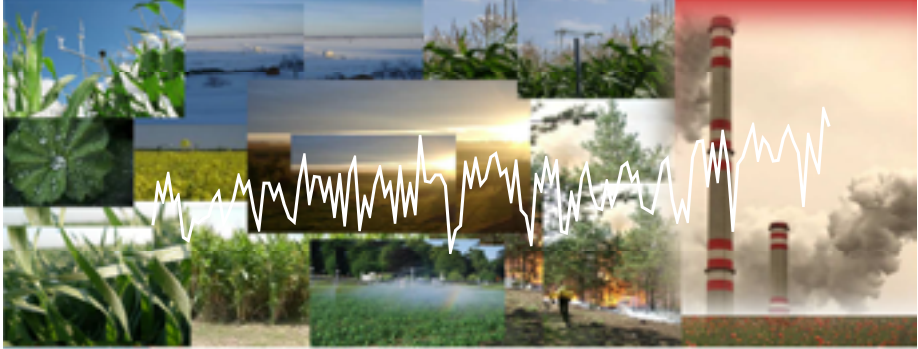


Frühauf - KTBL-Tagung Darmstadt - 20.-21.03.2019

33



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



Vielen Dank

Chancen und Risiken des Klimawandels für die deutsche Landwirtschaft

FOLKHARD ISERMEYER

Thünen-Institut, Braunschweig

1 Einleitung

Es wird erwartet, dass die globale Erwärmung voranschreitet und zu einer Zunahme extremer Wetterereignisse führt. Die Wetterextreme der Jahre 2017 (sehr nass) und 2018 (sehr trocken) haben auch in Deutschland gezeigt, dass Land- und Forstwirtschaft wie auch die Aquakultur in besonderem Maße vom Klimawandel betroffen sind. Der Agrarsektor sollte sich daher vorausschauend anpassen.

Aufgabe dieses Beitrags ist es, einen Überblick über die Chancen und Risiken zu geben, die der Klimawandel voraussichtlich für die deutsche Landwirtschaft mit sich bringen wird, und die wichtigsten Anpassungsmaßnahmen zu identifizieren.

2 Auswirkungen des Klimawandels

Die Produktionsbedingungen in Deutschland werden durch zwei Merkmale des Klimawandels beeinflusst: zum einen die Veränderung der durchschnittlichen Klimaverhältnisse und zum anderen die Zunahme von Wetterextremen.

Die Zunahme von Wetterextremen wirkt sich zumeist ungünstig aus. Starkregen, Stürme, extreme Hitze, lange Dürreperioden oder Spätfröste mindern die Erträge und die Produktqualität. Landwirte, die sich durch Vorsorgemaßnahmen zu schützen versuchen, haben zusätzliche Kosten zu tragen.

Demgegenüber wirkt sich die Veränderung der durchschnittlichen Klimaverhältnisse auf die Produktionsbedingungen in Deutschland sowohl günstig als auch ungünstig aus, und hier ist es offen, welcher Effekt überwiegen wird. Positivwirkungen entstehen z. B. durch die Verlängerung der Vegetationsperiode (längere Weideperioden), die Erhöhung der CO₂-Konzentration (höhere Erträge für manche Kulturen) und mildere Winter (Erweiterung des Fruchtartenspektrums, geringere Bau- und Heizkosten in der Tierhaltung). Negativwirkungen entstehen z. B. durch zunehmenden Wassermangel infolge stärkerer Verdunstung (Rückgang der Bodenfeuchte, geringere Erträge) oder durch Invasion neuer Schädlinge. Zu den Vor- und Nachteilen des Klimawandels auf die deutsche Landwirtschaft wurden in den letzten Jahren einige Überblicksdarstellungen angefertigt (Gömann et al. 2015, Gömann et al. 2017, Schimmelpfennig et al. 2018).

Der Klimawandel wird sich auf die deutsche Landwirtschaft aber nicht nur auswirken, indem er die Produktionsbedingungen in Deutschland verändert, sondern auch die Produktionsbedingungen in anderen Erdteilen. Allgemein wird erwartet, dass der größere Teil der Welt-Landwirtschaft stärker negativ vom Klimawandel betroffen sein wird. Je stärker die Nachteile für die anderen Erdteile ausfallen, desto stärker werden die Weltagrarpreise steigen. Für die deutsche Landwirtschaft wäre dieser Preisanstieg dann als positiver indirekter Effekt des Klimawandels zu verbuchen.

Ob das Zusammenspiel dieser drei Wirkungsfelder (durchschnittlicher Wandel; Wetterextreme; internationale Unterschiede) sich auf die deutsche Landwirtschaft per Saldo eher positiv oder eher negativ auswirken wird, lässt sich heute nicht zuverlässig abschätzen. Auch wenn man die Chancen für größer hält als die Risiken, gibt es keinen Grund, sich auf dieser relativ komfortablen Position auszuruhen. Die Herausforderung besteht in jedem Fall darin, den deutschen Agrarsektor bestmöglich an die künftig veränderten Rahmenbedingungen anzupassen.

3 Anpassung an den Klimawandel

3.1 Finanzielle Maßnahmen

In der öffentlichen Debatte des Jahres 2018 konnte man den Eindruck gewinnen, als ginge es bei der Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel vorrangig um rein finanzielle Maßnahmen: Soll der Staat Ad-hoc-Hilfen für betroffene Landwirte vorsehen? Sollen die Landwirte Versicherungen abschließen? Soll der Staat solche Versicherungen unterstützen?

Die Frage, ob und in welchem Maße die Politik mit rein finanziellen Maßnahmen eingreifen sollte, wird in der Wissenschaft kontrovers diskutiert. Prinzipiell gehört Risikomanagement zu den Kernaufgaben eines jeden Unternehmens, und je stärker der Staat mit öffentlichen Finanzmitteln finanzielle Schäden der Landwirte abfedert, desto mehr begünstigt er die Wettbewerbsfähigkeit jener Betriebe, die auf die staatliche Nothilfe spekulieren und daher keine vorbeugenden Anpassungsmaßnahmen zur Schadensminderung vornehmen. Solche Fehlsteuerungen gilt es zu vermeiden. Andererseits ist unstrittig, dass es Extremsituationen geben kann, in denen auch gut geführte, risikobewusste Betriebe durch außergewöhnliche Wetterlagen in ihrer Existenz bedroht sind. Hier erscheint solidarische Unterstützung durch das Gemeinwesen geboten. Welche Maßnahmen hierfür am besten geeignet sind, ohne dass die angesprochenen Fehlsteuerungen eintreten, wird gegenwärtig noch wissenschaftlich analysiert.

Was immer dort herauskommt: Rein finanzielle Hilfen stellen nur einen kleinen Ausschnitt aus dem gesamten Anpassungsspektrum der Landwirtschaft dar, sodass darüber hinaus auch produktionstechnische Anpassungsmaßnahmen sowie eine Verbesserung der Wasserversorgung in den Blick zu nehmen sind.

3.2 Anpassung der Produktionssysteme

Zur Frage, wie Landwirte ihre Produktionssysteme tendenziell anpassen könnten, haben Wissenschaft und Beratung schon seit Jahren Veröffentlichungen vorgelegt. Die Liste der möglichen Anpassungsmaßnahmen ist lang (Verband der Landwirtschaftskammern 2010): Verstärkter Anbau wärmeliebender Kulturen, Integration bodenstrukturverbessernder Kulturen in die Fruchtfolge, veränderte Sortenstrategien und Bestandsführung, Anbau von Zwischenfrüchten, Zweikulturanbau unter der Voraussetzung ausreichender Wasserverfügbarkeit, Mulch- und Direktsaat, bodenschutzgerechte Flurgestaltung zum Schutz vor Erosion, Anpassung der Düngezeitpunkte, Verwendung anderer Düngemittel, Anpassung der Zu- und Abfuhr organischer Substanz, Anpassung der Tierernährung zur Reduzierung des Wärmeenergieanfalls usw. In ähnlicher Weise wurden Anpassungsmaßnahmen vor- und nachgelagerter Sektoren beschrieben: Züchtung angepasster Pflanzensorten, Züchtung angepasster Tierrassen, Entwicklung verbesserter Düngemittel, Anpassung des Monitorings von Schadorganismen für Pflanzen und Tiere, Entwicklung neuer Pflanzenschutzmittel usw.

Landwirte stehen vor der schwierigen Aufgabe, die vielfältigen Anpassungsoptionen für ihren jeweiligen Standort bewerten und sich dann für einen konkreten Maßnahmen-Mix entscheiden zu müssen. Wenn sie ihr Produktionssystem anpassen, werden sie selbst zu Experimentatoren. Dabei haben sie aber den großen Nachteil, dass sie keine systematischen Experimente anstellen und einer statistischen Auswertung zuführen können. Stattdessen haben sie nur die Möglichkeit, einen einfachen Vorher-Nachher-Vergleich für ihren jeweiligen Betrieb durchzuführen, und sie können aus diesen individuellen „Tastversuchen“ nur sehr begrenzte Erkenntnisse ableiten, weil jedes Jahr (bedingt durch die Unbilden des Wetters) ein Unikat darstellt: Was sich im letzten Jahr auf meinem Betrieb als gelungene Anpassungsmaßnahme herausstellte, kann in diesem Jahr genau das Verkehrte sein.

Hier könnte die Politik der Landwirtschaft auf zweierlei Weise helfen: Zum einen ist es wichtig, auf den Versuchsflächen der staatlichen Forschungseinrichtungen eine ausreichende Anzahl von Langfrist-Versuchen durchzuführen (on station research), die statistisch auswertbar sind und im Laufe der Zeit gesichertes Wissen über die Auswirkungen unterschiedlicher landwirtschaftlicher Praktiken generieren. Zum anderen sollte die Politik experimentierfreudige Landwirte einladen, gemeinschaftlich ein deutschlandweites Netzwerk zu bilden, in dem unterschiedliche Produktionssysteme unter Praxisbedingungen mehrjährig erprobt werden (on farm research).

Die beim „on farm research“ mitwirkenden Landwirte müssten eine finanzielle Unterstützung erhalten, da sie ihre Produktionssysteme – zentral orchestriert – mit dem Ziel eines gemeinsamen Erkenntnisgewinns verändern und dadurch zusätzliche Risiken eingehen. Außerdem müssten die im Netzwerk entstehenden Daten in einer wissenschaftlichen Begleitforschung ausgewertet und mit den Praktikern erörtert werden. Das Konzept könnte im Rahmen einer deutschlandweiten Operationalen Gruppe einer European-Innovation-Partnership(EIP)-Maßnahme umgesetzt werden (Maßnahme in der zweiten Säule der EU-Agrarpolitik), was allerdings eine deutliche Weiterentwicklung der EIP-Regularien voraussetzen würde.

Politik und Landwirtschaft sollten sich nicht der Hoffnung hingeben, eine erfolgreiche Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel lasse sich durch einige „technologische Kniffe“ erreichen. Deshalb wird die Politik auch mit allgemein gehaltenen Forschungsförder-Bekanntmachungen zum Thema Klimaanpassung wenig ausrichten, zumal wenn die geförderten Projekte dann in den „üblichen“ Dreijahres-Zyklen abgewickelt werden sollen. Die meisten Anpassungen an den Klimawandel wird der marktwirtschaftliche Wettbewerb im Laufe der Jahrzehnte von ganz allein herbeiführen, ohne dass es politischer Aktivität bedarf. Die Politik sollte sich auf jene Punkte konzentrieren, die einer überbetrieblichen Koordinierung bedürfen, wie z. B. die o. g. Langfrist-Experimente (on station research) oder das o. g. „gemeinsame Experimentieren“ vieler Landwirte (on farm research).

3.3 Verbessertes Wassermanagement

Je stärker der Klimawandel zu Jahren mit langanhaltender Sommertrockenheit führt (siehe 2018), desto mehr wird das Wassermanagement auch in Deutschland zum wichtigsten Hebel der Klimaanpassungspolitik. Prinzipiell sind die Voraussetzungen hierfür recht günstig: Während Süßwasser in zahlreichen Regionen der Erde immer knapper wird, werden in Deutschland aktuell nur ca. 15 Prozent des jährlichen Wasserdargebots überhaupt genutzt. Der „rechnerische“ Wasserüberschuss wird – den Klimawandelmodellen zufolge – auch künftig Bestand haben, allerdings nur im Durchschnitt der Jahre und Regionen. Wenn es nun in einigen Jahren und einigen Regionen zu stärker ausgeprägtem Wassermangel kommt, so drängt sich die Frage auf, ob wir nicht einen Teil

des Wassers speichern und in Trockenperioden zugunsten land- und forstwirtschaftlicher Erträge einsetzen sollten, anstatt es wie bisher ungenutzt in die Meere abfließen zu lassen.

Bei realistischer Betrachtung ist nicht damit zu rechnen, dass in absehbarer Zeit der Bau größerer Stauseen auf die politische Agenda gesetzt wird. Auch eine verstärkte Nutzung des Grundwassers dürfte vielerorts politisch kaum durchsetzbar sein. Somit richtet sich der Fokus vor allem auf den Bau kleinräumiger Wasserrückhaltebecken, zumal sich bei dieser Option auch Synergieeffekte zu anderen gesellschaftlichen Zielen (biologische Vielfalt, Klimaschutz, Mikroklima) erzielen lassen und Co-Nutzungen anbieten (Aquakultur, regenerative Energien).

Da die Niederschlagsmenge in Deutschland von Jahr zu Jahr schwankt, liegt es nahe, bei solchen Planungen eine überjährige Wasserspeicherung anzustreben. Da die Niederschlagsmenge außerdem erhebliche regionale Unterschiede aufweist, sollten bei der Gesamtplanung auch die Potenziale eines überregionalen Wassertransports analysiert werden. Das weit verzweigte Wasserstraßennetz Deutschlands bietet auch hierfür gute Voraussetzungen.

4 Fazit

Für die Folgenabschätzung sind drei Wirkungsfelder zu unterscheiden: (1) Zunehmende Wetterextreme werden die Produktionsbedingungen der deutschen Landwirtschaft negativ beeinflussen. (2) Die Veränderung der durchschnittlichen Klimaverhältnisse wird die Produktionsbedingungen gleichermaßen positiv wie negativ beeinflussen. (3) Da der Klimawandel andere Erdteile voraussichtlich härter trifft als Deutschland, wird die deutsche Landwirtschaft von einem Klimawandelbedingten Anstieg der Weltagrarpreise profitieren. Ob aus diesen drei Wirkungslinien zusammengekommen eher ein positiver oder negativer Gesamteffekt für die deutsche Landwirtschaft resultiert, lässt sich heute nicht zuverlässig abschätzen.

Für die Anpassung der deutschen Landwirtschaft an den Klimawandel gibt es Dutzende kleiner Stellschrauben. Der marktwirtschaftliche Wettbewerb wird zeigen, welche dieser Stellschrauben an welchem Standort zu welcher Zeit passend sind. Die Landwirte haben in diesem Suchprozess allerdings einen schwierigen Stand, denn solange jeder Landwirt beim Experimentieren auf sich allein gestellt bleibt, kann er aus seinen Anpassungsversuchen kaum Schlussfolgerungen ableiten: Maßnahmen, die im letzten Jahr erfolgreich waren, können sich in diesem Jahr als Fehlschlag erweisen. So kann das Experimentieren teuer und zeitraubend werden.

Die Politik kann die Landwirte unterstützen, indem sie (a) Langfrist-Experimente auf staatlichen Versuchsbetrieben durchführen lässt (on station research) und (b) ein deutschlandweites Netzwerk für ein orchestriertes „gemeinsames Experimentieren“ vieler Landwirte etabliert (on farm research). Um in diesem Netzwerk eine ausreichende Vielfalt von Anpassungswegen mit dem nötigen „langen Atem“ erproben zu können, müssen die teilnehmenden Landwirte finanziell unterstützt werden. Hierfür bieten die European Innovation Partnerships (EIP) prinzipiell einen Ansatzpunkt, doch müsste die Politik die EIP-Architektur deutlich weiterentwickeln, damit hieraus ein wirklich brauchbares Werkzeug für eine fruchtbare Forschung-Praxis-Zusammenarbeit entsteht.

Je stärker der Klimawandel zu Jahren mit langanhaltender Sommertrockenheit führt, desto mehr wird das Wassermanagement auch in Deutschland zum wichtigsten Hebel der Klimaanpassungspolitik. Hierbei sollte der Fokus besonders auf der Verbesserung des kleinräumigen Wasserrückhalts liegen.

Literatur

- Gömann, H.; Bender, A.; Bolte, A.; Dirksmeyer, W.; Englert, H.; Feil, J.-H.; Frühauf, C.; Hauschild, M.; Krengel, S.; Lilienthal, H.; Löpmeier, F.-J.; Müller, J.; Mußhoff, O.; Natkhin, M.; Offermann, F.; Seidel, P.; Schmidt, M.; Seintsch, B.; Steidl, J.; Strohm, K.; Zimmer, Y. (2015): Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten von Risikomanagementsystemen: Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). (Schriftenreihe) Thünen Report 30, Braunschweig
- Gömann, H.; Frühauf, C.; Lüttger, A.; Weigel, H.-J. (2017): Landwirtschaft. In: (Hg.) Brasseur, GP.; Jacob, D.; Schuck-Zöller, S.: Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Heidelberg; Berlin: Springer, S. 183–191
- Schimmelpfennig, S.; Heidecke, C.; Beer, H.; Bittner, F.; Klages, S.; Krengel, S.; Lange, S. (2018): Klimaanpassung in Land- und Forstwirtschaft – Ergebnisse eines Workshops der Ressortforschungsinstitute FLI, JKI und Thünen-Institut. (Schriftenreihe) Thünen Working Paper 86, Braunschweig
- Verband der Landwirtschaftskammern (2010): Klimawandel und Landwirtschaft: Anpassungsstrategien im Bereich Pflanzenbau, Berlin

Anpassung von Anbausystemen an die Auswirkungen des Klimawandels

RALF BLOCH

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Arbeitsgruppe Ressourceneffiziente Anbausysteme, Müncheberg

1 Ermittlung anbausystemrelevanter Schwachstellen mittels Vulnerabilitätsanalyse

Der Dürresommer 2018 hat das Problembewusstsein gegenüber dem Klimawandel wieder deutlich verschärft und klar vor Augen geführt, dass in der Landwirtschaft eine proaktive Anpassung an die Auswirkungen dringend erforderlich ist. Anhand der regional sehr unterschiedlichen Betroffenheit bestimmter Betriebszweige wurde deutlich, dass es für die Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels keine einfachen, rezeptartigen Lösungsansätze gibt, sondern dass der Anpassungsprozess *anbausystem-, betriebs- sowie standortspezifisch* erfolgen muss (Bloch et al. 2014). Im folgenden Beitrag wird anhand eines Fallbeispiels dargestellt, wie ein solcher Anpassungsprozess methodisch und praktisch aussehen kann.

Zu Beginn des Anpassungsprozesses kann zur Identifizierung von Schwachstellen und für die zielgerichtete Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen eine genaue Betrachtung der „Vulnerabilität“ (Verwundbarkeit) von Anbausystemen hilfreich sein. „Vulnerabilität“ steht hierbei für ein systemtheoretisches Konzept, das nicht nur die externen Auswirkungen des Klimawandels auf Mensch-Umwelt-Systeme betrachtet, sondern auch die internen sozioökonomischen Faktoren dieser Systeme berücksichtigt (Füssel und Klein 2006). Letztendlich soll hierdurch eine ganzheitliche Sichtweise auf das betroffene System erreicht werden.

Gemäß den Vorgaben des Weltklimarats (IPCC) umfasst eine Vulnerabilitätsanalyse (VA) die Betrachtung der Komponenten „*Exposition*“, „*Sensitivität*“ sowie „*Anpassungskapazität*“. Die Exposition gibt an, inwieweit das betrachtete System bestimmten Änderungen der Klimaparameter (z.B. Temperatur, Niederschlag) ausgesetzt ist. Im Gegensatz zur Exposition beschreibt die Sensitivität die spezifische Empfindlichkeit des betroffenen Systems. Bestimmt wird sie vor allem durch inhärente Systemeigenschaften, die auch unabhängig von der Exposition bestehen (Gallopín 2006). Damit die potenziellen Auswirkungen des Klimawandels und somit Schwachstellen des Systems abgeschätzt werden können, ist es notwendig, die Exposition mit der Sensitivität zu verknüpfen. Inwieweit die hierdurch ermittelten Auswirkungen das System tatsächlich negativ beeinträchtigen, wird jedoch maßgeblich von dessen Anpassungskapazität bestimmt. Diese hängt vor allem von sozioökonomischen Faktoren ab, welche die wirksame Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen begünstigen. Hierzu zählen ökonomische Ressourcen, Know-how, der Einsatz neuer Technologien sowie die Möglichkeiten zur Risikostreuung. Für eine VA müssen die drei o.g. Komponenten zunächst operationalisiert und darauffolgend geeignete Erfassungsmethoden ermittelt werden (u. a. Ertragsmodellierungen, SWOT-Analysen, Experteninterviews usw.).

Innerhalb Deutschlands gilt Brandenburg (BB) aufgrund seiner geringen Jahresniederschläge (Ø 558 mm) und sandigen Böden als eine vom Klimawandel stark betroffene (Modell-)Region. Am Fallbeispiel des „Ökolandbaus in Brandenburg“ als leguminosenbasiertes Anbausystem werden im Folgenden exemplarisch Ergebnisse aus einer Vulnerabilitätsanalyse vorgestellt (Bloch et al. 2016) und es wird aufgezeigt, welche Anpassungsmaßnahmen für dieses System prioritär sind.

2 Fallbeispiel – Leguminosenbasiertes Anbausystem

Betrachtet man die Klimaveränderungen (Exposition) in BB, so wird deutlich, dass sich die Ökobetriebe hier auf eine längere Vegetationsperiode, milde und niederschlagsreiche Winter, häufiger auftretende Witterungsextreme wie Starkniederschläge oder Dürreperioden sowie eine zunehmende Vorsommer- und Sommertrockenheit einstellen müssen (MLUL 2017). Diese Klimaveränderungen könnten insbesondere eine systeminhärente Eigenschaft des Ökolandbaus ganz besonders treffen, nämlich den für die Stickstoffbereitstellung obligatorischen Leguminosenanbau. Dies gilt insbesondere für die flächenstarken Ökobetriebe, die in BB ihre Leguminosen überwiegend auf Sandstandorten anbauen, die ein geringes Wasserspeichervermögen aufweisen (Reyer et al. 2012). Ertragsprognosen mit dem Modell LEGRAY zeigten, dass in den Schwerpunktregionen des Ökolandbaus in BB (Uckermark und Spreewald) der Anbau von Futterleguminosen-Gras-Gemengen (FLG) bis zum Ende des 21. Jahrhunderts deutlich unsicherer werden könnte (Abnahme der Jahreserträge um bis zu 20 % gegenüber dem Referenzzeitraum 1978 bis 2008) (Bloch et al. 2015). Besonders gefährdet wären vor allem reine Rotklee-Gras-Bestände, die eine geringere Trockentoleranz als Luzerne-Kleegrass-Bestände aufweisen. Längere Dürreperioden wie z.B. 2018 könnten im untersuchten Szenarienzeitraum 2062 bis 2092 in jedem zweiten Jahr auftreten, was zur Folge hätte, dass Rotklee-Gras-Bestände nach dem zweiten Schnitt komplett vertrocknen würden. Hieraus würde eine hohe Vulnerabilität für die Stickstoffversorgung und die Futterbereitstellung im Brandenburger Ökolandbau resultieren, insofern keine ausreichende Anpassungskapazität vorhanden wäre.

Die Anpassungskapazität landwirtschaftlicher Betriebe gilt u. a. als hoch, wenn zur innerbetrieblichen Risikostreuung eine erhöhte Diversität und Flexibilität im Ackerbau sowie ein adaptives Management vorhanden ist (Milestad et al. 2012). Zum adaptiven Management gehört u. a. die Bereitschaft des Betriebsleiters zum Lernen und Experimentieren sowie zum Einführen neuer Sorten, Fruchtarten, Anbauverfahren und Technologien (Milestad et al. 2012). Da es sich hierbei um wissensintensive Kompetenzbereiche (Gestaltungskompetenz) handelt, ist die Anpassungskapazität stark abhängig von einem guten Beratungswesen. Dieses ist jedoch in BB durch eine fehlende Offizialberatung nur eingeschränkt vorhanden.

3 Ableitung von Anpassungsmaßnahmen

Anhand der Vulnerabilitätsanalyse lässt sich ableiten, dass in Zeiten des Klimawandels für leguminosenbasierte Anbausysteme die Entwicklung und Einführung trockenoleranterer FLG eine prioritäre Anpassungsmaßnahme ist. Die praktische Umsetzung dieser Maßnahme kann gelingen, wenn der Anpassungsprozess partizipative Entwicklungsmethoden (Praxisforschung, Co-Design-Ansatz) sowie möglichst viele Systemebenen bzw. Komponenten einschließt (Arten- und Sortenebene, Anbauverfahrensebene, Ackerschlag- und Landschaftsebene). Hierzu zählt beispielsweise die Durchführung von arten- und sortenspezifischen Trockenstressversuchen, z.B. Rain-out-Shelter-Experimente u. a. mit Sichelluzerne und Perserklee, worüber klimaangepasste FLG identifiziert werden können. Idealerweise werden diese Versuche von Anfang an als Exakt- und Praxisversuche gemeinsam mit Landwirten konzipiert. Als Komponente eines neuen Anbauverfahrens könnte auf großen, heterogenen Praxisschlägen mit stark schwankenden pH-Werten auf Grundlage von Ertrags- und Bodenkarten eine teilflächenspezifische Aussaat verschiedener Gemenge

(Luzernekleegrass, Rotkleegrass usw.) erprobt werden (precision legume cropping). Durch die so entstehenden „patches“ könnte schlagintern der Leguminosenanteil, die N-Fixierleistung und die Biodiversität erhöht werden. Ferner wären zunächst präzise Kalkdüngergaben zu prüfen, wodurch die Luzernetauglichkeit von Ackerflächen gezielt erhöht werden kann (pH 6,5 bis 8,0). Hierbei können, bedingt durch die Digitalisierung, auch neue Technologien wie Multi-Bodensensor-Plattformen oder Drohnendaten sinnvoll zum Einsatz kommen. Ferner sollte die Nutzungsart und -dauer der FLG angepasst werden, mit dem Ziel, die Bestände lange gesund und somit die N-Fixierleistung hoch zu halten. Ferner sollte die Wassereffizienz im Anbausystem generell erhöht werden (z.B. durch neue und angepasste Anbauverfahren wie „Cut & Carry“, Zweikulturnutzungssystemen mit reduzierter Bodenbearbeitung, „Pasture Cropping“, pflugloser Klee grasumbruch). Außerdem sollten auf der Ackerschlag- und Landschaftsebene Maßnahmen ergriffen werden, die zur Verbesserung des Mikroklimas im Agrarökosystem führen (u. a. Minderung der Windeinwirkung) und somit zur Reduktion der Evapotranspiration beitragen (z. B. Schaffung von Ackerrandstreifen, Hecken, Feldgehölzen, Agroforstsystemen usw.).

Das Fallbeispiel zeigt, dass der Anpassungsprozess insgesamt auf eine erhöhte Diversifizierung (räumlich und zeitlich) des gesamten Anbausystems abzielt, die durch verschiedene kurz- und langfristige Maßnahmen auf verschiedenen Ebenen des Anbausystems erreicht wird. Im Hinblick auf die mit dem Klimawandel verbundenen Unsicherheiten gelten viele dieser diversitätssteigernden Maßnahmen als sogenannte „No-Regret-Maßnahmen“, da sie beispielsweise eine gleichzeitige Anpassung an Trockenheit sowie Starkregen ermöglichen (u. a. Erosionsschutz und Humusanreicherung durch mehrjährigen Luzerne-Klee gras-Anbau). Ferner sind mit diesen Anpassungsmaßnahmen zum Teil weitere Ökosystemleistungen, wie z. B. der Erhalt der Biodiversität verknüpft. Diese Betrachtungsweise kann helfen, wenn über die Notwendigkeit und Finanzierung von Anpassungsmaßnahmen debattiert wird. Zur Umsetzung dieser Maßnahmen benötigen die Landnutzer neben finanziellen Ressourcen und Fachwissen vor allem Gestaltungskompetenz, welche in der Aus-, Fort- und Weiterbildung im Agrarbereich aber bisher zu wenig vermittelt wird.

4 Fazit und Ausblick

Allgemein gilt der Ökolandbau aufgrund seiner vielfältigen Ökosystemleistungen gegenüber dem Klimawandel als ein robustes und resilientes Anbausystem, weshalb er auch in zahlreichen Mitigations, Adaptations- und Nachhaltigkeitsstrategien erwähnt wird (siehe zum Beispiel Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie). Die für den Ökolandbau in Brandenburg beispielhaft durchgeführte Vulnerabilitätsanalyse verdeutlichte jedoch, dass Leistungen und Anfälligkeiten von Anbausystemen regional stark variieren können. Eine genaue Analyse regional- und anbausystemspezifischer Schwachstellen ist also zwingend erforderlich. Anpassungsmaßnahmen sollten daher aus den Regionen heraus und unter Mitwirkung der betroffenen Akteure entwickelt werden. Da diese Anpassungsmaßnahmen oft mit zunehmender Diversität und Komplexität der Anbausysteme verbunden sind, bedarf es neuer Ansätze im Wissenstransfer und der Kooperation zwischen Forschung und Praxis, wie z. B. „Cropping Schools“. Angesichts des Dürrejahres 2018 wurde deutlich, dass es bei der Anpassung an den Klimawandel nicht um den Erhalt des Status quo gehen kann, sondern dass Maßnahmen im Sinne einer „Aufbauenden Landwirtschaft“ erforderlich sind. Anpassungsmaßnahmen sollten sich daher nicht auf einzelne Komponenten fokussieren, sondern im Sinne

einer agrarökologischen Betrachtungsweise alle Ebenen des Anbausystems bis hin zu Veränderungen der Agrarlandschaft umfassen. Chancen und Risiken der aktuellen Digitalisierung in der Landwirtschaft sind zur Erreichung dieser Ziele zu überprüfen.

Literatur

- Bloch, R.; Bachinger, J.; Fohrmann, R.; Pfriem, R. (Hg.) (2014): Land- und Ernährungswirtschaft im Klimawandel. Auswirkungen, Anpassungsstrategien und Entscheidungshilfen. Schriftenreihe KLIMZUG 8, München
- Bloch, R.; Wechsung, F.; Heß, J.; Bachinger, J. (2015): Climate change impacts of legume-grass swards: implications for organic farming in the Federal State of Brandenburg, Germany. *Regional Environmental Change* 15(2), pp. 405–414
- Bloch, R. (2016): The Vulnerability of Organic Farming to Climate Change Effects in the Federal State of Brandenburg, Germany, Kassel
- Füssel, H.-M.; Klein, R. (2006): Climate Change Vulnerability Assessments: An Evolution of Conceptual Thinking. *Climatic Change* 75, pp. 301–329
- Gallopín, G. C. (2006): Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change* (16), pp. 293–303
- Milestad, R.; Dedieu, B.; Darnhofer, I.; Bellon, S. (2012): Farm and Farmers Facing Change: The Adaptive Approach. In: Hg. Darnhofer, I.; Gibbon, D.; Dedieu, B.: *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic*. Dordrecht, pp. 365–385
- MLUL (Hg.) (2017): *Klimawandel im Land Brandenburg. Was Unternehmen tun können*, Potsdam
- Reyer, C. et al. (2012): Climate change adaptation and sustainable regional development: a case study for the Federal State of Brandenburg, Germany. *Regional Environmental Change* 12(3), pp. 523–542

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung



Anpassung von Anbausystemen an die Auswirkungen des Klimawandels

Dr. Ralf Bloch
Arbeitsgruppe Ressourceneffiziente Anbausysteme
Programmbereich 2 „Landnutzung und Governance“



Bild: Bloch (2010)

KTBL-Fachtagung 2019
Kühlen Kopf bewahren –
Anpassung der Landwirtschaft
an den Klimawandel

Darmstadt, 20. März 2019

Auswirkungen - Dürresommer 2018



Aussaat in trockenen Boden (Brandenburg, Müncheberg, 23. August 2018)

Bild: Bloch (2018)

Auswirkungen - Dürresommer 2018



Bild: Bloch (2018)

Auswirkungen – Extremwetter



Auswirkungen eines Starkregenereignis (Brandenburg, Dannenberg, 2007)

Bild: Petermann (2007)

Anpassung von Anbausystemen an klimatische Veränderungen



Leistungen und Anfälligkeiten regional betrachten



Vorgehensweise

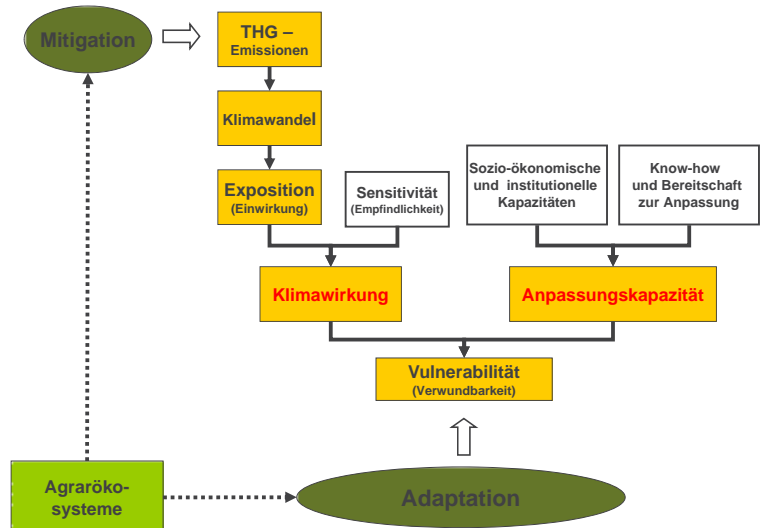


1. Ermittlung anbausystemrelevanter Schwachstellen mittels Vulnerabilitätsanalyse

*Anbausystem Ökolandbau - eine Anpassungsstrategie?
Fallbeispiel Ökolandbau in Brandenburg*

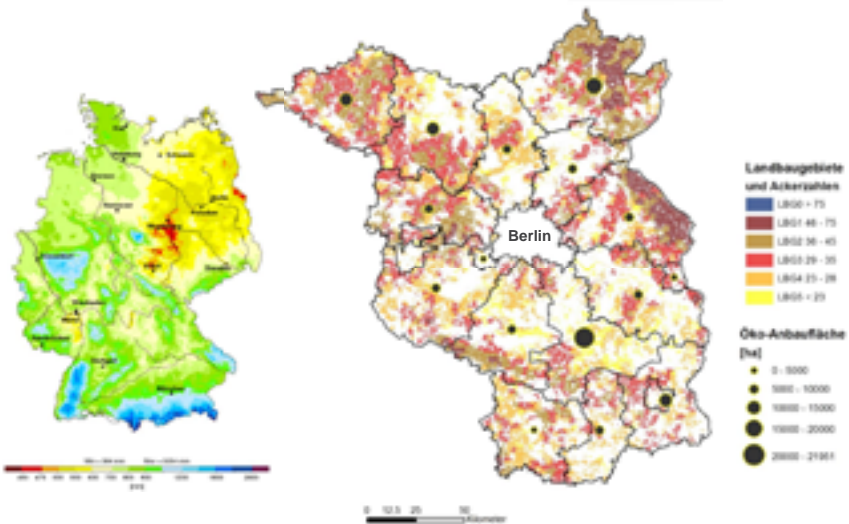
2. Ableitung von Anpassungsmaßnahmen
3. Fazit und erforderliche Maßnahmen

Schwachstellen erkennen



(Quellen: Isoard, et al. 2008; Gleich 2010; eigene Darstellung)

Fallbeispiel Ökolandbau in Brandenburg



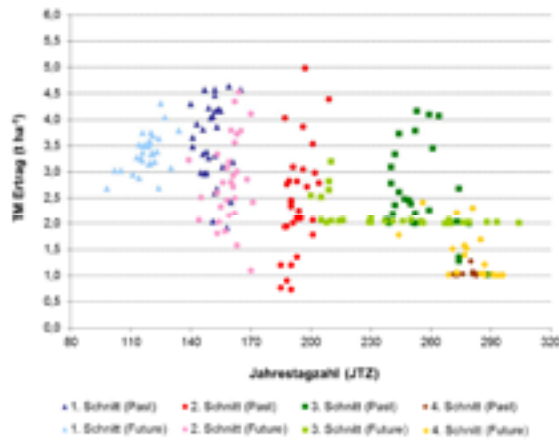
Mittlere Jahresniederschläge 1961-1990 (Quelle: DWD KlimaAtlas 2016)

(Quellen: MLUV 2010; LGB 2003, Troegel 2008; eigene Darstellung)

Klimawirkung auf Rotkleeergras



Einzelschnitterträge und –termine berechnet für die Zeiträume **1972-2008** (Past, *DWD*) und **2062-92** (Future, *STARS*), Standort Müncheberg, Bodenart Sand



Verfrühung bis zu drei Wochen

1. Schnitt: bis $-0,5 \text{ t TM ha}^{-1}$

2. Schnitt: bis $+1 \text{ t TM ha}^{-1}$

3. Schnitt: Trockenstress

4. Schnitt: Unsicher (bis $+0,1 \text{ t TM ha}^{-1}$)

(Quelle: Bloch et al. 2015)

Anpassung auf Ebene der Kulturpflanze



Bild: Bloch (2013)

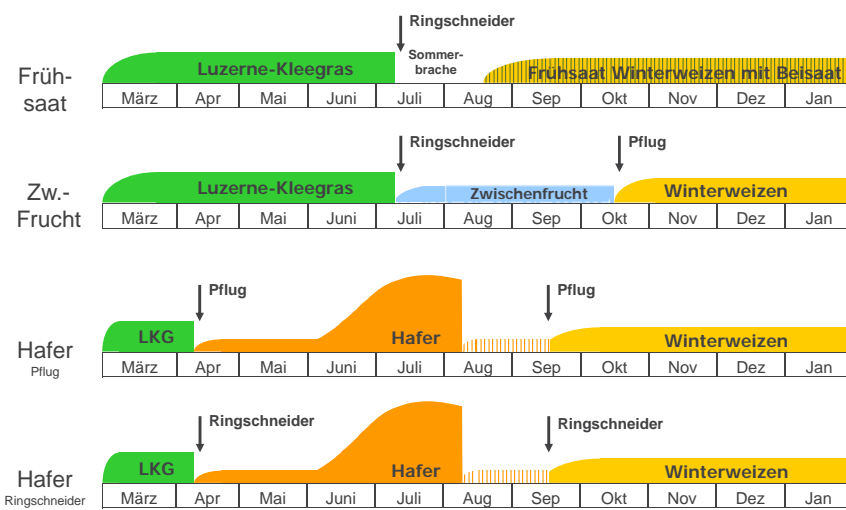
Anpassung auf Ebene der Anbauverfahren



Klimaflexible Bodenbearbeitung durch **pfluglosen Umbruch von Luzerne-Kleegras (Steuerung der N-Mineralisation)**

Bild: Bloch (2010)

Anpassung auf Ebene der Anbauverfahren



Anpassung auf Ebene der Anbauverfahren



Brodowin, 25.10.2010: Alexandrinerklee, Bitterlupine, Buchweizen, Felderbse, Öllein, Ölrettich, Perserklee, Ramtilkraut, Serradella, Sommerwicke, Sonnenblume

Bild: Bloch (2010)

Wasser- und Nährstoffverluste minimieren durch Zwischenfruchtanbau

Anpassung auf Ebene der Anbauverfahren



„Ein Tag im Juli ist so viel Wert wie eine Woche im August und wie der ganze September“



Brodowin, 30.07.2010 (Stoppelsturz im Zwischenschwadverfahren + Zwischenfruchtaussaat)

Bild: Bloch (2010)

Anpassung der Agrarlandschaft



Anpassung der Agrarlandschaft



- Agroforstwirtschaft mit Werthölzern
- Heckenpflanzen und KUP
- Langzeitmonitoring

Bild: Gaulty (2017)



Fazit und erforderliche Maßnahmen



Grundsätzlich...

- Leistungen und Anfälligkeiten von Anbausystemen können **regional stark variieren**
- Betriebs-, anbausystem- und standortspezifische Lösungen
- Steigerung der **Resilienz** durch **Diversifikation** auf allen Ebenen des **Agrarökosystems**
- **Wissensintensiver Ackerbau** mit höherem **Systemverständnis**

Fazit und erforderliche Maßnahmen



No-Regret-Maßnahmen umsetzen!



Fazit und erforderliche Maßnahmen



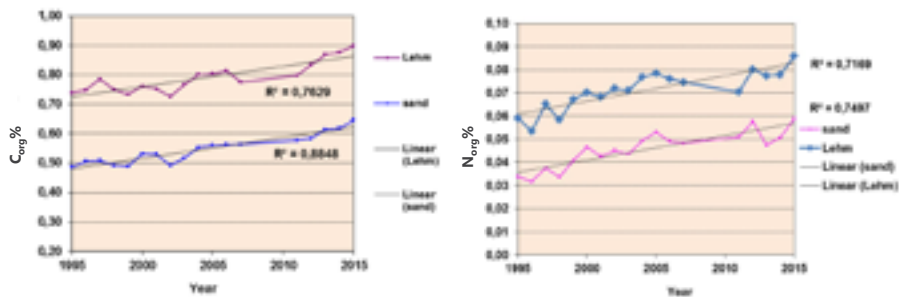
Keine Erhalt des Status quo - Aufbauende Landwirtschaft

Bild: Bloch (2016)

Modellbetrieb organischer Landbau am ZALF
Entwicklung der C_{org} - und N_{org} -Gehalte von (1995 – 2015)



8-feldrige Fruchtfolge mit 50% Leguminosenanteil



Zunahme des C-Gehaltes auf Sand um $4,6 \text{ t ha}^{-1}$ ($0,2 \text{ t pro a/ha}$)
auf lehmigen Sand / sandigen Lehm um $5,5 \text{ t ha}^{-1}$

Zunahme des N_{org} -Gehaltes um 840 kg ha^{-1} **Bilanzüberschuss $13 \text{ kg/ha und Jahr}$**

Foereid und Høgh-Jensen (2004): C-Anreicherung unter Ökolandbau in Europa zwischen $0,1$ bis $0,4 \text{ t pro Jahr und Hektar}$

Fazit und erforderliche Maßnahmen



"Ohne blühendes Versuchswesen keine blühende Landwirtschaft"

- „On-Station“ in Kombination mit „On-Farm-Versuchen“
- Praxisforschung, Aktionsforschung, Anbaueringe
- Experimentelle Kompetenzen stärken



Bild: Bloch (2012)

Erforderliche Maßnahmen



Kompetenznetzwerk Ökologischer Acker- und Pflanzenbau Nordost Brandenburg
„Cropping School“



EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Landwirtschaftsfonds
für die Entwicklung des
ländlichen Raums

Dieses Vorhaben wird gefördert durch das Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg (MLUL) im Rahmen des Entwicklungsprogramms für den ländlichen Raum in Brandenburg und Berlin. Die Zuwendung dieses Vorhabens setzt sich aus [ELER](#) — und Landesmitteln zusammen.

Danke für die Aufmerksamkeit!



Anpassungsoptionen an den Klimawandel in der Pflanzenproduktion – Möglichkeiten und Herausforderungen bei Leguminosen

JÜRGEN RECKNAGEL

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Ref. 14 Ökologischer Landbau/KÖLBW, Emmendingen

1 Einleitung

Der Klimawandel stellt Leguminosen über die Zunahme von extremen Witterungsverhältnissen auf unterschiedliche Art und Weise vor Herausforderungen: Langandauernde Phasen der Trockenheit und Hitze beeinträchtigen die Ertragsbildung genauso wie übermäßige Nässe und Kälteperioden zur Unzeit. Höhere Wärmesummen verstärken den Insektenbefall. Längere Nässeperioden begünstigen Wurzelfäulen und Blattkrankheiten. Hinzu kommt die Gefährdung durch Starkregenereignisse, die besonders beim Anbau als Hackfrucht, wie im Ökolandbau üblich, das Risiko für Bodenerosion erhöhen. Die höheren Wärmesummen eröffnen andererseits Möglichkeiten für den Anbau von wärmeliebenden Kulturen wie Sojabohnen oder Kichererbsen.

2 Anpassungsmöglichkeiten

Körnerleguminosen im Reinanbau sind vom Klimawandel stärker betroffen als Futterleguminosen, welche meist im Gemenge mit anderen Arten angebaut werden. Bei Letzteren können die Auswirkungen von Witterungseinflüssen auf den Ertrag durch Verschiebungen bei den Ertragsanteilen der Gemengepartner bis zu einem gewissen Grad kompensiert werden.

Beim Feldanbau von Körnerleguminosen obliegt es dem Landwirt, durch vorausschauende Auswahl von Arten, Winter- oder Sommerform und Sorten auf die Verschiebungen des Standortklimas zu reagieren. Unter Berücksichtigung von Bodenart, Temperatursumme und Wasserversorgungssituation hat er im Wesentlichen die Wahl zwischen Ackerbohnen, Erbsen, Lupinen und Sojabohnen. Der Anbau von weiteren Körnerleguminosen wie Wicken und Linsen oder neuerdings auch Kichererbsen beschränkt sich in Deutschland bislang auf überschaubare Nischen.

Durch die Nutzung von Winterformen mit einer 1 bis 3 Wochen früheren Ernte gegenüber der jeweiligen Sommerform hat der Landwirt im Prinzip die Möglichkeit, eine Ertragsbeeinträchtigung durch frühsummerliche Trocken- und Hitzeperioden abzumildern. Auch sind die Pflanzen zum Zeitpunkt des Einfalls von Läusen oder Erbsen- und Bohnenkäfern schon in einem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium, sodass auch deren Schadwirkung reduziert ist. Für den Anbau in Deutschland grundsätzlich taugliche Winterformen gibt es nur bei Ackerbohnen und Erbsen. Mehrjährige Sortenversuche mit Winterformen der genannten Arten haben bisher jedoch selbst im Oberrheingebiet, wo die Erwärmung der letzten Jahre immer wieder zu hohem Trocken- und Hitzestress im Frühsommer geführt hat, abgesehen von Einzeljahren, keine systematische Überlegenheit gegenüber den entsprechenden Sommerformen belegt. Dabei kam es, dank später Aussaat ab Ende Oktober und nicht zu üppiger Vorwinterentwicklung, kaum zu Auswinterungsverlusten durch Erfrieren; als problematisch erwiesen sich eher Wechselfröste und länger anhaltende Nässeperioden, besonders bei Erbsen. Auf durchlässigen Böden konnten jedoch einzelne Sorten von

Wintererbsen wiederholt Mehrerträge gegenüber den Sommererbsen erzielen. Bei Ackerbohnen sind die Vorteile der Winterform seltener. Bei Lupinen konnten die Erträge der Winterformen in Deutschland bislang noch nicht mit denen der Sommerformen konkurrieren. Bei allen drei Arten gilt es aber den Zuchtfortschritt im Auge zu behalten.

Ein weiterer Ansatz zur Abpufferung von Witterungsrisiken besteht im Gemengeanbau von Erbsen und Ackerbohnen bzw. von Erbsen mit Getreide von passendem Entwicklungsrhythmus. Im Ökolandbau hat der Anbau von langwüchsigen Wintererbsen mit Wintertriticale eine gewisse Verbreitung gefunden. Wenn das gemischte Erntegut nicht im eigenen Betrieb verfüttert werden kann, muss es für den Verkauf meist in einem zusätzlichen Arbeitsgang separiert werden.

Für wärmeliebende Kulturen bietet die Klimaerwärmung aber auch Chancen. So konnte sich der bereits seit den 1980er-Jahren in Süddeutschland erprobte Anbau von Sojabohnen von 700 ha Anbaufläche im Jahr 2008 bis auf 24.100 ha im Jahr 2018 kontinuierlich ausdehnen. Gut 80 % davon stehen in Bayern und Baden-Württemberg, jeweils einige hundert Hektar auch in den anderen Bundesländern bis nach Niedersachsen und Mecklenburg-Vorpommern. Ermöglicht wurde diese Entwicklung durch Fortschritte in der Sortenzüchtung, die eine Anbauausdehnung auch außerhalb der ausgesprochenen Gunstlagen wie dem Oberrhein- oder dem Rottal erlaubt. Nicht zu unterschätzen ist aber auch der Effekt der steigenden Wärmesummen in der Vegetationszeit von Sojabohnen von Ende April bis Ende September. Eine Auswertung von Wetterdaten des DWD in Zusammenarbeit von Julius-Kühn-Institut und Sojaförderung hinsichtlich der für Soja maßgeblichen Wärmesummen (1.5. bis 15.9.) im 30-jährigen Mittel (tagesgenau) von 1981 bis 2010, verschnitten mit Niederschlägen (1.6. bis 31.8.), Bodengüte und Globalstrahlung (1.6. bis 30.9.) zeigt, dass der Anbau von Sojabohnen inzwischen auch in vielen Regionen Deutschlands Erfolg versprechend ist (Abb. 1).

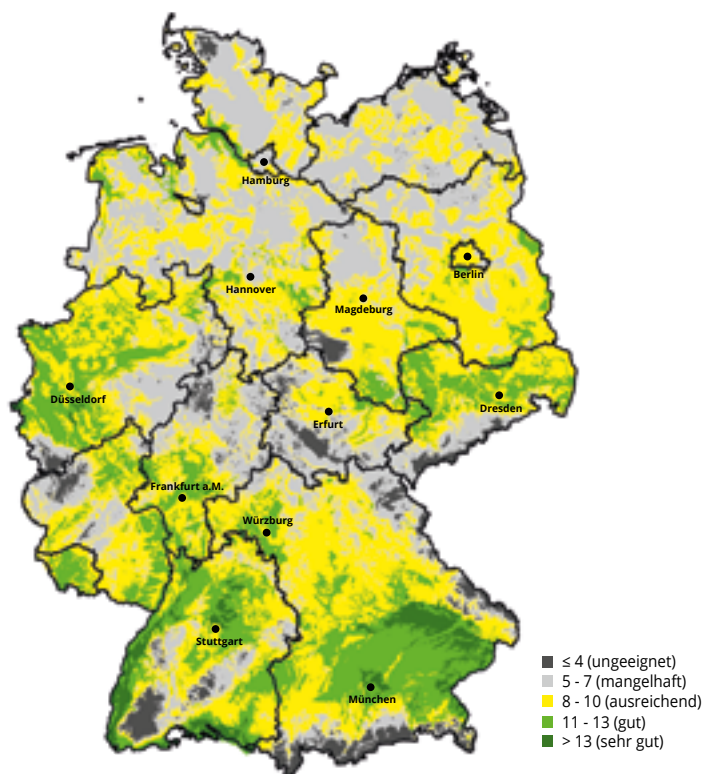


Abb. 1: Deutschlandkarte der Anbaueignung für Sojabohnen (Roßberg und Recknagel 2017)

Dabei sind die Bedingungen in den gelben Gebieten ausreichend und in den hellgrünen Gebieten gut für den Anbau von 000-Sorten. In den sehr gut geeigneten dunkelgrünen Gebieten kommen auch 00-Sorten zur Reife.

Die im Rahmen des Projektes Sojanetzwerk mit über 100 in ganz Deutschland verteilten Demonstrations- und Datenerfassungsbetrieben gewonnenen Anbauerfahrungen der letzten 5 Jahre haben gezeigt, dass Sojabohnen nach der Auflaufphase relativ robust gegenüber Witterungsstress wie Frost, Hitze, Überschwemmung und zeitweiser Trockenheit sind und sich selbst nach Blattverlust durch Hagel bis zur Blüte relativ gut regenerieren. Im Vergleich zu den klassischen Körnerleguminosen leiden Sojabohnen weitaus weniger unter Krankheiten und Schädlingen. Entscheidend für den Anbauerfolg sind die Wahl eines geeigneten, leicht erwärmbaren Standorts mit geringem Unkrautdruck sowie einer dazu passenden Sorte für die sichere Abreife bis Ende September, die Impfung mit einem bewährten Soja-Impfmittel, die Aussaat in warmen, krümeligen Boden, sodass sie binnen 10 bis 14 Tagen aufläuft und die frühzeitige, bereits im Voraufbau beginnende Unkrautregulierung. Da sie mit empfohlenen Anbaupausen von 3 bis 4 Jahren relativ selbstverträglich ist (Hahn und Miedaner 2013), kann die Sojabohne dazu beitragen, in Fruchtfolgen mit hohem Körnerleguminosenanteil, wie sie häufig in ökologisch wirtschaftenden Ackerbaubetrieben vorkommen, die für Ackerbohnen und Erbsen empfohlenen Fruchtfolgeabstände von 6 bis 10 Jahren (BLE 2014) einzuhalten. Bleibt es aber monatelang so trocken wie 2018 in Teilen Nord- und Ostdeutschlands, stößt auch die Sojabohne an ihre Grenzen. Für einen guten Ertrag benötigt sie in der generativen Phase zwischen Blüte und Kornfüllung ausreichend Wasser. In solchen Jahren hilft dann tatsächlich nur eine Beregnung, die sie ähnlich gut verwertet wie Mais. In Baden-Württemberg wurde Soja 2018 erstmals zur flächenmäßig bedeutendsten Körnerleguminose, in Bayern rangierte sie zwischen Erbsen und Ackerbohnen.

3 Fazit

Mittel der Wahl zur Absicherung gegen extreme Witterungsverläufe ist eine vielfältige Fruchtfolge mit Winterungen und Sommerungen unterschiedlicher Kulturen, die ihren Hauptwasserbedarf zu verschiedenen Zeiten des Jahres haben. Bei Körnerleguminosen spielt die Nutzung von Winterformen bislang nur eine untergeordnete, auf wenige Sorten von Erbsen und Ackerbohnen in milderen Lagen begrenzte Rolle. Mit ertragsschwachen, durchlässigen Böden im nordöstlichen Deutschland kommen am ehesten noch schmalblättrige und gelbe Lupinen zurecht. Auf Standorten mit kühl-gemäßigten Klimaten zeigen nach wie vor Erbsen auf gut dränierten und Ackerbohnen auf feuchteren Standorten gute Ergebnisse, sofern relativ lange Anbaupausen von 6 bis 10 Jahren eingehalten werden. Von der Klimaerwärmung am ehesten profitiert hat die Sojabohne. In Gebieten, wo auch Körnermais zur Reife kommt, ist sie den anderen Körnerleguminosen hinsichtlich Eiweiß-ertrag und Ertragssicherheit häufig überlegen. Gegenüber Krankheiten und Schädlingen zeigt sie sich weniger anfällig als die traditionellen Hülsenfrüchte. Herausforderung ist dabei die Vermittlung der für einen erfolgreichen Anbau erforderlichen Kenntnisse. Das BLE-Projekt Sojanetzwerk der Jahre 2014 bis 2018 hat dazu wertvolle Beiträge geleistet, die auf der Webseite www.sojafoerderring.de allgemein zugänglich sind.

Literatur

BLE (Hg.) (2014): Körnerleguminosen und Bodenfruchtbarkeit – Strategien für einen erfolgreichen Anbau. <http://orgprints.org/31992/1/1654-koernerleguminosen.pdf>; Zugriff am 01.02.2019

Hahn, V.; Miedaner, T. (2013): Sojaanbau in der EU. DLG-Verlag, Frankfurt

Roßberg, D.; Recknagel, J. (2017): Untersuchungen zur Anbaueignung von Sojabohnen in Deutschland. Journal für Kulturpflanzen 69(4), S. 137–145 (Karte auch im geoportal.julius-kuehn.de)



Anpassungsoptionen an den Klimawandel in der Pflanzenproduktion
Möglichkeiten und Herausforderungen bei Leguminosen

Jürgen Recknagel
LTZ Augustenberg, Deutscher Sojafördering e.V.

„Kühlen Kopf bewahren – Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel“
KTBL-Tagung, Darmstadt, 20.03.2019

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg



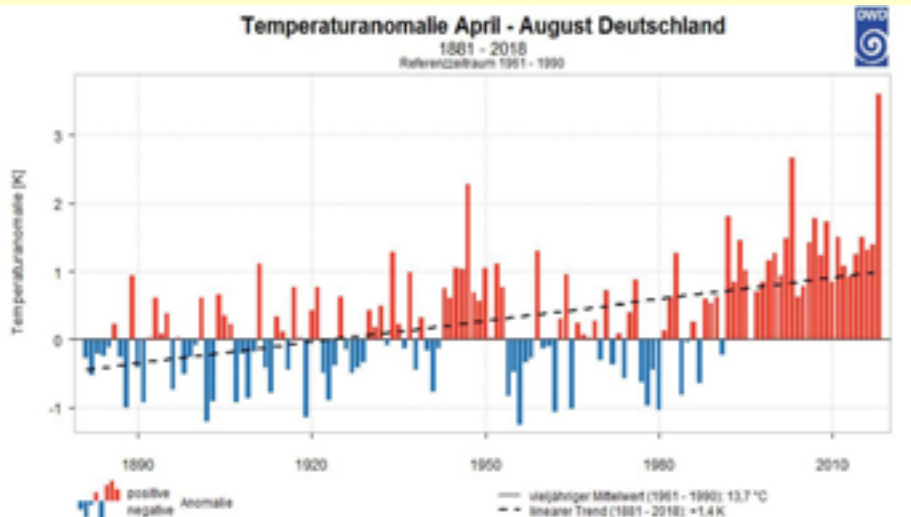
Inhaltsübersicht

- Aspekte des Klimawandels
- Anpassung an das gewandelte Klima durch Kulturartenwahl
- Anpassung durch Sortenwahl (u.a. Winter-/Sommerformen)
- Anpassung der Anbausysteme
- Risikostreuung durch Diversifizierung

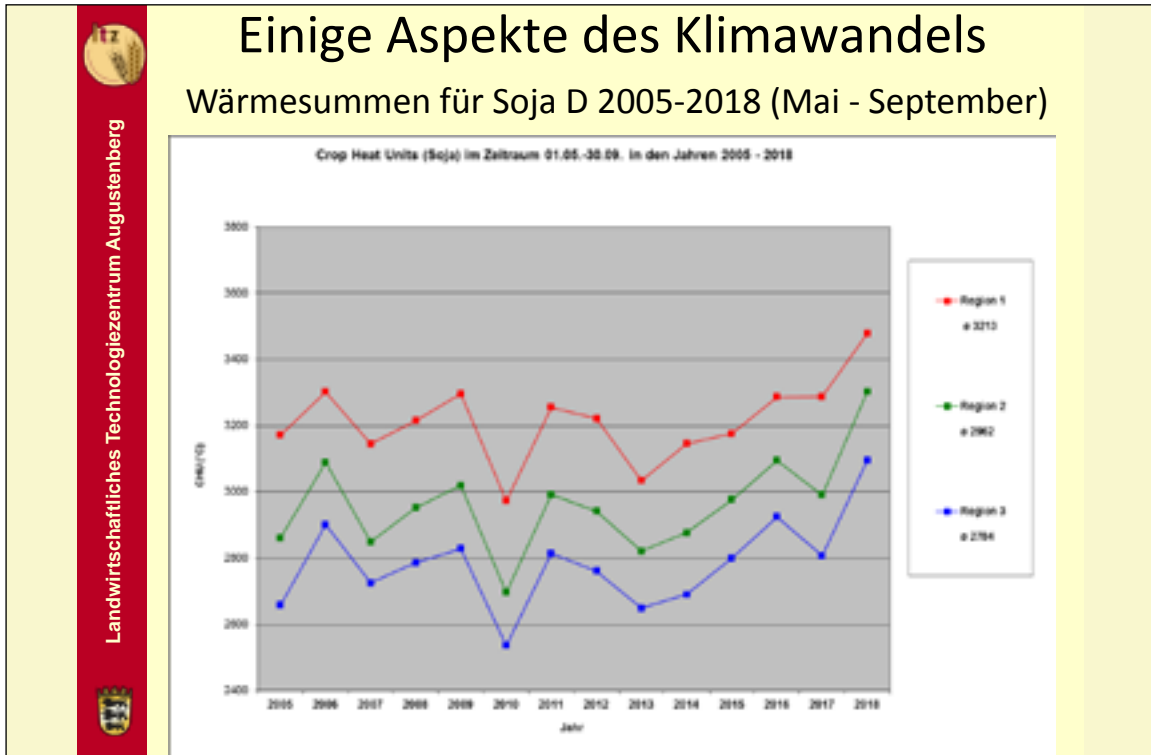


Einige Aspekte des Klimawandels

Zunahme der Wärmesummen



- erlaubt wärmeliebende neue Kulturen wie Hirse, Soja,...
- erhöht u.U. Gefahrenpotential von Spätfrost, Schädlingen, Wassermangel



Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg

Einige Aspekte des Klimawandels

Niederschlagsanomalie April - August Deutschland
1881 - 2015
Referenzzeitraum 1961 - 1990

— vieljähriger Mittelwert (1961 - 1990) 268,7 mm
- - - linearer Trend (1881 - 2015) -3,4 mm

Abb. 3: Abweichung des Gebietsmittels des Niederschlags für Deutschland im Zeitraum April-August vom vieljährigen Mittel 1961-1990.

- In Verbindung mit Trockenheit bedeutet mehr Wärme mehr Trockenstress mit der Gefahr von Ertragseinbußen durch Wassermangel in Ertragsbildungsphase

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg

Einige Aspekte des Klimawandels

Tage unter 30 % nFK Bodenfeuchte für Mais
Mai bis August

2018 1991-2017

0 20 40 60 80 Tage

BW: 17
BY: 12
BB: 35
HE: 33
MV: 34
NI: 32
NW: 33
RP: 31
SL: 29
SA: 38
SN: 31
SH: 20
TH: 30

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

aus Flaig, LTZ

17

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg

Einige Aspekte des Klimawandels



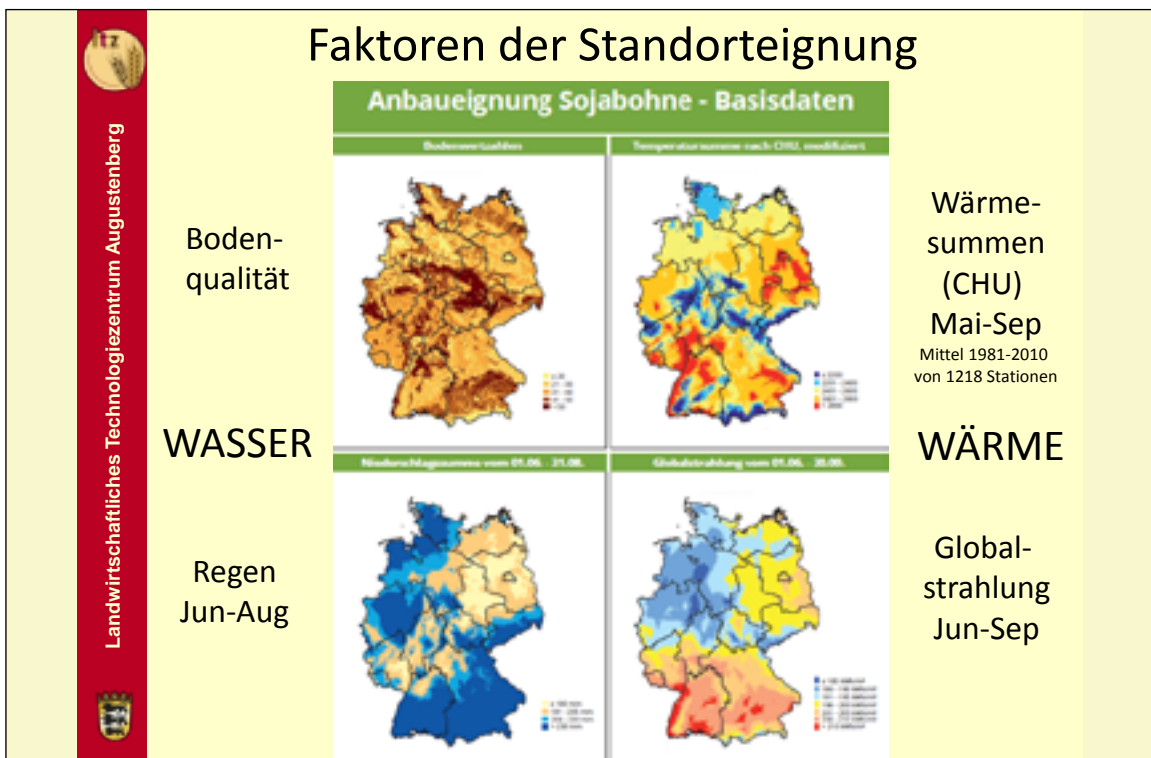
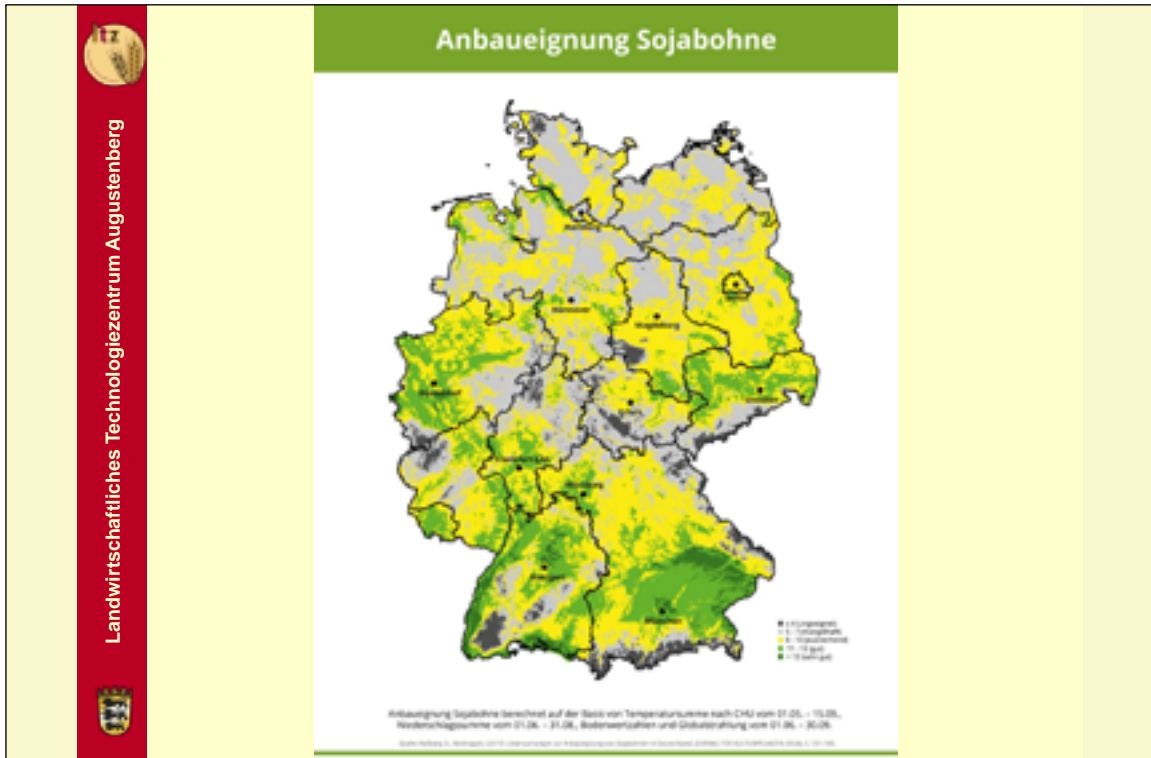
- Anpassung durch Sortenwahl (frühreif, Winterung statt Sommerung) bzw. besser angepasste Kulturen oder Beregnung

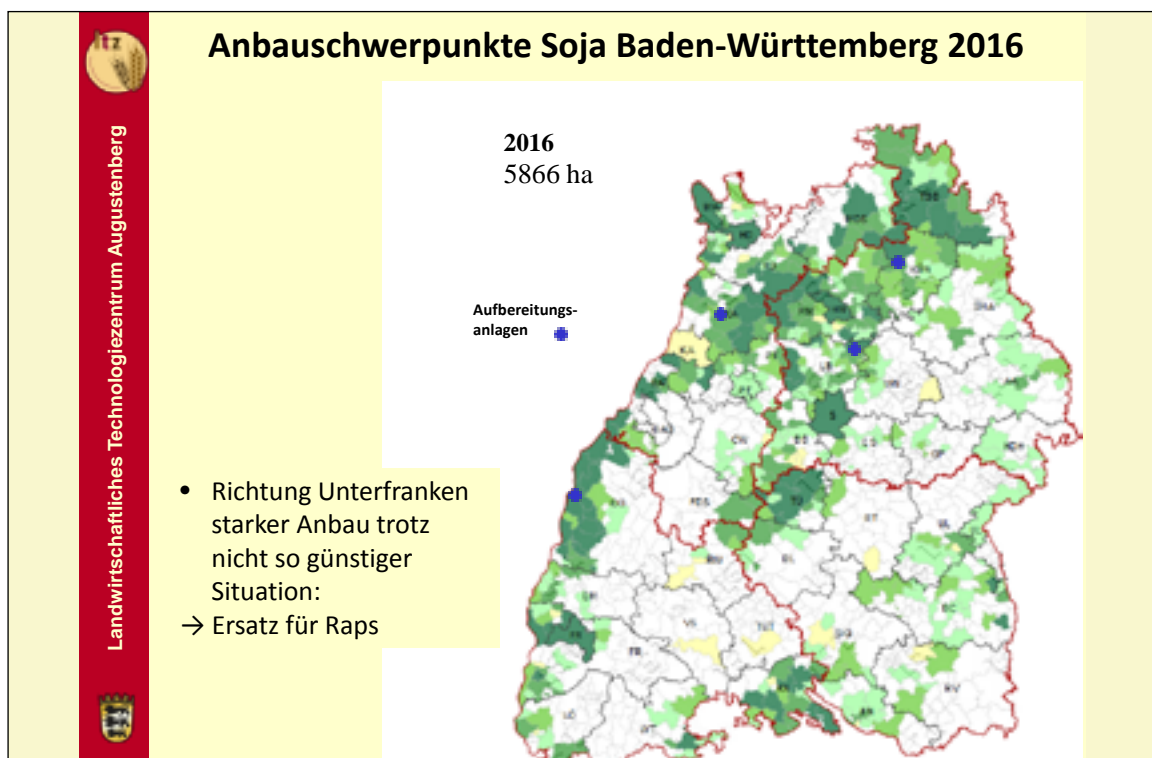
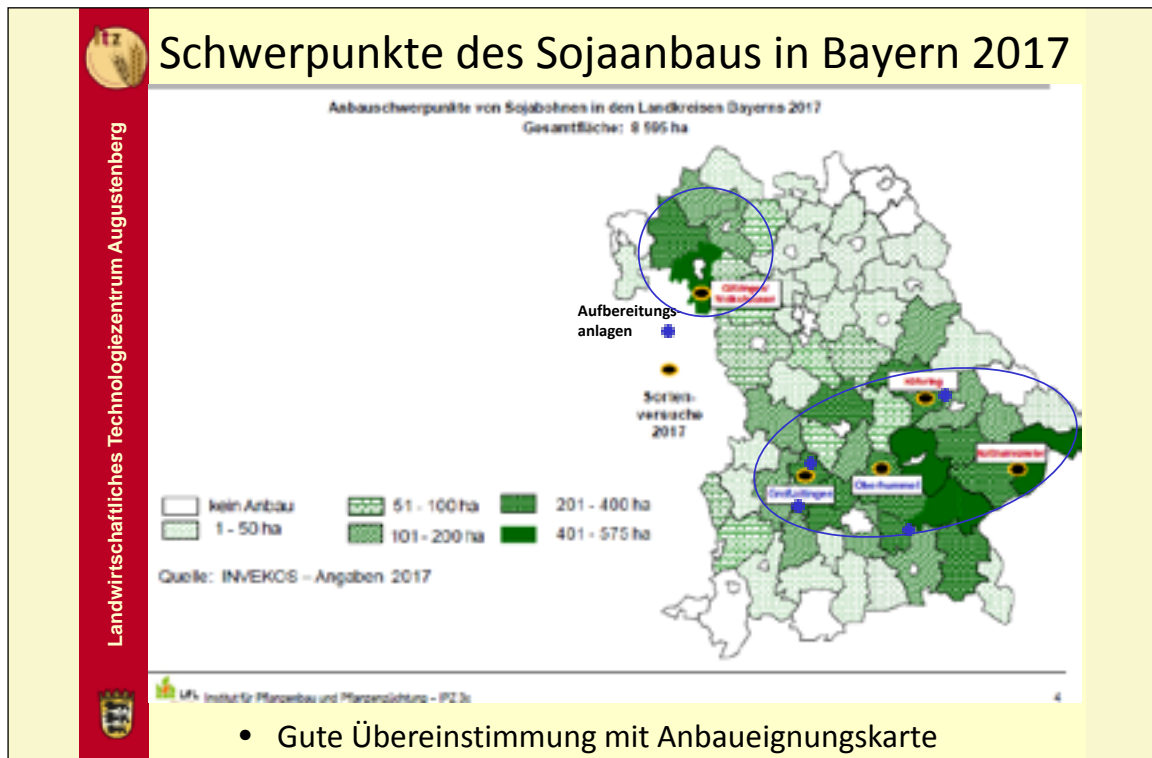
17

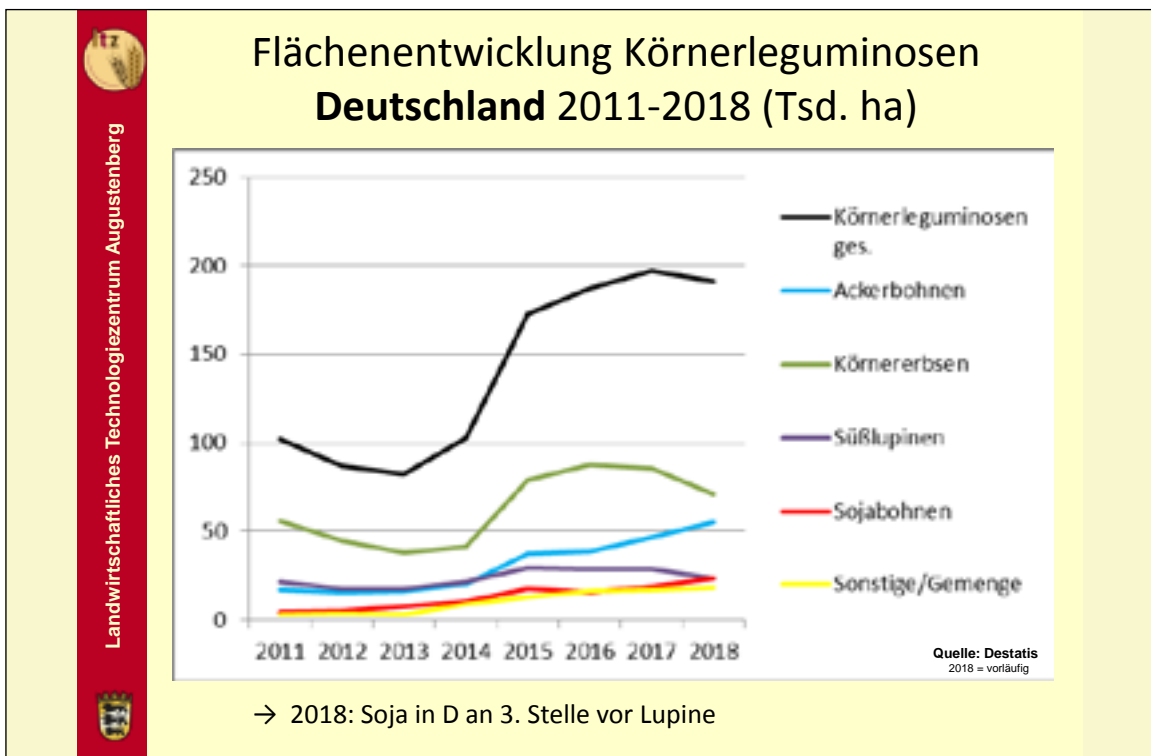
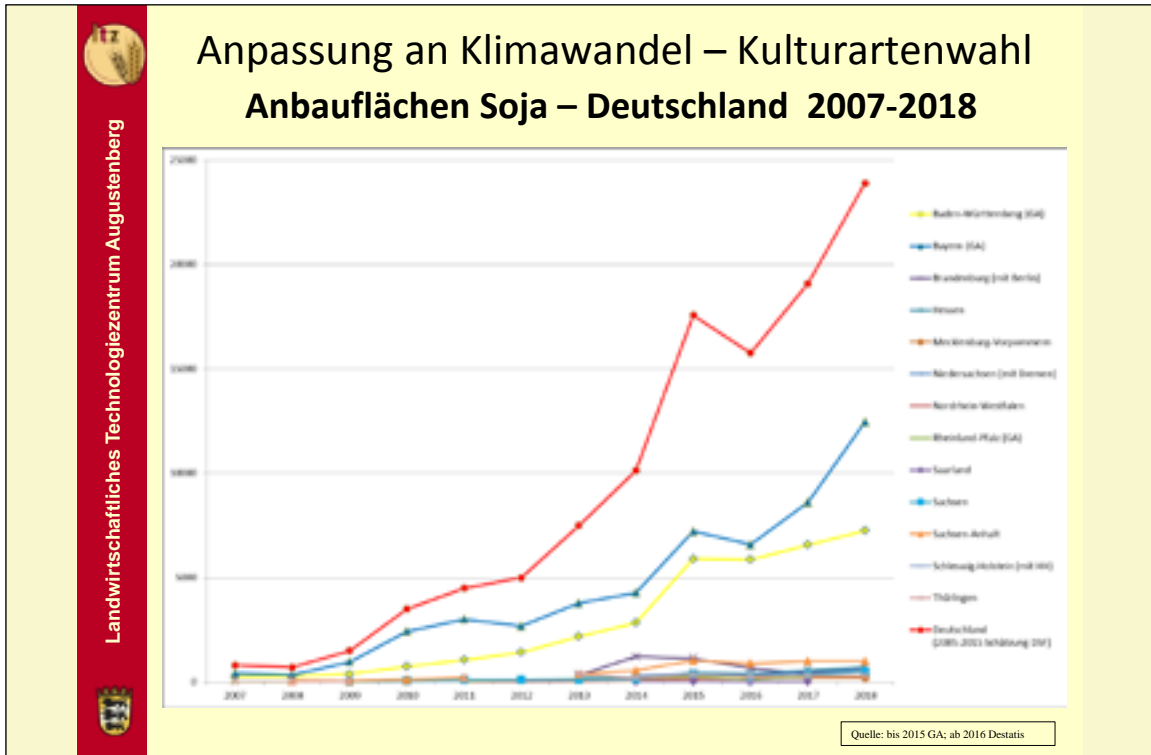
Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg

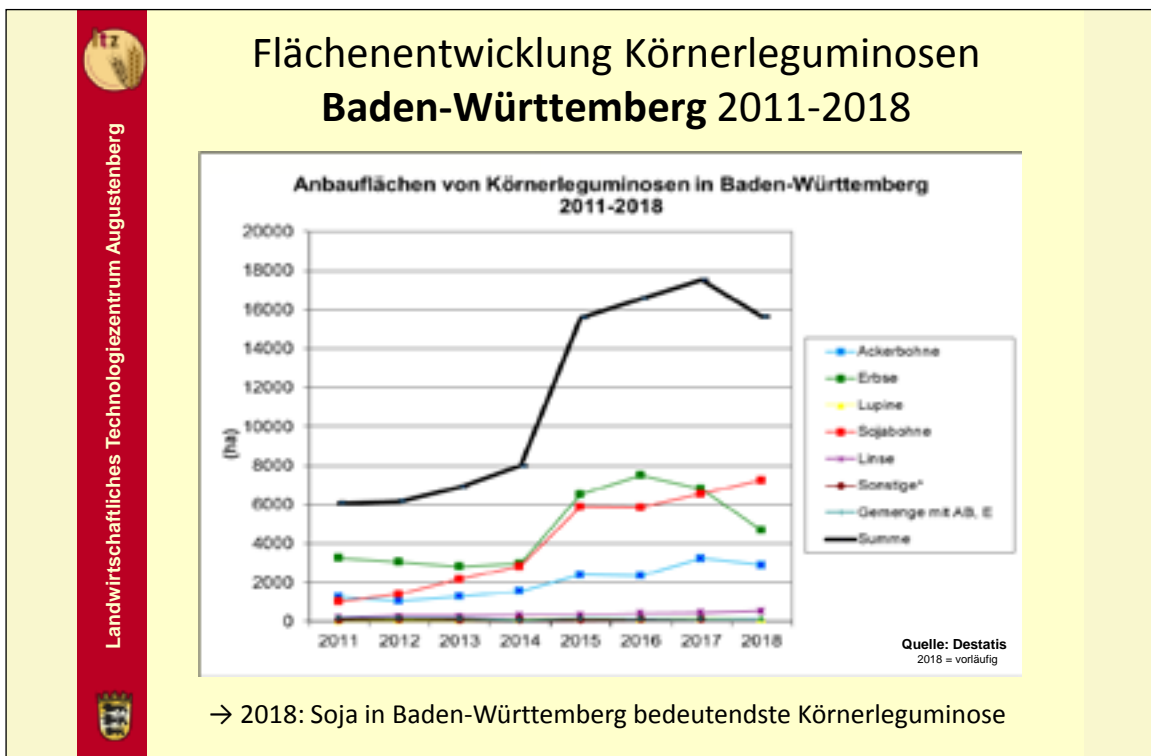
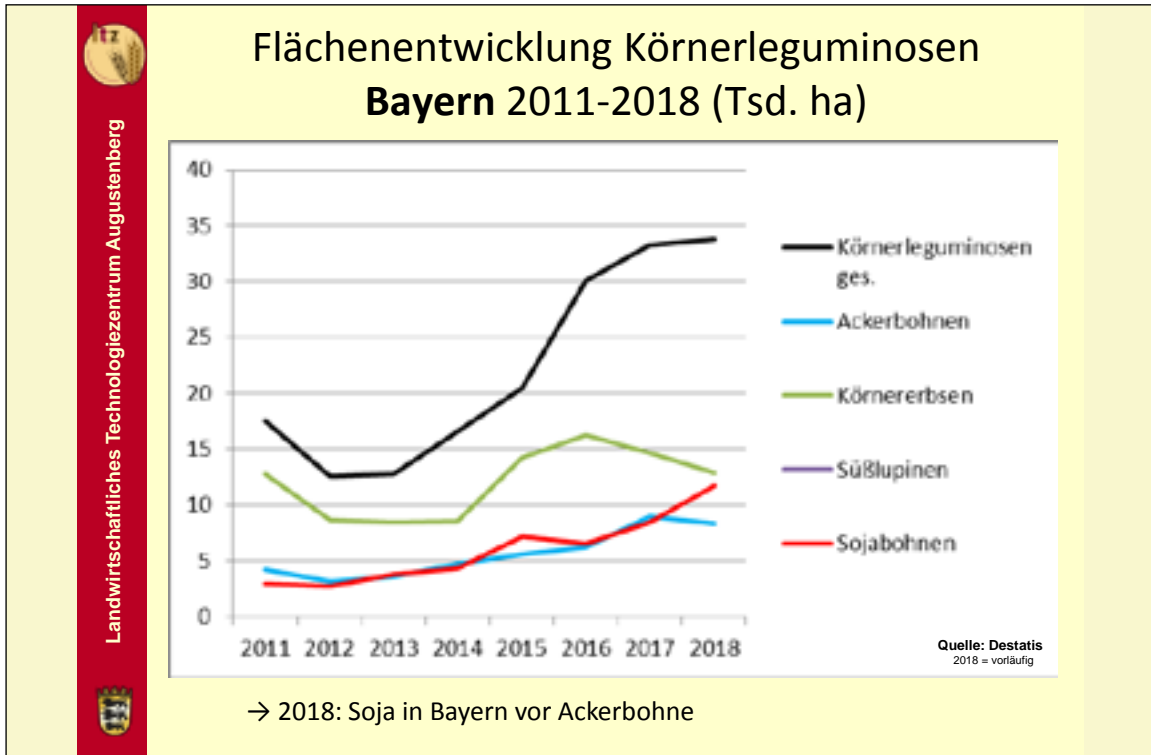
Anpassung an Klimawandel durch Kulturartenwahl

- Ausdehnung des anbauwürdigen Areals wärmeliebender Kulturen in Deutschland durch Klimaerwärmung
- Beispiel Soja: Anbaueignungskarte auf Grundlage von Wetterdaten 1981-2010











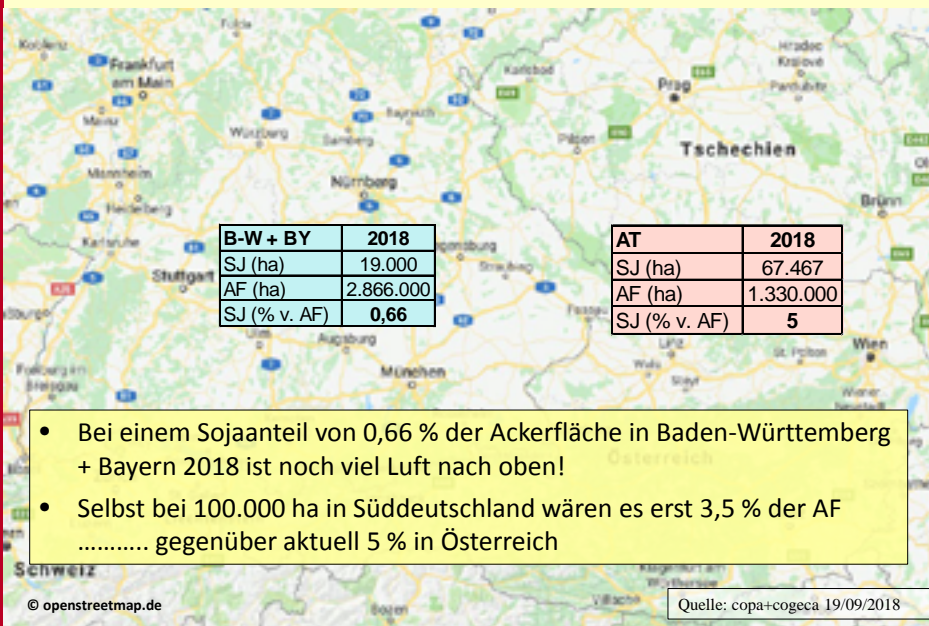
Anpassung an Klimawandel Kulturartenwahl

Die Flächenentwicklung wichtiger Körnerleguminosen
D – BY – B-W 2011-2018 zeigt

- Deutliche Reaktion auf agrarpolitische Rahmenbedingungen:
Erlaubnis N-bindender Pflanzen auf ÖAF 2015
- Einschränkung des Areals traditioneller Leguminosen infolge
abnehmender relativer Vorzüglichkeit unter den aktuellen
Rahmenbedingungen
 - Marktverhältnisse
 - Möglichkeiten des Pflanzenschutzmitteleinsatzes
 - ... Stress (Trockenheit, Schädlingsdruck)
besonders in Süddeutschland
- Ausdehnung vom Klimawandel begünstigten Arten



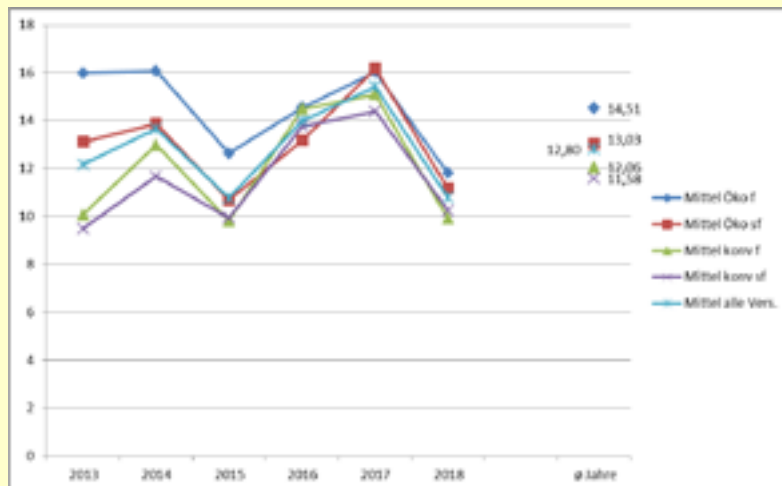
Sojaanteile an der Ackerfläche Österreich und Süddeutschland





Anpassung durch Arten-/Sortenwahl

Rohproteinerge (dt/ha) Sojabohnen: alle Versuche B-W/R-P/HE 2013-18
 (Bönnigheim, Eiselau, Friedberg, Fritzlar/Hersfeld, Griesheim, Biedesheim, Müllheim, Herxheim, Oppenheim, Orschweier, Speyer, Taifingen)

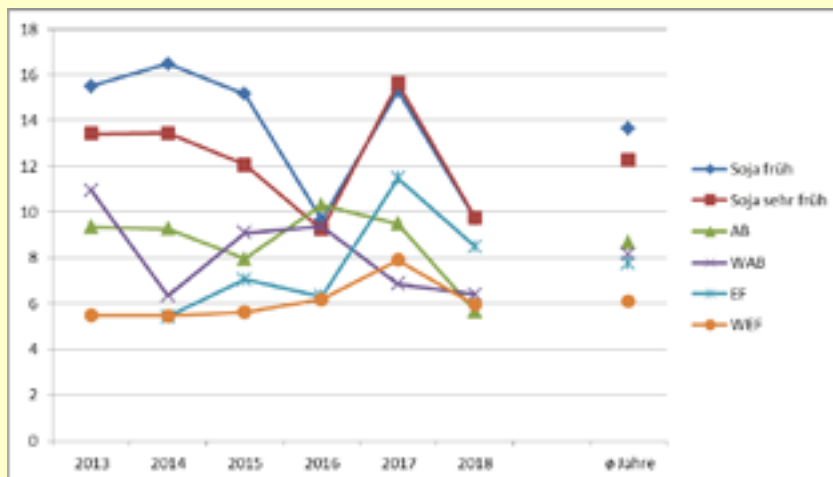


- Einbrüche in Jahren mit trockenem Hochsommer (2015, 2018)



Anpassung der Arten-/Sortenwahl

Rohproteinerge (dt/ha) Körnerleguminosen öko: Kleinhohenheim 2013-18



- Soja >> Ackerbohne > Erbse (außer 2016: bis Juni nass, dann trocken)
- Kein Vorteil der Winterformen bei Ackerbohne und Erbse



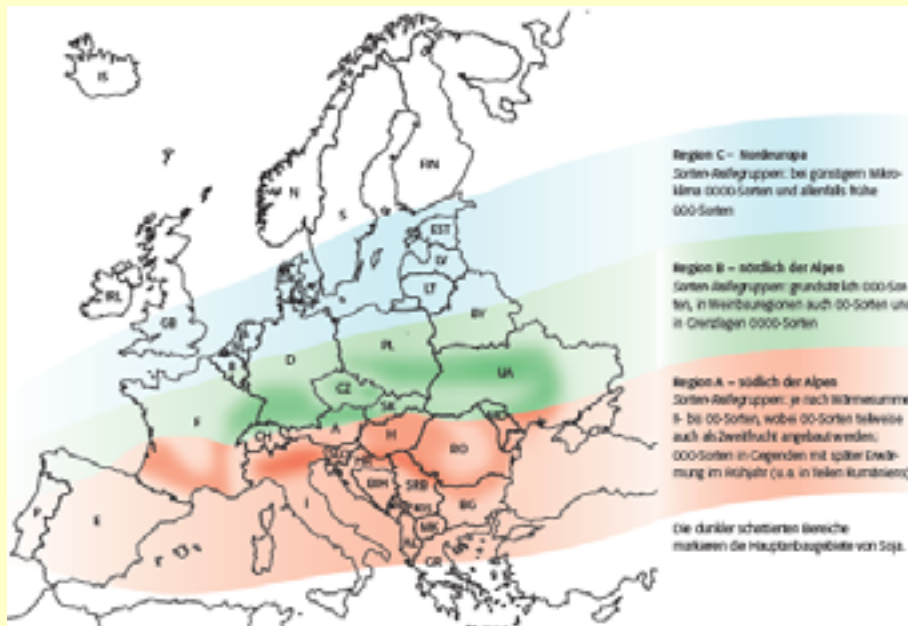
Anpassung durch Sortenwahl Nutzung des Züchtungsfortschritts

Beispiel Soja

- Anfänglich Erprobung von Sojasorten aus Kanada und aus ex-UdSSR; kleinere Zuchtprogramme in BRD und DDR, zeitweise in Österreich; langjährige Zuchtprogramme in Frankreich und der Schweiz
- die letzten 10 Jahre dann Neu-/Wiedereinstieg von Züchtern in Nordösterreich (SZ Donau) und Süddeutschland (LSA/LfL)
- **Schnellerer Zuchtfortschritt durch Marker-gestützte Selektion**
- Zuchtziele: u.a. Frühreife, Kältetoleranz, Ertrag, Eiweißgehalt, Lebensmittelqualität, ...



Soja-Anbauregionen Europas



Quelle: Recknagel in Dossier *BioSoja aus Europa*, FiBL/Donausoja 2016



Ertragsentwicklung Soja (dt/ha) wichtigste Soja-Länder der EU 2017-2018



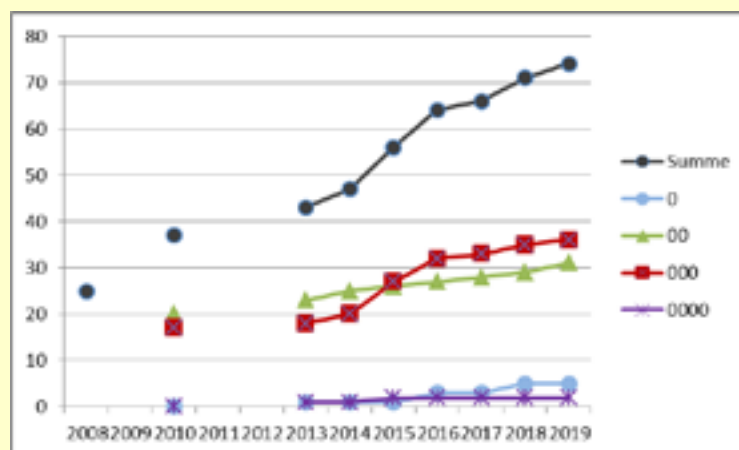
D: 2017 = Spitze / 2018 = Durchschnitt

Quelle: copa+cogeca 19/09/2018



Anpassung der Kulturartenwahl an das gewandelte Klima

Befördert auch Züchtungsaktivitäten in Mitteleuropa (AT, CH, DE, FR, ...)
Beispiel Soja: Entwicklung Sorten in BSL AT 0000-000-00-0



Quelle: Beschreibende Sortenlisten Österreich; www.ages.at

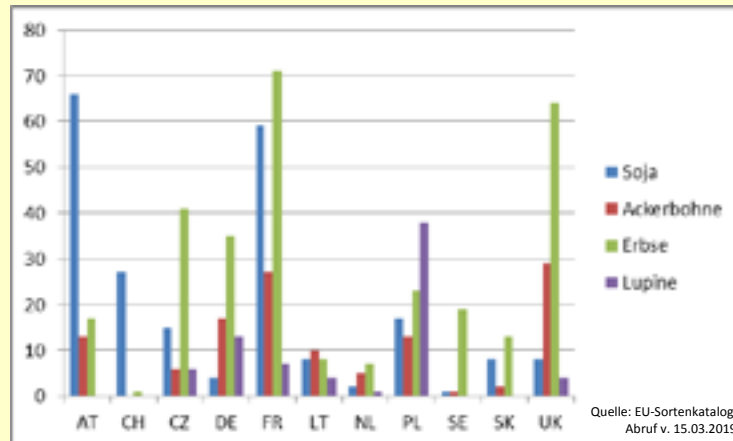


Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg



Anpassung der Kulturartenwahl an das gewandelte Klima

Körnerleguminosensorten in Mitteleuropa: Eintragungen im EU-Sortenkatlog Zulassungssituation bei Soja – Ackerbohne – Erbse – Lupine am 15.03.2019



Quelle: EU-Sortenkatlog
Abruf v. 15.03.2019

Soja: AT > FR >> CH > PL > CZ AB: UK > FR > DE > AT/PL
 Erbse: FR > UK > CZ > DE > PL > SE Lupinen: PL >> DE > FR > CZ

Erträge und wichtige Merkmale der Sojabohnenversuche Bayern 2018

frühe Sorten	Körnerträge an geeigneten Standorten				Körnerträge an günstigen Standorten				
	Oberrhummel		Großaitingen		spätere Sorten	Gützing		Mittel spätere Sorten	
	FS	A	absolut	relativ		WÜ	PA		absolut
Saat am: Ernte am:	19. Apr 27. Aug	19. Apr 19. Sep			Saat am: Ernte am:	18. Apr 05. Sep	25. Apr 13. Sep		
SY Eliot 000/00	110	110	48,3	110	ES Mentor 00	101	115	46,5	109
ES Comandor 000	110	104	47,2	107	SY Eliot 00	108	107	46,2	108
Galice 000	107	105	46,7	106	Atacama 00	115	102	46,1	108
Arcadia 000	107	103	46,1	105	SY Livius 000	114	100	45,5	107
SY Livius 000	103	107	46,0	105	RGT Stumpa 00	102	105	44,5	104
RGT Shouna 000	99	100	43,7	100	Lenka 00	109	97	43,9	103
Aurelina 000	98	102	43,7	100	Bettina 00	105	99	43,7	103
Coraline 000	98	102	43,7	99	RGT Siroca 00	99	103	43,4	102
Amarok 000	99	98	43,2	98	ES Comandor 000	92	106	42,7	100
Merlin 000	96	100	43,0	98	RGT Shouna 000	95	103	42,6	100
Toutatis 000	95	97	42,1	96	Solena 000	100	98	42,4	99
Alexa 000	92	98	41,5	95	RGT Sforza 00	95	92	39,9	94
Regina 000	98	89	41,1	94	Regina 000	74	89	35,2	83
Sculptor 000	89	87	38,5	88	Merlin 000	69	89	34,2	80
					Aurelina 000	102			
					Amarok 000		100		
					Arcadia 000	112			
					Toutatis 000		94		
					PZO Silvia 000	108			
Mittel dt/ha	47,8	40,0	43,9			38,7	47,0	42,6	

Erträge und wichtige Merkmale der Sojabohnenversuche 2017 Bayern

frühe Sorten	Nieder- hummel		Groß- aitingen		Mittel frühe Sorten		Nieder- hummel		Groß- aitingen		spätere Sorten	Köfer- Wolks- Rotthal- ing hausenmünste			Mittel spätere Sorten		Köfer- Wolks- Rotthal- ing hausenmünster		
	FS	A	absolut relativ		FS	A	R	WÜ	PA	absolut relativ		R	WÜ	PA					
	Saat/Ernte am:	13. 4.	11. 5.			27.9.	28.9.	Saat/Ernte am:	9. 5.	6. 4.		4. 5.			5.10.	16.10.	27.9.		
ES Mentor 00	111	111	51,2	111	18,5	21,8	Silvia 00	118	117	129	57,8	121	23,5	15,8	22,8				
SY Eliot 000/00	111	110	51,1	111	17,0	17,8	ES Mentor 00	110	104	120	53,0	111	19,3	16,0	15,8				
Galice 000	107	107	49,6	107	17,8	18,6	RGT Stumpz 00	112	106	110	52,0	109	19,3	16,5	16,4				
Comandor 000	101	110	48,7	106	19,4	16,8	SY Livius 000	102	106	104	49,8	104	18,4	15,6	19,4				
SY Livius 000	103	106	48,3	105	17,7	18,0	SY Eliot 000	110	113	87	49,7	104	18,9	15,4	19,7				
Amadea 000	102	104	47,6	103	17,8	18,2	Bettina 00	99	107	95	48,1	101	19,4	16,5	18,6				
Amarok 000	101	102	47,0	102	17,1	16,3	Solena 000/00	93	101	107	47,9	100	19,2	16,6	15,7				
Coraline 000	101	99	46,3	100	20,5	20,7	Regina 000	96	93	112	47,7	100	18,8	16,2	15,6				
Regina 000	100	97	45,4	98	17,3	16,9	Lenka 00	101	102	93	47,2	99	19,0	15,9	21,0				
Alexa 000	97	99	45,2	98	17,1	16,3	Amarok 000	99	93	104	47,1	98	19,0	15,7	15,2				
Obelix 000	95	100	45,0	97	16,6	17,0	Comandor 000	98	94	102	46,7	98	19,1	15,9	15,5				
Merlin 000	100	94	45,0	97	17,7	16,7	RGT Svela 00	95	98	99	46,5	97	19,4	15,8	18,7				
GL Melanie 000	94	97	44,0	95	17,2	16,7	RGT Shouna 000	92	100	99	46,4	97	19,9	15,9	19,4				
RGT Shouna 000	94	93	43,2	94	19,0	22,5	Amadea 000	94	97	90	44,8	94	19,6	15,8	17,2				
Toutatis 000	93	92	42,7	92	17,9	17,8	Soprana 00	98	94	88	44,6	93	19,3	15,6	23,9				
Sultana 000	90	77	38,8	84	16,7	18,7	Merlin 000	89	85	90	41,9	88	19,5	15,6	15,0				
Lissabon 000	95	91	74	41,4	87								18,2	15,3	15,7				
Mittel dt/ha	49,8	42,6	46,2				45,3	53,6	44,5	47,8									

Anpassung der Anbausysteme

- Verfrühung des Saattermins
- Optimierung der Bestandesdichte
- Anbau im Gemenge
- **Berechnung...**
- 2-Nutzungssysteme
- Direktsaat
- Anpassung der Fruchtfolge

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg

Anpassung der Anbausysteme

- Beregnung, ...

Ertragsstabilisierung durch Beregnung (2012 - 2016)

Kultur	unberegnert	Optimal	Reduziert
Erbsen	0.28	0.15	0.10
Sommergerste	0.22	0.05	0.08
Wintergerste	0.15	0.10	0.12
Körnermais	0.82	0.18	0.22
Körnerworgnuss	0.92	0.45	0.55
Raps	0.35	0.38	0.32
Winterroggen	0.25	0.12	0.05
Soja	0.62	0.15	0.18
Winterfrühsaale	0.25	0.15	0.12
Winterweizen	0.22	0.15	0.18

Quelle:
Dr. Andreas Butz,
LTZ Augustenberg

- bei den wärmebedürftigen Kulturen Mais, Sorghum und Soja mit Hauptwachstum im Hochsommer in Abhängigkeit von den jeweiligen Sommerniederschlägen zu großen Ertragsschwankungen ohne Beregnung (besonders auf Sandböden)

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg

Anpassung der Anbausysteme

- Direktsaat in gewalzten Winterroggen (bio, zur Unkrautunterdrückung)
- bzw. 2 Nutzungen: in abgehäckselten Biogas-Winterroggen (konventionell mit Herbizid)




Erosionsschutz

Voraussetzung ist ausreichende Wasserversorgung im Sommer!

17

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg

Risikostreuung durch Diversifizierung

Gegensteuer gegen zunehmenden Schädlings-/Krankheits-/Ungrasdruck in Kulturen mit hohem Fruchtfolgeanteil (Mais/Raps/Wintergetreide)



Bsp. Maiswurzelbohrer

→ Kompromiss zwischen maximalem Ertrag bzw. Deckungsbeitrag und Ertragssicherheit über die Jahre

18

17

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg

Risikostreuung durch Diversifizierung

Diversifizierung in der Fruchtfolge:
Kulturen mit sensiblen Zeiträumen der Ertragsbildung in unterschiedlichen Zeitspannen der Vegetationszeit



18

17

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg

Risikostreuung durch Diversifizierung

Gemenge/Mischungen mit Partnern
unterschiedlicher Bedürfnisse/Sensibilität



17

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg

Risikostreuung durch Diversifizierung

Erprobung ‚neuer‘, wärmeliebender Kulturen



→ Markt?
→ Aufbau von Wertschöpfungsketten! Know How-Transfer!

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg

Erprobung ‚neuer‘, wärmeliebender Kulturen Beispiel Soja-Netzwerk



Quelle: www.sojafoerderring.de

Ziele:
 Wissenstransfer
 Datengewinnung
 Ausbau Wertschöpfungsketten

120 Betriebe
 dav. 50 Leuchtturmbetriebe
 In 11 Bundesländern
 46% konv. / 54% öko

Projektpartner:
 Bayern: LfL, LVÖ
 B-W: LTZ, Taifun
 + 11 weitere

Finanzierung:
 BLE im Rahmen der Eiweiß-
 pflanzenstrategie des Bundes

01.09.2013 – 31.12.2018

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg

www.sojafoerderring.de



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Anpassungsbedarf bei der Nährstoffversorgung

EIKE STEFAN DOBERS

Hochschule Neubrandenburg, Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften,
Lehrstuhl für Pflanzenbau

1 Die Nährstoffversorgung von Pflanzen und der Klimawandel

Bei der Betrachtung des Anpassungsbedarfs der Nährstoffversorgung von Kulturpflanzenbeständen als Reaktion auf mögliche Auswirkungen des Klimawandels gibt es keine allgemeingültigen Rezepte oder einfachen Lösungen. Es müssen vielmehr sehr verschiedene Dinge berücksichtigt werden, um zu sinnvollen Anpassungen der Produktions- und Landnutzungssysteme zu gelangen. Auf der einen Seite stehen unterschiedliche Komponenten aus den Bereichen Bodenkunde und Pflanzenernährung sowie Pflanzenbau und Ertragsphysiologie der landwirtschaftlichen Fruchtarten. Diese beiden Aspekte lassen sich durch arbeitsorganisatorische und betriebswirtschaftliche Erwägungen miteinander in Verbindung bringen. Auf der anderen Seite müssen die Auswirkungen des Klimawandels gesondert nach den einzelnen Witterungsfaktoren zu unterschiedlichen Zeiten, ggf. auch noch regional untergliedert, betrachtet werden, um dann als Folge dieser komplexen Sichtweise die möglichen Anpassungsmaßnahmen abzuwägen (Rehman et al. 2014).

Bodenkunde/Pflanzenernährung

Die Versorgung von Pflanzen muss, gesondert nach Nährstoffen, deren grundsätzliches Vorhandensein im Boden in ausreichender Menge im Blick haben. Dies kann im Allgemeinen durch eine Bodenanalyse ermittelt werden. Zudem ist zu beachten, dass die generelle Verfügbarkeit einiger Nährstoffe für die Pflanzen (z.B. P, B, Mn) aufgrund von chemischen Reaktionen verringert ist. Ein drittes, im Kontext der hier behandelten Fragestellung äußerst wichtiges, Element der Nährstoffversorgung von Pflanzen ist die räumliche Verfügbarkeit der Nährstoffe, was u. a. bei im Boden wenig mobilen Nährstoffen von Bedeutung ist. Dieser Punkt betrifft insbesondere die Intensität der Durchwurzelung unterschiedlicher Bodenhorizonte und die dort vorhandenen Nährstoffe, aber auch Aspekte des Bodenwasserhaushalts. Wichtig sind zudem die Menge und die Qualität der organischen Substanz. Darüber hinaus sind gegebenenfalls der Zeitraum und die Intensität der Nachlieferung eines Nährstoffs in pflanzenverfügbare Form aus Tonmineralen oder der organischen Substanz zu beachten. Auch die Bereitstellung von Pflanzennährstoffen während des Wachstums durch Düngung mittelbar über den Boden oder unmittelbar durch Blattdüngung tragen selbstverständlich zur Nährstoffversorgung von Pflanzenbeständen bei (Marschner 2008).

Pflanzenbau/Ertragsphysiologie

Der Vorrat und die Dynamik der Bereitstellung von einzelnen Nährstoffen am Standort stehen dem spezifischen Bedarf unserer Kulturpflanzen gegenüber. Dieser Bedarf kann in Anbetracht der Pflanzenart, der Sorte, des Ertragspotenzials sowie des jeweiligen Zeitpunktes im Wachstumsverlauf und den bis zu dem Zeitpunkt abgelaufenen Wachstums- und Entwicklungsprozessen z.T. sehr stark variieren. Der Anbau von Qualitätsweizen für die Brotherstellung oder von Winterraps hat grundsätzlich andere Anforderungen an die Stickstoff- und Schwefelversorgung mit Blick auf

Menge und Zeitpunkt als z.B. die Produktion von Zuckerrüben oder Futterweizen. Zudem sind auch die Wurzelsysteme der landwirtschaftlichen Pflanzenarten in ihrem Typ, ihrem Tiefgang und der tiefenspezifischen Durchwurzelungsintensität sehr unterschiedlich ausgeprägt bzw. anfällig für möglicherweise suboptimale Bedingungen des Wachstums.

Auswirkungen des Klimawandels auf Witterungsparameter

Die prognostizierten Änderungen durch den Klimawandel sind global und regional sehr unterschiedlich und mit Blick auf den Pflanzenbau und die Nährstoffversorgung unbedingt nach den einzelnen Faktoren der Witterung zu unterscheiden. Grundsätzlich wird eine Erhöhung der mittleren Jahrestemperatur erwartet, was zur Folge hat, dass sich in vielen Regionen die Vegetationszeit verlängern wird. Der gleichzeitig erhöhte CO₂-Gehalt der Atmosphäre ist für den Pflanzenbau in den gemäßigten Breiten grundsätzlich eher positiv einzustufen. Zudem wird eine Verringerung der Niederschläge in Form von Schnee erwartet, was nicht zwingend häufigere Kahlfröste nach sich ziehen muss. Bedeutsam für mittel- und nordeuropäische Regionen ist zudem aber auch die prognostizierte Veränderung der Verteilung der Niederschläge mit tendenziell höheren Mengen im Winter, längeren niederschlagsfreien Phasen im Frühjahr und Frühsommer und einer möglicherweise erhöhten Wahrscheinlichkeit von Starkregenereignissen und Hagel in den Sommermonaten. Aufgrund der erhöhten Temperaturen wird der Verdunstungsanspruch der Atmosphäre in der warmen Jahreszeit eher zunehmen. Diese Faktoren könnten in Kombination dazu führen, dass ertragsphysiologisch bedeutsame Phasen wie z.B. die Kornfüllung bei Getreide verkürzt werden, was zu Ertragseinbußen führen würde. Auch wenn für Mitteleuropa eher nicht grundsätzlich mit außerordentlichen Ertragsrückgängen gerechnet werden muss, so wird doch die Variabilität der Erträge größer werden (Rehman et al. 2014).

Wenn die drei aufgeführten Bereiche unter dem Blickwinkel von Anpassungen an den Klimawandel bei der Nährstoffversorgung gemeinsam betrachtet werden, so stellen sich die folgenden unmittelbaren Problembereiche heraus:

- Relativer und/oder absoluter Wasser- und damit auch Nährstoffmangel in ertragsphysiologisch wichtigen Wachstums- und Entwicklungsphasen durch lang anhaltend fehlende Niederschläge und/oder erhöhte Verdunstungsansprüche – auch kurzzeitig – der Atmosphäre. Dies ist wahrscheinlich u. a. im Frühjahr oder Frühsommer von Bedeutung und es kann zu unzureichenden Nährstoffaufnahmen oder einer nicht ausreichenden Wirksamkeit oder Verfügbarkeit von Düngergaben kommen. Zudem sind die Pflanzen im Hinblick auf die Regulierung ihres Wasserhaushaltes besonders gefordert.
- Wasserüberschuss durch erhöhte Niederschlagsmengen, welche die Infiltrationskapazität und die Wasserspeicherfähigkeit des Standorts übersteigen. Der dadurch entstehende Mangel an luftgefüllten Poren in unterschiedlichen Tiefen des durchwurzelten Bodens führt zu Beeinträchtigungen des Wachstums und der kurzzeitigen und auch längerfristigen Leistungsfähigkeit des Wurzelsystems sowie ggf. zu Nährstoffverlusten durch Auswaschung bzw. Ausgasung (u. a. Stickstoff).
- Durch die Temperaturerhöhung erfolgt eine generelle Verlängerung der Vegetationszeit und ggf. eine Verschiebung wichtiger phänologischer Termine. Das erfordert Anpassungen an ein möglicherweise verändertes Ertragsniveau im Hinblick auf eine entzugsorientierte Nährstoffgabe und die Terminierung von wichtigen Düngemaßnahmen. Zudem werden durch die erhöhte Temperatur Atmungsprozesse in Pflanze und Boden gefördert.

Um dem Klimawandel mit Blick auf die Nährstoffversorgung von landwirtschaftlichen Kulturpflanzen nachhaltig zu begegnen, ist es nicht ausreichend, lediglich technologisch zu reagieren. Eine solche Reaktion würde vereinfacht bedeuten, Anpassungen an den Klimawandel lediglich als die Notwendigkeit der Installation von Beregnungsanlagen, die Optimierung oder Neuanlage von Dränagesystemen und den Wechsel von Düngestrategien bzw. -verfahren zu begreifen. Wichtiger erscheint hingegen, das gesamte Landnutzungssystem und auch die einzelnen Produktionsverfahren in den Blick zu nehmen und so zu optimieren, dass die etablierten Kulturpflanzenbestände widrige Wachstumsbedingungen verkraften und damit eine optimale Leistungsfähigkeit entfalten können. Entsprechende Möglichkeiten sollen in den folgenden beiden Abschnitten angedeutet werden.

2 Sicherstellung der Entwicklung von leistungsfähigen Wurzelsystemen

Einem leistungsfähigen Wurzelsystem kommt unter den zu erwartenden veränderten Klimabedingungen eine zentrale Bedeutung zu. Daher müssen sämtliche Aspekte des Landnutzungssystems und der einzelnen Produktionsverfahren dahingehend auf den Prüfstand gestellt werden, ob sie zu diesem wichtigen Ziel ausreichend beitragen.

Unter dem Gesichtspunkt der allgemeinen Bodenfruchtbarkeit von Landnutzungssystemen wäre daher zu hinterfragen, ob durch die Auswahl einer geeigneten, möglichst artenreichen Fruchtfolge und günstigen Anbaufolgen sowie die Integration des Zwischenfruchtbaus alle Möglichkeiten ausgeschöpft wurden, die Durchwurzelung der Krume und des Unterbodens zu fördern, stabile Aggregate zu erzeugen, Situationen mit Sauerstoffmangel möglichst auszuschließen sowie die biogene Porenbildung durch Bodenlebewesen und Pflanzenwurzeln in hohem Maße zu nutzen. In diesen Bereich der Überlegungen gehören auch die ausreichende Humus- und Kalkversorgung und die Reduzierung des Fahrverkehrs auf der Fläche, um schädlichen Bodenverdichtungen vorzubeugen. Durch die zu erwartende Verringerung der Frosttage wird das Ausmaß einer physikalischen Lockerung von verdichteten Aggregaten oder Bodenhorizonten geringer werden. Zudem kommt einer optimalen Dränfähigkeit und einem stabilen Bodengefüge bei Zunahme von Starkniederschlägen in Perioden von nicht aufzuschiebenden Arbeitsgängen (u. a. Erntearbeiten) große Bedeutung zu. Verfahren der nicht-wendenden Bodenbearbeitung und Strip-Till-Technologien werden in diesem Maßnahmenkomplex eine wichtige Rolle einnehmen und sind z. T. heute schon Standard auf vielen Betrieben.

Aus rein pflanzenbaulicher Sicht auf Ebene des Produktionsverfahrens wird für die Entwicklung eines leistungsfähigen Wurzelsystems mehr Augenmerk auf die Bestandesbegründung gelegt werden müssen. Ein möglichst vollständiger, rascher und gleichmäßiger Feldaufgang und damit ein intensives Wurzelwachstum erfordert weitere Optimierung der Saatzeit, der Saatbettbereitung, des Saatverfahrens mit Rückverdichtung zur Sicherstellung der Keimwasserversorgung sowie eine ausreichende Schlagkraft für die Arbeitserledigung (Evans 1978). Auch die Qualität des Saatguts ist von Bedeutung, u. a. vor dem Hintergrund, dass in den nächsten Jahrzehnten möglicherweise bisher selbstverständlich einsetzbare chemische Beizmittel nicht mehr zur Verfügung stehen werden. Die Ersatzwirkung von physikalischen Verfahren bleibt abzuwarten. Auch die Nutzung von klassischen Sortenunterschieden bzw. der gezielte Einsatz von Hybridsorten kann zu diesem Bereich gezählt werden. Ob durch zusätzliche Maßnahmen der Nährstoffversorgung wie z. B. Herbstdüngung, Saatgutcoating, Saatbanddüngung, Unterfußdüngung usw. in gleichem Umfang

die Leistungsfähigkeit von Wurzelsystemen sicher und nachhaltig erhöht werden kann wie durch die vorgenannten, sowieso durchzuführenden produktionstechnischen Maßnahmen, ist eher fraglich (Grunert und Schaerff 2016).

3 Optimierung der Nährstoffversorgung durch Düngung

Um die Nährstoffversorgung der Pflanzenbestände zu optimieren, sind eine gezielte Standortansprache und die Abschätzung der pflanzenartspezifischen Leistungsfähigkeit am jeweiligen Standort notwendig. In dem hier betrachteten Kontext sind u. a. der Wasser- und Nährstoffhaushalt sowie die Dynamik der Wachstumsprozesse von Bedeutung. Die ausreichende Versorgung der Böden mit den jeweiligen Nährstoffen ist eine grundlegende Maßnahme und eine Beseitigung von Problemflächen zu empfehlen. Dies betrifft den pH-Wert, die Grundnährstoffe, die N-Dynamik sowie die organische Substanz, aber auch einzelne Mikronährstoffe wie z. B. Mangan, die im Hinblick auf den Wasserhaushalt und den Stoffwechsel der Pflanzen wichtige Funktionen übernehmen. Zu diesem Zweck stehen Verfahren der ortsspezifischen Bodenbeprobung und nachfolgender Analyse der Proben oder auch Online-Sensorik zur Verfügung (Heege 2013). Nur mit solchen verlässlichen Informationen lässt sich eine standortspezifische Bodenführung strategisch gestalten. Weitere taktische, kurzfristige und situativ nutzbare Anpassungsmöglichkeiten ergeben sich durch standort- und kulturartenspezifische Maßnahmen wie z. B. Blattdüngung (Mn, B u. a.), die Verwendung von stabilisierten N-Düngern oder Düngeplatzierung. Dies wird wahrscheinlich tendenziell eher vorbeugend geschehen, denn bei sich verstärkenden Wachstumsdynamiken ist eine effektive Früherkennung und zeitlich ausreichende Reaktion unsicher.

4 Fazit

Den durch den Klimawandel auf uns zukommenden Veränderungen in der Pflanzenproduktion lässt sich durch direkte Maßnahmen in der Nährstoffversorgung wahrscheinlich nur sehr begrenzt begegnen. Deutlich wichtiger wird es sein, die Landnutzungssysteme insgesamt als auch die speziellen Produktionsverfahren zu optimieren. Die sichere und hohe Ertragsleistung von landwirtschaftlichen Pflanzenbeständen wird in starkem Maße von der Ausbildung eines leistungsfähigen Wurzelsystems für die effiziente Wasser- und Nährstoffaufnahme abhängen. Hier sind klassische pflanzenbauliche Aspekte zu berücksichtigen. Darüber hinaus werden zukünftig durch die standortspezifische Boden- und Bestandesführung unter Nutzung von Navigationssystemen und der Auswertung von vielfältigen, – wahrscheinlich vornehmlich digitalen – Informationsquellen und Geodaten weitere Optimierungsmöglichkeiten vorhanden sein, um situationsspezifisch die Effizienz der Produktion weiter zu optimieren und Ertragsniveaus zu stabilisieren.

Literatur

- Evans, L. T. (1978): *Crop physiology: some case histories*, Cambridge: Cambridge University Press, 374 S.
- Grunert, M.; Schaerff, A. (2016): Wirkung unterschiedlicher N-Düngungsstrategien auf Ertrag und Qualität bei Weizen und Raps – langjährige Ergebnisse aus der Landesforschung in Sachsen. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 28, S. 9–13
- Heege, H. J. (2013): *Precision in Crop Farming: Site Specific Concepts and Sensing Methods: Applications and Results*, Dordrecht: Springer. 356 S.
- Marschner, H. (2008): *Mineral nutrition of Higher Plants*, Amsterdam: Academic Press. 889 S.
- Rehman, R.; Hamdani, A.; Naseem, A.; Ashraf, M.; Kazi, A. G. (2014): Scenario of Climate Change in the Context of Agriculture. In: Hg. Ahmad, P.; Wani, M. R.: *Physiological Mechanisms and Adaption Strategies in Plants under Changing Environment*, Vol 2. New York: Springer. pp. 223–264



Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel – Anpassungsbedarf bei der Nährstoffversorgung –

Eike Stefan Dobers, Lehrstuhl für Pflanzenbau



Foto: Dobers (2015)

Prof. Dr. Eike Stefan Dobers

Hochschule Neubrandenburg
Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaft
Email: dobers@hs-nb.de
www: www.hs-nb.de



Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel – Anpassungsbedarf bei der Nährstoffversorgung –

Eike Stefan Dobers, Lehrstuhl für Pflanzenbau

Einleitung

Ertragserwartung / Nährstoffeffizienz

Leistungsfähigkeit von Wurzelsystemen

Wachstumsdynamik / Mineralisierung

Herausforderungen durch Digitalisierung

Zusammenfassung

Einleitung

Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Wachstum von Kulturpflanzenbeständen / Nährstoffversorgung



Ziele der Nährstoffversorgung:

- Ertragssicherung
- Qualitätssicherung
- Nährstoffeffizienz
- ...

Spezifisches Prod.verfahren:

- Wette auf die Zukunft
- Entscheidungslinien
- => mehrj. Erwartungswert
- => Spannweiten
- => Vermeiden von ruinösen Ergebnissen

Landnutzungssystem

- Strategie des Wettens

Wintergerste nahe Eberswalde
Foto: Dobers 05.06.2015

Dobers, KTBL-Tagung 2019: Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel / Nährstoffversorgung - 20./21.03.2019, Darmstadt 3

Einleitung

Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Aspekte der Nährstoffversorgung von Kulturpflanzenbeständen

- auf Praxisbetrieben
- auf Praxis schlägen

Bodenkunde & Pflanzenernährung

- Nährstoffversorgung / -gehalte
- chem. Verfügbarkeit
- räuml. Verfügbarkeit / Mobilität
- Menge/Qualität der org. Substanz
- Mineralisierungs-/Nachlieferungsdynamik
- Zufuhr über Düngung
 - Boden/Wurzel oder Blatt
- ...

Betriebswirtschaft & Arbeitsorganisation

- Arbeitsqualität (Werkzeug, Mitarbeiter)
- Schlagkraft
- Kosten
- ...

Pflanzenbau & Ertragsphysiologie

- aktueller Bedarf an Nährstoffen / BBCH (Art, Sorte(ntyp), Ertragserwartung, Produktionsziel, ...)
- Leistungsfähigkeit des Wurzelsystems (Typ, Tiefe, Intensität, Mykorrhiz., Infektionen, ...)
- Regeneration nach Entblätterung
- ...

Klimawandel / Witterungsfaktoren

- Temperaturerhöhung
- c[CO₂]-Erhöhung
- NS-Menge / -Verteilung
- Starkregenereignisse
- ...

Dobers, KTBL-Tagung 2019: Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel / Nährstoffversorgung - 20./21.03.2019, Darmstadt 4

Einleitung

Aspekte der Nährstoffversorgung von Kulturpflanzenbeständen


- auf Praxisbetrieben
- auf Praxis schlägen

Bodenkunde & Pflanzenernährung

- Nährstoffversorgung / -gehalte
- chem. Verfügbarkeit
- räuml. Verfügbarkeit / Mobilität
- Menge/Qualität der org. Substanz
- Mineralisierungs-/Nachlieferungsdynamik
- Zufuhr über Düngung
 - Boden/Wurzel oder Blatt
- ...

Betriebswirtschaft & Arbeitsorganisation

- Arbeitsqualität (Werkzeug, Mitarbeiter)
- Schlagkraft
- Kosten
- ...



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Pflanzenbau & Ertragsphysiologie

- aktueller Bedarf an Nährstoffen / BBCH (Art, Sorte(ntyp), Ertragserswartung, Produktionsziel, ...)
- Leistungsfähigkeit des Wurzelsystems (Typ, Tiefe, Intensität, Mykorrhiz., Infektionen, ...)
- Regeneration nach Entblätterung
- ...

Klimawandel / Witterungsfaktoren

- Temperaturerhöhung
- c[CO₂]-Erhöhung
- NS-Menge / -Verteilung
- Starkregenereignisse
- ...

Dobers, KTBL-Tagung 2019: Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel / Nährstoffversorgung - 20./21.03.2019, Darmstadt 5



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel

– Anpassungsbedarf bei der Nährstoffversorgung –

Eike Stefan Dobers, Lehrstuhl für Pflanzenbau

Einleitung

Ertragserwartung / Nährstoffeffizienz

Leistungsfähigkeit von Wurzelsystemen

Wachstumsdynamik / Mineralisierung

Herausforderungen durch Digitalisierung

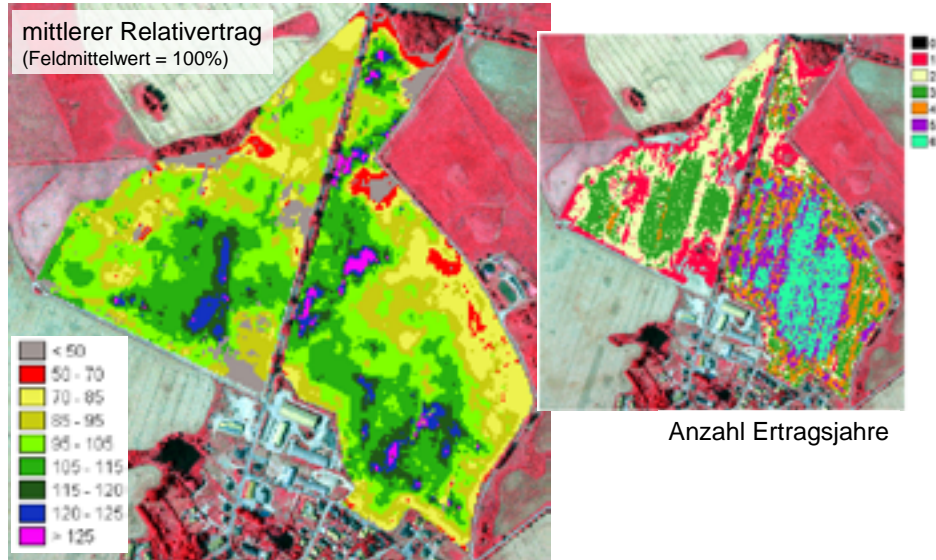
Zusammenfassung

Ertragserwartung / Nährstoffeffizienz



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Ableitung von Ertragserwartungen aus Ertragskarten



Dobers, KTBL-Tagung 2019: Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel / Nährstoffversorgung - 20./21.03.2019, Darmstadt

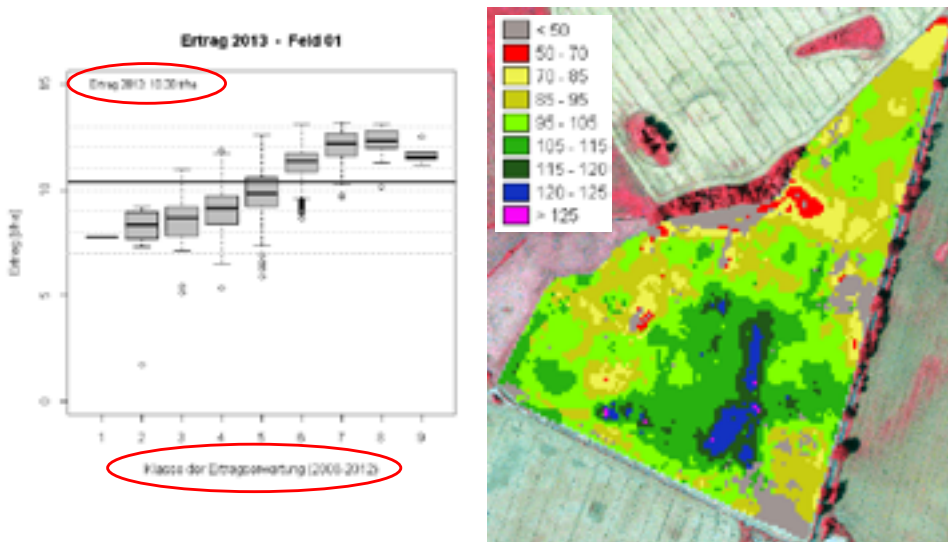
7

Ertragserwartung / Nährstoffeffizienz



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Überprüfung von Ertragserwartungen aus Ertragskarten



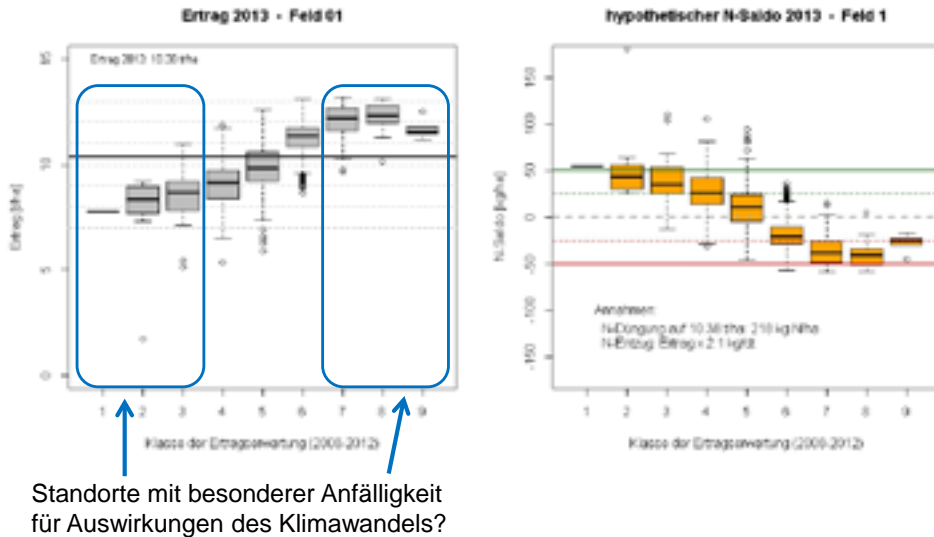
Dobers, KTBL-Tagung 2019: Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel / Nährstoffversorgung - 20./21.03.2019, Darmstadt

8

Ertragserwartung / Nährstoffeffizienz

Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Nutzung von Ertragserwartungen zur Optimierung



Dobers, KTBL-Tagung 2019: Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel / Nährstoffversorgung - 20./21.03.2019, Darmstadt

9

Hochschule Neubrandenburg
University of Applied SciencesAnpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel
– Anpassungsbedarf bei der Nährstoffversorgung –

Eike Stefan Dobers, Lehrstuhl für Pflanzenbau

Einleitung

Ertragserwartung / Nährstoffeffizienz

Leistungsfähigkeit von Wurzelsystemen

Wachstumsdynamik / Mineralisierung

Herausforderungen durch Digitalisierung

Zusammenfassung

Leistungsfähigkeit von Wurzelsystemen



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

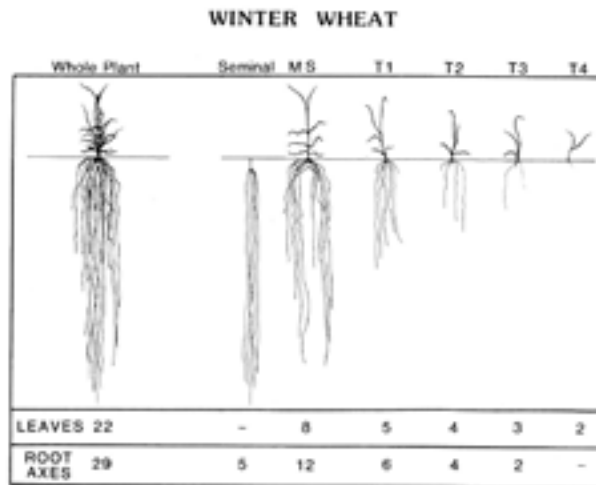


Fig. 8. Relative shoot development and root axis development for the component shoots of a wheat plant.

Quelle: Rickman et al. in Day & Atkin: Wheat Growth and Modelling, 1985: 97

Dobers, KTBL-Tagung 2019: Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel / Nährstoffversorgung - 20./21.03.2019, Darmstadt

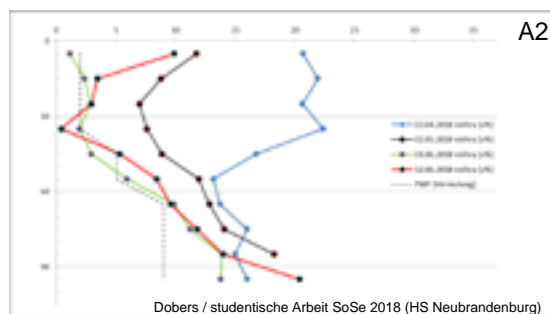
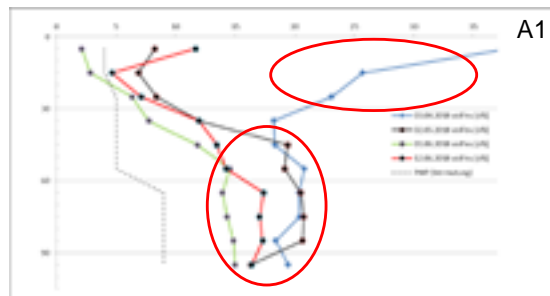
11

Leistungsfähigkeit von Wurzelsystemen



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

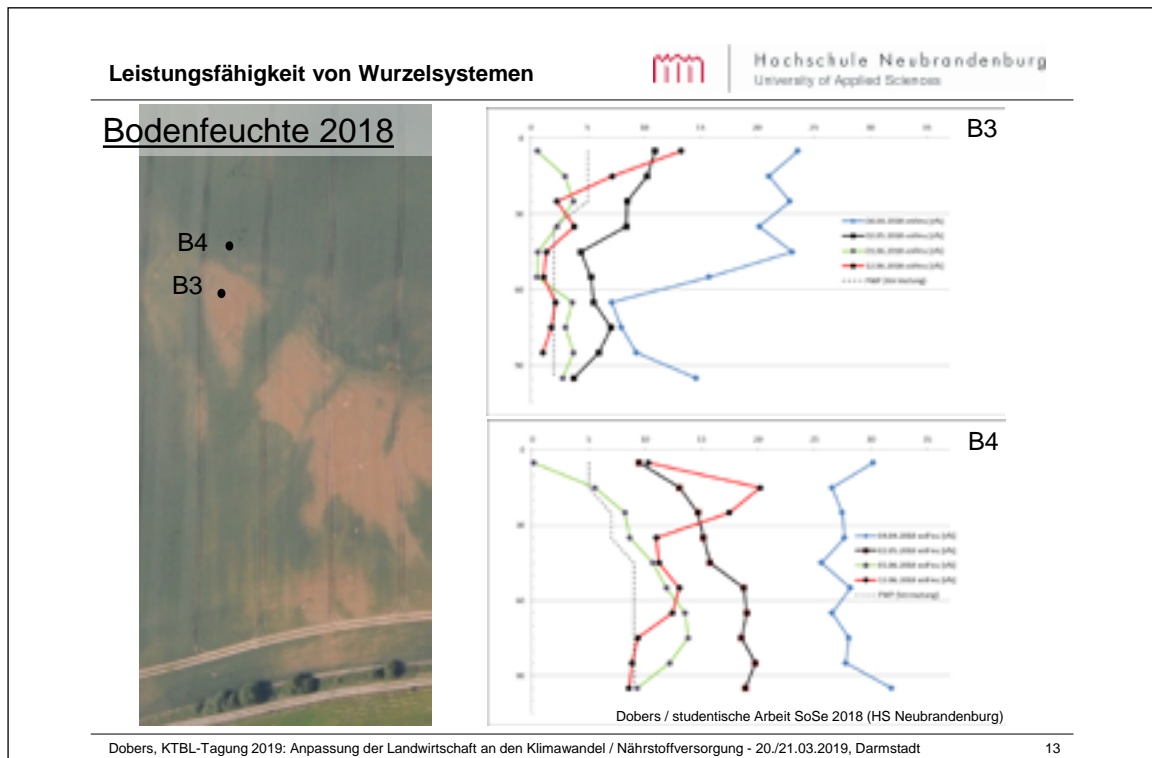
Bodenfeuchte 2018



Dobers / studentische Arbeit SoSe 2018 (HS Neubrandenburg)

Dobers, KTBL-Tagung 2019: Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel / Nährstoffversorgung - 20./21.03.2019, Darmstadt

12




Hochschule Neubrandenburg
 University of Applied Sciences

Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel
 – Anpassungsbedarf bei der Nährstoffversorgung –
 Eike Stefan Dobers, Lehrstuhl für Pflanzenbau

Einleitung
 Ertragserwartung / Nährstoffeffizienz
 Leistungsfähigkeit von Wurzelsystemen
 Wachstumsdynamik / Mineralisierung
 Herausforderungen durch Digitalisierung
 Zusammenfassung

Wachstumsdynamik / Mineralisierung



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences



Foto: Dobers (2015)

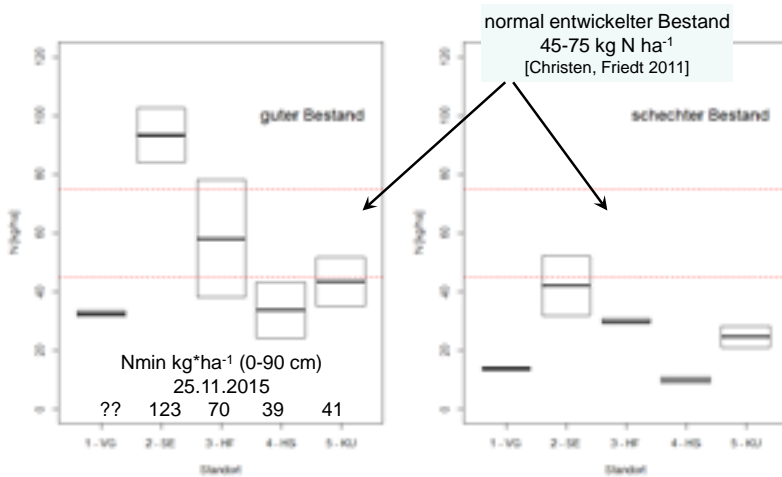
Dobers, KTBL-Tagung 2019: Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel / Nährstoffversorgung - 20./21.03.2019, Darmstadt

15

Wachstumsdynamik / Mineralisierung



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences



Geschätzte N-Aufnahme von unterschiedlich gut entwickelten Winterraps-Beständen am 14.10.2015 an verschiedenen Standorten in Mallin (Annahme: 3.6 % N in der TM)

Dobers / studentische Arbeit WiSe 2015/16 (HS Neubrandenburg)

Dobers, KTBL-Tagung 2019: Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel / Nährstoffversorgung - 20./21.03.2019, Darmstadt

16

Wachstumsgynamik / Mineralisierung



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences



Wintergerste
18.03.2019, Weisdin/MV

Foto: Dobers (2019)

Dobers, KTBL-Tagung 2019: Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel / Nährstoffversorgung - 20./21.03.2019, Darmstadt

17

Wachstumsgynamik / Mineralisierung



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences



Wintergerste
18.03.2019, Weisdin/MV

Foto: Dobers (2019)

Dobers, KTBL-Tagung 2019: Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel / Nährstoffversorgung - 20./21.03.2019, Darmstadt

18

Wachstumsgedynamik / Mineralisierung

 Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Wintergerste 17.4.2000

Wintergerste 17.4.2000




Fotos: Dobers (2000)

Dobers, KTBL-Tagung 2019: Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel / Nährstoffversorgung - 20./21.03.2019, Darmstadt 19

Wachstumsgedynamik / Mineralisierung

Winterraps
06.11.2017, Neuenkirchen/MV



Dobers, KTBL-Tagung 2019: Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel / Nährstoffversorgung - 20./21.03.2019, Darmstadt 20



Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel – Anpassungsbedarf bei der Nährstoffversorgung –

Eike Stefan Döbers, Lehrstuhl für Pflanzenbau

Einleitung

Ertragserwartung / Nährstoffeffizienz

Leistungsfähigkeit von Wurzelsystemen

Wachstumsdynamik / Mineralisierung

Herausforderungen durch Digitalisierung

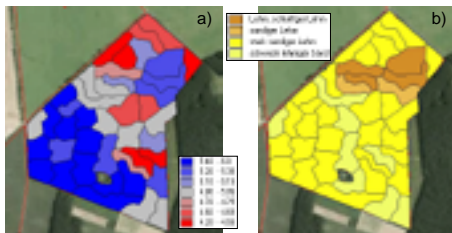
Zusammenfassung

Herausforderungen durch Digitalisierung



1. Ergebnisse der Bodenuntersuchung

(a) pH-Wert (b) Bodenart (c) pH-Klasse

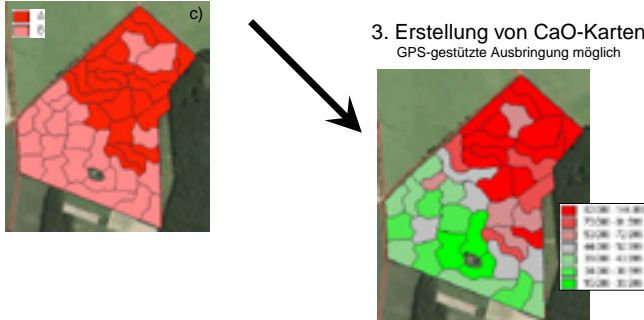


2. Ableitung von CaO-Mengen (VDLUFA 2000)

Ziel: Klasse C / Berücksichtigung von Bodenart und pH-Wert

Fläche	CaO	MgO	K ₂ O	N	P	Summe
1	1000	500	200	100	50	1850
2	1200	600	250	120	60	2230
3	1500	750	300	150	75	2775
4	1800	900	350	180	90	3320
5	2000	1000	400	200	100	3700
6	2200	1100	450	220	110	4080
7	2500	1250	500	250	125	4625
8	2800	1400	550	280	140	5170
9	3000	1500	600	300	150	5550
10	3200	1600	650	320	160	5930
11	3500	1750	700	350	175	6475
12	3800	1900	750	380	190	7020
13	4000	2000	800	400	200	7400
14	4200	2100	850	420	210	7780
15	4500	2250	900	450	225	8325
16	4800	2400	950	480	240	8870
17	5000	2500	1000	500	250	9250
18	5200	2600	1050	520	260	9630
19	5500	2750	1100	550	275	10175
20	5800	2900	1150	580	290	10720
21	6000	3000	1200	600	300	11100
22	6200	3100	1250	620	310	11480
23	6500	3250	1300	650	325	12025
24	6800	3400	1350	680	340	12570
25	7000	3500	1400	700	350	12950
26	7200	3600	1450	720	360	13330
27	7500	3750	1500	750	375	13875
28	7800	3900	1550	780	390	14420
29	8000	4000	1600	800	400	14800
30	8200	4100	1650	820	410	15180
31	8500	4250	1700	850	425	15725
32	8800	4400	1750	880	440	16270
33	9000	4500	1800	900	450	16650
34	9200	4600	1850	920	460	17030
35	9500	4750	1900	950	475	17575
36	9800	4900	1950	980	490	18120
37	10000	5000	2000	1000	500	18500
38	10200	5100	2050	1020	510	18880
39	10500	5250	2100	1050	525	19425
40	10800	5400	2150	1080	540	19970
41	11000	5500	2200	1100	550	20350
42	11200	5600	2250	1120	560	20730
43	11500	5750	2300	1150	575	21275
44	11800	5900	2350	1180	590	21820
45	12000	6000	2400	1200	600	22200
46	12200	6100	2450	1220	610	22580
47	12500	6250	2500	1250	625	23125
48	12800	6400	2550	1280	640	23670
49	13000	6500	2600	1300	650	24050
50	13200	6600	2650	1320	660	24430
51	13500	6750	2700	1350	675	24975
52	13800	6900	2750	1380	690	25520
53	14000	7000	2800	1400	700	25900
54	14200	7100	2850	1420	710	26280
55	14500	7250	2900	1450	725	26825
56	14800	7400	2950	1480	740	27370
57	15000	7500	3000	1500	750	27750
58	15200	7600	3050	1520	760	28130
59	15500	7750	3100	1550	775	28675
60	15800	7900	3150	1580	790	29220
61	16000	8000	3200	1600	800	29600
62	16200	8100	3250	1620	810	29980
63	16500	8250	3300	1650	825	30525
64	16800	8400	3350	1680	840	31070
65	17000	8500	3400	1700	850	31450
66	17200	8600	3450	1720	860	31830
67	17500	8750	3500	1750	875	32375
68	17800	8900	3550	1780	890	32920
69	18000	9000	3600	1800	900	33300
70	18200	9100	3650	1820	910	33680
71	18500	9250	3700	1850	925	34225
72	18800	9400	3750	1880	940	34770
73	19000	9500	3800	1900	950	35150
74	19200	9600	3850	1920	960	35530
75	19500	9750	3900	1950	975	36075
76	19800	9900	3950	1980	990	36620
77	20000	10000	4000	2000	1000	37000
78	20200	10100	4050	2020	1010	37380
79	20500	10250	4100	2050	1025	37925
80	20800	10400	4150	2080	1040	38470
81	21000	10500	4200	2100	1050	38850
82	21200	10600	4250	2120	1060	39230
83	21500	10750	4300	2150	1075	39775
84	21800	10900	4350	2180	1090	40320
85	22000	11000	4400	2200	1100	40700
86	22200	11100	4450	2220	1110	41080
87	22500	11250	4500	2250	1125	41625
88	22800	11400	4550	2280	1140	42170
89	23000	11500	4600	2300	1150	42550
90	23200	11600	4650	2320	1160	42930
91	23500	11750	4700	2350	1175	43475
92	23800	11900	4750	2380	1190	44020
93	24000	12000	4800	2400	1200	44400
94	24200	12100	4850	2420	1210	44780
95	24500	12250	4900	2450	1225	45325
96	24800	12400	4950	2480	1240	45870
97	25000	12500	5000	2500	1250	46250
98	25200	12600	5050	2520	1260	46630
99	25500	12750	5100	2550	1275	47175
100	25800	12900	5150	2580	1290	47720

3. Erstellung von CaO-Karten GPS-gestützte Ausbringung möglich

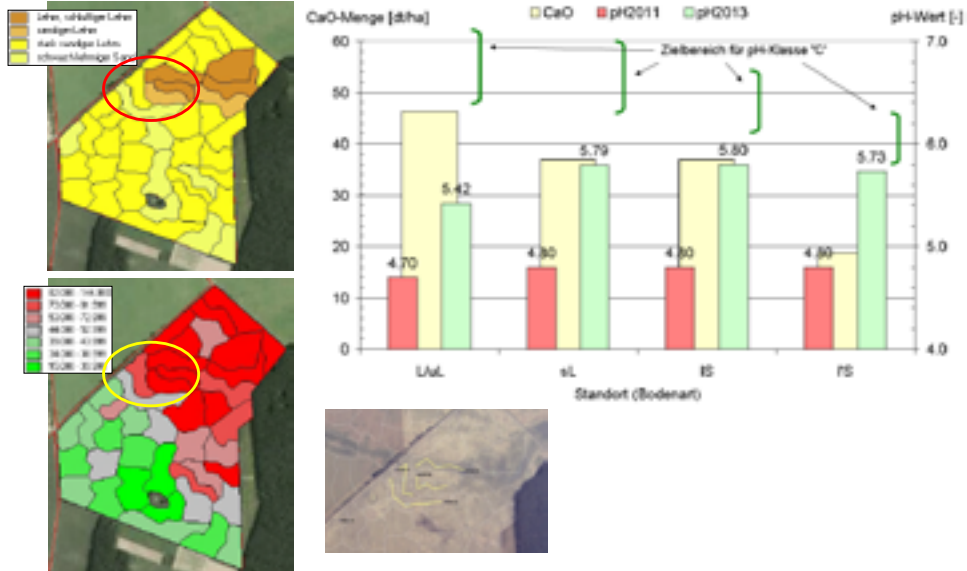


Herausforderungen durch Digitalisierung



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Überprüfung der standortspezifischen Kalkungswirkung



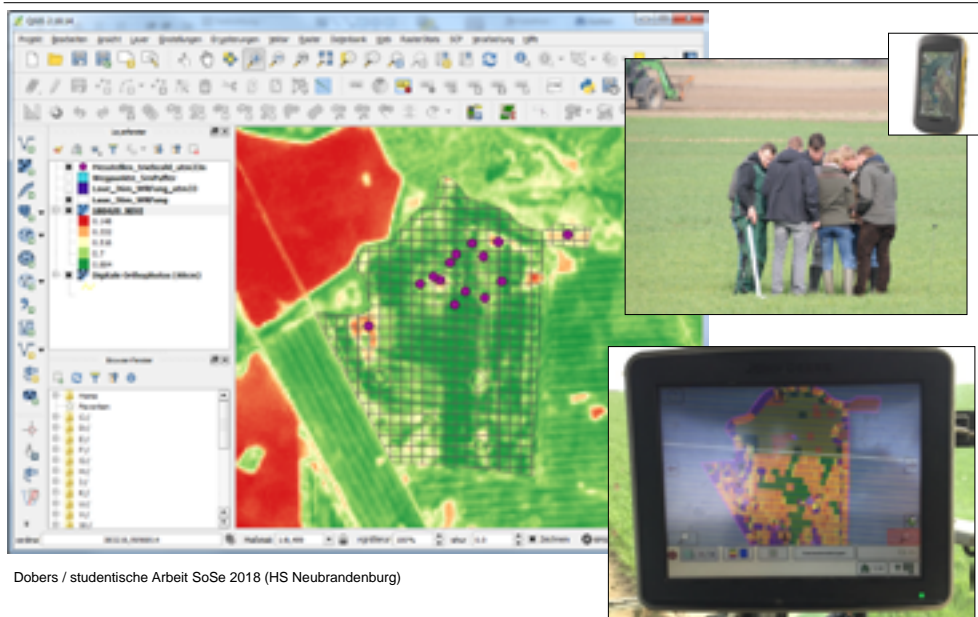
Dobers, KTBL-Tagung 2019: Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel / Nährstoffversorgung - 20./21.03.2019, Darmstadt

23

Herausforderungen durch Digitalisierung



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences



Dobers / studentische Arbeit SoSe 2018 (HS Neubrandenburg)

Dobers, KTBL-Tagung 2019: Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel / Nährstoffversorgung - 20./21.03.2019, Darmstadt

24



Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel – Anpassungsbedarf bei der Nährstoffversorgung –

Eike Stefan Dobers, Lehrstuhl für Pflanzenbau

Einleitung

Ertragserwartung / Nährstoffeffizienz

Leistungsfähigkeit von Wurzelsystemen

Wachstumsdynamik / Mineralisierung

Herausforderungen durch Digitalisierung

Zusammenfassung

Zusammenfassung



Anpassungsbedarf bei der Nährstoffversorgung

1. Pflanzenbauliche Entscheidungen bleiben Wetten auf die Zukunft
=> Ertrags-Erwartungswerte und Spannbreiten
=> Vermeidung von ruinösen Ergebnissen
[=> Eintrittswahrscheinlichkeiten / bedingte Wahrscheinlichkeiten??]
2. Schätzung der Standort- und Witterungs-spezifischen Ertragserwartung (relativ?)
3. Konzentration auf leistungsfähige Pflanzenbestände
=> Etablierung (optimale Saatzeit/-tiefe, Saatgut-Qualität)
=> leistungsfähige Wurzelsysteme ermöglichen
=> Bodenstruktur und Bodenleben optimieren
=> Bodennährstoffgehalte und Düngegaben optimieren
4. Ausbildung & Beratung muss Standort, Pflanzenbestand und deren Wechselwirkung im Zeitverlauf stärker in den Blick nehmen
=> Spaten, Messer, schmutzige Hände, ...
5. Digitalisierung bietet große Chancen
... doch sollte sie Mittel zum Zweck bleiben



Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel / Nährstoffversorgung
KTBL-Tagung 20./21. März 2019, Darmstadt



Foto: Dobers (2015)

Prof. Dr. Eike Stefan Dobers

Hochschule Neubrandenburg
Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaft
Email: dobers@hs-nb.de
www: www.hs-nb.de

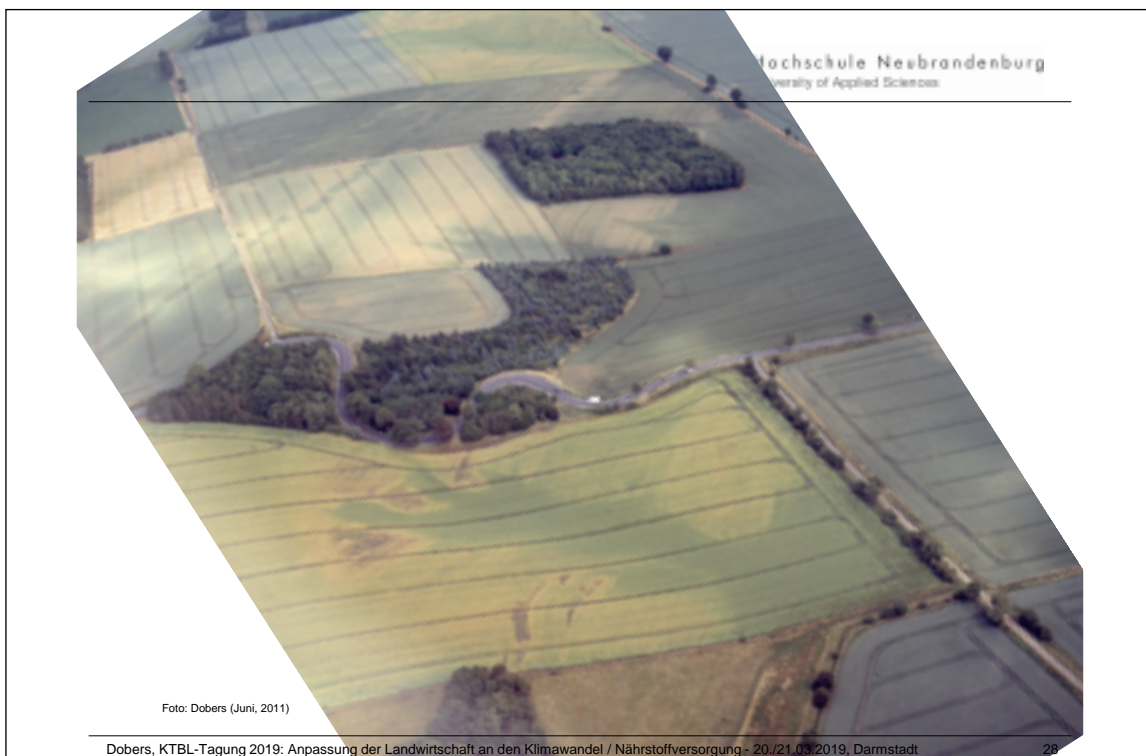


Foto: Dobers (Juni, 2011)

Dobers, KTBL-Tagung 2019: Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel / Nährstoffversorgung - 20./21.03.2019, Darmstadt

28

Anpassung an den Klimawandel – Pflanzenzüchterische Möglichkeiten

FRANK ORDON

Julius Kühn-Institut, Quedlinburg

1 Einleitung

Der Klimawandel ist – regional unterschiedlich – in Deutschland vor allem durch mildere und feuchtere Winter bzw. trockenere und wärmere Frühlings- und Sommermonate gekennzeichnet (Kaspar et al. 2017). Des Weiteren sind eine stärkere Variabilität und vermehrt auftretende Witterungsextreme, insbesondere Hitze- und Dürreperioden, zu erwarten (Gömann et al. 2017). Dies hat einerseits Auswirkungen auf die Erntemenge und die Qualität der Ernteprodukte selbst und andererseits auf das Auftreten von Schaderregern (White et al. 2011). Am Beginn der pflanzlichen Produktionskette steht das Saat- bzw. Pflanzgut und damit dessen genetisch fixiertes Potenzial, unter den gegebenen Umweltbedingungen hohe und stabile Erträge mit der geforderten Qualität der Ernteprodukte zu erbringen. Der Pflanzenzüchtung bzw. der vorgelagerten Pflanzenzüchtungsforschung kommt somit im Hinblick auf die Bewältigung klimawandelbedingter Herausforderungen, mit dem Ziel, auch unter diesen Bedingungen eine leistungsfähige bzw. effiziente Pflanzenproduktion zu gewährleisten, eine besondere Bedeutung zu. Im Folgenden wird daher zunächst das heute zur Verfügung stehende pflanzenzüchterische Instrumentarium kurz dargestellt und an ausgewählten Beispielen die Arbeiten des Julius Kühn-Institutes in diesem Zusammenhang aufgezeigt (Ordon 2015, Wehner et al. 2017).

2 Pflanzenzüchterisches Instrumentarium

Voraussetzung für eine pflanzenzüchterische Verbesserung unserer Kulturpflanzen im Hinblick auf die Anpassung an den Klimawandel ist die Identifikation genetischer Variation im Hinblick auf die zu bearbeitenden Merkmale, d. h. die Erfassung der genetischen Variation im primären, sekundären oder tertiären Genpool einer Kulturart, gefolgt von deren Nutzung in klassischen Selektionsverfahren. Die Züchtung einer neuen Sorte ist dabei häufig ein langwieriger Prozess, der z. B. bei Selbstbefruchtern wie Weizen und Gerste bei der Kreuzung adaptierter Genotypen 10 Jahre und mehr dauern kann. Die Züchtung einer Sorte kann grundsätzlich in 3 Phasen gegliedert werden: (i) die Schaffung von Ausgangsvariation, (ii) die Selektion von Sortenkandidaten und (iii) deren Prüfung, Erhaltung und Vermehrung. Unter Nutzung dieser klassischen Selektionsverfahren konnten in der Vergangenheit erhebliche züchterische Erfolge erzielt werden und diese klassischen Pflanzenzüchtungsverfahren bilden nach wie vor das Rückgrat auch der modernen Pflanzenzüchtung.

Der Pflanzenzüchtung stehen jedoch heute eine Vielzahl biotechnologischer Verfahren zur Verfügung, welche dazu beitragen, die Züchtung neuer, angepasster Sorten zu beschleunigen bzw. effizienter zu gestalten. Im Rahmen der Nutzung bzw. Erzeugung genetischer Variation erlauben Verfahren der Zell- und Gewebekultur (Embryorescue, Protoplastenfusion) eine verbesserte Nutzbarmachung des sekundären und tertiären Genpools. Darüber hinaus sind effektive gentechnische Verfahren zur Erzeugung genetischer Variation, die weit über das mit konventionellen und zellbio-

logischen Techniken zu erzeugende Maß hinausgeht, bekannt (Broer et al. 2010). Neuere Entwicklungen in diesem Bereich, d.h. die Nutzung von Endonukleasen, z.B. sogenannten Zink-Finger-Nukleasen oder TALENs bzw. CRISPR/Cas9, erlauben nicht nur die gezielte Einbringung neuer Gene, sondern insbesondere auch die gezielte Auslösung von Mutationen in bekannten Genen, d.h. die Schaffung neuer Allele (Puchta und Fauser 2014). Der anschließende Selektionsprozess kann durch die Erzeugung doppelhaploider Pflanzen (Antheren-, Mikrosporenkultur) deutlich verkürzt werden und molekulare Marker erlauben heute, wenn sie hinreichend eng mit dem Zielgen gekoppelt sind oder auf Sequenzunterschieden im Gen selbst beruhen, eine sichere, umweltunabhängige Selektion für Majorgene und Quantitative Trait Loci (QTL) in frühen Entwicklungsstadien der Pflanzen. Die Entwicklung dieser Marker war in der Vergangenheit sehr arbeits- und zeitaufwendig, da nur wenige Loci, z.B. unter Nutzung von Simple Sequence Repeats (SSRs) oder Amplified fragment length polymorphisms (AFLPs), gleichzeitig analysiert werden konnten. Bedingt durch neue Sequenzierungstechniken (z.B. Munroe und Harris 2010), die zu einer deutlichen Kostenreduktion seit Beginn dieses Jahrtausends geführt haben (Delseny et al. 2010), konnten jedoch, z.B. bei Gerste (Comadran et al. 2012) oder Weizen (Cavanagh et al. 2013), Hochdurchsatzmarkertechnologien auf Chipbasis sowie weitere Technologien wie Genotyping by Sequencing (Poland et al. 2012) oder Exome Capture (Mascher et al. 2013) entwickelt werden. Diese erlauben nicht nur die beschleunigte Identifikation von Markern in bi-parentalen Populationen, sondern auch eine Nutzung assoziationsgenetischer Verfahren (Lehnert et al. 2017, 2018) bzw. die Nutzung genomischer Selektionsverfahren („Genomic selection“, Heffner et al. 2009) in der Pflanzenzüchtung. Darüber hinaus ist heute bei vielen Kulturarten, so z.B. jüngst auch bei Weizen und Gerste, das gesamte Genom entschlüsselt (IBGSC 2017; IWGSC 2018), sodass eine effektive Markerabsättigung von Zielregionen im Rahmen der Genisolation möglich ist bzw. die beschleunigte Isolation von Kandidatengen. Ergänzt werden diese Fortschritt in der DNA-Analyse durch Fortschritte in der Transkriptomanalyse wie RNAseq (Cremer et al. 2013) oder MACE (Massive analysis of cDNA ends, Kahl et al. 2012) bzw. in der Metabolomanalyse (Sulpice et al. 2010, Templer et al. 2017) sowie durch Präzisionsphänotypisierungstechniken („Phenomix“, Jansen et al. 2009, Klukas et al. 2014), welche eine sichere und detaillierte Erfassung des Phänotyps erlauben und damit gesicherte Rückschlüsse vom Phänotyp auf den Genotyp bzw. beteiligte Gene und QTL ermöglichen.

3 Beispiele für die züchterische Anpassung an den Klimawandel

Im Rahmen des Klimawandels gewinnt die Toleranz gegenüber Trockenstress auch in Deutschland zunehmend an Bedeutung. Durch die durch Trockenstress ausgelöste frühzeitige Blattseneszenz kommt es zu einem Abbruch der Photosynthese und frühzeitig zu Umlagerungsprozessen von gespeicherten Assimilaten in das Korn (Lim et al. 2007). Da eine Phänotypisierung auf Trockenstress und Seneszenz nur schwer in den Züchtungsprozess zu integrieren ist, sind markergestützte Selektionsverfahren in diesem Bereich von besonderem Vorteil. Im Rahmen der Markerentwicklung stellen heute genomweite Assoziationsstudien (GWAS) ein geeignetes Werkzeug dar. Unter Nutzung eines effizienten Screeningverfahrens zur Phänotypisierung der Trockenstressreaktion und dadurch induzierter Blattseneszenz (Wehner et al. 2016b) in juvenilen Stadien konnten signifikante Unterschiede in der genotypischen Reaktion auf Trockenstress in 156 Wintergerstegenotypen nachgewiesen werden (Wehner et al. 2015). Anhand dieser Daten und 3.212 SNP-Markern des Illumina 9k

iSelect Chips wurden GWASs durchgeführt und es konnten für die analysierten Merkmale 47 Marker-Merkmal-Assoziationen für die Reaktion auf Trockenstress identifiziert werden (Wehner et al. 2015). Dabei wurden auf Chromosom 2H und auf Chromosom 5H zwei QTL-Regionen lokalisiert, in denen QTL für unterschiedliche Merkmale, wie Biomasse und Chlorophyllgehalt unter Trockenstress, nachgewiesen wurden. Es konnte gezeigt werden, dass in diesen Regionen Gene lokalisiert sind, die in die Reaktion auf Trockenstress involviert sind. Vier dieser Gene zeigten zudem eine differentielle Expression und es wurden entsprechend fünf eQTL identifiziert (Wehner et al. 2016a). Die mit den QTL auf Chromosom 2H und 5H assoziierten Marker ermöglichen eine Selektion auf Trockenstresstoleranz und Blattseneszenz in der Gerstenzüchtung.

Neben der züchterischen Verbesserung der Trockenstresstoleranz *per se*, d.h. der Identifikation und Selektion trockenstresstoleranter Genotypen, könnte auch die gezielte Nutzung von Mykorrhizasymbiosen durch die Selektion von Genotypen, welche von der Symbiose mit Mykorrhizapilzen unter Stressbedingungen profitieren (Daei et al. 2009), einen weiteren Ansatz zur Verbesserung der Stresstoleranz darstellen, wie am Beispiel des Weizens gezeigt werden konnte (Lehnert et al. 2017, 2018). In entsprechenden Versuchen konnten genotypische Unterschiede in der Trockenstresstoleranz und der Fähigkeit zur Symbiose mit Mykorrhizapilzen (*Rhizophagus intraradices*, *Claroideoglomus claroideum* und *Claroideoglomus etunicatum*) nachgewiesen werden. Dabei zeigte sich eine breite genotypische Variation für das Merkmal Mykorrhizierung und es konnten signifikante Ertragsunterschiede zwischen der mykorrhizierten und nicht mykorrhizierten Variante unter Trockenstressbedingungen nachgewiesen werden. Die Mehrzahl der untersuchten Genotypen reagierte mit Ertragssteigerung unter Trockenstressbedingungen auf die Mykorrhizierung. Durch genomweite Assoziationsstudien konnten Genomregionen identifiziert werden, die mit der Mykorrhizierung der Weizenwurzel bzw. dem Ertrag unter Trockenstressbedingungen assoziiert sind und somit eine Nutzung dieses Merkmals in der Züchtung erlauben.

Der Klimawandel ist zudem durch eine kontinuierlich zunehmende CO₂-Konzentration in der Atmosphäre gekennzeichnet, die einen positiven Einfluss auf die C₃-Photosynthese hat und – bei ausreichender Wasserversorgung – zu einem Anstieg der Biomasse und des Ertrages bei C₃-Pflanzen führt (Kimball 2016). In dreijährigen Feldversuchen in sogenannten „Open-Top-Kammern“ unter natürlicher CO₂-Konzentration und zukünftig prognostizierter CO₂-Konzentration von 700 ppm konnte in Zusammenarbeit mit dem Thünen-Institut gezeigt werden, dass in den 100 analysierten Wintergerstegenotypen eine hohe genetische Variation in der Ausnutzung erhöhter CO₂-Gehalte besteht. Im Durchschnitt über alle Genotypen und Versuchsjahre hinweg stieg der Kornertrag um 12 % und die oberirdische Biomasse um 13 %, wobei einzelne Genotypen wesentlich höhere Biomasse- und Ertragszuwächse erzielten. Eine ähnlich hohe intraspezifische Variabilität in der Reaktion auf die erhöhte CO₂-Konzentration zeigte sich bei Untersuchungen physiologischer Parameter, z.B. Blattchlorophyllgehalt und stabile Kohlenstoffisotope. In genomweiten Assoziationsanalysen wurden insgesamt 142 Marker-Merkmal-Assoziationen für 21 verschiedene Merkmale identifiziert. Jeweils 5 Marker zeigten eine signifikante Assoziation mit den Merkmalen Biomasse- und Ertragszuwachs unter erhöhter CO₂-Konzentration (Mitterbauer et al. 2015)

Neben der Anpassung etablierter Kulturarten an sich ändernde Klimabedingungen kann eine Anpassung auch durch die Adaption neuer Arten an hiesige Bedingungen erreicht werden. In diesem Zusammenhang stellt die Sojabohne eine interessante Alternative dar. Um diese auch in den weniger begünstigten Anbaugebieten Deutschlands zu etablieren, ist eine Verbesserung der Kühltoleranz notwendig. In ersten Untersuchungen konnten deutliche genotypische Unterschiede

nachgewiesen werden und basierend auf diesen Daten zielen weitergehende Arbeiten auf die Identifikation molekularer Marker für Kühletoleranz ab (Balko et al. 2014).

Der Klimawandel wird jedoch nicht nur direkte Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum haben, sondern auch auf das Auftreten von Schaderregern. In diesem Zusammenhang ist einerseits mit dem Vordringen wärmeliebender Pathogene nach Norden zu rechnen sowie andererseits mit einer Verschiebung der Bedeutung bereits etablierter Schaderreger. Dies gilt z. B. bedingt durch mildere Herbst- und Wintermonate für insektenübertragene Viren, wie dies bereits für das Blattlaus übertragene *Barley yellow dwarf virus* (BYDV), welches erhebliche Ertragsverluste in Gerste und Weizen verursachen kann, in Sachsen-Anhalt gezeigt werden konnte (Habekuß et al. 2009), sodass in diesem Bereich eine Verbesserung der Resistenz als Reaktion auf den Klimawandel erforderlich ist. Durch die Kombination von insgesamt drei QTL, welche Toleranz gegenüber BYDV bedingen, konnte gezeigt werden, dass Genotypen mit drei positiven Allelen an den entsprechenden Loci deutlich weniger auf eine BYDV-Infektion reagieren und zudem die Kombination dieser Loci zu einem niedrigeren Virusgehalt führt, d. h. quantitative Resistenz bedingt (Riedel et al. 2011).

4 Fazit

Die wenigen hier aufgeführten Beispiele mögen belegen, dass die Pflanzenzüchtungsforschung einen wesentlichen Beitrag liefern kann, den Herausforderungen der Zukunft zu begegnen, indem sie die wissenschaftlichen Grundlagen erarbeitet, die in genetischen Ressourcen vorhandene Variation zu erfassen und effektiv im Hinblick auf die Anpassung unserer Kulturarten an veränderte Klimabedingungen nutzbar zu machen. Insgesamt ist davon auszugehen, dass sich bedingt durch das umfangreiche biotechnologische Instrumentarium und die Fortschritte in der Phänotypisierung die Zeitdauer für die Züchtung neuer Sorten erheblich verkürzen wird, sodass es der Pflanzenzüchtung zukünftig möglich sein wird, schneller und gerichteter auf die künftigen Herausforderungen zu reagieren.

Literatur

- Balko, C.; Hahn, V.; Ordon, F. (2014): Kühletoleranz bei der Sojabohne (*Glycine max* (L.) Merr.) – Voraussetzung für die Ausweitung des Sojaanbaus in Deutschland. *Journal für Kulturpflanzen* 66(11), S. 378–388
- Broer, I.; Busch, R. J.; Jung, C.; Ordon, F.; Qaim, M.; Reinhold-Hurek, B.; Sonnewald, U.; v. Tiedemann, A. (2010): *Grüne Gentechnik*, Hg. DFG, Wiley VCH, Weinheim
- Cavanagh, C. R.; Chao, S.; Wang, S.; Huang, B. E.; Stephen, S.; Kiani, S.; Forrest, K.; Saintenac, C.; Brown-Guedira, G. L.; Akhunova, A.; See, D.; Bai, G.; Pumphrey, M.; Tomar, L.; Wong, D.; Kong, S.; Reynolds, M.; da Silva, M. L.; Bockelman, H.; Talbert, L.; Anderson, J. A.; Dreisigacker, S.; Baenziger, S.; Carter, A.; Korzun, V.; Morrell, P. L.; Dubcovsky, J.; Morell, M. K.; Sorrells, M. E.; Hayden, M. J.; Akhunov, E. (2013): Genome-wide comparative diversity uncovers multiple targets of selection for improvement in hexaploid wheat landraces and cultivars, *PNAS* 110(20), pp. 8.057–8.062; <https://doi.org/10.1073/pnas.1217133110>
- Comadran, J.; Kilian, B.; Russel, J.; Ramsay, L.; Stein, N.; Ganai, M.; Shaw, P.; Bayer, M.; Thomas, W.; Marshall, D.; Hedley, P.; Tondelli, A.; Pecchioni, N.; Francia, E.; Korzun, V.; Walther, A.; Waugh, R. (2012): Natural variation in a homolog of *Antirrhinum CENTRORADIALIS* contributed to spring growth habit and environmental adaptation in cultivated barley. *Nature Genetics* 44, pp. 1.388–1.392

- Cremer, K.; Mathy, J.; Vos, C.; Froenicke, L.; Michelmore, R.; Cammue, B. P. A.; De Coninck, B. (2013): RNAseq-based transcriptome analysis of *Lactuca sativa* infected by the fungal necrotroph *Botrytis cinerea*. *Plant Cell Environment* 36, pp. 1.992–2.007
- Daei, G.; Ardekani, M.; Rejali, F.; Teimuri, S.; Miransari, M. (2009): Alleviation of salinity stress on wheat yield, yield components, and nutrient uptake using arbuscular mycorrhizal fungi under field conditions. *Journal of Plant Physiology* 166, pp. 617–625
- Delseny, M.; Han, B.; Hsing, Y. I. (2010): High throughput DNA sequencing: The new sequencing revolution. *Plant Science* 179, pp. 407–422
- Gömann, H.; Frühauf, C.; Lüttger, A.; Weigel, H. (2017): Landwirtschaft. In: Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Hg. Brasseur, G. P.; Jacob, D.; Schuck-Zöllner, S., Berlin Heidelberg, Springer, S. 183–191
- Habekuß, A.; Riedel, C.; Schliephake, E.; Ordon, F. (2009): Breeding for resistance to insect-transmitted viruses in barley – an emerging challenge due to global warming. *Journal für Kulturpflanzen* 61, S. 53–61
- Heffner, E. L.; Sorrells, M. E.; Jannink, J. L. (2009): Genomic selection for crop improvement. *Crop Science* 49, pp. 1–12
- IBGSC (2017): A chromosome conformation capture ordered sequence of the barley genome. *Nature* 544(7651), pp. 427–433
- IWGSC (2018): Shifting the limits in wheat research and breeding using a fully annotated reference genome. *Science* 361(6403); doi: 10.1126/science.aar7191
- Jansen, M. et al. (2009): Simultaneous phenotyping of leaf growth and chlorophyll fluorescence via GROWSCREEN FLUORO allows detection of stress tolerance in *Arabidopsis thaliana* and other rosette plants. *Functional Plant Biology* 36, pp. 902–914
- Kahl, G.; Molina, C.; Rotter, B.; Jüngling, R.; Frank, A.; Krezdorn, N.; Hoffmeier, K.; Winter, P. (2012): Reduced representation sequencing of plant stress transcriptomes. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology* 21, pp. 119–127
- Kaspar, F.; Mächel, H.; Jacob, D.; Kottmeier, C. (2017): Beobachtung von Klima und Klimawandel in Mitteleuropa und Deutschland. In: Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Hg. Brasseur, G. P.; Jacob D.; Schuck-Zöllner, S., Berlin Heidelberg, Springer, S. 17–26
- Kimball, B. A. (2016): Crop responses to elevated CO₂ and interactions with H₂O, N, and temperature. *Current Opinion in Plant Biology* 31, pp. 36–43
- Klukas, C.; Chen, D.; Pape, J. M. (2014): Integrated analysis platform: An open-source information system for high throughput plant phenotyping. *Plant Physiology* 165, pp. 506–518
- Lehnert, H.; Serfling, A.; Enders, M.; Friedt, W.; Ordon, F. (2017): Genetics of mycorrhizal symbiosis in winter wheat (*Triticum aestivum*). *New Phytologist* 215, pp. 779–791
- Lehnert, H.; Serfling, A.; Friedt, W.; Ordon, F. (2018): Genome-wide association studies reveal genomic regions associated with the response of wheat (*Triticum aestivum* L.) to mycorrhizae under drought stress conditions. *Front. Plant Sci.* 9:1728; doi: 10.3389/fpls.2018.01728
- Lim, P. O.; Kim, H. J.; Nam, H. G. (2007): Leaf senescence. *Ann Rev Plant Biol* 58, pp. 115–136
- Mascher, M.; Richmond, T. A.; Gerhardt, D. J.; Himmelbach, A.; Clissold, L.; Sampath, D.; Ayling, S.; Steuernagel, B.; Pfeifer, M.; D’Ascenzo, M.; Akhunov, E. D.; Hedley, P. E.; Gonzales, A. M.; Morrell, P. L.; Kilian, B.; Blattner, F. R.; Scholz, U.; Mayer, K. F. X.; Flavell, A. J.; Muehlbauer, G. J.; Waugh, R.; Jeddelloh, J. A.; Stein, N. (2013): Barley whole exome capture capture: a tool for genomic research in the genus *Hordeum* and beyond. *The Plant Journal* 76, pp. 494–505
- Mitterbauer, E.; Bender, J.; Erbs, M.; Habekuß, A.; Ordon, F.; Weigel, H.-J. (2015): Growth and Genome-wide Association Analyses of 100 Field-grown Barley Genotypes Exposed to Future CO₂ Concentrations. *Procedia Environmental Sciences* 29, pp. 192–193

- Munroe, D. J.; Harris, T. J. R. (2010): Third-generation sequencing fireworks at Marco Island. *Nature Biotechnology* 28, pp 426–428
- Ordon, F. (2015): Entwicklungen in der pflanzlichen Produktion: In der Pflanzenzüchtung, *Agrar spectrum* 47, S. 76–85
- Poland, J. A.; Brown, P. J.; Sorells, M. E.; Jannik, J. (2012): Development of high density genetic maps for barley and wheat by using a novel two enzyme genotyping by sequencing approach. *PLoS ONE* 7(2): e32253. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032253>
- Puchta, H.; Fauser, F. (2014): Synthetic nucleases for genome engineering in plants: prospects for a bright future. *Plant Journal* 78, pp. 727–741
- Riedel, C., Habekuß, A.; Schliephake, E.; Niks, R.; Broer, I.; Ordon, F. (2011): Pyramiding of *Ryd2* and *Ryd3* conferring tolerance to a German isolate of *Barley yellow dwarf virus*-PAV (BYDV-PAV-ASL-1) leads to quantitative resistance against this isolate. *Theoretical and Applied Genetics* 123, pp. 69–76; <https://doi.org/10.1007/s00122-011-1567-y>
- Sulpice, R.; Trenkamp, S., Steinfath, M., etc al., 2010: Network analysis of enzyme activities and metabolite levels and their relationship to biomass in a large panel of *Arabidopsis* accessions. *Plant Cell* 22, 2872–2893
- Templer, S. E.; Ammon, A.; Pscheidt, D.; Ciobotea, O.; Schuy, C.; McCollum, C.; Sonnewald, U.; Hanemann, A.; Försten, J.; Ordon, F.; von Korff, M.; Voll, L. M. (2017): Metabolite profiling of barley flag leaves under drought and combined heat and drought stress reveals metabolic QTLs for metabolites associated with antioxidant defense. *Journal of Experimental Botany* 68, pp. 1.697–1.713
- Wehner, G.; Balko, C.; Enders, M.; Humbeck, K.; Ordon, F. (2015): Identification of genomic regions involved in tolerance to drought stress and drought stress induced leaf senescence in juvenile barley. *BMC Plant Biology* 15:125; <https://doi.org/10.1186/s12870-015-0524-3>
- Wehner, G.; Balko, C.; Humbeck, K.; Zyprian, E.; Ordon, F. (2016a): Expression profiling of genes involved in drought stress and leaf senescence in juvenile barley. *BMC Plant Biology* 16:3; <https://doi.org/10.1186/s12870-015-0701-4>
- Wehner, G.; Balko, C.; Ordon, F. (2016b): Experimental Design to Determine Drought Stress Response and Early Leaf Senescence in Barley (*Hordeum vulgare* L.). *Bio-protocol* 6, pp. 1–16
- Wehner, G.; Lehnert, H.; Balko, C.; Serfling, A.; Perovic, D.; Habekuß, A.; Mitterbauer, E.; Bender, J.; Weigel, H.-J.; Ordon, F. (2017): Pflanzenzüchterische Anpassung von Kulturpflanzen an zukünftige Produktionsbedingungen im Zeichen des Klimawandels. *Journal für Kulturpflanzen* 69, S. 44–46
- White, J. W.; Hoogenboom, G.; Kimball, B. A.; Wall, G. W. (2011): Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production. *Field Crop Res* 124, pp. 357–368



Anpassung an den Klimawandel –Pflanzenzüchterische Möglichkeiten

Frank Ordon

www.julius-kuehn.de

Klimawandel



<https://www.amazon.de>

World population projected to reach 9.8 billion in 2050, and 11.2 billion in 2100
 21 June 2012, New York
 The current world population of 7.1 billion is expected to reach 9.2 billion in 2030, 9.8 billion in 2050 and 11.2 billion in 2100, according to a new United Nations report being launched today. UN's roughly 60 million

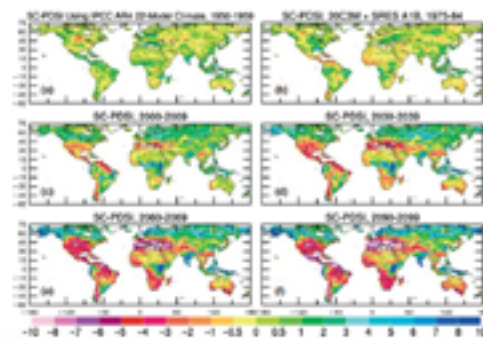
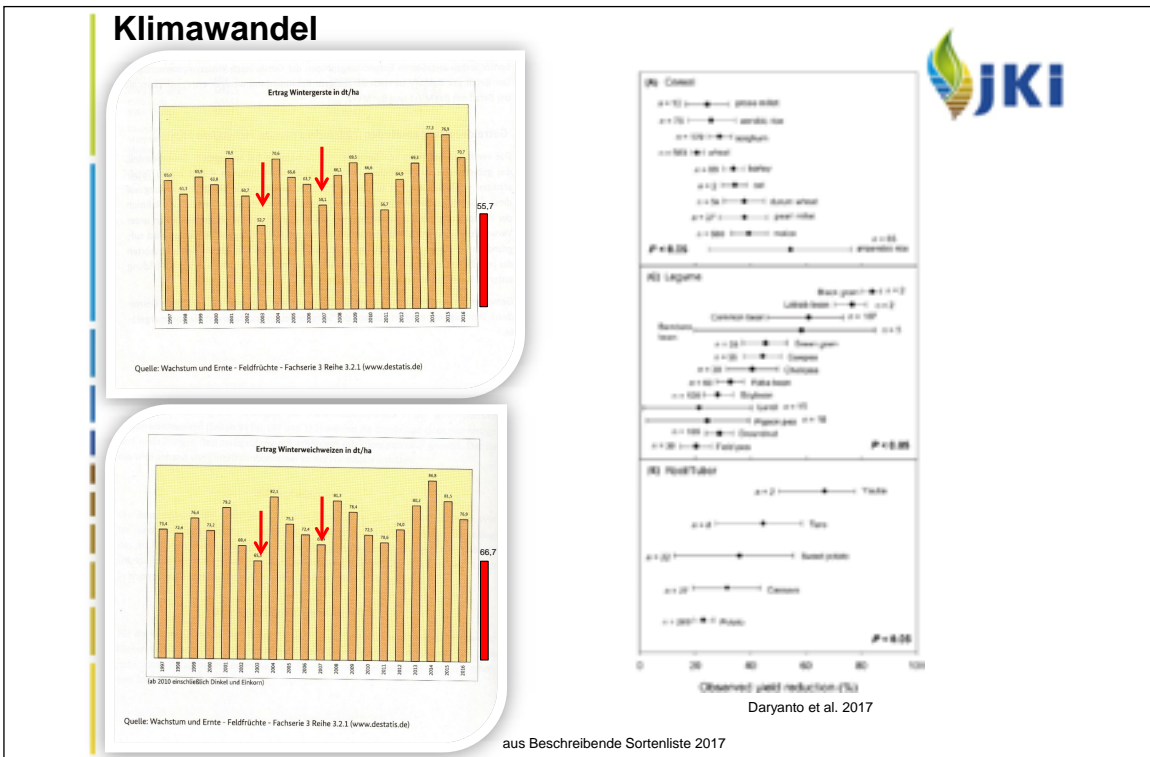
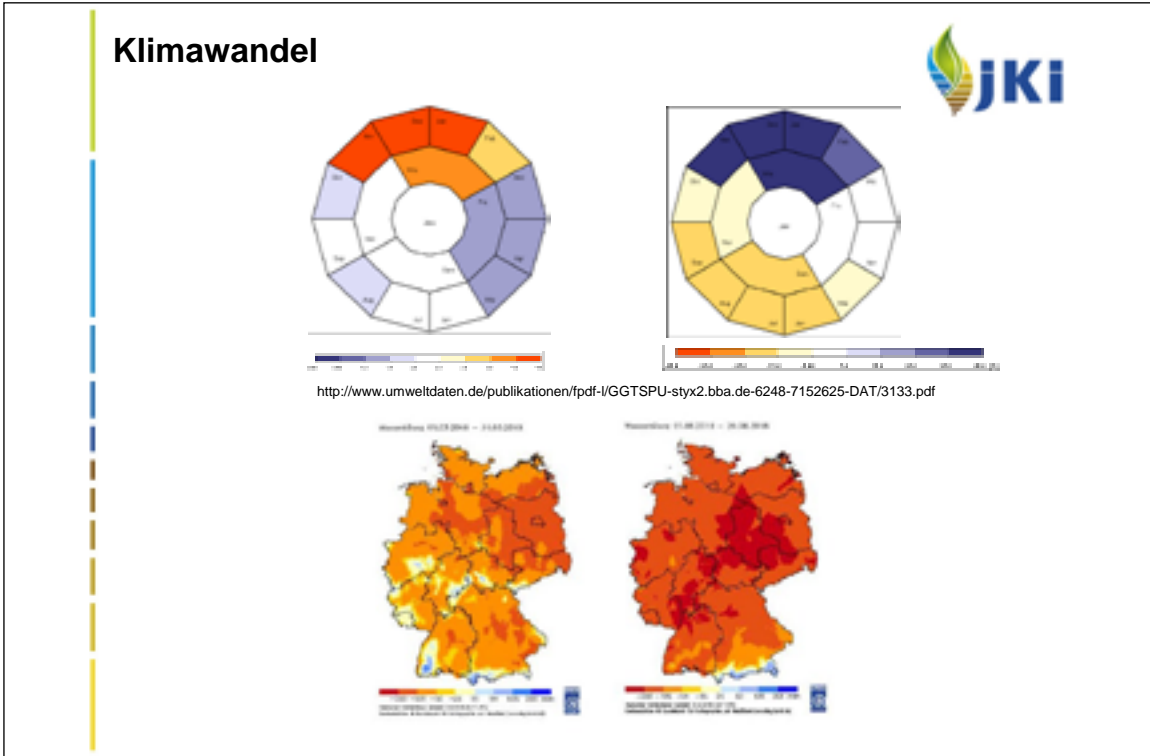


FIGURE 11 | (a) Annual mean surface air temperature (SAT) changes (°C) for the period 1980-1999, 2000-2019, 2020-2039, 2040-2059, 2060-2079, and 2080-2099 calculated using the GISS model ensemble mean surface air temperature, precipitation, humidity, sea-ice extent, and wind speed used in the RCP 4.5 from the 20th century and RCP 8.5 21st century simulations. (b) Total to year-on-annularly by lower drought conditions while the colors indicate annual relative to the 1950-1979 base.

Dai, A. (2010)



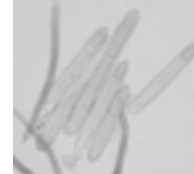
Schaderreger

Insekten

Viren

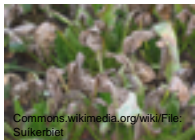
Bakterien

Pilze

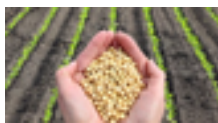


Chimelwski, 2007: Steigerung der Durchschnittstemperatur um 3-6°C ermöglicht Arealausweitung bis zu 1000 km Richtung Norden

Pilzliche Erreger mit höheren Temperaturansprüchen wie der Schwarzrost oder die Cercospora-Blattfleckenkrankheit (*Cercospora beticola*) können sich ausbreiten



Pflanzliche Produktionskette



$$Y = G \times E \times M$$

↓
Genotyp
Sorte

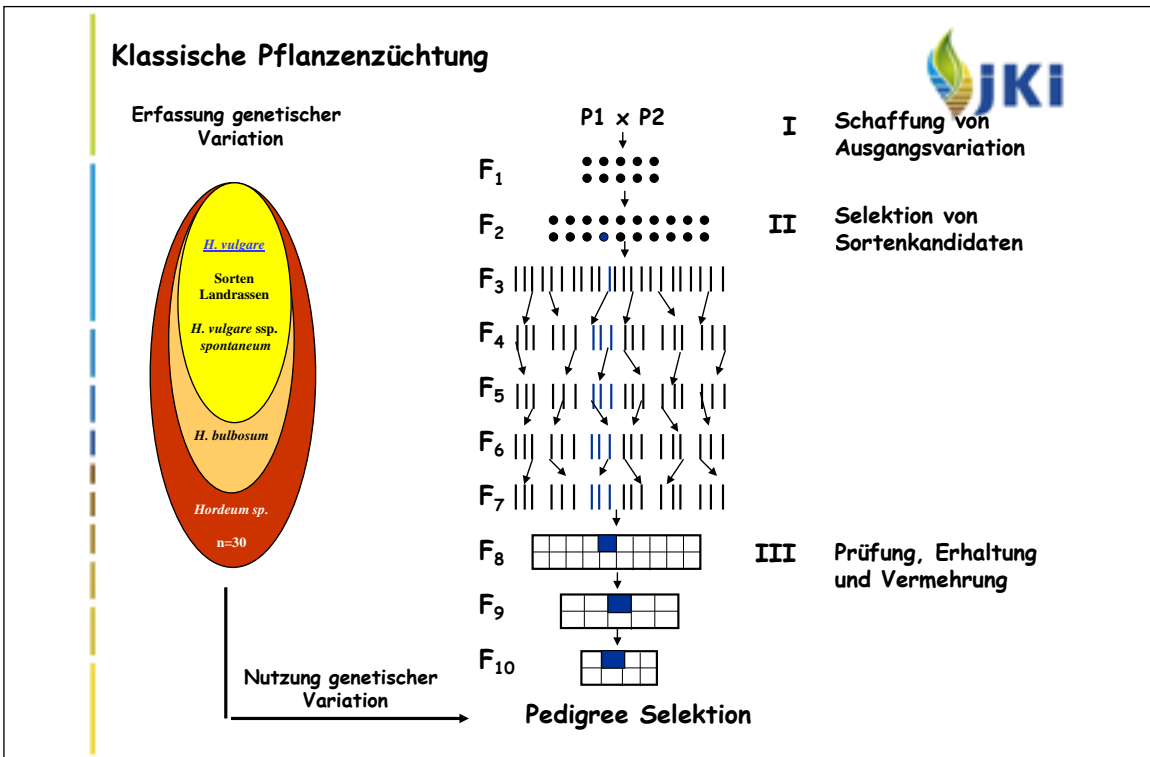
↓
Boden
Witterung
.....

↓
Pflanzenschutz
Düngung
.....

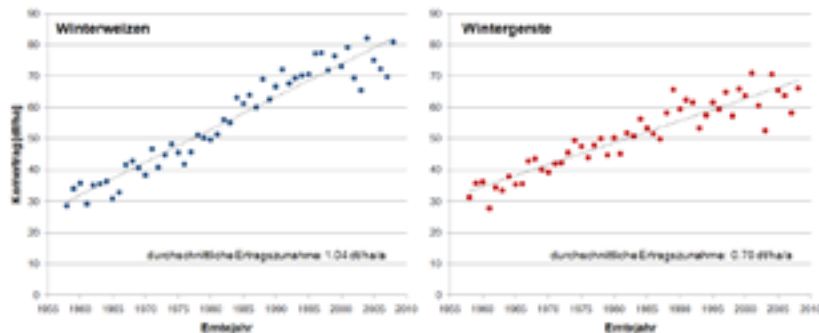
Pflanzenzüchtungsforschung und -züchtung

Systematische Nutzbarmachung genetischer Ressourcen zur Verbesserung der Trockenstresstoleranz

G20 Expertworkshop
Harvesting genetic resources for improving drought stress tolerance in crops
24 - 27 October 2012, Berlin



Ertragsfortschritt



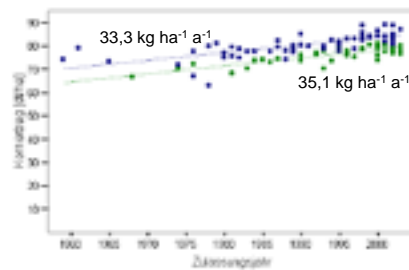
Durchschnittliche Erträge für Winterweizen und Wintergerste für die Jahre 1958 bis 2008 in Deutschland (Besondere Ernteeermittlung, J. Ahlemeyer).

Zuchtfortschritt Winterweizen

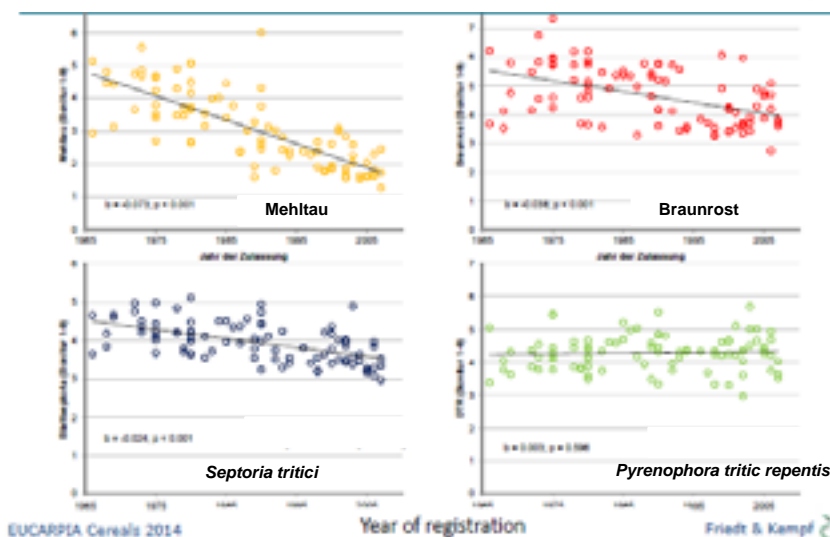


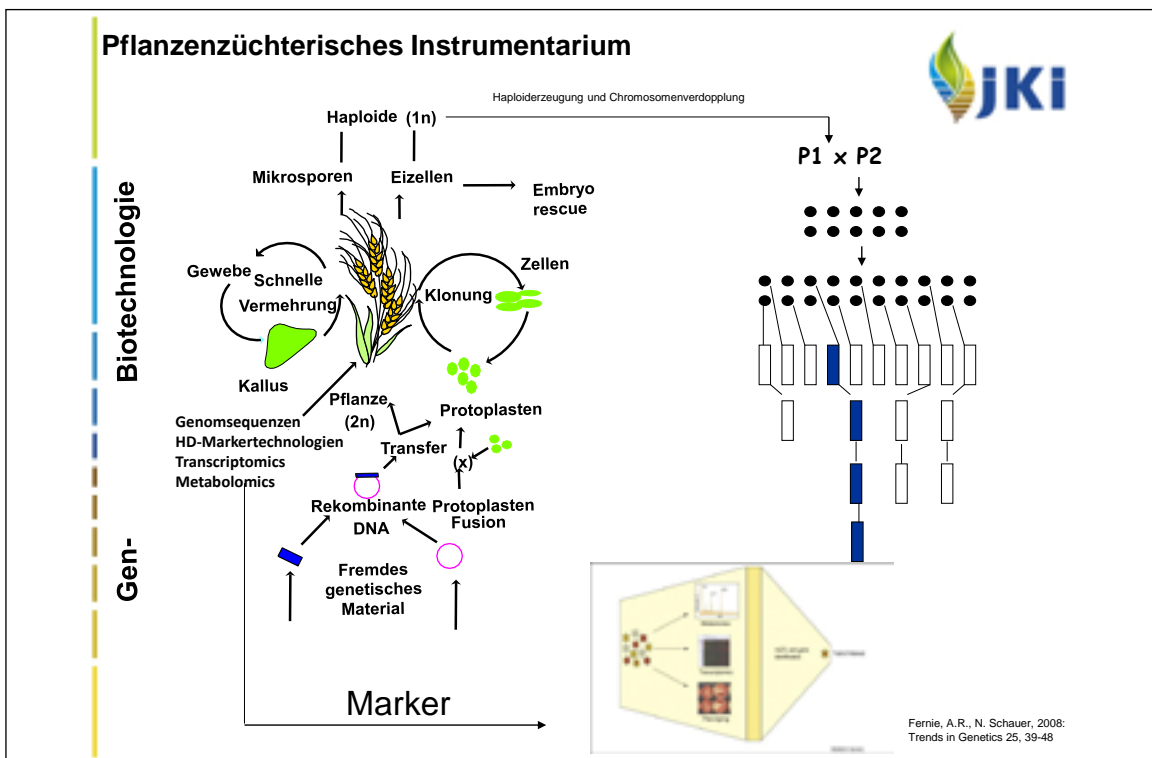
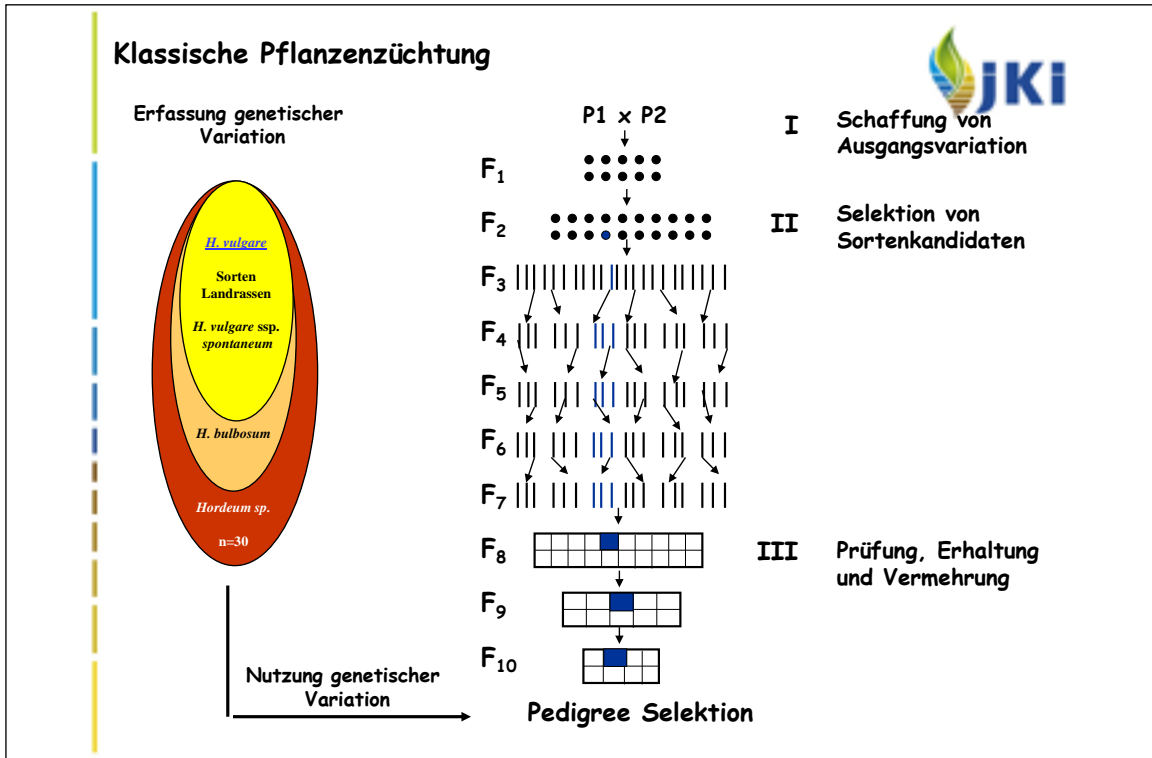
(Ahlemeyer & Friedt 2012)

Zuchtfortschritt Wintergerste



Erfolge der Resistenzzüchtung: Weizen





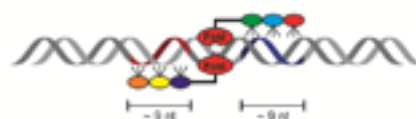
Allele Editing: Gerichtete Mutagenese unter Verwendung von Endonucleasen



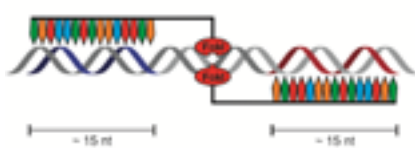
Meganucleases



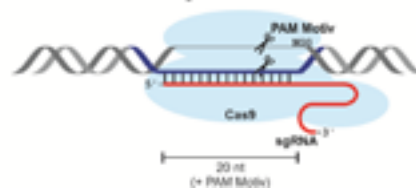
ZFNs



TALENs



CRISPR/Cas System



- ZFNs Zinc-Finger Nucleases
- TALENs Transcription Activator-Like Effector Nucleases
- CRISPR Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats
- Cas CRISPR-associated, RNA-guided endonuclease

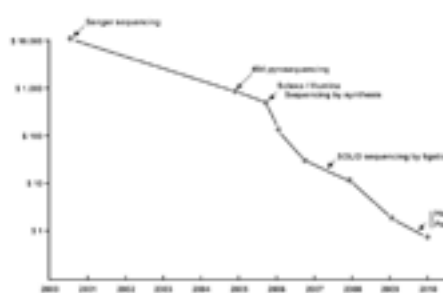
Puchta and Fauser (2014) The Plant Journal

A. Graner

Pflanzenzüchterisches Instrumentarium



Marker type	RFLPs	Genomic SSRs	AFLPs	EST SNPs/SSRs	DArTs	BOPs/OPAs	iSelect	Genotyping by sequencing
Throughput	single marker application	single marker application	few marker application	single marker application	6K	1.5K	9K	50K
Multiplexing	no multiplexing	few markers multiplexing	low multiplexing	few markers multiplexing	platform/simultaneous analysis	platform/simultaneous analysis	platform/simultaneous analysis	platform/simultaneous analysis
Amount of D N A	Large amount	low amount	low amount	low amount	low amount	low amount	low amount	low amount
Quality of D N A	very good	average	average	average	very good	very good	very good	very good



M. Delseny et al. (2010) *Plant Sci.* 179: 407-422

ARTICLE

A physical, genetic and functional sequence assembly of the barley genome

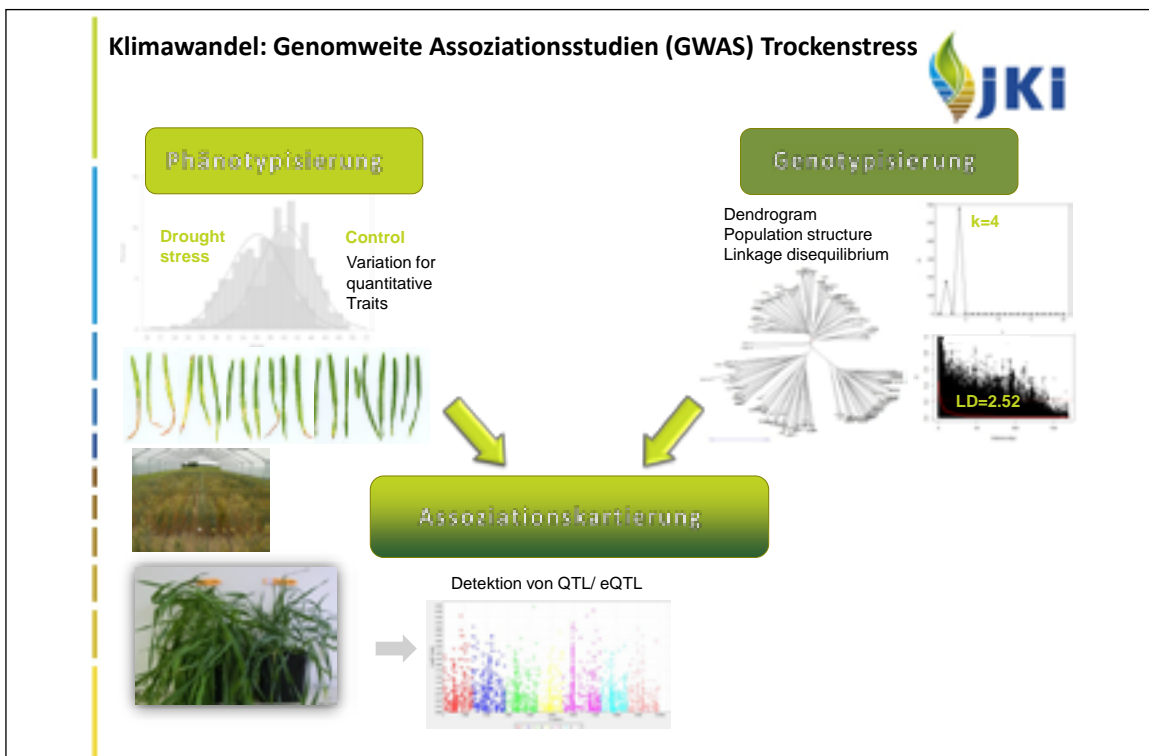
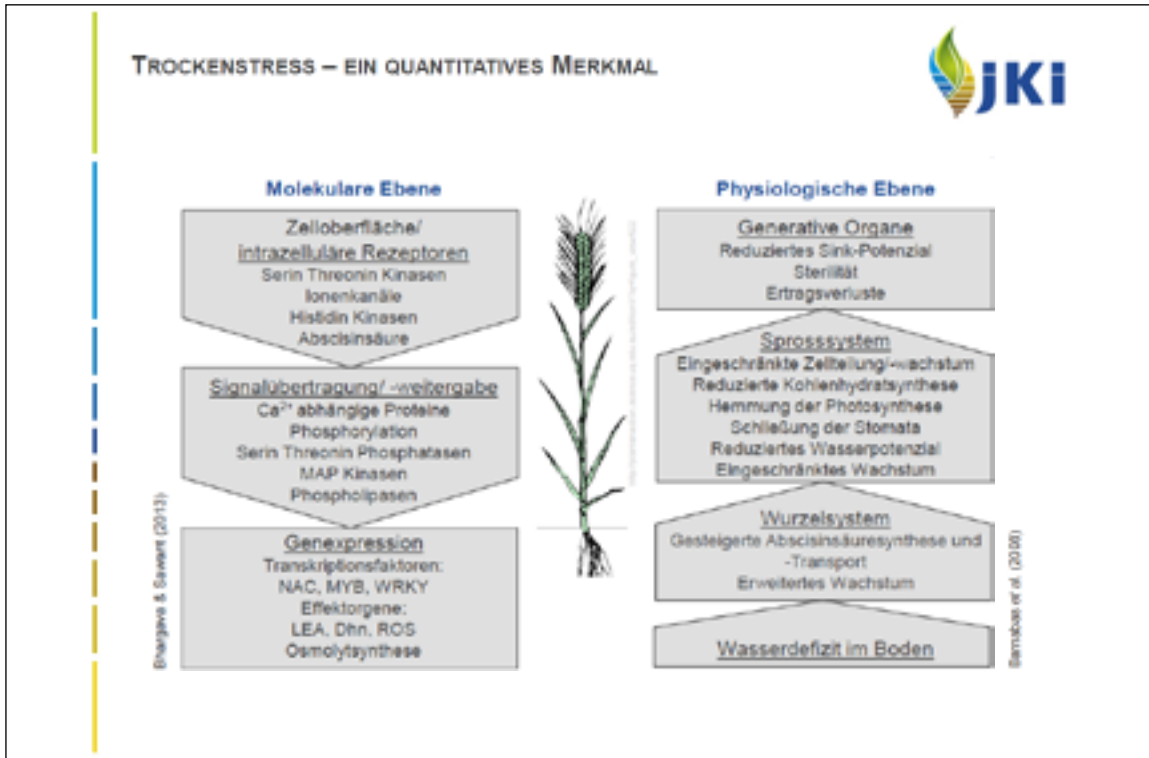
The International Barley Genome Sequencing Consortium



ARTICLE

A chromosome conformation capture ordered sequence of the barley genome





Nutzung verwandter Arten zur Verbesserung der Trockenstresstoleranz
















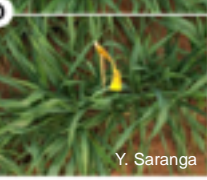


In Rehovot
Prof. Dr. Saranga
(Coordinator)

In Haifa
Dr. Tamar Krugman

Nutzung verwandter Arten zur Verbesserung der Trockenstresstoleranz

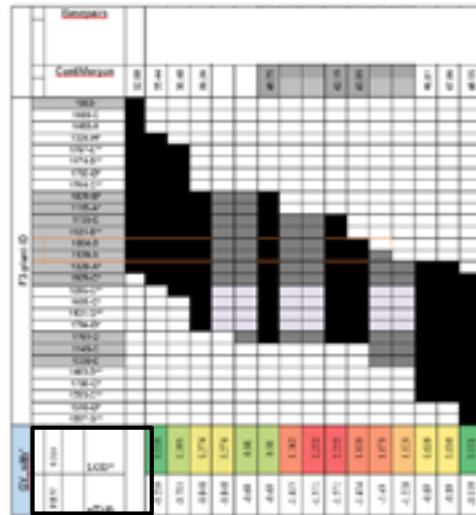
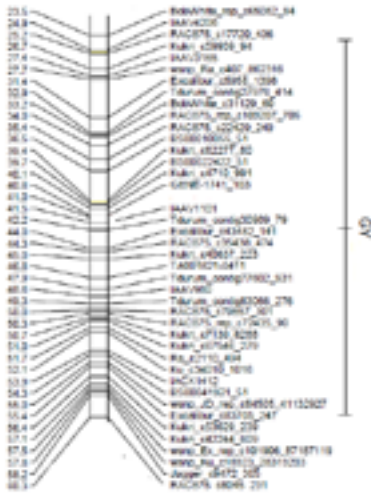



				
	cv. BarNir	NIL-B-7A-2	cv. Uzan	NIL-U-2B-1
WW				
WL				

Y. Saranga

Pictures of typical experimental plots of recurrent parents and their derivative NILs (B–D) under the well-watered (WW) and water limited (WL) treatments

Nutzung verwandter Arten zur Verbesserung der Trockenstresstoleranz



Deblieck et al. (in Vorbereitung)

- 3 cM
- 13.71 Mb
- 156 Gene

Mykorrhizierung und Trockenstresstoleranz



Phänotypisierung

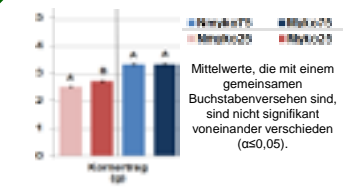
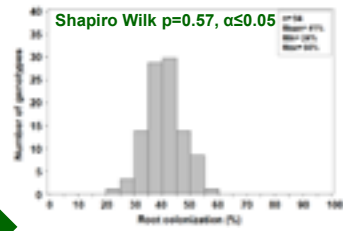
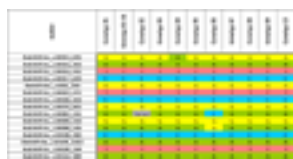


Myko N-myko



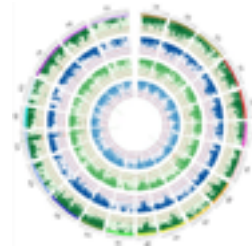
MWK 25%

Genotypisierung

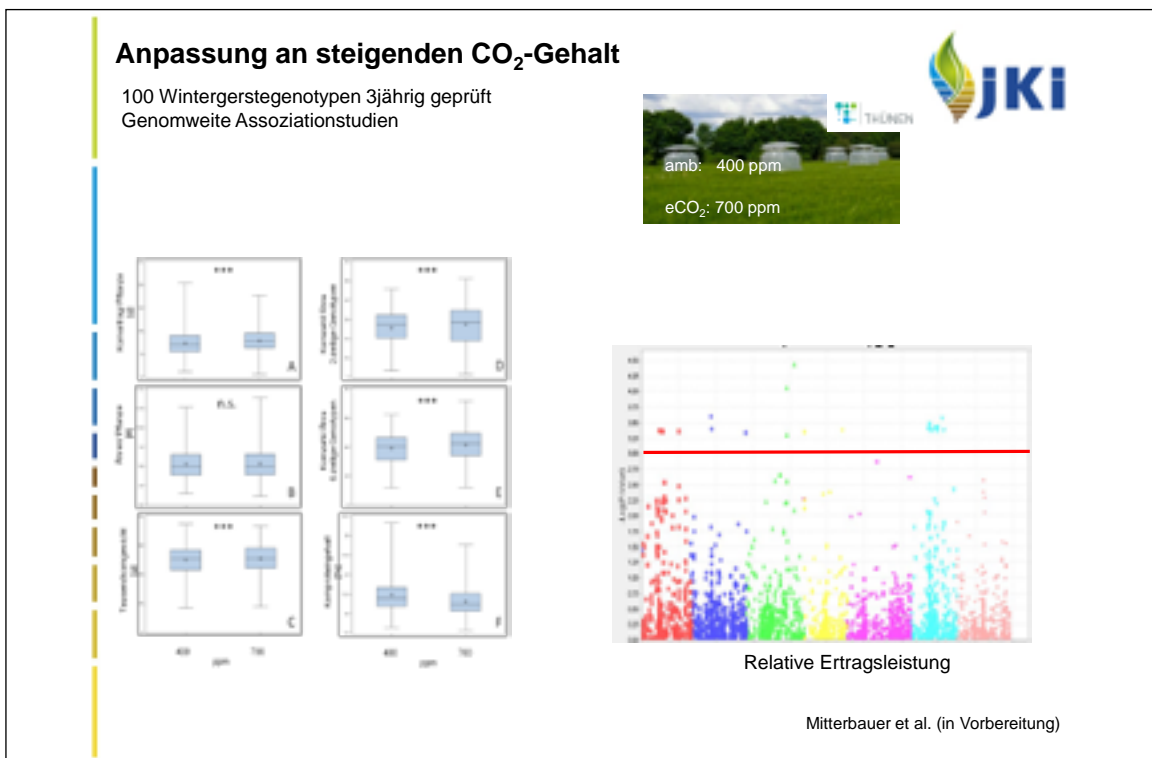
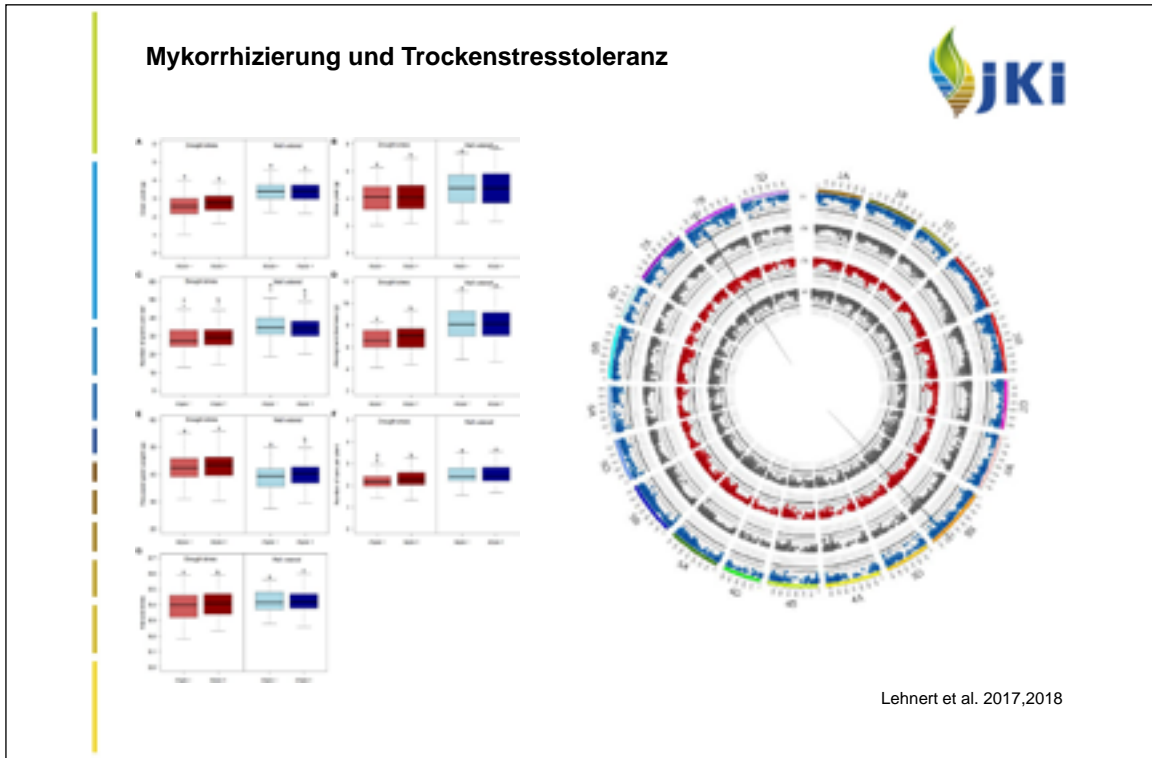


Mittelwerte, die mit einem gemeinsamen Buchstaben versehen sind, sind nicht signifikant voneinander verschieden ($\alpha=0,05$).

GWAS



Lehnert et al. 2017,2018



Neue Kulturarten Ausweitung des Sojaanbaus nach Norden



Klimawandel

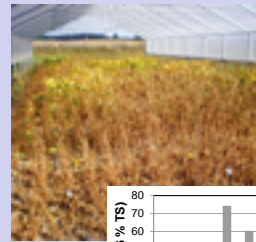
Anstieg der Temperaturen kommt dem Wärmebedarf von Soja entgegen, aber entsprechend dem Breitengrad sind Kältstressereignisse in der Blütezeit möglich

Veränderte Niederschlagsmuster können zu häufigeren Trockenstressperioden in der Vegetationszeit führen

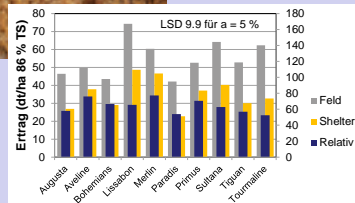
Kältetoleranz



Trockentoleranz



Trockenstressversuche im Rain-out-Shelter zeigen deutliche Variabilität in der Stressreaktion der untersuchten Genotypen



C. Balko

Schaderreger und Klimawandel



Insektenübertragene Viren: TuYV, BYDV, WDV

- Verbot der Saatgutbeizung mit Neonicotinoiden
- Zunehmende Resistenz der Virusüberträger gegenüber insektiziden Wirkstoffen
- Klimatische Veränderungen, insbesondere Temperaturerhöhung im Herbst / Winter
 - längeres Infektionsgeschehen im Herbst (z. B. BYDV)
 - anholozyklische Überwinterung (Blattläuse)
 - kürzere Winterpause (Blattläuse, Zikaden)
 - starke Vermehrung ⇒ große Populationen
- Veränderungen im Ackerbau, u.a. reduzierte Bodenbearbeitung

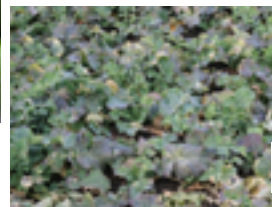
Wasserrübenvergilbungsvirus (TuYV) - eine Gefahr für den Rapsanbau?

Fischer et al., Raps 1/2017



E. Schilphake, JKI

WDV



E. Schilphake, JKI


TuYV

TuYV-Virus oder Nährstoffmangel?

diz agarmagazin, August 2016

Ein Massenaufreten von Blattläusen im Herbst 2015 und 2016 hat den Wasserrübenvergilbungsvirus im Raps wieder in den Fokus gerückt.
Hermann Krauß/agrarheute, 14.07.2017

Schaderreger und Klimawandel



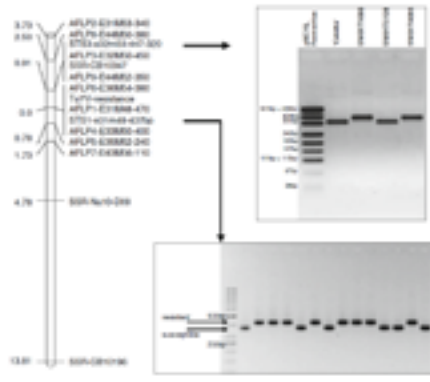
Theor Appl Genet (2009) 120:725–744
DOI 10.1007/s00149-009-1106-z

ORIGINAL PAPER


Genetic analyses of the host-pathogen system Turnip yellow virus (TuYV)—rapeseed (*Brassica napus* L.) and development of molecular markers for TuYV-resistance

Miquel Jaegerow · Claudia Fritsch · Inna Krümer · Marc Zula · Frank Rahmetov · Jörg Schombauer · Edgar Schliephake · Raf Saadoun · Wolfgang Fehrl · Frank Orban

Fig. 4 Genetic linkage of 9 AFLP markers, 2 STS markers and 3 SSR markers with the TuYV resistance locus, calculated on the basis of 111 SSR lines. The numbers represent the genetic distance from the resistance locus in centimorgans



Zusammenfassung und Ausblick



-Sequenzinformation
-omics Technologien

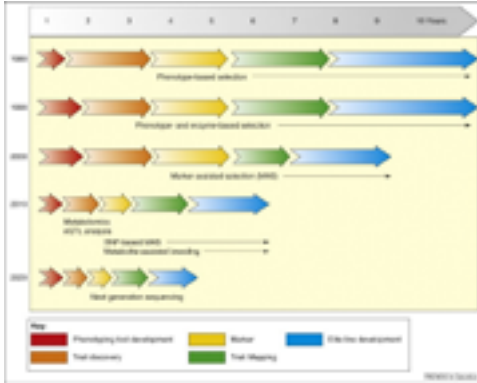
↓

**Identifikation von Genen
bzw. Netzwerken**

↓

**Erfassung der allelischen
Diversität und deren Wirkung**

↓



Fernie, A.R., N. Schauer, 2008: Trends in Genetics 25, 39-48

Pflanzenzüchtungsforschung und Pflanzenzüchtung können einen entscheidenden Beitrag zur Anpassung unserer Kulturpflanzen an sich verändernde Produktionsbedingungen (Klimawandel) und damit zur Ernährungssicherung und zur Bioökonomie leisten. Entsprechende Sorten bilden die Grundlage für pflanzenbauliche Optimierungen zukünftiger Produktionsverfahren und damit zur Bewältigung zukünftiger Herausforderungen

Danke



Dr. Gwendolin Wehner

Dr. Esther Mitterbauer

Dr. Christine Riedel

Dr. Monique Jürgens

Dr. Antje Habekuss

Heike Lehnert

Mathieu Deblieck



Anpassungsbedarf im Pflanzenschutz – Klimatrends und Handlungsoptionen

SANDRA KRENGEL, BETTINA KLOCKE, BURKHARD GOLLA

Julius Kühn-Institut, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow

1 Einleitung

Klimaänderungen wie die Zunahme der Jahresmitteltemperaturen oder die Umverteilung von Niederschlägen und eine Zunahme von Extremwetter und -ereignissen wie Dürre- und Hitzeperioden oder Starkniederschläge bringen auch neue Herausforderungen im Bereich des Pflanzenschutzes mit sich. Es gilt Strategien zu entwickeln, die vorbeugende und kurative Maßnahmen (u. a. kulturtechnisch, biologisch und chemisch) so kombinieren, dass möglichst widerstandsfähige Kulturpflanzenbestände entstehen und einem Befall mit Schaderregern bestmöglich entgegengewirkt wird. Erschwert wird die Entwicklung solch klimaangepasster Strategien nicht zuletzt durch die derzeit noch bestehenden Unsicherheiten der Klimaprojektionen, fehlendes Wissen über mögliche Reaktion von Schaderregern und die hohe Variabilität der regionalen Ausprägungen des Klimawandels sowie betrieblicher und überbetrieblicher Strukturen. Dennoch lassen sich bereits heute einige übergeordnete Trends und Handlungsempfehlungen ableiten.

2 Herausforderungen für den Pflanzenschutz

Der Klimawandel kann sich direkt und indirekt auf den Pflanzenschutz auswirken. Eine direkte Beeinflussung findet auf die Schadorganismen, aber auch die Durchführbarkeit von Pflanzenschutzmaßnahmen statt. Indirekte Einflüsse entstehen insbesondere durch die Wirkung des Klimawandels auf die Kulturpflanzen, die Anbauverfahren und die Fruchtartenverteilung. Nicht nur die Wirksamkeit, das heißt das Potenzial zur Ertragssicherung des Pflanzenschutzes, sondern auch seine Intensität und potenzielle Umweltwirkungen werden vom Klima mit beeinflusst (Abb. 1).

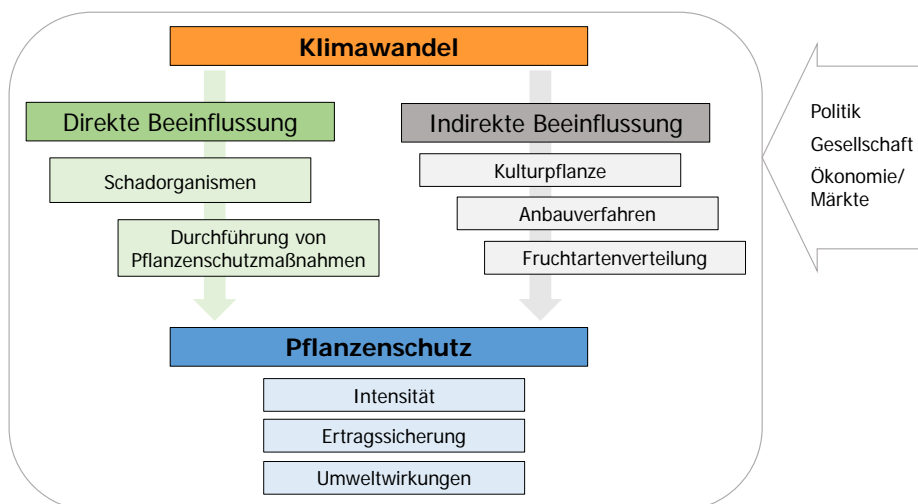


Abb. 1: Schema zum Einfluss des Klimawandels auf den Pflanzenschutz

Methoden zur Abschätzung der Auswirkungen des Klimawandels auf Schadorganismen

Die direkten Wirkungen des Klimawandels auf Schadorganismen lassen sich in drei Kategorien einteilen: a) Veränderungen im saisonalen Auftreten, b) Veränderungen in der Populationsdynamik und Epidemiologie sowie c) Veränderungen der geografischen Verbreitung. Durch diese Wirkungen kann es zu Verschiebungen in der Relevanz und Verbreitung bereits etablierter Arten, aber auch zum Auftreten neuer Arten, Rassen oder Genotypen kommen. Diese Veränderungen werden dazu führen, dass das existierende Erfahrungswissen zumindest teilweise seine Gültigkeit verlieren wird (Petercord 2008) und neue Strategien erforderlich werden. Grundlage solcher Strategien bilden Untersuchungen zur Wirkung des Klimawandels auf Schadorganismen. Diese können auf verschiedenen Methoden beruhen. So können Langzeitdaten zum Schaderregerauftreten aus Versuchen oder Monitorings mit Wetterdaten verknüpft werden, um funktionale Zusammenhänge abzuleiten (Jahn et al. 1996, Kluge et al. 1999, Stöbel et al. 2013), die mit Klimaprojektionsdaten verschnitten werden können. Darüber hinaus können in Labor- und Klimakammerversuchen wichtige Erkenntnisse zur Wirkung von Klimavariablen auf Schadorganismen gesammelt werden, die zum Beispiel in Simulations- und Prognosemodellen Verwendung finden. Neben den genannten Untersuchungen lassen sich auch durch das Zusammenführen aktueller Studienergebnisse Rückschlüsse auf potenzielle, klimawandelbedingte Änderungen in der Relevanz von Schaderregern ableiten (Juroszek und von Tiedemann 2013).

Zu beachten ist jedoch, dass all diese Aussagen mit Unsicherheiten behaftet sind und deshalb oft nur qualitative Annahmen zur künftigen Relevanz von Schaderregern getroffen werden können. Zudem ist die Abschätzung zukünftiger Rahmenbedingungen im Pflanzenschutz schwierig (u. a. züchterischer Fortschritt, Verfügbarkeit neuer Verfahren und gesetzliche Änderungen z. B. bei der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln), sodass in der Regel nur Szenarien bereitgestellt werden können.

Einflussfaktoren und Trends

Die direkten Auswirkungen des Klimawandels auf pilzliche, viröse und bakterielle Schadorganismen und Krankheiten hängen ganz wesentlich von der Biologie der einzelnen Organismen ab (u. a. Klimaansprüche, Lebenszyklus und -weise). Für ein und denselben Schadorganismus ist durchaus eine Kombination aus fördernden und hemmenden direkten Einflüssen des Klimawandels möglich und die Befallsentwicklung kann auch zukünftig regional und jahresabhängig erheblich schwanken. Folgende Trends sind derzeit für das Krankheitsauftreten abschätzbar (Jahn et al. 1996, von Tiedemann 1996, Glauning und Kersebaum 2009, Volk et al. 2010, Racca et al. 2012, Juroszek und von Tiedemann 2013, Stöbel et al. 2013):

- Verbesserung Überwinterungsbedingungen durch milde Winter (z. B. *Puccinia* spp., *Blumeria* spp.)
- Begünstigung von Erregern mit hohen Temperaturansprüchen im Sommer (z. B. *Puccinia graminis*, *Alternaria solani*)
- vermehrte Übertragung von Viren (z. B. BYDV, TuYV) durch Verbesserung der Lebensbedingungen ihrer Vektoren
- Etablierung neuer wärmeliebender Schaderreger bzw. Rassen/Genotypen (z. B. *Xylella fastidiosa*, *Flavescence dorée*)
- ungünstige Infektionsbedingungen durch abnehmende Niederschlagsmengen im Frühjahr und Sommer (u. a. *Botrytis* spp., *Blumeria* spp., *Alternaria* spp.)
- Abnahme von Erregern mit Anspruch auf längere Feuchtephasen im Sommer (z. B. *Septoria infestans*, *Phytophthora infestans*)

Da die Mehrzahl tierischer Schaderreger poikilotherm ist, werden diese besonders stark durch Temperaturveränderungen sowie durch eine veränderte Luft- und Bodenfeuchte beeinflusst (insbesondere Überwinterungserfolg). Nach Harrington und Woiwod (1995) liegen die derzeitigen Temperaturen in Mitteleuropa oft noch unterhalb der artspezifischen Optima. Derzeit ist von folgenden Trends im Schädlingsauftreten auszugehen (Harrington und Woiwod 1995, Jahn und Freier 2001, Glauninger und Kersebaum 2009, Vidal 2010, Lehrke 2011, Krengel et al. 2014, Seidel 2017):

- höhere Reproduktionsraten durch höhere Temperaturen von Frühjahr bis Herbst (z.B. Tetranychidae, *Psylliodes chrysocephala*, *Delia radicum*, *Leptinotarsa decemlineata*, *Psila rosae*)
- höhere Anzahl Generationen pro Befallssaison (z.B. *Ostrinia nubilalis*, *Agriotes* spp.)
- gesteigerter Überwinterungserfolg, verstärkte Lebendüberwinterung und früherer Befall durch hypogäisch überwinterrnde Arten auf Grund milderer Winter (z.B. Aphidoidea, *Ceuthorrhynchus napi*)
- Etablierung gebietsfremder wärmeliebender Arten (z.B. *Diabrotica virgifera*, *Drosophila suzukii*, *Anoplophora glabripennis*)
- geringerer Überwinterungserfolg epigäisch überwinterrnder Arten durch mildere und feuchtere Winter (z.B. *Meligethes aeneus*)
- geringere Reproduktion bzw. Befallsdepression durch Hitzephasen im Sommer

Zur direkten Wirkung des Klimawandels auf Unkräuter und -gräser liegt bislang ein vergleichsweise geringer Wissensstand vor (Schaller und Weigel 2007, Glauninger und Kersebaum 2009, Stratonovitch et al. 2012). Ihre kurze Generationsfolge ermöglicht eine schnelle Anpassung an neue Klimabedingungen. Es ist davon auszugehen, dass C4-Unkräuter durch ihre gute Anpassung an heiße und trockene Witterung und bessere Wassernutzungseffizienz an Bedeutung gewinnen können. C3-Pflanzen können hingegen bei ausreichender Wasserverfügbarkeit den CO₂-Anstieg besser nutzen. Grundsätzlich profitieren die Pflanzen, welche unter veränderten Klimabedingungen eine erhöhte Biomasseproduktion aufweisen und somit an Konkurrenzstärke gegenüber anderen Pflanzen gewinnen (u. a. *Cassia tora*, *Amaranthus palmeri*, *Chenopodium album*). Alles in allem sind die Veränderungen im Auftreten von Unkräutern und -gräsern derzeit aber nur schwer abschätzbar. Es ist davon auszugehen, dass sich die Artenzusammensetzung wahrscheinlich verändern wird und wärmeliebende, trockentolerante Arten an Bedeutung gewinnen. Arten mit schlechterer Wassernutzungseffizienz und geringer Hitzetoleranz hingegen könnten in ihrer Relevanz sinken.

Die Durchführung von Pflanzenschutzmaßnahmen kann ebenfalls direkt vom Klimawandel beeinflusst werden. So können ungeeignete Witterungsbedingungen und/oder Extremwetter Einschränkungen in der Durchführbarkeit und Effektivität von Verfahren nach sich ziehen. Bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln hängen diese insbesondere von der Temperaturstabilität der Mittel ab. Darüber hinaus droht durch Starkregen die Gefahr der Abwaschung von Spritzbelägen oder Verdünnung. In Reaktion auf diese Änderungen kann eine Adaptation der verwendeten Verfahren u. a. durch angepasste Terminierung der Pflanzenschutzmaßnahmen notwendig werden.

Eine indirekte Beeinflussung des Befallsdrucks und des Pflanzenschutzes durch den Klimawandel ist über die Kulturpflanzen zu erwarten. So kann die Sorte den Effekt des Klimawandels beeinflussen (insbesondere Resistenz- und Toleranzeigenschaften sowie morphologische und physiologische Reaktionen der Wirtspflanzen). Auch der Grad der vorangegangenen Stressung durch ungünstige Witterung kann die Prädisposition der Wirtspflanze für den Befall mit Schaderregern beeinflussen und zu einer Verringerung der Abwehrfunktionen und Konkurrenzkraft oder sogar Anlockung führen (z.B. Borkenkäfer). Mechanische Schäden, beispielsweise durch Hagel verursacht, können Eintrittspforten für Erreger schaffen und eine biotische Sekundärinfektion nach

sich ziehen. Auch die sorten- und witterungsbedingte Phänologie kann entscheidenden Einfluss auf das Erreichen befallsgefährdeter Wachstumsphasen und damit den Befallsdruck haben. Da die verschiedenen Kulturpflanzen sehr unterschiedlich reagieren, sind negative wie positive Beeinflussungen des Befallsgeschehens möglich.

Klimawandelbedingte Anpassungen des Anbauverfahrens können ebenfalls mit dem Pflanzenschutz und seiner Anpassung an den Klimawandel interagieren, woraus sich Synergien, aber auch Zielkonflikte ergeben. Wichtige Faktoren sind hierbei die Fruchtfolge (Steigerung oder Senkung Anbaukonzentration, Anbaupausen), die Sortenwahl, das Nährstoffmanagement (u. a. Biomassezuwachs, Nährstoffgehalte/-konzentration) und die Bodenbearbeitung (z. B. Erosionsschutz und Wasserhaltevermögen vs. Infektionspotenzial).

Auswirkungen auf die Intensität, die Wirksamkeit und Umweltwirkungen des Pflanzenschutzes

Letztlich ist nicht nur das Befallsgeschehen vom Klimawandel beeinflusst, sondern auch die Intensität, die Wirksamkeit und potenzielle Umweltwirkungen des Pflanzenschutzes. So können beispielsweise steigende Temperaturen den Abbau von Pflanzenschutzmitteln in der Umwelt verändern oder Starkregenereignisse zum Austrag von Pflanzenschutzmitteln führen. Die Intensität ist unter anderem maßgeblich vom Befallsdruck, dem Anbauverfahren und auch der Anbaukonzentration innerhalb eines Agrarraumes abhängig. Eine Betrachtung und Bewertung dieser Auswirkungen des Klimawandels ist sehr komplex und erfordert interdisziplinäre Forschungsansätze. Das Julius Kühn-Institut widmet sich seit Kurzem diesen und weiteren Fragestellungen in dem vom BMEL finanzierten Verbundprojekt OptAKlim (FKZ 281B203116).

3 Fazit

Die dargestellten Trends und Kenntnisse zur Wirkung des Klimawandels auf das zukünftige Befallsgeschehen und den Pflanzenschutz zeigen, dass eine Verschiebung der Terminierung von Pflanzenschutzmaßnahmen zu erwarten ist. Gründe liegen unter anderem in der Verschiebung der Phänologie, der Schaderregerbiologie und Relevanz von Schadorganismen. Hinsichtlich der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln wird eine Anpassung der Wirkstoffspektren an die sich ändernden Problemstellungen unerlässlich sein. Ein gutes Resistenzmanagement trägt zum Erhalt vorhandener Wirkstoffe und Handlungsoptionen bei. Auch für den Pflanzenschutz gilt, dass eine gelungene Anpassung an den Klimawandel eine Risikostreuung umfassen muss (u. a. Erweiterung Sortenspektren, Fruchtfolgen, Vermarktungswege) und über vorbeugende Maßnahmen (u. a. Anpassung Sortenwahl, Anbauverfahren, Nährstoffmanagement) einem Befall bestmöglich entgegengewirkt werden sollte. Nicht zuletzt kommt vor dem Hintergrund des Klimawandels auch der Schaderregerüberwachung eine immer größere Bedeutung zu, um Gefahren frühzeitig erkennen und managen zu können. Dafür müssen Überwachungsmethoden angepasst und weiterentwickelt werden (u. a. Bekämpfungsschwellen, Bekämpfungszeitpunkte, neue/veränderte Schaderregerspektren). Politik, Forschung und Praxis müssen diese Herausforderungen und Chancen annehmen und ihnen gemeinsam begegnen.

Literatur

- Glauning, J.; Kersebaum, K. C. (2009): Auswirkungen von Klimaveränderungen auf biogene Schadfaktoren. In: Hg. Eitzinger, J.; Kersebaum, K. C.; Formayer, H.: Landwirtschaft im Klimawandel – Auswirkungen und Anpassungsstrategien für die Land- und Forstwirtschaft in Mitteleuropa, Clenze, S. 136–159
- Harrington, R.; Woiwod I. P. (1995): Insect crop pests and the changing climate. *Weather* 50, pp. 200–208
- Jahn, M.; Freier, B. (2001): Changes in the occurrence of plant diseases, pests and beneficials. In: *Climate of the 21st century: chances and risks*, Hg. Lozan, J. L.; Grassl, H.; Hupfer, P., Hamburg, pp. 307–310
- Jahn, M.; Kluge, E.; Enzian, S. (1996): Influence of climate diversity on fungal diseases of field crops – evaluation of long-term monitoring data. *Aspects of Applied Biology* 45, pp. 247–252
- Juroszek, P.; von Tiedemann, A. (2013): Climate change and potential future risks through wheat diseases: A review. *European Journal of Plant Pathology* 136, pp. 21–33
- Kluge, E.; Enzian, S.; Gutsche, V. (1999): Befallsatlas – Atlas der potentiellen Befallsgefährdung durch wichtige Schadorganismen im Ackerbau Deutschlands. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin und Braunschweig
- Krengel, S.; Klocke, B.; Seidel, P.; Freier, B. (2014): Veränderungen im Auftreten von Pflanzenkrankheiten, Schädlingen und deren natürlichen Gegenspielern. In: *Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen*, Hg. Lozán, J. L.; Grassl, H.; Karbe, I.; Jendritzky, G., Hamburg
- Lehrke, U. (2011): Nematoden: Bald nur noch tolerante Sorten. *Top agrar* 2, S. 50–53
- Petercord, R. (2008): Waldschutz und Klimawandel – „Wettlauf“ mit den Schädlingen? *LWF Wissen* 63, S. 61–69
- Racca, P.; Richerzhagen, D.; Kuhn, C.; Kleinhenz, B.; Hau, B. (2012): Einfluss des Klimawandels auf die Ontogenese und die Blattkrankheiten Mehltau (*Blumeria graminis*), Braunrost (*Puccinia triticina*) und DTR (*Drechslera tritici-repentis*) in Winterweizen in Niedersachsen. *Julius-Kühn-Archiv* 438, S. 135–136
- Schaller, M.; Weigel, H.-J. (2007): Analyse des Sachstands zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft* 316
- Seidel, P. (2017): Klimawandel als neue Herausforderung für die Modellierung von Pflanzen und Schaderregern – eine kritische Betrachtung. *Gesunde Pflanze* 69, S. 1–14
- Stöbel, B.; Freier, B.; Wechsung, F. (2013): Study on the influence of weather periods on the occurrence of leaf rust and powdery mildew in winter wheat using an interval-based correlation approach. *Journal für Kulturpflanzen* 65, S. 315–327
- Stratonovitch, P.; Storkey, J.; Semenov, M. A. (2012): A process-based approach to modelling impacts of climate change on the damage niche of an agricultural weed. *Global Change Biology* 18, pp. 2.071–2.080
- Vidal, S. (2010): Die Schädlings-Armada marschiert gen Norden. *topagrar* 1, S. 54–55
- Volk, T.; Epke, K.; Gerstner, V.; Leuthner, C.; Rotterdam, A.; Johnen, A.; von Richthofen, J. S. (2010): Klimawandel in Nordrhein-Westfalen – Auswirkungen auf Schädlinge und Pilzkrankheiten wichtiger Ackerbaukulturen. Münster. https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/klimaanpassung/dokumente/bericht_klimawandel_schaedlinge.pdf, Zugriff am 13.02.2019
- von Tiedemann, A. (1996): Global atmospheric and climatic change – what are the implications for plant protection? *Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst* 48, S. 73–79



Anpassungsbedarf im Pflanzenschutz

Trends und deren Implikationen für den zukünftigen Pflanzenschutz



Bilder: Krengel/Klocke/König/JKI

Sandra Krengel, Bettina Klocke & Burkhard Golla

Julius Kühn-Institut | Institut für Strategien und Folgenabschätzung | Kleinmachnow

Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel, Fachtagung KTBL am 20.03.2019 in Darmstadt, Institut für Strategien und Folgenabschätzung

www.julius-kuehn.de

Anpassungsbedarf im Pflanzenschutz Einleitung



Für den Pflanzenschutz relevante Änderungen im Zuge des Klimawandels:

- **Klimaänderungen**, z. B.
 - Zunahme Jahresmitteltemperatur
 - Umverteilung Niederschläge (↓ Sommer-NS & ↑ Winter-NS)
 - Anstieg CO₂- und O₃-Konzentration
- **Zunahme von Extremwetterlagen und -ereignissen**, z. B.
 - Dürreperioden und Hitzetage bzw. -perioden
 - Starkniederschläge
 - Stürme

Anpassungsfähigkeit
der Landwirtschaft
+



Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel, Fachtagung KTBL am 20.03.2019 in Darmstadt, Institut für Strategien und Folgenabschätzung

www.julius-kuehn.de



Anpassungsbedarf im Pflanzenschutz Einleitung

Für den Pflanzenschutz relevante Änderungen im Zuge des Klimawandels:

Entwicklung klimaangepasster Strategien problematisch, da

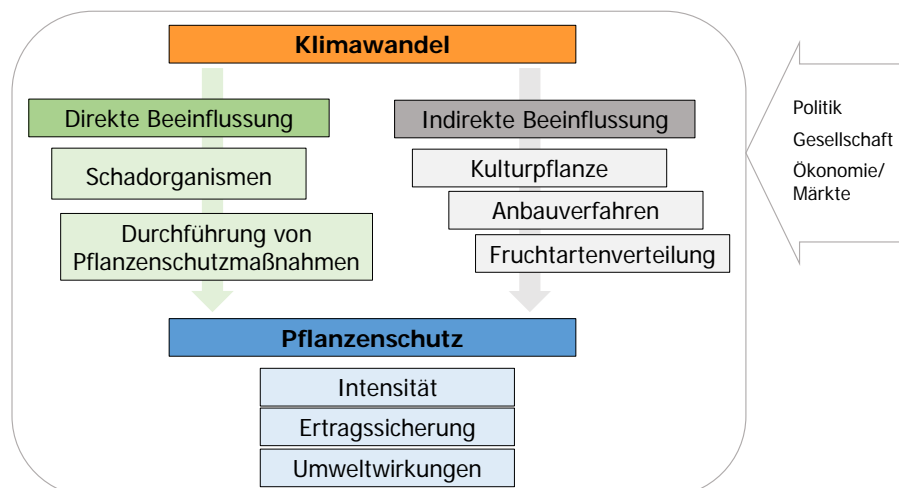
- Klimaprojektionen mit Unsicherheiten behaftet sind
- Reaktionen der Schaderreger nicht absehbar sind
- die regionale Ausprägung des Klimawandels und auch überbetriebliche sowie betriebliche Strukturen räumlich und zeitlich stark variieren können

Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel, Fachtagung KTBL am 20.03.2019 in Darmstadt, Institut für Strategien und Folgenabschätzung

www.julius-kuehn.de

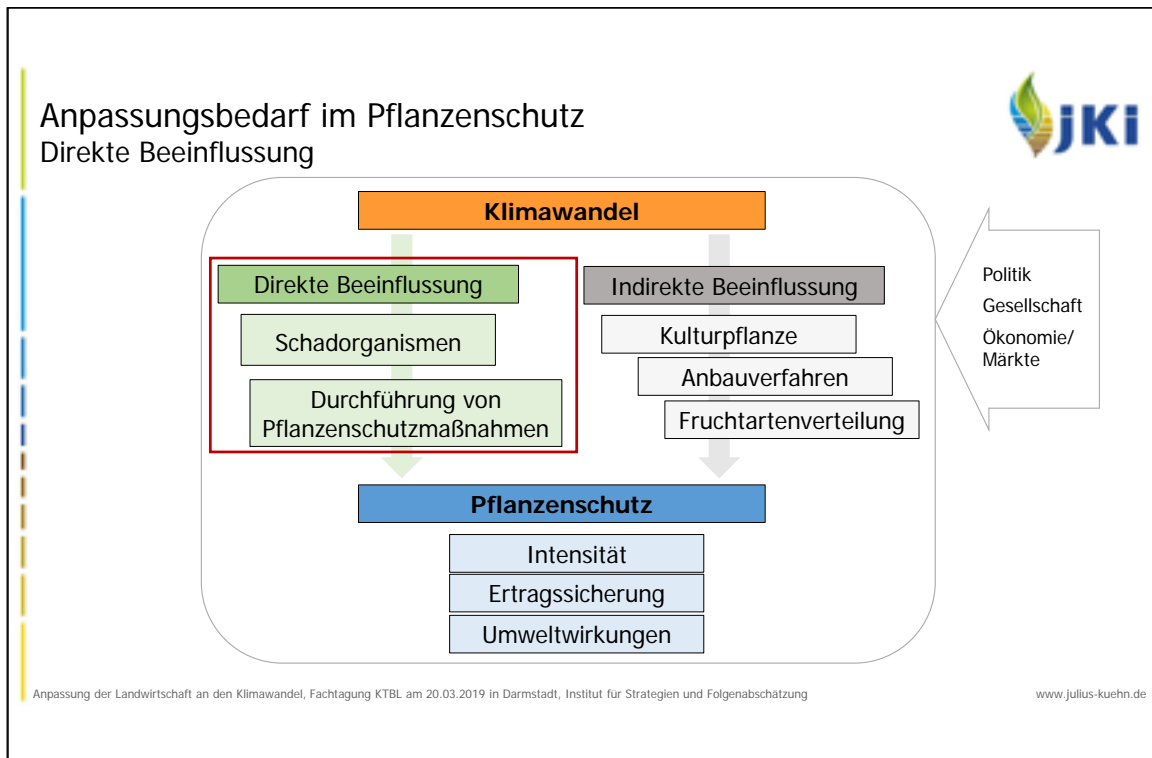


Anpassungsbedarf im Pflanzenschutz Einleitung | Einflüsse des Klimawandels auf den Pflanzenschutz



Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel, Fachtagung KTBL am 20.03.2019 in Darmstadt, Institut für Strategien und Folgenabschätzung

www.julius-kuehn.de



Direkte Beeinflussung

Schadorganismen | Auswirkungen allgemein

Bilder: Klocke/König/JKI

Veränderungen im saisonalen Auftreten

- Verschiebungen der Synchronitäten zwischen Lebenszyklen der Schadorganismen, ihrer Wirtspflanzen und natürlichen Gegenspieler

Veränderungen in der Populationsdynamik und Epidemiologie

- verändertes Überwinterungsverhalten (z. B. Lebendüberwinterung)
- schnellere Entwicklung und zusätzliche Generationen
- Verlängerung der Vegetations- und Befallssaison

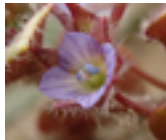
Veränderungen in der geografischen Verbreitung

- Ausbreitung und Verdrängung von Arten
- Etablierung und Verbreitung invasiver Arten
- Verschiebung innerhalb der relevanten Arten und Rassen
- Auftreten neuer Arten und Rassen

Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel, Fachtagung KTBL am 20.03.2019 in Darmstadt, Institut für Strategien und Folgenabschätzung www.julius-kuehn.de



Direkte Beeinflussung Schadorganismen | Auswirkungen allgemein



Bilder: Klocke/König/JKI

Veränderungen im saisonalen Auftreten

- Verschiebungen der Synchronitäten zwischen Lebenszyklen der Schadorganismen, ihrer Wirtspflanzen und natürlichen Gegenspieler

➔ Erfahrungen, Bekämpfungsrichtwerte und Empfehlungen müssen angepasst werden

- Ausbreitung und Verdrängung von Arten
- Etablierung und Verbreitung invasiver Arten
- Verschiebung innerhalb der relevanten Arten und Rassen
- Auftreten neuer Arten und Rassen

Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel, Fachtagung KTBL am 20.03.2019 in Darmstadt, Institut für Strategien und Folgenabschätzung

www.julius-kuehn.de



Direkte Beeinflussung Schadorganismen | Methoden zur Abschätzung der Auswirkungen

Verwendete Methoden

- Verknüpfung von Langzeitdaten zum Auftreten von Schadorganismen mit Wetterdaten (Sekundärdatenanalysen) und Ableitung funktionaler Zusammenhänge
- Labor- und Klimakammerversuche zur Biologie und Epidemiologie der Schadorganismen für z. B. Simulations- und Prognosemodelle
- Abschätzung möglicher Trends durch Zusammenführen aktueller Studienergebnisse (Reviews)



Bilder: Schober/Krengel/JKI

Quellen u.a. Harrington et al. (1995), von Tiedemann & Ulber (2008), Jahn & Freier (2001), Juroszek & von Tiedemann (2013), Krengel et al. (2014), Seidel (2017)

Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel, Fachtagung KTBL am 20.03.2019 in Darmstadt, Institut für Strategien und Folgenabschätzung

www.julius-kuehn.de

Direkte Beeinflussung

Trends | Pilzliche, viröse und bakterielle Schadorganismen und Krankheiten



- ↑ Getreideroste und Echter Mehltau durch milde Winter
- ↑ Erreger mit hohen Temperaturansprüchen im Sommer (z. B. Schwarzrost, Dürffleckenkrankheit)
- ↑ Übertragung von Virose durch Verbesserung Lebensbedingungen Vektoren (z. B. BYDV, TuYV)
- ↑ Etablierung neuer Schaderreger bzw. Rassen/Genotypen (z. B. Feuerbakterium, Gelbe Vergilbung)
- ↓ Infektionsbedingungen durch abnehmende Niederschlagsmengen im Frühjahr und Sommer (u.a. Grauschimmel, Echter Mehltau, Dürffleckenkrankheit)
- ↓ Erreger mit Anspruch auf längere Feuchtheiten im Sommer (z. B. Septoria-Blattdürre, Kraut- und Knollenfäule)

Quellen: u.a. Jahn et al. (1996), von Tiedemann (1996), Glauning & Kersebaum (2009), Volk et al. (2010), Racca et al. (2012), Juroszek und von Tiedemann (2013), Stöbel et al. (2013)

Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel, Fachtagung KTBL am 20.03.2019 in Darmstadt, Institut für Strategien und Folgenabschätzung

www.julius-kuehn.de

Direkte Beeinflussung

Trends | Pilzliche, viröse und bakterielle Schadorganismen und Krankheiten



↑ **wärmeliebende**
↓ **feuchteliebende**
Erreger und Krankheiten

Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel, Fachtagung KTBL am 20.03.2019 in Darmstadt, Institut für Strategien und Folgenabschätzung

www.julius-kuehn.de



Direkte Beeinflussung Trends | Tierische Schaderreger

- ↑ Reproduktionsraten durch höhere Temperaturen von Frühjahr bis Herbst (z. B. Spinnmilben, Großer Rapserrdfloh, Kleine Kohlflye, Kartoffelkäfer, Möhrenflye)
- ↑ Anzahl Generation pro Befallssaison (z. B. Maiszünsler, Drahtwurm)
- ↑ Überwinterungserfolg und Lebendüberwinterung unterirdisch überwinternder Arten durch mildere Winter (z. B. Blattläuse, Großer Rapsstängelrübler)
- ↑ Etablierung neuer, invasiver Arten (z. B. Westl. Maiswurzelbohrer, Kirschessigflye, Asiatischer Laubholzbockkäfer)
- ↓ Überwinterungserfolg oberirdisch überwinternder Arten durch mildere und feuchtere Winter (z. B. Rapsglanzkäfer)
- ↓ Reproduktion bzw. Befallsdepression durch zu geringe Luftfeuchte und Hitzephasen im Sommer

Quellen: u.a. Harrington & Woiwod (1995), Jahn & Freier (2001), Glauning & Kersebaum (2009), Vidal (2010, 2011), Lehrke (2011), Krengel et. al (2014), Seidel (2017)

Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel, Fachtagung KTBL am 20.03.2019 in Darmstadt, Institut für Strategien und Folgenabschätzung

www.julius-kuehn.de



Direkte Beeinflussung Trends | Tierische Schaderreger

↑ wärmeliebende Arten
(z. B. Spinnmilben, Schildläuse, Wickler oder Nematoden)

Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel, Fachtagung KTBL am 20.03.2019 in Darmstadt, Institut für Strategien und Folgenabschätzung

www.julius-kuehn.de



Direkte Beeinflussung Trends | Unkräuter und Ungräser

- vergleichsweise geringer Wissensstand
 - Anpassung durch kurze Generationsfolge von Unkräutern und -gräsern
 - C4-Unkräuter: gute Anpassung an heiße und trockene Witterung, bessere Wassernutzungseffizienz
 - C3-Pflanzen: bessere Ausnutzung CO₂-Anstieg
- ↑ Ausbreitung durch höhere Temperaturen (z. B. Ackerfuchsschwanz)
- ↑ Biomasseproduktion und Konkurrenzkraft durch höhere Temperaturen möglich, insb. C4-Pflanzen (u. a. Palmer Amaranth, Gemüsekassie, Weißer Gänsefuß ggü. Soja und Zuckerrübe)
- ↑ Bildung zusätzlicher Generationen
- ↓ Biomasseproduktion und Konkurrenzkraft, insb. durch Rückgang Niederschläge im Frühjahr und Sommer (z. B. Ackerfuchsschwanz)

Quellen u.a. Schaller und Weigel (2007), Glauning & Kersebaum (2009), Stratonovitch et al. (2012), Seidel (2012)

Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel, Fachtagung KTBL am 20.03.2019 in Darmstadt, Institut für Strategien und Folgenabschätzung

www.julius-kuehn.de



Direkte Beeinflussung Trends | Unkräuter und Ungräser

- ↑ **wärmeliebende und trockentolerante Arten**
- ↓ **Arten mit schlechter Wassernutzungseffizienz und geringer Hitzetoleranz**

Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel, Fachtagung KTBL am 20.03.2019 in Darmstadt, Institut für Strategien und Folgenabschätzung

www.julius-kuehn.de



Direkte Beeinflussung Durchführung von Pflanzenschutzmaßnahmen

Ungeeignete Witterung und/oder Extremwetter

- Einschränkungen in der Anwendbarkeit durch z. B. Hitze oder Starkniederschlag

Änderung Wirksamkeit/Wirkdauer

- Temperaturstabilität der Mittel und Gefahr Abwaschung oder Verdünnung
- u. a. veränderte Epidermisstruktur, Spaltöffnungen, Metabolismen

Verschiebung Anwendungszeitpunkte

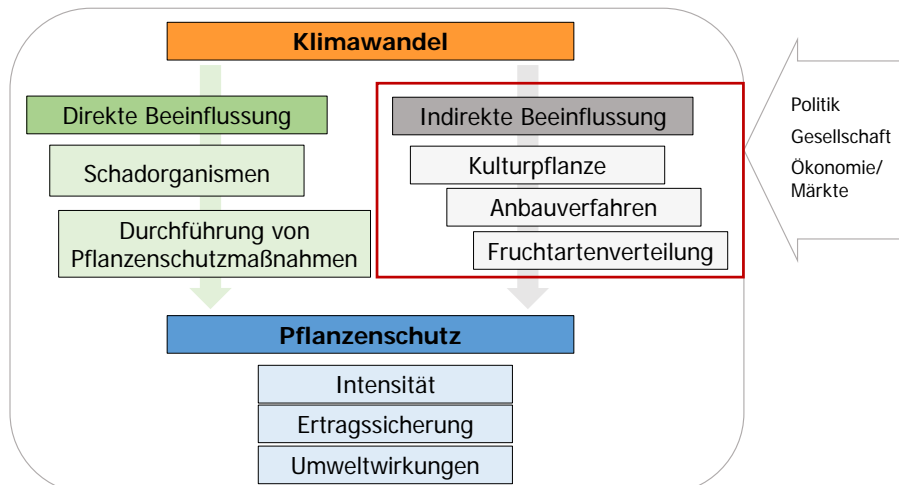
- zeitliche Verschiebung im Auftreten der Schaderreger und/oder veränderte Phänologie der Kulturpflanzen

Zusammenhang Temperatur und Anwendung Pflanzenschutzmittel



Quelle: www.hortipendium.de/Insektizid [nach dem Original von Dr. Frank Burghause (LPP Mainz)]

Anpassungsbedarf im Pflanzenschutz Indirekte Beeinflussung



Indirekte Beeinflussung Kulturpflanze

Sorten

- Resistenz- und Toleranzeigenschaften
- morphologische und physiologische Reaktionen der Wirtspflanzen

Prädisposition der Wirtspflanze

- Verringerung der Abwehrfunktionen und Konkurrenzkraft, Anlockung

Sekundärinfektion

- Eintrittspforten für Erreger

Phänologie

- Veränderter Zeitpunkt des Erreichens befallsgefährdender Phasen

ABER: Kulturpflanzen reagieren sehr unterschiedlich → negative, aber auch positive Beeinflussung des Befallsgeschehens möglich

Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel, Fachtagung KTBL am 20.03.2019 in Darmstadt, Institut für Strategien und Folgenabschätzung



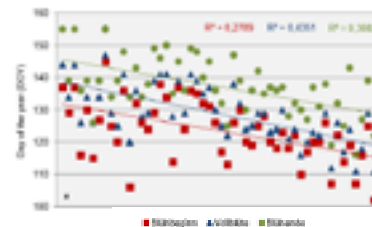
Bsp. Borkenkäferbefall



Quelle: pixabay

Quelle: pixabay

Bsp. Phänologie „Golden Delicious“ im Anbaubaugebiet Bodensee 1962 - 2014 (Daten: KOB, Krengel et al. 2015)



www.julius-kuehn.de

Indirekte Beeinflussung Anbauverfahren

Fruchtfolge

- Steigerung oder Senkung der Anbaukonzentration
- Anbaupausen

Sortenwahl

- Sorteneigenschaften

Nährstoffmanagement

- Nährstoffgehalte und -konzentration (z. B. Aminosäuren → Förderung Blattläuse)

Bodenbearbeitung

- Erosionsschutz und Wasserhaltevermögen vs. Infektionspotential

Synergien und Zielkonflikte möglich

Quellen u.a. Christen (2008), Eitzinger et al. (2009)

Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel, Fachtagung KTBL am 20.03.2019 in Darmstadt, Institut für Strategien und Folgenabschätzung



Bsp. Bodenbearbeitung – wendend und nicht-wendend



Bilder: König/JKI

www.julius-kuehn.de



Indirekte Beeinflussung Fruchtartenverteilung

Anbaukonzentrationen



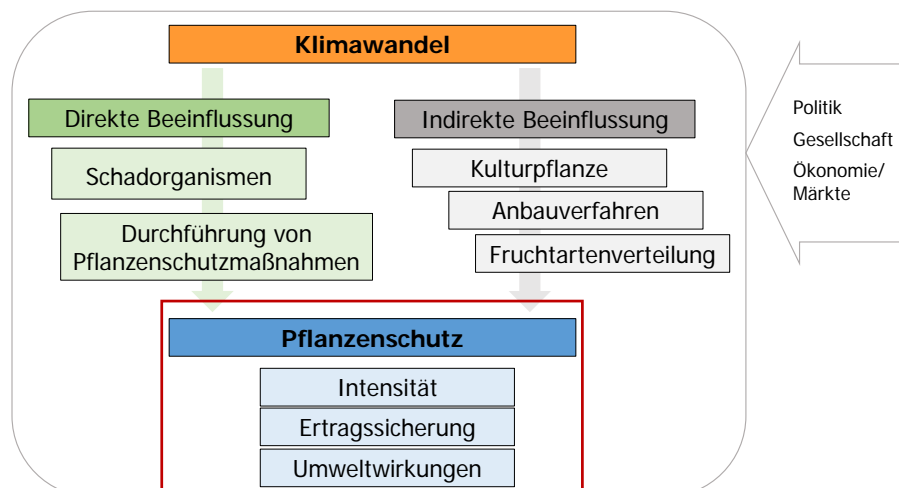
Quelle: dop20 vom BKG 2018 / Basis-DLM vom BKG 2018

- Infektions- und Befallsgefährdung durch Anbaukonzentration innerhalb einer Region

Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel, Fachtagung KTBL am 20.03.2019 in Darmstadt, Institut für Strategien und Folgenabschätzung

www.julius-kuehn.de

Anpassungsbedarf im Pflanzenschutz Pflanzenschutz



Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel, Fachtagung KTBL am 20.03.2019 in Darmstadt, Institut für Strategien und Folgenabschätzung

www.julius-kuehn.de



Anpassungsbedarf im Pflanzenschutz
Auswirkungen auf den Pflanzenschutz - Umweltwirkungen

Projekt (UBA): „Konsequenzen des Klimawandels für die Nachhaltigkeitsziele beim Pflanzenschutzmitteleinsatz“ (Auszug)

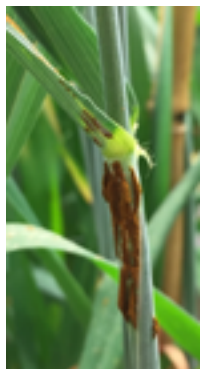
Ökologisches Risikopotential Winterweizen 2010 vs. 2050 SYNOPSIS-WEB

Folkenregionen Winter	Apfelsäure		Pflanzenschutz (Pflanzenschutz)		Nicht-Pflanzenschutz (Sonstige)		Grundbesitzer	
	2010	2050	2010	2050	2010	2050	2010	2050
Spätherbste 2010 + Klima 2010								
Faktor	0,079117	2,775526	0,010274	0,001183	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Faktor	0,000000	2,775526	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Faktor	0,000000	2,775526	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Faktor	0,000000	2,775526	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Summe	0,079117	2,775526	0,010274	0,001183	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Spätherbste 2050 + Klima 2050								
Faktor	0,079104	4,220896	0,010274	0,001183	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Faktor	0,000000	4,220896	0,000000	0,001183	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Faktor	0,079104	4,220896	0,000000	0,001183	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Faktor	0,000000	4,220896	0,000000	0,001183	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Summe	0,079104	4,220896	0,010274	0,001183	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Relative Bewertung	0,000000	1,507106	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Relative Bewertung	0,00 %	50,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %

Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel, Fachtagung KTBL am 20.03.2019 in Darmstadt, Institut für Strategien und Folgenabschätzung

www.julius-kuehn.de

Anpassungsbedarf im Pflanzenschutz
Zusammenfassung & Fazit

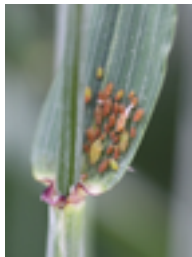


- für einzelne Arten und Schaderreger liegen zum Teil gute Erkenntnisse zur Wirkung des Klimawandels vor
 - die verschiedenen Effekte können synergistisch, hemmend oder auch ausgleichend sein
 - Wirkungen auf ganze Systeme und etwaige Verschiebungen sind schwer abzuschätzen
 - lokale Ausprägungen noch sehr ungewiss und von vielen Faktoren beeinflusst
- ➔ **allgemeingültige Strategien für den Pflanzenschutz im Klimawandel wird es nicht geben, aber übergeordnete Trends und „Regeln“ ableitbar**

Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel, Fachtagung KTBL am 20.03.2019 in Darmstadt, Institut für Strategien und Folgenabschätzung

www.julius-kuehn.de

Anpassungsbedarf im Pflanzenschutz Zusammenfassung & Fazit



- Verschiebung der Wirkstoffspektren und optimaler Anwendungszeiträume
- Risikostreuung → u. a. Erweiterung Sortenspektren, Fruchtfolgen
- vorbeugende Maßnahmen → Anpassung Sortenwahl, Anbauverfahren, Nährstoffmanagement
- angepasstes Monitoring → neue Zeitpunkte, neue und veränderte Schaderregerspektren
- Resistenzmanagement → Erhalt von Wirkstoffen

Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel, Fachtagung KTBL am 20.03.2019 in Darmstadt, Institut für Strategien und Folgenabschätzung

www.julius-kuehn.de



**Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit**

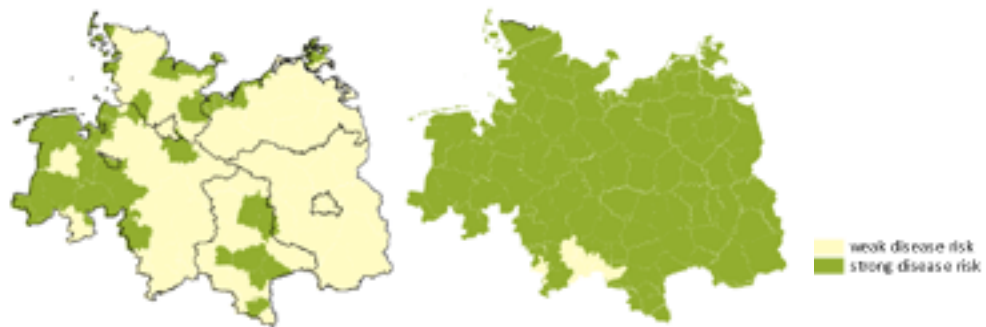
Direkte Beeinflussung
Schadorganismen | Beispiel Sekundärdatenanalyse & Modellierung



Jahn et al. (1996): Braunrost des Winterweizens
(Auszug)

normale Bedingungen

+ 1 K



Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel, Fachtagung KTBL am 20.03.2019 in Darmstadt, Institut für Strategien und Folgenabschätzung

www.julius-kuehn.de

Direkte Beeinflussung
Schadorganismen | Beispiel Sekundärdatenanalyse & Modellierung



Kluge et al. (1999): „Atlas der potentiellen Befallsgefährdung durch wichtige Schadorganismen im Ackerbau Deutschlands“
(Auszug)



<http://geoportal.julius-kuehn.de/index.htm>

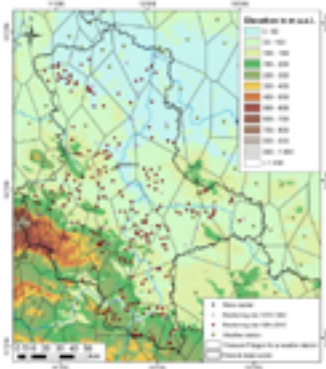
Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel, Fachtagung KTBL am 20.03.2019 in Darmstadt, Institut für Strategien und Folgenabschätzung

www.julius-kuehn.de

Direkte Beeinflussung Schadorgansimen | Beispiel Sekundärdatenanalyse & Modellierung

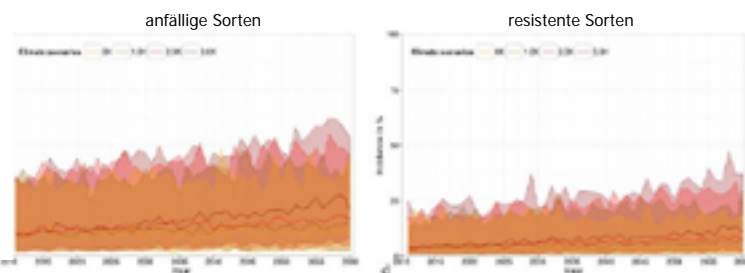


Projekt: „Weather-disease relationships and future disease potential of leaf rust and powdery mildew in Saxony-Anhalt“ (PIK & JKI / 2011 - 2013) (Auszug)



Projektion Befallsstärke Braunrost in Abhängigkeit von der Sortenresistenz (2011 – 2060)

Projektion Befallsstärke bei Szenarien: + 0 K, + 1 K, + 2 K, + 3 K



Quellen: Stöbel (2013), Stöbel et al. (2013)

Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel, Fachtagung KTBL am 20.03.2019 in Darmstadt, Institut für Strategien und Folgenabschätzung

www.julius-kuehn.de

Direkte Beeinflussung Schadorgansimen | Methoden zur Abschätzung der Auswirkungen



- Datenquantität und –qualität heterogen
- Modellgüte und verwendete Szenarien heterogen
- Anpassung der Modelle notwendig (z. B. neue Rassen oder Sorten)
- Schaderregermodelle nicht mit Pflanzenmodellen gekoppelt
- Abschätzung zukünftiger Rahmenbedingungen schwierig
 - gesetzliche Veränderungen
 - züchterischer Fortschritt
 - Zulassungssituation

Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel, Fachtagung KTBL am 20.03.2019 in Darmstadt, Institut für Strategien und Folgenabschätzung

www.julius-kuehn.de

Anpassungsstrategien zur Sicherung von Ertrag und Qualität im Grünland

MARTIN ELSÄSSER, KERSTIN GRANT

Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg (LAZBW), Fachbereich Grünlandwirtschaft und Futterbau, Aulendorf

1 Einleitung

Spätestens im letztjährigen Hitzesommer ist vielen Landwirten klargeworden, dass sich unser Klima drastisch verändert und weitreichende Folgen zu befürchten sind. 2018 war das bisher wärmste Jahr seit Beginn der Wetteraufzeichnungen (Leppelt et al. 2018). Mit weiterer Temperaturerhöhung und damit einer Zunahme heißer und trockener Sommer mit Extremtemperaturen wird gerechnet. Es wird wohl zu einem abwechselnden Eintreten von Dürre und Starkregenereignissen kommen und Veränderungen in der Ausbreitung von Grünland-Pflanzenarten sind anzunehmen. Nach Angaben von Cang et al. (2016) verändert sich das Klima rund 5.000-fach schneller, als sich Gräser anpassen können. Damit ist ein Artenschwund vorprogrammiert. Mögliche Anpassung von Pflanzen an neue Bedingungen sind im Wesentlichen eine physiologische Reaktion (Abb. 1), die Einnahme anderer klimatischer Nischen, die Verschiebung ihres Verbreitungsgebietes oder das Aussterben. Der anthropogene Klimawandel überfordert die Anpassungsfähigkeit der Gräser bei weitem (Cang et al. 2016). Interessant ist nun, wie sich unterschiedlich intensiv genutzte Grünlandbestände an die klimatischen Veränderungen anpassen und welche Anpassungsstrategien den Landwirten als Reaktion verbleiben.

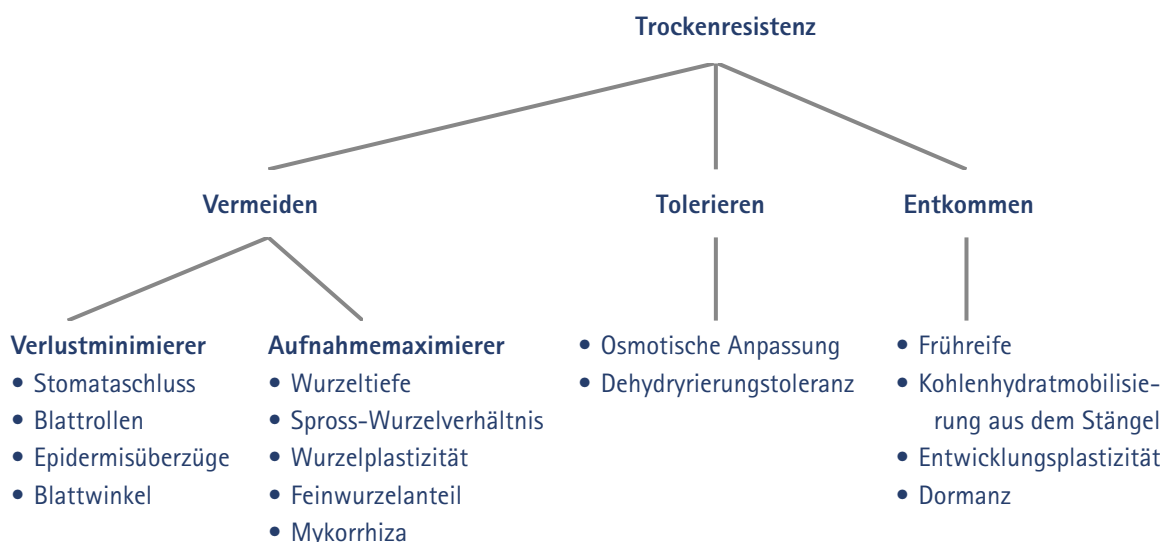


Abb.1: Strategien zur Verbesserung der Trockenresistenz (Schulte-Steinberg 2019)

2 Anpassungsoptionen in Abhängigkeit von der Intensität der Grünlandnutzung

Grünlandbestände sind sehr vielfältig hinsichtlich ihrer ökologischen und ökonomischen Eigenschaften. Um bei der Betrachtung möglicher Anpassungsstrategien eine gewisse Systematik einzuhalten, werden die Auswirkungen auf Grünland in vier Kategorien unterteilt und zwar in kurzfristige Reaktionen für extensiv genutztes oder Naturschutzgrünland und kurzfristige Reaktionen für intensiv oder mittelintensiv genutztes Grünland gemäß der Einteilung, die in Tabelle 1 beschrieben ist. Des Weiteren werden langfristige Anpassungsstrategien ebenfalls sowohl für extensiv und mittelintensiv bis intensiv genutztes Grünland erläutert. Beierkuhnlein et al. (2014) formulieren als übergeordnetes Ziel des Naturschutzes u. a. für floristisch wertvolles Grünland: „Der Natur sollte die Möglichkeit gegeben werden, auf die Veränderungen reagieren zu können, ohne ihre Vielfalt zu verlieren. Die Sicherung der biologischen Vielfalt und intakter Ökosysteme bzw. intakter Ökosystemfunktionen soll daher das zentrale übergeordnete Ziel für den Naturschutz sein.“

Tab. 1: Ökologische und ökonomische Eigenschaften von Dauergrünland (nach Elsässer 2018 basierend auf Jedicke 2014) © Martin Elsässer, LAZBW Aulendorf

Leistung	Biotopgrünland	Extensivgrünland	Mittelintensives Grünland	Intensivgrünland
Wasserrückhalt und Hochwasserschutz	++	++	+	+
Erosionsschutz	+	++	+ / ++	+ / ++
Erhalt der Bodenfruchtbarkeit	++	++	+	+ / 0
Kohlenstofffixierung	++	++	+	- / +
Bioindikation	++	+	(+)	--
Wasserreinigung	++	++	+	0
Pflanzenarten	bis zu > 60	bis zu > 60	10–25	5–15
Ertrag (dt TM/ha)	kaum landwirtschaftliche Nutzung	< 35–50	35–70	70–130
Verwertung des Aufwuchses	kaum landwirtschaftliche Nutzung; Verwendung allenfalls als Einstreu	Heu; sofern keine Giftpflanzen enthalten	Heu; maximal 20 % für Aufzucht im Milchviehbetrieb, Mutterkühe und Pferde	Milchviehfutter Biogassubstrat
Auswirkungen auf die Fauna	++	++ (z. B. Bienen finden lange Zeit Nahrung)	+	starke Nährstoffzufuhr beeinflusst das Edaphon

Nach Hansen et al. (2010) sind es vier Grundsätze, die für die Anpassung im Bereich des Naturschutzes an den Klimawandel wesentlich sind: Schutz von geeigneten Flächen, Reduzierung des nicht-klimatischen Stresses, ein anpassungsfähiges Management zur Implementierung und zum Testen von Anpassungsstrategien an den Klimawandel sowie die Reduzierung der Rate und des Ausmaßes des Klimawandels, um das Gesamt-Risiko zu senken.

Nach Lawler (2009) sind z. B. die wichtigsten allgemeinen Anpassungsstrategien

- die Beseitigung anderer Gefährdungsfaktoren als dem Klimawandel und die Verringerung zusätzlicher Stressfaktoren (z. B. Habitatverlust und -fragmentierung, Eutrophierung, Pestizide usw.),
- die Vergrößerung von Schutzgebietssystemen,
- die Erhöhung der Konnektivität (Korridore, Trittsteinbiotope, Durchgängigkeit der Normallandschaft und weitere Maßnahmen des Biotopverbunds),
- die Wiederherstellung von Habitaten und von System-Dynamik,
- adaptives Management und
- Translokation („assisted migration“).

FFH-Mähwiesen haben einen besonderen Schutzstatus und dürfen botanisch nicht verschlechtert werden (Seither et al. 2016). Ungeklärt ist die Frage, ob gegebenenfalls auftretende Veränderungen von FFH-Mähwiesen infolge des Klimawandels erfolgten oder quasi schuldhaft aus der landwirtschaftlichen Tätigkeit herrühren. Damit ist rechtlich noch offen, inwieweit Flächenbewirtschafter zur Wiederherstellung solcher Wiesen verpflichtet werden können. Im Falle bewusster Veränderungen der Bewirtschaftung kann durch Wiederanlage bestimmter Flächen eine Anpassung in gewissen Grenzen erfolgen. Als mögliche Verfahren kommen die Übertragung von frischem oder getrocknetem Mahdgut, Heudrusch oder die Ansaat mit gebietsheimischem Saatgut in Frage. Inwieweit sich die Bestände erfolgreich rückverwandeln lassen, ist einerseits vom Standort und andererseits von der jeweils angelegten Bewirtschaftung maßgeblich abhängig.

Intensiv oder mittelintensiv genutztes Grünland dient trotz des Vorhandenseins ökologisch wichtiger Eigenschaften im Wesentlichen einem ökonomischen Zweck. In erster Linie sind solche Grünlandflächen für die Versorgung unterschiedlicher Wiederkäuer oder Pferde mit Futter vorgesehen. Um mögliche Anpassungsstrategien bewerten zu können, ist die Kenntnis der individuellen Anpassungsfähigkeiten von Grünlandpflanzen an zum Beispiel Trockenheit wichtig. Eine Zusammenfassung gibt Abbildung 1.

Entscheidend für die Auswahl kurzfristig wirksamer Maßnahmen ist die Analyse des Pflanzenbestandes und vor allem der Umfang des Lückenanteils zu den Zeiten möglicher Maßnahmenrealisierung. Von großer Bedeutung ist die Resilienz der vorhandenen Arten und hier zeigte sich nach eigenen Beobachtungen bzw. auch nach Beobachtungen aus Versuchen von Lüscher und Suter (2018), dass Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne*) trotz vermeintlich geringerer Trockenheitsverträglichkeit im Vergleich zu tiefwurzelnden Kräutern eine große Resilienz aufweist. Zudem haben die im Versuch ausgesäten vier Pflanzenarten (*Cichorium intybus*, *Lolium perenne*, *Trifolium repens* und *Tr. pratense*) bei einsetzender Trockenheit ein tieferes Wurzelwerk ausgebildet und konnten sich so rasch an wieder einsetzende Niederschläge mit vermehrtem Wachstum anpassen. Leguminosen waren zudem in anderen Versuchen an der Universität Göttingen besser an Wassermangel angepasst als Gräser (Breitsameter et al. 2014), weswegen die sogenannte „Versicherung“ bei der Nachsaat, also die Ansaat verschiedener Pflanzenarten in Grünland zum Ausgleich der jeweiligen funktionellen Eigenschaften, einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung einer nachhaltigen Grünlandnutzung leisten kann. Bekanntermaßen trockenheitsverträgliche Gräser wie Rohrschwingel (*Festuca arundinacea*) oder Knaulgras (*Dactylis glomerata*) zeigten sich letztlich aber in Abhängigkeit von der Nutzungsform unterschiedlich gut geeignet. Unter Beweidung wurden diese angesäten Gräser durch Rinder gemieden (Elsäßer et al. 2015). Rotklee hielt sich bei Experimenten in Aulendorf und auf der Schwäbischen Alb weitaus länger als erwartet und war auch noch in den Trockenphasen des Jahres 2018 vorhanden.

Eine weitere, eher kurzfristige, Anpassung kann durch eine gewisse Intensivierung der Bewirtschaftung in Phasen ausreichender Feuchte, etwa durch früheren Schnitt unter Verwendung frühreifer Sorten oder einer entsprechenden Stickstoffzufuhr in solchen Phasen erfolgen. Gleichzeitig sollte vor allem bei Weidegang in Trockenphasen darauf geachtet werden, dass die in den Grasstopfeln eingespeicherten Reservekohlenhydrate nicht durch tiefen Verbiss entfernt werden. Ansonsten ist der Nachtrieb und die damit verbundene Resilienz der Gräser deutlich eingeschränkt.

Langfristige Anpassung erfolgt u. a. durch Schaffung von Futtermitteln, um Phasen geringen Ertrages ausgleichen zu können. Sinnvollerweise werden diese Vorräte in kleineren Packungseinheiten gelagert, damit eine möglichst hohe Flexibilität bei der Verfütterung erhalten bleibt. Insgesamt wird sich vermutlich aus Vorsorgegründen der Viehbesatz nicht mehr an den maximal erzielbaren Erträgen ausrichten, sondern an einer etwas geringeren Leistung orientieren. Diese Anpassung ist auch hinsichtlich der Reduktion des Stickstoffaufwands und der damit verbundenen Reduzierung der Ammoniakemissionen angezeigt. Der in der neuen Düngeverordnung beschriebene Düngungsgrundsatz „Düngung mit Stickstoff nur zu Zeiten des Bedarfs“ wird einerseits die Zeitfenster für die Ausbringung wirtschaftseigener Dünger auf Grünland einschränken, andererseits kann der Einsatz von Ureasehemmern eventuell dazu beitragen, dass Stickstoff im Dauergrünland eher zu Zeiten des Bedarfs bereitgestellt wird.

3 Fazit

Je nachdem, welches Grünland betrachtet wird, ergeben sich unterschiedliche kurz- und langfristige Anpassungsstrategien. Kurzfristig sind intensiv und mittelintensiv genutzte Bestände mittels Nachsaaten zu sanieren. Am besten sollten dabei nicht nur Grasreinbestände, sondern Saatgutmischungen angesät und entsprechend bewirtschaftet werden. Das Anlegen von Futtermitteln ist im Hinblick auf das Überwinden von Futterengpässen sinnvoll. Extensive Bestände lassen sich durch Nachsaaten nur eingeschränkt verbessern.

Langfristig geht es mehr und mehr darum, die Grünlandbewirtschaftung an die Leistungsfähigkeit und an die Qualität der Standorte gezielt anzupassen. Es lohnt sich sicher, den Mineral-N-Aufwand zu reduzieren, Ammoniakemissionen möglichst zu vermeiden und Leguminosen einzusäen. Im extensiven Bereich wird es vor allem darauf ankommen, geeignete Nutzungssysteme zu entwickeln, die eine Nutzung auch in Zukunft noch ermöglichen. In schwierigen Lagen wird es unweigerlich zu einem Mangel an Bewirtschaftern kommen und eine der größten Herausforderungen dürfte es sein, bestimmte Lebensraumtypen, wie z. B. Berg-Mähwiesen, langfristig zu erhalten.

Literatur

- Beierkuhnlein, C.; Jentsch, A.; Reineking, B.; Schlumprecht, H.; Ellwanger, G. (Hg.) (2014): Auswirkungen des Klimawandels auf Fauna, Flora und Lebensräume sowie Anpassungsstrategien des Naturschutzes. Schriftenreihe Naturschutz und Biologische Vielfalt 137, Bonn
- Breitsameter, L.; Küchenmeister, K.; Küchenmeister, F.; Wrage-Mönnig, N; Isselstein, J. (2014): Performance of legumes for potential use in pasture swards under conditions of periodic water limitation. *Grassland Science in Europe* 19, pp. 103–105
- Cang, A.; Wilson, A. A.; Wiens, J. J. (2016): Climate change is projected to outpace rates of niche change in grasses. *Biology Letters* 12(9): 20160368. <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2016.0368>; Zugriff am 24.02.2019
- Elsäßer, M. (2018): Grünland am Ende? Grünlandwirtschaft trotz Naturschutz. Antworten aus der Agrarwissenschaft. Vortrag beim Deutschen Naturschutztag in Kiel. Online Beitrag des BBN (im Druck).
- Elsäßer, M.; Rothenhäusler, S.; Ihrig, M. (2015): Eignung von Rohrschwengel (*Festuca arundinacea*) unter Beweidung. Tagungsband 59. Jahrestagung der AG Grünland und Futterbau, Aulendorf, S. 190–192
- Hansen, L.; Hoffman, J.; Drews, C.; Mielbrecht, E. (2010): Designing climatesmart conservation: guidance and case studies. *Conservation Biology* 24, pp. 63–69
- Jedicke, E. (2014): Ökosystemleistungen des Grünlandes – Welche Grünlandnutzung brauchen wir? 58. Jahrestagung der AG Grünland und Futterbau, Arnstadt, S. 9–19
- Lawler, J. J. (2009): Climate change adaptation strategies for resources management and conservation planning. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1162, pp. 79–98
- Leppelt, T.; Janssen, W.; Kappe, C. (2018) Trockenheit 2018 in Deutschland. Deutscher Wetterdienst
- Lüscher, A.; Suter, M. (2019): Trockenstress im Grasland: Resistenz und Resilienz. Vortrag 6. Nachhaltigkeitstagung Agroscope, 24.1.2019, Zürich
- Schulte-Steinberg, D. (2018): Vortrag bei der Fortbildung der staatlichen Pflanzenbauberatung. Landesanstalt für Ländliche Räume und Landwirtschaft (LEL), Schwäbisch-Gmünd
- Seither, M.; Engel, S.; King, K.; Elsäßer, M. (2016): FFH-Mähwiesen – Grundlagen, Bewirtschaftung, Wiederherstellung. Informationsbroschüre des LAZBW Aulendorf

Anpassungsstrategien im Grünland - Sicherung von Ertrag und Qualität

Prof. Dr. Martin Elsässer u. Dr. Kerstin Grant
LAZBW Aulendorf

1

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

LAZBW

Gliederung



- **Klimawandel ganz generell**
- **Wie reagieren einzelne Pflanzen auf Hitze u. Dürre?**
- **Was bedeutet Trockenheit für Grünlandpflanzenbestände?**
 - Ertrag, Futterqualität, Wasservorräte im Boden
- **Womit ist künftig zu rechnen?**
 - Sind Pflanzenbestände resilient oder resistent?
- **Anpassungsstrategien**
 - Kurzfristig: Sanierung von Beständen
 - Langfristig: Neue Arten? Pflanzenzüchtung? Bessere Sorten? Weniger Vieh? Standortbezug? Anpassung der Düngung?
 - **Ausblick**

2

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

LAZBW

Klimawandel



- Erhöhung **jährlicher Durchschnittstemperatur** um 0,85 °C seit 1880
- 2018 war das bisher wärmste Jahr seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Mit weiterer **Temperaturerhöhung** wird gerechnet.
- Zunahme **heißer** und **trockener Sommer**: Extremtemperaturen sind zu befürchten (IPCC, 2014)
- Bis **2080 mediterrane Klimabedingungen** erwartet (POMPE *et al.*, 2011)
- Trockenperioden werden sich mit Phasen von **Starkregen** abwechseln
- **Veränderungen** in der **Ausbreitung von Arten** sind anzunehmen

3

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

L A Z  B W

Grünland ist nicht gleich Grünland



4

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

L A Z  B W

Grünland ist vielfältig – an Standort und Bewirtschaftung ausgerichtet



5

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

LAZEW

Ökologische und ökonomische Kennzeichen unterschiedlichen Grünlandes



Leistung	Biotopgrünland	Extensiv-Grünland	Mittelintensives Grünland	Intensiv-Grünland
Wasserrückhalt und Hochwasserschutz	++	++	+	+
Erosionsschutz	+	++	+ / ++	+ / ++
Erhalt der Bodenfruchtbarkeit	++	++	+	+ / 0
Kohlenstofffixierung	++	++	+	- / +
Bioindikation	++	+	(+)	--
Wasserreinigung	++	++	+	0
Pflanzenarten	Bis zu >60	Bis zu > 60	10-25	5-15
Ertrag (dt TM/ha)	Kaum Idw. Nutzung	< 35-50	35-70	70-130
Verwertung des Aufwuchses	Kaum Idw. Nutzung; Verwendung allenfalls als Einstreu	Heu; sofern keine Giftpflanzen enthalten	Heu; Max. 20% für Aufzucht im Milchviehbetrieb, Mutterkühe und Pferde	Milchviehfutter Biogassubstrat
Auswirkungen auf die Fauna	++	++ (z.B. Bienen finden lange Zeit Nahrung)	+	Starke Nährstoffzufuhr beeinflusst das Edaphon

Elsässer, 2018 auf Basis von Jedicke, ergänzt

LAZEW

Reaktionen von Pflanzen, Beständen und Böden auf Trockenheit



- *“Diverse grasslands throughout the globe have the potential to be resilient to drought in the face of climate change through the local expansion of drought-tolerant species” (Craine et al., 2010)*
- D.h. Grünland mit verschiedenen Arten hat das Potential auf Trockenheit im Verlauf des Klimawandels durch lokale Vermehrung trockenheitstoleranter Arten resilient (= belastbar) zu reagieren.
- Anpassung in einem bestimmten Bereich ist möglich!
- Aber: Wie schnell geht das? Wie sehen Anpassungsprozesse aus? Was läuft stofflich ab?

7

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

L A Z  B W

GI reagiert (zu) langsam auf den Klimawandel



- Klima verändert sich rund 5000fach schneller, als sich Gräser anpassen können (Artenschwund ist vorprogrammiert).
- Reaktionsmöglichkeiten: Pflanzen passen sich an neue Bedingungen an in dem sie klimatische Nischen verändern, sie verschieben ihr Verbreitungsgebiet oder sie sterben aus. **Der anthropogene Klimawandel überfordert die Anpassungsfähigkeit der Gräser bei weitem.**
- [Alice Cang \(University of Arizona, Tucson\) et al., Royal Society Biology Letters, doi: 10.1098/rsbl.2016.0368](#)

8

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

L A Z  B W

Reaktion von Grünland auf Klimaveränderung



Ist abhängig von der Fähigkeit der einzelnen Arten sich an die neuen Bedingungen anzupassen

Wie?

- physiologischer Umbau (z.B. Spaltöffnungen, Wurzelwachstum)
- saisonales Verhalten (z.B. Blühzeitpunkt)
- Verkleinerung oder Verschiebung ihres Verbreitungsgebietes (Migration)

Was wenn nicht?

Können Arten sich nicht anpassen, sterben sie aus.

Auch die Verschiebung des Verbreitungsgebietes über kurze Distanz benötigt Jahrzehnte bis Jahrhunderte.

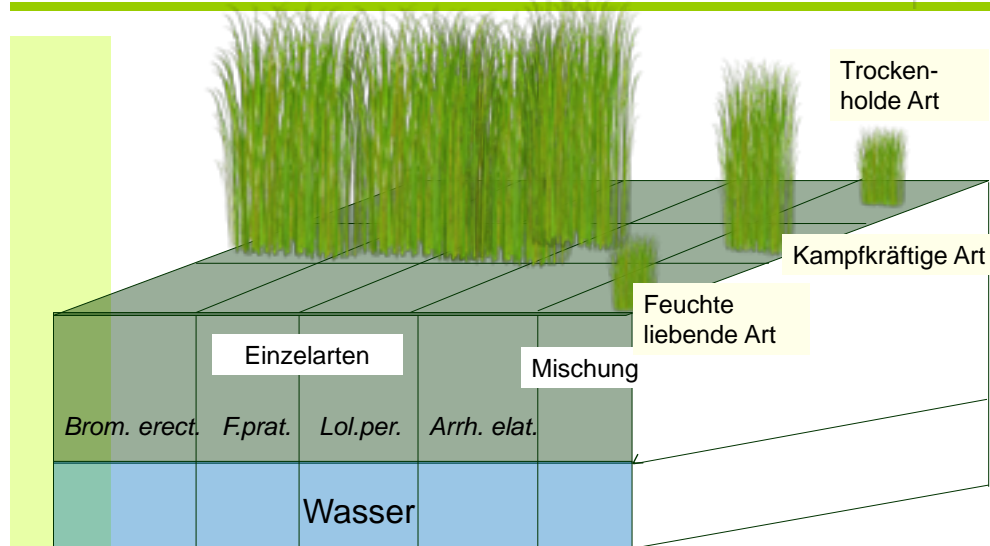
„Eine direkte & vollständige Anpassung der FFH-LRT an veränderte Klimabedingungen in sehr kurzer Zeit ist nicht zu erwarten.“ (Dempe et al. 2012)

Grant, 2019

Cang et al. (2016), Jentsch & Beierkuhnlein (2003), Visser (2008), Thuiller (2007), Parmesan (2006)

LAZEW

Bestände reagieren anders als Einzelarten - Der Hohenheimer Grundwasserversuch



10

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

LAZEW

Bedeutung der Diversität



Die Vielfalt von Arten und funktionellen Gruppen hat eine Schlüsselrolle in der Aufrechterhaltung von Ökosystemen:

→ Versicherungs-Hypothese

Gibt es mehrere Arten mit denselben Eigenschaften im Ökosystem (im Grünland z.B. hoher Ertrag, guter Futterwert, hohes Nektarangebot) und eine dieser Arten oder funktionellen Gruppen fällt oder stirbt aus, dann kann eine andere Art die Funktion mitübernehmen. Der Gesamtschaden ist dann evtl. geringer.

Artenvielfalt kann zwar nicht unbedingt die **Resistenz** gegen Klimaeinflüsse beeinflussen, aber sie fördert die Erholung nach dem Wetterereignis. Das Grünland bekommt durch mehr Arten und mehr Arteigenschaften eine bessere potentielle Möglichkeit mit dem Klimawandel zurechtzukommen.

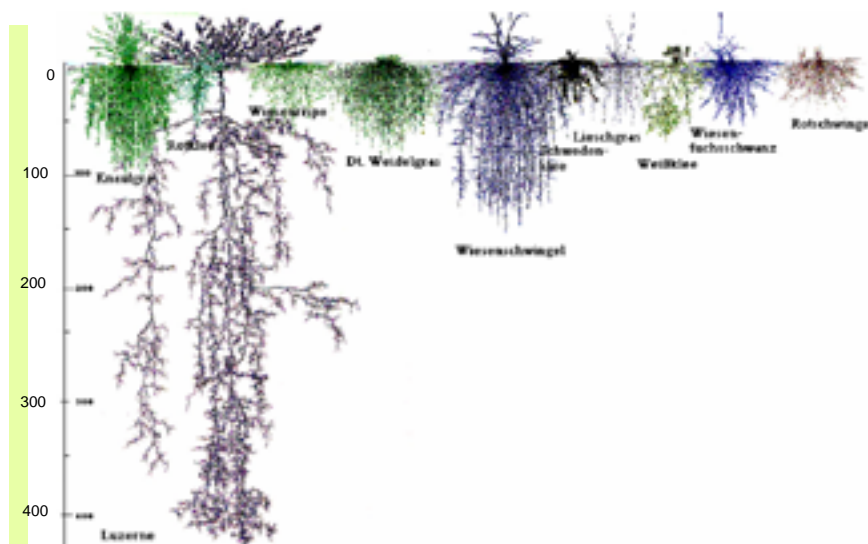
→ die **Resilienz** des Ökosystems (Grünland) wird verbessert.

Grant 2019

Yachi & Loreau 1999, Walker 1995, Van Ruijven & Berendse 2010, Kreyling et al. 2017

LAZEW

Durchwurzelungsvermögen ist artspezifisch



Kutschera und Lichtenegger, 1982

LAZEW

Kombinationen unterschiedlich tief wurzelnder Pflanzen auf Nährstoffaufnahme



	Flachwurzler (SR)	Tiefwurzler (DR)
Non N-Fixing (NNF)	<i>Lolium perenne</i> (Lp)	<i>Cichorium intybus</i> (Ci)
N-Fixing (NF)	<i>Trifolium repens</i> (Tr)	<i>Trifolium pratense</i> (Tp)

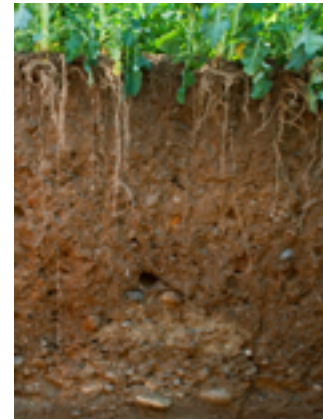
↔ Mischungseffekte zw. flach- u. tiefwurzelnenden Arten auf N-Aufnahme

$p < 0.001$

+ 12 % für NF Arten

+ 17 % für NNF Arten

Komplementäreffekt



Husse *et al.*, 2017

Hugenin-Elie *et al.* 2018

LAZEW

Auswirkung von Klimaveränderung auf Grünland



Konkurrenzverhältnisse zwischen Arten verändern sich, da Arten unterschiedlich auf Klimawandel reagieren:

Arten mit **bestimmten physiologischen Eigenschaften** (z.B. tiefe Wurzelsysteme) können von den klimatischen Bedingungen **profitieren** (z.B. Kräuter oder Leguminosen)

Bisherige dominante Arten können zurückgehen oder verschwinden

→ **Chance für subdominante Arten** sich auszubreiten (z.B. Kräuter)

Nutzung der **Lücken** nach Absterben von Pflanzen

→ Möglichkeit zur Etablierung von (neuen) Arten, die Licht benötigen und vorher zu stark beschattet wurde

Dürrejahr 2018 – möglicherweise Chance für kurzfristige, gute Entwicklung der Kräuter in FFH-Mähwiesen

14

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

LAZEW

Auswirkung von Klimaveränderung auf Grünland



Hauptsächlich betroffen sind:

- Futtererträge (↓↑) und Futterqualität (↓↑)

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

LAZEW

Jahrweise extreme Unterschiede Täglicher TM-Zuwachs (Aulendorf) 2018

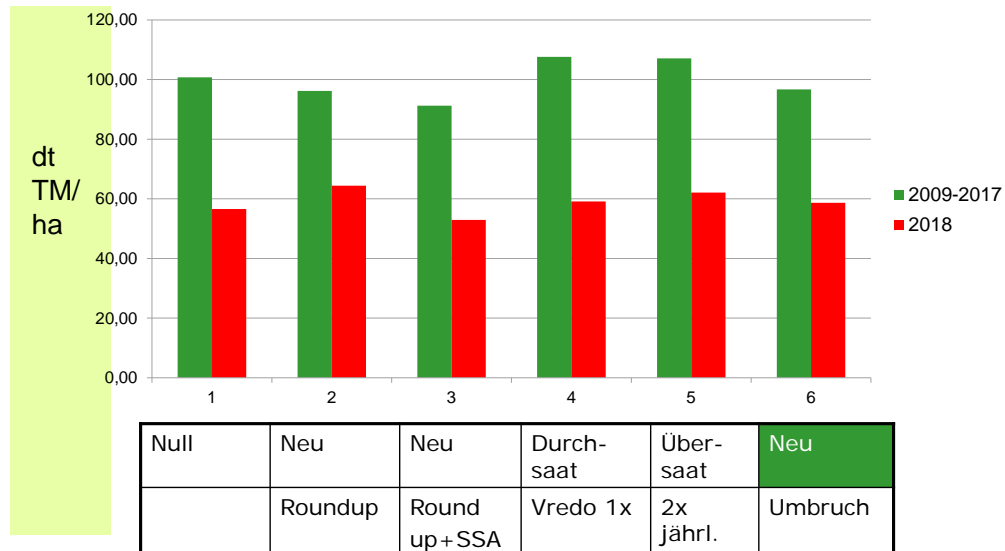


16

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

LAZEW

TM-Erträge dtT/ha im GV- Versuch in Aulendorf (Mittel aus 2009-2017 und Einzeljahr 2018)



Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

L A Z E B W

Reaktion einzelner Arten auf Trockenheit



Hochleistungsgrünland: Dt. Weidelgras (*Lolium perenne* L.)

- Ertragsrückgänge zwischen
 - 63-70%** (NORRIS and THOMAS, 1982)
 - 48%** (THOMAS, 1984)
 - 9,9%** (JERONIMO *et al.*, 2014)
- Anpassungsfähigkeit bei Trockenheit?
- **Tolerante Genotypen** mit **schneller Regeneration** (NORRIS and THOMAS, 1982)
- Knautgras (*Dactylis glomerata* L.) kann Trockenheit ertragen, aber **Ertragslücken** bei intensiv genutzten Beständen

Zusammengestellt von Weinmann, Masterseminar GL 2018

L A Z E B W

Futterqualität von Grünlandaufwüchsen Sind Alterungs- oder Welkeprozesse gleich?



energiearm



eiweißreich



energiereich



mit Giftstoffen

19 Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019 LAZEW

Auswirkungen auf Futterqualität



Bei Trockenheit schnelle Alterung; die Pflanze kommt zur „Notreife“ (höhere Rohfasergehalte; mehr Kräuter; schlechte Verdichtbarkeit)
ABER: in 2018 **keine** verregnete Ernte, kaum Verschmutzung des Futters

20 Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019 LAZEW

Erhöhte Fruktangehalte bei viel Sonne und geringem Wachstum



- **Fruktan** ist ein Speicherkohlenhydrat bei Gräsern. Seine Menge ist abhängig von der Photosyntheserate einerseits und dem Verbrauch durch Wachstum andererseits.
- Er sinkt in Phasen schnellen Wachstums und in der Blüte.
- Er steigt in Phasen geringen Wachstums und bei gleichbleibender Photosynthese.

Hohe Gehalte im Frühjahr 2018 und auch im Herbst 2018.

- **Wichtigste Einflußfaktoren:** Einstrahlung, Art, Vegetationsstadium, Temperatur, Jahreszeit, Düngestatus der Pflanzen

22

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

L A Z E B W

Gräser haben unterschiedlich hohe, teilweise schädliche Fruktangehalte



Hoch

- Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne*)
- Welsches Weidelgras (*Lolium multiflorum*)
- Lieschgras (*Phleum pratense*)

Mittel

- Knaulgras (*Dactylis glom.*)
- Wiesenrispe (*Poa pratense*)
- Wiesen-schwengel (*Festuca pratense*)

Niedrig

- Wiesenfuchsschwanz (*Alopecurus pratensis*)
- Rotschwengel (*Festuca rubra*)

Zudem treten starke Sorteneffekte auf!

MLR Pflanzenbaufortbildung - Elsässer 2019

L A Z E B W

Auswirkung von Klimaveränderung auf Grünland



Hauptsächlich betroffen sind:

- Futtererträge ($\downarrow\uparrow$) und Futterqualität ($\downarrow\uparrow$)
- Botanische Zusammensetzung des Bestandes
- Blühbeginn (früher) und Blühzeitraum (länger/kürzer)
- Vegetationszeitraum (länger)
- Dauer und Intensität der Weideperiode und die tierische Produktion
- Kohlenstoffspeicherung

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

LAZEW

Reaktionen der Grünlandbestände



25

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

LAZEW

Auflockerung der Grasnarbe – Wegwarte als Lückenfüller



Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

L A Z  B W

Gräser weg – Tiefwurzler nehmen zu



Elsässer 2018

L A Z  B W

Schafgarbe und Spitzwegerich nehmen zu



28

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

LAZEW

Weidegang bei „Heu auf dem Halm“

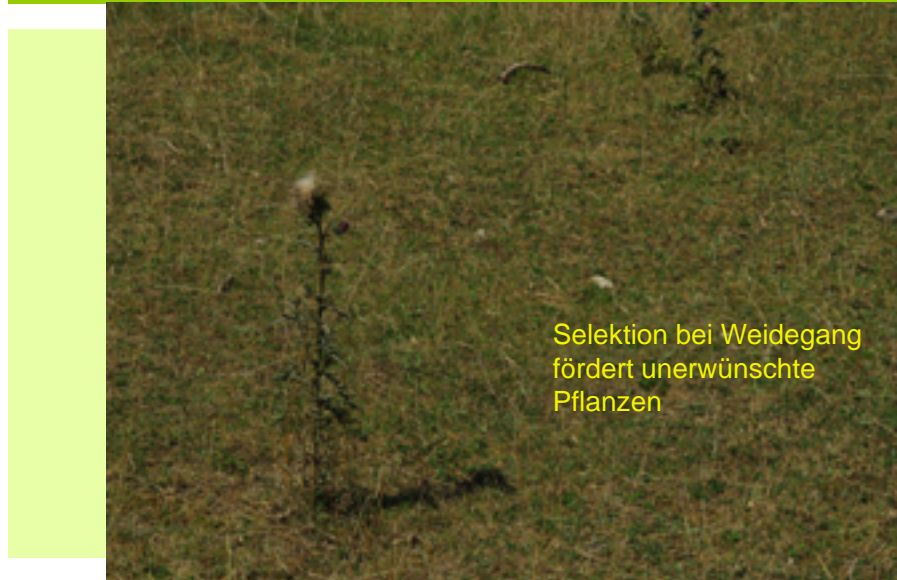


29

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

LAZEW

Trotz geringen Futterangebotes werden stachelige und giftige Kräuter gemieden



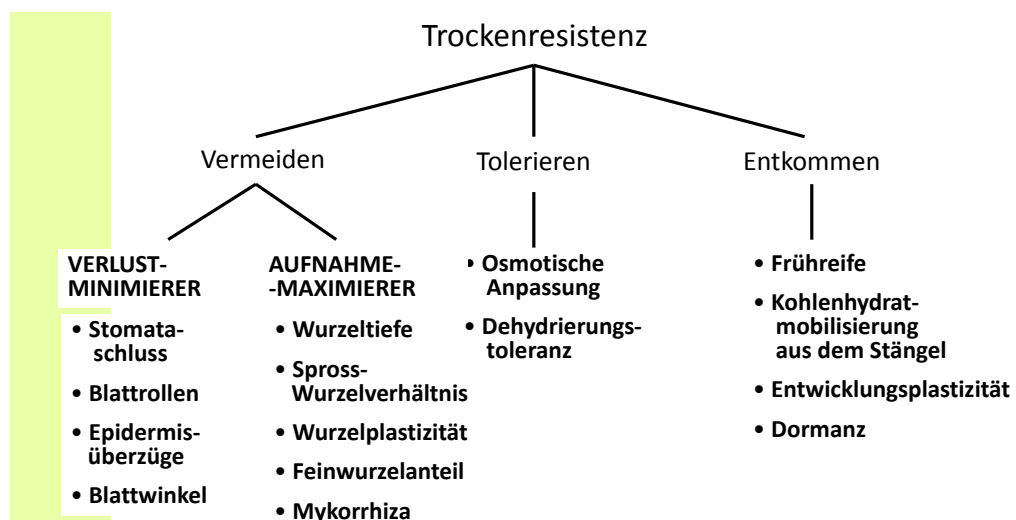
Selektion bei Weidegang fördert unerwünschte Pflanzen

30

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

LAZEW

Strategien zur Verbesserung der Trockenresistenz



SCHULTE-STEINBERG 2019; QUELLE: LEVITT 1980 VERÄNDERT NACH BODNER 2012

LAZEW

Versuch zur Trockenheitsresistenz verschiedener Grünlandarten in der Schweiz



(Lüscher und Suter, 2019)

- Nach Trockenheit hatten alle im Versuch geprüften Pflanzen eine **größere Wurzelmasse**
- Gräser speichern Reserven vermehrt in den **Stoppeln**
- In der Trockenphase **keine N-Verfügbarkeit** im Boden; daher nach Regen wieder starke N-Mobilisierung; selbst nach Überwinterung kam es zu Mehrertrag vieler Gräser
- Deutsches Weidelgras reagierte **schnell positiv** auf wiederkehrende Feuchte

32

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

LAZEW

In 2018 war es nicht nur zu trocken, es war auch zu heiß

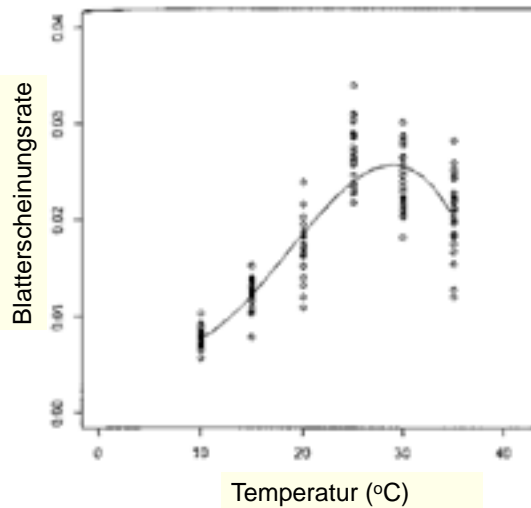


- Erste messbare Veränderungen treten bereits bei lang andauernden Perioden mit Temperaturen von etwas über 30 Grad C auf.
- Verstärkte Wasserabgabe durch Spaltöffnungen (Transpiration)
- Aktivierung von Hitzestress-Proteinen (genetisch bedingt).
- Ein wichtiges Enzym der Photosynthese wird bei leicht erhöhter Temperatur reversibel (umkehrbar) und bei stark erhöhter Temperatur irreversibel inaktiviert. Die Hitzeempfindlichkeit dieses Enzyms hängt von der Pflanzenart ab.

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

LAZEW

Blatterscheinungsrate bei Luzerne (*Med. sativa*) und Rohrschwingel (*Fest. arundinacea*) bei variierten Temperaturen



Zaka, et al., 2014: Grassland sci. In Europe, 19, 115-118



Wie geht es mit dem Grünland weiter?

Zitat von Peter Ustinov:
 „Prognosen sind unsicher, besonders wenn sie in die Zukunft gerichtet sind“.

36

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019



Natürliche Grünlandssysteme - Biotope



- Nur geringes Anpassungspotential: Feuchtgebiete trocknen evtl. aus
- Viele Arten sind an der Ausbreitungsgrenze
- Bei bewirtschaftungsbedingten Veränderungen evtl. Wiederherstellung notwendig
- Viele Ungewissheiten

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

LAZEW

Extensives Grünland und FFH-Flächen

Die Natura 2000 Richtlinie verlangt, dass die FFH-Mähwiesen nicht verschlechtert werden dürfen. Sind Änderungen klima- oder bewirtschaftungsbedingt?

Aber: Extensives Grünland ist eigentlich nicht nachsaatwürdig!

Problem: konkurrenzstarke Arten brauchen häufige Nutzung und hohe Düngung, d.h. sie passen nicht ins System.

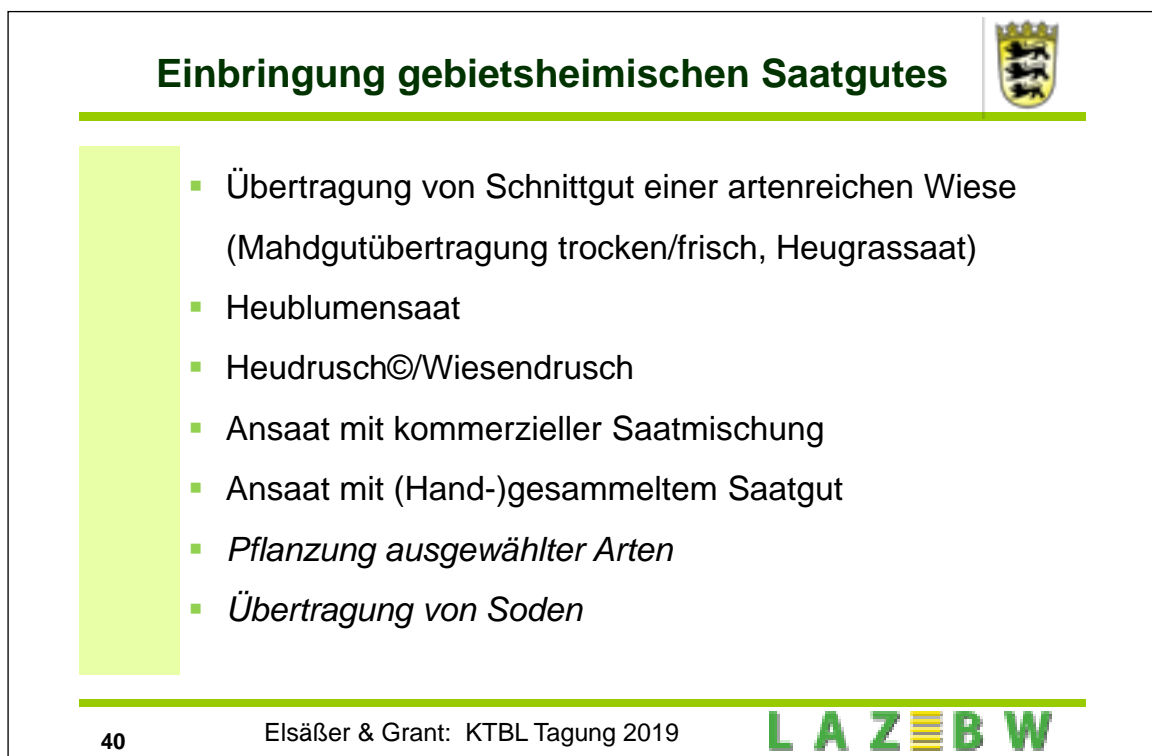
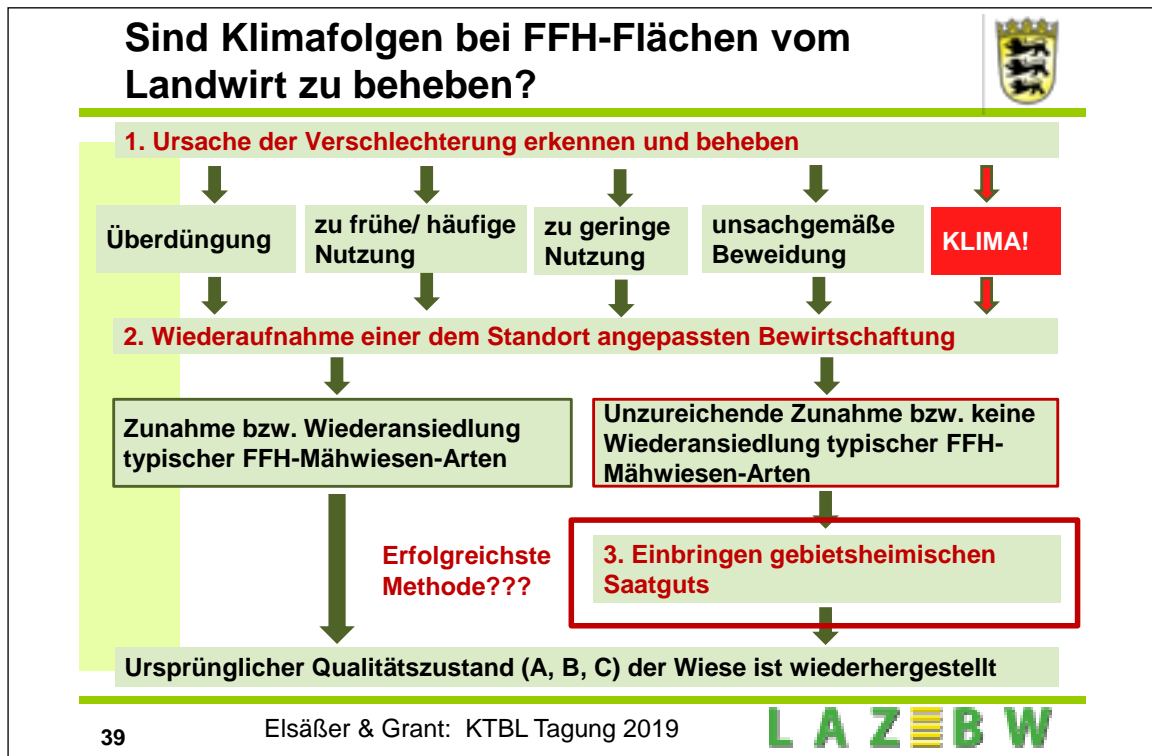
Arten aus dem Extensivgrünland sind nicht konkurrenzstark genug, um sich bei der Saat durchzusetzen.

Ökonomie: Verbesserung ist nicht lohnend!

38

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

LAZEW



Wirtschaftsgrünland

Situation analysieren: Wie viele Lücken gibt es, die unerwünschten Gräsern und Kräutern (z.B. Ampfer) Lebensraum bieten, den sie schnell erobern werden?

Deshalb:

Kurzfristig:

1. Grasnarbe sanieren (resiliente Sorten; resistente Arten)
2. Düngung anpassen (N-Düngung zu Zeiten des Bedarfs)
3. Futterreserven anlegen
4. In Gunstzeiten Produktion intensivieren (frühe Sorten, mehr Düngung)
5. Weidegang unter Schonung der Stoppelzone

Langfristig:

1. Anpassung der Produktionssysteme an Veränderungen
2. Klimafreundliche Bewirtschaftung

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

LAZEW

Grünland im Dezember 2018 Oberschwaben



42

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

LAZEW

Welche Pflanzenarten empfehlen sich bei fortschreitendem Klimawandel?



- Züchtung und Auswahl **besser adaptierter Sorten: Sorten mit besserem Nachtrieb** (größere Resilienz) auswählen. Dieses Merkmal sollte künftig in der Sortenprüfung neu bewertet werden.
- **Evtl. Nutzungssysteme auf intensive Frühjahrsproduktion ausrichten (frühe Sorten)**, um Sommer-trockenphase auszugleichen
- „**Versicherungshypothese**“ Mehrartenmischungen verwenden
- Verwendung von **Arten mit höherer Trockentoleranz**
 - Leguminosen
 - Rohrschwengel und Knaulgras

43

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

L A Z E B W

Wie tauglich sind trockenheitsverträgliche Gräser?



Knaulgras und Rohrschwengel gelten als trockenverträglich – sie haben aber dicke Kutikula u. sind daher schwer verdaulich!

Knaulgras
(*Dactylis glomerata*)



Rohrschwengel (*Festuca arundinacea*)

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

L A Z E B W

Mischungen im Beweidungsversuch in Aulendorf (Elsässer et al., 2015)

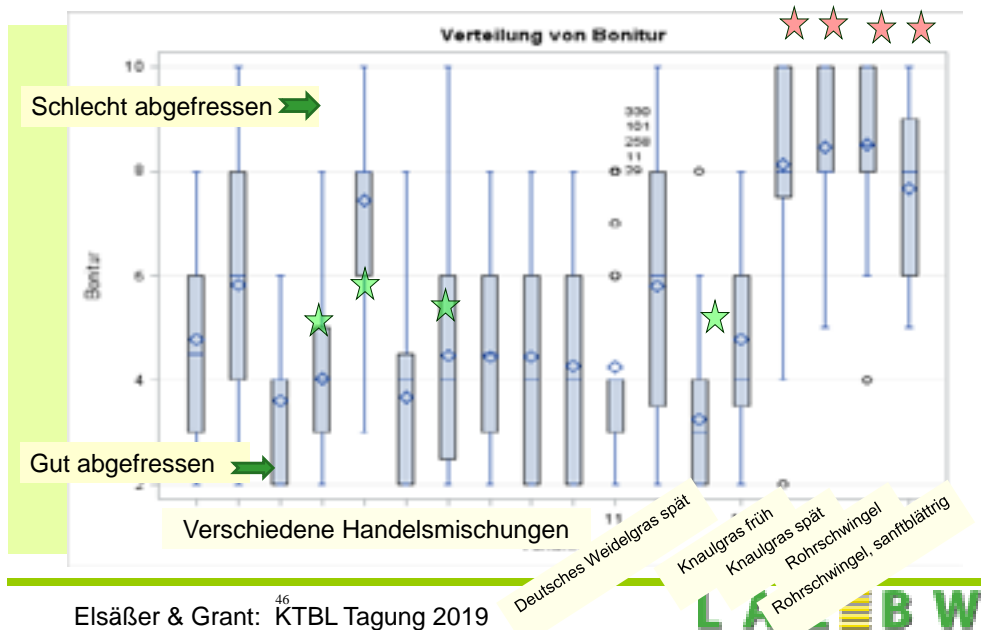


1	GSWI
2	GSWT
3	Revital 301
4	Progreen Dauerweide Mähweide 3 ohne Klee
5	BellMix 120DF
6	Country 2006 Weide mit Klee
7	Country 2012 Mähweide
8	GrazeMax
9	GreenStar Struktur
10	GreenStar intensiv Süd
11	LandGreen W 963 Weidemischung
12	Dt. Weidelgras - früh
13	Dt. Weidelgras - spät
14	Dt. Weidelgras je 1/3 früh-mittel-spät + Weißklee
15	Knaulgras früh
16	Knaulgras spät
17	Rohrschwengel
18	Rohrschwengel, sanftblättrig

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019



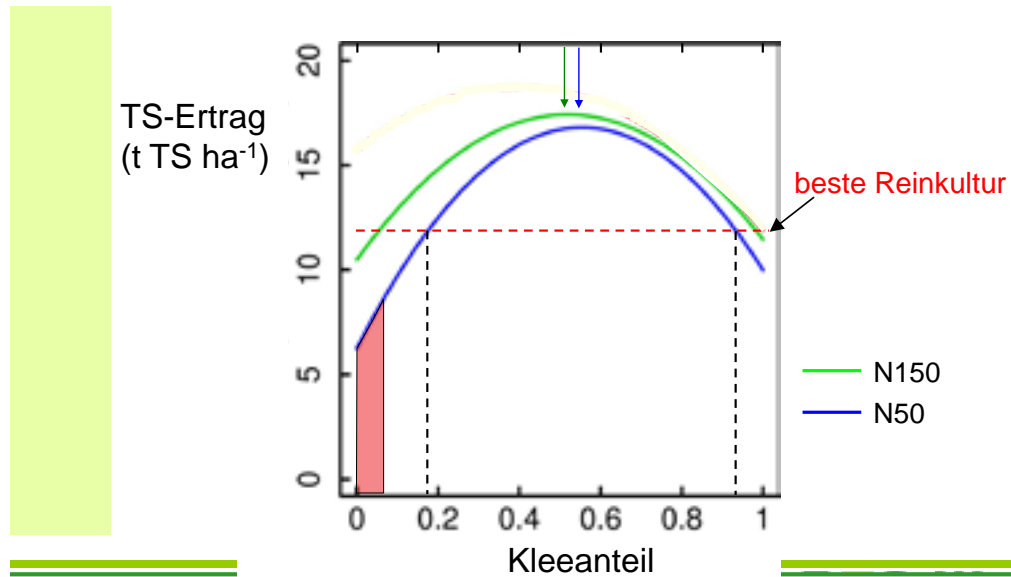
Weidereste nach Beweidung (Mittel 1. bis 3. Aufwuchs; 2012-2014)



Elsässer & Grant: ⁴⁶KTBL Tagung 2019



Erhöhte Erträge durch Leguminosen (Mehr Arten= bessere Ausnutzung der Wachstumsfaktoren)



Nyfeler et al. 2009

LAZBW

Luzerne ist bekannt trockenheitstolerant

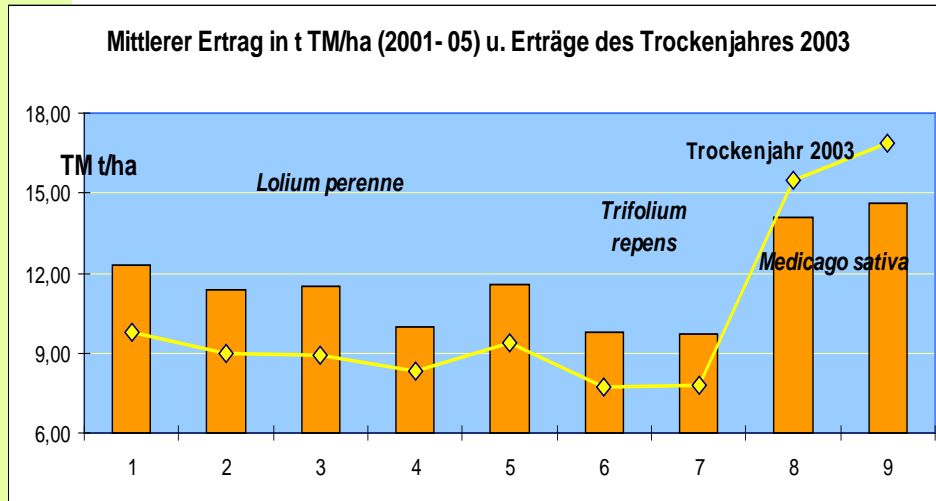


48

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

LAZBW

Beeinflussung der Erträge 2003 (Intensi-Versuch Aulendorf) (Elsässer, 2009)



Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

LAZEW

Rotklee hatte 2018 überraschend lange durchgehalten

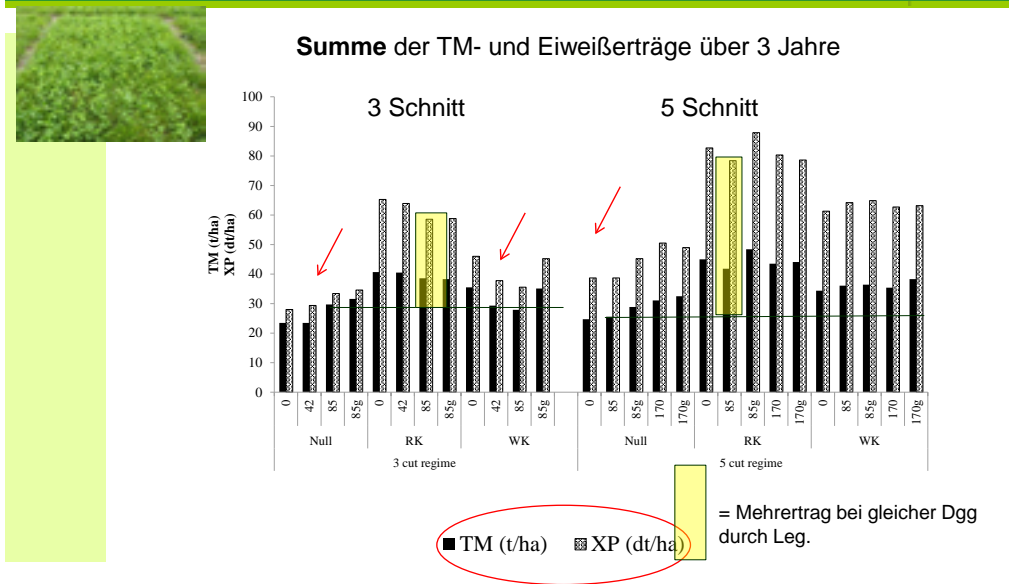


50

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

LAZEW

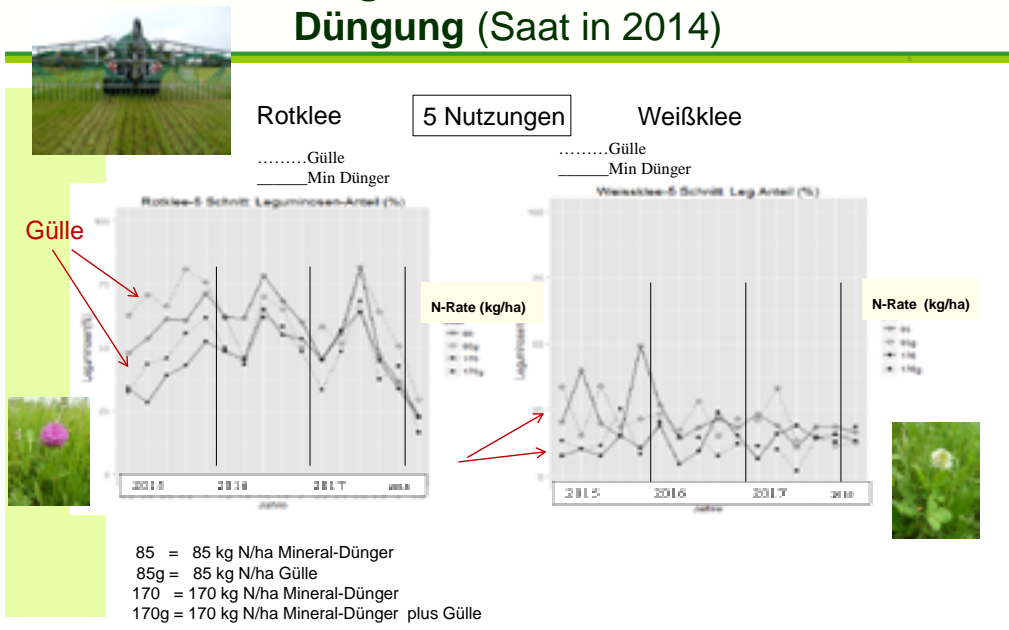
Aufsummierte TM- und XP Erträge (‘15-‘17)



Eiweißinitiative BW Elsässer, Weggler, Thumm 2019

LAZBW

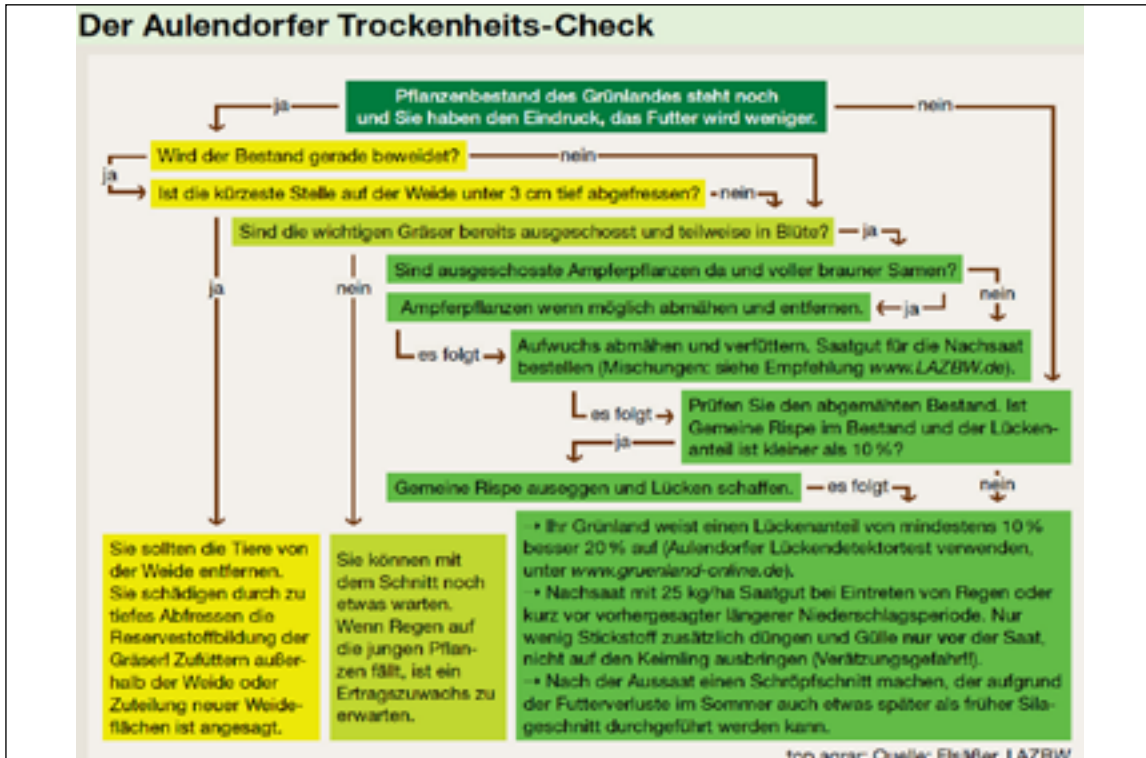
Nachsaat von Leguminosen und unterschiedliche Düngung (Saat in 2014)



85 = 85 kg N/ha Mineral-Dünger
 85g = 85 kg N/ha Gülle
 170 = 170 kg N/ha Mineral-Dünger
 170g = 170 kg N/ha Mineral-Dünger plus Gülle

Eiweißinitiative BW Elsässer, Weggler, Thumm

LAZBW



Für GL-Verbesserung gute Sorten wählen

Sortenversuche auf Resilienz hin bewerten

54 Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019 LAZBW

Langfristige Anpassung an verändertes Klima vornehmen



- Einige Aspekte und Überlegungen dazu:
 1. Phasen mit guten Wachstumsbedingungen effizient nutzen (z.B. frühe Sorten verwenden,)
 2. Düngung an Gegebenheiten anpassen – düngen nur bei Bedarf!
 3. Bodenverdichtungen möglichst vermeiden
 4. Humusgehalte steigern
 5. Tierbesatz an Standortgegebenheiten anpassen

56

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

L A Z B W

Düngung an Standortverhältnisse anpassen



- Ziel ist es, die **N-Effizienz zu verbessern** und **N-Überschüsse zu verringern** (u.a. zeitliche Anpassung an den Bedarf)

57

Elsässer 2018

L A Z B W

N-Düngung bei Bedarf



Raum Schwäbisch Hall
August 2018

58

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

LAZEW

Gülleausbringung im November 2018



Neue Studie des Max Planck Institutes (Jan. 2019): Extreme Feinstaubbelastung durch Ammoniakausstoß in der Ldw.



Abstrahlung nach unten ist seit 2015 gefordert!

Ziel ist: Ammoniakemissionen zu senken und N-Wirksamkeit erhöhen

59

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

LAZEW

Auch bei neuer Technik „Streifenkrankheit“ vermeiden



Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

L A Z  B W

Gülle ist kein Blattdünger



61

Elsässer - 2018

L A Z  B W

Bodenverdichtungen möglichst vermeiden



Bodenverdichtung begünstigt Denitrifikationsvorgänge, die zu einem Anstieg der Emissionen von Lachgas führen können

(SITUALA & HANSEN, 2000; YAMULKI & JARVIS, 2002).

Das hohe Stickstoffdüngungsniveau auf intensiv genutzten Grünlandstandorten steigert N₂O-Emissionen (BREITENBECK & BLACKMER, 1980; VELTHOF et al, 1997).

Versuch der Uni Kiel:

Was passiert bei verdichteten Böden die gleichzeitig stark mit Stickstoff (320 kg N/ha) gedüngt werden?

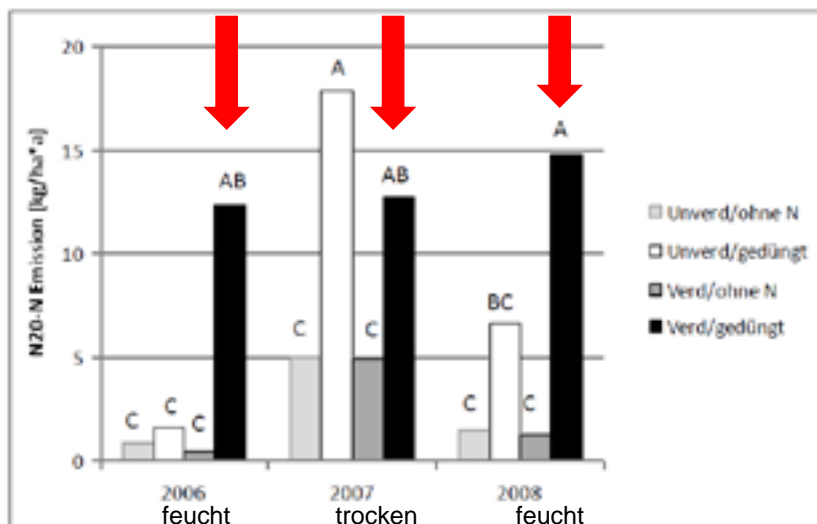
Schmeer et al., 2009

LAZEW

Kumulative Lachgasemissionen der 3 Versuchsjahre in kg N₂O-N pro ha und Jahr in Abhängigkeit von Verdichtung und N-Düngung



Verdichtet und gedüngt



Schmeer et al., 2009

LAZEW



Im Hinblick auf die Lachgasemission sind besonders bei hohem Stickstoffeinsatz bei wassergesättigten Böden bodenverdichtende Bewirtschaftungsmaßnahmen und die Düngung bei extrem trockenen Böden zu vermeiden.

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

LAZEW

Besseres Management um C-Speicherung zu verbessern

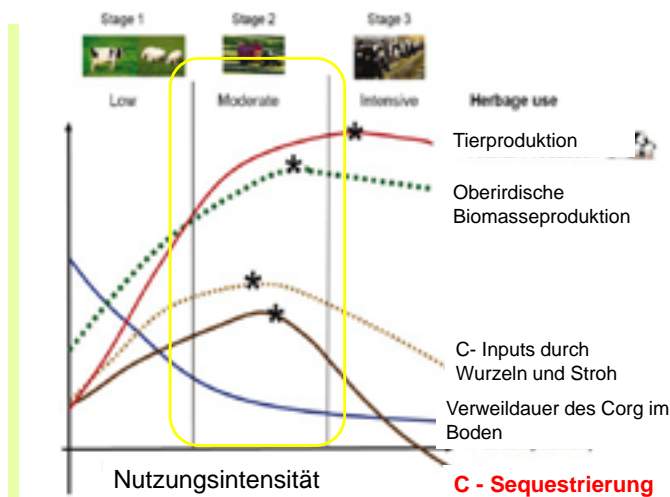


- **Weidemanagement**, das die Produktion maximiert und gleichzeitig die Treibhausgas-Emissionen vermindert (Ausdehnung d. Weidephase, Portionsweide..)
- **Ansaat besserer Arten und Sorten** kann zu höherer Produktion führen, weil bessere Adaption an Standorte und bessere Anpassung an Beweidung, resistenter gegen Trockenheit und bei Leguminosen Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit. **Rindermist hat mehr C** und wahrscheinlich andere Effekte auf Bodenmikroorganismen als Schweinegülle (KLUMPP und FORNARA, 2018)
- **Direkte Zufuhr von Wasser und Nährstoffen und org. Material**
- Wiederherstellung von degradiertem Land
- **Integration von Gräsern** in Ackerbaufruchtfolgen

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

LAZEW

Zu intensive Bewirtschaftung reduziert C-Sequestrierung



Nachhaltige Nutzung von Grünland muss folgende Faktoren beachten:

- Klima
- Standort (Boden)

* Sternchen sind Optimumwerte für jede Variable

Quelle: Angepasst von KLUMPP und FORNARA, 2018

L A Z E B W

Anpassung der Produktionssysteme mit Wiederkäuern an die Trockenheit



1. Tier
2. Herde
3. Produktionssysteme



- Viehbesatz an veränderte Leistungsfähigkeit des Grünlandes anpassen
- Vorräte bilden
- Weidedauer anpassen
- Angepasste Rassen verwenden

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

L A Z E B W

Beweidungsdauer an Nutzungstiefe und Graswachstum anpassen



Rechtzeitig auf- aber auch
rechtzeitig abtreiben

69

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

LAZEW

Fazit



- Bewirtschaftung und Viehbesatz auf **Standortbedingungen** abstimmen. Stoppelbereiche schonen, um Wiederaustrieb zu erleichtern
- **Flachwurzeln**de Arten werden **verdrängt**; trocken-tolerante tiefwurzeln-de, (Schad-)Pflanzen profitieren (Ampfer, Schafgarbe...)
- Intensive Bestände von **Deutschem Weidelgras** unter **ungünstigen Standortbedingungen** und mit **anfälligen Genotypen** künftig wohl mit **geringeren Erträgen**
- Mineralische N-Düngung reduzieren und tiefwurzeln-de **Klee-Arten** fördern. **Trockentolerante Genotypen** können Ertragsverluste auffangen
- **Derzeitiges hohes Ertragsniveau** in Zukunft **an vielen Standorten nicht mehr erreichbar**

70

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

LAZEW



Ganz zum Schluss



1. Grünland wird u.a. als Kohlenstoffsенке gebraucht, um die Auswirkungen des Klimawandels abzumildern. Besonders wichtig: Humusabbau verhindern, daher kein GL-Umbruch und wenn möglich **Acker zu Grünland**
2. **Kurzfristig:** Bestände sanieren; Mischbestände ansäen und erhalten; Vorräte anlegen
3. **Langfristig:** Bewirtschaftung gezielt anpassen; N Aufwand reduzieren; Ammoniakemissionen möglichst vermeiden und Leguminosen einsäen



Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

L A Z E B W



The end!

72

Elsässer & Grant: KTBL Tagung 2019

L A Z E B W

Anpassungen der Landwirtschaft an den Klimawandel: Tierzucht – Möglichkeiten und Grenzen

HERMANN H. SWALVE

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Halle

1 Einleitung

Die Auswirkungen des Wandels des Weltklimas sind wissenschaftlich unbestritten. Für warmblütige Säugetiere und den Menschen gilt, dass Individuen, welche ihre Homöothermie auch bei starken Abweichungen der Umwelttemperatur aufrechterhalten können, Vorteile haben. Insbesondere stellt sich die Frage nach der Hitzetoleranz und speziell beim Nutztier die Frage nach der Aufrechterhaltung von Produktion und Reproduktion unter den Bedingungen von Hitzestress. Das Vorliegen von Hitzestress kann u. a. durch Messung der Körpertemperatur, der Herzrate, der Atemfrequenz und der Schwitzrate gemessen werden. Die Belastbarkeit bzw. die Toleranz in Relation zu wechselnden Klimabedingungen ist bekanntermaßen nicht allein eine Funktion der Lufttemperatur, sondern auch der Luftfeuchtigkeit. Üblicherweise wird zur Charakterisierung der umgebenden klimatischen Bedingungen der Temperatur-Feuchtigkeitsindex (temperature humidity index, THI) verwendet (NRC 1971). Dieser ist definiert als

$$\text{THI} = (1,8 \cdot t + 32) - (0,55 - 0,0055 \cdot h) \cdot (1,8 \cdot t - 26) \quad (\text{Gl. 1})$$

t = Lufttemperatur in Grad Celsius

h = relative Luftfeuchte in %

Für hohe Temperaturen gilt gemäß der vorstehenden Formel, dass der resultierende THI-Wert deutlich erhöht ist, wenn die Luftfeuchtigkeit steigt. Die aufgeführte Formel zur Berechnung des THI wird teilweise auch variiert, z.B. so, dass für die Lufttemperatur nicht Tages- oder Stundenmittelwerte eingesetzt werden, sondern das Tagesmaximum, während für die Luftfeuchte das Tagesminimum verwendet wird (Brügemann et al. 2012).

Aufgrund der Tatsache, dass Geflügel und Schweine überwiegend in Ställen mit weitgehend kontrollierten Klimabedingungen gehalten werden, soll nachstehend insbesondere auf das Rind und speziell auf das Milchrind eingegangen werden.

2 Methoden der Tierzucht

Tierzucht kann definiert werden als die gezielte Auswahl von Elterntieren, deren Nachkommen die nächste Generation bilden. Wissenschaftlich gründet sich die Tierzucht damit auf die Genetik mit all ihren Teildisziplinen (z. B. Populationsgenetik, Molekulargenetik) und berührt alle angrenzenden Fächer der Lebenswissenschaften einschließlich der Medizin und verwendet deren Methoden. Hinsichtlich des Problems der Züchtung hitzetoleranter Tiere sind insbesondere drei Methodenfelder der Tierzucht von besonderer Bedeutung:

- Die Sammlung und Auswertung großer Felddatenbestände (Nutztiere in ihrer typischen Haltungsumwelt) mithilfe der wissenschaftlichen Statistik unter Einschluss der Modellierung mit komplexen gemischten Modellen (z. B. auch BLUP-Zuchtwertschätzung, Varianzkomponentenschätzung nach REML, Modelle mit zufälliger Regression usw.)
- Die Nutzung von hochdichten SNP-Array-Daten zur Entwicklung von Verfahren der genomischen Zuchtwertschätzung
- Die gezielte Einschleusung (Introgression) einzelner Genvarianten in Populationen sowie die Erhöhung der Frequenz dieser Allele durch die Zuchtwahl

3 Modellierung des Hitzestresses als Leistung in Relation zum THI

In der Literatur finden sich grundsätzlich zwei Ansätze zur Modellierung der Leistung – wobei es sich bei dem Begriff „Leistung“ auch um Merkmale wie Reproduktion oder Gesundheit handeln kann – in Relation zum THI. Einerseits finden sich Ansätze, welche zunächst eine Zone der Thermoneutralität definieren, in welcher die Leistung unbeeinflusst ist, an die sich aber nach Überschreiten eines Schwellenwertes ein deutliches Abknicken der Leistung zeigt (sogenannte Broken-line-Modelle). Andererseits finden sich mittlerweile vermehrt Modellierungen, welche die Relation zwischen Leistung und THI als kontinuierlich auffassen. Im einfachsten Fall geschieht das durch eine lineare Regression, wobei die Steigung die Empfindlichkeit des Tieres bzw. Genotyps bei wiederholten Messungen über den Parameterraum angibt. Derartige Modellierungen werden auch als Reaction-Norm-Modelle bezeichnet. Abbildung 1 zeigt dies schematisch:

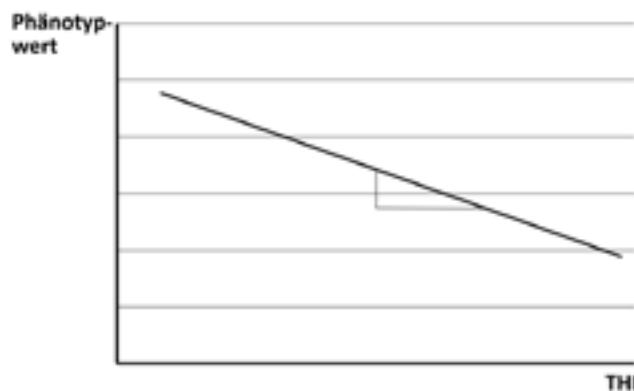


Abb. 1: Schema des Reaction-Norm-Ansatzes

Reaction-Norm-Modelle können auch auf Gruppen verschiedener Genotypen bzw. Rassen oder Linien angewendet werden und damit die Empfindlichkeit eines Genotyps/einer Rasse gegenüber der klimatischen Umgebung verdeutlichen. Natürlich ist die Modellierung auch komplexer möglich, z.B. in Form von höhergradigen Polynomen und ganz allgemein mithilfe jedweder mathematischen Funktionsmodellierung. Derartige komplexe Modelle werden in der Tierzucht z.B. zur Zuchtwertschätzung beim Milchrind für die Modellierung wiederholt gemessener Leistungen (Milchleistungen an Kontrolltagen) bereits seit längerem verwendet. Hierzu kommen Modelle zur Anwendung, welche die genetische Veranlagung eines Tieres nicht als skalaren Wert, sondern als Kurve definieren und schätzen (Random-Regression-Modelle). Diese können dann, im Fall der wiederholten Messung der Milchleistung, konsequent um die ganz analoge Modellierung der Schätzung der genetischen Veranlagung eines Tieres in Relation zum THI erweitert werden (z.B. Hayes et al. 2009, Brügemann et al. 2011, Santana et al. 2017, Nguyen et al. 2016). Es sind aber auch modellfreie Ansätze, z.B. unter Verwendung der Hauptkomponentenanalyse möglich (Macciotta et al. 2017). Von den bereits genannten Autoren werden auch Schätzwerte für den Erblichkeitsgrad (Heritabilität) der THI-Sensitivität angegeben, diese liegen mit 0,20 bis 0,40 in einem züchterisch erfolgreich nutzbaren Bereich. Bevor allerdings Entscheidungen über eine Verwendung derartiger Ansätze in der praktischen Tierzucht gefällt werden können, sollte auch die Frage der Beziehung der THI-Sensitivität zu anderen Merkmalen geklärt werden. Häufig muss von einem negativen Zusammenhang zur Leistung ausgegangen werden, d.h. genetisch geringer zur Milchleistung veranlagte Tiere zeigen eine bessere Robustheit gegenüber wechselnden THI-Werten (Hansen 2013, Nguyen et al. 2016). Andererseits finden Nguyen et al. (2016) auch eine züchterisch positive genetische Korrelation zwischen der THI-Empfindlichkeit und der Reproduktionsleistung. Für niedersächsische Verhältnisse wird von Brügemann et al. (2012) gezeigt, dass neben Hitzestress auch Kältestress nachgewiesen werden kann. Hansen (2013) vermutet, dass die Empfindlichkeit gegenüber Hitze negativ mit der Empfindlichkeit gegenüber Kälte genetisch korreliert ist. Dies würde in der Konsequenz bedeuten, dass eine Zucht auf Hitzetoleranz zu einer Verminderung der Kältetoleranz führen würde.

4 Genomische Ansätze

Die genomische Zuchtwertschätzung auf der Basis von Allelidentifikationen mittels SNP-Array-Chips ist seit mittlerweile 10 Jahren ein Standardverfahren in der Milchrinderzucht. In einer Lernstichprobe, gebildet aus Tieren, für die sowohl genomische Informationen (Bestimmung der Allele für z.B. 50.000 Punkte auf der DNA) als auch phänotypische Daten (Leistung, Gesundheitsstatus usw.) vorliegen, werden zunächst die Effekte der Punktmutationen (single nucleotide polymorphism, SNP) geschätzt; die Ergebnisse können nach einem Validierungsschritt in eine „Formel“ überführt werden. Mithilfe dieser „Formel“ können dann auch für solche Individuen genomische Zuchtwerte geschätzt werden, für die noch gar keine Phänotypinformation vorliegt. Dies betrifft beispielsweise sehr junge, gerade geborene Tiere, da ja nur eine Blut- bzw. Gewebeprobe zur DNA-Extraktion benötigt wird. Das Verfahren ist umso genauer, je mehr Individuen in die Lernstichprobe eingehen. Für die wichtigste Milchrinderrasse in Deutschland ist die genomische Zuchtwertschätzung für die „Standardmerkmale“ Milchleistung, Exterieur, Reproduktion, Kalbeverlauf, Nutzungsdauer, Zellzahl bereits seit 2009 etabliert. Im April 2019 kommt für die Rasse Holstein auch

eine genomische Zuchtwertschätzung für die Gesundheitskomplexe Stoffwechsel, Reproduktionsstörungen, Fundament und klinische Mastitis hinzu. Grundlage auf der Seite der Genomik sind – aufgrund einer europäischen Kooperation – derzeit 38.000 Bullen mit sicherer Töchterprüfung (Standardmerkmale). Zukünftig werden auch direkt die Phänotypwerte von nahezu 300.000 weiblichen Tieren mit einbezogen werden können, die bereits ebenfalls genotypisiert sind. Eine Ausweitung auf das Merkmal „Empfindlichkeit gegenüber THI“ wäre möglich, indem vorhandene Phänotypdaten mit Wetterdaten aus der jeweiligen Nähe der kuhhaltenden Betriebe kombiniert werden.

Wissenschaftlich ist die genomische Zuchtwertschätzung für „Empfindlichkeit gegenüber THI“ exemplarisch bereits von der australischen Arbeitsgruppe Hayes (Nguyen et al. 2016) demonstriert worden. Besonders eindrucksvoll war dabei die von derselben Arbeitsgruppe (Garner et al. 2016) durchgeführte Validierung der genomischen Zuchtwerte in einem unabhängigen Experiment, in welchem Kühe, die nicht zur Stichprobe der Entwicklung der genomischen Zuchtwertschätzung gehörten, nach ihren genomischen Zuchtwerten ausgewählt und in Klimakammern einem Hitze-Stress-Test unterzogen wurden. Die physiologische Reaktion der Kühe bestätigte die genomischen Zuchtwerte.

Gewissermaßen als „Nebenprodukt“ der genomischen Zuchtwertschätzung können durch die Schätzung der SNP-Effekte auch chromosomale Regionen und damit Kandidatengene identifiziert werden, welche die „Empfindlichkeit gegenüber THI“ beeinflussen. Derartige Kandidatengenlisten liegen aus den Studien von Nguyen et al. (2016), sowie Macciotta et al. (2017) bereits vor, beide Studien identifizieren allerdings unterschiedliche chromosomale Bereiche. Neue Studien mit größeren Lernstichproben lassen klarere Ergebnisse erwarten.

5 Spezielle Gene für Hitzetoleranz

Von der „karibischen“ (synthetischen) Rinderrasse Senepol, die aus Kreuzungen von Red Poll, Zebu und afrikanischen N'dama-Rindern hervorgegangen ist, ist bekannt, dass sie eine besondere Hitzetoleranz aufweisen, die ursächlich auf ihre sehr kurze und sehr glatte Behaarung zurückzuführen ist. Der Phänotyp und ebenso die bereits identifizierte chromosomale Region wird als „slick coat“ bzw. lediglich als „SLICK“ bezeichnet, die durch einen Markerhaplotyp eindeutig genotypisiert werden kann. Der aus der Rasse Senepol stammende Haplotyp wurde auch schon vor Längerem in die Rasse Holstein eingekreuzt. Dikmen et al. (2014) konnten zeigen, dass Holstein-Kühe mit dem SLICK-Haplotyp eine bessere Hitzetoleranz aufweisen. Es wäre also möglich, den erwünschten Haplotyp auch innerhalb der Rasse Holstein oder in anderen Rassen weiter anzureichern.

6 Variation der Hitzetoleranz innerhalb Rasse und Genotyp-Umwelt-Interaktion

Wie bereits erläutert, existiert eine genetische und auch genomisch nachweisbare Variation für Hitzetoleranz. In der Konsequenz bedeutet dies für das Milchrind, dass es Bullen gibt, deren Nachkommenschaften besonders empfindlich bzw. besonders unempfindlich gegenüber Hitze sind. Damit ist die Definition der Genotyp-Umwelt-Interaktion erfüllt. Genotyp-Umwelt-Interaktion meint, dass die Differenz der Phänotypwerte verschiedener Genotypen in verschiedenen Umwelten nicht konstant ist, wobei es sogar zu Rangverschiebungen kommen kann. Hinsichtlich der „Empfindlichkeit gegenüber THI“ sind die Umwelten auf einer kontinuierlichen Skala definiert (Reaction-Norm-Modell). Die Existenz einer Genotyp-Umwelt-Interaktion für die Deskriptor-Variablen THI ist von Hayes et al. (2009) an australischem Datenmaterial nachgewiesen worden, konnte allerdings von Brügemann et al. (2011) an niedersächsischem Material nicht voll bestätigt werden. Allgemein muss festgehalten werden, dass sich ein Vorliegen von Genotyp-Umwelt-Interaktion meist erst bei sehr großen Unterschieden zwischen den Umwelten zeigt.

7 Exporte von Genmaterial in heiße Klimate

Deutschland exportiert beim Rind in erheblichem Ausmaß Genmaterial in andere Länder und ganz besonders auch in Länder des Mittelmeerraums. Hier stellt sich die Frage, ob derartige Exporte in ihren Anpassungen an heiße Klimate auch den im Empfängerland nötigen Anforderungen hinsichtlich ihrer Anpassungsfähigkeit genügen bzw. sogar Genotyp-Umwelt-Interaktion vorliegt. Von der FAO (Boettcher et al. 2015) wird gefordert, dass für die Prüfung der Adaptation genetischen Materials

- a) zunächst noch bessere Daten hinsichtlich Klima, Boden, Vegetation und Wasserhaushalt in den Ländern heißer Klimate vorliegen müssen,
 - b) die Selektionsziele eindeutiger zu definieren sind und
 - c) sämtliche Werkzeuge der tierzüchterischen Selektion inklusive der Genomik zu verwenden sind.
- Carabano et al. (2019) stellen heraus, dass eine Verbesserung der Hitzetoleranz häufig bei Genotypen zu finden ist, die eine im Vergleich mit entwickelten Rassen gemäßigter Klimate erhöhte Fetteinlagerung aufweisen, welche sich allerdings zur Leistung antagonistisch verhält. Eine Lösung könnte die Selektion auf eine verbesserte Hitzetoleranz innerhalb der Rassen gemäßigter Klimate sein, wobei eine Verwendung dieses genetischen Materials in heißen Ländern auch in Form von Kreuzungen ermöglicht werden könnte.

8 Schlussfolgerungen

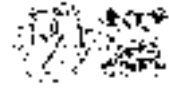
Der große Vorteil tierzüchterischer Maßnahmen ist die Möglichkeit der nachhaltigen Verbesserung ganzer Tierpopulationen. Die Frage nach einer teilweisen genetischen Determinierung der Hitzetoleranz kann populationsgenetisch und genomisch uneingeschränkt bejaht werden. Während bei Schwein und Geflügel aufgrund der ohnehin weitgehend kontrollierten Umweltbedingungen in Deutschland derzeit keine besondere Notwendigkeit einer Zucht auf verbesserte Hitzetoleranz vorliegt, könnte sich zukünftig beim Rind diese Notwendigkeit aber ergeben. Alle nötigen Werkzeuge hierzu, die Sammlung großer Felddatenbestände, welche lediglich noch mit Wetterdaten zu verknüpfen sind, sowie die genomische Selektion sind vorhanden. Zusammenhänge mit anderen Merkmalen sind für das Merkmal „Empfindlichkeit gegenüber THI“ allerdings noch weiter abzuklären.

Literatur

- Boettcher, P. J.; Hoffmann, I.; Baumung, R.; Drucker, A. G.; McManus, C.; Berg, P.; Stella, A.; Nilsen, L. B.; Moran, D.; Naves, M.; Thompson, M. C. (2015): Genetic resources and genomics for adaptation of livestock to climate change. *Frontiers in Genetics* 5; doi: 10.3389/fgene.2014.00461
- Brügemann, K.; Gernand, E.; von Borstel, U. U.; König, S. (2011): Genetic analyses of protein yield in dairy cows applying random regression models with time-dependent and temperature x humidity-dependent covariates. *J. Dairy Sci.* 94, pp. 4.129–4.139
- Brügemann, K.; Gernand, E.; König von Borstel, U. U.; König, S. (2012): Defining and evaluating heat stress thresholds in different dairy cow production systems. *Archiv Tierz.* 55, pp. 13–24
- Carabano, M. J.; Ramon, M.; Menéndez-Buxadera, A.; Molina, A.; Diaz, C. (2019): Selecting for heat tolerance. *Animal Frontiers* 9(1), pp. 62–68
- Dikmen, S.; Khan, F. A.; Huson, H. J.; Sonstegard, T. S.; Moss, J. I.; Dahl, G. E.; Hansen, P. J. (2014): The SLICK hair locus derived from Senepol cattle confers thermotolerance to intensively managed lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 97, pp. 5.508–5.520
- Garner, J. B.; Douglas, M. L.; O Williams, S. R.; Wales, W. J.; Marett, L. C.; Nguyen, T. T. T.; Reich, C. M.; Hayes, B. J. (2016): Genomic selection improves heat tolerance in dairy cattle. *Sci. Reports* 6; <https://doi.org/10.1038/srep34114>
- Hansen, P. J. (2013): Genetic control of heat stress in dairy cattle. *Proc. 49th Florida Dairy Prod. Conf.*, Gainesville, April 10, pp. 26–32
- Hayes, B. J.; Bowman, P. J.; Chamberlain, A. J.; Savin, K.; van Tassel, C. P.; Sonstegard, T. S.; Goddard, M. E. (2009): A validated genome wide association study to breed cattle adapted to an environment altered by climate change. *PlosOne* 4(8); <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0006676>
- Macciotta, N. P. P.; Biffani, S.; Bernabucci, U.; Lacetera, N.; Vitali, A.; Ajmone-Marsan, P.; Nardone, A. (2017): Derivation and genome-wide association study of a principal component-based measure of heat tolerance in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 100, pp. 4.683–4.697
- Nguyen, T. T. T.; Bowman, P. J.; Haile-Mariam, M.; Pryce, J. E.; Hayes, B.J. (2016): Genomic selection for tolerance to heat stress in Australian dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 99, pp. 2.849–2.862
- NRC (1971): A guide to environmental research on animals. *Natl. Acad. Sci.*, Washington, D.C.
- Santana, M. L.; Bignardi, A. B.; Pereira, R. J.; Stefani, G.; El Faro, L. (2017): Genetics of heat tolerance for milk yield and quality in Holsteins. *Animal* 11(1), pp. 4–14



Martin-Luther-University Halle-Wittenberg
Institute of Agricultural and Nutritional Sciences (IANS)
Animal Breeding



Anpassungen der Landwirtschaft an den Klimawandel: Tierzucht – Möglichkeiten und Grenzen

Hermann H. Swalve

KTBL-Fachtagung 2019
Kühlen Kopf bewahren – Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel
Darmstadt, 20./21. März 2019

Fokus: Milchrinder, Anpassungsmöglichkeiten

- Mit 4.2 Mill. Tieren sind Milchkühe in D besonders bedeutsam
- Mehr dem Klima ausgesetzt als Schweine (Rinder in Weidehaltung, in Kaltställen)
- Bislang vorherrschende Ansicht: Hitzestress hat in unserem Klima für Kühe wenig Bedeutung
→ Nach Jahren des für jeden sichtbaren Klimawandels hat sich diese Ansicht gewandelt!

Homöothermie, Hitzestress

- Individuen, die ihre Homöothermie auch bei starken Schwankungen des sie umgebenden Klimas aufrecht erhalten können, haben Vorteile
- Wichtige Frage beim Nutztier: Aufrechterhaltung von Produktion und Reproduktion bei [Hitzestress](#)
- Hitzestress kann man messen: Körpertemperatur, Herzrate, Atemfrequenz, Schwitzrate

Charakterisierung der umgebenden klimatischen Bedingungen durch [Temperatur-Feuchtigkeitsindex](#) (temperature humidity index, THI):

$$\text{THI} = (1.8 * t + 32) - (0.55 - 0.0055 * h) * (1.8 * t - 26)$$

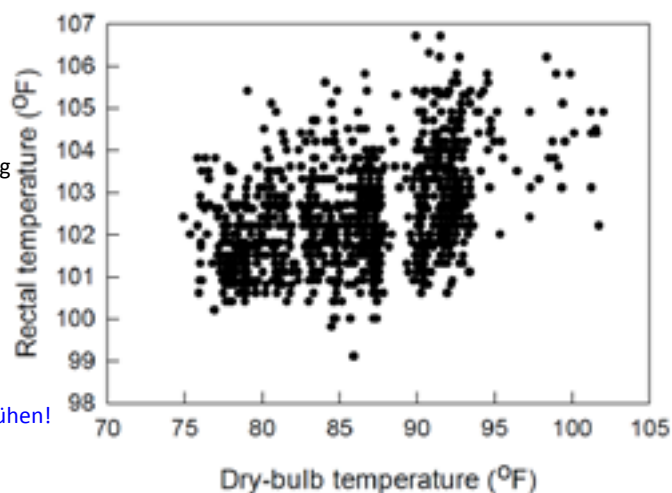
Wobei t = Lufttemperatur in Grad Celsius und h = relative Luftfeuchte in %

Hitzestress

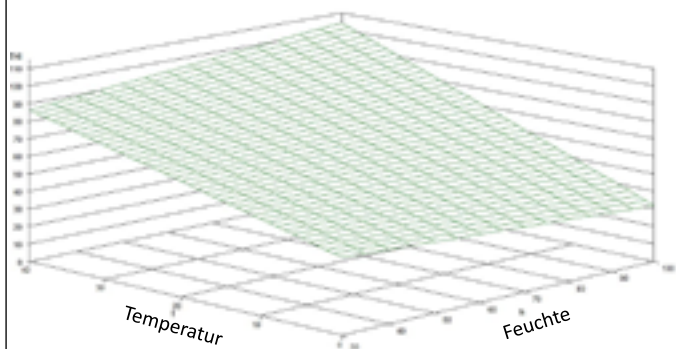
Zusammenhang zwischen Körpertemperatur und Lufttemperatur der Umgebung

(Hansen, 2013)

- Eindeutige Regression mit positiver Steigung
- Aber recht hohe Variation zwischen den Kühen!



THI: Welche Werte kommen vor?

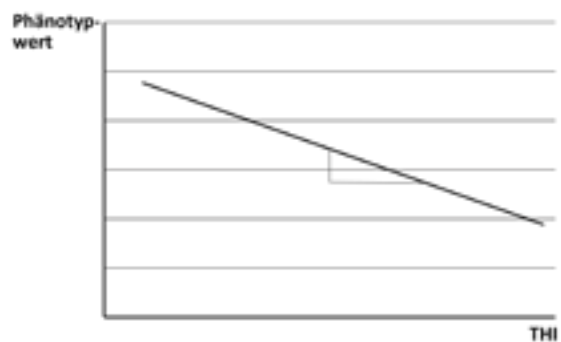


$$THI = (1.8 * t + 32) - (0.55 - 0.0055 * h) * (1.8 * t - 26)$$

t	h	THI
0	30	42.01
0	90	33.43
5	30	47.54
5	90	41.93
10	30	53.08
10	90	50.44
15	30	58.62
15	90	58.95
20	30	64.15
20	90	67.45
25	30	69.69
25	90	75.96
30	30	75.22
30	90	84.46

Reaction Norm Models:

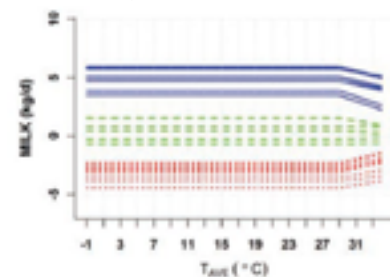
Modellierung der Leistung in Relation zu einer kontinuierlichen Variablen → THI



Steigung der Regression $b_{y,THI}$ gibt das Ausmaß des Abfalls der Leistung relativ zur Veränderung des THI um eine Einheit; für ein Tier, eine Linie, eine Rasse, eine Gruppe Verwandter ...

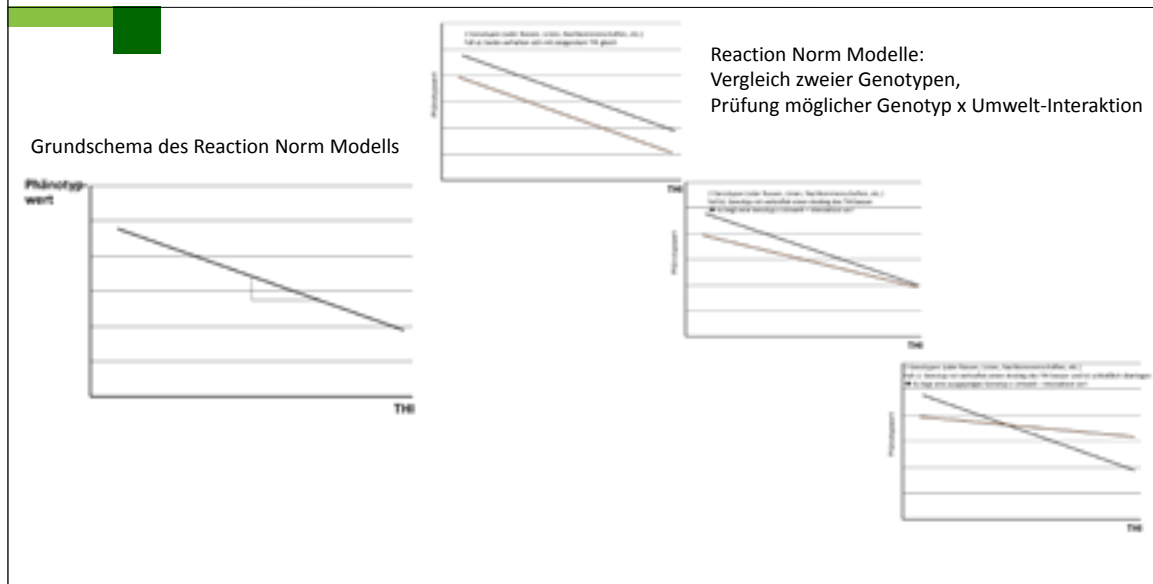
Alternative Formulierung:
Das Broken Line Modell

Über einen weiten thermoneutralen Bereich ist die Leistung konstant, dann fällt sie ab



Carabano et al., 2014

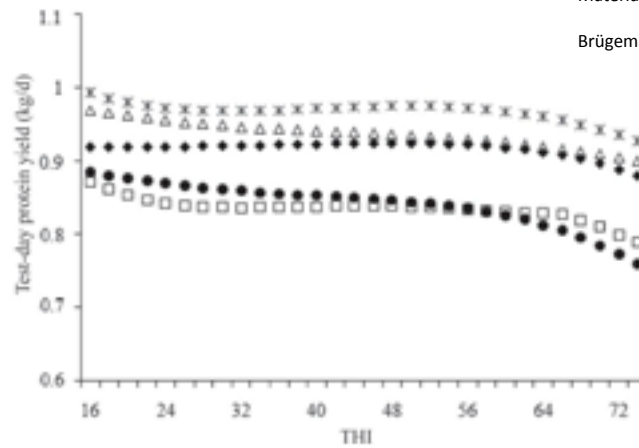
Reaction Norm Models: Modellierung der Leistung in Relation zu einer kontinuierlichen Variablen → THI



Modellierung der Leistung in Relation zu kontinuierlichen Variablen

- In der Tierzucht ein alter Hut
- Bestes Beispiel: Testtagsmodelle modellieren die Milchleistung am MLP-Kontrolltag in Relation zum Abstand von der Kalbung in Tagen (**DIM**) → Random Regression Modelle
- Random Regression Modelle:
 - Berücksichtigung des kurvilinearen Verlaufs der Laktationsleistung hinsichtlich der Umwelt und der Genetik
 - Schätzung der genetischen Veranlagung jedes Milchrindes als Kurve
- Reaction Norm Modelle sind lediglich ein weiterer Spezialfall solcher Modellierungen
- Random Regression Modelle können vergleichsweise einfach um einen Part zur Berücksichtigung z.B. des THI im Sinne eines Reaction Norm Modells erweitert werden

Kontrolltagsleistung Eiweißmenge in Relation zu DIM und THI



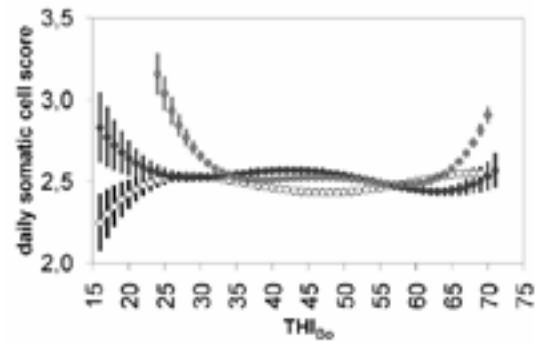
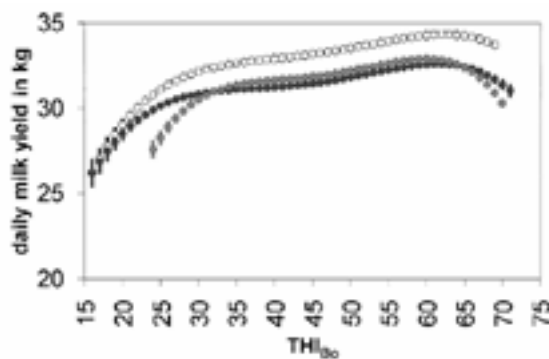
Material: 1.095.980 Kontrolltagsleistungen
154.880 Kühe in Thüringen
Brügemann et al., 2011 (AG TZ Gießen)

Figure 2. Test-day protein yield (kg/d) by temperature-humidity index (THI) for different periods of DIM (black circles = 1-20 d, white triangles = 21-43 d, stars = 44-146 d, black rhombus = 147-207 d, white squares = 208-205 d).

Kontrolltagsleistung Milchmenge / Zellzahl (als SCS) in Relation zu DIM und THI

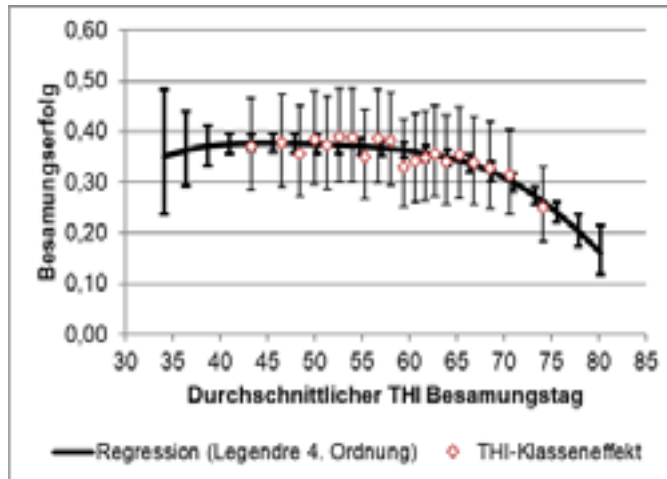
3 Regionen in Niedersachsen

Material: 142.000 Kühe in Niedersachsen
Brügemann et al., 2012 (AG TZ Gießen)



(white: ○ crop production, dark grey: ● pasture, and light grey: ● coast)

Besamungserfolg in Relation zum THI



Kipp et al. (2018)

Kontrolltagsleistung Eiweißmenge in Relation zu DIM und THI: Heritabilitäten

Material: 1.095.980 Kontrolltagsleistungen
154.880 Kühe in Thüringen
Brügemann et al., 2011 (AG TZ Gießen)

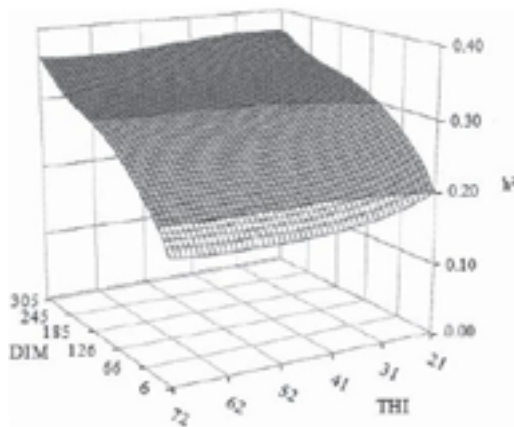


Figure 6. Heritabilities for test-day protein yield by combination of temperature-humidity index (THI) and DIM (white = heritability ranging from 0.10 to 0.20; light gray = heritabilities ranging from 0.20 to 0.30; dark gray = heritabilities ranging from 0.30 to 0.40).

Modellierung als 2 Umwelten: Unter/Über THI = 60

Table 1. Heritabilities and genetic correlations (r_g) from bivariate analyses of test-day protein yield below and above a temperature-humidity index (THI) threshold of 60, stratified by periods of DIM for the calving years 2003 and 2005 (SE of estimates in parentheses)

DIM	2003			2005		
	h^2_{below}	h^2_{above}	r_g	h^2_{below}	h^2_{above}	r_g
1-30	0.07 (0.02)	0.05 (0.06)	0.33 (0.60)	0.85 (0.02)	0.82 (0.02)	0.99 (0.01)
31-60	0.09 (0.01)	0.09 (0.02)	0.52 (0.65)	0.11 (0.01)	0.12 (0.02)	1.00 (0.00)
61-146	0.15 (0.02)	0.12 (0.02)	0.96 (0.00)	0.16 (0.02)	0.12 (0.02)	1.00 (0.00)
147-237	0.18 (0.02)	0.19 (0.02)	0.98 (0.00)	0.20 (0.02)	0.20 (0.02)	0.97 (0.02)
238-305	0.19 (0.02)	0.18 (0.02)	0.99 (0.00)	0.22 (0.02)	0.16 (0.02)	1.00 (0.00)

Schätzung des Erblichkeitsgrades (Heritabilität) für die THI-Sensitivität

- Schätzwerte liegen meist um 0.20 bis 0.40 → züchterisch gut nutzbares Merkmal
- Zusammenhang zu allen anderen wichtigen Merkmalen ist jeweils zu prüfen
- THI-Sensitivität beim Milchrind antagonistisch zur Milchmengenleistung, aber günstig korreliert mit der Reproduktionsleistung

Genomische Zuchtwertschätzung und Selektion

Genotypisierung einer Referenz-Stichprobe
Schätzung der SNP-Effekte
Entwicklung einer Formel zur g-Zuchtwertschätzung

Validierung (Überprüfung) der Methode
in einer unabhängigen Stichprobe

Anwendung der validierten Formel zur
g-Zuchtwertschätzung bei
Selektionskandidaten ohne
herkömmliche Leistungsprüfung

Kontinuierliche Ergänzung der
Referenz-Stichprobe



Genotypisierung von 54.000 Punkten
auf der DNA je Tier mittels SNP-Chips

Erst dieser Schritt erbringt eine
sichere Aussage

Das Ziel: Genomische Zuchtwerte für
junge Bullen, bevor sie eingesetzt
werden

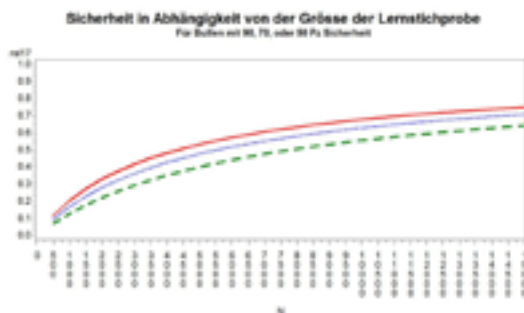
Die Lernstichprobe muss immer
wieder erweitert werden

Genomische Zuchtwertschätzung und Selektion

- Heute Standard in der Zuchtwertschätzung bei fast allen landwirtschaftlichen Nutztieren
- Problem ist meist, die für den Anfang benötigte **Lernstichprobe (LSP)** zusammenzubekommen
- Kleine Populationen sind im Nachteil (Schöpke und Swalve, 2016)
- Genotypisierung von Kühen ist dann ein Ausweg
- Häufig ist dann die Phänotypisierung (gerade bei neuen Merkmalen) wesentlich teurer als die Genotypisierung
- Für das Problem „Hitzestress“ liegen aber in vielen Ländern sehr gute Wetterdaten bereits vor
 → eine Frage der Zusammenführung sehr großer Datenbestände

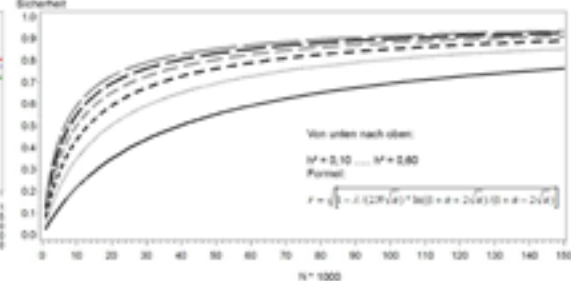
Genomische Zuchtwertschätzung und Selektion: Welche Sicherheit kann erwartet werden?

LSP aus Bullen (jeweils viele Töchter)



LSP aus einzelnen Kühen

Sicherheit in Abhängigkeit von der Größe der Lernstichprobe aus Kühen bei unterschiedlicher Heritabilität



(Formeln n. Goddard, 2009; eig. Grafiken)



Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Professur für Tierzucht





JUSTUS-LIEBIG-
UNIVERSITÄT
GIESSEN

Projekt Kuh-L (Kuh-Lernstichproben)

Fördersumme: 2.1 Mill. Euro
2014 - 2017



Förderverein
Bioökonomieforschung e.V.



PTU
Paritätischer Tierärztekongress

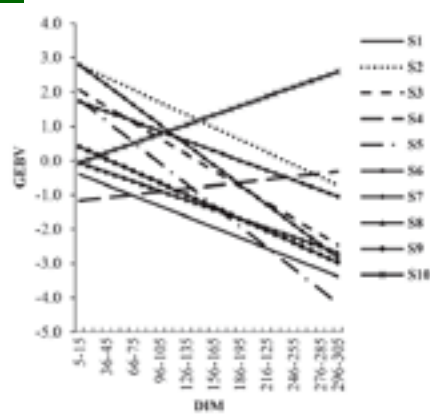


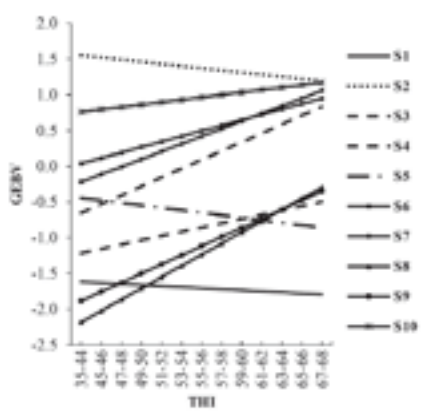
Halle (MLU, H.H. Swalve & Team)
Gießen (JLU, S. König & Team)
Verden (vit, F. Reinhardt & Team)



Ergebnisse der genomischen Zuchtwertschätzung für Milchmenge für 10 Väter > 150 Töchter in Relation zum Laktationsstadium (DIM) und zum THI

Bohlouli et al., 2019 (AG TZ Gießen)
Daten: KUHL-Projekt in MV und BB



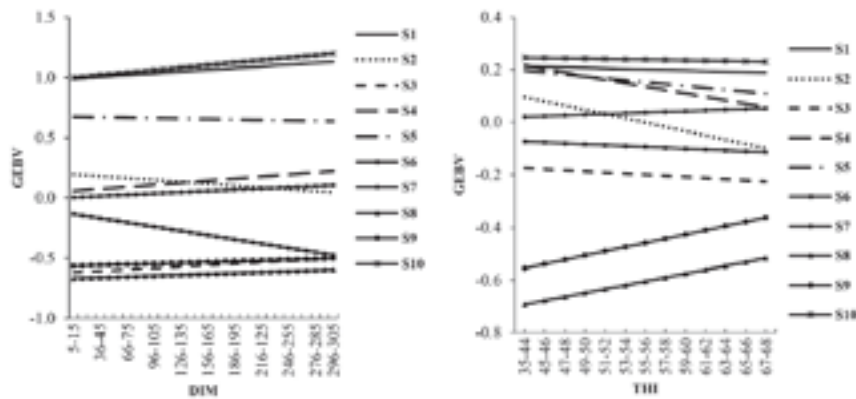


Genotyp x Umwelt-Interaktion existiert! – Dies gilt sowohl für das Laktationsstadium als auch für die THI-Sensitivität!

Ergebnisse der genomischen Zuchtwertschätzung für Zellzahl (als SCS) für 10 Väter > 150 Töchter in Relation zum Laktationsstadium (DIM) und zum THI

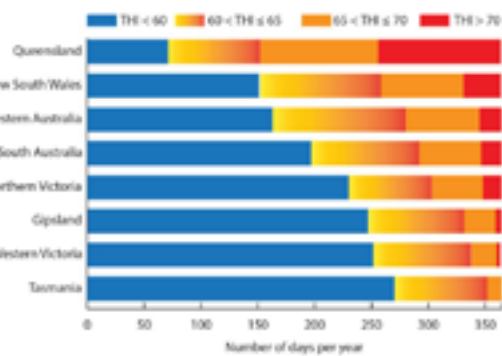
Bohlouli et al., 2019 (AG TZ Gießen)

Daten: KUHL-Projekt in MV und BB



Genotyp x Umwelt-Interaktion nur schwach ausgeprägt – Dies gilt sowohl für das DIM als auch für die THI-Sensitivität!

Genomische Zuchtwertschätzung und Selektion: AG Hayes (Nguyen et al., 2016), Australien



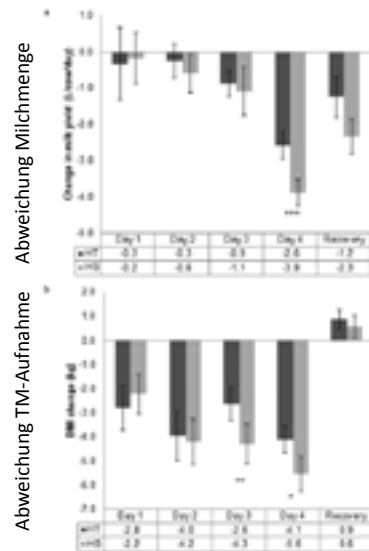
- Genotypisierung von 2.735 Holstein- und 710 Jersey-Bullen
- Teils mit hochdichtem Chip (777K-Chip), teils mit 56-K-Chip
- 6.8 Mill. Kontrolltagsdaten der Töchter, Wetterdaten dazu
- Genauigkeit der genomischen ZWS 0.39 – 0.57 für Holstein, 0.44 – 0.61 für Jersey
- Korrelationen zum bisherigen Gesamtzuchtwert in Australien waren leicht negativ
→ antagonistische Beziehung

Genomische Zuchtwertschätzung und Selektion: AG Hayes (Garner et al., 2016), Australien

- Folgearbeit zu Nguyen et al., 2016
- 390 Kühe, die vorher nicht genotypisiert waren, wurden mit einem Low-Density-Chip (6.900 SNP) genotypisiert
- Anwendung der „Formel“ von Ngyuen et al. 2016
- 24 hitzeresistente Kühe und 24 hitzeanfällige Kühe wurden aufgrund ihres GZW ausgewählt
- Diese Kühe → Klimakammer!

Klimakammer: 4 Tage, Tag/Nacht-Simulation
 THI 71.6 – 82.1

HT = Heat Tolerant
 HS = Heat Susceptible

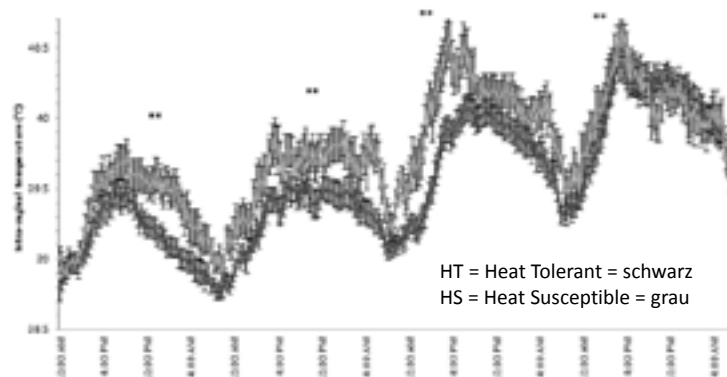


Genomische Zuchtwertschätzung und Selektion: AG Hayes (Garner et al., 2016), Australien

- Anwendung der „Formel“ von Ngyuen et al. 2016
- 24 hitzeresistente Kühe und 24 hitzeanfällige Kühe wurden aufgrund ihres GZW ausgewählt
- Diese Kühe → Klimakammer!

- Bis zum Tag 3: deutliche niedrigere Körpertemperatur der HT-Kühe!

→ Die ultimative Validierung der genomischen ZWS für THI-Sensitivität bei „eigentlich“ noch recht kleiner Größe der Lernstichprobe!



Der SLICK – Haplotyp: Ein Beispiel für ein Einzelgen, welches die Hitzetoleranz beeinflusst

Ursprünglich gefunden in der Rasse

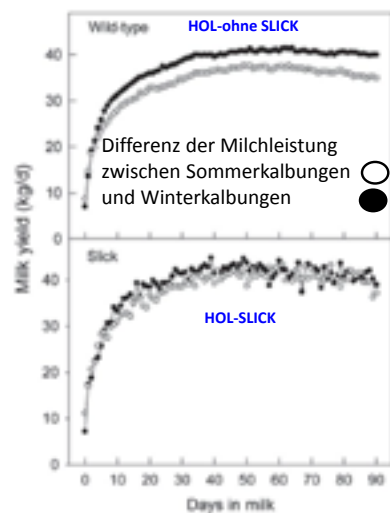
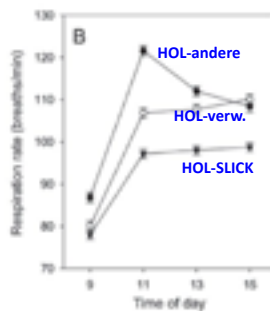
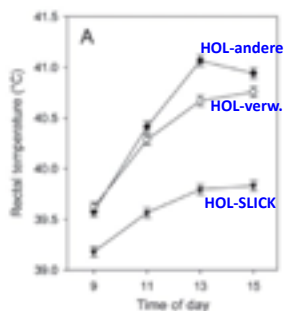
SENEPOL

- Karibikinsel St. Croix
- Molekular gesicherte Zusammensetzung:
 - 89 % Red Poll
 - 10.4 % Zebu
 - 0.6 % N'dama
- Phänotyp: Sehr kurzes, sehr glattes Haarkleid
- Einkreuzt in Holsteins in Florida
- Auch in anderen seltenen synthetischen Rassen (z.B. Carora → Braunvieh x Criollo)

Der SLICK – Haplotyp: Ein Beispiel für ein Einzelgen, welches die Hitzetoleranz beeinflusst

Experiment von Dikmen et al. (2014) – AG Hansen, U Florida
3 Gruppen von Versuchstieren:

- Holsteins mit SLICK
- Verwandte dieser Tiere ohne SLICK
- Andere Holsteins



Introgression von Varianten einzelner wichtiger Gene für Hitzetoleranz

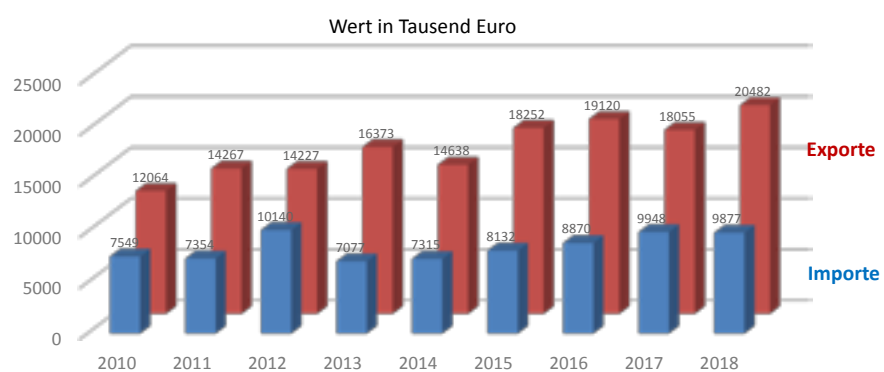
- Möglich, aber langwierig
- Problem wäre ähnlich dem Problem „Zucht auf Hornlosigkeit“
- Gefahr von Verlust genetischer Diversität

- Beispiel *SLICK* wäre ideal zur Umsetzung mittels Genome Editing
 - Präzise genetische Veränderungen durch den Einsatz von DNA-Nukleasen



(Grafik: www.transgen.de)

Deutschland: Im- und Exporte Rindersperma (alle Rassen)



Quelle: Statistisches Bundesamt - <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online>

Nicht-tierzüchterische Maßnahmen

Bei Weidegang:

- Schattenplätze müssen vorhanden sein
- Wasserversorgung sicherstellen
- Zeitpunkt des Weidegangs eventuell auf die kühleren Abendstunden verlegen

Bei Stallhaltung: Sprinkler, Lüfter

Schlussfolgerungen

- Tierzüchterisch existieren gute Ansätze zur Zucht auf Klimastress-Resistenz
- Insbesondere über Genomische Selektion
- Eigentlich beim Thema Klima-Toleranz ideale Verhältnisse, da vorhandene Informationen und Genotypisierungen zusammen mit ebenfalls vorhandenen Wetterdaten genutzt werden können
 - Rechentechnisch aufwändig, aber machbar
 - Bisheriger Stand der Literatur zeigt, dass es lohnend wäre
- Tierzüchterische Maßnahmen sind nachhaltig
- Eine Entscheidung, wirklich auf Hitzestress-Resistenz zu züchten, muss bedenken, dass der Züchterfolg in Leistungsmerkmalen tangiert wird

Klimawandel und Tierseuchen: Was kommt auf uns zu? Wie können wir reagieren?

FRANZ J. CONRATHS

Friedrich-Loeffler-Institut, Institut für Epidemiologie, Greifswald-Insel Riems

1 Einleitung

Veränderte Umweltbedingungen, die sich auf Tierseuchen auswirken können, ergeben sich aus dem direkten Einfluss des Wandels klimatischer Faktoren, aber auch durch Migration und Urbanisierung sowie durch die Globalisierung von Warentransporten und den weltweiten Reiseverkehr. Alle diese Faktoren bedingen Änderungen im Auftreten von Infektionskrankheiten, zu denen auch die Tierseuchen gehören. In besonderem Maße gilt das für Infektionen, die hierzulande früher als „exotisch“ eingestuft wurden, diesen Charakter aber weitgehend verloren haben. Hierzu zählen beispielsweise die Blauzungenkrankheit, die hauptsächlich Wiederkäuer und Kameliden betrifft (Conraths et al. 2008, 2010) und die West-Nil-Virus-Infektion von Vögeln, Pferden und Menschen, die im Jahre 2018 erstmals in Deutschland nachgewiesen wurde (Ziegler et al. 2019).

2 Fortschritte der Tierseuchenbekämpfung und das Risiko neuer Ausbrüche

Bei Lebensmittel liefernden Tieren hat insbesondere die Bekämpfung von Tierseuchen, die vormalig bei Wiederkäuern in Deutschland endemisch waren, in den letzten Jahren und Jahrzehnten große Fortschritte gemacht. Rinderbrucellose und -tuberkulose und die Bovine Spongiforme Enzephalopathie wurden getilgt. Auch bezüglich der BHV-1-Infektion des Rindes hat Deutschland inzwischen einen amtlichen freien Status gemäß Artikel der Richtlinie 64/432/EWG erreicht, auch wenn wir damit rechnen müssen, dass das Virus noch im Lande zirkuliert und daher besondere Wachsamkeit, eine strenge Überwachung und hohe Anforderungen an die Biosicherheit nötig sind, um das Erreichte zu bewahren. Ähnliches gilt für die Bovine Virusdiarrhöe. Zwar ist für diese Tierseuche der Freiheitsstatus noch nicht erreicht, aber in greifbare Nähe gerückt (Wernike et al. 2017).

Mögliche Bedrohungen für Wiederkäuer stellen insbesondere Vektor-übertragene Krankheiten dar. Angefangen von Bakterien wie *Ehrlichia (Cowdria) ruminantium* (Erreger der Herzwasserkrankheit; von Amblyomma-Zecken übertragen), über Parasitosen wie die Besnoitiose, die sich in Südeuropa und Frankreich stark ausgebreitet und Deutschland zumindest punktuell bereits erreicht hat (Schaes et al. 2009), bis hin zu einer Reihe von Tierseuchen, die durch Viren verursacht werden, insbesondere das durch Stechmücken-übertragene Riftalfieber und das Krim-Kongo-Hämorrhagische Fieber, das Hyalomma-Zecken als Vektor nutzt, sowie die Lumpy Skin Disease gibt es eine Vielzahl bekannter Erreger, mit denen bei uns im Wiederkäuerbereich künftig gerechnet werden muss. Auch Tierseuchen, die in Deutschland in der Vergangenheit aufgetreten sind, können zurückkehren. So löste die Blauzungenkrankheit (Serotyp 8), die zuvor in Deutschland noch nie aufgetreten war, in den Jahren 2006 bis 2009 eine Epidemie aus (Conraths et al. 2008, 2010). Die Tierseuche konnte mithilfe flächendeckender Impfungen getilgt werden (Gethmann et al. 2015), wurde aber im Dezember 2018 erneut in Deutschland festgestellt.

Darüber hinaus ist die Einschleppung direkt übertragener Krankheiten möglich, wie ein Ausbruch von Maltafieber (*Brucella melitensis*) in Oberösterreich im Juni/Juli 2018 vor Augen führte. Auch das Auftreten der Pest der kleinen Wiederkäuer in Bulgarien gibt Anlass zur genauen Beobachtung der epidemiologischen Lage bezüglich dieser Tierseuche.

Hinzu kommt, dass auch zuvor unbekannte Infektionskrankheiten auftreten können, wie die Schmallenbergvirus-Epidemie (Conraths et al. 2013) oder – in der jüngeren Vergangenheit – die Batai-Virusinfektionen bei Wiederkäuern gezeigt haben (Ziegler et al. 2018). In beiden Fällen spielen Insekten (Gnitzen beziehungsweise Stechmücken), die in ihren biologischen Eigenschaften und der Vektor-Kompetenz stark von den Umgebungstemperaturen abhängig sind, eine zentrale Rolle bei der Übertragung.

Auch beim Schwein konnte die Tierseuchenbekämpfung große Erfolge verzeichnen: Die Klassische Schweinepest wurde in Deutschland bei Haus- und Wildschweinen sowie die Aujeszky'sche Krankheit bei Hausschweinen getilgt. Andererseits bedroht die Afrikanische Schweinepest die Schweineproduktion in ganz Europa und durch das Vordringen der Tierseuche nach China auch in weiten Teilen Asiens. Für die Verbreitung dieser Tierseuche ist primär menschliches Handeln (insbesondere Verfüttern von Speiseabfällen und unsachgemäße Entsorgung von Produkten, die von infizierten Schweinen stammen oder kontaminiert sind) verantwortlich, nicht jedoch der Klimawandel.

Beim Geflügel stellen unter den Tierseuchen Infektionen mit hochpathogenen aviären Influenzaviren (HPAIV) die größte Bedrohung dar. HPAIV des Subtyps H5N8 verursachten in den Jahren 2016 bis 2017 die größte Geflügelpest-Epidemie, die in Deutschland und Europa bisher beobachtet wurde (Globig et al. 2018). Für die Entstehung und Ausbreitung dieser Viren ist menschliches Handeln mitverantwortlich, jedoch spielt der Klimawandel dabei vermutlich keine wesentliche Rolle. Demgegenüber kann das Westnil-Fieber, eine Virusinfektion, die durch Stechmücken übertragen wird und Vögel, Pferde und den Menschen betrifft, durch klimatische Faktoren beeinflusst werden, weil die Vektoren in ihrer Biologie und bezüglich der Vektor-Kompetenz von der Umgebungstemperatur abhängen.

3 Fazit

Vor dem Hintergrund der Globalisierung müssen wir jederzeit damit rechnen, dass bei uns nicht-heimische Tierseuchen eingeschleppt werden. Es ist wahrscheinlich, dass der Klimawandel diese Entwicklung insbesondere bei den Vektor-übertragenen Krankheiten zusätzlich befördern kann. Mögliche Schutzmaßnahmen reichen je nach Tierseuche von einer Verbesserung der Biosicherheit bis hin zu flächendeckenden Impfungen.

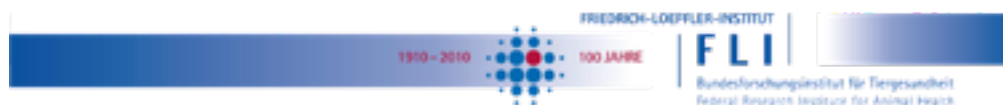
Literatur

- Conraths, F. J.; Gethmann, J.; Staubach, C.; Mettenleiter, T. C.; Beer, M.; Hoffmann, B. (2008): Epidemiology of bluetongue virus serotype 8, Germany. *Emerg. Infect. Dis.* 15, pp. 433–435
- Conraths, F. J.; Gethmann, J. M.; Hoffmann, B.; Beer, M.; Kramer, V.; Staubach, C. (2010): Impact of climate change on orbivirus infection. *Nova Acta Leopoldina* 381, pp. 93–98
- Conraths, F. J.; Peters, M.; Beer, M. (2013): Schmallenberg virus, a novel orthobunyavirus infection in ruminants in Europe: Potential global impact and preventive measures. *N Z Vet J.* 61, pp. 63–67
- Gethmann, J.; Probst, C.; Sauter-Louis, C.; Conraths, F.J. (2015): Economic analysis of animal disease outbreaks--BSE and Bluetongue disease as examples. *Berl Munch Tierarztl Wochenschr.* 128, S. 478–482
- Globig, A.; Staubach, C.; Sauter-Louis, C.; Dietze, K.; Homeier-Bachmann, T.; Probst, C.; Gethmann, J.; Depner, K. R.; Grund, C.; Harder, T. C.; Starick, E.; Pohlmann, A.; Höper, D.; Beer, M.; Mettenleiter, T. C.; Conraths, F.J. (2018): Highly Pathogenic Avian Influenza H5N8 Clade 2.3.4.4b in Germany in 2016/2017. *Front Vet Sci.* 4:240
- Schares, G.; Basso, W.; Majzoub, M.; Cortes, H. C.; Rostaher, A.; Selmair, J.; Hermanns, W.; Conraths F. J.; Gollnick, N. S. (2009): First in vitro isolation of *Besnoitia besnoiti* from chronically infected cattle in Germany. *Vet Parasitol.* 163, pp. 315–322
- Wernike, K.; Gethmann, J.; Schirrmeier, H.; Schröder, R.; Conraths, F. J.; Beer, M. (2017): Six years (2011–2016) of mandatory nationwide bovine viral diarrhoea control in Germany – a success story. *Pathogens* 18, 6(4), 50
- Ziegler, U.; Lühken, R.; Keller, M.; Cadar, D.; van der Grinten, E.; Michel, F.; Albrecht, K.; Eiden, M.; Rinder, M.; Lachmann, L.; Höper, D.; Vina-Rodriguez, A.; Gaede, W.; Pohl, A.; Schmidt-Chanasit, J.; Groschup, M. H. (2019): West Nile virus epizootic in Germany, 2018. *Antiviral Res.* 162, pp. 39–43

Klimawandel und Tierseuchen: Was kommt auf uns zu? Wie können wir reagieren?

Franz J. Conraths

Friedrich-Loeffler-Institut
Bundesforschungsinstitut
für Tiergesundheit
Greifswald-Insel Riems

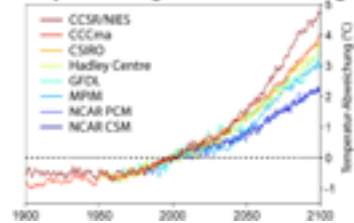


Globale Erwärmung: Projektion

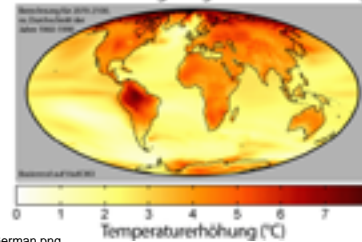
- Steigerung der Temperaturen im Mittel um ca. 2-5°C

- Deutliche regionale Unterschiede
- Größte Steigerungen:
 - Arktis
 - Südamerika

Projektionen globaler Erwärmung



Vorausberechnung der globalen Erwärmung



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/61/Global_Warming_Predictions_Map_2_German.png

1910 - 2010 100 JAHRE
 FRIEDRICH-LOEFFLER-INSTITUT
FLI
 Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit
 Federal Research Institute for Animal Health



PUBLIC HEALTH ADVICE



on preventing
health effects
of heat

NEW and UPDATED
information
for different audiences

WHO, 2011,
aktualisiert 2019

1910 - 2010 100 JAHRE
 FRIEDRICH-LOEFFLER-INSTITUT
FLI
 Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit
 Federal Research Institute for Animal Health

Klimawandel und Tierseuchen

- Einfluss des Klimawandels auf die Verbreitung von Infektionskrankheiten ist plausibel und wahrscheinlich, besonders bezüglich Vektor-übertragener Krankheiten (Arthropoden etc.)
 - Besondere Risiken für in Deutschland nicht heimische Krankheiten
 - Internationales Engagement zur Prävention und Bekämpfung vor Ort nötig
- Genaue Prognosen sind schwierig, viele Aussagen in der wissenschaftlichen Literatur beruhen nicht auf Daten
 - Verfügbare Daten und Projektionen (Temperatur, Feuchtigkeit, Niederschläge) reichen nicht aus, um hinreichend genaue prädiktive Modelle für Infektionskrankheiten zu erstellen
 - Es gibt nur wenige Meta-Analysen zum möglichen Einfluss des Klimawandels auf die Epidemiologie von Tierseuchen
 - Der Einfluss der Klimawandels auf die Epidemiologie von Tierseuchen ist weitgehend unbewiesen, auch wenn er wahrscheinlich ist. Der Klimawandel ist nur ein Faktor unter vielen in einer komplexen Interaktion von Pathogen, Wirt und Umwelt (Heffernan & Salmon 2012).
- Temperaturerhöhungen können einen irreversiblen Trigger-Effekt auf die Verbreitung und Etablierung von Tierseuchen haben.
 - Beispiel: Verbreitung der Blauzungenkrankheit durch lokal vorkommende Vektoren nach Einschleppung

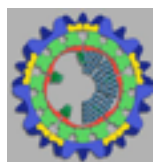
1910-2010

100 JAHRE

FLI

Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit
Federal Research Institute for Animal Health

Blauzungenkrankheit



BTV
Familie: *Reoviridae*
Genus: *Orbivirus*

Doppelsträngige RNA
10 Segmente

3 Nichtstrukturproteine
7 Strukturproteine

≥ 24 Serotypen

Culicoides spp.
Familie: *Ceratopogonidae*
(„Gnitzen“)

1-3 mm lange Mücken,
viele nicht hämatophag

in DE über 80 Arten



1910-2010

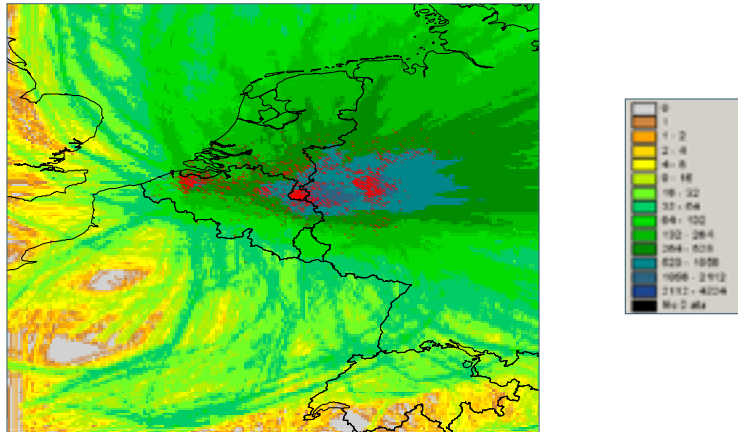
100 JAHRE

FLI

Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit
Federal Research Institute for Animal Health

Wind und BTV-8

BTV8 2006 outbreak area: 4 week time lag wind / outbreaks)



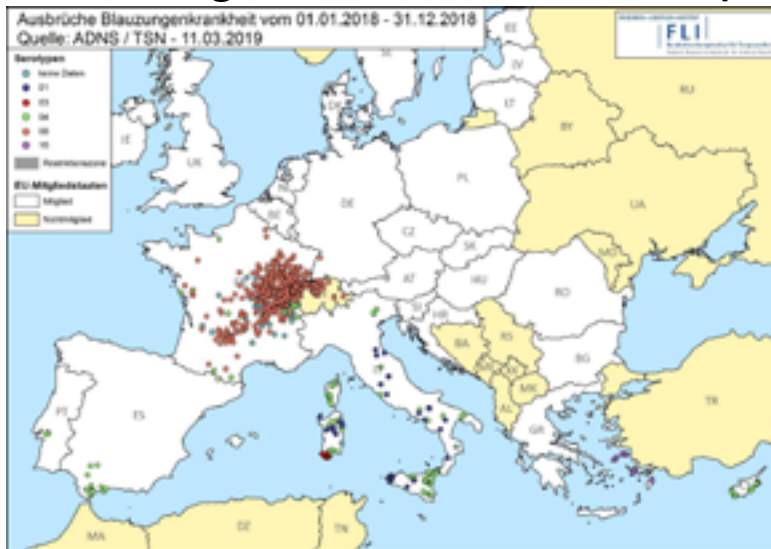
& Institut für Epidemiologie



FRIEDRICH-LOEFFLER-INSTITUT
FLI

Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit
Federal Research Institute for Animal Health

Blauzungenkrankheit in Europa



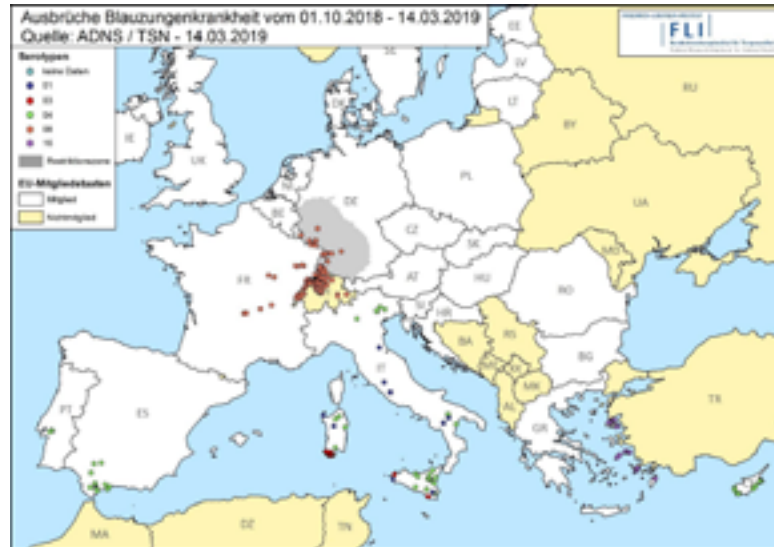
& Institut für Epidemiologie



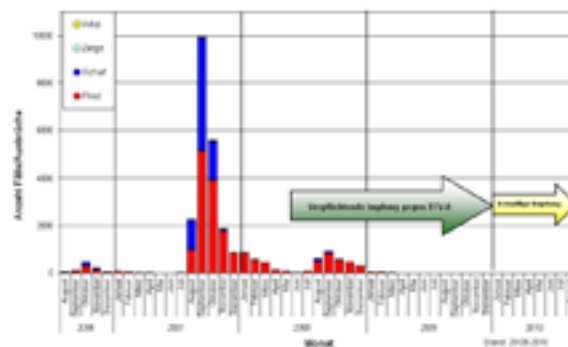
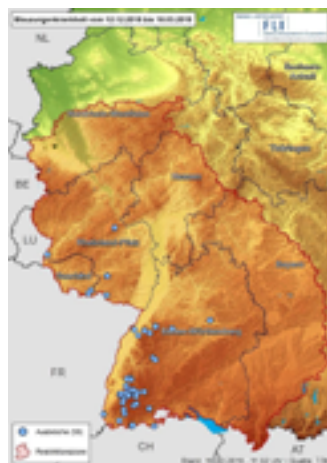
FRIEDRICH-LOEFFLER-INSTITUT
FLI

Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit
Federal Research Institute for Animal Health

Blauzungenkrankheit in Europa



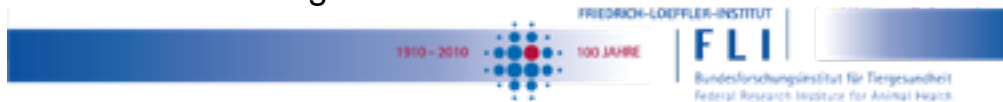
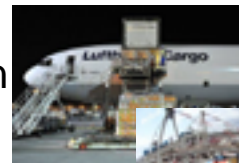
Blauzungenkrankheit in Deutschland



Seit dem 12.12.2018 wieder in Deutschland: BW, SL, RP: KEINE KLINIK

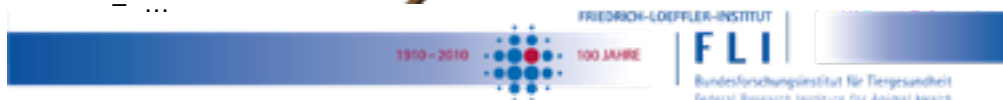
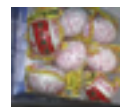
Eintragsquelle nicht identifiziert

- BTV-8, Schmallenberg-Virus, BTV-6, Batai-Virus
- Illegale Einfuhr
 - Tiere, Sperma, Embryonen, Lebend-Impfstoffe, Sera
- Einschleppung von infizierten Vektoren
 - Internationale Flughäfen, Häfen
 - Verdriftung mit dem Wind



Risiken der Globalisierung

- Handel
 - Tiere
 - Produkte tierischer Herkunft
- Personenverkehr
 - Einfuhr potenziell kontaminierter Lebensmittel
 - Schuhwerk, Kleidung, ...
- Unbelebte Vektoren
 - Fahrzeuge
 - Gegenstände, die mit Tieren oder Produkte von Tieren in Kontakt kommen
- Belebte Vektoren
 - Arthropoden
 - Vögel
 - ...



Flug-, Schiffsverkehr und Straßennetz



International scheduled passenger traffic (RPK) growth in 2017, 2018 4 billion passengers

Quelle: Shipping lanes map created from data downloaded at www.aoml.noaa.gov/phod/trinanes/BBXX, Map created from Environmental Systems Research Institute's (ESRI) Digital Chart of the World (DCW) global vectors, created in 1992

Quelle: International Civil Aviation Organization (ICAO) <https://www.icao.int>



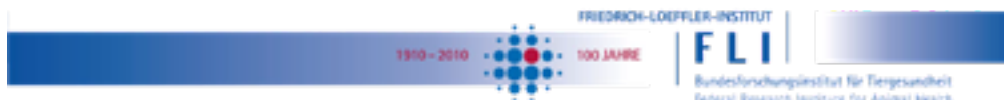
Rifttal-Fieber

- Phlebovirus, *Bunyaviridae*
- Vektoren: *Culex*, *Aedes*
- oft inapparent in adulten Rindern, Schafen
- Aborte, Tod bei jungen Tieren
- **Zoonose**
 - Mensch
 - Grippe-artige Symptome
 - Enzephalitis, Retinitis
 - **Tödliches hämorrhagisches Fieber**
- Bewässerungsprojekte
 - Brutstätten für Mücken
 - Neue Weidegründe für Rinder
 - Hohe Tierdichte
 - Verbringen infizierter Tiere



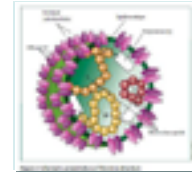
Fig. 1 Rift Valley fever outbreaks in the world since 1930. A black dot indicates the source of the virus.

Chevalier et al., 2004

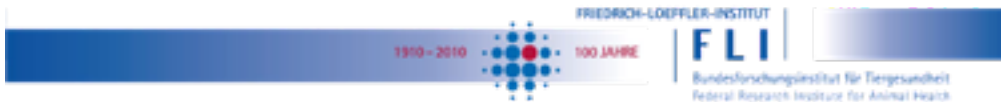




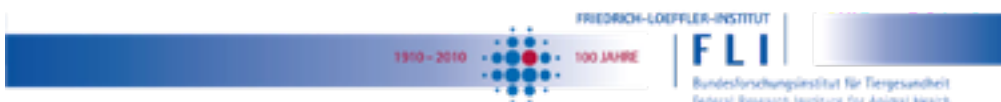
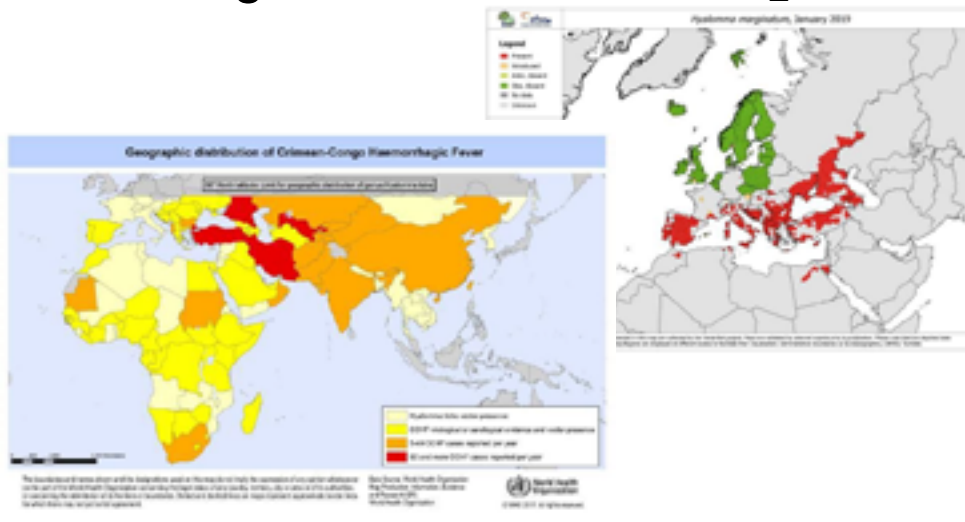
Krim-Kongo-Fieber



- Bunyaviridae, Nairovirus
 - Breites Wirtsspektrum, Hase, Igel, Pferd, Esel, Rind, Schaf, Ziege, Schwein
 - Keine Erkrankung; Reservoir
 - **Gefährliche Zoonose: Mensch: hämorrhagisches Fieber, Hepatitis**
 - **Letalität: 10-50% (teilweise bis über 70%)**
 - **Humane Infektionen auch nach Umgang mit infiziertem Vieh, Schlachtung; Kontakt mit Blut von subklinisch infizierten Tieren; Exposition gegenüber infizierten Zecken (Feldarbeit etc.)**
 - Rind: i.d.R. nur Antikörnernachweise
 - Vektor: Zecken (*Hyalomma* spp.), auch transvariell; infizierte Zecken auf Zugvögeln gefunden



Krim-Kongo-Fieber und *H. marginatum*



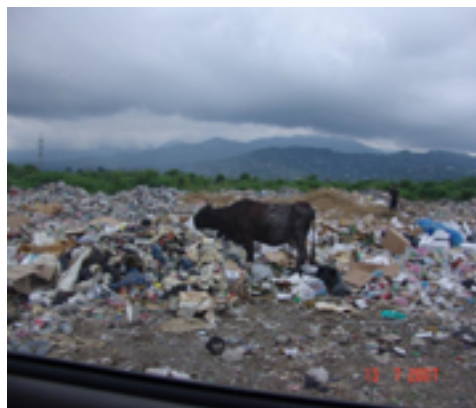
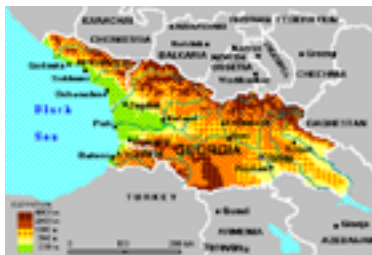
Afrikanische Schweinepest

2007 - 2019



1910 - 2010 100 JAHRE **FLI** Friedrich-Loeffler-Institut Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit Federal Research Institute for Animal Health

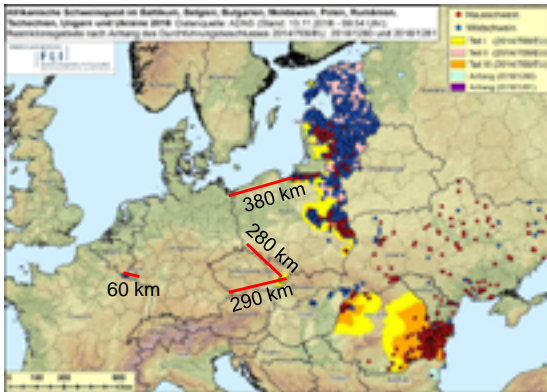
Einschleppung der ASP nach Georgien (2007)



Picture: M. Kramer

1910 - 2010 100 JAHRE **FLI** Friedrich-Loeffler-Institut Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit Federal Research Institute for Animal Health

Aktuelle Lage 2018



Afrikanische Schweinepest im Baltikum, Belgien, Bulgarien, Polen, Tschechien, Ungarn, Rumänien und Ukraine in 2018

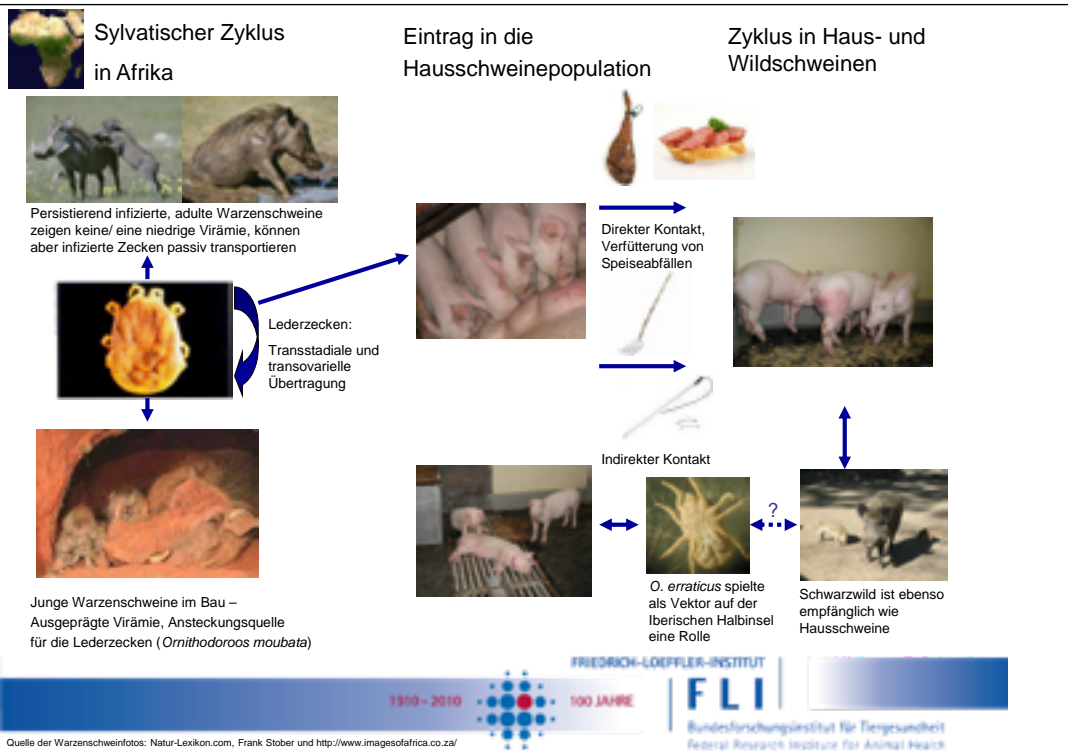
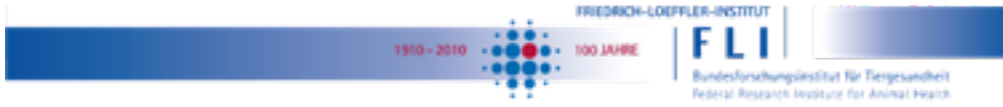
Quelle: OIEWS (Stand: 01.01.2018-31.12.2018)

Übersicht über die Anzahl der gemeldeten Ausbrüche/Fälle der Virose vom 01.01.2018 - 31.12.2018 in Klammern

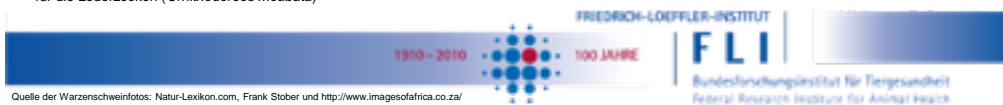
	Hausschweine	Wildschweine	Gesamt
Estland	0 (0)	208 (208)	208 (208)
Lettland	33 (33)	605 (605)	638 (638)
Litauen	71 (71)	1252 (1252)	1323 (1323)
Polen	339 (339)	2309 (2309)	2648 (2647)
Ungarn	87 (87)	36 (36)	123 (123)
Tschechische Rep.	0 (0)	28 (28)	28 (28)
Rumänien	1096 (1096)	105 (105)	1201 (1201)
Ukraine	0 (0)	52 (52)	52 (52)
Bulgarien	1 (1)	4 (4)	5 (5)
Belgien	0 (0)	60 (60)	60 (60)
Gesamt	1394 (1344)	4341 (4444)	5735 (5788)

Entfernung der nächsten Fälle von Deutschland:

- Étalle (BE): ca. 60 km (Rheinland-Pfalz)
- Zlín (CZ): ca. 280 km (Sachsen) - 290 km (Bayern)
- Braniewo (PL): ca. 380 km (Mecklenburg-Vorpommern)



Quelle der Warzenschweinefotos: Natur-Lexikon.com, Frank Stober und <http://www.imagesofafrica.co.za/>



Biologische Charakterisierung



Kein Impfstoff

Klinik

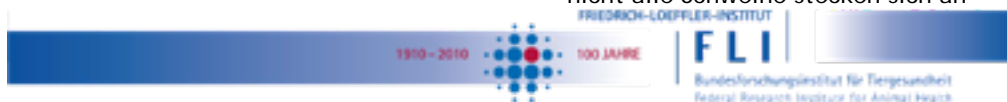
- Fieber
- Inappetenz
- Hämorrhagien („Ebola der Schweine“)
- Blaufärbungen bei Erregung und nach dem Auftreiben ab Tag 6/7
- Bewegungsstörungen (Tag 8)
- Somnolenz (Tag 8/9)
- Tod nach 6 bis 10 Tagen


Hohe Letalität

- fast alle infizierten Schweine sterben



Mäßige Kontagiosität


- nicht alle Schweine stecken sich an








Maßnahmenkatalog
Optionen für die Bekämpfung der afrikanischen Schweinepest bei Wildschweinen im Seuchenfall




ASP-Früherkennung
Was ist zu tun, wenn verdächtige Schwarzmit gefunden wird?




Exemplarische Anwendung jagdlicher Maßnahmen im Seuchenfall der Afrikanischen Schweinepest (ASP)

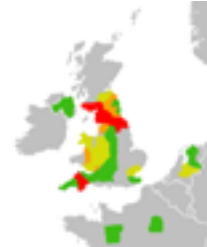
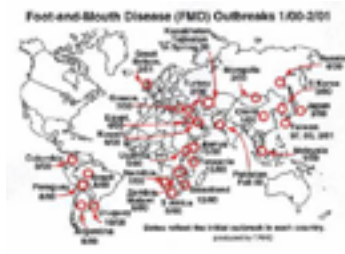


<https://www.fli.de/de/aktuelles/tierseuchengeschehen/afrikanische-schweinepest/>
<http://www.jagdverband.de/node/7908>

Checkliste Schweinehaltungen
https://www.openagrar.de/servlets/MCRFileNodeServlet/openagrar_derivate_00014697/Checkliste-ASP-2018-07-20.pdf



Prävention: Was wir nicht wollen



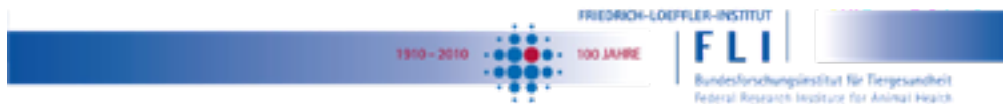
Vereinigtes Königreich 2001

6.5-(10) Mill. Tiere getötet
 Verlust: 6.6 Milliarden €
 EU-Konfinanzierung: 400 million €
 Gesamtkosten: 12 Milliarden €



Ausbrüche

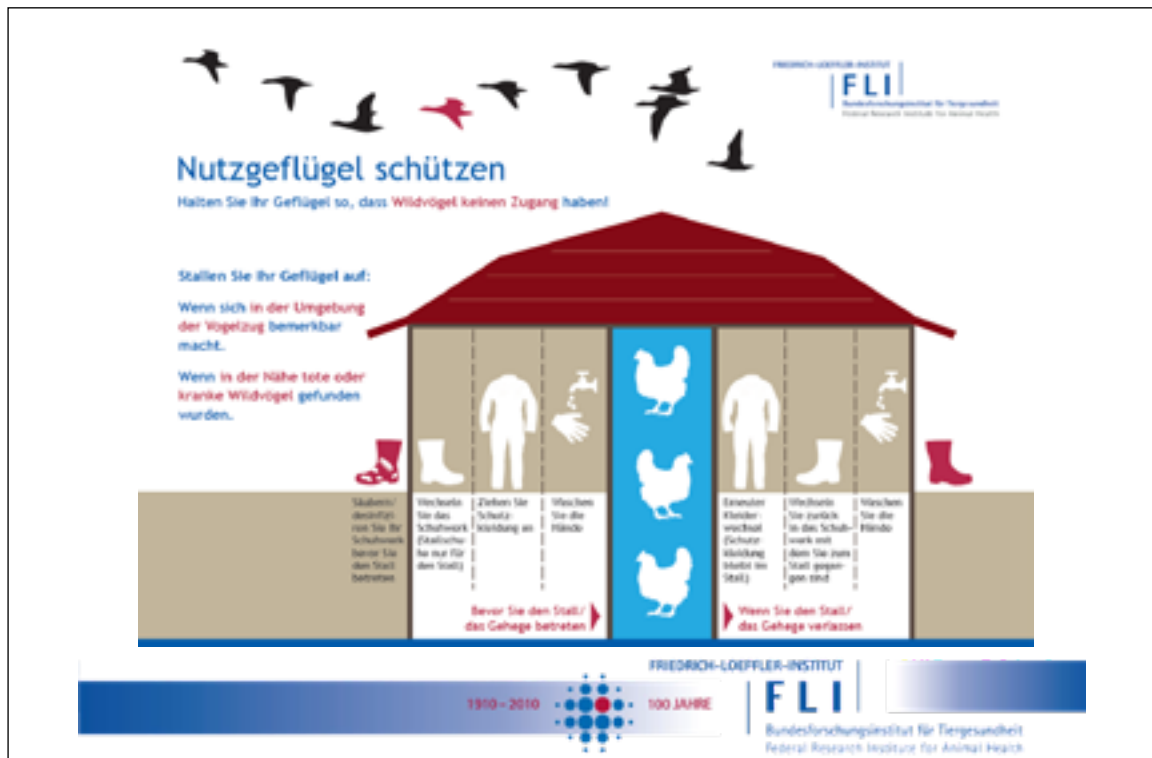
UK: 2030
 NL: 25
 FR: 2
 IRE: 1



Prävention: Was wir wollen

- Einschleppung von Tierseuchen vermeiden
 - Tierseuchen-Situation weltweit beobachten
 - Berichtssysteme, (Konferenzen, Kontakte, Missionen)
 - Grenzen: politische Barrieren
 - Tierseuchen bekämpfen, wo sie vorkommen
 - AG Internationale Tiergesundheit
 - Verbringungs- und Handelsbeschränkungen
 - Risikobewertungen als wissenschaftliche Entscheidungsbasis
- Frühes Entdecken von Ausbrüchen
 - Indexfall erkennen
 - Rückverfolgung der Infektionskette
- Verhinderung bzw. frühe Entdeckung der Verbreitung
 - Tracing forward
 - Netzwerk-Analyse: Landwirtschaftliche Betriebe bilden ein Netzwerk





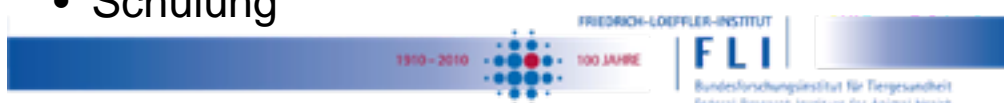
Biosicherheit

- Checkliste (Grundlage: EFSA)

- Prüfung des Status
 - Selbsteinschätzung
- Prüfung der Praktikabilität
- Kontinuierliche Überwachung der Einhaltung der rechtlichen Anforderungen und der betrieblichen Regelungen



- Schulung


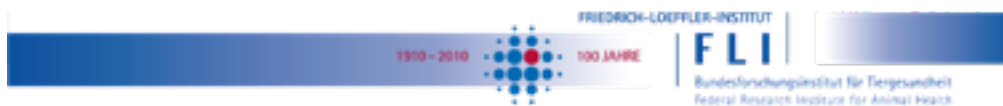


Biosicherheit

- Risikoampel

- Online-Tool
- Selbsteinschätzung
- „To-Do-Liste“

<https://risikoampel.uni-vechta.de/>



Brückenschlag zwischen Architektur und Veterinärepidemiologie: Infektionsprävention beim Stallbau



Carolina Probst¹, Susann Weise¹, Wolfgang Sunder²,
Jan Holzhausen², Elena Perria², Franz J. Conraths¹

¹ Institut für Epidemiologie, Friedrich-Loeffler-Institut

² Institut für Industriebau und Konstruktives Entwerfen, Technische Universität Braunschweig



II. Entwicklung von Checklisten für den Neu-/Umbau eines Rinder-/ Geflügelstalls

Biosicherheit in Geflügel-Betrieben					
	sehr wichtig	wichtig	weniger wichtig	unwichtig	keine Angabe
I. Wie wichtig sind aus Ihrer Sicht folgende Eintragsgrößen?					
Mensch					
Tierzufuhr					
Wildtiere					
Haustiere					
Insekten					
Luft					
Wasser					
Fäkalien					
Erntestreu					
Fahrzeuge					
Geschäftsbereich					
II. Wie relevant für Biosicherheit sind aus Ihrer Sicht folgende Bereiche?					
Allgemeines Betriebsgelände					
Logistikbereich: Zufuhr					
Logistikbereich: Abfuhr					
Personenschleuse					
Fahrweg- und Gerätschleuse					
Stallgebäude					
Selektion/ Krankentier					
Quarantänebereich					
III. Wie relevant für Biosicherheit sind aus Ihrer Sicht folgende bauliche Maßnahmen?					
I. Allgemein					
1. Bei Neu-, Renovierung oder Erweiterung eines neuen Stallgebäudes wird Biosicherheit bereits in der Planungsphase mitberücksichtigt					
2. Bei der Bauplanung wird ein Tierarzt bzw. eine Person mit speziellen Fachkenntnissen zu Biosicherheit einbezogen					
3. Das Betriebsgelände ist in mindestens drei verschiedene Biosicherheitsbereiche aufgeteilt: (i) Allgemeines Betriebsgelände und Logistik (ii) Schüssen und (iii) Produktionszone. Im Folgenden als (i) grüner, (ii) gelber und (iii) roter Bereich bezeichnet					
4. Die Logistikzone ist zusätzlich in Zufuhr und Abfuhr unterteilt. Zufuhr: Futtermittel, Erntestreu, tierische Produkte, Kadaver, Mist, Müll und verbrauchte Güter.					
5. Schüssen sind zusätzlich in eine reine und unreine Seite unterteilt (log. "Schwarz-Weiß-Prinzip")					

Biosicherheit in Milchrind-Betrieben					
	sehr wichtig	wichtig	weniger wichtig	unwichtig	keine Angabe
I. Wie wichtig sind aus Ihrer Sicht folgende Eintragsgrößen?					
Mensch					
Tierzufuhr					
Wildtiere					
Haustiere					
Insekten					
Luft					
Wasser					
Fäkalien					
Erntestreu					
Fahrzeuge					
Geschäftsbereich					
II. Wie relevant für Biosicherheit sind aus Ihrer Sicht folgende Bereiche?					
Allgemeines Betriebsgelände					
Logistikbereich: Zufuhr					
Logistikbereich: Abfuhr					
Personenschleuse					
Fahrweg- und Gerätschleuse					
Stallgebäude					
Selektion/ Krankentier					
Quarantänebereich					
III. Wie relevant für Biosicherheit sind aus Ihrer Sicht folgende bauliche Maßnahmen?					
I. Allgemein					
1. Bei Neu-, Renovierung oder Erweiterung eines neuen Stallgebäudes wird Biosicherheit bereits in der Planungsphase mitberücksichtigt					
2. Bei der Bauplanung wird ein Tierarzt bzw. eine Person mit speziellen Fachkenntnissen zu Biosicherheit einbezogen					
3. Das Betriebsgelände ist in mindestens drei verschiedene Biosicherheitsbereiche aufgeteilt: (i) Allgemeines Betriebsgelände und Logistikzone, (ii) Schüssen und (iii) Produktionszone. Im Folgenden als (i) grüner, (ii) gelber und (iii) roter Bereich bezeichnet					
4. Die Logistikzone (Versorgung, Entsorgung) ist zusätzlich in Zufuhr und Abfuhr unterteilt. Zufuhr: Futtermittel, Erntestreu, tierische Produkte, Kadaver, Mist, Müll und verbrauchte Güter					
5. Schüssen sind zusätzlich in eine reine und unreine Seite unterteilt (log. "Schwarz-Weiß-Prinzip")					

→ Empfehlungscharakter



IV. Erstellung eines Klassifikationsmodells (Milchrind, Geflügel)



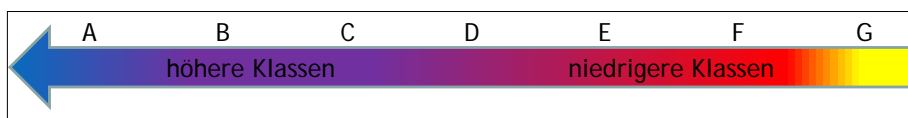
Wir klassifizieren die HARDWARE...



... NICHT die SOFTWARE

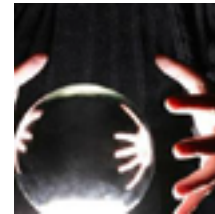


... und leiten daraus Empfehlungen für Bauplaner ab



Vorhersagbarkeit von Ausbrüchen

- Frühwarnung
 - Internationales System
 - OIE: WAHID; FAO: EMPRES-i; WHO; ProMED; ADNS
 - Nationale Systeme
- Wachsendes Risiko ist manchmal erkennbar
 - MKS im Vereinigten Königreich, 2001
 - Hochpathogene aviäre Influenza H5N1, 2006
 - Blauzungenkrankheit in Deutschland, 2018
- Plötzliche, nicht vorsagbare Epidemien
 - Blauzungenkrankheit, Nordwest-Europa 2006
 - Schmallenberg Virus, 2011
 - Hochpathogene aviäre Influenza H5N8 2016/2017



Die Vorhersagbarkeit von Epidemien ist begrenzt.

Syndromic Surveillance

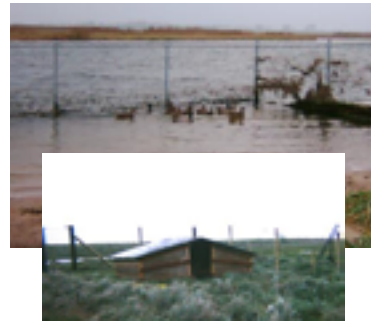
“Syndromic surveillance is the analysis of medical data to detect or anticipate disease outbreaks.”

- Klinische Befunde, (ungewöhnliche) Symptome, Syndrome, Leistungsabfall
 - Informationen in Datenbanken sammeln (z.B. über Internet-Portale)
 - Help Desk, Aufzeichnen von Anfragen
 - GD (Netherlands): frühe Entdeckung von Schmallenbergvirus-Infektionen bei Rindern (2011)
- Chancen
 - Erfassung von frühen Anzeichen für neue Geschehen
 - Basis für Entscheidung über Bekämpfungsmaßnahmen
- Risiken
 - Umgehen der vorgeschriebenen Verdachtsanzeigen an die Veterinärbehörden



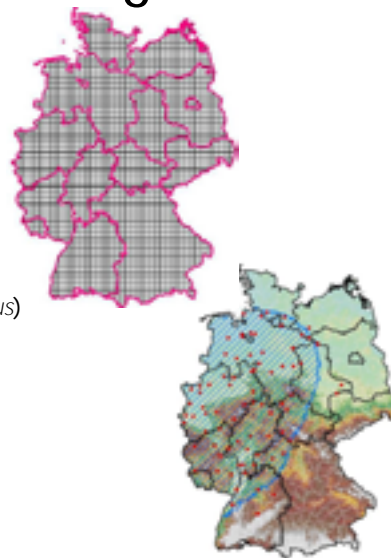
Sentinelherden

- Nicht infizierte Kohorten von Tieren (Herden) werden regelmäßig untersucht (klinisch, Blutproben, ...), um eine Infektion so früh wie möglich zu erkennen.
 - Sentinel-Enten (Stockenten) zur Überwachung des Spektrums von Influzaviren, die bei Wildvögeln im Umlauf sind (Insel Riems, FLI)
 - Entdeckung neuartiger Vektorübertragener Krankheiten bei Wiederkäuern (Niederlande)



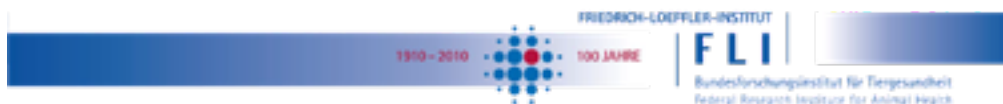
Vektor-Monitoring

- Kontinuierliches landesweites Monitoring von Arthropoden
 - Stechmücken, Gnitzen, Zecken
- Invasionsmonitoring
 - Entdeckung neu eingeschleppter Vektoren
 - Asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*)
 - Flughäfen, Häfen
 - Pflanzenimporte ???
- Pathogenmonitoring
 - Testen von Arthropodenfängen auf Krankheitserreger
 - Westnil-, Chikungunya-, Riftalfieber-, Usutu-, Batai- Virus ...



Zusammenfassung

- Wir müssen jederzeit mit dem Auftreten neuer und bisher nicht heimischer Infektionen rechnen
 - Die Globalisierung ist die größte Gefahr für die Verbreitung von Tierseuchen.
 - Weltweiter Personen- und Warenverkehr
 - Regeln von Handel und Geschäft im Vordergrund
 - Mangelnde Transparenz bezüglich Tierseuchen
 - Die Veränderungen des Klimas verstärken die Gefahren, besonders bezüglich Vektor-übertragener Krankheiten.
 - Eintrittspforten in Europa müssen identifiziert und geschlossen werden.
 - Internationale Flughäfen, Häfen, ...
 - Biosicherheit in den Betrieben verbessern
 - Schulung: „Awareness“ erhöhen

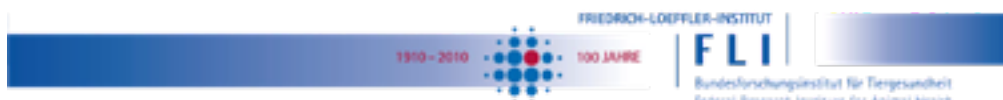


Danksagungen

Prof. Dr. Martin Groschup
Dr. Jörn M. Gethmann
Nicole Reimer
Patrick Wysocki
Stephan Eichenberg



... vielen Dank !



Der klimaangepasste Rinderstall

PETER STOETZEL, JOHANNES ZAHNER

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Poing

1 Einleitung

Aufgrund der globalen Klimaerwärmung und der höheren Stoffwechselleistung von Milchkühen muss immer häufiger mit dem Auftreten von kritischen Temperaturen im Stall gerechnet werden. Neben der Lufttemperatur spielen insbesondere die Luftfeuchtigkeit, die Luftgeschwindigkeit und die Strahlungswärme, die vor allem über erwärmte Bauteile wie Dachflächen in den Stall gelangt, die entscheidende Rolle.

Zu Beginn des Forschungsvorhabens durchgeführte Messungen an verschiedenen Praxisbetrieben haben gezeigt, dass unterschiedliche Ausführungen der baulichen Hülle auch zu Unterschieden im Temperaturverhalten führen. Dabei konnte festgestellt werden, dass bei einigen Praxisbetrieben die Innentemperatur tagsüber, und damit die Hitzestressbelastung, höher war als außen. Differenzierte Aussagen dazu, welche baulichen Einflussfaktoren in welchem Maße dafür verantwortlich sind und inwieweit eine Optimierung möglich ist, waren aber aufgrund der Vielzahl der Parameter und der schwer vergleichbaren Rahmenbedingungen der Messungen wie Tierdichte, Klimadaten und Stallmanagement nicht möglich.

2 Bauliche Maßnahmen zur Reduzierung von Hitzestress

Um gleiche Rahmenbedingungen zu gewährleisten, wurden mithilfe eines hygrothermischen Simulationsprogramms verschiedene digitale Gebäudemodelle mit unterschiedlichen baukonstruktiven Eigenschaften untersucht. Dabei wurden für alle Modelle neben den gleichen Klimadaten auch die gleiche Anzahl von Tieren und damit die gleichen Wärme- und Feuchtelasten angenommen. Berechnet wurden Stundenwerte für Lufttemperatur, -feuchtigkeit und die Temperatur der inneren Bauteilflächen. Ausgehend von diesen Werten konnte der Temperatur-Feuchtigkeits-Index (THI)-Wert berechnet werden, wobei anstelle der Lufttemperatur die operative Temperatur verwendet wurde. Die operative Temperatur berücksichtigt zu gleichen Teilen die Lufttemperatur und die mittlere Temperatur der inneren Bauteilflächen. Somit geht in den berechneten THI-Wert neben der Lufttemperatur und -feuchtigkeit auch die Strahlungswärme erwärmter Bauteile wie Dachflächen ein. Die berechneten THI-Stundenwerte wurden für die unterschiedlichen Gebäudemodelle für den Zeitraum vom 1. April bis 30. September 2006 berechnet und hinsichtlich ihres Gefährdungspotenzials als Hitzestressstunden nach folgender Einteilung addiert und verglichen:

Tab. 1: Auswirkung des Temperatur-Feuchtigkeits-Indexes (THI) auf Milchvieh (Zimelman et al. 2009)

THI	unter 68	68–71	72–79	über 79
Hitzestress	kein	milder	mäßig	starker

Natürliche Lüftung

Der Einfluss der Fassadenöffnungen und damit des Luftwechsels auf die Entstehung von Hitzestress in einem Stall ist erheblich.

Der Luftwechsel wird durch eine Orientierung des Baukörpers quer zur Hauptwindrichtung begünstigt. Dabei sollte allerdings sorgfältig geprüft werden, ob an heißen Tagen und bei hohen Außentemperaturen überhaupt relevante Luftbewegungen genutzt werden können. Unter bayerischen Klimaverhältnissen, besonders im Alpenvorland, ist die Temperaturregulierung über natürliche Luftbewegung im Stall wenig erfolgversprechend, weil heiße Sommertage hier oft weitgehend windstill verlaufen. Bei baulichen Maßnahmen im und am Stall sind somit begleitende genaue Betrachtungen der lokalen Windverhältnisse notwendig.

Der Luftwechsel und die Durchlüftung eines Stalls werden ebenfalls durch die Wahl des Gebäudetypus beeinflusst. Lange und schmale Baukörper haben in der Regel einen größeren traufseitigen Fassadenflächenanteil im Verhältnis zur Grundfläche als breitere Baukörper. Direkte Anbauten an Stallgebäude, wie z. B. Melkhäuser, die den Luftwechsel einschränken, sollten vermieden werden.

Dachaufbauten

Der Einfluss unterschiedlicher Dachaufbauten auf den Wärmeeintrag in einen Stall ist groß. Je wärmer die Dachinnenseite, desto höher ist der Wärmeeintrag durch Strahlung in den Innenraum. In der Luft breitet sich Wärmestrahlung weitgehend ungehindert aus, sodass die Distanz zwischen erwärmter Dachfläche und Stallboden und damit die Gebäudehöhe nur eine geringe Rolle spielt. Im Rahmen der Simulationen konnte auch gezeigt werden, dass ein größeres Luftvolumen im Stall durch ein steileres Dach bei gleichem Luftwechsel keine Verbesserung hinsichtlich der Vermeidung von Hitzestress mit sich bringt.

Die Orientierung der Dachfläche zur Sonne und der Absorptionsgrad sind entscheidend für die im Dachaufbau aufgenommene Energiemenge. Der Absorptionsgrad ist umso höher, je dunkler und rauer eine Oberfläche ist. Die bauphysikalischen Eigenschaften der einzelnen Dachschichten beeinflussen die Höhe der Temperaturspitzen an der Dachinnenseite und deren Phasenverschiebung zum Einstrahlungsmaximum der Sonne.

Im Vergleich zeigen leichte, einschalige und ungedämmte Dachaufbauten aus Ziegeln, Faserzement oder Blech die höchsten Temperaturspitzen. Temperaturen von bis zu 60 °C an der Dachinnenseite sind je nach Ausrichtung und Absorptionsgrad der Dachfläche möglich und sollten unbedingt vermieden werden. Die Temperaturspitzen treten nahezu zeitgleich mit dem Einstrahlungs- und damit dem Lufttemperaturmaximum im Außenbereich auf.

Zweischalige, hinterlüftete Dachaufbauten mit Holzschalung (24 mm) oder Sandwichelemente mit Wärmedämmung (40 mm) bleiben kühler und verhalten sich dabei annähernd gleich. Mehrschalige schwere Dachaufbauten mit Brettstapeldecken (100 mm) und Gründächer zeigen die niedrigsten Temperaturspitzen und die größten Phasenverschiebungen.

Eine Besonderheit hinsichtlich der Verringerung von Wärmespitzen stellen Gründächer dar. Diese bestehen in der Regel aus einer Dichtungsbahn mit Schutzschicht und einer Drän-, Filter- und Vegetationsschicht darüber. Bei Niederschlägen oder einer Bewässerung nehmen die Drän- und Vegetationsschichten Wasser auf, welches durch Verdunstung über Pflanzen und Substrat wieder an die Atmosphäre abgegeben wird. Dadurch werden die verschiedenen Schichten im Dachaufbau durch Verdunstung gekühlt, ohne die Luftfeuchtigkeit im Inneren des Stalls zu beeinflussen. Bei Milchviehställen ist in der Regel im Dach keine zusätzliche Wärmedämmung notwendig, sodass

dieser Kühleffekt für den Innenraum nutzbar ist. Gleichzeitig beeinflusst die Vegetationsschicht in Abhängigkeit von Deckung und Pflanzenart den Absorptionsgrad des Dachs erheblich. Je nach Aufbau kann ein Gründach auch einen Beitrag zur Puffermasse des Innenraums leisten und so in Verbindung mit der Nachtauskühlung einen zusätzlichen positiven Einfluss auf die Temperaturspitzen im Stallinneren haben. Je höher und schwerer der Aufbau und je dichter die Vegetationsschicht, desto geringer sind die an der Unterseite des Dachs auftretende Temperaturen.

Sonnenschutz

Ein direkter und großflächiger Sonneneintrag über Fassaden, Dachfirste oder Oberlichte in den Stall sollte vermieden werden. Ausreichende Dachüberstände an den Fassaden reduzieren den solaren Energieeintrag erheblich, ohne den Luftwechsel zu beeinträchtigen. Dabei ist vor allem bei Ost- und Westfassadenflächen aufgrund der vormittags bzw. nachmittags tief stehenden Sonne bei hoher Strahlungsleistung eine sorgfältige Planung des Sonnenschutzes bzw. Dachüberstands notwendig. Großflächige Dachoberlichte und Lichtfirste sind konstruktiv schwieriger zu verschatten als Fassadenflächen.

Passive Kühlung

Ein Dachaufbau mit großem Puffervermögen und ausreichendem Schutz vor direkter Sonneneinstrahlung durch Dachüberstände sowie großzügigen Fassadenöffnungen für einen hohen Luftwechsel sind die wichtigsten Merkmale, um den Hitzestress im Milchviehstall zu minimieren. Darüber hinaus zeigen die Simulationen auch, dass passive Kühlmaßnahmen, wie das Bewässern von Gründächern, im Zusammenspiel mit einem entsprechenden Lüftungsmanagement bei Stallgebäuden mit höherer Puffermasse vielversprechende Maßnahmen sind, um den Hitzestress in Stallgebäuden weiter zu reduzieren. Welche Verbesserungen dabei noch zu erreichen, und ob diese Maßnahmen umsetzbar und praxistauglich sind, wird im Rahmen weiterer Forschungsaktivitäten untersucht.

3 Technische Maßnahmen zur Reduzierung von Hitzestress

Kühlung durch Ventilatoren

Die Wärmeabgabe der Tiere kann durch Ventilatoren unterstützt werden, wodurch die gefühlte Temperatur zurückgeht. Dabei muss darauf geachtet werden, dass auf dem Tier eine Luftgeschwindigkeit von mindestens 2 m/s erreicht werden muss, um überhaupt einen Abkühlungseffekt zu erhalten.

Ein bestmöglicher Abkühlungseffekt wird erzielt, wenn die Ventilatoren entlang der Liegeboxenreihen eingebaut sind. Der Abstand zwischen den Ventilatoren richtet sich nach der jeweiligen Leistung (Wurfweite bis ca. 15 m). Sie werden dabei mit einem Winkel von 15 bis 25 Grad nach vorne geneigt, um die nötige Luftgeschwindigkeit im Tierbereich zu gewährleisten. Bei der Auswahl des Ventilators sollten neben den Anschaffungskosten, dem tatsächlichen Stromverbrauch und der erreichbaren Luftgeschwindigkeit auch die Lautstärke berücksichtigt werden.

Kühlung durch Verdunstung

Über Hochdruckvernebelungsanlagen werden sehr feine Wassertropfen, die unmittelbar nach dem Austreten aus den Düsen wieder vollständig verdampfen, in den Stallraum gesprüht; auf diese Weise bewirken sie einen Kühleffekt im Gebäude. Die Wärme wird also nicht dem Tierkörper direkt, sondern der Umgebungsluft entzogen.

Bei diesem Verfahren kann als Richtgröße angenommen werden, dass durch die Verdunstung pro einem Kelvin Absenkung der Umgebungstemperatur, die relative Luftfeuchtigkeit um fünf Prozentpunkte steigt. Bei einer zu hohen Ausgangs-Luftfeuchtigkeit ist das Abkühlungspotenzial durch das schnelle Erreichen des maximalen Sättigungsgrads (Taupunkt) sehr gering.

Bei Hochdruckanlagen, die mit zu großen Wassertröpfchen arbeiten, steigt das Risiko eines Negativeffekts weiter an, da das Wasser nicht vollständig in der Luft verdampft und auf das Tier tropft. Das Haarkleid der Kuh wird dabei nicht vollständig durchnässt. Dadurch kann eine Luftschicht zwischen nassem Fell und trockener Haut entstehen, was die Wärmeabgabe zusätzlich erschwert.

Hochdruckvernebelungsanlagen können entlang der Fress- und Laufgänge, aber auch im Wartebereich oder im Melkstand angebracht werden. Eine Einbauhöhe von 3 m sollte dabei mindestens eingehalten werden. In der Praxis werden häufig auch Ventilatoren mit Düsen bestückt, um eine höhere und gleichmäßigere Abkühlung zu erreichen.

Um Hochdruckvernebelungsanlagen optimal einzusetzen, ist eine automatische Steuerung unabdingbar. Ab einer Temperatur von 23 °C ist der Einsatz sinnvoll, eine maximale relative Luftfeuchtigkeit von 70 % sollte dabei nicht überschritten werden. Eine automatische Steuerung hat hier den weiteren Vorteil, dass der Landwirt von seiner Entscheidung über den richtigen Einsatzzeitpunkt befreit wird. Die eingesetzte Technik erfordert einen hohen Wartungsaufwand.

Direkte Kühlung der Tiere

Niederdruckanlagen, auch Kuhduschen genannt, verteilen das Wasser großtropfig auf dem Rücken der Kühe. Dies geschieht an vereinzelt Stellen im Stall, die die Tiere aktiv aufsuchen müssen. Das Fell der Kühe wird dabei vollständig bis zur Haut durchnässt. Durch die Verdunstung des Wassers auf der Haut wird dem Tier die Wärmeenergie dabei direkt entzogen.

Auch hier ist eine automatische Steuerung sinnvoll, allerdings müssen zusätzliche Parameter zur Bestimmung des sinnvollen Einsatzzeitraums herangezogen werden.

Beim Einsatz einer Beregnungsanlage sollte die Stalltemperatur ebenfalls nicht unter 23 °C liegen, ansonsten könnte Kältestress entstehen. Die relative Luftfeuchtigkeit sollte auch hier 70 % im Stall nicht überschreiten. Es hat sich als sinnvoll erwiesen, Kuhduschen mit einem Bewegungsmelder auszustatten, damit die Anlage nur dann aktiviert wird, wenn sich eine Kuh im Wirkungsbereich der Kuhdusche befindet.

Wo eine Kuhdusche sinnvollerweise positioniert wird, muss gut durchdacht werden. Da es die Tiere möglichst vermeiden, an den Ohren nass zu werden, muss ein Platz gewählt werden, der für die Tiere gut zugänglich ist. Wenn eine zu enge Stelle, wie z. B. ein Durchgang dafür gewählt wird, kann dieser durchaus für die Tiere „unpassierbar“ werden. Auch kann der Bereich der Kuhdusche bei ungünstiger Positionierung durch eine ranghohe Kuh blockiert werden. Grundsätzlich muss festgehalten werden, dass nur ca. 30 % der Tiere die Kuhdusche in Anspruch nehmen.

4 Fazit

Die Frage, inwieweit Hitzestress in Rinderställen effizient vermieden werden kann, setzt die Existenz validierter Schwellenwerte für den Grad der Hitzebelastung voraus, die nicht nur tierspezifische Merkmale wie Rasse, Körperkondition und Gesundheitsstaus, sondern auch stallklimatische Größen wie Lufttemperatur, -geschwindigkeit, -feuchte und Strahlungswärme berücksichtigen. Dabei hat sich bisher keiner der in der Fachwelt diskutierten Ansätze durchgesetzt.

Die Planung von Stallanlagen wird aufgrund der zunehmenden Hitzestressproblematik anspruchsvoller. Dies liegt zum einen daran, dass spezifische lokalklimatische Faktoren mehr berücksichtigt werden müssen, zum anderen an den wechselseitigen Abhängigkeiten von baulicher Hülle und installierter Technik. Als Entscheidungsgrundlage werden dabei neben den Baukosten auch die Betriebskosten und Wartungskosten der Technik und die Umweltwirkung, wie beispielsweise bei Gründächern, eine zunehmende Rolle spielen.

Literatur

Zimbelman, R. B.; Collier, R. J.; Rhoads, R. P.; Rhoads, M. L.; Duff, G. C.; Baumgard, L. H. (2009): A re-evaluation of the impact of temperature humidity index (THI) and black globe humidity index (BGHI) on milk production in high-producing dairy cows. Proceedings of the Southwest Nutrition and Management Conference, 26-27 February 2009, Tempe, Arizona, pp. 158-168

Danksagung

Die Forschungsprojekte „Untersuchung und Bewertung technischer Maßnahmen zur Reduzierung des Hitzestresses bei Milchkühen“ und „Untersuchung und Bewertung baulicher Maßnahmen zur Reduzierung von Hitzestress bei Milchkühen“ wurden durch das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten gefördert.



Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft



Der klimaangepasste Stall Rinder

baulich-technische Maßnahmen
zur Reduzierung von Hitzestress

Institut für Landtechnik und Tierhaltung
Peter Stoetzel

KTBL-Fachtagung
Darmstadt 20. / 21. März 2019

Übersicht

- **Problemstellung**
- **Bauliche Maßnahmen**
 - Methode
 - Ergebnisse Einflussfaktoren
 - Vergleich von 4 Gebäudetypen
- **Technische Maßnahmen**
 - Ventilatoren
 - Verdunstung von Wasser
 - Direkte Kühlung
- **Fazit**



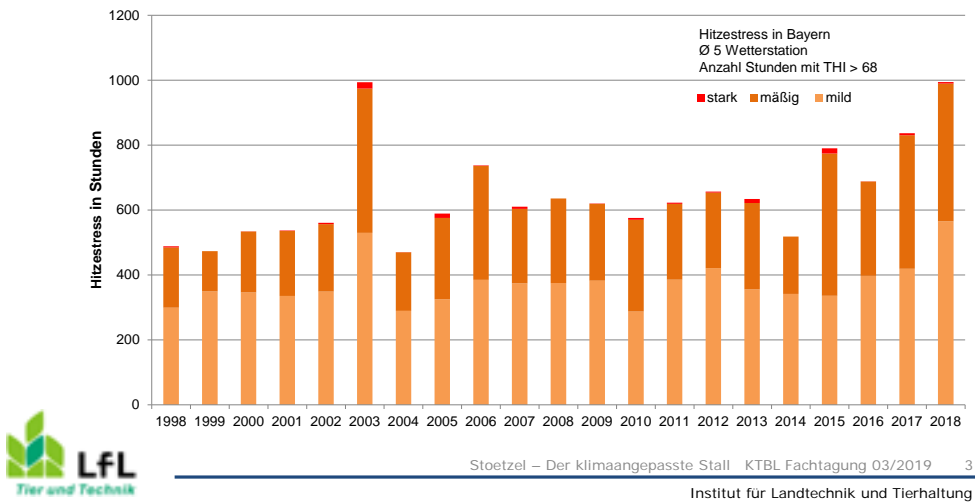
Stoetzel – Der klimaangepasste Stall · KTBL Fachtagung 03/2019 · 2

Institut für Landtechnik und Tierhaltung

Problemstellung

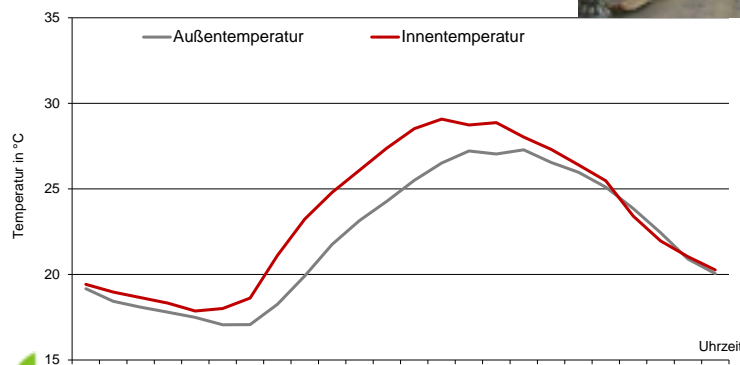
Bayerische Klimaverhältnisse:

- Hitzestressbelastung für Rinder nimmt zu
- Sommer sind weitestgehend windstill



Problemstellung

Temperaturmessung am Praxisbetrieb G.

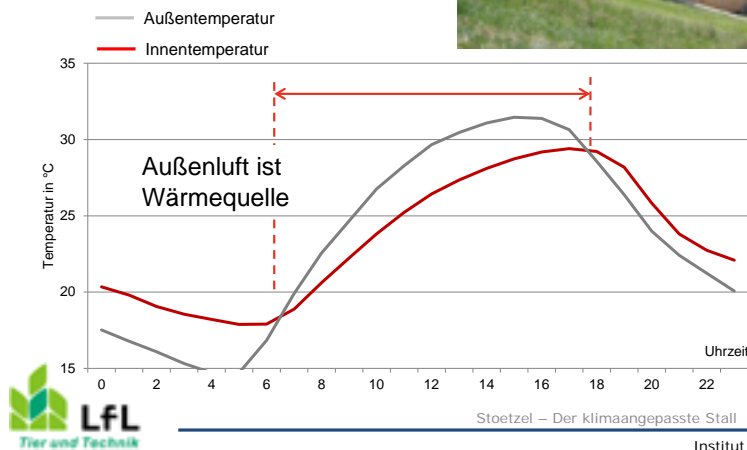


Betrieb G.
mittlerer
Temperaturverlauf
vom
20.-25.06.2005
mittlere
Luftbewegung am
Curtain ~ 1 m/s
über gesamten
Messzeitraum

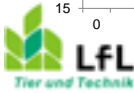
Quelle:
Mačuhová et al.
Lfl Schriftenreihe, 2008

Problemstellung

Temperaturmessung am Praxisbetrieb Z.



Betrieb Z
mit Gründach und
Kiesdrainage
nach Niederschlag
mittlerer
Temperaturverlauf
vom
03.-08.08.2015



Stoetzel – Der klimaangepasste Stall KTBL Fachtagung 03/2019 5
Institut für Landtechnik und Tierhaltung

Bauliche Maßnahmen - Methode

- **Auswertung von Temperaturmessungen** auf Praxisbetrieben
- **Simulationen**
 - WUFI® Plus (Fraunhofer Institut für Bauphysik)
Hygrothermische Bauteil- und Raumklimasimulation
 - real gemessene Klimadatenätze
 - berücksichtigt Wärme – und Feuchtelasten (Milchkühe)
 - Multizonales Gebäudedurchströmungsmodell (Luftwechselrate)
 - parametrisierte Standardbauteile (Gründach-, hinterlüftete Konstruktionen)
- ▶ **Simulationen ermöglichen eine isolierte Betrachtung der einzelnen Einflussfaktoren**



Stoetzel – Der klimaangepasste Stall KTBL Fachtagung 03/2019 6
Institut für Landtechnik und Tierhaltung

Bauliche Maßnahmen - Methode

Parameter zur Beschreibung des Tierwohls

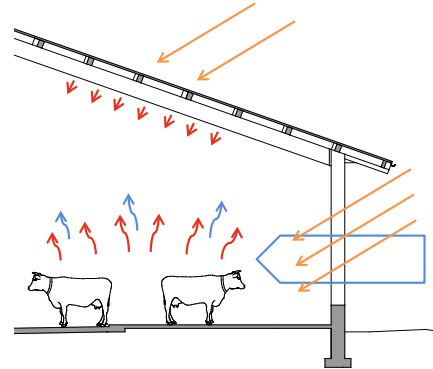
THI-Temperature-Humidity-Index

Problematisch:
nur Lufttemperatur und -feuchte
Strahlungswärme nicht berücksichtigt

$$Q = \varepsilon \sigma A T^4$$

ε : Emissionszahl
 σ : Boltzmann Konstante
A: Fläche
T: Temperatur (K)

Quelle: Wikipedia Wärmestrahlung, 10/2018



Operativtemperatur

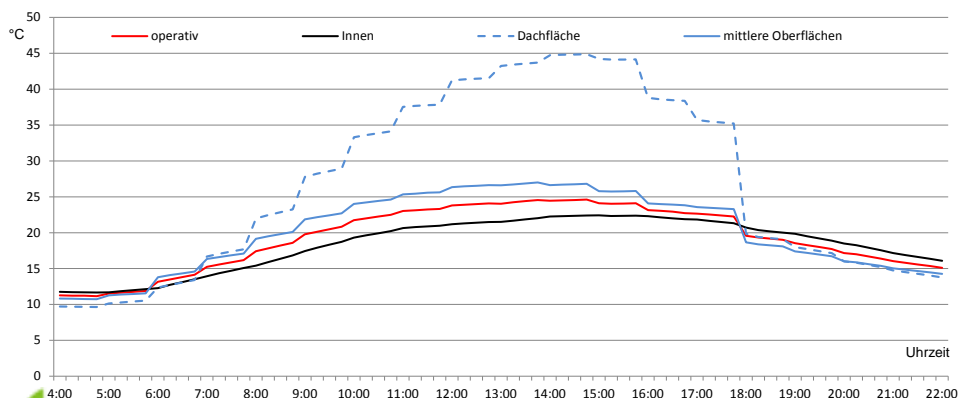
T_{oper} = Mittelwert aus der Luft- und
Oberflächentemperatur der umschließenden Bauteile
(„gefühlte Temperatur“)



Methode

Berechnung der operativen Temperatur

Exemplarische Temperaturverläufe:
für Stallgebäude mit Blechdeckung (ohne Schalung), DN 25°, Westseite am
02.07.2006



Bauliche Maßnahmen - Methode

- **Berechnung von Hitzestress in Stunden:**

- operative Temperatur
- Luftfeuchtigkeit

THI	unter 68	68 - 71	72 - 79	über 79
Hitzestress	kein	milder	mäßig	starker

TH-Index berechnet nach Thom (1959), Zimbelmann und Collier (2009)

- **Summe der Hitzestressstunden:**

- Zeitraum 01.04. bis 30.09.
- Wetterdatensatz 2006 (überdurchschnittlich warm)
- Holzkirchen bei München
- Feuchte- und Wärmelasten von 67 Milchkühen

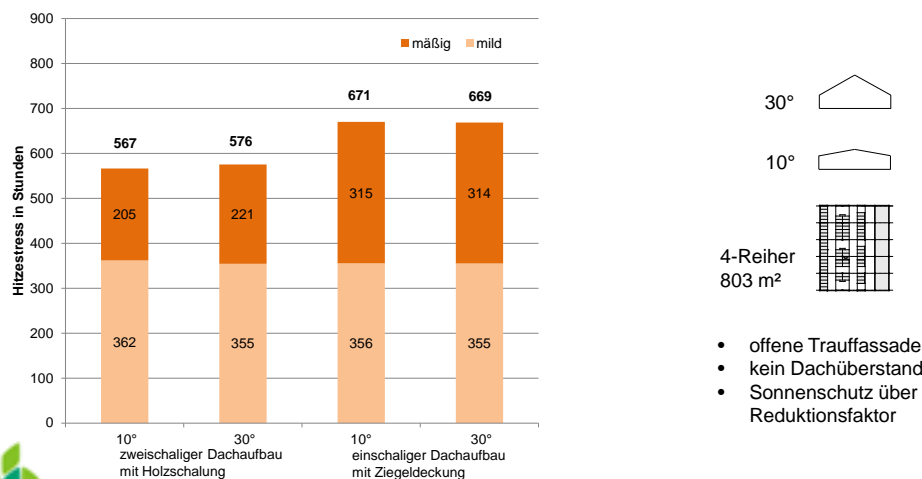
unberücksichtigt bleiben:
Luftgeschwindigkeit, Schadgaskonzentrationen, Wärmeabgabe über Kontaktflächen (Liegeflächen)



Bauliche Maßnahmen - Ergebnisse

- ▶ **Gebäudegeometrie**

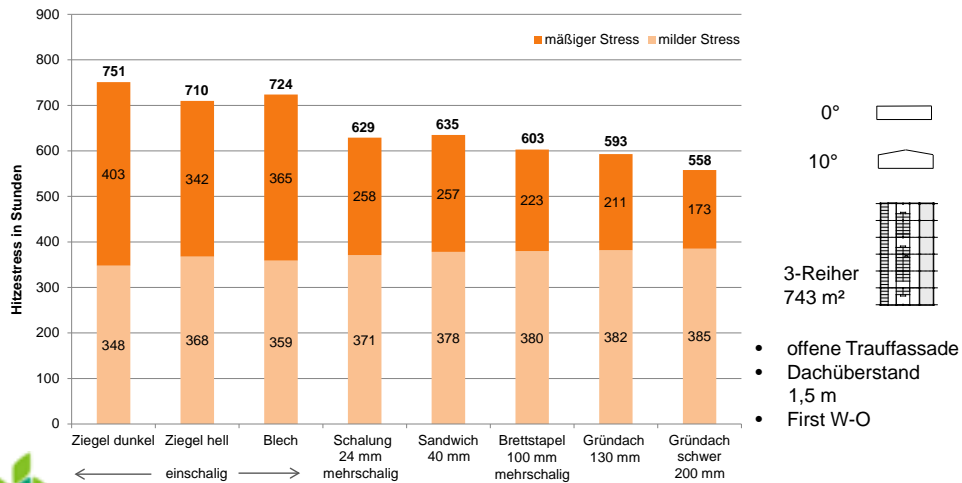
- Dachneigung, Gebäudeluftvolumen (Mittelwerte über beide Orientierungen)



Bauliche Maßnahmen - Ergebnisse

► Gebäudekonstruktion

- Dachaufbauten



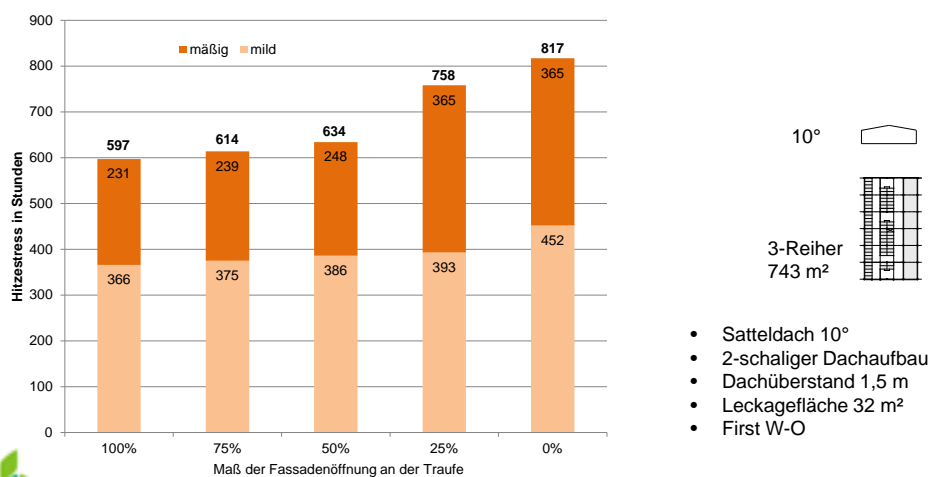
Stoetzel – Der klimaangepasste Stall KTBL Fachtagung 03/2019 11

Institut für Landtechnik und Tierhaltung

Bauliche Maßnahmen - Ergebnisse

► Gebäudekonstruktion

- Fassadenöffnungen an der Traufseite



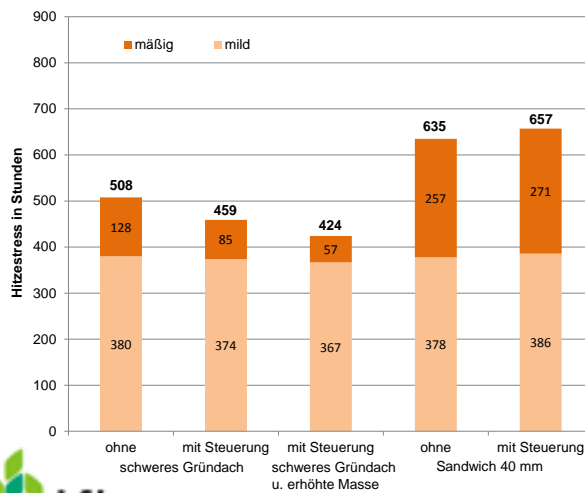
Stoetzel – Der klimaangepasste Stall KTBL Fachtagung 03/2019 12

Institut für Landtechnik und Tierhaltung

Bauliche Maßnahmen - Ergebnisse

► Gebäudebetrieb (passive Kühlung)

- Lüftungssteuerung (ohne Berücksichtigung der Schadgaskonzentration)



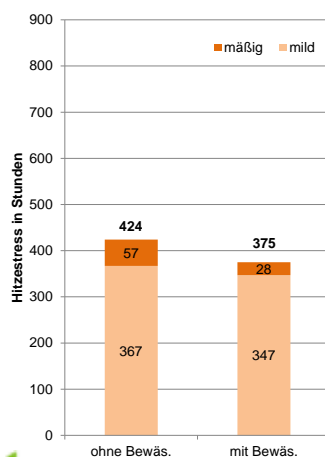
Stoetzel – Der klimaangepasste Stall KTBL Fachtagung 03/2019 13
 Institut für Landtechnik und Tierhaltung

- Dachüberstand 3,5 m
- First W-O
- Leckagefläche 37 m²
- **Lüftungssteuerung:**
 Fassadenverschluss von ca. 6 Uhr bis ca.15 Uhr an 52 Tagen

Bauliche Maßnahmen - Ergebnisse

► Gebäudebetrieb (passive Kühlung)

- Bewässerung des Gründachs



Stoetzel – Der klimaangepasste Stall KTBL Fachtagung 03/2019 14
 Institut für Landtechnik und Tierhaltung

- Dachüberstand 3,5 m
- First W-O
- Leckagefläche 37 m²
- schweres Gründach
- massive Aussenwände
- **Lüftungssteuerung:**
 Fassadenverschluss von ca. 6 Uhr bis ca.15 Uhr an 52 Tagen

Bauliche Maßnahmen - Zusammenfassung

▶ erheblicher Einfluss

- Dachaufbau
- Verschattung (Schutz vor direkte Sonneneinstrahlung)
- Luftwechselrate (Größe der Lüftungsöffnung)

▶ mittlerer Einfluss

- Helligkeit der Oberflächen (Absorptionzahl der Dachfläche)
- Typologie (Gebäudeform)

▶ geringen / keinen Einfluss

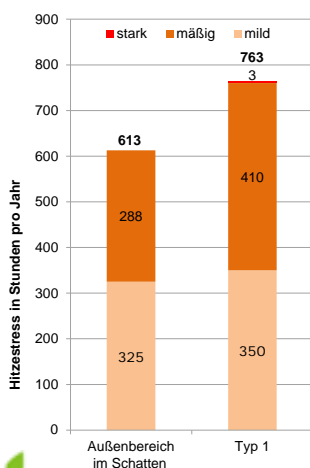
- Gebäudeluftvolumen (Dachneigung)
- Orientierung (Standortabhängig)

▶ passive Kühlmaßnahmen mit erheblichen Einfluss

- Bewässerung (bei Gründächern)
- Lüftungssteuerung (nur bei Gebäuden mit höherer Puffermasse)

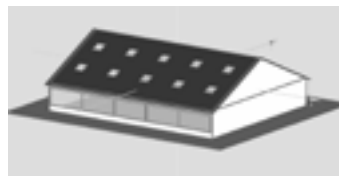


Bauliche Maßnahmen - Vergleich



Typ1

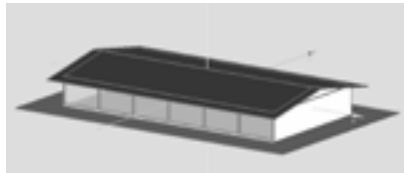
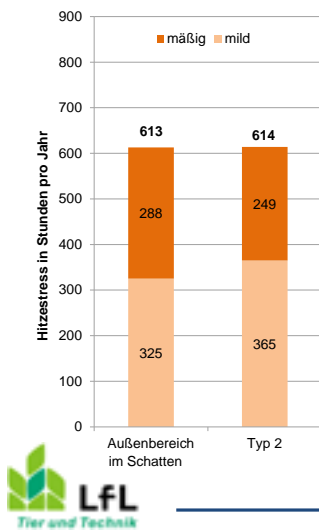
- 4- (3-) reihiger Typ
- First in Ost-West Richtung
- einschalige Blechdeckung
- DN 25 °
- zusätzliche Dachoberlichter
- knapper Dachüberstand (0,5 m)
- eingeschränkte Belüftungsflächen



Bauliche Maßnahmen - Vergleich

Typ 2

- 3-reiher Typ
- First in Ost-West Richtung
- zweischaliger Aufbau mit Holzschalung
- DN 10 °
- Dachüberstand 1,5 m
- optimale Belüftungsflächen

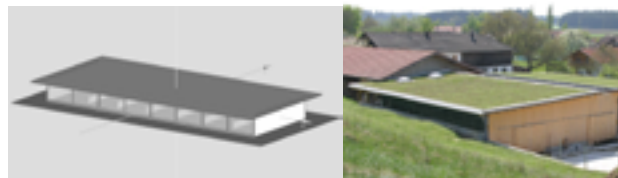
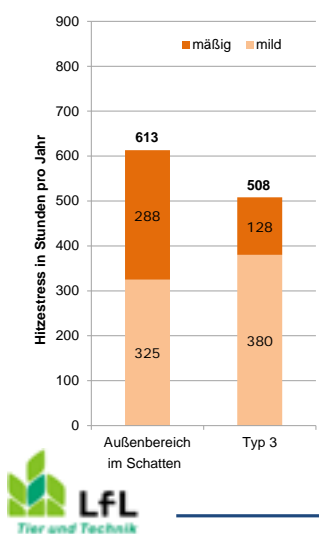


Stoetzel – Der klimaangepasste Stall KTBL Fachtagung 03/2019 17
 Institut für Landtechnik und Tierhaltung

Bauliche Maßnahmen - Vergleich

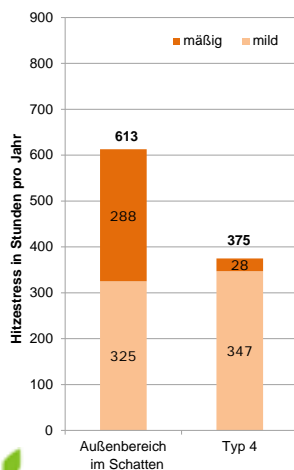
Typ 3

- 2-reiher Typ
- optimale Belüftungsflächen
- First in Ost-West Richtung
- schweres Gründach
- DN 3-5%
- Dachüberstand 3,40 m



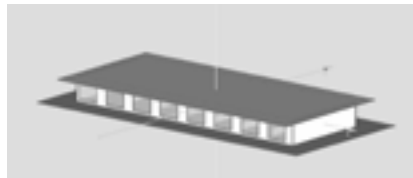
Stoetzel – Der klimaangepasste Stall KTBL Fachtagung 03/2019 18
 Institut für Landtechnik und Tierhaltung

Bauliche Maßnahmen - Vergleich



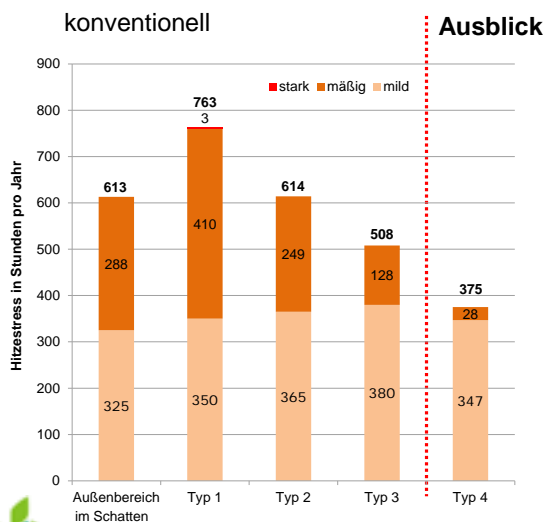
Typ 4

- Typ 3 mit passiver Kühlung
- Lüftungssteuerung (Schadgaskonzentrationen nicht berücksichtigt)
- massereiche Außenwandkonstruktionen (Stb)
- Bewässerung des Gründachs



Bauliche Maßnahmen - Vergleich

► Vergleich Übersicht

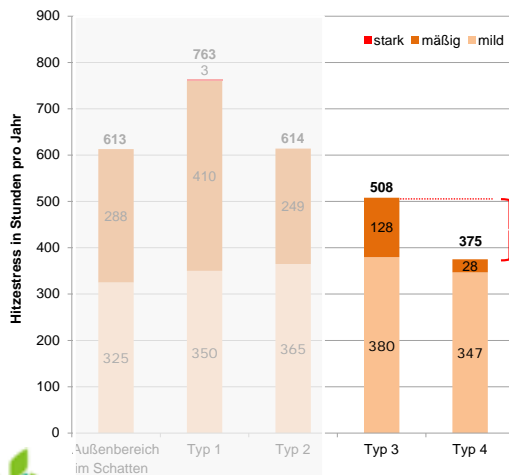


weiterer Forschungsbedarf:

- Aufbau von Gründächern
- Bewässerung von Gründächern
- Lüftungssteuerung
 Praxistauglichkeit
 - Sensorik Schadgase
 - Leckraten

Bauliche Maßnahmen

► Vergleich Konzepte



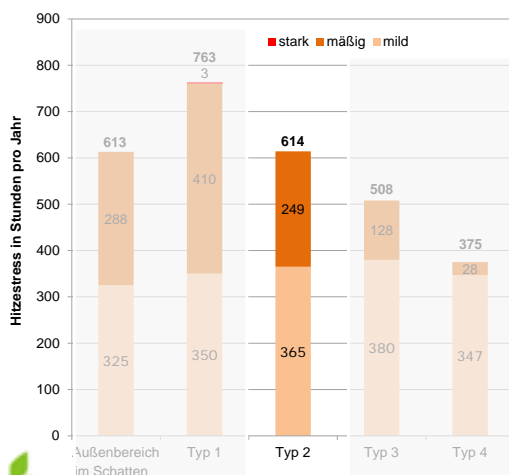
Stoetzel – Der klimaangepasste Stall KTBL Fachtagung 03/2019 21
Institut für Landtechnik und Tierhaltung

passives Konzept

- Bauhülle
 - schweres Gründach
 - höhere Masse
 - optimale Lüftungsfläche (2 – Reihertypus)
 - optimale Verschattung
- passive Kühlung
 - Bewässerung des Gründachs
 - Lüftungssteuerung

Bauliche Maßnahmen

► Vergleich Konzepte



Stoetzel – Der klimaangepasste Stall KTBL Fachtagung 03/2019 22
Institut für Landtechnik und Tierhaltung

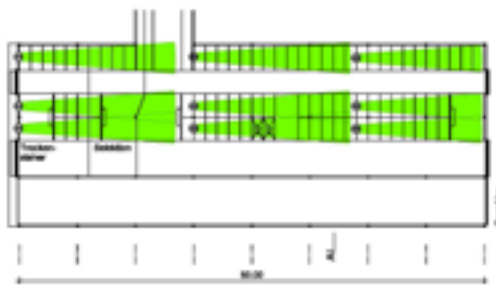
aktives Konzept

- Bauhülle
 - mehrschichtiges Dach
 - große Lüftungsflächen
 - gute Verschattung
- aktives Kühlen
 - Ventilatoren
 - Verdunstung von Wasser
 - direkte Kühlung

Technische Maßnahmen

aktives Kühlen durch Ventilatoren

- Luftgeschwindigkeiten von min. 2,0 - 2,5 m/s
- Einwirkung direkt auf den Liegebereich
- Luftgeschwindigkeiten bis 5,0 m/s möglich
- hoher Energieverbrauch



Quelle: J. Zahner, ILT 2018



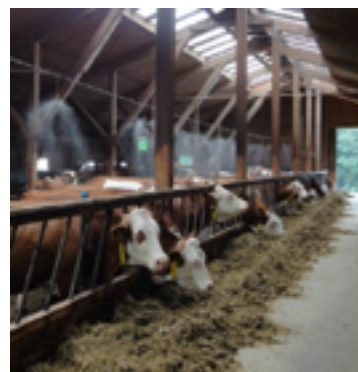
Stoetzel – Der klimaangepasste Stall KTBL Fachtagung 03/2019 23

Institut für Landtechnik und Tierhaltung

Technische Maßnahmen

aktives Kühlen durch Verdunstung von Wasser

- Wärme (Kälte) -kapazität von Luft ist gering
- bei hoher Luftfeuchtigkeit nur geringe Wirkung
- Wasser muss Zeit zum verdunsten haben
- Steuerung sinnvoll
- wartungsaufwendig
- Erhöhung der Luftfeuchtigkeit im Stall



Quelle: J. Zahner, ILT 2018



Stoetzel – Der klimaangepasste Stall KTBL Fachtagung 03/2019 24

Institut für Landtechnik und Tierhaltung

Technische Maßnahmen

direkte Kühlung der Kuh

- erfordert sorgfältige Standortplanung
- wartungsaufwendig
- Steuerung notwendig
- nur ca. 30 % der Tiere nehmen Kuhdusche in Anspruch
- Erhöhung der Luftfeuchtigkeit im Stall



Quelle: J. Zahner, ILT 2018



Stoetzel – Der klimaangepasste Stall KTBL Fachtagung 03/2019 25

Institut für Landtechnik und Tierhaltung

Fazit

- Es fehlen **validierte Schwellenwerte** für den Grad der Hitzebelastung unter Berücksichtigung von
 - Rasse, Körperkondition, Gesundheitsstatus
 - Lufttemperatur, -geschwindigkeit, -feuchte und Strahlungswärme
- Die **Planung von Stallanlagen** wird auf Grund der Hitzestressproblematik anspruchsvoller
 - lokalklimatische Fragen
 - Zusammenspiel von aktiven und passiven Maßnahmen
- Als **Entscheidungsgrundlage** werden, neben den Baukosten, die Betriebskosten und die Umweltwirkung (Kompensationsumfang bei Gründächer) wichtiger



Stoetzel – Der klimaangepasste Stall KTBL Fachtagung 03/2019 26

Institut für Landtechnik und Tierhaltung

Der klimaangepasste Stall – Schweine und Geflügel

BERNHARD FELLER

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Münster

1 Einleitung

Hohe Außentemperaturen stellen für die Klimagegestaltung in Tierställen eine große Herausforderung dar. Dies gilt auch, wenn die Temperaturverläufe in Ställen den Bedürfnissen der Tiere unter Einbeziehung der Außentemperatur ständig angepasst werden. Trotz einer spezifisch reagierenden Lüftungstechnik kommt es in den Sommermonaten teilweise zu erhöhten Temperaturen, die den Komfortbereich von Schweinen oder Geflügel überschreiten. Der Gesetzgeber fordert z. B. Vorrichtungen, um die Wärmebelastung für Schweine bei hohen Stalllufttemperaturen zu vermindern. Schweine und Geflügel werden entsprechend ihrer Nutzungsart oder ihres Körpergewichtes durch erhöhte Temperaturen unterschiedlich stark beeinträchtigt. So können leichtere Tiere hohe Temperaturen wesentlich besser ertragen als schwerere Tiere. Die Ursache hierfür liegt in den unterschiedlichen Temperaturansprüchen von wachsenden Tieren in den einzelnen Gewichtsabschnitten.

Bei der Betrachtung der Temperaturverteilung über einen Jahresverlauf erkennt man, dass Belastungsphasen mit zu hohen Temperaturen zwar nur einen relativ kurzen Zeitraum einnehmen, aber diese Phasen zunehmend länger werden und an einzelnen Tagen auch kritisch werden können.

Es ist auch zu unterscheiden, ob die Tiere – bezogen auf ihr Lebendgewicht – nach Erhaltungsbedarf oder stark darüber hinaus „auf Leistung“, d. h. tägliche Zunahme in der Mast oder hohe Milchleistung bei säugenden Sauen, gefüttert werden. Denn ein hoher Stoffwechsel beansprucht das Tier zusätzlich bei hohen Temperaturen.

Es lässt sich also festhalten: kleinere Schweine bis zu einem Gewicht von 30 kg werden bei Betrachtung der Optimaltemperaturen auch bei Überschreitung von 30 °C kaum belastet. Größere Tiere im Bereich von 50 bis 120 kg werden ab Temperaturen von oberhalb von 28 °C nicht mehr im Optimalbereich gehalten.

Temperaturbedingte Belastungen äußern sich in

- erhöhter Atemfrequenz,
- erhöhtem Wasserbedarf und
- Abnahme der Futteraufnahme, verringerten Mastleistungen, Kreislaufproblemen, geringere Konzeptionsrate, vermehrte Verlustraten.

Hohe Enthalpiewerte oberhalb von 67 kJ/kg Luft sind für Geflügel z. B. extrem belastend. Extreme Werte können insbesondere bei Mastschweinen oberhalb von 80 kg und säugenden Sauen oder Mastgeflügel Kreislaufversagen verursachen. Die natürliche Reaktion der Tiere ist der Versuch einen hohen Temperaturabfluss zu erreichen. Dazu zählt bei Schweinen das ausgestreckte seitliche Abliegen in der Bucht, möglichst auf Wärme ableitendem Material. Der dem Einzeltier zur Verfügung stehende Platz in einer Bucht spielt dann eine große Rolle. Besteht die Möglichkeit zum Suhlen, wird die Hautoberfläche befeuchtet. Über die entstehende Verdunstung tritt dann zusätzliche Kühlung ein.

Bei hohen Umgebungstemperaturen können sich Schweine und Geflügel nahezu ausschließlich über die Verdunstung von Wasser – also über die Atmung – entwärmen. Der Hauptabkühlereffekt wird durch das vermehrte Atmen erreicht. Über die Sättigung der Atemluft mit Wasser in der Lunge wird eine Wärmeabfuhr durch die entstehende Verdunstungskälte erreicht. Da weder Schweine noch Geflügel über Schweißdrüsen verfügen, ist eine Abkühlung über die Produktion von Schweiß nicht möglich.

2 Kühlungssysteme können Abhilfe schaffen

Kühlungseinrichtungen im Stall oder in der Zuluft können bei zu hohen Temperaturen Abhilfe schaffen. Verbreitet sind Systeme, die über Erdwärmetauscher die Zuluft konditionieren oder als Sprühsysteme Wasser vernebeln und die Effekte der Verdunstungskühlung nutzen. Doch bevor technische Maßnahmen eingesetzt werden, gilt es alle Möglichkeiten zu nutzen, die baulich machbar sind.

2.1 Verfahren zur Kühlung von Ställen Bautechnische Maßnahmen

Durch die sachkundige Planung und Bauausführung einer Lüftungsanlage ist schon ein hoher Einfluss auf das Einhalten der Behaglichkeitstemperaturen gegeben. Als „Standardlüftungssystem“ wird heute in Schweineställen die Zuluftführung über Rieseldecken oder die Futtergänge gewählt. Beide Zuluftsysteme haben den Vorteil, dass sich unterschiedliche Temperaturzonen innerhalb des Stalles ausbilden. Ihre Anordnung muss deshalb sinnvoll zum Liegeplatz positioniert werden. Als Standardsystem in Geflügelställen, aber auch zunehmend in Schweineställen, erfolgt die Zuluftführung über Strahlöffnungen.

Auch der Ort der Luftansaugung für die Frischluft spielt für die erreichbaren Kühleffekte eine große Rolle. Bevorzugt sollte die Luft von der Nord- und Ostseite oder aus dem Schattenbereich abgesaugt werden. Gesteigert wird diese Wirkung durch große Dachüberstände und die Ausrichtung des Zentralganges nach Norden oder Osten. Die Zuluftansaugung aus offenen, vor dem Stall liegenden, Hallen ist ebenfalls günstig. Besonders ungünstig ist dagegen das Ansaugen der Luft aus dem ungedämmten Dachraum des Stalles.

Bei hohen Temperaturen muss die Regelung der Lüftungsanlage auch gleichzeitig die Temperaturschwankungen von Tag und Nacht berücksichtigen. Deshalb sollte bei hohen Außentemperaturen die Absenkautomatik aktiviert werden. Sie bewirkt, dass die kühlere Lufttemperatur während der Nacht nicht mit maximaler Luftrate in den Stall gefördert wird. Über das Anheben des Sollwertes erreicht man gleichzeitig eine Verzögerung des Anstieges der Temperatur am Morgen.

Durch eine Kontrolle der Sauberkeit der Ventilatoren bei gleichzeitiger Kontrolle der Zuluftöffnungen wird sichergestellt, dass die geplanten Luftmengen an den warmen Tagen auch tatsächlich in den Stall gefördert werden.

Im Zuge der Diskussion um ein höheres Tierwohl in den Ställen kommt die Forderung nach Außenklimareizen für Geflügel als auch für Schweineställe auf. Außenklimaställe folgen in ihrem Temperaturverlauf verzögert den Außentemperaturen. Es können in diesen Ställen durch offene Traufwände hohe Luftraten durch natürliche Luftbewegung erreicht werden. Zur Minderung der Wärmebelastung sollte aber für Geflügel- und Schweineställe die Dachhaut gedämmt werden, damit

der Wärmeintrag durch vom Dach abgegebene Strahlungswärme die Tiere nicht belastet. An Tagen ohne Wind wird die Wärmebelastung aber auch in diesen Ställen das Komfortmaß übersteigen und die Wärmeabfuhr aus dem Stall nicht mehr gewährleistet sein. Für solche Stallanlagen ist daher unbedingt eine Unterstützungslüftung notwendig. Diese kann auch mit Sprühdüsen zur Wasserverdunstung kombiniert werden.

Indirekte Kühlung

Zur indirekten Kühlung können Befeuchtungs- oder Besprühungs-systeme mit Wasser auf der Dachoberfläche der Ställe eingesetzt werden. Dadurch wird eine Temperaturabsenkung der Dachhaut bewirkt. Die absolute Luftfeuchtigkeit im Stall wird durch diese Maßnahme nicht beeinflusst, die Zulufttemperatur beim Ansaugen aus Zwischendecken aber gesenkt und gleichzeitig durch Senkung der Dachtemperatur der Wärmeintrag vom Dach gemindert. (Ein vergleichbarer Effekt kann bei Beschattung des Daches z.B. durch eine Photovoltaikanlage beobachtet werden.) Technisch kann dies relativ einfach durch Gartensprenger auf dem Dach realisiert werden. Beim Betrieb ist darauf zu achten, dass möglichst wenig Wasser über die Dachrinne abfließt. Auf dem Weg vom First zur Traufe soll möglichst viel Wasser verdunsten, um hierdurch eine optimale Kühlwirkung zu erreichen.

Direkte Kühlung

Für die direkte Kühlung werden Luftbefeuchtungen innerhalb des Stalles oder im Vorraum eingesetzt. In Ausnahmefällen werden auch Erdwärmetauscher gebaut, bei denen die Zuluft durch Rohre innerhalb des Erdreichs angesaugt wird. Die geringen Temperaturen des Erdreiches werden so zur Kühlung genutzt.

Grundlage für die Regelung der Lüftung nach Temperatur und Luftfeuchte ist der Wärmeinhalt der Luft, die Enthalpie. Sie wird in kJ/kg Luft gemessen. Der Wärmeinhalt unterteilt sich danach in einen fühlbaren, sensiblen Teil und einen nicht wahrnehmbaren latenten Anteil. Durch eine Anhebung der relativen Feuchte wird der Anteil an sensibler Wärme gemindert. Im gleichen Maße steigt der Anteil der latenten Wärme.

Eine Zuluft mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von 62 % und eine Temperatur von 28 °C hat einen Wärmeinhalt von 65 kJ/kg Luft. Durch die Anhebung der relativen Luftfeuchte auf 80 % bei gleichem Wärmeinhalt durch Versprühen von Wasser lässt sich die Temperatur der Zuluft auf 24,5 °C senken. Diese Absenkung wird von den Tieren als Kühlung wahrgenommen.

Bei der Kühlung der Stallluft über die Luftbefeuchtung wird also ein Teil des Wärmeinhaltes durch das Verdunsten des Wassers gebunden.

Wird nur nach der relativen Luftfeuchte ohne Berücksichtigung des Zusammenspiels von Feuchte und Temperatur (Enthalpie) geregelt, kann es auch bei Einhaltung von 80 % Luftfeuchte zu Hitzestress kommen, nämlich dann, wenn z.B. die Temperatur im Stall 26 °C überschreitet. Daher ist nur bei einer niedrigen relativen Luftfeuchte der Stallinnenluft eine Befeuchtung zur Kühlung überhaupt sinnvoll.

Bei automatischen Luftbefeuchtungssystemen ist es deshalb notwendig, Feuchtefühler einzusetzen und die Fühler regelmäßig zu kontrollieren und abzugleichen. Ein einfaches Schleuderthermometer (Psychrometer) mit zwei Säulen, die eine feucht, die andere trocken, ist hierfür am besten geeignet. Diagramme oder Tabellen sind notwendig, um die Feuchte- und Trockentemperatur abzugleichen.

In der Landwirtschaft werden heute als Messfühler zumeist kapazitive Fühler eingesetzt. Bei diesem Verfahren werden die unterschiedlichen Widerstände von feuchter und trockener Stallluft als Messgrundlage verwendet. Aufgrund ihrer hohen Empfindlichkeit sind die Fühler mit einem Bronze-Sinter-Filter vor äußeren Stalleinflüssen geschützt. Vor jeder Stallreinigung sollten sie geschützt oder entfernt werden. Die Kosten für derartige Feuchtefühler belaufen sich auf 200 bis 300 €.

3 Praktische Umsetzung

Direkte Verneblung

Bei der direkten Verneblung von Wasser innerhalb des Stalles ist darauf zu achten, dass das Wasser vernebelt, also in Microtröpfchen verteilt wird. Microtröpfchen werden in der Stallluft sehr schnell verdunstet.

Nutzung von Einweichanlagen (Niederdrucksystem)

Normale Einweichanlagen für Schweineställe mit relativ großer Tropfenbildung (60 Micron) sind für die Kühlung von Schweineställen kaum geeignet. Da sie aber sehr häufig vorhanden und auch stationär eingebaut sind, werden sie in der Praxis dennoch für die Kühlung eingesetzt. Beim Betrieb dieser Anlagen für die Kühlung ist deshalb darauf zu achten, dass möglichst feinerstäubende Düsen eingesetzt werden. Hierfür werden von den Herstellern auch spezielle Düsen für die Befuchtung angeboten. Die Erhöhung des Pumpendrucks von 3 auf 5 bar – wenn die Leitungen es erlauben – verbessert ebenfalls das Vernebelungsergebnis. Unter diesen Voraussetzungen sind „optimierte Einweichanlagen“ bedingt geeignet bei extremen Wärmebelastungen auch zur Kühlung eingesetzt zu werden. Die Anlagen werden in der Regel mit Zeitschaltuhren ein- und ausgeschaltet. Ein Nachtropfen der Düsen kann z.B. über Rückschlagventile, die vor jeder Düse eingebaut sind, verhindert werden. Aufgrund der Grobtropfigkeit mit ca. 60 Mikron ist die Wasseraufnahme der Luft (der Wirkungsgrad) eingeschränkt und deshalb sollte diese Art der Kühlung nur bis zu einer relativen Luftfeuchte von 70 % eingesetzt werden.

Wasseraufbereitung für Mittel- und Hochdruckanlagen

Beim Einsatz von Mittel- und Hochdruckanlagen sind Feinfilter im Wasserzulauf einzusetzen, da sie sehr empfindlich auf verunreinigtes Wasser reagieren. Je nach standortbedingter Wasserqualität mit hohem Eisen-, Mangan- oder Kalkgehalt sind unterschiedliche Filterausführungen notwendig. So lässt sich z.B. sehr kalkhaltiges Wasser durch einen preiswerten chemischen Filter bis hin zu einem teuren Ionentauscher für ca. 1.500 € aufbereiten. Eine detaillierte Planung ist deshalb aufgrund der vorliegenden örtlichen Wasseranalyse notwendig.

Kühlung mit Mitteldruckanlagen

Bei Mitteldruckanlagen werden Pumpen mit einem Fördervolumen von 5 l/min bei einem Druck von bis zu 20 bar eingesetzt. Für die Wasserförderung eignen sich Kunststoffleitungen, die relativ preisgünstig und einfach zu installieren sind.

Zu große Wassertropfen und ein Nachtropfen der Düsen können bei größeren Wasserverlusten auch zu feuchten Ställen führen. Um das Nachtropfen der Düsen zu verhindern, ist zusätzlich ein Entleerungsventil am Ende des Leitungsstranges vorzusehen. Bei der Montage sollte auf einen ausreichenden Abstand zu den Stalleinrichtungen geachtet werden. Aufgrund der Grobtropfigkeit mit 30 Mikron ist der Wirkungsgrad auch hier eingeschränkt und sollte daher auch nur bis zu einer relativen Luftfeuchte von 70 % eingesetzt werden.

Im Vergleich zu Hochdruckanlagen mit entsprechenden Filtersystemen treten Probleme durch sich zusetzende Düsen bei Mitteldruckanlagen relativ häufig auf, insbesondere wenn preiswertere Düsen aus Messing anstelle von V2A-Düsen verwendet werden. Messingdüsen korrodieren in der Stallluft sehr stark. Hierdurch setzen sich die Düsenlöcher leicht zu. Werden andererseits Hochdruckdüsen verwendet, so können sich diese aufgrund ihrer feinen Lochung bei dem niedrigen Wasserdruck ebenfalls leicht zusetzen.

Mit Hochdruckanlage kühlen

Als Pumpen werden für diesen Einsatzbereich gedrosselte Hochdruckreinigerpumpen eingesetzt, die dann einen Druck bis 70 bar erzeugen. Das Fördervolumen liegt zwischen 5 und 21 l/min. Je nach Literleistung der Pumpe können dann zwischen 60 bis 140 Düsen angeschlossen werden. Eine Hochdruckdüse kann einen Stallbereich von 6 bis 8 m² versorgen. Der sehr feine Aerosolnebel mit 10 Mikron wird vollständig von der Luft aufgenommen, der Wirkungsgrad der Kühlung ist also optimiert. Da das eingesetzte Wasser insgesamt in der Luft verdampft, tritt keine Wasserverschwendung auf, ferner tritt kein Nachtropfen der Anlage nach dem Abschalten auf. Nachteilig ist der höhere Anschaffungspreis für die Hochdruckanlage. Um Störungen durch Korrosion zu vermeiden, sollten nur V2A-Düsen verwendet werden.

Kühlung durch Luftanfeuchtung im Vorraum

Eine Befeuchtung der Zuluft im Vorraum oder im Zuluftkanal hat den Vorteil, dass Fehler der Befeuchtung durch Verneblung sich nicht direkt auf das Tier auswirken. Dadurch, dass nur ein Fühler im Vorraum genutzt wird, der Gesamtstall aber über die Fühler in den Einzelabteilen geregelt werden kann, ist die Anlage technisch einfacher zu handhaben. Die direkte gezielte Steuerung einzelner Abteile nach relativer Feuchte und Temperatur (Enthalpie) ist dann zwar nicht möglich, aber auch nicht unbedingt notwendig.

Aufgrund der geringeren Größe der mit Wasser vernebelten Räume (Vorraum, Zentralgang, Zuluftkanal) sollten hierfür keine Einzeldüsen, sondern Düsenstöcke installiert werden. Das Wasser muss besonders fein vernebelt werden, um die größtmögliche Aufnahmefähigkeit für die Luft zu erreichen. Deshalb sind hierfür nur Hochdruckanlagen geeignet. Innerhalb der Kanäle oder des Vorraums dürfen keinesfalls Tropfwasserniederschläge entstehen.

Kühlung über Erdwärmetauscher

Diese Form der Kühlung für Schweineställe ist seit vielen Jahren erprobt. Der Vorteil dieser Anlagen liegt darin, dass im Sommer die Zuluft gekühlt und im Winter erwärmt werden kann.

Bei der Nutzung der Erdkühle (Erdwärme) können geringere Lüfterleistungen installiert werden, die aber dann mit deutlich höheren Luftwiderständen belastet sind. Große Zuluftquerschnitte mit profilierten Rohren sollten gewählt werden. Ein maximaler Wirkungsgrad des Wärmeübergangs von ca. 25 % wird bei Verlegung der Rohre außerhalb des Stalles im Grundwasserspiegel

erreicht. Sind die Rohre oberhalb des Grundwasserspiegels verlegt, so sind geringere Wirkungsgrade bekannt. Die Rohrverlegung mit der Zuluftführung in den Vorraum oder direkt in das Lüftungssystem sind baulich sehr aufwendig, aber vorteilhaft.

4 Fazit

Die Aktualität der Kühlung von Schweineställen ist aufgrund neuer geplanter Rechtsetzungen gegeben. Wird die Forderung von „Komfortzonen mit verringertem Schlitzanteil“ durchgesetzt, so wird die Kühlung von Schweineställen bedeutungsvoll. Lüftungen sollten planerisch bereits die Entnahme der Zuluft aus beschatteten Bereichen berücksichtigen und die direkte Stallbeschattung nicht außer Acht lassen.

Bei einer technisch gut gelösten Zuluftführung bleibt deshalb die Notwendigkeit von zusätzlichen Kühlungsanlagen fraglich. Sollen sie dennoch eingesetzt werden, so ist im Wesentlichen die direkte Verneblung des Wassers zu feinsten Tröpfchen im Stall oder in den Vorräumen technisch vorteilhaft.

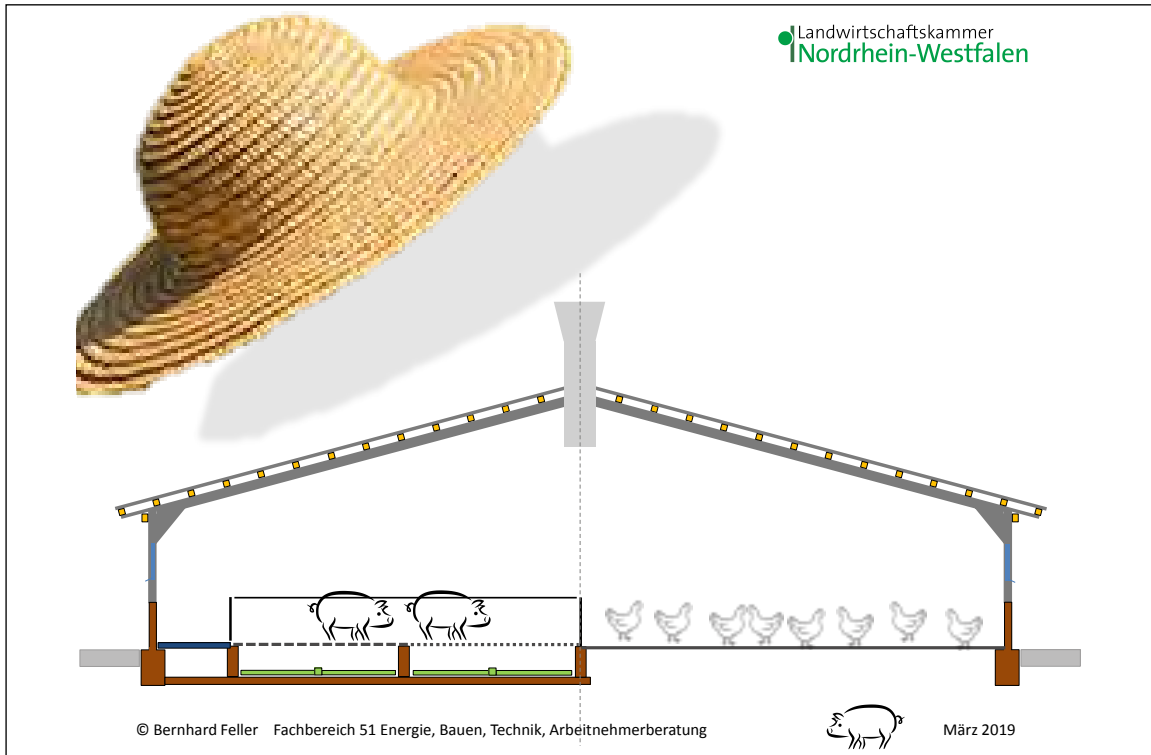
Das Wohlbefinden der Schweine sollte selbst bei eingesetzter Kühlung dadurch unterstützt werden, dass in kritischen Zeiten zu hoher Temperaturen auch das Management angepasst wird. Zum Beispiel kann durch Anpassung der Futtermenge und Verändern der Fütterungszeiten die Kreislaufbelastung für die Tiere gering gehalten werden. Integrierte Regelkreise zwischen Fütterungs- und Lüftungssteuerung in Kombination mit der Kühlung unterstützen diese Bemühungen.



KTBL Tage 2019 – Köhlen Kopf bewahren
Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel

Der klimaangepasste Stall Schweine und Geflügel

Bernhard Feller
Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen
Fachbereich Betriebswirtschaft – Bauen - Technik, Münster



Stallanlagen an das Klima anpassen

§ 18 TierSchNutzTV Anforderungen an Haltungseinrichtungen für Mastgeflügel: ... erforderlichenfalls eine Heiz- und Kühlungseinrichtung ...

§ 22 TierSchNutzTV Allgemeine Anforderungen an Haltungseinrichtungen für Schweine: ... geeignete Verminderung der Wärmebelastung der Schweine bei hohen Stalltemperaturen ermöglicht.

The diagram shows a pig barn with a red roof and a central ventilation stack. Above the barn, there are icons for a sun, a cloud with rain, and a thermometer. A red arrow points from the sun towards the barn, and another red arrow points from the thermometer towards the barn.

Einfluss Aussenklima:

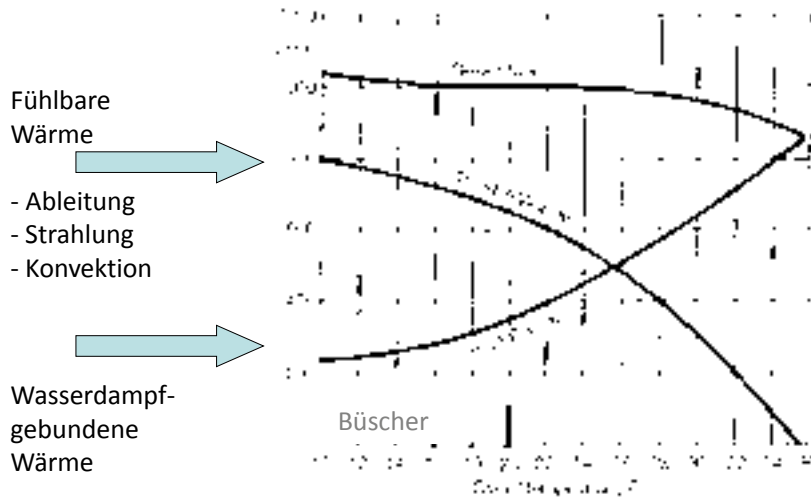
- Temperatur
- Luftfeuchtigkeit
- Wind
- Sonneneinstrahlung

Beeinflussung des Stallklimas:

- Standort
- Bauausführung
- Lüftungsanlage

© Bernhard Feller Fachbereich 51 Energie, Bauen, Technik, Arbeitnehmerberatung März 2019

Wärmeabgabe von Nutztieren in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur



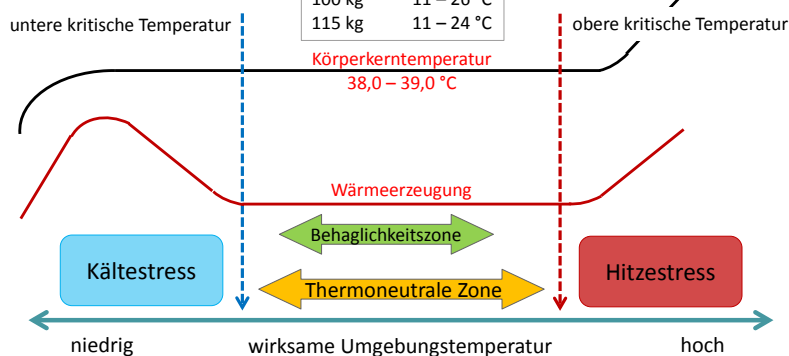
© Bernhard Feller Fachbereich 51 Energie, Bauen, Technik, Arbeitnehmerberatung



März 2019

Komforttemperatur von Mastschweinen

für Mastschweine:*	
20 kg	17 – 28 °C
40 kg	14 – 26 °C
60 kg	13 – 26 °C
80 kg	12 – 26 °C
100 kg	11 – 26 °C
115 kg	11 – 24 °C



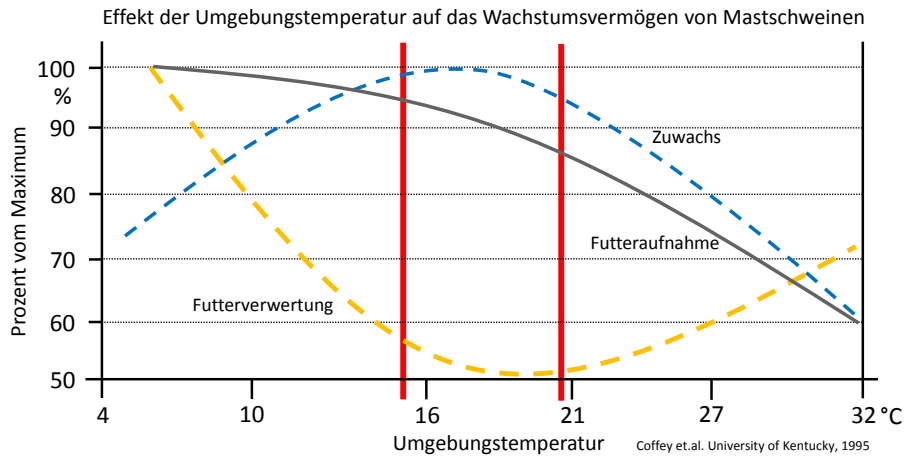
* abhängig von Haltungsform, Bodenbeschaffenheit, Futteraufnahme, ...

© Bernhard Feller Fachbereich 51 Energie, Bauen, Technik, Arbeitnehmerberatung



März 2019

Wachstumsvermögen in Abhängigkeit der Temperatur

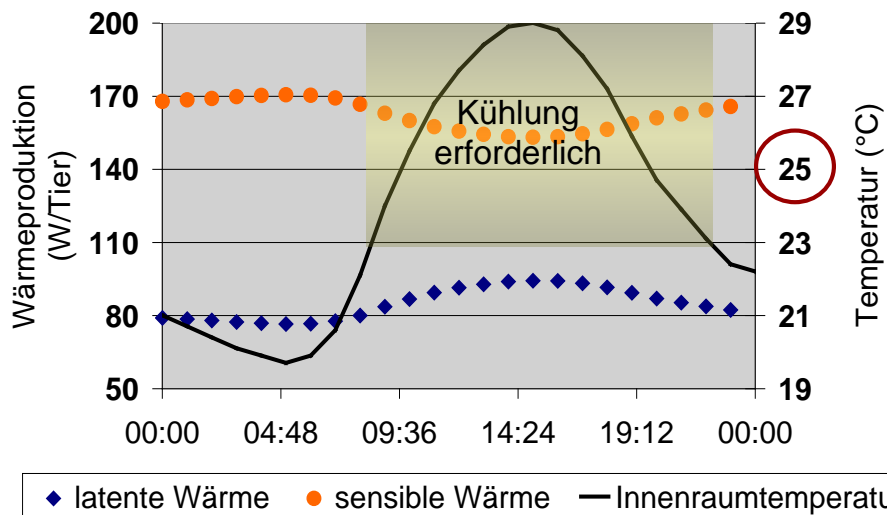


© Bernhard Feller Fachbereich 51 Energie, Bauen, Technik, Arbeitnehmerberatung



März 2019

Wärmeproduktion in Abhängigkeit der Lufttemperatur

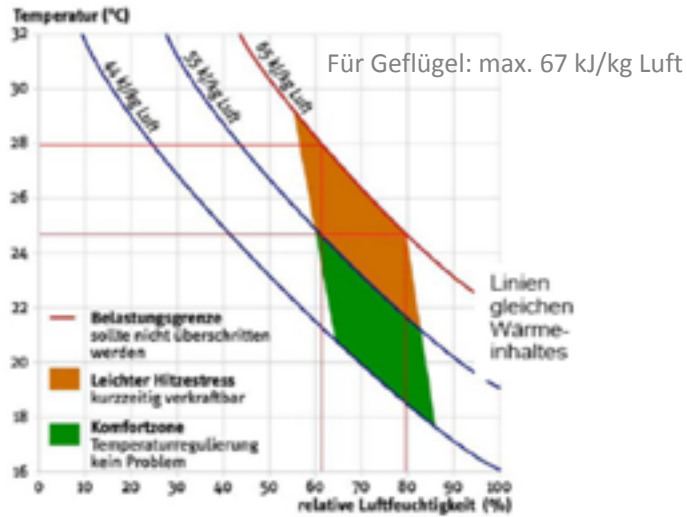


© Bernhard Feller Fachbereich 51 Energie, Bauen, Technik, Arbeitnehmerberatung



März 2019

Zustandsbereiche der Luft in Abhängigkeit von Feuchte und Temperatur

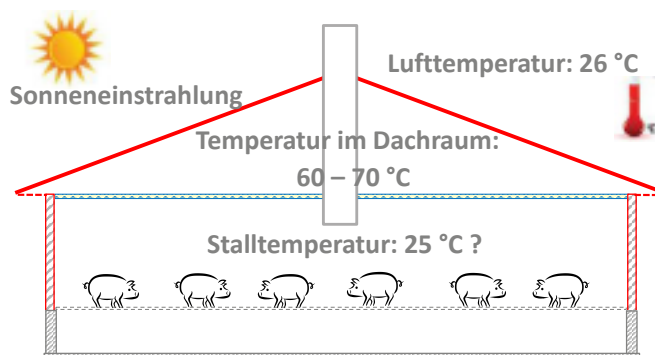


© Bernhard Feller Fachbereich 51 Energie, Bauen, Technik, Arbeitnehmerberatung



Wärme aus dem Dachraum

Heizleistung der Stalldecke: Stallmaße: 16,50 m x 25,30 m = 417 m²;
 U-Wert der Decke: 0,42 W/m²K;
 Temperaturdifferenz: 70 °C – 25 °C = 45 °C;
 Wärmeübergang: 0,42 W/m²K x 417 m² x 45 K = **7.881 W**



- Abhilfe:
- Durchlüftung Dachraum
 - Dämmung des Daches
 - Kühlen des Daches
 - Beschattung

© Bernhard Feller Fachbereich 51 Energie, Bauen, Technik, Arbeitnehmerberatung



März 2019

Wie können Ställe kühl gehalten werden?

- Lüftungseinrichtungen: Dimensionierung, Kontrolle
- Beschattung der Ställe
- Änderung des Tierbesatzes
- Wärmedämmung des Stalles; des Daches
- Zuluft aus kühleren Bereichen
- Kühlen der Zuluft:
 - Befeuchten
 - Kompressionskältemaschinen
 - Adsorptionstechnik

© Bernhard Feller Fachbereich 51 Energie, Bauen, Technik, Arbeitnehmerberatung



März 2019

Stalltemperatur bei unterschiedlichem Lüftungsniveau (Mastschweine 100 kg, hohes Futterniveau)

Maximum Lüftung	Außentemperatur	Stalltemperatur
80 m ³ /h	30,0 °C	32,8 °C
100 m ³ /h	30,0 °C	32,4 °C
120 m ³ /h	30,0 °C	32,2 °C

J. Peijnenburg, DLV 1998

© Bernhard Feller Fachbereich 51 Energie, Bauen, Technik, Arbeitnehmerberatung




März 2019



Landwirtschaftskammer
Nordrhein-Westfalen

Sonnenstrahl und Dachüberstand

Beschattung der Fenster:
Hecken / Sträucher / Bäume, Dachüberstand, Jalousien, etc.
Lichteinfall bleibt gewährleistet, aber Einstrahlung in den
Tierbereich wird vermieden

© Bernhard Feller Fachbereich 51 Energie, Bauen, Technik, Arbeitnehmerberatung  März 2019

Anforderungen an Zuluftsysteme

Luftgeschwindigkeit:

keine Zugluft, wenn die Raumtemperatur deutlich geringer als die Körpertemperatur ist

Faustregel:

Temperaturunterschied > 5 K max. Luftgeschwindigkeit im Tierbereich beachten!

Nur bei höheren Temperaturen (> 30°C) kann die Luftgeschwindigkeit im Tierbereich erhöht werden, um dadurch zusätzliche Kühleffekte zu nutzen.



Der Chill-Effekt oder „gefühlte Temperatur“

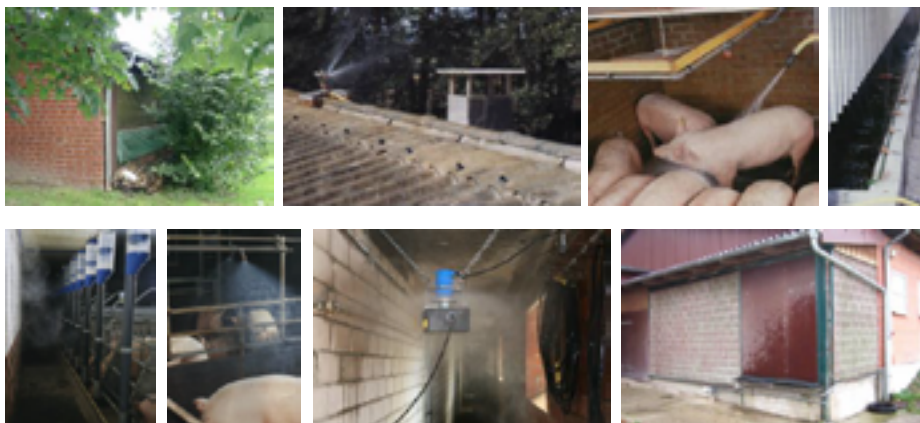
Ist-Temperatur °C	Relative Luftfeuchte %	Temperaturwahrnehmung bei unterschiedlichen Luftgeschwindigkeiten m/s					
		0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
35	50	35	32,2	26,6	24,4	23,3	22,2
29,5	50	29,5	26,6	24,4	22,8	21,1	20,0
24	50	24	22,8	21,1	20,0	17,7	16,6

R. Barnwell, Pittsburg 2002





Möglichkeiten zur Kühlung von Ställen



© Bernhard Feller Fachbereich 51 Energie, Bauen, Technik, Arbeitnehmerberatung



März 2019



Verdunstungskühlung – Wirkung der Luftfeuchte

- Rückgang der Wasserdampfabgabe durch die Tiere
- Obere kritische Temperatur* verschiebt sich nach unten
 - um ca. 1 K je 18 % zus. relativer Luftfeuchte
(Curtis, 1983)
 - um ca. 2 K bei Erhöhung der relativen Luftfeuchte von 50 % auf 80 % (Huynh, 2005)

* Abgeleitet anhand der Entwicklung der Rektaltemperatur und der Respirationrate



Befeuchtungskühlung im Sauenstall



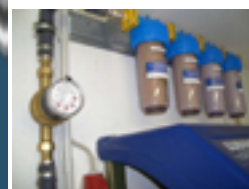
Versprühen von Wasser
direkt unter den
Zuluftkanälen

oder

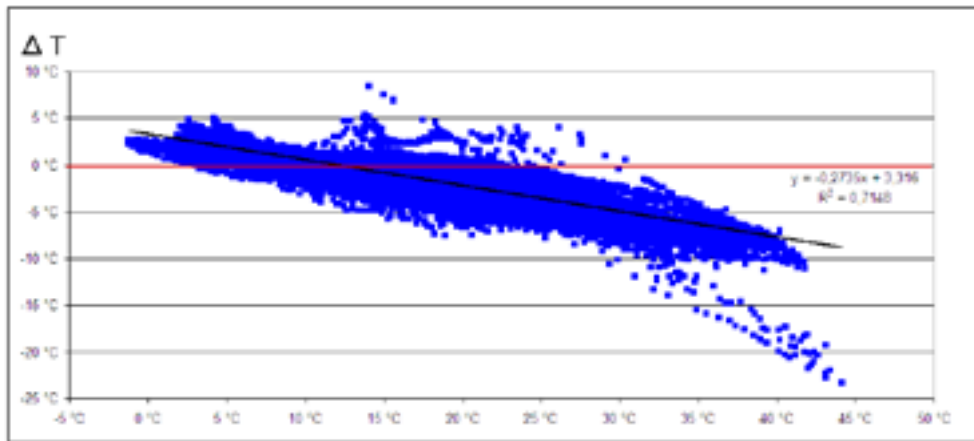
direkt über den Tieren



Werkbild Lubing



Kühleffekt einer befeuchteten Ziegelwand



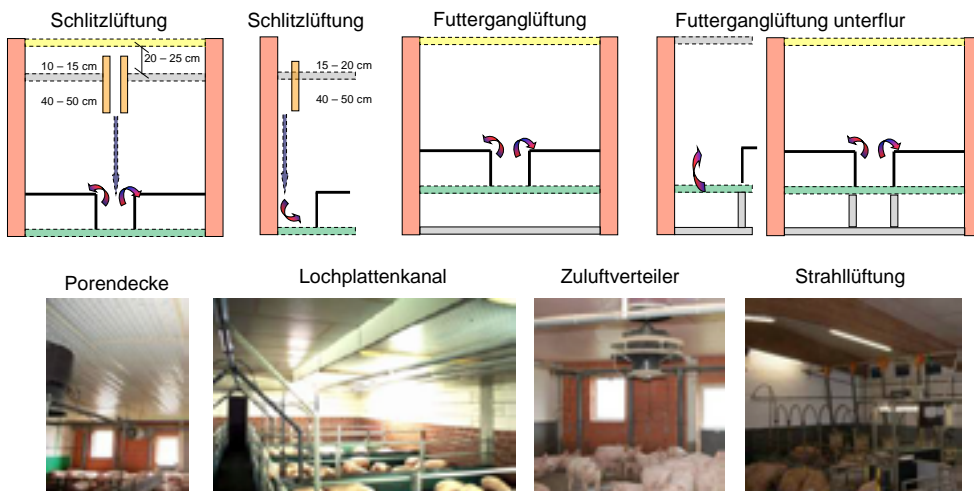
Außentemperatur

© Bernhard Feller Fachbereich 51 Energie, Bauen, Technik, Arbeitnehmerberatung



März 2019

Zuluftsysteme im Schweinestall

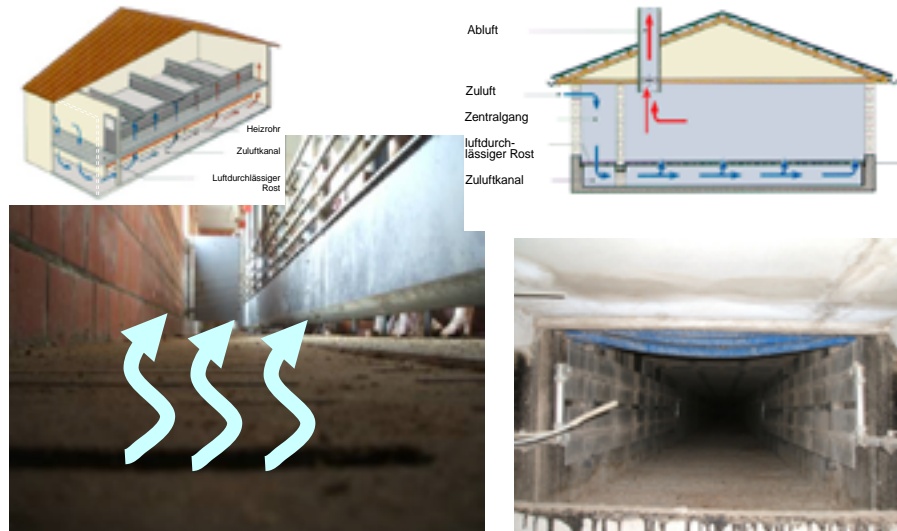


© Bernhard Feller Fachbereich 51 Energie, Bauen, Technik, Arbeitnehmerberatung



März 2019

Unterflur Futterganglüftung

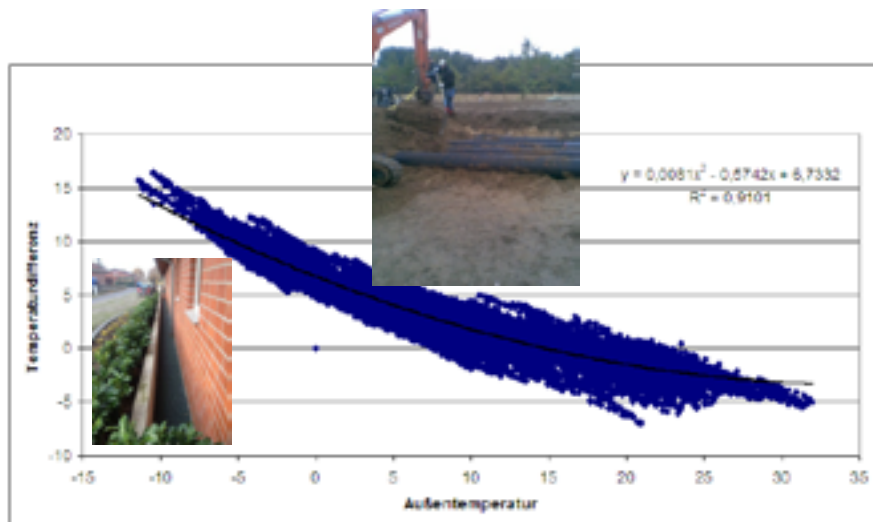


© Bernhard Feller Fachbereich 51 Energie, Bauen, Technik, Arbeitnehmerberatung



März 2019

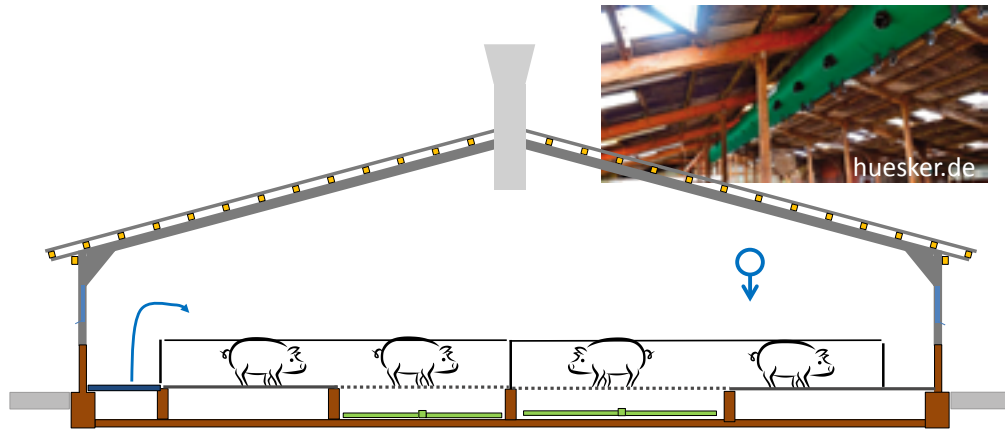
Heiz- und Kühlleistung eines Erdwärmetauschers



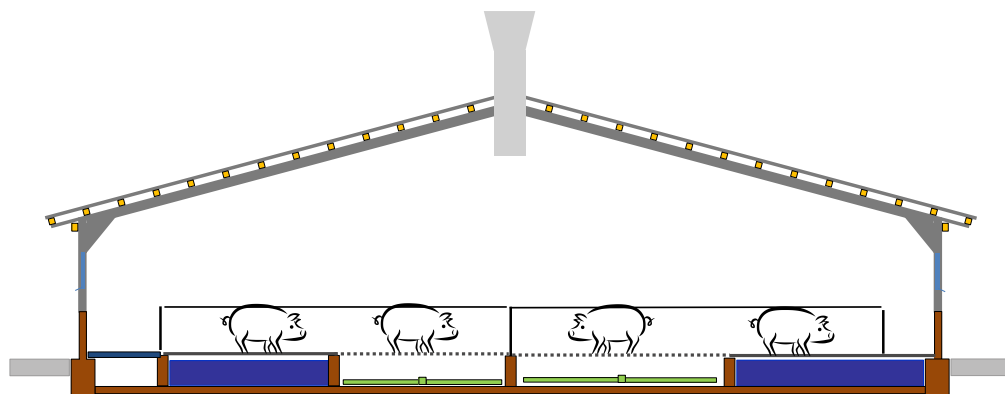
© Bernhard Feller Fachbereich 51 Energie, Bauen, Technik, Arbeitnehmerberatung



März 2019



Zuluftführung Unterflur oder partielle Strahl Lüftung über z.B. Belüftungsschläuche



Zuluftführung unter dem Liegebereich zur Kühlung



Kühlen der Zuluft durch Kältemaschinen

Kältemaschinen zur Kühlung können auf vielfältige Weise angetrieben werden:

üblich sind elektrisch- oder gasbetriebene Kältemaschinen

Kältemaschinen können aber auch mit Wärme betrieben werden:

Adsorptions-/Sorptiv-Kälteanlagen

Wärme aus Biogasanlagen

Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen

Solarbetriebene Anlagen

Problematisch sind die erforderlichen Leistungen:

100 m³/h Frischluft erfordern eine Kälteleistung von rund 200 Watt
für eine Temperatursenkung von 32°C auf 26°C:
bei 1.000 Mastplätze rund 50 - 60 kW_{el}



Bewertung der Kühlmöglichkeiten

Stallbauplanung:

gehört zu jedem Stallbaukonzept dazu

Überprüfung der Lüftungsanlage:

gehört zum ordnungsgemäßen Betrieb eines Stalles dazu

Einsatzmöglichkeiten für Befeuchtungskühlung prüfen:

abhängig von der Region und der Wasserqualität

Kosten-Nutzenanalyse für Erdwärmetauscher:

Unterflurzuluftführung, Röhrentauscher, Schotterspeicher

Adsorptions- oder Kompressionskälteanlagen:

können aufgrund der hohen Kosten und erforderlichen Leistungen nicht realisiert werden



Bodenschonende und humusmehrende Bewirtschaftung

ANDREAS GATTINGER

Justus-Liebig-Universität Gießen, Institut für Pflanzenbau und -züchtung II,
Professur für Ökologischen Landbau mit dem Schwerpunkt nachhaltige Bodennutzung, Gießen

1 Hintergrund

Klimawandel ist neben Biodiversität und Stickstoffkreislauf der Wirkungsbereich, wo die planetaren Grenzen für ein sicheres Leben auf der Erde bereits überschritten sind. Die Auswirkungen des Klimawandels waren gerade im Jahr 2018 deutlich zu spüren. Jedoch scheint dies nicht die Ausnahme zu sein, da Klimamodelle für die nächsten 50 Jahre z. B. beim „Weiter-wie-bisher-Szenario“ für Hessen bis zu 21 heiße Tage mehr pro Jahr vorhersagen. Das kann positive, aber auch sehr viele negative Konsequenzen für die Landwirtschaft (LW) bedeuten. Landwirtschaft ist gleich dreifach im Kontext Klimawandel betroffen: Verursacher, Betroffener, Klimaschützer. In Deutschland ist die Landwirtschaft mit 7,2 % an den Treibhausgasemissionen beteiligt, mit insgesamt 65,2 Mio. t CO₂-Äquivalenten; jedoch deutlich nach dem Energie- und Verkehrssektor.

Der Boden ist dabei eine Schlüsselressource im Kontext von Landwirtschaft und Klimawandel: Circa 99 % der weltweiten Nahrungsmittel werden von terrestrischen Systemen geliefert (Orgiazzi et al. 2016). Zurzeit stehen für jeden Menschen rechnerisch 2.000 m² Anbaufläche zur Verfügung; die Hälfte davon wird für Viehfutter und Energieproduktion benötigt (GIZ 2015). Bis 2050 werden schätzungsweise 9 Milliarden Menschen auf der Erde leben, deren Versorgung direkt (pflanzliche Nahrungsmittel) oder indirekt (Nahrungsmittel tierischer Herkunft) von intakten Böden abhängt. Der Boden ermöglicht Vegetation und steuert damit das Klima auf der Erde. Ohne seine reinigende Funktion gäbe es kein sauberes Trinkwasser. Böden liefern die wichtigsten Mittel zum Leben – Lebensmittel – sowie Rohstoffe für viele andere Produkte. Die Fähigkeit des Menschen, diese Ressource zielgerichtet zu nutzen, war und ist Grundlage für die Entstehung aller Kulturen weltweit. Viele dieser genannten Funktionen werden durch die organische Bodensubstanz bzw. Humus gesteuert, dessen wichtigster Bestandteil das chemische Element Kohlenstoff ist. Der Boden ist nach den Weltmeeren der zweitgrößte Kohlenstoffspeicher der Biosphäre. In Humus und Bodenleben sind 1.500 Milliarden Tonnen Kohlenstoff enthalten, das sind deutlich mehr als in Atmosphäre (760 Mrd. t C) und Vegetation (560 Mrd. t) zusammen (Gattinger et al. 2012a). Die Pflanzen bauen aus atmosphärischem CO₂ organische C-Verbindungen auf (Photosynthese), die als Wurzelrückstände/-ausscheidungen und Pflanzenstreu an den Boden abgegeben oder als Ernte vom Feld gefahren werden. Im Boden wird der Kohlenstoff aus Pflanzenrückständen und organischem Dünger teils zu CO₂ veratmet, teils zu Humus umgebaut. Humus besteht zu etwa 60 % aus Kohlenstoff. Bei einem C-Gehalt von 1 % (das entspricht etwa 1,7 % Humusgehalt) sind im Oberboden etwa 45 t C pro ha gebunden. Die Umsatz- und Abbaugeschwindigkeit der organischen Substanz variiert von wenigen Tagen bis Wochen bei frischem Pflanzenmaterial und bis zu Jahrzehnten bei Stroh, Stallmist oder reifem Kompost – und zu Jahrhunderten oder Jahrtausenden bei Pflanzenkohle o. Ä.

2 Boden- und Klimaschutz durch konservierendem/integriertem Landbau?

Die konservierende Bodenbearbeitung (BB), die mittlerweile weit im Integrierten Landbau verbreitet ist, zielt besonders auf Boden- und Wasserschutz ab. Sie wurde aus den Erfahrungen des sogenannten „Dust Bowls“ in den 1930er-Jahren in den USA eingeführt und von da ab weiterverbreitet. Es ist ein Bodenbearbeitungssystem, das auf drei wesentlichen Praktiken aufbaut:

- Minimale Bodenstörung: kein Pflügen; Direktsaat (No Tillage); reduzierte Bodenbearbeitung, z.B. Streifenfrässaat,
- Erhalt einer permanenten Bodenbedeckung,
- möglichst Grünbrachen und erweiterte Fruchtfolgen.

Die „extremste“ Ausprägung der konservierenden BB ist die Direktsaat (No Tillage), die vor allem in den USA, Brasilien und Argentinien die dominante Form der Bodenbearbeitung darstellt. Aber auch in einigen Ländern im Süden Afrikas, wie Simbabwe und Malawi wird Direktsaat, wenn auch mit anderen Techniken, praktiziert. Im Vergleich zu konventioneller BB wird global von einem Minderertrag von 5,7 % ausgegangen (Pittelkow 2015). Werden jedoch alle Prinzipien der konservierenden Bodenbearbeitung praktiziert, ist mit einem Ertragszuwachs zu rechnen, gerade in trockenen Klimaten. Allerdings zeigen einige globale Meta-Analysen, dass Direktsaat zwar Humusanreicherung in den oberen 10 cm und dadurch Bodenschutz bewirkt, jedoch keine Humuszunahme und somit keine C-Speicherung im Gesamtbodenprofil von 0 bis 60 cm.

3 Boden- und Klimaschutz durch Ökolandbau?

Eine Meta-Analyse von 74 in aller Welt durchgeführten Systemvergleiche hat ergeben, dass die Humusvorräte in biologisch bewirtschafteten Böden durchschnittlich um 6,1 t pro ha höher sind als in konventionell bewirtschafteten Böden (Gattinger et al. 2012b). Aufgrund von 20 Studien konnten die Forschenden zudem berechnen, dass biologisch bewirtschaftete Böden bis zu 1,7 t mehr atmosphärisches Kohlendioxid (CO₂) pro ha und Jahr speichern können. Signifikant höhere Kohlenstoffgehalte wurden auch auf Betrieben nachgewiesen, die keine Hofdünger von außen zugeführt hatten. Dies zeigt, dass Humusmehrung und Kohlenstoffrückbindung in einem geschlossenen Betriebskreislauf, wie ihn der Landbau anstrebt, sehr wohl möglich ist. Die erhöhten Humusgehalte werden vor allem auf Praktiken zurückgeführt, die für gemischt wirtschaftende Betriebe in Deutschland früher typisch waren: Rückführung der organischen Substanz in Form von Mist, Gülle oder Kompost sowie durch den Anbau von mehrjährigen, tiefwurzelnden Futterleguminosen wie Klee oder Luzerne. Dieser Kreislauf der organischen Substanz ist zwar ein typisches Merkmal biologischer Wirtschaftsweise, kann aber auch im konventionellen/integriertem Landbau angewendet werden und so zur Schonung des Klimas beitragen. Die Ertragsleistung des ökologischen Landbaus gegenüber dem konventionellen Landbau ist jedoch deutlich geringer und macht im globalen Mittel rund 25 % aus (Seufert et al. 2012). Hinsichtlich der Produktivität fällt also der Ökolandbau gegenüber dem konventionellen Landbau im globalen Durchschnitt deutlich zurück. Diese Ertragslücke ist in Entwicklungsländern allerdings deutlich schwächer ausgeprägt. Wenn dort grundsätzlich die bestmöglichen Praktiken angewendet werden, so kann der Ökolandbau sogar die Ertragsleistung des konventionellen Landbaus übersteigen. Insofern bietet Ökolandbau eine enorme Chance für Kleinbauern in Entwicklungsländern, wo es an Geld für chemischen Dünger und Pflanzenschutz fehlt, aber Ertrags- und Ernährungssicherung mit natürlichen Methoden und mit vor Ort verfügbaren Mitteln das Gebot der Stunde ist.

4 Lösungsansätze

Trotz der Potenziale, die der Ökolandbau und der integrierte Landbau liefern, wird es nicht möglich sein, die Ziele bezüglich Boden- und Klimaschutz zu erreichen. Zukünftig sollte der Boden daher ins Zentrum der Bewirtschaftung rücken, um seine Prozesse und Ökosystemleistungen gezielt zu nutzen und zu fördern und somit synthetische Inputs (Dünger, Pflanzenschutzmittel) zu ersetzen. Ein wichtiger Ansatz ist dabei eine bessere räumliche und zeitliche Integration von Pflanzenproduktion und Tierhaltung, wie es in Form der bäuerlichen Gemischtbetriebe über Jahrhunderte die gängige Praxis war und teilweise noch ist. Auch ist das Bodenleben stärker bei Pflanzenernährung und Pflanzenschutz bzw. -stärkung zu berücksichtigen. Und nicht zuletzt sollten die Potenziale der Präzisionslandwirtschaft für die Bewirtschaftung genutzt werden, wie z.B. die teilflächenspezifische Düngung, um neben Ressourcen und Lachgasemissionen auch Kosten einzusparen.

Literatur

- Gattinger, A.; Hülsbergen, Kurt-Jürgen; Müller, A.; Fließbach, A.; Kolbe, H. (2012a): In: Grundlagen zur Bodenfruchtbarkeit – Die Beziehung zum Boden gestalten. FiBL-Merkblatt. Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Bio Austria, Bioland Beratung GmbH, Bio Suisse und IBLA Luxemburg
- Gattinger, A.; Mueller, A.; Haeni, M.; Skinner, C.; Fließbach, A.; Buchmann, N.; Mäder, P.; Stolze, M.; Smith, P.; El-Hage Scialabba, N.; Niggli, U. (2012b): Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109, pp. 18226–18231
- Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) (Hg.) (2015): Themendossier Boden & Ernährung, Bonn, S. 6. https://www.grund-zum-leben.de/fileadmin/user_upload/dateien/_grund_zum_leben/Dokumente/Themendossier-01_Boden-und-Ern%C3%A4hrung_web.pdf, Zugriff am 25.02.2019
- Orgiazzi, A.; Bardgett, R. D.; Barrios, E.; Behan-Pelletier, V.; Briones, M. J. I.; Chotte, J.-L.; De Deyn, G. B.; Eggleton, P.; Fierer, N.; Fraser, T.; Hedlund, K.; Jeffery, S.; Johnson, N. C.; Jones, A.; Kandeler, E.; Kaneko, N.; Lavelle, P.; Lemanceau, P.; Miko, L.; Montanarella, L.; Moreira, F. M. S.; Ramirez, K. S.; Scheu, S.; Singh, B. K.; Six, J.; van der Putten, W. H.; Wall, D. H. (Hg.) (2016): *Global Soil Biodiversity Atlas*. European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg. <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/global-soil-biodiversity-atlas>, Zugriff am 25.02.2019
- Pittelkow, C. M.; Liang, X.; Linquist, B. A.; van Groenigen, K. J.; Lee, J.; Lundy, M. E.; van Gestel, N.; Six, J.; Venterea, R. T.; van Kessel, C. (2015): Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature* 517, pp. 365–368
- Seufert, V.; Ramankutty, N.; Foley, J. A. (2012): Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature* 485, pp. 229–232

Professur für
Ökologischen
Landbau





NEUE WEGE. SEIT 1607.





Boden- und humusmehrnde Bewirtschaftung: Herausforderungen und Lösungen

Andreas Gättinger

andreas.gattinger@agrار.uni-giessen.de

EINLEITUNG | 1 – Bedeutung des Bodens | 2 – Der bedrohte Boden | 3 – Lösungsansätze

JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN

11

Der bedrohte Boden

Für die Überlebensfähigkeit der Menschheit ist die Erhaltung des Bodens ein entscheidender Faktor. Dies unterstreicht auch Papst Franziskus in seiner Enzyklika „Laudato si“¹. Wiederholt stellt er fest, dass die Verödung des Bodens „so etwas wie eine Krankheit für jeden Einzelnen ist“². Die deutschen Bischöfe haben in Fragen der Umwelt nicht zu den Herausforderungen des Klimawandels³ und der Energiewende⁴ ausführlich Stellung genommen. Aber und bei ihren Überlegungen zur Neuorientierung für eine nachhaltige Landwirtschaft⁵ haben sie immer wieder auch auf die Rolle des Bodens hingewiesen. Der nun vorliegende Expertentext wendet sich gegen den ökologisch drängenden Thema des Bodenschutzes zu. Er greift damit zugleich den Impuls der Internationalen Jahre des Bodens auf, das die Vereinten Nationen für 2015 ausgerufen hatten. Der Expertentext

¹ Papst Franziskus: Apostolisches Schreiben *Evangelii Gaudium* über die Verkündigung des Evangeliums in der Welt von heute. Sekretariat der Deutschen Bischofskonferenz (Hg.): *Verlautbarungen des Apostolischen Stuhls* Nr. 194 (Düss 2013), S. 215, vgl. auch S. 89.

² Sekretariat der Deutschen Bischofskonferenz (Hg.): *Der Klimawandel: Einigkeit gleicher, unangenehmer und ökologischer Gerechtigkeit*. Die deutschen Bischöfe – Kommission für gesellschaftliche und soziale Fragen/Kommission Weltkirche Nr. 29, 2., aktualisierte Auflage (Bonn 2007).

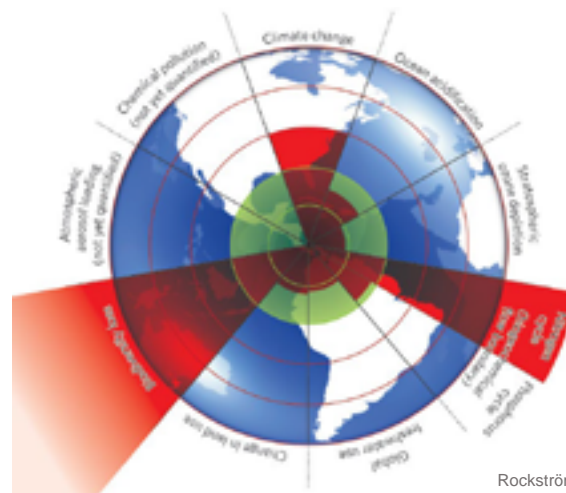
³ Sekretariat der Deutschen Bischofskonferenz (Hg.): *Der Schöpfungsversprechen. Anregungen für einen nachhaltigen Umgang mit Energie*. Arbeitsheft Nr. 245 (Bonn 2011); Sekretariat der Deutschen Bischofskonferenz (Hg.): *Empfehlungen zur Energiewende*. Die deutschen Bischöfe – Kommission für gesellschaftliche und soziale Fragen Nr. 37 (Düss 2013).

⁴ Kirchenrat der Evangelischen Kirche in Deutschland, Sekretariat der Deutschen Bischofskonferenz (Hg.): *Neuorientierung für eine nachhaltige Landwirtschaft*. Gemeinsame Texte Nr. 18 (Göttingen/Düss 2003).

Der bedrohte Boden. Ein Expertentext aus sozialetischer Perspektive zum Schutz des Bodens / hrsg. vom Sekretariat der Deutschen Bischofskonferenz. – Bonn 2016. – 50 S. – (Die deutschen Bischöfe – Kommission für gesellschaftliche und soziale Fragen ; 44)

2

Biodiversitätsverlust, Stickstoffkreislauf und Treibhausgasemissionen (Klimawandel) bereits jenseits der „planetaren Grenzen“



Rockström et al., 2009, Nature

EINLEITUNG | 1 – Integrierter Landbau | 2 – Okolandbau | 3 – Synthesel | 4 – Lösungsansätze | 3

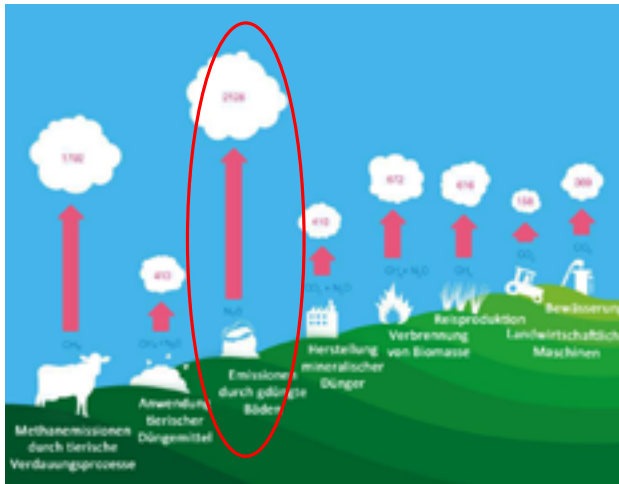
Boden als Schlüsselressource im Kontext Landwirtschaft und globaler Wandel



- Ca. 99% der weltweiten Nahrungsmittel werden von terrestrischen Systemen geliefert (Orgiazzi et al., 2016).
- Zur Zeit stehen für jeden Menschen rechnerisch 2.000 m² Anbaufläche zur Verfügung; die Hälfte davon wird für Viehfutter und Energieproduktion benötigt (GIZ, 2015).
- Bis 2050 werden schätzungsweise 9 Milliarden Menschen auf der Erde leben, deren Versorgung direkt (pflanzliche Nahrungsmittel) oder indirekt (Nahrungsmittel tierischer Herkunft) von intakten Böden abhängt.

EINLEITUNG | 1 – Integrierter Landbau | 2 – Okolandbau | 3 – Synthesel | 4 – Lösungsansätze | 4

Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft (global): Bodenemissionen die wichtigste Quelle!



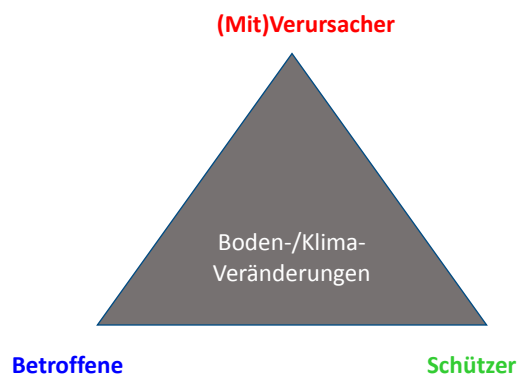
**Bodenemissionen
Deutschland (2016):
26,4 Mill. t CO₂-Äq. (40%)
Total: 65,2 Mill. t CO₂-Äq.**

Bellarby et al. angepaßt von Bautze & Gättinger (2018)

EINLEITUNG | 1 – Integrierter Landbau | 2 – Ökolandbau | 3 – Synthese | 4 – Lösungsansätze | 5

JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN

Bedeutung der Landwirtschaft im Kontext «Boden und Klimawandel»



EINLEITUNG | 1 – Integrierter Landbau | 2 – Ökolandbau | 3 – Synthese | 4 – Lösungsansätze | 6

Merkmale eines intakten Bodens

EINLEITUNG | 1 - Integrierter Landbau 2 - Ökolandbau 3 - Synthesel 4 - Lösungsansätze

Mechanismen des Humusaufbaus

CO₂ -Einbau über Photosynthese der Pflanzen

**Pflanzenstreu/Erntereste/
Wirtschaftsdünger**

**Wurzel-C hat 2,3-fach
stärkeres
Humusbildungspotential
als C aus oberirdischer
Biomasse** (Kätterer et al. 2011)

Humusbildung

EINLEITUNG | 1 - Integrierter Landbau 2 - Ökolandbau 3 - Synthesel 4 - Lösungsansätze 8

EINLEITUNG | 1 – Bedeutung des Bodens | 2 – Der bedrohte Boden | JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN

Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (D)





Im oberen Meter landwirtschaftlich genutzter Böden sind derzeit in Deutschland insgesamt rund $2,5 \times 10^9$ t Corg gespeichert.


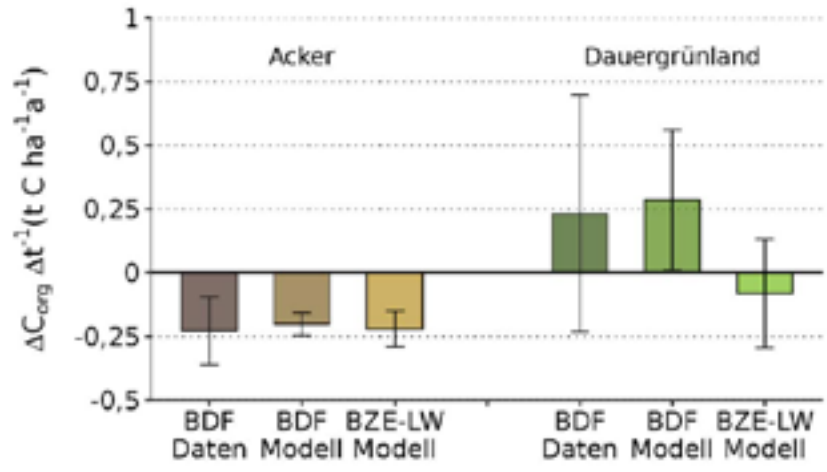
Der mittlere Corg-Vorrat in 0-100 cm Bodentiefe beträgt 128 t/ha (0-90 cm: 123 t/ha):
 Ackerböden: 101 t Grünlandböden: 200 t/ha.
 Zum Vergleich Corg-Vorrat Waldböden 100 t/ha (ohne Streuauflage; 119 t/ha mit Streuauflage) in 0-90 cm Bodentiefe ermittelt.



Jakobs et al. Thünen Report, 2018

EINLEITUNG | 1 – Bedeutung des Bodens | 2 – Der bedrohte Boden | JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN

Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (D)

Acker

Dauergrünland

$\Delta C_{org} \Delta t^{-1} (t C ha^{-1} a^{-1})$

Land Use	Management	Scenario	$\Delta C_{org} \Delta t^{-1} (t C ha^{-1} a^{-1})$
Acker	BDF	Daten	-0.25
		Modell	-0.15
		BZE-LW	-0.20
Dauergrünland	BDF	Daten	0.25
		Modell	0.30
		BZE-LW	-0.10

Jakobs et al. Thünen Report, 2018

Bodenbildung ohne und mit Humusmanagement



B. Glaser, Halle

Bodenschonende, humusmehrende Bewirtschaftung, wie?

Green Revolution 2.0 ?

Bäuerliche
Landwirtschaft?

Ökolandbau?

Konservierender/Integrierter Landbau?

Regenerative Landwirtschaft?

Boden-Klima-Wirkungen von Bewirtschaftungssystemen

1. **Konservierender/Integrierter Landbau: Bodenbearbeitung + Zwischenfrüchte**
2. **Ökologischer Landbau: Fruchtfolgen + organische Düngung**
3. **Synthese**
4. **Ist gut auch gut genug für Wetterextreme und Klimawandel?**



EINLEITUNG | 1 – Integrierter Landbau | 2 – Ökolandbau | 3 – Synthese | 4 – Ausblick

Boden-Klima-Wirkungen von Bewirtschaftungssystemen

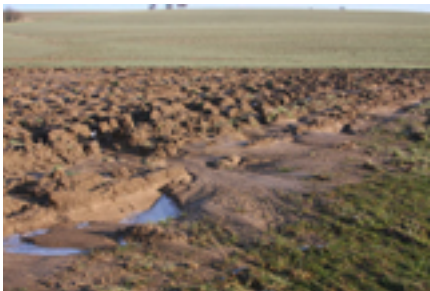
1. **Konservierender/Integrierter Landbau: Bodenbearbeitung + Zwischenfrüchte**
2. **Ökologischer Landbau: Fruchtfolgen + organische Düngung**
3. **Synthese**
4. **Ist gut auch gut genug für Wetterextreme und Klimawandel?**



EINLEITUNG | 1 – Integrierter Landbau | 2 – Ökolandbau | 3 – Synthese | 4 – Ausblick

Konsequenzen nicht angepasster Boden- und Landnutzung...

F GIESSEN



(Urheberrechte Photos s. Anhang)

EINLEITUNG | 1 - Integrierter Landbau | 2 - Ökolandbau | 3 - Synthese | 4 - Ausblick |

15

...die Lösung: Konservierende Bodenbearbeitung

JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN

Ein Bodenbearbeitungssystem, das auf drei wesentlichen Praktiken aufbaut:

- i) Minimale Bodenstörung (kein Pflügen: Direktsaat (No Tillage; reduzierte Bodenbearbeitung, z.B. Streifenfrässaat)
- ii) Erhalt einer permanenten Bodenbedeckung
- iii) möglichst Grünbrachen und erweiterte Fruchtfolgen

„No Tillage“ Fläche (in Mill. ha):
Global 125, USA 26,5, Argentinien 25,6, Brasilien 25,5 (Spanien 650.000 ha, Deutschland < 10.000 ha)
(Friedrich et al. 2012)

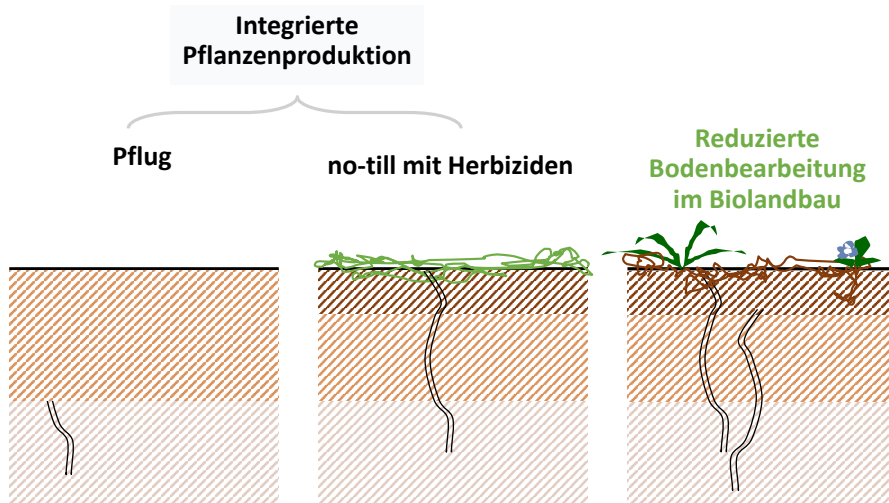


Friedrich et al. 2012

EINLEITUNG | 1 - Integrierter Landbau | 2 - Ökolandbau | 3 - Synthese | 4 - Ausblick |

16

Konservierende Bodenbearbeitungsverfahren im Überblick



Konservierende Bodenbearbeitung in der großflächigen Landwirtschaft



(Urheberrechte Photos s. Anhang)

Konservierende Bodenbearbeitung in der kleinbäuerlichen Landwirtschaft



(Urheberrechte Photos s. Anhang)

EINLEITUNG | 1 – Integrierter Landbau | 2 – Ökolandbau | 3 – Synthese | 4 – Ausblick |

19

Konservierende Bodenbearbeitung – was wird dadurch bezweckt?



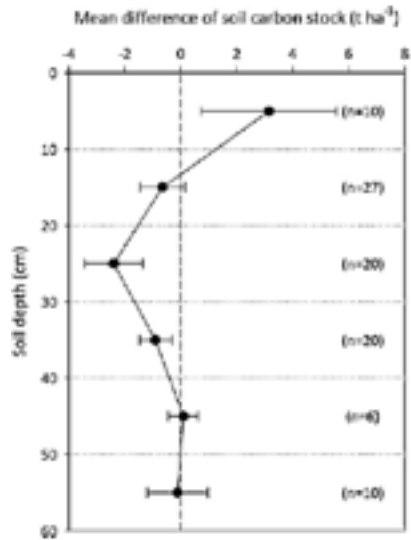
Wirkungskategorie	Effektgrösse	Wirkung	Referenzen
Bodenkonservierung	diverse Effektgrössen	positiv	27, 28, 45-49
Wasserkonservierung	diverse Effektgrössen	positiv	48-52

(Referenzen in Gättinger et al. 2011)

EINLEITUNG | 1 – Integrierter Landbau | 2 – Ökolandbau | 3 – Synthese | 4 – Ausblick |

20

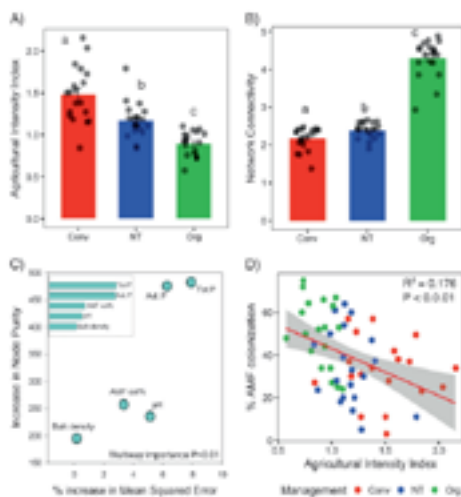
Mehr Bodenkohlenstoff (=Humus) durch konservierende Bodenbearbeitung?



Humusaufbau in den oberen 15 cm Boden. Wichtig für Bodenschutz!
Keine C-Speicherung (= Klimaschutz) durch langfristige konservierende Bodenbearbeitung (= no-till) bezogen auf 0-60 cm!

Luo et al. AGEE, 2010; Dimassi et al., AGEE, 2014; Powlson et al. Nat. Clim Change, 2014

Landwirtschaftliche Intensivierung reduziert die Komplexität von Pilznetzwerken unter Weizen

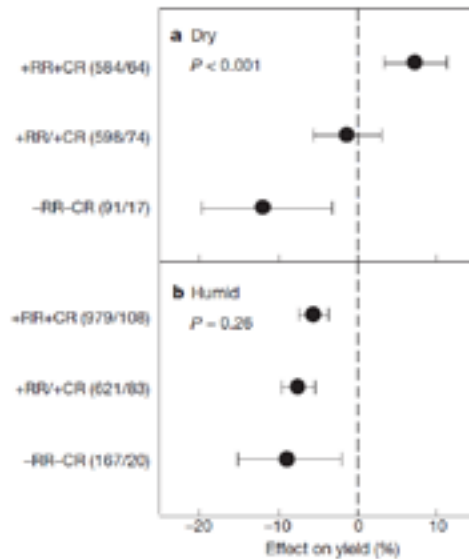


On-farm Untersuchungen auf 3x 20 Betrieben in der Schweiz
Zunahme der Pilzdiversität und – abundanz inkl. AMF bei abnehmender landwirtschaftl. Intensität

Banerjee et al., 2019, ISME J

Ertragsleistung von konservierender Bodenbearbeitung

JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN



Minderertrag global von 5,7%.
Jedoch Ertragszuwachs, wenn alle Prinzipien der konservierenden Bodenbearbeitung praktiziert werden, was sogar höherer Ertrag in trockenen Klimaten bedeutet.

Pittelkow et al., 2014, Nature

EINLEITUNG | 1 – Integrierter Landbau | 2 – Ökolandbau | 3 – Synthese | 4 – Lösungsansätze | 23

JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN

Boden-Klima-Wirkungen von Bewirtschaftungssystemen

1. Konservierender/Integrierter Landbau: Bodenbearbeitung + Zwischenfrüchte
2. **Ökologischer Landbau: Fruchtfolgen + organische Düngung**
3. Synthese
4. Ist gut auch gut genug für Wetterextreme und Klimawandel?



EINLEITUNG | 1 – Integrierter Landbau | 2 – Ökolandbau | 3 – Synthese | 4 – Ausblick |

Humusaufbau durch Biolandbau?

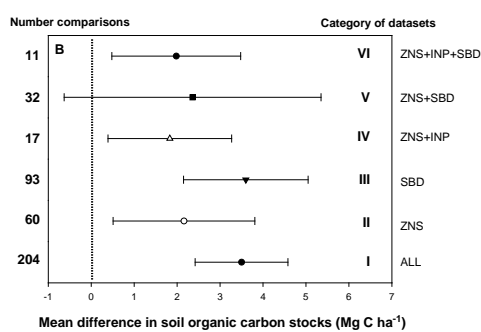
Geographic Distribution of farming system (org vs. con) comparisons



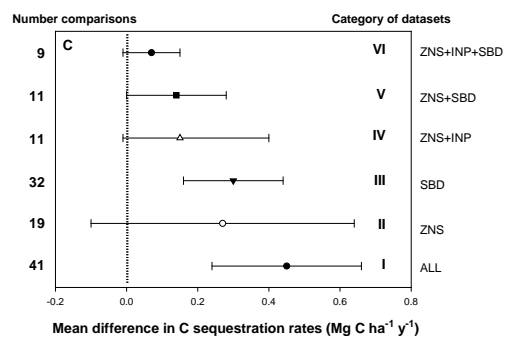
74 geeignete Studien weltweit mit bis zu 211 Paarvergleichen

Gattinger et al., PNAS, 2012

Humusaufbau und C-Speicherung durch Ökolandbau?



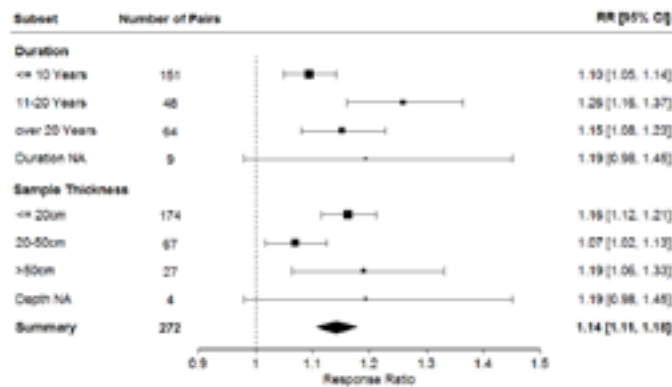
Höhere **Corg-Vorräte** ($3.50 \pm 1.08 \text{ Mg C ha}^{-1}$) in Oberböden (0-20 cm) unter ökologischer Bewirtschaftung.



Netto-Sequestrierung von $450 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ für alle biolog. bewirtschaftete Böden; das Potential ist niedriger unter „zero net input systems“ ($\leq 1.0 \text{ GVE ha}^{-1}$): $70 - 270 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$.

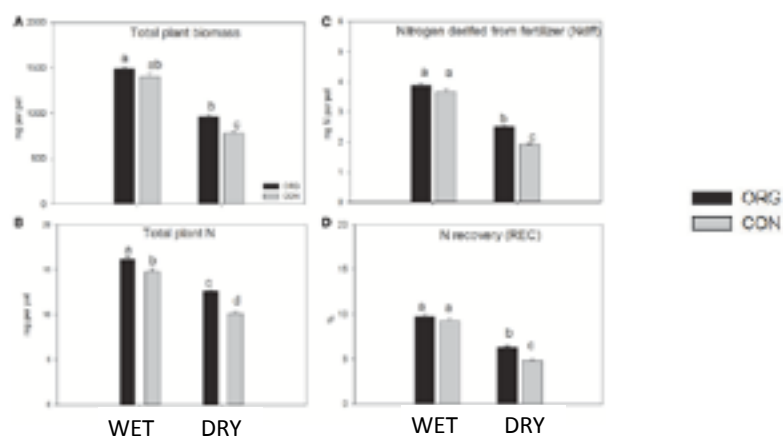
Gattinger et al., PNAS, 2012

Neueste Daten: Mehr Humus im Ökolandbau auch in tieferen Bodenschichten...



Weckenbrock & Gattinger, in prep.

Erhöhtes Bodenleben unter Ökolandbau ermöglicht bessere N-Freisetzung unter Trockenheit...



Lori et al., 2018, Frontiers

Boden-Klima-Wirkungen von Bewirtschaftungssystemen

1. Konservierender/Integrierter Landbau: Bodenbearbeitung + Zwischenfrüchte
2. Ökologischer Landbau: Fruchtfolgen + organische Düngung
3. **Synthese**
4. Ist gut auch gut genug für Wetterextreme und Klimawandel?



EINLEITUNG | 1 – Integrierter Landbau | 2 – Ökolandbau | 3 – Synthese | 4 – Ausblick

Boden-Klimawirkungen des Konservierenden/Integrierten Landbaus

Nr.	Impact category	Effect size	Effect
1	Klimaschutz	C Speicherung in Böden	neutral
1	Klimaschutz	N ₂ O Emission aus Böden	negativ/neutral
2	Anpassungsfähigkeit	Humus/Wasserspeicherung	positiv
2	Anpassungsfähigkeit	Bodenqualität: Bodenleben	positiv
3	Anpassungsfähigkeit	Ertragsleistung	negativ
3	Anpassungsfähigkeit	Ertragsleistung in Entwicklungsländern	neutral/positiv



EINLEITUNG | 1 – Integrierter Landbau | 2 – Ökolandbau | 3 – Synthese | 4 – Lösungsansätze | 30

Boden-Klima-Wirkungen des Ökolandbaus

Nr.	Impact category	Effect size	Effect
1	Klimaschutz	C Speicherung in Böden	positiv
1	Klimaschutz	N ₂ O Emission aus Böden	neutral/positiv
2	Anpassungsfähigkeit	Humus/Wasserspeicherung	positiv
2	Anpassungsfähigkeit	Bodenqualität: Bodenleben	positiv
3	Anpassungsfähigkeit	Ertragsleistung	negativ
3	Anpassungsfähigkeit	Ertragsleistung in Trockengebieten	negativ/neutral

Boden-Klima-Wirkungen von Bewirtschaftungssystemen

1. Konservierender/Integrierter Landbau: Bodenbearbeitung + Zwischenfrüchte
2. Ökologischer Landbau: Fruchtfolgen + organische Düngung
3. Synthese
4. **Ist gut auch gut genug für Wetterextreme und Klimawandel?**



Bodenoberfläche vor Starkregen

JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN



Mäder et al. 2002, Science

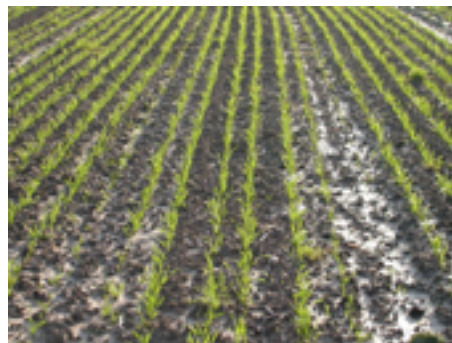
«herkömmlich»

«verbessert»

EINLEITUNG | 1 – Integrierter Landbau | 2 – Ökolandbau | 3 – Synthesel | 4 – Lösungsansätze | 33

... und nach Starkregen (15 L/h)

JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN



Mäder et al. 2002, Science

«herkömmlich»

«verbessert»

EINLEITUNG | 1 – Integrierter Landbau | 2 – Ökolandbau | 3 – Synthesel | 4 – Lösungsansätze | 34

Herausforderung Wetterextreme/Klimawandel

Sind die genannten Boden-Pflanzen-Systeme resilient gegenüber Wetterextreme?

Können wir mit den vorherrschenden Anbausystemen wirklich den Boden/Wasserhaushalt unter dem Einfluss des Klimawandels stabilisieren?



EINLEITUNG | 1 – Integrierter Landbau | 2 – Ökolandbau | 3 – Synthesel | 4 – Lösungsansätze | 35

Fallbeispiel: Extremniederschlag (110L/h) auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb Gladbacherhof (öko seit 30 Jahren), Villmar-Aumenau 5.7.2018

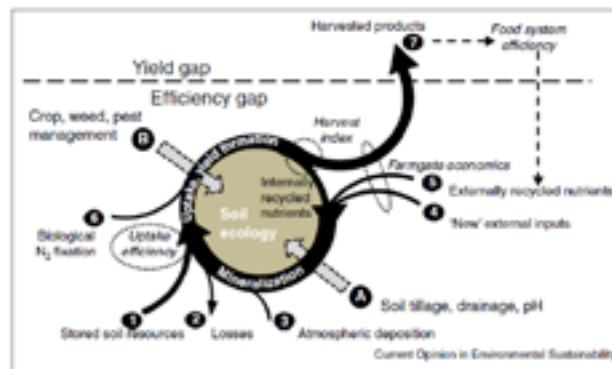


EINLEITUNG | 1 – Integrierter Landbau | 2 – Ökolandbau | 3 – Synthesel | 4 – Lösungsansätze | 28

Lösungsansätze...

Ökofunktionelle Intensivierung gemäss bester Praxis zur Schliessung der Ertrags- und Effizienzlücken

- › den Boden auf all seinen Skalen (Aggregat-Schlag-Agrarlandschaft) ins Zentrum der Bewirtschaftung rücken und die Prozesse und Ökosystemleistungen gezielt nutzen..



Nordwijk and Brussaard. 2015, Curr Op Environ Sus

EINLEITUNG| 1 – Integrierter Landbau| 2 – Okolandbau| 3 – Synthesel| 4 – Lösungsansätze

Natur als Vorbild....



Physische/virtuelle Integration von Tierhaltung und Pflanzenbau, weite Fruchtfolgen und Mischkultursysteme



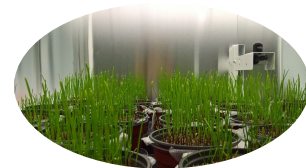
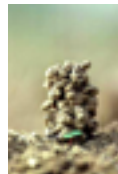
Innovationen auf Stall-Feld-Betriebs-Landschaftsebene

JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN

Innovationen



→ Acker/Grünland



→ Landschaft



EINLEITUNG | 1 - Bodenbearbeitung | 2 - Biolandbau | 3 - Synthese | 4 - Ausblick

40

...vom Humusaufbau zu stabilen Agrar- und Ernährungssystemen: Agrarsystemökologie



Dough Tomkins Archives, BIORAMA



EINLEITUNG | 1 – Bodenbearbeitung | 2 – Biolandbau | 3 – Synthesel | 4 – Ausblick

41

SCIENTIFIC REPORTS

OPEN **The impact of long-term organic farming on soil-derived greenhouse gas emissions**

Julia Böhm¹, Andrea Seitzinger², Ralf Kiese¹, Hans-Joachim Lantinga¹, Stefan Meyer¹, Michael A. van der Spiegel¹ & Paul Mäder^{1*}

Agroecosystems emit greenhouse gas emissions of different sizes, due to the knowledge of the impact of organic crop production on soil-derived greenhouse gas emissions. However, the impact of long-term organic farming on soil-derived greenhouse gas emissions is still unclear. We investigated the impact of long-term organic farming on soil-derived greenhouse gas emissions in a long-term experiment (1999–2019) in a temperate region. We compared the impact of long-term organic farming on soil-derived greenhouse gas emissions with the impact of long-term conventional farming on soil-derived greenhouse gas emissions. We found that long-term organic farming significantly reduced soil-derived greenhouse gas emissions compared to long-term conventional farming. This study shows that long-term organic farming can significantly reduce soil-derived greenhouse gas emissions in agriculture.

*Correspondence: paul.mader@jku.at

Full list of author information is available at the end of the article

© The Author(s) 2021. This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

42

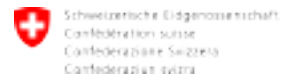


Weitere Infos:
andreas.gattinger@agrار.uni-giessen.de
www.ecoserve-project.eu
www.solmacc.eu

Sehen Sie auch:
www.youtube.com/watch?v=QYBS4Qj7T14



**STIFTUNG
MERCATOR
SCHWEIZ**



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Risikomanagement im Zeichen des Klimawandels

ROBERT FINGER

ETH Zürich, Gruppe für Agrarökonomie und -politik, Zürich

Das Klima ändert sich und dies hat Auswirkungen auf die Landwirtschaft, auch in Europa. Die Dürre und die Hitzewelle im Jahr 2018, aber auch die Spätfröste in 2017 haben eindrücklich aufgezeigt, wie sensibel die landwirtschaftliche Produktion gegenüber extremen Witterungsereignissen ist. Es wird erwartet, dass der Klimawandel im Mittel zu steigenden Temperaturen und geringeren Niederschlägen im Sommer führt. Wichtig für die Landwirtschaft ist aber insbesondere, dass dabei klimatische Extremereignisse tendenziell zunehmen. So nehmen die Eintrittswahrscheinlichkeit und die Intensität von Dürren, aber auch von Extremniederschlägen zu (Grillakis 2019, Trnka et al. 2014). Die Anzahl extremer Hitzetage nimmt zu und die für Obst- und Weinbau relevanten Spätfröste werden häufiger auftreten (Trnka et al. 2014, Vitasse et al. 2018). Relevant ist zudem, dass dabei auch das gemeinsame Auftreten von unterschiedlichen Extremereignissen, sogenannter compound (extreme) events, wahrscheinlicher wird (Zscheischler et al. 2018). Darüber hinaus sind auch indirekte Effekte der Klimaveränderung für die Landwirtschaft höchst relevant, zum Beispiel wird ein steigender Schaderregerdruck prognostiziert (Deutsch et al. 2018).

All das kann Effekte auf Quantität und Qualität pflanzlicher, aber auch tierischer, Produktion haben (Challinor et al. 2014, Soussana und Lüscher 2007, Thornton et al. 2009, Finger et al. 2018). In vielen Fällen steigt zudem die Variabilität der Erträge (Trnka et al. 2014, Webber et al. 2018, Torriani et al. 2007). Größere Schwankungen in Produktionsmengen können zudem auf Märkte durchschlagen und zu größeren Preisvolatilitäten führen. Es gibt jedoch auch positive Aspekte. Längere Vegetationsperioden ermöglichen eine intensivere Nutzung von Dauergrünland, trockenere Sommer reduzieren den Pilzdruck und steigende Wärmesummen machen den Anbau von Kulturen wie Soja attraktiver. Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft sind sehr heterogen, stark abhängig von Aktivität, Kultur, Region und betrachteter zukünftigen Zeitperiode (Wheeler und von Braun 2013, Webber et al. 2018)

Das Anpassungspotenzial der Landwirtschaft an den Klimawandel und an das zunehmende Klimarisiko ist groß (Übersicht siehe: Smit und Skinner 2002). Staat und Industrie können u. a. Entwicklungen in Zucht und Technologie vorantreiben, Infrastrukturen für Wetter- und Klimainformationssysteme sowie Wassernutzung schaffen und neue Bildungs- und Beratungsangebote lancieren. Jedoch haben insbesondere auch landwirtschaftliche Betriebe vielfältige Möglichkeiten sich anzupassen, um so negative Auswirkungen abzufedern oder sogar von veränderten Klimabedingungen zu profitieren. So können die Wahl anderer Kulturen und Sorten und agronomische Maßnahmen, wie die Anpassung von Saatzeitpunkten oder der Bodenbearbeitung, Risiken vermeiden (Klein et al. 2014, Lehmann et al. 2013a). In manchen Fällen kann der Klimawandel neue Aktivitäten sogar erst ermöglichen. Zum Beispiel könnten neue Sorten höhere Qualität und Wertschöpfungspotenziale in Obst- und Weinbau bedeuten. Für gewisse Kulturen wie Kartoffeln wird zudem die Bewässerung immer relevanter, insbesondere um mit steigenden Dürreerisiken umzugehen (Lehmann und Finger 2013).

Auf Ebene des Betriebs sind die Auswirkungen steigender Klimarisiken geringer und die Anpassungspotenziale größer als auf Ebene einzelner Kulturen (Lehmann et al. 2013b). Die Diversität spielt dabei eine entscheidende Rolle. Eine breite Abstützung auf verschiedene Sorten, Kulturen und Einkommenszweige puffert die Effekte von Extremereignissen oft ab (Finger und Buchmann 2015, Di Falco und Chavas 2006, Lehmann et al. 2013b). Auf betrieblicher Ebene kann zudem der Aufbau von Reservekapazitäten oder die Aufnahme außerlandwirtschaftlicher Aktivitäten dazu beitragen, Einkommensschwankungen zu reduzieren (Briner et al. 2015). Vernachlässigt man diese Anpassungspotenziale, werden negative Effekte des Klimawandels auf Erträge, aber auch Einkommen, überschätzt (Challinor et al. 2014). Dennoch sind viele Anpassungsmaßnahmen mit Kosten verbunden, entweder direkt, zum Beispiel für die Installation einer Bewässerungsanlage, oder indirekt, als sogenannte Opportunitätskosten. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn sich ein stark diversifizierter Betrieb eben nicht kosteneffizient auf einen Betriebszweig spezialisieren kann. Am Ende bestimmen der rechtliche, personelle, klimatische und politische Rahmen sowie die individuellen Charakteristika den optimalen betriebspezifischen Mix an Risikomanagementstrategien (de Mey et al. 2016, Meraner und Finger 2018).

Dieser Mix beinhaltet oft auch eine Weitergabe von Risiken an Dritte. Zusätzlich zum Umgang mit steigenden Risiken auf dem Betrieb werden Versicherungen eine immer größere Rolle spielen. Dies ist insbesondere dann sinnvoll, wenn existenzgefährdende Risiken abgedeckt werden. Versicherungen erlauben es unternehmerische Risiken einzugehen und machen Investitionen attraktiver. Sie stärken daher eine produzierende Landwirtschaft und reduzieren die Notwendigkeit staatlicher Eingriffe bei klimatischen Extremereignissen. In den letzten Jahren wurde die Palette an Instrumenten dabei stetig ausgebaut. In der Schweiz wurden zum Beispiel Dürreversicherungen für Ackerbau und Grasland sowie Spätfrostversicherungen für den Obst- und Weinproduzenten eingeführt.

Schadensbasierte Versicherungen sind in einem weltweit großen und stark wachsenden Markt die dominante Art von Versicherungen (Glauber 2015). Es existieren Versicherungslösungen gegen einzelne Risiken (zum Beispiel Hagel), Mehrgefahren-, Ertrags-, aber auch Erlös- und sogar Einkommensversicherungen (El Benni et al. 2016, Severini et al. 2018). Diesen Lösungen ist gemein, dass eine Kompensation basierend auf einer Bewertung des effektiven Schadens stattfindet, was einen sicheren Schadenausgleich ermöglicht. Nachteile einer solchen Lösung sind der mit der Schadensbewertung einhergehende zeitliche und finanzielle Aufwand, sowie insbesondere die resultierende Informationsasymmetrie zwischen Versicherung und Landwirt. So ist es zum Beispiel oft schwer feststellbar, ob der Schaden durch ein Witterungsereignis oder die Nichteinhaltung guter landwirtschaftlicher Praxis hervorgerufen wurde. Selbstbeteiligung, Einschränkungen und Auflagen helfen zwar, dieses „Moralische Risiko“ zu vermeiden, reduzieren aber die Absicherungsfunktion der Versicherung und verteuern diese. Darüber hinaus bleiben einige Kulturen mit klassischen schadensbasierten Versicherungen unversicherbar. So ist das umfassende Absichern von Erträgen im Grasland aufgrund der Beweidung, flexibler und häufiger Nutzung und fehlender historischer Ertragsbeobachtungen momentan nahezu unmöglich.

Neue Technologien und innovative Lösungen werden es ermöglichen, in Zukunft immer breitere (d. h. für viele Aktivitäten und Risiken), flexiblere Versicherungslösungen günstig anzubieten. Schadensbasierte Versicherungen können und sollen so ergänzt, aber nicht ersetzt werden. So sind zum Beispiel satellitenbasierte Versicherungslösungen im Vormarsch und Wetterindexversicherungen eröffnen zunehmend neue Absicherungspotenziale. Bei diesen sogenannten Indexversicherungen hängt die Versicherungsauszahlung nicht vom einzelbetrieblichen Ertrag, sondern von extern

messbaren Variablen ab. Dabei wird oft der Niederschlag an einer Wetterstation als Indexvariable verwendet. In diesem Fall zahlt die Versicherung dann aus, wenn der Niederschlag unter einem bestimmten Wert liegt. Abgesehen von Niederschlag können und werden auch andere Wettervariablen (zusätzlich) im Index verwendet, Beispiele sind Bodenfeuchte und Temperatur. Darüber hinaus werden auch regionale Durchschnittserträge (area-yield) als Indexvariable verwendet. Diese neuen Arten von Versicherungslösungen werden immer häufiger zur Absicherung von Dürrerisiken im Grasland eingesetzt und machen diese gar oft erst möglich.

Der Vorteil von Indexversicherungen ist, dass keine Schadensermittlung notwendig ist und auch keine Informationsasymmetrien bestehen. Ein großer und höchst relevanter Nachteil bleibt das Basisrisiko, da Schäden auf dem Feld nicht notwendigerweise mit der Auszahlung basierend auf dem Index übereinstimmen (Dalhaus und Finger 2016, Dalhaus et al. 2018). Es verbleibt also ein Restrisiko beim Landwirt. Eine immer größere Rolle spielen satellitenbasierten Versicherungslösungen, bei denen Indices basierend auf Satellitenbildern, wie der normierte differenzierte Vegetationsindex (NDVI), für die Bewertung einzelbetrieblicher und regionaler Ertragsniveaus verwendet werden können. Darüber hinaus bieten Satellitenbilder die Möglichkeit, auf witterungsbezogene Parameter wie die Bodenfeuchte Rückschlüsse zu ziehen und so satellitenbasierte Wetterversicherungsprodukte zu kreieren (Vroege et al. 2019).

Momentan gibt es in Europa und Nordamerika mindestens 12 Graslanddürreversicherungen, die auf diese innovativen Ansätze zurückgreifen (Vroege et al. 2019). So sind zum Beispiel satellitenbildbasierte Lösungen in Frankreich, Spanien und Kanada vorhanden. In der Schweiz und Österreich gibt es hingegen Versicherungen basierend auf Dürreindizes. Die Weiterentwicklungen in diesem Feld bieten große Chancen für die Anpassung an steigende Klimarisiken. Technische und ökonomische Innovationen ermöglichen so in Zukunft eine breitere, effizientere und flexiblere Palette an Versicherungslösungen.

Eine offene Frage ist, welche Rolle der Staat beim Umgang mit steigenden Klimarisiken spielen soll. So ist zum Beispiel die Subventionierung von Versicherungsprämien vielerorts gängige Praxis, in Ländern wie Deutschland oder der Schweiz hingegen nicht (direkt). Daraus abzuleiten, dass Versicherungen auch hier nur durch staatliche Zuschüsse sicherzustellen seien, greift jedoch zu kurz. Zum Beispiel bilden Direktzahlungen für viele Betriebe einen großen Anteil des betrieblichen Ertrages und halten so witterungs- oder marktbedingte Einkommensschwankungen gering – und damit die Nachfrage nach umfassenden Versicherungen kleiner als in anderen Ländern ohne diese Art der staatlichen Unterstützung (Finger und Lehmann 2012). Es bräuchte also eine hohe Subventionierung von Versicherungen, um der Mehrheit der Betriebe einen umfassenden Versicherungsschutz schmackhaft zu machen. Darüber hinaus hat jede Subventionierung spezifischer Lösungen eine marktverzerrende Wirkung, die nicht geförderte, aber möglicherweise sinnvolle Risikomanagementstrategien aus den Betrieben drängt. Gleiches gilt für die Subventionierung von anderen Strategien wie der Bewässerung (Finger et al. 2011). Durch den Staat verzerrte Anpassungsreaktionen können so, zum Beispiel bezüglich Wassernutzung, auch neue Spannungsfelder zwischen Landwirtschaft und Umwelt entstehen lassen.

Die Rolle des Staates braucht eine holistische Perspektive, welche auch konsequent Emissionsvermeidungsstrategien in den Vordergrund stellt (Briner et al. 2012). Die Rolle des Staates kann darin bestehen, ein Umfeld des Ermöglichens zu schaffen, in dem eine breite Palette an Ausbildung, Beratung, Information im Bereich Risikomanagement zur Verfügung gestellt wird und Daten sowie rechtliche Rahmenbedingungen für Innovationen (z. B. Versicherungslösungen, Technologien)

bereitgestellt werden (Finger et al. 2019). So kann zum Beispiel die Bereitstellung hochqualitativer Daten zu Erträgen, Wetter, Klimaentwicklung und Phänologie es ermöglichen, Versicherungslösungen kosteneffizient anzubieten (Dalhaus et al. 2018). Zudem sollte ein rechtlicher Rahmen geschaffen werden, der Innovationen, wie die Nutzung von Maschinen- oder Satellitendaten oder neue Versicherungsformen, ermöglicht (Vroege et al. 2019, Finger et al. 2019). Der Staat kann den Auf- und Ausbau von Produkten zudem durch gezielte befristete Unterstützung oder die Übernahme einer Rückversicherung fördern. Flankierend sollte es den Betrieben durch gezielte Beratungsangebote ermöglicht werden, kritische Risiken zu identifizieren und den betriebspezifischen Mix an Risikomanagementstrategien entsprechend anzupassen. Diese Schritte tragen dazu bei, dass landwirtschaftliche Betriebe auch in Zukunft nachhaltige Möglichkeiten haben, mit steigenden Wetterrisiken umzugehen.

Zusammenfassend zeigt sich, dass der Klimawandel zu steigenden Risiken für landwirtschaftliche Betriebe führt. Das große Anpassungspotenzial auf und außerhalb des Betriebes kann jedoch die möglichen negativen Effekte deutlich reduzieren. Versicherungen können Strategien auf dem Betrieb dabei sinnvoll ergänzen; dabei ermöglichen Innovationen in Zukunft eine breitere Palette an effizienten Versicherungslösungen.

Literatur

- Briner, S.; Hartmann, M.; Finger, R.; Lehmann, B. (2012): Greenhouse gas mitigation and offset options for suckler cow farms: an economic comparison for the Swiss case. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 17(4), pp. 337–355
- Briner, S.; Lehmann, N.; Finger, R. (2015): Bio-economic modeling of decisions under yield and price risk for suckler cow farms. *Animal Production Science* 55(1), pp. 64–73
- Challinor, A.J.; Watson, J.; Lobell, D.B.; Howden, M.; Smith, D.R.; Chhetri, N. (2014): A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature Climate Change* 4(4), pp. 287
- Dalhaus, T.; Finger, R. (2016): Can Gridded Precipitation Data and Phenological Observations Reduce Basis Risk of Weather Index-based Insurance? *Weather, Climate and Society* 8, pp. 409–419
- Dalhaus, T.; Musshoff, O.; Finger, R. (2018): Phenology Information Contributes to Reduce Temporal Basis Risk in Agricultural Weather Index Insurance. *Scientific Reports* 8:46
- de Mey, Y.; Wauters, E.; Schmid, D.; Lips, M.; Vancauteran, M.; van Passel, S. (2016): Farm household balancing: empirical evidence from Switzerland. *European Review of Agricultural Economics* 43, pp. 637–662
- Deutsch, C. A.; Tewksbury, J. J.; Tigchelaar, M.; Battisti, D. S.; Merrill, S. C.; Huey, R. B.; Naylor, R. L. (2018): Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science* 361(6405), pp. 916–919
- Di Falco, S.; Chavas, J. P. (2006): Crop genetic diversity, farm productivity and the management of environmental risk in rainfed agriculture. *European review of agricultural economics* 33(3), pp. 289–314
- El Benni, N.; Finger, R.; Meuwissen, M. (2016): Potential effects of the Income Stabilization Tool (IST) in Swiss agriculture. *European Review of Agricultural Economics* 43, pp. 475–502
- Finger, R.; Buchmann, N. (2015): An ecological economic assessment of risk-reducing effects of species diversity in managed grasslands. *Ecological Economics* 110, pp. 89–97
- Finger, R.; Hediger, W.; Schmid, S. (2011): Irrigation as Adaptation Strategy to Climate Change: A Biophysical and Economic Appraisal for Swiss Maize Production. *Climatic Change* 105(3–4), pp. 509–528
- Finger, R.; Lehmann, N. (2012): The Influence of Direct Payments on Farmers' Hail Insurance Decisions. *Agricultural Economics*. 43(3), pp. 343–354

- Finger, R.; Dalhaus, T.; Allendorf, J.; Hirsch, S. (2018): Determinants of downside risk exposure of dairy farms. *European Review of Agricultural Economics* 45(4), pp. 641–674
- Finger, R.; Swinton, S.; El Benni, N.; Walter, A. (2019): Precision Farming at the Nexus of Agricultural Production and the Environment. *Annual Review of Resource Economics* (in Press)
- Glauber, J. W. (2015): *Agricultural Insurance and the World Trade Organization*
- Grillakis, M. G. (2019): Increase in severe and extreme soil moisture droughts for Europe under climate change. *Science of The Total Environment* (in Press)
- Klein, T.; Holzkämper, A.; Calanca, P.; Fuhrer, J. (2014): Adaptation options under climate change for multifunctional agriculture: a simulation study for western Switzerland. *Regional environmental change*, 14(1), pp. 167–184
- Lehmann, N.; Finger, R.; Klein, T.; Calanca, P.; Walter, A. (2013a): Adapting crop management practices to climate change: Modeling optimal solutions at the field scale. *Agricultural Systems* 117, pp. 55–65
- Lehmann, N.; Briner, S.; Finger, R. (2013b): The impact of climate and price risks on agricultural land use and crop management decisions. *Land Use Policy* 35, pp. 119–130
- Lehmann, N.; Finger, R. (2013). Evaluating water policy options in agriculture: A whole-farm study for the Broye river basin (Switzerland). *Irrigation and Drainage* 62(4), pp. 396–406
- Meraner, M.; Finger, R. (2019): Risk perceptions, preferences and management strategies: Evidence from a case study using German livestock farmers. *Journal of Risk Research*; <https://doi.org/10.1080/13669877.2017.1351476>
- Severini, S.; Biagini, L., Finger, R. (2018): Modelling Agricultural Risk Management Policies – The Implementation of the Income Stabilization Tool in Italy. *Journal of Policy Modeling* (in Press)
- Smit, B.; Skinner, M. W. (2002): Adaptation options in agriculture to climate change: a typology. *Mitigation and adaptation strategies for global change* 7(1), pp. 85–114
- Soussana, J. F.; Lüscher, A. (2007) : Temperate grasslands and global atmospheric change: a review. *Grass and Forage Science* 62(2), pp. 127–134
- 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(3), pp. 113–127
- Torriani, D. S.; Calanca, P.; Schmid, S.; Beniston, M.; Fuhrer, J. (2007): Potential effects of changes in mean climate and climate variability on the yield of winter and spring crops in Switzerland. *Climate Research* 34(1), pp. 59–69
- Trnka, M.; Rötter, R. P.; Ruiz-Ramos, M.; Kersebaum, K. C.; Olesen, J. E.; Žalud, Z.; Semenov, M. A. (2014): Adverse weather conditions for European wheat production will become more frequent with climate change. *Nature Climate Change* 4(7), pp. 637
- Vitasse, Y.; Schneider, L.; Rixen, C.; Christen, D.; Rebetez, M. (2018): Increase in the risk of exposure of forest and fruit trees to spring frosts at higher elevations in Switzerland over the last four decades. *Agricultural and Forest Meteorology* 248, pp. 60–69
- Vroege, W.; Dalhaus, T.; Finger, R. (2019): Index insurances for grasslands – A review for Europe and North-America. *Agricultural Systems* 168, pp. 101–111
- Webber, H.; Ewert, F.; Olesen, J. E.; Müller, C.; Fronzek, S.; Ruane, A. C.; Bourgault, M.; Marte, P.; Ababaei, B.; Bindi, M.; Ferrise, R.; Finger, R.; Fodor, N.; Gabaldón-Leal, C.; Gaiser, T.; Jabloun, M.; Kersebaum, K. C.; Lizaso, J. I.; Lorite, I. J.; Manceau, L.; Moriondo, M.; Nendel, C.; Rodríguez, A.; Ruiz-Ramos, M.; Semenov, M.A.; Siebert, S.; Stella, T.; Stratonovitch, P.; Trombi, G.; Wallach, D. (2018): Diverging importance of drought stress for maize and winter wheat in Europe. *Nature Communications* 9; <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06525-2>
- Wheeler, T.; Von Braun, J. (2013): Climate change impacts on global food security. *Science* 341(6145), pp. 508–513
- Zscheischler, J et al. (2018): Future climate risk from compound events. *Nature Climate Change*

Danksagung

Mein Dank gilt Willemijn Vroege und Tobias Dalhaus für wertvolles Feedback. Förderung erfolgt durch die EU im Rahmen des Forschungs- und Innovationsprogramm Horizon 2020 Projektes 'Towards SUsustainable and REsilient EU FARMing systems' <https://surefarmproject.eu/>. Weitere Zusammenfassungen unserer Arbeiten zu diesem Thema finden Sie in unserem Agrarpolitik Blog <https://agrarpolitik-blog.com/>



ETH zürich

**Risikomanagement in der Landwirtschaft
im Zeichen des Klimawandels**

KTBL Fachtagung Kühlen Kopf bewahren – Anpassung der Landwirtschaft an den
Klimawandel, 20-21 März 2019

Robert Finger
Agrarökonomie und –politik, ETHZ
www.aecp.ethz.ch

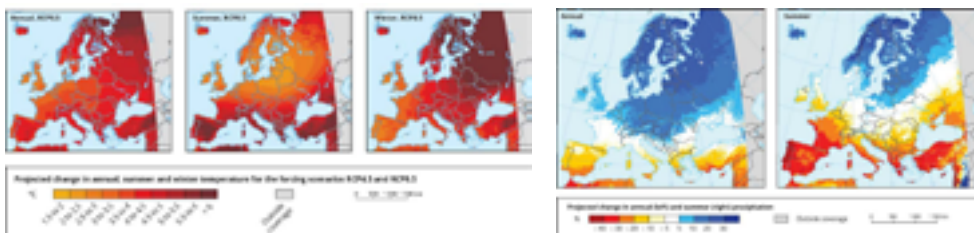
AECP
Agricultural Economics and Policy

Gliederung

- Klimawandel und Risiken in der Landwirtschaft
- Anpassung an steigende Klimarisiken
 - Massnahmen auf dem Betrieb
 - Risikotransfer mittels Versicherungen
- Rolle der Agrarpolitik
- Schlussfolgerungen

Klimawandel und Landwirtschaft

- Steigende Temperaturen & ändernde Niederschlagsverteilungen



Projected changes in annual (left), summer (middle) and winter (right) near-surface air temperature (°C) in the period 2071-2100, compared with the baseline period 1971-2000 for the forcing scenario RCP 8.5. Model simulations are based on the multi-model ensemble average of RCM simulations from the EURO-CORDEX initiative.

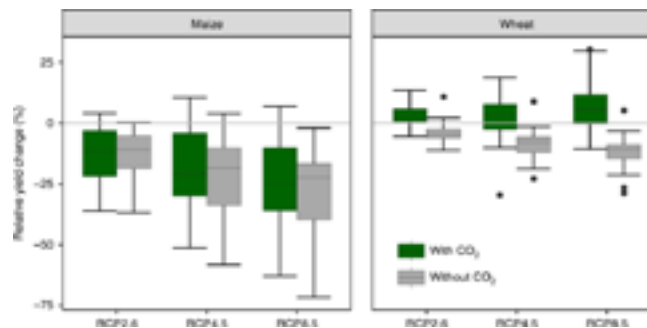
Projected changes in annual (left) and summer (right) precipitation (%) in the period 2071-2100 compared to the baseline period 1971-2000 for the forcing scenario RCP 8.5. Model simulations are based on the multi-model ensemble average of RCM simulations from the EURO-CORDEX initiative.

Klimawandel und Landwirtschaft

- Steigende Temperaturen & ändernde Niederschlagsverteilungen
- Für Landwirtschaft relevante Extremereignisse nehmen (tendenziell) zu
 - Steigende Eintrittswahrscheinlichkeit und Intensität von Dürren, aber auch Extremniederschlägen (Grillakis, 2019, Trnka et al., 2014)
 - Häufigere Hitzetage (Trnka et al., 2014)
 - Spätfröste: zunehmende Tendenz, kultur- und ortsspezifisch (Vitasse et al., 2018)
 - Gemeinsames Auftreten von Extremereignissen wahrscheinlicher – compound (extreme) events (Zscheischler et al., 2018)
- Indirekte Effekte, z.B. über steigenden Pestdruck (e.g. Deutsch et al., 2018)

Klimawandel und Landwirtschaft

- Effekte auf Quantität und Qualität der Produktion in Ackerbau (e.g. Challinor et al., 2014), Futterbau (e.g. Soussana & Lüscher, 2007), Tierproduktion (e.g. Thornton et al., 2009) etc.
- Heterogene Auswirkungen: abhängig von Region, Kultur & Zeitperiode (Wheeler & von Braun, 2013)
- Beispiel Mais und Weizen in Europa: Veränderungen Erträge 2040-2069 (Webber et al., 2018)



Klimawandel und Landwirtschaft

- Effekte auf Quantität und Qualität der Produktion in Ackerbau (e.g. Challinor et al., 2014), Futterbau (e.g. Soussana & Lüscher, 2007), Tierproduktion (e.g. Thornton et al., 2009) etc.
- Heterogene Auswirkungen: abhängig von Region, Kultur & Zeitperiode (Wheeler & von Braun, 2013)
- Beispiel Mais und Weizen in Europa: Veränderungen Erträge 2040-2069 (Webber et al., 2018)
- Klimatische Extremereignisse (z.B. Dürren) treiben Ertragsentwicklung (Trnka et al., 2014, Webber et al., 2018)
- Steigende Variabilität von Erträgen, Kosten und Deckungsbeiträgen


Anpassung an steigende Klimarisiken

- Vielfältige Anpassungsmöglichkeiten vorhanden (Smit & Skinner, 2002)
 - Handelnde Akteure: Staat, Industrie, Landwirte
 - Skala: Global, Regional, Betrieb, Feld
 - Art der Massnahme: technisch, organisatorisch, finanziell
 - Zeithorizont: kurz- bis langfristig
- Anpassung an klimatische Stimuli (find immer und) findet kontinuierlich statt
- Ohne Berücksichtigung von Anpassungsreaktionen werden Auswirkungen von Klimawandel und steigenden Klimarisiken deutlich überschätzt (Challinor et al., 2014)

ETH zürich

Umgang mit steigenden Klimarisiken

Massnahmen auf dem Betrieb



Risiko-Management Instrumente

Risikotransfer



- Risikomanagement verursacht Kosten
- Umsetzung von Massnahmen, wenn Kosten kleiner als wahrgenommener Nutzen (inkl. Risikoreduktion)
- Betriebsspezifika und subjektive Wahrnehmung und Risikopräferenzen entscheidend
- Individuelles Portfolio auf jedem Betrieb (e.g. de Mey et al. 2016, Meraner & Finger 2018)

AECP Agricultural Economics and Policy

de Mey, Y., Wauters, E., Schmid, D., Lips, M., Vancauteren, M., van Passel, S. (2016). Farm household balancing: empirical evidence from Switzerland. *European Review of Agricultural Economics* 43, 637-662
Meraner, M., Finger, R. (2018). Risk perceptions, preferences and management strategies: Evidence from a case study using German livestock farmers. *Journal of Risk Research*. In Press

ETH zürich

Management von steigenden Klimarisiken auf dem Betrieb

Massnahmen auf dem Betrieb

Risiko-Management Instrumente

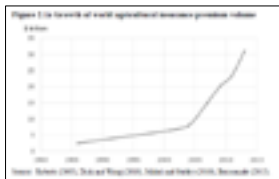


- Kultur- und Sortenwahl und Anpassung der Fruchtfolgen (Lehmann et al., 2013a)
- Saatzeitpunkte, Bodenbearbeitung, Intensität (Klein et al. 2014)
- Bewässerung, insb. für Kulturen mit hohem Deckungsbeitrag (z.B. Lehmann & Finger 2013)
- Bildung von Reserven (Briner et al., 2015)
- Diversität (Feld bis Betrieb) reduziert Klimarisiken (Di Falco & Chavas, 2006, Finger & Buchmann, 2015, Lehmann et al. 2013b)

AECP Agricultural Economics and Policy

Briner, S., Lehmann, N., Finger, R. (2015). Bio-economic modeling of decisions under yield and price risk for suckler cow farms. *Animal Production Science* 55(1):64-73
Di Falco, S., & Chavas, J. P. (2006). Crop genetic diversity, farm productivity and the management of environmental risk in rainfed agriculture. *European review of agricultural economics*, 33(3), 289-314.
Finger, R., Buchmann, N. (2015). An ecological economic assessment of risk-reducing effects of species diversity in managed grasslands. *Ecological Economics* 110: 89-97
Klein, T., Hötzelinger, A., Calanca, P., & Fuhrer, J. (2014). Adaptation options under climate change for multifunctional agriculture: a simulation study for western Switzerland. *Regional environmental change*, 14(1), 167-181
Lehmann, N., Finger, R., Klein, T., Calanca, P., Walter, A. (2013a). Adapting crop management practices to climate change: Modeling optimal solutions at the field scale. *Agricultural Systems* 117: 55-65
Lehmann, N., Briner, S., Finger, R. (2013b). The impact of climate and price risks on agricultural land use and crop management decisions. *Land Use Policy* 35: 119-130
Lehmann, N., Finger, R. (2013). Evaluating water policy options in agriculture: A whole-farm study for the Broye river basin (Switzerland). *Irrigation and Drainage* 62(4): 398-406

Risikotransfer: Versicherungslösungen



Glauber 2015

Trockenheit: Steigende Nachfrage nach Versicherungen



- Übertragung des Risikos auf Dritte erlaubt riskantere, profitablere Produktion & Investition
- Versicherungsprämien global >30 Milliarden \$/a
- Steigende Klimarisiken erhöhen die Nachfrage nach Versicherungen
- Hohe Vielfalt an Lösungen verbessert Anpassungsmöglichkeiten
- Verschiedene Arten von Agrarversicherungslösungen nötig

Risikotransfer: Versicherungslösungen



(1) Schadensbasierte Versicherungen

(+) Etabliert, effizient, sichere Kompensation von Schäden

(-) Schadensbewertung, Informationsasymmetrie, begrenzte Versicherbarkeit von Risiken (und Kulturen)

➤ Nicht alle Risiken effizient und vollumfänglich absicherbar

➤ Mögliche Innovationen als Ergänzung zu schadensbasierten Versicherungen

Risikotransfer: Versicherungslösungen

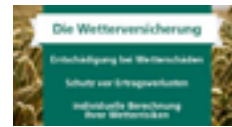
(2) Wetterindexversicherungen:
Auszahlung basierend auf Index (z.B. Niederschlag)

(+) Keine Schadensermittlung, keine Informationsasymmetrie, 'Unversicherbares' wird versicherbar (Bsp. Trockenheit Grasland), Mehrkosten abgesichert

(-) Basisrisiko (Dalhaus et al. 2018)



Bild: LFL Bayern



Beispiel: www.die-wetterversicherung.de

Risikotransfer: Versicherungslösungen

Beispiel: Der SV ErnteIndex



(3) Area-yield Versicherung:
Regionaler Ertrag als Index bestimmt Auszahlung

(+) Keine Schadensermittlung, keine Informationsasymmetrie, Mehrkosten abgesichert

(-) Basisrisiko, zeitliche Verzögerung



Risikotransfer: Versicherungslösungen



Risikotransfer: Versicherungslösungen



(4) Satelliten als Basis für Versicherung

- Ertrags- resp. Schadensmessung auf betrieblicher Skala
- Ertragsmessung auf regionaler Ebene als Basis für area-yield Versicherung
- Messung von Wetter oder wetterbezogenen Größen (z.B. Bodenfeuchte)

Diverse Produkte in Europa und Nordamerika, insb. für Grasland*

Rolle der Agrarpolitik

- Ad-hoc Hilfe bei Extremereignissen,
- Direktzahlungen stabilisieren Einkommen
- Reduktion Nachfrage nach Risikomanagement

- Subventionen (z.B. für Versicherungen)
- Dauerhafte Prämienzuschüsse haben oft verzerrende Wirkung bzgl. anderer insb. betrieblicher Instrumente, geringe Effektivität
- Smart subsidies? Anschub, z.B. in Kombination mit klimafreundlicher Landwirtschaft

- Schaffen eines Umfelds des Ermöglichens
 - Ausbildung, Beratung, Information etc.
 - Bereitstellung von Daten
 - Rechtlicher Rahmen muss Innovationen ermöglichen (z.B. Versicherungslösungen, Technologien)
- Politik ist selbst eine wichtige Risikoquelle



Schlussfolgerung

- Steigende Risiken für landwirtschaftliche Betriebe durch Klimawandel
- Anpassung auf und ausserhalb des Betriebes kann negative Effekte deutlich reduzieren
- Versicherungen als ergänzende Strategie, Innovationen ermöglichen breitere Palette an effizienten Lösungen
- Rolle des Staates/Agrarpolitik kritisch, holistische Perspektive nötig



ETH zürich

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

www.aecp.ethz.ch

<https://agrarpolitik-blog.com/>



ETH zürich

Relevante Blogbeiträge

<https://agrarpolitik-blog.com>

Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweizer Landwirtschaft – Eine agrarökonomische Perspektive

<https://agrarpolitik-blog.com/2018/08/24/auswirkungen-des-klimawandels-auf-die-schweizer-landwirtschaft-eine-agraroekonomische-perspektive/>

Risikomanagement und die Rolle des Staates

<https://agrarpolitik-blog.com/2018/11/19/risikomanagement-und-die-rolle-des-staates/>

Risikomanagement in der Landwirtschaft – welchen Einfluss haben die persönliche Wahrnehmung und die Risikoeinstellung?

<https://agrarpolitik-blog.com/2017/08/07/risikomanagement-in-der-landwirtschaft-welchen-einfluss-haben-die-persoenliche-wahrnehmung-und-die-risikoeinstellung/>

Landwirtschaftliche Wetterversicherungen

<https://agrarpolitik-blog.com/2018/10/22/landwirtschaftliche-wetterversicherungen/>

Grasland gegen Dürre versichern

<https://agrarpolitik-blog.com/2018/12/03/grasland-gegen-duerre-versichern/>

AECP
Agricultural Economics and Policy

Politische Rahmenbedingungen für eine klimaresiliente Landwirtschaft

HERMANN LOTZE-CAMPEN

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) und Humboldt-Universität zu Berlin, Potsdam/Berlin

1 Einleitung

Es ist mittlerweile vielfältig belegt, dass die globale Erwärmung ungebremst voranschreitet und alle Sektoren von den zu erwartenden Klimafolgen betroffen sein werden. Der Weltklimarat IPCC hat in seinen letzten Berichten eine umfassende und präzise Literaturlauswertung zu den beobachtbaren Klimaveränderungen und den zukünftig erwartbaren Auswirkungen gemacht. Als Konsequenz aus diesen wissenschaftlichen Erkenntnissen haben Ende 2015 in Paris alle Staaten der Welt gemeinsam beschlossen, die globale Erwärmung langfristig auf unter 2 Grad Celsius, verglichen mit der vorindustriellen Zeit, zu begrenzen. Dies ist möglich, bedarf aber großer gesellschaftlicher Anstrengungen. Es wird nicht reichen, den Energiesektor allein auf 100 % erneuerbare Quellen umzustellen. Alle Sektoren müssen sich beteiligen, auch die Landwirtschaft, die weltweit immerhin für ein Viertel aller Emissionen verantwortlich ist. Das heißt, die Landwirtschaft muss Wege finden, um klimarelevante Emissionen möglichst stark zu reduzieren, aber gleichzeitig muss auch die Anpassung an die residualen Klimaveränderungen selbst bei einer gebremsten globalen Erwärmung gestaltet werden.

2 Anpassung durch Produktionstechnik, Risikomanagement und Handel

Während auf globaler Ebene die stärksten Klimaveränderungen wahrscheinlich vor allem die verwundbarsten Regionen in den Tropen und Subtropen treffen werden, muss sich auch die Landwirtschaft in den gemäßigten Breiten auf zunehmend veränderte Produktionsbedingungen einstellen. Die mittlere Temperaturzunahme wird inzwischen sehr robust von allen Klimamodellen projiziert, allerdings bestehen bei den zukünftigen Niederschlagsverhältnissen noch Unsicherheiten, da diese häufig auch von kleinräumigen Randbedingungen beeinflusst sind. Aber selbst bei relativ konstanten Niederschlagsmustern wird sich mit zunehmender Temperatur die Verdunstung erhöhen und damit die Bodenfeuchtigkeit tendenziell verringern und die klimatische Wasserbilanz verschlechtern. Die Produktionsbedingungen werden sehr wahrscheinlich variabler werden, wie die Jahre 2017 mit extremer Nässe und 2018 mit extremer Hitze und Trockenheit in Deutschland beispielhaft gezeigt haben. Ähnliche Verhältnisse werden bei ungebremster Erwärmung zur Mitte dieses Jahrhunderts eher als durchschnittlich – und nicht mehr als extrem – angesehen werden.

Die Landwirtschaft hat vielfältige Möglichkeiten, die stärksten Effekte dieser Klimaveränderungen abzumildern. Dafür bedarf es allerdings großer organisatorischer, technologischer und politischer Anstrengungen. Im Bereich der Produktionstechnik müssen alle verfügbaren Optionen geprüft und erforscht werden. Hierzu zählen

- besser angepasste Sorten,
- die Einführung neuer Kulturarten, die bisher vor allem in Südeuropa vorherrschen,
- Einführung oder Verbesserung von Bewässerungsmaßnahmen, wo dies möglich ist,
- vielfältigere Fruchtfolgen, um weniger abhängig von spezifischen saisonalen Extremen zu werden,
- strukturschonende und wassersparende Verfahren der Bodenbearbeitung und
- möglicherweise auch die Umstellung auf mehrjährige Kulturen, z.B. Bioenergiepflanzen oder Kurzumtriebsplantagen, um neben der Emissionsvermeidung auch unabhängiger von der saisonalen Witterung zu werden.

Neben den produktionstechnischen Anpassungen werden aber auch Maßnahmen zur Risikoabsicherung, z.B. durch Mehr-Gefahren-Versicherungen, an Bedeutung gewinnen, um Einkommensschwankungen zu minimieren. Da auch nicht-landwirtschaftliche Sektoren von Klimawirkungen betroffen sein werden, könnten sich neue Möglichkeiten durch die Nutzung von Finanzmarkt-Derivaten ergeben, um Klimarisiken sektorübergreifend abzupuffern.

Über diese betriebswirtschaftlichen Anpassungsmöglichkeiten hinaus werden aber auch die internationalen Agrarmärkte eine wichtige Rolle bei der Bewältigung der Klimawirkungen auf Agrarproduktion und Ernährungssicherung spielen. Diversifizierte Handelsverflechtungen sind bereits heute wichtig für den Ausgleich zwischen Überschuss- und Defizitregionen weltweit, aber auch innerhalb von Nationalstaaten. Diese Arbeitsteilung wird im Zuge von stärker variablen Produktionsbedingungen in der Zukunft eine noch größere Bedeutung bekommen. Die Agrarpreisausschläge in den 2007/08 und 2010/11 haben gezeigt, welchen ökonomischen Schaden kurzfristige und unkoordinierte Politikeingriffe und Handelsbeschränkungen auf wichtigen Agrarmärkten verursachen können. Dies zeigt umso deutlicher, welche Bedeutung ein funktionierendes, regelbasiertes, multilaterales Handelssystem hat.

3 Fazit: politischer Gestaltungsbedarf

Die Landwirtschaft spielt eine zentrale Rolle bei der Umsetzung der nachhaltigen Entwicklungsziele, die auch im Jahr 2015 auf UN-Ebene beschlossen wurden. Das bedeutet, dass die Agrarpolitik in Zukunft nicht mehr nur am Bedarf des Agrarsektors allein ausgerichtet sein sollte, sondern immer stärker mit anderen Politikbereichen und Politikzielen abgestimmt werden muss. Andernfalls scheint eine Umsetzung der bereits beschlossenen Ziele kaum möglich.

Forschungsförderung im Bereich des Agrarsektors sollte in starkem Maße darauf ausgerichtet sein, die oben genannten vielfältigen Optionen zur Anpassung an variabelere Produktionsbedingungen zu prüfen und zu bewerten. Das Ziel muss sein, die eingesetzten Ressourcen, wie Boden, Wasser, Nährstoffe und Energie, möglichst effizient und schonend einzusetzen. Unter dem Stichwort „nachhaltige Intensivierung“ sind hier noch viele Forschungsfragen offen, denn selbst bei ungünstigeren Klimabedingungen muss eine stetig wachsende globale Nahrungsmittelnachfrage bedient werden.

Gerade in der Landwirtschaft kann es auch starke Synergien zwischen Emissionsvermeidung und Klimaanpassung geben. Ordnungspolitisch wäre es sinnvoll, die Emissionsvermeidung in der Landwirtschaft mit anderen Sektoren zusammenzuführen, z.B. durch eine sektorübergreifende Emissionsbesteuerung. Ein Teil der landwirtschaftlichen Flächen würde dann wahrscheinlich für Kurzumtriebsplantagen und andere mehrjährige Bioenergiesysteme genutzt werden. Unter geeigneten politischen Rahmenbedingungen wäre dies nicht nur betriebs- und arbeitswirtschaftlich sinnvoll, sondern auch für die Klimaanpassung und die Landschaftsgestaltung interessant.

Zur Erreichung der nachhaltigen Entwicklungsziele sollte die Agrarpolitik in Zukunft noch stärker mit den Bereichen Klimapolitik, Energiepolitik, Naturschutzpolitik, Wirtschafts- und Handelspolitik abgestimmt werden. Hier ist ein möglichst hohes Maß an Politikkohärenz gefragt.



P I K

POTSDAM INSTITUTE FOR
CLIMATE IMPACT RESEARCH

HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN



**Politische Rahmenbedingungen
für eine klimaresiliente Landwirtschaft**

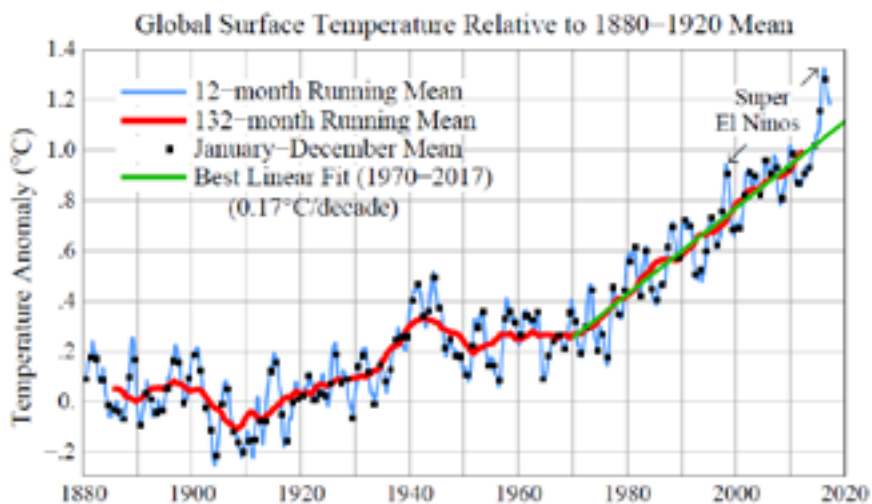
Prof. Dr. Hermann Lotze-Campen



KTBL Darmstadt
21 Mar 2019



Entwicklung der globalen Mitteltemperatur: 2016 war ein Rekordjahr



NASA GISTEMP, Jan 2018



Hermann Lotze-Campen

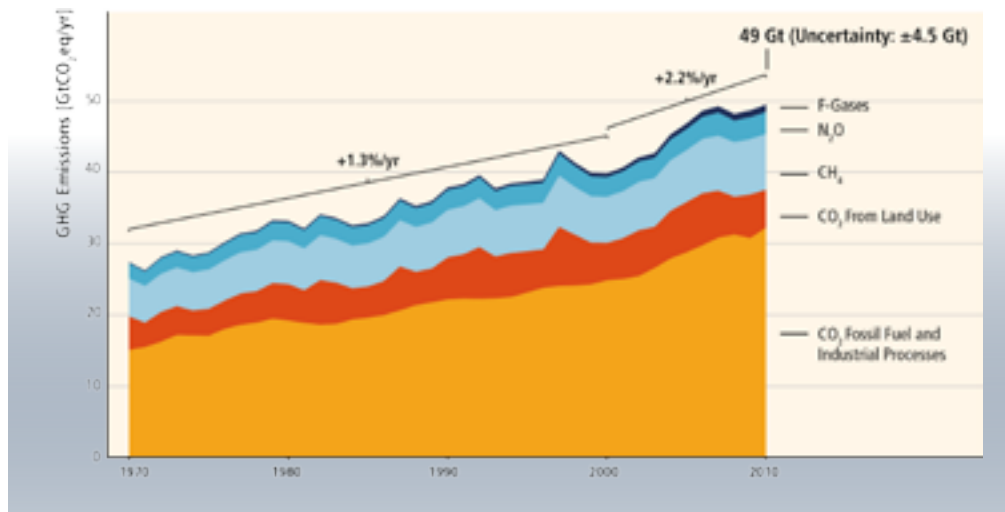
LEIBNIZ-UNIVERSITÄT ZU BÖRLIN



18 Dez 2018

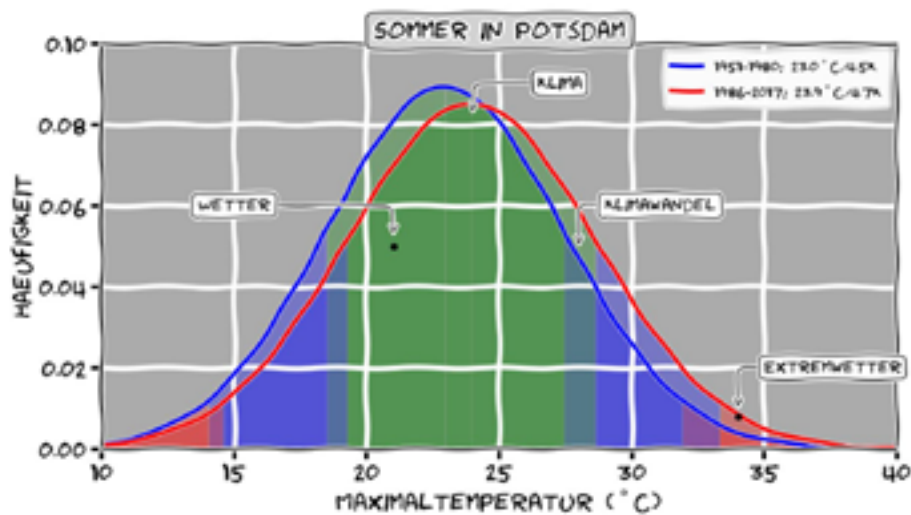
3

THG-Emissionsanstieg zwischen 2000 und 2010 war größer als in den vorherigen drei Dekaden.

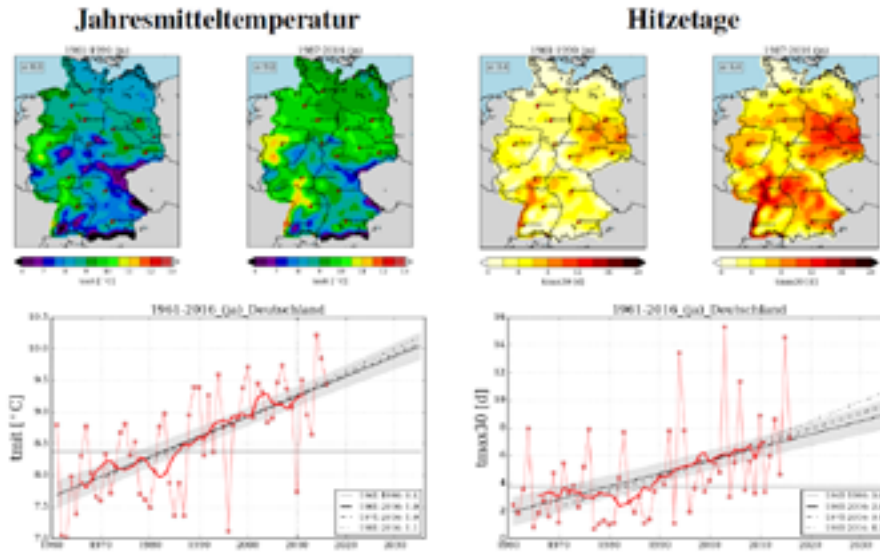


4 Working Group III contribution to the IPCC Fifth Assessment Report

Verschiebung der Häufigkeitsverteilung



Entwicklung der Hitzetage

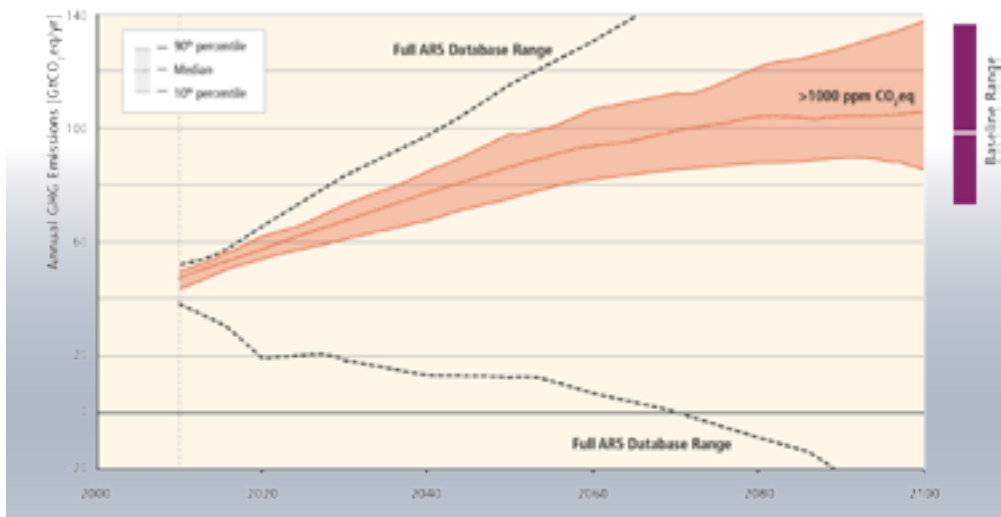


Hermann Lotze-Campen

HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN



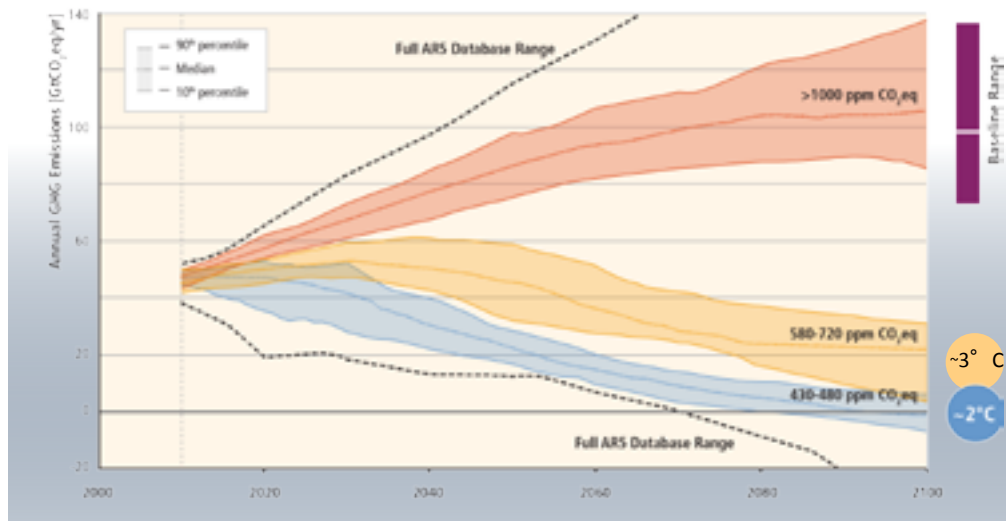
Stabilisierung der atmosphärischen THG-Konzentration erfordert eine Abkehr von der Baseline – unabhängig vom Vermeidungsziel.



7 Working Group III contribution to the IPCC Fifth Assessment Report



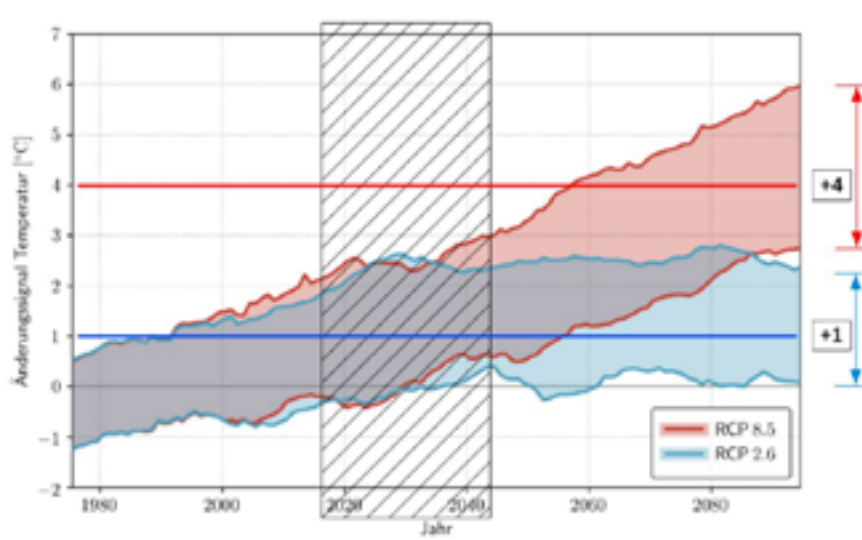
Stabilisierung der atmosphärischen THG-Konzentration erfordert eine Abkehr von der Baseline – unabhängig vom Vermeidungsziel.



8 Working Group III contribution to the IPCC Fifth Assessment Report



"BAU" vs. "Klimaschutz" in Deutschland

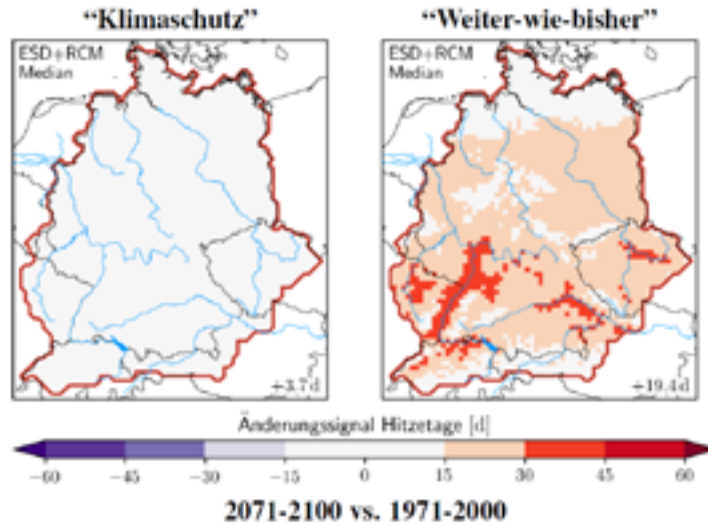


Hermann Lotze-Campen

HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN



**Business as usual:
+20 Hitzetage pro Jahr in Deutschland**



Hermann Lotze-Campen

HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN



21 Mar 2019

10

Anzahl der Hitzetage je Bundesland (2071-2100)

Domain	Ensemble-Offset	Ensemble-Offset	Ensemble-Median	Ensemble-Mean	Ensemble-Offset	Ensemble-Offset
Schleswig-Holstein	4.41 ^[1.04]	5.95 ^[1.11]	11.55 ^[1.17]	13.53 ^[1.44]	23.64 ^[1.34]	27.35 ^[1.11]
Mecklenburg-Vorpommern	6.31 ^[1.08]	8.60 ^[1.08]	15.83 ^[1.13]	17.84 ^[1.71]	29.53 ^[1.40]	32.53 ^[1.41]
Hamburg	8.73 ^[1.41]	11.22 ^[1.77]	18.03 ^[1.50]	21.08 ^[1.80]	32.42 ^[1.61]	39.44 ^[1.51]
Bremen	7.33 ^[1.40]	9.99 ^[1.43]	15.33 ^[1.51]	18.26 ^[1.51]	31.07 ^[1.21]	35.06 ^[1.21]
Niedersachsen	9.89 ^[1.50]	12.13 ^[1.50]	17.92 ^[1.21]	21.65 ^[1.34]	34.95 ^[1.51]	41.07 ^[1.11]
Brandenburg	14.21 ^[1.51]	17.94 ^[1.51]	28.19 ^[1.21]	31.01 ^[1.21]	47.13 ^[1.21]	53.03 ^[1.11]
Berlin	17.40 ^[1.51]	19.73 ^[1.51]	31.56 ^[1.21]	34.54 ^[1.21]	48.84 ^[1.21]	56.93 ^[1.21]
2018: >30 Hitzetage in Berlin/Brandenburg						
Hessen	13.85 ^[1.40]	16.77 ^[1.30]	23.23 ^[1.47]	27.32 ^[1.13]	38.75 ^[1.41]	44.76 ^[1.14]
Thüringen	13.88 ^[1.11]	14.90 ^[1.51]	21.53 ^[1.13]	23.63 ^[1.12]	36.32 ^[1.11]	38.77 ^[1.11]
Sachsen	15.99 ^[1.21]	18.68 ^[1.21]	24.47 ^[1.21]	27.22 ^[1.21]	40.94 ^[1.21]	43.40 ^[1.21]
Rheinland-Pfalz	13.53 ^[1.11]	16.72 ^[1.21]	27.67 ^[1.11]	29.66 ^[1.11]	47.06 ^[1.11]	51.21 ^[1.11]
Saarland	14.02 ^[1.21]	17.42 ^[1.11]	30.93 ^[1.11]	31.28 ^[1.11]	50.41 ^[1.11]	52.13 ^[1.11]
Baden-Württemberg	17.12 ^[1.21]	19.30 ^[1.21]	30.19 ^[1.21]	31.41 ^[1.11]	44.06 ^[1.11]	52.99 ^[1.11]
Bayern	14.60 ^[1.11]	17.50 ^[1.14]	27.77 ^[1.11]	27.58 ^[1.11]	38.92 ^[1.11]	45.68 ^[1.11]
Germany	15.28 ^[1.11]	15.70 ^[1.11]	24.56 ^[1.11]	26.08 ^[1.11]	40.34 ^[1.11]	43.03 ^[1.11]

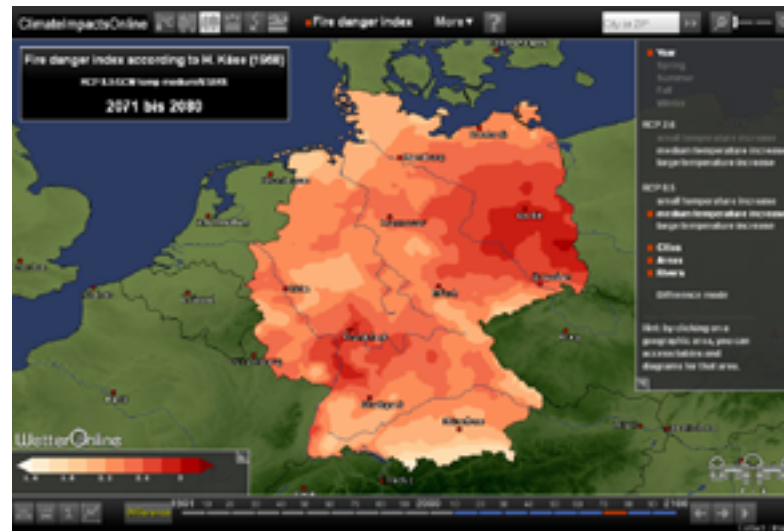


Hermann Lotze-Campen

HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN



www.KlimafolgenOnline.de



Hermann Lotze-Campen

HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN



21 Mar 2019

12

Mehr Extremwetterlagen durch stockende Luftströme



Quelle: Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung © DW



Hermann Lotze-Campen

HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN



21 Mar 2019

13

Herausforderungen für Landwirtschaft und Landnutzung

- Nachfrage nach Nahrungs- und Futtermitteln
- Klimawirkungen, vor allem Extremereignisse
- Wasserknappheit
- Nachfrage nach Bioenergie
- Schutz der Biodiversität
- THG-Emissionen aus Landnutzung



Hermann Lotze-Campen

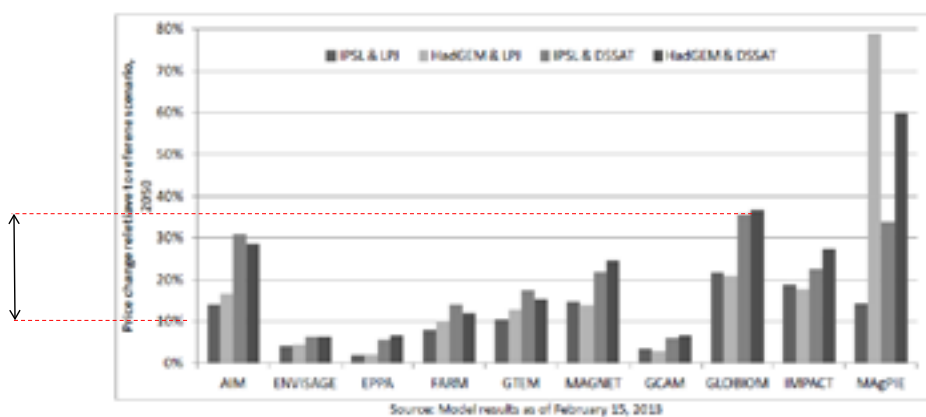
HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN



21 Mar 2019

14

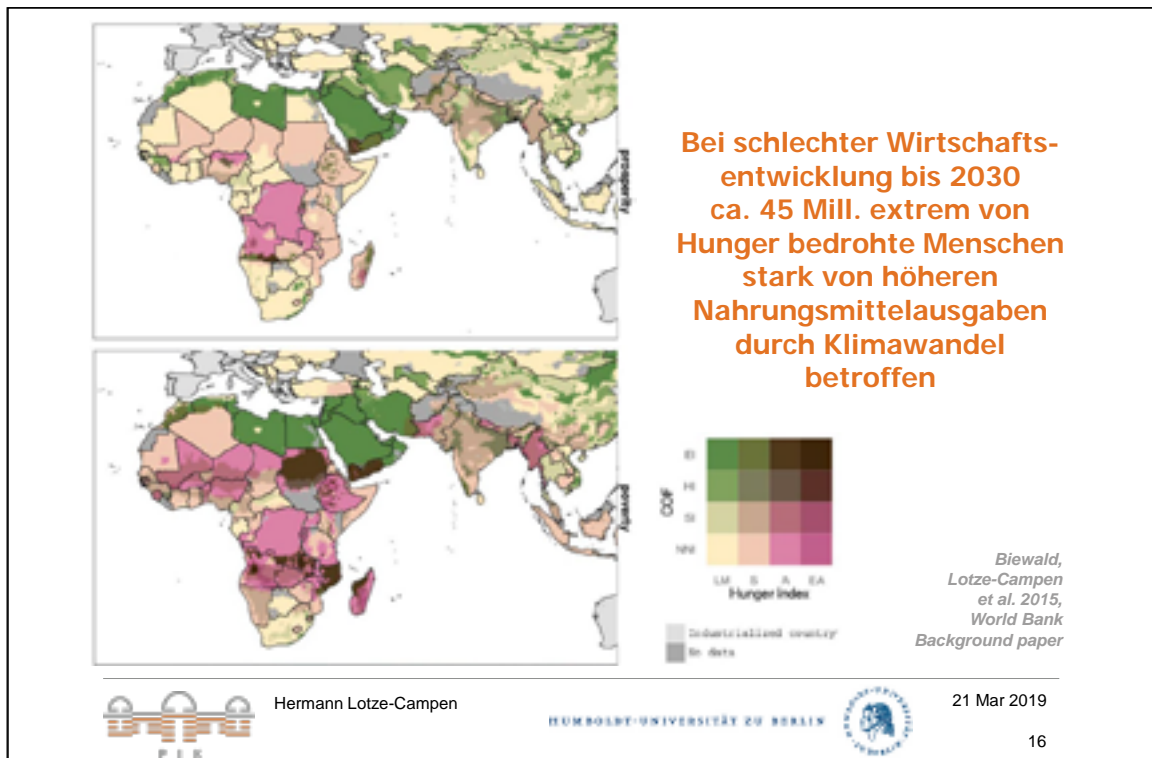
Zusätzlicher Anstieg der Weltmarktpreise für Agrargüter durch Klimawandel um ca. 10-30% bis 2050 (relativ zum Referenzszenario, ohne Klimaextreme, ohne CO₂-Effekt)



Note: All changes relative to the reference scenario for the same year.



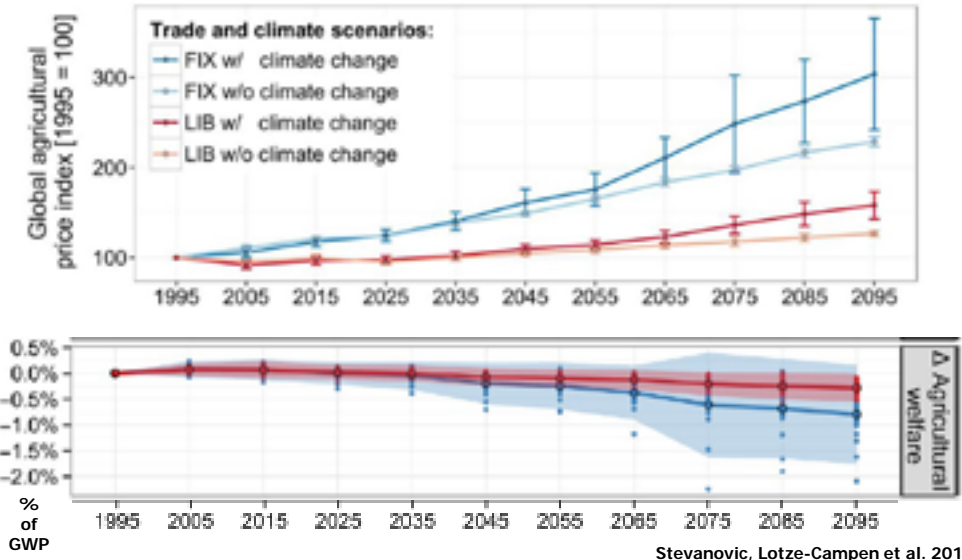
Von Lampe, Lotze-Campen et al., Ag. Econ., 2014



Anpassung: Management von Klimarisiken in der Landwirtschaft

- **Produktionsrisiken -> Technologie**
Bodenbearbeitung, Sortenzüchtung, Fruchtfolgen, Bewässerung, Precision Farming, Digitalisierung
- **Einkommensrisiken -> Versicherung**
Mehr-Gefahren-Versicherungen, Wetterderivate
- **Marktrisiken -> Handel**
Öffnung und Diversifizierung internationaler Handelsbeziehungen
- Migration?

Freihandel kann zu einer Reduktion der klimabedingten Schäden beitragen



Stevanovic, Lotze-Campen et al. 2016



Hermann Lotze-Campen

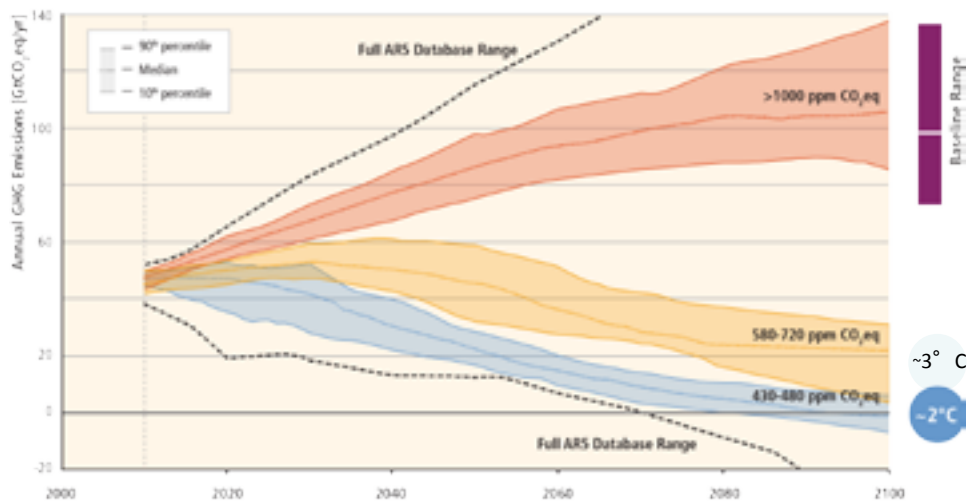
HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN



21 Mar 2019

18

Stabilisierung der atmosphärischen THG-Konzentration erfordert eine Abkehr von der Baseline – unabhängig vom Vermeidungsziel.



19



Hermann Lotze-Campen

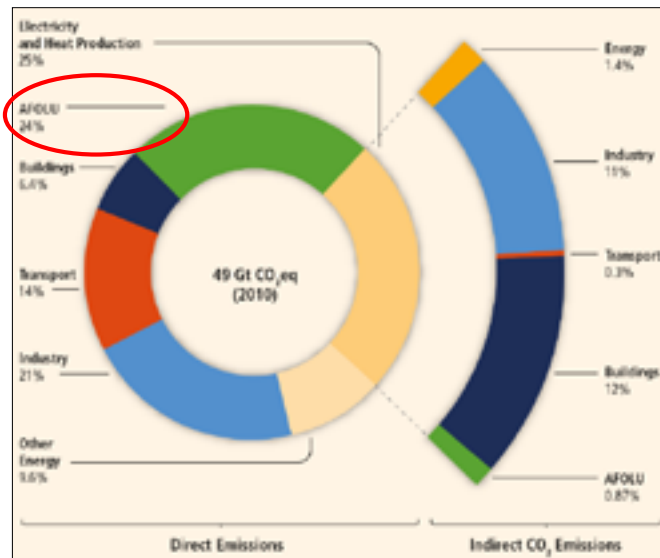
HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN



21 Mar 2019

19

Anteil der landwirtschaftlichen THG-Emissionen



IPCC, 2014



Hermann Lotze-Campen

HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN



21 Mar 2019

20

Synergien zwischen Anpassung und Vermeidung

Mittelfristig:

- Renaturierung von Moorböden
- Vermeidung von Stickstoff-Überschüssen
- Verbessertes Wirtschaftsdünger-Management
- Fütterungszusätze für Wiederkäuer

Langfristig:

- Ernährungsumstellung und **Reduktion der Viehzahlen**
- Messbare Erhöhung des **Boden-Kohlenstoffs**
- Innovative Produktionssysteme: **Nahrung + Biomasse**



Hermann Lotze-Campen

HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN



21 Mar 2019

21

Politikinstrumente für eine klimaresiliente Landwirtschaft

- **Institutionen und Incentives**
 - Emissions-Bepreisung (Zertifikate oder Steuern)
 - Reform von Subventionen (Landwirtschaft, fossile Energie)
 - Vermeidung tropischer Entwaldung (z.B. REDD)
 - Handelsliberalisierung (Reallokation der Ressourcennutzung)
 - Nutzungsrechte für Land und Wasser
- **Innovation und Investitionen**
 - Forschung, Technologie-Entwicklung und -Transfer
 - Infrastruktur (Kommunikation, Energie, Transport)
 - Ernährungsschulung, Ausbildung, Beratung
- **Information:** Messung, Monitoring, Bewertung
- **Insurance (Versicherung):** Risikovorsorge und –management
- **Integration:** Verknüpfung verschiedener Politikbereiche



Hermann Lotze-Campen

HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN



21 Mar 2019

22



Monitoring von Trockenstresssymptomen bei Kulturpflanzen mittels multispektraler Aufnahmesysteme an Multicoptern sowie Verminderung dieser Stressmerkmale durch Bodenergänzungsstoffe

SANDRA MÜNZEL

Universität Potsdam, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, AG Geographie und Naturrisikoforschung, Potsdam

Aktuelle Klimaprognosen weisen auf ein verändertes Auftreten von Niederschlägen sowie eine Erhöhung der Durchschnittstemperaturen hin. So sollen zukünftig Dürreperioden, wie beispielsweise im Jahr 2003, 2015 oder 2018, häufiger auftreten. Vor allem die landwirtschaftliche Produktion ist davon betroffen. Trockenheit während der Wachstumsphase kann bei Kulturpflanzen zu verminderten Erträgen oder gar zu Ernteaussfällen führen. So müssen in der Pflanzenproduktion Strategien für ein präzises und nachhaltiges Management der Wasserversorgung an trockenen Standorten entwickelt werden.

Vorrangiges Ziel des Forschungsprojektes ist es, einen Beitrag zur Sicherung langfristig stabiler landwirtschaftlicher Erträge zu leisten, welcher den sich veränderten Niederschlagsmengen und -intensitäten sowie Temperaturbedingungen Rechnung trägt. Die Aktivitäten konzentrieren sich auf das lokale Monitoring des Wachstums der Kulturpflanzen mithilfe von technischen Systemen, welche in der Lage sein müssen, Trockenstressphänomene rechtzeitig zu detektieren. Darüber hinaus wird durch eine Früherkennung von Trockenstress bei agrarisch genutzten Kulturpflanzen auf den flächenspezifischen Einsatz von nachhaltigen Bodenergänzungsstoffen zur Minderung der Stressmerkmale fokussiert.

So lässt sich mithilfe eines auf wissenschaftlicher Basis neu entwickelten Ergänzungstoffes die Speicherfähigkeit der Böden für Wasser und damit deren Ertragsfähigkeit verbessern. Durch die Nutzung dieser Komponentenmischung kann der Beginn einer Trockenstressphase hinausgezögert werden. Somit wäre eine Stabilisierung der Produktivität von Kulturpflanzen bei gleichzeitiger Reduzierung der Bewässerungsmenge möglich. Agrarbetriebe könnten auf diese Art und Weise zudem ihren Viehbestand vergrößern und auf nachhaltiger Basis mit Futter versorgen.

Anstatt moderner Hyperspektralkameras, welche aufgrund der hochsensiblen Technik in ihrer praktischen Nutzung sehr teuer sind, wurde als Alternative eine „Low-Budget“-Variante gewählt. Sie eröffnet die Möglichkeiten eines Monitorings für finanziell weniger vermögende Unternehmen. Die Analyse des Vitalitätszustandes von Feldfrüchten erfolgt auf Grundlage von Spektraldaten zweier handelsüblicher Digitalkameras. Eine ist mit einer Optik für das sichtbare Licht ausgestattet. Eine zweite nimmt die Signale in den Spektralbereichen grün, blau und nahes Infrarot auf. Auf Grundlage dieser beiden zwei Kameraszenarien wird der Vegetationsindex (NDVI) berechnet. Als Vergleich zu den Aufnahmen des Stereokamerasystems wurde als „High-Budget“-Variante die Kamera „RedEdge 3“ der Firma MicaSense genutzt. Ein Vergleich beider Systeme dient der Aussage zur Effizienz des Verfahrens.

Die Untersuchungen, die bisher als Gefäßversuche auf Sandsubstraten in der Region Brandenburg vorgenommen wurden, konzentrierten sich auf die Vegetationsperioden der Jahre 2016 bis 2018. Basis war das Monitoring des Wuchsverhaltens von Weizen- und Graspflanzen bei einem variierten Wasserdargebot. Die Widerspiegelung der Entwicklungsprozesse in den Spektraldaten wurde durch terrestrische Gegenuntersuchungen in Form von Aufnahmen biometrischer Merkmale der Vegetation sowie der Bodeneigenschaften begleitet.

Die Versuche zeigten einen positiven Effekt der Bodenergänzungsstoffe auf das Höhenwachstum, die Biomasse und den Bedeckungsgrad. Bereits bei Applikationsmengen von unter 5 Vol.-% war eine deutliche Erhöhung der oberirdischen und unterirdischen Biomasse zu verzeichnen. Selbst bei intensivem Trockenstress während der vegetativen Entwicklungsphase der Kulturpflanzen konnte durch die eingesetzten Ergänzungsstoffe der Ertrag gesteigert werden. Nach den erfolgreichen Versuchen ihrer Einsatzmöglichkeiten sollen die Bodenergänzungsstoffe zukünftig auch in Trockengebieten anderer Breiten genutzt werden.

Hinsichtlich des Monitorings von Trockenstressmerkmalen war festzustellen, dass der NDV-Index von durchgängig bewässerten Pflanzen, unabhängig von der gewählten Aufnahmemethode, höher ist als bei Pflanzen, die einem Wassermangel ausgesetzt waren. Die unterschiedlichen Wertenniveaus der gewählten Kamerasysteme könnten unter anderem der ungleichen spektralen Auflösung der Kameras geschuldet sein. Die Tatsache, dass beide Methoden, vor allem gegen Ende des Beobachtungszeitraums, sehr ähnliche Reaktionen auf Gießereignisse zeigen, gilt als Bestätigung der praktikablen Anwendung des „Low-Budget“-Kamerasystems zur Detektion des Vegetationszustands.

Die durchgeführten Arbeiten liefern einen ersten Ansatz für die Möglichkeiten der Berechnung des NDVI zur Trockenstresserkennung unter „Low-Budget“-Bedingungen. Sie zeigen, dass es nicht immer notwendig ist, auf ein kostenintensives Equipment zurückzugreifen. Zukünftig soll das Monitoring der Trockenstresssymptome durch die Kamerasysteme coptergestützt auf Versuchsfeldern im Freiland erfolgen. Die bisherigen Informationen liefern die Grundlage für eine Entscheidungsfindung zu Maßnahmen der Optimierung einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung. Die Effizienz der eingesetzten Bodenergänzungsstoffe auf die Trockenstressreduzierung kann damit beurteilt werden. Somit liefert die Wissenschaft einen wichtigen Beitrag zur Anpassung der Landwirtschaft an klimatische Veränderungen.

Sensorgestützte Beregnungssteuerung in Kartoffeln (SeBeK)

JOHANNA SCHRÖDER¹, MARTIN KRAFT¹, IRIS DAHMS², DOMINIC MEINARDI², JÜRGEN GROCHOLL³, ANDREAS MEYER⁴, ANGELA RIEDEL⁴, KLAUS DITTERT⁵, KLAUS RÖTTCHER²

¹ Thünen-Institut für Agrartechnologie, Braunschweig

² Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften, Suderburg

³ Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Uelzen

⁴ Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Hannover

⁵ Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen

1 Einleitung

In Nordost-Niedersachsen befindet sich eine der wichtigsten Anbauregionen für Kartoffeln in Deutschland, da die überwiegend sandigen Böden der Region gute Anbaubedingungen bieten. Durch die hohe Wirtschaftlichkeit der Kartoffel ist ihre Beregnungswürdigkeit sehr hoch. Aus diesem Grund ist in dieser Region eines der am intensivsten bewässerten Gebiete Deutschlands entstanden. Im Zuge des Klimawandels gewinnt das Thema Bewässerung zunehmend an Bedeutung. Mit steigendem Wasserbedarf entsteht die Notwendigkeit der Entwicklung effizienter und nachhaltiger Bewässerungsmethoden, da Wasser eine kostbare und limitierte Ressource darstellt. Im Rahmen des EU-Förderprogramms EIP-Agri soll in diesem Verbundvorhaben der optimale Bewässerungszeitpunkt für Kartoffeln ermittelt werden. Dazu werden meteorologische Parameter sowie die Bestandstemperatur gemessen. Aus diesen Größen wird der Crop Water Stress Index (CWSI) berechnet. Ziel ist es, eine ressourcenschonende, effiziente und berührungslose Methode zur Bewässerungssteuerung zu entwickeln. Mithilfe dieser Methode soll eine schlagspezifische und frühzeitige Aussage darüber getroffen werden können, wann eine Bewässerung notwendig ist. Darüber hinaus bietet diese Methode das Potenzial, die Erträge zu steigern, die Qualität zu sichern und zusätzlichen Wasserbedarf zu reduzieren.

2 Erfassung des Trockenstresses bei Pflanzen mittels Crop Water Stress Index

Der CWSI ist ein Indikator zur Ermittlung des Trockenstresses bei Pflanzen. Dieser wurde im Jahr 1981 erstmals von Idso et al. beschrieben und im Jahr 1981 und 1988 von Jackson et al. weiterentwickelt und parametrisiert. Wesentliche Komponente zur Ermittlung des CWSI ist die Temperaturdifferenz (ΔT) zwischen der Bestandstemperatur und der Lufttemperatur. Vereinfacht berechnet sich der CWSI wie folgt:

$$\text{CWSI} = \frac{\Delta T_{\text{aktuell}} - \Delta T_{\text{optimal}}}{\Delta T_{\text{trocken}} - \Delta T_{\text{optimal}}}$$

Dabei ist $\Delta T_{\text{aktuell}}$ die aktuell gemessene Temperaturdifferenz, während $\Delta T_{\text{optimal}}$ und $\Delta T_{\text{trocken}}$ fiktive Größen darstellen. Diese beschreiben den Zustand unter ausreichender Wasserversorgung (optimal) und unter maximalem Trockenstress (trocken). Dabei werden die fiktiven Größen unter Zuhilfenahme eines agrarmeteorologischen Modells, basierend auf der Penman-Monteith-Glei-

chung und den gemessenen meteorologischen Parametern berechnet. Auf drei Versuchsstandorten werden mittels Infrarotthermometern die Bestandstemperaturen gemessen; weitere Messgeräte erfassen diverse meteorologische Parameter. Aus den gemessenen Größen wird der CWSI berechnet. Die Messungen werden mit verschiedenen Kartoffelsorten sowie unter verschiedenen Bewässerungsmethoden (Kreisberegnung, mobile Beregnungsmaschine) durchgeführt. Der Sommer 2018 bot mit seiner trockenen und heißen Witterung optimale Bedingungen zur Messung des Trockenstresses bei Pflanzen. Der CWSI konnte für diese Messperiode erfolgreich ermittelt werden; erste Berechnungen und Auswertungen zeigen plausible Ergebnisse. Aus Abbildung 1 wird ersichtlich, dass der CWSI durch Bewässerungsereignisse sinkt und mit fortschreitender Zeit aufgrund der geringer werdenden Wasserverfügbarkeit erneut ansteigt. Insgesamt zeigte sich, dass die ermittelten CWSI-Werte ähnliche Aussagen zur Wasserversorgung des Pflanzenbestandes lieferten wie die durch Bodenproben bestimmten Bodenfeuchtwerte, auf deren Basis die Bewässerungsentscheidungen getroffen wurden.

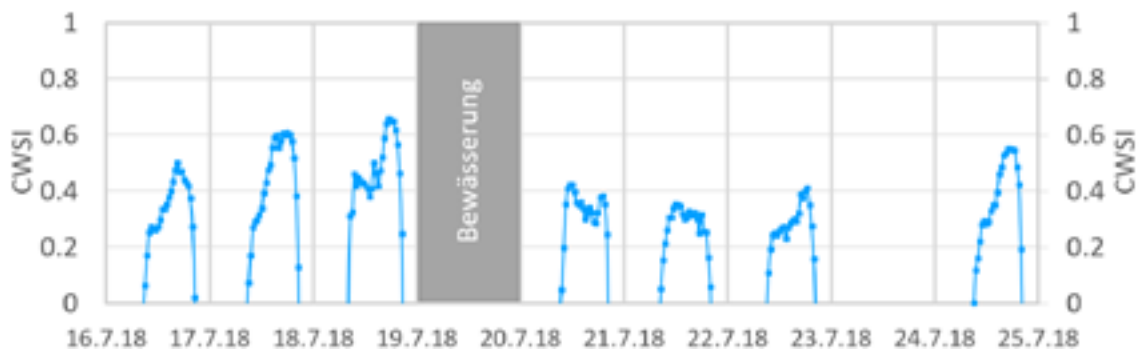


Abb. 1: Der Crop Water Stress Index dargestellt für den Zeitraum 16. bis 24. Juli 2018 für einen der drei Versuchsstandorte. Ein Wert von eins zeigt Trockenstress an; null bedeutet, dass die Pflanze ausreichend mit Wasser versorgt ist. Aufgrund messtechnischer Gegebenheiten sind für den 23. Juli keine Daten verfügbar. (© Thünen-Institut für Agrartechnologie)

3 Fazit

Der CWSI konnte im Messjahr 2018 erfolgreich berechnet werden. Die extremen Wetterbedingungen des Sommers hatten jedoch einen hohen, regelmäßigen Bewässerungsbedarf zur Folge, weshalb eine Optimierung der Bewässerung nicht möglich war. Weiterhin zeigt sich, dass die Berechnung unter bewölkten und wechselhaften Bedingungen eine Herausforderung darstellt. Durch Überprüfung der einzelnen Parameter und die Durchführung von Sensitivitätsanalysen soll im weiteren Projektverlauf die Berechnung des CWSI optimiert und weiterentwickelt werden. Weiterhin soll die Messtechnik für eine simple Handhabung und Integration in den landwirtschaftlichen Betrieb optimiert werden.

Literatur

- Idso, S. B.; Jackson, R. D.; Pinter Jr., P. J.; Reginato, R. J.; Hatfield, J. L. (1981): Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology (Agric. Meteorol.)* 24, pp. 45–55
- Jackson, R. D.; Idso, S. B.; Reginato, R. J.; Pinter Jr., R. J. (1981): Canopy Temperature as a Crop Water Stress Indicator. *Water Resources Research* 17(4), pp. 1133–1138
- Jackson, R. D.; Kustas, W.; Choudhury, B. K. (1988): A Reexamination of the Crop Water Stress Index. *Irrigation Science (Irrig Sci)* 9, pp. 309–317

Innovation unbeheizter Anbau von Bio-Wintergemüse in Österreich – Exploration ökologischer und ökonomischer Parameter

MICHAELA CLARISSA THEURL^{1, 2}, RUTH BARTEL-KRATOCHVIL¹, WOLFGANG PALME³

¹ Forschungsinstitut für Biologischen Landbau FiBL, Wien, Österreich

² Institut für Soziale Ökologie, Universität für Bodenkultur Wien, Wien, Österreich

³ Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Gartenbau Schönbrunn und Österreichische Bundesgärten (HBLFA) Schönbrunn, Wien, Österreich



Gewinner
Posterwettbewerb

Abstract

Ziel unserer Arbeit ist die Untersuchung von Gemüsekulturen in unbeheizten Gewächshaus-Erdsystemen und im Freiland in den Wintermonaten. Der Wintergemüseanbau stellt ein CO₂-optimiertes, innovatives Anbausystem dar, das das bisher unterschätzte Frosthärtepotenzial von Frischgemüse nutzt. Der Klimavorteil ist signifikant und kann, in Abhängigkeit von der Heizenergieform, bei mehr als 80 % liegen (Theurl et al. 2017). In einem Pilotprojekt (Winter 2014/15) wurde der Anbau von vielen Wintergemüsesorten und -arten auf sieben Betrieben und unterschiedlichen alpinen und pannonisch-milderen Standorten für den kommerziellen Verkauf getestet und der CO₂-Fußabdruck wichtiger Kulturen mittels Lebenszyklusanalyse nach ISO (ISO 2006a, 2006b) und IPCC (IPCC 2006) berechnet. Die Kulturen überlebten die im Projektzeitraum aufgetretenen Temperaturminima von -8 °C im Tunnel und sogar -17 °C im Freiland. Neben traditionelleren Gemüsekulturen wie Vogerl-, Rucolasalat, Radieschen oder diverse Kohlarten, kommen Asia- und Pflücksalate sowie Winterportulak oder Jungzwiebel zur praktischen Anwendung. Wir konnten zeigen, dass der Wintergemüseanbau in der Praxis erfolgreiche Anwendung findet und auch ökonomisch interessant ist, da vermehrt saisonal und regional produzierte Bioprodukte nachgefragt werden. Auch höherpreisige Ware findet Anklang. Die CO₂-Emissionen liegen bei den meisten Produkten unter 0,5 kg CO₂e/kg Produkt. Haupteinflussfaktor ist die Verpackung bei diversen Salaten (Theurl et al. 2017).

Im laufenden EIP-AGRI Nachfolgeprojekt (<https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/find-connect/projects/operationelle-gruppe-weiterentwicklung-bio>, Laufzeit 2016–2019) wurde vermehrt Wert auf die Gegenüberstellung von Klimarelevanz und Wirtschaftlichkeit des Wintergemüseanbaus auf den sonst leerstehenden Tunnelflächen gelegt (Steigerung der Flächeneffizienz). Auf Basis von Datenerhebungen auf drei Betrieben wurden erste explorative und vergleichende Analysen von insgesamt 28 Datensätzen zu 17 verschiedenen Einzelkulturen von Winter-, Vor- und Hauptkulturen gemacht. Neben CO₂-Bilanzen wurde der betriebswirtschaftliche Indikator ein Direkt- und arbeits erledigungskostenfreie Leistung (DAEKfL; Mithöfer 2017) angewendet. Ganze Jahresfruchtfolgen wurden einer ökologischen und ökonomischen Bewertung unterzogen.

Die Ergebnisse zeigen eine hohe Diversität des DAEKfL der Einzelkulturen und zwischen den drei Betrieben. Das liegt sowohl am Management und der Charakteristika der Anbausysteme als auch an der spezifischen Betriebsorganisation. Die Einzelkulturen der drei Betriebe zeigen ähnlich hohe CO₂-Werte. Tendenziell zeigen die untersuchten Wintergemüsekulturen großes ökologisch-ökonomisches Potenzial, das bei entsprechendem Management über jenem der traditionellen Fruchtgemüsekulturen liegt.



Abb. 1: Bilder von links nach rechts: unbeheizter Folientunnel in Salzburg (Österreich) auf 1.500 m Seehöhe; Bataviasalat aus dem ungeheizten Folientunnel in Salzburg – Mitte Dezember 2017 geerntet; Vielfalt an Asia- und Spezialsalaten im ungeheizten Folientunnel in Graz – Mitte Dezember 2018 (© Michaela Theurl, Wolfgang Palme)

Literatur

- IPCC (2006): IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 4, Agriculture, Forestry and Land Use. IPCC NGGIP-TSU, IGES, Hayama, Kanagawa, Japan
- ISO (2006a): ISO 14040, Environmental Management – Life Cycle Assessment: Principles and Framework
- ISO (2006b): ISO 14044, Environmental Management – Life Cycle Assessment: Requirements and Guidelines
- Mithöfer, D. (2017): Leistungs-Kostenrechnung und Anbauplanung. In: Ökologischer Gemüsebau, Eghbal, R. (Ed.), Bioland Verlags GmbH, Mainz, pp. 159–167
- Theurl, M. C.; Hörtenhuber, S. J.; Lindenthal, T.; Palme, W. (2017): Unheated soil-grown winter vegetables in Austria: Greenhouse gas emissions and socio-economic factors of diffusion potential. *J. Clean. Prod.* 151, pp. 134–144; doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.016

Danksagung

Die Arbeit wurde mit Unterstützung des Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums LE 14–20 im Rahmen des EIP-AGRI Projektes „Weiterentwicklung Bio-Wintergemüse – Lösung von konkreten Problemstellungen beim Anbau von Bio-Wintergemüse“ durchgeführt.

Sicherung der Beregnung in der Landwirtschaft: Die Auswirkungen von Waldumbaumaßnahmen auf die Grundwasserneubildung in Niedersachsen

KILIAN LOESCH

Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Oldenburg

1 Hintergrund und Motivation

In der Landwirtschaft ist eine ausreichende Wasserversorgung der ackerbaulichen Anbaukulturen für ein optimales Pflanzenwachstum und damit für die Erwirtschaftung hoher und stabiler Erträge essenziell. In Regionen, in denen Wassermangelphasen regelmäßig auftreten, kann eine solche Versorgung oftmals nur durch Beregnungsmaßnahmen sichergestellt werden (BLE 2017). Die im Zuge des Klimawandels abnehmenden Sommerniederschläge, die Erhöhung der Lufttemperatur und damit erhöhte Verdunstung werden zu einem zunehmenden Beregnungsbedarf landwirtschaftlich genutzter Flächen in vielen Regionen Deutschlands führen (IPCC 2013). Deutschlandweit werden bereits rund 3 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche beregnet, insbesondere im mittleren und östlichen Niedersachsen sowie in Hessen und Rheinland-Pfalz (BLE 2017, UBA 2018). Der Großteil des für die Beregnung genutzten Wassers wird dem Grund- und Quellwasser entnommen, wobei die Entnahmemengen streng reglementiert sind (UBA 2011). Um eine nachhaltige Beregnung zu ermöglichen und somit nachteilige Effekte auf den lokalen Wasserhaushalt auszuschließen, sollten Maßnahmen zur Erhöhung der Grundwasserneubildung getroffen werden. Wissenschaftliche Untersuchungen haben gezeigt, dass Wälder einen entscheidenden Einfluss auf den Landschaftswasserhaushalt haben: Gezielte Waldumbaumaßnahmen können somit die Grundwasserneubildungsrate direkt steuern (Anders und Müller 2006, Müller 2017). Die durch Waldumbau generierten Sickerwassermehrerträge können bei nachhaltiger forstwirtschaftlicher Nutzung innerhalb eines Wassereinzugsgebietes dem Grundwasser zur Sicherung landwirtschaftlicher Erträge zugutekommen.

2 Versuchskonzept und Methoden

Die Auswirkungen des Waldumbaus auf den Bodenwasserhaushalt sind eng an die standörtlichen Bedingungen gebunden und werden an zwei Standorten in den Beregnungsgebieten Niedersachsens untersucht. Hier sind ausgedehnte Kiefernforste auf nährstoffarmen, grundwasserfernen Sandböden typisch. Die Kiefer weist jedoch im Vergleich zu Laubbaumarten wie etwa der Buche eine verhältnismäßig geringe Tiefensickerung auf (Bartsch und Röhrig 2016). An den beiden Versuchsstandorten in der Region Hannover und dem Landkreis Lüchow-Dannenberg werden dementsprechend Wasserhaushaltsuntersuchungen in reinen Kiefernbeständen und in Mischbeständen verschiedenen Alters aus Kiefer und Buche, Douglasie und Traubeneiche durchgeführt (Abb. 1). Die Untersuchungen umfassen Messungen der Bodenfeuchte in verschiedenen Tiefenstufen, die Erfassung des Bestandsniederschlags unter den Baumkronen und die Messung meteorologischer Größen im Freiland. Die Sickerwasserrate unter den Beständen wird mithilfe des in der Forsthydrologie bewährten Bodenwasserhaushaltsmodells LWF-Brook90 (Hammel und Kennel 2001) berechnet. An-

hand der gemessenen Bodenwasserhaushaltskomponenten kann das Modell kalibriert und Modellergebnisse validiert werden. Mit dieser Vorgehensweise können die Standortbedingungen genau erfasst und der Wasserhaushalt anhand aktueller Forschungsmethoden beurteilt werden.

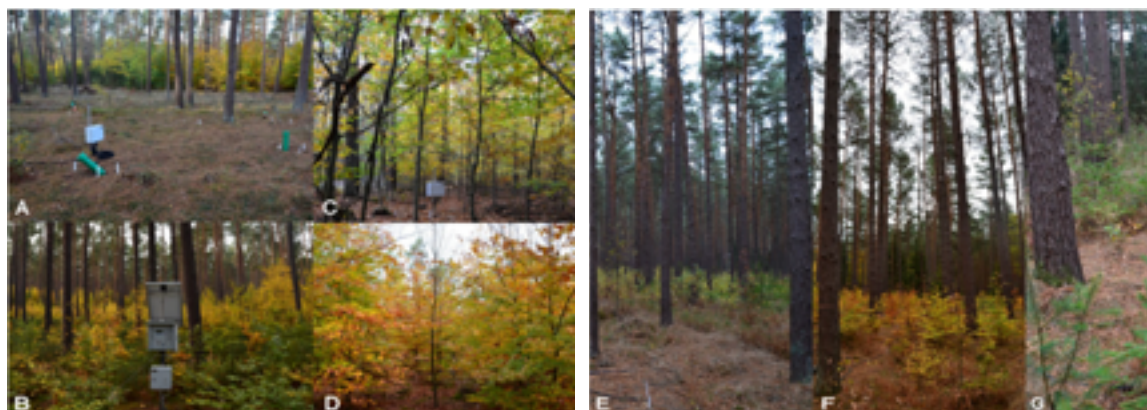


Abb. 1: Waldbauvarianten in der Region Hannover (A: Reinbestand Kiefer (70 Jahre), B: Kiefernwald aufgelichtet mit Buche-Unterbau (5 Jahre), C: Kiefernwald aufgelichtet mit Buche-Unterbau (15 Jahre), D: Reinbestand Buche (25 Jahre) und im Landkreis Lüchow-Dannenberg (E: Reinbestand Kiefer (90 Jahre), F: Kiefernwald aufgelichtet mit Buche-Traubeneiche-Unterbau (5 Jahre), G: Kiefernwald aufgelichtet mit Douglasie-Unterbau (5 Jahre))
(© Kilian Loesch)

3 Ausblick

Nach Untersuchungsbeginn und vollständiger Einrichtung der Messflächen in 2018 kann für das Wasserhaushaltsjahr 2019 mit den ersten Ergebnissen gerechnet werden. Dabei wird sich zeigen, wie sich die Grundwasserneubildungsraten in Abhängigkeit von der Bestockung verhalten. Zur Übertragung der Ergebnisse auf andere Standorte gilt es zu untersuchen, wie sich weitere Variablen wie das nach Westen zunehmend ozeanisch geprägte Klima oder der hohe Stickstoffeintrag aus der Luft auf den Bodenwasserhaushalt auswirken.

Literatur

- Anders, S.; Müller, J. (2006): Die Ressource Wasser im zweischichtigen Nadel-Laub-Mischbestand.
In: Fritz, P. (Hrsg.): Ökologischer Waldumbau in Deutschland. Fragen, Antworten, Perspektiven. Oekom
- Bartsch, N.; Röhrig, E. (2016): Wasserhaushalt von Bäumen und Waldökosystemen. In: Bartsch, N.; Röhrig, E. (Hrsg.): Waldökologie, Springer
- Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) (2017): Effiziente Bewässerung im Gemüsebau. Modellvorhaben „Demonstrationsbetriebe zur Effizienzsteigerung der Bewässerungstechnik und des Bewässerungsmanagements im Freilandgemüsebau“
- Hammel, K.; Kennel, M. (2001): Charakterisierung und Analyse der Wasserverfügbarkeit und des Wasserhaushalts von Waldstandorten in Bayern mit dem Simulationsmodell Brook90. Forstliche Forschungsberichte München 185

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press
- Müller, J. (2017): Die forstökologische Forschung mit Lysimetern: Möglichkeiten und Grenzen ihres Einsatzes. 17. Gumpensteiner Lysimetertagung 2017, S. 137–144
- Umweltbundesamt (UBA) (2018): Struktur der Flächennutzung. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/struktur-der-flaechennutzung#textpart-1>, Zugriff am 15.01.2019
- Umweltbundesamt (UBA) (2011): LW-R-6 Landwirtschaftliche Beregnung. <https://www.umweltbundesamt.de/lw-r-6-das-indikator#textpart-1>, Zugriff am 15.01.2019

Klimawandelangepasste Tierproduktion – Kühlsystem für Mastschweine mit Wärmerückgewinnung mittels Konduktion

KATHRIN ZIEGLER, JOCHEN WIECHA, HEINZ BERNHARDT

Technische Universität München (TUM), Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik, Freising



1 Einleitung

Der Tierhaltung wird ein großer Einfluss auf den Klimawandel zugeordnet (Goodland und Anhang 2009, Gerber et al. 2013). Bezüglich der Klimaerwärmung hat vor allem Hitzestress das Potenzial, die Schweineproduktion negativ zu beeinträchtigen (Lucas et al. 2000, Shi et al. 2006). Es ist daher notwendig, geeignete Anpassungen in intensiv genutzten Tierbeständen vorzunehmen. Als Möglichkeit hierzu ist die Suhle als Kühlmöglichkeit in modernen Halungen auf Beton-Spaltenboden nur eingeschränkt umsetzbar (Weber 2003). Um den Tieren ein für ihre jeweiligen Bedürfnisse besser angepasstes System zur Regulation ihrer Körpertemperatur zu bieten, wird in dieser Arbeit ein in die Liegebereiche integriertes Kühlsystem mit effizienter, energetischer Wärmerückgewinnung vorgestellt. Dies trägt in hohem Maße dem Tierwohl in Nutztierställen Rechnung.

2 Material und Methodik

Die Tiere favorisieren zum Liegen Kunststoff/Metallaufsteller, die die Buchten begrenzen. Daher stehen eine Änderung der Formgebung der Wände und deren Ausstattung mit Kühlschlangen (Plattenwärmeüberträger) im Vordergrund. Sie werden an die natürliche Liegehaltung der Tiere angepasst und mit einem System zur Wärmerückgewinnung ausgestattet, um eine effizientere Energienutzung des Kühlsystems zu ermöglichen. Durch den Kontakt des Tierkörpers zum Material besteht durch das Prinzip der Konduktion und gemäß dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik ein Wärmefluss entsprechend dem vorhandenen Temperaturgefälle. Die übertragene Wärme kann direkt in anderen Teilbereichen des Stalls genutzt oder in andere Energieformen umgewandelt werden.

3 Ergebnisse

Es konnte gezeigt werden, dass die Installation eines Kühlsystems vor allem für Mastschweine in Buchtenhaltung einen entscheidenden Vorteil hinsichtlich der Regulation ihrer Körpertemperatur bringt. Die bei der Konduktion transportierte Menge an Wärme hängt von den Wärmeleitfähigkeiten und den Temperaturdifferenzen ab. Das System wird von den Tieren ausnahmslos gut akzeptiert und zeigt effiziente Wärmeübertragung bei geringer Stell-/Verbauungsfläche. Durch die zusätzliche Rückgewinnung der Wärme aus dem Kühlsystem wird sowohl ein optimaler Einsatz der Energieressourcen, als auch die Optimierung der Gesamtkosten erreicht. Zusätzlich greifen die Vorteile eines Wärmerückgewinnungssystems: Die Anlaufzeiten der Kühlanlage werden verkürzt, die Umweltbelastungen minimal gehalten (Verringerung des Energieverbrauchs, Verringerung von

Schadmissionen) und der Bedarf einer zusätzlichen Kühlanlage für den Schweinstall mit entsprechenden Anschlussleistungen (kW) entfällt. Die Abwärme der Kältemaschinen kann gewinnbringend für andere Teilbereiche im Stall wiederverwendet werden (z. B. Heizung im Ferkelaufzuchtstall, Duschen des Personals). Die zur Nutzung des vorgeschlagenen Systems benötigten baulichen Änderungen sind nur geringfügig und amortisieren sich bereits nach kurzer Zeit.

4 Schlussfolgerungen

Im Buchtensystem der Mastschweinehaltung zeigt sich Potenzial hinsichtlich der Optimierung der gängigen Kühlmethode mittels Lüftungsschächten und/oder Ventilatoren. Eine deutliche Verbesserung des Befindens der Tiere kann durch eine in die Seitenwände der Buchten integrierte Kühlanlage erreicht werden; es besteht ebenfalls die Möglichkeit, eine Integration der Kühl-/Heizschlangen in den Betonspaltenboden vorzunehmen, um das System noch effektiver zu gestalten. Das vorgestellte System dient zur Senkung der Körpertemperatur und vermeidet die Entstehung von Hitzestress und ist daher als positiv für das Tierwohl anzusehen.

Literatur

- Gerber et al. (2013): Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rom
- Goodland, R.; Anhang, J. (2009): Livestock and climate change: What if the key actors in climate change are cows, pigs, and chickens? Livestock and climate change: what if the key actors in climate change are cows, pigs, and chickens?, Worldwatch Institute, Washington
- Lucas, E. M.; Randall, J. M.; Meneses, J. F. (2000): Potential for evaporative cooling during heat stress periods in pig production in Portugal (Alentejo). *Journal of Agricultural Engineering Research* 76(4), pp. 363–371
- Shi, Z. et al. (2006): Using floor cooling as an approach to improve the thermal environment in the sleeping area in an open pig house. *Biosystems Engineering* 93(3), pp. 359–364
- Weber, E. F. (2003): Wohlbefinden von Mastschweinen in verschiedenen Haltungssystemen unter besonderer Berücksichtigung ethologischer Merkmale. Dissertation, Universität Hohenheim

Beratungsangebot zu Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel in Landwirtschaft und Gartenbau

LISA FRÖHLICH, MARCEL PHIELER

Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Fachgebiet Ökologischer Landbau, Marburg

1 Einleitung

Die Auswirkungen des Klimawandels werden zunehmend spürbar. Zukünftig wird die Entwicklung von Anpassungsstrategien an die sich verändernden klimatischen Bedingungen, sowohl im Pflanzenbau als auch in der Tierhaltung, eine zentrale Rolle im Management landwirtschaftlicher Betriebe einnehmen. Die Landwirtschaft ist aber nicht nur direkt von den Folgen des Klimawandels betroffen. In vielen Bereichen der landwirtschaftlichen Produktion werden nicht unerhebliche Mengen klimarelevanter Treibhausgase freigesetzt.

Zu den Themen Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel unterstützt der Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen die landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Betriebe mit seinem vielfältigen Beratungsangebot in den Bereichen Pflanzenbau, Gartenbau, Grünlandwirtschaft, Tierhaltung, Tierfütterung und Erwerbskombination.

2 Beratungsangebot

Im Rahmen des Integrierten Klimaschutzplans Hessen 2025 hat der Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (LLH) im August 2018 die Klimaberatung für Landwirtschaft und Gartenbau gezielt in sein Beratungsangebot aufgenommen. Bereits in den vorangegangenen Jahren integrierte der LLH die Klimaberatung in seine Arbeit, Aktivitäten und Zielsetzungen. Dabei werden in der täglichen Beratung landwirtschaftlicher und gartenbaulicher Betriebe verschiedene Methoden, Medien und Plattformen genutzt, um Fachwissen und Erkenntnisse zur Senkung der Treibhausgasemissionen und zur Anpassung an den Klimawandel kundenorientiert und praxisnah zu vermitteln.

Ziel der Beratungsarbeit ist es, die landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Betriebe für das Thema Klimaschutz zu sensibilisieren und über Anpassungsmöglichkeiten an die sich verändernden klimatischen Bedingungen zu informieren. Im Bereich Pflanzen- und Gartenbau erfolgt die Beratung mit Schwerpunkt zu den Themen Sortenwahl, Fruchtfolgegestaltung, Düngung, Humusmanagement, Bewässerung sowie der Prüfung neuer Anbausysteme. In der Tierhaltung ist die Fütterung, z. B. der Einsatz von heimischem Eiweißfutter, oder auch die Grünlandwirtschaft, ein Schwerpunkt der Beratungsarbeit. Weiterhin sind Tierhaltungsfragen, wie Tiergesundheit und Lebensleistung, aber auch der effiziente Einsatz organischer Düngemittel von zentraler Bedeutung. Ebenso werden bei der täglichen Beratungsarbeit Fragen zum effizienten Einsatz von Energie und Ressourcen mitberücksichtigt.

Neben Informationsveranstaltungen, Seminaren, Workshops oder Feldbegehungen erfolgen einzelbetriebliche Beratungen direkt vor Ort. Hierbei werden bei der Ausarbeitung von unterschiedlichen Anpassungsmöglichkeiten die betriebsspezifischen Gegebenheiten in der Produktionstechnik, in der Betriebswirtschaft und im gesamten Betriebsmanagement mit allen Einflussfaktoren berücksichtigt. Der Betriebsleiter oder die Betriebsleiterin lernt dadurch Möglichkeiten kennen, um die einzelnen Produktionsprozesse an die Klimaveränderungen anpassen zu können.

Die Beratungsthemen Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel sind häufig eng miteinander verwoben. Im Rahmen der Klimaschutzberatung unterstützt der LLH die landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Betriebe bei der Erstellung von betrieblichen Klimabilanzen. Gemeinsam mit dem Betriebsleiter oder der Betriebsleiterin erarbeiten die BeraterInnen detaillierte Energie- und Treibhausgasbilanzen. Dies erfolgt sowohl für den Gesamtbetrieb als auch für einzelne Produktionszweige. Auf Grundlage der Klimabilanz kann der Umfang der Emissionen und der Bereich, in dem sie anfallen, identifiziert werden. In einem weiteren Schritt können darauffolgend Maßnahmen abgeleitet werden, die zu einer Reduzierung der Treibhausgase und somit zu einer Optimierung der betrieblichen Klimabilanz beitragen. Die Erarbeitung der Maßnahmen erfolgt in enger Abstimmung mit den Betrieben sowie im Rahmen einer gesamtbetrieblichen und ökonomischen Betrachtung. Die landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Betriebe lernen so die Stärken und Schwächen ihrer Produktionsweise in Bezug auf den Klimaschutz frühzeitig zu identifizieren und können notwendige Anpassungen und Prozesswege ableiten.

3 Fazit

Im Rahmen eines neuen Beratungsangebotes wird sich der LLH zukünftig noch stärker mit den Themen Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel in Landwirtschaft und Gartenbau befassen. Der LLH unterstützt die hessischen Betriebe sowohl bei der Erarbeitung von Anpassungsmöglichkeiten als auch bei der Erstellung von betrieblichen Klimabilanzen.

MUNTER – Entwicklung eines Managementsystems für Landwirte und Kommunen für mehr Umwelt- und Naturschutz durch einen optimierten Energiepflanzenanbau

FRANK WAGENER, CAMILLA BENTKAMP, PATRICK BECKER, JÖRG BÖHMER

Institut für angewandtes Stoffstrommanagement, Hochschule Trier, Umwelt-Campus, Birkenfeld

1 Einleitung

Der fortschreitende Wandel unseres Klimas ist unumstritten. Die vermehrt auftretenden Starkregenereignisse verursachen Bodenerosionen, die zu einer Entwertung der landwirtschaftlich genutzten Böden führen, und tragen Hochwasser in die umliegenden Ortschaften (Abb. 1).



Abb. 1: Der Klimawandel hat in den letzten Jahren seine Spuren in vielen Regionen Deutschlands hinterlassen (Bild links: © Frank Wagener, Bild Mitte und rechts: © <http://ff-gerolstein.de/unwetter-wuetet-in-der-verbands-gemeinde-gerolstein/>)

Landwirte, Kommunen und Privathaushalte sind gleichermaßen betroffen und müssen kooperativ regionale Lösungen für eine Reduzierung des Schadenspotenzials erarbeiten. Als Träger der Daseinsvorsorge sind die Kommunen gefragt, Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Abmilderung seiner Folgen zu ergreifen. Die Verantwortung der Landwirtschaft liegt in einer angepassten Bewirtschaftung ihrer Flächen. Landwirtschaftlich genutzte Flächen müssen in Zukunft durch ihren Aufwuchs mehr als bisher die Bodenerosion abmildern und größere Wassermengen zurückhalten können. Gleichzeitig müssen die Biodiversität und der Erholungswert der Landschaft erhöht werden.

Für die Menschen im ländlichen Raum ist es von entscheidender Bedeutung, dass Maßnahmen für mehr Umwelt- und Naturschutz nicht zu Lasten regionaler Wirtschaftskreisläufe gehen, sondern idealerweise mehr Wertschöpfung und Entwicklungspotenziale für die Region bringen.

2 Das Projekt

Das Projekt MUNTER findet im Rahmen der Europäischen Innovationspartnerschaft „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“ (EIP-Agri) statt und wird mit Mitteln des Entwicklungsprogramms EULLE unter Beteiligung der Europäischen Union und des Landes Rheinland-Pfalz gefördert (Laufzeit: 10/2016–3/2020). Ziel dieser Europäischen Innovationspartnerschaft ist der Entwurf und die Entwicklung eines Managementsystems für Landwirte und Kommunen für mehr Klimaresilienz durch einen optimierten Energiepflanzenanbau.

MUNTER ist ein Praxisprojekt, das reale Herausforderungen im Klimaschutz und der notwendigen Klimaanpassung in der betrieblichen Praxis von Landwirten, der Daseinsvorsorge von Kommunen und weiterer öffentlicher Aufgaben identifiziert und bearbeitet. Das Vorhaben widmet sich der Entwicklung eines Managementsystems, mit dessen Hilfe Landwirte und Kommunen gemeinsam Handlungsansätze zur Realisierung dieser Synergien erarbeiten, Kosten quantifizieren und Finanzierungsmöglichkeiten effektiv erschließen können. Um die Praktikabilität dieses Werkzeugs zu gewährleisten, erfolgt die Entwicklung direkt in und mit der Praxis. Hierzu hat sich eine operationelle Gruppe aus drei sehr unterschiedlichen Landwirtschaftsbetrieben in der Westpfalz und in der Vulkaneifel, zwei Instituten und einer Stiftung zusammengefunden, die lösungsorientiert mit Experten der Wasserschutzberatung, des Naturschutzes und den Kommunen zusammenarbeitet.

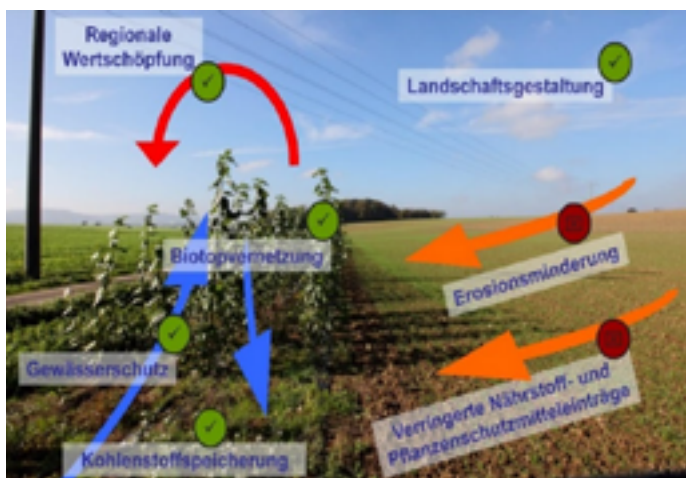


Abb. 2: Mehrnutzungssystem (hier: Agrarholzstreifen im Kurzumtrieb); mehr Nutzen auf der Fläche durch die „richtige“ Platzierung in der Landschaft (© IfaS)



Abb. 3: Modell der Abflussreduktion durch den Anbau von Energiepflanzen (© IfaS)

Praktiker, Kommunalvertreter und Experten platzieren Mehrnutzungssysteme (Abb. 2 und Abb. 3) genau an den Stellen in der Landschaft, wo die erzielbaren Zusatzleistungen auch einer Honorierung direkt oder indirekt zugeführt werden können. Dieses pragmatische Synergienmanagement kann nur durch einen moderierten Planungsprozess erarbeitet werden, der durch das IfaS gewährleistet wird. Damit werden betriebliche Innovationen in der Landbewirtschaftung und die Erschließung neuer Geschäftsfelder für landwirtschaftliche Betriebe mit gesellschaftlichen Anforderungen verbunden, ohne dabei hohe betriebswirtschaftliche und gesellschaftliche Kosten zu verursachen. Aktuell arbeitet die Dorfgemeinschaft von Bisterschied an einem Quartierskonzept für eine Bioenergiedorfentwicklung. Gelingt die Etablierung eines Bioenergiedorfes, so kann das Holz aus den Erosionsschutzstreifen direkt im Dorf zu Wärme veredelt werden. So wird Klimaschutz (Bioenergie ersetzt fossile Energieträger) erstmalig mit einer Anpassungsstrategie an den Klimawandel (Erosionsschutzsystem) verknüpft und damit regionale Wertschöpfung erarbeitet.

Insgesamt ermöglicht das neue Managementsystem eine Übertragung des MUNTER-Konzepts auf andere Standorte und Regionen und damit eine verstärkte Umsetzung kombinierter Maßnahmen für mehr Klimaschutz und eine bessere Klimaanpassung ohne dadurch hohe gesellschaftliche Kosten zu verursachen.

Literatur

- Wagener, F.; Heck, P.; Böhmer, J. (2013): Schlussbericht „Entwicklung extensiver Landnutzungskonzepte für die Produktion nachwachsender Rohstoffe als mögliche Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen (ELKE) – Phase III – Umsetzung praxisbasierter Feldmodellprojekte. Forschungsvorhaben gefördert durch das BMELV über die FNR, FKZ 22007709, Umwelt-Campus Birkenfeld, S. 802
- Wagener, F.; Böhmer, J.; Heck, P. (2016): Produktionsintegrierter Naturschutz mit nachwachsenden Rohstoffen – Leitfaden für die Praxis. Natur und Text, Rangsdorf

Cropping School: Entwicklung betriebsspezifischer Anpassungskonzepte an den Klimawandel durch regionale Vernetzung von Landwirten und Durchführung von Praxisversuchen

SABRINA SCHOLZ¹, RALF BLOCH^{1,2}, ANNA HÄRING¹

¹ Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde, Eberswalde

² Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Müncheberg

1 Einleitung

Die Landwirtschaft ist wie kaum ein anderer Wirtschaftszweig von den Klimaveränderungen betroffen. Landwirte und Landwirtinnen stehen vor der Herausforderung, ihre Betriebe an die Auswirkungen des Klimawandels anzupassen. Dazu bedarf es vor allem regional angepasster Problemlösungsansätze. Insbesondere im Ackerbau gibt es zahlreiche Möglichkeiten, Anpassungsmaßnahmen praktisch einzuführen. Diese sind jedoch für einzelne Unternehmer aus dem operativen Geschäft heraus nur schwer zu entwickeln (Bloch et al. 2016).

Die Einrichtung und Koordinierung regionaler Kompetenznetzwerke mit überregionalen Kooperationen zwischen Landnutzungs-, Bildungs- und Wissenschaftsakteuren ist ein Ansatzpunkt, um eine neue Qualität der Zusammenarbeit zwischen Landwirtinnen und Landwirten zu ermöglichen.

2 Vernetzung und Praxisversuche: zwei Bausteine für Innovationen

Die Entwicklung individueller Lösungsstrategien stellt hohe Anforderungen an Wissen und Fähigkeiten der Landwirtinnen und Landwirte. Jede Auswirkung auf das komplexe Agrarökosystem erfordert spezifische Kenntnisse dieses Systems und seiner Gesetze. Neben dem expliziten Wissen spielen in der Landwirtschaft vor allem Wissen aus der Praxis und implizites Wissen eine wichtige Rolle (Lehmann 2005). Nach Thomas, Hoffmann und Gerber (1999, zitiert nach Lehmann 2005) können diese umfassenden Anforderungen an Kompetenzen nur durch die Integration unterschiedlicher Formen der Wissensvermittlung erfüllt werden. Dabei sind die Erfahrungen und das Lernen auf dem eigenen Betrieb sowie das Gespräch unter Kollegen wichtige Bausteine. Informelle Treffen zwischen Kollegen stellen einen offenen Raum mit ungezwungener Atmosphäre dar, der individuell oder gruppenspezifisch gestaltet werden kann (Luley 1996). Gruppenstrukturen schaffen Austauschbeziehungen und ermöglichen so innovatives Handeln (Luley 1996, Luley et al. 2015). Praxisversuche stellen dabei eine der grundlegenden Strategien für das Lernen dar (Kummer et al. 2012). Sie sind ein wirksames Entscheidungsinstrument (Scooby 2001), um neue Methoden und Innovationen in Aktivitäten unter spezifischen landwirtschaftlichen Bedingungen einzuführen (Bloch et al. 2016, Kummer et al. 2012).

3 Cropping School – ein Konzept des gemeinsamen und voneinander Lernens

In Anlehnung an die „Stable Schools“, den „Farmer Field Schools“ sowie den Anbauingen nach Theodor Roemer soll über das Pilotprojekt „Kompetenznetzwerk Ökologischer Acker- und Pflanzenbau Nordost Brandenburg“ ein langfristiger kooperativer Gruppenaustausch zwischen landwirtschaftlichen Betrieben und Fachreferentinnen und -referenten zu Problemstellungen im Acker- und Pflanzenbau entstehen. Das Netzwerk arbeitet dabei in einer klar abgrenzbaren räumlichen Kulisse an der Lösung überbetrieblicher Ackerbauprobleme. Probleme werden dabei von den Mitgliedern selbst konkretisiert und priorisiert und in sogenannten Ringveranstaltungen (Feldbesuche auf Betrieben) aufgearbeitet, diskutiert und ausgewertet sowie Handlungsempfehlungen erarbeitet. Jede Ringveranstaltung wird intensiv vor- und nachbereitet. Die Vorbereitung stellt für die Betriebe eine gezielte Zusammenstellung von Standort- und Bewirtschaftungsdaten (Nährstoffanalysen von Bodenproben etc.) dar, die Nachbereitung eine Zusammenfassung aller Ergebnisse der Ringveranstaltung. Aus den Fragestellungen oder Ergebnissen einer Ringveranstaltung können Fragestellungen für Praxisversuche abgeleitet werden. Alle Ringveranstaltungen werden von einer Koordinierungsstelle konzipiert, vorbereitet und durchgeführt. Teilweise werden die Ringveranstaltungen auch noch von einem/einer Berater/Beraterin oder Wissenschaftler/Wissenschaftlerin als Fachreferent begleitet. Eine landwirtschaftlich-technische Fachkraft führt gemeinsam mit den Landwirtinnen oder Landwirten die Praxisversuche und Datenerhebungen durch.

4 Fazit

Die Nachfrage nach einem fachlichen, kollegialen Austausch mit dem „Nachbarn“ und der gemeinsamen Bearbeitung von Problemen stößt auf ein breites Interesse, die Netzwerkarbeit wird sehr positiv bewertet. Die Cropping School als langfristige feste Struktur in einer Region ist ein vielversprechender Ansatz zur Entwicklung und Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen in der Landwirtschaft.

Literatur

- Bloch, R.; Knierim, A.; Häring, A.; Bachinger, J. (2016): Increasing the adaptive capacity of organic farming system in the face of climate change using action research methods. *Organic Agriculture* 6, pp. 139–151
- Kummer, S.; Milestad, R.; Leitgeb, F.; Vogl, Ch. R. (2012): Building Resilience through Farmers' Experiments in Organic Agriculture: Examples from Eastern Austria. *Sustainable Agriculture Research* 1(2), doi:10.5539/sar.v1n2p308
- Lehmann, I. (2005): Wissen und Wissensvermittlung im ökologischen Landbau in Baden-Württemberg in Geschichte und Gegenwart. *Kommunikation und Beratung. Sozialwissenschaftliche Schriften zur Landnutzung und ländlichen Entwicklung*. Volume 62, Margraf Publishers
- Luley, H. (1996): *Information, Beratung und fachliche Weiterbildung in Zusammenschlüssen ökologisch wirtschaftender Erzeuger*. Margraf Verlag, Weikersheim
- Luley, H.; Kröger, M.; Rieken, H. (2015): *Beratung ökologischer Erzeuger/-innen in Deutschland*. Margraf Verlag, Weikersheim
- Sooby, J. (2001): *On-farm research guide*. Organic Farming Research Foundation. http://ofrf.org/sites/ofrf.org/files/on-farm_research_guide.pdf, Zugriff am 10.12.2018

Nachhaltige Anpassung der europäischen Landwirtschaft an den Klimawandel – LIFE AgriAdapt

CAROLINA WACKERHAGEN, SABINE SOMMER, ANDREAS ZIERMANN, PATRICK TRÖTSCHLER

Bodensee-Stiftung, Radolfzell

Gewinner
Posterwettbewerb

1 Einleitung

Der Klimawandel ist weltweit eine der wichtigsten Herausforderungen unserer Zeit, der sich auch die Landwirtschaft stellen muss. Auf der einen Seite ist sie maßgeblich beteiligt am Ausstoß von Treibhausgasen, auf der anderen Seite ist sie eine der am stärksten betroffenen Branchen. Im vorigen Jahrhundert stieg die Durchschnittstemperatur in Deutschland bereits um 1,2 °C gegenüber der vorindustriellen Zeit, stärker als im weltweiten Vergleich. Spätfröste, Starkniederschläge sowie langanhaltende Regen-, Hitze- und Dürreperioden führen zu erheblichen und teilweise existenzgefährdenden Ertrags- und Qualitätseinbußen in der Landwirtschaft. Die Landwirte in Europa müssen sich daher mit Maßnahmen an den Klimawandel anpassen (IPCC 2014).

Das EU-Projekt „LIFE AgriAdapt – Nachhaltige Anpassung der europäischen Landwirtschaft an den Klimawandel“ zeigt die aktuelle sowie die zukünftige Anfälligkeit der landwirtschaftlichen Betriebe durch den Klimawandel auf und macht Vorschläge zu individuellen, nachhaltigen Anpassungsmaßnahmen, um die Anfälligkeit zu verringern.

2 Methodik

Im Mittelpunkt steht der im Projekt entwickelte Klimawandel-Check. Die Datenbasis bilden dabei Klimaaufzeichnungen und Projektionen des europäischen Portals Agri4Cast. Hierfür stehen Klimadaten für Gebietsraster 25 x 25 km zur Verfügung. So können für jeden der 120 Pilotbetriebe in Spanien, Frankreich, Deutschland und Estland regionale Daten verwendet werden. In jeder der vier Klima-Risikoregionen (EU 2009) werden 30 Pilotbetriebe betrachtet. Den Klimadaten werden die betrieblichen bzw. die statistischen Ertragszahlen der letzten 15 Jahre gegenübergestellt.

Um die aktuelle Anfälligkeit der Betriebe darstellen zu können, werden „Exposure“, d.h. die Häufigkeit an Jahren mit ungünstigen klimatischen Bedingungen, und „Impact“, d.h. die Auswirkung auf die Erträge durch ungünstige klimatische Bedingungen in Prozent, ermittelt. Die relativen Werte werden in ein Punktesystem überführt und miteinander verrechnet. Das Produkt entspricht dem Vulnerabilitätsfaktor.

Mithilfe von Klimaprojektionen und agro-klimatischen Indikatoren wird die Anfälligkeit der Betriebe in der nahen Zukunft beurteilt. Hierfür wird die Entwicklung des Klimas in den sensiblen Wachstums- und Entwicklungsphasen der angebauten Kulturpflanzen betrachtet und die Änderung im Anbauisiko durch die Veränderung der Punktezahle bewertet.

3 Auswertung

Die Durchführung des Klimawandel-Checks auf den Pilotbetrieben hat gezeigt, dass die Anfälligkeit in den Betriebsbereichen Tierhaltung, Ackerbau und Dauerkulturen, mit Ausnahme des Weinbaus, in der nahen Zukunft steigen wird. Individuelle Maßnahmenpläne, die im Rahmen des Klimawandel-Checks zusammen mit den Landwirten erarbeitet werden, sollen die Betriebe für die zukünftigen klimatischen Herausforderungen stärken. Schwerpunkt der Anpassung im Pflanzenbau ist dabei die Förderung von Bodenstruktur und Bodenleben durch geeignete Maßnahmen, wie z. B. vielseitige Fruchtfolge, Einsatz organischer Dünger oder Kompost sowie komponentenreiche Zwischenfruchtmischungen.

4 Fazit

Betrachtet man die allgemeinen Trends der Klimamodelle für Temperaturen, Hitzeperioden, Niederschläge und Extremwetterereignisse, geht man derzeit noch von moderaten Klimaänderungen aus. Diesen können die Landwirte mithilfe von nachhaltigen Anpassungsmaßnahmen begegnen und so die negativen ertraglichen und wirtschaftlichen Auswirkungen auf ihre Betriebe in Grenzen halten.

Es hat sich gezeigt, dass es wichtig ist, die Landwirte für den Klimawandel zu sensibilisieren und dessen Auswirkungen auf ihre Betriebe darzustellen, damit sie bereit sind, ihre Wirtschaftsweise an die sich verändernden Produktionsbedingungen anzupassen.

Literatur

EU-Kommission (2009): Commission launches the debate on how European agriculture can adapt to climate change. https://ec.europa.eu/agriculture/climate-change/pdf/sum2009_en.pdf, Zugriff am 07.02.2019

IPCC (2014): Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability

Danksagung

Möglich ist das Projekt LIFE AgriAdapt durch die finanzielle Förderung aus dem EU LIFE Programm sowie durch das Ministerium für ländlichen Raum und Verbraucherschutz in Baden-Württemberg, die Landwirtschaftliche Rentenbank in Frankfurt, den Landkreis Bodenseekreis und die Molkerei OMIRA.

Simulationen betrieblicher und regionaler Anpassung an den Klimawandel: das Modellsystem MPMAS_XN

CHRISTIAN TROOST¹, XIAOHONG DUAN², FLORIAN HEINLEIN², CHRISTIAN KLEIN²,
JOACHIM AURBACHER³, M. SCOTT DEMYAN⁴, SEBASTIAN GAYLER⁵, JOACHIM INGWERSEN⁵,
PASCAL KREMER⁶, FRANCISCO MENDOZA TIJERINO¹, MORITZ LAUB¹, LUTZ OTTO¹, ARNE POYDA⁷,
ECKART PRIESACK², KIRSTEN WARRACH-SAGI⁸, THILO STRECK⁵, THOMAS BERGER¹

¹ Universität Hohenheim, Hans-Ruthenberg-Institut, Stuttgart

² Helmholtz Zentrum München, Institut für Biochemische Pflanzenpathologie, München

³ Justus-Liebig-Universität Gießen, Institut für Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft, Gießen

⁴ Ohio State University, School of Environment and Natural Resources, Columbus, Ohio, USA

⁵ Universität Hohenheim, Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Stuttgart

⁶ Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz, Mainz

⁷ Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung

⁸ Universität Hohenheim, Institut für Physik und Meteorologie, Stuttgart

1 Einleitung

Landwirte, Wissenschaft und Politik stehen gleichermaßen vor der Herausforderung, die unsichere klimatische Entwicklung und eine gestiegene Variabilität des Wetters in ihre kurz- und langfristige Planung mit einzubeziehen. Computermodelle bieten die Möglichkeit, vorgeschlagene Anpassungsstrategien und Entscheidungsregeln unter verschiedensten zukünftigen Szenarien zu testen. Hierbei ist nicht nur die klimatische Entwicklung, sondern auch die Entwicklung des wirtschaftlichen, techno-logischen und regulatorischen Umfelds zu berücksichtigen. Das Modellsystem MPMAS_XN simuliert Pflanzenwachstum unter verschiedenen klimatischen Bedingungen und berücksichtigt gleichzeitig die Anpassung des Betriebsmanagements auf unterschiedlichen Skalen (Schlag, Betrieb, Region) und Zeitebenen (von unterjähriger Anpassung von Düngemenge und Arbeitszeitpunkten zu langfristigen Investitionsentscheidungen). So ermöglicht es, die Auswirkungen möglicher einzelbetrieblicher, aber auch politischer Anpassungsstrategien zu untersuchen.

2 MPMAS_XN-Modellsystem

Das MPMAS_XN-Modellsystem besteht aus zwei wohletablierten Komponenten. (1) Das Boden-Pflanzenmodell XN (Expert-N) bildet biologische, physikalische und chemische Prozesse in der Pflanze, im Boden und an der Bodenoberfläche ab (Biernath et al. 2013). Es kann so den Wachstumsverlauf der Ackerfrucht unter gegebenen Wetterbedingungen und gegebenem Pflanzen- und Bodenmanagement simulieren. (2) Das Multiagenten-Betriebsmodell MPMAS modelliert die Entscheidungen landwirtschaftlicher Betriebe (Schreinmachers und Berger 2011, Troost und Berger 2015). Dabei kann entweder die Entscheidung eines oder mehrerer ausgewählter Betriebe im Mittelpunkt stehen oder es können auch alle Betriebe einer Region gleichzeitig simuliert werden.

Auf unterster zeitlicher Ebene erfolgt in MPMAS_XN eine unterjährige Anpassung von Ernte-, Dünge-, Bodenbearbeitungs- und Aussaatzeitpunkten (tagesgenau) an die phänologische Entwicklung der Pflanze (BBCH-Stadien) bzw. der Vorfrucht. Außerdem wird die tatsächlich gedüngte Menge durch Verrechnung der N_{\min} -Werte mit den Zielstickstoffwerten angepasst.

In der jährlichen Anbau- und Investitionsplanung wählt jeder MPMAS-Betrieb den Anbauplan für jeden Schlag und entscheidet gleichzeitig über notwendige Investitionen, Arbeitskräfte, Finanzplanung und Vermarktung. Wählbare Anbaupläne geben Pflanze, Stickstoffzielwerte, phänologische/wetterbedingte Kennwerte für den Zeitpunkt der Bodenbearbeitung, Aussaat und Düngung vor. Diese sind mit Erwartungen über im Durchschnitt mit dem Anbauplan auf einem Schlag zu erzielende Erträge, Kosten und konkrete Arbeitszeitpunkte verbunden. Aufgrund dieser Erwartungen kann das Betriebsmodell mittels mathematischer Optimierung mögliche und profitable Kombinationen von Anbauplänen für den Betrieb auswählen und hierbei insbesondere Fruchtfolge-restriktionen und die vorhandenen Arbeits- und Maschinenzeitkapazitäten zu Arbeitsspitzen berücksichtigen und die mögliche Investition in zusätzliche Feldarbeitskapazitäten gegen den Gewinn der dadurch ermöglichten Kombinationen von Anbauplänen abwägen (Troost 2016).

Die konkreten Zeitpunkte der Arbeitsausführungen sowie tatsächlicher Ertrag und Düngeaufwand werden – wie oben beschrieben – im Boden-Pflanzenmodell Expert-N simuliert und an das MPMAS-Entscheidungsmodell weitergeleitet. Letzteres Modell kann einerseits den wirtschaftlichen Ertrag des abgelaufenen Jahres errechnen und andererseits konsistente Trends in den erzielten Erträgen und tatsächlichen Arbeitszeitpunkten identifizieren und in der folgenden Planung berücksichtigen (z. B. sich verschiebende Arbeitsspitzen oder zeitlich (un)mögliche Fruchtfolgen). So können endogen autonome Anpassungen an mögliche klimatische Veränderungen erzeugt werden. Gleichzeitig können neben den verschiedenen Anbauregeln unterschiedliche Regeln für das Erkennen von Trends sowie Risikopuffer und Ziele in der Optimierung vorgegeben und so der Erfolg unterschiedlicher Strategien auf verschiedene Betriebstypen analysiert werden. Ebenso können die Auswirkungen politischer Anpassungsstrategien durch Vorgabe alternativer Regularien (z. B. Investitionsförderung, Subventionen, Umweltschutzaufgaben) untersucht werden.

3 Ausblick

MPMAS_XN ermöglicht die Analyse betrieblicher und politischer Anpassungsstrategien an den Klimawandel mithilfe der integrierten Simulation von Pflanzenwachstum und landwirtschaftlicher Entscheidungsfindung. Erste Ergebnisse aus dem Kraichgau und von der Schwäbischen Alb illustrieren die praktische Anwendbarkeit und Nützlichkeit des Modellsystems. Insbesondere die automatisierte Einbeziehung großer Datenmengen (KTBL, Cloud-Daten) bietet ein vielversprechendes Entwicklungspotenzial für Forschung und Praxis.

Literatur

- Biernath, C. et al. (2013): Modeling acclimation of leaf photosynthesis to atmospheric CO₂ enrichment. *European Journal of Agronomy* 48, pp. 74–87
- Schreinemachers, P.; Berger, T. (2011): MP-MAS: An agent-based simulation model of human-environment interaction in agricultural systems. *Environmental Modelling & Software* 26, pp. 845–859
- Troost, C.; Berger, T. (2015): Dealing with uncertainty in agent-based simulation: Farm-level modeling of adaptation to climate change in Southwest Germany. *American Journal of Agricultural Economics* 97, pp. 833–854
- Troost, C. (2016): Mikrosimulation landwirtschaftlicher Produktion auf der Schwäbischen Alb. *Wirtschaft und Statistik* 1

Danksagung

Die Erstellung des MPMAS_XN-Modellsystems wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen der DFG Forschergruppe 1695 „Regionaler Klimawandel“ gefördert. Es nutzt die Hochleistungsrechenkapazitäten, die vom Land Baden-Württemberg über das bwHPC-Projekt gefördert werden. Der Datenbestand des KTBL stellt eine wertvolle Grundlage für die Parametrisierung des betrieblichen Entscheidungsmodells dar.

Optimierung von Nachhaltigkeitsindikatoren im Pflanzenbau mithilfe des Beratungstools HUNTER

HARALD BECKER¹, RICHARD BEISECKER¹, HARALD SCHMID²

¹ Ingenieurbüro für Ökologie und Landwirtschaft GmbH, Kassel

² TU München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Freising

1 Hintergrund: Netzwerk Pilotbetriebe

Das Netzwerk Pilotbetriebe besteht aus rund 80 landwirtschaftlichen Betrieben in vier Regionen in ganz Deutschland, deren detaillierte Betriebsdaten von 2009 bis 2018 jährlich erfasst worden sind. Es handelt sich dabei jeweils zur Hälfte um ökologisch und konventionell bewirtschaftete Betriebe, die als benachbarte Vergleichspaare fungierten.

Ein wichtiges Anliegen des vom BMEL geförderten Netzwerk Pilotbetriebe war die Entwicklung praktikabler Tools – einerseits für die wissenschaftliche Detailauswertung, andererseits für die Beratungsarbeit. Für die Beratungsarbeit wurden zwei Excel-Werkzeuge entwickelt, die komplexe Sachverhalte vereinfacht abbilden, aber in erster Linie wichtige Optionen und Handlungsfelder für den Landwirt aufzeigen sollen. Im Pflanzenbau entstand das Tool HUNTER für eine umfassende Analyse von Bilanzen (Becker et al. 2018). Mit HUNTER erhält der Landwirt zusätzlich eine Einschätzung, wie er in puncto Nachhaltigkeit im Vergleich mit anderen Landwirten positioniert ist, indem seine Daten mit dem Pilotbetriebsdatensatz verglichen werden. Darüber hinaus erfolgt eine Benotung anhand eines Netzdiagramms, hieraus ergibt sich eine Gesamtnote.

Im vorliegenden Poster wird anhand zweier Modellbetriebe dargestellt, wie häufige und typische Schwachstellen mithilfe des HUNTERS aufgezeigt werden und welche Maßnahmen welche Auswirkungen haben können.

2 Zwei Ackerbaubetriebe und ihre Möglichkeiten zu Verbesserung

2.1 Ausgangssituation (VORHER)

Häufig vorgefundene Schwachstellen ökologischer Betriebe sind: niedrige und unkonstante Erträge und negative N-Salden. Auf konventionellen Betrieben geht es meist um (zu) hohe THG-Emissionen, eine nicht angepasste Düngung und insgesamt einen hohen Energieinput, während deutlich höhere Erträge erzielt werden können. Diese Sachverhalte beschreiben exemplarisch die Modellbetriebe mit ihren Kenndaten in den Tabellen 1 und 2.

Tab. 1: Kenndaten ökologischer Modellbetrieb VORHER

Fruchtart	Fläche ha	Ertrag dt FM/ha	Humussaldo dynamische HE-Methode kg/ha	Humussaldo VDLUFA [mittel] kg/ha	N-Saldo kg/ha	P ₂ O ₅ -Saldo kg/ha	K ₂ O-Saldo kg/ha	Energie Einsatz Gesamt GJ/ha	Netto-Energie-Output GJ/ha	THG-Emission kg CO ₂ e /ha	THG-Emission kg CO ₂ e /dt TM
Kleegras	30	450	835	672	-29	-57	-231	4	145	-2.599	-32
Winterweizen	15	35	-400	-50	-31	-25	-19	6	50	1.238	41
Dinkel	15	30	90	360	38	11	56	8	39	-63	-2
Sommergerste	10	28	-300	-120	-21	-20	-16	5	39	1.499	62
Ackerbohnen	10	30	351	160	27	-32	-36	7	43	-32	-1
Erbsen	10	30	333	160	19	-26	-32	7	42	-69	-3
Winterroggen	10	35	-382	20	-29	-25	-19	5	50	889	30
Zwischenfrucht Kreuzblütler + Phacelia	20	100	173	259	0	0	-0	3	-3	-842	-5.615
Zwischenfrucht kleinkörnige Leguminosen	10	200	346	427	84	-0	-1	3	-2	-1.564	-4.345
Ackerfläche gesamt	100		273	365	0	-30	-74	6,5	73	-699	-16

Tab. 2: Kenndaten konventioneller Modellbetrieb VORHER

Fruchtart	Fläche ha	Ertrag dt FM/ha	Humussaldo dynamische HE-Methode kg/ha	Humussaldo VDLUFA [mittel] kg/ha	N-Saldo kg/ha	P ₂ O ₅ -Saldo kg/ha	K ₂ O-Saldo kg/ha	Energie Einsatz Gesamt GJ/ha	Netto-Energie-Output GJ/ha	THG-Emission kg CO ₂ e /ha	THG-Emission kg CO ₂ e /dt TM
Winterraps	30	30	47	240	88	-72	-40	12	91	1.809	50
Winterweizen	40	40	77	280	77	-67	-50	15	121	2.015	28
Wintergerste	30	30	-388	-400	34	-82	-156	12	215	4.403	36
Ackerfläche gesamt	100	100	-72	64	68	-73	-79	13,4	140	2.669	35

2.2 Maßnahmen

Für beide Betriebe wurden Maßnahmen vorgeschlagen, die zu einer verbesserten Nachhaltigkeit beitragen könnten, dargestellt in Tabelle 3.

Tab.: 3 Maßnahmen der beiden Modellbetriebe, um die Nachhaltigkeit zu verbessern

Maßnahmen im ökologischen Modellbetrieb	Maßnahmen im konventionellen Modellbetrieb
<ul style="list-style-type: none"> - Integration von 5 % Silomais und 10 % Wickroggen-GPS anstelle von 5 ha Gerste, 5 ha Ackerbohnen und 5 ha Erbsen - Jährliche Einfuhr von 450 m³ Biogasgärrest im Tausch gegen Klee gras und Stroh - Schafweide im Herbst auf Klee gras und Zwischenfrüchten - Mineralische Kalidüngung in Wickroggen, Mais und Klee gras - Angenommene mittelfristige Ertragssteigerung 5 %, beim Dinkel also von 30 auf 31,5 dt/ha 	<ul style="list-style-type: none"> - Integration von 10 % Sommerweizen, 3 % Ackerbohnen und 3 % Silomais anstelle von 3 ha Raps, 3 ha Gerste und 10 ha Winterweizen - Hauptfruchtmäßiger Zwischenfruchtbau vor den Sommerungen - Reduktion der N-Mineraldünger in den Winterkulturen um 20 % - Einsparung Pflanzenschutz im Winterweizen von 29 % - Mineralische P- und K-Düngung zu Ackerbohne und Mais - Mistzukauf zum Mais und Biogasgülle zur Gräser-zwischenfrucht - Stroh verbleibt vollständig auf dem Acker

2.3 Auswirkungen der Maßnahmen (NACHHER)

Der Ökobetrieb erreicht eine Steigerung der Ertragsleistung, optimiert seinen K-Saldo und bringt seinen N-Saldo in den leicht positiven Bereich. Im Gegenzug wird seine Humusbilanz etwas schlechter, er liegt in der Gesamtbetrachtung aber immer noch im Kohlenstoff sequestrierenden Bereich. Der Energieinput steigt von 6,5 auf 7,5 GJ/ha. Durch die angemessene Einfuhr organischer Dünger steigert er mittelfristig die Bodenfruchtbarkeit und arbeitet auf konstantere Erträge hin. Im Netzdiagramm erreicht er als Gesamtnote einen sehr hohen Wert von 0,95, der kaum noch zu steigern ist (Abb. 1).

Der konventionelle Modellbetrieb kann seinen THG-Ausstoß um ca. 60 % reduzieren. Dies wird durch die Reduktion des N-Saldos, einer Verringerung des Pflanzenschutzaufwands im Weizen und durch eine Erhöhung des Humussaldos erreicht. Gleichzeitig sind die Erträge weiterhin gut, er erhält mehr organische Dünger und kann seine Gesamtbewertung von 0,86 auf 0,92 verbessern (Abb. 1).

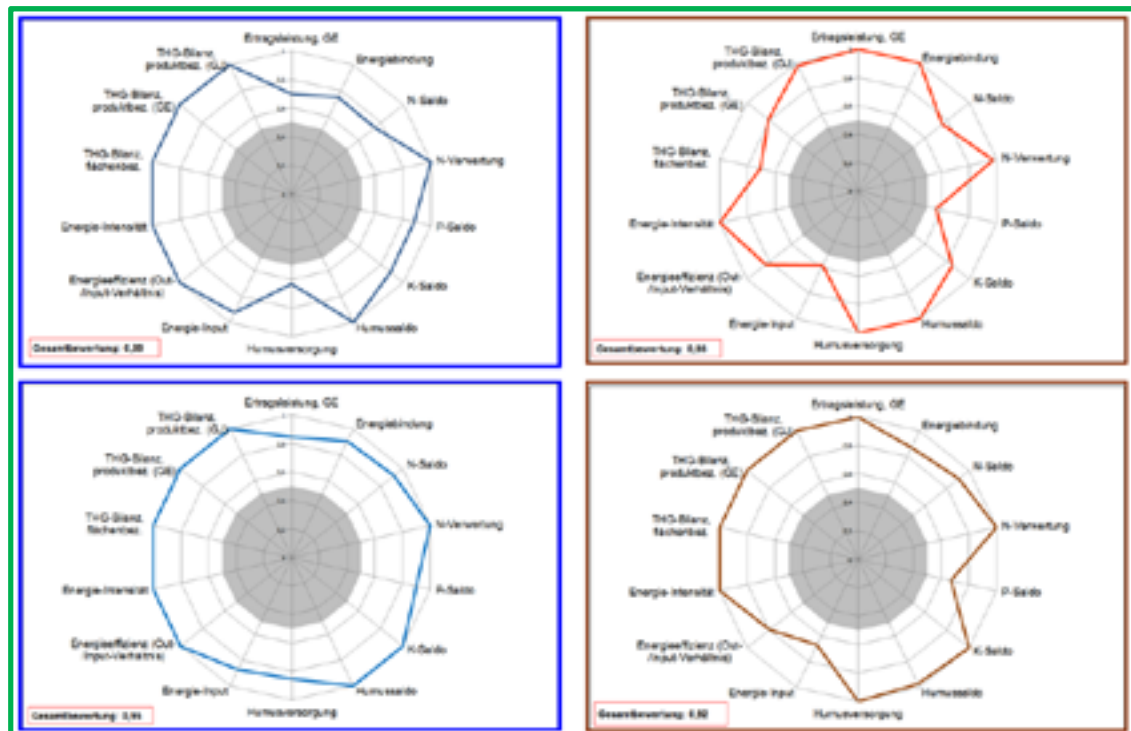


Abb. 1: Netzdiagramm zur Nachhaltigkeit im Pflanzenbau; links (blau) der Ökobetrieb, rechts (braun) der konventionelle Betrieb; oben = vorher; unten = nachher

3 Fazit

Das Tool dient vorrangig der Unterstützung in der Beratung, weniger einer wissenschaftlichen, detaillierten Auswertung. Die ausgewählten fachlichen Aspekte sind repräsentativ für zahlreiche Pilotbetriebe. Da diese einen sehr guten Querschnitt durch die deutsche Landwirtschaft darstellen, dürften die aufgezeigten Probleme und Verhältnisse auch viele Betriebe außerhalb des Netzwerks betreffen. Hier kann ein umsichtiger Berater mit HUNTER wertvolle Hilfestellung geben.

Literatur

- Becker, H. et al. (2018): HUNTER – Developing, Testing and Introducing an Excel Tool for sustainability benchmarking in plant production. In: International Conference on Agricultural GHG Emissions and Food Security – Connecting research to policy and practice, Thünen Working Paper 103, p. 31
- Frank, H. et al. (2013): Modelluntersuchungen zu Treibhausgasemissionen der ökologischen und konventionellen Milcherzeugung. Ideal und Wirklichkeit: Perspektiven Ökologischer Landwirtschaft. Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Bonn, 5.–8. März 2013, S. 664–666
- Frank, H. (2014): Entwicklung und Anwendung eines Modells zur Energie- und Treibhausgasbilanzierung landwirtschaftlicher Betriebssysteme mit Milchviehhaltung. Weihenstephaner Schriften Ökologischer Landbau und Pflanzenbausysteme 2, Berlin
- Hülsbergen, K.-J.; Rahmann, G. (2013): Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme. Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben. Thünen Report 8. http://www.pilotbetriebe.de/download/Abschlussbericht%202013/Thuenen_Report_8_H%C3%BClsberg_Rahmann_Internet.pdf
- Hülsbergen, K.-J.; Rahmann, G. (2015): Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme. Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben. Forschungsergebnisse 2013–2014. Thünen-Report 29. http://www.pilotbetriebe.de/download/Th%C3%BCnen_Report_29.pdf
- Paulsen, H.M.; Seith, T. (2018): Noten für Stall und Herde. Tierwohl erfassen, beurteilen, verbessern. Bioland 10, S. 36–38
- Schulz F. et al. (2018): Greenhouse gas emissions of organic and conventional dairy farms – results from a pilot farm network in Germany. In: International Conference on Agricultural GHG Emissions and Food Security – Connecting research to policy and practice, Thünen Working Paper 103, p. 138

KLIR – ein Modell zur Berechnung der Treibhausgasemissionen von Milchproduktionsbetrieben

TAMARA KÖKE¹, BRAIDA DÜR¹, JAN GRENZ¹, SEBASTIAN INEICHEN¹, ANDREAS STÄMPFLI², BEAT REIDY¹

¹ Berner Fachhochschule BFH, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, Zollikofen, Schweiz

² Aaremilch AG, Lyss, Schweiz

1 Einleitung

Mit der Ratifizierung des Übereinkommens von Paris hat sich die Schweiz verpflichtet, die Treibhausgasemissionen (THG) bis 2030 um 50 % gegenüber 1990 zu reduzieren (Bundesrat 2018). Laut nationalem Treibhausgasinventar (BAFU 2017) verursacht die Schweizer Landwirtschaft mit 5,6 Millionen Tonnen Kohlenstoffdioxidäquivalenten (CO₂eq) 10 % der Treibhausgasemissionen des Landes. Im Hinblick auf das Erreichen der Reduktionsziele wurde von der Milchhandelsorganisation Aaremilch AG und Nestlé Schweiz ein durch den Bund gefördertes Programm „Klimaschonende und Ressourceneffiziente Milchproduktion (KLIR)“ lanciert. Ziel des Projektes ist es, während der Pilotphase von 2017 bis 2020 auf 46 Milchviehbetrieben die THG-Emissionen um 10 % zu reduzieren, ohne dabei den Wiesenfutteranteil zu vermindern. Dafür wurden seitens der Aaremilch AG sechs Maßnahmen zur THG-Reduktion definiert. Diese sind: die Erhöhung der Lebtageleistung pro Tier, der Fütterungseffizienz, der Langlebigkeit, des Anteils der Hofdüngervergärung zu Biogas, des Einsatzes von Leinsamen als methanmindernder Futterzusatz und der Koppelproduktion von Fleisch. Die Erhöhung der Langlebigkeit bedeutet, die Lebensdauer und die Milchleistung zu erhöhen. Bei der Fütterungseffizienz liegt das Hauptaugenmerk auf der Optimierung des Milchleistungspotenzials aus dem Grundfutter. Die Steigerung der Koppelproduktion von Fleisch ist über den Einsatz von Zweinutzungsrassen in der Milchproduktion und von Masttieren für die Kälberproduktion definiert. Um die Auswirkungen der Maßnahmen auf die CO₂-Bilanz zu quantifizieren und deren Zusammenhang mit Parametern der Fütterungseffizienz abbilden zu können, wurde von der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL) das Excel-Tool „KLIR“ entwickelt. Mithilfe des Berechnungstools wurden auf 15 ausgewählten Milchproduktionsbetrieben die Treibhausgasemissionen aus der Milchproduktion bestimmt und der Einfluss ausgewählter Reduktionsmaßnahmen auf die THG-Emissionen untersucht.

2 Einzelbetriebliche THG-Bilanzierung durch KLIR

Das KLIR-Tool erlaubt die einzelbetriebliche THG-Bilanzierung während eines Jahres (CO₂eq in kg pro Einheit energiekorrigierter Milch (kg ECM)). Es basiert auf einer detaillierten Erhebung und mehrstufigen Plausibilisierung der wichtigsten Größen von Fütterung, Flächennutzung und Milchproduktionssystem und ermöglicht die Bestimmung der Futterkonvertierungseffizienz in GJ (kg ECM pro MJ NEL) und Rohprotein (RP, kg pro kg Futterprotein). Die Systemgrenze umfasst das gesamte System der Milchproduktion des Milchviehbetriebes, d. h. inklusive Aufzucht (Tränker, Aufzuchtkälber und Aufzuchtrinder für die Remontierung) und Trockensteher. Bei der Berech-

nung der THG-Emission werden sowohl direkte als auch indirekte Emissionen aus der enterischen Fermentation, der Futtermittelproduktion auf dem Betrieb und dem zugekauften Futter, dem Hofdüngermanagement und dem Stromverbrauch berechnet. Die indirekten Emissionen aus Investitionsgütern (Maschinen, Gebäude etc. für den Herstellungsprozess von z. B. Dünger, Pflanzenschutzmittel) und die CO₂-Sequestrierung werden nicht berücksichtigt. Die Berechnung der THG-Emissionen aus enterischer Fermentation werden nach der Formel von Liu et al. (2017) durchgeführt. Die THG-Emissionskoeffizienten aus der Futtermittelproduktion beruhen auf der Datenbank ecoinvent V3.0 (Wernet et al. 2016), im System „Allocation, recycled content – unit“. Basierend auf den IPCC-Guidelines (2007) werden die THG-Emissionen aus dem Hofdüngermanagement kalkuliert. Für die vorliegenden Berechnungen wurden von den 46 am Projekt beteiligten Betrieben zufällig 15 Betriebe ausgewählt. Die Betriebe befinden sich auf 730 bis 980 m ü.M. im Umkreis von rund 40 km von Bern. Untersucht wurde einerseits die Aufteilung der THG-Emissionen pro Einheit Milch auf die Emissionsquellen enterische Fermentation, Futtermittelproduktion (Futtermittelproduktion auf Betrieb und zugekaufte Futtermittel) und Hofdüngermanagement. Weiter wurden ausgewählte Parameter, welche im Projekt teilweise als THG-reduzierende Maßnahmen definiert wurden, mittels Regressionsanalysen auf ihren Einfluss auf die THG-Emissionen untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

Die untersuchten Betriebe weisen eine durchschnittliche landwirtschaftliche Nutzfläche von 13,7 ha und eine Milchleistung von rund 6.553 kg ECM pro Jahr auf (Tab. 1). Der Grundfutteranteil der Jahresration betrug im Mittel 90 %.

Tab. 1: Kennzahlen der 15 Milchproduktionsbetriebe im Jahr 2017

	Landwirtschaftliche Nutzfläche ha	Anzahl Milchkühe	Milchleistung kg ECM/Jahr	Grundfutter ¹⁾ g TM/ kg ECM	Krafftutter ²⁾ g TM/ kg ECM
Mittelwert	13.7	15	6.553	924	99
± SD	± 6,45	± 6,2	± 1.085,8	± 137,7	± 28,1

¹⁾ Grundfutter: Futtermittel mit Rohfaser(RF)-Gehalt > 120 g/kg TM.

²⁾ Krafftutter: Futtermittel mit RF-Gehalt < 120 g/kg TM.

Die Emissionen betragen durchschnittlich 1,28 kg CO₂eq pro kg ECM (Abb. 1), wobei die einzelbetrieblichen Emissionen zwischen 0,96 und 1,82 kg pro kg ECM streuen. Vergleichbare Ergebnisse finden sich mit 1,3–1,4 kg CO₂eq pro kg Milch in den Auswertungen von Ökobilanzen landwirtschaftlicher Betriebe in der Schweiz ZA-ÖB (Hersener et al. 2011) und mit 1,21 kg CO₂eq pro kg ECM auf irischen Weidehaltungsbetrieben (Rotz 2018). Hauptemissionsursache ist die enterische Fermentation, die mit rund 0,60 kg CO₂eq pro kg ECM 47 % der Gesamtemissionen ausmacht.

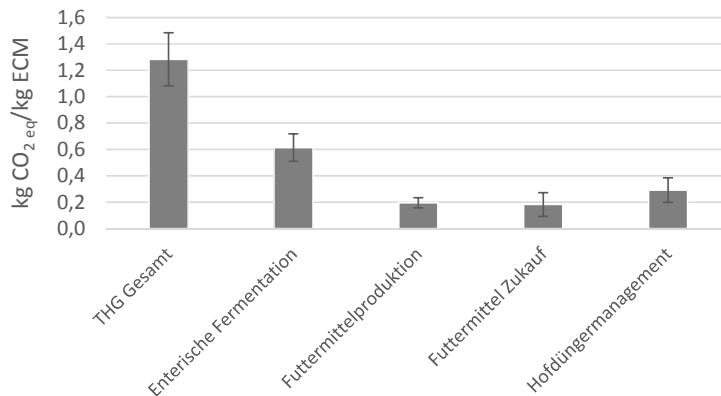


Abb. 1: Durchschnittliche Anteile und Standardabweichung der vier Hauptemissionsquellen an den Gesamtemissionen von 15 Schweizer Milchproduktionsbetrieben im Jahr 2017

Die enterische Fermentation wurde auch in anderen Publikationen als wichtigste Emissionsquelle auf Milchproduktionsbetrieben eruiert. Bei Rotz (2018) machte sie mit 45 % den größten Anteil der Emissionen aus der Milchproduktion aus. Durch die homogene Struktur und Fütterung der untersuchten Betriebe fällt der Variationskoeffizient bei den Gesamtemissionen mit 16 % im Vergleich zu anderen Untersuchungen (z.B. 47 % in der ZA-ÖB von Hersener et al. (2011)) sehr niedrig aus.

Die Emissionen aus der Futtermittelproduktion mit 0,37 kg CO₂eq pro kg ECM werden zu fast gleichen Anteilen aus den zugekauften Futtermitteln und der Futtermittelproduktion auf dem Betrieb verursacht. Der Durchschnittswert der Futtermittelmenge, welche auf dem Betrieb produziert wird, beträgt 58 dt TM pro Kuh und Jahr mit einem durchschnittlichen NEL-Gehalt von 6,1 MJ/kg TM. Im Vergleich hierzu werden nur 11 dt TM pro Kuh und Jahr an Futtermitteln zugekauft, die durchschnittlich einen NEL-Gehalt von 6,8 MJ/kg TM aufweisen. Dieser Unterschied ist darauf zurückzuführen, dass das Futter, welches auf dem Betrieb produziert wird, im Durchschnitt zu 98 % aus Grundfutter und zu 2 % Kraftfutter besteht (Kraftfutter = Rohfasergehalt < 12 % der TM). Die zugekauften Futtermittel bestehen dagegen durchschnittlich zu 41 % aus Grundfutter und zu 59 % aus Kraftfutter. Die im Durchschnitt geringere Futtermittelmenge des zugekauften Futters macht etwa einen gleich hohen Anteil an den Gesamtemissionen pro kg ECM aus wie die deutlich höhere Menge der auf dem Betrieb produzierten Futtermittel. Dies kann damit erklärt werden, dass im Mittel die Emissionen der Produktion von Grundfutter 0,36 kg CO₂eq pro kg TM und 1,73 kg CO₂eq pro kg TM für Kraftfutter betragen.

Anhand von linearen Regressionen wurde der Zusammenhang der Gesamtemissionen pro kg ECM mit den ausgewählten Faktoren Höhenlage, Nutzungsdauer, Jahresmilchleistung, Lebtagleistung, Kraftfuttereinsatz in kg Trockenmasse TM pro Kuh und Jahr, Verwertung der Futterenergie in kg ECM pro 10 MJ NEL und Futterkonvertierungseffizienz in kg ECM pro kg TM verzehrt überprüft. Signifikante Zusammenhänge der Faktoren Verwertung der Futterenergie, Futterkonvertierungseffizienz, Jahresmilchleistung und Lebtagleistung mit den Gesamtemissionen konnten festgestellt werden (Verwertung der Futterenergie: $p < 0,05$, $R^2 = 0,58$; Futterkonvertierungseffizienz: $p < 0,05$, $R^2 = 0,53$; Jahresmilchleistung: $p < 0,05$, $R^2 = 0,44$; Lebtagleistung: $p < 0,05$, $R^2 = 0,36$). Die Faktoren Höhenlage, Nutzungsdauer und Kraftfuttereinsatz zeigen keinen Zusammenhang mit den Gesamte-

missionen. Es ist bekannt, dass eine energiekonzentriertere Ration zu tieferen THG-Emissionen aus enterischer Fermentation führen kann (Hristov et al. 2013), sodass der positive Zusammenhang zwischen höherer Futtermittelverwertung (Futterkonvertierungseffizienz bzw. Verwertung der Futterenergie) und CO₂eq pro kg Milch zu erwarten ist. Gemäß Grandl et al. (2016) sinkt der Methanausstoß und steigt die Effizienz einer Milchkuh mit ihrem Alter. Dass eine höhere Milchleistung pro Jahr zu weniger THG-Emissionen pro Kuh führt, wurde in verschiedenen Studien festgestellt (Hersener et al. 2011). Ob der festgestellte Zusammenhang zwischen Lebtageleistung und THG-Emission stärker auf die Lebensdauer oder die Höhe der Milchleistung zurückzuführen ist, muss noch differenzierter untersucht werden.

3 Fazit

Das neu entwickelte KLIR-Tool erlaubt eine differenzierte Berechnung des Treibhausgasausstoßes auf Grundlage einer detaillierten und plausibilisierten Erhebung von Fütterung, Flächen und Strukturen von Milchviehbetrieben. Die im Projekt definierten Massnahmen bilden vermutlich nur teilweise wirksame Bestrebungen zur Reduktion der THG-Emissionen ab und müssen detaillierter überprüft und allenfalls angepasst werden. Der negative Zusammenhang zwischen den Emissionen in CO₂eq und den ausgewählten Parametern der Fütterungseffizienz weist auf die Möglichkeit der gleichzeitigen Erreichung zweier Nachhaltigkeitsziele hin.

Literatur

- BAFU (2017): Kenngrößen zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Schweiz. 1990–2015
- Grandl, F.; Amelchanka, S. L.; Furger, M.; Clauss, M.; Zeitz, J. O.; Kreuzer, M.; Schwarm, A. (2016): Biological implications of longevity in dairy cows: 2. Changes in methane emissions and efficiency with age. *Journal of dairy science* 99(5), pp. 3472–3485
- Hersener, J.-L.; Baumgartner, D.-U.; Dux, D.; Aeschbacher, U.; Alig, M. (2011): Zentrale Auswertung von Ökobilanzen landwirtschaftlicher Betriebe (ZA-ÖB). Schlussbericht
- Hristov, A. N.; Oh, J.; Lee, C.; Meinen, R.; Montes, F.; Ott, T.; Firkins, J.; Rotz, A.; Dell, C.; Adesogan, A.; Yang, W. (2013): Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production – A review of technical options for non-CO₂ emissions. Rom, Italy
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2007): Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis. Chapter 2, Section 2.10.2 Direct Global Warming Potentials. <https://wg1.ipcc.ch/publications/wg1-ar4/ar4-wg1-chapter2.pdf>; Zugriff am 06.03.2019
- Liu, Z.; Liu, Y.; Shi, X.; Wang, J.; Murphy, J. P.; Maghirang, R. (2017): Enteric Methane Conversion Factor for Dairy and Beef Cattle: Effects of Feed Digestibility and Intake Level. *Transactions of the ASABE* 60(2), pp. 459–464
- Rotz, C. A. (2018): Modeling greenhouse gas emissions from dairy farms. *Journal of dairy science*, 101(7), pp. 6675–6690
- Wernet, G.; Bauer, C.; Steubing, B.; Reinhard, J.; Moreno-Ruiz, E.; Weidema, B. (2016): The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, <http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>, Zugriff am 05.01.2019

Mitwirkende

Prof. Dr. Joachim Aurbacher

Justus-Liebig-Universität Gießen
Institut für Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft
Gießen

Dr. Ruth Bartel-Kratochvil

Forschungsinstitut für Biologischen Landbau FiBL
Wien, Österreich

Patrick Becker

Hochschule Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld
Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS)
Birkenfeld

Harald Becker

Ingenieurbüro für Ökologie und Landwirtschaft GmbH
Kassel

Dr. Richard Beisecker

Ingenieurbüro für Ökologie und Landwirtschaft GmbH
Kassel

Camilla Bentkamp

Hochschule Trier, Umwel-Campus Birkenfeld
Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS)
Birkenfeld

Prof. Dr. Thomas Berger

Universität Hohenheim
Hans-Ruthenberg-Institut
Stuttgart

Prof. Dr. Heinz Bernhardt

Technische Universität München (TUM)
Wissenschaftszentrum Weihenstephan
Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik
Freising

Dr. Ralf Bloch

Leibniz-Zentrum für
Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.
Arbeitsgruppe Ressourceneffiziente Anbausysteme
Müncheberg

Jörg Böhmer

Hochschule Trier, Umwel-Campus Birkenfeld
Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS)
Birkenfeld

Prof. Dr. Franz J. Conraths

Friedrich-Loeffler-Institut (FLI)
Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit
Institut für Epidemiologie
Greifswald - Insel Riem

Iris Dahms

Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften
OG Nachhaltige Bewässerung
Suderburg

Dr. Michael Scott Demyan

Ohio State University
School of Environment and Natural Resources
Columbus, Ohio, USA

Prof. Dr. Klaus Dittert

Georg-August-Universität Göttingen
Abteilung Pflanzenernährung und Ertragsphysiologie
Göttingen

Prof. Dr. Eike Stefan Dobers

Hochschule Neubrandenburg
Fachbereich Agrarwirtschaft und
Lebensmittelwissenschaften
Neubrandenburg

Dr. Xiaohong Duan

Helmholtz Zentrum München
Institut für Biochemische Pflanzenpathologie
München

Braida Dür

Berner Fachhochschule BFH
Hochschule für Agrar-, Forst- und
Lebensmittelwissenschaften HAFL
Zollikofen, Schweiz

Prof. Dr. Martin Elsäßer

Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg
(LAZBW)
Fachbereich Grünland, Futterbau, Futterkonservierung
Aulendorf

Bernhard Feller

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen
Produktionstechnische Beratung Ferkelproduktion
Münster

Prof. Dr. Robert Finger

ETH Zürich
Department Management, Technologie und Ökonomie
Zürich

Lisa Fröhlich

Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (LLH)
Fachgebiet Ökologischer Landbau
Marburg

- Dr. Cathleen Frühauf**
Deutscher Wetterdienst (DWD)
Zentrum für Agrarmeteorologische Forschung
Braunschweig
- Prof. Andreas Gattinger**
Justus-Liebig-Universität Gießen
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II –
Ökologischer Landbau
Gießen
- Dr. Sebastian Gayler**
Universität Hohenheim
Institut für Bodenkunde und Standortslehre
Stuttgart
- Dr. Kerstin Grant**
Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg
(LAZBW)
Fachbereich Grünland, Futterbau, Futterkonservierung
Aulendorf
- Dr. Jan Grenz**
Bernere Fachhochschule BFH
Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissen-
schaften HAFL
Zollikofen, Schweiz
- Dr. Jürgen Grocholl**
Landwirtschaftskammer Niedersachsen
Uelzen
- Prof. Dr. Anna Häring**
Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde
(HNE)
Fachbereich Politik und Märkte in der Agrar- und
Ernährungswirtschaft
Eberswalde
- Dr. Florian Heinlein**
Helmholtz Zentrum München
Institut für Biochemische Pflanzenpathologie
München
- Sebastian Ineichen**
Bernere Fachhochschule BFH
Hochschule für Agrar-, Forst- und
Lebensmittelwissenschaften HAFL
Zollikofen, Schweiz
- Dr. Joachim Ingwersen**
Universität Hohenheim
Institut für Bodenkunde und Standortslehre
Stuttgart
- Prof. Dr. Folkhard Isermeyer**
Thünen-Institut
Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume,
Wald und Fischerei
Präsident
Braunschweig
- Dr. Christian Klein**
Helmholtz Zentrum München
Institut für Biochemische Pflanzenpathologie
München
- Tamara Köke**
Bernere Fachhochschule BFH
Hochschule für Agrar-, Forst- und
Lebensmittelwissenschaften HAFL
Zollikofen, Schweiz
- Martin Kraft**
Thünen-Institut für Agrartechnologie
Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume,
Wald und Fischerei
Braunschweig
- Dr. Pascal Kremer**
Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz
Mainz
- Dr. Sandra Kregel**
Julius Kühn-Institut (JKI)
Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Institut für Strategien und Folgenabschätzung
Kleinmachnow
- Moritz Laub**
Universität Hohenheim
Hans-Ruthenberg-Institut
Stuttgart
- Kilian Loesch**
Landwirtschaftskammer Niedersachsen
Oldenburg
- Prof. Dr. Hermann Lotze-Campen**
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)
Forschungsabteilung II - Klimaresilienz -
Klimawirkungen und Anpassungsoptionen
Potsdam
- Dominic Meinardi**
Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften
OG Nachhaltige Bewässerung
Suderburg

Andreas Meyer

Landwirtschaftskammer Niedersachsen
Beratung Pflanzenbau, Beregnung
Hannover

Dr. Sandra Münzel

Universität Potsdam
Institut für Geowissenschaften
Potsdam-Golm

Prof. Dr. Frank Ordon

Julius Kühn-Institut (JKI)
Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Präsident
Quedlinburg

Lutz Otto

Universität Hohenheim
Hans-Ruthenberg-Institut
Stuttgart

Wolfgang Palme

Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt
für Gartenbau Schönbrunn und
Österreichische Bundesgärten (HBLFA)
Schönbrunn, Wien, Österreich

Marcel Phieler

Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (LLH)
Fachgebiet Ökologischer Landbau
Marburg

Dr. Arne Poyda

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
Kiel

Prof. Dr. Eckart Priesack

Helmholtz Zentrum München
Institut für Biochemische Pflanzenpathologie
München

Jürgen Recknagel

Landwirtschaftliches Technologiezentrum
Augustenberg, Außenstelle Emmendingen-Hochburg
am Kompetenzzentrum Ökologischer Landbau
Baden-Württemberg (KÖLBW)
Emmendingen

Dr. Beat Reidy

Berner Fachhochschule BFH
Hochschule für Agrar-, Forst- und
Lebensmittelwissenschaften HAFL
Zollikofen, Schweiz

Angela Riedel

Landwirtschaftskammer Niedersachsen
Beratung Pflanzenbau, Beregnung
Hannover

Prof. Dr.-Ing. Klaus Röttcher

Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften
Fakultät Bau-Wasser-Boden
Suderburg

Harald Schmid

Technische Universität München (TUM)
Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und
Pflanzenbausysteme
Freising

Sabrina Scholz

Hochschule für nachhaltige Entwicklung
Eberswalde (HNE)
Fachbereich Politik und Märkte in der Agrar- und
Ernährungswirtschaft
Eberswalde

Johanna Schröder

Thünen-Institut für Agrartechnologie
Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume,
Wald und Fischerei
Braunschweig

Sabine Sommer

Bodensee-Stiftung
Radolfzell

Andreas Stämpfli

Aaremilch AG
Lyss, Schweiz

Peter Stötzel

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Institut für Landtechnik und Tierhaltung
Poing-Grub

Prof. Dr. Thilo Streck

Universität Hohenheim
Institut für Bodenkunde und Standortslehre
Stuttgart

Prof. Dr. Hermann H. Swalve

Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg
Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaft
Halle/Saale

Dr. Michaela Clarissa Theurl

Forschungsinstitut für Biologischen Landbau FiBL
Wien, Österreich

Francisco Tijerino
Universität Hohenheim
Hans-Ruthenberg-Institut
Stuttgart

Dr. Christian Troost
Universität Hohenheim
Hans-Ruthenberg-Institut
Stuttgart

Patrick Trötschler
Bodensee-Stiftung
Radolfzell

Carolina Wackerhagen
Bodensee-Stiftung
Radolfzell

Frank Wagener
Hochschule Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld
Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS)
Birkenfeld

Dr. Kirsten Warrach-Sagi
Universität Hohenheim
Institut für Physik und Meteorologie
Stuttgart

Jochen Georg Wiecha
Technische Universität München (TUM)
Wissenschaftszentrum Weihenstephan
Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik
Freising

Johannes Zahner
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Institut für Landtechnik und Tierhaltung
Poing-Grub

Kathrin Ziegler
Technische Universität München (TUM)
Wissenschaftszentrum Weihenstephan
Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik
Freising

Andreas Ziermann
Bodensee-Stiftung
Radolfzell