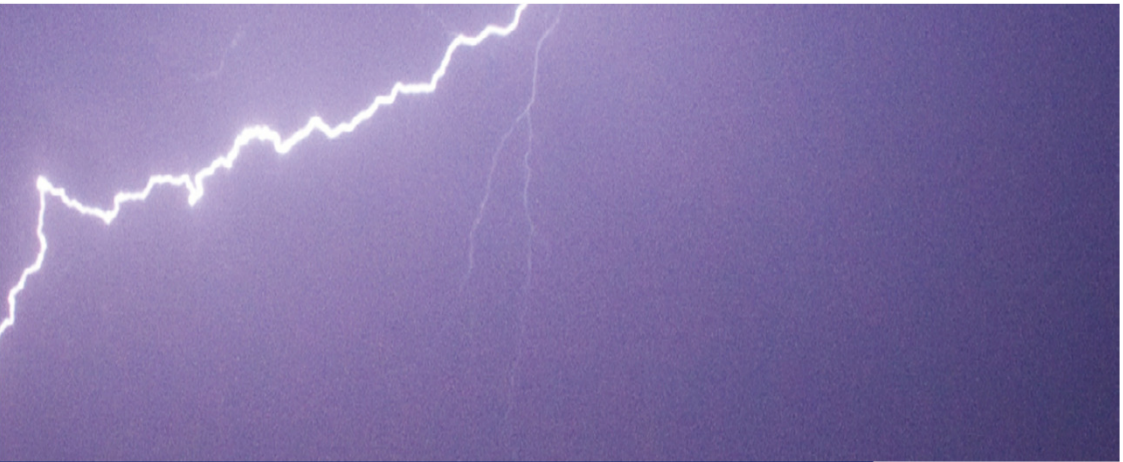


Hessisches Landesamt für Naturschutz,
Umwelt und Geologie
Fachzentrum Klimawandel und Anpassung

HESSEN



Ergebnisse des Projekts ReKliEs-De für Hessen



Ein Blick in die Zukunft



ReKliEs-De
Regionale Klimaprojektionen Ensemble
für Deutschland

Impressum

Redaktion: Dr. Heike Hübener, Patrick Gräcmann

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

www.hlnug.de

Stand: Januar 2019

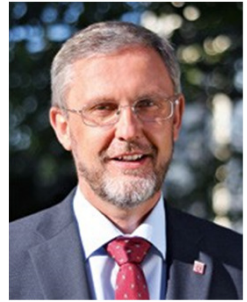
Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.

Vorwort

Den Klimawandel gab es schon immer. Die Menschen sind seit jeher natürlichen Klimaschwankungen ausgesetzt. Aber seit einigen Jahrzehnten beeinflusst menschliches Handeln das globale Klima auf noch nie dagewesene Art und Weise. Erste Auswirkungen des anthropogenen Klimawandels sind bereits erkennbar und der Einfluss unseres Handelns wird sich in den kommenden Jahrzehnten zunehmend bemerkbar machen.

Das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie hat im Jahr 2014 in Kooperation mit den anderen deutschen Bundesländern ein Forschungsprojekt initiiert, um unsere Wissensgrundlage über den Klimawandel in Deutschland zu verbessern: Das Projekt ReKliEs-De (Regionale Klimaszenarien Ensemble für Deutschland). Es wurde von Mitte 2014 bis Ende 2017 vom BMBF mit gut 3 Mio. € gefördert und vom HLNUG geleitet.

In dieser Broschüre zeigen wir Auswertungen der Projektergebnisse für das Bundesland Hessen.



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

Das Projekt ReKliEs-De

Im Projekt ReKliEs-De wurden zwei sehr unterschiedliche Klimaszenarien untersucht: Ein Szenario, das die Einhaltung des globalen 2 °C-Zieles abbildet und ein Weiter-wie-bisher-Szenario. Dafür wurden mit einer neuartig hohen räumlichen Auflösung von 12 km regionale Klimasimulationen für Deutschland und die Einzugsgebiete nach Deutschland entwässernder Flüsse durchgeführt. Die neuen Simulationen wurden – zusammen mit vergleichbaren Simulationen des Projektes EURO-CORDEX – analysiert und für die Klimafolgenforschung und die Politikberatung nutzerfreundlich aufbereitet.

Alle in dieser Broschüre gezeigten Ergebnisse werden als Klimaänderungssignale zwischen der Referenzperiode 1971–2000 und dem Ende des 21. Jahrhunderts (2071–2100) dargestellt.

Folgende Institutionen waren am Projekt ReKliEs-De beteiligt:



POTS DAM-INS TITUT FÜR
KLIMAFOLGENFORSCHUNG

UNIVERSITÄT HOHENHEIM



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



b.tu Brandenburgische
Technische Universität
Cottbus - Senftenberg

Was ist neu?

Die bisher verwendeten SRES-Szenarien wurden im fünften IPCC-Report durch die aktuelleren RCP-Szenarien (engl. Representative Concentration Pathways – „Repräsentative Konzentrationspfade“) abgelöst (vgl. Abb. 1). Grund dafür war unter anderem die Tatsache, dass die mit den SRES-Szenarien projizierten Temperaturwerte für Anfang dieses Jahrhunderts bereits überschritten wurden.

Die neuen RCP-Szenarien orientieren sich an verschiedenen Konzentrationsverläufen der Treibhausgase (THG) bis 2100 gegenüber den vorindustriellen Werten von 1850. Sie werden entsprechend der entstehenden Strahlungsänderung benannt (bspw. steigt die Strahlungsintensität im Falle des RCP2.6-Szenarios um $2,6 \text{ W/m}^2$ bis zum Jahr 2100 gegenüber den Strahlungswerten von 1850). In dieser Broschüre werden Ergebnisse von RCP2.6 (Konzentrationsverlauf, um das 2°C -Ziel zu ermöglichen) und RCP8.5 (Konzentrationsverlauf, wenn wir so weiter machen wie bisher, d.h. die Konzentrationen steigen weiter stark an) verglichen und zusammenfassend präsentiert.

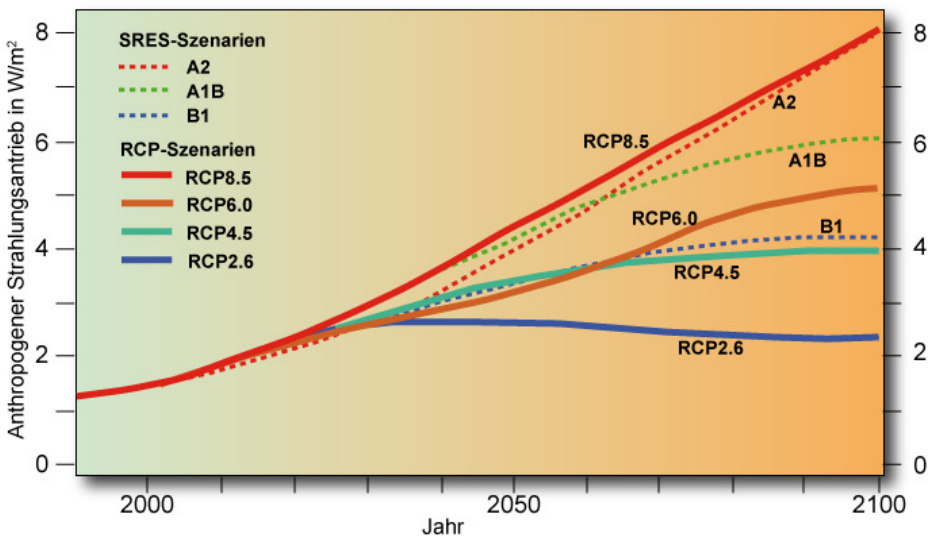


Abb. 1: Entwicklung des Strahlungsantriebes in W/m^2 der alten (SRES) und neuen (RCP) Szenarien bis 2100. Quelle: Dieter Kasang nach IPCC (2013): Climate Change 2013, Working Group I: The Science of Climate Change, Figure 12.3.

Erkenntnisgewinn

ReKliEs-De bietet mit 37 Simulationen für RCP8.5 und 15 Simulationen für RCP2.6, die sich aus 7 globalen und 8 regionalen Klimamodellen zusammensetzen, eine weltweit einzigartige Datenbasis. Bei der Wahl der einzelnen Modelle wurde vor allem auf Vielfalt geachtet, um eine möglichst große Bandbreite potentieller Klimaänderungssignale gewährleisten zu können.

Es wurden sowohl dynamische als auch statistische Regionalmodelle berücksichtigt, um mögliche Schwächen der einzelnen Modelle ausgleichen zu können. Die gewählten Modellkombinationen zielten darauf ab, die im Projekt EURO-CORDEX bereits verwendeten Kombinationen sinnvoll und effizient zu ergänzen. Die hohe räumliche Auflösung von 12 km ($0,11^\circ$) lässt erstmals konkrete Aussagen über kleinräumige Klimaveränderungen zu.

Einige der vorhandenen Modellkombinationen wurden aus der Analyse ausgeschlossen:

- Modellkombinationen mit dem Regionalmodell STARS3 sind nur für Vorhersagezeiträume bis ca. 2060 geeignet.
- Die Modellkombination IPSL-CM5 mit WRF zeigt für Europa unplausible Entwicklungen (insbes. extreme Niederschlagszunahme im Sommer).
- Die Simulation des Globalmodells CNRM-CM5 wurde zurückgezogen, da eine Inkonsistenz zwischen den Bodendaten und den Atmosphärendaten besteht. Da das statistische Modell WETTREG2013 nur die Bodendaten nutzt, tritt der Fehler hier nicht auf. Die Kombination CNRM-CM5 / WETTREG2013 wird daher nicht ausgeschlossen.

Damit verbleiben noch 26 Simulationen im Ensemble für RCP8.5 und 12 Simulationen für RCP2.6.

Klimatologische Auswertungen

In dieser Broschüre werden neben Mittelwerten von Temperatur und Niederschlag auch Auswertungen für verschiedene klimatologische Kenntage präsentiert. Dabei handelt es sich um Tage, an denen ein klimatischer Parameter einen definierten Schwellenwert unter- oder überschreitet (z.B. ist ein heißer Tag ein Tag mit Temperaturmaximum $\geq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$). Die zukünftige Entwicklung folgender Klimaparameter wird hier vorgestellt:



Temperatur

- Mittlere Tagestemperatur in 2 m Höhe (T_{mittel}) in $^{\circ}\text{C}$
- Heiße Tage: Tage mit Tageshöchsttemperatur $T_{\text{max}} \geq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Wärmeperioden: Anzahl von Perioden (mind. 6 zusammenhängende Tage), an denen die Tageshöchsttemperatur höher ist als an den 10 % wärmsten Tagen im Referenzzeitraum 1971-2000 ($T_{\text{max}} > T_{x90}$). Die Länge der Wärmeperioden geht hier nicht ein; eine Wärmeperiode von 12 Tagen Länge würde trotzdem nur als eine Wärmeperiode gezählt.
- Frosttage: Tage mit Tagestiefsttemperatur $T_{\text{min}} < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$

Niederschlag

- Mittlere Niederschlagshöhe (mittlerer Tagesniederschlag) in mm
- Anzahl starker Niederschlagstage: Tage mit Niederschlag $> 20\text{ mm}$

Wieviel wärmer wird es?

Die Jahresmitteltemperatur zeigt starke Jahr-zu-Jahr-Schwankungen.

Sowohl für das Szenario RCP8.5 als auch RCP2.6 wird in Hessen ein Anstieg der mittleren Temperaturen gegen Ende des 21. Jahrhunderts im Vergleich zur Referenzperiode (1971–2000) projiziert.

Sowohl die Stärke des Änderungssignals als auch die Bandbreite unterscheiden sich für die beiden Szenarien erheblich. Der mittlere Temperaturanstieg für RCP8.5 beträgt 3,9 °C mit einer Bandbreite von 2,6 bis 5,1 °C, während für das Szenario RCP2.6 ein mittlerer Temperaturanstieg von 1,1 °C mit einer Bandbreite von 0,6 bis 1,7 °C projiziert wird.

Abbildung 2 zeigt die projizierten Temperaturverläufe der beiden Szenarien bis zum Jahr 2100. Zur besseren Übersichtlichkeit der Ergebnisse wurde ein gleitendes Mittel über 11 Jahre kalkuliert. Dies dient vor allem dazu, die Jahr-zu-Jahr-Schwankungen zu reduzieren und stattdessen den langfristigen Trend hervorzuheben. Das „Klimaschutz-Szenario“ (RCP2.6) zeigt im Vergleich zum „Weiter-wie-bisher-Szenario“ (RCP8.5) einen nur schwach positiven Trend bis zum Ende des 21. Jahrhunderts.

Im bisher verwendeten SRES-Szenario A1B wurde eine mittlere Temperaturänderung von 3,1 °C (Bandbreite: 1,9 - 3,7 °C) simuliert. Bei Verwendung des Szenarios RCP8.5 wird also sowohl eine stärkere mittlere Erwärmung als auch eine größere Bandbreite des Temperaturänderungssignals projiziert.

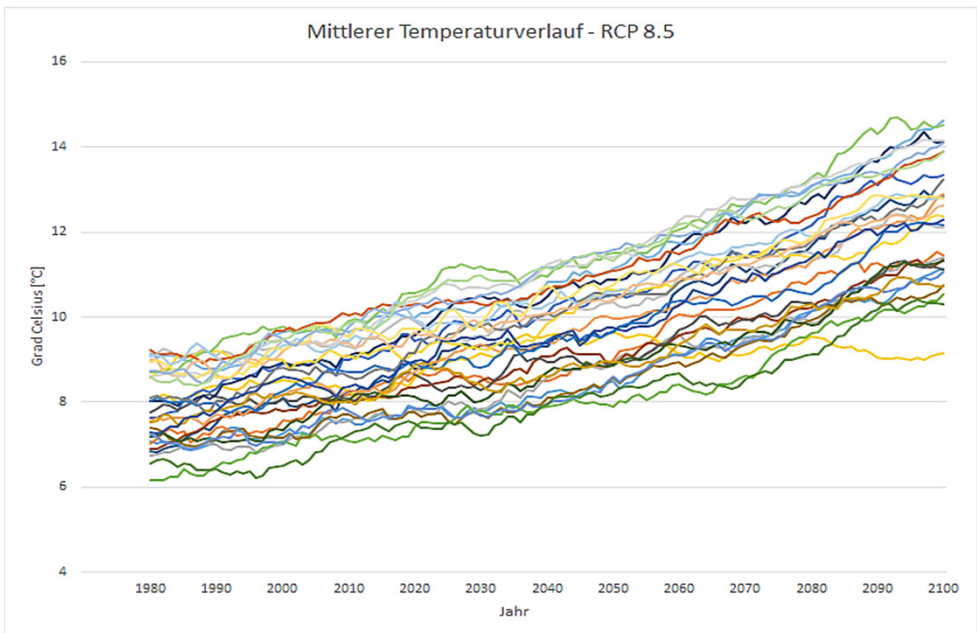
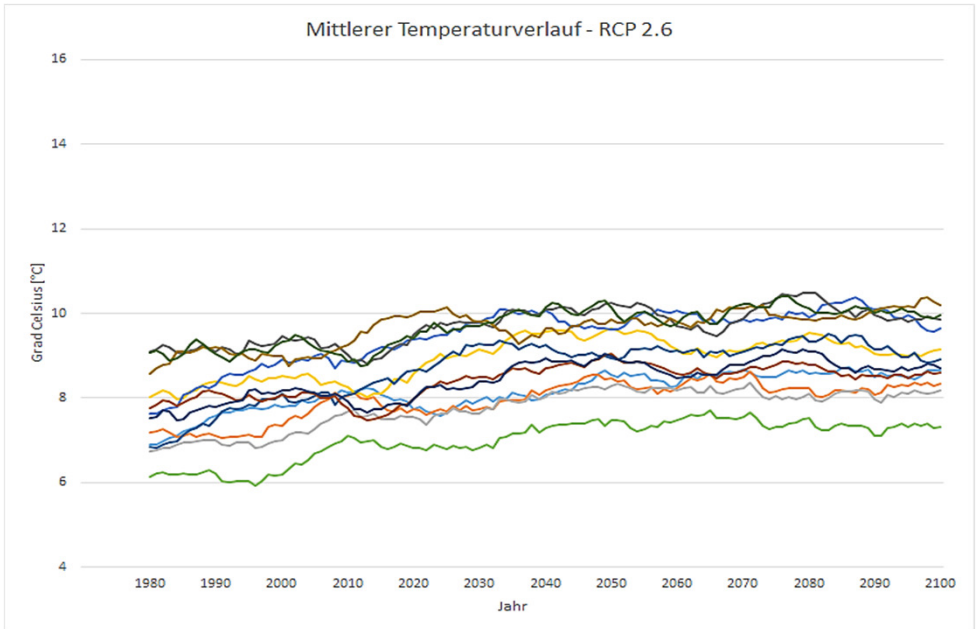


Abb. 2: Änderung der Jahresmitteltemperatur in Hessen, 11-jähriges Mittel, für RCP2.6 (oben, 12 Modelle) und RCP8.5 (unten, 26 Modelle).

Nehmen heiße Tage zu?

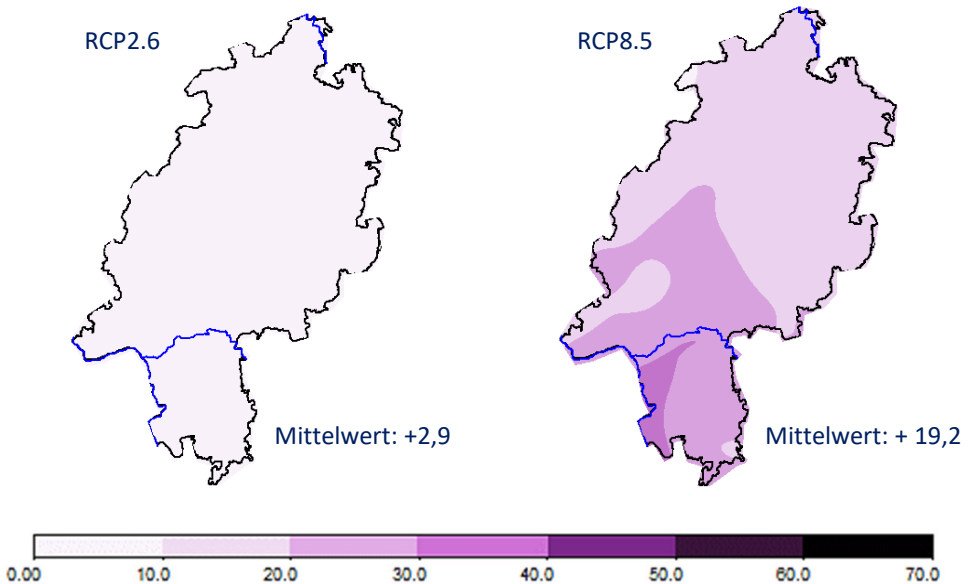


Abb. 3: Änderung der Anzahl heißer Tage pro Jahr. Links RCP2.6, rechts RCP8.5.

Heutzutage (Mittelwert 1971–2000) gibt es im Hessemittel ca. 6 heiße Tage (Tageshöchsttemperatur $\geq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$) pro Jahr. Diese könnten jedoch in Zukunft deutlich häufiger auftreten. Sowohl für RCP2.6 als auch RCP8.5 werden Zunahmen projiziert (Abb. 3). Es gibt jedoch große Unterschiede in der Stärke der Zunahme zwischen den beiden Szenarien.

Für RCP2.6 wird eine Zunahme von knapp 3 heißen Tagen pro Jahr im Mittel über ganz Hessen projiziert (Mittelwert über alle 12 Modelle).

Für das Szenario RCP8.5 simulieren die Modelle bis Ende des 21. Jahrhunderts bereits 19 zusätzliche heiße Tage pro Jahr (Mittelwert über 26 Modelle). Dabei zeigt sich im Süden Hessens eine stärkere Zunahme als im Norden. Dort, wo es auch heute schon die meisten heißen Tage gibt, kommen in der Zukunft auch noch besonders viele heiße Tage hinzu.

Gibt es häufiger Wärmeperioden?

Die Änderung der Anzahl von Wärmeperioden zeigt ein ähnliches Bild wie die Änderung der heißen Tage. Beide Szenarien zeigen einen Anstieg der Anzahl von Wärmeperioden, wobei deutliche Unterschiede zwischen den beiden Szenarien zu sehen sind (Abb. 4).

Zur Zeit (1971–2000) erleben wir durchschnittlich eine Wärmeperiode (Länge von mind. 6 Tagen) pro Jahr. Für das Ende des Jahrhunderts (Mittelwert 2071-2100) werden für das Szenario RCP 2.6 nur geringe Änderungen projiziert. Im Mittel wird sich die Anzahl der Wärmeperioden mit zusätzlichen 1,4 Perioden pro Jahr in diesem Szenario nur wenig verändern.

Unter Voraussetzung des Szenarios RCP 8.5 werden jedoch durchschnittlich 6,4 zusätzliche Wärmeperioden pro Jahr simuliert.

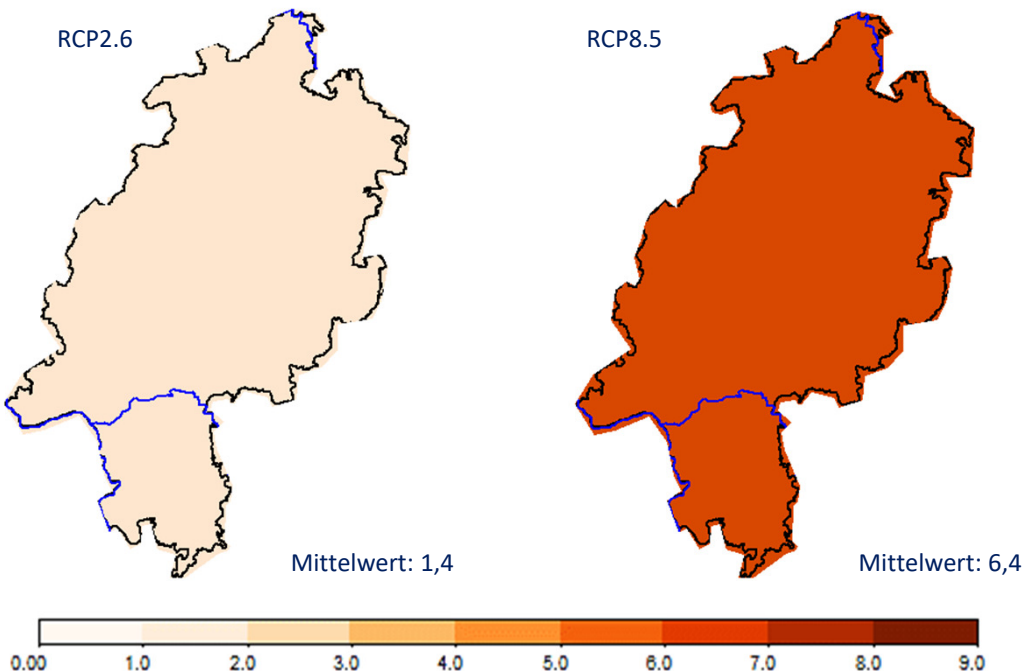


Abb. 4: Änderung der Anzahl von Wärmeperioden pro Jahr, links RCP2.6, rechts RCP8.5.

Werden kalte Tage seltener?

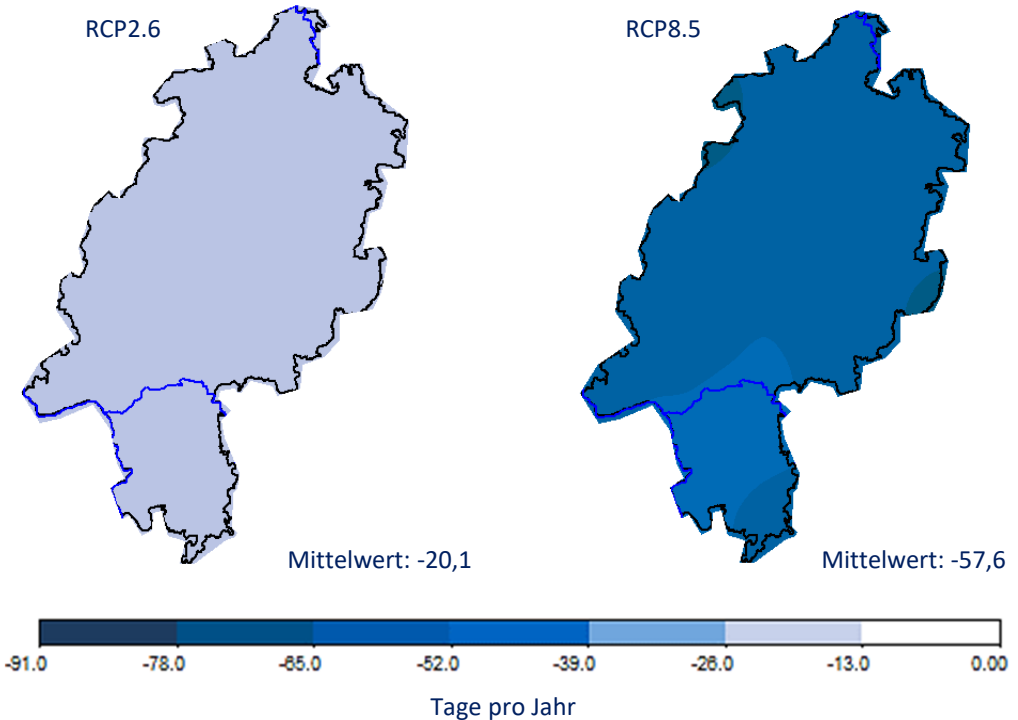


Abb. 5: Änderung von Frosttagen pro Jahr, links RCP2.6, rechts RCP8.5.

Die Ergebnisse von ReKliEs-De zeigen nicht nur eine mittlere Erwärmung und Zunahme der heißen Tage für Hessen, sondern ebenfalls eine drastische Minderung der Frosttage (Tagesminimumtemperatur $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, vgl. Abb. 5).

Für beide Szenarien wird bis zum Ende dieses Jahrhunderts (2071-2100) ein negativer Trend simuliert. Keine einzige Modellkombination zeigt eine Zunahme von Frosttagen im Vergleich zur Referenzperiode.

Trotz dieser Entwicklung kann es im Frühling dennoch zu Spätfrost kommen.

Wird es trockener? Ja UND Nein

Niederschlag ist räumlich und von der Intensität her sehr variabel. Es ist daher schwer, exakte Ergebnisse zu simulieren bzw. zu projizieren. Es bestehen teilweise große Unterschiede zwischen den Modellen.

Dennoch lassen sich für beide Szenarien modellübergreifend saisonale Trends feststellen. Abbildung 6 zeigt die Niederschlagsentwicklung für die Sommermonate Juni, Juli und August (JJA) für die beiden Szenarien. Obgleich die Stärke des Trends vom Szenario abhängt, zeigen die meisten Modellsimulationen eine Abnahme des Sommer-Niederschlags bis zu -20 % (RCP8.5). Allerdings wird für beide Szenarien von einigen Modellen auch eine Niederschlagszunahme simuliert. Eine definitive Aussage über den zukünftigen Verlauf ist daher nicht möglich. Die Tendenz für die Sommermonate bleibt jedoch überwiegend negativ.

Für die Wintermonate Dezember, Januar und Februar (DJF) zeigt sich ein völlig anderes Bild (Abbildung 7). Es werden überwiegend, für Szenario RCP8.5 sogar ausschließlich, Niederschlagszunahmen projiziert. Obwohl sich die Stärke der Änderungssignale zwischen den Szenarien und Modellen unterscheiden, ist hier ein eindeutiger Trend erkennbar (Mittel: +20 % bei RCP8.5). Der Niederschlag wird im Winter aufgrund der Erwärmung überwiegend als Regen fallen. Schneefälle werden zunehmend seltener.

Allgemein wird eine Verschiebung des Niederschlags vom Sommer in den Winter projiziert, was zu längeren Trockenperioden im Sommer und längeren Regenperioden im Winter führen kann.

Auch für die Frühlingsmonate März, April und Mai (MAM) werden überwiegend Niederschlagszunahmen simuliert. Für die Herbstmonate September, Oktober und November (SON) kann kein Trend festgestellt werden.

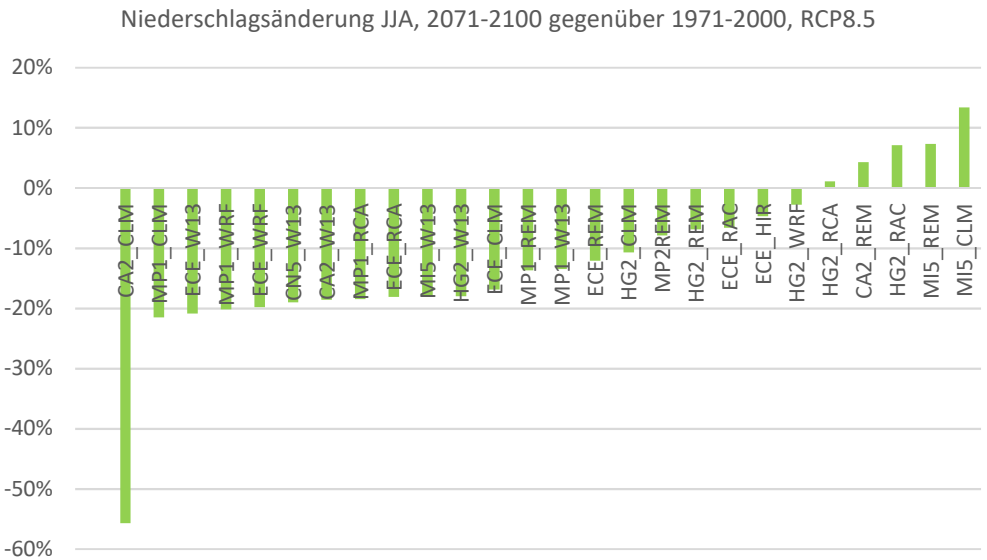
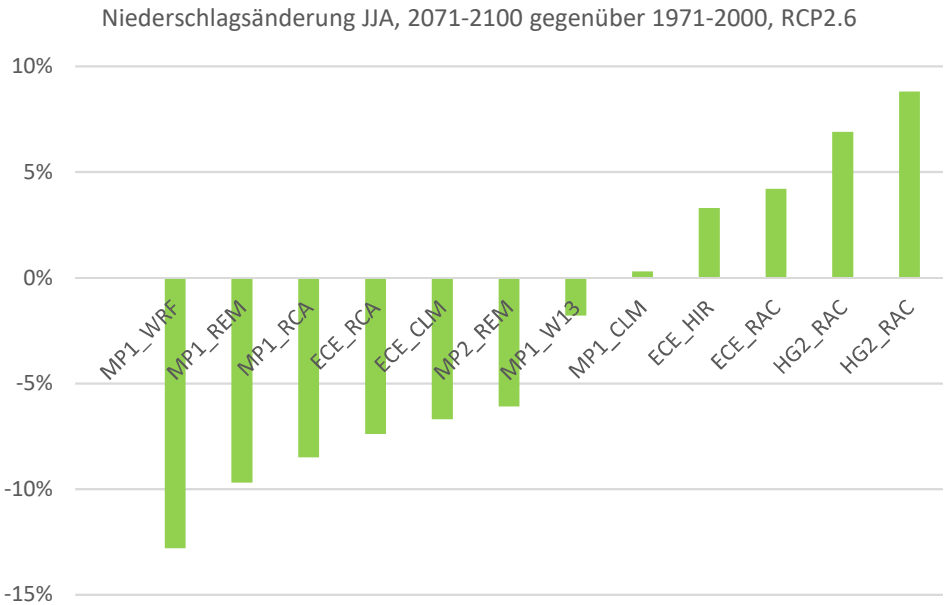
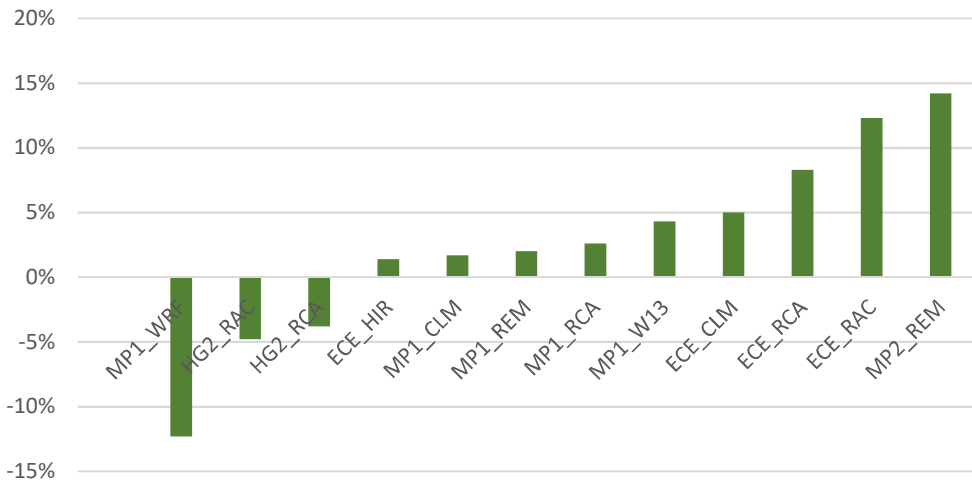


Abb. 6: Änderung des Sommerniederschlages (JJA) in %. Oben RCP2.6 (12 Modelle), unten RCP8.5 (26 Modelle).

Niederschlagsänderung DJF, 2071-2100 gegenüber 1971-2000, RCP2.6



Niederschlagsänderung DJF, 2071-2100 gegenüber 1971-2000, RCP8.5

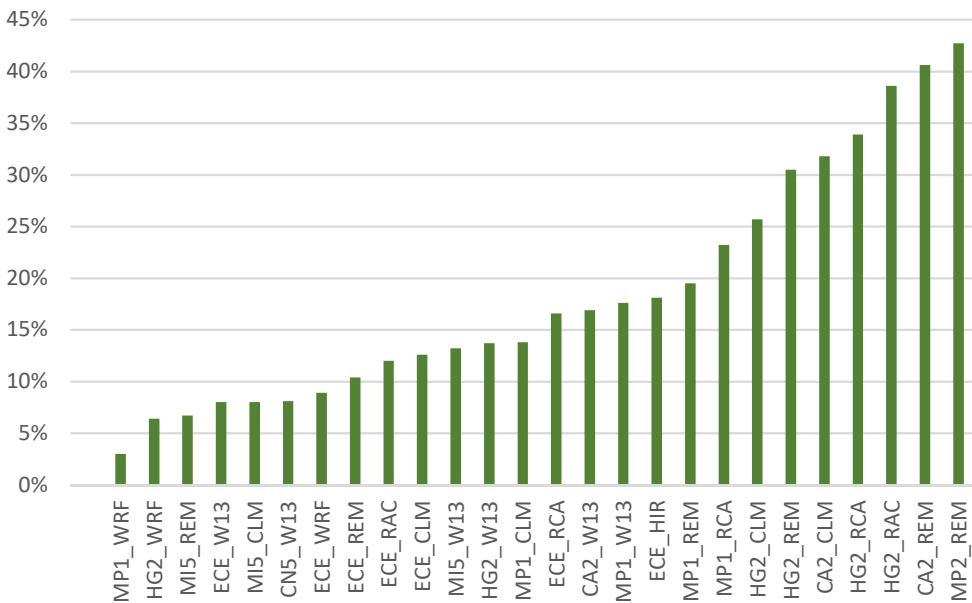


Abb. 7: Änderung des Winterniederschlages (DJF) in %. Oben RCP2.6 (12 Modelle), unten RCP8.5 (26 Modelle).

Zunahme von Starkniederschlägen?

Starkniederschläge (hier ausgewertet: Tage mit mehr als 20 mm Niederschlag) treten überwiegend im Sommer auf und können weitreichende Folgen für Mensch und Umwelt haben.

Insbesondere nach lang anhaltenden Trockenperioden können Starkniederschläge auf vertrockneten Böden für Bodenerosion und Überschwemmungen sorgen. Tage mit mehr als 20 mm Niederschlag treten recht selten auf: Im Zeitraum 1971–2000 nur an ca. 4 Tagen pro Jahr.

Die in Abbildung 8 dargestellte zukünftige Entwicklung zeigt für die beiden Szenarien unterschiedliche Veränderungen im Vergleich zur Referenzperiode (1971–2000). Während die Zahl der Starkregentage für das RCP2.6 fast konstant bleibt (im Mittel über ganz Hessen +0,3 Tage pro Jahr), zeigt sich im RCP8.5 mit einer Zunahme um 1,7 Tage pro Jahr eine Zunahme um fast 40 % im Vergleich zum Referenzzeitraum. Die Tendenz ist jedoch aufgrund der Unterschiede zwischen den Modellprojektionen nicht eindeutig.

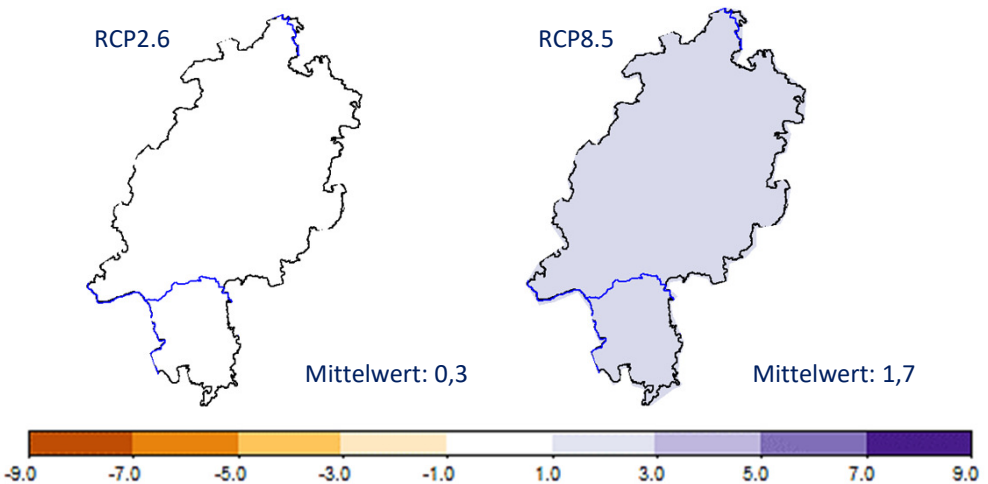


Abb. 8: Änderung der Anzahl von Tagen pro Jahr mit mehr als 20 mm Niederschlag, links RCP2.6, rechts RCP8.5.

Zusammenhang zwischen Hitze, Starkregen und Trockenheit

Die in dieser Broschüre dargestellten Klimaänderungssignale sind Kennzahlen, die sich jeweils auf eine Variable beschränken (bspw. Heiße Tage betrachten nur die Temperatur). Betrachtet man zusätzlich den Zusammenhang zwischen den verschiedenen Kennzahlen, lassen sich potentielle Risiken für Mensch und Umwelt abschätzen. Dies soll hier am Beispiel von Gefahren durch Starkniederschläge exemplarisch aufgezeigt werden.

In niederschlagsarmen und heißen Sommern trocknet der Boden aus und die Oberfläche wird ganz hart. Die beiden Effekte verstärken sich noch gegenseitig: je wärmer es wird, desto mehr Wasser wird von Pflanzen verdunstet und dadurch aus dem Boden entfernt; je trockener der Boden ist, desto stärker erhitzt er sich in der Sonne. Wenn es dann stark regnet, kann das Wasser nicht in den Boden einsickern. Dadurch kommt es verstärkt zu Oberflächenabfluss und Erosion. Oft fließt dann das Wasser in tiefer gelegenen Siedlungen in Keller oder auf Straßen und verursacht so große Schäden. (Für nähere Informationen zu den Folgen von Starkregen siehe HLNUG-Broschüre: „Starkregen und kommunale Vorsorge“).



Fazit

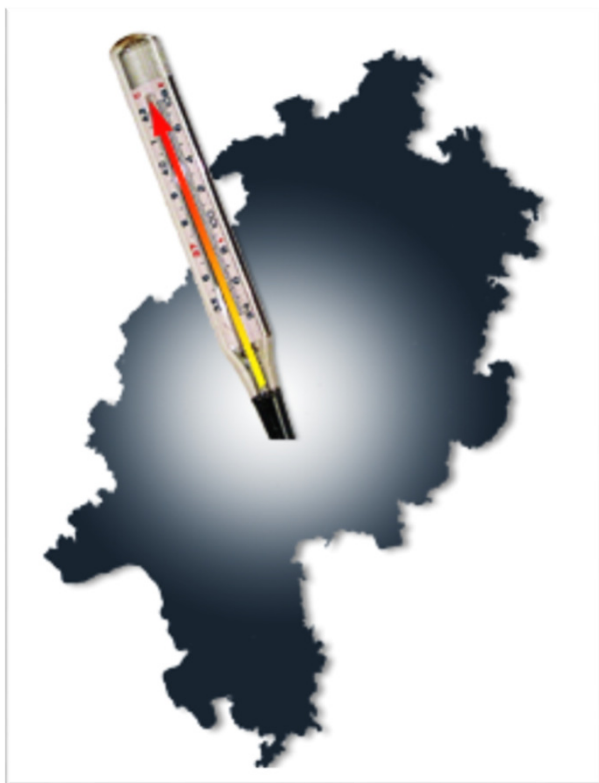
Die Ergebnisse des ReKliEs-De-Projekts zeigen, dass wir in Hessen zukünftig mit steigenden Temperaturen rechnen müssen. Damit einher geht insbesondere eine Zunahme von heißen Tagen (Tageshöchsttemperatur über 30 °C) und eine Abnahme von Frosttagen (Tagestiefsttemperatur unter 0 °C). Es ist ebenfalls davon auszugehen, dass die Anzahl von Wärmeperioden (mind. 6 aufeinanderfolgende Tage, an denen die Höchsttemperatur höher ist als an den 10 % wärmsten Tagen im Referenzzeitraum) deutlich zunimmt. Dies gilt nicht nur für den Sommer. Auch in den anderen Jahreszeiten kann es ungewöhnlich lange ungewöhnlich warm werden (z.B. könnte eine Wärmeperiode im Winter eine Periode von mind. 6 Tagen mit Höchstwerten über 10 °C sein). Das fällt uns zwar meist nicht so auf, für die Natur kann es aber trotzdem sehr wichtig sein.

Trotz der durchschnittlich steigenden Temperaturen können aber immer noch Kälteperioden und Spätfröste eintreten, wenn auch seltener als früher.

Die Modelle zeigen eine Verschiebung des Niederschlags vom Sommer in den Winter. Im Sommer werden zudem längere Trockenperioden erwartet. Zusammen mit einer steigenden Tendenz für Starkregentage können daraus erhebliche Schäden durch Erosion auf landwirtschaftlichen Flächen und Überflutung von Siedlungsgebieten und Straßen entstehen.

Durch das Projekt ReKliEs-De wurde ein großes Spektrum an möglichen Klimaänderungssignalen für zwei sehr unterschiedliche Szenarien erstellt. Die Ergebnisse zeigen übereinstimmend, dass die zu erwartenden Klimaänderungen unter dem Szenario RCP2.6 eher gering ausfallen, während sie unter dem Szenario RCP8.5 teilweise dramatisch ausfallen.

Weitere Informationen und Ergebnisse aus dem Projekt ReKliEs-De finden Sie auf der Internetseite: <http://reklies.hlnug.de>





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

