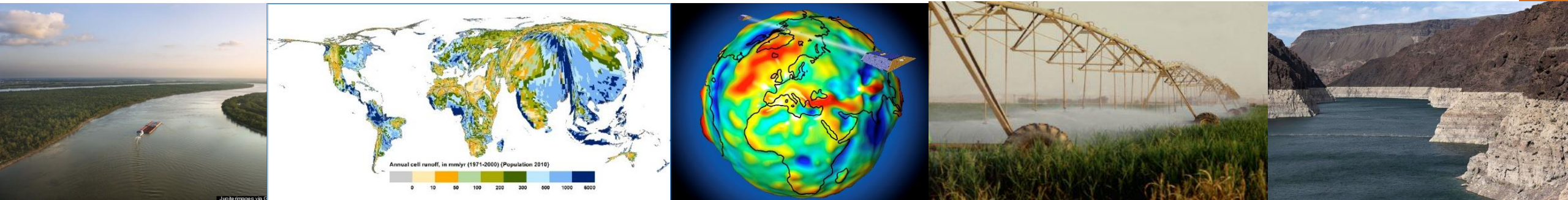


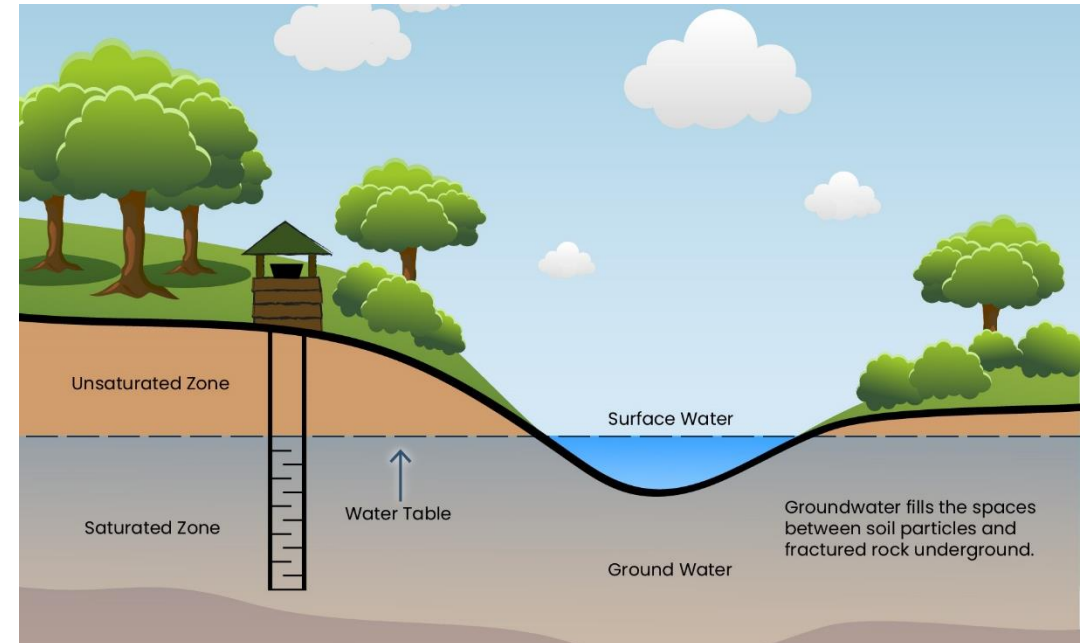
Die Ressource Wasser im Klimawandel – globale Entwicklungen und regionale Auswirkungen



Petra Döll
Institut für Physische Geographie
Goethe-Universität Frankfurt

Ressource Wasser (Frz. la ressource: Mittel)

- Wasser im Boden:
 - Wasserversorgung für Pflanzen (Photosynthese, Nährstoffantransport, Hitzeschutz, Schutz gegen Waldbrände ...)
 - Lebensraum für nicht-menschliche Lebewesen
- Wasser im Grundwasser und in Oberflächengewässern:
 - Wasserversorgung für Menschen (Haushalts- und Industriewassernutzung, Bewässerung, Viehzucht)
 - Lebensraum für nicht-menschliche Lebewesen:



Ressource Wasser (Frz. la ressource: Mittel)

- Wasser im Boden:
 - Wasserversorgung für Pflanzen (Photosynthese, Nährstoffantransport, Hitzeschutz, Schutz gegen Waldbrände ...)
 - Lebensraum für nicht-menschliche Lebewesen
- Wasser im Grundwasser und in Oberflächengewässern:
 - Wasserversorgung für Menschen (Haushalts- und Industriewassernutzung, Bewässerung, Viehzucht)
 - Lebensraum für nicht-menschliche Lebewesen:

3. Waldkongress

- Wasser im Boden:
 - Wasserversorgung für die Pflanzen im Wald
- Wasser im Grundwasser :
 - Trinkwasserversorgung (Vortrag Melanie Vogt)

Ressource Wald (für den Wasserkreislauf)

Im Vergleich zu Acker und Wiese:

- **mehr Evapotranspiration** durch mehr Verdunstung aus dem Kronenraum und tiefere Wurzeln
- **weniger Abfluss (erneuerbare Wasserressourcen)**
- **niedrigeres Verhältnis von schnellem Oberflächenabfluss zu Gesamtabfluss** (mehr Infiltration und Wasserrückhalt)
- **meist auch weniger Grundwasserneubildung**, es sei denn der Oberflächenabfluss ist Nicht-Wald sehr hoch

3. Waldkongress

Wasserrückhalt (Vortrag Bernhard Frauenberger)

Klimawandel und Wasser kurzgefasst (IPCC 2021)

1. Es ist immer besser belegt, dass sich der globale Wasserkreislauf mit steigenden globalen Temperaturen intensiviert.
2. Der globale Niederschlag steigt, aber in vielen Regionen wird er weniger.
3. Auch in Regionen mit zunehmendem Niederschlag können durch steigende Temperaturen und damit steigende Evapotranspiration Abfluss und Bodenfeuchte geringer werden.
4. Niederschlag und Durchfluss werden immer variabler, von Tag zu Tag, von Jahreszeit zu Jahreszeit und von Jahr zu Jahr (nicht in allen Gebieten).
5. Die Änderungen verstärken sich mit zunehmenden Treibhausgasemissionen.
6. Quantitative Prognosen sind aufgrund der Komplexität des Klimasystems sehr unsicher.
7. In Mitteleuropa werden die Sommer tendenziell trockener, die Winter feuchter.

Beobachtete Änderungen

Bodenwassertrockenheit

(Zunahme aufgrund erhöhter Evapotranspiration bei erhöhter Temperatur bei nicht genügender Zunahme des Niederschlags)

(c) Synthese der Bewertung der beobachteten Änderung bei **landwirtschaftlicher und ökologischer Dürre** und Vertrauen in den Beitrag des Menschen zu den beobachteten Änderungen in den Weltregionen

Art der beobachteten Änderung

bei landwirtschaftlicher und ökologischer Dürre

Zunahme (12)

Abnahme (1)

Geringe Übereinstimmung hinsichtlich Art der Änderung (28)

Begrenzte Daten und/oder Literatur (4)

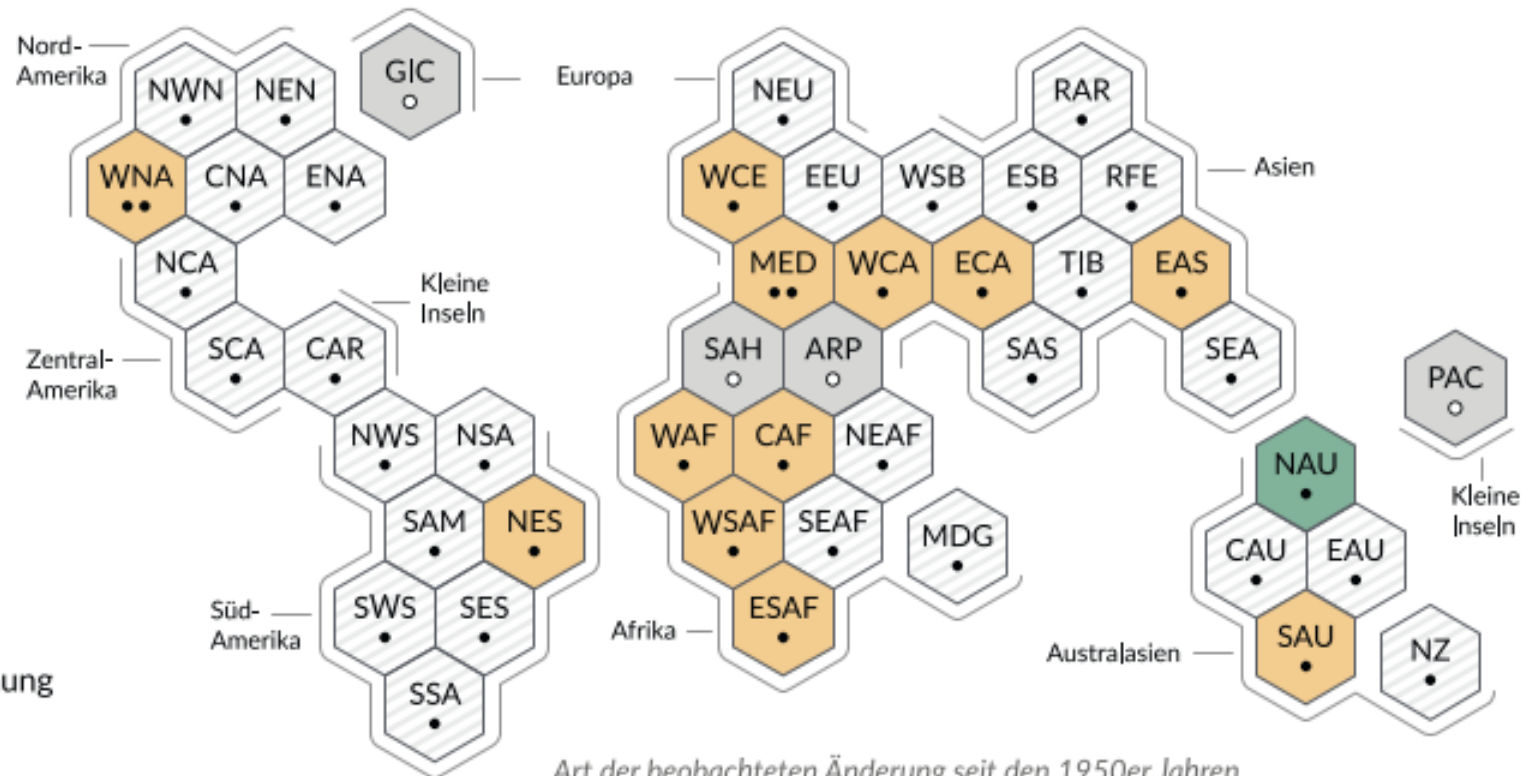
Vertrauen in den Beitrag des Menschen zur beobachteten Änderung

●●● Hoch

●● Mittel

● Gering aufgrund begrenzter Übereinstimmung

○ Gering aufgrund begrenzter Belege







Art der beobachteten Änderung seit den 1950er Jahren

Beobachtete Änderungen

Starkregenereignissen

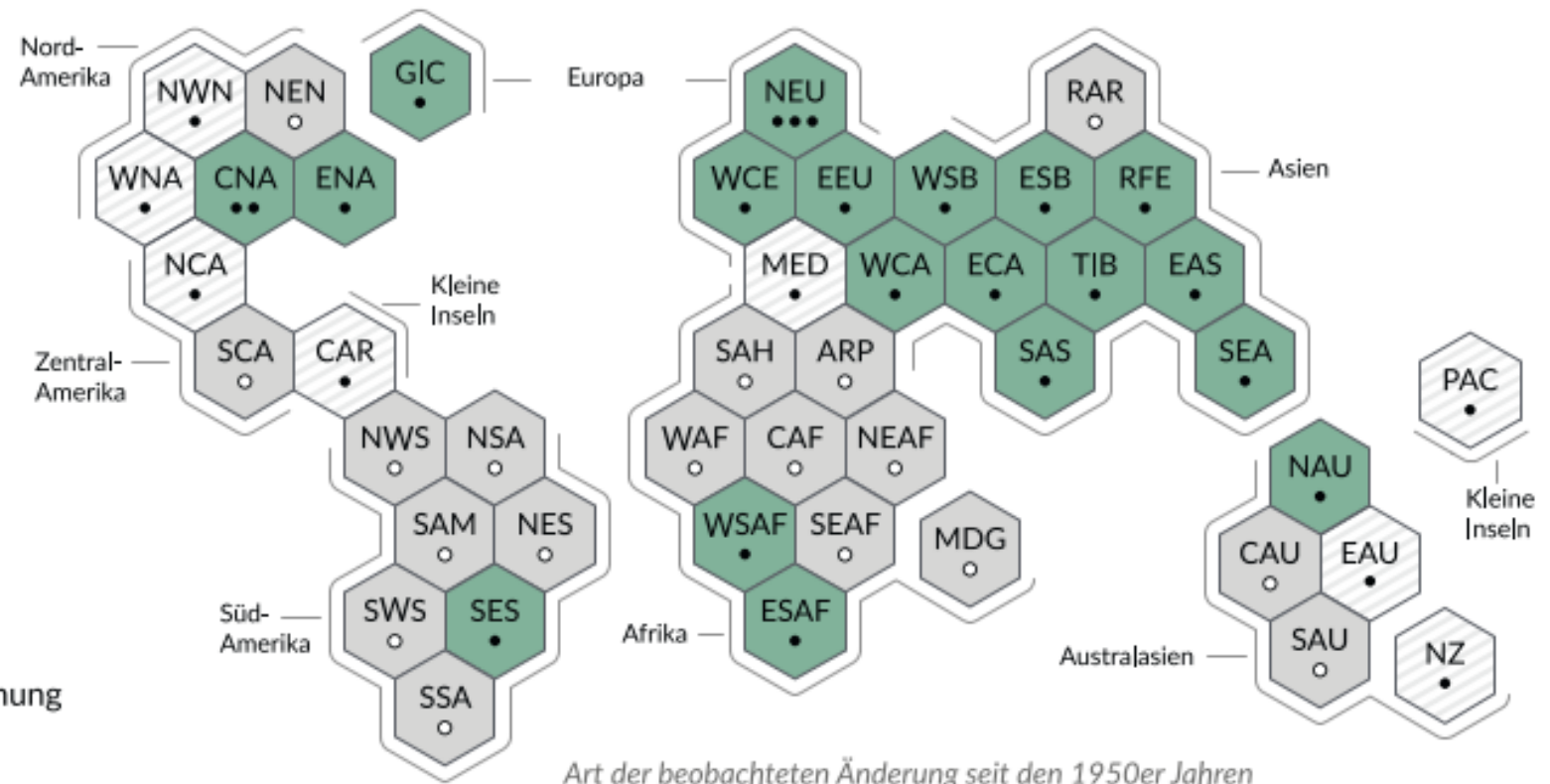
(b) Synthese der Bewertung der beobachteten Änderung bei **Starkniederschlag** und Vertrauen in den Beitrag des Menschen zu den beobachteten Änderungen in den Weltregionen

Art der beobachteten Änderung bei Starkniederschlag

-  Zunahme (19)
-  Abnahme (0)
-  Geringe Übereinstimmung hinsichtlich Art der Änderung (8)
-  Begrenzte Daten und/oder Literatur (18)

Vertrauen in den Beitrag des Menschen zur beobachteten Änderung

- Hoch
- Mittel
- Gering aufgrund begrenzter Übereinstimmung
- Gering aufgrund begrenzter Belege



Long-term water cycle variables changes for SSP2-4.5 (2081–2100 vs 1995–2014)

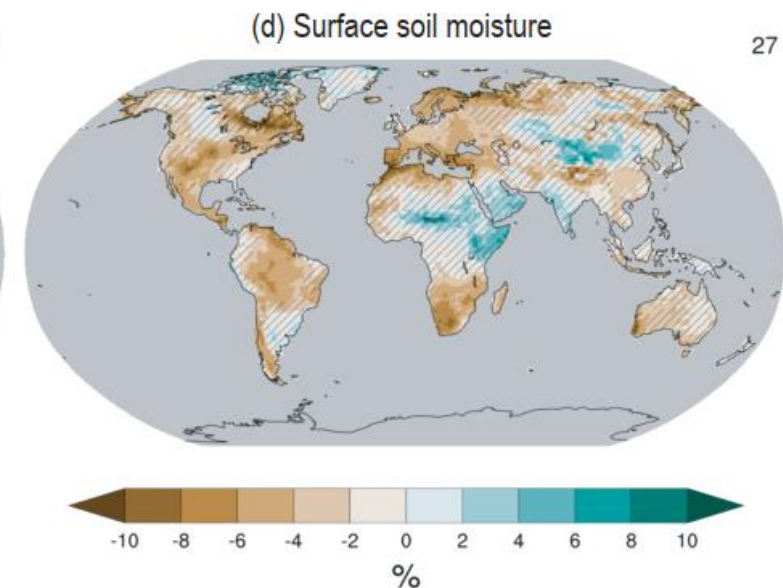
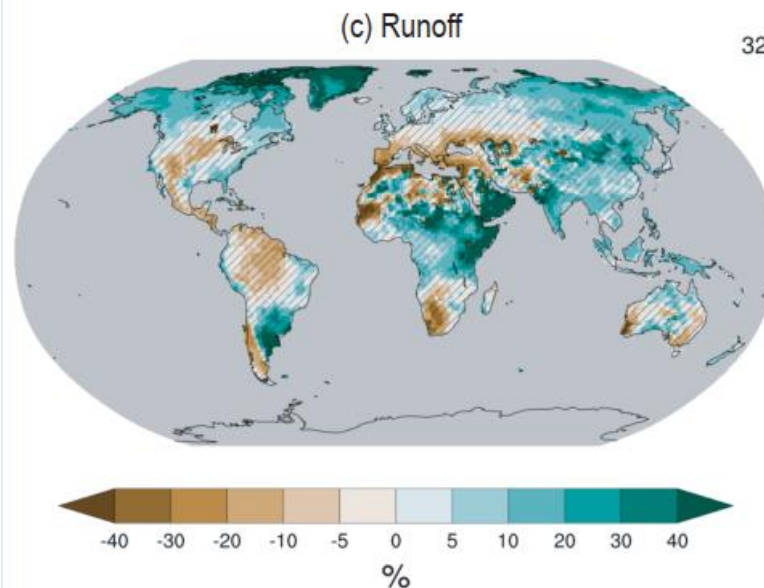
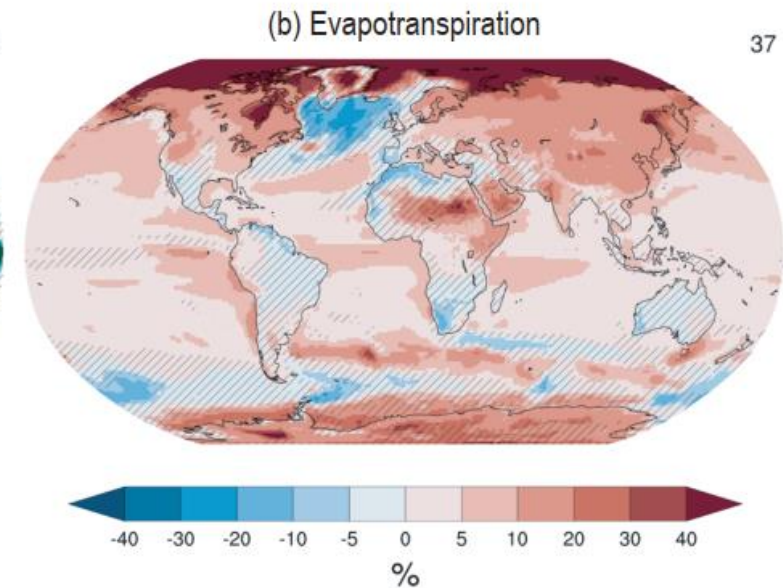
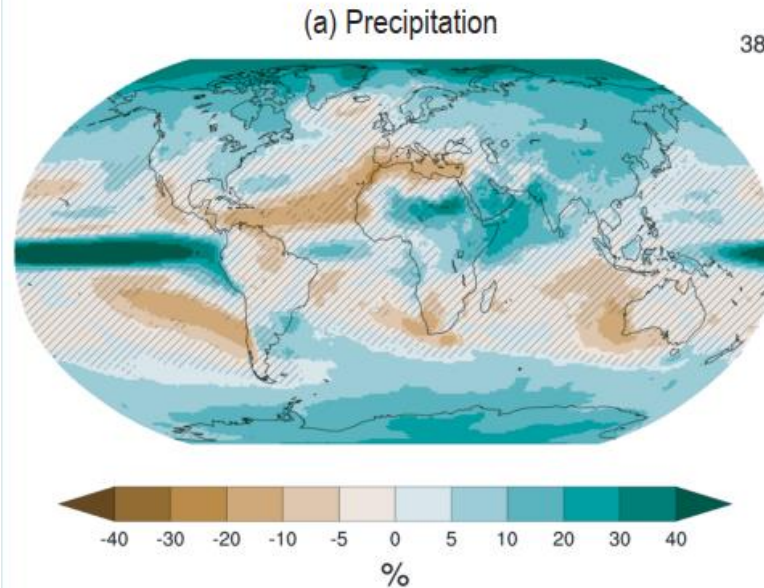
Zukünftige Änderungen

von Niederschlag, Verdunstung, Wasserressourcen und Bodenfeuchte (Ergebnisse verschiedener globaler Klimamodelle)

Dargestellt sind Mittelwerte der Änderungen, berechnet von vielen Klimamodellen (Anzahl ist rechts oben angegeben). Die Ergebnisse der einzelnen Modelle haben eine große Spannweite. In den Regionen mit Farbe stimmen aber zumindest 80% der Modelle darüber überein, dass es eine Zunahme (oder Abnahme) geben wird.

(mittleres Emissionsszenario, ca. 3 °C globale Erwärmung über dem vorindustriellen Niveau)

Bei Einhaltung des 2-Grad-Ziels prozentual etwas geringere Änderungen



Color High model agreement ($\geq 80\%$)
Hatched Low model agreement ($< 80\%$)

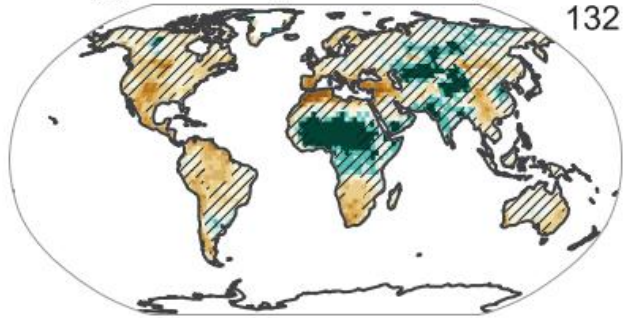
Zukünftige Änderungen

Änderung der Häufigkeiten ein Bodenwasserdürre, die in vorindustrieller Zeit nur einmal in 10 Jahren auftrat

June-to-August frequency of 1-in-10 year soil moisture drought – median

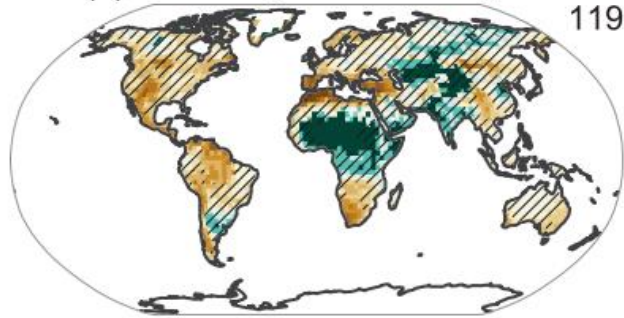
(g) At 1.5°C global warming

132



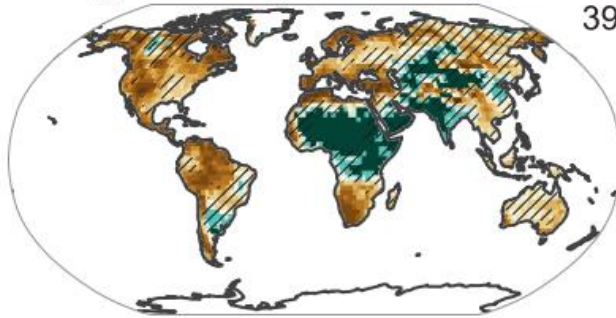
(h) At 2.0°C global warming

119



(i) At 4.0°C global warming

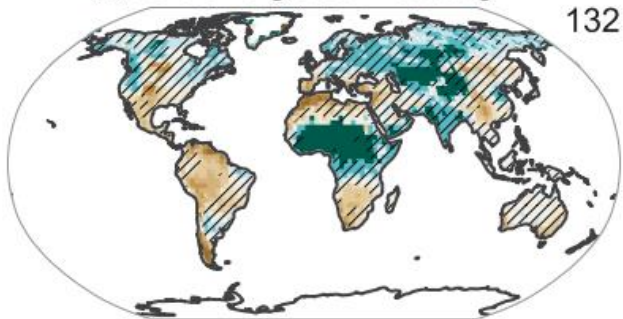
39



December-to-February frequency of 1-in-10 year soil moisture drought – median

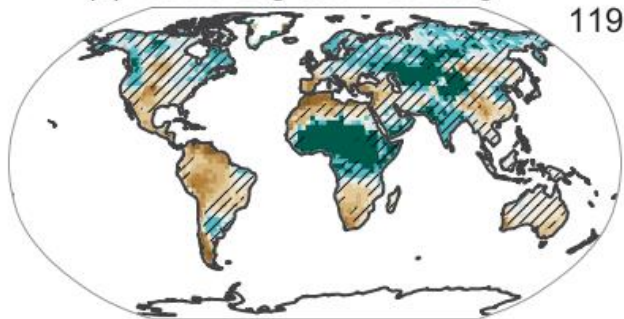
(j) At 1.5°C global warming

132



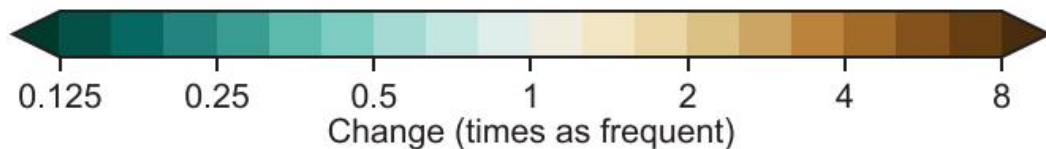
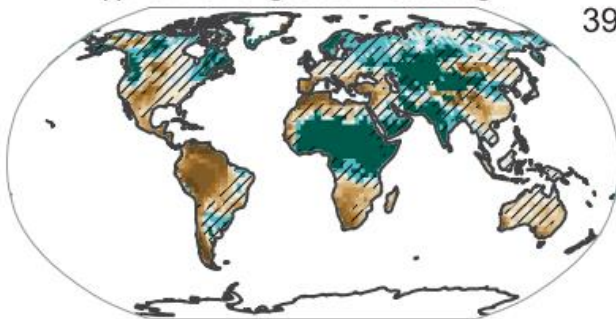
(k) At 2.0°C global warming

119



(l) At 4.0°C global warming

39



Colour High model agreement
/ / Low model agreement

IPCC 2021,
Fig. 11.19

Wie werden die potentiellen (unsicheren) Auswirkungen/Gefahren des Klimawandels für die Wasserressourcen am besten quantitativ abgeschätzt?

- **Multi-Modell-Ensembles (MME)** sind am besten geeignet, das (unsichere) Wissen zu den potentiellen Auswirkungen des Klimawandels zu quantifizieren.
- Schritt 1: Globale Klimamodelle berechnen das historische und zukünftige Klima bei verschiedenen Szenarien von Treibhausgasemissionen (RCPs)
- Schritt 2: Verschiedene Impaktmodelle (z.B. hydrologische Modelle) werden durch den bias-korrigierten Output verschiedener globaler Klimamodelle angetrieben.

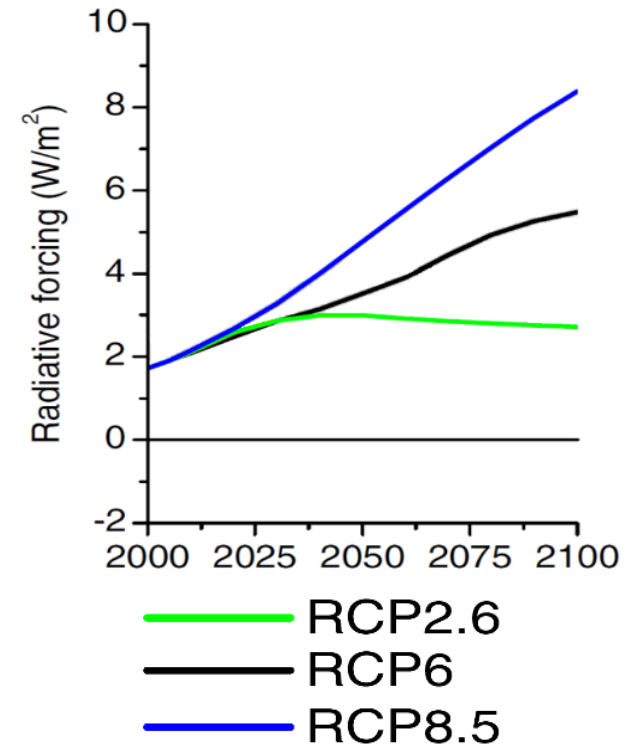


Abbildung verändert aus Van Vuuren et al. (2011)

Quelle für die Berechnungsergebnisse von MME: ISIMIP

- ISIMIP (Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project, www.isimip.org) stellt **kostenfrei** Berechnungsergebnisse zu den potentiellen Auswirkungen des Klimawandels in Form von MMEs zur Verfügung.
- Für alle Landflächen der Erde
- Sektoren: Wasser, Seen, Landwirtschaft, terrestrische Biodiversität, Feuer ...

MME mit 32 Mitgliedern (ISIMIP 2b)
pro RCP:
4 globale Klimamodelle x
8 globale hydrologische Modelle

Räumliche Auflösung: 0,5° (ca. 50 x
50 km, alle Landflächen der Erde)

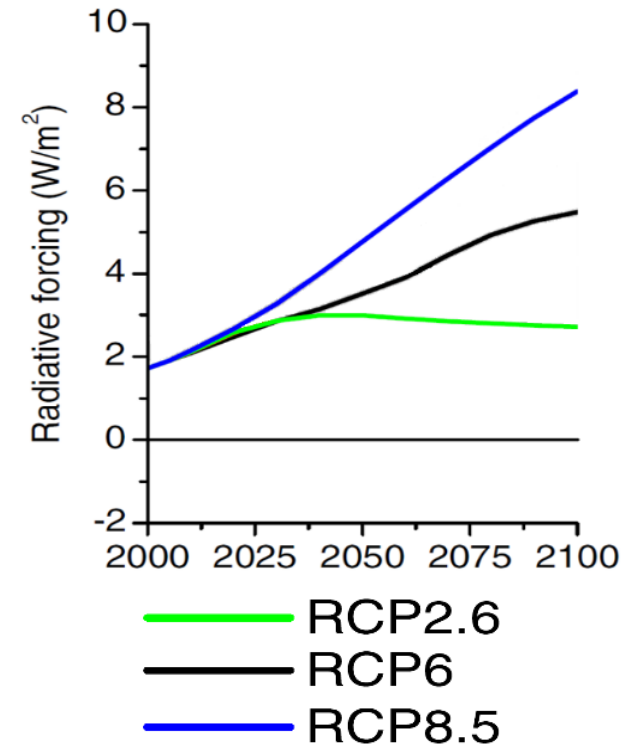
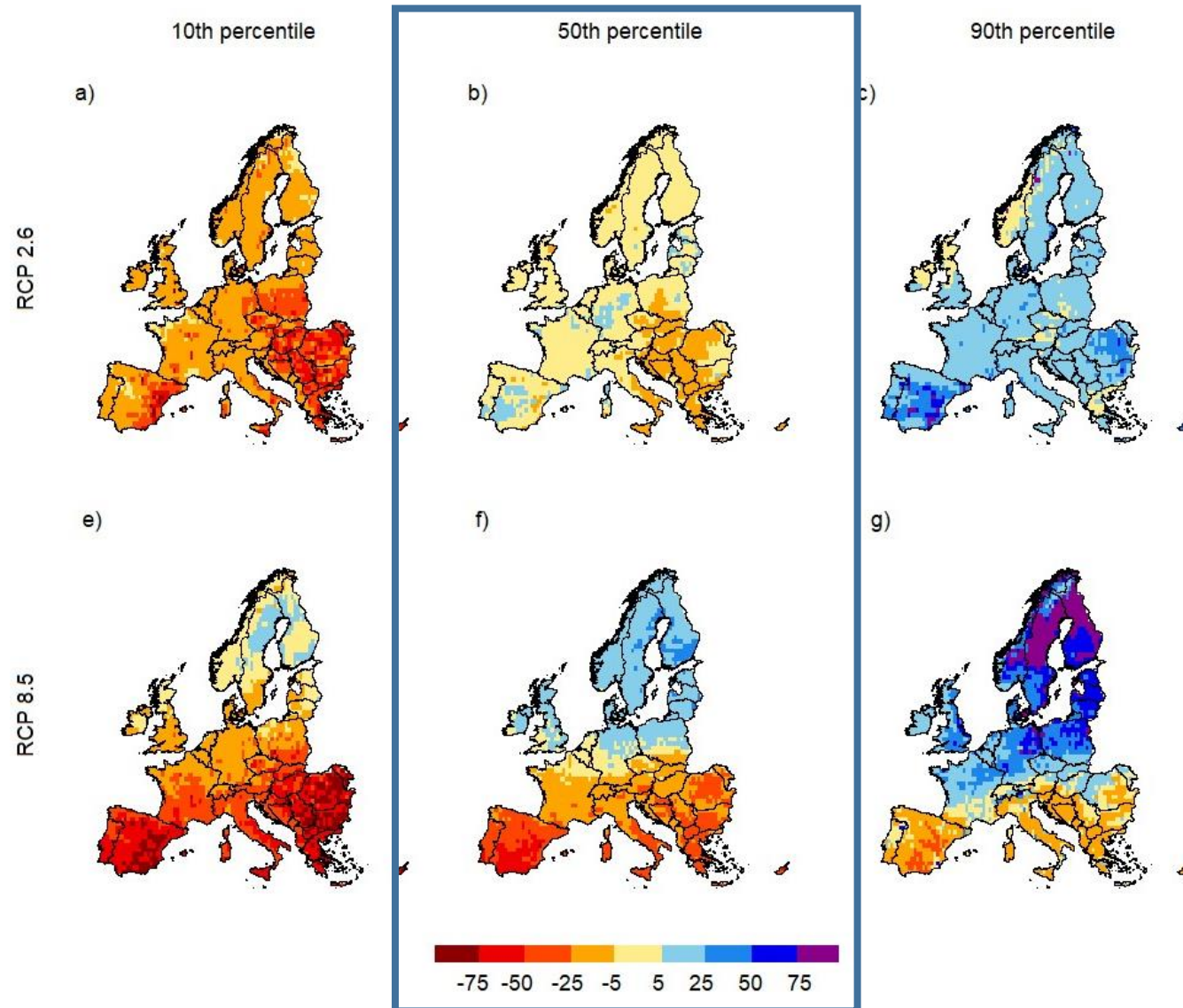


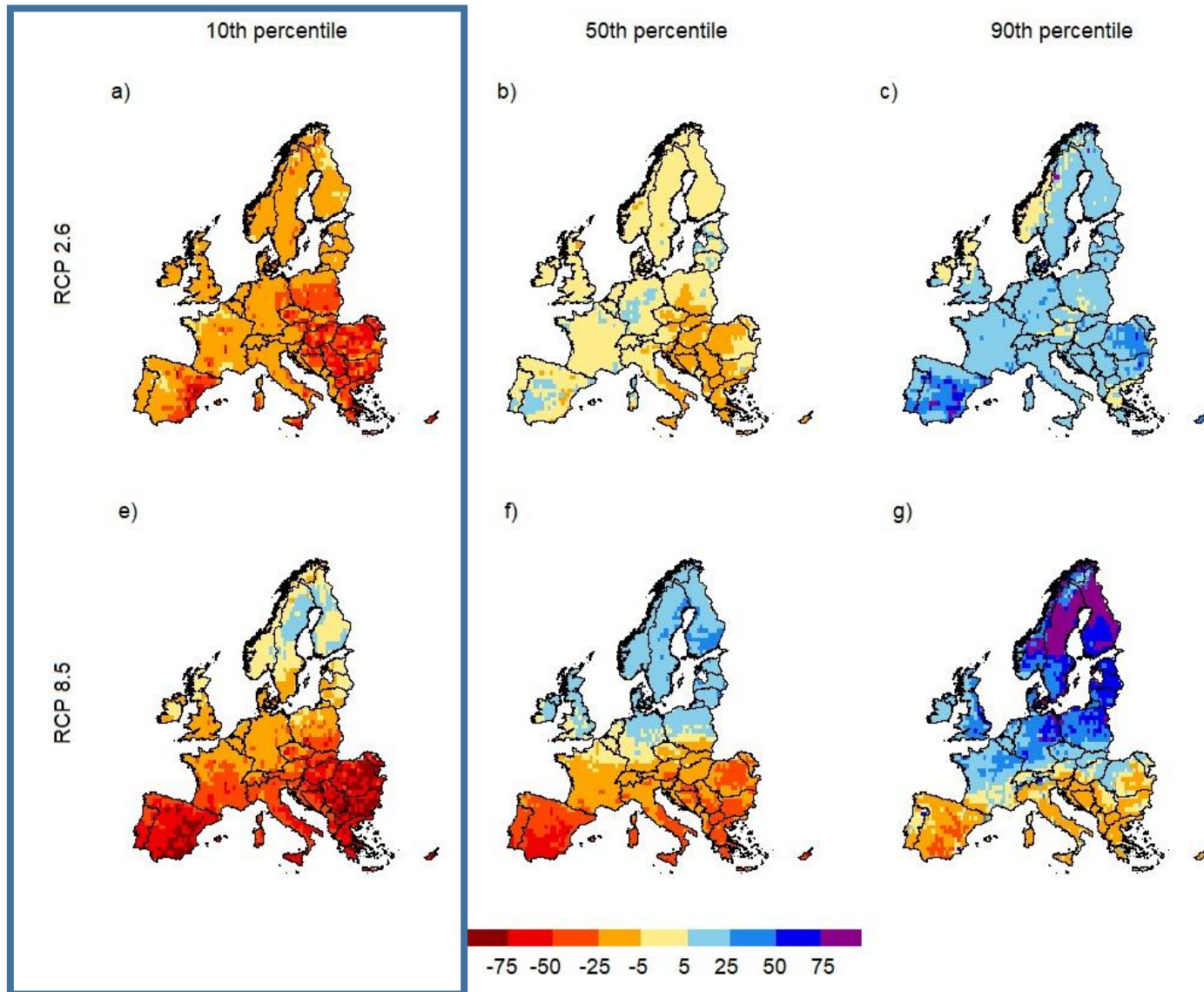
Abbildung verändert aus Van Vuuren et al. (2011)

Potentielle Änderungen der Grundwasserneubildung zwischen 2006-2035 und 2070-2099 berechnet mit einem Multi-Modell-Ensemble aus globalen Klimamodellen und globalen hydrologischen Modellen (Söller et al., in Vorbereitung)



x. Perzentil: x% aller 32 Modellkombinationen berechnen einen noch kleineren Änderungswert

Potentielle Änderungen der Grundwasserneubildung zwischen 2006-2035 und 2070-2099 berechnet mit einem Multi-Modell-Ensemble aus globalen Klimamodellen und globalen hydrologischen Modellen (Söller et al., in Vorbereitung)



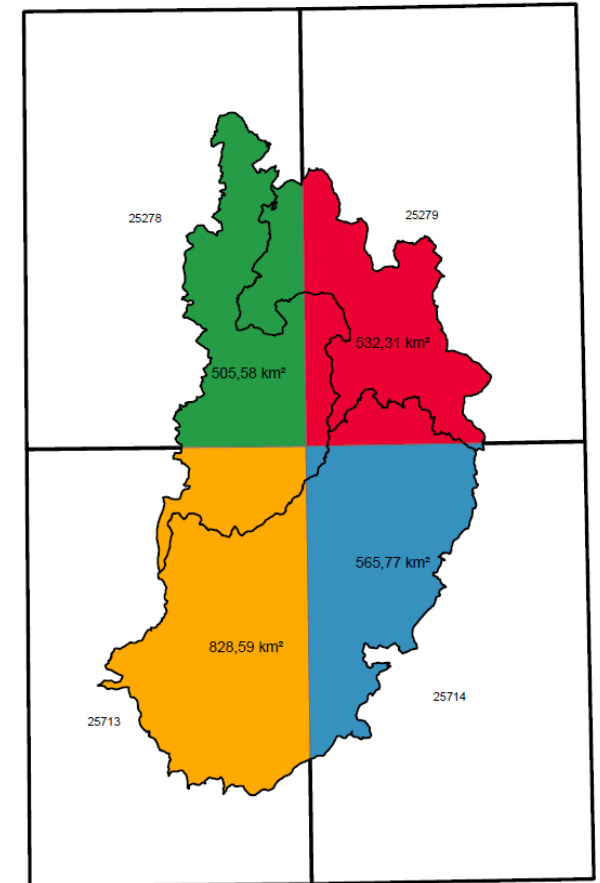
x. Perzentil: x% aller 32 Modellkombinationen berechnen einen noch kleineren Änderungswert

Bedeutung für die Anpassung an den Klimawandel:

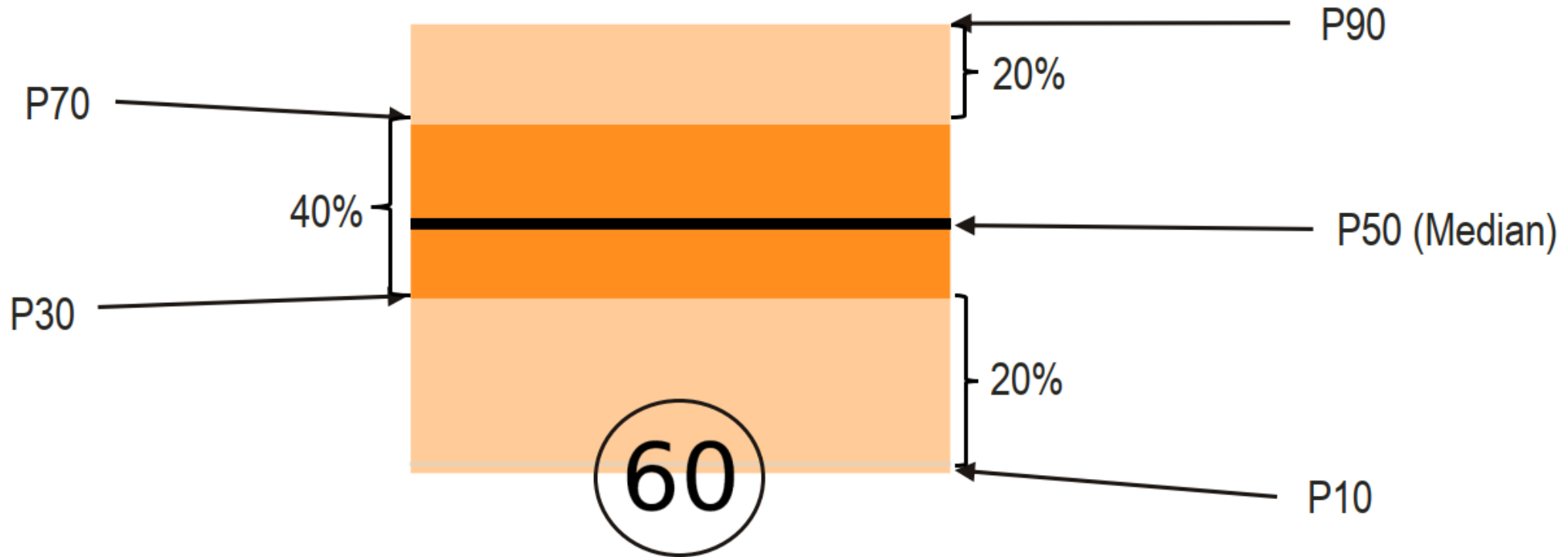
Vorsorgeprinzip → Anpassung an P10

Information zu regionalen Gefahren des Klimawandels durch ISIMIP MMEs

- Projekt KlimaRhön: Anpassung an den Klimawandel in der Trinkwasserversorgung und bei aquatischen Ökosystemen
- Information für Stakeholder, die Anpassungsmaßnahmen entwickeln wollen

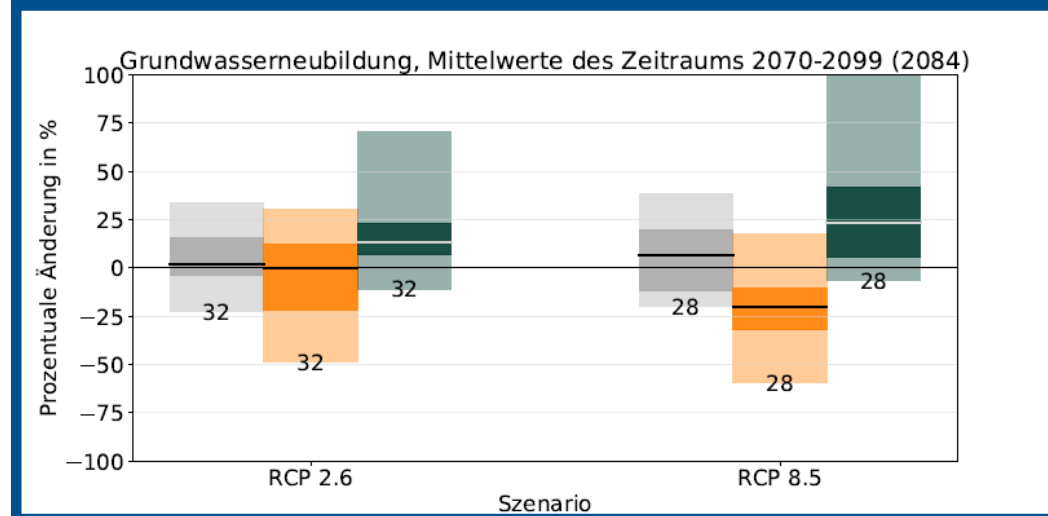
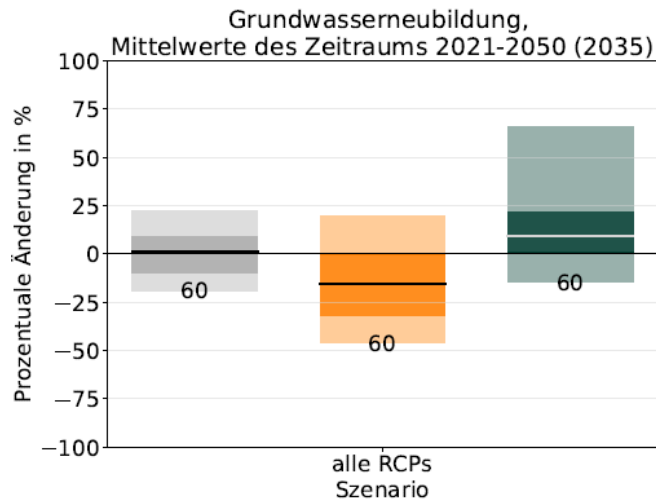
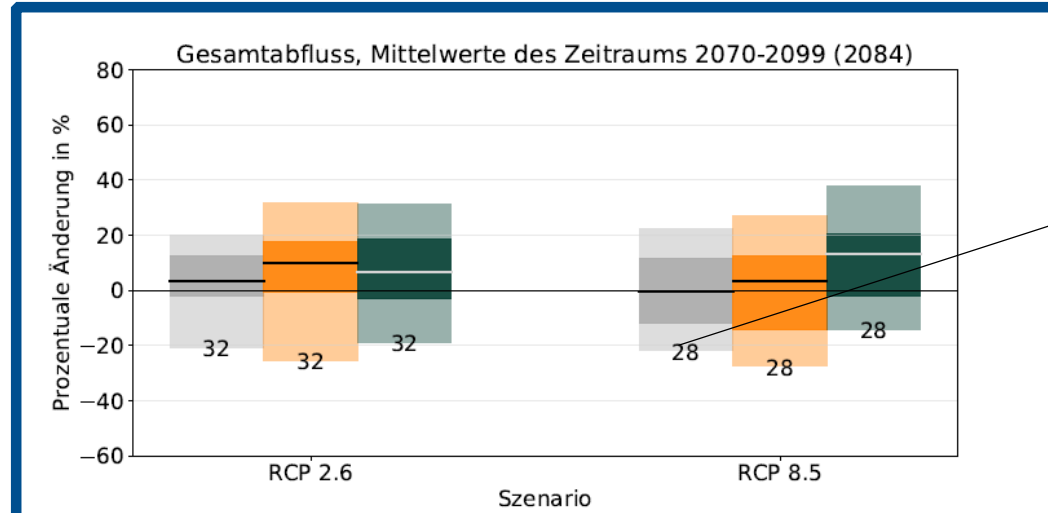
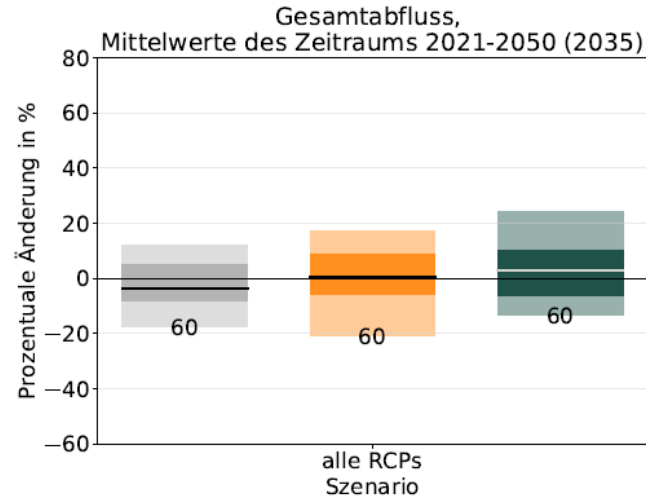


Perzentil-Box zur Darstellung von MME-Daten für eine einzelne räumliche Einheit



Anzahl an Modellkombination, die das Multi-Modell Ensemble bilden

Potentielle zukünftige Änderungen von Gesamtabfluss und Grundwasserneubildung im Biosphärenreservat Rhön



■ Annuell ■ JJA ■ DJF

Änderung des jährlichen Gesamtabflusses im Median 0%, aber ca. 10% aller MK prognostizieren eine Abnahme von mehr als 20%.

Umgang mit unsicheren Prognosen der Gefahren des Klimawandels (für die Wasserressourcen, das Baumwachstum, die landwirtschaftlichen Erträge ...)

- Analyse von **potentiellen Änderungen** problemspezifischer Variablen, die durch ein **Multi-Modell-Ensemble**, das mehrere Klima- und Impaktmodelle umfasst, berechnet wurden (frei verfügbar bei www.isimip.org)
- Für die Anpassung an der Klimawandel ist es sinnvoll, **nicht nur den Mittelwert der Ergebnisse** von unterschiedlichen Modellen prognostizierten Änderungen zu betrachten, sondern die **Spannweite der Modellergebnisse** anzuschauen.
- Dann kann je nach **Risikoaversion** entschieden werden, auf welche potentiellen Änderungen die Anpassungsmaßnahmen abzielen sollen.
- Das **Vorsorgeprinzip** legt nach, sich auf extremere Änderungen als den Median einzustellen.
- Ist z.B. die Abnahme einer Größe problematisch (meist bei Grundwasserneubildung oder Bodenfeuchte), ist es besser, sich an das **10. Perzentil** anzupassen (Wert der Abnahme, der nur von 10% (und nicht 50%) der Modelle überschritten wird).

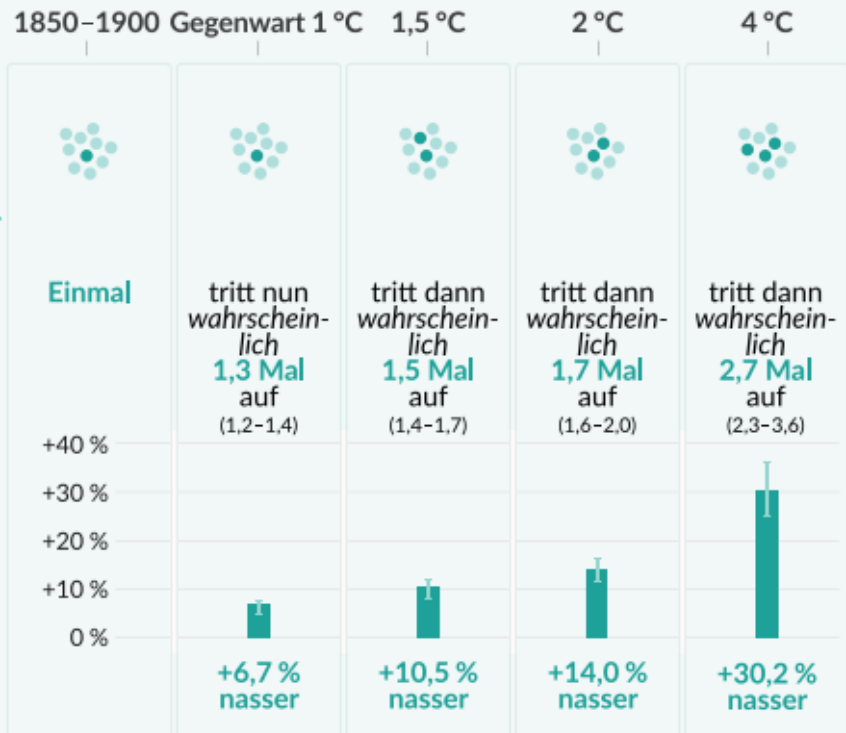
Auswirkungen des menschengemachten Klimawandels: Zukünftige Änderungen von Starkregenereignissen und Bodenwasserdürren

Starkniederschlag über Land

10-Jahresereignis

Häufigkeit und Intensitätszunahme eines eintägigen Starkniederschlagsereignisses, das in einem Klima ohne Einfluss des Menschen im Schnitt einmal in 10 Jahren auftrat

Zukünftige Niveaus globaler Erwärmung

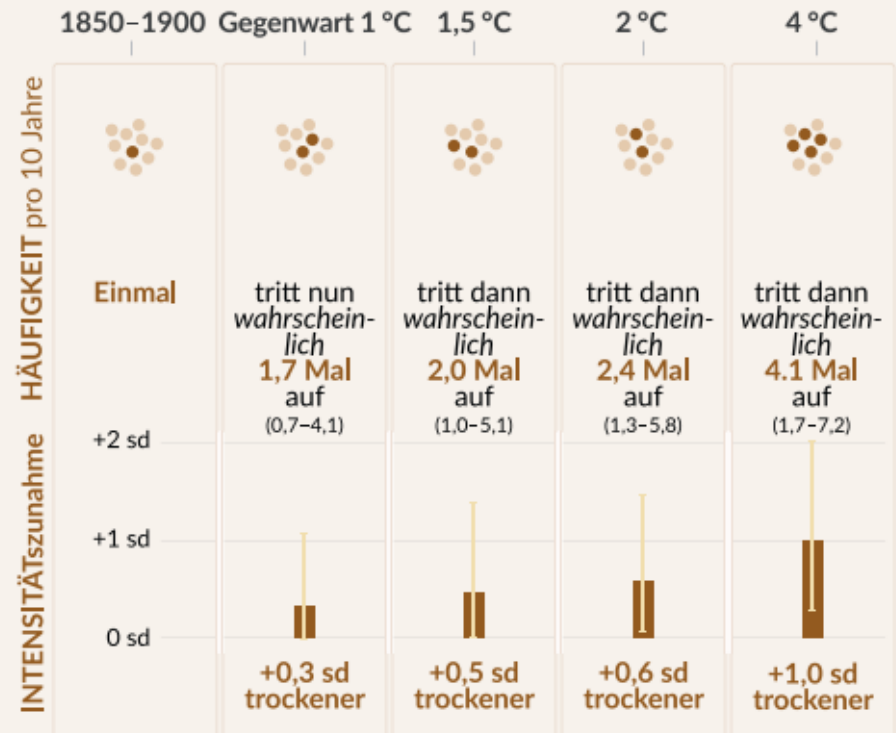


Landwirtschaftliche & ökologische Dürren in trockener werdenden Regionen

10-Jahresereignis

Häufigkeit und Intensitätszunahme einer landwirtschaftlichen und ökologischen Dürre, die in einem Klima ohne Einfluss des Menschen in den trockener werdenden Regionen im Schnitt einmal in 10 Jahren auftrat

Zukünftige Niveaus globaler Erwärmung



Die anderen Regionen zeigen keine signifikante Änderung der Bodenwasserdürren.