

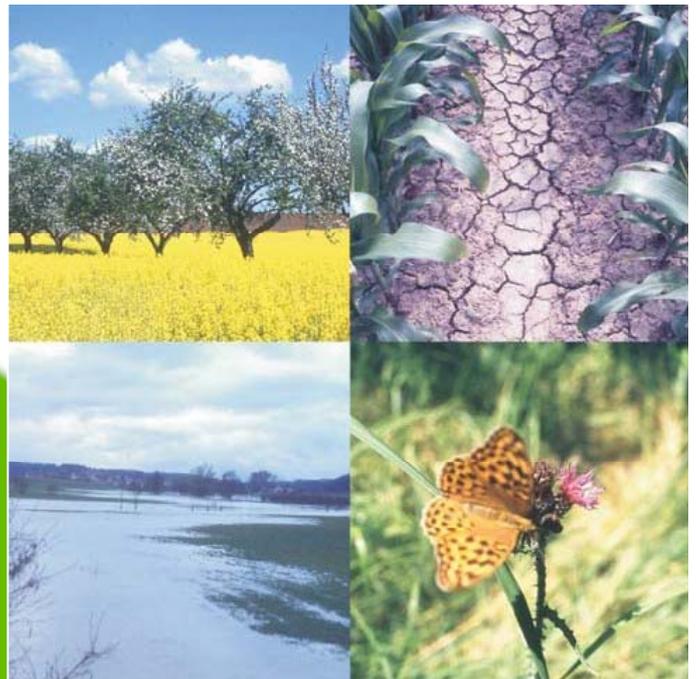


**LfL**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

# Klimaänderung und Landwirtschaft - Bestandsaufnahme und Handlungsstrategien für Bayern

## 6. Kulturlandschaftstag



**Schriftenreihe**

13  
2007  
ISSN 1611-4159

**Impressum:**

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)  
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan  
Internet: <http://www.LfL.bayern.de>

Redaktion: Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz  
Vöttinger Str. 38, 85354 Freising-Weihenstephan  
E-Mail: [Agrarökologie@LfL.bayern.de](mailto:Agrarökologie@LfL.bayern.de)  
Tel.: 08161/71-3640

2.erweiterte Auflage: Dezember / 2007

Druck: Lerchl Druck, 85354 Freising

Schutzgebühr: 15.-- €



**LfL**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

**Klimaänderung und  
Landwirtschaft -  
Bestandsaufnahme und Handlungs-  
strategien für Bayern**

**6. Kulturlandschaftstag  
am 19.11.2007  
in Freising-Weißenstephan**

**Tagungsband**



<b>Inhaltsverzeichnis</b>		Seite
<b>1</b>	<b>Eröffnung und Einführung .....</b>	<b>11</b>
1.1	Auswirkungen auf die Landwirtschaft .....	11
1.2	Handlungsstrategien entwickeln – warum?.....	12
1.3	Land- und Forstwirtschaft können zur Begrenzung des Klimawandels beitragen .....	13
1.4	Bayern handelt entschlossen .....	13
1.5	Klimaprogramm Bayern 2020.....	14
1.5.1	Maßnahmen des Klimaprogramms zur Verminderung von Treibhausgasemissionen.....	14
1.5.2	Maßnahmen des Klimaprogramms für eine Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel.....	15
1.6	Schluss.....	16
<b>2</b>	<b>Klimaprognose 2050.....</b>	<b>17</b>
2.1	Einleitung .....	17
2.2	Anzeichen für den Klimawandel .....	17
2.2.1	Temperatur .....	18
2.2.2	Niederschlag.....	23
2.2.3	Extreme Ereignisse.....	25
2.3	Künftige Entwicklung .....	25
2.3.1	Klimamodellsimulationen .....	25
2.3.1.1	Was das Klima im Innersten zusammenhält .....	25
2.3.1.2	Klimamodelle .....	26
2.3.2	Prognosen für Europa.....	29
2.3.3	Prognosen für Bayern.....	30
2.3.3.1	KLIWA.....	30
2.3.3.2	Weitere Vorhaben des Deutschen Wetterdienstes und erste Ergebnisse aktueller regionaler Klimamodelle.....	36
2.4	Zusammenfassung.....	37
<b>3</b>	<b>Auswirkungen und Strategien für Landwirtschaft und Umwelt – aus der Sicht der Pflanzenernährung und des Gewässerschutzes.....</b>	<b>39</b>
3.1	Zusammenfassung.....	39
3.2	Problemstellung.....	40
3.3	Anforderungen an neue Düngesysteme.....	41
3.4	Ackerbau .....	42
3.4.1	Strategien bei Kulturen mit 1 bis 2 Düngeterminen im Jahr.....	42

3.4.2	Strategien bei Kulturen mit mehreren Düngeterminen im Jahr .....	42
3.4.3	Strategien aus Sicht des Grundwasserschutzes .....	45
3.4.4	Strategien für die organische Düngung .....	48
3.5	Grünland .....	49
3.5.1	Künftige Düngungsstrategien für das bayerische Grünland in Gunstlagen .....	49
3.5.2	Künftige Düngungsstrategien in trockeneren Lagen (Nordbayern) .....	50
3.5.3	Künftige Strategien der Güllewirtschaft im Grünland unter besonderer Berücksichtigung der N-Ausnutzung .....	52
3.5.4	Künftige Strategien der Güllewirtschaft im Grünland unter besonderer Berücksichtigung des Oberflächengewässerschutzes bei prognostizierten zunehmenden Starkregenereignisse .....	53
3.5.5	Grundwasserschutz .....	54
3.6	Literatur .....	55
<b>4</b>	<b>Auswirkungen und Strategien für Landwirtschaft und Umwelt – aus der Sicht des Pflanzenschutzes .....</b>	<b>57</b>
4.1	Einleitung .....	57
4.2	Mögliche Auswirkungen einer Klimaänderung auf Schaderreger in der Landwirtschaft .....	58
4.2.1	Unkräuter und Ungräser .....	58
4.2.1.1	Verschiebung des bestehenden Artenspektrums .....	58
4.2.1.2	Neophyten mit Schadpotenzial in der Landwirtschaft .....	59
4.2.1.3	Weitere Auswirkungen der Klimaänderung auf Unkräuter und Ungräser .....	60
4.2.2	Tierische Schaderreger .....	61
4.2.2.1	Auswirkungen in landwirtschaftlichen Kulturen .....	61
4.2.2.2	Neozoen mit Schadpotenzial in der Landwirtschaft .....	63
4.2.2.3	Weitere Auswirkungen der Klimaänderung auf tierische Schaderreger .....	64
4.2.3	Krankheiten .....	64
4.2.3.1	Krankheiten mit abnehmender Bedeutung durch die Klimaänderung .....	64
4.2.3.2	Krankheiten mit zunehmender Bedeutung durch die Klimaänderung .....	65
4.3	Nichtparasitäre, witterungsbedingte Pflanzenschäden .....	66
4.4	Mögliche Auswirkungen auf die Wirksamkeit von Pflanzenschutzmaßnahmen .....	67
4.5	Handlungsstrategien für die Landwirtschaft .....	68
4.6	Schlussfolgerungen .....	69
4.7	Literaturverzeichnis .....	70
<b>5</b>	<b>Auswirkungen und Strategien für Landwirtschaft und Umwelt – aus der Sicht der Bodenbearbeitung .....</b>	<b>71</b>

5.1	Zusammenfassung .....	71
5.2	Einleitung und Problematik .....	72
5.3	Szenarien .....	72
5.3.1	Temperaturanstieg – Verlängerung der Vegetationszeit .....	72
5.3.2	Witterungsextreme im Blick auf Bodenbearbeitung .....	74
5.4	Optimierung von Krume und Unterboden .....	75
5.4.1	Bodenwasserhaushalt und Witterungsextreme .....	75
5.4.2	Speicher- und Infiltrationsvermögen verschiedener Böden .....	75
5.4.3	Infiltrations- und Speichervermögen in verschieden bearbeiteten Krumen .....	76
5.4.4	Organische Bodensubstanz bei verschiedenen Bearbeitungssystemen .....	77
5.4.5	Aggregatstabilität und Makroporen .....	78
5.5	Optimierung der Bodenbearbeitung im Rahmen der guten fachlichen Praxis .....	79
5.5.1	Verfahren der Bodenbearbeitung und Mulchwirtschaft .....	80
5.5.2	Optimierungsansätze zur Bestandesetablierung .....	82
5.5.3	Trends in der Geräteentwicklung .....	84
5.6	Schlussfolgerungen und Ausblick .....	86
5.7	Literatur .....	86
<b>6</b>	<b>Auswirkungen und Strategien für Landwirtschaft und Umwelt – aus der Sicht der Vegetationskunde .....</b>	<b>87</b>
6.1	Einleitung .....	87
6.2	Reaktion der Vegetation auf Klimaänderungen .....	87
6.3	Klimainduzierte Veränderungen in der Vegetation der landwirtschaftlichen Nutzflächen .....	89
6.4	Naturschutz und Biodiversität .....	90
6.5	Aufgaben für die Forschung .....	91
6.6	Literatur .....	91
<b>7</b>	<b>Auswirkungen und Strategien für die Grünlandwirtschaft unter dem Aspekt gegenwärtiger Rahmenbedingungen und ertragsphysiologischer Parameter .....</b>	<b>93</b>
7.1	Einleitung .....	93
7.2	Status quo der Bayerischen Grünlandwirtschaft .....	94
7.3	Wasser und Temperatur als Einflussfaktoren für die Ertragsphysiologie des Grünlands .....	95
7.4	Effekte von ansteigendem CO <sub>2</sub> -Gehalt der Luft, erhöhten Temperaturen, sich ändernden Niederschlagsverhältnissen und deren Wechselwirkungen auf das Grünland (bisheriger Kenntnisstand) .....	97

7.5	Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf Strategien der bayerischen Grünlandwirtschaft.....	99
7.6	Wie kann der Landwirt reagieren?.....	101
7.7	Fazit.....	101
7.8	Literatur.....	102
<b>8</b>	<b>Auswirkungen und Strategien für Landwirtschaft und Umwelt – aus der Sicht des Erosionsschutzes.....</b>	<b>105</b>
8.1	Zusammenfassung.....	105
8.2	Auswirkungen und Strategien für Landwirtschaft und Umwelt aus der Sicht des Erosionsschutzes.....	105
8.3	Vorgehen.....	106
8.3.1	Oberflächenabfluss- und Regenerositätsfaktor im Jahr 2050 ( $R_{2050}$ ).....	107
8.3.2	Bodenbedeckungs- und Bodenbearbeitungsfaktor im Jahr 2050 ( $C_{2050}$ ).....	107
8.3.2.1	Zeitliche Verschiebung der Kulturperioden.....	107
8.3.2.2	Veränderung der relativen Jahres-R-Verteilung.....	109
8.3.2.3	Ermittlung von $C_{2050}$ .....	111
8.3.3	Veränderung des Bodenabtrags $A_{2050}$ aufgrund der für 2050 prognostizierten direkten Klimaeinflüsse.....	112
8.4	Ergebnis und Diskussion.....	113
8.4.1	$R_{2050}$ .....	113
8.4.2	$C_{2050}$ .....	114
8.4.3	Bodenabtrag.....	117
8.5	Strategien gegen zunehmenden Bodenabtrag.....	118
8.6	Danksagung.....	120
8.7	Literatur.....	120
<b>9</b>	<b>Auswirkungen und Strategien für Landwirtschaft und Umwelt – aus der Sicht der Agrarfauna.....</b>	<b>121</b>
9.1	Einleitung.....	121
9.2	Grundlagen der Faunenbildung.....	122
9.2.1	Ökologische Faktoren.....	122
9.2.2	Geografische Grundlagen.....	123
9.2.3	Anthropogener Einfluss.....	125
9.3	Reaktionen der Agrarfauna auf den Klimawandel.....	126
9.3.1	Direkte Reaktionen.....	126
9.3.1.1	Enchytraeiden.....	126
9.3.1.2	Lumbriciden.....	127

9.3.1.3	Laufkäfer .....	128
9.3.1.4	Heuschrecken .....	128
9.3.1.5	Schmetterlinge.....	129
9.3.1.6	Vögel .....	129
9.3.2	Reaktionen auf angepasste Bewirtschaftungsstrategien.....	130
9.3.2.1	Konservierende Bodenbearbeitung .....	130
9.3.2.2	Ökologischer Landbau .....	132
9.3.2.3	Anbau von Energiepflanzen .....	134
9.4	Zusammenfassung .....	135
9.5	Literatur .....	136
<b>10</b>	<b>Auswirkungen und Strategien für Landwirtschaft und Umwelt – aus der Sicht der Humuswirtschaft.....</b>	<b>138</b>
<b>11</b>	<b>Adressenverzeichnis der Referenten .....</b>	<b>139</b>



# 1 Eröffnung und Einführung

**Josef Miller**

Bayerischer Staatsminister für Landwirtschaft und Forsten



Ich freue mich, Sie heute zum 6. Kulturlandschaftstag der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft begrüßen zu können. Mit dem Motto „Klimaänderung und Landwirtschaft – Bestandsaufnahme und Handlungsstrategien für Bayern“ haben Sie ein hochaktuelles Tagungsthema gewählt, das uns künftig stark beschäftigen wird.

Am 12. April 2007 habe ich in Nürnberg mit dem Klimasymposium „Klimawandel – Risiken und Chancen für die bayerische Land- und Forstwirtschaft“ diesen Diskussionsprozess angestoßen.

Der Klimawandel ist eine der größten Herausforderungen für unsere Gesellschaft. Bei einer Erwärmung von deutlich mehr als 2 °C werden von den Experten dramatische Folgen befürchtet. Verhindern wird sich der Klimawandel auch nicht mehr lassen. Dies zeigen die Ergebnisse des jüngsten UNO-Berichts zum Klimawandel. Allein das bisherige Emissionsniveau wird bereits einen globalen Temperaturanstieg um 0,6 °C bis zum Jahr 2100 verursachen. Tatsächlich steigen die Emissionen aber weiter. Ein „günstiges Emissionsszenario“ lässt bis zum Jahr 2100 etwa 1,8 °C Temperaturanstieg erwarten, ungünstige Szenarien deutlich mehr.

Es ist eine der zentralen Aufgaben unserer Gesellschaft, den Klimawandel so zu begrenzen, dass die Folgen insgesamt noch beherrschbar bleiben. Dazu sind ganzheitliche Anstrengungen notwendig.

## 1.1 Auswirkungen auf die Landwirtschaft

Mögliche Auswirkungen, wie Stürme, Starkregen, anhaltende Trockenheit oder Schädlinge, werden zuallererst die Flächennutzer zu spüren bekommen. Die Werkstatt der Land- und Forstwirte befindet sich in der Natur und ist Teil der Natur selbst. Unsere Land- und Forstwirte, die über 80 % der Flächen in Bayern nutzen, werden somit die vom Klimawandel mit am meisten Betroffenen sein.

Durch den Klimawandel sind erhebliche negative Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Leistungsfähigkeit des Bodens, die Anbaueignung und Ertragsfähigkeit der landwirtschaftlichen Kulturen sowie Krankheits- und Schädlingsdruck und nicht zuletzt die Qualität der Produkte möglich.

Allein im Pflanzenbau werden Produktionswertverluste mit bis zu 500 Mio. € für Bayern veranschlagt. Noch gut in Erinnerung sind uns die Jahre 2003 und 2006. So haben z. B. im Sommer 2006 anhaltende Hitzeperioden gefolgt von ungewöhnlich niederschlagsreichen Phasen zur Ernte die Erträge bei den Ackerkulturen (im Vergleich zu den günstigen Ernteprognosen) stark vermindert und zusätzliche Qualitätsverluste verursacht. Ähnliche Si-

tuationen hat es zwar immer gegeben, mit solchen Wetterextremen muss aber nach Aussage der Experten in Zukunft verstärkt gerechnet werden.

Neben den witterungsbedingten Schäden, wie z. B. „Sonnenbrandflecken“ bei Getreide, ist im Pflanzenbau mit einer zusätzlichen Belastung durch ein verändertes Schaderregeraufkommen zu rechnen. Am Beispiel des Maiszünslers ist bereits klar zu erkennen, dass die Klimaveränderung zu einer starken Ausbreitung von bisher bei uns weniger bekannten oder neu auftretenden Pflanzenschädlingen führt.

Aber auch die Leistungsfähigkeit in der tierischen Produktion ist gefährdet. Die durch den Temperaturanstieg begünstigte Zunahme von Schadinsekten kann neben den direkten Leistungseinbußen zu einem verstärkten Krankheitsauftreten führen. So können wir bereits heute eine Zunahme bei den von Insekten übertragenen Krankheitserregern beobachten. Ein Beispiel dafür ist die Blauzungkrankheit bei Schafen, Ziegen und Rindern, die über Mücken übertragen wird. Diese Viruskrankheit konnte sich aufgrund der Klimaveränderung von Afrika ausgehend bereits bis nach Nordeuropa ausbreiten.

Auch Kostensteigerungen für die notwendige Bewässerung von Dauer- und Sonderkulturen sind zu erwarten, soweit überhaupt noch ausreichende Wasserkapazitäten zur Verfügung stehen.

Weinbau wird in Bayern als einzige flächenmäßig große Kultur neben einigen kleinen Kulturen im Gartenbau profitieren können. Denn der Weinstock kommt als Tiefwurzler mit der Klimaerwärmung und Trockenheit zurecht. Darüber hinaus könnten auch neue Rebsorten in den Anbau einbezogen werden, die bisher nur im Mittelmeerraum kultiviert wurden, z. B. „schwere Rotweine“.

### **1.2 Handlungsstrategien entwickeln – warum?**

Land- und Forstwirtschaft stehen hier vor großen Herausforderungen. Dazu kommt, dass die Bevölkerung weltweit jährlich um rd. 80 Mio. Menschen zunimmt und damit auch der Bedarf an Lebensmitteln. Der Energiebedarf wächst ständig, die fossilen Ressourcen werden aber knapper. Der Beitrag der Landwirtschaft zur Energieversorgung erhält deshalb weltweit wachsende Bedeutung. Gleichzeitig sind nur 11 % der Erdoberfläche für die nachhaltige Erzeugung von Lebensmitteln und Agrarrohstoffen geeignet.

Der Land- und Forstwirtschaft kommt angesichts der drängenden globalen Herausforderungen eine Schlüsselrolle zu! Zu den wichtigsten Zukunftsaufgaben der Land- und Forstwirtschaft zählen:

1. die Produktion von Nahrungsmitteln,
2. der Schutz der natürlichen Ressourcen (Schutz von Boden, Wasser und Luft, Erhaltung der Artenvielfalt),
3. die Produktion nachwachsender Rohstoffe und
4. der wichtige Beitrag zum Klimaschutz.

Und all das soll umweltfreundlich, nachhaltig und wirtschaftlich erfolgen.

Angesichts des Klimawandels besteht die Notwendigkeit, geeignete Anpassungsstrategien zu entwickeln, um auch den Herausforderungen von morgen begegnen zu können. Viele Anpassungsmaßnahmen brauchen einen zeitlichen Vorlauf und umfangreiche Forschungs- und Versuchsanstellungen. Umso mehr freut es mich heute, dass in Fortsetzung meiner

Auftaktveranstaltung in Nürnberg heute zusammen mit der Landesanstalt für Landwirtschaft mögliche Handlungsstrategien für den Ackerbau diskutiert werden können.

### **1.3 Land- und Forstwirtschaft können zur Begrenzung des Klimawandels beitragen**

Die Land- und Forstwirtschaft bewirtschaftet einen großen Anteil der Flächen Bayerns. Deshalb ist sie zum einen selbst maßgeblich vom Klimawandel betroffen. Zum anderen kann sie wie kein anderer Bereich einen aktiven Beitrag zum Klimaschutz leisten und regenerative Energien zur Verfügung stellen.

### **1.4 Bayern handelt entschlossen**

Bayern hat das Thema Klimaschutz und regenerative Energien schon vor langem in der Politik aufgegriffen. Beginnend mit den Forschungsarbeiten an der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik in Weihenstephan ab 1973 verfolgt Bayern einen konsequenten Weg zur verstärkten Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Alle bestehenden Aktivitäten sind bereits Maßnahmen zum aktiven Klimaschutz.

Im Jahr 1998 haben wir den Beschluss zur Errichtung des Kompetenzzentrums für nachwachsende Rohstoffe in Straubing gefasst, das im Jahr 2001 offiziell seinen Betrieb aufnahm. Bis zur Fertigstellung aller Neubauten im Jahr 2008 werden gut 38 Mio. € Investitionen getätigt sein. Dies haben wir dann mit über 34 Mio. € staatlichen Mitteln unterstützt.

Bayern hat bereits beachtliche Erfolge zu verzeichnen. Im Jahr 2003 wurden 4,4 % des Primärenergiebedarfs aus Biomasse bereitgestellt. Dies entspricht einem Öläquivalent von 2,5 Mrd. Liter Heizöl. Dem mittelfristigen Ziel von 5 % sind wir jetzt schon sehr nah. Längerfristig strebe ich eine Verdoppelung des Biomasseeinsatzes bezogen auf das Jahr 2002 an.

Bayern hat bei der energetischen Verwertung von Biomasse in den letzten 15 Jahren viel für den Klimaschutz erreicht. Ausgehend von 92 Mio. t CO<sub>2</sub> Emissionen im Jahr 1998 strebt die Staatsregierung eine Reduktion um 12 Mio. t auf einen Wert von 80 Mio. t im Jahr 2010 an.

Während im Ausgangsjahr 1998 durch die Bioenergienutzung schon rd. 4,8 Mio. t CO<sub>2</sub> vermieden wurden, waren es im Jahr 2003 bereits rd. 6,6 Mio. t CO<sub>2</sub>. Allein durch die Steigerung der energetischen Verwertung von Biomasse konnten also innerhalb von fünf Jahren rd. 1,8 Mio. t CO<sub>2</sub> zusätzlich vermieden werden.

Dies entspricht bereits 15 % der angestrebten CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung. Ich bin zuversichtlich, dass wir in Zukunft sogar beachtliche 20 % erreichen!

Andererseits müssen wir auch sehen, dass auch die Landwirtschaft Treibhausgase freisetzt. Allerdings hat sie in Deutschland ihre Emissionen von Treibhausgasen im Zeitraum von 1990 bis 2004 bereits um insgesamt 18 % verringert.

Diese Entwicklung ist auf strukturelle Änderungen, aber auch auf erhebliche Erfolge durch die Fachberatung, z. B. im Bereich der Düngung, oder den anhaltenden Züchtungsfortschritt in der Rinderhaltung zurückzuführen. Der durch diesen Züchtungsfortschritt bedingte Rückgang der bayerischen Viehzahlen von 1990 bis 2006 führte zu einer Reduzierung der Methanbildung um ca. 28 %.

Wir wollen die Treibhausgasemissionen weiter reduzieren. Gerade die Biogaserzeugung, bei der Gülle verwendet wird, sollte deshalb besser gefördert werden.

## **1.5 Klimaprogramm Bayern 2020**

Die Bayerische Staatsregierung nimmt den drohenden Klimawandel sehr ernst, der nicht nur die Landwirtschaft, sondern viele Bereiche unseres wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Lebens beeinflussen wird. Sie hat deshalb Ende April 2007 beschlossen, das Bayerische Klimaschutzprogramm aus dem Jahr 2000 zu einem „Klimaprogramm Bayern 2020“ fortzuschreiben. Zur Entwicklung des Klimaprogramms 2020 wurde ein Kabinettsausschuss eingesetzt, dem auch ich angehöre. Bei der Entwicklung des Programms habe ich mich intensiv für die Belange der Land- und Forstwirtschaft eingesetzt.

Das besondere am bayerischen Klimaprogramm ist, dass

1. Maßnahmen zur Verminderung von Treibhausgasemissionen und
2. Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel

gleichberechtigt nebeneinander stehen.

### **1.5.1 Maßnahmen des Klimaprogramms zur Verminderung von Treibhausgasemissionen**

Ein erster Schwerpunkt des bayerischen Klimaprogramms 2020 liegt zurecht im Bereich der Verminderung von Treibhausgasemissionen. Rund drei Viertel der deutschen Treibhausgasemissionen sind energiebedingt. Die Erzeugung, Umwandlung und der Verbrauch von Energie sind deshalb zentrale Handlungsfelder.

Die erneuerbaren Energien haben in Bayern einen hohen Stellenwert und tragen mit rd. 8 % deutlich mehr zur Energieversorgung bei als im Bundesdurchschnitt mit rd. 5 %.

Zwei Drittel der erneuerbaren Energien in Bayern stammen aus Biomasse, 30 % stellt die Wasserkraft und den Rest teilen sich Photovoltaik und Windkraft.

Ziel der Bayerischen Staatsregierung ist es nun, diesen Anteil bis 2020 zu verdoppeln. Hierbei wird die Biomasse einen wesentlichen Beitrag liefern. Deshalb werden im Klimaprogramm Bayern 2020 zusätzliche Mittel bereitgestellt werden, um die Nutzung von Biomasse weiter voranzubringen. Neben der finanziellen Unterstützung von Investitionen und der Einrichtung von Leuchtturmprojekten soll auch die Biomasseforschung weiter vorangebracht werden.

Die Bevölkerung setzt zunehmend auf alternative Energieträger. Dabei legt sie großen Wert darauf, dass diese umweltfreundlich und nachhaltig erzeugt wurden. Deshalb werden wir noch mehr auf die Erforschung optimierter Anbau- und Verwertungsmethoden für eine klimaschonende Energieversorgung bei gleichzeitiger Sicherung der Qualität von Gewässern, Boden und Natur setzen. Das Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe in Straubing, die Landesanstalt für Landwirtschaft und die Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft werden hier eng zusammenarbeiten.

Beispiele für laufende Forschungsprojekte sind:

1. die Prüfung von Pflanzen, die bei geringer Wasserversorgung immer noch gute Ertragsleistungen bringen, z. B. bei Hirse, und
2. ein optimiertes Fruchtfolgesystem für den Energiepflanzenanbau.

Von verschiedenen Seiten wird der verstärkte Anbau von nachwachsenden Rohstoffen mittlerweile kritisch gesehen, da eine Flächenkonkurrenz zwischen Nahrungsmittelerzeugung und der Produktion nachwachsender Rohstoffe befürchtet wird. Fakt ist, dass der Rohstoffkostenanteil für wichtige Grundnahrungsmittel nur wenige Prozente ausmacht, z. B. bei Brot weit unter 10 %. Anders sieht es z. B. bei Biokraftstoffen aus. Hier betragen die Rohstoffkosten 50 % und mehr. Steigende Rohstoffkosten schlagen damit beim Preis für Biokraftstoffe viel stärker durch als bei den Nahrungsmittelpreisen. Dies lenkt die Warenströme in die Lebensmittelerzeugung.

Es wurden immer wieder spezielle Umweltstandards für den Anbau nachwachsender Rohstoffe gefordert. Die letzte Agrarministerkonferenz hat die bereits bestehenden fachrechtlichen Vorgaben für den Ackerbau in Deutschland auch als ausreichend für den Anbau nachwachsender Rohstoffe erachtet. Umwelt- und Naturschutz, der Erhalt der Biodiversität, des Landschaftsbilds sowie der Bodenfunktionen werden durch den Anbau nachwachsender Rohstoffe nicht in Frage gestellt. Wir brauchen deshalb keine speziellen zusätzlichen Regelungen! Davon haben wir schon genug! Es muss dasselbe gelten wie bei der Lebensmittelerzeugung. Schließlich müssen die Flächen auch jederzeit wieder für die Lebensmittelerzeugung verwendbar sein!

### **1.5.2 Maßnahmen des Klimaprogramms für eine Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel**

Der zweite Schwerpunkt des Klimaprogramms sind Anpassungsmaßnahmen für die Land- und Forstwirtschaft an den Klimawandel.

Landwirte, Gärtner und Winzer werden wir durch praxisorientierte Forschung und einen schnellen Transfer der Ergebnisse in die Praxis unterstützen.

Dazu habe ich die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) beauftragt, eine Forschungsplattform „Klimawandel und Pflanzenbau“ unter Einbeziehung auch ausländischer Einrichtungen (Israel, Spanien) einzurichten.

Ich sehe folgende wesentliche Anpassungsstrategien.

1. Die LfL wird beispielsweise im Pflanzenbau noch stärker auf Trockenheitstoleranz züchten. Das gewonnene Zuchtmaterial werden wir den heimischen Pflanzenzüchtern bereitstellen und damit insgesamt den Ackerbau in Bayern stärken.
2. Ziel ist es auch, die Effizienz der Ressourcennutzung zu optimieren. Beispielsweise bedeutet ein noch effizienterer Stickstoffdüngereinsatz (z. B. durch precision farming, Düngereinjektion und N-Sensortechnik) weniger N-Düngerbedarf. Letztendlich entfällt dadurch ein Teil des Energieaufwands für die N-Düngererzeugung.
3. Bei der Ertragsicherung ist aber auch der Einfluss erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Atmosphäre zu beachten und wenn möglich zu nutzen. Letztlich könnten damit insbesondere in Gunstlagen auch positive Effekte verbunden sein.
4. An der LfL werden die Pflanzenschutzstrategien für die Landwirtschaft an die Folgen der Klimaveränderung angepasst. Ein Beispiel ist die Erarbeitung von angepassten Bekämpfungs- und Schadschwellen. Angesichts der allgemeinen Bestrebungen den Einsatz von Pflanzenschutzmittel so weit wie möglich zu reduzieren, sind verstärkt alternative Konzepte mit einzubeziehen. So ist zu erwarten, dass die ackerbaulichen Maßnahmen und die Fruchtfolge im Rahmen des Integrierten Pflanzenschutzes wieder eine andere Gewichtung erfahren.

5. Darüber hinaus setzen wir auf energie- und wassereffiziente Mechanisierungs- und Bewässerungsverfahren im Acker-, Wein- und Gartenbau. Denn Wasser ist eine kostbare Ressource.  
So haben wir z. B. im Rahmen der Weinbergsflurbereinigung in Sommerach die Umstellung von der Überkronenberegnung auf die wassersparende Tropfbewässerung gefördert (nur noch ein Viertel des Wasserverbrauchs pro Weinstock). Und durch den Bau von Wasserspeichern wollen wir Regenwasser zurückhalten und damit gleichzeitig einen aktiven Beitrag zum Hochwasserschutz leisten.
6. Andererseits erhöhen die prognostizierten Starkregenereignisse das Risiko der Bodenerosion. Insbesondere in Risikogebieten sind somit konsequente Strategien zur Minderung des Bodenabtrags unerlässlich. Die Identifizierung dieser Risikogebiete erfordert jedoch auch eine Konkretisierung der Datengrundlage bis hin zur Einbeziehung digitaler Geländemodelle.

Im Rahmen von Forschungsprojekten werden wir für die Landwirtschaft wichtige Beratungsaussagen zur Bewirtschaftung entwickeln. Es ist deshalb geplant, einen landwirtschaftlichen Forschungsbetrieb mit dem Schwerpunkt Klimaschutz zu betreiben. Dort sollen dann in den nächsten Jahren insbesondere Fragen zum Pflanzenbau, zum Nährstoff- und Wasserhaushalt, zu Bewässerungssystemen, zur Bodenbearbeitung, zur Erosionsvermeidung und zur Prüfung geeigneter klimastresstoleranter Pflanzen untersucht und die Ergebnisse der Praxis zur Verfügung gestellt werden.

### **1.6 Schluss**

Meine Damen und Herren,

wir müssen und werden die Landwirtschaft bei der Bewältigung der Herausforderung Klimawandel nach Kräften unterstützen, damit sie die elementaren Aufgaben wie die Produktion von Nahrungsmitteln und den Schutz der natürlichen Ressourcen sowie ihren unverzichtbaren Beitrag zum Klimaschutz weiterhin erbringen kann.

Gerade weil viele Maßnahmen einen langen Vorlauf benötigen, müssen wir frühzeitig die richtigen Handlungsstrategien erarbeiten.

Vorbeugen ist besser und billiger als heilen. Wir müssen dazu finanzielle Hilfen gewähren und darauf achten, dass sich Maßnahmen auf Dauer von selbst rechnen.

Ich erhoffe mir von diesem Kulturlandschaftstag neben der Bestandsaufnahme erste wichtige Handlungsstrategien für unsere Landwirte, Gärtner und Winzer.

Ich wünsche der Veranstaltung einen erfolgreichen Verlauf und Ihnen wichtige neue Erkenntnisse.

## 2 Klimaprognose 2050

### **Klimaänderung und Landwirtschaft – Bestandesaufnahme und Handlungsstrategien für Bayern**

**Dr. Harald Maier**

Deutscher Wetterdienst Weihenstephan

#### 2.1 Einleitung

Die Klimaänderung ist bereits seit einiger Zeit ein aktuelles Thema und gilt als eine der großen Herausforderungen für die heutige Menschheit. Zahlreiche Initiativen der Politik und von Nichtregierungsorganisationen sowie weltweite Umfragen zeigen, dass der Klimawandel endlich in das Bewusstsein der Öffentlichkeit gerückt ist.

Der Agrarsektor ist von dem Themenkomplex Klimawandel in vier zentralen Aspekten maßgeblich berührt: Zum einen emittiert die Landwirtschaft klimawirksame Gase, zum zweiten hat die Landwirtschaft als Hauptnutzer der Landschaft großen Einfluss auf das Kohlenstoffspeichervermögen des Landes, trägt als Erzeuger von nachwachsenden Rohstoffen zur Einsparung von fossilen Energieträgern bei und - last but not least – gehört der Agrarsektor zu den Wirtschaftsbereichen, die am meisten vom Klimawandel beeinträchtigt sind, da Klima und Wetter maßgeblich darüber bestimmen, welche land- und forstwirtschaftlichen Kulturen in einem Areal angebaut werden können und welche Erträge und Qualitäten erzielbar sind. In Zeiten wachsender Weltbevölkerung, knapper werdender Nahrungsmittel und steigender Preise für landwirtschaftliche Rohstoffe stellt der Klimawandel gerade für die Landwirtschaft eine große Herausforderung dar.

#### 2.2 Anzeichen für den Klimawandel

Es gibt zahlreiche Indizien für den Klimawandel sowohl auf globaler, als auch auf regionaler räumlicher Ebene. Der jüngste IPCC-Bericht 2007 enthält dazu ausführliche Informationen.

Die chemischen Bestandteile und die physikalischen Eigenschaften der Atmosphäre haben sich seit dem Beginn der Industrialisierung nachweislich verändert. Es liegen verlässliche Untersuchungen (Eis- und Sedimentbohrkerne) über den Anstieg der Konzentration von Treibhausgasen vor. Das Kohlendioxid stieg von 270 ppm auf heute 380 ppm und liegt damit höher als jemals in den letzten 800.000 Jahren zuvor. Die Methankonzentration erhöhte sich von 700 auf 1700 ppb und Distickstoffoxid (Lachgas) von 270 auf 370 ppb.

Die dadurch hervorgerufene Verstärkung des Treibhauseffektes führt zu höheren Temperaturen (s.u.). Neben dieser als indirekten CO<sub>2</sub>-Effekt bezeichneten Wirkung, gibt es eine direkte Wirkung auf das Pflanzenwachstum, denn das Kohlendioxid in der Atmosphäre stellt die einzige Kohlenstoffquelle für Pflanzen dar. Höhere Kohlendioxidgehalte führen bei C<sub>3</sub>-Pflanzen (z.B. Getreide, Zuckerrüben) zu höheren potentiellen Erträgen, sofern die anderen Faktoren, z.B. Nährstoffe und Wasser, in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen. Außerdem nimmt durch ein höheres Kohlendioxidangebot die Wassernutzungseffizienz und Strahlungsnutzungseffizienz zu und die Stressanfälligkeit der Pflanzen c.p. ab. Die spannende Frage lautet: Welcher der beiden Effekte, der direkte oder der indirekte Effekt, überwiegt regional? C<sub>4</sub>-Pflanzen (z.B. Mais, Hirse, Zuckerrohr), die Kohlenstoff

vorfixieren können, profitieren kaum von einem Kohlendioxidgehalt über dem heutigen Niveau.

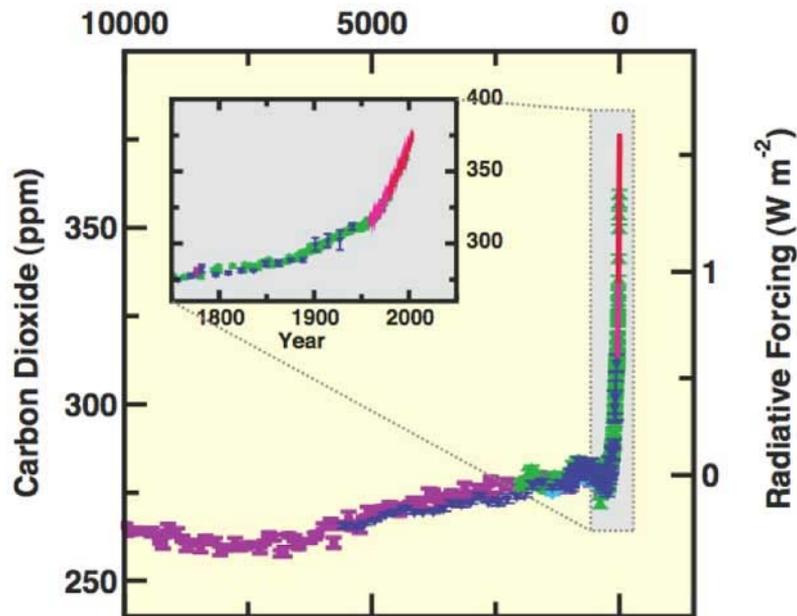


Abb. 1: Der Anstieg der Kohlendioxidkonzentration der Atmosphäre in den letzten 10.000 Jahren, also seit der Sesshaftwerdung des Menschen. Seit Mitte des 19. Jahrhunderts steigt die Kohlendioxidkonzentration immer schneller an.  
Quelle: IPCC-Bericht 2007.

### 2.2.1 Temperatur

Die Verstärkung des Treibhauseffekts durch die Emission von treibhauswirksamen Gasen hat die Lufttemperatur seit Mitte des letzten Jahrhunderts - im Anschluss an den als Kleine Eiszeit bezeichneten Abschnitt zwischen dem 14. und 19. Jahrhundert - global um 0,8 Kelvin ansteigen lassen. Seit Beginn der achtziger Jahre des 20. Jahrhunderts hat sich der Temperaturanstieg deutlich beschleunigt.

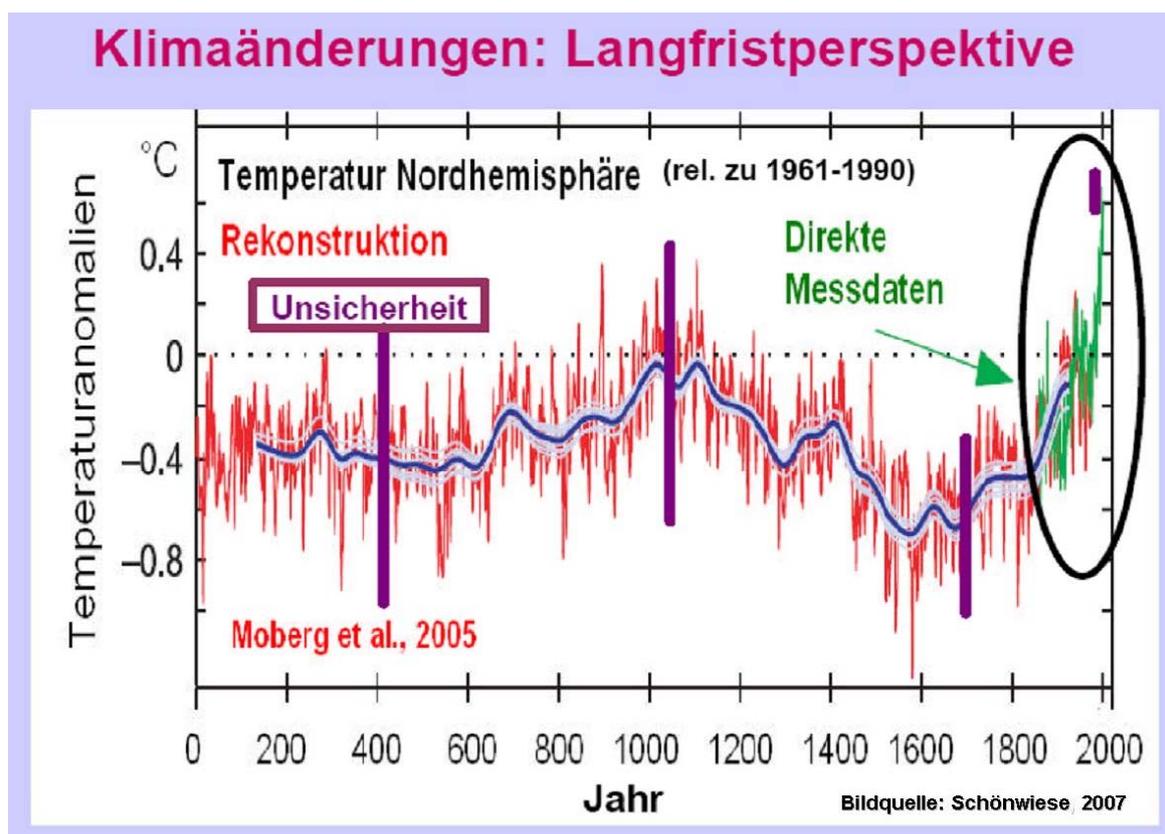


Abb. 2: Die Abweichung der globalen Mitteltemperatur vom klimatologischen Mittel (1961-90) auf der Nordhemisphäre. Quelle: Schönwiese, 2007.

Nicht nur im weltweiten Maßstab auch in Bayern ist die Temperaturerhöhung voll im Gange. Am 24.04.2007 veröffentlichte der Deutsche Wetterdienst eine Studie zum Klima Deutschlands der letzten 106 Jahre, von 1901 bis 2006. In diesem Zeitraum erhöhte sich das Gebietsmittel der Jahrestemperatur über Bayern um 0,84 Grad. Der größte Anstieg liegt im Herbst (September bis November) mit 1,10 Grad, gefolgt vom Sommer (Juni bis August) mit 1,0 Grad. Der geringste Temperaturanstieg ist für den Winter (+ 0,43 Grad) zu verzeichnen. Der Frühling wurde um 0,64 Grad wärmer. Die stärkste Zunahme der Monatsmitteltemperatur weist in Bayern der August (+1,56 K) und Oktober (+ 1,22 K) auf. Abbildung 3 enthält darüber hinaus die Werte für ganz Deutschland. Diese weichen nur geringfügig von den bayerischen Werten ab. Ein weiterer Hinweis auf die allgemeine Erwärmung: Neun der zehn wärmsten Jahre (Gebietsmittel über Bayern) des Untersuchungszeitraums befinden sich in den letzten 16 Jahren (1990-2006). Die neun kältesten Jahre liegen dagegen im Zeitraum 1908 bis 1963.

<b>Ergebnisse für Deutschland und Bayern (DWD, 2007)</b>					
<b>Temperatortrend 1901-2006</b>					
	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr
Deutschland	0,60	1,02	1,12	0,48	0,86
Bayern	0,64	1,10	1,00	0,43	0,84

**Stärkster T-Trend in Bayern: August (+1,56) und Oktober (+1,22 Grad)**

Abb. 3: Der Temperatortrend in Bayern und Deutschland im Zeitraum 1901 bis 2006.  
Quelle: Deutscher Wetterdienst, 2007, [www.dwd.de](http://www.dwd.de).

Die Frage nach der räumlichen Verteilung der Temperaturerhöhung in Bayern ist schwerer zu beantworten, zumal das Bundesland durch eine starke orographische Gliederung gekennzeichnet ist und daher geländeklimatologische Effekte eine nicht unbedeutende Rolle spielen. Folgende Rasterkarte mit einer Auflösung von 1X1 km<sup>2</sup> zeigt den Vergleich der Jahresmitteltemperatur der zwei Klimanormalperioden (30 Jahre) 1941 bis 1970 mit 1971 bis 2000. Fast überall ist mit einer Signifikanz über 95% eine Temperaturzunahme zu beobachten. Nur an wenigen Standorten kam es zu einer leichten Abkühlung im Bereich zwischen 0 und 0,3 Grad. Besonders ausgeprägt ist der Temperaturanstieg im östlichen Alpenvorland, im Norden Unterfrankens sowie im Südwesten Bayerns. Die Temperatur hat sich dort um bis zu 1,5 Grad erhöht. Die stärksten Temperaturzunahmen erfolgten im Winter und waren in Lagen unterhalb von 500 m ü.NN besonders ausgeprägt. Die wärmeren Winter sind auf eine Zunahme der zyklonalen West- und Südwestwetterlagen und die Abnahme der Nord- bis Südostwetterlagen zurückzuführen.

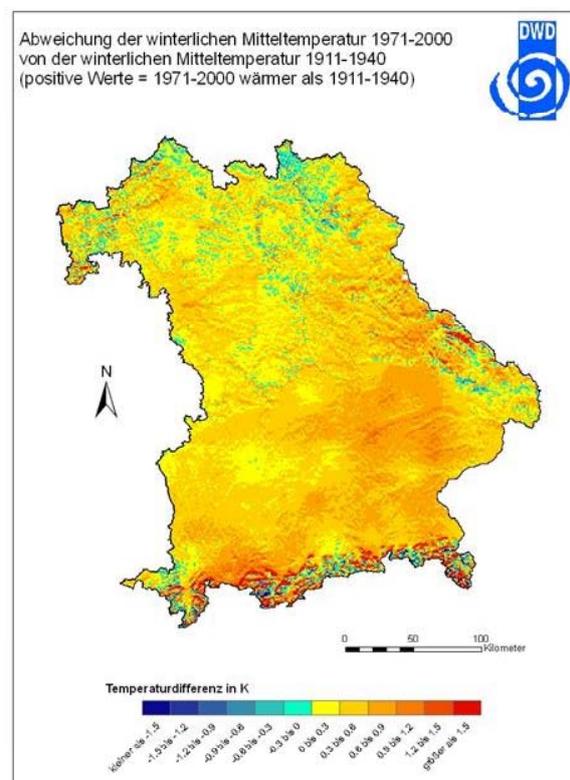
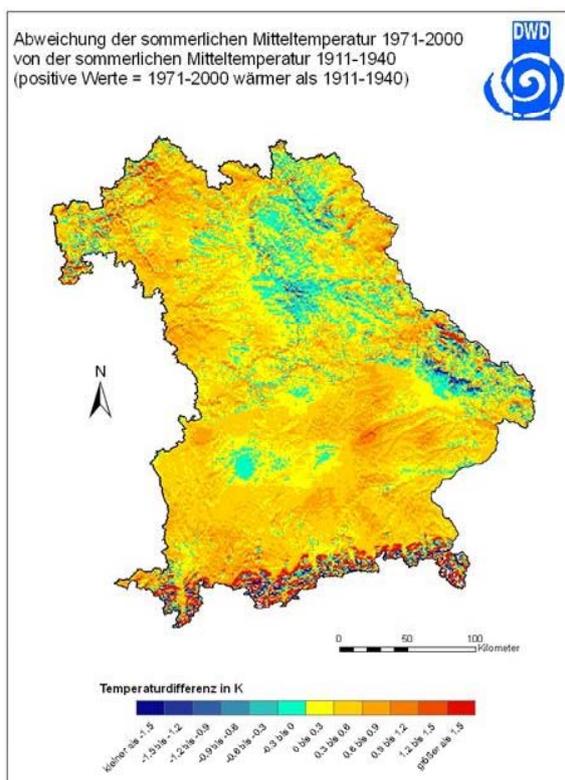
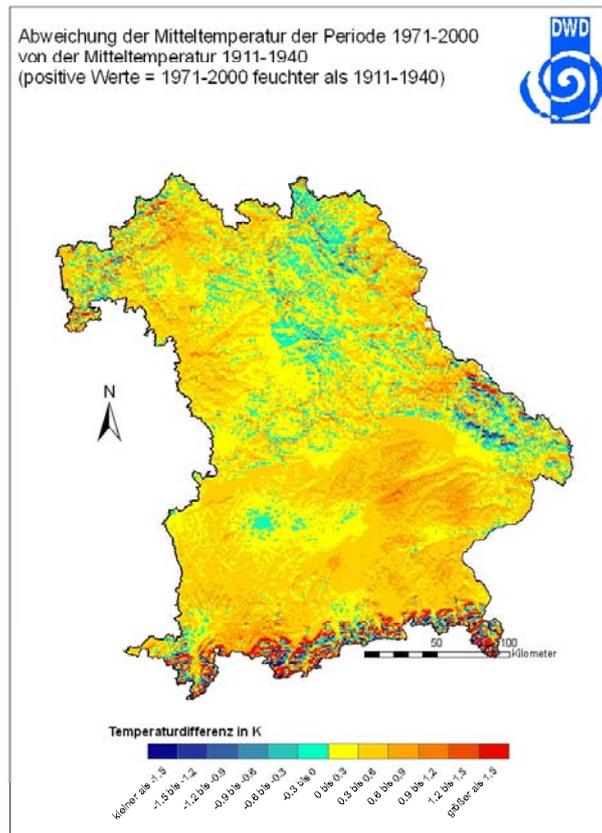


Abb. 4: Abweichung der Mitteltemperaturen zwischen den beiden Klimanormalperioden 1971/2000 und 1911/1940 für das gesamte Jahr, den meteorologischen Sommer und den meteorologischen Winter.

Quelle: Deutscher Wetterdienst, Niederlassung Weihenstephan.

Die Temperaturerhöhung verlief innerhalb der letzten hundert Jahre nicht gleichmäßig. Abbildung 5 zeigt den Temperaturverlauf zweier bayerischer Standorte mit einer Messreihe von 1881 bis 2006, Würzburg und Weißenburg. Die ausgeprägten Temperaturschwankungen von Jahr zu Jahr sind typisch für unsere Klimaregion.

Vom Beginn der Messreihe bis in die vierziger Jahre des letzten Jahrhunderts stieg die Temperatur an, veränderte sich danach bis Anfang der 80er Jahre wenig, ging sogar leicht zurück, um gegen Ende der Messreihe deutlich anzusteigen. Das Temperaturniveau Ende des letzten Jahrhunderts liegt nahe am oberen Rand des Bereichs der Temperaturschwankungen der Jahre davor und damit außerhalb des bisherigen „Rauschens“ der Mitteltemperaturen. Dies unterstreicht die oben erwähnte Signifikanz des Temperaturanstiegs.

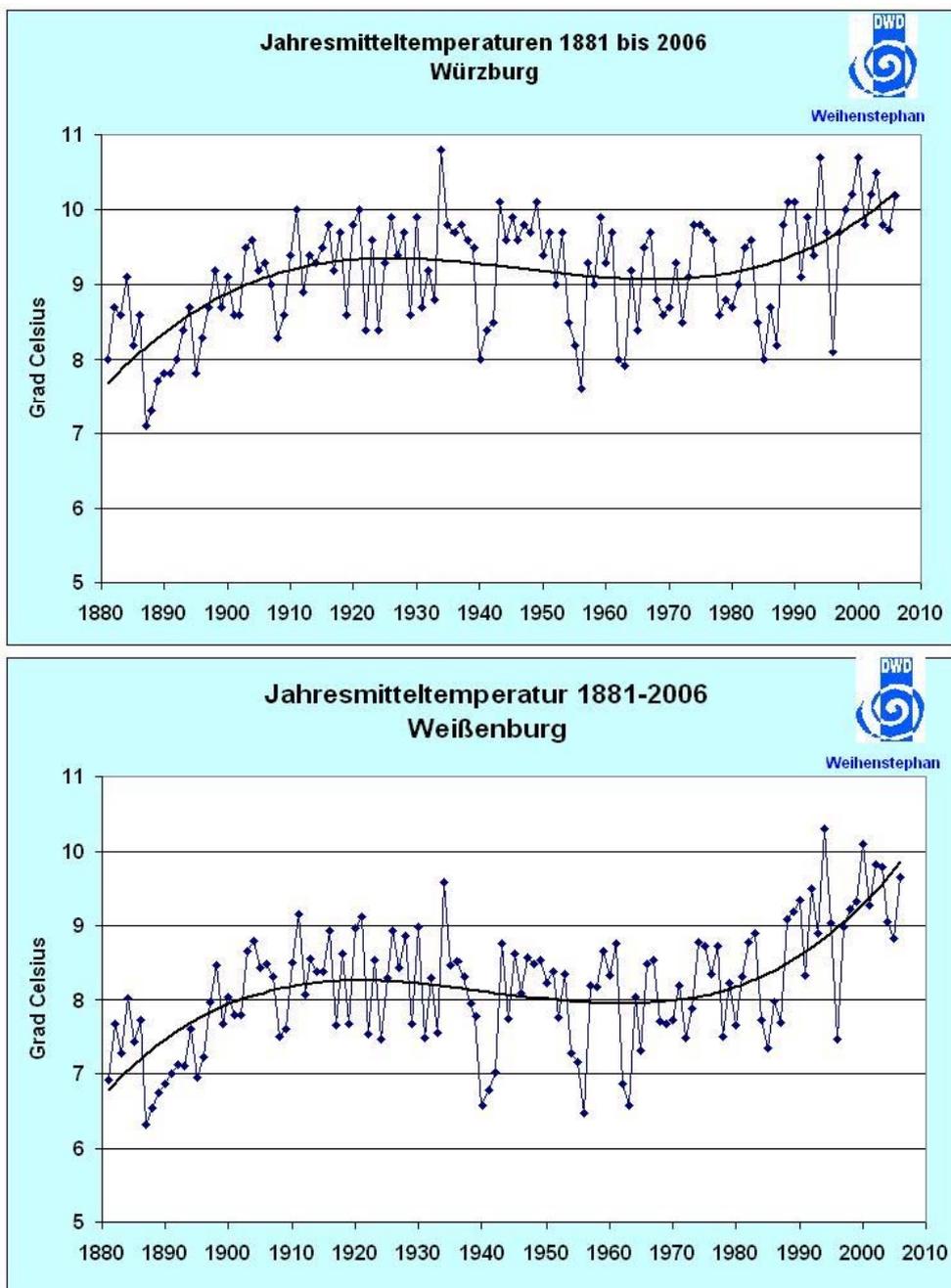


Abb. 5: Der Verlauf der Jahresmitteltemperatur von 1881 bis 2006 in Würzburg und Weißenburg. Eingezeichnet ist der polynomische Trend (Polynom 3. Grades).  
Quelle: Deutscher Wetterdienst, Niederlassung Weihenstephan.

Der Temperaturanstieg lässt sich auch über phänologische Daten nachweisen. In der Phänologie werden die Entwicklungsstadien von Pflanzen dazu verwendet, den Entwicklungsfortschritt der Natur zu beschreiben. Die Pflanzen fungieren also als natürliche Sensoren. An allen rund 300 phänologischen Messstationen in Bayern, die vom Deutschen Wetterdienst betrieben werden, lässt sich z.B. nachweisen, dass der „Frühling immer früher kommt“. Abbildung 6 zeigt den Blühbeginn der Kornelkirsche in Weihenstephan von 1964 bis 2007. Im Mittel blüht die Kornelkirsche heute 3 Wochen früher als noch vor 40 Jahren.

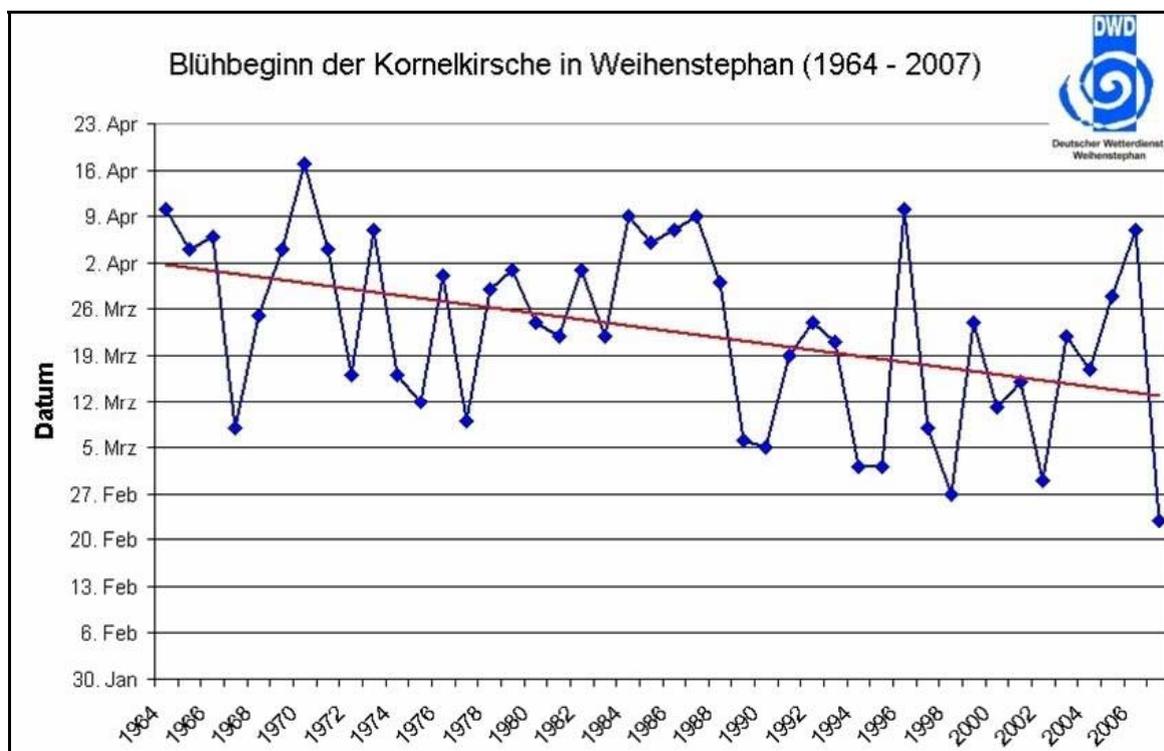


Abb. 6: Blühbeginn der Kornelkirsche von 1964 bis 2007, linearer Trend.  
Quelle: Deutscher Wetterdienst, Niederlassung Weihenstephan, 2007.

### 2.2.2 Niederschlag

Niederschläge lassen sich im Gegensatz zur Temperatur weniger leicht auswerten. Das liegt zum einen an der Vielzahl unterschiedlicher Niederschlagsarten, zum zweiten an der schwierigen messtechnischen Erfassung und zum dritten an der großen räumlichen und zeitlichen Variabilität der Niederschlagshöhe gerade unter der orographischen Gliederung Bayerns.

Für das Gebietsmittel der Winterniederschläge (Dezember bis Februar) ergibt sich ein linearer Trend für eine Niederschlagszunahme im Zeitraum 1901 bis 2006. Die sommerlichen Niederschläge Bayerns weisen keinen linearen Trend auf (Abbildung 7). Allerdings variieren die Niederschläge von Jahr zu Jahr, jahreszeitlich und zwischen den Gebieten sehr stark. Im Mittel über die gesamte Fläche Bayerns beträgt der prozentuale Niederschlagstrend zwischen 1901 und 2006 12,6 Prozent für das Jahr. Für den Sommer (Juni bis August) ergibt sich ein Trend von nur 0,7 Prozent, für den Winter dagegen von stattlichen 23,8 Prozent.

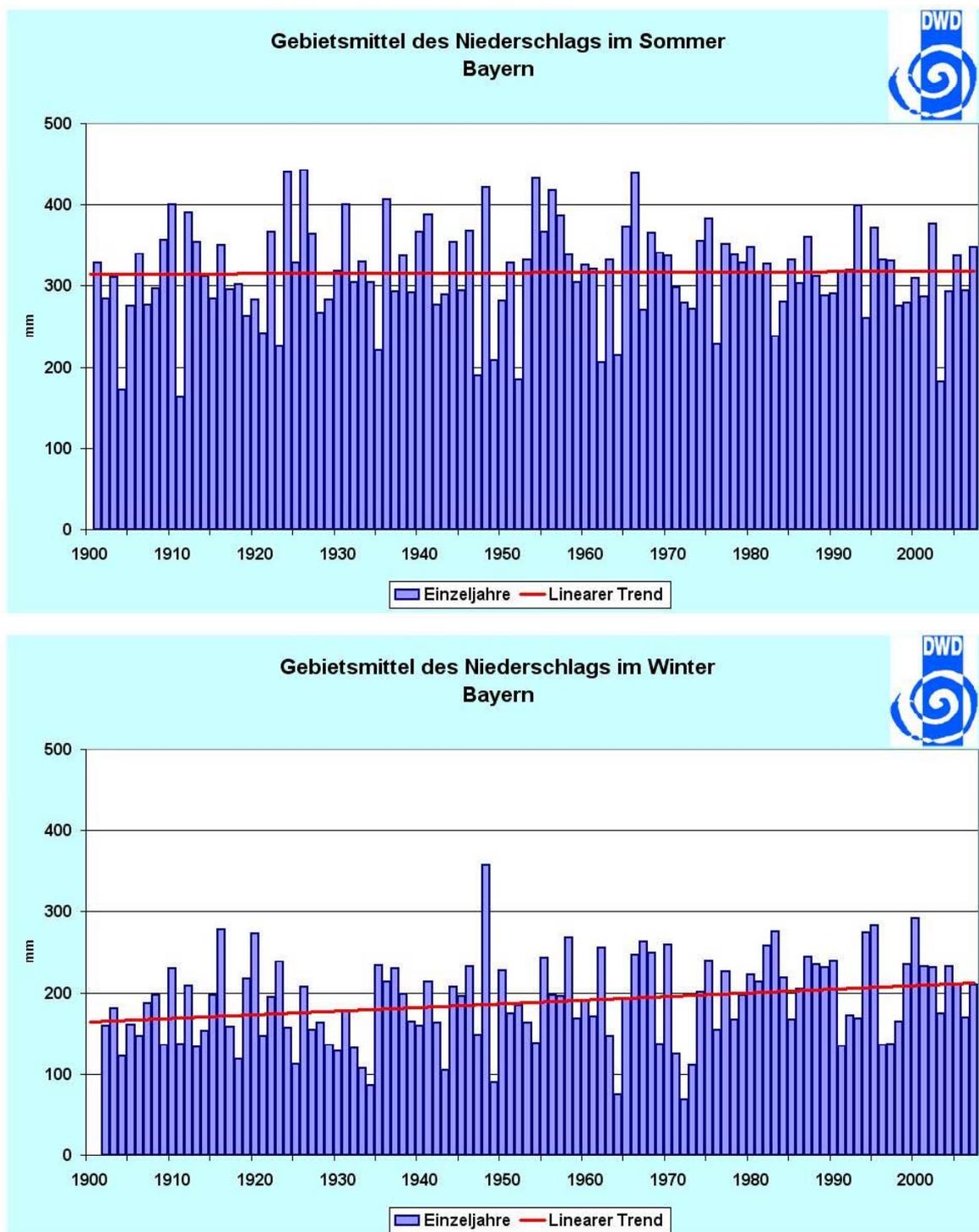


Abb. 7: Gebietsmittel des Niederschlags in Bayern im Sommer (oben) und Winter (unten) mit linearem Trend. Quelle: Deutscher Wetterdienst, 2007.

Wie Untersuchungen des Deutschen Wetterdienstes im Rahmen des KLIWA-Vorhabens ergaben ([www.kliwa.de](http://www.kliwa.de)), verringerte sich im Sommer in den meisten Gebieten der Niederschlag, d.h. die Sommer wurden trockener, v.a. im Gebiet der fränkischen Saale und der Regnitz sowie im Niederbayerischen Hügelland. Winter und Frühling wurden dagegen feuchter, v. a. im Einzugsgebiet der Vils und Rott.

### **2.2.3 Extreme Ereignisse**

Die Veränderung von extremen Ereignissen lässt sich nur sehr schwer nachweisen. Sie sind per definitionem selten. Neuere Untersuchungen (Beck, C., Grieser, J., Rudolf, B., Schönwiese, C.-D., Staeger, T., Trömel, S., 2007: Entwicklung einer Beobachtungsdatengrundlage für DEKLIM und statistische Analyse der Klimavariabilität. Bericht Nr. 6, Inst. Atmosph. Umwelt, Univ. Frankfurt/M.) zeigen, dass die Häufigkeit extrem hoher Temperaturen in den letzten 30 Jahren stark angestiegen ist auf Kosten der Häufigkeit extrem niedriger Temperaturen.

Die Änderung extremer Niederschlagsereignisse lässt sich aufgrund regionaler und jahreszeitlicher Besonderheiten wesentlich schwerer abklären. Nach Untersuchungen des DWD in Zusammenhang mit KLIWA (Albrecht und Dietzer, 2006), ergab sich an 70 Prozent der Messstationen mit sehr langen Messreihen in Süddeutschland eine Zunahme von Starkniederschlägen im Winter und Frühling (Zeitraum 1931-2000). Regionale Schwerpunkte für dieses Langzeitverhalten sind Gebiete von Franken sowie Teile des Bayerischen Waldes. Im Sommer weisen nur knapp 20 Prozent einen signifikanten Trend für die Zunahme von Starkniederschlägen auf. Extreme Nassperioden nahmen ebenfalls im Winter zu, während sie in den Sommermonaten unverändert bis rückläufig waren. Im Vergleich zu den Nassperioden ergaben sich kaum Änderungen bei den Trockenperioden. Alle Untersuchungen zeigten für Bayern sehr große regionale Unterschiede.

## **2.3 Künftige Entwicklung**

### **2.3.1 Klimamodellsimulationen**

#### **2.3.1.1 Was das Klima im Innersten zusammenhält**

An der Änderung des Klimas (Klimadynamik) sind neben der Atmosphäre weitere so genannte Komponenten des Klimasystems, wie die Biosphäre, die Hydrosphäre, die Pedosphäre, die Lithosphäre und die Kryosphäre beteiligt. Sie ist das Ergebnis des Zusammenwirkens äußerer Einflussfaktoren (solare Einstrahlung, Vulkanaktivität, Treibhauseffekt, Landnutzung, ozeanischer Salzgehalt etc.) und innerer Wechselwirkungen zwischen den Komponenten. Diese Wechselwirkungen, auch Feedbacks genannt, können selbstverstärkend oder selbstabschwächend sein.

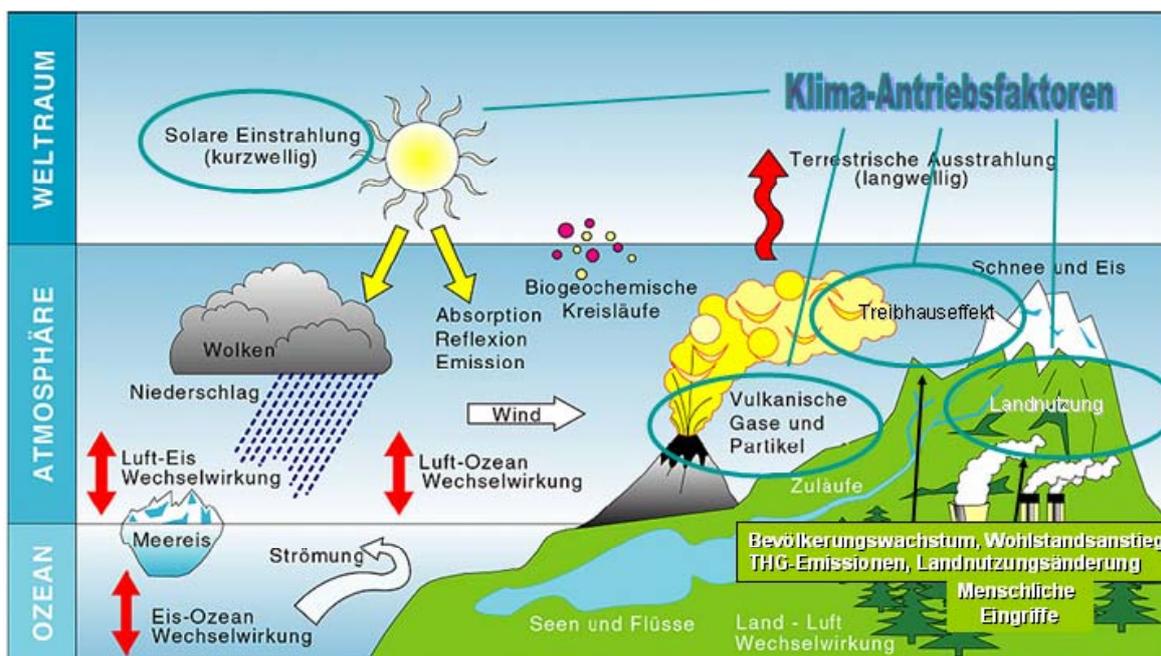


Abb. 8: Das Klimasystem ist das Ergebnis aus äußeren Antriebsfaktoren und innerer Wechselwirkung. Die wichtigsten natürlichen Antriebsfaktoren sind die Sonneneinstrahlung, die Vulkantätigkeit und der natürliche Treibhauseffekt. Der menschliche Einfluss besteht v.a. aus der Verstärkung des Treibhauseffekts (anthropogener Treibhauseffekt) und der Veränderung der Landoberfläche.  
Quelle: verändert nach Umweltbundesamt, [www.uba.de](http://www.uba.de).

Eine Klimaänderung kann durch natürliche Faktoren (Schwankungen der solaren Einstrahlung, Vulkanaktivität) oder durch den Menschen bewirkt werden. Die Veränderung der natürlichen Randbedingungen hat zurzeit einen geringeren Einfluss auf die Klimadynamik als die vom Menschen verursachte Änderung der atmosphärischen Bestandteile (Gase und Staub) und die Änderung der Landoberfläche (Rodung, Versteppung, Wüstenbildung).

Hauptursache für die anthropogene Klimaänderung sind das Bevölkerungswachstum und der Wohlstandsanstieg. Beide Faktoren führen zu einer Zunahme des Energieverbrauchs. Insbesondere durch den Einsatz fossiler Energieträger, aber auch durch die Emission nicht natürlicherweise vorkommender Treibhausgase verstärkt der Mensch den natürlichen Treibhauseffekt. Dieser Eingriff in den Strahlungshaushalt bewirkt insbesondere einen Anstieg der Temperaturen in Bodennähe. Darüber hinaus beeinflusst der Mensch das Klima v.a. durch die Landnutzung, z.B. die Rodung von Waldflächen. Im neuesten Bericht des Weltklimarates (IPCC, 2007) ist der Mensch mit „größter Wahrscheinlichkeit“ Hauptverursacher für den Klimawandel der letzten 150 Jahre.

### 2.3.1.2 Klimamodelle

Die einzige Möglichkeit solche komplexen Zusammenhänge in Ihrer Gesamtheit zu beschreiben sind Klimamodelle. Denn eine zweite Erde steht für Experimente und für die isolierte Langzeitbetrachtung der Wirkung einzelner Faktoren nicht zur Verfügung. Die Vorteile der Klimamodelle liegen auf der Hand: Einflussfaktoren lassen sich isoliert betrachten, das Klima der Vergangenheit lässt sich schneller als in Echtzeit simulieren und Berechnungen für die künftige Klimaentwicklung sind unter verschiedenen Annahmen möglich.

So kann man mit Hilfe von Modellen zeigen, dass sich der Temperaturanstieg nicht allein aus den natürlichen Antriebsfaktoren (Solarzyklus, Vulkanaktivität), erklären lässt (Abbildung 9). Modellergebnisse (graue Kurve) und Messwerte (rote Kurve) weichen besonders ab 1980 stark voneinander ab. Andererseits reicht die alleinige Berücksichtigung des anthropogenen Treibhauseffektes und der Sulfataerosole als Antrieb des Klimasystems nicht aus, um die Temperaturerhöhung zu erklären. Die Modelle berechnen in diesem Fall v.a. zwischen 1940 und 1980 zu niedrige Temperaturen (b). Erst wenn sowohl die natürlichen, als auch die anthropogenen Antriebsfaktoren verwendet werden, ergibt sich eine bemerkenswert gute Übereinstimmung zwischen berechneten und gemessenen Daten (c).

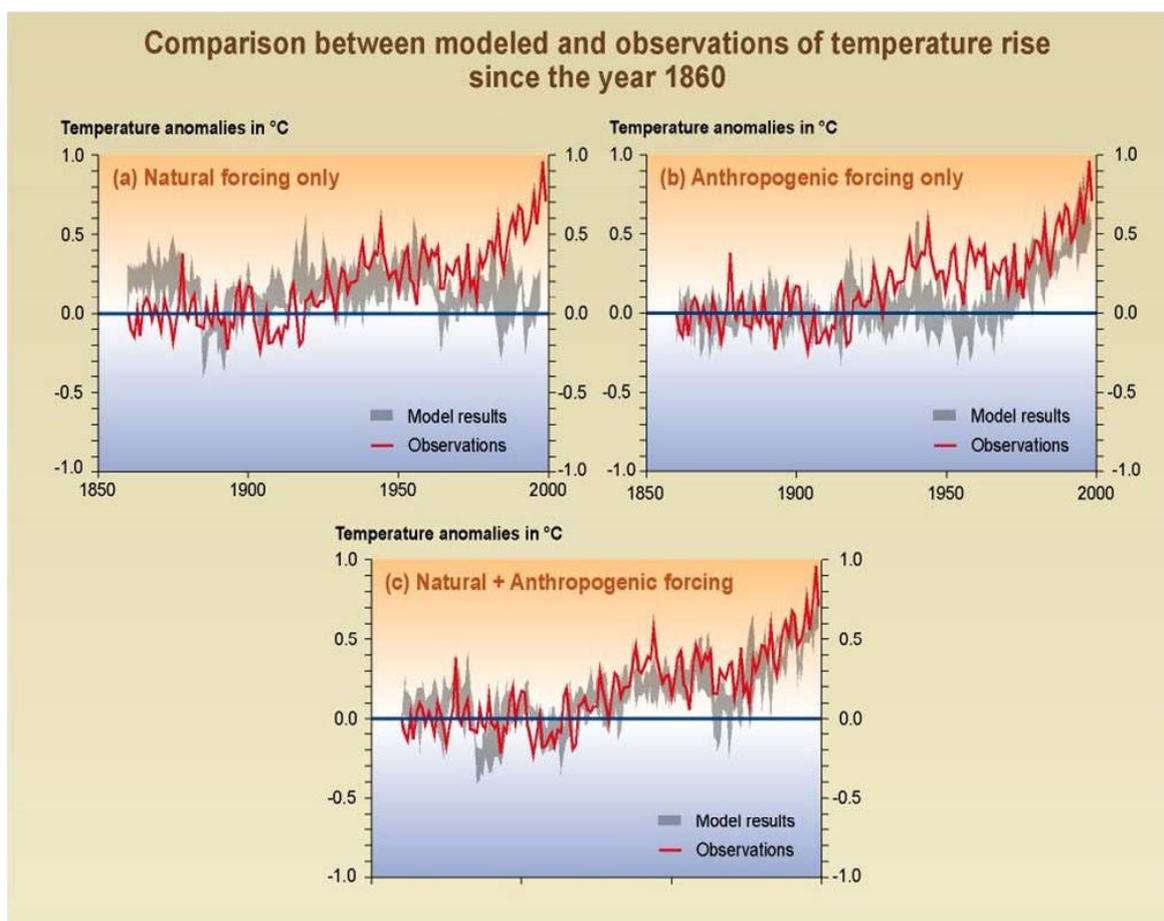


Abb. 9: Vergleich zwischen dem beobachteten und modellierten Temperaturanstieg seit 1860. Quelle: IPCC-Report, 2001

Aber Klimamodelle sind nur ein ungefähres Abbild der Wirklichkeit, wenngleich die neuesten Entwicklungen einen hohen Komplexitätsgrad aufweisen. Komplexe interaktive Gleichungssysteme beschreiben mit Hilfe von Differentialgleichungen die Austauschprozesse zwischen Gitterpunkten eines dreidimensionalen Gitters. Die dadurch entstehenden Würfel haben bei den globalen Klimamodellen eine räumliche Auflösung von 200X200 km<sup>2</sup> in der Horizontalen und 100 m bis 10 km in der Vertikalen (Paeth, H., 2006: Klimavorhersagen mit Computermodellen. *Geographie heute*, 241/242, 60-64). Die „Maschenweite“ ist zu grob, um kleinräumige Prozesse wie die Entstehung von Gewittern zu beschreiben, so dass subskalige Phänomene nur über die so genannte Parametrisierung, d.h. über statistische Methoden berücksichtigt werden können. Außerdem fehlen Rückkopplungen kleinräumiger Ereignisse auf Abläufe in größeren Skalen.

Die Maschenweite globaler Klimamodelle, wie ECHAM4 oder ECHAM5 vom Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M) ist noch zu grob für viele Klimawirkungsmodelle. In jüngster Zeit wurden deshalb regionale Klimamodelle mit einer hohen horizontalen Auflösung von 10 bis 20 km entwickeln. Grundsätzlich gibt es zwei Typen von Regionalisierungsverfahren, die dynamischen und die statistischen Verfahren.

Dynamische Verfahren betten über Regionalisierungsverfahren („Downskaling“) ein feineres Gitter in ein globales Gitter („Nesting“). Informationen aus dem globalen Modell dienen als Randwerte für die Berechnungen im Regionalmodell. Auch im feineren Gitter werden die physikalischen Vorgänge numerisch berechnet, allerdings angepasst an die Vorgänge auf kleinerer räumlicher Skala. Die räumliche Auflösung liegt bei 10 bis 20 km<sup>2</sup>, wobei generell die Ergebnisse einzelner Gitterpunkte nicht verwendet werden dürfen, sondern nur ein größeres Raster mit mindestens vierfacher Maschenweite. Auch in diesen Modellen ist die horizontale Auflösung noch zu gering, um konvektive Ereignisse physikalisch zu beschreiben. Rückkopplungsprozesse vom kleineren auf das größere Gitter werden noch nicht berücksichtigt. Diese Modelle stellen Stundenwerte zur Verfügung.

Die statistischen Verfahren wenden statistische Beziehungen zwischen den großräumigen Wetterlagenmustern und den lokalen Auswirkungen aus der Vergangenheit auf die Ergebnisse der globalen Klimamodelle an. Die Ergebnisse sind eng verknüpft mit den verwendeten Stationen. Der Wertebereich der meteorologischen Größen entstammt der Vergangenheit. Mit Ausnahme der Temperatur treten neue Extremwerte in den Berechnungen für die Zukunft nicht auf. Statistische Modelle stellen Tageswerte zur Verfügung.

Die größte Unsicherheit stellt jedoch das Verhalten des Menschen dar. Um dieses Problem einzukreisen, haben die Klimatologen wahrscheinliche Szenarien entworfen, die so genannten Emissionsszenarien (SRES, Special Report on Emission Scenarios, Nakicenovic et al., 2000). Die rund 40 Szenarien sind den 4 Emissionsszenarien-Familien A1, A2, B1 und B2 zugeordnet. Sie spiegeln ein unterschiedliches Umweltbewusstsein und globalen Wissenstransfer wider, was sich u.a. in der Emission treibhauswirksamer Gase sowie in Schwefeldioxidemissionen manifestiert. In Abhängigkeit von der verwendeten Szenarienfamilie verändern sich die von den Modellen prognostizierten Klimabedingungen.

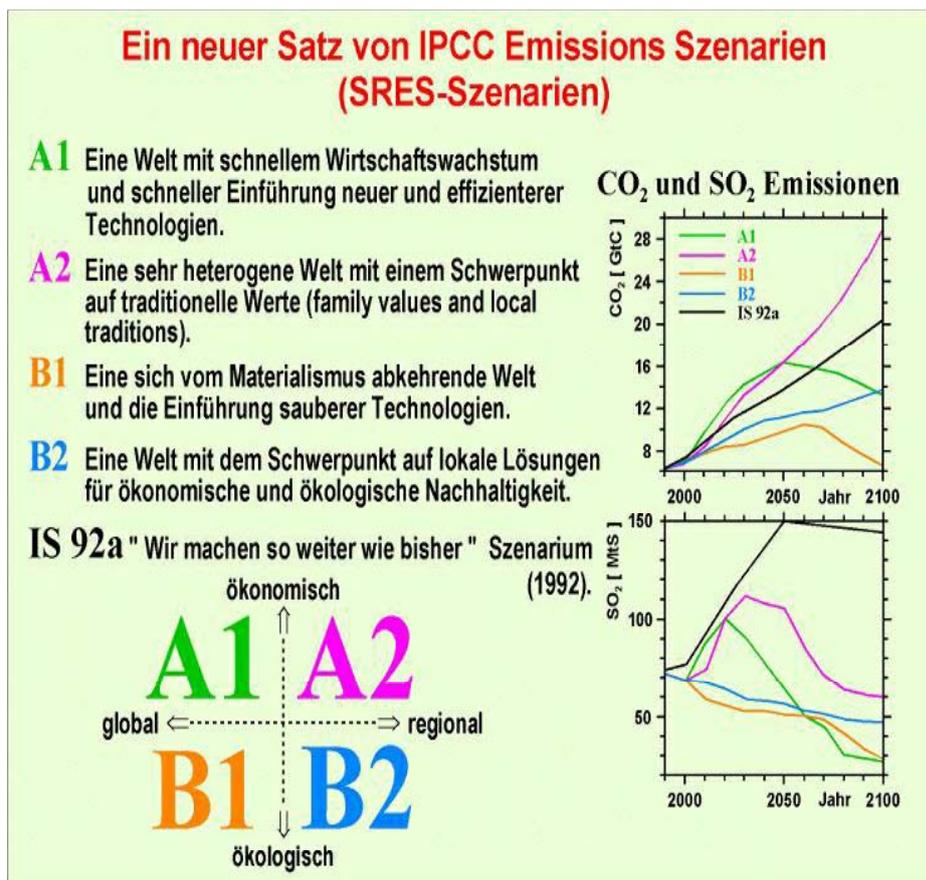


Abb. 10: Die Emissionsszenarien (Nakicenovic N. and 27 co-authors, 2000: Special Report on Emission Scenarios. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge 570 pp.)

Aufgrund der aufgeführten Unsicherheiten sollte man derzeit für die Klimafolgenbetrachtungen Prognosen nur für die nächsten 50 Jahre nutzen.

Der Deutsche Wetterdienst vergleicht derzeit vier regionale Klimamodelle, die beiden dynamischen Modelle CLM (CLM-Konsortium, Koordinationsstelle BTU Cottbus) und REMO (Regionales Klimamodell des Max-Planck-Instituts für Meteorologie) und die beiden statistischen Modelle WETTREG (Wetterlagenbasiertes Regionalisierungsmodell der Firma Climate&Environment Consulting GmbH (CEC)) und STAR (Statistisch basiertes regionales Klimamodell des Potsdamer Instituts für Klimafolgenforschung). Dabei werden die regionalen Klimamodelle mit Wirkmodellen des DWD verknüpft und überprüft wie gut die so erhaltenen Ergebnisse übereinstimmen und wie wahrscheinlich letztlich die Projektion ist.

### 2.3.2 Prognosen für Europa

Der IPCC-Bericht geht für den Projektionszeitraum bis 2050 von einer Zunahme der Temperaturen aus, wobei sich für den Sommer in Europa ein von Norden nach Süden zunehmender Temperaturgradient einstellt. Der Temperaturgradient für den Winter fällt dagegen von Nord- nach Südeuropa. Die Veränderung der Niederschläge ist unschärfer. Für den Sommer wird eher eine Niederschlagsabnahme erwartet, für den Winter eher eine Zunahme. Die Änderung der Bodenfeuchte ist das Resultat aus der Verbindung der Temperatur- und Niederschlagsänderung. Für den Sommer werden vor allem im Süden trockenere Bedingungen erwartet, für den Winter eher feuchtere.

Die Prognosen für die Mitte Europas passen recht gut zum bereits beobachteten Trend Bayerns.

<b>Prognosen der Klimaänderungen in Europa (Quelle: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Summary Report) bis 2050</b>		
<b>Temperaturänderung [° C]</b>	<b>Sommer</b>	<b>Winter</b>
Nord	1 - 2	2 - 4
Mitte	1.5 - 2.5	1.5 - 3
Süd	2 - 3	1 - 2
<b>Niederschlagsänderung [mm]</b>	<b>Sommer</b>	<b>Winter</b>
Nord	+ 20 bis - 20	+10 bis +30
Mitte	+ 10 bis - 40	0 bis +30
Süd	0 bis - 50	-10 bis +10
<b>Bodenfeuchtigkeitsänderung</b>	<b>Sommer</b>	<b>Winter</b>
Nord	gering	feuchter
Mitte	etwas trockener	feuchter
Süd	deutlich trockener	gering

Abb. 11: Prognosen der Klimaänderungen in Europa bis 2050. Quelle: s. Überschrift

### 2.3.3 Prognosen für Bayern

#### 2.3.3.1 KLIWA

KLIWA ist die Abkürzung für das Kooperationsvorhaben „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“, an dem die Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern und der Deutsche Wetterdienst beteiligt sind. In diesem Jahr trat Rheinland-Pfalz als weiterer Kooperationspartner dem Vorhaben bei.

Die KLIWA-Arbeiten beruhen bislang auf ECHAM4 und dem Emissionsszenario B2, das eine Welt beschreibt, in der das Schwergewicht auf lokalen Lösungen hin zu wirtschaftlicher, sozialer und ökologischer Nachhaltigkeit liegt. Unter Berücksichtigung einer eigenständigen Umweltpolitik bewegt sich die wirtschaftliche Entwicklung auf einem mittleren Niveau. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration wächst dabei bis 2050 etwa auf das 1,4-fache an, die Schwefeldioxidkonzentration verringert sich kontinuierlich.

Im KLIWA-Vorhaben wurden vor allem zwei Regionalisierungsverfahren genutzt. Meteo Research (Enke) regionalisiert mit Hilfe eines statistisch-dynamischen Downskaling mittels objektiver Wetterlagenklassifikation für Lufttemperatur und Niederschlag. Das Max-Planck-Institut für Meteorologie (REMO, Jacob) nutzt ein dynamisches Verfahren mit zweimaligem Nesting.

KLIWA kommt für Bayern zu folgenden Ergebnissen:

Die Temperaturen werden in Bayern weiter ansteigen. Die mittleren Tagestemperaturen können sich im hydrologischen Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober) um 1,4 Grad (Meteo Research) bzw. 1,7 Grad (REMO) erhöhen. Im hydrologischen Winterhalbjahr beträgt die Differenz zwischen dem Ist-Zustand (1971-2000) und dem Projektionszeitraum (2021-2050) rund 2 Grad bei geringem Unterschied zwischen den beiden Regionalisierungsver-

fahren. Bezüglich des Temperaturanstiegs ergibt sich damit eine gewisse Sicherheit, wenn die Aussagen des globalen Modells als verlässlich angenommen werden.

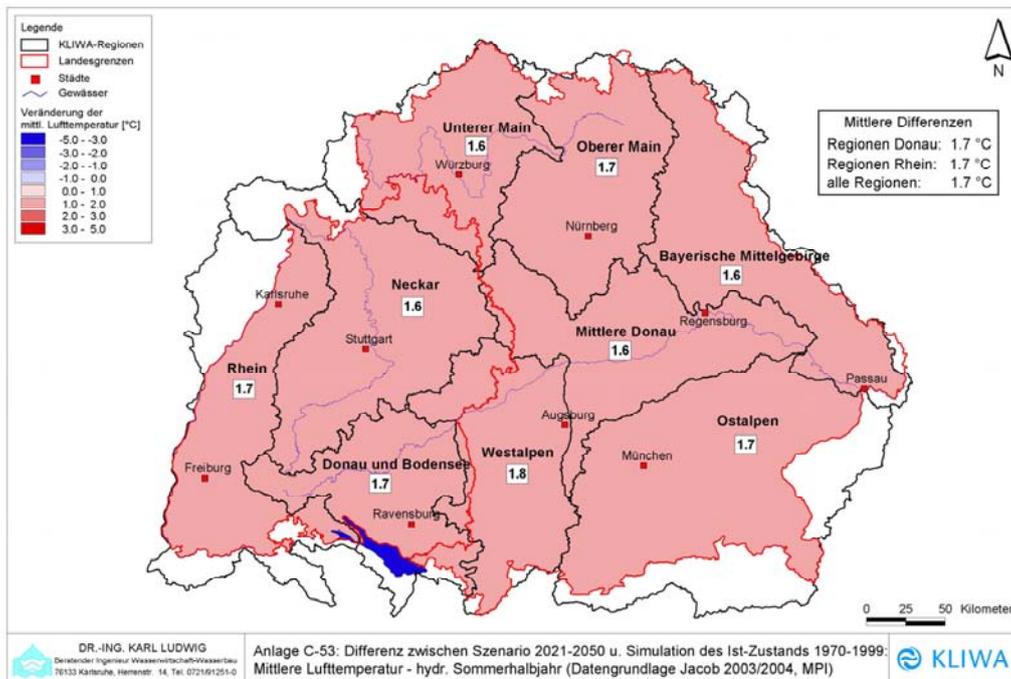
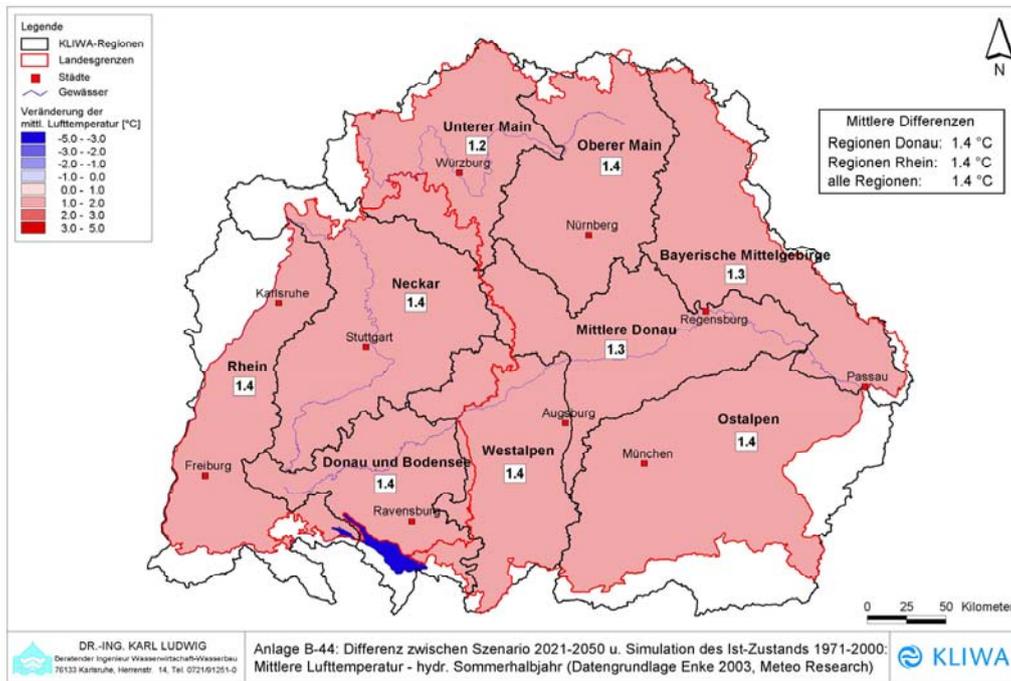


Abb. 12: Mögliche Veränderung der Mitteltemperaturen bis zum Jahr 2050 im hydrologischen Sommerhalbjahr nach den Modellen Meteo Research (Enke, oben) und REMO (MPI, unten). Quelle: „Der Klimawandel in Bayern für den Zeitraum 2021 bis 2050“, KLIWA-Kurzbericht, www.kliwa.de.

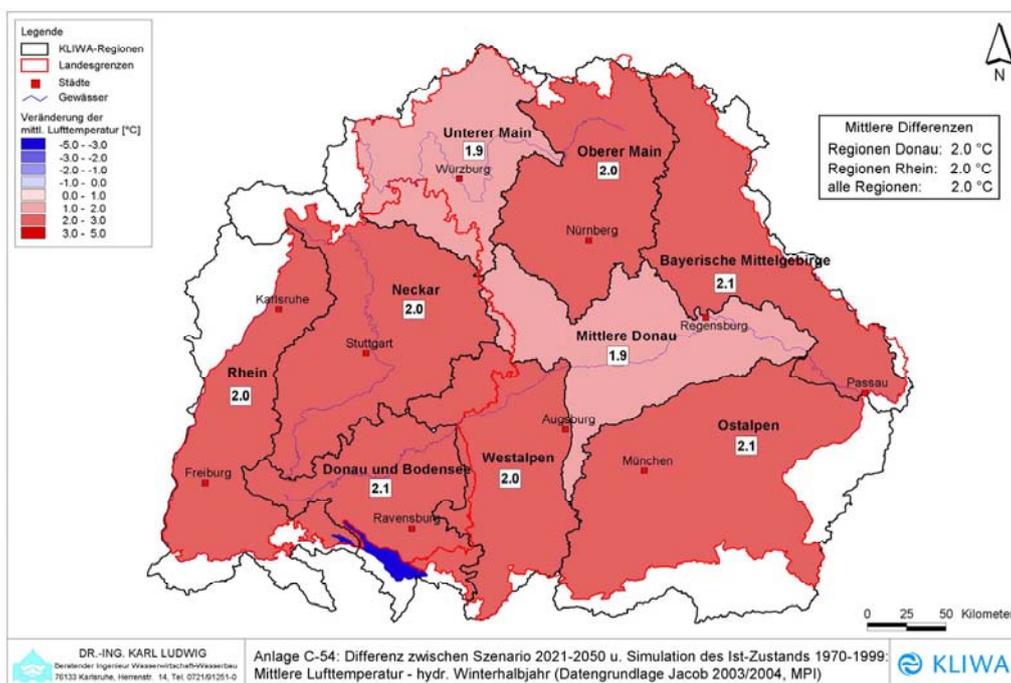
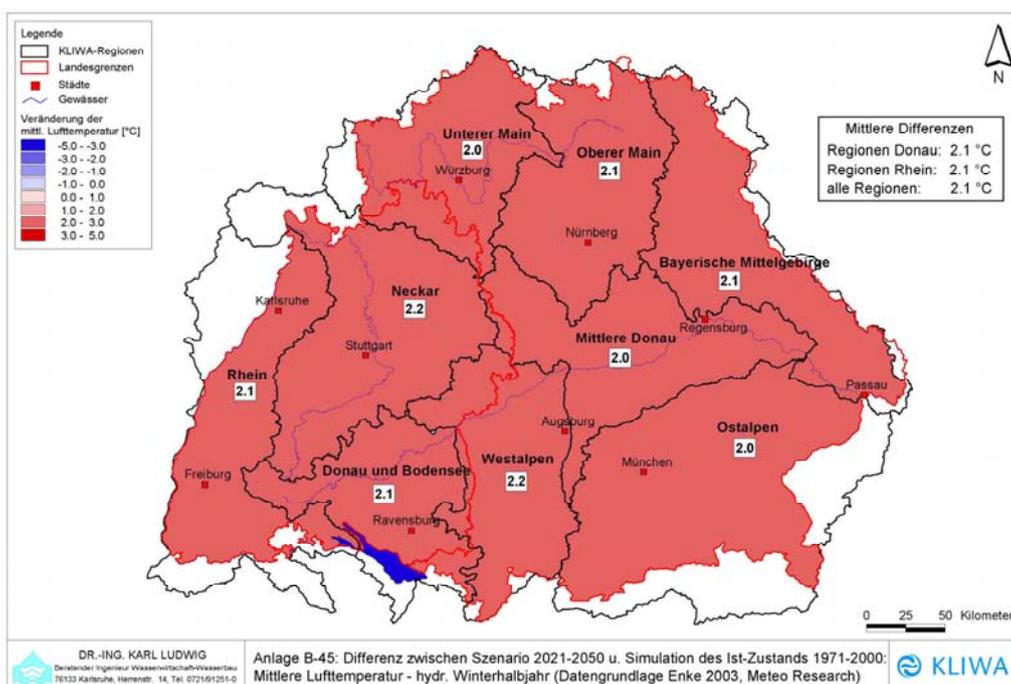


Abb. 13: Mögliche Veränderung der Mitteltemperaturen bis zum Jahr 2050 im hydrologischen Winterhalbjahr nach den Modellen Meteo Research (oben) und REMO (unten). Quelle: Dietzer, DWD, persönliche Mitteilung, 2007, [www.kliwa.de](http://www.kliwa.de).

Für alle Monate des Jahres wird für die Zukunft ein Temperaturanstieg berechnet. Nicht nur die Temperaturmittel, sondern auch Temperaturmaxima und –minima erhöhen sich. Dadurch verringert sich die Anzahl der Frosttage (Tage mit  $T_{\text{Min}} < 0\text{ °C}$ ) um 25 Prozent

und die Anzahl heißer Tage (Tage mit  $T_{Max} > 30\text{ °C}$ ) verdoppelt sich. Die letzten Fröste treten früher auf. Insgesamt verlängert sich nach den Prognosen die Vegetationsperiode.

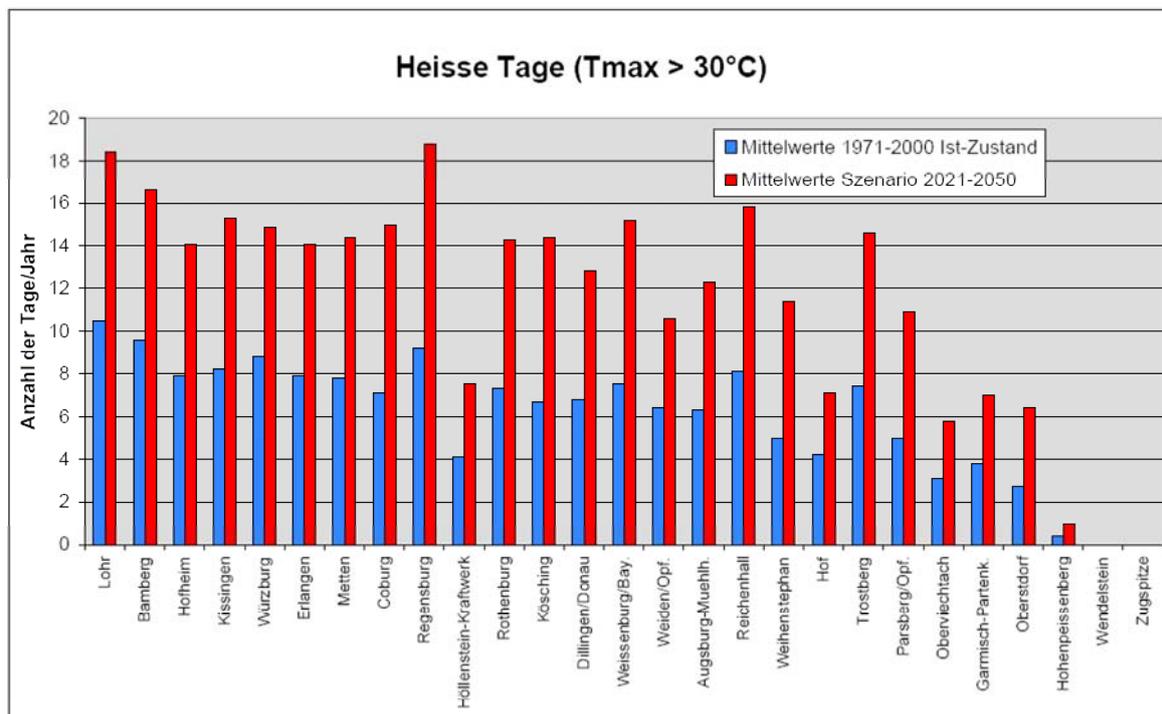


Abb. 14: Mögliche Zunahme der heißen Tage an mehreren Standorten Bayerns als ein Ergebnis des Vergleichs der Zeiträume 1971/2000 und 2021/2050. Basis Meteo Research (Enke) Quelle: „Der Klimawandel in Bayern für den Zeitraum 2021 bis 2050“, KLIWA-Kurzbericht, [www.kliwa.de](http://www.kliwa.de).

Größere Unterschiede zwischen den Modellaussagen ergeben sich für die Niederschläge.

Meteo Research errechnet für das Sommerhalbjahr eine Niederschlagsabnahme von im Mittel 4,1 Prozent, während REMO eine Niederschlagszunahme von durchschnittlich 6,1 Prozent prognostiziert. Beim Meteo Research sind die Unterschiede in der räumlichen Verteilung größer als bei REMO, was auf die unterschiedlichen Regionalisierungsverfahren zurückzuführen ist. Sie reichen bei Meteo Research von +1,6 % (Unterer Main) bis -8,7 % (Ostalpen) und variieren zwischen 4,1 % (Westalpen) und 5,8 % (Ostalpen). Hier macht sich die Berücksichtigung der Stationsdaten im statistisch-dynamischen Verfahren von Meteo Research bemerkbar.

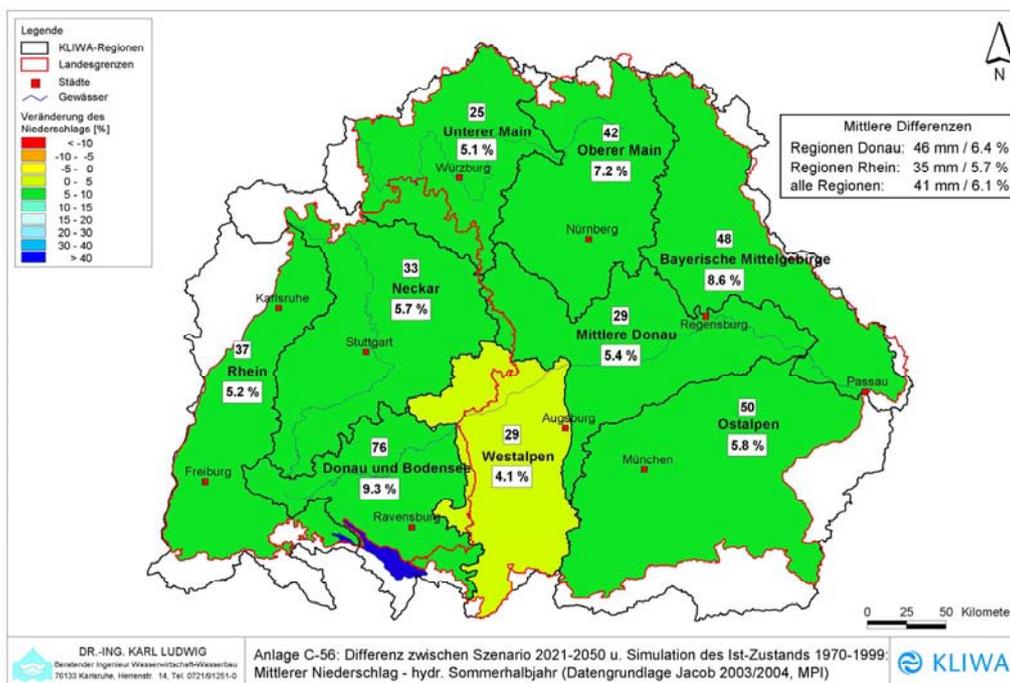
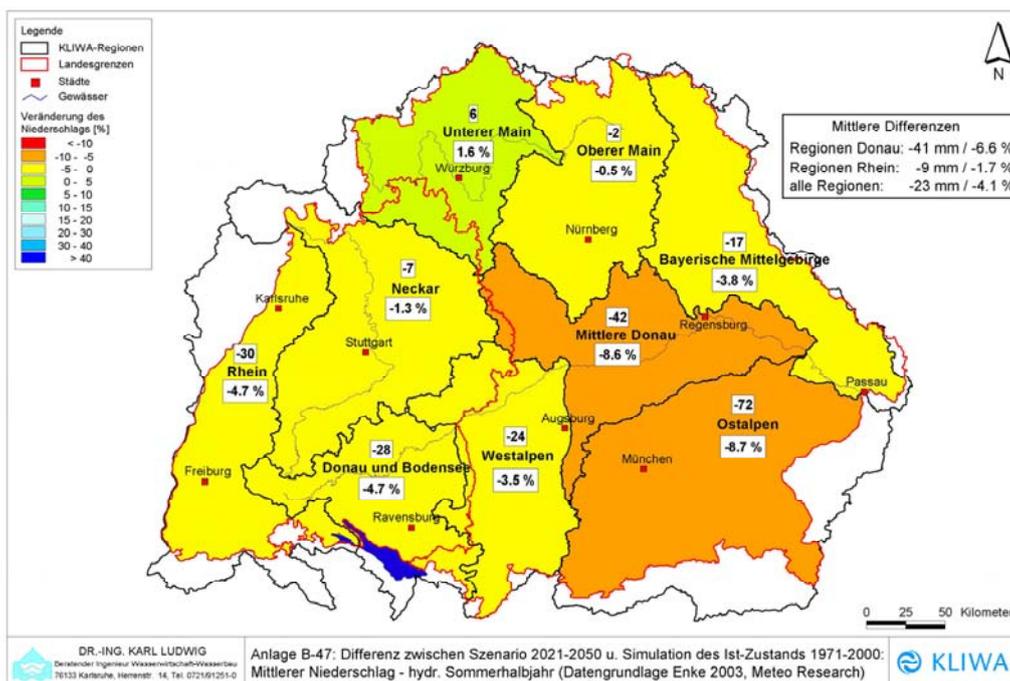


Abb. 15: Mögliche Veränderung der Niederschläge im hydrologischen Sommerhalbjahr nach Meteo Research (Enke, oben) und REMO (MPI, unten). www.kliwa.de.

Deutlichere Unterschiede zwischen den Modellaussagen ergeben sich für die Wintermonate. Nach Meteo Research erhöhen sich die Winterniederschläge im räumlichen und zeitli-

chen Mittel um 22,5 %, wobei sich ein von den Ostalpen (+ 10 %) bis zum Untermain (+ 34 %) ansteigender Niederschlagsgradient ergibt. Nach REMO erhöhen sich die Niederschläge im Mittel nur um 0,5 % mit einer Variationsbreite von -3,3 % in den Westalpen und +5,3 % in den Westalpen und +5,3 % am oberen Main. Dies entspricht einem von Süden nach Norden ansteigenden Gradienten. Die Aussagen bezüglich der künftigen winterlichen Niederschläge sind deshalb noch recht unsicher.

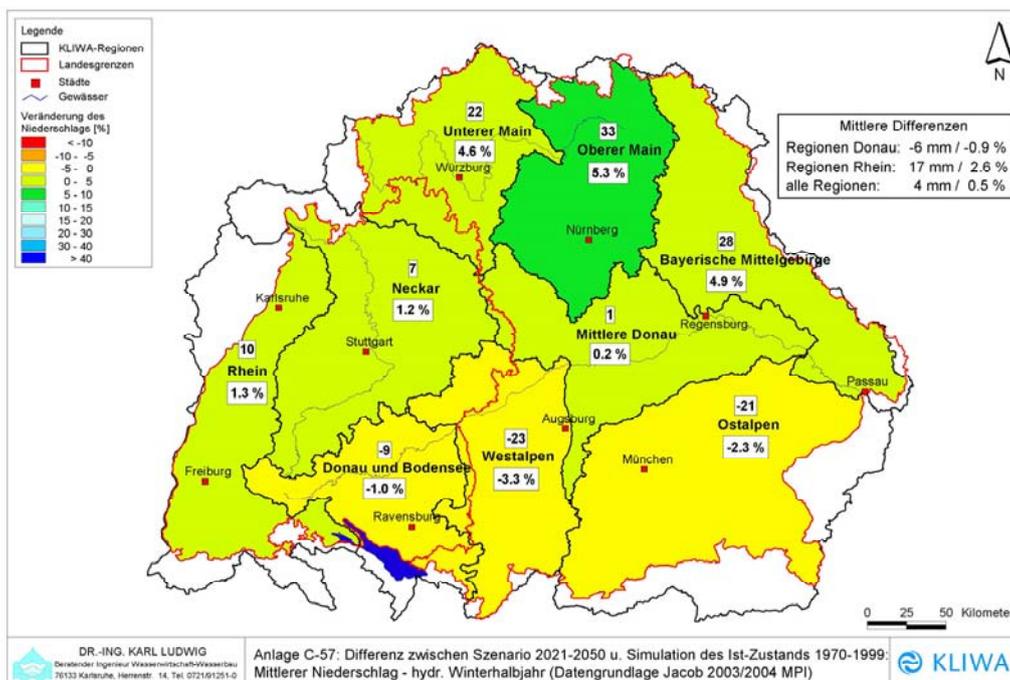
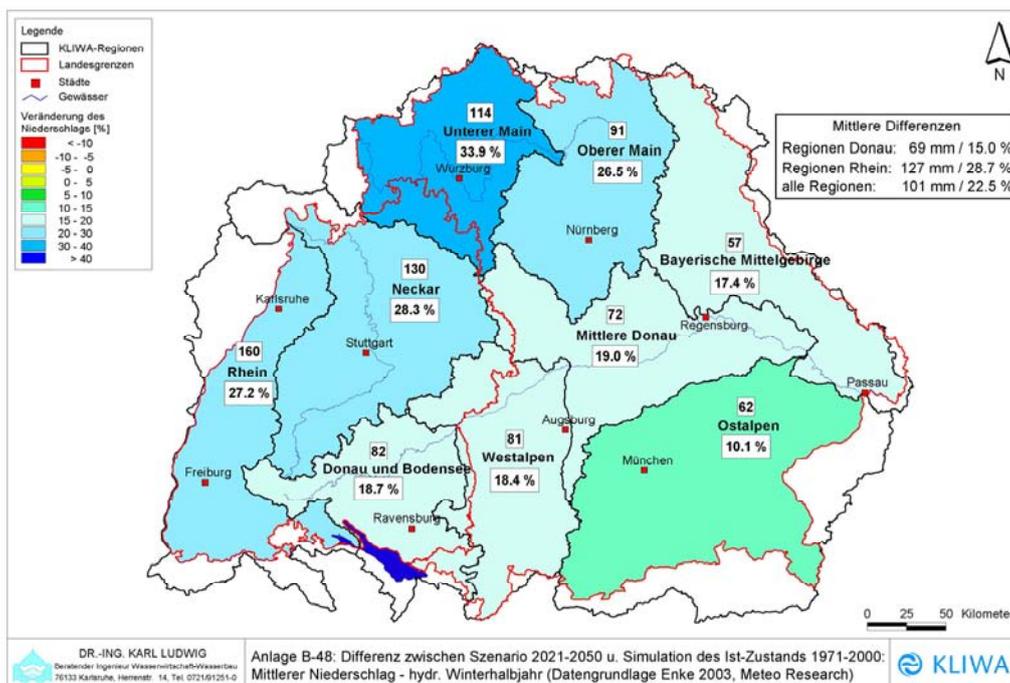


Abb. 16: Mögliche Veränderung der Niederschläge im hydrologischen Winterhalbjahr nach Meteo Research (Enke, oben) und REMO (MPI, unten). www.kliwa.de.

### 2.3.3.2 Weitere Vorhaben des Deutschen Wetterdienstes und erste Ergebnisse aktueller regionaler Klimamodelle

Neben dem KLIWA-Vorhaben arbeitet der Deutsche Wetterdienst eng mit den Entwicklern regionaler Klimamodelle zusammen. Denn die dynamischen regionalen Modelle, wie das CLM (Klimaversion des DWD-Lokalmodells), sind aus regionalen Wettervorhersagemodelle des DWD entwickelt worden oder aus Vorhersagemodellen, an deren Entwicklung der DWD maßgeblich beteiligt war. In das CLM fließen laufend die Modellverbesserungen des Lokalen Wettervorhersagemodells des Deutschen Wetterdienstes (DWD-Lokalmodell). Für den Test der Modelle stellt der DWD umfangreiche Klimadaten der Vergangenheit zur Verfügung.

In einem neuen Projekt werden Standards für Wirkmodell-Eingangssätze entwickelt. Dies erleichtert sowohl den Vergleich der Aussagen der regionalen Modelle, als auch der Wirkmodelle. Der Deutsche Wetterdienst ist damit ein Bindeglied zwischen den Entwicklergruppen.

Noch liegen wenige Ergebnisse der aktuellen regionalen Klimamodelle vor. Für diese Veröffentlichung wurden erste Karten für die Temperatur- und Niederschlagsänderung zur Verfügung gestellt. Dabei erfolgte der Vergleich zwischen den beiden Perioden 1971/2000 und 2041/2070. Die Randwerte stammen vom globale Klimamodell ECHAM5, wobei das Emissionsszenario A1B zugrunde gelegt wurde. Bezüglich der Temperaturänderung im Sommer und Winter bestätigt CLM die Ergebnisse von REMO. Das dynamische Modell CLM errechnet eine Verdoppelung der heißen Tage und eine deutliche Verringerung der Frosttage.

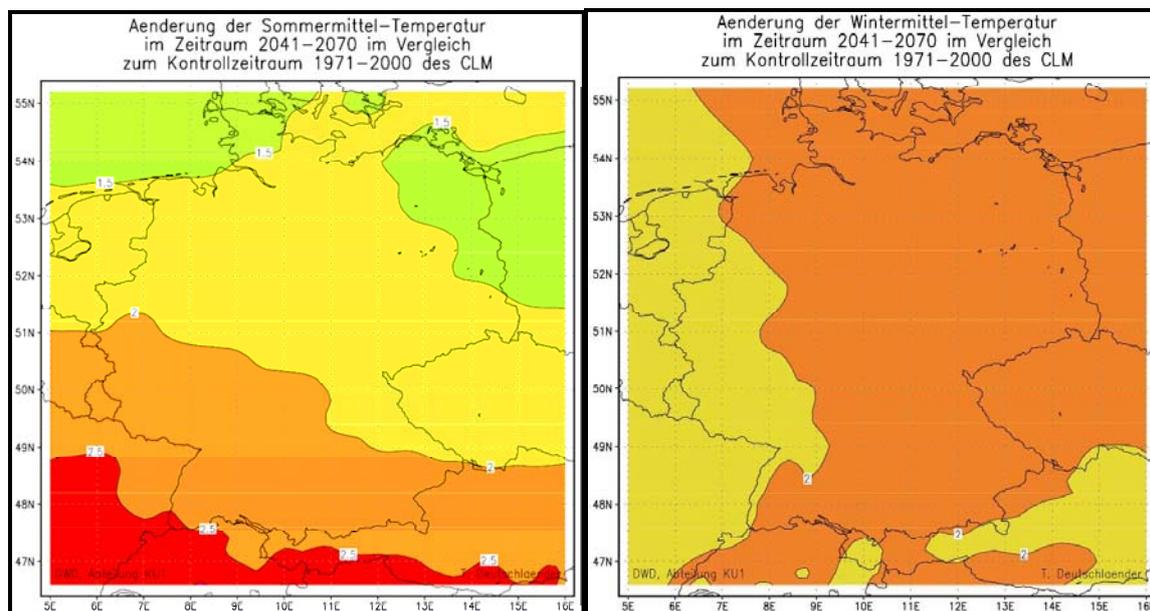


Abb. 17: Die Änderung der Mitteltemperatur im Sommer (links) und im Winter(rechts), Vergleich der Perioden 1971/2000 mit 2041/2070 nach dem Regionalmodell CLM, Basis: ECHAM5, Emissionsszenario A1B.

Die Sommerniederschläge verringern sich nach den Berechnungen des CLM im Mittel um 7,5 Prozent. Für den Winter ergeben sich jedoch keine Niederschlagsänderungen, so dass die Jahresniederschläge nach diesen neuesten Berechnungen insgesamt, wenn auch geringfügig zurückgehen werden.

Wasserknappheit in der Vegetationsperiode könnte häufiger auftreten, da zum einen die Niederschläge im Sommer abnehmen und zum anderen durch höhere Temperaturen die tatsächliche Verdunstung zunimmt.

## **2.4 Zusammenfassung**

Der Klimawandel ist deutlich messbar. Die Konzentration der klimawirksamen Gase in der Atmosphäre hat sich in den letzten 100 Jahren drastisch erhöht. Gleichzeitig stiegen die Temperaturen in Bayern von 1901 bis 2006 um 0,84 Grad, die Niederschläge um 12,6 Prozent (jeweils Gebietsmittel, linearer Trend). Die Temperaturerhöhung fand v.a. im Sommer und Herbst, die Niederschlagserhöhung v.a. im Winter statt.

Die Konzentration von Kohlendioxid und anderen Treibhausgasen wird weiter ansteigen. Im Vergleich zu heute könnten nach übereinstimmender Projektion der zurzeit verfügbaren regionalen Klimamodelle die Temperaturen bis 2050 auf einem um 2 Grad höheren Niveau liegen. Die Zunahme der Maximum- und Minimumtemperaturen ist ebenfalls sehr wahrscheinlich. Damit wird es mehr heiße Tage und weniger Frosttage geben. Die Vegetationsperiode wird sich verlängern, die tatsächliche Verdunstung wird sich erhöhen, regional wird Wasserknappheit entstehen.

Die Vorhersage der Niederschlagshöhe ist recht unsicher, denn kleinräumige konvektive Ereignisse, die in Bayern gerade im Sommer am Niederschlagsaufkommen wesentlich beteiligt sind, können die dynamischen Modelle noch nicht direkt berechnen, sondern nur über Parametrisierungsverfahren ermitteln.



### **3 Auswirkungen und Strategien für Landwirtschaft und Umwelt – aus der Sicht der Pflanzenernährung und des Gewässerschutzes**

**Dr. Matthias Wendland, Dr. Michael Diepolder, Konrad Offenberger und Sven Raschbacher**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz

Der prognostizierte Klimawandel stellt die Landwirtschaft vor zwei große Herausforderungen. Zum Einen muss sie effektive Maßnahmen entwickeln, um den von ihr verursachten Anteil an den Treibhausgasemissionen (CO<sub>2</sub>, Methan, Stickoxide, NH<sub>3</sub> etc.) zu reduzieren. Zum Anderen erfordern die Änderungen der meteorologischen Parameter Anpassungen der pflanzenbaulichen Produktionstechnik, besonders auch im Bereich der Pflanzenernährung. Im Folgenden soll in erster Linie auf den letzten Punkt eingegangen und mögliche Düngestrategien für die Praxis diskutiert werden.

#### **3.1 Zusammenfassung**

Die Klimaforschung kann mit großer Sicherheit die zu erwartenden Klimaveränderungen prognostizieren, deren Auswirkungen auf die Jahreswitterung, die das Ertragsgeschehen und damit die Düngungsmaßnahmen bestimmt, sind jedoch nur schwer vorherzusehen und unterliegen großen Schwankungen. Neue Dünagesysteme müssen daher in der Lage sein, flexibel auf den Witterungsverlauf während der Wachstumsperiode zu reagieren. Grundsätzlich muss die Düngung auf das unter den regionalen Gegebenheiten langfristig zu erzielende Ertragsniveau abgestimmt werden. Bei Kulturen mit wenigen Düngeterminen ist besonders darauf Wert zu legen, den nach witterungsbedingten Mindererträgen im Boden verbleibenden Stickstoff zu binden und vor der Verlagerung bzw. Auswaschung zu schützen. Bei Kulturen mit mehreren Düngergaben kann bei späteren Ausbringterminen auf extreme Witterungsbedingungen durch Reduzierung der Gaben reagiert werden, wobei die Standortgüte einen wesentlichen Einfluss hat.

Aus Sicht des Grundwasserschutzes kommt es darauf an, den nach der Ernte der Hauptfrucht im Boden verbliebenen Reststickstoff zu binden und bei zunehmenden Winterniederschlägen vor der Verlagerung bzw. Auswaschung zu schützen. Der Zwischenfruchtanbau mit überwinternden Kulturen gewinnt daher noch mehr an Bedeutung. Erfolge sind jedoch nur dann zu erwarten, wenn Düngungsmaßnahmen im Herbst auf Ackerflächen, auch mit Wirtschaftsdüngern, sehr restriktiv gehandhabt werden.

Im Gegensatz zu Ackerkulturen mit nur einer Ernte pro Jahr kann der Grünlandwirt wesentlich flexibler auf die Witterung als der Ackerbauer reagieren. Die Grünlanddüngung wird sich damit auch künftig den aktuellen Witterungsverhältnissen anpassen.

Unterschiede im mittleren Nährstoffbedarf zwischen Standorten werden dabei in Bayern voraussichtlich noch weiter zunehmen. Dies erfordert von der angewandten Grünlandforschung zur Erarbeitung künftiger Faustzahlen zur Düngebedarfsermittlung eine am staatlichen Versuchswesen ausgerichtete laufende repräsentative Erfassung der Entwicklung von

regionalen Erträgen und Nährstoffentzügen. Berücksichtigung verdienen dabei künftig auch Prozesse der N-Dynamik im Kreislauf (Mineralisation, Denitrifikation).

Bei der konventionellen Ausbringung von (Wirtschafts-)Düngern dürften künftig Verlustpotenziale (Abgasung, Abschwemmung) zunehmen, welche mit negativen Auswirkungen auf die Umwelt verbunden sind. Gerade diese Tatsache stellt einen wesentlichen Grund dar, in Zukunft neue Verfahren der Applikationstechnik regional zu prüfen und ggf. zu fördern. Dies schließt auch Möglichkeiten der Anwendung von N-stabilisierten Düngern ein.

## 3.2 Problemstellung

### Winter

Zunehmende Winterniederschläge und –temperaturen (Tab. 1) werden zu einer Verlängerung der Vegetationsperiode führen mit der Folge, dass die Kulturen bis zum Frühjahr ein höheres Entwicklungsstadium als heute erreichen. Dadurch wird auch die aufgenommene Nährstoffmenge steigen, was jedoch nicht unbedingt bedeutet, dass eine Nährstoffzufuhr mit Stickstoff im Herbst erfolgen muss. Bei milden Witterungsverhältnissen im Winter steigt die Stickstoffmineralisation aus Ernterückständen und organischer Substanz im Boden. Diese Mengen dürften nach bisherigen Ergebnissen ausreichen um den Bedarf der Pflanzen zu decken. Bei fehlendem Pflanzenbewuchs und hohen Niederschlägen besteht besonders auf durchlässigen Böden die Gefahr der Verlagerung und Auswaschung des mineralisierten oder von der Vorkultur nicht verbrauchten Stickstoffes in das Grundwasser. Die zu erwartenden Klimaänderungen während des Winters haben nur eine unbedeutende Auswirkungen auf die anderen Nährstoffe mit Ausnahme des Schwefels, der im Boden eine ähnliche Mobilität aufweist wie Nitrat und daher auch verlagert oder ausgewaschen werden kann.

### Sommer

Während der Vegetationsperiode ist mit leicht abnehmenden Niederschlagsmengen und einer Zunahme der Temperaturen zu rechnen. Die Erfahrung der letzten Jahre zeigt, dass längere Trockenperioden wie zuletzt im April dieses Jahres zunehmen. Fehlende Niederschläge führen zu einer unsicheren Düngerwirkung, auch hier ist besonders die Stickstoffdüngung betroffen. Zunehmende Trockenheit verringert jedoch auch die Verfügbarkeit von Spurenelementen, besonders von Mangan. Hält die Trockenheit längere Zeit an, sind Ertragsrückgänge unvermeidbar. Längere Hitzeperioden werden oft durch Gewitter und Starkniederschläge beendet. Die noch auf der Oberfläche liegenden Düngemittel können bei hängendem Gelände dabei abgeschwemmt werden.

Sehr ergebnisoffen werden die Auswirkungen des steigenden CO<sub>2</sub>-Gehaltes auf das Pflanzenwachstum und die Erträge diskutiert. Da zahlreiche Wechselwirkungen wie Nährstoff- und Wasserverfügbarkeit und vor allem die Temperatur den positiven Ertragseinfluss abschwächen, ja sogar ins Negative wenden können, sind Voraussagen und Ableitungen für künftige Anpassungen von Düngestrategien kaum möglich. Wir gehen daher im Folgenden davon aus, dass der für das Pflanzenwachstum positive Effekt des zunehmenden CO<sub>2</sub>-Gehaltes durch die negativen Veränderungen des Klimawandels abgeschwächt oder sogar neutralisiert wird.

Tab. 1: Auswirkung des Klimawandels auf meteorologische Parameter in Bayern (nach AK KLIWA, 2006, ergänzt)

<b>Winter</b>	<b>Sommer</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- deutliche Temperaturerhöhung um ca. +2 °C</li> <li>- starker Rückgang der Frost- und Eistage um ca. 25 bis 50 %</li> <li>- deutlich mehr Niederschläge (v.a. im Bereich Nordbayern)</li> <li>- Anteil flüssiger Niederschläge steigt, da Temperaturerhöhung</li> <li>- deutliche Zunahme an Starkniederschlägen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zunahme der Temperaturen um ca. 1,4 °C</li> <li>- relativ wenig Veränderungen (+ 5 bis -10 %) bei den Niederschlägen, leichte Abnahme im Alpenraum bis zur mittleren Donau, leichte Zunahme im Maingebiet</li> <li>- Deutliche Zunahme von Sommertagen und heißen Tagen</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zunahme des Wasserabflusses</li> <li>- weniger Schneebedeckung</li> <li>- erhöhte N-Mineralisation</li> <li>- verlängerte Vegetationsdauer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zunahme längerer Trockenperioden</li> <li>- Ertragsrückgänge und verminderte Nährstoffaufnahme insbesondere in Gegenden mit bislang bereits knapper Wasserversorgung</li> <li>- Begrenzung eines effizienten Einsatzes an (Wirtschafts-)Dünger</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deutliche Zunahme des CO<sub>2</sub>-Gehaltes in der Luft</li> <li>- Effekte auf die Veränderung der Bestandeszusammensetzung des Grünlandes und eine Steigerung des Ertragspotentials werden für möglich gehalten, hängen aber von der saisonalen Niederschlagsverteilung ab (HOPKINS und DEL PRADO, 2007)</li> </ul>	

### 3.3 Anforderungen an neue Düngesysteme

Alle Szenarien sagen voraus, dass die Häufigkeit trockener und warmer Wetterlagen zunehmen wird. Es ist jedoch nicht absehbar, ob und zu welchem Zeitpunkt im Lauf der Vegetationsperiode damit zu rechnen ist. Neue, angepasste Düngesysteme müssen daher in der Lage sein, flexibel auf den Witterungsverlauf während der Wachstumsphase zu reagieren. Sie müssen sicherstellen, dass die Nährstoffe bedarfsgerecht zur Verfügung stehen und Erträge und Qualitäten möglichst konstant bleiben. Gleichzeitig müssen sich die Systeme so an den Witterungsverlauf anpassen lassen, dass große Stickstoffüberschüsse nach der Ernte vermieden und damit eine Verlagerung in tiefere Bodenschichten und das Grundwasser minimiert werden.

### 3.4 Ackerbau

#### 3.4.1 Strategien bei Kulturen mit 1 bis 2 Düngeterminen im Jahr

Bei Kulturen mit 1 bis 2 Düngegaben/Jahr (z. B. Silomais, Zuckerrüben, Raps), die früh zu Beginn der Vegetationsperiode gegeben werden und zu einem Zeitpunkt, an dem der weitere Witterungsverlauf noch nicht absehbar ist, erscheinen vorerst keine Änderungen der Systeme notwendig. Wie in Abbildung 1 dargestellt, ist gerade der Raps in der Lage, die Winterfeuchtigkeit so gut auszunutzen, dass auch Frühjahrstrockenheiten mit nur sehr geringen Ertragsverlusten überstanden werden können. Sollte sich der Klimawandel jedoch so auswirken, dass sich die Erträge langfristig auf einem anderen Niveau einpendeln, sind die Düngemengen entsprechend dem dann zu erwartenden Ertragsniveau anzupassen. Die im Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland angegebenen N-Sollwerte in Abhängigkeit vom Ertrag (Tabelle 17) stellen hierfür die Grundlage dar. Nach hohen Winterniederschlägen ist besonders bei Raps auf die Schwefelversorgung zu achten.

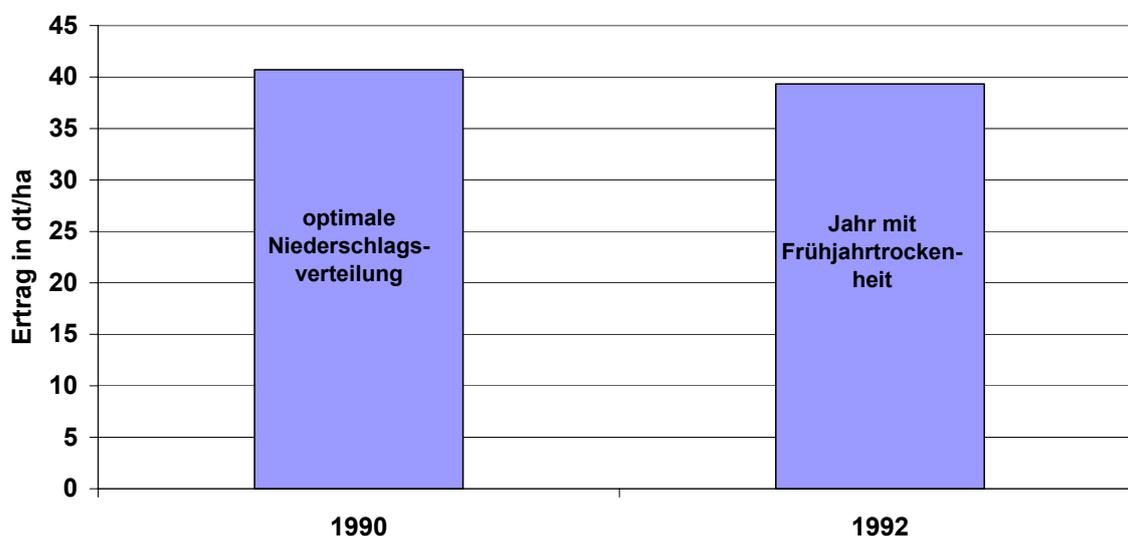


Abb. 1: Auswirkung einer Trockenperiode auf den Ertrag von W-Raps, Trockenperiode: 06.04.1992 bis 31.05.1992 nur ca. 40 % des langjährigen Niederschlags, Mittelwert aus 4 guten Standorten (Durchwurzelungstiefe bis 90 cm)

#### 3.4.2 Strategien bei Kulturen mit mehreren Düngeterminen im Jahr

Kulturen mit 3 bis 4 Düngegaben im Jahr (z. B. Winterweizen, Wintergerste, Triticale) erfordern und ermöglichen eher eine Anpassung der Düngestrategien, da Witterungsbesonderheiten bei späteren Ausbringterminen bereits erkennbar sein können. Dabei spielt die Qualität des Standortes einen entscheidenden Einfluss, wie aus den Versuchsergebnissen der Trockenperioden der Jahre 1992 und 2002 abgeleitet werden kann (Abb. 2 und 3). Der Standort Schrobenhausen ist durch leichte durchlässige Böden gekennzeichnet, die in Jahren mit ausreichender Niederschlagsmenge und optimaler Verteilung wie 1991 und 2001 einen Winterweizenertrag von 84,7 bzw. 89,2 dt/ha ermöglichen. Diese Erträge unterscheiden sich nur unwesentlich von den Erträgen der Lössböden in Köfering und Essenbach. In Jahren mit längeren Trockenperioden bzw. weit unterdurchschnittlichen Niederschlägen im Frühjahr wie 1992 und 2002 mit 30 bzw. 40 % des langjährigen Mittels fallen die Erträge unter den schlechten Standortvoraussetzungen in Schrobenhausen sehr stark ab, während die Winterweizenerträge auf den Lössböden nur sehr geringfügig niedriger ausfallen.

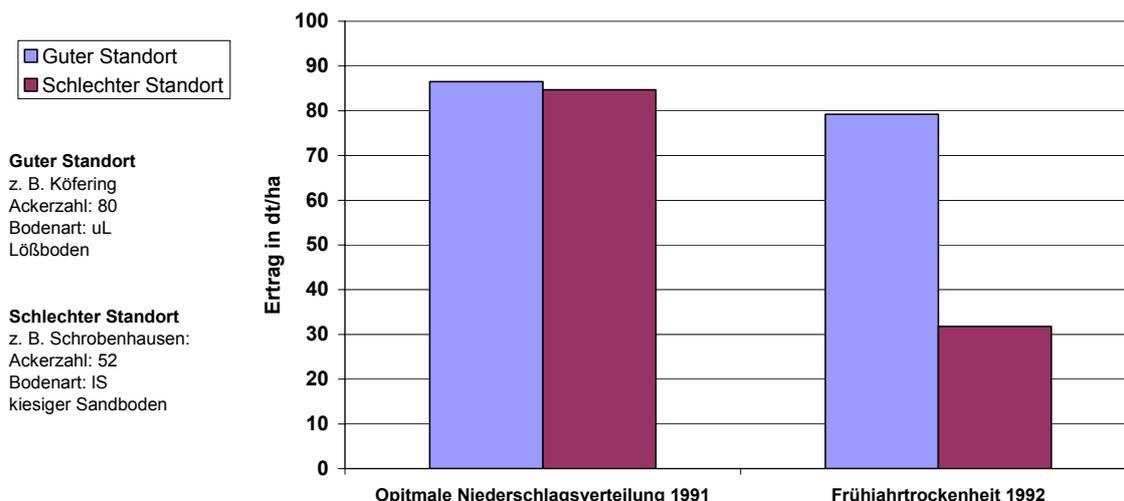


Abb. 2: Auswirkung einer Trockenperiode auf den Ertrag von Winterweizen bei unterschiedlichen Standortbedingungen, Trockenperiode: 06.04.1992 bis 31.05.1992 nur ca. 30 % des langjährigen Niederschlags

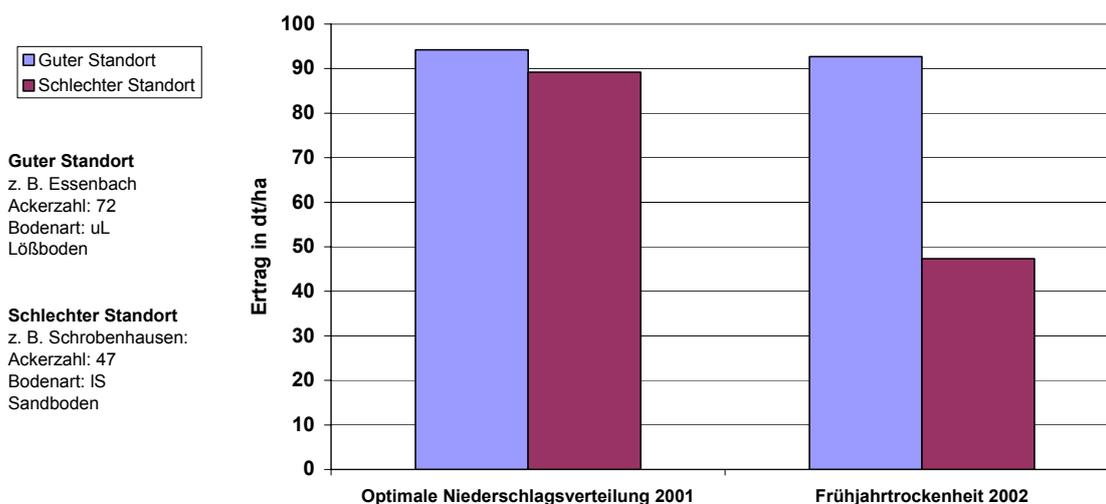


Abb. 3: Auswirkung einer Trockenperiode auf den Ertrag von Winterweizen bei unterschiedlichen Standortbedingungen, Trockenperiode: 25.03.2001 bis 09.05.2002 nur ca. 40 % des langjährigen Niederschlags

Daraus lässt sich das Fazit ziehen, dass auf guten Standorten betreffend der Düngungsmenge keine Änderung der bisher bewährten Düngestrategie erforderlich ist. Bei einer im Klimawandel begründeten Änderung der Ertragserwartung ist die Gesamtdüngemenge entsprechend anzupassen. Allerdings sollte bei längeren Trockenphasen besonders auf die Spurenelementversorgung, insbesondere Mangan, geachtet werden. Die zweite Gabe kann in gewohnter Höhe zum gewohnten Zeitpunkt gegeben werden. Messungen mit dem N-Sensor aus der Trockenperiode des Jahres 2007 bestätigen, dass ein noch nicht näher bestimmbarer Teil dieser Stickstoffgabe von der Pflanze trotz fehlender Niederschläge auf-

genommen wurde. Der Mechanismus ist uns noch unbekannt, ebenso, ob Unterschiede zwischen verschiedenen Düngerformen bestehen.

Die N-Spätdüngung zu Winterweizen sollte nicht nur bei einer zu erwartenden Sommer-trockenheit, sondern generell möglichst frühzeitig gegeben werden, was eine Versuchsreihe zu Winterweizen aus den Jahren 2004 bis 2006 belegt. Es zeigte sich, dass weder eine Aufteilung der Spätdüngung in zwei Gaben zu jeweils 45 kg Stickstoff noch eine einmalige späte Gabe von 90 kg (Stadium 51) wirtschaftliche Vorteile gegenüber der Variante mit 90 kg im Stadium 37-39 bringt (Abb. 4). Aus unserer Sicht ist daher die Spätdüngung in einer Gabe möglichst früh im Stadium BBCH 37-39 zu empfehlen.

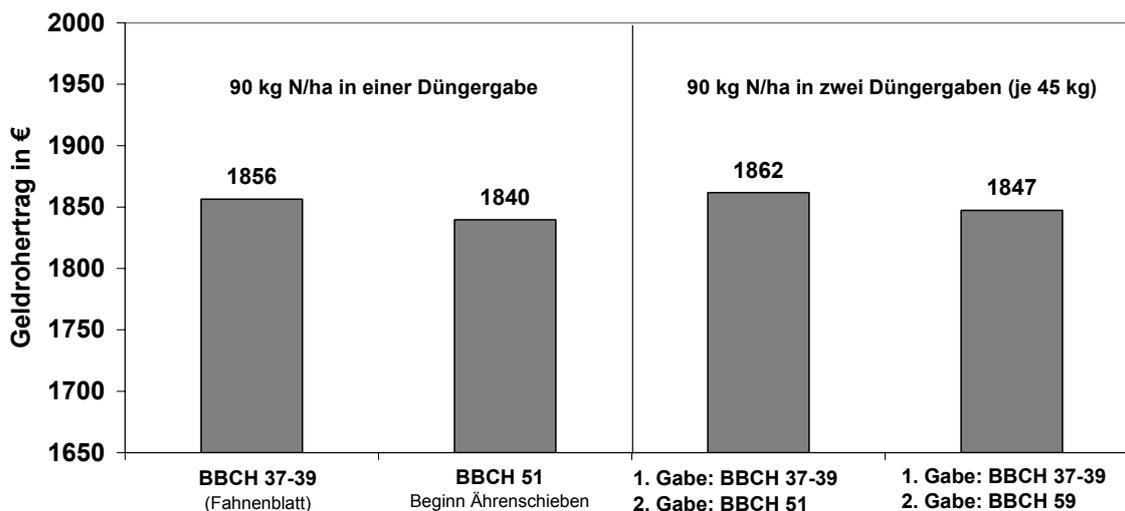


Abb. 4: Qualitätsweizenproduktion (20 €/dt ± Zuschlag), Düngezeitpunkt und Aufteilung der N-Spätdüngung, Mittel aus 8 Orte, 2004-2006, Preise für N: 0,82 €/kg

Auf leichten, durchlässigen Standorten muss eine Angleichung der Düngungsmaßnahmen auf die aktuelle Jahreswitterung erfolgen. Die Höhe der ersten Gabe sollte immer auf das Ertragsniveau bei ausreichender Wasserversorgung ausgerichtet werden. In Jahren mit längeren Trockenperioden ist jedoch bei den weiteren Düngungsterminen eine Anpassung an die am Beispiel Schrobenshausen gezeigten geringen Ertragserwartungen notwendig. Dies kann in Einzeljahren eine Reduzierung der 2. und 3. Gabe um bis zu 50 % bedeuten. Dies ist zwingend notwendig, um Stickstoffüberhänge im Nährstoffsaldo des Betriebes zu vermeiden. Nach der Düngeverordnung dürfen die Stickstoffüberhänge ab 2011 im dreijährigen Durchschnitt 60 kg /ha/Jahr nicht überschreiten.

Auf diesen Standorten kann auch ein Einsatz von stabilisierten Düngern sinnvoll sein. Damit wird auch der erhöhten Auswaschungsgefahr auf diesen Standorten bei Starkregenereignissen Rechnung getragen. Welche Düngermengen dann zu welchem Zeitpunkt unter den Bedingungen von Trockenheiten optimal eingesetzt werden, muss in Versuchen geprüft werden.

### 3.4.3 Strategien aus Sicht des Grundwasserschutzes

Aus Sicht des Grundwasserschutzes birgt der Klimawandel folgende Risiken:

- In Jahren mit ausgeprägter Trockenheit werden durch niedrige Ernteerträge größere Reststickstoffmengen im Boden verbleiben mit der Folge eines hohen Nitratgehaltes im Boden. Dieser Effekt war auch nach dem Trockenjahr 2003 zu beobachten (Abb. 5). In Jahren mit normaler Niederschlagsmenge und -verteilung wurden bei Wintergerste in Seligenstadt Erntemengen von 66,5 dt/ha und ein  $N_{\min}$ -Gehalt nach der Ernte von 42 kg N/ha gemessen. Im Jahr 2003 fiel der Ertrag trockenheitsbedingt auf 48,8 dt/ha ab, der  $N_{\min}$ -Gehalt stieg um 14 kg an. Ähnlich reagierte der  $N_{\min}$ -Gehalt bei Winterroggen am Baumannshof. Der im Vergleich zu den Normaljahren um 22,7 dt verminderte Ertrag ließ den  $N_{\min}$ -Gehalt im Jahr 2003 um ca. 10 kg/ha ansteigen.

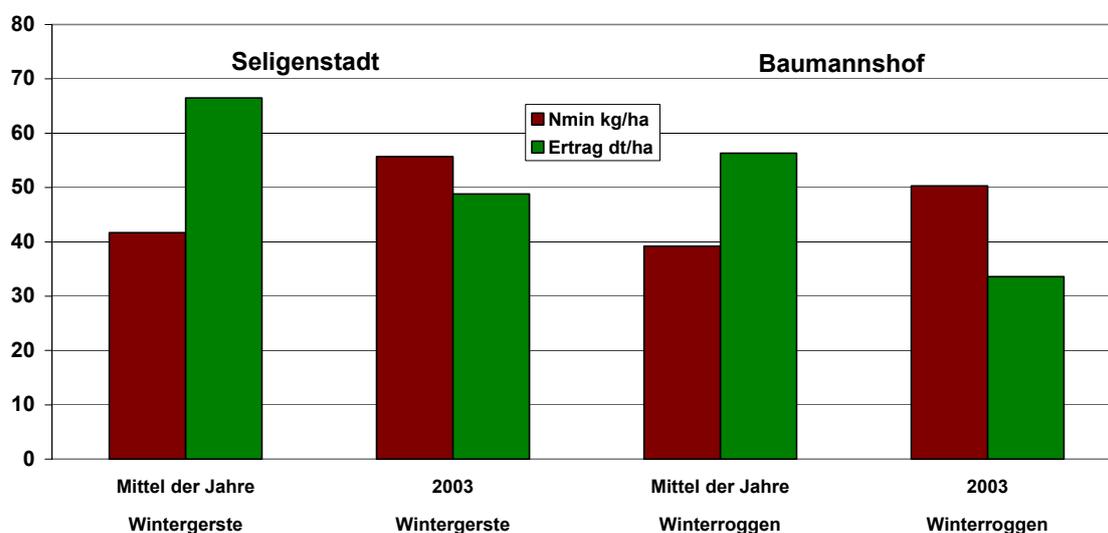


Abb. 5:  $N_{\min}$ -Gehalte nach der Ernte und Erträge in Jahren mit normaler Niederschlagsmenge und nach einem Trockenjahr

- Milde Winter mit ausreichender Bodenfeuchtigkeit ermöglichen die Stickstoffmineralisation aus organischer Substanz.
- Höhere Winterniederschläge bei frostfreiem Boden können den mineralisierten Stickstoff in tiefere Bodenschichten bzw. in das Grundwasser verlagern. Auswertungen des an der Landesanstalt in den Jahren 1991 bis 2002 durchgeführten N-Monitoringprogramms zeigen, dass sich der  $N_{\min}$ -Gehalt mit zunehmender Niederschlagssumme in den Monaten Dezember und Januar deutlich verringert (Abb. 6).

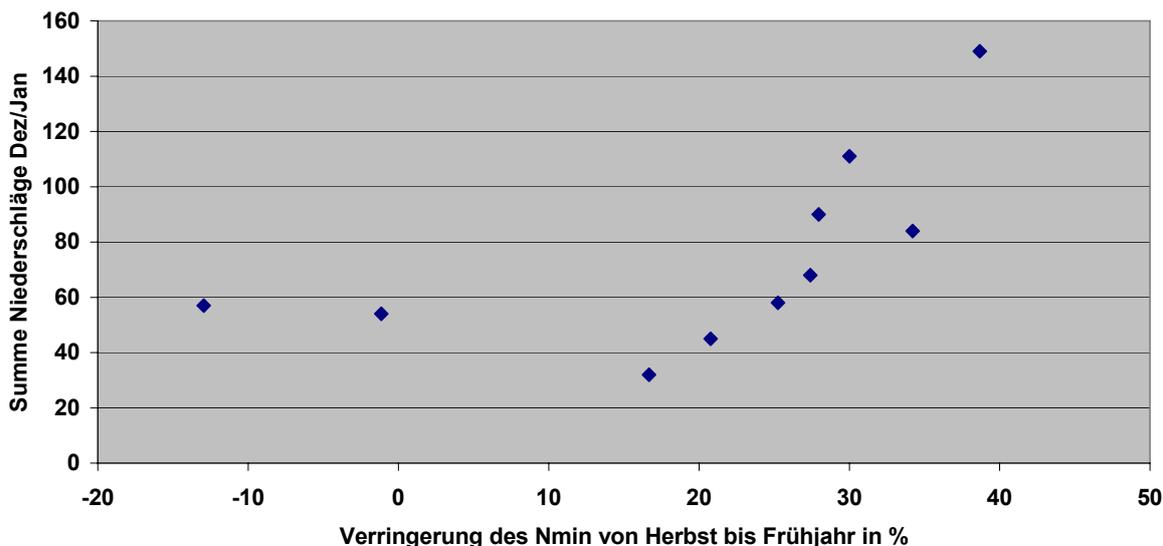


Abb. 6:  $N_{\min}$  in Abhängigkeit von den Niederschlägen, N-Monitoringprogramm 1991 bis 2002 (ohne Z-Rüben und Winterraps), Folgefrucht: Getreide

Um die Risiken zu minimieren, bieten sich folgende Maßnahmen an:

- Bedarfsgerechte Stickstoffdüngung zur Hauptfrucht, die sich sowohl auf langfristige Ertragsentwicklungen als auch auf jahrgangsbedingte Witterungsverhältnisse einstellt.
- Zwischenfruchtanbau mit überwinternder Zwischenfrucht zur Konservierung des Reststickstoffes im Boden, wobei nach unterdurchschnittlichen Ernten auf eine zusätzliche Düngung auch überwinternde Zwischenfrüchte der Zwischenfrucht verzichtet bzw. diese reduziert werden sollte. Abbildung 7 zeigt den deutlichen Einfluss eines Zwischenfruchtanbaues in einer Mais-Weizenfruchtfolge auf den Nitratgehalt des Sickerwassers. Der Anbau von Rüben nach der Winterweizenernte reduzierte den Nitratgehalt über die Wintermonate deutlich um 14,5 bzw. 18 mg/l. Als weiterer wesentlicher Vorteil des Zwischenfruchtanbaues mit geeigneten Zwischenfrüchten ist zu erkennen, dass sich die Reduzierung des Nitratgehaltes nicht nur auf die Wintermonate beschränkt, sondern bis zum Juni und damit bis zum Beginn der Stickstoffaufnahme durch den Mais anhält.

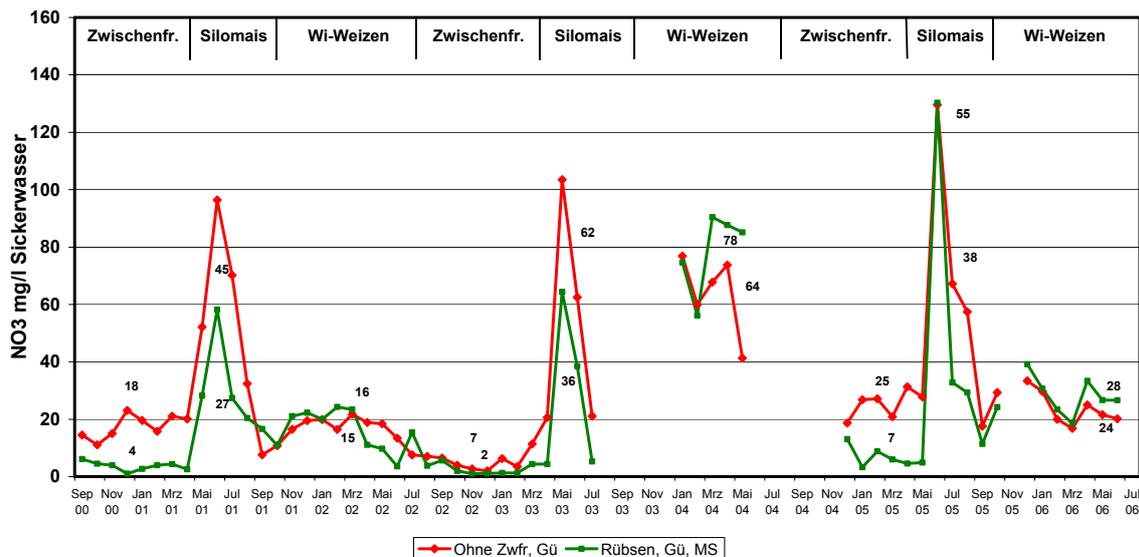


Abb. 7: Verlauf der Nitratkonzentration des Sickerwassers bei verschiedenen Maisanbauverfahren über die Fruchtfolge (Mittelwerte 130 cm Tiefe)

- Verzicht auf Herbstdüngung bei Wintergetreide, um den Stickstoffanteil im Boden möglichst gering zu halten. Aus einer Versuchsreihe auf zwei Standorten lässt sich ableiten, dass eine Herbstdüngung zu Winterweizen bzw. Triticale im Schnitt der Jahre keinen positiven Ertragseinfluss hat (Abb. 8), jedoch den  $N_{\min}$ -Gehalt im Spätherbst deutlich steigert (Abb. 9). Bei entsprechenden Winterniederschlägen unterliegt dieser Stickstoff der Auswaschungsgefahr.

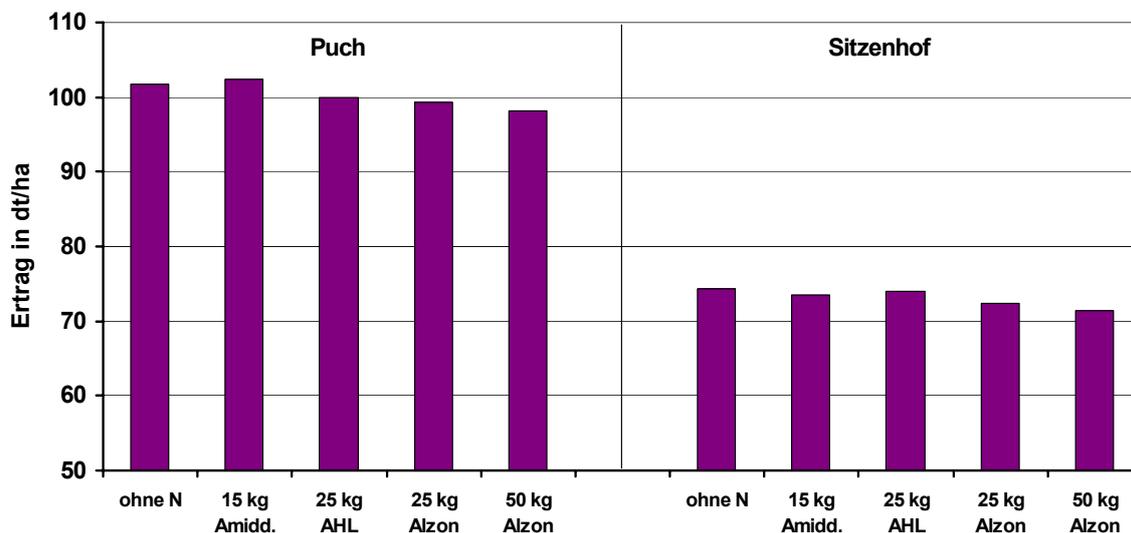


Abb. 8: Kornenertrag von Winterweizen in Abhängigkeit von der Höhe der N-Herbstdüngung (kg N/ha)

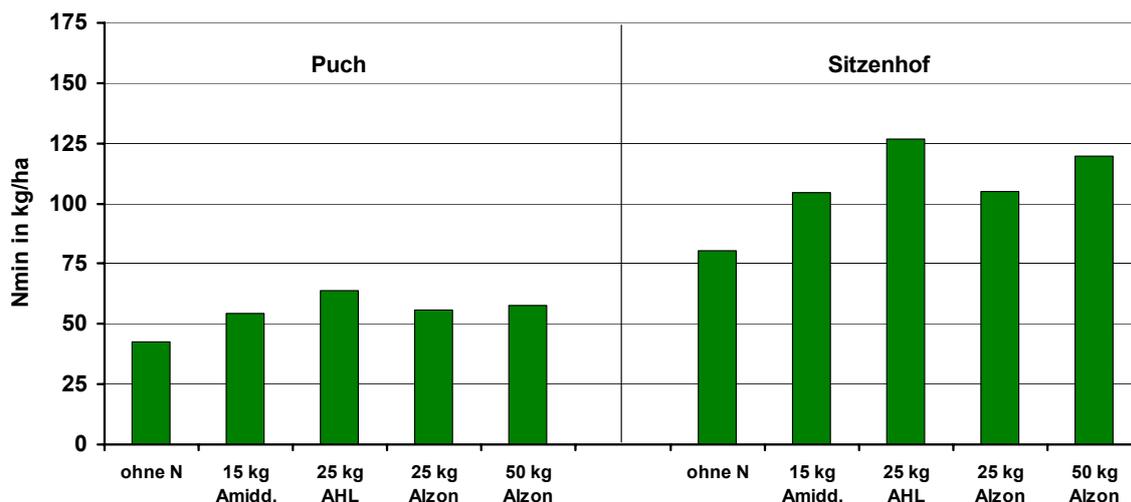


Abb. 9:  $N_{\min}$ -Gehalte im Spätherbst in Abhängigkeit von der Höhe der N-Herbstdüngung (kg N/ha)

### 3.4.4 Strategien für die organische Düngung

Die Landwirtschaft trägt mit dem Einsatz von organischen Düngern wesentlich zur Freisetzung treibhausrelevanter Treibhausgase bei. Ziel der zukünftigen Ausbringung muss es daher sein, diese Emissionen soweit wie möglich zu verringern unter gleichzeitiger Berücksichtigung einer bestmöglichen Düngewirkung. Dabei ist von Vorteil, dass zwischen diesen Zielfeldern kein fachlicher oder ökonomischer Zielkonflikt besteht. Ein früher Einsatz zu Vegetationsbeginn unter Verwendung verlustarmer Ausbringtechnik minimiert gasförmige Verluste, bringt mehr Stickstoff pflanzenverfügbar in den Boden ein und kann dadurch den notwendigen Mineraldüngereinsatz reduzieren. Werden in einer Gabe große Mengen an Wirtschaftsdüngern ausgebracht (z. B. zu Mais, Biogasgärreste zu Wintergetreide), können durch den Einsatz von Nitrifikationshemmstoffen die Auswaschungsverluste bei längeren Regenperioden oder Starkregenereignissen besonders auf leichten oder flachgründigen Standorten vermieden werden. Um den Stickstoffvorrat im Boden nach der Ernte der Hauptfrüchte im Sommer und im Herbst möglichst gering zu halten, ist ein reduzierter Einsatz von Wirtschaftsdüngern, auch zur Strohrotte, anzustreben. Allerdings erfordert der optimierte und gezielte Einsatz dieser Düngemittel gerade in Ackerbaubetrieben ausreichende Lagerkapazitäten.

### 3.5 Grünland

- Vor allem grasreiches Intensivgrünland verfügt nur über ein flaches Wurzelsystem. Die Wurzelmasse ist umso geringer, je höher die Schnittintensität und die Düngung ist. Damit ist es vorzugsweise auf eine kontinuierliche oberirdische Nährstoff- und Wasserversorgung angewiesen.
- Pro Jahr wird Grünland in Bayern überwiegend ca. drei- bis sechsmal genutzt. Damit verbunden sind Düngergaben in annähernd gleicher Anzahl. Im Gegensatz zu Ackerkulturen mit nur einer Ernte pro Jahr kann der Grünlandwirt damit wesentlich flexibler auf die Witterung als der Ackerbauer reagieren. Die Nährstoffrückführung erfolgt im Futterbaubetrieb vorwiegend als Wirtschaftsdünger (Gülle > Stallmist). Weiterhin können Mineral- und Wirtschaftsdünger im Grünland in der Regel nur oberflächlich ausgebracht werden (Ausnahme Gülleinjektion). Eine mechanische Einarbeitung kann naturgemäß nicht (außer bei Grünlandumbruch) erfolgen. Der Nährstofftransport an die Wurzel ist damit auf Niederschläge angewiesen, sofern der Dünger nicht in dünnflüssiger Form (Gülle, Jauche) vorliegt. Gerade bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern bestehen damit erhebliche Verlustpotenziale (Abgasung, Abschwemmung), die mit negativen Auswirkungen auf die Umwelt verbunden sind. Diese Tatsache stellt einen wesentlichen Aspekt künftiger Düngungsstrategien dar.

#### 3.5.1 Künftige Düngungsstrategien für das bayerische Grünland in Gunstlagen

In Regionen mit gesicherter Wasserversorgung (südliches Oberbayern, Allgäu) dürften sich keine gravierenden Auswirkungen auf die bisher praxisübliche Düngung ergeben. Die bisherige Erfahrung anhand des Trockenjahres 2003 am Standort Kempten zeigte, dass bei einer Reduzierung der Niederschläge auf 510 mm in den Monaten April bis September bzw. 1015 mm im Jahr, was ca. 70 bzw. 80 % des langjährigen Mittels gleichkam, in den dortigen Versuchen mit intensiver Grünlandnutzung noch ca. 85 % bis über 95 % des langjährigen Durchschnittsertrages erzielt wurden.

Eventuell besteht sogar die Möglichkeit, dass künftig durch den CO<sub>2</sub>-Anstieg der Atmosphäre, durch höhere Temperaturen und mildere Winter mit einem höheren Ertragspotenzial und einer damit einhergehenden höheren Nährstoffabfuhr vom Grünland zu rechnen ist.

Tab. 2: Versuchsergebnisse Spitalhof/Kempten zu Düngung und Nutzungsintensität

Schnitte pro Jahr	4			5		
Güllegaben pro Jahr je 20 m <sup>3</sup> /ha (ca. 5 % TS)	2	3	4	3	4	
	<b>Ertrag (dt TM/ha)</b>					Δ max. Variante
Ø 1999 – 2005	<b>101</b>	<b>109</b>	<b>121</b>	<b>102</b>	<b>115</b>	20
2003	92	98	116	102	112	24
Δ max. Jahr (n = 7)	13	24	36	38	39	

Tab. 3: N-Entzüge bei 4 Schnitten und unterschiedlichem Gülleinsatz; Spitalhof (Mittel 2001-2004 oben, 2003 unten, gedüngte Aufwüchse sind unterstrichen)

Variante	N-Entzug pro Aufwuchs und Jahr (kg N/ha)				
	1. A.	2. A.	3. A.	4. A.	Jahr
2 x 20 m <sup>3</sup> Gülle (ca. 5 % TS)	<u>78</u> 70	<u>57</u> 57	<u>70</u> 70	<u>45</u> 37	<u>250</u> 234
3 x 20 m <sup>3</sup> Gülle (ca. 5 % TS)	<u>83</u> 78	<u>69</u> 70	<u>65</u> 59	<u>55</u> 43	<u>272</u> 250
4 x 20 m <sup>3</sup> Gülle (ca. 5 % TS)	<u>91</u> 92	<u>75</u> 72	<u>80</u> 81	<u>60</u> 45	<u>306</u> 290

Um das vorhandene Ertragspotenzial auszuschöpfen und die in der leistungsbetonten Tierernährung erforderlichen hohen Futterqualitäten vom Grünland zu sichern, ist eine intensive Nutzung weiterhin nötig und wird voraussichtlich auch möglich sein. Tabelle 2 zeigt, dass trotz deutlicher Jahresschwankungen (siehe  $\Delta$  max. Jahr) ein gleichmäßiger, dem Ertragspotential entsprechender Nährstoffrückfluss in der Vegetationsperiode weiterhin entscheidend ist. Die Daten belegen auch, dass trotz deutlicher Jahresschwankungen generell der Nährstoffbedarf mit zunehmender Nutzungsintensität ansteigt. Wird einer Intensitätssteigerung durch die Düngung nicht entsprochen, so resultieren daraus geringere Ertragssteigerungen bzw. Ertragsrückgänge (siehe Tabelle 2).

Ein gleichmäßig auf das Jahr verteilter Nährstoffrückfluss in standortangepasster Höhe bietet auch die Möglichkeit, dass bereits im Vorjahr gegebene Düngergaben sich positiv auf die Aufwüchse im kommenden Frühjahr auswirken können. Dies sei beispielhaft in Tabelle 3 für einen Grünlandversuch in Kempten wiedergegeben. Bemerkenswert dabei ist, dass sich bei identischer Düngung im Frühjahr umso höhere N-Entzüge im ersten Aufwuchs feststellen ließen, je besser die Nährstoffversorgung im Gesamtjahr ausfiel. Tendenziell galt dies im Mittel der Jahre teilweise auch für den zweiten Schnitt.

### 3.5.2 Künftige Düngungsstrategien in trockeneren Lagen (Nordbayern)

In weiten Teilen Nordbayerns liegen die durchschnittlichen Niederschlagsmengen in einem Bereich von ca. 600-800 mm im Jahr. Damit bestehen bereits jetzt für viele Wiesen und Weiden – sofern es sich nicht um grundwassernahe Tallagen handelt – wesentlich schlechtere Wachstumsbedingungen als in Südbayern. Es ist anzunehmen, dass sich durch die prognostizierten Witterungsextreme die Situation künftig noch verschärfen wird. Die bereits bis dato feststellbare Ertragsvarianz (siehe Abbildung 10) dürfte durch die prognostizierten Witterungsextreme in Zukunft noch weiter zunehmen. Das insgesamt niedrigere Nutzungspotenzial als in Südbayern verlangt bereits jetzt einen niedrigeren Nährstoffeinsatz. Gerade in Nordbayern wirken sich kleinräumige Standortunterschiede stark auf den Einsatz (Menge/Verteilung) von Wirtschafts- und Mineräldünger aus. Dies wird künftig – mit steigender Varianz – weiter so bleiben.

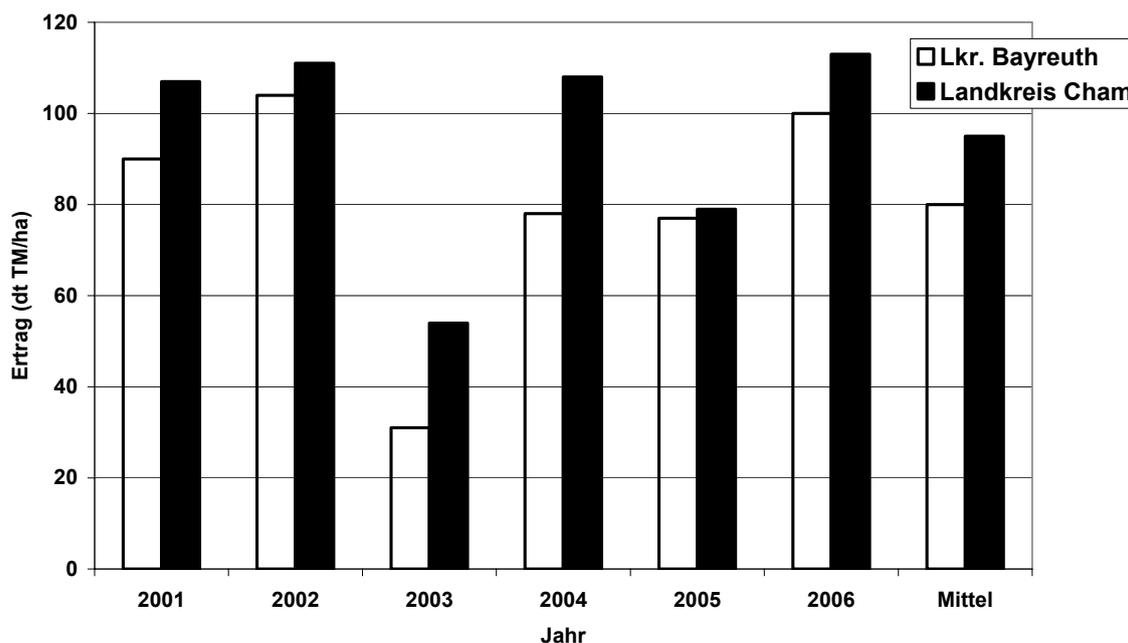


Abb. 10: Erträge von zwei Grünlandversuchen mit 3-4 Schnitten in Nordbayern, Parallelversuch Landkreis Bayreuth und Cham; jeweils Versuchsmittel von 7 Varianten

Auch für nordbayerische Lagen gilt vom Prinzip her der Grundsatz, einer möglichst gleichmäßigen Nährstoffverteilung (auf niedrigerem Niveau) über das Jahr hinweg. Allerdings ist aus der Erfahrung der vergangenen Jahre ein Wirtschaftsdüngereinsatz nach einem (späten) ersten Schnitt bereits gegenwärtig häufig nicht sinnvoll, weil die notwendigen Niederschläge oft fehlen. Versuchsergebnisse der LfL (DIEPOLDER UND RASCHBACHER, 2007) lassen darauf schließen, dass auch im Frühsommer/Hochsommer gegebener Mineraldünger auf Standorten mit nicht gesicherter Wasserversorgung kaum Wirkung zeigt. Künftig wird vom Landwirt noch mehr Flexibilität verlangt werden, was den Einsatz von Wirtschaftsdünger (Acker/Grünland; Terminierung) aber auch Mineraldünger betrifft.

Da in trockeneren Lagen Nordbayerns mit 3(-4) möglichen Nutzungen mit dem ersten Aufwuchs durchschnittlich ca. 40-50 % der gesamten jährlichen N-Aufnahme erfolgen, dürfte die bereits jetzt häufig praktizierte und von der Beratung empfohlene Gülle-Düngungsstrategie mit Betonung der Frühjahrsdüngung bzw. moderaten Gaben im Herbst, die sich positiv auf den ersten Aufwuchs im Folgejahr auswirken, auch weiter Erfolg versprechend sein. Da eine stark frühjahrsbetonte N-Verteilung die Entwicklung des Rohfasergehaltes bei den in der Regel obergrasreichen Grünlandbeständen Nordbayerns vorantreibt, ist in Hinblick auf die erzielbare Futterqualität die optimale Terminierung des ersten Schnittes sehr wichtig. Der Einsatz von stabilisierten N-Düngern sowie von Nitrifikationshemmstoffen in der Gülle sollte in Trockenlagen in Versuchen geprüft werden. In Nordbayern könnten die durch den Klimawandel vermutlich begünstigten Leguminosen künftig verstärkt zur N-Versorgung der mittelintensiv genutzten Wiesen beitragen. Generell gilt für kleereiches Grünland ein verhaltener mineralischer N-Einsatz, was sich auch in Untersuchungen der LfL in Oberfranken nachvollziehen ließ (DIEPOLDER UND RASCHBACHER, 2007).

### 3.5.3 Künftige Strategien der Güllewirtschaft im Grünland unter besonderer Berücksichtigung der N-Ausnutzung

Im Sinne einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft in Futterbaubetrieben muss die Stickstoffausnutzung der Gülle verbessert werden. Es ist bekannt, dass die N-Ausnutzung umso höher ist, je dünnflüssiger die Gülle ausgebracht wird, da dadurch Ammoniakverluste (Wasser bindet Ammoniak) reduziert werden und ein besseres Eindringen in den Boden gewährleistet ist. Außerdem ist in diesem Zusammenhang zu erwähnen, dass dickflüssige Gülle bei ausbleibenden Niederschlägen die Gefahr von Futterverunreinigungen erhöht. Grundsätzlich erfordert dies sowie die zunehmende „klimatische Unsicherheit“ (Extremwetterlagen) ausreichend „Sicherheiten bei der Lagerkapazität“!

Die prognostizierte Klimaänderung „heiße Sommer nehmen zu“ verlangt künftig noch mehr Fingerspitzengefühl und Flexibilität flüssige Wirtschaftsdünger nur bei „Güllewetter“ auszubringen. Wenn dies jedoch nicht der Fall ist, zeigen sich die Vorteile einer bodennahen und nicht-flächigen Applikation. So ergaben mehrjährige Untersuchungen der Hessischen Landwirtschaftlichen Lehr- und Forschungsanstalt Eichhof (NEFF, persönliche Mitteilung) eine umso größere Ertragswirksamkeit der Schleppschlauchtechnik gegenüber der Gülleapplikation mittels (nach unten gerichteter) Pralltellertechnik, je höher das Verlustrisiko war.

Auch die Bayerischen Staatsministerien für Landwirtschaft und Forsten sowie für Landesentwicklung und Umweltfragen weisen in einem gemeinsamen, von der LfL erarbeiteten Merkblatt (2003) darauf hin, dass bei einer Temperatur von 15 °C die gasförmigen Ammoniakverluste von Rindergülle bei der Ausbringung mit Schleppschlauch durchschnittlich um 10 % (kurze Grasnarbe) bzw. 30 % (lange Grasnarbe), bei der Schleppschuhtechnik um 40 % und beim Gülleschlitzverfahren um 60% im Vergleich zur Breitverteilung vermindert wurden. Den Einfluss von Temperatur und Ausbringverfahren gibt Abbildung 11 wieder.

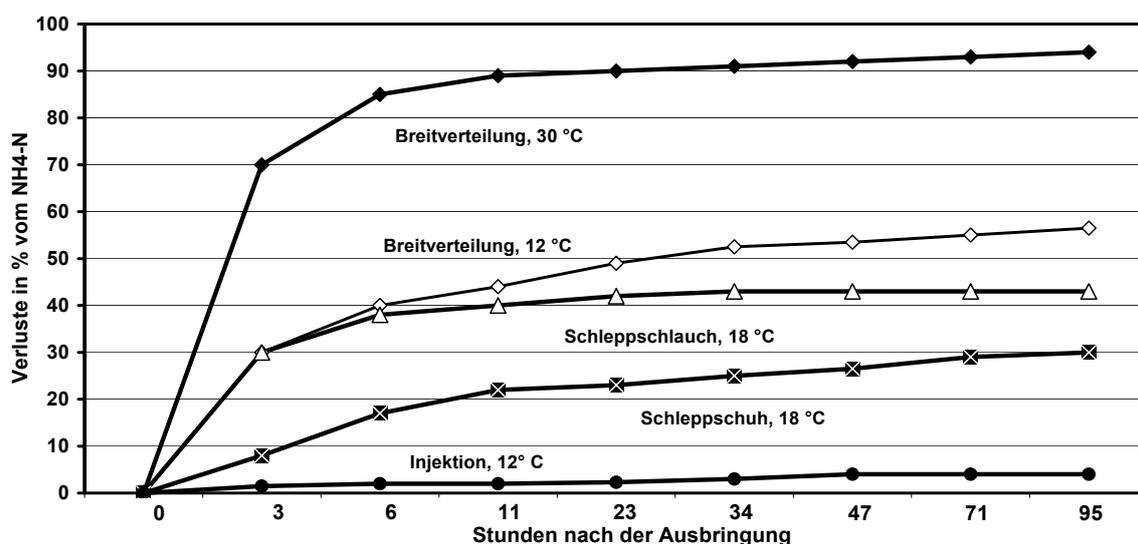


Abb. 11: N-Verluste bei der Gülleausbringung (nach STMLF und STMLU, 2003)

Bei der Etablierung neuer Techniken der Gülleausbringung sind jedoch auch Aspekte der Schlagkraft und des Leistungsbedarfs, demnach einzelbetriebliche Voraussetzungen bzw. Möglichkeiten des überbetrieblichen Einsatzes (Ökonomie) zu prüfen. Bisher ist im Grünland die Pralltellertechnik die vorherrschende Gülletechnik.

### 3.5.4 Künftige Strategien der Güllewirtschaft im Grünland unter besonderer Berücksichtigung des Oberflächengewässerschutzes bei prognostizierten zunehmenden Starkregenereignisse

#### Drainiertes Grünland

Starkregenereignisse direkt nach Gülledüngung können bei Grünland über den Pfad Makroporen und Drainagen (Zwischenabfluss) zu erheblichen Phosphorbelastungsspitzen in Oberflächengewässern führen. Dabei bestehen in Bezug auf die Gülletechnik Reduzierungspotenziale. So zeigte ein Forschungsprojekt der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (DIEPOLDER und RASCHBACHER, 2007) folgende Ergebnisse: Bei drainiertem Grünland, auf welchem unmittelbar nach der Düngung mit einer Beregnungsanlage Starkregenereignisse simuliert wurden, waren zwischen den Variantenmitteln deutliche Unterschiede bezüglich den an der Drainage gemessenen P-Frachten, den P-Konzentrationen und den P-Fraktionen zu erkennen (siehe Tabelle 4). Dies betraf sowohl den Vergleich zwischen ungedüngten und gedüngten Parzellen als auch - bei den beiden Güllevarianten - die Form der Ausbringungstechnik. Dabei wurde im Falle einer Gülleapplikation, welche mit einem Gülleinjektionsgerät streifenförmig und ca. 1-2 cm tief erfolgte, im Mittel über alle Wiederholungen 60 % weniger Phosphor aus den Drainagen ausgetragen, als dies bei der konventionellen flächigen Pralltellertechnik der Fall war. Bezüglich der Übertragung der Ergebnisse auf undrainiertes Grünland besteht weiterer Forschungsbedarf.

Tab. 4: P-Frachten und P-Konzentrationen im Drainageabfluss unter Grünland nach simulierten Starkregenereignissen (DIEPOLDER und RASCHBACHER, 2007)

	<b>Mittelwerte bei Varianten und Spannweite</b>		
	<b>ohne Düngung (n = 10)</b>	<b>Gülledüngung</b>	
		<b>Prallteller (n = 9)</b>	<b>flache Injektion (n = 10)</b>
<b>P-Fracht in g Gesamt-P/ha)</b>	45 (4-82)	<b>300</b> (42-960)	<b>120</b> (34-317)
<b>Anteil lösliches P in Prozent</b>	75 (49-95)	40 (7-57)	54 (33-93)
<b>P-Konzentration in mg Gesamt-P/l</b>	0,85 (0,49-1,81)	<b>12,02</b> (3,0-24,2)	<b>3,89</b> (2,1-6,0)

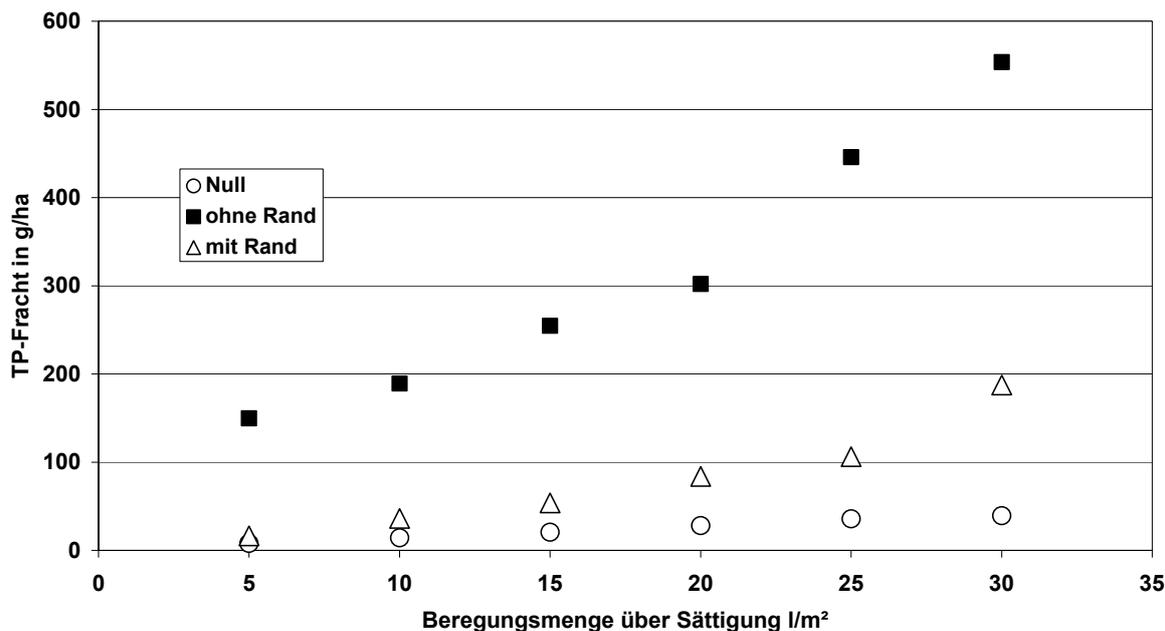


Abb. 12:  $P_{\text{gesamt}}$ -Frachten bei verschiedenen Beregnungsmengen über Wassersättigung des Bodens ohne Gülle (Null) sowie bei Gülledüngung mit bzw. ohne Randstreifen (DIEPOLDER und RASCHBACHER, 2008 i.V.)

#### Ungedüngte Randstreifen vor Oberflächengewässern

Starkregenereignisse direkt nach Gülledüngung können im hängigen Gelände zu Phosphoreinträgen in Oberflächengewässer führen. Versuchsergebnisse der LfL belegen (siehe Abbildung 12), dass mit Hilfe von ungedüngten Randstreifen von 5 m Breite die P-Einträge in Oberflächengewässer erheblich gesenkt werden können.

#### **3.5.5 Grundwasserschutz**

Grünland bedeckt den Boden ganzjährig, hat eine lange Vegetationsperiode und demnach eine wesentlich längere Zeit der Nährstoffaufnahme als Ackerkulturen. Dies ist ein Grund, warum unter Grünland nur geringe Stickstoffverluste mit dem Sickerwasser gemessen werden. Es ist anzunehmen, dass die prognostizierten mildereren Winter die Periode der Nährstoffaufnahme und damit den Nährstoffbedarf gerade in Gunstlagen noch weiter ansteigen lassen. Es bleibt aber auch die Frage offen, ob und inwieweit damit auch bei Grünland mit erhöhten Stickstofffrachten in das Grundwasser zu rechnen ist. Langzeituntersuchungen mit Saugkerzen- und Lysimeteranlagen scheinen demnach sinnvoll und nötig.

### 3.6 Literatur

- [1] Arbeitskreis Klimaveränderung und Wasserwirtschaft, KLIWA (2006): Regionale Klimaszenarien für Süddeutschland – Abschätzungen auf den Wasserhaushalt. KLIWA-Berichte, Heft 9, 104 Seiten.
- [2] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2007): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland – Gelbes Heft; 8. überarbeitete Auflage LfL (Hsg.). März 2007.
- [3] Bayerische Staatsministerien für Landwirtschaft und Forsten sowie für Landesentwicklung und Umweltfragen (2003): Merkblatt Verminderung gasförmiger Emissionen in der Tierhaltung. 26 Seiten.
- [4] Diepolder, M. und Raschbacher, S. (2007): Saubere Seen – Forschungsprojekt Schwarzach 2002-2005; Abschlußbericht an das Bayerische Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, 116 Seiten.
- [5] Diepolder, M. und Raschbacher, S. (2007): Intensivierung der Grünlandnutzung im nordbayerischen Raum; Beitrag zum regionalen Versuchsberichtsheft des Amtes für Landwirtschaft und Forsten Bayreuth, in Vorbereitung.
- [6] Goldbach, H. (2004): Wann lohnen Blattdünger?; DLG-Mitteilungen, Dünger-Magazin Winter/04.
- [7] Hoffmann-Bansen; R.; (2007): Mitteleuropa; Zeitschrift Praxisnah, 2/2007.
- [8] Hopkins, A. und Del Prado, A. (2007): Implications of climate change for grassland: impacts, adaptations and migration options: a review. Grass and Forage Science, 62, Seite 1-9, Blackwell Publishing Ltd.
- [9] Neff, R. (per. Mitteilung, 2007): Optimierung der Gülledüngung auf Grünland; Versuchsergebnisse des Landesbetriebs Landesbetriebes Landwirtschaft Hessen; liegt den Autoren als Mail vor.
- [10] Stock, M. (2006): Klimaänderungen – Folgen und notwendige Konsequenzen; Vortrag Bad Ischl 2006, <http://www.pik-potsdam.de>



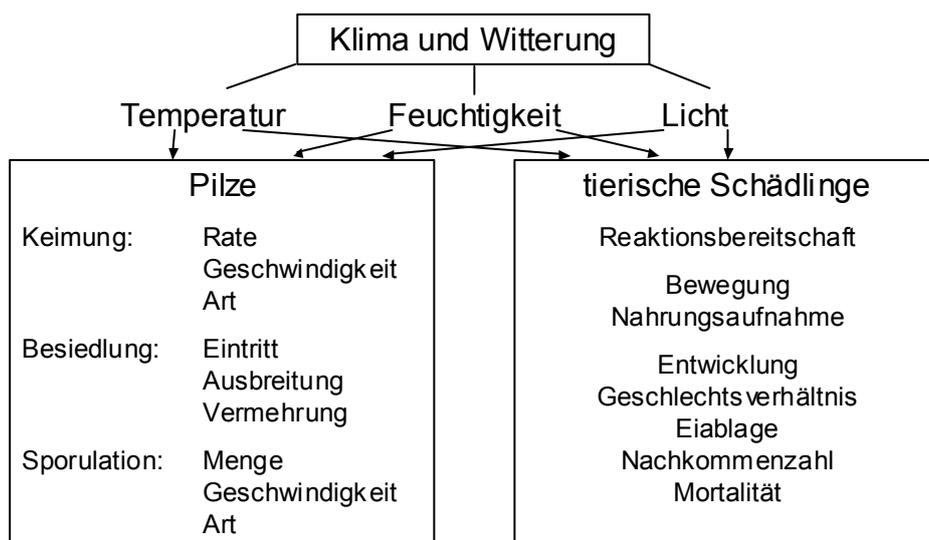
## 4 Auswirkungen und Strategien für Landwirtschaft und Umwelt – aus der Sicht des Pflanzenschutzes

Stephan Weigand und Dr. Helmut Tischner

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz

### 4.1 Einleitung

Die Witterung hat einen herausgehobenen Einfluss auf die Ertragsbildung landwirtschaftlicher Kulturen. Zu den ertragsbestimmenden Faktoren, die wesentlich durch die Witterung beeinflusst werden, zählen auch das jährliche Auftreten von Schadorganismen und die dadurch verursachten Pflanzenschäden. Unkräuter, Schädlinge und Krankheiten können, je nach Befallsstärke und Wirksamkeit von Bekämpfungsmaßnahmen, ein mehr oder weniger hohes Schadensausmaß erreichen. Dabei wirken Temperatur, Feuchte und Lichtverhältnisse in vielfältiger Weise, z. B. auf die Aktivität, die Vermehrung oder die Verbreitung von Schaderregern ein (Abb. 1).



Hoffmann et. al., 1985, verändert

Abb. 1: Wirkung von Witterungseinflüssen auf Schaderreger

Die Einflüsse einer Klimaänderung sind jedoch noch weitaus komplexer, zieht man auch noch die zahlreichen Wechselwirkungen in die Betrachtung mit ein. So kann beispielsweise die mögliche Anpassung der Unkrautflora nicht getrennt von den entsprechenden Änderungen der Kulturpflanzen gesehen werden. Ebenso wie klimatische Kenngrößen nicht nur die Schädlinge, sondern auch deren natürliche Parasiten und die Nützlinge beeinflussen und auf diese Weise zusätzliche populationsdynamische Prozesse auslösen können. Auch Änderungen in der Epidemiologie von Krankheitserregern müssen stets in Verbindung mit den korrespondierenden Resistenzeigenschaften des angebauten Sortenspektrums betrachtet werden.

Aufgrund der Beobachtungen der vergangenen Jahrzehnte ist weiterhin damit zu rechnen, dass die Variabilität sowohl innerhalb eines Jahres als auch zwischen den Jahren wesentlich größer wird, und sich hinter diesem „Grundrauschen“ der überlagerte Trend einer Klimaänderung, z. B. eines veränderten Schaderregerauftretens, nur schwer erkennen lässt.

Trotz dieser komplexen Zusammenhänge und Wechselwirkungen soll versucht werden, sowohl heute schon feststellbare Beobachtungen, als auch wahrscheinliche Veränderungen durch die Klimaänderung zu beschreiben und daraus mögliche Handlungsstrategien für die Landwirtschaft abzuleiten.

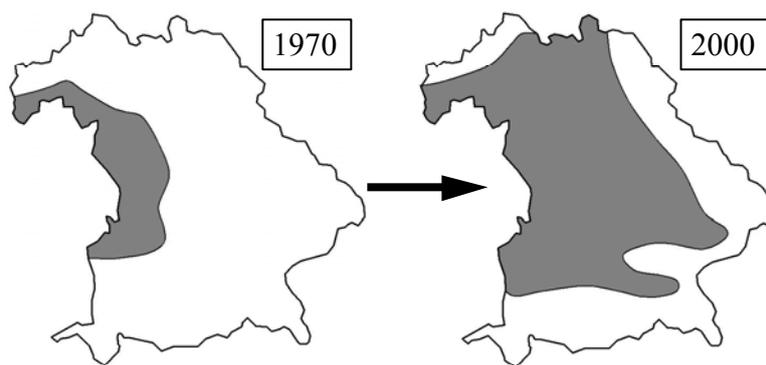
Die Ausführungen beschränken sich dabei im Wesentlichen auf den Ackerbau. Die grundlegenden Aussagen lassen sich jedoch in gleicher Weise auf viele landwirtschaftlich Sonderkulturen, den Feldgemüsebau, sowie den Obst- und Weinbau übertragen. Durch den höheren Marktwert und die Tatsache, dass es sich vielfach um Dauerkulturen handelt, besitzen angepasste Pflanzenschutzstrategien gerade in diesen Kulturen einen besonderen Stellenwert. Die zum Teil schwierigere Situation bei der Zulassung geeigneter Pflanzenschutzmittel lässt jedoch, zumindest was die rasche Umsetzung anbelangt, hierbei mehr Probleme erwarten als im Ackerbau.

## **4.2 Mögliche Auswirkungen einer Klimaänderung auf Schaderreger in der Landwirtschaft**

### **4.2.1 Unkräuter und Ungräser**

#### **4.2.1.1 Verschiebung des bestehenden Artenspektrums**

Durch die Zunahme von längeren Trockenperioden im Frühjahr und Sommer besitzen Pflanzen mit unterirdischen Speicher- und Überdauerungsorganen einen Konkurrenzvorteil. Bereits seit mehreren Jahren lässt sich beobachten, dass in vielen Kulturen in Bayern verstärkt schwer bekämpfbare Wurzelunkräuter und -ungräser auftreten, wie z. B. Ackerdistel, Quecke, Ampfer und Windenarten. Die milde Winterwitterung bevorzugt dagegen die typischen Herbstkeimer, wie z. B. Ackerfuchsschwanz, Klettenlabkraut, Taubnessel, Ehrenpreis oder Stiefmütterchen. Gerade die zunehmende Verbreitung des Ackerfuchsschwanzes (*Alopecurus myosuroides* L.) in den letzten Jahrzehnten ist, neben weiteren Einflussfaktoren, wie der Tendenz zu pflugloser Bodenbearbeitung oder früherem Saattermin, vor allem auf die günstigen Wachstumsbedingungen in den zahlreichen milden Wintern der letzten Jahre zurückzuführen (Abb. 2).



K. Gehring, LfL

Abb. 2: Entwicklung der Verbreitung des Ackerfuchsschwanzes (*Alopecurus myosuroides* L.) von 1970 bis 2000 in Bayern

Neben den winterannuellen Arten wie dem Ackerfuchsschwanz profitieren die Schadgräser generell, vor allem durch ihr höheres Samenpotential von der Klimaveränderung, so etwa auch die Rispengräser (*Poa spp.*), Trespen (*Bromus spp.*) oder Hirsearten. Unter den sommerannuellen Samenunkräutern werden vor allem wärmeliebende, schnell wachsende Arten, wie z. B. Gänsefuß, Melden, Franzosenkraut oder Wolfsmilchgewächse Konkurrenzvorteile besitzen und sich stärker ausbreiten können.

#### 4.2.1.2 Neophyten mit Schadpotenzial in der Landwirtschaft

Mit der Klimaänderung treten in Deutschland zunehmend neue Pflanzenarten auf. Hierbei besteht grundsätzlich die Gefahr, dass sich einzelne Arten auch in landwirtschaftlichen Kulturen etablieren und entsprechende Schadwirkung erlangen können. Bisher beschränkt sich dies jedoch meist auf Einzelvorkommen, z. B. von Samtpappel (*Abutilon theophrasti*) oder Giftbeere (*Nicandra physalodes*) mit allenfalls lokal begrenzter Schadwirkung (MEINLSCHMIDT 2004). Ein typischer wärmeliebender, invasiver Neophyt ist auch die Beifuß-Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*), die sich neben ihrem Ursprungsgebiet Nordamerika vor allem auch in den südosteuropäischen Verbreitungsgebieten zu einem wirtschaftlich bedeutenden Unkraut entwickelt hat (Abb. 3).

Da die Beifuß-Ambrosie in Deutschland bisher nur vereinzelt auftritt, beschränkt sich das aktuelle Interesse auf das hohe Allergiepotezial der Pollen und führte zu entsprechenden Bekämpfungsprogrammen (BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT 2007).



Abb. 3: Der Neophyt Beifuß-Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*) ist in Ungarn bereits ein wichtiges Unkraut (Foto: Ettl, J.)

#### 4.2.1.3 Weitere Auswirkungen der Klimaänderung auf Unkräuter und Ungräser

Durch die sinkende Frosthäufigkeit und –stärke im Winter wird die Durchwuchsproblematik in vielen landwirtschaftlichen Kulturen eine größere Bedeutung erlangen. So stellt beispielsweise der Durchwuchs von Kartoffeln oder, wie im Jahr 2007 verstärkt zu beobachten war, auch der Durchwuchs von Mais (Abb. 4), stets einen Sonderfall für die Unkrautbekämpfung in der Folgekultur dar. Er erfordert spezielle Bekämpfungsmaßnahmen und ist in der Regel mit einem erhöhten Einsatz von Herbiziden verbunden.



Abb. 4: Durchwuchs von Mais in einem Karottenbestand im Jahr 2007

Auch von der Zunahme der CO<sub>2</sub>-Konzentration sind zusätzliche Auswirkungen auf die Unkrautflora zu erwarten. Während von einer Temperaturerhöhung tendenziell die C4-Pflanzen begünstigt werden, profitieren von dem erwarteten CO<sub>2</sub>-Düngungseffekt vor allem die C3-Pflanzen. Beide Effekte lassen damit erhöhte Unkrautbiomassen zukünftig wahrscheinlicher werden (WEIGEL 2005). In Abhängigkeit von einer sich gleichgerichtet oder gegenläufig ändernden Wachstumsleistung der Kulturarten ergeben sich damit auch entsprechende Verschiebungen in der relativen Konkurrenzkraft und der Schadwirkung.

## **4.2.2 Tierische Schaderreger**

### **4.2.2.1 Auswirkungen in landwirtschaftlichen Kulturen**

Unter den tierischen Schaderregern werden besonders die wärmeliebenden Insekten von den Klimaänderungen profitieren. Erhöhte Fraßaktivität und Reproduktionsraten im Sommer und verringerte Mortalität im Winter können ein entsprechend erhöhtes Schadpotenzial bedingen.

Dies lässt sich bei vielen Schädlingen bereits jetzt schon, anhand der erhöhten Abundanz in besonders warmen, trockenen Jahren beobachten. Zum Teil wirken diese Effekte auch noch im Folgejahr. Exemplarisch sind zu nennen:

#### **Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*)**

Der Schädling breitet sich in Bayern, ausgehend von seinen früheren Schwerpunktgebieten in Mittel- und Unterfranken, immer weiter aus. Da der Falterflug unter anderem stark von der Temperatur (Boden, Luft) abhängig ist, sind besonders in warmen Jahren mit frühem oder sehr starkem Zuflug oftmals auch entsprechend höhere Befallsstärken feststellbar.

#### **Kartoffelkäfer (*Leptinotarsa decemlineata*)**

Der Käfer bringt in unseren Breiten normalerweise jährlich nur eine Generation hervor. In sehr warmen Jahren, zuletzt 2003 und 2005, entwickelten sich jedoch bis zu drei Generationen und erforderten regional entsprechend häufigeren Einsatz von Insektiziden. Zusätzlich war auch die Bekämpfung wesentlich erschwert, da in den Kartoffelbeständen neben den leichter bekämpfbaren Junglarven gleichzeitig auch die widerstandsfähigeren Altlarven und Adulten auftraten (Abb. 5). Dies trug auch zu Verschärfung der Resistenzproblematik bei der Bekämpfung dieses Schädlings bei.



Abb. 5: Kartoffelkäfer (*Leptinotarsa decemlineata*) und ihre Larven erreichen in warmen Jahren ein besonders hohes Schadpotenzial

#### **Feldmaikäfer (*Melolontha melolontha L.*)**

Auch der Feldmaikäfer tritt in Bayern immer häufiger auf. Die Adulten werden begünstigt durch wärmere und trockenere Sommerwitterung, die Larven durch die verminderte Mortalität in den milderen Wintermonaten. Die stärksten Schäden sind in Bayern im Raum Spessart zu verzeichnen. Daneben tritt der Schädling aber auch zunehmend im Bayerischen Wald auf. Ausgehend von den ausgesprochen günstigen Entwicklungs- und Vermehrungsvoraussetzungen im Trockenjahr 2003 fand der nächste massive Hauptflug des Feldmaikäfers im Jahr 2006 stand. Neben den Schäden durch den Reifungsfraß an Laubbäumen verursachen die Engerlinge im Boden große Schäden in Grünlandbeständen. Das Schadensausmaß wird durch Sekundärschäden von wühlenden Wildschweinen auf den befallenen Grünflächen noch deutlich erhöht (Abb. 6). Entsprechende Bekämpfungsansätze werden bereits geprüft und sollen nach dem nächsten erwarteten Hauptflug 2009 eingesetzt werden (BENKER 2007).



Abb. 6: Engerling des Feldmaikäfers (*Melolontha melolontha L.*) und Sekundärschaden durch Wildschweine bei hohem Engerlingbesatz im Grünland

Als Folge der extrem trocken-warmen Aprilwitterung traten im Jahr 2007 in einigen Regionen Bayerns erstmals stärkere Schäden durch die Gelbe Getreidehalmfliege (*Chlorops pumilionis*) auf. Bei einigen Sommerweizenbeständen wurden Befallshäufigkeiten von über 50 % festgestellt. Des Weiteren ist im Getreide auch mit einer Zunahme des Getreidehähnchens (*Oulema spp.*) zu rechnen, welches bereits in zurückliegenden Jahren vereinzelt ein bekämpfungswürdiges Ausmaß erreichte. Ebenso ist in allen Kulturen mit einer Zunahme von Blattläusen und Zikaden zu rechnen. Neben den direkten Saugschäden sind in beiden Tiergruppen auch zahlreiche Überträger wichtiger Viruserkrankungen zu finden, was bei der Bekämpfungsentscheidung entsprechend berücksichtigt werden muss.

Auch im Obstbau ist besonders mit einer Zunahme der Schadinsekten zu rechnen. So bevorzugen beispielsweise Blattsauger (*Psylla spp.*) oder auch die Obstbaumspeckmilbe (*Panonychus ulmi*) warme und trockene Bedingungen. Sie verursachen in den italienischen Anbaugebieten bereits heute erhebliche Bekämpfungskosten und werden auch bei uns stärker an Bedeutung gewinnen.

Dagegen werden Schäden durch Schädlinge, die auf längere Feuchtephasen angewiesen sind, wie z. B. Schnecken oder Nematoden tendenziell abnehmen. Dennoch können auch sie, in Jahren mit mild-feuchter Herbst- bzw. Winterwitterung, entsprechende Schäden verursachen.

#### **4.2.2.2 Neozoen mit Schadpotenzial in der Landwirtschaft**

Auch unter den tierischen Schaderregern treten in Deutschland zunehmend Arten aus wärmeren Regionen auf. Allerdings ist hierbei zwischen einer natürlichen, und damit prinzipiell auch auf eine Klimaänderung zurückzuführenden Ausbreitung und einer vektorgebundenen zu unterscheiden. Letztere hat sich gerade in den letzten Jahrzehnten durch die Zunahme des weltweiten Individual- und Gütertransportverkehrs deutlich erhöht. Aktuelles Beispiel hierfür ist das erstmalige Auftreten des Westlichen Maiswurzelbohler (*Diabrotica virgifera virgifera*, *LeConte*) in Bayern. Der Käfer, ein international gefürchteter Quarantäneschädling, der in seinem Ursprungsgebiet Nordamerika der wichtigste Maischädling ist, soll nun über rechtlich angeordnete Bekämpfungsmaßnahmen möglichst wieder ausgerottet werden. Zwar wird auch seine Aktivität und damit auch seine Schadwirkung durch steigende Temperaturen gefördert. Seine Reproduktion ist jedoch relativ streng vom wiederholten Anbau der Wirtspflanze Mais abhängig und eine aktive Ausbreitung findet nur über vergleichsweise geringe Distanzen statt. Daher kann sein Auftreten in Deutschland auch nicht ursächlich mit klimatischen Veränderungen in Verbindung gebracht werden.

Unter den zahlreichen wärmeliebenden Neozoen sind auch Nützlinge vertreten, wie z. B. die eigentlich mediterrane Wespenspinne (*Argiope bruennichi*) oder bestimmte Laufkäfer-Arten. Wenn sich solche Arten bei uns etablieren, können sie auch zur Minderung landwirtschaftlich bedeutsamer Schaderreger beitragen.

#### 4.2.2.3 Weitere Auswirkungen der Klimaänderung auf tierische Schaderreger

Bei den meisten unserer Vorratsschädlinge handelt es sich um wärmebedürftige, kosmopolite Insektenarten, deren Überlebensfähigkeit unter unseren bisherigen klimatischen Verhältnissen vielfach auf die Lagerstätten beschränkt ist. Ebenso kann eine Weiterverbreitung in andere Läger bisher fast ausschließlich passiv erfolgen, durch Warentransport oder im Verpackungsmaterial. Es ist jedoch zu befürchten, dass bei weiter steigenden Temperaturen auch ein Überleben, möglicherweise auch eine Vermehrung und Überwinterung im Freien stattfinden kann, ebenso wie eine aktive Ausbreitung der Schaderreger. Dies hätte erhebliche Auswirkungen auf die Lagerhaltung im landwirtschaftlichen Bereich zur Folge (REINHART ET AL. 2003).

Weiterhin besteht die Gefahr, dass bisher nur unter Glas vorkommende Schädlinge auch im Freiland überleben und bei Vorfinden geeigneter Wirtspflanzen entsprechende Schäden verursachen können. Fachleute fordern, dass selbst der Einsatz von Nützlingen unter Glas, darunter oftmals Exoten, wie z. B. der Australische Marienkäfer (*Cryptolaemus montrouzieri*), vor dem Hintergrund des erhöhten Risikos einer Etablierung im Freien und damit der Gefahr einer Faunenverfälschung, neu überdacht werden sollte.

#### 4.2.3 Krankheiten

##### 4.2.3.1 Krankheiten mit abnehmender Bedeutung durch die Klimaänderung

Besonders Pilzkrankheiten, die auf Niederschläge und längere Feuchtephasen angewiesen sind, werden tendenziell abnehmen. Darunter fallen im Getreidebereich z. B. die Septoria-Blattdürre beim Weizen (*Septoria tritici*), welche in Bayern in den zurückliegenden Jahren die am häufigsten bekämpfungsrelevante Weizenkrankheit war (TISCHNER ET AL. 2006), sowie die Rhynchosporium-Blattflecken (*Rhynchosporium secalis*), welche meist nur in feuchteren Jahren oder Lagen bei Gerste und Roggen stärker auftreten. Auch die mit Abstand wichtigste Kartoffelerkrankung, die Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*, Abb. 7), wird durch längerer Trockenphasen entscheidend vermindert, wie sich im Trockenjahr 2003 sehr deutlich zeigte.



Abb. 7: Trockenphasen vermindern auch die Ausbreitung der Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*)

Bei Zuckerrüben hat der Erreger der Ramularia-Blattflecken (*Ramularia beticola*) vergleichsweise hohe Feuchteansprüche und wird damit zukünftig an Bedeutung verlieren. Sollten die Trockenphasen auch vermehrt bis in den Spätherbst reichen, sind auch beim Rapsanbau weniger Infektionen, sowohl mit dem Erreger der Wurzelhals- und Stängelfäule (*Phoma lingam*), als auch durch Kohlhernie (*Plasmodiophora brassicae*) zu erwarten.

#### 4.2.3.2 Krankheiten mit zunehmender Bedeutung durch die Klimaänderung

Im Gegensatz dazu werden Krankheiten mit höheren Temperaturansprüchen, denen kurze Feuchte- oder Tauphasen zur Ausbreitung ausreichen, entsprechend an Bedeutung gewinnen. Beispielhaft sind hier die Getreideroste zu nennen. Dies war zuletzt besonders deutlich im Jahr 2007 in Bayern zu beobachten. Bedingt durch den milden Winter, vor allem aber durch den ausgesprochen trocken-warmen April, trat vielerorts ein starker Befall, sowohl der Gerste mit Zwergrost (*Puccinia hordei*) als auch des Weizens mit Braunrost (*Puccinia recondita*, Abb. 8) auf.



Abb. 8: 2007 war in Bayern ein ausgesprochenes „Rostjahr“, hier Braunrost (*Puccinia recondita*) bei Weizen

Genauso ist mit einer Zunahme der Cercospora-Blattfleckenkrankheit (*Cercospora beticola*) bei Zuckerrüben zu rechnen, die im Jahr 2007 so früh wie bisher noch nie auftrat und dadurch in manchen Regionen Bayerns bis zu drei Fungizidmaßnahmen erforderlich machte. Weiter an Bedeutung gewinnen werden auch die Blattfleckenkrankheit bei Mais (*Setosphaeria turcica*), die Alternaria-Dürrfleckenkrankheit der Kartoffel (*Alternaria solani*) oder der Apfelschorf (*Venturia inaequalis*).

Eine Zunahme ist auch bei allen Viruskrankheiten zu erwarten, die durch wärmeliebende Insekten übertragen werden, wie z. B. die Verzweigungsviren in Getreide oder zahlreiche Kartoffelviren. Das relativ häufige Auftreten, sowohl des Blattlaus-übertragenen Gelbverzweigungsvirus der Gerste (*Barley yellow dwarf virus, BYDV*), als auch des Zikaden-übertragenen Weizenverzweigungsvirus (*Wheat dwarf virus, WDV*) im Erntejahr 2007, sind

eine Folge der starken Ausbreitung und Aktivität der Vektoren im warmen Herbst 2006, sowie deren hoher Überlebensfähigkeit im extrem milden Winter 2006/2007.

Durch den tendenziell stärkeren Insektenbefall werden in vielen Kulturen auch zahlreiche damit verbundene Sekundärerkrankungen häufiger auftreten. Beispiele sind ein höherer Befall des Maises mit Kolbenfusariosen (*Fusarium spp.* u. a.) nach Fraßschäden durch den Maiszünsler oder ein verstärktes Auftreten von Schwärzepilzen (*Cladosporium spp.*, *Alternaria spp.* u. a.) nach einem Blattlausbefall.

Sekundärkrankheiten als Folge witterungsbedingter Schäden werden mit der Zunahme von Extremereignissen ebenso an Bedeutung gewinnen. So erzeugen Hagel, Starkniederschläge oder der Sandschliff bei starkem Wind Pflanzenverletzungen, die zahlreichen Krankheitserregern als Eintrittspforte dienen können, wie z. B. beim Maisbeulenbrand (*Ustilago maydis*) oder beim Feuerbrand (*Erwinia amylovora*). Auch die stärkere Besiedelung von lagerndem Getreide mit pilzlichen Schaderregern ist in diesem Zusammenhang zu nennen.

### **4.3 Nichtparasitäre, witterungsbedingte Pflanzenschäden**

Die nichtparasitären, unmittelbar durch die Witterung verursachten Schäden an landwirtschaftlichen Kulturen werden durch die Klimaänderung deutlich zunehmen und in vielen Jahren der ertragslimitierende Faktor sein. Zu nennen sind hier:

- Schäden durch Trockenheit
- Schäden durch Extremereignisse, wie Stürme, Starkniederschläge, Hagel und in der Folge durch Erosion, Stauässe oder Überschwemmung
- Schäden durch Sonnenstrahlung, besonders bei schnellem Witterungsumschwung von Niedrig- zu Hochstrahlung (Abb. 9)
- Schäden durch erhöhte, bodennahe Ozon-Konzentrationen



Abb. 9: Nichtparasitäre Blattverbräunung („Sonnenbrand“) der Gerste ist durch Sprenkelnekrosen auf den der Sonne zugewandten Blattteilen gekennzeichnet

Sollten die Prognosen zutreffen, ist dagegen mit weniger Frosttagen im Winter zu rechnen, und damit grundsätzlich auch mit einem geringeren Risiko von Auswinterungsschäden an landwirtschaftlichen Kulturen.

#### **4.4 Mögliche Auswirkungen auf die Wirksamkeit von Pflanzenschutzmaßnahmen**

Besonders durch die stärkeren Witterungsschwankungen und den damit verbundenen Änderungen in der Schaderregerrelevanz, werden die Ansprüche an einen effizienten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln tendenziell steigen. Gleichzeitig wird jedoch die gezielte Terminierung zunehmend schwieriger, die Wirksamkeit von Pflanzenschutzmitteln unsicherer und eine Beeinträchtigung der Umwelt wahrscheinlicher. Hierbei lassen sich mehrere Problembereiche nennen:

##### **Probleme durch Starkniederschläge:**

- Die Wirkung von Herbiziden kann durch Oberflächenabfluss und Bodenabtrag am Ort der Applikation vermindert werden. Darüber hinaus steigt auch das Risiko entsprechender Schäden auf Nachbarflächen.

- Die Gefahr des Eintrags von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer nimmt zu. Daher sind noch strengere Prüfungen im Rahmen des Zulassungsverfahrens und restriktivere Anwendungsaufgaben absehbar.
- Durch länger anhaltende Unbefahrbarkeit des Feldes werden termingerechte Applikationen schwieriger.

#### **Probleme durch Trockenheit und hohe Temperaturen:**

- Beim Einsatz von Pflanzenschutzmitteln besteht ein erhöhtes Risiko von atmosphärischen Wirkstoffverlusten durch Verdunstung bei der Applikation bis zur Aufnahme des Wirkstoffes durch Boden oder Pflanzen.
- Bodenherbizide wirken bei Trockenheit schlechter wegen der verminderten Wirkstoffaufnahme durch die Zielpflanze bzw. wegen Inaktivierung durch Festlegung an Bodenpartikeln.
- Blattherbizide wirken bei Trockenheit schlechter wegen der Ausbildung einer starken Wachsschicht der Zielpflanzen.
- Fungizide und Insektizide unterliegen, neben der Abdampfung, zum Teil auch einem schnelleren Abbau durch UV-Licht. Damit ergibt sich oftmals eine verminderte Wirkung, z. B. gegen die Larven des Kartoffelkäfers. Durch die suboptimale Wirkstoffkonzentration trägt dies auch zu einer Verschärfung der bestehenden Resistenzprobleme bei, z. B. bei der Wirkung gegen Rapsglanzkäfer.

#### **Probleme durch zunehmende Windstärken:**

- Die optimale Terminierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes wird deutlich schwieriger.
- Bei der Applikation besteht ein erhöhtes Risiko von Wirkstoffverlusten und damit entsprechende Minderwirkungen.
- Durch Abdrift in Oberflächengewässer oder Nicht-Zielflächen werden Umweltbeeinträchtigungen wahrscheinlicher, so dass auch hier strengere Anwendungsbestimmungen zu erwarten sind.

## **4.5 Handlungsstrategien für die Landwirtschaft**

Neben angepassten Fruchtfolgen, geänderten Anbauverfahren, der Verwendung entsprechend züchterisch bearbeiteter Sorten, und damit wesentlichen Elementen des Integrierten Pflanzenschutzes, wird die Klimaänderung auch Änderungen im Bereich der direkten Pflanzenschutzmaßnahmen erfordern. Die Strategie einer gezielten Bekämpfung von Schaderregern oder die Wahl vorbeugender Maßnahmen, um witterungsbedingte Schäden zu minimieren, wird sich dabei nicht grundsätzlich ändern. Mit der stetigen Zunahme von „Jahrhundertereignissen“, wie z. B. dem Sommer 2003, dem Winter 2006/2007 oder dem April 2007 treten allerdings im System Kulturpflanze/Schadorganismus immer häufiger neue Phänomene auf, die eine Anpassung der bisherigen Vorgehensweise erforderlich machen. In diesen Fällen kann sowohl die Wissenschaft nur noch begrenzt vergangene Versuchsergebnisse nutzen, genauso wie selbst langjährig aktive Landwirte nicht mehr auf eigene Erfahrungen zurückgreifen können.

Aus den bisher geschilderten Zusammenhängen lassen sich folgende Handlungsstrategien, sowohl für den landwirtschaftlichen Unternehmer, als auch für die Forschung im Bereich des Pflanzenschutzes ableiten.

#### **Anpassungsmöglichkeiten für Landwirte:**

- Die genaue Beobachtung der eigenen Bestände wird immer wichtiger, um beim Auftreten von Krankheiten und Schädlingen rechtzeitig und gezielt reagieren zu können.
- Bisherige „Patentrezepte“, d. h. der vorwiegend stadienorientierte Einsatz bewährter Pflanzenschutzmitteln, werden immer seltener die wirtschaftlichste Bekämpfungsentscheidung sein.
- Der Einsatz von Wachstumsreglern zur Ertragssicherung im Getreidebau wird durch die Zunahme von Extremereignissen immer wichtiger, deren Anwendung durch längere Trockenphasen für den Landwirt allerdings immer schwieriger.
- Die Nutzung der vielfältigen Beratungsmöglichkeiten wird für die Landwirte immer bedeutender. Fachinformationen über die geänderte Relevanz bisheriger Schadorganismen oder über das Auftreten neuer Krankheiten oder Schädlinge, liefern die wesentlichen Grundlagen für die eigenen Bekämpfungsentscheidungen.

#### **Forschungs- und Entwicklungsbedarf:**

- Schnelle und sichere Diagnosemethoden müssen entwickelt werden.
- Die Epidemiologie bzw. Populationsdynamik der Schaderreger muss geklärt werden. Dazu können langjährige Monitoringdaten wichtige Informationen beitragen.
- Wirtschaftliche Schadens- und Bekämpfungsschwellen müssen angepasst bzw. für erstmals auftretende Schaderreger neu festgelegt werden.
- Witterungsgestützte Prognosemodelle müssen neu- bzw. weiterentwickelt werden.
- Bekämpfungsverfahren müssen weiterentwickelt werden, wie z. B. vorbeugende pflanzenbauliche Maßnahmen und direkte Bekämpfungsmaßnahmen.
- Die Wirkstoffe und Formulierungen der Pflanzenschutzmittel müssen angepasst werden, z. B. hinsichtlich ihres Wirkungsspektrums, der Aufnahme durch Pflanzen oder ihres Umweltverhaltens.
- Das Wirkstoffmanagement muss verbessert werden, d. h. die Auswahl und Kombination der Pflanzenschutzmittel ist noch mehr nach der Witterung auszurichten.
- Die Applikationstechnik muss weiterentwickelt werden, z. B. bei den Düsen oder Beizverfahren.

## **4.6 Schlussfolgerungen**

Die Klimaänderung wird zu Verschiebungen im Auftreten der Schadursachen bei landwirtschaftlichen Kulturen führen. Viele wichtige Pilzkrankheiten werden an Bedeutung verlieren, die Schäden durch Ungräser und Unkräuter, tierische Schädlinge und nichtparasitäre Ursachen werden dagegen eher zunehmen. Zugleich wird die Wirkung von Pflanzenschutzmitteln witterungsbedingt unsicherer werden. Es ist damit zu rechnen, dass die jährlichen Schwankungen der Pflanzenschäden größer werden und damit die Erträge insgesamt unsicherer. Durch die erwarteten Veränderungen entsteht zum einen erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf im Bereich des Pflanzenschutzes sowie auf Seiten

der Landwirte, die Notwendigkeit ihr bisheriges Pflanzenschutzmanagement entsprechend anzupassen. In diesem Zusammenhang ist eine weiterhin unabhängige Beratung der Landwirte von besonderem Interesse, damit nicht, gerade angesichts der aktuell sehr hoher Erzeugerpreise, ein reines „Versicherungsdenken“ zu einer ökonomisch unangebrachten und aus Sicht des Umweltschutzes unerwünschten Steigerung der Pflanzenschutzintensität führt.

#### **4.7 Literaturverzeichnis**

- [1] Benker, U. (2007): Engerlingsproblematik im Spessart. Jahresbericht 2006 des Instituts für Pflanzenschutz der LfL, S. 47- 49.
- [2] Biologische Bundesanstalt (BBA) (2007): [www.ambrosiainfo.de](http://www.ambrosiainfo.de) (Informationen, Bilder, Einschleppungswege in Deutschland) von der BBA koordinierte Aktivitäten zur Ambrosie in Deutschland einschl. online-Erfassungsformular.
- [3] Hoffmann, G. M., Nienhaus, F., Schönbeck, F., Weltzien, H.C., Wilbert, H. (1985): Lehrbuch der Phytomedizin. 2. Aufl., Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg.
- [4] Meinschmidt, E. (2004): Gebietsfremde potenziell invasive Ackerunkräuter in Sachsen. Gesunde Pflanze 56, S. 86-92.
- [5] Reinhart, F., Herle, M., Bastiansen, F., Streit, B. (2003): Ökonomische Folgen der Ausbreitung von Neobiota. UBA-Text 79/03, Berlin.
- [6] Tischner, H., Schenkel, B., Eiblmeier, P. (2006): Monitoring für Getreidekrankheiten in Bayern – mehrjährige Auswertung über die Bedeutung der einzelnen Schaderreger. Gesunde Pflanze 58, S. 34-44.
- [7] Weigel, HJ. (2005): Fluch oder Segen – wie verändert der Klimawandel die Pflanzenproduktion global und hierzulande? In: Isermeyer, F.(Hrsg.):Ackerbau 2025, Sonderheft 274, FAL Braunschweig, S. 15-36.

## 5 Auswirkungen und Strategien für Landwirtschaft und Umwelt – aus der Sicht der Bodenbearbeitung

**Josef Kreitmayr und Karl Mayr**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz

### 5.1 Zusammenfassung

Im Blick auf Bodenbearbeitung und Bestellung führt die Klimaänderung zu einer vielschichtigen Problematik. Mit dem Temperaturanstieg ist eine Verlängerung der Vegetationszeit um 14 Tage verbunden. Saat und Ernte der Ackerkulturen werden sich ändern und Zeitfenster für Bodenbearbeitung und Bestellung vergrößern bzw. verkürzen. Die tendenzielle Reifeverfrühung bei Getreide, Raps u. a. weitet in der Regel die Zeiträume für schonende Bodenbearbeitung und Zwischenfruchtsaat aus.

Längere Standzeiten wegen längerer Vegetationszeit z. B. bei Mais, Zuckerrüben u. a. fordern im Gegensatz dazu ein straffes Bestellmanagement für die Folgekultur.

Den Arbeitsschritten Bodenbearbeitung und Bestellung fällt im Rahmen der guten fachlichen Praxis eine Doppelfunktion zu:

- Optimierung grundlegender Bodeneigenschaften zur Wasserinfiltration.
- Etablierung eines Bestandes mit Widerstandskraft gegen Trockenheit oder Nässe.

Das Regenwasser infiltriert über verschiedene Bodenöffnungen in den Krumenraum.

Eine Bedeckung der Bodenoberfläche mit wachsenden Pflanzen und oder Pflanzenresten (von Vor- und/oder Zwischenfrüchten) schützt die Infiltrationsöffnungen vor der Aufprallenergie der Regentropfen bzw. fördert ihre Wiederherstellung durch ein aktives Bodenleben. In nahezu allen Ackerkulturen (Sommerungen und Winterungen) kann Mulchwirtschaft angewandt werden.

Je nach Bearbeitungsverfahren werden Teilbereiche des Hohlraumsystems spezifisch gefördert z. B.: Grobporen beim Pflügen bzw. Makroporen bei Direktsaat. Infiltrationsmessungen (mm/min) belegen, dass nach nahezu gleicher Infiltrationszeit und –menge Oberflächenwasser auftritt. Durch Pflanzenreste, die bei Mulchbestellung bzw. Direktsaat die Bodenoberfläche stabilisieren wird das Abfließen verzögert und damit die Bodenerosion unterbunden.

Um die Widerstandskraft einer Kultur gegen Witterungsstress zu stärken, sind auch Maßnahmen der Standraumzuteilung (z. B. Reihenabstand bei Mais) und Düngung zur Saat (z. B. stabilisierte N-Dünger) zu realisieren.

Nicht die Festlegung auf eine Methode sondern ein gezieltes Zeit- und Methodenmanagement stärken das Ausgleichs- bzw. Puffervermögen im Boden sowie im Bestand, um so Extremsituationen überdauern zu können.

## **5.2 Einleitung und Problematik**

Die landwirtschaftliche Produktion ist grundlegend auf günstige, ausgeglichene Klima- und Witterungsverhältnisse angewiesen. Diese Wechselwirkungen von Klima, Boden und Pflanzen spiegeln sich in den verschiedenen ausgestalteten standortangepassten Nutzungssystemen wider.

Die Klimaänderung wird dieses Beziehungssystem nachteilig für Landwirtschaft und Umwelt verändern. Katastrophale Trocken- und Hitzeperioden ebenso wie Nässe bzw. Hochwasser verursachen erhebliche Schäden in der landwirtschaftlichen Nutzung. Stark- oder Dauerregen steigern die Risiken für Erosion und indirekt die Gefahren von Bodenverdichtungen bei Feldarbeiten unter zu feuchten Bedingungen.

Extreme Trockenheit oder Nässe, greifen in die Entwicklung der Kulturen ein und verändert damit auch die Arbeitsabläufe vor allem bei der Ernte sowie der Bodenbearbeitung und Bestellung. Als Folge zeigen sich Ertrags- und Qualitätseinbußen sowie beim Maschineneinsatz erhöhter Energieverbrauch und Technikverschleiß.

Um der Klimaänderung mit zunehmenden Witterungsextremen (Trockenheit/Nässe) entgegenzutreten zu können, ist primär auf Optimierungsstrategien zu setzen. Besondere Schwerpunkte bilden das Zeit- und Verfahrensmanagement und die Geräteoptimierung speziell zur Saat, um das Infiltrationsvermögen zu verbessern. Werden Strategie- und Konzeptoptimierung die Unsicherheiten, die mit extremeren Witterungsverläufen einhergehen, ausgleichen können? Die Analyse bisher üblicher Maßnahmen in Bezug auf zu erwartende Veränderungen wird damit um so dringender.

## **5.3 Szenarien**

### **5.3.1 Temperaturanstieg – Verlängerung der Vegetationszeit**

Modelle zur Klimaänderung prognostizieren Umschichtungen im Wettergeschehen. Die Anzahl der Tage mit Niederschlägen wird sinken, die Niederschlagsereignisse selbst werden intensiver (Auswirkungen auf den Wasserabfluss). Zu erwarten sind trockenere Sommer und mildere Winter. Die Winterzeit wird sich verkürzen und somit die Vegetationsdauer verlängern. Nach Modellannahmen beträgt der Zugewinn 14 Tage, d. h. sieben Tage im Frühjahr und sieben Tage im Herbst.

### **Pflanzenbauliche Aspekte**

Die prognostizierte Vegetationsverlängerung zeigt grundsätzlich Auswirkungen auf kulturspezifische Saat-, Reife- und Erntezeiten (Übersicht 1). In der verlängerten Vegetationszeit liegen zunächst Chancen für die Kulturpflanzen, z. B. über längere Einlagerungs- bzw. Abreifephase höhere Erträge bzw. Qualitäten zu erzielen.

Der Zeitgewinn kann auch über eine Nutzungsänderung z. B. statt Drusch jetzt Ganzpflanzensilage (GPS) und Zweitfruchtanbau zu höheren Gesamttrockenmasseerträgen führen. Auf dieser Basis werden Strategieänderungen einen weiteren Intensivierungsschub in der pflanzlichen Erzeugung auslösen.

In veränderten Fruchtfolgen mit neuen Kulturarten wie z. B. Sorghumarten sowie intensiver Bestandesführung werden auch bisher unbekannte Pflanzenschutzprobleme eintreten. Eine verringerte Häufigkeit von Spät- oder Frühfrösten kann die Ertragssicherheit verbessern.

### Ackerbauliche Konsequenzen

Eine längere Vegetation erhöht prinzipiell die Nutzungspotentiale bis hin zu zwei Ernten. Diese Nutzungsintensivierung bedingt eine gesteigerte Bodenbearbeitungsintensität. In Fruchtfolgen zur Biomassegewinnung mit Getreideganzpflanzensilage (GPS) und Mais wird zweimal geerntet und gesät. Der mehrfach (im Jahresablauf) bearbeitete Boden unterliegt damit höheren Risiken für

- Verschlämmung, Erosion und Verdichtung durch Befahrung bei Ernte und Substrat- ausbringung sowie
- Nährstoffverlagerung und Humusabbau.

Eine weitere ackerbauliche Konsequenz, die sich aus der kürzeren Winterzeit ergibt, ist eine verminderte Garebildung durch Bodenfrost.

Übersicht 1: Auswirkungen einer Vegetationsverlängerung auf Boden und Bestellung im Blick auf verschiedene Fruchtfolgen

Fruchtfolgesystem	Erntezeit	Effekte auf	
		Boden	Bearbeitung und Saat
Getreide – Raps u. a.	←	längere Phasen ohne Bedeckung	Vorteile für konservierende Bestellung
Getreide – Hackfrüchte u. Mais	←→	i.d.R. spätere Ernte	günstig für Zwischenfrucht- und Mulchsaat
Mais – Zweitfrucht z. B.: Hirse		rel. Beanspruchung durch Befahrung	i.d.R. pfluglose Bearbeitung und Mulchsaat

← Verfrüfung der Erntezeit

→ Verzögerung der Erntezeit

In traditionellen Fruchtfolgen mit Getreide und Raps führt z. B.: bei Hitzeeinwirkung > 37° C zu einem früheren Räumen der Felder und damit zu längeren Phasen ohne Pflanzendecke (Übersicht 1).

Vergleiche von Fruchtfolgen bzw. Fruchtfolgegliedern zeigen:

- In getreidebetonten Fruchtfolgen längere Phasen für Strohrotte, Saatbettbereitung und Zwischenfruchtbau.
- In Fruchtfolgen mit Mais u. a. zur Biomassegewinnung stets eng bemessene Zwischenzeiten, da möglichst rasch eine Folgekultur etabliert werden muss.

### 5.3.2 Witterungsextreme im Blick auf Bodenbearbeitung

Extreme Witterungsphasen beeinflussen ackerbaulich relevante Zeitspannen bzw. Abläufe erheblich. Extremsituationen aus Sicht der Bodenbewirtschaftung sind:

- Trockenperioden zur Bearbeitung und Bestellung im Frühjahr und Herbst  
Starke Bodenaustrocknung beeinträchtigt eine sachgerechte Saatbettbereitung.
- Nässeperioden zu Ernte-, Bearbeitungs- und Saatzeiten  
Für die notwendige Abtrocknung zur erneuten Befahrung bzw. Bearbeitung sind 3 bis 5 Tage Wartezeit erforderlich. (Beispiel: ca. 80 mm in 14 Tagen im August 2006).
- Starkregenereignisse nach der Saat in feinkrümeliges, lockeres Saatbett

Extreme Witterungseinflüsse müssen letztendlich überdauert werden. Dazu hilft:

- das Kompensationsvermögen der Krume (mittel- und langfristig betrachtet) sowie
- das Durchhaltevermögen der jeweils bestellten Fruchtart beginnend bei der Saat.

Die Regulierungsfunktionen des Bodens beruhen auf der Beweglichkeit von Wasser und Nährstoffen sowie Gas- und Wärme im Boden (Übersicht 2). Das Durchhaltevermögen der bestellten Kultur wird beeinflusst von Bodenbearbeitung, Saatbettbereitung und Saat (Übersicht 2).

Um diese komplexe Zielsetzung auf der Praxisebene umzusetzen sind Verfahren der Mulchwirtschaft in den Mittelpunkt zu rücken. Grundsätze zur Bodenbearbeitung lauten deshalb: mulchend, schonend und schlagkräftig.

Übersicht 2: Optimale Bestellung als Ausgangspunkt für die Stressbewältigung

<b>Start</b> = Bestellzeit  optimale Bodenabtrocknung  	<b>Bodeneigenschaften optimieren</b>		
	<b>Speicher- vermögen</b>  über die Horizonte	<b>Humus Nährstoffe</b>  im Krumenraum	<b>Mulchauflage</b>  Oberfläche stabilisieren
optimale Saat + Saatzeit	<b>Stressbewältigung der Pflanzen stärken</b>		
	<b>Saatbett- bereitung</b>  Ablage und Einbettung	<b>Standraum- zuteilung</b>  in und zwischen den Reihen	<b>Jugend- entwicklung</b>  z. B. Düngung zur Saat

## 5.4 Optimierung von Krume und Unterboden

### 5.4.1 Bodenwasserhaushalt und Witterungsextreme

Wasser ist ein wesentlicher Bestandteil von Böden. Nur der wasserhaltige Boden ist in der Lage, den Pflanzenwurzeln Nährstoffe in gelöster Form bereitzustellen und damit als Lebensraum zu dienen. Ein Wasserüberangebot und damit die Sättigung aller Poren mit Wasser begrenzt den für die Pflanzen lebensnotwendigen Sauerstoff im Boden. Bei sich verschärfenden Witterungsextremen gewinnen Speicherung wie Dränung einen hohen Stellenwert.

### Kenngößen des Infiltrations- und Speichervermögens

Niederschlagswasser, das auf den Boden fällt, läuft entweder als Oberflächenwasser ab oder dringt über die Poren, Spalten und Röhren in den Boden ein. Die Wassermenge, die der Boden in den Fein-, Mittel- und engeren Grobporen speichern kann, nennt man **Feldkapazität**.

Den pflanzenverfügbaren Teil dieses Speichervolumens nennt man **nutzbare Feldkapazität (nFK)**. Der in den Feinporen gebundene, für Kulturpflanzen nicht mehr pflanzenverfügbare Anteil heißt **Totwasser**. Die Wassermenge, die den Kulturpflanzen im Wurzelraum in Höhe der nFK zur Verfügung steht, wird wie der Niederschlag in mm oder l/m<sup>2</sup> angegeben.

**Makroporen** sind Röhren, die Bodentiere insbesondere Regenwürmer und Wurzeln hinterlassen. Zu den Makroporen werden auch Risse und Klüfte, die durch physikalische Vorgänge beim Austrocknen bzw. Gefrieren entstehen, gezählt.

Die ableitende und zugleich bodenerschließende **Funktion der Makroporen** ist um so effizienter, je ungestörter sie die verschiedenen Bodenhorizonte durchzieht.

Bei starken Niederschlägen kann ein Teil des Niederschlagswassers über durchgängige Makroporen im Boden versickern, bevor der Bodenspeicher aufgefüllt ist.

Der **Makroporenfluss** endet in der Regel in einer Tiefe, die von den Pflanzenwurzeln noch zu erreichen ist, wenn er nicht als Zwischenabfluss in eine Dränage mündet und damit direkt einem Oberflächenwasser zugeführt wird.

### 5.4.2 Speicher- und Infiltrationsvermögen verschiedener Böden

Das Fassungsvermögen eines Bodens für unterschiedlich gebundenes Bodenwasser sind für die verschiedenen Böden charakteristische Größen.

- **Sandböden** haben relativ viele Grobporen, die das Wasser rasch versickern lassen. Die nFK und der Totwasseranteil sind oft sehr gering. Bereits ein geringer Schluff- oder Tonanteil kann aber bei einhergehender tieferer Durchwurzelung eine deutliche Vergrößerung der nFK bis in mittlere Bereiche bewirken.
- **Tonböden** besitzen wegen ihres hohen Feinporenanteils ein sehr großes Wasserspeichervermögen. Das Wasser ist zu einem großen Teil Totwasser und deshalb nicht pflanzenverfügbar. Außerdem weisen diese Böden meist nur eine geringe Durchwurzelungstiefe auf. Die nFK ist deshalb oft nur als gering einzustufen. Während einer

langanhaltenden Trockenperiode entstehen hier tiefe Risse durch Schrumpfung – ein natürlicher Regenerationsprozess.

- **Lössböden** verdanken ihre Fruchtbarkeit vor allem der hohen nFK. Ursache ist der hohe Schluffgehalt dieser Böden mit dem ausgeprägten Netz an Mittel- und feineren Grobporen. Über dieses Netz wird ein Wasserüberschuss auch wieder rasch abgeführt.

Auf grundwassernahen oder staunassen Standorten können bei Trockenheit die Pflanzen zusätzlich das für die Wurzeln erreichbare kapillar aufsteigende Wasser nutzen. Staunasse Standorte sind allerdings oft nur im Frühjahr wasserführend, im Sommer dagegen kann es ihnen wegen ihres begrenzten Wurzelraums an pflanzenverfügbarem Wasser mangeln. Nach Nässeperioden leiden solche Standorte unter verzögerter Abtrocknung, so dass die Zeit für Bearbeitungsmaßnahmen knapp wird.

### 5.4.3 Infiltrations- und Speichervermögen in verschieden bearbeiteten Krumen

#### Verschiedene Infiltrationswege

Das Regenwasser infiltriert über verschiedene Bodenöffnungen in den Krumenraum.

Eine Bedeckung der Bodenoberfläche mit wachsenden Pflanzen und/oder Pflanzenresten schützt die Infiltrationsöffnungen vor der Aufprallenergie der Regentropfen bzw. fördert ihre Wiederherstellung (z. B. aktives Bodenleben). Die Oberflächenbedeckung sowie die flache Durchwurzelung dient im Weiteren als Filter, der Bodensedimente zurückhält.

Im Krumenraum selbst sorgt das komplexe Hohlraumssystem für die Wasserverteilung, -speicherung und die kapillare Wasserbewegung im Boden. Störungen, d. h. Unterbrechungen, Verwerfungen und Verdichtungen schmälern diese Strömungsdynamik. In Abhängigkeit vom Bodenbearbeitungssystem sind Oberflächenstruktur und das Hohlraumssystem (Porengrößenverteilung) deutlich differenziert. Bearbeitungssysteme unterscheiden sich durch

- die Eingriffsintensität im Krumenraum (flach 5 bis 8 cm oder tief > 15 cm) sowie
- die Hauptfunktion des Bearbeitungswerkzeuges in wendende und nichtwendende (d. h. lockernde/mulchende) Bearbeitung sowie Direktsaat ohne Bearbeitung.

#### **Pflugbearbeitung: hohes Infiltrationsvermögen, jedoch bei Verschlämmung stark vermindert und hohe Bodenverfrachtung durch Oberflächenabfluss**

Typisch für die Pflugbearbeitung ist die weitgehend homogene Porenverteilung im gesamten Krumenraum bei gut gelockertem Gefüge d. h. niedriger Lagerungsdichte (1,2 bis 1,3 g/cm<sup>3</sup>). Rau belassene Pflugfurche mit Zwischenfruchtbestand erreicht ebenfalls ein sehr hohes Infiltrationsvermögen. Nach Saatbettbereitung besteht jedoch ein hohes Verschlämmungsrisiko verbunden mit Erosion und beträchtlich reduziertem Infiltrationsvermögen.

Ökologisch wirtschaftende Betriebe (Ökobetriebe), die notwendigerweise pflügen, erhalten und fördern die Gefügestabilität sowie den hohen Makroporenanteil durch flacheres Pflügen und Fruchtfolgegestaltung vor allem mit Klee-grasanbau.

**Pfluglose Bearbeitung: hohes, nachhaltiges Infiltrationsvermögen; bei Wassersättigung Oberflächenabfluss mit geringer Erosion**

Charakteristisch für die pfluglose Bodenbearbeitung ist das Verbleiben von organischen Resten in der Oberkrume und auf der Bodenoberfläche. Die darunter liegende Unterkrume besitzt eine dichter lagernde Gefügematrix mit intakten Makroporen.

Ihr Infiltrationsvermögen ist deshalb sehr hoch und nachhaltig. Ist die Krume mit Wasser gesättigt (ca. 30 mm in 2 - 3 Tagen), so kann bei weiteren ergiebigen Niederschlägen (ca. 30 mm in 3 - 6 Std.) kaum Wasser infiltrieren, sodass Oberflächenwasser abfließt, jedoch mit geringer Sedimentfracht.

**Direktsaat: hohes Infiltrationsvermögen über Makroporen; dichte Mulchauflage bindet Regenwasser, das nicht immer pflanzenverfügbar ist**

Direktsaat ohne jegliche Bearbeitung hinterlässt eine Mulchdecke auf kompakt lagernder Gesamtkrume. Wegen der natürlichen Lagerung ist der Grobporenanteil deutlich reduziert. Die Infiltrationsleistung beruht wesentlich auf dem Makroporenfluss. In der Mulchdecke können ca. 5 - 15 mm Niederschlag aufgesaugt werden und anschließend wieder verdunstet.

Je nach Bearbeitungsverfahren werden Teilbereiche des Hohlraumsystems spezifisch gefördert, z. B. Grobporen beim Pflügen bzw. Makroporen bei Direktsaat. Infiltrationsmessungen (mm/min) belegen, dass nach nahezu gleicher Infiltrationszeit und –menge Oberflächenwasser auftritt. Durch Pflanzenreste, die bei Mulchbestellung bzw. Direktsaat die Bodenoberfläche stabilisieren wird das Abfließen verzögert und damit die Bodenerosion unterbunden.

#### **5.4.4 Organische Bodensubstanz bei verschiedenen Bearbeitungssystemen**

Die Verteilung und der Gehalt an organischer Bodensubstanz im Krumenraum ist von zentraler Bedeutung für die Regulierung des Wasserhaushaltes.

Nichtwendende Verfahren zeigen, dass der organische Kohlenstoff ( $C_{org}$ ) eine typische Abnahme mit der Bodentiefe (Stratifizierung) aufweist. Die  $C_{org}$ -Gehalte in der Oberkrume (0 - 10 cm) sind verglichen mit der Unterkrume (15 - 25 cm) signifikant höher. Die konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren wie auch die Direktsaat weisen in der Oberkrume (0 - 10 cm) im Vergleich zu Pflug signifikant höhere  $C_{org}$ -Gehalte auf (Abb. 1). Im Gegensatz dazu bleibt bei Pflugbearbeitung der  $C_{org}$ -Gehalt über die gesamte Krumentiefe (0 - 25 cm) relativ konstant (Abb.1).

Bezogen auf die gesamte Krumentiefe (0 - 25 cm) ergeben sich jedoch keine signifikanten Unterschiede im  $C_{org}$ -Gehalt zwischen nichtwendenden Verfahren und Pflug. Es ist bemerkenswert, dass die  $C_{org}$ -Gehalte im Unterboden (30 - 40 cm) nach langfristiger Anwendung nichtwendender Verfahren im Vergleich zu Pflug deutlich geringer sind. Den niedrigsten  $C_{org}$ -Wert weist die Direktsaat auf (Abb. 1).

Eigene Untersuchungen am Standort Puch, wo 1992 ein Bodenbearbeitungsversuch mit drei Varianten – Pflug und Drillsaat, flache Bearbeitung und Direktsaat, ausschließliche Direktsaat – angelegt wurde, bestätigen die bisherigen Erfahrungen.

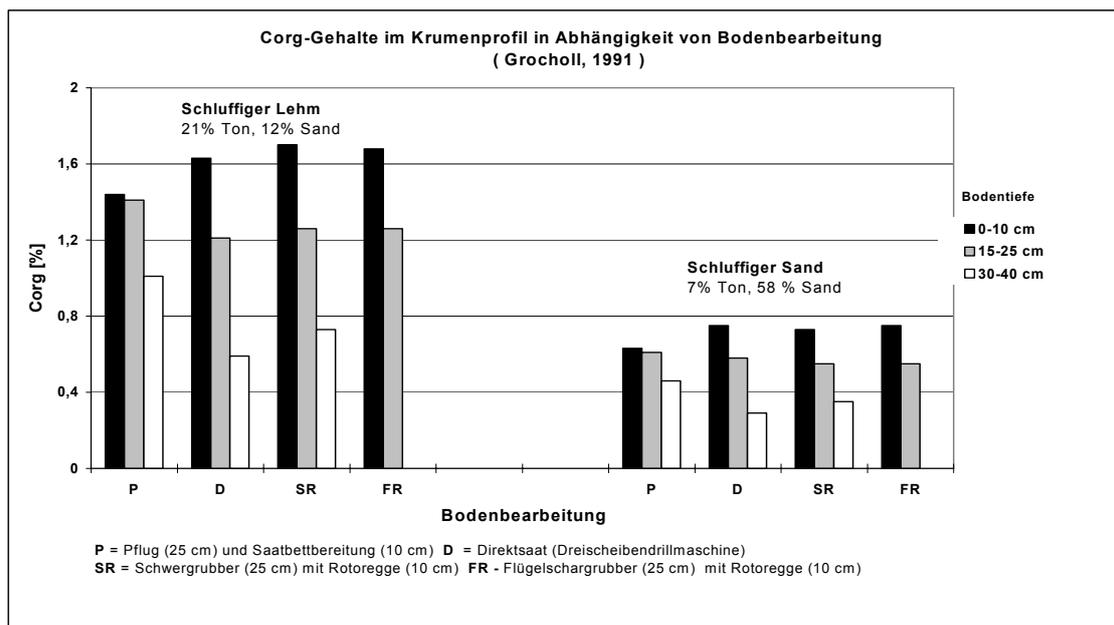


Abb. 1: C<sub>org</sub>-Gehalt im Krumpfenprofil in Abhängigkeit von der Bodenart und Verfahren der Bearbeitung (Fruchtfolge: 2 x Wi.Weizen - Zwischenfrucht Senf – Z.Rübe).

### 5.4.5 Aggregatstabilität und Makroporen

Ein Saatbett mit stabilen Bodenaggregaten ist Voraussetzung zur Keimung und kontinuierlichen Jugendentwicklung. Die standortangepasste Bodenbearbeitung leistet dazu einen wichtigen Schritt. Nachhaltige stabile Aggregate entstehen erst, wenn Pflanzenreste aus Haupt- und Zwischenfrüchten gemeinsam verbleiben (Abb. 2).

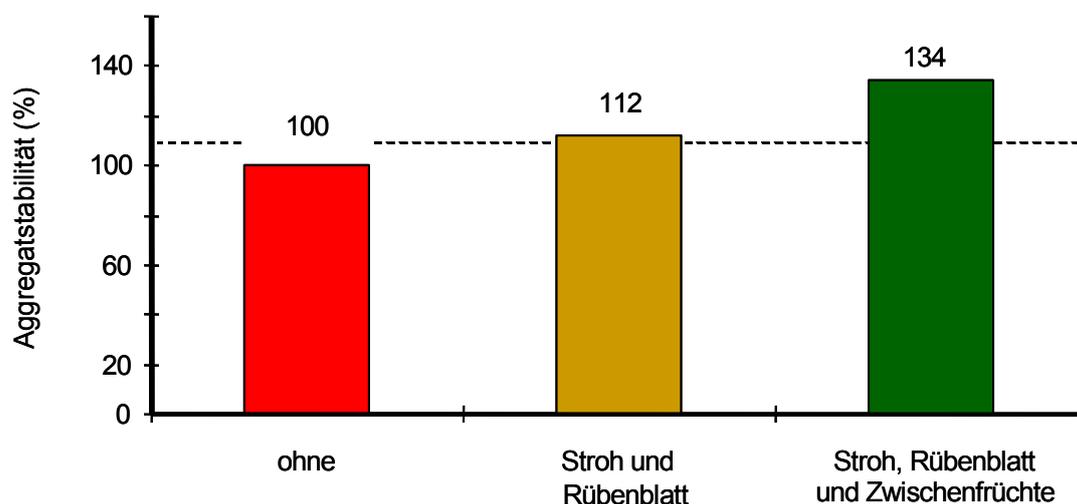


Abb. 2: Entwicklung der Aggregatstabilität bei verschiedenen Pflanzenresten im IOSD-Versuch in Puch seit 1984

**Makroporen** werden von Regenwürmern aktiv geschaffen. Da diese Röhren eine hohe Stabilität besitzen, tragen auch „verlassene Regenwurmröhren“ zum Gesamtsystem bei. Die Regenwurmpopulation im Krumpfenraum sorgt für Instandhaltung und Regenerierung der Makroporen. Ihre Aktivität wiederum steht in engem Verhältnis zum Nahrungsange-

bot auf der Bodenoberfläche. Eine stark reduzierte Bodenbearbeitung schädigt das Makroporensystem kaum.



Abb. 3: Stabile Bodenaggregate für ein hohes Infiltrationsvermögen



Abb. 4: Makroporen als Wurzelröhren in den Unterboden

Tab.1: Makroporenanteile in verschiedenen Tiefen bei Pflug und Direktsaat (Oberwinkel in Sachsen; Direktsaat 2004/05)

Makroporen je m <sup>2</sup> Poren Ø	Bodentiefe			
	10 cm		40 cm	
	Pflug	Direktsaat	Pflug	Direktsaat
2 – 5 mm	12	4	4	8
5 – 8 mm	8	46	8	60
8 – 11 mm	8	60	12	24

## 5.5 Optimierung der Bodenbearbeitung im Rahmen der guten fachlichen Praxis

Im Blick auf den Boden bewirkt die Klimaänderung

- zunehmende Variabilität im Bodenwasserhaushalt,
- veränderte Wachstums- und Reifezyklen sowie
- erhöhte Gefahrenpotentiale für Boden (Erosion) und Pflanzen (Schädlinge).

Vor diesem Hintergrund wird verständlich, dass die Klimaänderung auch wesentliche Anforderungen an den Bodenschutz stellt. Im Rahmen der Vorsorge können durch Maßnahmen der guten fachlichen Praxis Gefahren für den Boden nachhaltig abgewehrt werden.

**Standortangepasste Bodenbearbeitung – gleichwertige Wege**

Kernforderungen der „guten fachlichen Praxis“ sind die standortangepasste Bodenbearbeitung und Erosionsvermeidung. Im Weiteren fordern Ausführungsbestimmungen zum Pflanzenschutz (PSG) sowie zur Düngung (DüV) für sensible Gebiete (Gewässerschutz) Anwendungen unter der Maßgabe des Erosionsschutzes.

Die standortgerechte Bearbeitung fordert in wiederkehrender Weise Entscheidungen:

- zur Wahl des richtigen Zeitpunktes,
- zum Einsatz des geeigneten Gerätes,
- zur Bestimmung der notwendigen Eingriffsintensität.

Die angemessene „Zeitsetzung“ für Bearbeitungs- und Bestellmaßnahmen bildet wesentliche Chancen für Verbesserungen in der Gesamtstrategie. Als Beispiel dazu dient die Stoppelbearbeitung. Sie sollte bald möglichst nach der Ernte erfolgen, denn die Stoppelbearbeitung ist notwendig, unabhängig davon ob der Boden relativ trocken oder feucht ist. Im ersten Fall ist der Erhalt der Bodenfeuchte im zweiten die Abtrocknung der Krume das Ziel.

Weitere Optimierungsmöglichkeiten bieten flexible Gerätekonzepte, z. B. durch Schnellwechselsysteme mit deren Hilfe sich die Eingriffsintensität regeln lässt.

Fundierte Ergebnisse aus Praxis und angewandter Forschung belegen, dass verschiedene Bearbeitungskonzepte letztendlich den Ansprüchen einer standortangepassten Bewirtschaftung gerecht werden.

### 5.5.1 Verfahren der Bodenbearbeitung und Mulchwirtschaft

In nahezu allen Ackerkulturen (Sommerungen und Winterungen) kann Mulchwirtschaft angewandt werden (Übersicht 3). Das Mulchmaterial besteht dabei aus Vor- oder Zwischenfruchtresten bzw. aus einer Mischung von beiden.

Übersicht 3: Mulchsaatverfahren in wichtigen Hauptfrüchten

Kriterien	Hauptfrüchte	Sommerungen Zuckerrüben, Mais, Kartoffel So. Getreide, Ackerbohnen, Erbsen, Sonnenblumen u. a.		Winterungen Wi.Raps, Wi.Gerste, Triti- cale, Wi.Weizen
	Mulchmaterial	Zwischenfruchtreste	Vorfrucht- und/oder Zwischenfruchtreste	Vorfruchtreste
Bodenbearbeitung	Pflug, „Sommerfurche“	Grubber u. a.		Grubber u. a.
Zwischenfrüchte	abfrierende/überwinternde/u. a. Arten			i. d. R. keine
Mulchsaatverfahren	Mulchsaat (mit oder ohne Saatbettbereitung)			Mulchsaat

Pflanzenreste (Mulch) nehmen auf die Saatbettbereitung und Keimpflanzenentwicklung um so stärker Einfluss, je intensiver die Bedeckung ist. Die Auswirkungen von zu dichtem Mulch reichen von Keimpflanzenschädigung (Pflanzendeformationen) bis zu erhöhten Risiken für Pilz- (Fusarien) und Schneckenbefall.

Um diese risikobehafteten Effekte auszuschalten sind Optimierungsschritte von Nöten. Mulchmanagement d. h. die Optimierung der Mulchauflage umschließt:

- Zerkleinerung und Einmischung der Vorfruchtreste (Stoppelbearbeitung),
- Art der Bodenbearbeitung zur Zwischenfrucht einschließlich Saatstärke sowie
- Intensität der Saatbettbereitung zur Hauptfruchtbestellung.

### **Mulchdecke aus Zwischenfruchtresten – Aufwertung der Pflugbearbeitung**

Die Zwischenfruchtsaat in die raue Sommerfurche (gegenüber der klassischen Herbstfurche um ca. 2 Monate vorgezogen) wertet die konventionelle Bodenbearbeitung auf. Die Sommerfurche mit Zwischenfruchtsaat bietet Vorteile

- zu Hackfrüchten auf Intensivstandorten (vor allem sandig, schluffige Böden sind auf tiefere Krumenbearbeitung angewiesen),
- zur Auflockerung von Verdichtungen durch schwere Ernte- oder Güllefahrzeuge,
- zur mechanischen Bodenhygiene bei hohem Schädlings- und Ungrasdruck.

Die termingerechte Zwischenfruchtsaat im Rahmen der Sommerfurche bedeutet gegenüber der Herbstfurche eine Vorverlegung der Bodenbearbeitung um 2 bis 2 1/2 Monate in die wärmere Jahreszeit. Dieser Zeitgewinn bewirkt auf Grund einer „verlängerten Bodenruhe“ vor allem eine

- Aktivierung des Bodenlebens mit verbesserter Strohhrotte,
- Stabilisierung und Regeneration der Bodenstruktur.

### **Mulchdecke aus Vor- und/oder Zwischenfruchtresten – pfluglose Bodenbearbeitung**

Besteht die Mulchdecke aus Pflanzenresten von Vor- und Zwischenfrucht, so muss auf das Pflügen verzichtet werden (Übersicht 3). Um optimale Struktur- und Gefügeverhältnisse im Krumenraum und damit hohe Ertragssicherheit für die folgende Hauptfrucht zu erzielen, sollte die Lockerungsintensität standortbezogen gestaltet werden. Als Optimierungsgrundsatz gilt: so flach wie möglich, aber so tief wie nötig.

### **Pfluglose Bodenbearbeitung – konsequent oder im Wechsel mit Pflugbearbeitung**

Gegenwärtig sind zwei Trends vorherrschend:

1. die Integration von wendender und nichtwendender Bearbeitung,
2. der konsequente Pflugverzicht auf der gesamten Ackerfläche.

Die Integration von Pflug und pfluglos weist eine lange Tradition auf. Vor allem Wintergetreide wird nach garefördernden Vorfrüchten wie Kartoffeln, Körnerleguminosen u. a. pfluglos bestellt. Der Anteil pfluglos bestellter Flächen ist gleich dem Anteil garefördernder Fruchtarten. Die zunehmende Notwendigkeit, im Rahmen der guten fachlichen Praxis Zwischenfrüchte zu säen, vergrößert den Anteil pfluglos bestellter Flächen, da wegen enger Zeitspannen zur Zwischenfruchtsaat eine hohe Schlagkraft notwendig ist, die wiederum reduzierte = pfluglose Bodenbearbeitungsverfahren bereitstellen. In der konsequenten Fortentwicklung dieses Modells wird das Pflügen deutlich eingeschränkt und erfolgt bei speziellen Anforderungen, z. B. nach massiver Krumenverdichtung (Erntearbeiten bei zu feuchtem Boden) oder zur Verbesserung der Bodenhygiene im Getreideanbau, z. B. zur

vorbeugenden, mechanischen Bekämpfung von Durchwuchsgetreide in Wintergerste oder Pilz- und Schädlingsbefall.

Zur Konsequenz des Pflugverzichtes (im Sinne von reduzierter Bearbeitungsintensität) ist dann zu stehen, wenn Böden wegen hohen Tongehaltes (bzw. Steinanteils) schwer bearbeitbar sind und sich nur durch flache Bearbeitung genügend Feinerde für die Saat bereiten lässt. Diese Konsequenz gilt ebenso für Ackerstandorte, die auf Grund der Neigung einer nicht tolerierbaren Erosion ausgesetzt sind und nur durch Mulchbewirtschaftung die gute fachliche Praxis dauerhaft erfüllt werden kann. Langjährige Versuchsergebnisse der LfL bestätigen, dass sich der Einfluss von wendender bzw. nichtwendender (= lockernde, mulchende) Bearbeitung relativiert (Abb. 5), sofern Saatbettbereitung und Stickstoffversorgung im Optimum sind.

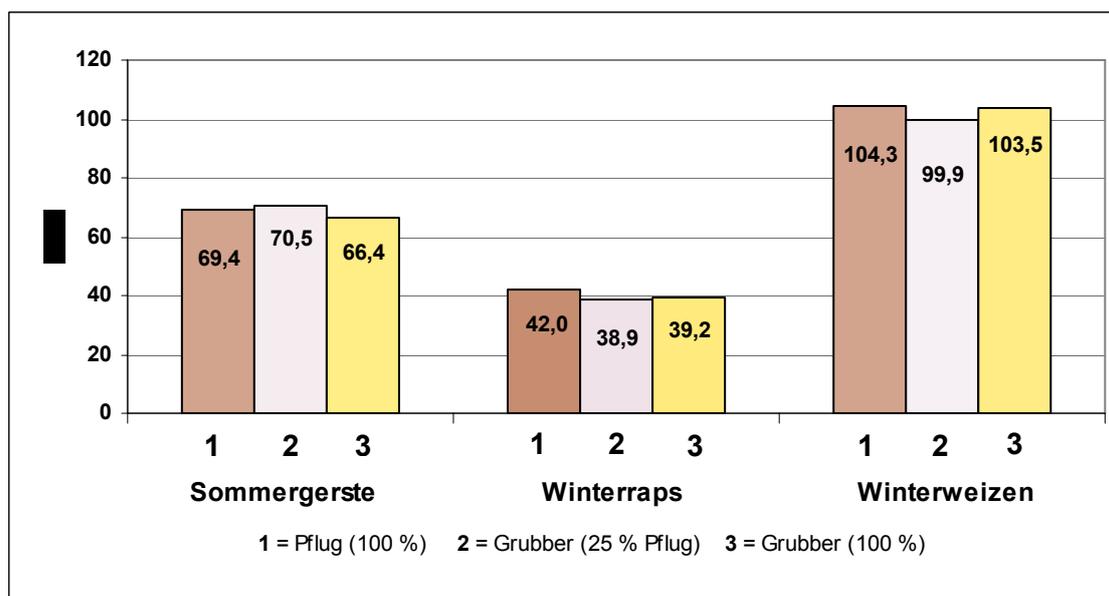


Abb. 5: Kornerträge bei verschiedenen Bearbeitungsintensitäten zu Getreide und Raps. Unter der Bedingung optimaler Saatbettbereitung erzielen verschiedenen Bearbeitungsverfahren nahezu identische Ertragsleistungen.

Die vielschichtigen Probleme als Folge der Klimaänderung erfordern insgesamt ein vielschichtiges Reagieren. Nicht die Festlegung auf eine Methode, sondern ein gezieltes Zeit- und Methodenmanagement stärken das Ausgleichs- bzw. Puffervermögen im Boden sowie im Bestand, um so Extremsituationen überdauern zu können.

### 5.5.2 Optimierungsansätze zur Bestandesetablierung

Um die Widerstandskraft einer Kultur gegen Witterungsstress zu stärken, sind auch Maßnahmen zu bedenken, die in besonderer Weise mit der Saat verknüpft sind. Wichtige Fragen dazu sind:

- Standraumzuteilung (z. B. Reihenabstand bei Mais)
- N-Düngung zur Saat (z. B. stabilisierte N-Dünger)

### **75er Reihe oder Gleichstandsaa – die Verwertungsrichtung entscheidet mit**

Der ökonomische Zwang, hohe Biomasseerträge für hohe Biogasausbeute zu erzielen, regt im Blick auf die Klimaänderung die Diskussion der Standraumanpassung speziell im Maisanbau erneut an. Die Theorie dazu lautet, durch Gleichstand der Maispflanzen, d. h. im Dreiecksverband, das knappe Wasser im Krumenraum besser zu nutzen. Die Gleichstandsaa gilt als technisch aufwändig, da zur Halbierung der 75er Reihe auf 37,5 cm die doppelte Aggregatzahl erforderlich ist.

Als eine Annäherung an die Gleichstandsaa kann die Breit- oder Doppelreihensaa mit Drilltechnik (Sägrubber, Universaldrillmaschine) gesehen werden. Diese Techniken sind derzeit nicht in der Lage das Problem der Mehrfachbelegung zu beheben.

Insbesondere nach Praxiserhebungen erzielt die Gleichstandsaa gegenüber der 75er Reihe in der Gesamttrockenmasse Mehrerträge zwischen 5 – 8 %.

Im Bezug auf den Kornertrag zeigen am Standort Puch die Ergebnisse zur „Gleichstandsaa“ (ohne Unterfußdüngung) tendenzielle Mehrerträge (nicht gesichert). Im mehrjährigen Vergleich liegt in Varianten mit intensiver Bodenlockerung ein steter Wechsel von Mehr- und Mindererträgen vor. In Varianten mit flacher, extensiver Bearbeitung treten häufiger Mehrerträge bei Reihenverengung im Mais auf. Bemerkenswert erscheint, dass die Kornfeuchte bei Gleichstandsaa in der Regel um 1 – 3 % erhöht ist (Abzüge durch Trocknung). Ein Erklärungsansatz: Wegen des größeren Standraumes für die Einzelpflanze entwickelt sich das Blätterdach gleichmäßiger in alle Richtungen mit der Folge einer stärkeren Kolbenbeschattung.

### **Stressbewältigung – Stickstoffgabe in stabilisierter Form ins Saatbett**

Die „N-Düngung zur Saat“ von Winterraps und eventuell Wintergerste bedeutet ein „Ausweiten“ der N-Zufuhr auf eine längere Phase der Vegetationszeit. Ab Start wird damit eine kontinuierlichere Bestandesentwicklung unterstützt. In Extremphasen können Pflanzen besser durchhalten. Um andererseits ein „Überwachsen“ zu vermeiden, könnte der Versorgungsprozess durch stabilisierte N-Dünger geregelt werden.

Diese N-Gabe erweist sich als ertragssichernd bzw. ertragsstabilisierend, wenn hohe Strohmenge verrotten müssen und die Mineralisierung bis Vegetationsende auf Grund von Witterungseinflüssen wie Trockenheit oder geringe Bodenerwärmung reduziert ist. Ein weiterer Diskussionspunkt für die „N-Düngung zur Saat“ bezieht sich auf die Möglichkeit, im Frühjahr die erste, sehr frühe N-Gabe zu verschieben, da die Bestände noch vom Stickstoff der Herbstgabe profitieren können. Dies erweitert im Frühjahr das Zeitfenster für eine spätere Stickstoffgabe bei allgemein günstigeren Wachstumsbedingungen bzw. tragfähigeren Bodenverhältnissen.

Am Standort Puch führte die zusätzliche „N-Düngung zur Saat“ (30 kg N/ha) zu Winterungen wie Winterraps, Winterweizen und Triticale bei konventioneller wie auch konservierender Bodenbearbeitung und hohen Strohmenge zur Ertragsanhebung von ca. 2 – 3 dt/ha (Abb. 6).

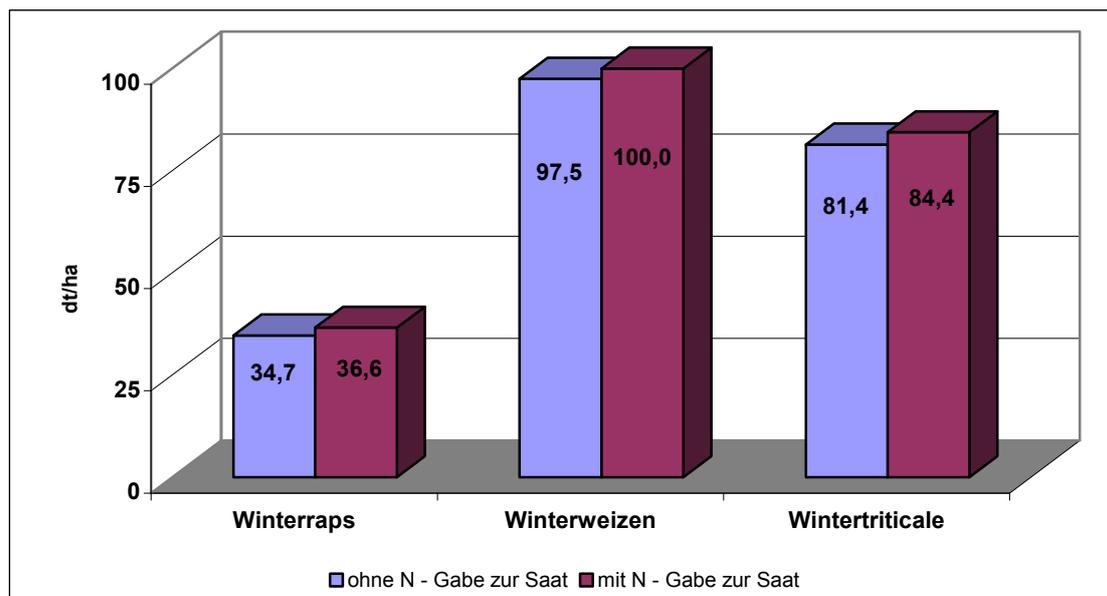


Abb. 6: Wirkungen einer „Stickstoffgabe zur oder nach der Saat“ auf den Ertrag von Winterungen (Versuchsstation Puch 2002 bis 2005). Die Stickstoffgabe wirkt ertragsstabilisierend, da in der Regel sehr hohe Strohmenge (> 80 dt/ha) auf dem Acker verbleiben und verrotten müssen.

### 5.5.3 Trends in der Geräteentwicklung

Die Klimaänderung erzwingt wesentlich eine Ausrichtung der Bodenbearbeitung auf Mulchbereitung und Mulchsaat. Damit verbunden ist eine größere Variabilität in den Verfahrensabläufen. Das wiederum erfordert anpassungsfähige Geräte.

#### Geräte für flache Bodenbearbeitung

Nach der Ernte von Getreide, Raps und Körnerleguminosen ist unabhängig vom Zustand ob sehr trocken oder feucht (nicht bei zu feucht) ein erster, flacher Bearbeitungsschritt erforderlich. Das Anforderungsprofil reicht von ganzflächiger Bearbeitung, intensiver Strohverteilung und -einmischung bis Keimstimulierung von Ausfallsamen. Für diese primäre Arbeitsfunktion werden derzeit Kurzscheibeneggen bevorzugt eingesetzt. Der Scheibendurchmesser der Geräte tendiert nach oben, zu 500 mm, damit bei hohen Strohmenge ein größeres Bodenvolumen bewegt werden kann. Striegelemente, die sich zwischen den Scheibenelementen oder vor dem Nachläufer befinden, beruhigen den Bodenfluss.

Als Nachläufer finden Ringwalzen mit Klingen u. a. zur effektiven Bodenkrümelung Verwendung. Bei Arbeitsbreiten über 3 m werden als Nachläufer Profilwalzen bis 80 cm Durchmesser aus Gummi verwendet, um für den Straßentransport das Gerät klappen zu können.

Im Angebot finden sich vermehrt auch Leichtgrubber (4-balkig), ausgestattet mit Federzinken. Auf leicht bearbeitbaren Böden eignen sie sich gut zur Unterbrechung der Kapillaren und Strohverteilung, zeigen aber Defizite bei der Bekämpfung von Wurzelunkräutern und der Rückverfestigung.

Um mit Grubber in 3 – 4-balkiger Bauweise flach, d. h. 5 – 8 cm tief bearbeiten zu können, sind breitschneidende Schare notwendig, ein Wechselsystem ermöglicht einen raschen Scharaustausch. Ohne Flügelemente sind Arbeitstiefen von 12 – 17 cm einstellbar.

### **Geräte für tiefere Bodenbearbeitung**

Schwergrubber dieser Bauart dienen der krumentiefen Lockerung. Schmale Schare mit gewendelten Leitblechen lenken den Boden nach oben, um die Pflanzenreste intensiver mit Boden zu bedecken. Tiefe Arbeitsweise und suboptimale Bodenbedingungen lassen den Boden oft grob aufbrechen, so dass geräteintern weitere Werkzeugelemente wie Kurzscheibenegge zur Zerkleinerung erforderlich sind.

Wegen des hohen Eigengewichtes zeigt sich ein Trend zur Anhängelastform mit eigenem Laufwerk bzw. über Reifenpacker.

### **Mulchsätechnik**

Drei Linien an mulchsaattauglicher Drilltechnik sind gegenwärtig aktuell:

- Kreiseleggensämaschinen-Kombination
- Universalsämaschinen bestehend aus Kurzscheibenegge, Packer und Säeinheit
- Sägrubber (Probleme bei schwer bearbeitbaren Böden)

### **Kreiselegen mit aufgebauter Sämaschine (Kreiseleggensämaschinen-Kombination)**

Die Kombination aus Kreiselegge (Kreiselgrubber) mit aufgebauter Sämaschine erzielt eine gute Einmischung der Biomasse ohne Nester für Schnecken u. a. zu hinterlassen. Als Nachläufer bewähren sich streifenförmig arbeitende Walzen, die den Bereich der Saattrille verfestigen (Bauform z. B. Keilring-, Trapezring-, Federstempel- und Crackerwalzen).

Universaldrillmaschinen werden wegen hohem Eigengewichtes und großvolumiger Saatgutbehälter (> 2000 l) als Anhängelastgerät eingesetzt. Eine Unterteilung des Saatguttanks ermöglicht die Mitnahme von Dünger für die Düngerapplikation zur Saat.

Die Vorwerkzeuge dienen allgemein der Saatbettoptimierung, d. h. eine sorgfältige Vorbearbeitung ist grundsätzlich erforderlich. Besonders aktuell sind Vorwerkzeuge mit Scheibenelementen (Wellscheiben) oder Kurzscheibeneggen (fest eingestellter Arbeitswinkel).

Grubbersämaschinen, auch Airseeder genannt (Grund: pneumatische Saatgutzuführung), haben Scharformen mit einer bandförmigen Saatgutablage. Airseeder können auf der unbearbeiteten Stoppel eingesetzt werden (z. B. zur Zwischenfruchtbestellung), kommen aber meist nach flacher Stoppelbearbeitung zum Einsatz. Ihr Einsatzbereich liegt vor allem auf Standorten mit mittleren Ertragspotentialen. Infolge der bandförmigen Saatgutablage kann der Abstand zwischen den Scharen 25 – 45 cm betragen, so dass Verstopfungen selten auftreten.

Durch eine vorlaufende Schneid-Stützrolle ist es möglich, auch große Strohmenen zu bewältigen. Bei einigen Airseedern ist eine Kombination von Saat und Düngung möglich. Spezielle Scharformen ermöglichen die gemeinsame Ausbringung der Saat mit festen oder flüssigen Düngemitteln.

## **5.6 Schlussfolgerungen und Ausblick**

Die Mulchwirtschaft wirkt schützend und ausgleichend gegen Einwirkungen extremer Witterungsereignisse auf den Boden. Die mulchende Bearbeitung bildet das bevorzugte Verfahren sowohl in intensiven wie auch extensiven Nutzungssystemen.

Die Bearbeitungsintensität im Rahmen der Mulchwirtschaft orientiert sich grundsätzlich an den Standortbedingungen und dem jeweiligen Belastungszustand der Krume.

Optimale Krumeneigenschaften, wie hohe Durchgängigkeit des Porensystems, lassen sich mit verschiedenen Bearbeitungssystemen d. h. wendend oder nichtwendend erreichen. Um langfristig ein standortspezifisch hohes Ertragsniveau zu sichern, insbesondere im Blick auf die Klimaänderung, ist ein flexibles Bearbeitungsmanagement notwendig. Der technische Fortschritt im Bereich der Bearbeitungs- und Sätechnik wird die Anforderungen an ein flexibles Bearbeitungsmanagement weiter verstärken. In allen Entwicklungsbereichen sind letztendlich die Grundsätze der guten fachlichen Praxis eine wichtige Leitlinie.

## **5.7 Literatur**

- [1] Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau Freising – München (Hrsg.): Gute fachliche Praxis der Bodenbearbeitung Heft 2/00.
- [2] KTBL-Arbeitsblatt 0236 Definition und Einordnung von Verfahren der Bodenbearbeitung und Bestellung (1993).
- [3] Interne Ergebnisse: Versuchsergebnisse aus Bayern (2000 – 2006).
- [4] Pflanzliche Erzeugung (2006), 12. Auflage, BLV Buchverlag.

## **6 Auswirkungen und Strategien für Landwirtschaft und Umwelt – aus der Sicht der Vegetationskunde**

**Dr. Gisbert Kuhn**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz

### **6.1 Einleitung**

Der Verständlichkeit halber soll zunächst das Objekt dieses Beitrages definiert werden: Unter 'Vegetation' wird hier die Gesamtheit aller spontan auftretenden Arten der Blütenpflanzen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen verstanden, d. h. alle Pflanzenarten, die nicht vom Landwirt gesät wurden. Unter Ackernutzung ist das die sogenannte Segetal- oder Ackerwildkrautflora. Im Grünland sind die Verhältnisse etwas komplizierter. Dort werden einige für die Tierernährung wichtige Pflanzenarten durch Über-, Nach- oder Neuansaat vom Landwirt stark gefördert. Da jedoch bei Feldbeobachtungen nicht entscheidbar ist, welche Pflanzen angesät wurden bzw. welche Pflanzen sich spontan angesiedelt haben, werden der Einfachheit halber alle Arten im Grünlandbestand als Untersuchungsobjekte behandelt.

Die Landbewirtschaftung ist sehr stark abhängig von den standörtlichen Voraussetzungen für das Pflanzenwachstum. Deshalb gehe ich in diesem Beitrag besonders auf botanische und vegetationskundliche Grundlagen ein, um die Auswirkungen des Klimawandels zu beschreiben.

Wenn man abschätzen will, wie sich der Klimawandel auf die Vegetation der landwirtschaftlich genutzten Flächen auswirkt, muss man beachten, dass es zwei verschiedene Bereiche der Änderungen gibt. Zum Einen werden sich, wie erwähnt, die natürlichen Gegebenheiten (die 'Standortsbedingungen') für die Pflanze verändern. Zum Anderen werden die Landwirte ihre Bewirtschaftungssysteme anpassen. Das soll in einem Beispiel erläutert werden: Wenn der Niederschlag zunimmt, dann werden vermutlich nicht feuchtigkeitsliebende Pflanzenarten des Grünlandes davon profitieren, sondern der Bauer kann die Zahl der Schnitte erhöhen und somit werden schnittverträgliche Arten profitieren. Wir vermuten, dass sich indirekte Wirkungen des Klimawandels (veränderte Bewirtschaftung) sogar stärker auf die Vegetation auswirken werden als direkte (Änderung von Temperatur, Niederschlag etc.).

Weiterhin muss noch vorausgeschickt werden, dass Prognosen über Änderungen in der Landbewirtschaftung nicht regionenspezifisch geleistet werden können, sondern nur in allgemeiner, ganz Bayern betreffender Art. Die Prognosen über die Klimaänderung bewegen sich zur Zeit in einer nicht immer unerheblichen Spannweite. Auf diesem schwankenden Grund können natürlich keine exakten Vorhersagen über Änderungen in der Landnutzung abgeleitet werden.

### **6.2 Reaktion der Vegetation auf Klimaänderungen**

Ausgehend von der in der Zwischenzeit nicht mehr in Frage gestellten Tatsache, dass sich unter anderem Temperaturen und Niederschläge deutlich ändern werden, muss man der

Frage nachgehen, wie die Vegetation auf die neuen Verhältnisse reagieren wird. Dabei gilt es verschiedene Ebenen zu unterscheiden. Die Pflanzenindividuen werden sich z. B. unter höheren Temperaturen anders entwickeln als unter gegenwärtigen Umständen. Der im selben Band anschließende Beitrag über Grünlandwirtschaft wird solche physiologischen Antworten behandeln. Pflanzenarten hingegen haben die Möglichkeit, mit genetischen Änderungen zu reagieren. Im allgemeinen wird jedoch davon ausgegangen, dass genetische Anpassungen deutlich längere Zeiträume benötigen als die wenigen Dekaden, in denen sich zur Zeit der Klimawandel abspielt (RUTHSATZ 1995). Eine weitere Veränderung auf Artebene ist jedoch von großer Bedeutung, wenn man die spontan auftretende Vegetation betrachtet: die Arealverschiebung. Darunter versteht man die Änderung des von einer bestimmten Pflanzenart besiedelten geographischen Gebietes. Da die durchschnittlichen Temperaturen vermutlich zunehmen werden, geht man im allgemeinen davon aus, dass die meisten Pflanzenarten ihr Areal nach Norden verschieben bzw. in höher gelegenen Gebieten (im Gebirge) siedeln. Diese Verschiebungen verlaufen wie folgt: In einer gegebenen Lokalität können immer nur die am besten an die Standortbedingungen angepassten Pflanzenarten siedeln. Wenn es wärmer wird, drängen besser an die Hitze angepasste Arten nach und ersetzen einige der vorhandenen Arten. Diese wiederum sind eventuell in der Lage, in weiter nördlich gelegenen Gefilden einzuwandern und dort heimisch zu werden. Aus der Paläobotanik, die u. a. die Besiedelungsgeschichte Mitteleuropas nach der letzten Eiszeit untersucht, ist allerdings bekannt, dass solche Verschiebungen oft kompliziert und mit erheblicher zeitlicher Verzögerung vonstatten gehen.

Zur Zeit geht man davon aus, dass bei den prognostizierten Klimaänderungen Pflanzenarten ihr Areal um bis zu 1.000 km nach Norden 'verlegen' und um bis zu 700 m im Gebirge nach oben wandern (HOFFMANN 1995). Bisher sind Höhenverschiebungen um 50 bis 100 m beobachtbar (LEUSCHNER & SCHIPKA 2004).

Wenn man die Perspektive von der einzelnen Pflanzenart hin zu einer bestimmten Region wechselt, wird sich die Klimaänderung in einer mehr oder weniger starken Änderung der Artenzusammensetzung ausdrücken. Pflanzenarten, die an ein kühles, montanes Klima angepasst sind, werden in Bayern seltener werden oder aussterben, während wärme- oder trockenisangepasste Arten neu einwandern werden. Bei letzteren muss man wiederum zwei Fälle unterscheiden:

- a) Einige Arten werden im Zuge der Nordverschiebung ihres Areals aus benachbarten Regionen einwandern, z. B. aus dem pannonischen Gebiet (von Ungarn über Österreich) oder aus dem (sub-)mediterranen Raum (aus Südfrankreich über die Schweiz und Baden-Württemberg). Die Alpen dürften für die meisten wärmeliebenden Arten aus dem Mittelmeergebiet ein unüberwindliches Hindernis darstellen.
- b) Die sogenannten Neophyten (Neueinwanderer) wandern aus weit entfernten Ländern und Erdteilen ein, können dies allerdings nur mit Hilfe des Menschen. Dass Pflanzenteile oder Samen aus fernen Regionen in Schiffen, Eisenbahnen oder Flugzeugen verschleppt werden und neue Bestände begründen können, ist seit langem bekannt. Seit einigen Jahren nehmen wärmeliebende Neophyten in Deutschland zu, was vermutlich auf den Klimawandel zurückgeführt werden kann.

### 6.3 Klimainduzierte Veränderungen in der Vegetation der landwirtschaftlichen Nutzflächen

Es sei vorausgeschickt, dass die meisten Änderungen, die in Bayern auftreten werden, für Bayern nicht neu sind. Das bedeutet, dass beispielsweise eine stärkere Sommertrocknis in Niederbayern Verhältnisse hervorbringen wird, wie sie in Unterfranken jetzt üblich sind. Nur dort, wo es bisher schon relativ trocken und warm war (also vor allem in Unterfranken), werden mit ausgeprägten sommerlichen Trockenperioden möglicherweise Situationen entstehen, die für Bayern neu sind. Für den Praktiker, dessen Flächen innerhalb eines sehr kleinen Gebietes liegen, ist diese Erkenntnis allerdings belanglos: Für ihn wird der Klimawandel Konsequenzen haben.

#### Grünland

Im intensiv genutzten Grünland (siehe nachfolgenden Beitrag zur Grünlandwirtschaft im selben Band) werden sich möglicherweise Änderungen in der Bestandeszusammensetzung derart ergeben, dass die Anteile von Leguminosen und Kräutern eher zunehmen, während der Gräseranteil abnimmt. Das hat einige Auswirkungen auf die Bewirtschaftungsweise, vor allem die Ertragssicherheit schwindet. Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Vegetation wird dann stark überlagert von veränderten Bewirtschaftungsweisen.

Ein wenig anders stellt sich die Situation im extensiven Grünland dar. Wärmebedürftige und trockenisverträgliche Pflanzengesellschaften, wie sie z. B. in Unterfranken auf flachgründigen Böden vorkommen, werden sich vermutlich in Bayern ausbreiten können (auf der geringen Restfläche, die den extensiven Grünlandbeständen noch verblieben ist; KUHN 2008). Andererseits könnten Artenkombinationen aus noch wärmeren Gegenden (z. B. Südwestdeutschland: Oberrheinebene) nach Bayern einwandern. Zu diesen klimabegünstigten extensiven Wiesengesellschaften gehören die Salbei-Glatthaferwiese und die Möhren-Glatthaferwiese.

Ein weiteres Beispiel sind die sogenannten Trockenrasen, die z. B. auf flachgründigen Muschelkalkhängen gut gedeihen und ihren bayerischen Schwerpunkt in Unterfranken sowie in der Frankenalb haben. Diese könnten von zunehmenden Temperaturen und damit verbundenen Wassermangelsituationen profitieren und ihr Areal ausweiten. Diese Vegetationstypen werden heutzutage allerdings nur noch selten landwirtschaftlich genutzt (Beweidung mit Schafen oder Ziegen) und werden meist aus Naturschutzgründen gepflegt und offengehalten. In diesem Zusammenhang soll auch nur randlich erwähnt werden, dass nicht baumfähige Trockenrasen, die wir heute im Umgriff von felsigen Arealen in Bayern kennen, ebenfalls zunehmen werden.

#### Acker

Für die Ackerwildkrautflora in Bayern stellt sich die Situation ganz anders dar. Es ist davon auszugehen, dass sich die Artenzusammensetzung deutlich ändern wird. Vor allen Dingen dürften einige Arten einwandern, sowohl aus benachbarten als auch aus fernen Gebieten. Wie bereits erwähnt, hat die Einwanderung von Neophyten in den letzten Jahren bereits spürbar zugenommen (z. B. die Schönmalve *Abutilon theophrasti* oder die Beifuß-Ambrosie *Ambrosia artemisiifolia*). Der Trend dürfte sich fortsetzen. Damit wird die Bekämpfung von Ackerwildkräutern schwieriger und die Forschung vor neue Herausforderungen gestellt.

Die Pflanzenarten der aktuellen Segetalflora sind meist wärmeliebend und kommen auch mit Trockenheit gut zurecht. Deshalb werden diese Arten ihr Areal vermutlich beibehalten und somit die Gesamtartenzahl der Segetalflora zunehmen.

## 6.4 Naturschutz und Biodiversität

Dass infolge des Klimawandels Verschiebungen des Areals von Pflanzenarten erwartet werden, wurde bereits in Kap. 6.2 erläutert. Es handelt sich hierbei allerdings selten um einfache Verschiebungen, bei denen die Größe des Artareals erhalten bleibt, sondern meist um komplizierte Verlagerungsprozesse. Aus naturschutzfachlicher Sicht wird befürchtet, dass dabei durchaus Verluste auftreten. Die Befürchtung ist begründet, denn viele Arten können ihr Areal nicht einfach nach Norden oder in höher gelegene Gegenden verlegen, weil zum einen 'unterwegs' Ausbreitungshindernisse bestehen oder aber besiedelbare Flächen mit entsprechenden klimatischen Voraussetzungen nicht vorhanden sind.

Damit Pflanzen an neuen, klimatisch günstigeren Orten siedeln können, müssen Diasporen (Samen oder andere Pflanzenteile) zuerst einmal dorthin gelangen. Das ist problematisch, denn viele Pflanzenarten verbreiten ihre Samen nur wenige Meter von der Mutterpflanze entfernt. Dass leichte Samen durch den Wind verbreitet werden, ist nur bei wenigen Gattungen und Familien möglich, z. B. bei Orchideen oder Birken. Wenn zwischen dem jetzigen Areal und dem potentiellen zukünftigen im Norden größere Flächen liegen, die von der jeweiligen Pflanzenart nicht besiedelt und nicht als Trittstein auf dem Weg nach Norden benutzt werden können, ist dieser Art sozusagen der Weg abgeschnitten. Sie wird deutliche Bestandesrückgänge verbuchen oder gar aussterben. Naturschützer befürchten, dass aus diesem Grund ca. 5 bis 30 % der einheimischen Flora in Deutschland (ca. 3.000 Arten) aussterben wird (LEUSCHNER & SCHIPKA 2004).

Ebenso werden kälteertragende Pflanzenarten immer höher im Gebirge siedeln, bis es irgendwann nicht mehr weiter nach oben geht. Das nächste Gebirge, das dann noch höher ist (im Falle des Bayerischen Waldes wären das die Alpen; im Falle der Alpen wäre das der Kaukasus), ist meist soweit entfernt, dass eine Übertragung von Diasporen nicht mehr möglich ist.

Vegetationstypen, die oft nur inselhafte Vorkommen haben und deswegen besonders gefährdet sind, weil es keine Ausweichmöglichkeiten gibt, sind neben der Vegetation der Gipfelbereiche beispielsweise Borstgrasheiden, Hochmoore oder Kleinseggenriede, die allesamt zumindest gebietsweise in früheren Zeiten landwirtschaftlich genutzt wurden.

HOFFMANN (1995) identifiziert mit Hilfe von Ellenberg-Zahlen Lebensgemeinschaften, die besonders leiden dürften. Gefährdet sind demnach Pflanzengesellschaften auf Feuchstandorten (z. B. magere Feuchtwiesen, Großseggenriede, Quellfluren, Feuchtwälder, Moore) und montane Stauden- und Felsfluren (s. auch WITTIG & NAWRATH 2000). Die Pflanzenarten der Hochmoore werden auch deshalb große Verluste hinnehmen müssen, weil die Entwicklung von Hochmooren an anderen Orten mehrere hundert bis tausend Jahre benötigt, also nicht rechtzeitig erfolgen kann.

Andererseits haben Pflanzenarten mit folgenden Eigenschaften größere Chancen, in anderen Regionen große Populationen aufzubauen: viele regelmäßig und früh produzierte Diasporen mit effektiven Ausbreitungsmechanismen, weite ökologische Amplitude, hohe Konkurrenzkraft, derzeit große und geschlossene Areale, hohe Abundanz (RUTHSATZ 1995). Wenig gefährdet sind demzufolge Arten der Segetal-, Ruderal- und Stadflora.

Daraus ergeben sich folgende Forderungen des Naturschutzes, um den Artenschwund einzugrenzen (und mit denen die Landwirtschaft vermutlich in Zukunft konfrontiert wird):

- Es werden speziell großflächige Schutzgebiete mit ausreichend Relief benötigt, damit interne Ausgleichs- und Wanderbewegungen möglich sind.
- Die Biotope und Schutzgebiete sollen untereinander durch ausreichend breite Korridore vernetzt werden, so dass Wanderbewegungen entlang dieser Achsen möglich sind.
- Es sollen unbewirtschaftete Flächen zur spontanen Besiedlung bzw. langfristigen Sukzession als Trittsteinbiotope zur Verfügung gestellt werden.
- Es sollen in ausreichender Anzahl und Größe landwirtschaftliche Flächen mit extensiver Nutzung vorhanden sein, die als Wander- und Trittsteinbiotope für bedrohte Arten dienen können.
- Wasser soll effektiver in der Landschaft zurückgehalten werden, um Feuchtgebiete zu erhalten (z. B. Wiedervernässung von Mooren; Barrieren für den Abfluss).

## 6.5 Aufgaben für die Forschung

Eine grundlegend wichtige Aufgabe für die Forschung ist die Beobachtung der Entwicklungen, vor allem die Beobachtung von Arealveränderungen. Damit kann z. B. die Einwanderung von Neophyten verfolgt werden. Das Projekt 'Grünlandmonitoring Bayern' ist ein wichtiger Beitrag dazu, der auch Grundlagen für veränderte Bewirtschaftungsweisen zur Verfügung stellt.

## 6.6 Literatur

- [1] Hoffmann, J. (1995): Einfluss von Klimaänderungen auf die Vegetation in Kulturlandschaften. - in: Klimaänderungen und Naturschutz - Klimabedingte Vegetations- und Faunenänderungen und Konsequenzen für den praktischen Naturschutz. - Angewandte Landschaftsökologie 4, Bundesamt für Naturschutz, Bonn - Bad Godesberg, 191-211.
- [2] Kuhn, G. (2008): Die Bedeutung des Grünlandes in der Kulturlandschaft. - Saueria 14 (im Druck).
- [3] Leuschner, C. & Schipka, F. (2004): Vorstudie Klimawandel und Naturschutz in Deutschland. - BfN-Skripten 115, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg.
- [4] Ruthsatz, B. (1995): Welche Naturschutzmaßnahmen lassen sich schon heute aufgrund vermutlicher anthropogener Klimaänderungen empfehlen? Ein Beitrag aus vegetationskundlicher Sicht. - in: Klimaänderungen und Naturschutz - Klimabedingte Vegetations- und Faunenänderungen und Konsequenzen für den praktischen Naturschutz. - Angewandte Landschaftsökologie 4, Bundesamt für Naturschutz, Bonn - Bad Godesberg, 213-223.
- [5] Wittig, R. & Nawrath, S. (2000): Welche Pflanzenarten und -gesellschaften Hessens sind bei einer globalen Temperaturerhöhung gefährdet? Vorschläge für ein Biomonitoring. - Geobotanisches Kolloquium 15, 59-69 (Universität Frankfurt).



## **7 Auswirkungen und Strategien für die Grünlandwirtschaft unter dem Aspekt gegenwärtiger Rahmenbedingungen und ertragsphysiologischer Parameter**

**Dr. Michael Diepolder**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz

### **7.1 Einleitung**

In Bayern nimmt das Dauergrünland mit ca. 1,16 Mio. Hektar rund 16 % der gesamten Gebietsfläche und ca. 35 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche ein. Das Ausmaß und die Intensität seiner Bewirtschaftung sind eng an die landwirtschaftliche Wiederkäuerhaltung gekoppelt. Grünland und die damit verbundene Landwirtschaft spielt eine wichtige Rolle im Gewässer- und Bodenschutz sowie im Arten- und Biotopschutz. Veränderungen sowohl durch agrarstrukturelle und ökonomische Rahmenbedingungen (siehe DIEPOLDER, 2006) als auch durch „natürliche“ Einflüsse betreffen daher in Bayern nicht nur die Futtermittelwirtschaft als solche, sondern die gesamte Multifunktionalität dieser die bayerische Kulturlandschaft prägenden Landnutzungsform.

Es besteht kein Zweifel, dass der globale Anstieg von Treibhausgasen (v. a. Kohlendioxid, Methan und Stickoxide) und die damit verbundenen prognostizierten Änderungen von Temperaturen und Niederschlagsverhältnissen in weiten Teilen Europas die dortigen Grünlandbestände, ihre Erträge und Futterqualitäten in komplexer Weise beeinflussen können und dies vermutlich auch tun werden.

Ausgehend von einem seit Beginn der Industrialisierung laufend zunehmendem CO<sub>2</sub>-Gehalt der globalen Atmosphäre, der prognostizierten Zunahme bodennaher Lufttemperaturen, des Anstiegs der durchschnittlichen Niederschläge und der Änderung ihrer saisonalen Verteilung bzw. Intensität sowie der Zunahme von „Extremereignissen“, versucht die europäische Forschung, mögliche Auswirkungen dieser Szenarien auf das Grünland und künftige Strategien von dessen Bewirtschaftung zu erarbeiten. Betrachtet werden dabei die genannten Klimaparameter hinsichtlich ihrer Einzel- als auch ihrer Wechselwirkungen in Hinblick auf Ertrag und Futterqualität unter Berücksichtigung der Prozesse von Photosynthese, Nährstoffdynamik in Boden und Pflanze und der botanischen Zusammensetzung/Interaktion von Pflanzengemeinschaften. Einen breiten Überblick über den derzeitigen europäischen Kenntnisstand unter Verweis auf zahlreiche Arbeiten in den vergangenen Jahren geben die Veröffentlichungen von HOPKINS und DEL PRADO (2006), LÜSCHER et al. (2006) sowie SOUSANNA und LÜSCHER (2006), auf die auch in dieser Abhandlung Bezug genommen wird.

Konkrete umfassende Aussagen für die Grünlandwirtschaft bestimmter Regionen sind dabei aufgrund vieler bestehender Unsicherheiten noch nicht möglich, somit verständlicherweise auch nicht für das sehr heterogen zusammengesetzte Grünland Bayerns. Wohl aber kann versucht werden, Kernpunkte des bisherigen Forschungsstands zum Klimawandel mit dem gegenwärtigen „status quo“ des bayerischen Grünlands unter Einbeziehung der bisherigen Erfahrung in Versuchswesen und Praxis von vergangenen (Extrem-)Jahren zu verknüpfen, und daraus (vorsichtige) Folgerungen abzuleiten.

## 7.2 Status quo der Bayerischen Grünlandwirtschaft

Die gegenwärtigen - und vermutlich auch zukünftigen - Rahmenbedingungen der bayerischen Milchviehhaltung erfordern vom Grünland bestes Grundfutter mit hohen Energiedichten und Nährstoffkonzentrationen. Dies verlangt eine standortangepasste optimale Nutzungsintensität mit frühem ersten Schnitt (siehe Beispiel Tabelle 1), was auch durch Forschungsergebnisse der LfL (siehe Literatur, u. a. DIEPOLDER et al., divers) bestätigt wird. In Gunstlagen Oberbayerns und Schwabens ist damit ein 4-5 maliger Schnitt pro Jahr verbunden. In den durch Niederschlagsmenge und -verteilung und Temperatur klimatisch weniger begünstigten Regionen (weite Teile der Frankens und der Oberpfalz) wird ca. pro Jahr ein Aufwuchs weniger geerntet.

Tab. 1: Futterqualitäten (Mittel) in Abhängigkeit vom Schnittzeitpunkt (LfL/ITE, 2006)

Schnittzeitpunkt	8.-14 Mai	15.-21. Mai	22.-28.Mai
n	42	40	61
Rohasche (g/kg TM)	104	101	103
Rohprotein (g/kg TM)	203	179	170
Rohfaser (g/kg TM)	198	231	250
Energiedichte (MJ NEL/kg TM)	6,56	6,27	6,08

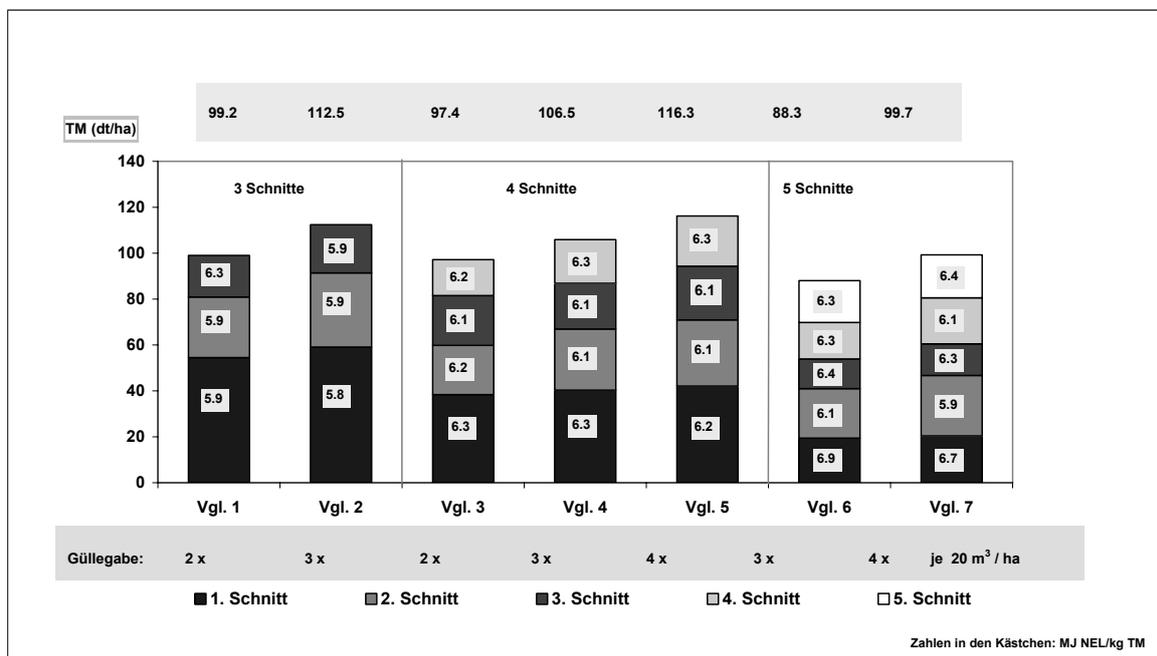


Abb. 1: Einfluss von Schnitthäufigkeit und Düngung auf Ertrag (Trockenmasse TM, in dt/ha) und Energiegehalt (Zahlen in den Kästchen, in MJ Nettoenergielaktation NEL pro kg TM) einer weidelgrasreichen Wiese

Von den rund 1,16 Mio. ha Dauergrünland in Bayern liegen alleine rund 55 % in den Regierungsbezirken Oberbayern und Schwaben. Dort ermöglichen bisher die häufig wei-

delgrasreichen Weidelgrasbestände und eine weitgehend gesicherte Wasserversorgung eine intensive Grünlandwirtschaft mit relativ gleichmäßiger Ertragsverteilung und erfordern eine entsprechende Nährstoffrückführung (siehe Abbildung 1). Der durchschnittliche Anteil der Flächen mit regelmäßig vier bis über fünf Nutzungen wird in diesen Gunstlagen auf ca. 45 % geschätzt, das damit verbundene Ertragspotenzial dürfte auch in der Praxis häufig bei rund 100-110 dt TM pro Hektar und Jahr liegen.

Das durchschnittliche Ertragsniveau des nordbayerischen Grünlands liegt ca. 20 % unter dem von Südbayern. In weiten Teilen Nordbayerns ist intensive Nutzung meist nicht möglich (geschätzt ca. 10-15 % der Flächen mit regelmäßig über 3 Schnitten). Sie ist auch wegen der dort häufig anderen botanischen Zusammensetzung der Wiesen und Weiden aus fachlicher Sicht in der Regel nicht sinnvoll, ohne die Stabilität dieser Grünlandbestände nachhaltig zu gefährden. Die optimale Intensität im Wirtschaftsgrünland für die Milchviehhaltung liegt in Nordbayern überwiegend bei drei Nutzungen pro Vegetationsperiode.

Für gesamt Bayern liegt der Flächenanteil mit extensiver Grünlandwirtschaft, d. h. 1 bis 2 Nutzungen pro Jahr bei ca. 20-25 % (DIEPOLDER, 2006), dabei in Oberbayern schätzungsweise bei unter 20 %, in Franken jedoch knapp über 30 %.

### **7.3 Wasser und Temperatur als Einflussfaktoren für die Ertragsphysiologie des Grünlands**

Das Verständnis des Zusammenwirkens von Standortfaktoren auf die Ertragsphysiologie und damit auf die Auswirkung von wesentlichen Umwelteinflüssen auf die Entwicklung von Grünlandbeständen spielt für die Ableitung von Handlungsstrategien eine grundlegende Rolle. Deshalb wird nachfolgend kurz darauf eingegangen. Für ein vertieftes Verständnis der Einflüsse natürlicher Grundlagen (Wasser, Klima, Boden), also sogenannter „Standortfaktoren“, welche in Hinblick auf Nutzungsmöglichkeit, Ertragspotenzial und Futterqualität immer in Wechselbeziehung mit Faktoren der Bewirtschaftung (Nutzung, Düngung, Pflege) gesehen werden müssen (siehe auch DIEPOLDER, 2000 und 2006) seien die Lehrbücher von VOIGTLÄNDER und JAKOB (1987) und AMBERGER (1979) empfohlen, dem auch die meisten der in den Punkten 1.5 bzw. 1.6 genannten Aussagen entnommen sind.

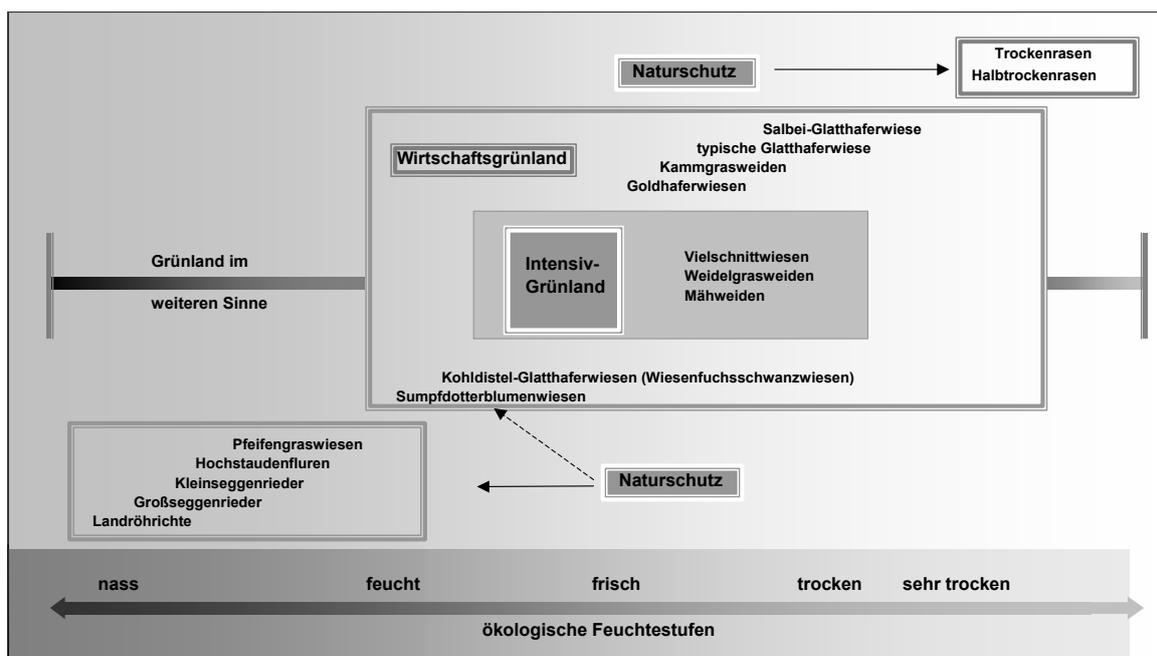
#### Wasserversorgung

Grünlandvegetation ist zwar unter sehr gegensätzlichen Feuchtebedingungen (Trockenrasen, Feuchtwiesen) möglich, das Ausmaß der Biomassebildung und der erzielbaren Futterqualität (u. a. durch die Ausprägung der Pflanzenbestände, siehe auch Abbildung 2) wird hingegen maßgeblich von der Höhe des Wasserangebotes und der zeitlichen Verteilung der Wasserzufuhr bestimmt.

Eine intensive Nutzungsweise erfordert eine mehrmalige Regeneration der Pflanzen. Sie ist auf eine ständig gesicherte Wasserversorgung angewiesen. Der mittlere Tagesverbrauch an Wasser in der Vegetationszeit wird für Grünland mit 2,3 bis 3,1 mm angegeben, unterliegt aber weiten Schwankungen. Er verringert sich bei Wassermangel, bei ständig niedrig gehaltenen Beständen (Weiden) und steigt bei unbegrenzter Wasserzufuhr und bei vollentwickelten Wiesenbeständen an. Als grobe Richtwerte für eine ausreichende Wasserversorgung gelten Jahresniederschläge in einer Höhe von 850 mm, eine Höhe von

1000 mm gestattet eine weitgehende Unabhängigkeit von anderen Wasserquellen. Wesentlichen Einfluss haben aber auch Temperatur, Luftfeuchte, Bodeneigenschaften, Düngung und Nutzungsintensität und Pflanzenbestand, so dass weder der Jahresniederschlag noch die in der Vegetationszeit gefallene Regenmenge bei isolierter Betrachtung eine hinreichend genaue Aussage erlauben. Besser lässt sich der Einfluss der Niederschläge über die monatliche Verteilung abschätzen, wobei vorgenannte ertragswirksame Faktoren, insbesondere das Wasserspeichervermögen weiterhin eine Rolle spielen.

Abb. 2: Vegetationskundliche Darstellung wichtiger Pflanzengesellschaften des Dauer-



grünlandes (nach Rieder/Diepolder, 2006 in Lehrbuch Pflanzliche Erzeugung)

### Temperatur und Wasser

Die Assimilation beginnt bei ca. 0 °C, deutlicher Biomassezuwachs setzt bei ca. 8-10 °C ein. Der in Mitteleuropa als „günstig“ geltende Temperaturbereich von 17-25 °C gilt nur für optimale Wasserverhältnisse. Häufig verhalten sich jedoch Temperaturniveau und Wasserversorgung entgegengesetzt. Bei lang andauernden Perioden mit Temperaturen ab ca. 30-35 °C endet der Zuwachs.

Die treibende Kraft der Wasserbewegung der Pflanzen erfolgt durch ein Saugkraftgefälle zwischen Bodenlösung und atmosphärischer Luft. Die Pflanze reagiert bei hohen Temperaturen zunächst durch verstärkte Wasserabgabe aus den Spaltöffnungen. Die Höhe der Wasserabgabe bei optimalen Wasserverhältnissen ist auch pflanzenartabhängig und kann für einige Grünlandpflanzen in etwa folgender Reihenfolge angegeben werden: Rotschwingel < Weidelgras < Wiesenrispe, Rohrschwingel (Zit. bei ELSÄSSER, persönliche Mitteilung, Vortrag 2003).

Wenn die Transpiration aufgrund der Lufttemperatur hoch ist, jedoch der Wassernachschub aus dem Boden in Abhängigkeit von dessen Wassergehalt, Bodenart und Durchwurzelung erschwert ist, tritt eine Abnahme des Zelldrucks (Turgor) und zeitweilige bzw. permanente Welke ein. Die Pflanze versucht dem bei Hitze durch Schließen der Spaltöffnungen entgegenzuwirken. Dadurch wird aber die CO<sub>2</sub>-Zufuhr eingeschränkt und damit

die Photosyntheseleistung herabgesetzt. Hitzestress führt zu einer Verringerung von Synthetasen und zu einem erhöhten Abbau von Kohlenhydraten und Eiweiß. Die Hitzetoleranz ist pflanzenartabhängig, Sie ist z. B. Rohrschwengel vergleichsweise gut und liegt über der von Wiesenrispe und noch mehr über der von Deutschem Weidelgras und Rotschwengel (Zit. bei ELSÄSSER, persönliche Mitteilung, Vortrag 2003).

#### Jahreszeiten, allgemeiner Witterungsverlauf und Entwicklung des Grünlandes

Sofern die Wasservorräte im Frühjahr nicht schnell aufgebraucht sind, ist die Temperatur der Minimumfaktor für das Wachstum.

Die typische Sommerdepression der Gräser wird bei steigendem Wasserverbrauch durch ein hohes Sättigungsdefizit der Luft verstärkt, dagegen durch gleichmäßig verteilte, ausreichende Niederschläge gemindert. Im Herbst verlängern Wasser und hohe Temperaturen die Futterperiode. Kalte Nächte und ausreichende Photosyntheseleistung am Tag fördert die Reservestoffbildung.

Für das Grünland ungünstige und oft unterschätzte Witterungswirkungen im Winter und beim Übergang in den Frühjahr sind: Wechselfröste (Aufrieren und Austrocknen der Pflanzen), vorübergehender Temperaturanstieg (Frostenthärtung, Reservestoffverbrauch durch Wachstumsanregung), Schnee- und Eisdecken (u. a. Schneeschimmel; besonders anfällig Deutsches Weidelgras), Spätfröste (Schädigung früher Arten/Sorten; besonders anfällig Knaulgras). Die Widerstandsfähigkeit ist hierbei arten- und sortenbedingt unterschiedlich. Als relativ unproblematisch in Bezug auf diese Problemwitterungen in der Übergangszeit gelten Wiesenschwengel, Wiesenrispe oder Wiesenlieschgras.

Diese letztgenannten Effekte dürften in Hinblick die durch den Klimawandel ausgelösten Veränderungen besondere Beachtung verdienen.

### **7.4 Effekte von ansteigendem CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft, erhöhten Temperaturen, sich ändernden Niederschlagsverhältnissen und deren Wechselwirkungen auf das Grünland (bisheriger Kenntnisstand)**

Die globale atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration ist während der letzten 100 Jahre von ca. 280 ppm auf gegenwärtig 365 ppm gestiegen. Der Trend setzt sich mit noch größerer Geschwindigkeit als bisher fort, so dass sich in den kommenden 100 Jahren die Konzentration Werte zwischen 550-970 ppm erreicht haben wird. Die Agrarökosysteme sind global direkt und indirekt von diesem Anstieg betroffen. Richtung und Ausmaß dieser Beeinflussung sind allerdings auch für Grünlandssysteme noch weitgehend offen.

#### Direkte CO<sub>2</sub>-Wirkung

Da die heutige CO<sub>2</sub>-Konzentration für die meisten C<sub>3</sub>-Pflanzen suboptimal ist, führt eine Erhöhung zu einer Stimulation der Photosynthese, zu geringerer Transpiration (Wasserverbrauch) und damit um einer deutlich verbesserten Wassernutzungseffizienz. Einher geht damit eine Steigerung der Biomasseproduktion, eine Zunahme des löslichen Kohlenhydratanteils, eine Veränderung der C-Verlagerung und ein erhöhter Sprossanteil an der Gesamtpflanze.

Diese physiologische CO<sub>2</sub>-Wirkung beeinflusst die Aussagen von Klimamodellen erheblich.

Wichtig ist ebenfalls die Tatsache, dass sich die sich ändernde CO<sub>2</sub>-Konzentration auch auf die Nährstoffaufnahme und Prozesse in der Kohlenstoff-/Stickstoffdynamik des Boden-/Wurzelsystems auswirken dürfte.

Möglich erscheint eine niedrigere Verfügbarkeit von anorganischem Stickstoff, so dass sich bei sehr niedrigem N-Status des Bodens suboptimale Rohproteingehalte für die Tierernährung ergeben können.

Nach gegenwärtigem Kenntnisstand profitieren Leguminosen (N-Symbionten) in fruchtbaren Graslandgesellschaften mehr von einem CO<sub>2</sub>-Anstieg als nichtfixierende Pflanzenarten (Gräser). Dies kann sich in höheren N-Fixierungsraten künftiger Grünlandgesellschaften äußern. Das führt dazu, dass auch andere Nährstoffe als Stickstoff (u. a. Phosphor) eine zunehmende Rolle für die ertrags- und qualitätsbestimmende Nährstoffversorgung des Grünlands spielen dürften.

Von der N-Düngung bzw. der künftigen Entwicklung der Leguminosen im Grünland gemäßigter Zonen sind wesentliche Wechselwirkungen zu erwarten. Steigende Anteile an Leguminosen in der Grasnarbe könnten daher den prognostizierten Proteinabfall nichtfixierender Arten kompensieren. Jedoch hängt der Anteil an Leguminosen im Grasbestand ebenfalls von dem Nutzungssystem (Schnitt oder Weide), der Schnittintensität und der Höhe der N-Düngung ab. Dies und der innerhalb der Vegetationsperiode generell stark wechselnde Kleeanteil zeigt, dass künftig eine Vielzahl von Faktoren die direkte Wirkung steigender Kohlendioxidgehalte in der Atmosphäre überlagern können.

#### Indirekte CO<sub>2</sub>-Wirkung

Durch den Anstieg der Treibhausgase nehmen die Temperaturen in Europa zu. Allgemein fördert (bei ausreichende Wasserversorgung) eine Temperaturerhöhung das Wachstum und die Entwicklung. Der springende Punkt ist aber, dass die in Klimakammern gemessenen erheblichen Ertragssteigerungen durch den „CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt“ (hier unter kontrollierten optimalen Bedingungen und intensiver Schnittnutzung ca. bis ca. 50 %) in erheblichem Maße von verfügbaren Ressourcen an Wasser und Nährstoffen abhängen. Somit können höhere Verdunstungsraten durch höhere Temperaturen und Einstrahlungen einem positiven CO<sub>2</sub>-Effekt entgegenwirken. Extrem trockene Sommer können Prozesse der Lignifikation in bestimmten Arten beschleunigen, sie könnten aber auch zu Grünlandbeständen mit zunehmender Dominanz trockenheitsverträglicher Arten führen.

Die Voraussage dieser Kombinationswirkung für vielfältig zusammengesetzte Grünlandgesellschaften ist generell für Europa noch offen, insbesondere sind regionale bzw. lokale Folgen der Klimaänderung nach wie vor sehr unscharf. Sie ist aber von entscheidender Bedeutung für die Vorhersage der Effekte auf das Arteninventar, die botanische Zusammensetzung, Futtermengen, Futterqualitäten und die Stabilität künftiger Grünlandökosysteme – tiefgreifende Veränderungen werden hierbei in der Literatur für Europa als wahrscheinlich angenommen. Insbesondere die genaue Quantifizierung des „CO<sub>2</sub>-Düngeeffekts“ und seiner Wechselwirkungen ist eine wesentliche Voraussetzung dafür, in Hinblick auf den Klimawandel modellgestützte Ertragsprognosen weiter zu verbessern.

In Übereinstimmung mit der Literatur kann jedenfalls trotz aller bestehender Unsicherheiten gefolgert werden, dass sich die Beratungsempfehlungen zur Grünlandwirtschaft den

globalen atmosphärischen Veränderungen (Kohlendioxid, Methan, Stickoxide), dem Klimawandel als solchem und der zunehmenden klimatischen Variabilität anpassen müssen. In welcher Richtung genau, ist noch nicht bekannt.

## **7.5 Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf Strategien der bayerischen Grünlandwirtschaft**

Die Kombinationswirkung von erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen und steigenden Temperaturen wirkt langfristig. Folgende Prognosen sind für Regionen Bayerns vorstellbar:

### **Gunstlagen**

Für Gunstlagen des Grünlands Südbayerns („Grünlandgürtel“) mit regelmäßig meist ausreichenden Niederschlägen ist zu vermuten, dass der positive CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt und eine längere Vegetationsperiode noch höhere Durchschnittserträge ermöglicht. Damit dürfte in diesen Regionen auf Intensivgrünland eine weitere Steigerung der Nutzungsintensität einhergehen, welche eine Anpassung der Düngestrategie erfordert. In diesen Regionen dürfte infolge der mit den Temperaturerhöhungen im Winter- und Sommerhalbjahr einhergehenden Verschiebung der Anbaugrenzen (ca. 200 m pro Grad Erwärmung) mit einer weiteren Steigerung der gesamte Futterproduktion vom Grünland zu rechnen sein.

Vorstellbar ist in Gunstlagen ebenfalls langfristig eine Zunahme von Weidelgrasarten (Deutsches Weidelgras, ferner lokal autochtones Bastardweidelgras) in Bezug auf den Artenanteil in Grünlandbeständen und ihr Vordringen in größere Höhenlagen. Eine zunehmende Dominanz dieser intensivnutzungsverträglichen Gräserarten birgt jedoch auch ein gewisses Problem: Wenngleich insgesamt zunehmend seltener werdend, so sind doch in Einzeljahren Klimakonstellationen mit starken Wintereinbrüchen, d. h. langen Phasen der Schneebedeckung und/oder Kahlfrösten und damit einhergehend Auswinterungen möglich. Trotz aller züchterischen Fortschritte (Sorteneffekte) ist Deutsches Weidelgras in dieser Hinsicht nach wie vor empfindlich. Noch verstärkt gilt dies für autochtones Bastardweidelgras im Dauergrünland. Sofern dann eine rechtzeitige Nachsaat mit geeigneten Sorten nicht gelingt, wird künftig auf solchen Standorten zumindest kurzfristig der Konkurrenzdruck unerwünschter Gräser (z. B. Gemeine Risse) und Kräuter (z. B. Ampfer und Hahnenfuß) zunehmen und das Ertragspotenzial und die Futterqualität gefährden. So war beispielsweise mit dem außergewöhnlich langem und harten Winterhalbjahr 2005/2006 auf vielen Wiesen und Weiden Südbayerns ein massiver Rückgang an Weidelgräsern verbunden, welcher eine starke Lückenbildung in der Grasnarbe zur Folge hatte und den Nachsaatbedarf sprunghaft anstieg ließ.

Eine geschlossene, dichte Grasnarbe erfüllt gerade im Alpenraum durch ihre erosionsmindernde Wirkung eine wichtige Funktion im Boden- und Gewässerschutz. Diese Funktion wird angesichts des prognostizierten Anstiegs von Starkregenereignissen im Winterhalbjahr zunehmend wichtiger. Spontane Auswinterungsereignisse bei Grünland in Hanglagen, welches langfristig an wintermilde Witterung adaptiert sein wird, gefährden (kurzfristig) diese Funktion mit nachteiligen Folgen. Aspekte der Grünlandsanierung durch geeignetes, regional angepasstes Saatgut werden auch in diesem Zusammenhang zunehmend wichtiger.

Die verminderte Frosthärtung durch eine Zunahme milder Winter und die Gefahr der Auswinterung bei Extremereignissen können somit den positiven Effekt eines möglichen Ertragsanstiegs in Gunstlagen schmälern.

## 100 Auswirkungen und Strategien für die Grünlandwirtschaft unter dem Aspekt gegenwärtiger Rahmenbedingungen und ertragsphysiologischer Parameter

Weiter zunehmen wird durch eine generell mildere Witterung im Herbst/Winter auch die weitere Verbreitung von Gräserkrankheiten (v. a. Roste an Weidelgräsern und Wiesenrispe). Dies zeigt sich im Ansatz in Bayern in Versuchs- und Praxisflächen schon jetzt (HARTMANN, LfL, persönliche Mitteilung).

Für die Pflanzenzüchtung, speziell bei Deutschem Weidelgras bedeutet dies, den in Bayern von Forschung und Beratung eingeschlagenen Weg einer konsequent auf Ausdauer, Krankheitsresistenz und Qualität ausgerichteten Züchtung und Sortenberatung weiter zu verfolgen.

### **Ungünstigere Standorte**

Probleme mit Trockenheit sind gerade auf vielen Standorten Nordbayerns (geringere Niederschläge in der Vegetationszeit, ungünstige Verteilung z. B. durch Vorsommertrockenheit zwischen Mitte Mai bis Mitte Juni) schon jetzt aktuell und führen zu einer beträchtlichen Ertragsvarianz.

In solchen Gebieten mit bereits nicht optimaler Wasserversorgung wird der positive CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt durch Trockenheit vermutlich deutlich vermindert bzw. es werden ausgeprägte Witterungsextreme die Erträge künftig einer noch stärkeren hohen Varianz unterwerfen.

Falls regional Wassermangel auftritt (Kombination aus Niederschlagsverteilung, Bodenart, verfügbarer Wurzelraum etc.); wird dies die am stärksten wachstumshemmende Klimawirkung sein. Erfahrungen des Trockenjahres 2003 deuten an, dass mit dem Ausfall ganzer Schnitte und Ertragsschwankungen von ca. 50 % zu rechnen ist. Kurzfristige Artenverschiebungen in den Beständen können ebenfalls damit einhergehen, wie sich dies auch bei Untersuchungen von DIEPOLDER et al. (2004) bei einem Vergleich der Erntejahre 2003 und 2004 andeutet. Daraus ergeben sich erhebliche Anforderungen der Betriebe an die Futterwerbung und Vorratshaltung, somit an das gesamte Futtermanagement.

Der Anteil an Deutschem Weidelgras im Grünland Nordbayerns, welches neben wintermilden Lagen auch auf eine gesicherte Wasserversorgung angewiesen ist, dürfte sich bei zunehmender Trockenheit weiter aus vielen Standorten Nordbayerns reduzieren. Erste Auswertungen des bayernweit durchgeführten Grünlandmonitorings des Instituts für Agrarökologie (KUHN et al.) zeigen, dass das Deutsche Weidelgras in vielen nordbayerischen Lagen eine untergeordnete Rolle spielt. Vielmehr prägen die Obergräser Wiesenfuchschwanz und Knautgras das dortige Wirtschaftsgrünland (KUHN, pers. Mitteilung). Ob und inwieweit sich bei zunehmend wintermilder Witterung der Weidelgrasanteil auch in Nordbayern erhöhen wird/lässt, bleibt abzuwarten. Selbst wenn dies in Zukunft der Fall sein sollte, stellen sich bei spontanen Auswinterungen die gleichen Probleme wie in Gunstlagen. Generell dürfte aber Wassermangel im Sommer auch dann nur zu sehr instabilen Beständen führen.

Kahlstellen und Lücken und auch eine mögliche Zunahme von tiefwurzelnden Unkräutern erhöhen in Zukunft die Wahrscheinlichkeit von Pflanzenschutzsätzen und steigendem Saatguteinsatz (Nachsaat) im Grünland. Ob durchgeführte Nachsaaten erfolgreich sind, hängt wiederum von der aktuellen Wasserversorgung ab und ist offen.

Im Prinzip stehen schon jetzt für trockenere Lagen geeignete Mischungen zur Verfügung. Grundsätzlich wird es daher nicht nötig sein, völlig neue Saatgutmischungen zu schaffen, tendenzielle Änderungen sind bei einzelnen Mischungskomponenten zu erwarten.

Aus Sicht der Pflanzenzüchtung werden die Kriterien „Trockenheitsresistenz“ und „Reifezeitpunkt“ für die Optimierung des Saatguteinsatzes in Wirtschaftsgrünlandbeständen in Trockenlagen zunehmend wichtiger. Die umfasst sowohl die züchterische Bearbeitung von trockenverträglichen Gräserarten (z. B. Rohrschwengel) oder von vergleichsweise neuen Art- bzw. Gattungsbastarden (z. B. Festulolium, eine Gattungskreuzung zwischen Weidelgras- und Schwengelarten) als auch Gräserarten.

Durch hohe Temperaturen ausgelöste längere Trockenheiten werden zu neuen Nutzungsstrategien führen. Nachsaaten und völlige Neuansaaten bzw. auf ackerfähigen Flächen der Feldfutterbau („Umbruch von Dauergrünland“) dürften gerade in klimatisch ungünstigen Regionen weiter zunehmen.

## 7.6 Wie kann der Landwirt reagieren?

Gerade Extremereignisse (nasse Winter, Frühjahr; sehr trockene Sommer) schränken die Planbarkeit in der Grünlandwirtschaft ein. Dies zeigen die Erfahrungen der letzten Jahre. Der Landwirt selbst hat keine andere Chance, als sich der aktuellen Witterung anzupassen. Zumindest mittelfristig ist nicht davon auszugehen, dass sich an dem Ziel, im Grünland hohe Futterqualitäten zu erzielen, etwas ändern wird. Auch im Zeichen des Klimawandels dürfte dies auf vielen Flächen Bayerns möglich sein. Gefordert ist aber eine zunehmend angepasste Flexibilität. Die Auswertungen des Instituts für Tierernährung der Bayerische Landesanstalt zeigen im für Bayern für die letzten, teilweise im Witterungsverlauf sehr unterschiedlichen Jahre, dass im bayerischen Mittel durchgehend qualitativ hochwertiges Futter vom Grünland geerntet wurde. Sie zeugen damit aber auch von hohem Qualitätsbewusstsein der bayerischen Grünlandwirtschaft.

Kurzfristige Handlungsstrategien umfassen daher altbekannte Regeln, die gerade in „zunehmend unsicheren Zeiten“ zunehmend wichtiger werden. Diese seien nachstehend kurz stichpunktartig aufgeführt:

- Rechtzeitig schneiden, jedoch die Schnittintensität insgesamt an die Standortverhältnisse (Pflanzenbestände) anpassen, Grünland in Ungunstlagen nicht überstrapazieren,
- kein Tiefschnitt um den Reservestoffhaushalt der Gräser zu schonen,
- laufende Bestandkontrollen gerade im Frühjahr – dies wird zunehmend wichtiger,
- optimale Narbenpflege: Grasnarbe im Herbst kurz halten (Auswinterung, Mäuse),
- rechtzeitiger Pflanzenschutz –tiefwurzelnde Kräuter haben in/nach Trockenzeiten Narbenlücken Vorteile,
- narbenschonende Bewirtschaftung insbesondere bei Nässe,
- Rechtzeitige Nachsaat mit geeigneten Mischungen und Techniken,
- auf Almen und Alpen die Weideführung optimieren um durch dichte Grasnarben den Erosionsschutz des dortigen Grünlande gerade bei Starkregenereignissen zu erhalten,
- vor Inanspruchnahme von Förderprogrammen mit längerer zeitlicher Bindung in Bezug auf Düngung, Pflanzenschutz und Umbruchverbot die betrieblichen Voraussetzungen prüfen.

## 7.7 Fazit

Die prognostizierten Einflüsse auf die Erträge und die Bestandszusammensetzung im Grünland (weniger Gräser, mehr Leguminosen und Kräuter) werden vermutlich zu Ände-

rungen im Ertrag, in der Futterqualität, im Mineralstoffmuster und in den zu bemessenden Düngergaben führen. Viele Fragen aber bleiben noch offen, regionale Aussagen können gegenwärtig nur mit großem Vorbehalt getroffen werden.

Verglichen mit anderen Teilen Europas dürften Auswirkungen des Klimawandels in Bayern eher moderat ausfallen. Innerhalb Bayern könnten sich Verschiebungen ergeben, die Grünlandwirtschaft als solche dürfte aber insgesamt nicht gefährdet sein.

Zunehmenden Witterungsextreme führen zu einer erhöhten Varianz „im Grünland“. Dies betrifft die kurzfristige Reaktion der Pflanzenbeständen sowie Schwankungen des Ertragsniveaus zwischen und innerhalb der Jahre. Das wirkt sich nicht nur auf den Einzelbetrieb aus, sondern stellt die bayerische Futterwirtschaft inkl. der Pflanzenzüchtung sowie staatliche Beratung- und Förderprogramme insgesamt vor große Herausforderungen.

Festzuhalten ist aber auch, dass gegenwärtig davon ausgegangen wird, dass sich das Wirtschaftsgrünland Nordwesteuropas an den fortschreitenden Klimawandel schneller anpassen kann als dies kurzfristig „natürliche“ Grünlandssysteme, die sich bereits in einem langen Zeitraum an extreme Standortverhältnisse angepasst sind (z. B. Tundra) in der Lage sind. LÜSCHER et. al. (2006) weisen darauf hin, dass speziell in Grünlandssystemen mit produktionstechnischer Flexibilität die Landwirtschaft in einer vergleichsweise günstigen Ausgangssituation ist, um Vorteile aus den „positiven“ Effekten des Klimawandels zu ziehen, bzw. dessen negative Auswirkungen zu mildern. Das trifft gerade auf Grünlandbestände zu, wo durch laufende Neuansaat oder Nachsaatechniken Einfluss auf das Arten- und Sorteninventar genommen wird. Dies lässt auch in einer unsicheren Zukunft hoffen!

Vom Grünlandwirt wird Flexibilität im gesamten Futtersystem zunehmend wichtiger. Dies umfasst Flexibilität im Dünger-, Pflanzenschutz- und Saatguteinsatz ebenso, wie den gesamten Bereich der Futterwerbung und der Vorratshaltung.

## 7.8 Literatur

- [1] Amberger, A. (1979): Pflanzenernährung – Ökonomische und physiologische Grundlagen, Dynamik und Stoffwechsel der Nährelemente. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 250 Seiten.
- [2] Diepolder, M. (2000): Auswirkungen von Düngung und Nutzungshäufigkeit auf Ertrag und Qualität eines Grünlandstandortes in Oberbayern. Schule und Beratung, heft 5/2000, Seite IV-5 bis IV-10, Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München.
- [3] Diepolder, M. (2001): Auswirkungen von reduzierter Düngung und spätem ersten Schnitt auf zwei Grünlandstandorten im Naturraum Bayerischer Wald. Schule und Beratung, Heft 5/2001, Seite IV-1 bis IV-9; Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, München.
- [4] Diepolder, M. (2006): Aspekte der Grünlandnutzung in Bayern. in: Rundgespräche der Kommission für Ökologie, Band 31 „Gräser und Grasland“, S. 93-110; Verlag Dr. Dietrich Pfeil, München.
- [5] Diepolder, M. und Jakob, B. (2004): Wirtschaftsgrünland in Gunstlagen: Welches Maß an Extensivierung ist mittelfristig sinnvoll? Schule und Beratung, Heft

- 11/2004, Seite III-16 bis III-23; Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, München.
- [6] Diepolder, M. und Jakob, B., Schwertfirm, R. (2004): Monitoring im Intensiv-Grünland, Teil1: Pflanzenbestände. Schule und Beratung, Heft 9/2004, Seite III-22 bis III-26; Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, München.
- [7] Diepolder, M. und Schröpel, R. (2002): Ergebnisse eines Stickstoffsteigerungsversuchs auf einer weidelgrasreichen Wiese im Allgäuer Alpenvorland. Schule und Beratung, Heft 4/2002, Seite IV-3 bis IV-7; Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, München.
- [8] Diepolder, M. und Schröpel, R. (2003): Effekte unterschiedlicher Bewirtschaftungsintensität bei weidelgrasreichem Dauergrünland. Schule und Beratung, Heft 11/2003; Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, München.
- [9] Hopkins, A. und Del Prado, A. (2007): Implications of climate change for grassland: impacts, adaptations and migration options: a review. Grass and Forage Science, 62, Seite 1-9, Blackwell Publishing Ltd.
- [10] Lüscher, A., Fuhrer, J., Newton, P.C.D. (2005): Global atmospheric change and its effect on managed grassland systems. Grassland: a global resource, XX IGC 2005, Wageningen Academic Publishers.
- [11] Pflanzliche Erzeugung (2006): Lehrbuch für Landwirtschaftsschulen, 12. Auflage, 1120 Seiten, BLV-Buchverlag, München
- [12] Sousanna, J. F. und Lüscher, A. (2006): Temperate Grasslands and global atmospheric change. Grassland Science in Europe, Vol. 11, Seite 749-759.
- [13] Voigtländer, G. und Jakob, H. (1987): Grünlandwirtschaft und Futterbau. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.



## 8 Auswirkungen und Strategien für Landwirtschaft und Umwelt – aus der Sicht des Erosionsschutzes

**Rudolf Rippel**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz

### 8.1 Zusammenfassung

Unter Zugrundelegung der für den Zeitraum 2021-2050 prognostizierten Klimadaten (Basis: globales Klimamodell ECHAM4, Emissionsszenario B2, regionales Modell Meteorological Research für 345 bayernrelevante Niederschlagsmessstationen) werden die für die Ermittlung der potenziellen Bodenerosion mit Hilfe der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (A-BAG) relevanten klimaabhängigen Parameter

- Oberflächenabfluss- und Regenerositätsfaktor R und
- Bodenbedeckungs- und Bodenbearbeitungsfaktor C

bestimmt.

Die Berechnung für 13 verschiedene Fruchtfolgen mit unterschiedlichen Anteilen an erosionskritischen Früchten und jeweils 3 unterschiedlichen Bearbeitungsvarianten ergibt folgende Änderungsfaktor für den R- und C-Faktor im Zeitraum 2021-2050 gegenüber 1971-2000 (Mittelwerte und Spannweiten):

	R <sub>2050</sub>		C <sub>2050</sub>		R <sub>2050</sub> * C <sub>2050</sub>	
	Ø	von - bis	Ø	von - bis	Ø	von - bis
Änderungsfaktoren 2050 gegenüber 2000	1,05	0,96 - 1,21	1,10	1,02 - 1,30	1,16	0,98 - 1,57

Demnach wird der Bodenabtrag durch Wassererosion auf bayerischen Ackerflächen bis 2050 im Durchschnitt um etwa 16 % zunehmen, wenn keine zusätzlichen Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Hierzu gehören insbesondere die Mulchsaat in Stroh- oder Zwischenfrucht-Mulch, die konservierende Bodenbearbeitung (pfluglos), der Zwischenfruchtanbau, die Direktsaat, Untersaaten, die Optimierung des Bodengefüges durch bodenschonendes Befahren, eine ausreichende Versorgung mit organischer Substanz, der Verzicht auf erosionskritische Früchte, die nicht mit erosionsmindernder Produktionstechnik angebaut werden (können) sowie die Anlage von abflussmindernden Strukturen (Ranken, Wasserfurchen, begrünte Abflusswege, Hecken).

### 8.2 Auswirkungen und Strategien für Landwirtschaft und Umwelt aus der Sicht des Erosionsschutzes

Modelle ermöglichen einen Blick in die Zukunft. Klimaforscher sagen uns mit Hilfe von Modellen voraus, mit welchem Klima wir nach heutigem Kenntnisstand in Zukunft rech-

nen müssen. Für die Prognose des langjährigen mittleren Bodenabtrags ist das Modell der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) geeignet.

Mit welchen generellen Veränderungen wir beim Klima rechnen müssen, hat uns Herr Dr. Maier vom Deutschen Wetterdienst zu Beginn dieser Tagung dargelegt. Der für eine Abschätzung der Bodenerosion notwendigen Konkretisierung der Niederschlagsdaten liegen zusätzlich u. a. 10 Modellläufe des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) zugrunde, die für jeweils 60 Modelljahre und 345 Klimastationen in und um Bayern berechnet wurden. Deren Modellierung basiert auf dem globalen Klimamodell ECHAM4, Emissionsszenario B2, und dem regionalen Modell Meteo-Research [1] [2].

In Folgendem soll versucht werden, die Folgen des Klimawandels für das Erosionsgeschehen in Bayern abzuschätzen. Dabei bleiben andere mögliche erosionswirksame Entwicklungen außer Betracht, die nicht oder nur indirekt klimabedingt sind. Zu denken wäre hier an eine weitere Verbreitung des Maisanbaus in Folge des Biogasbooms, an größere erosionswirksame Hanglängen durch Flurneuordnung und „virtuelle Flurbereinigung“ oder an eine zunehmende Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung in der landwirtschaftlichen Praxis.

### 8.3 Vorgehen

Aufbauend auf den oben beschriebenen Prognosemodellen wird das Erosionsgeschehen der letzten 3 Dekaden des vergangenen Jahrhunderts mit dem in den Jahren 2021 bis 2050 verglichen. Vereinfachend werden folgend die für diese Perioden stehenden Jahre „2000“ und „2050“ bzw. die entsprechenden Indizes verwendet.

Die ABAG schätzt die potentielle Erosionsgefährdung durch Multiplikation von 6 Faktoren ab [3] [4]:

$$\text{Abtrag } A = R * K * S * L * C * P$$

Dabei ist

R der Oberflächenabfluss- und Regenerositätsfaktor,

K der Bodenerodierbarkeitsfaktor,

S der Hangneigungsfaktor

L der Hanglängenfaktor

C der Bodenbedeckungs- und Bodenbearbeitungsfaktor und

P der Erosionsschutz-Maßnahmenfaktor.

Mindestens zwei Faktoren der ABAG sind klimaabhängig: der Oberflächenabfluss- und Regenerositätsfaktor R sowie der Bodenbedeckungs- und Bodenbearbeitungsfaktor C. Beide Faktoren werden unter dem Aspekt der zu erwartenden Klimaentwicklung betrachtet. Anschließend werden für verschiedene Fruchtfolgen und standardisierte Bewirtschaftungssysteme die Abträge unter den Bedingungen des Klimaabschnittes 1971-2000 mit denen des Klimaabschnittes 2021-2050 verglichen und diskutiert.

### 8.3.1 Oberflächenabfluss- und Regenerositätsfaktor im Jahr 2050 ( $R_{2050}$ )

R wird bestimmt von der kinetischen Energie des Niederschlags in  $\text{kJ/m}^2$ , von der Intensität des Niederschlags in  $\text{mm/h}$  und von der Höhe des Niederschlags in  $\text{mm}$  [3]. Da für Energie und Intensität der Niederschläge konkrete Prognosen fehlen, wird hier [4] folgend angenommen, dass die Ableitung von R aus der Jahresniederschlagshöhe ausreichend genau ist. Demnach besteht gemäß der Formel  $R = 0,083 \cdot [\text{mittlerer Jahresniederschlag in mm}] - 1,77$  eine enge Beziehung zwischen dem mittleren Jahresniederschlag und R ( $r = 0,942$ ). Für die Beziehung zwischen den mittleren Niederschlägen im Sommerhalbjahr besteht zwar eine geringfügig engere Korrelation ( $r = 0,961$ ), wegen der erwarteten Verschiebung eines Teils der Niederschläge vom Sommer- in das Winterhalbjahr erscheint die erst genannte Beziehung für den hier verfolgten Zweck aber als besser geeignet.

### 8.3.2 Bodenbedeckungs- und Bodenbearbeitungsfaktor im Jahr 2050 ( $C_{2050}$ )

Nach [3] und [4] ist C abhängig von dem durch Pflanzen und Pflanzenreste im Jahresablauf erzeugten Schutz und der mechanischen Bearbeitung des Bodens. Dabei ist ausschlaggebend, wie Perioden unterschiedlicher Bedeckungsgrade des Bodens mit Phasen unterschiedlicher Niederschlagserosivität zusammenfallen. In die Bestimmung von C gehen ein:

- die aus dem Verlauf der Bodenbedeckung der einzelnen Früchte einer Fruchtfolge abgeleiteten fruchtart- und bearbeitungsspezifischen relativen Bodenabträge,
- die mittleren langjährigen relativen Anteile des Jahres-R-Faktors in den fruchtartsspezifischen Kulturperioden.

Klimaänderungen werden demnach Auswirkungen auf den Bewirtschaftungsfaktor C haben über die zeitliche Verschiebung der fruchtartsspezifischen Kulturperioden unterschiedlicher Bodenbedeckungsgrade sowie über die Veränderung des relativen R-Anteils im Jahresgang.

#### 8.3.2.1 Zeitliche Verschiebung der Kulturperioden

Für die Bestimmung der C-Faktoren sind 6 Kulturperioden zu unterscheiden (Tab. 1).

Tab. 1: Kulturperioden zur Bestimmung des C-Faktors, nach [3]

Beschreibung	Kurzbezeichnung
Hauptbodenbearbeitung bis Saatbettbereitung	BB-SB
Saatbettbereitung bis 10 % Bodenbedeckung durch die Kulturpflanze	SB-10 %
10 bis 50 % Bodenbedeckung	10-50 %
50 bis 75 % Bodenbedeckung	50-75 %
75 % Bodenbedeckung bis Ernte	75 %-E
Ernte bis Hauptbodenbearbeitung	E-BB

Die Kulturperioden E-BB und BB-SB sind vom Erntetermin der vorangegangenen Frucht, dem Zeitpunkt der Hauptbodenbearbeitung und dem Saattermin der nachfolgenden Frucht abhängig. Deshalb ist C immer an eine Fruchtfolge gebunden und kann nur unzureichend durch die Addition einzelner, fruchtartspezifischer C-Werte der Fruchtfolgeglieder ermittelt werden.

Ausgehend von den in [3] für Bayern beschriebenen mittleren Anfangs- und Endterminen der einzelnen Kulturperioden wird entsprechend der prognostizierten Klimaänderung ([1] [2]) angenommen, dass die Vegetationszeit im Jahr 2050 im Frühjahr 7 Tage früher beginnt und im Herbst 7 Tage später endet als 2000. Daraus werden unter Berücksichtigung pflanzenbaulicher Zusammenhänge die weiteren Verschiebung der Kulturperioden abgeleitet (Abb. 1).

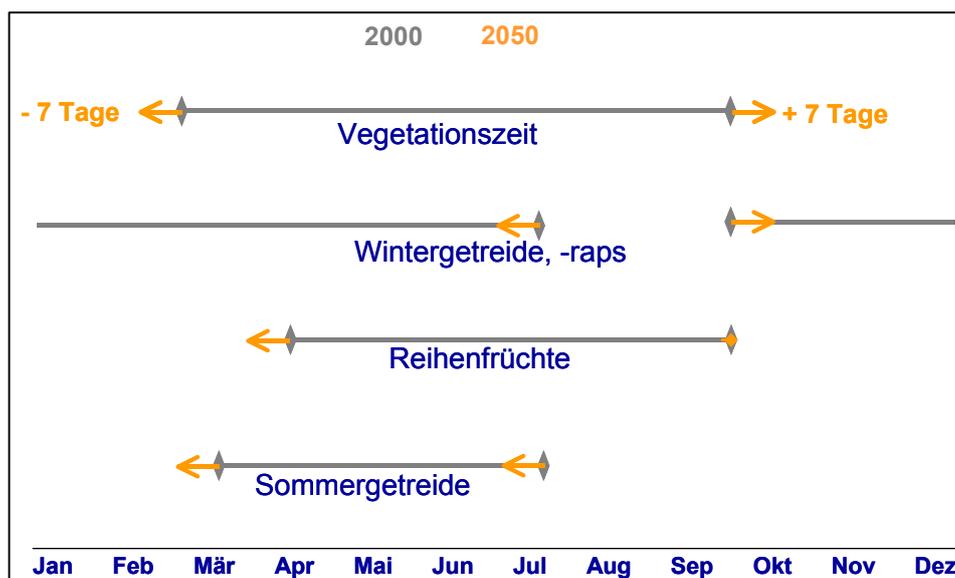


Abb. 1: angenommene Verschiebung der Kulturperioden (schematisch)

Die Saatbettbereitung im Herbst wird im Umfang der zur Verfügung stehenden Vegetationszeit nach hinten verschoben, um den zwischen Ernte der Vorfrucht und Herbstsaat bisher oft knappen Zeitraum ohne Zeitdruck zu nutzen, um die Kulturen wie Gerste und Raps nicht zu üppig in den Winter gehen zu lassen, um eine Zwischenfrucht länger stehen zu lassen oder um die längere Vegetationszeit mit hierfür geeigneten Kulturpflanzen zumindest teilweise zu nutzen (Mais, Zuckerrüben, Kartoffeln). Dem entsprechend werden – wie auch heute schon – die Stadien mit 10 % und 50 % Bodenbedeckung von Wintergerste, Winterroggen und Winterraps bereits im Herbst erreicht, wenn auch 7 Tage später. Die übrigen Kulturarten erreichen diese Stadien im Frühjahr des Folgejahres 7 Tage früher als heute.

Die Saat im Frühjahr wird 7 Tage früher als heute erfolgen, um die zur Verfügung stehenden Wasservorräte möglichst voll nutzen zu können. Dem entsprechend werden auch die weiteren Stadien für Getreide und Raps einschließlich der Ernte 7 Tage früher als heute erreicht.

Für Reihenfrüchte wird unterstellt, dass sich die Erntetermine nicht verschieben werden. Zumindest für Mais und Kartoffeln stehen zahlreiche Sorten mit unterschiedlich langer Vegetationszeit zur Verfügung, so dass sich durch Sortenwahl die längere Vegetationszeit (bei ausreichender Wasserversorgung) zumindest teilweise nutzen lässt.

Um die Auswirkungen der Klimaänderung für eine möglichst breite Spanne von C-Faktoren verfolgen zu können, werden hier drei standardisierte und nach dem Grad des damit verbundenen Erosionsschutzes unterschiedene Varianten der Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung betrachtet:

- Niedriger Erosionsschutz („niedrig“): wenige Tage nach der Ernte der Vorfrucht wird eine wendende Bodenbearbeitung (Pflug, Schälplflug) oder eine „gründliche“ Grubberbearbeitung durchgeführt. Das Verfahren ist auch unter dem Namen „reiner Tisch“ bekannt.
- Mittlerer Erosionsschutz („mittel“): Nach der Ernte der Vorfrucht werden mit dem Grubber Ernterückstände, Stoppeln und Stroh flach eingearbeitet. Vor Mais und Zuckerrüben wird 10 Tage nach der Vorfruchternte, frühestens aber am 10.8., gepflügt und eine Zwischenfrucht eingesät, in deren Mulch im Frühjahr die Mais- oder Zuckerrübensaart ohne Saatbettbereitung erfolgt. Vor Kartoffeln werden im Herbst Dämme gebaut, auf die eine Zwischenfrucht gesät wird. Im Frühjahr werden die Pflanzkartoffeln direkt in die vorgeformten Dämme gelegt. Im übrigen erfolgt eine wendende Bodenbearbeitung mit dem Pflug im Herbst 4 Tage vor der Saatbettbereitung einer Winterung bzw. am 15. November vor einer Sommerung.
- Hoher Erosionsschutz („hoch“): Nach der Ernte wird flach gegrubbert. Die Saat von Körnerfrüchten erfolgt mit einer Säkombination, z. B. einem Sägrubber, ohne wendende Bodenbearbeitung. Vor Mais und Zuckerrüben wird 10 Tage nach der Vorfruchternte, frühestens aber am 10.8., eine Zwischenfrucht ohne vorherige wendende Bodenbearbeitung gesät, in deren Mulch im Frühjahr die Mais- oder Zuckerrübensaart ohne Saatbettbereitung erfolgt. Vor Kartoffeln werden Dämme gebaut, auf die eine Zwischenfrucht gesät wird. Im Frühjahr werden die Pflanzkartoffeln direkt in die vorgeformten Dämme gelegt. Das Verfahren entspricht der pfluglosen Bewirtschaftung.

### 8.3.2.2 Veränderung der relativen Jahres-R-Verteilung

Die bisher geltende mittlere Jahres-R-Verteilung (Summenprozent) wurde in [4] als Mittelwert von 18 bayerischen Wetterstationen ermittelt. Für die Prognose der künftigen Jahres-R-Verteilung werden Niederschlagsdaten dieser 18 Stationen herangezogen, soweit diese in das Prognosemodell einbezogen wurden. Andernfalls wird die jeweils nächste von der Höhenlage vergleichbare Messstation herangezogen.

Wegen der nicht verfügbaren Daten zur definitionsgemäßen Ermittlung von Energie und Intensität künftiger Niederschläge, wird angenommen, dass sich der monatliche Anteil erosiver Niederschläge im gleichen Verhältnis ändert wie der monatliche Anteil der Tage mit Niederschlägen über 25 mm. Diese Annahme erscheint gerechtfertigt, da für die Bestimmung der R-Anteile nur die Niederschläge eingehen, die eine bestimmte Intensität übersteigen und das Erosionsgeschehen von den Starkniederschlagsereignissen entscheidend abhängen dürfte.

Daraus ergibt sich eine Anhebung der monatlichen Anteile für September bis Mai und – bei nach wie vor hohem Niveau – eine Absenkung in den verbleibenden Monaten (Tab. 2). Ausgehend von den heute geltenden täglichen R-Faktor-Anteilen wurden die monatlichen Summenprozententeile entsprechend angepasst und auf die taggenauen anteilmäßig übertragen.

Tab. 2: Mittlere monatliche R-Faktor-Anteile (%), 2000 und 2050

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
2000	0,12	0,60	0,77	3,0	10,3	28,0	20,9	20,6	9,8	3,2	1,6	1,1	<b>100</b>
2050	0,16	0,99	0,85	4,8	11,5	24,6	17,9	17,6	13,0	4,6	2,7	1,3	<b>100</b>

Abb. 2 zeigt die bisherige und die für 2050 auf diese Weise bestimmte Summenkurve der R-Faktor-Anteile im Jahresgang. Für die Zukunft ergibt sich demnach gegenüber heute von September bis einschließlich Mai eine etwas steilere Kurve und damit ein höherer Anteil an erosiven Niederschlägen und eine Abflachung in den Monaten Juni bis einschließlich August.

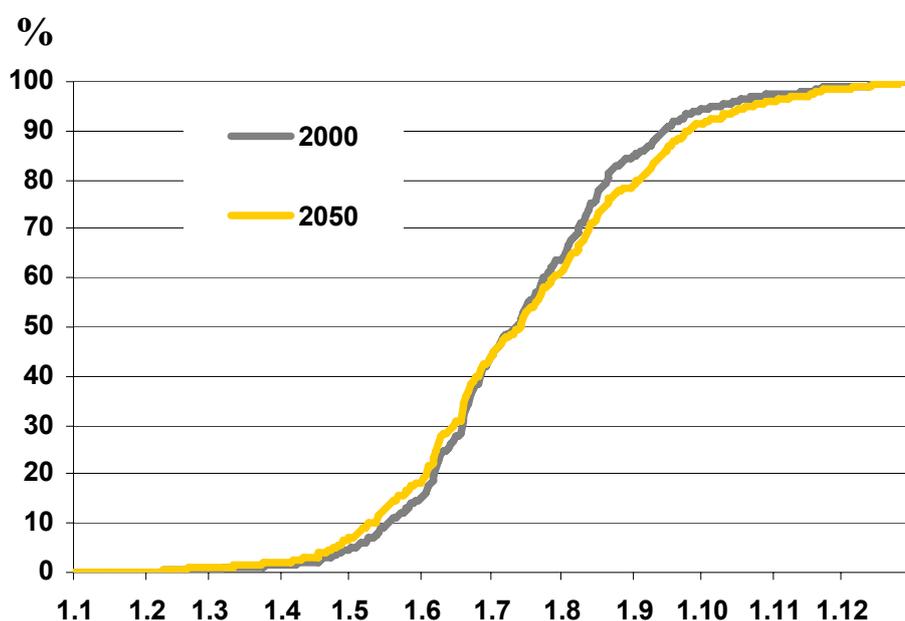


Abb. 2: Mittlere langjährige tägliche Summenprozente der R-Faktor-Anteile in Bayern heute (nach [4]) und im Jahr 2050

Nach wie vor wird demnach aber auch künftig der weit überwiegende Teil erosiver Niederschläge im Sommerhalbjahr fallen, insbesondere in den Monaten Juni bis August (Abb. 3).

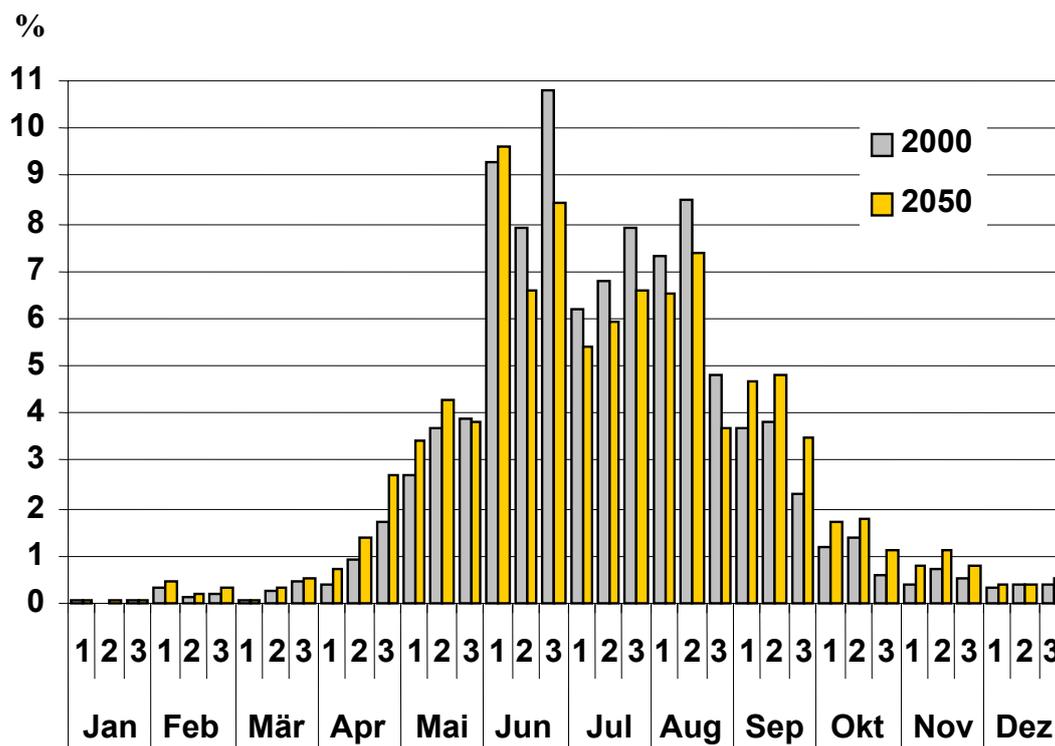


Abb. 3: Mittlere langjährige Summenprozente der R-Faktor-Anteile pro Dekade in Bayern heute (nach [4]) und im Jahr 2050

### 8.3.2.3 Ermittlung von $C_{2050}$

Der C-Faktor wurde für folgende 13 Fruchtfolgen bestimmt (mit jeweils den 3 oben beschriebenen Stufen des Erosionsschutzes bei Bearbeitung und Bestellung):

#### Raps-Getreide-Fruchtfolgen:

- Winterraps-Winterweizen-Winterweizen-Triticale (25 % Raps+Gerste)
- Winterraps-Winterweizen-Winterweizen (33 % Raps+Gerste)
- Winterweizen-Sommergerste (50 % Raps+Gerste)
- Winterraps-Winterweizen-Wintergerste-Hafer (50 % Raps + Gerste)
- Winterraps-Winterweizen-Sommergerste (66 % Raps+Gerste)
- Winterraps-Winterweizen-Wintergerste-Sommergerste (75 % Raps+Gerste)

#### Mais-Fruchtfolgen:

- Silomais-Winterweizen-Wintergerste-Sommergerste (25 % Mais)
- Silomais -Winterweizen-Wintergerste (33 % Mais)
- Silomais -Winterweizen (50 % Mais)

#### Zuckerrüben-Fruchtfolgen:

- Zuckerrüben-Winterweizen-Winterweizen-Wintergerste (25 % Zuckerrüben)
- Zuckerrüben-Winterweizen-Wintergerste (33 % Zuckerrüben)

### **Kartoffel-Fruchtfolgen:**

- Kartoffeln-Winterweizen-Wintergerste-Sommergerste (25 % Kartoffeln)
- Kartoffeln-Winterweizen-Sommergerste (33 % Kartoffeln)

Näheres zur Bestimmung von C-Faktoren kann [4] entnommen werden.

### **8.3.3 Veränderung des Bodenabtrags $A_{2050}$ aufgrund der für 2050 prognostizierten direkten Klimaeinflüsse**

Der potenzielle Abtrag  $A$  für die im Jahr 2050 herrschenden Klimaverhältnisse wird durch Einsetzen der Faktoren  $R_{2050}$  und  $C_{2050}$  in die ABAG bei sonst gleichbleibenden Bedingungen bestimmt. Wegen des linearen Zusammenhangs der Einzelfaktoren mit dem potentiellen Abtrag gilt folgendes: ändert sich  $R_{2050}$  gegenüber  $R_{2000}$  um den Faktor  $a$  und  $C_{2050}$  gegenüber  $C_{2000}$  um den Faktor  $b$ , so ändert sich  $A_{2050}$  gegenüber  $A_{2000}$  um den Faktor  $a * b$ . Verändert sich also z. B.  $R$  um den Faktor 1,10 und  $C$  um den Faktor 0,95, so ergibt sich insgesamt eine Erhöhung des potentiellen Bodenabtrags um den Faktor  $1,10 * 0,95 = 1,045$ , also um 4,5 %.

Für die bayernweit regionalisierte Darstellung des Bodenabtrags in einer Karte wird mit Hilfe der Formel [5]

$$C = [83 - 1,58 * (Md + Ms + AFu) + 0,0082 * (Md + Ms + AFu)^2] * (1 - 0,03 * AFu) + 0,01 * AFu - 0,05 * Ms + 2,7$$

gemarkungsweise ein C-Faktor ermittelt und für die Prognose mit der ermittelten durchschnittlichen fruchtfolgespezifischen prozentualen Veränderung berücksichtigt ( $Md$  = Anteil der kleinkörnigen Mähdruschfrüchte in % AF;  $Ms$  = Anteil der mit Mulchsaatverfahren angebauten Reihenfrüchte in % AF;  $AFu$  = Anteil des mehrjährigen (rasenbildenden) Ackerfutters in % AF).

## 8.4 Ergebnis und Diskussion

### 8.4.1 R<sub>2050</sub>

Im Mittel von 345 Niederschlagsmessstationen im Bereich Bayerns wird es zu einer Anhebung der Jahresniederschlagsmenge um den Faktor 1,05 von 998 auf 1045 mm kommen. Damit ändert sich der R-Faktor im Durchschnitt aller Stationen um den Faktor 1,05 (0,96 bis 1,21), unter Beachtung der einzelnen Messstationen allerdings mit regional deutlichen Unterschieden.

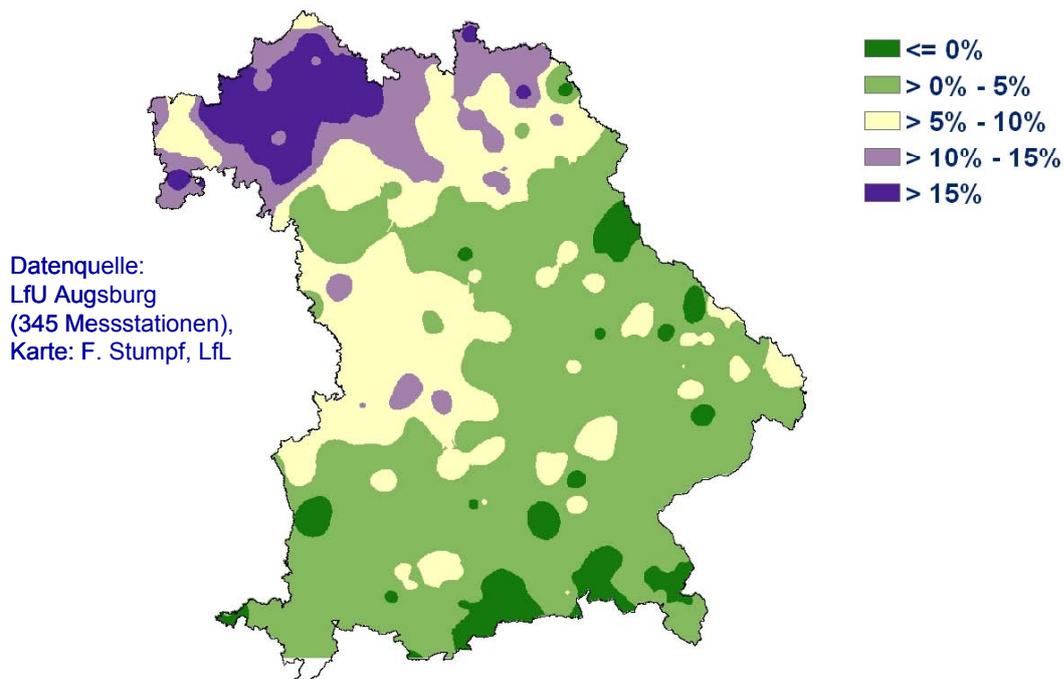


Abb. 4: Relative Zunahme des R-Faktors 2050 gegenüber 2000 in Bayern

Die Veränderung der Jahresniederschläge wird bewirken, dass bei dem hier unterstellten Klimaszenario R<sub>2050</sub> in Bayern kleinflächig leicht abnehmen, im Süden überwiegend etwa gleich bleiben und in weiten Teilen Ober- und Unterfrankens um 10 % und mehr ansteigen wird (Abb. 4, Tab. 3). Da die Niederschlagswerte für 2000 und 2050 aus Modellrechnungen stammen, können die Werte für 2000 von den tatsächlich gemessenen abweichen.

Tab. 3: Niederschläge und R-Faktoren für 18 Niederschlagsmessstationen in Bayern

Messstation	Höhe über NN	Jahresniederschlag, mm		R-Faktor		relativ, % 2000=100 %
		2000	2050	2000	2050	
Hof	474	731	818	59	66	112
Bad Kissingen	262	739	873	60	71	119
Großheirat	295	677	754	54	61	112
Bamberg	239	645	732	52	59	114
Würzburg	268	595	687	48	55	116
Weiden	438	727	764	59	62	105
Nürnberg-Tiergarten	325	743	757	60	61	102
Regensburg	366	669	691	54	56	103
Weißenburg	422	702	745	57	60	106
Ortenburg	375	888	906	72	73	102
Scheyern	481	841	855	68	69	102
Augsburg	461	794	811	64	66	102
Hallbergmoos-Goldach	462	864	887	70	72	103
München-Berg am Laim	530	1013	1031	82	84	102
Mühlendorf	540	1547	1590	127	130	103
Kempten	705	1238	1285	101	105	104
Marktschellenberg	500	1849	1876	152	154	101
Oberstdorf	810	1769	1756	145	144	99

In Ermangelung einer besseren Methode erfolgt die Ermittlung der künftigen R-Faktoren hier mit der Annahme, dass der bisher geltende Zusammenhang  $R = 0,083 \cdot [\text{mittlerer Jahresniederschlag in mm}] - 1,77$  auch künftig seine Richtigkeit haben wird. Damit wird allerdings auch unterstellt, dass der Anteil der Starkniederschläge in etwa gleich bleibt, was nicht den vorliegenden Prognosen entspricht. Dementsprechend ist eine Entwicklung des R-Faktors zu erwarten, die eher noch über dem hier beschriebenen Anstieg liegt.

#### 8.4.2 C<sub>2050</sub>

Die Klimaänderung wird ein Ansteigen des C-Faktors zur Folge haben. Dies liegt überwiegend daran, dass sich für Winterfrüchte die Zeitspanne zwischen Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung gegenüber 2000 in einer Zeit mit hohen und ab September zunehmenden Anteilen an erosiven Niederschlägen um 14 Tage verlängert. Dies betrifft besonders die später zu säenden Früchte Winterweizen und Winterroggen (Abb. 5).

Auch für Sommerungen ergibt sich aus der früheren Ernte der Vorfrucht eine Erhöhung des C-Faktors. Bei frühräumenden Mähdruschfrüchten wie Gerste und Raps entfällt zwar der Schutz der Bodenbedeckung zu einem früheren Zeitpunkt, wegen der ab Juni abnehmenden Anteile an erosiven Niederschlägen ergibt sich aus dieser Konstellation aber eher eine etwas geringere Anhebung des C-Faktors.

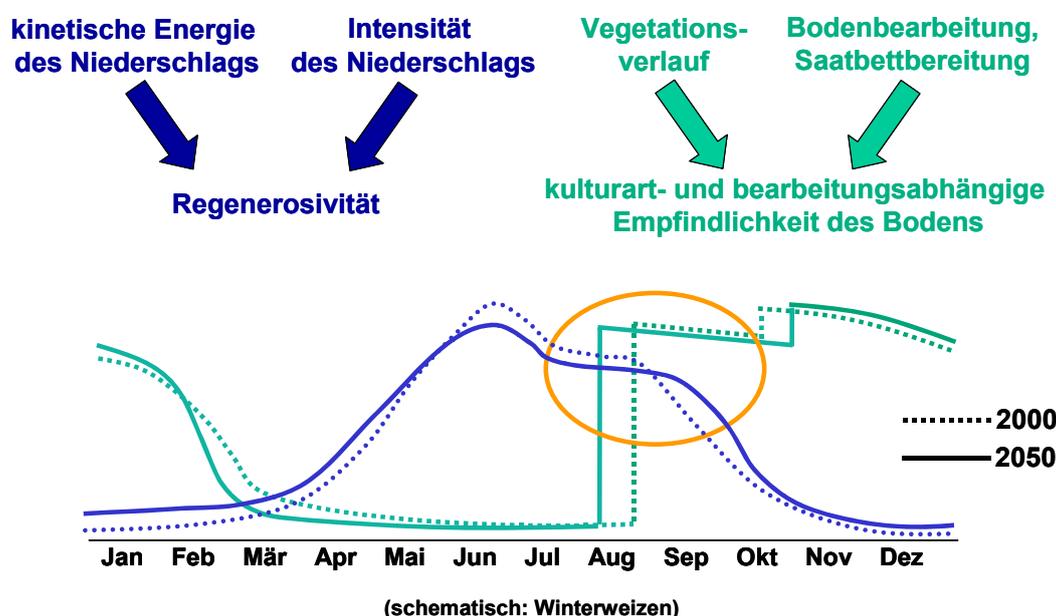


Abb. 5: Schematische Darstellung der zu erwartenden Verschiebungen des Anteils der Regenerosivität und der kulturart- und bearbeitungsabhängigen Empfindlichkeit des Bodens am Beispiel Winterweizen

Die spät räumenden Hackfrüchte führen aus den bekannten Gründen zwar zu einem insgesamt hohen C-Faktor, schützen den Boden aber gerade in Zeiten künftig zunehmender Regenerosivität (September, Oktober) länger als die anderen Früchte, weshalb deren Anteil zu einer geringeren Anhebung des C-Faktors beiträgt.

Tab. 4 zeigt, dass die relativen Veränderungen des C-Faktors wesentlich vom Niveau des Erosionsschutzes abhängig sind. Bei gleichem Schutzniveau ergeben sich innerhalb der Fruchtfolgegruppen Unterschiede, die sich aus den genannten Gründen zumindest zu einem großen Teil mit dem jeweiligen Anteil an Winterweizen erklären lassen.

Was Erosionsschutzmaßnahmen angeht, bewegt sich die Praxis derzeit überwiegend zwischen den beiden Erosionsschutzvarianten „niedrig“ und „hoch“. Oft wird nach Variante „mittel“ gearbeitet, nicht selten allerdings ohne Mulchsaat der Reihenfrucht. Unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte erscheint die Annahme einer mittleren Erhöhung des C-Faktors um 10 % realistisch. Die absoluten Veränderungen der C-Faktoren liegen zwar oftmals in Bereichen, die für die Berechnung konkreter Einzelfälle nicht relevant sind, bei einer bayernweiten Betrachtung der Entwicklung ist die festgestellte Größenordnung der relativen Veränderung aber durchaus von Bedeutung.

Tab. 4: Relative Veränderung des Bewirtschaftungsfaktor C verschiedener Fruchtfolgen und Erosionsschutz-Niveaus 2050 gegenüber 2000, %

Fruchtfolge	kritische Früchte %	Erosionsschutz		
		niedrig	mittel	hoch
Mähdrusch-Fruchtfolgen	25-75	126 (122-130)	106 (102-111)	111 (107-114)
Mais-Fruchtfolgen	25-50	110 (106-113)	111 (105-118)	107 (104-112)
Zuckerrüben-Fruchtfolgen	25/33	114 (112/117)	106 (105/108)	103 (102/103)
Kartoffel-Fruchtfolgen	25/33	116 (116/116)	109 (109/109)	107 (107/107)
alle Fruchtfolge-Gruppen		117 (106-130)	108 (102-118)	107 (102-114)

### Mähdrusch-Fruchtfolgen

In Mähdrusch-Fruchtfolgen mit Sommerfurche oder anderer intensiver Bodenbearbeitung kurz nach der Ernte (niedriger Erosionsschutz) wird sich die Klimaänderung am deutlichsten bemerkbar machen. Im Mittel ist hier mit einer Erhöhung des C-Faktors um ca. 0,03 Einheiten oder 26 % zu rechnen, während bei mittlerem und hohem Erosionsschutz die absolute Erhöhung gering ausfällt, wegen des niedrigen Gesamtniveaus aber im Durchschnitt bei 7 bzw. 11 % über den Ausgangswerten liegt.

### Mais-Fruchtfolgen

Für Mais-Fruchtfolgen ergeben sich künftig bei hohem und mittlerem Erosionsschutz kaum Erhöhungen, die bei Betrachtung des Einzelfalls praktische Auswirkungen hätten. Für eine generelle Betrachtung, z. B. von bestimmten Planungsräumen, kann hier mit einer Anhebungen des C-Faktors von durchschnittlich 7 - 11 % gerechnet werden. Bei niedrigem Erosionsschutz erhöhen sich die C-Faktoren um etwa 0,02 Einheiten, einem Anstieg, der wegen des höheren Ausgangsniveaus relativ auf gleichem Niveau liegt.

### Zuckerrüben- und Kartoffeln-Fruchtfolgen

Für Fruchtfolgen mit Zuckerrüben oder Kartoffeln bei hohem Erosionsschutz gilt das gleiche wie für Mais-Fruchtfolgen. Bei niedrigem Erosionsschutz nehmen die C-Faktoren ebenfalls um etwa 0,02 Einheiten zu, was hier einem Anstieg von etwa 15 % entspricht.

### 8.4.3 Bodenabtrag

Setzt man den für Bayern berechneten durchschnittlichen Anstieg des R-Faktors von 5 % und den des C-Faktors von 10 % und die jeweils ermittelten Spannen in die ABAG ein, so ergibt sich bei sonst gleichbleibenden Verhältnissen mit der Klimaänderung ein mittlerer Anstieg der Bodenerosion in Bayern von 16 % ( $1,05 * 1,10 = 1,155$ ) bei einer Spannweite von (theoretisch) 98 bis 157 % des Ausgangswertes (Tab. 5).

Tab. 5: Änderungsfaktor des R<sup>1</sup>- und C<sup>2</sup>-Faktors 2050 gegenüber 2000 (Mittelwerte und Spannweiten)

	R <sub>2050</sub>		C <sub>2050</sub>		R <sub>2050</sub> * C <sub>2050</sub>	
	Ø	von - bis	Ø	von - bis	Ø	von - bis
Änderungsfaktoren 2050 gegenüber 2000	1,05	0,96 - 1,21	1,10	1,02 - 1,30	1,16	0,98 - 1,57

- 1) 345 bayernrelevante Niederschlagsmessstationen, 10 Modellläufe á 60 Jahre + 1 Kontrolllauf á 30 Jahre
- 2) 13 Fruchtfolgen mit je 3 Bearbeitungsvarianten (Erosionsschutzniveaus)

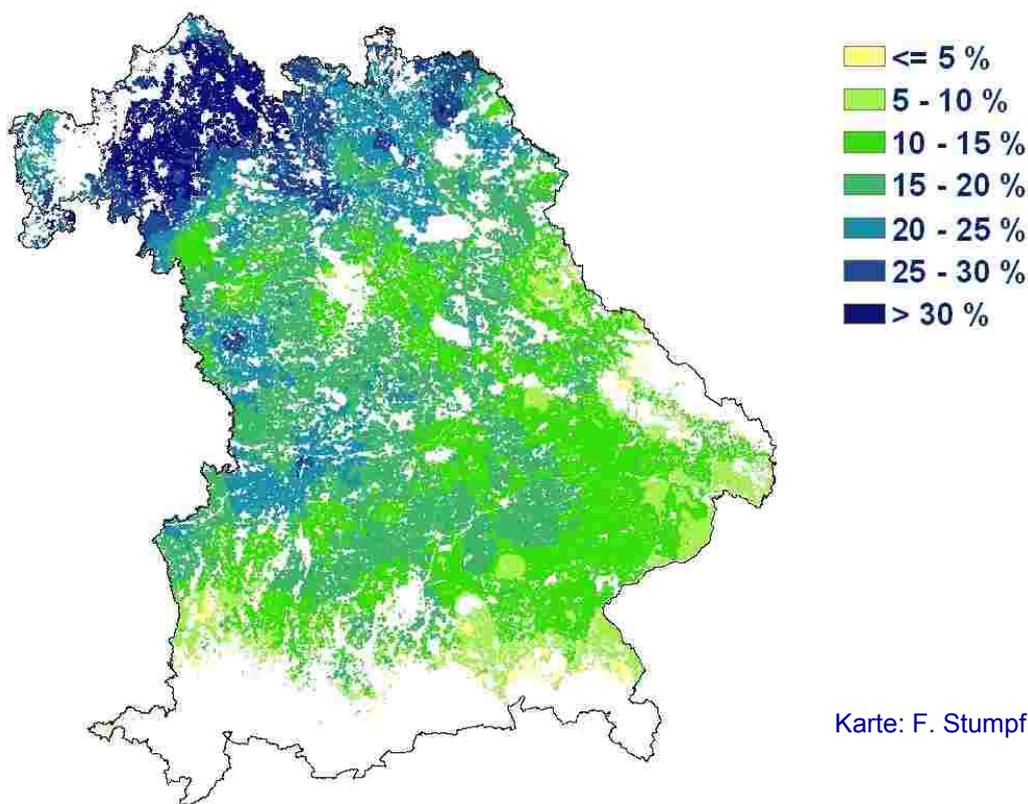


Abb. 6: Voraussichtliche relative Zunahme des Bodenabtrags (nach ABAG) in Bayern durch die Klimaänderung bis 2050 gegenüber 2000 (nach Klimamodell E-CHAM4, Emissionsszenario B2, regionales Modell Meteo-Research)

Berücksichtigt man die regionalen Unterschiede des R-Faktors (Abb. 4) und - auf Gemarkungsebene - die unterschiedlichen Anteile an Mähdrusch- und Reihenfrüchten mit ihren fruchtartspezifischen relativen C-Faktor-Veränderungen, so ändert sich der Bodenabtrag für 2050 wie in Abb. 6 dargestellt. Abb. 7 stellt die Situation der beiden betrachteten Zeiträume gegenüber.

Die hier dargestellte Bodenabtragsschätzung geht davon aus, dass künftig nur die ABAG-Faktoren R und C durch die Klimaänderung beeinflusst werden. Es ist anzunehmen, dass damit die gravierendsten Veränderungen erfasst werden. Es sei aber zumindest erwähnt, dass sich mit einer möglichen Veränderung des Humusgehalts definitionsgemäß auch der K-Faktor ändern würde. Die mit einer Erwärmung einhergehenden Veränderungen des Kulturartenspektrums würden den C-Faktor ebenfalls beeinflussen.

Die Aussage von Klimaprognosen zur räumlichen Verteilung von Wettererscheinungen, insbesondere von Niederschlägen, ist mit größeren Unsicherheiten verbunden. Andere Klima-Modelle können zu anderen Ergebnissen kommen.

Dieser Arbeit liegt das Emissionsszenario „B2“ [6] zugrunde. Es beschreibt eine Welt mit Schwerpunkt auf lokalen Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit, mit einer stetig ansteigenden Weltbevölkerung, wirtschaftlicher Entwicklung auf mittlerem Niveau und weniger raschem, dafür vielfältigerem technologischem Fortschritt als in anderen Szenarien. Inwieweit es gelingt, diese Vorstellungen global annähernd umzusetzen, kann hier nicht beurteilt werden.

## 8.5 Strategien gegen zunehmenden Bodenabtrag

Als Maßnahme gegen Bodenabtrag ist an erster Stelle die Mulchsaat von Reihenfrüchten in einen Stroh- oder Zwischenfrucht-Mulch zu nennen. Mit der Entwicklung der entsprechenden Technik und der Überprüfung verschiedener Formen der Mulchsaat in Versuchen der LfL oder anderer Institutionen ist sie inzwischen zu einer Maßnahme herangereift, die ohne Ertragseinbußen das Risiko des Bodenverlustes in Reihenfrucht-Fruchtfolgen auf die Hälfte bis ein Drittel reduziert und damit in das niedrige Niveau von Raps/Getreide-Fruchtfolgen absenkt.

Einen Schritt weiter geht die konservierende Bodenbearbeitung. Durch Verzicht auf den Pflug kann eine Bodenstruktur entstehen, die Niederschläge besser aufnehmen kann und weniger erosionsanfällig ist.

Der Anbau von Zwischenfrüchten dürfte bei zunehmender Sommertrockenheit schwieriger werden. Wo er möglich ist, sollte diese Maßnahme als erster Schritt zur Mulchsaat oder zumindest als Erosionsschutz im Winterhalbjahr genutzt werden.

Direktsaat ist die best wirksame ackerbauliche Maßnahme zum Schutz vor Bodenerosion. Sie birgt aber das Risiko von Mindererträgen und erfordert deshalb eine Anpassung der Fruchtfolge, sie stellt hohe Anforderungen an die Sätechnik und ist auf die konsequente Anwendung von Totalherbiziden angewiesen.

Untersaaten dienen ebenfalls dem Erosionsschutz, stellen aber eine Wasser- und Nährstoffkonkurrenz für die Ertragspflanze dar.

Als indirekte, aber dennoch wichtige Maßnahmen des Pflanzenbauers sind die Optimierung des Bodengefüges durch bodenschonendes Befahren und eine ausreichende Versorgung mit organischer Substanz zu nennen.

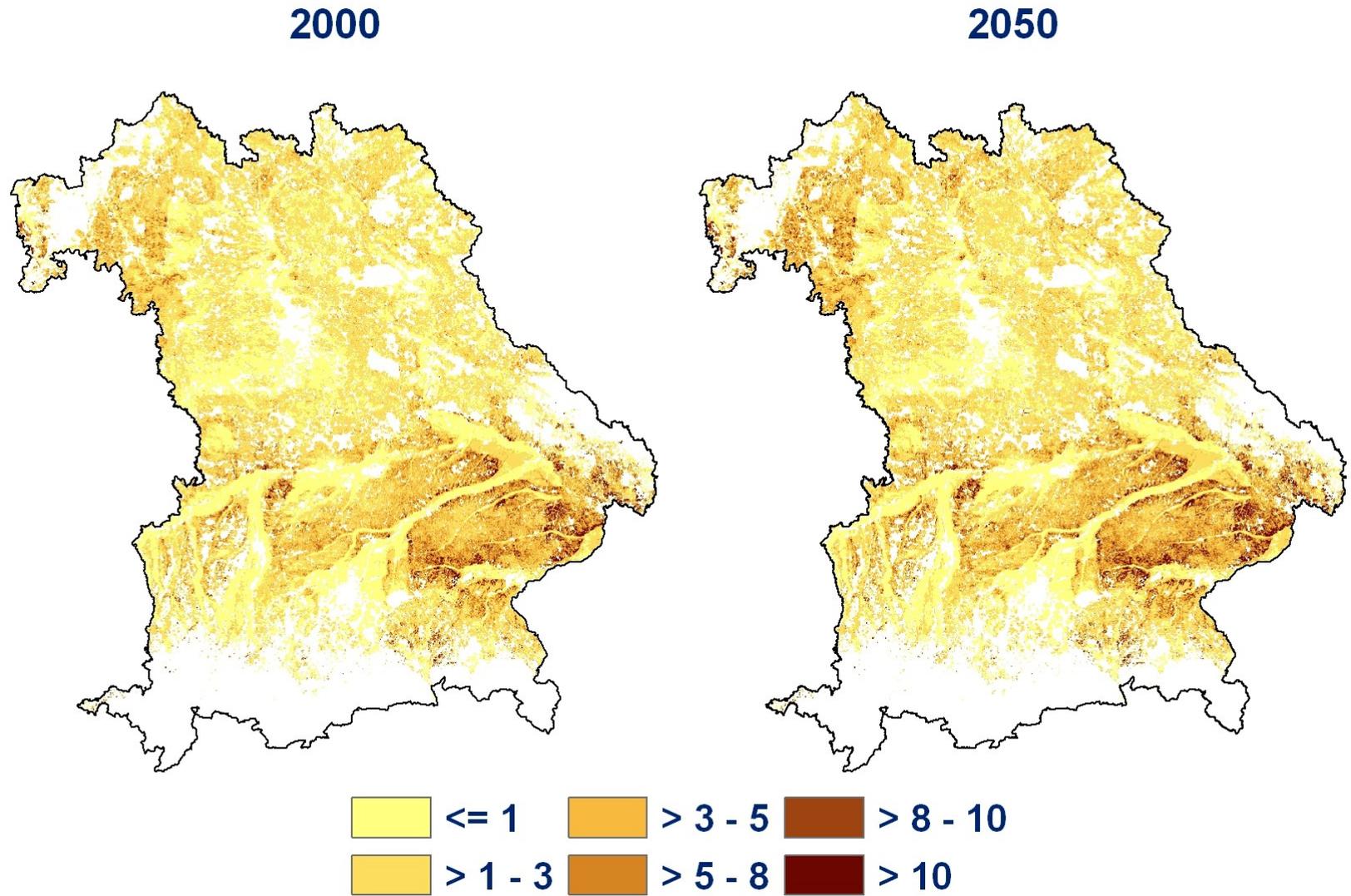


Abb. 7: Bodenabtrag in Bayern 2000 und Prognose für 2050 ( $t \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$ ), Karte: F. Stumpf, LfL

Können notwendige Erosionsschutzmaßnahmen nicht zum Einsatz kommen oder reichen sie am Standort nicht aus, um den Abtrag auf ein tolerierbares Maß zu reduzieren, so bleibt nur der Verzicht auf den Anbau besonders gefährdender Früchte (Mais, Kartoffeln, Zuckerrüben).

Die Anlage von abflussmindernden Strukturen (Ranken, Wasserfurchen, begrünte Abflusswege, Hecken) ist aufwändig, aber überall als Erosionsschutz geeignet, wo Topografie und Form des Feldstücks eine sinnvolle Durchführung ermöglichen.

Die Bewirtschaftung nach Regeln des ökologischen Landbaus senkt wegen der dort üblichen Bewirtschaftung (Schonung der Bodenstruktur; mehrgliedrige, vielfältige Fruchtfolge) im allgemeinen das Erosionsrisiko.

Insgesamt stehen der Landwirtschaft Maßnahmen des Erosionsschutzes in ausreichendem Umfang zur Verfügung, um den Bodenabtrag in Bayern auch gegen den von der Klimaänderung verursachten ungünstigen Trend auf ein tolerierbares Maß zu reduzieren.

## 8.6 Danksagung

Für die Bereitstellung der Niederschlagsdaten aus den Modellläufen für 1971-2000 und 2021-2050 danke ich dem Bayerischen Landesamt für Umwelt Augsburg. Herrn Prof. Dr. Karl Auerswald (TU Weihenstephan) sowie den Herren Robert Brandhuber, Josef Kreitmayr und Frank Stumpf (alle LfL) danke ich für ihren fachmännischen Rat, letzterem auch für die Anfertigung der GIS-Karten.

## 8.7 Literatur

- [1] Arbeitskreis KLIWA, Hrsg. (2006): Regionale Klimaszenarien für Süddeutschland - Abschätzung der Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, KLIWA-Bericht Heft 9.
- [2] Arbeitskreis KLIWA, Hrsg. (2005): Der Klimawandel in Bayern für den Zeitraum 2021-2050.
- [3] DIN 19708 Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG.
- [4] Schwertmann, U. & Vogl, W. & Kainz, M. (1990): Bodenerosion durch Wasser – Vorhersagen des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen, 2. Aufl., Stuttgart.
- [5] Auerswald K. (2002): Schätzung des C-Faktors aus Fruchtfolgestatistiken für Ackerflächen in Gebieten mit subkontinentalem bis subatlantischem Klima nördlich der Alpen, Landnutzung und Landentwicklung 43, 1-5 (2002).
- [6] Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen (IPCC), Hrsg., (2007): Klimaänderung 2007: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger, 4. Sachstandsbericht des IPCC (AR4), deutsche Übersetzung.

## 9 Auswirkungen und Strategien für Landwirtschaft und Umwelt – aus der Sicht der Agrarfauna

**Dr. Thomas Kreuter**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz

### 9.1 Einleitung

Die Tierwelt eines Gebietes wird von den dort wirkenden abiotischen und biotischen Verhältnissen geprägt. Unter den abiotischen Einflüssen kommt dem Klima eine grundlegende Bedeutung zu. Alle Arten besitzen im Bezug auf klimatische Faktoren (Temperatur, Feuchte, Belichtung, Schwankungsbreiten im Tages- und Jahresverlauf) mehr oder weniger ausgeprägte Toleranzgrenzen und Optima. Folglich wirkt sich jede tendenzielle klimatische Veränderung auch auf die heimische Tierwelt aus.

Die anthropogen ausgelöste Erwärmung der Erdatmosphäre, deren aktuelles und zu erwartendes Ausmaß derzeit im Mittelpunkt des öffentlichen und wissenschaftlichen Interesses steht, hat bereits heute deutliche Effekte auf unsere Fauna. Nachfolgend seien einige Beispiele genannt:

- In den letzten 20 Jahren des vergangenen Jahrhunderts haben sich verschiedene mediterrane Libellenarten in Deutschland ausgebreitet. Von ihrer dauerhaften Ansiedlung in Mitteleuropa wird ausgegangen (Ott 2000, Schanowski 2005). Ein prominentes Beispiel ist die Feuerlibelle (*Crocothemis erythraea*).
- Für 63 % von 35 europäischen nichtwandernden Schmetterlingsarten konnten innerhalb des 20. Jahrhunderts Arealverschiebung nach Norden von bis zu 240 km nachgewiesen werden (Warren et al. 2001).
- In der heimischen Vogelwelt nimmt die Zugdistanz einiger Kurz- und Mittelstreckenzieher deutlich ab. Die Mönchsgrasmücke (*Sylvia atricapilla*) hat sich innerhalb von 30 Jahren ein völlig neues Überwinterungsgebiet erschlossen (Berthold 1998; Coppack et al. 2003).
- Die thermophile Wespenspinne (*Argiope bruennichi*) gehört in der oberbayerischen Kulturlandschaft derzeit zu den verbreitet anzutreffenden Arten. Noch vor Jahrzehnten war sie in diesen Gebieten extrem selten oder fehlte völlig.

Im Mittelpunkt der nachfolgenden Ausführungen soll aber nicht die Auflistung solcher Veränderungen stehen; ein solches Vorgehen würde den Rahmen des Beitrages sprengen. Stattdessen werden die grundlegenden biologischen, geografischen und anthropogenen Faktoren beschrieben, die zur Herausbildung unserer heimischen Fauna geführt haben und noch heute führen. Auf dieser Basis lassen sich die gegenwärtigen Veränderungen in unserer Tierwelt am besten erklären. Auch eine vorsichtige Prognose der zukünftigen Entwicklung unter den Vorzeichen des Klimawandels ist möglich.

An Einzelbeispielen wird abschließend die Vielfalt der aktuellen und sich abzeichnenden Entwicklungen innerhalb der mitteleuropäischen und bayerischen Agrarfauna vorgestellt.

## 9.2 Grundlagen der Faunenbildung

### 9.2.1 Ökologische Faktoren

Ob und wie stark der Klimawandel eine Tierart beeinflusst, hängt entscheidend davon ab, welche Anpassungs- und Überlebensstrategie diese Art im gegebenen Lebensraum verfolgt. Es werden zwei grundlegende Typen der Besiedelung eines Biotops unterschieden, die als r-Strategie und K-Strategie bezeichnet werden. Wichtige Grundlage für diese Einteilung bildeten die Arbeiten von McArthur & Wilson (1967).

Die sogenannten r-Strategen (das „r“ steht für „Reproduktion“) sind demnach Arten mit hohen Vermehrungsraten, schwankenden Populationen und einer großen Ausbreitungsdynamik. Sie besiedeln Biotope mit stark schwankenden Umwelteinflüssen (z. B. Überflutungsflächen, Ruderalstandorte, landwirtschaftlich genutzte Flächen). K-Strategen (das „K“ kann für „Konkurrenzstärke“, „Konstanz“ oder „Kapazitätsauslastung“ stehen) weisen geringe Reproduktionsraten, aber hochentwickelte Anpassungsmechanismen auf. Ihre Populationen bleiben in ungestörten Biotopen (z. B. in alten Buchenwäldern oder Mooren) relativ konstant. Die meisten Säuger und Vögel gelten als K-Strategen. Beide Strategien lassen sich vereinfacht mit dem Schlagwort "Quantität (r-Strategie) gegen Qualität (K-Strategie)" beschreiben.

Ein absolutes Maß für die artspezifische Ausprägung der Strategie gibt es jedoch nicht. Vielmehr müssen unterschiedliche Arten immer in Relation zueinander betrachtet werden; auch gibt es fließende Übergänge. So kann der Feldhase (*Lepus europaeus*) mit seiner weiten Verbreitung und dem hohen Vermehrungspotenzial zwar als r-Strategie gelten; im Hinblick auf die Struktur der Agrarlandschaft ist seine ökologische Potenz aber vergleichsweise gering. Die Intensivierung der Landwirtschaft hat die Lebensbedingungen für den Feldhasen stark verschlechtert. Seine Populationsentwicklung im sich wandelnden Agrarraum weist also, verglichen mit anderen kulturfolgenden Säugern (Europäisches Reh oder Rotfuchs), eher die Merkmale einer K-Strategie auf.

Der Tauwurm (*Lumbricus terrestris*) wiederum kann mit seinen speziellen Ansprüchen an den Lebensraum (Tiefgründigkeit, Bodenruhe, Streuauflage) und einem für Wirbellose relativ geringen Reproduktions- und Ausbreitungspotenzial als K-Strategie gelten. Andererseits hat er in Europa im Zuge der Eiszeiten große Gebiete immer wieder neu besiedelt und sich gerade auf Ackerflächen durchaus auch als erfolgreicher r-Strategie erwiesen. Viele Vogelarten der offenen Agrarlandschaft (Rebhuhn, Wachtel, Ammern, Lerchen) lassen sich in keine der beiden Strategien einordnen. Als Kulturfolger tolerieren sie landwirtschaftliche Eingriffe, benötigen aber bestimmte Anbau- und Landschaftsstrukturen, die heute oft nicht mehr vorhanden sind.

Ausgeprägte K-Strategien finden sich in der offenen Agrarlandschaft selten. Eine populäre Tiergruppe dieses Typus sind die Wiesenbrüter (z. B. Bekassine, Uferschnepfe, Großer Brachvogel). Schon bei geringen Änderungen eines Umweltfaktors können die ökologischen Toleranzgrenzen solcher Arten überschritten werden. Derzeit gilt innerhalb der verbliebenen Habitate das Nutzungsregime (also eine rein anthropogene Größe) als entscheidender Faktor für den Erhalt und die Bestandesentwicklung der Wiesenbrüter. Da die Lebensräume außerdem hohe bodenhydrologische Ansprüche erfüllen müssen, dürfte auch der prognostizierte Klimawandel nicht ohne Auswirkungen auf diese ökologisch anspruchsvolle Gruppe bleiben.

Landwirtschaftliche Nutzflächen beherbergen überwiegend typische r-Strategen. Dazu gehören die meisten Insektenarten, aber auch Feldmäuse (*Microtus* spp.) als häufigste Säugetiere unserer Agrarlandschaft. Der Klimawandel wird in den Agrarökosystemen für einen Großteil dieser Arten keine existenzielle Bedeutung haben, denn die erwarteten klimatischen und Habitatveränderungen dürften vorerst innerhalb ihrer ökologischen Potenz liegen. Natürlich kann auch die Toleranzgrenze eines r-Strategen überschritten werden. Diese Art wandert dann in günstigere Lebensräume ab. Im Gegenzug werden neue Nischen schnell besetzt. Insgesamt dürfte der zu erwartende Artenschwund in den meisten Agrarlandschaften weit hinter der Zuwanderung thermophiler Arten zurück bleiben (siehe auch folgendes Kapitel).

Da die Anpassungsmechanismen der r-Strategen meist keinen hohen Spezialisierungsgrad erreichen, kann die starke Zuwanderung konkurrierender Spezies für einige Arten zum Problem werden. Für die etablierte Art bestehen kaum Vorteile im Kampf um die ökologische Nische. Auf durchschnittlichen Grünlandstandorten könnte es im Zuge heißer und trockener Sommer z. B. zu einer zunehmenden Verdrängung der häufigen Grashüpfer-Arten *Chorthippus parallelus* (Gemeiner Grashüpfer) und *C. albomarginatus* (Weißrandiger Grashüpfer) durch die xerophilen Spezies *Chorthippus biguttulus* (Nachtigall-Grashüpfer) und *C. brunneus* (Brauner Grashüpfer) kommen, ohne dass die etablierten Arten völlig verschwinden. Die Dynamik des Klimawandels wird sich also bei den r-Strategen sowohl in einem quantitativen Wandel der bereits heimischen Agrarfauna als auch in der Zuwanderung neuer Arten widerspiegeln.

Geschwindigkeit und Stärke dieser Zuwanderung hängen von der Existenz und geografischen Lage potenzieller Herkunftsgebiete neuer Arten ab. Mit den Zusammenhängen zwischen der Vergesellschaftung bzw. Verbreitung von Tierarten und den dafür maßgeblichen geografischen Bedingungen beschäftigt sich die Zoogeografie.

### 9.2.2 Geografische Grundlagen

Unter dem Einfluss erdgeschichtlicher Faktoren (Klima, Kontinentaldrift, Insel- und Gebirgsbildung) bildeten sich auf unserem Planeten große tiergeografische Regionen, in denen die Fauna bestimmte Gemeinsamkeiten (Arten, Gesellschaften, stammesgeschichtliche Wurzeln) aufweist. Unsere Faunenregion ist die Paläarktis, ein riesiges Areal zwischen den subpolaren Tundren im Norden und dem randtropischen eurasisch-afrikanischen Wüstengürtel im Süden (Abb. 1).

Typisch für dieses Gebiet waren und sind fließende Grenzen zwischen den Klimaten, eine dem Austausch von Arten vergleichsweise wenig hinderliche Topografie, sowie häufige nord-südliche Wanderbewegungen infolge der Eiszeiten. Auch derzeit reagiert die heimische Fauna auf eine Erwärmung des Klimas wieder mit einer mehr oder weniger ausgeprägten Wanderung der Arten nach Norden (Warren 2001).

Für Erklärungen oder Prognosen zur regionalen faunistischen Dynamik im Freistaat Bayern reicht dieses stark vereinfachte Szenario aber nicht aus. Europa weist zwei geografische Charakteristika auf, die das skizzierte Nord-Süd-Schema stark modifizieren. Zum einen verhindern ost-westlich verlaufende Gebirgsschranken fließende Grenzen; andererseits sorgt der Golfstrom für einen großen klimatischen West-Ost-Gradienten von Temperatur und Feuchtigkeit. Dazu kommt die naturräumliche Vielfalt (Kontinent der Inseln und Halbinseln, im Inneren oft kleinräumige Gebirgs- und Beckenlandschaften).

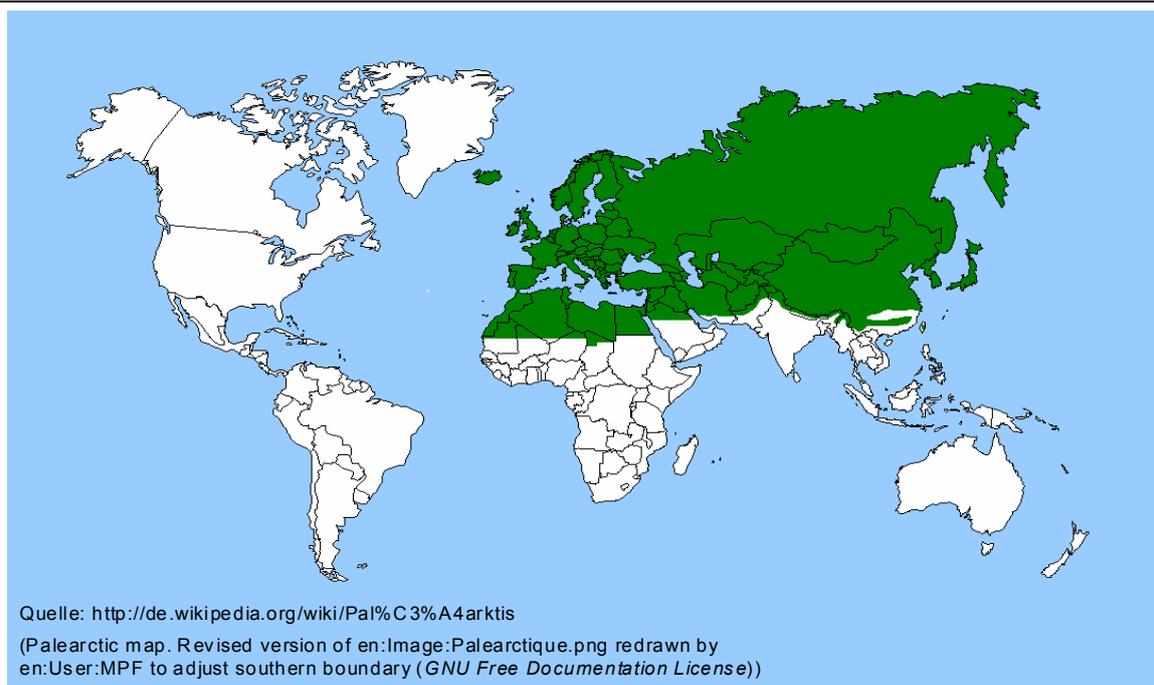


Abb. 1: Die Paläarktis (grün eingefärbt) – flächenmäßig größte Faunenregion der Erde und unsere tiergeografische Heimat.

Diese Faktoren ließen zahlreiche natürlicher Habitatsinseln entstehen. Die relative Eigentümlichkeit vieler europäischer Tiergesellschaften findet ihren zoogeografischen Ausdruck in der Festlegung diverser Faunenprovinzen. In Anbetracht der prognostizierten Klimaänderungen ist für Bayern besonders der Einfluss der südlich angrenzenden Faunenprovinzen von Bedeutung. Der Mittelmeerraum kann dabei in ein mediterran-atlantisches Gebiet (im Westen) sowie ein mediterran-pontisches Gebiet (im Osten) unterteilt werden. Die ungarische Tiefebene und die Waldsteppen des Balkans bilden als dritten Einflussbereich die pannonische Faunenprovinz. Diesen drei Arealen entstammen die meisten Arten, die nach Deutschland und Bayern einwandern. Zwei Haupteintrittswege neuer Spezies lassen sich ausmachen (Abb. 2).

Über die burgundische Pforte und den Oberrheingraben gelangen Arten aus dem westlichen und zentralen Mittelmeerraum nach Deutschland und wandern entlang der Flusstäler von Rhein und Main sowie über das milde Bodenseegebiet nach Norden und Osten. Als Beispiel sei hier die Gottesanbeterin (*Mantis religiosa*) genannt, eine bizarre Fangschrecke, die sich seit einigen Jahren im südlichen Deutschland ausbreitet (Brechtel et al. 1996; Abb. 2, links unten). Entlang der Donauniederung können ost- und südosteuropäische Tierarten zu uns vordringen. Dazu gehört der Goldpunkt-Puppenräuber (*Calosoma auro-punctatum*), ein großer Laufkäfer (Abb. 2, rechts unten), der bevorzugt Ackerflächen besiedelt und dort als ökologisches Regulativ gilt. Über beide Eintrittswege dringt derzeit auch der Westliche Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera*), ein Blattkäfer und gefürchteter Maisschädling, nach Bayern vor. Diese wärmeliebende Art wurde zwar erst in jüngster Zeit aus Amerika eingeschleppt; ihre Ausbreitungsdynamik verdeutlicht dennoch die Bedeutung der beschriebenen Einwanderungswege für thermophile Tierarten.

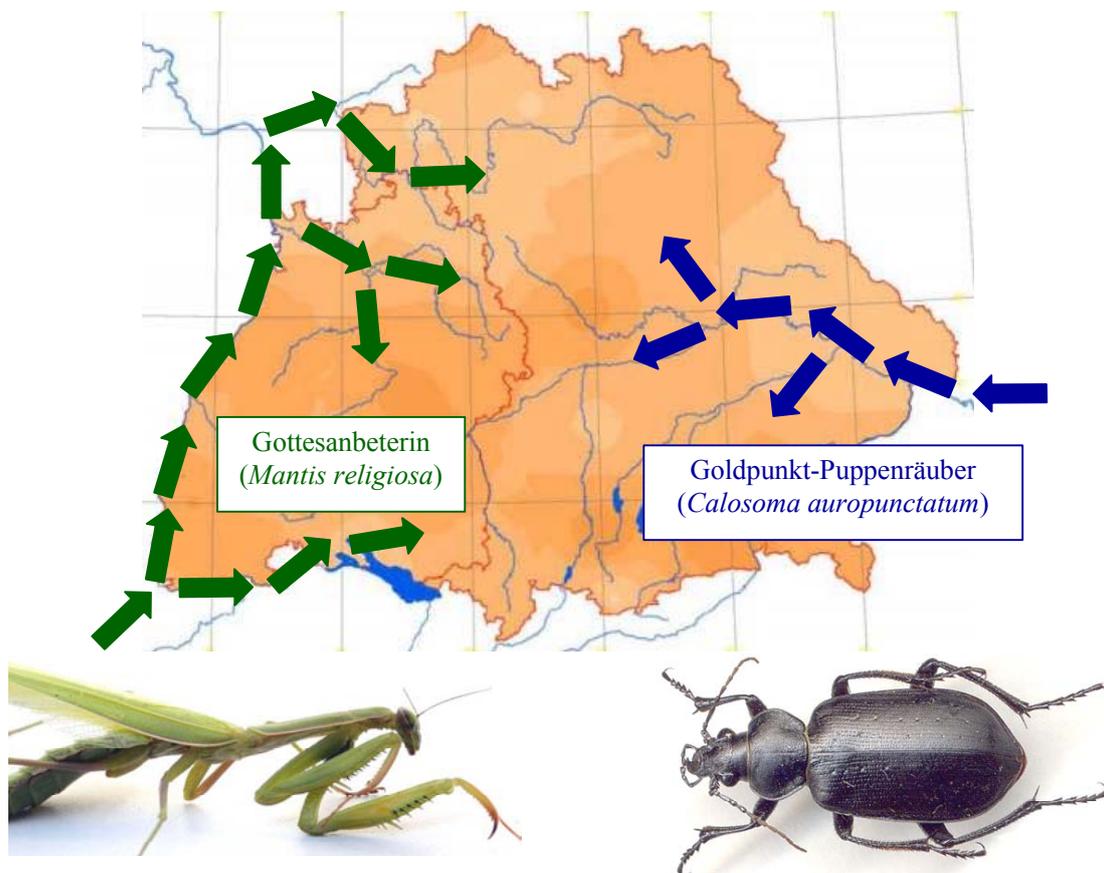


Abb. 2: Einwanderungswege neuer Arten nach Bayern anhand zweier Beispiele. Die Farbabstufung der Landkarte verdeutlicht den Grad der erwarteten sommerlichen Erwärmung in den nächsten Jahrzehnten (KLIWA-Arbeitskreis 2006).

Der Goldpunkt-Puppenräuber und der Maiswurzelbohrer sind Arten, die in einem von menschlicher Aktivität unberührten Mitteleuropa nicht vorkommen würden. Sie belegen, dass unsere heimische Tierwelt seit über einem Jahrtausend einem weiteren Einfluss unterliegt, der die Faunenausstattung unserer Umwelt stärker geprägt hat als alle bisher beschriebenen erdgeschichtlichen und klimatischen Besonderheiten. Ihm ist das letzte Kapitel der Grundlagen der Faunenbildung gewidmet.

### 9.2.3 Anthropogener Einfluss

Mitteleuropa wird heute weitgehend von einer Landschaft bestimmt, die anthropogen (von Menschenhand) gestaltet ist. Sie beherbergt eine Vielzahl von Pflanzen- und Tierarten, die dort ursprünglich nicht oder nur auf kleinen und kleinsten Habitatsinseln vorkamen. Die meisten dieser Formen stammen aus wärmeren Klimaten und offenen Landschaften. Sie konnten bei uns heimisch werden, weil die weithin offene Landschaft ein wärmeres und trockeneres Regional- und Mikroklima sowie mehr Licht bietet als die ursprünglichen Waldgesellschaften.

Neben der aktiven Verbringung von Tier- und Pflanzenarten als Kulturpflanzen oder Haustiere wanderten im Zuge der großen Rodungen zahllose Spezies aus südlicheren Breiten sowie aus den osteuropäischen Waldsteppen und Steppen nach Mitteleuropa ein. Sie folgten dabei dem vordringenden Ackerbau. Da die mildesten Regionen am frühesten kultiviert wurden, können auch hier die Flussauensysteme von Rhein und Donau als Haupteintrittspforten gelten. Fast alle Formen, die im Rahmen des vorliegenden Beitrags als nachweisliche oder potenzielle Akteure im Klimawandel genannt werden, gehören zu diesen Kulturfolgern. Natürlich gibt es auch standorttreue heimische Tierarten, die sich an den neuen Lebensraum angepasst haben oder dessen extreme Umweltbedingungen von Natur aus ertragen können. Auch auf ein solches Beispiel (Feldlaufkäfer aus Littorea-Biotopen) wird im folgenden Kapitel eingegangen.

### 9.3 Reaktionen der Agrarfauna auf den Klimawandel

Die anfangs getroffenen Aussagen zur Faunenbildung verdeutlichen, dass der erwartete Klimawandel für das Gros der Tierarten unserer Agrarlandschaften im Grunde keine neuartige Situation darstellt. Die meisten Spezies sind r-Strategen und Kulturfolger aus wärmeren Regionen. Selbst in Anbetracht der prognostizierten Geschwindigkeit der Erwärmung sind in den meisten anthropogen geprägten Landschaften insgesamt keine signifikant negativen Effekte direkter Art auf die Faunendiversität zu erwarten. Vermutlich werden Spezies, die empfindlich auf Hitze- und Dürreperioden reagieren oder von schneereichen und kalten Wintern profitieren, verdrängt. Das gleiche gilt für speziell an montane oder subalpine Grünlandbiotope angepasste Tierarten. Im Gegenzug dürften sich vor allem für den Großteil der Insekten die Lebensbedingungen deutlich verbessern. Über die Nahrungsketten profitieren wiederum zahlreiche Wirbeltiere vom Insektenreichtum.

Entscheidend für die zukünftige Entwicklung könnte aber auch sein, welche Effekte der mit dem Klimawandel einhergehende Strukturwandel in der Landwirtschaft auf die Agrarfauna zeitigen wird. Viele Arten reagieren stärker auf Bewirtschaftungsfaktoren als auf rein klimatische Größen.

Nachfolgend werden für einige ausgewählte Faunengruppen sowohl direkte Effekte des Klimawandels als auch Reaktionen auf Vermeidungs- und Anpassungsstrategien der Landwirtschaft beschrieben.

#### 9.3.1 Direkte Reaktionen

##### 9.3.1.1 Enchytraeiden

Da die Enchytraeiden eine wasserdurchlässige Haut und keine speziellen Schutzmechanismen gegen Austrocknung besitzen, ist ihre Abundanz generell positiv mit der Bodenfeuchte korreliert. Selbst an trockenen Standorten können feuchte Mikrohabitate existieren, in denen diese Tiere geeignete Lebensbedingungen finden. Von solchen Stellen aus können sie die Umgebung besiedeln, wenn entsprechende Feuchtwerte erreicht werden (Didden 1993). Einige Arten scheinen physiologische Anpassungsmechanismen sowohl für extrem nasse (z. B. *Marionia riparia*, *Cognettia glandulosa*) als auch für relativ trockene (*Enchytraeus buchholzi*, *Fridericia galba*) Böden entwickelt zu haben.

Insgesamt stellt der Bodenwassergehalt einen wichtigen limitierenden Faktor für viele Arten dar. Dies gilt insbesondere im Bezug auf ihre Aktivität und damit auch für die Funktionalität dieser Tiergruppe als Streuzersetzer bzw. Konsumenten von Bodenpilzen und Mikrophyten. Untersuchungen aus Sachsen haben gezeigt, dass sommerliche Trockenperioden zu starken Populationsschwankungen führen können (Kreuter & Schmidt 2007). Auf den Faktor Temperatur reagieren Enchytraeiden vergleichsweise unempfindlich. Der Präferenzbereich liegt zwischen ca. 5 und 28 °C. Die Temperatur scheint eher indirekt über die Bodenfeuchte zu wirken. Unter diesen Voraussetzungen ist es schwer, die Reaktion der Enchytraeiden auf den erwarteten Klimawandel zu prognostizieren.

### 9.3.1.2 Lumbriciden

Regenwürmer reagieren auf allmähliche Klimaänderungen mit einer Arealverschiebung durch Ab- bzw. Zuwanderung. Alle häufigen Lumbricidenarten, z. B. der bekannte Tauwurm (*Lumbricus terrestris*, Abb. 3) haben nach dem Ende der Eiszeit Mittel- und Nordeuropa wieder besiedelt und sind heute weit verbreitet. Es bleibt abzuwarten, wie die Spezies der Acker- und Grünlandbiotope mit klimatischen Veränderungen der vorhergesagten Stärke und Geschwindigkeit zurechtkommen.

Durch ihre ausgeprägte sommerliche Diapause überstehen Regenwürmer auch sommerliche Wärme und Trockenheit recht gut. Extreme Dürre- und Hitzeperioden dürften aber dennoch zu erhöhten Mortalitätsraten führen. Auf nasse und milde Winter reagieren die einheimischen Arten mit gesteigerter Aktivität, die sich auch bei endogäischen Arten bis an die Bodenoberfläche verlagern kann (eigene Beobachtungen bei *Aporrectodea caliginosa*). Auf Grünlandstandorten am Alpenrand und auf Freizeitrasen in ganz Bayern führten vor allem massive Ansammlungen von Kothaufen der anözischen Form *Aporrectodea longa* in den letzten Jahren wiederholt zu einer deutlichen Beeinträchtigung der Bestandesqualität.

Im Allgemeinen aber hätte eine deutliche Zunahme von Regenwürmern durch eine milde und feuchte Winterwitterung große Vorteile für die Bodenfruchtbarkeit der Standorte.



Abb. 3: Tauwurm (*Lumbricus terrestris*). Der Klimawandel wirkt auf die Regenwürmer nicht nur direkt, sondern vor allem über veränderte Strategien im Acker- und Pflanzenbau (Pflugverzicht, andere Fruchtfolgen etc.).

### 9.3.1.3 Laufkäfer

Laufkäfer können auf Ackerflächen besonders hohe Arten- und Individuenzahlen erreichen. Im Gegensatz zu vielen anderen Insekten folgte ein Großteil der Feldlaufkäfer nicht dem sich ausbreitenden Ackerbau in das vordem bewaldete Mitteleuropa, sondern erschloss sich den neuen Lebensraum von periodisch überfluteten Uferbereichen, Schotterbänken oder vegetationsarmen Triften aus (Thiele 1977). Andere Arten wanderten, wie oben beschrieben, aus den offenen Landschaften Ost- und Südosteuropas ein. Diese xerophilen Formen profitieren besonders vom Klimawandel.

So führten günstige klimatische Bedingungen schon in den 90er Jahren zu einer Massenvermehrung des zuvor extrem seltenen Goldpunkt-Puppenräubers (*Calosoma auropunctatum*) im mitteldeutschen Trockenlößgebiet (Kreuter 2000). Als typischer r-Strategie und Vertreter der pannonischen Faunenprovinz besiedelt diese flug- und ausbreitungsaktive Art bei günstigen klimatischen Bedingungen vom Osten her die heimische Ackerflur.

Ein interessantes Phänomen ist die Veränderung der Jahresrhythmik einiger Laufkäferarten. Eigentlich weist diese Käferfamilie zwei grundlegende phänologische Typen auf. Frühjahrsarten finden sich vom Frühjahr bis zum Frühsommer als adulte Käfer auf den Agrarflächen. Herbstarten sowie die zweite Generation einiger Frühjahrsformen erscheinen im Frühsommer und erreichen im Herbst ihre höchsten Individuenzahlen. In den milden Wintern der letzten Jahre überdauern einige bislang typische Herbstarten die kalte Jahreszeit und konnten folglich im darauf folgenden zeitigen Frühjahr massenhaft nachgewiesen werden. Zu diesen Spezies gehört z. B. die Art *Pterostichus melanarius*, einer der häufigsten und auffälligsten Laufkäfer auf landwirtschaftlich genutzten Flächen.

### 9.3.1.4 Heuschrecken

Mit den Klimaänderungen werden viele Heuschreckenarten, die mit der Intensivierung der Grünlandbewirtschaftung Bestandeseinbußen zu verzeichnen hatten, eine starke Förderung erfahren. Die zu den Kurzfühlerschrecken gehörenden Feldheuschrecken (Acrididae) könnten dabei durchaus wirtschaftliche Bedeutung erlangen. Aus dem Mittelalter sind folgenschwere Invasionen der Europäischen Wanderheuschrecke (*Locusta migratoria*) aus ihrem pannonisch-pontischen Ursprungsgebiet heraus ins südliche Mitteleuropa bekannt. Die heute bei uns noch sehr seltenen Ödlandschrecken (*Oedipoda* spp.) dürften zumindest auf offenen Saumstrukturen zunehmen. Unter den als Grashüpfer bekannten Feldheuschrecken sind bereits deutliche Verschiebungen der Dominanzstrukturen dokumentiert (Handke 2000). Es ist darüber hinaus wahrscheinlich, dass weitere Arten den Weg nach Mitteleuropa finden (siehe Abb. 4, links).

Auch die zu den Langfühlerschrecken zählenden Singschrecken (Tettigoniidae) profitieren schon heute vom Klimawandel. Im Frühsommer 2007 kam es im Raum Landsberg a. L. zu einer bemerkenswerten lokalen „Heuschreckenplage“. Es handelte sich dabei um Populationen des Grünen Heupferdes (*Tettigonia viridissima*) und der Roesels Beißschrecke (*Metrioptera roeselii*). Beide Arten wanderten offensichtlich kurz vor dem Schnitt aus den Saumstrukturen in die hochwüchsigen Wiesen ein. Sie fressen übrigens auch tierische Kost und stellen im Gegensatz zu massenhaft auftretenden Feldheuschrecken für den Grünlandertrag keine Bedrohung dar. Das Grüne Heupferd kann als gefräßiger Gegenspieler diverser Insektenlarven sogar ausgesprochen nützlich sein.



Abb. 4: Viele Heuschrecken (hier ein ca. 5 cm langer ägäischer Grashüpfer) und Wanderfalter (hier der Distelfalter, *Vanessa cardui*) profitieren vom Klimawandel.

### 9.3.1.5 Schmetterlinge

Auch Schmetterlinge sind empfindliche Anzeiger des Klimawandels. Insgesamt dürften sich die Arten- und Individuenzahlen in Bayern positiv entwickeln, da Mitteleuropa von einer auf der gesamten Nordhalbkugel stattfindenden Verschiebung der Arealgrenzen vieler Arten profitiert (Parmesan et al. 1999; Warren et al. 2001). Vor allem die Wanderfalter reagieren sehr rasch auf Veränderungen. Thermophile Formen, wie das Taubenschwänzchen (*Macroglossum stellatarum*) oder der Totenkopfschwärmer (*Acherontia atropos*), können bei längeren sommerlichen Wärmeperioden weit nach Norden vorstoßen. Da zu den bevorzugten Raupenfutterpflanzen beider Spezies Labkräuter, Kartoffeln und Kohl gehören, sollten diese auffälligen Falter in Zukunft gerade im Agrarraum häufiger zu finden sein. Auch der Distelfalter (*Vanessa cardui*; Abb. 4, rechts) reagiert auf warme Jahre mit verstärktem Zuflug und kann dann auf Saumstrukturen und Segetalfluren extrem häufig werden. Daneben zeichnen sich andere Entwicklungen ab. Der Admiral (*Vanessa atalanta*), ursprünglich ebenfalls ein Wanderfalter, überlebt unsere Winter zunehmend auch ohne Rückzug über die Alpen. Das Tagpfauenauge (*Inachis io*) fliegt inzwischen meist in drei statt wie früher in zwei Generationen. Im Gegensatz zu diesen 'Gewinnern' des Klimawandels werden die standorttreuen Spezialisten montaner, moornaher Bergwiesen verschwinden. Dazu gehören der Natterwurz-Perlmutterfalter (*Clossiana titania*), der Hochmoor-Gelbling (*Colias palaeno*) und der Hochmoor-Bläuling (*Vacciniina optilete*).

### 9.3.1.6 Vögel

Unter den 25 % aller europäischen Vogelarten, die laut einer Modellstudie vom Aussterben durch den Klimawandel bedroht sein könnten (Thomas et al. 2004) sind aus den anfangs beschriebenen Gründen kaum Spezies der offenen Feldflur zu finden. Eine Ausnahme stellt der standorttreue Rotmilan (*Milvus milvus*) dar, der seinen globalen Verbreitungsschwerpunkt auf deutschem Territorium hat. Auf die besondere Situation der Wiesenbrüter wurde bereits eingegangen. Viele Charakterarten der Agrarlandschaft dürften sowohl von warmen und trockenen Sommern als auch vom zunehmenden Insektenreichtum profitieren. Für den Reproduktionserfolg von Lerchen und Ammern, Neuntöter und Raubwürger, Rebhuhn und Wachtel spielen beide Faktoren eine große Rolle.

Sind geeignete Lebensräume vorhanden, ist ferner mit der zunehmenden Einwanderung einiger auffälliger Exoten aus mediterranen und pannonischen Gebieten zu rechnen. Die Populationen von Bienenfresser (*Merops apiaster*), Wiedehopf (*Upupa epops*) und Blauracke (*Coracias garrulus*) wiesen bereits in der Vergangenheit periodische Besiedlungs- und Rückzugswellen auf, die sicherlich in erster Linie durch Witterungs- und Klimaeinflüsse ausgelöst wurden. In Anbetracht der erwarteten klimatischen Veränderungen könnten diese Arten vielerorts zu festen Bestandteilen der Avifauna unserer Kulturlandschaft werden. Alle drei Formen ernähren sich teil- oder sogar vorzugsweise von Heuschrecken. Das gilt auch für den Rötelfalken (*Falco naumanni*), der in historischer Zeit ebenfalls Vorstöße nach Mitteleuropa unternahm. Hier träfe er bei einer weiteren Ausbreitungswelle, die mit den Klimaänderungen stärker und nachhaltiger ausfallen dürfte als in der Vergangenheit, auf den sehr ähnlichen Turmfalken (*Falco tinnunculus*), eine Charakterart unserer Agrarlandschaft. Beide Arten weisen zwar eine unterschiedliche Brut- und Verhaltensbiologie auf, könnten aber zu Nistplatz- und Nahrungskonkurrenten werden und in einen Verdrängungswettbewerb treten. Möglich wäre aber auch eine konkurrenzarme Koexistenz (z. B. bei gegebener Nistplatz- und Nahrungsvielfalt), in der sich der Mäusefänger und der Heuschreckenjäger ideal ergänzen.

Alle genannten Vogelarten sind, unabhängig von der Stärke des Klimawandels und seiner Folgen, auch in Zukunft auf die Existenz geeigneter Habitatstrukturen (Brachen, Blühstreifen, Ruderalflächen, breite Säume, Hecken, Böschungen, Bäume mit Bruthöhlen etc.) in der Kulturlandschaft angewiesen.

### 9.3.2 Reaktionen auf angepasste Bewirtschaftungsstrategien

#### 9.3.2.1 Konservierende Bodenbearbeitung

Vieles spricht dafür, dass die prognostizierten klimatischen Veränderungen zu einer Ausdehnung pflugloser Bearbeitungsverfahren führen werden. Ein weitgehender oder konsequenter Pflugverzicht bietet optimalen Schutz vor Bodenerosion und wirkt sich in Trockenperioden positiv auf den Bodenwasserhaushalt aus. Die Bodenbearbeitung beeinflusst in starkem Maße auch die Quantität und Qualität der Bodenfauna.

Auf ackerbesiedelnde Regenwürmer hat ein konsequenter Pflugverzicht hochsignifikant positive Effekte (Bauchhenß 2001, Hofmann et al. 2003). Dafür verantwortlich zeichnen in erster Linie trophische Faktoren. Rottematerial im Oberboden und Mulchauflagen sorgen für ein reiches Nahrungsangebot. Darüber hinaus garantiert die weitgehende Bodenruhe in tieferen Schichten den Erhalt der Röhrensysteme (insbesondere für *Lumbricus terrestris*) sowie optimale Überwinterungsverhältnisse (für alle Ackerarten).

Die Bodenmesofauna erfährt durch einen konsequenten Pflugverzicht vor allem im oberflächennahen Bereich eine Förderung (Lübke-Al Hussein et al. 2007). Im Zuge des prognostizierten Klimawandels dürften die positiven Auswirkungen solcher Strategien auf die endogäische Bodenfauna noch stärker zum Tragen kommen, da der dichter gelagerte und durch eine intensive Lebendverbauung charakterisierte Oberboden ein höheres Wasserretentionsvermögen aufweist.

Auch die Fauna der Bodenoberfläche wird stark beeinflusst. So hatte der konsequente Pflugverzicht auf Lößstandorten in Sachsen deutliche Auswirkungen auf die Arten- und Dominanzstruktur der Laufkäferzönosen (Kreuter & Nitzsche 2005).

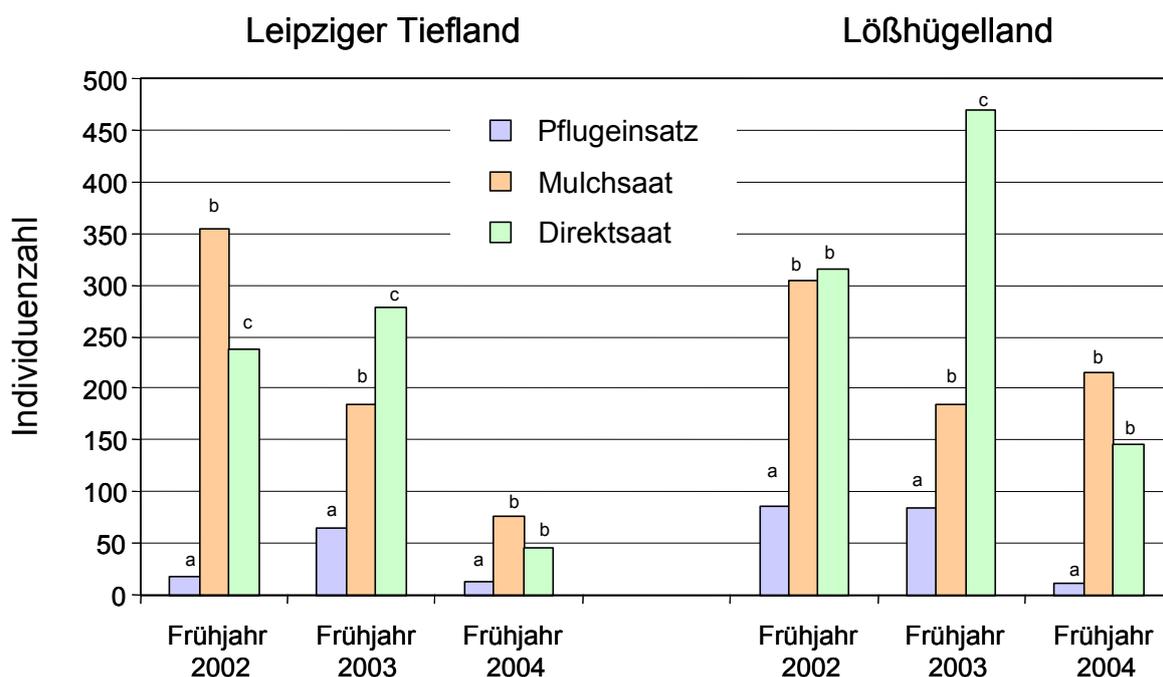


Abb. 5: Zum Auftreten des Goldlaufkäfers (*Carabus auratus*) auf zwei klimatisch begünstigten Ackerflächen in Mitteldeutschland unter dem Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungsstrategien.

Der Goldlaufkäfer (*Carabus auratus*), ein Symbol für den Artenschwund in der intensiv genutzten Agrarlandschaft, wurde z. B. durch die Kombination von Bodenruhe, Nahrungsreichtum und günstigem Mikroklima hochsignifikant gefördert (Abb. 5).

Auch unter den Arthropoden der Pflanzenbestände werden vor allem die Arten beeinflusst, bei denen ein oder mehrere Stadien (oft Eier und Larven, z. T. auch die überwinterten Imagines) an den Boden gebunden sind. Dazu gehören z. B. viele Dipterenarten, Schmetterlinge und Käfer.

Viele Pflanzenschutzprobleme in pfluglosen Systemen gehen auf bodenbürtige Schädlinge zurück. So werden Ackerschnecken (*Deroceras* spp.) und Feldmäuse (*Microtus* spp.) bei weitgehender Bodenruhe und günstigen Witterungsbedingungen stark gefördert. Unter den Insekten bedrohen Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*) und Westlicher Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera*) den Maisanbau. Aber auch die Larven des Getreidelaufkäfers (*Zabrus tenebrioides*), der Gartenhaarmücke (*Bibio hortulanus*) und einiger Schnellkäfer (Elateridae) können insbesondere bei höheren Temperaturen von konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren profitieren.

Im Herbst des Jahres 2006 verursachten die Larven des Getreidelaufkäfers auf einer großflächigen Direktsaatvariante in Sachsen einen Totalschaden im auflaufenden Winterweizen (Abb. 6). Dieses zumindest gegenwärtig noch als extrem selten anzusehende Ereignis weist darauf hin, dass unter den Vorzeichen des Klimawandels bislang unbedeutende Schädlinge zu Problemfällen für die Landwirtschaft werden können.

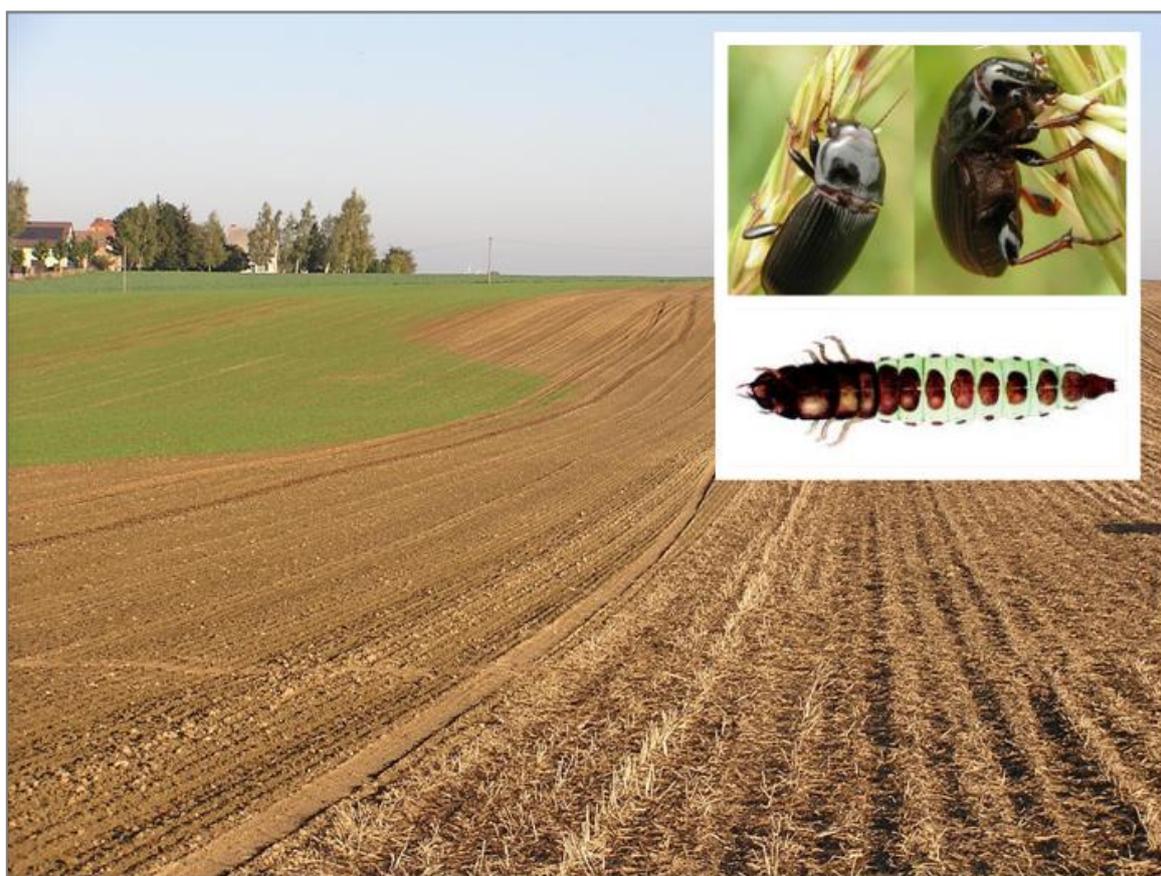


Abb. 6: Totalschaden im Winterweizen, verursacht durch Larven des Getreidelaufkäfers (*Zabrus tenebrioides*). Ausgehend von der Direktsaat-Variante (rechts), reicht das kahlgefressene Areal weit in die gepflügte Fläche (links) hinein.

### 9.3.2.2 Ökologischer Landbau

Als Low-Input-System verdient der Ökologische Landbau – vor allem, wenn er um geschlossene Stoff- und Energiekreisläufe bemüht ist – als klimaneutrales System eine ebenso große Beachtung wie der Anbau von Energiepflanzen. Die Auswirkungen des Ökolandbaus auf die Agrarfauna sind vielfältig. Insgesamt wird von einer beträchtlichen Förderung der biologischen Diversität ausgegangen (Mäder et al. 2002). Im Einzelfall differieren die Effekte oft sehr stark in Abhängigkeit von Standort, Anbaustruktur, Vorgeschichte, Bodenbearbeitung und Pflegestrategie.

Auf die Diversität und Quantität der Fauna in den Pflanzenbeständen wirkt sich vor allem der Herbizidverzicht signifikant positiv aus. Viele Vögel der Agrarlandschaft ernähren sich von Sämereien. Jede Beikrautart ist Lebensraum und Nahrungsgrundlage mehrerer Insektenarten. Aber auch wenig spezialisierte Tiergruppen profitieren von einer arten- oder zumindest individuenreichen Beikrautflora (Abb. 7).

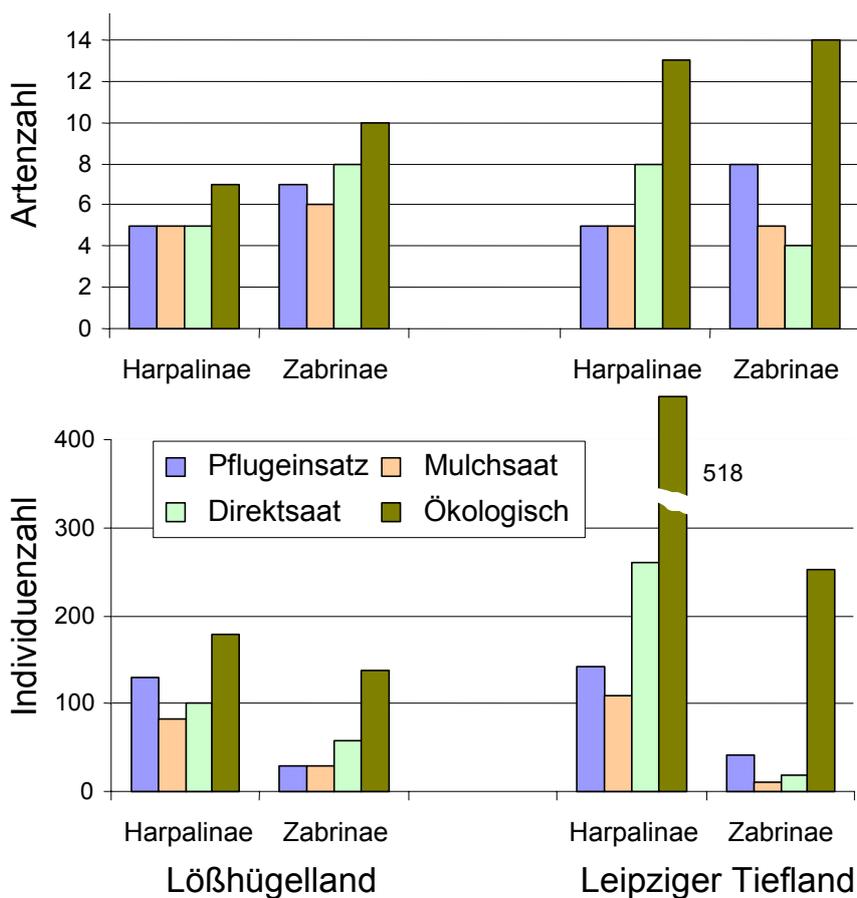


Abb. 7: Effekte des ökologischen Landbaus auf fakultativ phytophage Laufkäfergruppen im mitteldeutschen Lößgürtel

In einem Vergleich mehrerer Bewirtschaftungssysteme war auf den ökologisch bewirtschafteten Flächen generell der höchste Arten- und Individuenreichtum bei fakultativ pflanzen- bzw. samenfressenden Laufkäfern zu verzeichnen. Die genannten Unterfamilien der Zabrinae und Harpalinae werden durch den Klimawandel zusätzlich gefördert, da sie überwiegend xerophile und thermophile Spezies enthalten. Mit höheren Arten- und Individuenzahlen wirbelloser Tiere haben auch deren Prädatoren bessere Reproduktionsbedingungen. Im Kapitel „Direkte Reaktionen“ wurde bereits auf den Zusammenhang zwischen Vogelwelt und Arthropodenfauna eingegangen.

Der Verzicht auf mineralische N-Düngung in ökologisch bewirtschafteten Betrieben führt einerseits (i. d. R.) zu einer vergleichsweise erhöhten organischen Düngung, andererseits zu lichterem Kulturbeständen infolge der Nährstoffbegrenzung. Für die faunistische Diversität ergeben sich aus dieser Faktorenkette wiederum positive Effekte. Vor allem wärme- und lichtliebende Arten werden gefördert, ferner Tiere mit hohen Ansprüchen an den Strukturreichtum der Agrarlandschaft. So finden die meisten Insekten und Spinnen, aber auch Feldhase, Rebhuhn, Wachtel, Lerchen, Ammern und weitere Vögel der Offenlandschaft in ökologisch bewirtschafteten Beständen und Fruchtfolgen prinzipiell günstigere Umweltfaktoren vor als auf vergleichbaren konventionell bewirtschafteten Schlägen.

Differenzierter zu bewerten sind die Auswirkungen ökologischer Landbausysteme auf das Bodenleben. Biomasse und Aktivität der Bodenorganismen hängen teilweise stark von leicht verfügbaren Nährstoffen ab. Durch eine mineralische N-Düngung werden i. d. R. viele Bodentiere, insbesondere die Mikrofauna, aber auch die davon abhängende Mesofauna (Collembolen, Milben, Myriapoden) deutlich gefördert. Die alternative Düngung im Ökobetrieb wirkt langsamer, aber komplexer (z. B. als humus- und damit strukturbildender Faktor) und langfristiger. Im Falle einer stärkeren organischen Düngung in ökologisch bewirtschafteten Systemen stellt diese für die Meso- und Makrofauna im bzw. am Boden ein eindeutig förderndes Umweltkriterium dar. Regenwürmer sowie alle anderen Streuzersetzer (Collembolen, Milben, Enchytraeiden, Diplopoden, Isopoden etc.) benötigen Streu als Nahrungsgrundlage. Inwieweit der Ökolandbau zur Förderung dieser Zönosen beiträgt, hängt außerdem auch vom Regime der Bodenbearbeitung ab. Tiefes Pflügen und intensive mechanische Pflegemaßnahmen können sich so negativ auf die Streuzersetzer auswirken, dass die genannten positiven Effekte nicht zum Tragen kommen (vgl. voriges Kapitel „Konservierende Bodenbearbeitung“ im gleichen Beitrag).

Die differenzierte Einschätzung setzt sich fort im Hinblick auf die nachgeordneten Gilden der Nahrungskette. Auch für die Vielfalt und Abundanz der Raubarthropoden (Chilopoden, Laufkäfer, Spinnen) ist das Nahrungsangebot im und am Boden ausschlaggebend.

### **9.3.2.3 Anbau von Energiepflanzen**

Endogäische Bodenfauna: Insbesondere in mehrjährigen Energiepflanzenbeständen bzw. Agroforst-Systemen können minimale Bodenbearbeitung und Humusakkumulation zu positiven Effekten auf das Bodenleben führen. Dagegen kommt es bei maximierter Biomasse-Entnahme und unzureichender Rückführung organischer Substanz (denkbar z. B. in Energiemais-Fruchtfolgen) zu einem fortschreitenden Humusabbau mit negativen Auswirkungen auf die Bodenfauna. Eine zunehmende Beanspruchung des Bodenwasserhaushalts durch die intensive Biomasseproduktion hätte ebenfalls negative Effekte auf viele Bodentiere (z. B. auf Regenwürmer und Enchytraeiden).

Epigäische Fauna: Neue Kulturen stellen i. d. R. eine Bereicherung der Agrarlandschaft mit entsprechend positiven Auswirkungen auf die Tierwelt dar (Zöphel & Kreuter 2001). Sie beherbergen Tierarten, die in der offenen Acker- oder Grünlandflur nicht vorkommen. Entscheidend dafür, wie Energiepflanzenbestände auf das Ökosystem wirken, sind ihre Zusammensetzung und Nutzungsfrequenz, der Flächenanteil an der gesamten Feldflur, der zugelassene Unterwuchs und der Übergang zu angrenzenden Schlägen. Eine relativ hohe Diversität kann z. B. durch ein breites Spektrum der eingesetzten Kulturen, durch Mischbestände, vor allem aber durch die weitgehende Tolerierung der Segetalflora erreicht werden. Die faunistische Vielfalt hängt stark von der botanischen Diversität der Bestände ab.

Wenn der Anbau von Energiepflanzen mit einer dauerhaft konservierenden Bodenbearbeitung verknüpft wird, sind weitere positive Effekte zu erwarten (Kreuter & Nitzsche 2005).

In wüchsigen Beständen werden allerdings ausschließlich schatten- und feuchteliebende Zönosen gefördert. Die bereits mehrfach genannten Charakterarten agrarischer Ökosysteme können durch solche Strukturen nicht gefördert werden. Auf Feldhase, Rebhuhn, Ammern, Lerchen und Greifvögel sowie auf die Mehrzahl der Insekten wird sich ein zunehmender Anteil massenwüchsiger Kulturen eher negativ auswirken.

Aus diesem Grund ist die Nutzung von Stilllegungsflächen für den Anbau von Energiepflanzen aus dem Blickwinkel der Agrarfaunistik problematisch. Vor allem die weitere Flächenausdehnung der schon heute dominierenden Kulturen (Mais, Raps, Weizen) würde eine fortschreitende Verarmung der Tiergesellschaften nach sich ziehen.

## 9.4 Zusammenfassung

Der erwartete Klimawandel dürfte als direkte Einflussgröße auf die meisten Tierarten der Agrarlandschaft vorerst keine existenziellen Auswirkungen zeitigen. Viele Spezies stammen ohnehin aus wärmeren Breiten oder trockenen Offenlandschaften. Sie sind als typische r-Strategen an extreme Veränderungen ihres Lebensraumes angepasst. Je nach ökologischem Optimum werden einige Arten zurückgedrängt, andere profitieren von den veränderten Bedingungen. Landwirtschaftlich genutzte Flächen unterliegen auch ohne Klimawandel einer solchen Dynamik. Neben der Vielzahl anthropogener Effekte (Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz etc.) stellen klimatische Verschiebungen hier lediglich einen weiteren Faktor dar. Allerdings kommt den erwarteten klimatischen Verschiebungen schon aufgrund ihrer Unumkehrbarkeit eine besondere Bedeutung zu.

Mit dem Zurückweichen oder Verschwinden montaner und subalpiner Agrarbiotope (Bergwiesen, Almen) werden auch die spezialisierten Arten dieser Lebensräume verdrängt. Aus den südlich und östlich angrenzenden Faunenregionen wandern zahlreiche wärmeliebende Arten ein. Interspezifische Konkurrenz wird dabei zu weiteren Strukturveränderungen innerhalb der bislang heimischen Zönosen führen.

Insgesamt dürfte der Arten- und Individuenreichtum der epigäischen Arthropodenfauna deutlich zunehmen. Vom Spinnen- und Insektenreichtum profitieren wiederum deren Prädatoren (große Raubinsekten, Parasiten, Vögel, Kleinsäuger). Ein negativer Aspekt dieser Entwicklung ist die zu erwartende Zunahme tierischer Schaderreger.

Mindestens genauso stark wie die direkten Effekte des Klimawandels werden sich indirekte Faktoren in Form veränderter Bewirtschaftungsstrategien auf die Agrarfauna auswirken. Als erfolgversprechende Reaktionen auf die klimatische Entwicklung gelten die konservierende Bodenbearbeitung, der Ökolandbau und der Anbau von Energiepflanzen.

Pfluglose Bodenbearbeitung fördert signifikant das Bodenleben, während der Ökolandbau eine besonders positive Wirkung auf die Diversität der epigäischen Fauna hat. In beiden Fällen profitieren sowohl nützliche Arten als auch potenzielle Schädlinge von den genannten Bewirtschaftungsstrategien. Der Energiepflanzenanbau kann in ausgeräumten Agrarlandschaften zu einer strukturellen Bereicherung mit positiven Effekten auf die faunistische Diversität führen. Nachteilig wären dagegen Fruchtfolgeverengungen (z. B. durch forcierten Maisanbau) oder der Rückgang von Stilllegungsflächen und Brachen (als Folge von Zweikultursystemen). Charakterarten der Agrarlandschaft werden durch den Energiepflanzenanbau nicht gefördert.

Unabhängig vom Ausprägungsgrad des Klimawandels, wird die faunistische Agrobiodiversität in ihrer Gesamtheit auch in Zukunft entscheidend von der strukturellen Vielfalt oder Monotonie der Agrarlandschaften abhängen.

## 9.5 Literatur

- [1] Bauchhenß J. (2001): Regenwürmer als Bioindikatoren - Methodik und Ergebnisse des Bodenmonitorings. *Bodenkultur und Pflanzenbau* 1/01, 57-64.
- [2] Berthold, P. (1998): Vogelwelt und Klima: Gegenwärtige Veränderungen. *Naturwissenschaftliche Rundschau* 51(9), 337-346.
- [3] Brechtel, F.; Ehrmann, R.; Detzel, P. (1996): Zum Vorkommen der Gottesanbeterin *Mantis religiosa* (LINNÉ, 1758) in Deutschland. *Carolinea*, 54, 73-90.
- [4] Coppack, T.; Pulido, F.; Czisch, M.; Auer, D.P.; Berthold, P. (2003): Photoperiodic response may facilitate adaptation to climatic change in long-distance migratory birds. *Proceedings of the Royal Society of London Series B Biological Sciences* 270(S), 43-46.
- [5] Didden, W. (1993): Ecology of terrestrial Enchytraeidae. *Pedobiologia* 37, 2-29.
- [6] Handke, K. (2000): Veränderungen in der Insektenfauna der Bremer Flussmarschen 1982 bis 1999 - Zeichen eines Klimawandels? In: Alfred Toepfer Akademie für Naturschutz (Hrsg.): *Klimaveränderungen und Naturschutz*. NNABer. 13(2), 36-54.
- [7] Hofmann, B.; Tischer, S.; Christen O. (2003): Einfluss langjährig unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf Humusgehalt und biologische Bodeneigenschaften. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 15, 288-289.
- [8] KLIWA-Arbeitskreis (2006): Regionale Klimaszenarien für Süddeutschland - Abschätzungen auf den Wasserhaushalt. *KLIWA-Berichte*, Heft 9, 104 S.
- [9] Kreuter T. (2000): Zur Struktur, Dynamik und bioindikatorischen Eignung von Laufkäferzönosen im Nordteil des Ökohofes Seeben. In: Diepenbrock W. / K.-J. Hülsbergen (Hrsg.): *Die Entwicklung von Fauna, Flora und Boden nach Umstellung auf ökologischen Landbau - Untersuchungen auf einem mitteldeutschen Trockenlößstandort*. UZU-Schriftenr., Sonderband, 135-171.
- [10] Kreuter, T.; Nitzsche, O. (2005): Biodiversität sächsischer Ackerflächen. *Schriftenreihe Sächs. LfL*, H. 9/2005, 97 S.  
(<http://www.landwirtschaft.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lfl/inhalt/4979.htm>).
- [11] Kreuter, T.; Schmidt, W. (2007): Selbstregulation im pfluglosen Ackerbau. *Schriftenreihe Sächs. LfL*, H. 10/2007, 70 S.  
(<http://www.landwirtschaft.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lfl/inhalt/4979.htm>).
- [12] Lübke-Al Hussein, M.; Kreuter, T.; Al Hussein, I.-A.; Günther, H. (2007): Untersuchungen zum Einfluss konservierender Bodenbearbeitungsverfahren auf die Zusammensetzung der Bodenmesofauna unter Verwendung der Litter-Bag-Methode. *Mitt. Dtsch. Ges. allg. angew. Entomol.* 16, 7 S.
- [13] Mac Arthur, R.H.; Wilson, E.O. (1967): *The Theory of Island Biogeography*. Harvard Univ. Press, Princeton, 192 pp.

- [14] Mäder, P.; Fließbach, A.; Dubois, D.; Gunst, L.; Fried, P.; Niggli, U. (2002): Bodenfruchtbarkeit und biologische Vielfalt im ökologischen Landbau. *Ökologie & Landbau* 124 (4), 12-16.
- [15] Ott, J. (2000): Die Ausbreitung mediterraner Libellenarten in Deutschland und Europa. In: Alfred Toepfer Akademie für Naturschutz (Hrsg.): Klimaveränderungen und Naturschutz. *NNA-Ber.*, 13. Jg. (2), 13-35.
- [16] Parmesan, C.; Ryrholm, N.; Stefanescu, C.; Hill, J.K.; Thomas, C.D.; Descimon, H.; Huntley, B.; Kaila, L.; Kullberg, J.; Tammaru, T.; Tennent, W.J.; Thomas, J.A.; Warren, M. (1999): Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature* 399, 579-583.
- [17] Schanowski, A. (2005): Biomonitoring anhand ausgewählter Insektengruppen. Abschlussbericht zu einem Werkvertrag im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Karlsruhe. 59 S.
- [18] Thiele H.U. (1977): Carabid beetles in their environment. Springer Verlag Berlin.
- [19] Thomas, C.D.; Cameron, A.; Green, R.E.; Bakkenes, M.; Beaumont, L.J.; Collingham, Y.C.; Erasmus, B.F.N.; de Siqueira, M.F.; Grainger, A.; Hannah, L.; Hughes, L.; Huntley, B.; van Jaarsveld, A.S.; Midgley, G.F.; Miles, L.; Ortega-Huerta, M.A.; Townsend-Peterson, A.; Phillips, O.L.; Williams, S.E (2004): Extinction risk from climate change. *Nature* 427, 145-148.
- [20] Warren, M. S.; Hill, J. K.; Thomas, J.A.; Asher, J.; Fox, R.; Huntley, B.; Roy, D.B.; Telfer, M.G.; Jeffcoate, S.; Harding, P.; Jeffcoate, G.; Willis, S.G.; Greatorex-Davies, J.N.; Moss, D.; Thomas, C.D. (2001): Rapid responses of British butterflies to opposing forces of climate and habitat change. *Nature* 414, 65-69.
- [21] Zöphel, B.; Kreuter, T. (2001): Nachwachsende Rohstoffe (Hanf, Flachs, Salbei und Kamille) - Anbau und Bedeutung für den Lebensraum Acker in Sachsen. *Sächs. LfL, Sächs. LfUG (Hrsg.); Sonderheft*, 64 S.

## **10 Auswirkungen und Strategien für Landwirtschaft und Umwelt – aus der Sicht der Humuswirtschaft**

**Dr. Peter Capriel**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz

Der Beitrag wird später gemeinsam mit den neuesten Humusdaten des BDF-Monitorings in der LfL-Schriftenreihe publiziert.

## 11 Adressenverzeichnis der Referenten

### **Dr. Peter Capriel**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft  
Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz  
Lange Point 6, 85354 Freising  
Tel.: 08161/71-3705, E-Mail: [peter.capriel@lfl.bayern.de](mailto:peter.capriel@lfl.bayern.de)

### **Dr. Michael Diepolder**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft  
Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz  
Vöttinger Str. 38, 85354 Freising  
Tel.: 08161/71-4314, E-Mail: [michael.diepolder@lfl.bayern.de](mailto:michael.diepolder@lfl.bayern.de)

### **Josef Kreitmayr**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft  
Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz  
Vöttinger Str. 38, 85354 Freising  
Tel.: 08161/71-4473, E-Mail: [josef.kreitmayr@lfl.bayern.de](mailto:josef.kreitmayr@lfl.bayern.de)

### **Dr. Thomas Kreuter**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft  
Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz  
Vöttinger Str. 38, 85354 Freising  
Tel.: 08161/71-5080, E-Mail: [thomas.kreuter@lfl.bayern.de](mailto:thomas.kreuter@lfl.bayern.de)

### **Dr. Gisbert Kuhn**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft  
Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz  
Vöttinger Str. 38, 85354 Freising  
Tel.: 08161/71-5826, E-Mail: [gisbert.kuhn@lfl.bayern.de](mailto:gisbert.kuhn@lfl.bayern.de)

**Dr. Harald Maier**

Deutscher Wetterdienst, Leiter Niederlassung Weihenstephan

Alte Akademie 16, 85354 Freising

Tel. : 08161/53769-11, E-Mail: [harald.maier@dwd.de](mailto:harald.maier@dwd.de)

**Rudolf Rippel**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz

Vöttinger Str. 38, 85354 Freising

Tel.: 08161/71-4001, E-Mail: [rudolf.rippel@lfl.bayern.de](mailto:rudolf.rippel@lfl.bayern.de)

**Dr. Stephan Weigand**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Institut für Pflanzenschutz

Lange Point 10, 85354 Freising

Tel.: 08161/71-5652, E-Mail: [stephan.weigand@lfl.bayern.de](mailto:stephan.weigand@lfl.bayern.de)

**Dr. Matthias Wendland**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz

Vöttinger Str. 38, 85354 Freising

Tel.: 08161/71-5499, E-Mail: [matthias.wendland@lfl.bayern.de](mailto:matthias.wendland@lfl.bayern.de)