

# Klimawandel und seine Folgen in Hessen

11

CORNELIA FOKKEN & HELMUT WOLF

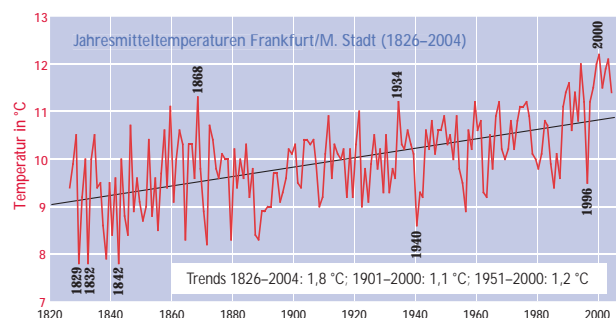
## Einleitung

Das Forschungsprojekt Integriertes Klimaschutzprogramm Hessen 2012 (INKLIM 2012) wurde vom Hessischen Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz (HMULV) im Frühjahr 2004 initiiert und im März 2006 abgeschlossen. Darauf aufbauend hat die hessische Landesregierung inzwischen das Klimaschutzkonzept Hessen 2012 verabschiedet.

INKLIM 2012 bestand aus insgesamt drei Bausteinen. Die Bausteine I und III, die vom HMULV koordiniert wurden, befassten sich schwerpunktmäßig mit der Entwicklung von Szenarien für die Kohlendioxid-Entwicklung in Hessen unter verschiedenen Randbedingungen sowie Vorschlägen für ein Umsetzungsprogramm von Maßnahmen zur Minderung von Treibhausgasen.

Der Baustein II – Klimawandel und Klimafolgen in Hessen – wurde vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) koordiniert und von Sommer 2004 bis Herbst 2005 durchgeführt. Die Unter-

suchungen umfassten zum einen die Klimaänderungen, sowohl die bereits in der Vergangenheit beobachtbaren als auch die für die Zukunft projizierten. Zum anderen wurden die sich daraus ergebenden möglichen Folgen in unterschiedlichen Bereichen abgeschätzt. Die Ergebnisse werden im Folgenden zusammengefasst. Die bearbeitenden Institutionen sind auf Seite 64 aufgeführt.



**Abb. 1:** Jahresmittelwerte der bodennahen Lufttemperatur in Frankfurt/Main (Stadtgebiet), mit Gesamttrend und Trendwerten für verschiedene Zeitintervalle.

## Klimawandel

### Klimaänderungen in der Vergangenheit

Der globale Klimawandel im Industriezeitalter ist eine Beobachtungstatsache; insbesondere der Temperaturanstieg ist zu einem großen Teil auf die umfangreiche Freisetzung klimawirksamer Spurengase (wie Kohlendioxid, Methan und Lachgas) zurückzuführen.

Die in Hessen gemessenen Temperatur- und Niederschlagsdaten aus dem 20. Jahrhundert wurden einer aufwändigen statistischen Analyse unterzogen (Schwerpunkt war der Zeitraum 1951–2000). Dabei wurden Aussagen zur Klimaentwicklung gewonnen, die jahreszeitlich und regional gesehen sehr unterschiedlich verläuft.

Wie die Tabelle zum Temperaturtrend zeigt, wurde es in Hessen in den letzten 50 Jahren durchschnittlich um 0,9 °C wärmer, wozu der Winter am stärksten beitrug. An der Temperaturkurve von Frankfurt (Abb. 1) kann man erkennen, dass die Trendwerte je nach betrachtetem Zeitintervall ungleich ausfallen, was an überlagerten Schwankungen und einzelnen Extremwerten liegt.

**Tab. 1:** Temperaturtrend in Hessen (1951–2000)

| Frühling | Sommer  | Herbst  | Winter  | Jahr           |
|----------|---------|---------|---------|----------------|
| +1,1 °C  | +1,0 °C | +0,2 °C | +1,6 °C | <b>+0,9 °C</b> |

Der Niederschlag weist im Landesdurchschnitt folgenden Trend zwischen 1951 und 2000 auf: In der Jahressumme ist eine Zunahme um 8,5 % eingetreten. Den Zunahmen von 20–25 % im Herbst, Winter und Frühling stehen sommerliche Abnahmen von ca. 18 % gegenüber. Dabei treten große regionale Unterschiede auf; so bewegen sich z. B. die Niederschlagsabnahmen im Sommer je nach Landesteil zwischen ca. 5 % und 30 %.

**Tab. 2:** Niederschlagstrend in Hessen (1951–2000)

| Frühling | Sommer  | Herbst  | Winter  | Jahr          |
|----------|---------|---------|---------|---------------|
| +20,3 %  | -17,8 % | +24,9 % | +22,2 % | <b>+8,5 %</b> |

### Klimaprojektionen für die Zukunft

In diesem Projekt wurden Simulationsrechnungen für das hessische Klima im 21. Jahrhundert (2001–2100) durchgeführt. Bei den Ergebnissen handelt es sich nicht um Klimaprognosen im Sinn von Wettervorhersagen, sondern um Klimaprojektionen, also Aussagen über mögliche Klimaentwicklungen. Beim Umgang mit Klimaprojektionsdaten sollte man sich immer Folgendes vor Augen halten: Die Grundaussagen zu Trends (z. B. eine Temperaturzunahme in Hessen) sind als sehr wahrscheinlich anzusehen. Die Höhe einzelner Projektionen sollte jedoch nicht überbewertet werden, da sie mit einer Unsicherheitsspanne belegt ist. Dafür gibt es hauptsächlich zwei Gründe: Je nach den verwendeten Modellen können unterschiedliche Ergebnisse resultieren. Außerdem basieren Modellrechnungen immer auf Annahmen über die zukünftige wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung (Szenarien) und somit

auch über die Emissionen von Treibhausgasen, deren Richtigkeit sich aber erst in der Zukunft herausstellen wird.

Einige fachspezifische Angaben zur Methode sind nachstehend kurz zusammengefasst.

Ausgangspunkt waren die Daten des globalen Zirkulationsmodells ECHAM4.

Beim Regionalisierungsverfahren handelte es sich um eine wetterlagenbasierte statistische Methode.

Das zugrunde gelegte Szenarium war das sog. B2-Szenarium des Weltklimarats, ein eher moderater Zukunftspfad bezüglich der Entwicklung von Treibhausgas-Emissionen.

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse für die Mitte des 21. Jahrhunderts wiedergegeben. Die angegebenen Änderungsraten stellen dabei immer die Differenz zur Vergleichsperiode 1981–2000 dar.

- Die Tagesmitteltemperatur nimmt im Jahresdurchschnitt um etwa 1,8 Grad zu. Die Erwärmungsrate des Winters liegt dabei deutlich höher; die Temperaturzunahmen in den übrigen Jahreszeiten liegen unter oder in dem Bereich des Jahreswerts. Bei der räumlichen Verteilung sind keine nennenswerten Unterschiede innerhalb Hessens zu beobachten.
- Die Anzahl sehr kalter oder warmer Tage ändert sich stark. Abb. 2 zeigt die voraussichtliche Entwicklung in Gießen. Die sog. Eistage (Maximaltemperatur ( $T_{\max}$ ) unter 0 °C) und auch die Frosttage (Minimaltemperatur unter 0 °C) gehen stark zurück, die Sommertage ( $T_{\max}$  über 25 °C) sowie die heißen Tage ( $T_{\max}$  über 30 °C) nehmen deutlich zu.
- Die Niederschlagsmenge ändert sich nur wenig im Jahresmittel, aber bezogen auf die einzelnen Jahreszeiten merklich. Der Winter wird deutlich feuchter (um ca. 25 %), wohingegen Frühjahr und Sommer (um ca. 10 %) trockener werden; im Herbst sind kaum Änderungen zu erwarten. Im Sommer ist die räumliche Niederschlagsvariabi-

lität sehr groß; der Nordosten und die Mittelgebirge trocknen stärker aus als der Süden.

- Die Niederschlags-Charakteristik ändert sich: Im Sommer steigt trotz zurückgehenden mittleren Niederschlags die Anzahl der Ereignisse mit extremen Niederschlägen an; im Winter sinkt die Tendenz zu Starkniederschlägen hingegen.
- Die Sonnenscheindauer nimmt im Frühjahr und Sommer um eine halbe bis ganze Stunde pro Tag zu.

Die Klimaprojektionsdaten liegen für die einzelnen meteorologischen Stationen auf Tageswertbasis vor. Sie dienen als Eingangsgrößen in den Untersuchungen über mögliche Folgen des Klimawandels, die auf den nächsten Seiten dargestellt werden.

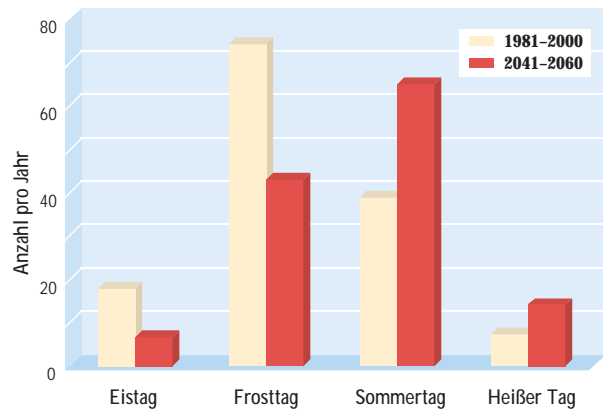
## Folgen des Klimawandels

### Flüsse

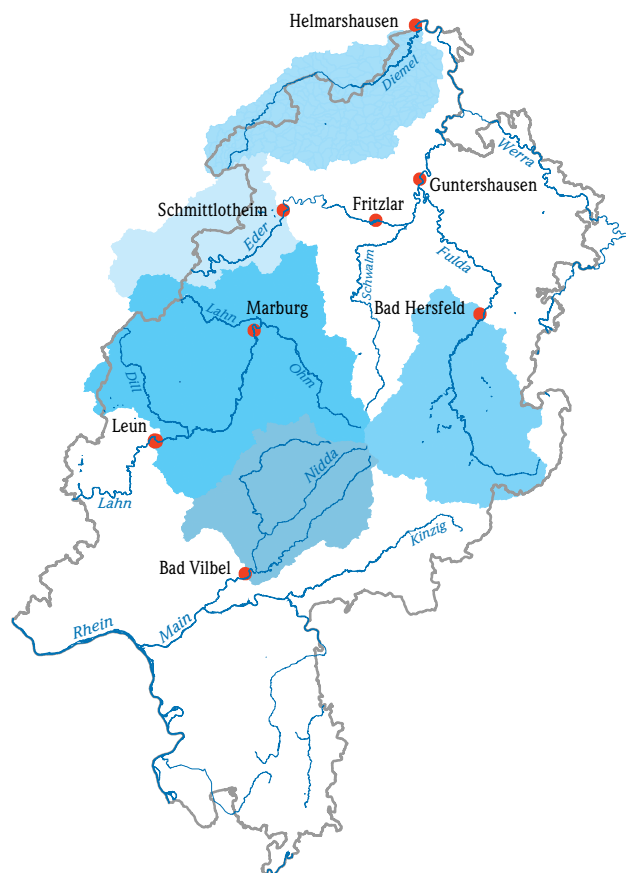
In diesem Teilprojekt wurden mögliche Auswirkungen einer Klimaveränderung auf die Abflussverhältnisse an hessischen Gewässern für den Zukunftszeitraum 2011–2050 untersucht. Hierzu wurde auf ein Wasserhaushaltsmodell zurückgegriffen, das hessische Flussgebiete abdeckt; dieses wurde mit den Klimaprojektionsdaten kombiniert, wodurch zukünftige Abflusszeitreihen auf Tageswertbasis erzeugt wurden.

Generell ist das Abflussverhalten der hessischen Gewässer gekennzeichnet durch höchste Monatsabflüsse von Dezember bis März und danach deutlich abfallende Monatswerte bis in den Spätsommer. Die Klimaprojektionen zeigen für den Niederschlag keine wesentlichen Änderungen seiner jährlichen Gesamtmenge, wohl aber eine deutliche Veränderung seines Jahresgangs: Im Winterhalbjahr ist eine Zunahme, im Sommerhalbjahr eine Abnahme der Niederschlagsmenge zu erwarten.

Hierdurch ergeben sich veränderte gewässerkundliche Kennwerte. In Hessen lassen sich künftig zwei Gruppen von Pegeln unterscheiden, denn die Klimaprojektionen fallen innerhalb Hessens durchaus regional verschieden aus.



**Abb. 2:** Anzahl kalter und heißer Tage in Gießen im Zeitraum 2041–2060 verglichen mit 1981–2000.



**Abb. 3:** Untersuchte Pegel mit ihren Einzugsgebieten.

**Lahn, Nidda, Fulda:** An den Pegeln dieser Gruppe, deren Einzugsgebiete alle im Vogelsberg aneinandergrenzen, nimmt der mittlere langjährige Niedrigwasserabfluss zwischen 10 % und 15 % ab sowie der mittlere monatliche Hochwasserabfluss der Monate Dezember bis Februar um 8–30 % zu.

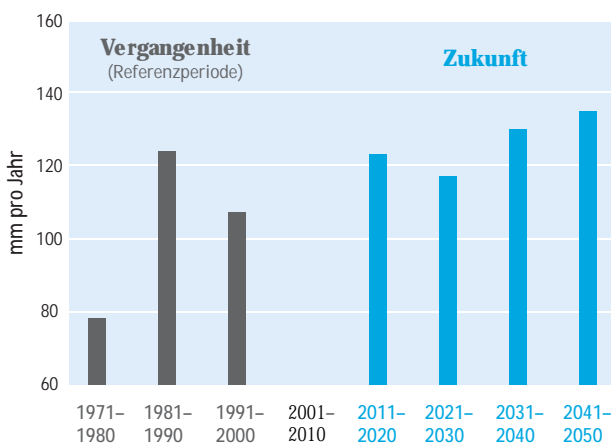
**Eder, Diemel:** Hier sind stärkere Abnahmen des mittleren Niedrigwasserabflusses, aber nur geringe Veränderungen der Hochwasserkenngößen zu erwarten.

Insgesamt deuten die Ergebnisse auf eine Umverteilung im Abflussverhalten hin:

- Mehrabflüsse im Winterhalbjahr mit einer wahrscheinlichen Verschärfung der Hochwassersituation, der durch Beibehaltung und Intensivierung der Anstrengungen zur Verbesserung des Hochwasserschutzes begegnet werden muss.
- Verminderte Abflüsse im Sommerhalbjahr; die Niedrigwasserzustände haben negative Folgen für die Gewässerqualität, die Kühlwasserentnahmemöglichkeit und die Schifffahrt.

## Grundwasser

In diesem Projekt wurden die zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels auf den Grundwasserhaushalt in Hessen untersucht. Die Grundwasserneubildung lässt sich mit einem Bodenwasserhaushaltsmodell in Verbindung mit gebietstypischen



**Abb. 4:** Grundwasserneubildung in Hessen.

Abflussbedingungen berechnen. In diese Modelle wurden die Klimaprojektionsdaten (2011–2050) eingefügt, um zukünftige Grundwasserprozesse zu modellieren.

Bezogen auf Gesamthessen ergibt sich die voraussichtliche Entwicklung, die in Abb. 4 dargestellt ist. Dabei entsprechen die Balken den Dekadenmittelwerten der Grundwasserneubildung (schwarz: Referenzperiode 1971–2000, blau: Zukunftszeitraum 2011–2050).

Insgesamt nimmt die mittlere Grundwasserneubildung um ca. 25 % zu (Mittelwert der Referenzperiode: 101 mm/a, Mittelwert 2011–2050: 126 mm/a). Der Mittelwert des gesamten Zukunftszeitraums überschreitet somit den Wert der Nassdekade 1981–1990; die mittleren Verhältnisse der Zukunft entsprechen also den Feuchtperioden der Vergangenheit.

Für die deutliche Zunahme der Grundwasserneubildung ist die Verlagerung des Niederschlags vom Sommer- in das Winterhalbjahr verantwortlich, denn die Grundwasserneubildung findet überwiegend in den Wintermonaten statt.

Die Grundwasserneubildungsraten sind regional unterschiedlich ausgeprägt: Fast überall in Hessen nehmen sie zu, lediglich im Nordosten Hessens gibt es Gebiete mit verringerter Grundwasserneubildung.

Die Erhöhung der Grundwasserneubildung führt auch zu einer Erhöhung der Grundwasserstände. Als wahrscheinlich wird angenommen, dass sich die bereits vorhandenen Vernässungsflächen ausdehnen werden bzw. die Häufigkeit von Vernässungen in Zukunft zunimmt. Dies kann zu Staunässe bei Ackerflächen, Biotopen und Waldgebieten sowie zu Vernässungsschäden an Gebäuden führen.

## Boden

Im Bereich Bodenschutz wurden im Rahmen einer Vorstudie mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf die Erosion sowie den Boden-Kohlenstoffgehalt betrachtet und erste Abschätzungen gegeben.

Starker Regen, der wahrscheinlich in Zukunft im Sommer häufiger vorkommen wird, ist oft entscheidend für Erosionsereignisse. Mit der sog. Bodenabtragungsgleichung lässt sich die Bodenerosion durch Wasser berechnen. Unter Verwendung der Klimaprojektionsdaten (2011–2050) wurden Berechnungen für zwei verschiedene Fruchtarten (Mais, Winterweizen) durchgeführt. Dabei zeigt sich für Hessen, dass langfristig mit einem Anstieg der Erosion um ca. 10 % zu rechnen ist. Auch ein steigender Maisanbau erhöht den Abtrag, da Maisfelder hohe Erosionsraten aufweisen.

Im Boden sind bedeutende Mengen Kohlenstoff enthalten (weltweit etwa doppelt so viel wie in der Atmosphäre). Die Reaktionsempfindlichkeit von Bodenkohlenstoff auf Klimaänderungen ist jedoch immer noch mit vielen Unsicherheiten behaftet. Es ist zu erwarten, dass das komplexe System der Böden sensibler auf die Klimaerwärmung reagiert als bisher vermutet und durch einen erhöhten mikrobiellen Abbau von organischem Material zusätzliches Kohlendioxid in die Atmosphäre freisetzt. Dieser Fragestellung soll in Folgeprojekten nachgegangen werden.

## Pflanzenentwicklung

Die Pflanzenphänologie befasst sich mit den verschiedenen im Jahresablauf periodisch wiederkehrenden Entwicklungsphasen bei Pflanzen wie Blüte, Frucht reife, Laubverfärbung und Blattfall. So wird z. B. der Beginn des Vorfrühlings durch die Haselnuss- oder auch die Schneeglöckchenblüte angezeigt. Da die Pflanzenentwicklung maßgeblich durch den Temperaturverlauf bestimmt wird, sind phänologische Beobachtungen gut zur Untersuchung der Auswirkungen von Klimaänderungen geeignet.

Vom Deutschen Wetterdienst werden in Hessen ca. 550 phänologische Beobachtungsstationen geführt. Die Daten von 170 dieser Stationen wurden im Hinblick auf die zeitliche Entwicklung in den letzten Jahrzehnten (1961–2000) statistisch ausgewertet.

Die Ergebnisse für Hessen sind in Abb. 5 wiedergegeben: Mit der sog. phänologischen Uhr lassen sich

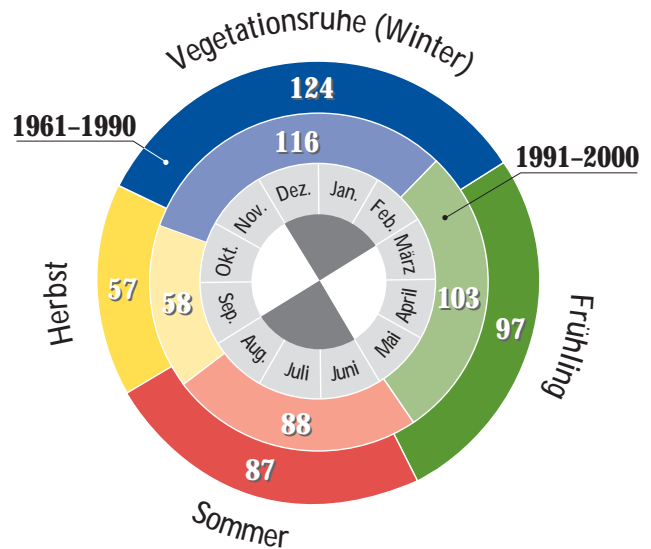


Abb. 5: Phänologische Uhr für Hessen.

die jahreszeitlichen Verschiebungen gut darstellen. Der innere Ring zeigt die phänologischen Jahreszeiten in der Dekade 1991–2000, der äußere die im Vergleichszeitraum 1961–1990; die Zahlen beschreiben die Länge der jeweiligen Jahreszeit in Tagen. Die grauen und weißen Sektoren in der Mitte der Uhr stellen die (klimatologischen) Jahreszeiten dar.

Deutlich sichtbar ist die Verfrühung der phänologischen Jahreszeiten, die am stärksten im Frühjahr ausgeprägt ist (14 Tage früher). Auch die Dauer der Jahreszeiten hat sich verändert: Die Vegetationsruhe (Winter) hat sich um acht Tage verkürzt; dementsprechend hat sich die Vegetationsperiode um acht Tage verlängert.

Es muss aber darauf hingewiesen werden, dass es große regionale Unterschiede bei der Pflanzenentwicklung innerhalb Hessens gibt. So setzt der Frühling 1991–2000 je nach Landesteil um 3–26 Tage früher ein als 1961–1990.

Mit Hilfe von Modellen wurde unter Verwendung der Klimaprojektionsdaten die zukünftige Pflanzenentwicklung abgeschätzt. Für das Marburg-Gießener-Lahntal wird eine weitere Vorverlagerung des Frühjahrbeginns um zwei Wochen in den nächsten 50 Jahren erwartet.

## Forstwirtschaft

Für eine Betrachtung von Wirkungen der künftigen Klimaentwicklung auf den Wald wurde methodisch das Stichprobennetz der Waldzustandserfassung zu Grunde gelegt. Es umfasst mit einem 4 km × 4 km-Netz insgesamt 540 Messpunkte und ist für die Verteilung der Standorte und Baumarten in Hessen repräsentativ. Die Klimaprojektionsdaten (2011–2050) wurden auf das Rasternetz übertragen, um auf die Weise zukünftige Forstbedingungen zu simulieren.

Der forstliche Standort ist eine wichtige ökologische Grundlage für die Wahl der naturnahen Baumarten. Verschiedene Elemente des forstlichen Standorts sind durch Klimaänderungen beeinflussbar. Dies gilt insbesondere für die Wuchszone, die die Gliederung der Waldstandorte nach Höhenzonen darstellt und sich durch die mittlere Temperatur in der Vegetationszeit beschreiben lässt.

Ein Vergleich der Häufigkeitsverteilungen des hessischen Waldes nach Wuchszonen zwischen heute und der Dekade 2041–2050 zeigt eine deutliche Abnahme der Waldzonen der höheren Mittelgebirge zu Gunsten der Waldzonen der Tieflagen. Mitte des 21. Jahrhunderts dürften danach ca. 95 % der hessischen Waldfläche den (in Tieflagen wachsenden) Eichen-Mischwaldzonen zuzuordnen sein, also Standorten, die nach ihrer Temperatur den heutigen Tieflagen in Hessen zuzurechnen wären, aber im Vergleich dazu sehr viel mehr Niederschläge erwarten lassen.

Verändern sich die Standortbedingungen, hat dies auch Auswirkungen auf die Ökologie der Baumarten und deren ökonomische Bewertung. Für einzelne Baumarten werden folgende Voraussagen für Hessen und die Mitte dieses Jahrhunderts getroffen:

- Die Mehrzahl der bestehenden Buchen-Standorte wird auch künftig für den Buchen-Anbau geeignet sein.
- Der Anteil der für Kiefern geeigneten Flächen ändert sich nur wenig.
- Bei der Eiche bleibt der Anteil der heute geeigneten Standorte relativ konstant.
- Der Anteil der den betrieblichen und ökologischen Zielen entsprechenden Standortbereiche für die Fichte wird sich reduzieren.

Die Untersuchung hatte den Charakter einer Vorstudie; so wurden beispielsweise mögliche Einflüsse von Extremereignissen wie Sturmwurf oder Massenbefall durch Schadinsekten nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse lassen dennoch einen möglicherweise erheblichen Einfluss der projizierten Klimaänderung auf den hessischen Wald erkennen. In weiteren Arbeiten sollen die Auswirkungen sowie zu empfehlende Anpassungsmaßnahmen näher untersucht werden. Einen Schutz gegenüber ökologischen Änderungen bietet insbesondere ein artenreicher Mischwald. Dabei ist sowohl Nadelbaumarten wie Douglasie als auch heute eher seltenen Laubbaumarten eine höhere Bedeutung zuzuordnen.

## Landwirtschaft

In dieser Untersuchung wurden mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf landwirtschaftliche Erträge im Zeitraum 2001–2050 analysiert. Hierzu wurde ein komplexes Modell benutzt, mit dem sich die Pflanzenproduktivität simulieren lässt. Unter Einbeziehung der Klimaprojektionsdaten ließ sich die zukünftige Ertragsituation in der hessischen Landwirtschaft abschätzen.

Die wichtigsten in Hessen angebaute Feldfrüchte sind Futtermais, Wintergerste, Wintererbsen, Winterweizen und Zuckerrüben. Abb. 6 zeigt die zu erwartende Ertragsentwicklung.

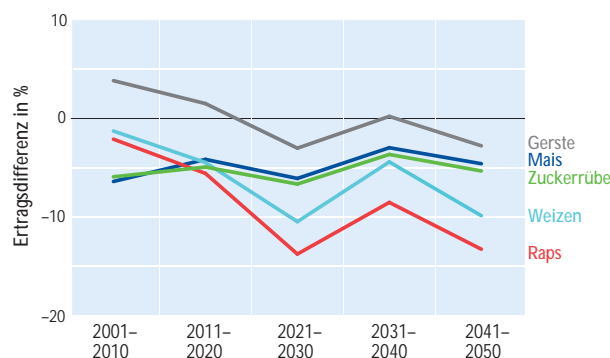


Abb. 6: Ertragsänderungen in Hessen relativ zu 1980–2000.

Im landesweiten Durchschnitt ist mit leicht abnehmenden Erträgen zu rechnen: Die Ertragsrückgänge sind am stärksten bei Raps (–14 %) ausgeprägt, gefolgt von Weizen (–10 %), während Gerste kaum betroffen ist. Mais und Zuckerrüben nehmen mit einer

Ertragsreduktion von ca. 5 % eine Mittelstellung ein. Anzumerken ist jedoch, dass sich wegen der hohen kleinräumigen Klimavariabilität die Erträge der Feldfrüchte regional recht unterschiedlich entwickeln können, d.h. in manchen Gebieten können durchaus auch Ertragssteigerungen auftreten. Im Gegensatz zu den genannten Feldfrüchten weist Grünland einen Ertragszuwachs von bis zu 10 % auf, wenn keine extrem trockenen Sommer auftreten.

Durch die Zunahme der Häufigkeit extremer Wetterbedingungen nimmt die Variabilität der Erträge zu und damit die Ertragssicherheit für die Landwirte deutlich ab; dies gilt insbesondere für Zuckerrüben, Gerste und Grünland.

Die negativen Klimawirkungen auf die Erträge in Hessen angebaute Feldfrüchte können durch den Anbau geeigneter Sorten, welche an die höheren Temperaturen und trockeneren Sommer angepasst sind, sowie durch veränderte Anbaumethoden voraussichtlich kompensiert werden.

## Weinbau

In dieser Arbeit wurde der Einfluss klimatischer Veränderungen auf den Weinbau in Hessen untersucht. Mit Hilfe verschiedener Abschätzungsmodelle und unter Verwendung der Klimaprojektionsdaten (2001–2100) wurden mehrere für den Wein wichtige Größen berechnet. Dies geschah für die drei Standorte Geisenheim (Rheingau), Frankfurt (östlichstes hessisches Weinbaugbiet) und Gernsheim (Hessische Bergstraße).

Der Temperaturanstieg beeinflusst die phänologische Entwicklung der Rebe: Bereits heute liegt der Austriebstermin in Geisenheim ca. sieben Tage früher als im Durchschnitt der letzten 40 Jahre, die Blüte beginnt 10 Tage früher und der Reifebeginn hat sich bereits 12 Tage nach vorne geschoben. Eine weitere Verfrühung des Austriebs von bis zu einer Woche, eine Verfrühung der Blüte von bis zu 10 Tagen und damit einhergehend eine frühere Reife-phase sowie Weinlese sind zu erwarten.

Die Simulationsberechnungen zeigen deutlich positive Entwicklungen im Bereich des Mostgewichts. Gleichzeitig kommt es aber zu erhöhten Abbauraten der

Äpfelsäure. Langfristig könnte sich der Weincharakter unserer Rebsorten verändern (mehr Alkohol, geringere Säuregehalte und eine veränderte Aromatik).

Durch die projizierte ausgeprägtere Trockenheit im Sommer wird sich das Bodenwassermanagement vor allem in Trockenlagen verändern müssen.

Die Temperaturzunahme beeinflusst die Sorteneignung nachhaltig. In den hessischen Weinbaugebieten könnten in Zukunft andere Sorten angebaut werden als dies bisher der Fall ist.

## Obstbau

In diesem Projekt wurden mögliche Folgen des Klimawandels für den hessischen Obstbau betrachtet. Auf der Basis von Klimadaten und phänologischen Aufzeichnungen des Deutschen Wetterdienstes (1951–2004) wurden Veränderungen in der Entwicklung verschiedener Obstarten untersucht. Wesentliche Entwicklungsphasen der Obstgehölze wie Blühbeginn oder Beginn der Fruchtreife haben sich in den letzten Jahrzehnten zeitlich nach vorne verschoben.

Durch die starke Abhängigkeit der Pflanzenentwicklung von der Temperatur ist es möglich, mit Hilfe eines Temperatursummenmodells und unter Verwendung der Klimaprojektionsdaten die zukünftig zu erwartende Pflanzenentwicklung zu simulieren. Die Ergebnisse weisen auf eine weitere Verfrühungstendenz bei allen Obstarten hin: Bis zur Dekade 2041–2050 ist eine um 10–15 Tage verfrühte Pflanzenentwicklung (gegenüber 2001–2010) zu erwarten.



Abb. 7: Apfelblüte.

Aufgrund des Klimawandels ist auch bei anderen Klimaparametern wie Niederschlag, Wind oder Strahlungsintensität mit Veränderungen zu rechnen. Der Obstbau ist in starkem Maße wetterabhängig und damit immer schon hohen Risiken durch ungünstige oder extreme Wetterereignisse ausgesetzt. Durch den Klimawandel ist jedoch eine Häufung extremer Wetterereignisse zu erwarten, was die Anbau Risiken verschärfen kann.

Für den Obstbau ist der Spätfrost von besonderer Bedeutung, da – ohne Schutzmaßnahmen – bereits einzelne Frostnächte während der Obstblüte zu völligen Ertragsausfällen führen können. Eine erste Abschätzung für die Mitte dieses Jahrhunderts ergab, dass sich im Zeitraum der künftig früher einsetzenden Obstblüte die Anzahl der Spätfroste kaum vermindert, weshalb die Gefahr von dadurch bedingten Ertragseinbußen weiterhin bestehen bleibt.

## Natur/Artenvielfalt

In einer Studie, die auf einer umfangreichen Literatur- und Internetrecherche sowie auf eigenen Arbeiten beruhte, wurden die möglichen und bereits nachweisbaren Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität in Hessen betrachtet. Dabei interessierte die Wirkung klimatischer Veränderungen auf einzelne Arten, auf Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Arten und auf ganze Ökosysteme.

Einige Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität in Hessen sind bereits zu beobachten:

- Die Phänologie von Pflanzen und Tieren, z. B. die Eiablage der Kohlmeise und das Erwachen des Siebenschläfers aus dem Winterschlaf, hat sich in den letzten 30–50 Jahren verfrüht.
- Die Verbreitungsareale vieler Tier- und Pflanzenarten haben sich nach Norden und bezüglich der Höhenlage aufwärts verschoben.
- Wärmeliebende Arten wie die Feuerlibelle sind nach Hessen eingewandert und haben ihre Areale ausgedehnt, während feuchtigkeitsliebende und an kühle Standorte angepasste Pflanzen im Rückzug begriffen sind.

- Die einwandernden Tiere und Pflanzen sind zum Teil gebietsfremd und verändern das Artenspektrum hessischer Lebensräume vermutlich dauerhaft.
- Besonders vom Klimawandel bedroht sind in Hessen feuchte Grünland- und Waldgesellschaften der Mittelgebirge, Moore und alle anderen Feuchtgebiete und Gewässer.

Tiere und Pflanzen sind grundsätzlich in der Lage, auf klimatische Veränderungen zu reagieren: einerseits durch die Flexibilität der Individuen (z. B. Arealveränderungen und Vorverlegung der Fortpflanzung) und andererseits durch genetische Anpassung. Beide Fähigkeiten sind jedoch begrenzt und werden bei vielen Arten nicht ausreichen, um mit dem schnellen Klimawandel mithalten zu können. In der Folge werden viele Populationen und auch ganze Arten aufgrund des Klimawandels aussterben.

Folgende Maßnahmen zur Eindämmung der oben genannten Klimafolgen erscheinen sinnvoll:

- Ausbau bestimmter biologischer Forschungen wie Langzeituntersuchungen oder Studien über Wechselwirkungen zwischen mehreren Einflussfaktoren oder Ökosystem-Elementen
- Vernetzung von Habitaten
- Erhalt der genetischen Vielfalt
- Schutz von intakten, stabilen Ökosystemen
- Verringerung zusätzlicher Umweltbelastungen.

## Gesundheit

Auch in diesem Bereich wurde die Betrachtung von nachgewiesenen und denkbaren Klimawandel-Auswirkungen auf Belange des Gesundheitsschutzes in Hessen auf der Grundlage einer Literaturrecherche vorgenommen.

Zu den direkten Auswirkungen werden unmittelbare Folgen auf die menschliche Gesundheit gezählt:

- Eine erhöhte Sonnenexposition führt zu einer Zunahme von Sonnenbränden, Sonnenallergien und Hautkrebsfällen.



- Hitzewellen haben vermehrte Todesfälle zur Folge: Für den Hitzesommer 2003 wurden für Hessen etwa 1 000 zusätzliche Todesfälle geschätzt. Hitzeperioden, mit denen zukünftig vermehrt zu rechnen ist, gefährden insbesondere ältere Menschen und Kleinkinder.

Daneben gibt es eine ganze Reihe indirekter Auswirkungen, die hier nur beispielhaft angeführt werden.

- Von Tieren übertragene Infektionskrankheiten können durch die Klimaerwärmung zunehmen: Hierzu gehört die Gefahr der stärkeren Verbreitung vorhandener Arten (wie z. B. Zecken) oder das Einwandern weiterer, bisher nicht in Hessen heimischer Überträger oder Wirtstiere.
- Durch die zu erwartenden höheren Temperaturen wird das Infektionsrisiko über Lebensmittel oder Badegewässer erhöht; auch das Auftreten von Giftstoff produzierenden Algen wird begünstigt.

- In Zusammenhang mit den klimatischen Änderungen können insbesondere bei Allergien und Asthma Veränderungen angenommen werden. Eine zeitliche Verschiebung ist durch veränderte Blühperioden oder Sporenbildung wahrscheinlich.

Mit folgenden Maßnahmen lassen sich die gesundheitlichen Folgen des Klimawandels mindern:

- Als Vorbeugung für Hitzewellen haben sich Warnsysteme bewährt, wie sie 2004 in Hessen in Zusammenarbeit mit dem DWD eingeführt wurden. Hierzu gehören auch ausgearbeitete Empfehlungen für Risikopersonen in Gemeinschaftseinrichtungen (z. B. Pflegeheimen).
- Aufklärungskampagnen für die Bevölkerung (Verhaltenshinweise für Hitzeextreme sowie für die Exposition gegenüber UV-Strahlen).
- Informationen, wie sich das Infektionsrisiko durch von Schädlingen übertragene Krankheiten über geeignetes Verhalten reduzieren lässt.

## Zusammenfassung und Ausblick

Abschließend werden die möglichen Folgen des Klimawandels für Hessen stichwortartig zusammengestellt.

- Für die Flüsse wird im Winter eine Zunahme der Hochwassergefahr erwartet, während sich die Niedrigwassersituation im Sommer noch verschärfen kann.
- In vielen Gebieten ist mit größeren Grundwasserneubildungsraten und somit auch höheren Grundwasserständen zu rechnen.
- Im Boden gespeicherter Kohlenstoff könnte verstärkt zu Kohlendioxid abgebaut werden, die

Bodenerosion infolge von Starkniederschlägen zunehmen.

- Bei den Pflanzen ist eine deutliche Verfrühung von Blühbeginn und anderen Entwicklungsstadien erkennbar.
- In der Forstwirtschaft bedeuten Temperaturerhöhung und Sommertrockenheit verschlechterte Bedingungen, besonders für die Fichte.
- In der Landwirtschaft ist mit leicht abnehmenden Erträgen zu rechnen; die Ertragssicherheit für die Landwirte nimmt insgesamt ab.

- In den hessischen Weinbaugebieten könnte sich der Weincharakter unserer Rebsorten verändern; langfristig ist auch der Anbau anderer Sorten als bisher denkbar.
- Im Obstbau können sich die ohnehin vorhandenen Anbaurisiken durch die Zunahme extremer Wetterereignisse weiter verstärken. Die Gefahr von Spätfrösten bleibt weiterhin bestehen.
- Die Artenvielfalt ist bedroht; insbesondere die Feuchtgebiete sind vom Klimawandel gefährdet.
- Durch Hitze, Sonne, Allergene (Pollen) und die Ausbreitung von Krankheitsüberträgern erhöhen sich gesundheitliche Risiken.

Aus dem Vorgegangenen geht deutlich hervor, dass der Klimawandel auf sehr viele Lebensbereiche Auswirkungen hat. Um die Folgen des Klimawandels zu begrenzen, sind weitere Forschungsarbeiten vorgesehen. Die Entwicklung und Durchführung entsprechender Anpassungsmaßnahmen ist notwendig. Darüber hinaus müssen verstärkt Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgas-Emissionen ergriffen werden.

Übersicht über alle Teilprojekte und die verantwortlichen Projektpartner

| Teilprojekt                          | Projektpartner (Institution, Projektleiter)                                     |
|--------------------------------------|---|
| Klimaänderungen in der Vergangenheit | Universität Frankfurt, Herr Prof. Schönwiese                                    |
| Klimaprojektionen für die Zukunft    | Firma Meteo-Research Potsdam, Herr Dr. Enke                                     |
| Klimafolgen: Flüsse                  | HLUG Wiesbaden, Herr Dr. Brahmer; Ingenieurbüro Ludwig Karlsruhe                |
| Klimafolgen: Grundwasser             | HLUG Wiesbaden, Herr Dr. Berthold   |
| Klimafolgen: Boden                   | HLUG Wiesbaden, Herr Dr. Emmerich   |
| Klimafolgen: Pflanzenentwicklung     | Universität Gießen, Herr Dr. Grünhage   |
| Klimafolgen: Forstwirtschaft         | Hessen Forst Hann. Münden, Herr Prof. Eichhorn                                  |
| Klimafolgen: Landwirtschaft          | Universität Kassel, Herr Dr. Priess   |
| Klimafolgen: Weinbau                 | Forschungsanstalt Geisenheim, Herr Prof. Schultz                                |
| Klimafolgen: Obstbau                 | Forschungsanstalt Geisenheim, Herr Prof. Jacob                                  |
| Klimafolgen: Natur / Artenvielfalt   | Ökologische Forschungsstation Schlüchtern, Frau Dr. Pampus                      |
| Klimafolgen: Gesundheit              | Hess. Landesprüfungs- und Untersuchungsamt im Gesundheitswesen, Herr Dr. Uphoff |

Hinweise

Die Abbildungen sind den einzelnen Abschlussberichten (original oder in leicht modifizierter Form) entnommen. Alle Berichte sind auch im Internet zu finden:

<http://www.hlug.de/medien/luft/inklim/index.htm>

Der Klimaschutz-Monitor enthält Informationen zur Klimapolitik (z. B. Abkommen, Forschung, Emissionen):

<http://www.hlug.de/medien/luft/klima/monitor/index.htm>