



## **Klimawandel und Landwirtschaft**

Auswirkungen der globalen Erwärmung auf die Entwicklung  
der Pflanzenproduktion in Nordrhein-Westfalen



## **Klimawandel und Landwirtschaft**

Auswirkungen der globalen Erwärmung auf die Entwicklung der Pflanzenproduktion in Nordrhein-Westfalen

### **HINWEIS**

Das Projekt ist Teil der Anpassungspolitik des Landes Nordrhein-Westfalen und wurde mit Mitteln des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV) finanziert. Weitere Informationen zum Thema Anpassung an den Klimawandel sowie die Anpassungsstrategie des Landes Nordrhein-Westfalen finden Sie im Internet unter: [www.klimawandel.nrw.de](http://www.klimawandel.nrw.de)

## Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser,



höhere Temperaturen, mehr Niederschläge: Mit der fortschreitenden globalen Erwärmung ändern sich auch in Nordrhein-Westfalen die klimatischen Bedingungen – mit zunehmend spürbaren Auswirkungen in der Landwirtschaft. So können etwa längere Trockenperioden im Sommer mehr Bewässerung notwendig machen. Andere Teile der Erde wird es allerdings noch wesentlich schlimmer treffen: Zum Beispiel drohen in Afrika ganze Landstriche auszutrocknen, wenn der Klimawandel mittelfristig nicht gestoppt wird.

Wissenschaftler und Politiker aus aller Welt sind sich einig, dass die globale Erwärmung auf maximal zwei Grad Celsius begrenzt werden muss, um solche katastrophalen Auswirkungen zu verhindern. Mit einem neuen Klimaschutzgesetz, das eine Reduktion der nordrhein-westfälischen Treibhausgasemissionen von 80 bis 95 Prozent bis 2050 vorsieht, wollen wir unseren Beitrag dazu leisten.

Gleichzeitig gilt es, auch in Nordrhein-Westfalen auf die nicht mehr abwendbaren Folgen des Klimawandels vorbereitet zu sein. Daher hat mein Ministerium rund 40 Studien initiiert, in denen sowohl die bereits heute spürbaren als auch die zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels untersucht wurden. Für den Bereich Landwirtschaft überprüften unsere Experten, inwiefern sich der Klimawandel auf die Pflanzenproduktion auswirken wird und ob Landwirte künftig mit einem stärkeren Krankheits- oder Schädlingsbefall rechnen müssen.

In der vorliegenden Broschüre möchten wir Ihnen nun die Ergebnisse dieser Studien ausführlich vorstellen, Risiken und neue Möglichkeiten aufzeigen und Anregungen für mögliche Anpassungsmaßnahmen geben.

Ich wünsche Ihnen eine aufschlussreiche Lektüre

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Johannes Remmel'. The signature is fluid and cursive.

Johannes Remmel, MdL  
Minister für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft,  
Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen

# Inhalt

<b>Einführung</b>	6
<b>Klimawandel und Pflanzenproduktion: Wo stehen wir heute?</b>	8
<b>Szenarien und Projektionen: Die zukünftige Klimaentwicklung in Nordrhein-Westfalen</b>	10
<b>Die Methodik: Von den Ausgangsdaten zu den Prognosen</b>	14
<b>Die Ergebnisse: Einflüsse des Klimawandels auf den NRW-Pflanzenbau im 21. Jahrhundert</b>	18
Generelle Trends	18
Welche Ertragserwartungen ergeben sich aus den projizierten Klimaänderungen?	20
Wie wird sich die Ertragssicherheit im Rahmen der erwarteten Klimabedingungen ändern?	23
In welchen nordrhein-westfälischen Regionen sind besondere Änderungen oder Probleme zu erwarten?	25
<b>Schlussfolgerungen und Handlungsmöglichkeiten</b>	26
Bodenqualität erhalten	26
Wassermangel ausgleichen	27
Sortenwahl anpassen	28
Gegen Extremereignisse absichern	29
Gute Landwirtschaftliche Praxis als Startpunkt für eine Klimawandel angepasste Pflanzenproduktion	29
Pflanzenernährung und Pflanzenschutz optimieren	30
<b>Fazit und Ausblick</b>	31
Anhang	33
Impressum	35

## Einführung

Der Klimawandel beeinflusst die Pflanzenproduktion weltweit – auch die Landwirtschaft in Nordrhein-Westfalen muss sich an die neuen klimatischen Bedingungen anpassen.

Seit Anfang des 20. Jahrhunderts haben die globalen Durchschnittstemperaturen deutlich zugenommen

Dunkle Wolken am Horizont: Der Klimawandel wird weltweit gravierende Probleme mit sich bringen.

Schmelzende Gletscher in den Alpen, extreme Trockenheit in den Sommern: Der Klimawandel hat sich von einem wissenschaftlichen Fachthema zur Schlagzeile in den Medien und zum Gegenstand internationaler Konferenzen gewandelt. Mit gutem Grund: Allein in den vergangenen 100 Jahren ist laut des im Frühjahr 2007 veröffentlichten Vierten Sachstandsberichts für Klimaänderungen des Weltklimarates IPCC die globale Durchschnittstemperatur um 0,74 Grad Celsius gestiegen. Hauptursachen für die Erwärmung sind der Ausstoß von Treibhausgasen bei der Energieerzeugung und Verkehr, Brandrodungen von Waldflächen – aber auch Ackerbau und Viehzucht. Nur durch eine drastische Reduktion des Ausstoßes von klimarelevanten Gasen können der Klimawandel und seine Folgen noch in einem erträglichen Rahmen gehalten werden. Experten empfehlen deshalb dringend, die globale Erwärmung auf maximal zwei Grad Celsius gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Das Land Nordrhein-Westfalen wird hier seinen Teil durch eine Stärkung des Klimaschutzes dazu beitragen. Kon-

kret geplant ist ein Klimaschutzgesetz, das unter anderem einen deutlichen Ausbau von erneuerbaren Energien und Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz vorsieht. Bis zum Jahr 2050 sollen so die CO<sub>2</sub>-Emissionen des bevölkerungsreichsten Bundeslands um 80 bis 95 Prozent reduziert werden.

### Weltweite Klimafolgen: Überflutungen in Asien, Dürren und Hunger in Afrika

Doch selbst wenn es der internationalen Staatengemeinschaft mit vereinten Kräften gelingen sollte, das Zwei-Grad-Ziel zu erreichen, werden einige Regionen den nicht mehr vermeidbaren Klimawandel deutlich zu spüren bekommen. So rechnet der Weltklimarat IPCC unter anderem mit einem starken Anstieg des Meeresspiegels, dem viele dicht besiedelte Küstenregionen vor allem in Asien sowie mehrere Inseln im Pazifik zum Opfer fallen könnten. In anderen Teilen der Welt wird dagegen die Wasserknappheit zu einem immer größeren Problem. Vor allem in den schon heute sehr trockenen Gebieten Afrikas kann das auch die landwirtschaftliche Produktion stark beeinträchtigen und damit die Unterernährung auf dem Kontinent weiter verschärfen. Der Weltklimarat geht davon aus, dass etwa in Afrika bis zum Jahr 2020 75 bis 250 Millionen Menschen unter akuter Wasserknappheit und ihren Folgen für die Nahrungsmittelproduktion leiden werden.

### Klimafolgen in Nordrhein-Westfalen: Wachstumsbedingungen für Pflanzen ändern sich

Auch Nordrhein-Westfalen ist – wenn auch nicht so stark wie andere Regionen in der Welt – von den Folgen des Klimawandels betroffen. Daher hat die Landesregierung Nordrhein-Westfalen eine Strategie beschlossen, die durch eine Stärkung des Klimaschutzes einerseits dazu beitragen soll, den Klimawandel auf ein noch vertretbares Maß zu begrenzen. Andererseits gilt es, die möglichen Folgen des Klimawandels





**Zentrum der Landwirtschaft: Nordrhein-Westfalen ist einer der wichtigsten Agrarstandorte Deutschlands.**

frühzeitig zu erkennen, um klimabedingte Schäden begrenzen und mögliche Chancen der globalen Erwärmung nutzen zu können. Insgesamt 40 Projekte hat das Land Nordrhein-Westfalen initiiert, um die Auswirkungen der globalen Erwärmung auf wichtige Lebens-, Umwelt- und Wirtschaftsbereiche zu untersuchen, darunter die Wald-, Forst- und Wasserwirtschaft, die Sicherheit industrieller Anlagen und nicht zuletzt die Landwirtschaft – die ganz unmittelbar von den Änderungen im Klimasystem betroffen ist.

**Durch den Klimawandel werden in Nordrhein-Westfalen die Sommer trockener, die Winter feuchter**

Denn: Trockenere Sommer oder feuchtere Winter, wie sie Experten für Nordrhein-Westfalen prognostizieren, können die Wachstumsbedingungen von Kulturpflanzen grundlegend verändern. Das haben zwei vom Land Nordrhein-Westfalen in Auftrag gegebene Studien ergeben, in denen die Auswirkungen des künftigen Klimawandels auf die Pflanzenproduktion sowie auf die Entwicklung von Schädlingen und Pilzkrankheiten wichtiger Ackerbaukulturen in Nordrhein-Westfalen untersucht wurden.

Folgende Fragen wurden dabei berücksichtigt:

- Welche Ertragserwartungen ergeben sich aus den projizierten Klimaänderungen?
- Wie wird sich die Ertragssicherheit im Rahmen der erwarteten Klimabedingungen verändern?
- In welchen nordrhein-westfälischen Boden- und Klimaräumen sind nachhaltige Änderungen oder Probleme zu erwarten?

Diese Broschüre fasst nun die wichtigsten Ergebnisse dieser Studien zusammen (Kapitel 5) und stellt mögliche Maßnahmen zur Anpassung vor (Kapitel 6). In den Kapiteln 2 und 3 wird zunächst erläutert, wie sich das Klima in den letzten 100 Jahren in Nordrhein-Westfalen bereits verändert hat und wie es sich im weiteren Verlauf des 21. Jahrhunderts voraussichtlich noch verändern wird. Kapitel 4 stellt das Vorgehen (Methodik) der beiden in dieser Broschüre vorgestellten Studien vor. Kapitel 7 fasst die Ergebnisse dieser Broschüre zusammen.

## Klimawandel und Pflanzenproduktion: Wo stehen wir heute?

Mehr Schädlinge, längere Vegetationsperioden: Der Klimawandel bringt neue Probleme, aber auch Möglichkeiten.

Der Klimawandel ist in Nordrhein-Westfalen bereits Realität: Seit Anfang des 20. Jahrhunderts sind die Temperaturen um 1,1 Grad Celsius angestiegen (siehe Abbildung 1). Aus Abbildung 1 ist außerdem eine Häufung von Jahresmitteln über zehn Grad Celsius seit den 90er Jahren ersichtlich. In den ersten Jahrzehnten der Beobachtungsreihe wurde dies lediglich einmal, im Jahr 1959, nahezu erreicht und ein einziges Mal mit 10,1 Grad Celsius 1934 überschritten.

**Bisheriger Klimawandel lässt viele Pflanzen bereits früher blühen**

Weitere Hinweise auf den Klimawandel liefert die langjährige Beobachtung der nordrhein-westfälischen Pflanzen- und Vegetationsentwicklung. Phänologische Daten, das heißt die langjährige Beobachtung des jahreszeitlichen Eintretens von Entwicklungsschritten in der Natur, weisen ebenfalls auf eine Erwärmung hin. Wie in Abbildung 2 erkennbar, beginnt in Nordrhein-Westfalen beispielsweise die Apfelblüte heutzutage deutlich früher als noch in den 50er Jahren.

Der Beginn der Apfelblüte ist einer der nordrhein-westfälischen Umweltindikatoren, zu finden im Internetangebot des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nord-

rhein-Westfalen (LANUV NRW), siehe: <http://www.lanuv.nrw.de/umweltindikatoren-nrw/index.php>.

Ein ähnliches Bild zeichnet die Entwicklung der Blütezeitpunkte ausgewählter Sträucher in Nordrhein-Westfalen, welche heute – verglichen mit den 50er Jahren – um mindestens zwei Wochen früher eintreten (siehe Abb. 3).

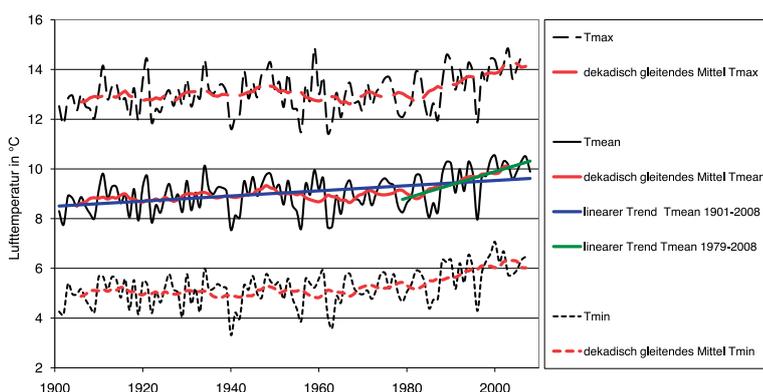
Auch in Zukunft werden die Temperaturen in Nordrhein-Westfalen durch den weltweit ungebremsten Ausstoß von klimarelevanten Gasen aller Voraussicht nach weiter steigen – darauf lassen sowohl mathematisch-statistische als auch physikalische Modelle schließen (siehe dazu nachfolgendes Kapitel). Durch die fortschreitende Erwärmung sind stark veränderte Muster von Regen und Schneefall, häufigere Extremereignisse wie Hagel, Gewitter, Stürme, Dürren oder Überflutungen zu erwarten.

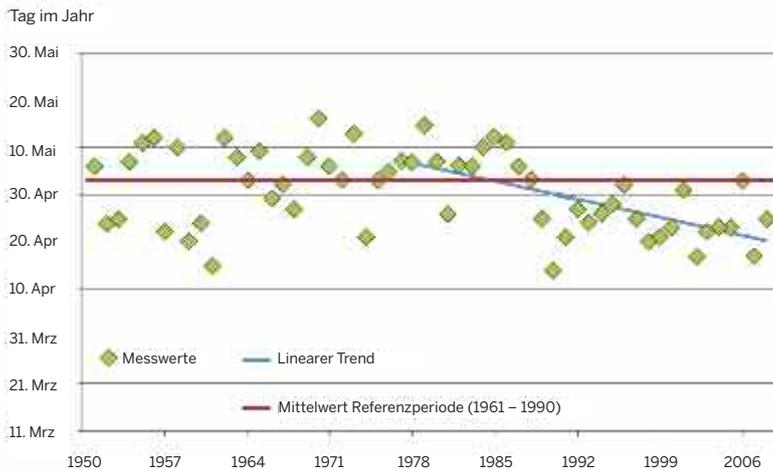
### Agrarstandort im Klima-Umbruch: Worauf die NRW-Landwirtschaft reagieren muss

Nordrhein-Westfalen nimmt nach Bayern und Niedersachsen den dritten Rang unter den deutschen Agrarstandorten ein. Etwa 50.000 landwirtschaftliche Betriebe stellen zusammen mit mehr als 1.000 Herstellern im Bereich der Ernährungswirtschaft einen wichtigen Teil der heimischen Wirtschaft. Ungefähr die Hälfte der Fläche von Nordrhein-Westfalen wird landwirtschaftlich genutzt, zirka 70 Prozent davon als Ackerland. Den höchsten Anteil an der Ackerfläche hat Getreide. Die wichtigste Kultur ist Winterweizen gefolgt von Mais.

Die aktuellen Landnutzungen, Sorten und Fruchtfolgen sowie Anbaumethoden haben sich aus den lokalen Gegebenheiten und damit auch dem bislang herrschenden regionalen Klima entwickelt. Wenn sich mit dem Klima nun eine zentrale Grundlage der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion ändert, muss diese zwangsläufig an die neuen Gegebenheiten – zum Beispiel wärmere Sommer sowie feuchtere Winter – angepasst werden.

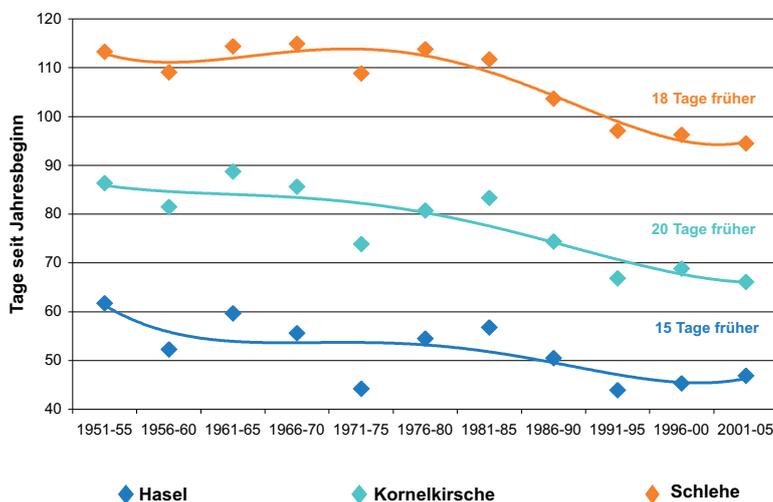
**Abbildung 1: Jahresmittel der minimalen (Tmin), mittleren (Tmean) und maximalen (Tmax) Tagestemperaturen in Nordrhein-Westfalen im Zeitraum 1901–2008. Zusätzlich sind die dekadisch gleitenden Mittel gezeigt sowie lineare Trends der Mitteltemperatur.** (Quelle: LANUV 2010, Datengrundlage: DWD)





**Abbildung 2: Der Beginn der Apfelblüte in Nordrhein-Westfalen hat sich in den vergangenen Jahrzehnten kontinuierlich nach vorne verschoben.**

(Quelle: LANUV 2010, Datengrundlage: DWD)



**Abbildung 3: Blütezeitpunkte verschiedener Sträucher in NRW am Beispiel von Hasel, Kornelkirsche und Schlehe.**

(Quelle: MUNLV 2009, Datengrundlage: DWD)

Für die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion können sich aus dem Klimawandel sowohl vorteilhafte als auch negative Auswirkungen ergeben. Als förderlich könnte sich beispielsweise eine durch die Erwärmung verursachte längere Vegetationsperiode erweisen. Unter Umständen erlaubt diese sogar den Anbau von Zweitkulturen nach der Ernte (zum Beispiel von Getreide). Ebenfalls positiv auf das Pflanzenwachstum könnte sich ausgerechnet eine der Hauptursachen des Klimawandels – der Anstieg der Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre – auswirken. Der Grund: Pflanzen können höhere Kohlendioxid-Konzentrationen in der Atmosphäre in stärkeres Wachstum umsetzen („Kohlendioxiddüngung“, siehe dazu Kasten unten). Die genaue Wirkung von Kohlendioxid auf die Pflanzen ist allerdings sehr komplex und derzeit Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen.

Von Nachteil für die Pflanzenproduktion kann dagegen die mögliche Zunahme sommerlicher Trockenphasen oder Unwetter sein. Möglich ist außerdem, dass die geänderten Klimabedingungen Schädlinge begünstigen, die zu höheren Ernteausfällen führen oder die Ertragssicherheit beeinträchtigen können.

Welche dieser möglichen Entwicklungen eintreten wird oder wenn die genannten Entwicklungen parallel eintreten, welchen Einfluss sie auf Ertrag und Ertragssicherheit haben, soll in dieser Broschüre beleuchtet werden.

## INFO KOHLENDIOXIDDÜNGUNG

Für die Mehrzahl der Pflanzen („C3-Pflanzen“) wie zum Beispiel Getreide, Zuckerrüben oder Kartoffeln stellt Kohlendioxid einen Mangelfaktor dar. Ist mehr Kohlendioxid in der Umgebungsluft verfügbar, kann von den Pflanzen mehr Biomasse in der gleichen Zeit gebildet werden. Dies wird teilweise in Gewächshäusern zur Produktionssteigerung genutzt. Da viele Pflanzen bei besserer Kohlendioxidversorgung ihre Spaltöffnungen („Atemorgane“ vor allem der Blätter, die unter anderem der Aufnahme von Kohlendioxid dienen) häufiger geschlossen halten können, wird außerdem der verdunstungsbedingte Wasserverlust verringert, was bei heißem, trockenem Wetter oder Dürren dem

Pflanzenwachstum zugutekommt. Mit der Kohlendioxiddüngung kann allerdings ein verminderter Proteingehalt von Blättern oder Früchten einhergehen, so dass etwa die Qualität von Futterpflanzen beeinträchtigt wird. Unsicherheiten ergeben sich dadurch, dass die Übertragbarkeit von Versuchsdaten in die Praxis und in die Modellrechnungen noch Gegenstand von wissenschaftlichen Untersuchungen sind. Seltener sind Pflanzen, die wie der Mais (C4-Pflanze) eine effizientere Form des Kohlendioxidstoffwechsels aufweisen. C4-Pflanzen profitieren deshalb in geringerem Maße von ansteigenden atmosphärischen Kohlendioxidkonzentrationen als C3-Pflanzen.

# Szenarien und Projektionen: Die zukünftige Klimaentwicklung in Nordrhein-Westfalen

Komplexe Berechnungen ermöglichen einen Ausblick auf das Klima der Zukunft – es wird wärmer und feuchter.

Um einen Blick in die Zukunft der Pflanzenproduktion werfen zu können, muss zunächst die zukünftige Entwicklung des Klimas skizziert werden. Grundlage dafür sind die vom Zwischenstaatlichen Ausschuss für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) getroffenen Annahmen über die künftige Entwicklung des Ausstoßes von Treibhausgasen. Eingang in diese sogenannten Emissionsszenarien finden Annahmen zu relevanten Klimaeinflussgrößen, wie die weitere Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung oder der Einsatz von fossilen und regenerativen Energieträgern.

Den hier beschriebenen Projektionsrechnungen wurden die IPCC-Szenarien „A2“, „A1B“ und „B1“ zugrunde gelegt. Das Szenario „A2“ beschreibt eine eher pessimistische Entwicklung, also einen Anstieg der Treibhausgasemissionen bis zum Ende des Jahrhunderts. Nach „A1B“ werden die Emissionen von Treibhausgasen bis Mitte des laufenden Jahrhunderts zunächst weiter ansteigen und danach zurückgehen. Das Emissionsszenario „B1“ geht von einem raschen Wandel der Wirtschaftsstruktur zu nachhaltigeren Lösungen und damit im Jahr 2100 von geringeren Treibhausgasemissionen als im Jahr 2000 aus.



**Geht es so weiter?**  
Annahmen über den künftigen Ausstoß von Treibhausgasen sind die Basis für Aussagen zur weiteren Klimaentwicklung.

## Klimaprojektionen: Wie das Klima der Zukunft errechnet wird

Wie wird sich nun das Klima auf Basis der genannten Emissionsszenarien in Nordrhein-Westfalen entwickeln? Hinweise auf diese Frage geben die sogenannten Klimaprojektionen – Berechnungen zum zukünftigen Klima, die auf den Emissionsszenarien basieren und mithilfe von globalen und regionalen Klimamodellen erstellt werden. Da die globalen Klimamodelle für Nordrhein-Westfalen eine zu grobe Auflösung aufweisen, wurden die Ergebnisse der globalen Klimasimulationen mithilfe von statistischen und dynamischen Regionalmodellen auf die

## INFO KLIMAMODELLE

**Zur Berechnung der NRW-Klimaprojektionen fanden die Modelle WettReg, REMO und CLM Verwendung. Diese sind Vertreter von zwei sehr unterschiedlichen Vorgehensweisen:**

- **Statistische Modelle:** Bei statistischen Modellen wie WettReg wird aus der Kenntnis des gegenwärtigen Regionalklimas und Messreihen zurückliegender Ereignisse auf zukünftige klimatische Bedingungen in der Region geschlossen. Damit repräsentieren sie nicht zwingend die klimatischen Verhältnisse in einer veränderten Zukunft, weshalb statistisch erstellte Zukunftsprojektionen gewissen Einschränkungen unterworfen sind.
- **Dynamische Modelle:** Dynamische Modelle wie CLM und REMO bilden das Wettergeschehen über das Simulieren physikalischer Prozesse nach. Sie funktionieren im Prinzip wie globale Zirkulationsmodelle – ergänzt um Detailinformationen aus der jeweiligen Region.

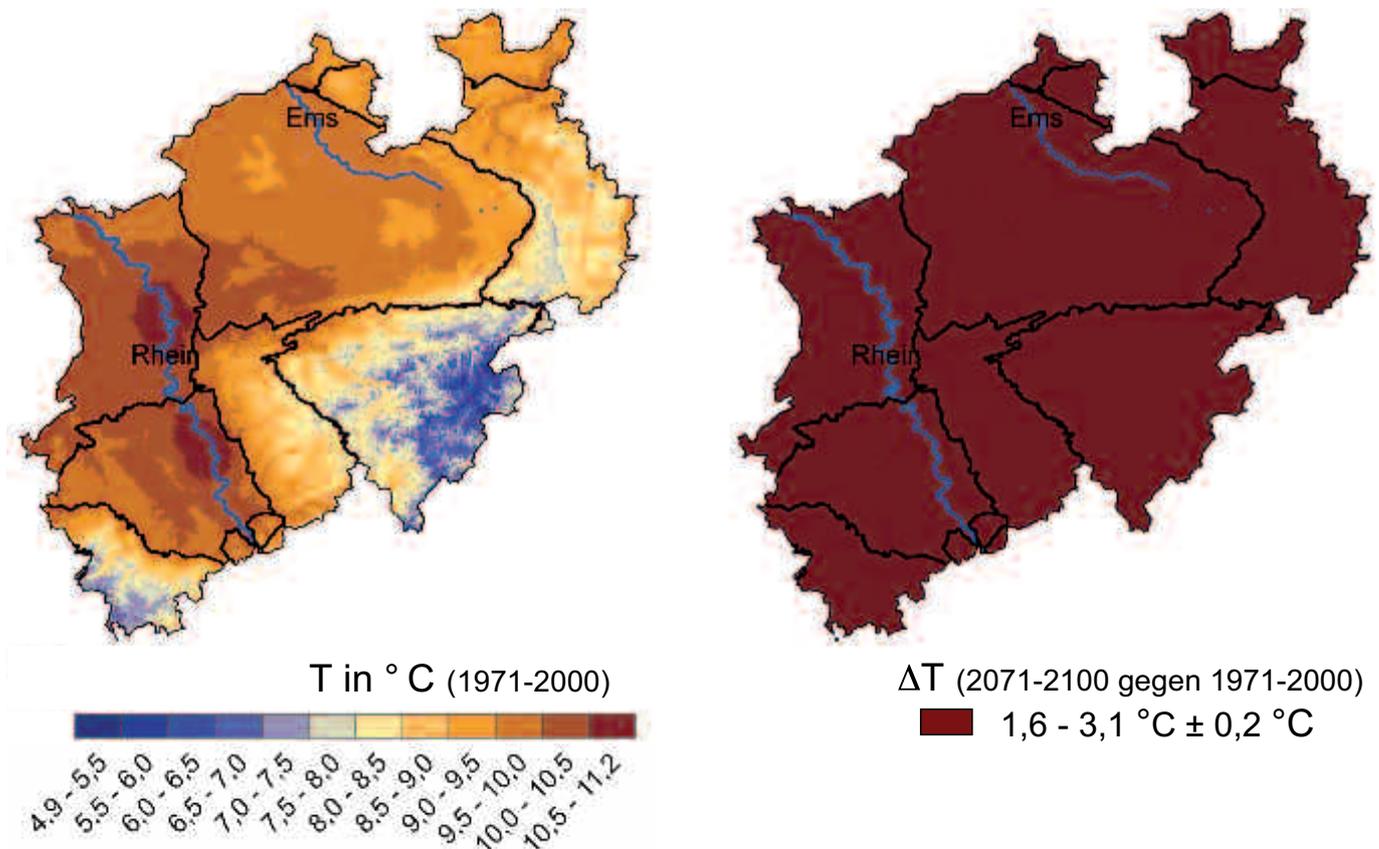


Abbildung 4: Links: Jahresmitteltemperatur in Nordrhein-Westfalen aus Messungen des Deutschen Wetterdienstes für den Bezugszeitraum 1971–2000. Rechts: Erwärmung bis zum Zeitraum 2071–2100 aus 39 WettReg-, 4 CLM- und 3 REMO-Simulationen. (Quelle: Straub et al. 2010)

Dimensionen unseres Bundeslandes heruntergebrochen.

#### Klimaprojektionen zeigen klimatische Verhältnisse der Jahre 2071 bis 2100

Die Klimamodelle bergen große Unsicherheiten, so dass nur unter Berücksichtigung einer ausreichenden Anzahl von Simulationen (mit unterschiedlichen Emissionsszenarien, unterschiedlichen Modellen und verschiedenen Anfangszeitpunkten) statistisch aussagekräftige Ergebnisse gewonnen werden können (Straub et al. 2010). Die hier vorgestellten Ergebnisse wurden anhand der drei Regionalmodelle WettReg, CLM und REMO für die drei Emissionsszenarien „A1B“, „A2“ und „B1“ modelliert.

#### Temperaturen werden weiter steigen: Die Ergebnisse der Klimaprojektionen

In Abbildung 4 sind die projizierten Temperaturzunahmen ( $\Delta T$ ) für Nordrhein-Westfalen für den Zeitraum 2071 bis 2100 gegenüber dem Zeitraum 1971 bis 2000 dargestellt. Die Spannweite der Temperaturzunahme über die Simulationen der drei Regionalmodelle und der drei Emissionsszenarien ist recht groß: Die Flächenmittel variieren zwischen 1,6 und 3,1 Grad Celsius (Straub et al. 2010). Fest steht in jedem Fall: Der bereits anhand von Messwerten vergangener Jahre feststellbare Trend des Anstiegs

## INFO WETTER ODER KLIMA?

**Wetter** beschreibt für ein bestimmtes Gebiet die bekannten aktuellen Messgrößen wie Lufttemperatur, Luftdruck, Niederschlagsmenge, Luftfeuchtigkeit, Wolkenbedeckung, Sonnenschein.

**Klima** veranschaulicht für ein bestimmtes Gebiet (z. B. „Höxter“, „Eifel“, „Deutschland“, „Europa“, „Welt“) statistische Mittelwerte der Wetterereignisse über mindestens 30 Jahre.

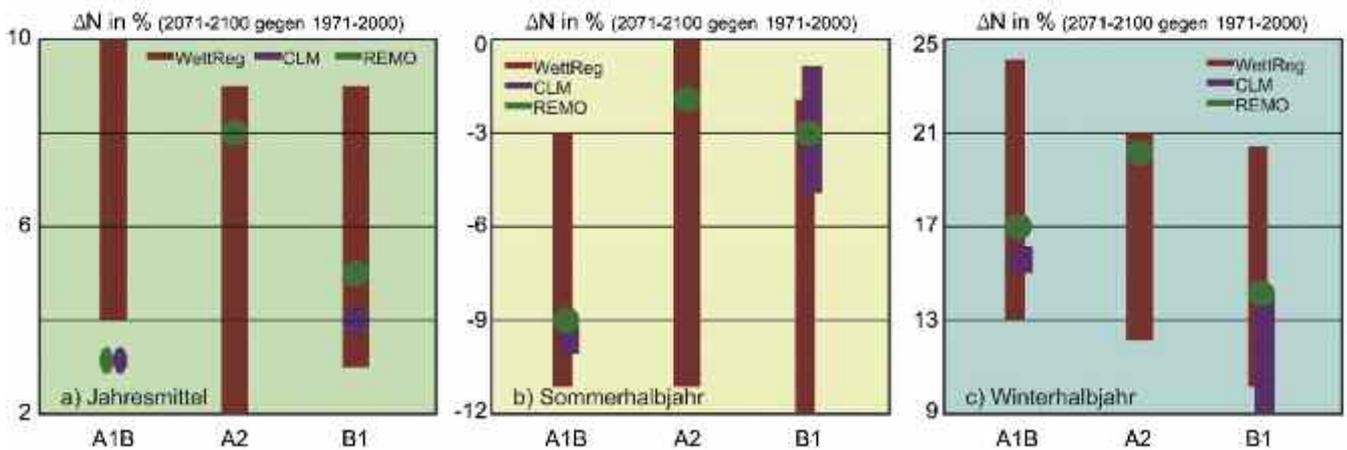


Abbildung 5: Niederschlagsänderung für 2071–2100 gegenüber 1971–2000 nach WettReg (braun, 13 Simulationen), CLM (violett, 2 Simulationen) und REMO (grün, eine Simulation) als Mittelwert über die Fläche von NRW. (Quelle: Straub et al. 2010)

des Jahresmittels der Lufttemperatur wird sich in Zukunft fortsetzen.

### Niederschlag

Die Simulation des Niederschlagsgeschehens ist deutlich schwieriger, da sich die Menge und Intensitäten von Niederschlägen von Ort zu Ort stark unterscheiden können. Dennoch lassen sich Grundtendenzen aus den Klimaprojektionen ablesen. Abbildung 5a zeigt die projizierten Niederschlagsänderungen für 2071 bis 2100 gegenüber 1971 bis 2000 als Jahresmittelwerte über die Fläche von Nordrhein-Westfalen. Trotz großer Schwankungen in den drei Regionalmodellen und den drei Emissionsszenarien zeichnet sich generell eine leichte Zunahme des

Jahresniederschlags zwischen knapp über null bis zehn Prozent ab.

Deutlicher werden die Niederschlagsänderungen, wenn man das Sommer- und Winterhalbjahr getrennt betrachtet (Abb. 5b und 5c). Unter Berücksichtigung der drei Regionalmodelle und der drei Emissionsszenarien nimmt die Niederschlagsmenge in Nordrhein-Westfalen im Winterhalbjahr zwischen neun und 24 Prozent zu. Für das Sommerhalbjahr zeichnet sich hingegen ein Niederschlagsrückgang zwischen null und zwölf Prozent ab (Straub et al. 2010).

Darüber hinaus ist in Nordrhein-Westfalen von einer räumlich ungleichen Niederschlagsent-

**Gute Zeiten – schlechte Zeiten:**  
Die höheren Temperaturen werden in näherer Zukunft voraussichtlich zunächst das Pflanzenwachstum fördern und höhere Erträge ermöglichen ...



... in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts wird es dagegen durch längere Trockenperioden im Sommer häufiger zu Trockenschäden und damit zu Ertragsausfällen kommen.



wicklung auszugehen, wobei die verschiedenen Klimamodelle allerdings zu teilweise sehr unterschiedlichen Projektionen gelangen:

- Die dynamischen Modelle CLM und REMO projizieren eine Abnahme der Sommerniederschläge vor allem für die südwestlichen Regionen des Landes. Das statistische Modell WettReg simuliert dagegen den stärksten Niederschlagsrückgang für die nordöstlichen Regionen des Landes.
- Für das Winterhalbjahr simulieren die dynamischen Modelle die angesprochene Niederschlagszunahme hauptsächlich im Bereich der nördlichen und südlichen Landesteile. Dagegen gibt das statistische Modell WettReg die stärkste Niederschlagszunahme im Winter eher im Landesinneren an.

Eine räumlich hoch aufgelöste Interpretation der Niederschlagsänderungen bleibt damit aufgrund der unterschiedlichen Simulationsergebnisse problematisch (Straub et al. 2010). Zwei Regionen, in denen die Modellrechnungen jedoch weitgehend übereinstimmen, sind das Sauer- und Siegerland: Die meisten Simulationen projizieren leicht überdurchschnittliche Niederschlagszunahmen im Jahresmittel.

Relevant für die künftige Entwicklung des Ertrags ist vor allem jedoch der Rückgang der sommerlichen Niederschlagsintensitäten. Denn dieser Rückgang kann an einzelnen Standorten Anpassungsmaßnahmen wie trockenheitsresistentere, früher abreifende Sorten oder je nach Verfügbarkeit auch Bewässerung notwendig machen.



**Feuchtgebiet:**  
In den Bergregionen des Sauerlandes wird in Zukunft mit höheren Jahresniederschlägen gerechnet.

# Die Methodik: Von den Ausgangsdaten zu den Prognosen

Wie die Forscher des Landes Nordrhein-Westfalen künftige Erträge und Schädlingsbefall errechneten.

Im vorherigen Kapitel wurden bereits einige grundlegende Voraussetzungen für die Modellsimulation von Ertrag und Ertragsicherheit sowie Schädlingen und Krankheiten genannt:

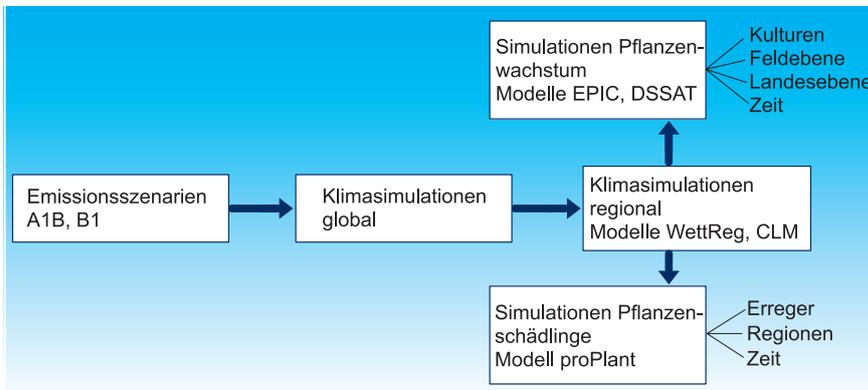
- So schätzten Experten mithilfe von Emissionsszenarien zunächst die künftige Freisetzung von klimarelevanten Gasen ab.
- Darauf aufbauend erstellten sie Klimaprojektionen mithilfe globaler Modelle.
- Die globalen Klimaprojektionen dienten wiederum als Grundlage für regionale Klimamo-

delle, welche die Regionen Nordrhein-Westfalens differenziert darstellen.

Die Ergebnisse der regionalen Klimaprojektionen gingen dann in die Modellrechnungen ein, mit welchen das Pflanzenwachstum sowie Krankheits- und Schädlingsbefall simuliert wurden. Abbildung 6 stellt diese Zusammenhänge schematisch dar.

Darüber hinaus flossen zahlreiche weitere Parameter in die Modellierungen ein. Beispielhaft seien Bodeneigenschaften, die atmosphärische Kohlendioxidkonzentration, Wasser- und Nährstoffversorgung oder Kulturtechniken genannt.

**Abbildung 6:**  
Wie Experten von den Emissionsszenarien zu Aussagen über Pflanzenwachstum und Schädlingsbefall gelangen (schematische Darstellung).



### Pflanzenwachstumsmodelle: die Berechnung zukünftiger Erträge

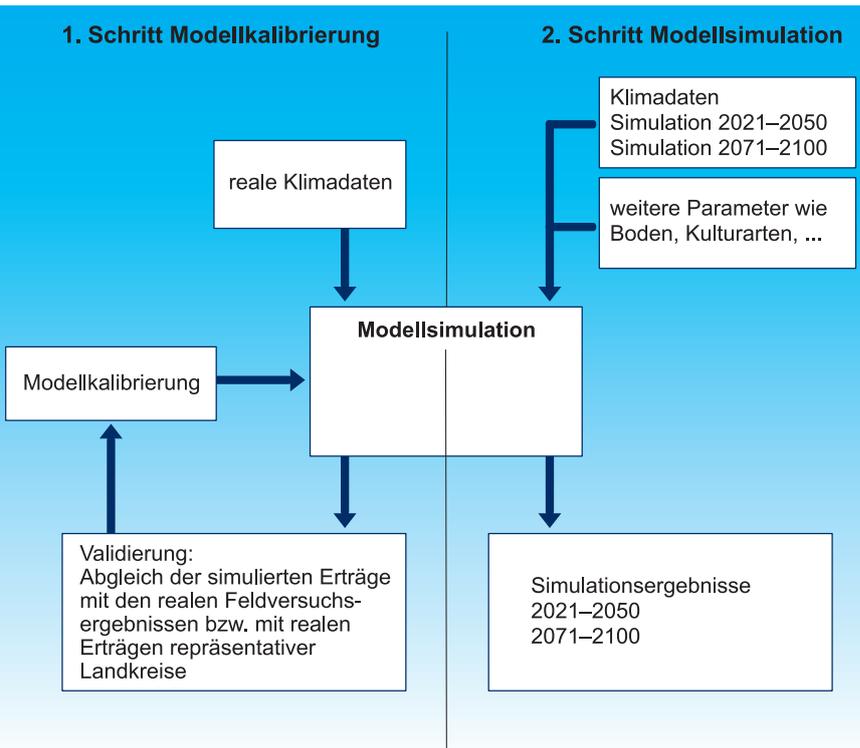
Abbildung 7 zeigt ein vereinfachtes Schema der Modellrechnungen zur Simulation von Erträgen der Pflanzenproduktion unter sich ändernden klimatischen Bedingungen. Zunächst erfolgte die Kalibrierung der verwendeten Modelle. Hierfür wurden Simulationsläufe mit Daten zurückliegender Jahre durchgeführt und die Modellergebnisse mit den in der Realität erzielten Erträgen verglichen. Nachdem die Modelle so an die zu simulierenden Gegebenheiten angepasst worden waren, fanden die eigentlichen Modellläufe zur Simulation der Prognosejahre statt.

Neben der Ertragshöhe ist die Sicherheit der Erträge von großem Interesse. Als Maß hierfür diente die Schwankungsbreite (die Spanne der Abweichungen vom Mittelwert) der für die einzelnen Jahre errechneten Simulationsergebnisse.

Da die Rechenläufe mit unterschiedlichen Modellen vergleichbare Tendenzen lieferten, dürfen die Aussagen zwar nicht als punktgenau, aber als richtungssicher angesehen werden. Die Simulationen lassen die Tendenz (Trend zu fallenden oder steigenden Erträgen beziehungsweise keine Änderungen) erkennen. Allerdings

**Verlässlicher Datenlieferant:** Die Messdaten von Wetterstationen sind die Grundlage für die Simulationen des künftigen Klimas.





**Abbildung 7 (Erläuterungen):** Bei der Validierung erfolgt ein Abgleich der simulierten Erträge mit realen Erträgen des betrachteten Standorts; bei der Kalibrierung werden Modellparameter verändert, um Simulationsläufe an reale Ereignisse anzupassen.

ist die Aussagekraft von Durchschnittsangaben begrenzt. Wenn etwa die Temperaturen im Jahresdurchschnitt zunehmen, muss dies beispielsweise nicht bedeuten, dass es keine Boden- oder Nachtfröste im Frühjahr mehr geben wird. Deren schädigende Wirkung kann sich gegebenenfalls bei weiter fortgeschrittener Vegetation noch verschärfen. Schließlich sind weitere wichtige Parameter bekannt, die – über Jahrzehnte betrachtet – einen erheblichen Einfluss auf den Ertrag haben, aber in den Modellen nicht oder nur begrenzt simuliert werden können. Zu nennen sind zum Beispiel der Fortschritt in wissenschaftsbasiertem Fachwissen, Agrartechnik, Precision Farming (teilschlagbezogene Landwirtschaft, die Unterschiede innerhalb eines Feldes berücksichtigt), Anbau- und Verfahrenstechnik, Züchtung sowie Arten- und Sortenwahl.

#### **Pflanzenschädlinge und -krankheiten:**

##### **Beratungssystem simuliert künftigen Befall**

Die Projektionen des Befalls mit Pflanzenkrankheiten und -schädlingen beruhen auf Simulationsläufen mit einem Pflanzenschutz-Beratungssystem. Klimadaten der Jahre 2001 bis 2050 (Messwerte von Wetterstationen und

## **INFO PFLANZENWACHSTUMS- UND PFLANZENSCHUTZMODELLE**

Zur Berechnung der künftigen Erträge und Ertragssicherheiten wurden aus einer größeren Anzahl möglicher Modelle die beiden Pflanzenwachstumsmodelle EPIC und DSSAT herangezogen.

Zur Simulation von Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschädlingen fand das Pflanzenschutzberatungssystem proPlant expert.classic Verwendung.

**EPIC** (Erosion Productivity Impact Calculator) wurde aus einem Modell weiterentwickelt, welches in den 1980er Jahren den Einfluss der Bodenerosion auf das Wachstum von Kulturpflanzen in den USA beschreiben sollte. Es wurde im Lauf der Zeit um Kulturarten und Einflussfaktoren erweitert und ist heute in der Lage, auch Klimabedingungen in ihrem Einfluss auf verschiedene Kulturpflanzen abzubilden.

**DSSAT** (Decision Support System for Agrotechnological Transfer) ist ein Programmpaket, das neben Pflanzenwachstumsmodellen für unterschiedliche Kulturpflanzen weitere Programmpakete wie ein Geografisches Informationssystem enthält. Es wurde erstmals Ende der 1980er Jahre verwendet und fortlaufend erweitert.

**proPlant expert.classic** wurde an der Universität Münster in Zusammenarbeit mit der Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe Anfang der 1990er Jahre entwickelt und wird seitdem ständig erweitert. Es handelt sich um eine Beratungssoftware, welche anhand von Wetterdaten und -vorhersagen die Zeiträume identifizieren kann, zu denen Befall durch Pflanzenerreger möglich ist. Es wird in Deutschland und vielen europäischen Ländern in der Praxis eingesetzt, um den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln im Ackerbau zu optimieren.

Boden-Klima-Räume (BKR)	Ackerfläche		gebietstypische Hauptfruchtfolge
	ha	%	
Eifel	15.985	1,5	Winterweizen-Sommergerste-Winterraps
Sauerland	65.005	6,1	Winterweizen-Wintergerste-Winterraps
Köln-Aachener Bucht	142.799	13,4	Winterweizen-Wintergerste-Zuckerrüben
Rheinland/Südliches Münsterland	338.881	31,8	Winterweizen-Wintergerste-Silomais
Ost-Westfalen/Bergisches Land	139.602	13,1	Winterweizen-Wintergerste-Winterraps
Nördlicher Kreis Minden-Lübbecke	36.233	3,4	Wintertriticale-Wintergerste-Silomais
Wiehengebirge	45.824	4,3	Winterweizen-Wintergerste-Winterweizen-Silomais
Westfälische Bucht	239.774	22,5	Wintergerste-Silomais-Wintertriticale
Teutoburger Wald/Eggegebirge/Tecklenburger Land	41.561	3,9	Winterweizen-Silomais-Wintergerste-Winterraps
Summe BKR	1.065.664	100	-

**Abbildung 8: Kurzcharakterisierung der Boden-Klima-Räume.**

(Quelle: verändert nach Rossberg et al. 2007)

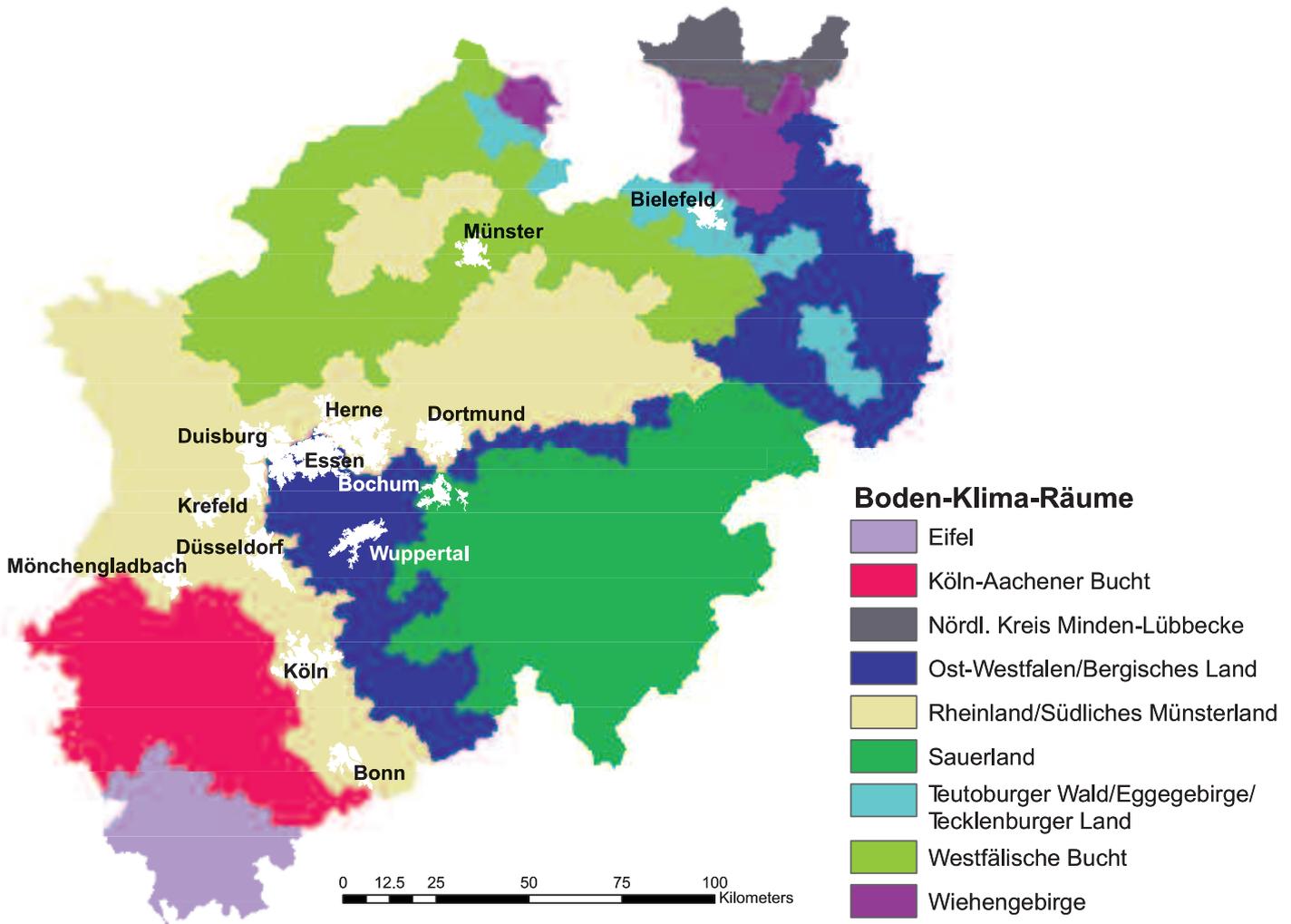
Simulationsergebnisse) wurden hierfür neben weiteren standortspezifischen Informationen wie Feldkultur und Erregerkennzahlen herangezogen. Nicht von den Modellen ausgegebene Klimaparameter (Temperaturminimum in 5 cm Höhe, Stunden mit Niederschlag > 0,1 mm, Luftfeuchtemaximum 14 h in 2 m Höhe) wurden aus früheren Messwerten abgeleitet.

Für die meisten Erreger konnte auf bestehende Prognosemodule des Pflanzenschutzberatungssystems zurückgegriffen werden. In einzelnen Fällen, zum Beispiel für die Alternaria-Dürrflecken-Krankheit, wurden Prognosemodule für das Untersuchungsvorhaben neu entwickelt.

#### **Ortsgenaue Prognosen: die Regionalisierung der erhobenen Daten**

Räumliche Unterscheidungen wurden auf zwei Arten vorgenommen:

- Bei den Modellrechnungen auf Feldebene wurden Ergebnisse von Sortenversuchen an verschiedenen Standorten in Nordrhein-Westfalen und der nächstgelegenen Wetterstation für die räumliche Differenzierung herangezogen.
- Bei den Modellrechnungen auf Landesebene wurden vorhandene Klima- und Bodendaten sowie Landnutzungsinformationen zu etwa 100.000 „Simulationseinheiten“ (ein bis einige Hektar große Gebiete mit mehr oder



**Abbildung 9: Lage der Boden-Klima-Räume in Nordrhein-Westfalen.**

weniger einheitlichen Bedingungen) verschnitten. Diese können dann wiederum – je nach weiterem Vorgehen – zu größeren räumlichen Einheiten wie Gebietskörperschaften (Gemeinden oder Landkreise), besser aber zu naturräumlich geprägten Boden-Klima-Räumen (BKR) zusammengefasst werden.

onseinheiten zusammengefasst. Diese Simulationseinheiten wurden dann einem Boden-Klima-Raum (siehe Abb. 8 und 9) zugeordnet. Die Boden-Klima-Räume sind somit nicht homogen. Sie bestehen aus den (etwa hinsichtlich der Böden) räumlich differenzierten Simulationseinheiten mit ihren unterschiedlichen Ertragspotenzialen.

**Kleinräumige Feldversuche bringen Erkenntnisgewinn für Prognosen auf Landesebene**

Der kleinräumige Maßstab der Feldversuche im Vergleich zu den Modellrechnungen auf Landesebene macht es möglich, Zusammenhänge darzustellen, welche für die Simulationen auf Landesebene von Bedeutung sein können, dort aber aufgrund der höheren Datendichte nicht mehr auflösbar sind.

In den Modellrechnungen auf Landesebene wurden, wie oben beschrieben, Agrarflächen mit vergleichbaren Eigenschaften zu Simulati-

Die Boden-Klima-Räume dienen der Gebietsgliederung für das Sortenversuchswesen. Sie orientieren sich nicht an Grenzen der Bundesländer. Deshalb wurden die Bezeichnungen der BKR an die nordrhein-westfälischen Gegebenheiten angepasst. Die in diesem Bericht verwendeten BKR werden in Abbildung 8 kurz charakterisiert und in ihrer räumlichen Lage zueinander in Abbildung 9 dargestellt.

# Die Ergebnisse: Einflüsse des Klimawandels auf den NRW-Pflanzenbau im 21. Jahrhundert

Der Klimawandel wird die Landwirte zu immer mehr Anpassungsmaßnahmen zwingen. Größte Gefahr ist langfristig die zunehmende Trockenheit im Sommer.

Um die Einflüsse des erwarteten Klimawandels auf die Pflanzenproduktion in Nordrhein-Westfalen abschätzen zu können, haben die Forscher die mit zwei regionalen Klimamodellen projizierten künftigen Klimabedingungen in zwei Pflanzenwachstumsmodelle und ein Pflanzenschutzberatungssystem eingegeben. Die Modellrechnungen wurden für Sortenversuchstandorte („Feldebene“) und Boden-Klima-Räume („Landesebene“) vorgenommen. Zur Erstellung der Klimaprojektionen fanden zwei Emissionsszenarien des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) Verwendung, die für den Prognosezeitraum von unterschiedlich intensiv ansteigenden Konzentrationen klimawirksamer Gase in der Atmosphäre ausgehen.

Da bei den meisten Modellläufen die gleichen Tendenzen und die gleichen Größenordnungen des Ertrags ausgegeben wurden, werden die Ergebnisse als richtungssicher angesehen.

## Generelle Trends

Als generelle Trends und Ergebnisse der Modellierungen auf Feldebene lassen sich die folgenden Punkte nennen:

- Die insgesamt höheren Temperaturen führen zu schnellerer Pflanzenentwicklung.

- Die ansteigenden Kohlendioxidkonzentrationen in der Atmosphäre bringen einen Düngereffekt mit sich. Bei Mais, welcher als C4-Pflanze einen effizienteren Kohlendioxidstoffwechsel als die anderen betrachteten Pflanzen aufweist, fällt der Ertragszuwachs moderater aus.

- Bis 2050 ist eher mit Ertragssteigerungen als mit Ertragsverlusten zu rechnen. Um diese im vollen Umfang zu realisieren, sind an die lokalen Gegebenheiten angepasste Maßnahmen erforderlich.

- Der sommerliche Rückgang der Niederschläge fällt bis 2050 noch gering aus. Häufig reicht daher – insbesondere für die Winterungen – der Bodenwasserbeziehungsweise Grundwasservorrat zur Versorgung der Kulturen aus. Niederschlagsveränderungen haben damit im Zeitraum bis 2050 den geringsten Einfluss. Lediglich an einigen Standorten kann Bewässerung die Ertragssituation verbessern.

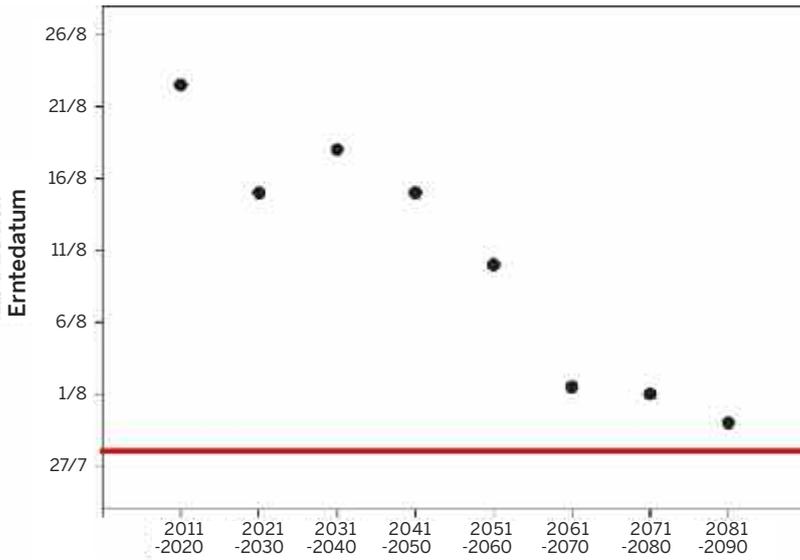
- Nach den Projektionen für die Jahre 2071 bis 2100 wird der Rückgang der Sommerniederschläge in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts deutlicher ausfallen, so dass längerfristig die Notwendigkeit von Anpassungsmaßnahmen neu bewertet werden muss.

- Den stärksten Einfluss auf die Ertragslage hat (außer bei Mais) die Kohlendioxiddüngung. Zweitwichtigster Einflussfaktor ist die Erwärmung.

- Wintergetreide benötigen einen winterlichen Kältereiz, um später in der Entwicklung blühen zu können (Vernalisation). Die Modellsimulationen zeigen, dass trotz ansteigender Durchschnittstemperaturen kein Ausbleiben dieses Kältereizes in den kommenden Jahren zu befürchten ist.

**Viel zu mähen:  
Um gleichbleibend  
gute Erträge in  
Nordrhein-Westfalen  
zu sichern,  
sind in Zukunft  
Anpassungs-  
maßnahmen an  
den Klimawandel  
notwendig.**





**Abbildung 10: Der Erntedatum des Winterweizens am Standort Meerhof (Hochsauerlandkreis, ca. 370 m über NN) wird sich immer weiter vorverlagern. Die rote Linie markiert den durch ein heißes Frühjahr extrem frühen Erntedatum 2007.** (Quelle: Burkhardt und Gaiser 2010)

**Pflanzenernährung und -schutz müssen an verändertes Klima angepasst werden**

Die Resultate decken sich mit den Modellrechnungen auf Landesebene. Alle Ergebnisse der Modellrechnungen, seien es gleichbleibende Erträge oder Ertragszuwächse, werden nur dann in der Praxis erzielt werden können, wenn die in den Modellen gesetzten Randbedingungen erfüllt sind. Dies bedeutet, dass Pflanzenernährung und Pflanzenschutz an geänderte Klimabedingungen angepasst werden müssen. Der Boden, der selbst durch den Klimawandel beeinträchtigt werden kann, muss als wesentlicher Ertragsfaktor geschützt werden (siehe dazu Kapitel 6).

#### **Frühreife Gewächse: Die Pflanzenentwicklung beschleunigt sich**

Durch die Erwärmung werden die benötigten Temperatursummen – das heißt, die über einen bestimmten Zeitraum aufaddierten Tagesmitteltemperaturen, nach denen ein bestimmter Entwicklungsschritt eintritt – schneller erreicht. Dadurch beschleunigen sich phänologische Stadien. Beispielhaft ist diese schnellere Pflanzenentwicklung anhand zweier Simulationsergebnisse dargestellt: Die Modellrechnungen für den Standort Meerhof ergaben, dass sich dort im Laufe des 21. Jahrhunderts der Erntedatum des Winterweizens um fast einen Monat nach vorn verlagert (ggf. mit der Möglichkeit, noch eine Folgefrucht anzubauen). Die Abbildung 10 stellt die für die Jahrzehnte bis 2090

simulierten Erntedatum des Winterweizens in Meerhof dem Jahr 2007 gegenüber. Im Jahr 2007 war der April außergewöhnlich heiß und der Erntedatum lag nach heutigen Maßstäben ausgesprochen früh. Die Modellrechnungen legen nahe, dass derartige frühe Erntedatum in den kommenden Jahrzehnten zunehmend normal werden. Von dieser Entwicklung profitieren vor allem Grenzstandorte in den Höhenlagen.

#### **Fühlen sich bei höheren Temperaturen wohl: Pflanzenkrankheiten und -schädlinge**

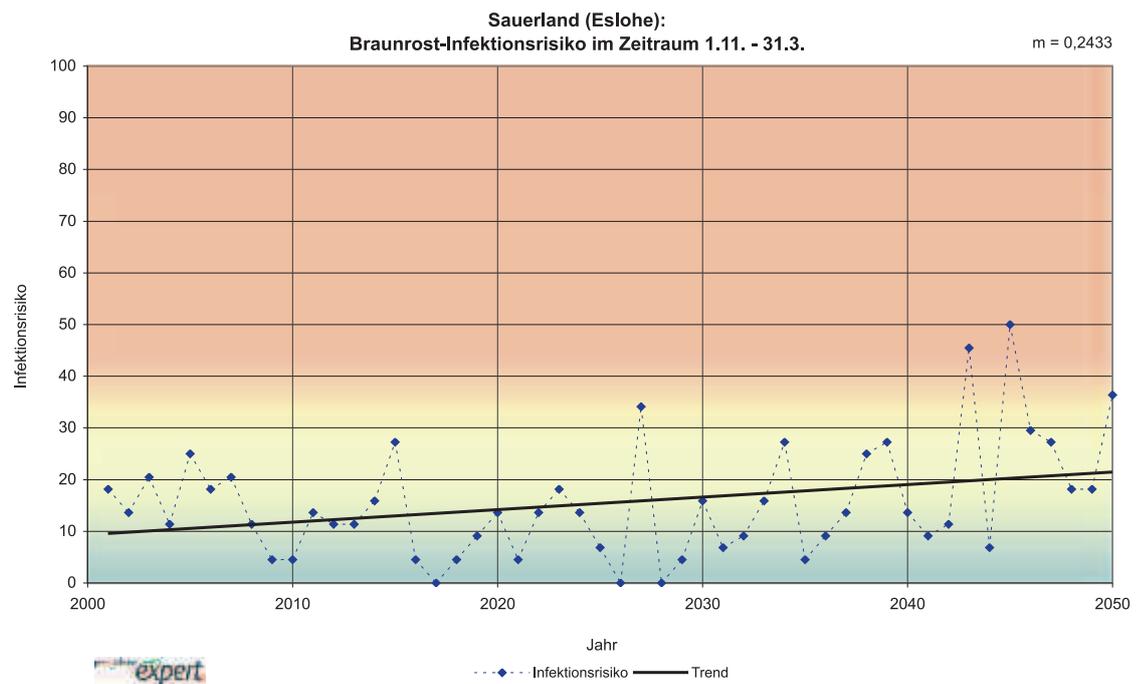
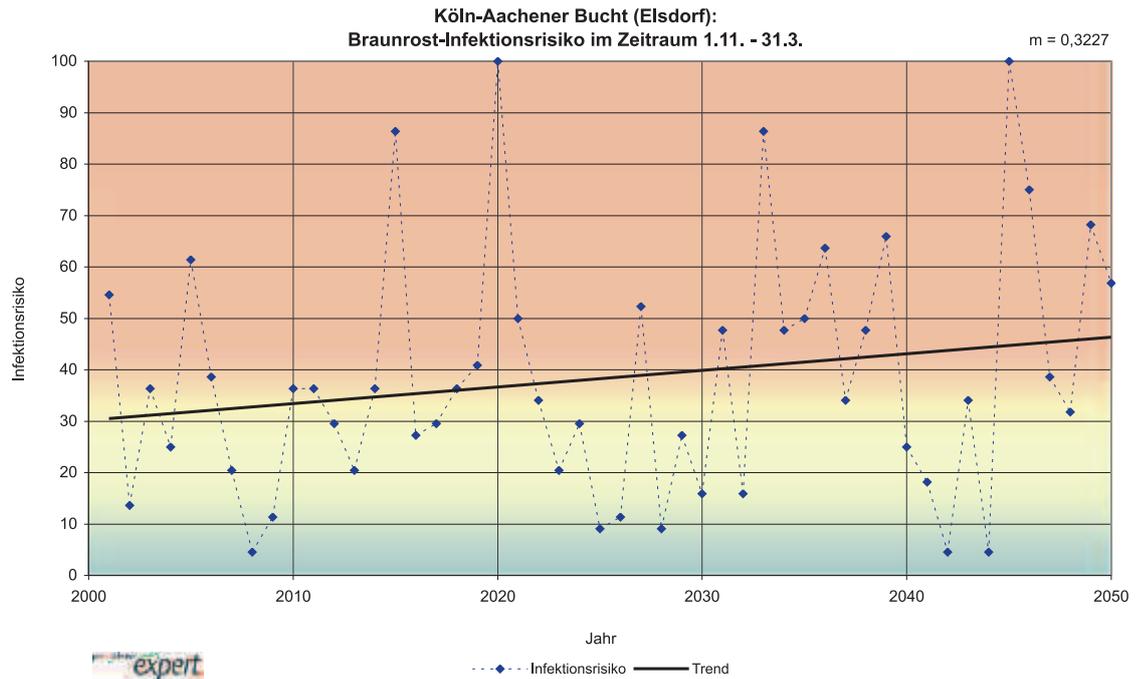
Die Simulation von Pflanzenkrankheiten und -schädlingen zeigt, dass für keinen der untersuchten Schädlinge ein Befallsrückgang zu erwarten ist.

Je nach Standort können sich stark abweichende Verläufe des Befalls mit Krankheiten und Schädlingen ergeben. Die Abbildung 11 zeigt beispielhaft das simulierte Infektionsrisiko des Winterweizens durch Braunrost an zwei Standorten. Die Modellsimulationen errechneten am Standort Eslohe (Hochsauerlandkreis) ein leicht ansteigendes Infektionsrisiko, das allerdings über den gesamten Simulationszeitraum im unkritischen Bereich bleibt. Einen etwas deutlicheren Anstieg weist der Standort Elsdorf (Rhein-Erft-Kreis, Köln-Aachener Bucht) auf. Für Elsdorf zeigen die Simulationsrechnungen außerdem während des Prognosezeitraums mehrfach behandlungswürdige Infektionsrisiken.

In einigen Fällen werden höhere als die bislang in Nordrhein-Westfalen aufgetretenen Befallsintensitäten erwartet. Vergleichbare Intensitäten sind allerdings aus anderen Regionen Deutschlands oder des europäischen Auslands bekannt und dort gut beherrschbar.

Zusammenfassend birgt der Klimawandel für den Pflanzenbau in Nordrhein-Westfalen sowohl Risiken als auch neue Möglichkeiten. Um die Chancen nutzen zu können und die Risiken zu minimieren, sind Anpassungsmaßnahmen erforderlich. Diese und die Gute Landwirtschaftliche Praxis vorausgesetzt, sind in absehbarer Zeit keine außergewöhnlichen Probleme in der Landwirtschaft zu erwarten.

**Abbildung 11:**  
**Simulierte Infektionsrisiken des Winterweizens durch Braunrost an den Stationen Elsdorf (Köln-Aachener Bucht) und Eslohe (Sauerland) im Zeitraum 2000 bis 2050.**  
**m: Steigung der Ausgleichsgeraden (Trend), rot: behandlungswürdige Infektionsrisiken.**



Im Folgenden werden auf der Grundlage der Ergebnisse beider Studien die bereits in Kapitel 1 formulierten Fragen aufgegriffen:

- Welche Ertragserwartungen ergeben sich aus den projizierten Klimaänderungen?
- Wie wird sich die Ertragssicherheit im Rahmen der erwarteten Klimabedingungen ändern?
- In welchen nordrhein-westfälischen Regionen sind besondere Änderungen oder Probleme zu erwarten?

## Welche Ertragserwartungen ergeben sich aus den projizierten Klimaänderungen?

### Winterkulturen

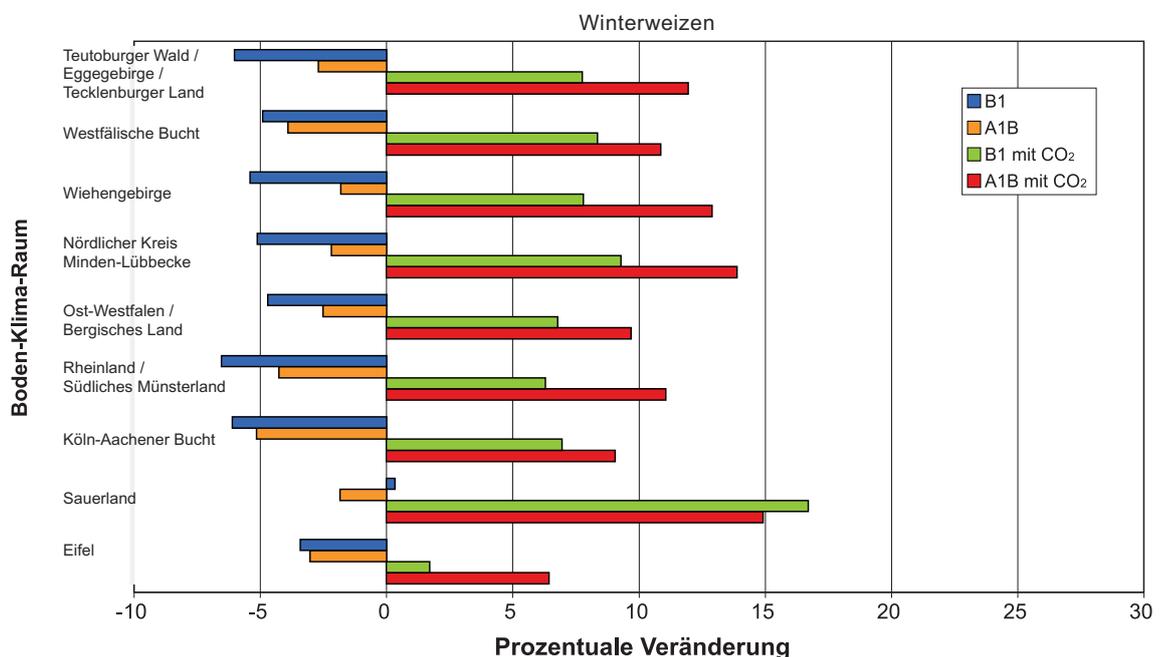
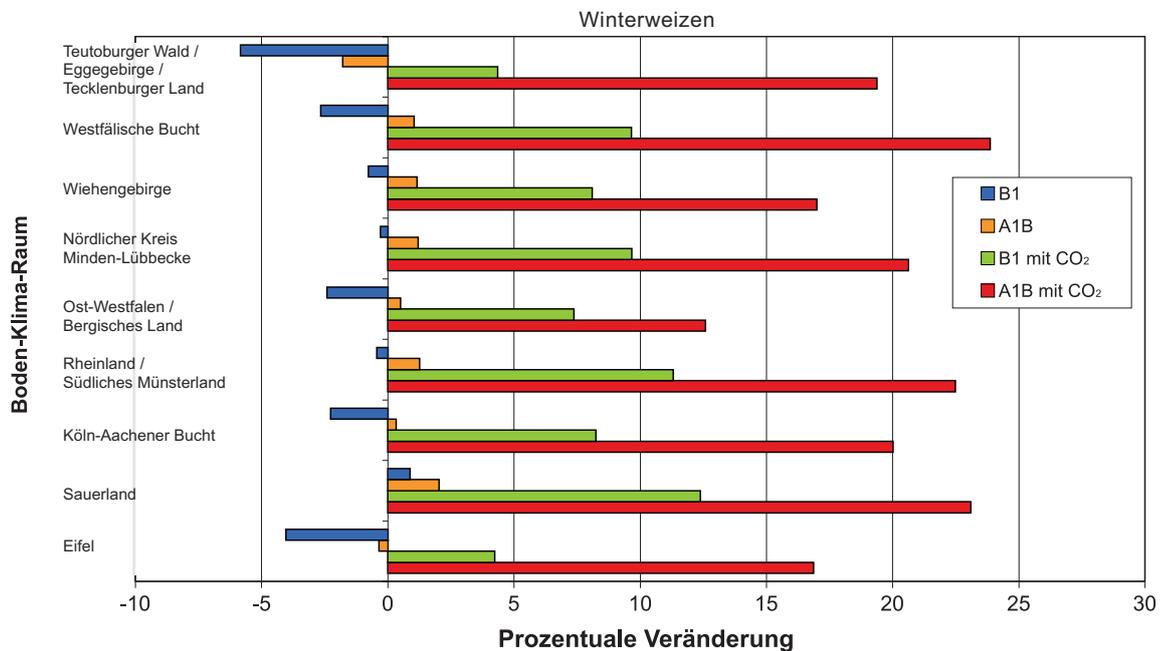
Die Simulationsergebnisse sind vor allem abhängig von der atmosphärischen Kohlendioxidkonzentration, der Temperatur und dem jeweiligen naturräumlichen Ertragspotenzial. Alle Simulationsrechnungen für **Winterweizen** (Abb. 12) zeigen ohne Berücksichtigung des mit dem Klimawandel korrelierten Anstiegs der Kohlendioxidkonzentrationen in der Atmo-

sphäre lediglich Änderungen im einstelligen Prozentbereich. Tendenziell können sich geringfügige Ertragseinbußen ergeben, die allerdings nicht statistisch abgesichert sind. Deshalb wird bei ausschließlicher Berücksichtigung der Erwärmung und unter Vernachlässigung der Kohlendioxiddüngung davon ausgegangen, dass im Prognosezeitraum keine nennenswerten Änderungen im künftigen Winterweizen-ertrag auftreten.

können in einzelnen Boden-Klima-Räumen, vor allem durch den Düngereffekt, nennenswerte Ertragszuwächse erzielt werden. Mit dem Emissionsszenario „B1“ geben die Modellrechnungen unwesentliche Ertragsänderungen bis hin zu Ertragszuwächsen von zwölf beziehungsweise 15 Prozent aus. Deutlichere Zuwächse werden für die Boden-Klima-Räume Westfälische Bucht, Nördlicher Kreis Minden-Lübbecke, Rheinland/Südliches Münsterland und Sauerland prognostiziert. Die Prognosen des dynamischen Klimamodells liegen etwas unter denen des statistischen Modells. Eine Ausnahme ist

Wird die bessere Kohlendioxidverfügbarkeit in den Simulationsrechnungen berücksichtigt, so

**Abbildung 12:**  
**Mittlere relative Veränderungen der Winterweizenerträge im Zeitraum 2021 bis 2050 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1971 bis 2000, Klimaszenarien „A1B“ und „B1“, ohne und mit Berücksichtigung der Erhöhung der atmosphärischen Kohlendioxidkonzentration. Oben: Klimamodell WettReg. Unten: Klimamodell CLM.**  
 (Quelle: Burkhardt und Gaiser 2010)



das Sauerland, wo im dynamischen Modell mit 16 Prozent die höchste Ertragssteigerung für Winterweizen im „B1“-Szenario überhaupt errechnet wurde.

Die Ergebnisse des Emissionsszenarios „A1B“ (wärmer, höhere atmosphärische Kohlendioxidkonzentrationen) prognostizieren für alle BKR nennenswerte Zuwächse der Winterweizenerträge von etwa zehn bis über 20 Prozent. Neue Erkenntnisse zur Übertragung der Ergebnisse aus dem Versuchsanbau in die Praxis und deren Berücksichtigung in Modellrechnungen können zu anderen Ergebnissen führen. Trotzdem erscheint ein (dann weniger intensiver) Ertragszuwachs wahrscheinlich.

**Wintergerste, Triticale und Winterraps**

Wintergerste, Triticale und Winterraps zeigen ähnliche Verläufe. Vielfach stellen sich vor allem in den Höhenlagen (z.B. Sauerland, Eifel) Ertragszuwächse ein. Wintergerste und Winterraps werden vergleichsweise früh geerntet und können von wärmeren Temperaturen profitieren, ohne die heißeren und relativ trockeneren Sommermonate für Wachstum und Reife zu benötigen.

**Silo- und Körnermais**

**Sommerkulturen**

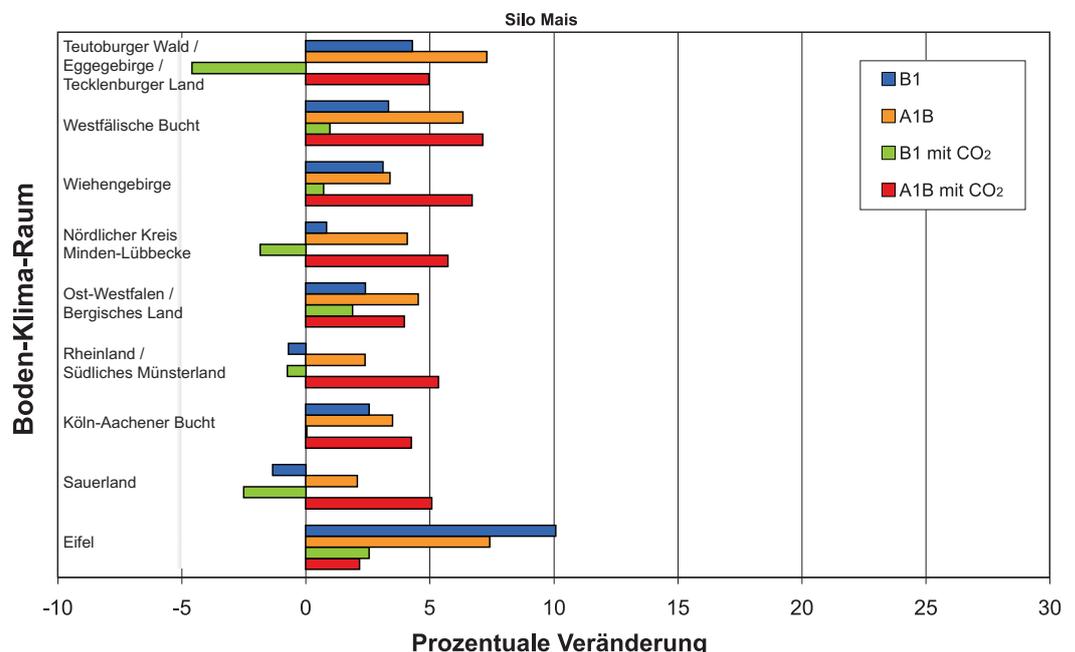
Die Ertragserwartungen für Silo- und Körnermais wurden für das gesamte Gebiet Nordrhein-Westfalens simuliert; Kartoffeln und Zuckerrüben aufgrund ihrer besonderen regionalen Bedeutung nur für die Boden-Klimaräume Köln-Aachener Bucht und Rheinland/

Südliches Münsterland. Ein Teil der errechneten Ergebnisse lässt sich durch die unterschiedlichen Modellannahmen erklären. Von Bedeutung für die Ertragsergebnisse waren außerdem die simulierte steigende Kohlendioxidkonzentration der Atmosphäre und der simulierte Temperaturanstieg.

Die auf der Basis des statistischen Klimamodells (WettReg) errechneten Veränderungen der Silomaiserträge im Prognosezeitraum (Abb.13) bewegen sich im einstelligen Prozentbereich (bis zu zehn Prozent Zuwachs in der Eifel), wenn die Kohlendioxiddüngung außer Acht gelassen wird. Vier von neun Boden-Klimaräumen könnten nach den Modellergebnissen geringfügige, statistisch nicht abgesicherte Ertragseinbußen erleiden. Die auf Grundlage des dynamischen Klimamodells berechneten Ertragsänderungen sind ähnlich, allerdings sind die Effekte vor allem für die Eifel deutlich schwächer. Wesentliche Ertragsminderungen durch die zugrunde gelegten zukünftigen Klimabedingungen sind danach für Silomais nicht zu erwarten.

Die Simulationsrechnungen für Körnermais ergeben ein ähnliches Bild. Zuckerrüben und Kartoffeln werden, wenn lediglich der Temperaturanstieg berücksichtigt wird, mit Änderungen im einstelligen Prozentbereich prognostiziert (in der Nähe der Relevanzschwelle).

**Abbildung 13:**  
Mittlere relative Veränderungen der Silomaiserträge im Zeitraum 2021 bis 2050 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1971 bis 2000, Klimaszenarien „A1B“ und „B1“, simuliert mit dem Klimamodell WettReg, mit und ohne Berücksichtigung der Erhöhung der atmosphärischen Kohlendioxidkonzentration.  
(Quelle: Burkhardt und Gaiser 2010)



Unter Berücksichtigung der Kohlendioxiddüngung und der Klimadaten des statistischen Modells ergeben sich für Silomais leichte Ertragszuwächse im Rahmen des „A1B“-Emissionsszenarios in Teilen des Münsterlandes und Ostwestfalens. Deutlichere Ertragszuwächse werden mit dem dynamischen Modell als Grundlage simuliert.

Mit dem Emissionsszenario „B1“ ergeben sich in den Simulationsrechnungen Ertragszuwächse von bis zu acht Prozent. Das wärmere und durch bessere Kohlendioxidversorgung gekennzeichnete Emissionsszenario „A1B“ wird mit bis zu 13 Prozent Ertragszuwächsen simuliert. Ähnlich, wenn auch mit geringeren Schwankungen, stellen sich die Ergebnisse für Körnermais dar.

#### **Zuckerrüben und Kartoffeln**

Zuckerrüben und Kartoffeln können im Vergleich zu früheren Erntejahren durch die Kohlendioxiddüngung etwas höhere Erträge realisieren. Nach dem dynamischen Modell sind Ertragszuwächse vor allem in der Köln-Aachener Bucht zu erwarten. Die errechneten Ergebnisse schwanken um die statistisch absicherbare Größenordnung (ca. fünf Prozent).

Nach dem statistischen Modell weisen die beiden Boden-Klima-Räume Rheinland/Südliches Münsterland und Köln-Aachener Bucht lediglich im Emissionsszenario „A1B“ Zuwächse über fünf Prozent auf (zwischen acht und zehn Prozent).

**Viel zu buddeln:  
Die Kartoffelerträge  
werden durch die  
CO<sub>2</sub>-Düngung  
voraussichtlich  
steigen.**



## Wie wird sich die Ertrags-sicherheit im Rahmen der erwarteten Klimabedingungen ändern?

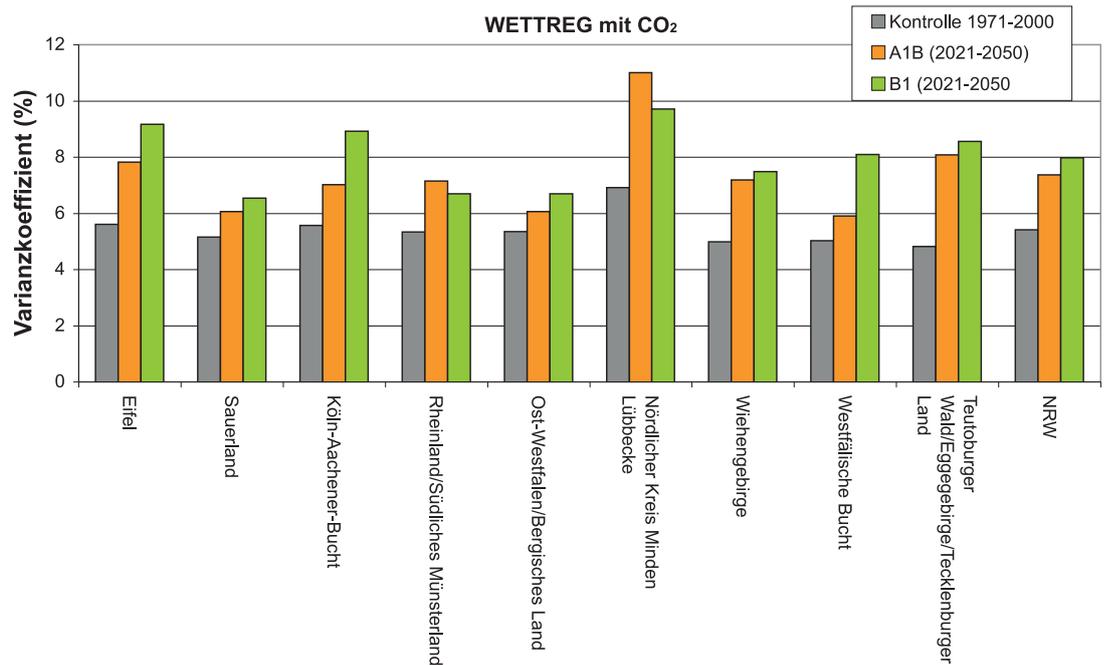
Extremereignisse wie Starkregen, Stürme oder Hagel können lokal zu erheblichen Ertragseinbußen bis hin zu einem Totalverlust der Ernte führen. Obwohl sie bei kleinräumiger Betrachtung ein wesentlicher Faktor für die Ertragssicherheit sind, konnten Extremereignisse nicht berücksichtigt werden. Die Modellsimulationen, welche Mittelwerte über 30-jährige Beobachtungszeiträume ausgeben, differenzieren derart kleinräumige und kurzzeitige Ereignisse nicht.

Die bisherigen Ausführungen legen nahe, dass ein Temperaturanstieg grundsätzlich positive Auswirkungen für die Pflanzenproduktion hat. Phasen mit extremen Sommertemperaturen können allerdings für Pflanzen Stress bedeuten und deren Vitalität einschränken. In Verbindung mit Trockenheit kann dies dann gegebenenfalls den Ertrag erheblich beeinträchtigen. Die Wahrscheinlichkeit von Extremereignissen wie dem Sommer 2003 oder dem April 2007 wird von den Modellen zwar ebenfalls simuliert, lässt sich aber nicht einem bestimmten Jahr zuordnen.

Erwartet wird zudem eine Zunahme von Niederschlagsextremen auch in den eher trockener simulierten Sommermonaten auf Kosten der typischen sommerlichen Landregen. Sowohl die Häufigkeit als auch die Niederschlagsmenge einzelner Ereignisse wie Gewitter, Starkregen oder Hagel werden künftig zunehmen. Mit weiteren Extremereignissen wie Überschwemmungen, Dürren, starken Gewittern oder Stürmen ist zu rechnen. Welchen Einfluss Extremereignissen auf die Ertragssicherheit haben, kann jedoch an dieser Stelle nicht quantifiziert werden. Deshalb ist davon auszugehen, dass die Modelle die Ertragsschwankungen unterschätzen.

Als Maß für die Ertragssicherheit im Prognosezeitraum wurde das Ausmaß der Abweichungen der Einzelergebnisse vom über den gesamten Projektionszeitraum gebildeten Mittelwert herangezogen. Die Schwankungen realer Ernten lagen im einstelligen Prozentbereich bis zirka acht Prozent für das statistische und bis zwölf Prozent für das dynamische Modell. Diese

**Abbildung 14:**  
**Streubreiten der Winterweizen-erträge als Hinweis auf die Ertragssicherheit im Zeitraum 2021 bis 2050 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1971 bis 2000 nach Klimaszenarien „A1B“ und „B1“, Klimamodell WettReg mit Erhöhung der atmosphärischen Kohlendioxidkonzentration.**  
 (Quelle: Burkhardt und Gaiser 2010)



Streubreiten der realen Ergebnisse früherer Jahre können zur Einschätzung der Simulationsergebnisse für den Zeitraum 2021 bis 2050 herangezogen werden. Die Unterschiede in den Simulationsergebnissen des Prognosezeitraums gehen vor allem auf die unterschiedlich simulierten Sommerniederschläge zurück.

### Winterkulturen

Die Darstellung der Winterkulturen erfolgt beispielhaft anhand des Winterweizens (siehe Abb. 14). Die Modellrechnungen mit Daten aus dem statistischen Modell geben für Winterweizen die größeren Streuungen in den Jahren 2021 bis 2050 aus. Für das Emissionsszenario „B1“ errechneten die Simulationsläufe einen Anstieg auf bis zu 9,8 Prozent und für „A1B“ auf bis zu elf Prozent.

Die Streuung der Ergebnisse realer Ernten (Simulation vergangener Jahre) liegt mit sechs bis zwölf Prozent für dynamisch gewonnene Klimadaten etwas höher als in den Modellrechnungen mit statistisch simulierten Klimadaten (vier bis sieben Prozent). Künftig nennenswert steigende Ertragsunsicherheiten wurden in den Simulationen nur für den Boden-Klima-Raum Eifel gefunden.

**Eifel muss mit steigenden Ertragsunsicherheiten rechnen**

Die beiden Modelle bewerten den Einfluss der Sommerniederschläge unterschiedlich. Die von dem statistischen Modell ausgegebenen möglichen Trockenphasen, vor allem während der Kornfüllungsphase, entfallen in den dynami-

schen Projektionen und führen zu geringeren Veränderungen in der Ertragsstabilität bei den Simulationsrechnungen mit den Klimadaten aus dem dynamischen Regionalmodell.

### Sommerkulturen

Die Entwicklungen bei den Sommerkulturen werden am Beispiel des Silomaises gezeigt. Dieser weist in den beiden Szenarien keine klare Tendenz auf. Silomais wies schon bei den Simulationen der Messwerte 2000 bis 2008 eine größere Streuung (bis zu 16 Prozent) als Winterweizen auf. Die Streuung steigt während des Prognosezeitraums im Emissionsszenario „B1“ des statistischen Klimamodells weiter an.

Die Simulationen des Silomaises in den dynamischen Rechnungen zeigen tendenziell eine Verringerung des Ertragsrisikos im Mittel der Jahre 2021 bis 2050. Die im dynamischen Modell gegenüber dem statistischen Modell simulierten höheren Sommerniederschläge können für Silomais in fast allen Boden-Klima-Räumen günstigere Wachstumsbedingungen schaffen, welche das Ertragsrisiko mindern. Dieses Ergebnis stellte sich ähnlich auch bei Winterweizen ein (s. vorheriges Kapitel).

### Pflanzenkrankheiten und -schädlinge

Von Pflanzenkrankheiten und -schädlingen werden im Prognosezeitraum bis 2050 voraussichtlich kaum Gefährdungen der Ertragssicherheit ausgehen, wenn der Pflanzenschutz an die geänderten Gegebenheiten angepasst wird. Erfahrungen mit ähnlichen wie den zu erwartenden Befallsintensitäten gibt es bereits aus anderen Teilen Deutschlands und Europas. Damit verfügt der Pflanzenschutz über erprobte Maßnahmen zur Beherrschung der projizierten höheren Befallswahrscheinlichkeiten.

## In welchen nordrhein-westfälischen Regionen sind besondere Änderungen oder Probleme zu erwarten?

**Winterweizen kann auch in Zukunft in ganz Nordrhein-Westfalen im gewohnten Umfang angebaut werden**

Als landesweit wichtigste Kultur erleidet der Winterweizen in keinem der Boden-Klima-Räume und keinem der beiden Klimaszenarien nennenswerte Ertragsverluste. Unter bestimmten Bedingungen können dagegen sogar Ertragszuwächse realisiert werden. Größere Schwankungen der Ertragssicherheit im Vergleich zur Referenzperiode konnten nur in den Modellrechnungen nachgewiesen werden, die auf dem statischen Regionalklimamodell aufbauten. Damit kann die für Nordrhein-Westfalen wichtigste Kultur auch in Zukunft in gewohntem Umfang angebaut werden.

### Risiken

Stärkere Schwankungen der Ertragssicherheit (mit Klimadaten des statistischen Regionalmodells) zeigten der Nördliche Kreis Minden-Lübbecke sowie die Eifel und der Teutoburger Wald mit Eggegebirge und Tecklenburger Land. In diesen Boden-Klima-Räumen mit ihren teilweise sandigen oder flachgründigen Böden machen sich die Unsicherheiten in der Wasserversorgung bei Sommertrockenheit besonders bemerkbar. Die Ergebnisse des Boden-Klima-Raums Eifel bestätigten sich außerdem in den Simulationen mit Daten aus dem dynamischen Regionalklimamodell.

Der Nördliche Kreis Minden-Lübbecke wies bei Silomais die größten Schwankungen auf, so dass auf seinen sandigen Böden die Ertragssicherheit bis 2050 bereits sinkt und in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts noch größeren Schwankungen unterliegen kann.

**Schwankungen der Ertragssicherheit in Minden-Lübbecke, Eifel und Teutoburger Wald**

Im **Münsterland** erreicht das Infektionsrisiko des Weizens mit dem Pilz *Fusarium graminearum* über den gesamten Prognosezeitraum häufiger als in den anderen Regionen hohe Werte. In Teilen des Münsterlandes können außerdem die maislastigen Fruchtfolgen das Infektionsrisiko erhöhen (BKR Rheinland/Südliches Münsterland und Westfälische Bucht).

**Cercospora-Blattflecken** ist aktuell die dominierende Blattkrankheit bei Zuckerrüben in Nordrhein-Westfalen. Für die meisten Regionen wird das Infektionsrisiko nach den Modellrechnungen nahezu konstant bleiben. In der **Köln-Aachener Bucht**, einem wichtigen Anbauggebiet für Zuckerrüben, nimmt das Infektionsrisiko über den Betrachtungszeitraum hingegen deutlich zu. Vor allem dort werden häufiger frühere Pflanzenschutzmaßnahmen gegen *Cercospora* nötig.

Für **Septoria tritici** des Winterweizens wurde in allen Boden-Klima-Räumen ein zunehmendes Risiko ermittelt. Durch diesen Erreger sind besonders frühe Aussaaten (z.B. im **Sauerland**) gefährdet, denn dann herrschen noch infektiionsfördernde mittlere Temperaturen.

Mikronährstoffe können generell an Bedeutung gewinnen, wenn es zu deutlichen Ertragszuwächsen kommt. Der Zuckerrübenanbau in der **Köln-Aachener Bucht** ist vermutlich hiervon betroffen. Eine ähnliche Situation kann sich für Winterweizen ebenfalls in der Köln-Aachener Bucht und in Teilen des Boden-Klima-Raums **Wiehengebirge** ergeben.

### Chancen

Höhenlagen profitieren von den projizierten höheren Durchschnittstemperaturen. So kann Mais zukünftig in höheren Übergangslagen (etwa von **Eifel** und **Sauerland**) angebaut werden, wenn nicht die Wasserverfügbarkeit oder sonstige Standortbedingungen limitierend wirken. Damit erweitern sich die Anbauoptionen in den bisherigen Grenzlagen des Ackerbaus der Mittelgebirge.

## Schlussfolgerungen und Handlungsmöglichkeiten

Besserer Boden- und Pflanzenschutz, mehr Bewässerung: Die Studien des Landes NRW zeigen erste Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel auf.

**Pflanzenproduktion kann kurzfristig an veränderte Klimabedingungen angepasst werden**

Der Klimawandel bedeutet für die Pflanzenproduktion eine große Herausforderung. Er erfordert Anpassungsmaßnahmen, bietet allerdings auch neue Möglichkeiten. Im Gegensatz zu anderen Handlungsfeldern, die im Rahmen der nordrhein-westfälischen Anpassungsstrategie thematisiert werden (etwa Stadtentwicklung, Wasserwirtschaft oder Waldwirtschaft, wo Anpassungsmaßnahmen jahrzehntelange Zeiträume beanspruchen können), vermag sich die Pflanzenproduktion von Jahr zu Jahr an geänderte Rahmenbedingungen anzupassen. Viele durch den Klimawandel auftretende Schwierigkeiten sind daher handhabbar, für viele Probleme gibt es bereits Lösungen, wie etwa der Einsatz von Sorten mit an ein wärmeres Klima angepassten Ansprüchen oder Anbautechniken.

Die aus den vorgestellten Untersuchungen resultierenden Ergebnisse von Projektionen und Computersimulationen stellen keine Vorhersage der tatsächlichen Entwicklung, sondern lediglich eine plausible Möglichkeit dar. Heute noch nicht bekannte Entwicklungen, darunter unter anderem der Fortschritt in Technik und Züchtung, können die Entwicklung gegebenenfalls in eine andere Richtung lenken.

### Bodenqualität erhalten

Regional unterschiedliche Bodeneigenschaften sind als Eingangsparameter und durch die Festlegung der Boden-Klima-Räume in den Modell-

rechnungen berücksichtigt. Nicht berücksichtigt sind eventuelle Änderungen der Bodenqualität im Laufe der Zeit. Da Böden durch den Klimawandel ebenfalls beeinträchtigt werden, sollten entsprechende Maßnahmen ergriffen werden, um die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten. Die folgenden Abschnitte reißen die wichtigsten Punkte stichwortartig an.

#### **Bodenverdichtung vermeiden**

Die Bodenstruktur ist von entscheidender Bedeutung für die Aufnahme von Wasser. So erleichtert etwa eine lockere Bodenbeschaffenheit zum einen das Versickern von Wasser und damit das Abführen von künftig häufiger durch Starkniederschläge auftretenden Wasserüberschüssen. Zum anderen hat ein wasseraufnahmefähiger Boden die Möglichkeit, mehr Wasser für das Pflanzenwachstum zu speichern. Bodenverdichtung sollte deshalb unbedingt vermieden werden, etwa durch eine reduzierte – oder besser ganz ausbleibende – Befahrung von staunassen Böden.

#### **Humus gezielt aufbauen**

Da höhere Temperaturen das Bodenleben und den Abbau von Humus anregen, wird im Hinblick auf die projizierte Erwärmung die nach den Anforderungen von Cross Compliance (zusätzliche über den Bewilligungstatbestand hinausgehende Verpflichtungen – z.B. Umwelt- oder Tierschutz – bei Zahlung von Fördermitteln) vorgeschriebene, ausgeglichene Humusbilanz noch wichtiger. Bei unterversorgten Böden sollte darüber hinaus zusätzlich Humus aufgebaut werden.

#### **Erosion durch durchgehende Bepflanzung verhindern**

Von größter Bedeutung ist der Erosionsschutz, denn die Zunahme von Starkregenereignissen im Zusammenhang mit dem Klimawandel wird häufiger zu Bodenverlust durch Wassererosion führen. Dem Erosionsschutz und dem Humusvorrat kommt eine möglichst ganzjährige Bodenbedeckung und konservierende Bodenbearbeitung (Mulchsaat oder Direktsaatverfahren)

**Alles locker: Eine gesunde, lockere Humusschicht ermöglicht ein problemloses Versickern auch von starken Niederschlägen und sorgt für gleichbleibend gute Erträge.**





**Feuchtigkeitsspende: Bewässerungssysteme werden vor allem bei sandigen Böden künftig immer häufiger eingesetzt werden müssen.**

zugute. Dem Boden als Pflanzenstandort und Produktionsfaktor sind weitere Veröffentlichungen des Landwirtschaftsministeriums Nordrhein-Westfalen gewidmet. Besonders erwähnt seien die Broschüre „Bodenverdichtung vermeiden – Bodenfruchtbarkeit erhalten und wiederherstellen“ und die im Rahmen der nordrhein-westfälischen Anpassungsstrategie an den Klimawandel erschienene Publikation „Klimawandel und Boden – Auswirkungen des Klimawandels auf den Boden als Pflanzenstandort“.

## Wassermangel ausgleichen

Bewässerung kann, speziell bei Sandböden oder an flachgründigen Standorten mit geringer Wasserspeicherfähigkeit, in einzelnen Fällen bereits in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts eine sinnvolle Option zur Ausschöpfung der höheren Ertragserwartungen oder zur Sicherung des Ertrags sein. In der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts wird der Bewässerungsbedarf dann nach den Modellrechnungen in Teilen von Nordrhein-Westfalen definitiv zunehmen – vor allem in Regionen mit Sandböden, welche nicht durch in der Nähe der Wurzelzone anstehendes Grundwasser mit Wasser versorgt werden können. Die Modelle simulieren für diesen Zeitraum einen Rückgang der Sommerniederschläge um bis zu 30 Prozent. Der Wassermangel kann durch höhere Mittel- und Extremtemperaturen noch intensiver ausfallen.

**Bewässerung als zusätzliche Option in den Modellrechnungen**

Die Modellierung des Pflanzenwachstums wurde auch mit Bewässerung als zusätzlichem Modellparameter durchgeführt. Es zeigte sich eine Abhängigkeit der Ergebnisse von den Emissionsszenarien und Klimaprojektionen sowie von den lokalen Bodeneigenschaften. Die

optimale Wasserversorgung bewirkte in allen betrachteten Boden-Klima-Räumen im Zusammenhang mit dem Emissionsszenario „A1B“ (also dem wärmeren Szenario mit den stärker ansteigenden atmosphärischen Kohlendioxidkonzentrationen) einen Ertragszuwachs bei Winterweizen von im Mittel 22 Prozent. Werden nur die Kohlendioxiddüngung und die Erwärmung, nicht aber die optimale Bewässerung berücksichtigt, so errechnen die Modellsimulationen einen durchschnittlichen Ertragszuwachs von zirka elf Prozent.

Mit dem Emissionsszenario „B1“ (geringfügigere Erwärmung und Anstieg der Kohlendioxidkonzentrationen) waren die Ertragszuwächse der meisten Boden-Klima-Räume im Mittel weniger deutlich (plus 13 Prozent). In der Westfälischen Bucht wurden keine Zuwächse durch zusätzliche Bewässerung in den Simulationen errechnet.

Ökonomisch interessanter für Bewässerungsmaßnahmen als Winterweizen sind Mais, Zuckerrüben oder Kartoffeln. Die Simulationsergebnisse lassen für Silomais im Emissionsszenario „A1B“ mit zusätzlicher Bewässerung und bei Berücksichtigung der ansteigenden Kohlendioxidkonzentrationen Ertragssteigerungen von über 20 Prozent erwarten. In den Boden-Klima-Räumen Sauerland, Eifel und Teutoburger Wald/Eggegebirge/Tecklenburger Land ergaben die Simulationen Ertragszuwächse von über 30 Prozent. Allerdings ist gerade in diesen Gebieten die Verfügbarkeit von Bewässerungswasser sehr begrenzt.

Mit dem Emissionsszenario „B1“ kommt bei Silomais ein Effekt zum Tragen, der sich schon in den Ergebnissen für Winterweizen andeutete. Da die Klimaprojektionen nach dem Emissionsszenario „B1“ mit tendenziell zunehmenden Niederschlagssummen rechnen, tritt der Effekt der Bewässerung hinter den des „A1B“-Szenarios zurück. In einigen Boden-Klima-Räumen mit zur Vernässung neigenden oder staunässegefährdeten Böden (z.B. Westfälische Bucht, Rheinland/Südliches Münsterland) wurden leichte Ertragsrückgänge simuliert.

Aufgrund des Aufwandes wird Bewässerung auch zukünftig nur in wenigen Kulturen (Kartoffeln, Gemüse, ggf. Zuckerrüben und Mais) eingesetzt werden. Klassische Bewässerungsgebiete sind die Köln-Aachener Bucht, der



**Versuch macht klug:  
Um weiterhin stabile  
Erträge zu sichern,  
gilt es, früher oder  
später reife Sorten  
zu testen und  
anzubauen.**

(im Bild: Sortenberatung der Landwirtschaftskammer NRW in der Voreifel 2010)

Niederrhein oder Teile der Westfälischen Bucht. Grundwassernahe Böden, wie sie etwa in Teilen der Boden-Klima-Räume Westfälische Bucht und Nördlicher Kreis Minden Lübbecke vorkommen, zeigten einen schwächeren Ertragszuwachs durch Bewässerung. Dort ist der Aufwand in der Regel nicht gerechtfertigt. Zur Vernässung neigende und staunässegefährdete Böden, wie sie im Rheinland auftreten, wiesen bei zusätzlicher Bewässerung des Silomaises im Emissionsszenario „B1“ Ertragseinbußen auf.

## Sortenwahl anpassen

Eine weitere in den Simulationen berücksichtigte Anpassungsmaßnahme besteht in der Verwendung von früher oder später reifen Sorten.

## Winterkulturen

Die Entwicklung von Winterkulturen könnte aufgrund der deutlich steigenden Mittelwerte der Temperatur schneller ablaufen. Eine derart verkürzte Wachstumszeit hätte unter Umständen eine geringere Biomassebildung zur Folge. Deshalb wurde in Simulationsläufen zusätzlich das Wachstum von mittelspäten oder späten Sorten in den Emissionsszenarien „A1B“ und „B1“ getestet. Diese Sorten benötigen von der Aussaat bis zur Ernte eine höhere Temperatursumme (Summe der Tagesmitteltemperaturen dieses Zeitraums).

Winterweizen, Wintergerste, Winterraps und Triticale wurden mit 200 Grad Celsius höheren Temperatursummen simuliert, was in den Niedriglagen unter den heutigen Temperaturbedingungen einer Verzögerung der Reifezeit von zirka elf Tagen entsprechen würde. Im wärmeren und mit höheren Temperatursummen berechneten Emissionsszenario „A1B“ zeigte sich in allen untersuchten Boden-Klima-Räumen bei allen Kulturen ein weiterer Ertragszuwachs. Weniger eindeutig ist dies für das Szenario „B1“: Ein nennenswert höherer Ertrag wurde für den Boden-Klima-Raum Eifel und Winterweizen ermittelt. Bei den anderen Winterkulturen ergeben sich für dieses Szenario nur geringe Effekte. Weitere Erkenntnisse zum Einsatz späterer Sorten unter den Klimabedingungen von „B1“ könnten aus Simulationen mit flexiblen Ernteterminen gewonnen werden. Grundsätzlich ist dieser züchterische Ansatz eine vielversprechende Maßnahme.

## INFO UNTERSUCHUNGSVORHABEN ZUR KÜNFTIGEN REGIONALEN WASSERVERFÜGBARKEIT

In einem aktuellen Projekt des Landes Nordrhein-Westfalen werden die Regionen Nordrhein-Westfalens identifiziert, in denen nicht genügend Grundwasser zur Versorgung landwirtschaftlicher Kulturen zur Verfügung steht. In einem ersten Teilschritt soll das Projekt **„Ermittlung des regionalen Bewässerungsbedarfs für die Landwirtschaft“** die Gemeinden mit dem voraussichtlich höchsten Wasserbedarf für die Pflanzenproduktion ermitteln. Erfasst werden die potenzielle Beregnungsbe-

dürftigkeit und Beregnungswürdigkeit von landwirtschaftlichen Kulturen auf Gemeindeebene. Anschließend sollen diese Ergebnisse mit Resultaten einer weiteren Studie zur „Prognose der Grundwasserneubildung unter dem Einfluss des Klimawandels“ abgeglichen werden. Dies wird Hinweise darauf liefern, wo die zu erwartende Grundwasserneubildung nicht ausreicht, um den Bewässerungsbedarf des Pflanzenbaus zu decken.

### Sommerkulturen

Unter den Sommerungen wirkt sich eine Verlängerung des Wachstumszyklus für Wurzel- und Knollenfrüchte in der Regel positiv auf den Ertrag aus. In den Simulationen wurde deshalb Zuckerrübe mit einer um 200 Grad Celsius höheren Temperatursumme gerechnet. Die Modellrechnungen zeigten im Emissionsszenario „A1B“ am Beispiel der Zuckerrübe in den Boden-Klima-Räumen Rheinland/Südliches Münsterland und Köln-Aachener Bucht, dass eine Erhöhung der Temperatursumme den Ertrag tendenziell steigern könnte, da eine längere Wachstumszeit eine längere Zuckereinlagerung ermöglicht.

## Gegen Extremereignisse absichern

Gefahren durch Extremereignisse können durch pflanzenbauliche Strategien reduziert werden. Finanzielle Absicherung kann eine zusätzliche Option sein. Die finanzielle Absicherung kann Ernteauffälle nicht verhindern, aber einen geldwerten Ausgleich schaffen. Es könnte in Zukunft notwendig werden, die heutzutage hauptsächlich auf Hagelereignisse beschränkten Versicherungen auf weitere Extremereignisse wie Trockenheit oder Starkregen auszuweiten (Mehrgefahrenversicherung). Die pflanzenbaulichen Möglichkeiten umfassen Sorten- und Artenwahl, die Diversifizierung des Fruchtartenspektrums sowie den Bodenschutz, auf die im nächsten Abschnitt eingegangen wird.

**Bild der Verwüstung: Extremwetterereignisse wie Hagel drohen künftig häufiger ganze Ernten zu vernichten.**



## Gute Landwirtschaftliche Praxis als Startpunkt für eine Klimawandel angepasste Pflanzenproduktion

Die Ausführungen dieser Broschüre haben gezeigt, dass die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion mit Problemen und Anpassungsbedarf rechnen muss. Viele Probleme lassen sich allerdings lösen. Im Folgenden sind einige mögliche Maßnahmen zur Anpassung zusammengefasst:

- Prinzipiell könnte eine Vorverlegung der Saatzeitpunkte von Sommerungen eine längere Entwicklungszeit mit höheren Erträgen oder mehr Zeit für Folgekulturen sicherstellen. Allerdings können künftig im Frühjahr trotz steigender Durchschnittstemperaturen Minimaltemperaturen herrschen, die eine frühe Aussaat verhindern, so dass diese Option in vielen Landesteilen nicht zur Verfügung stehen wird.
- Innerhalb der Fruchtfolgegestaltung ist ein möglichst breites Fruchtartenspektrum anzustreben. Das verringert die Auswirkungen von Ernteauffällen bei einzelnen Früchten und kann weitere Aspekte wie die Integration von Gründüngung und Zwischenfrüchten und möglichst ganzjährige Bodendeckung einschließen.
- Bodenfruchtbarkeit: Auf Erosionsschutz (ganzjährige Bodenbedeckung, ggf. Mulch- und Direktsaatverfahren), eine ausgeglichene Humusbilanz und den Erhalt der Bodenstruktur ist zukünftig noch mehr zu achten.
- Sortenwahl: Die Anfälligkeit gegenüber Schädlingen variiert von Sorte zu Sorte. Der Einsatz von hitze- und trockenangepassten Sorten kann regional sinnvoll sein. Die gezielte Verwendung früher und später reifender Sorten eröffnet weitere Möglichkeiten, den Ertrag im Rahmen der geänderten Klimabedingungen zu optimieren (siehe Seite 28).
- Kulturführung: Die Modellrechnungen setzen eine optimierte Kulturführung voraus. Eventuell ausgewiesene Ertragssteigerungen können nur dann in der Praxis erzielt bezie-

**Frühere Erntezeitpunkte ermöglichen unter Umständen den Anbau von Zweitkulturen**

hungsweise stagnierende Erträge vermieden werden, wenn Pflanzenernährung und Pflanzenschutz den Anforderungen entsprechend vorgenommen werden (siehe unten).

- Erwartete frühere Erntezeitpunkte bieten grundsätzlich die Möglichkeit, Zweitkulturen anzubauen. Inwieweit dies in den unterschiedlichen Regionen Nordrhein-Westfalens im Hinblick auf die Wasserversorgung praktikabel ist, bleibt abzuwarten.
- Für alle untersuchten Schädlinge und Pilze gibt es etablierte Behandlungsverfahren, die für die Befallsintensitäten, welche unter den projizierten Klimabedingungen zu erwarten sind, einen ausreichenden Schutz gewähren. Neben den Pflanzenschutzmaßnahmen (Fungizide, Insektizide) gibt es für einige der hier genannten Schadursachen weitere Vermeidungsmöglichkeiten, wie

**Schädlingsbefall durch sorgfältige Fruchtfolgenwahl und Bodenbearbeitung vermeiden**

- Wahl der Fruchtfolge; manche Erkrankungen können von der Vor- auf die Folgefrucht übergehen, was wiederum im Zusammenhang steht mit der
- Bodenbearbeitung. In einigen Fällen können Krankheiten von nicht untergepflügten Resten der Vorfrucht auf die aktuelle Kultur übertragen werden (siehe unten). Hier ist eine geänderte Fruchtfolge oder eine intensivere Bodenbearbeitung hilfreich (die dann auch im Sinne des Bodenschutzes optimiert werden sollte).

## Pflanzenernährung und Pflanzenschutz optimieren

Für Wintergetreide lassen die Modellrechnungen teilweise deutliche Ertragssteigerungen erwarten. Dabei gehen die Modelle von optimaler Düngung und optimalem Pflanzenschutz aus. Optimale Kulturführung ist damit die Voraussetzung dafür, dass die Ertragserwartungen in der Praxis erfüllt werden. Wo die Modellrechnungen Erträge von annähernd zehn Tonnen pro Hektar bei Winterweizen oder mehr als 60 Tonnen bei Zuckerrüben in Aussicht stellen, können nicht nur Makronährstoffe (wie Stickstoff), sondern auch Mikronährstoffe (etwa Bor oder Molybdän) wachstumslimitierend werden und müssen gegebenenfalls gedüngt werden.

Die Halmbruchkrankheit (*Pseudocercospora herpotrichoides*) des **Winterweizens** tritt vor allem in Fruchtfolgen mit reduzierter Bodenbearbeitung auf. Bleiben Stoppelreste von infizierten Pflanzen im Boden stehen (Fruchtfolgen mit hohem Getreideanteil), so kann der Pilz an diesen überdauern und nachfolgende Kulturen infizieren. Besonders frühe Aussaaten sind gefährdet, da der Pilz mehr Zeit hat, in den Stängel einzuwachsen. Hier kann eine Anpassung der Bodenbearbeitung in Betracht gezogen werden.

Eine Infektion des Winterweizens mit *Fusarium graminearum* wird neben den Klimabedingungen durch die Fruchtfolge und Anbaubedingungen gefördert. Vor allem nach Mais als Vorfrucht und bei pfluglos bestellten Feldern (fehlendes Unterpflügen von belasteten Pflanzenresten) besteht ein höheres Infektionsrisiko nachfolgender Weizenkulturen. Eine Anpassung kann in adäquater Bodenbearbeitung nach Maiskulturen oder in einer Fruchtfolge mit höherem Blattfruchtanteil bestehen. Halmbruch und *Fusarium graminearum* wurden in allen Boden-Klima-Räumen während des Prognosezeitraums wiederholt mit bekämpfungswürdigen Befallsintensitäten simuliert.

Im **Kartoffelanbau** besteht bereits heutzutage der Trend, bei Fungizideinsatz gegen Krautfäule auch *Alternaria* mitzuberücksichtigen. In Zeiträumen, die bislang für Fungizide ausgespart wurden, weil sie für Krautfäule irrelevant waren, können in Zukunft *Alternaria*-Behandlungen nötig werden.

Aufgrund der starken Zunahme einiger **Winter-raps**-Schädlinge in den Modellsimulationen sind häufigere Pflanzenschutzmaßnahmen wahrscheinlich. Dies gilt vor allem an Standorten, wo heutzutage noch weniger Anwendungen erfolgen. In einzelnen Jahren könnten diese Anwendungen außerdem zu gegenwärtig nicht üblichen Zeitpunkten notwendig werden.

Zukünftig kann sich die Notwendigkeit ergeben, die derzeitigen Schwellenwerte, ab denen eine Behandlung gegen die adulten Käfer des **Raps**-erdflöhs erfolgt, herabzusetzen, wenn, wie zu erwarten, aufgrund der für ihn günstigeren Klimabedingungen künftig im Herbst mehr Eier und Larven auftreten sollten.

**Gefräßige Gesellen:**  
Die Zunahme von Rapsschädlingen wie dem Rapsglanzkäfer und der Kohlschotenrüssler macht verstärkte Pflanzenschutzmaßnahmen notwendig.



## Fazit und Ausblick

Den in dieser Broschüre vorgestellten Studien liegen Modellsimulationen zugrunde, die ein vereinfachtes Abbild der Realität liefern. Dennoch lässt sich mit hoher Sicherheit sagen, dass sich das Klima in den nächsten Jahrzehnten ändern wird und sich dadurch neue Rahmenbedingungen für den Pflanzenbau ergeben werden.

Von Bedeutung für die zukünftigen Ertragsbewertungen sind die atmosphärischen Kohlendioxidkonzentrationen, der Anstieg der mittleren Temperaturen und die Wasserversorgung im Sommer, wodurch sich neue pflanzenbauliche Möglichkeiten ergeben könnten. Durch die höheren Temperaturen könnte zum Beispiel ein Zweitfruchtanbau oder ein Ausweiten der Pflanzenproduktion in den Höhenlagen der Mittelgebirge möglich werden. Die höhere Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre fördern voraussichtlich das Pflanzenwachstum.

Wenn der positive Effekt der Kohlendioxiddüngung wie angenommen zum Tragen kommt, ist bis zum Jahr 2050 eher mit Ertragssteigerungen zu rechnen und die Ertragssicherheit wird in den meisten Boden-Klima-Räumen nicht nennenswert zurückgehen (ausgenommen sandige und flachgründige Böden). In der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts werden allerdings

die häufiger und länger anhaltenden Trockenperioden verstärkte Anpassungsmaßnahmen notwendig machen. Dazu gehören unter anderem eine verstärkte Bewässerung oder die Wahl trockenresistenterer Sorten.

Zudem ist mit häufiger auftretenden Extremereignissen wie Dürren, Gewitter, Hagel, Starkniederschläge oder Stürme zu rechnen, die unter anderem zu Überflutungen oder einer verstärkten Bodenerosion und lokal zu einem Totalverlust der Ernte führen können. In gewissem Rahmen ist eine Vorsorge zur Minderung der Auswirkungen solcher Extremereignisse möglich. Anpassungsmaßnahmen existieren bisher allerdings lediglich in Teilbereichen wie Erosionsschutz, Diversifizierung von Fruchtfolgen, Sorten- und Artenwahl und in Form finanzieller Absicherung.

Die Ertragsentwicklung oder -sicherheit beeinflussende Parameter wie Extremereignisse oder der Fortschritt in Technik und Züchtung konnten in den Modellrechnungen nicht berücksichtigt werden. Grundsätzlich lässt sich aber heute schon prognostizieren, dass mit weiterentwickelten Anbaustrategien sowie züchterischem und technischem Fortschritt künftig weitere Möglichkeiten zur Stabilisierung oder Steigerung der Erträge zur Verfügung stehen werden.

**Dem Maiszünsler keine Chance: Der nach NRW eingewanderte Schädling kann mit moderner Ausrüstung mechanisch bekämpft werden.**



Ein wesentlicher Bestandteil der Weiterentwicklung von Techniken und Beratungsmöglichkeiten sind die folgenden Aktivitäten des Landes Nordrhein-Westfalen:

- Humusmonitoring (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW und Landwirtschaftskammer NRW)
- Erosionsschutzberatung (Landwirtschaftskammer NRW und lokale untere Bodenbehörden)
- Förderung erosionsmindernder Anbauverfahren (Landwirtschaftskammer NRW), Fortentwicklung von Verfahren zur schonenden Bodenbewirtschaftung (Landwirtschaftskammer NRW, Fachhochschule Südwestfalen)
- Ermittlung der Gefährdung landwirtschaftlicher Böden durch Regenerosion (untere Bodenbehörden, Geologischer Dienst NRW)
- Projekte „Ermittlung des regionalen Bewässerungsbedarfs für die Landwirtschaft“ sowie „Prognose der Grundwasserneubildung unter dem Einfluss des Klimawandels“

Darüber hinaus besteht weiterer Forschungsbedarf, so zum Beispiel zur Übertragbarkeit der Wirkungen der Kohlendioxiddüngung in der Praxis und deren Übertragung in die Pflanzenwachstumsmodelle, zur Optimierung der Verwendung von Sorten mit alternativen Temperatursummen oder den Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf den Ertrag.

Auch in Zukunft wird der Schwerpunkt der nordrhein-westfälischen Landwirtschafts-, Umwelt- und Klimapolitik vor allem auf der Verringerung der Treibhausgasemissionen des Landes liegen – etwa durch den Ausbau der erneuerbaren Energien oder der Steigerung der Energieeffizienz. Gleichzeitig gilt es allerdings, sich in der Landwirtschaft und anderen Lebens-, Umwelt- und Wirtschaftsbereichen aktiv auf die Folgen des nicht mehr vermeidbaren Klimawandels vorzubereiten. Mit den in dieser Broschüre vorgestellten Studienergebnissen hat die Landesregierung dazu einen wichtigen Beitrag geleistet.

# Anhang

## Literatur

**Burkhardt J., Gaiser T. (2010):** Modellierung der Folgen des Klimawandels auf die Pflanzenproduktion in Nordrhein-Westfalen, Abschlussbericht, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz der Universität Bonn, Abteilung Pflanzenernährung (INRES-PE); Bonn.

**LANUV NRW (2011):** Klima und Klimawandel in Nordrhein-Westfalen - Daten und Hintergründe. LANUV-Fachbericht 27; Düsseldorf.

**MKULNV NRW (2011):** Klimawandel und Wasserwirtschaft - Maßnahmen und Handlungskonzepte in der Wasserwirtschaft zur Anpassung an den Klimawandel; Düsseldorf.

**MKULNV NRW (2011):** Auswirkungen des Klimawandels auf den Boden als Pflanzenstandort; Düsseldorf.

**MUNLV NRW (2009):** Anpassung an den Klimawandel – Eine Strategie für Nordrhein-Westfalen; Düsseldorf.

**MUNLV NRW (2009):** Umweltbericht Nordrhein-Westfalen 2009; Düsseldorf.

**Rossberg, D., et al. (2007):** Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland, Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst, 59 (7), pp 155 - 161; Braunschweig.

**Straub, W., Sträter, E. und Wurzler, S. (2010):** Die Klimaentwicklung in NRW – Projektionen für das 21. Jahrhundert. Natur in NRW Nr. 2/2010, 35-37; Recklinghausen.

**Volk T. (2010):** Klimawandel in Nordrhein-Westfalen – Auswirkungen auf Schädlinge und Pilzkrankheiten wichtiger Ackerbaukulturen, Abschlussbericht, proPlant Gesellschaft für Agrar- und Umweltinformatik mbH; Münster.

## Linkliste

**Internetseite des MKULNV NRW zum Klimawandel:**  
<http://www.klimawandel.nrw.de>

**Internetseite des LANUV NRW zum Klimawandel:**  
[http://www.lanuv.nrw.de/klima/home\\_klima.htm](http://www.lanuv.nrw.de/klima/home_klima.htm)

**Internetseite Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen:**  
<http://www.gd.nrw.de>

**Internetseite Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen:**  
<http://www.landwirtschaftskammer.de>

**Umweltindikatoren NRW:**  
<http://www.lanuv.nrw.de/umweltindikatoren-nrw/index.php>

## Projekte im Klimainnovationsfonds NRW

**Studie zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Pflanzenproduktion in Nordrhein-Westfalen:**  
[http://www.umwelt.nrw.de/klima/klimawandel/anpassungspolitik/projekte/landwirtschaft\\_und\\_boden/projektseite\\_02/index.php](http://www.umwelt.nrw.de/klima/klimawandel/anpassungspolitik/projekte/landwirtschaft_und_boden/projektseite_02/index.php)

**Studie zu den Auswirkungen des Klimawandels auf Krankheiten und Schädlinge im Ackerbau:**  
[http://www.umwelt.nrw.de/klima/klimawandel/anpassungspolitik/projekte/landwirtschaft\\_und\\_boden/projektseite\\_05/index.php](http://www.umwelt.nrw.de/klima/klimawandel/anpassungspolitik/projekte/landwirtschaft_und_boden/projektseite_05/index.php)

**Untersuchung zur Erosionsgefährdung landwirtschaftlicher Böden durch Regen:**  
[http://www.umwelt.nrw.de/klima/klimawandel/anpassungspolitik/projekte/landwirtschaft\\_und\\_boden/projektseite\\_03/index.php](http://www.umwelt.nrw.de/klima/klimawandel/anpassungspolitik/projekte/landwirtschaft_und_boden/projektseite_03/index.php)

**Studie zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Humusgehalte von Ackerflächen in Nordrhein-Westfalen:**  
[http://www.umwelt.nrw.de/klima/klimawandel/anpassungspolitik/projekte/landwirtschaft\\_und\\_boden/projektseite\\_04/index.php](http://www.umwelt.nrw.de/klima/klimawandel/anpassungspolitik/projekte/landwirtschaft_und_boden/projektseite_04/index.php)

**Externe Onlinequellen:**

Erosionsgefährdung landwirtschaftlicher Flächen nach  
Landeserosionsschutzverordnung (LESchV):

<http://www.erosion.nrw.de/Erosion/indexLEschV.html>

Fachhochschule Südwestfalen, Interdisziplinärer For-  
schungsschwerpunkt „Bodenökologie, Bodenbearbeitung,  
Bodenschutz“:

[http://www3.fh-swf.de/fbaw/abgeschlossene\\_fprojekte\\_ifsboden.htm](http://www3.fh-swf.de/fbaw/abgeschlossene_fprojekte_ifsboden.htm)

Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen  
(IPCC):

<http://www.ipcc.ch/>

Nakicenovic, N., et al.: IPCC Special Report on Emissions  
Scenarios:

<http://www.grida.no/publications/other/ipcc%5Fsr/?src=/climate/ipcc/emission/>

Morita, T., Robinson, J.: Greenhouse Gas Emission  
Mitigation Scenarios and Implications, Working Group III:  
Mitigation, Chapter 2:

<http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg3/pdf/2.pdf>

# Impressum

## Herausgeber und Bezug:

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,  
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen  
Referat Öffentlichkeitsarbeit  
40190 Düsseldorf

## Fachredaktion:

Referat II-5: Pflanzenproduktion, Gartenbau, Nachwachsende Rohstoffe,  
Biomasse (MKULNV)  
Referat VII B-1: Raumordnung und Landesplanung, Flächenverbrauch,  
Klimaanpassung (MKULNV)

## Textentwurf:

Dr. Michael Fröhlich, WDL-EDL Köln

## Fotos:

iStockphoto.com: lauriek (S. 6), slattery613 (S. 7), RelaxFoto.de (S. 10),  
Photoslash (S. 12), AndrewJohnson und AndreasWeber (S. 13), AlesVeu-  
luscek (S. 14), Chris\_Elwell (S. 23), MBCheatham (S. 26), Petegar (S. 27),  
micheldenijs (S. 29); John Deere (S. 18); Landwirtschaftskammer NRW  
(S. 28); Astrid Oldenburg, agrarfotodesign.de (S. 31); CLAAS KGaA mbH,  
Harsewinkel (S. 32)

## Gestaltung:

messitsch Medienpool Köln GmbH, Köln ([www.medienpool.de](http://www.medienpool.de))

## Druck:

Druckerei Gebrüder Kopp GmbH & Co. KG, Köln



1. Auflage, Stand: März 2011

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Landesregierung Nordrhein-Westfalen herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlbewerbern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags- und Kommunalwahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung.

Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

**Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,  
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen**

Schwannstraße 3  
40476 Düsseldorf  
[www.umwelt.nrw.de](http://www.umwelt.nrw.de)

