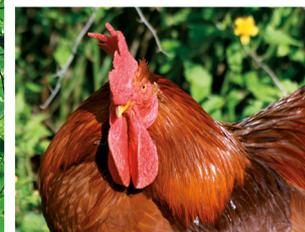


Hessisches Landesamt
für Naturschutz, Umwelt und Geologie
Fachzentrum Klimawandel Hessen

Auswirkungen des Klimawandels beobachten -Klimafolgenmonitoring-



HESSEN



Klimawandel in Hessen



Impressum

Reihe: Klimawandel in Hessen

Redaktion: J. Marusczyk, I. Schreiber, S. Singer-Posern, K. Wucher, Dr. G. Brahmer (HLNUG),
Prof. J. Eichhorn (Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt),
Prof. L. Grünhage (Justus-Liebig-Universität Gießen),
M. Hofmann (Hochschule Geisenheim),
Prof. U. Windisch (Technische Hochschule Mittelhessen)

Layout: C. Zarda

Herausgeber, © und Vertrieb:
Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
Fachzentrum Klimawandel Hessen
Rheingaustraße 186
65203 Wiesbaden

Telefon: 0611 6939-111
Telefax: 0611 6939-113
E-Mail: vertrieb@hlnug.hessen.de

www.hlnug.de

Nachdruck und Aktualisierung

Stand: August 2017

Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.

Titelfotos: Waldbrand: © gilitukha - Fotolia; Haselnussblüte im Schnee: © hjschneider - Fotolia



*Prof. Dr. Thomas Schmid
Präsident des
Hessischen Landesamtes
für Naturschutz, Umwelt
und Geologie*

Vorwort

Der Klimawandel wirkt sich auf die belebte wie auch auf die unbelebte Natur und Umwelt aus. Messbar wird dies in den unterschiedlichsten Bereichen. Betroffen sind beispielsweise Landwirtschaft, Wälder und Gewässer sowie die menschliche Gesundheit.

Die Auswirkungen des Klimawandels sind nicht nur ein globales Problem. Auch in Hessen können bereits Folgen des sich ändernden Klimas beobachtet werden.

Um die Folgen zu dokumentieren, werden vom Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) sogenannte Indikatoren entwickelt – Anzeiger für Veränderungen oder Entwicklungen in Natur und Umwelt.

In dieser Broschüre sind ausgewählte Indikatoren für verschiedene Bereiche zusammengestellt. Diese haben die Funktion, klimabedingte Veränderungen greifbar zu machen und die in Hessen bereits nachweisbaren Folgen des Klimawandels aufzuzeigen. Denn nur wenn die Auswirkungen klimatischer Veränderungen sichtbar gemacht werden können, ist es möglich, sich auf diese einzustellen und zu reagieren.

Unter dem Begriff Klimafolgenmonitoring versteht man die Beobachtung der Auswirkungen klimatischer Veränderungen anhand von Indikatoren. Es dient dazu, eintretende Folgen des Klimawandels frühzeitig zu erkennen, um zu entscheiden, in welchen Bereichen am dringendsten Handlungsbedarf besteht. Durch die vom HLNUG ausgewählten Indikatoren werden wesentliche Veränderungen bis zum heutigen Zeitpunkt dargestellt.

In den Blick genommen werden ausgewählte Entwicklungen, die aus Sicht von Wissenschaft und Forschung im Wesentlichen auf die Folgen des Klimawandels zurückzuführen sind.

Weiterhin müssen für Indikatoren belastbare Daten über einen möglichst langen Zeitraum – idealerweise über mindestens 30 Jahre – verfügbar sein.

In Hessen wurden bisher Indikatoren für folgende Handlungsbereiche erarbeitet: Wasserwirtschaft, biologische Vielfalt, Wald, Landwirtschaft, Obst-/Weinbau sowie die menschliche Gesundheit.

Das hessische Indikatorensystem wird regelmäßig aktualisiert und bei Bedarf durch neue Indikatoren ergänzt. Auch wenn Klimafolgenindikatoren lediglich ausgewählte Teilaspekte der Auswirkungen des Klimawandels beleuchten, können sie den Blick schärfen für Entwicklungen, die unser Handeln erfordern.

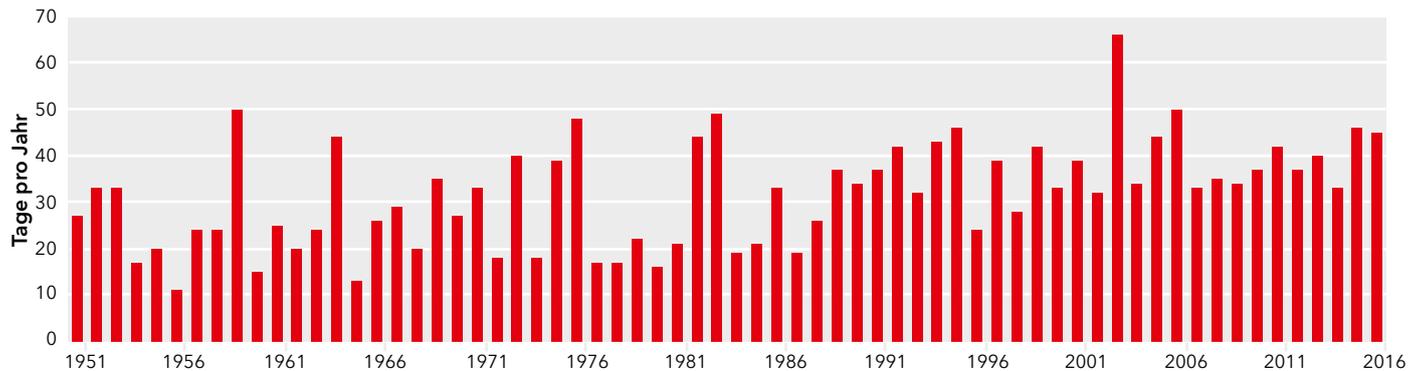


Blick auf den Rhein bei Rudesheim. © W. Fehlinger

Meteorologische Informationen

Die am häufigsten verwendeten meteorologischen Informationen zum Klima sind Temperatur und Niederschlag. Diese meteorologischen Parameter haben vielfältige Auswirkungen auf andere Bereiche, wie zum Beispiel den Zustand und die Entwicklung von Flora und Fauna, aber auch auf Gewässer oder den Menschen. Die Beobachtung von Temperatur und Niederschlag lässt Rückschlüsse auf Umwelt- und Klimaveränderungen zu.

Weiterhin sind für Mensch und Natur Veränderungen des Klimas und das Auftreten von Extremen wie zum Beispiel Hitzeperioden von Bedeutung. Sogenannte Kenntage wie **Sommertage** und **Eistage** sind charakterisiert durch die Über- oder Unterschreitung eines bestimmten Schwellenwertes. Temperatur-Kenntage sind gute Indikatoren für den Klimawandel.



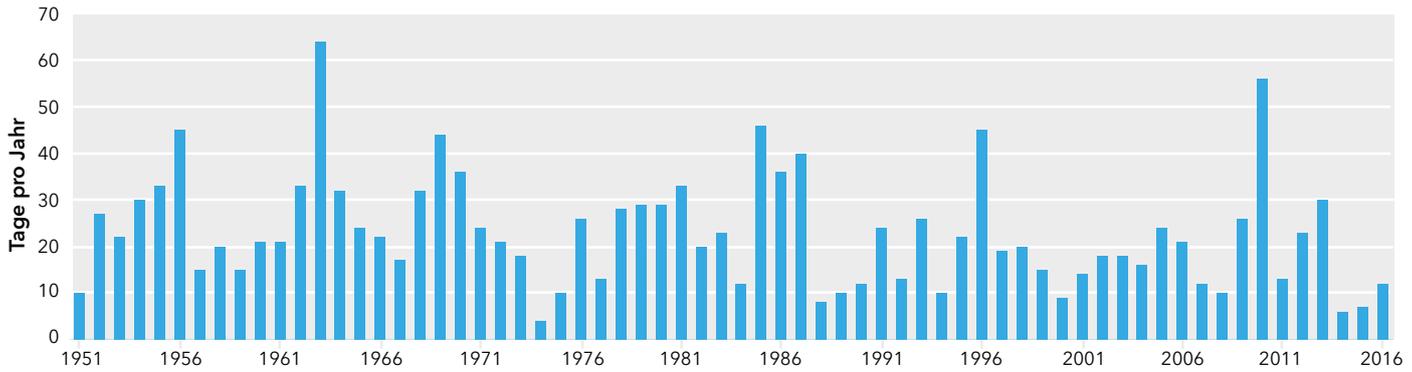
Anzahl der Sommertage in Hessen ($T_{max} \geq 25^\circ\text{C}$). Datenquelle: DWD

An einem **Sommertag** (siehe linke Abbildung), erreicht oder überschreitet die Tageshöchsttemperatur 25 °C. An einem **Eistag** bleibt die Lufttemperatur stets unter 0 °C.

Es kann beobachtet werden, dass die Anzahl der Sommertage seit 1951 leicht zunahm,

während die Anzahl der Eistage bei weiterhin großen Schwankungen leicht abnahm. So lag das Jahr 2010 mit 56 Eistagen weit oberhalb des Durchschnitts der vorhergehenden 30 Jahre (21 Tage), während das darauffolgende Jahr 2011 mit 13 Eistagen deutlich darunter lag.

© W. Fehlinger



Anzahl der Eistage in Hessen ($T_{max} < 0$ °C). Datenquelle: DWD

Dauer der Vegetationsperiode

Die Phänologie beobachtet die regelmäßig wiederkehrenden Erscheinungen in der Pflanzen- und Tierwelt wie den Beginn der Apfelblüte oder den Vogelzug.

Anhand des Beginns und der Dauer pflanzenphänologischer Phasen kann der Einfluss veränderter Umweltbedingungen auf die Vegetationsentwicklung verfolgt werden. Die Eintrittszeiten werden u. a. durch Witterung und Klima beeinflusst.

Für die Frühjahrsphasen, wie beispielsweise den Beginn der Blüte der Salweide, zeigt sich ein besonders enger Zusammenhang mit der Temperatur.

Die Eintrittsphasen im Herbst werden hingegen von zahlreichen anderen Faktoren mitbestimmt, z. B. durch Trockenheit oder auch Schädlingsbefall.



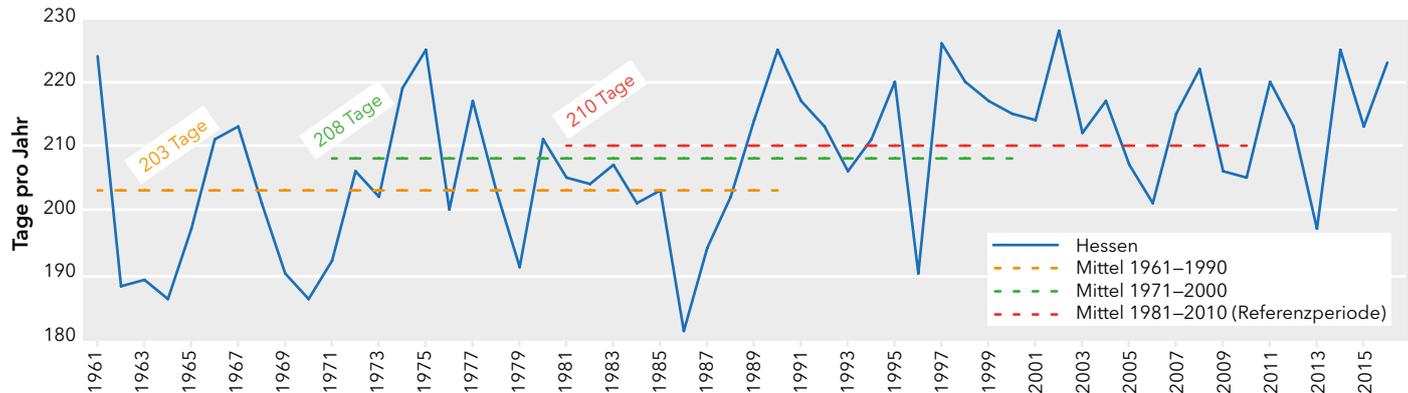
Weidenkätzchen mit Biene. © Christian Pedant - Fotolia

Die **Dauer der Vegetationsperiode** wird als Zeitspanne zwischen dem relativ frühen Blühbeginn der Salweide und der Blattverfärbung der Stieleiche als Anzeiger für den Spätherbst definiert. Durch die Auswahl des Blühbeginns der Salweide erfolgt eine Annäherung an die landwirtschaftliche Vegetationsperiode.

1986 trat in Hessen seit Beginn der Aufzeichnungen die kürzeste Vegetationsperiode mit 181 Tagen auf und im Jahr 2002 die bisher längste Periode mit 228 Tagen. Der Blühbeginn der Salweide lag in diesen beiden Jahren mehr als 40 Tage auseinander.

Die deutliche Verlängerung der Vegetationsperiode ist insbesondere durch den früheren Beginn bedingt, die Veränderungen am Ende der Vegetationszeit fallen deutlich geringer aus.

Die Verschiebungen der Phasen können Auswirkungen für den Obst- und Weinbau, die Landwirtschaft und den Wald sowie für Lebensgemeinschaften und Arten haben. Denkbar sind auch neue Konkurrenzen und Wechselwirkungen.

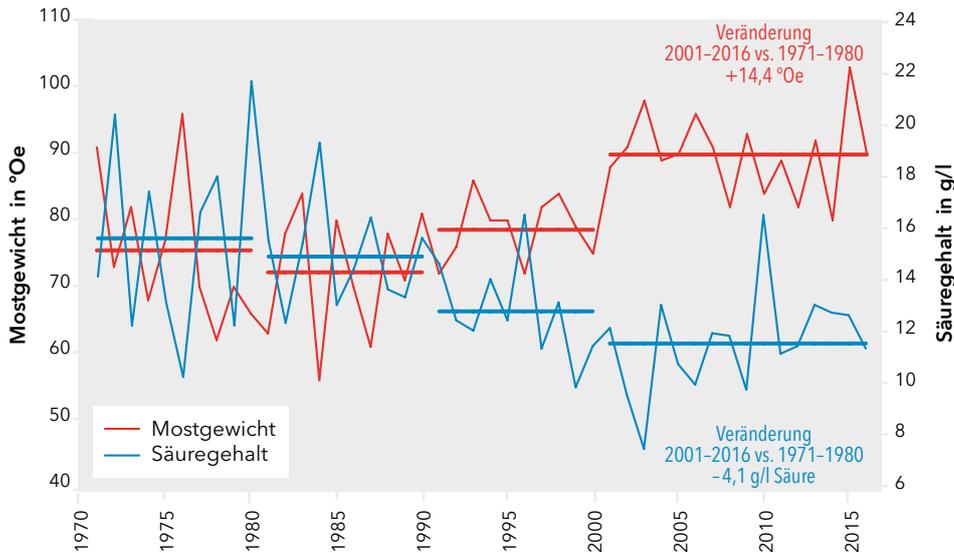


Dauer der Vegetationsperiode. Datenquelle: DWD

Herausforderungen im Weinbau

Auswirkungen des Klimawandels machen sich auch im Weinbau bemerkbar – dies ist für die Weinregionen Rheingau und hessische Bergstraße von großer Bedeutung. Die **Weinhalts-**

stoffe und die angebauten Rebsorten werden vom Klima beeinflusst und können als Indikatoren zur Beobachtung der Klimawandelfolgen herangezogen werden.



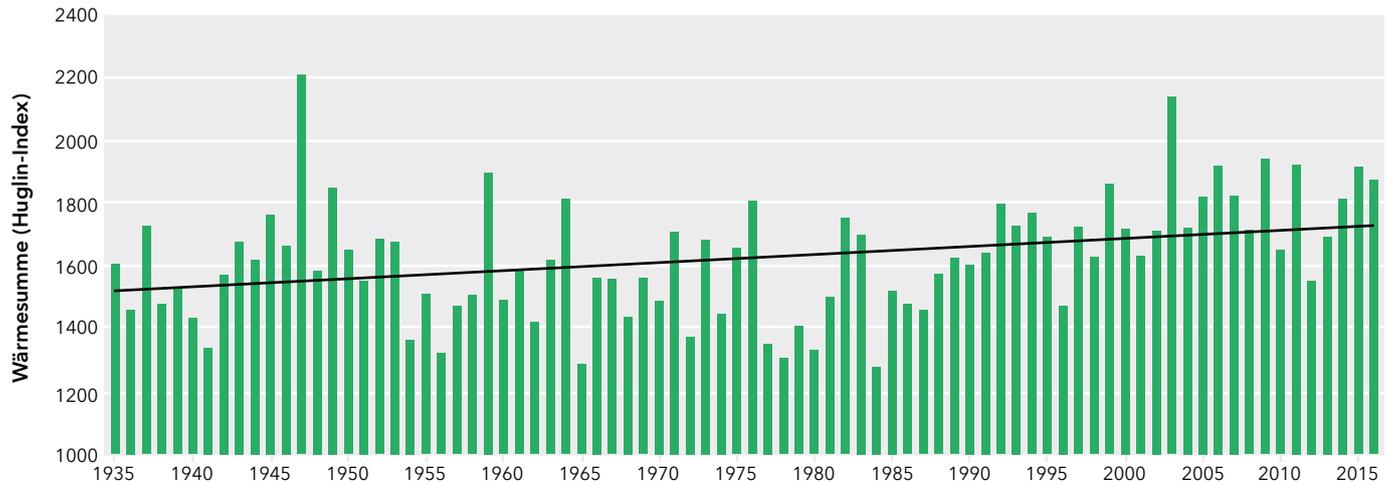
Seit den 1990er Jahren hat sich das Verhältnis von Gesamtsäure zu Mostgewicht aufgrund der wärmeren Klimabedingungen deutlich verändert. Die Trauben enthalten zum Zeitpunkt der Lese weniger Gesamtsäure bei höherem Mostgewicht. In den meisten Jahren sind die Veränderungen positiv, jedoch werden beim Weinanbau und -ausbau neue Anforderungen an die Winzer gestellt, um den charakteristischen Geschmack des Rieslings auch in heißen Jahren zu erhalten.

Weinhaltsstoffe des Rieslings zum Zeitpunkt der Lese (Referenzweinberg „Eltviller Sonnenberg“).
Datenquelle: Regierungspräsidium Darmstadt, Dezernat Weinbau Eltville; Grafik: L. Grünhage

Rebsorteneignung

Ein Indikator für den Weinbau ist die **Rebsorteneignung** im Rheingau. Dabei wird ein Wärmesummenindex (Huglin) als Maß zur Beurteilung der Anbaufähigkeit bestimmter Rebsorten herangezogen; dafür wird das Mittel aus Tagesmittel- und Tagesmaximum-Temperatur gebildet. Liegen die Werte über der Schwelle von 10 °C, werden sie für den Zeitraum vom 1.4. bis zum 30.9. des jeweiligen Jahres aufsummiert. Der Index gibt jedoch lediglich die untere Grenze

für den Anbau bestimmter Sorten an. Der für den Rheingau typische Riesling hat ein Huglin-Optimum zwischen 1700 und 2000. In den besonders warmen Jahren wäre der Anbau wärmebedürftigerer Sorten wie Merlot (Optimum 1900-2000) oder Syrah (Optimum 2100-2200) in Hessen möglich gewesen. Ein positiver Trend des Wärmesummenindex ist seit Beginn der Aufzeichnungen, insbesondere jedoch in den letzten Jahrzehnten, zu beobachten.



Wärmesummenindex nach Huglin für Geisenheim. Datenquelle DWD

Tiergesundheit im Klimawandel

Auch für Tiere kann das sich ändernde Klima Risiken bergen. Ein Indikator beschäftigt sich deshalb mit **Hitzestress** und der **Tiergesundheit** von Geflügel. Dieser Indikator steht dabei stellvertretend für die Viehzucht. Besonders die Kombination aus hoher Temperatur und hoher Luftfeuchtigkeit stellt für die Tiere eine Belastung dar.

Hühner können nicht schwitzen! Bei hoher Wärmebelastung im Stall atmen Hühner hechelnd



mit weit geöffnetem Schnabel („Schnabelatmung“), was auf hohen Stress hindeutet.

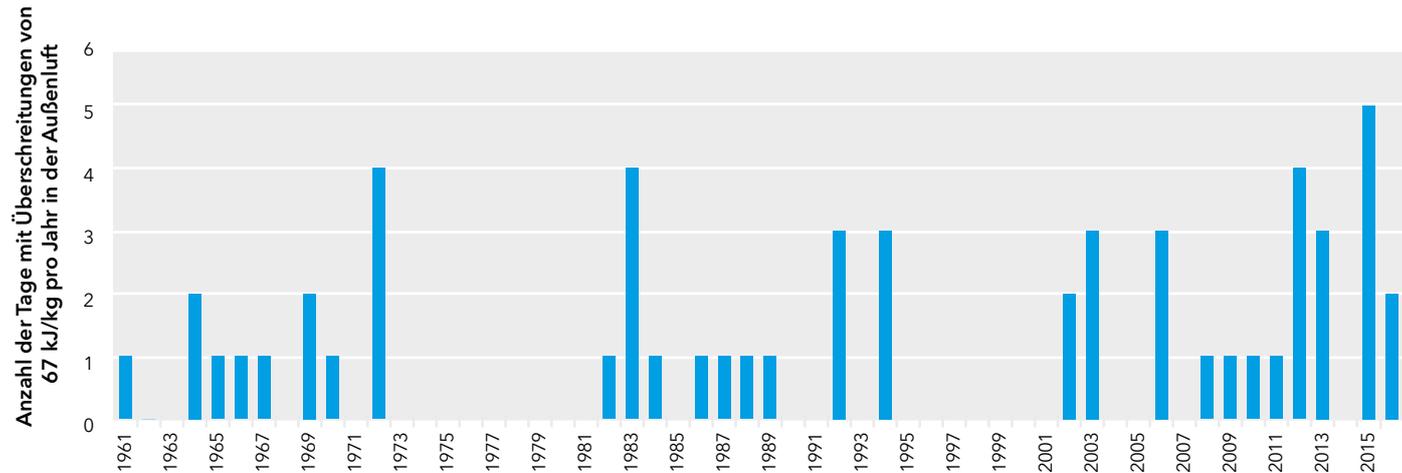
Um die Wirkung von Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf Geflügel einschätzen zu können, wird der Gesamtenergiegehalt der Außenluft („Enthalpie-Wert“) ermittelt; er wird in Kilojoule pro Kilogramm (kJ/kg) angegeben. Ab einem Wert von 67 kJ/kg (Tagesmaximum) besteht für Geflügel eine kritische Wärmebelastung, die den Beginn von Hitzestress bedeutet.

Durch Maßnahmen wie Belüftung, Kühlung und gute Pflege der Tiere kann der Hitzestress in der Regel vermieden werden. Doch bereits unterhalb des Richtwertes ist das Wohlbefinden und die Gesundheit der Tiere gefährdet, sie legen z. B. weniger Eier.

Eine Überwachung der Temperaturen im Stall ist im Sommer wichtig. Landwirte können sich beim Deutschen Wetterdienst über die aktuellen Enthalpie-Werte informieren.

Anzahl der Tage pro Jahr mit Überschreitung des Richtwertes von 67 kJ/kg in Frankfurt:

Es gibt in Hessen große regionale Unterschiede bei der Häufigkeit der Überschreitungen. In Frankfurt wird der Wert in vielen Jahren, seit 2008 sogar fast jährlich, an mindestens einem Tag überschritten. (In der Rhön werden erst seit 2012 Überschreitungen des Richtwertes an ein bis zwei Tagen pro Jahr beobachtet.)



Frankfurt am Main. Datenquelle: DWD

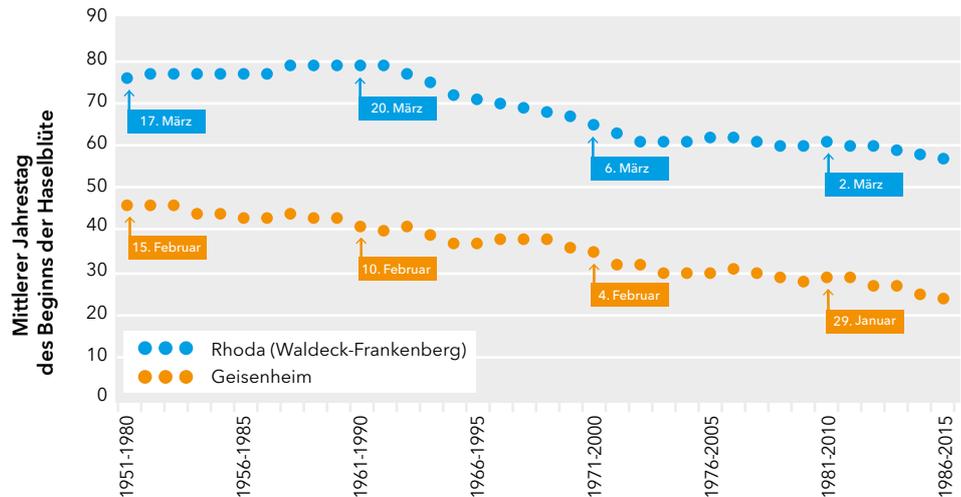
Gesundheitsbelastung durch Pollen

Der Beginn des Pollenflugs insbesondere der Frühblüher (z. B. Haselnuss, Erle und Birke) hängt stark von der Temperatur ab. Mit der Temperaturerhöhung infolge des Klimawandels ist ein immer früherer Blühbeginn zu beobachten, wodurch sich insgesamt die Pollenflugzeiten verlängern und die Ruhepausen für Allergiker

verkürzen. Als Indikator wird der Blühbeginn der Hasel verwendet, der auf **Veränderungen der Pollenflugsaison** hinweist. Deutliche Unterschiede des Blühbeginns der Hasel zeigen sich zudem je nach Höhenlage der Station. In tieferen Lagen setzt die Blüte deutlich früher ein als in höheren Lagen.

Dargestellt ist das gleitende 30-jährige Mittel des Beginns der Haselblüte in Geisenheim (120 m über NN) und Rhoda (420 m über NN).

Vor allem der Höhenunterschied von 300 m bewirkt bei diesen Stationen einen Unterschied im Blühbeginn von mehr als einem Monat.



Datenquelle: DWD



Haselnussblüte im Schnee. © hjschneider - Fotolia

Gefährdung der Wälder

Der Zustand der Wälder ist in einem Bundesland wie Hessen mit einem Waldanteil von über 42 % von großer Bedeutung.

Wärmere Sommer und längere Trockenphasen bedeuten Hitze- und Trockenstress für Wälder und damit einhergehend auch erhöhte **Waldbrandgefahr**.

Die Waldbrandgefährdung wird mit Hilfe des kanadischen Fire-Weather-Index (FWI) abgeschätzt. Dieser errechnet sich aus meteorologischen Größen wie Lufttemperatur, relativer Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Niederschlagsmenge und Bodenbewuchs. Jedem Tag von Anfang März bis Ende Oktober (an insgesamt 229 Tagen) wird eine Stufe zugeteilt; dabei bedeutet Stufe 1 „keine Gefahr“, Stufe 2 „geringe Gefahr“ bis hin zu Stufe 5 „extrem hohe Gefahr“.

Neben steigenden Sommertemperaturen und verminderten Niederschlägen in der

Vegetationszeit kann auch eine nicht an die ökologischen und klimatischen Bedingungen angepasste Mischung von Baumarten das Waldbrandrisiko erhöhen. Starke Gefährdung besteht bei dicht stehenden Nadelholz-Reinbeständen.

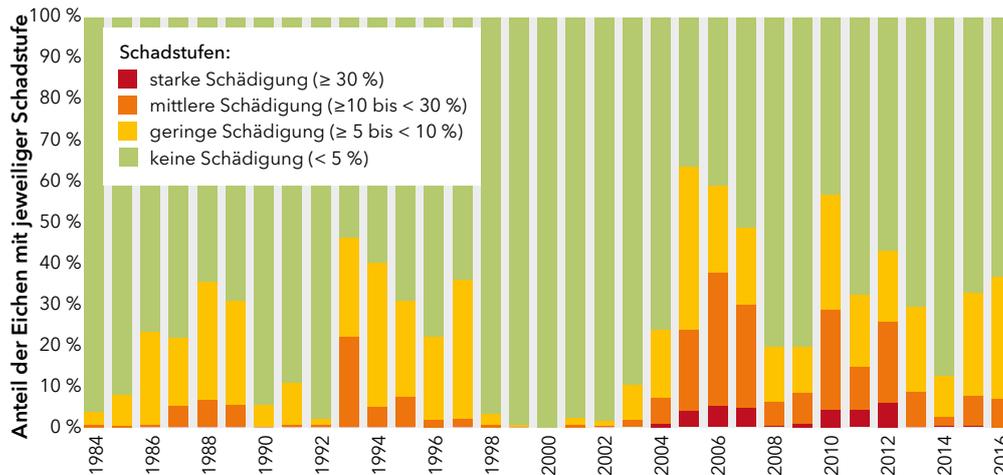
Die Tabelle zeigt die mittlere Anzahl der Tage mit jeweiliger Gefahrenstufe verschiedener 30-Jahres-Zeiträume. Es kann eine Zunahme der Tage mit Stufen höherer Gefährdung (Stufen 3 bis 5) innerhalb der letzten 50 Jahre beobachtet werden; die Tage mit geringerer Gefährdung nahmen somit ab.

Tage mit Waldbrandwarnstufen (30-jähriges Mittel Hessen)			
Waldbrand- gefährdung	1961-1990	1971-2000	1981-2010
Stufe 1 und 2	192	186	180
Stufe 3	25	28	31
Stufe 4 und 5	12	15	18

Datenquelle: DWD

Waldschäden durch Insekten

Der Klimawandel kann zu Veränderungen in den Waldökosystemen führen. Dies betrifft auch die Wechselbeziehungen zwischen Bäumen und Insekten. Die Entwicklung und Verbreitung von Baumschädlingen kann sich verändern. Der Indikator erfasst die Schäden an den Blättern der Eichen durch die **Eichenfraßgesellschaft** auf den Flächen der jährlichen Waldzustandserhebung.



Geschädigte Eichen durch Insekten der Eichenfraßgesellschaft –
 Prozentualer Anteil der Bäume nach verschiedenen Schadstufen (Mittelwert Hessen).
 Datenquelle: Waldzustandserhebung Hessen der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt

Frostspanner, Eichenwickler, Eichenprozessionsspinner und Schwammspinner sind wärme-liebende Insekten. Im Zuge des Klimawandels könnten sie sich ausbreiten und häufiger Massenvermehrungen durchlaufen. Extreme Witterungsverhältnisse wie Trockenheit und



Schwammspinner
 © Eileen Kumpf -
 Fotolia.com

Dürre schwächen die Abwehrkräfte der Bäume und fördern die Entwicklung dieser Schädlinge. Dies könnte das Auftreten hoher Schädlingpopulationen z. B. in den Jahren 2004 bis 2007 nach dem Hitzesommer 2003 erklären, als starke Schädigungen (rote Flächen in der Grafik) an Eichen auftraten. Als Folge des starken, mehrmaligen Fraßes können vermehrt Bäume absterben.

Flechten als Klimawandelanzeiger

Flechten werden in Hessen schon sehr lange beobachtet und als Indikatoren für die luft-hygienische Situation verwendet. Sie bestehen aus einem Pilz und einem weiteren Partner, der Photosynthese betreiben kann (z. B. einer Alge oder einem Cyanobakterium).

Sie reagieren ausgesprochen empfindlich und ganzjährig auf sich ändernde Umwelt- und Klimabedingungen (Temperatur, Niederschlag). Dies macht sie zu idealen Indikatororganismen.

In Hessen finden wir zunehmend wärmeliebende Flechtenarten. Dies zeigt sich in einer größeren Anzahl von Individuen und in neu eingewanderten Flechten-Arten. Sie sind Stellvertreter für weitere **Veränderungen in Ökosystemen**.



Die Gefleckte Punktflechte (*Punctelia subrudecta*) ist eine wärmeliebende Flechtenart.
© U. Kirschbaum



Der Ziegel-Schönfleck (*Caloplaca techolyta*)
ist eine wärmeliebende Gesteinsflechte.
© U. Kirschbaum

Wärmeliebende Flechtenarten werden an den Dauerbeobachtungsflächen in der Rhön, im Spessart und in Melsungen eher selten beobachtet. In Limburg, im Rheingau und in Biebesheim treten sie in den letzten Jahren deutlich häufiger auf.

Untersuchungen belegen, dass es einen deutlichen Zusammenhang zwischen den Jahresmitteltemperaturen und der Häufigkeit solcher Flechtenarten gibt. Sie eignen sich deshalb besonders gut als Indikatoren für die mit dem Klimawandel einhergehenden Temperaturänderungen.

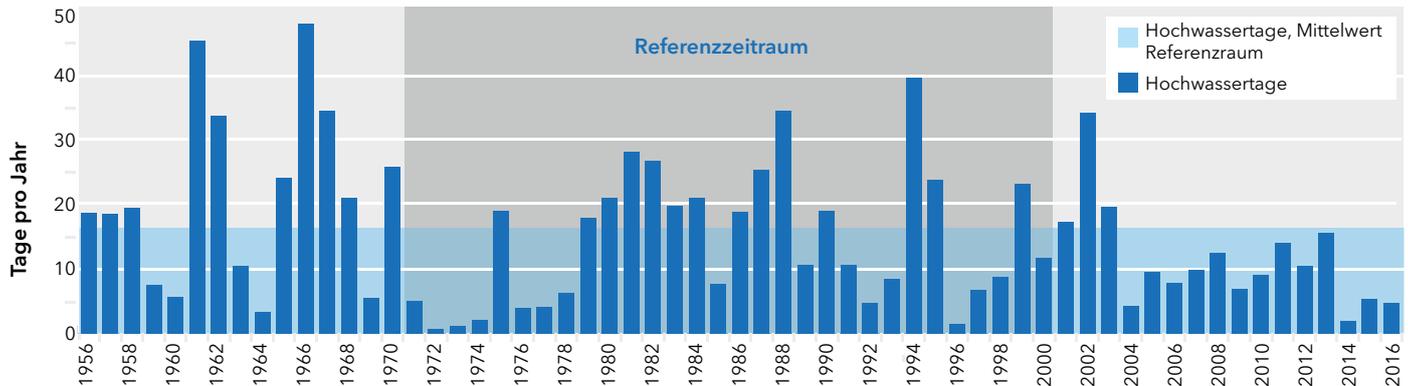
Hoch- und Niedrigwasser hessischer Fließgewässer

Fließgewässer stehen in enger Verbindung mit dem Klima. **Dauer**, **Intensität** und **Ausmaß** von Hoch- und Niedrigwasserereignissen werden als Indikatoren für Veränderungen verwendet.

Für den hier exemplarisch dargestellten Indikator „Hochwasserdauer“ werden von fünf repräsentativen Pegeln die Hochwassertage pro Jahr verglichen. Grundlage für die Berechnung ist das hydrologische Jahr, das vom 01.11. des Vorjahres bis zum 31.10. des betrachteten Jahres reicht.

In der Abbildung ist die durchschnittliche Hochwasserdauer pro hydrologischem Jahr für die Pegel Bad Hersfeld (Fulda), Bad Vilbel (Nidda), Hanau (Kinzig), Helmarshausen (Diemel) und Marburg (Lahn) dargestellt. Der blau hinterlegte Bereich zeigt die mittlere Anzahl von Hochwassertagen im Referenzzeitraum 1971–2000 (Referenzzeitraum grau hinterlegt).

*Hochwasserdauer als mittlere Anzahl der Hochwassertage pro Jahr (Mittelwert von fünf ausgewählten Pegeln).
Datenquelle: HLNUG*





*Hochwasser in Frankfurt im Januar 2011.
Auslöser war das plötzliche Abschmelzen
der flächendeckende Schneedecke
durch starken Temperaturanstieg
und einsetzende Niederschläge.*

Klimawandel-Folgen erkennen: Fazit

Das indikatoren-gestützte Monitoring der Auswirkungen des Klimawandels in Hessen bietet eine gute Möglichkeit, frühzeitig die eintretenden Folgen des Klimawandels zu erkennen.

Manche Entwicklungen sind bereits zu spüren und lassen sich direkt erkennen, sozusagen „vor der Haustür“ beobachten. Beispiele dafür sind der frühere Beginn der Blüte der Obst- und Haselbäume im Frühjahr.

Für einige Bereiche wird bereits heute deutlich, dass unser Handeln gefordert sein wird: Durch Warnungen des DWD werden Waldbesucher vor der Gefahr von Waldbränden gewarnt oder Landwirte auf starke Hitzebelastungen für Tiere hingewiesen!

Bei einigen in den Blick genommenen Indikatoren gibt es noch eine große Unsicherheit, in welche Richtung die Entwicklung in der Zukunft gehen wird. So kann derzeit noch keine abschließende Aussage zur Änderung der

Häufigkeit von Hoch- und Niedrigwasser der hessischen Flüsse getroffen werden.

Daher ist die weitere Beobachtung und auch die Entwicklung weiterer Indikatoren von großer Bedeutung.

Weitere Informationen zum Klima in Hessen finden Sie auf unseren Internetseiten:

[http://www.hlnug.de/
themen/fachzentrum-klimawandel.html](http://www.hlnug.de/themen/fachzentrum-klimawandel.html)

<http://atlas.umwelt.hessen.de>



© W. Fehlinger

In der Reihe **Klimawandel in Hessen** sind bisher folgende Infobroschüren erschienen:

- Beobachteter Klimawandel
- Klimawandel in der Zukunft
- Extreme Wetterereignisse in Hessen
- Klimawandel und Wasser
- Folgen des Klimawandels für die menschliche Gesundheit
- Land- und Forstwirtschaft im Klimawandel
- Auswirkungen des Klimawandels beobachten - Klimafolgenmonitoring
- Wusstest Du schon ...? Das Klima ändert sich!

In Vorbereitung:

- Die hessischen Böden im Klimawandel



Hessisches Landesamt für
Naturschutz, Umwelt und Geologie
Für eine lebenswerte Zukunft

