

## Kurzbericht

# "Der Klimawandel in Bayern für den Zeitraum 2021-2050"

(Kenntnisstand Januar 2005)

## Gliederung

1. Einleitung
2. Regionale Klimaszenarien
3. Ergebnisse
4. Fazit
5. Anhang mit Bildern

## 1. Einleitung

Der vorliegende Bericht fasst die derzeit vorliegenden Erkenntnisse über die Auswirkungen des Klimawandels für das Land Bayern zusammen. Diese Erkenntnisse wurden im Rahmen des Kooperationsvorhabens KLIWA gewonnen, das von den Partnern Deutscher Wetterdienst und den Ländern Baden-Württemberg und Bayern durchgeführt wird.

Ziel des Kooperationsvorhabens „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft (KLIWA)“ ist, für die nächsten Jahrzehnte (Zeithorizont 2021-2050) Aussagen über die möglichen Auswirkungen der Klimaveränderung auf den Wasserhaushalt und die davon abhängigen bzw. beeinflussten Systeme zu erhalten. Diese Aussagen sollen dann als Basis für wasserwirtschaftliche Handlungsempfehlungen dienen.

Mittlerweise ist es unter den Klimaforschern weltweit unstrittig, dass es als Folge des anthropogenen „Treibhauseffekts“ zu einer globalen Temperaturerhöhung kommt. Die Klimaszenarien des 3. Berichts des IPCC (2001) zeigen für dieses Jahrhundert eine Erhöhung der mittleren globalen Temperatur um 1,4 bis 5,8°C. Dies setzt die Zunahme der globalen Temperatur fort, die während des letzten Jahrhunderts um 0,6°C zugenommen hat. Allgemein führt ein Temperaturanstieg zu einer Intensivierung des hydrologischen Kreislaufs, was sich in erhöhten Verdunstungs- und Niederschlagsraten äußern kann. Diese Klimaveränderung wird mit erheblichen Auswirkungen auf den Wasserhaushalt verbunden sein.

## 2. Regionale Klimaszenarien

Für die Abschätzung der Klimaveränderung in Süddeutschland sind im Rahmen von KLIWA geeignete regionale Klimaszenarien unter Annahme eines realitätsnahen Emissionsszenario (SRES B2, IPCC) erstellt worden. Die Klimaszenarien wurden für den Bereich der Länder Baden-Württemberg und Bayern erstellt. Diese Szenarien werden dann als Eingangsgrößen für verfügbare Wasserhaushaltsmodelle (WHM) verwendet, um Aussagen über die Auswirkungen der Klimaänderung auf den Wasserhaushalt treffen zu können.

Die zunächst im Auftrag von KLIWA erstellte Grundsatzstudie der ETH Zürich zog das Fazit, dass es derzeit noch kein optimales Verfahren für die Erstellung regionaler Klimaszenarien aus den globalen Klimamodellen gibt. Auch die projektinternen KLIWA-Workshops „Klimaszenarien“ unter Beteiligung von namhaften Fachleuten zeigten, dass derzeit keine eindeutig gesi-

cherte Methode für die Ermittlung von regionalen Klimaszenarien zur Verfügung steht. Die KLIWA-Partner beschlossen daher drei unterschiedliche Verfahren anzuwenden, um eine Bandbreite möglicher Entwicklungen zu erhalten.

Es wurden folgende Verfahren für die Übertragung der Ergebnisse des Globalmodells auf den regionalen Maßstab ausgewählt:

- das regionale dynamische Klimamodell REMO des Max-Planck-Instituts für Meteorologie (MPI), zweifach genestet in das Globalmodell ECHAM4,
- das statistisch-dynamische Downscaling mittels objektiver Wetterlagenklassifikation für Lufttemperatur und Niederschlag des Büros MeteoResearch,
- das statistische Downscaling mittels Clusteranalyse mit der Temperatur als Leitgröße des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK).

Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, wurden in den Aufträgen an die Klimamodellierer weitgehend identische Randbedingungen vorgegeben: Messdaten 1951-2000 (67 Klimastationen aus Baden-Württemberg, Bayern und Umgebung), Verifikationszeitraum 1971-2000, globales Klimamodell ECHAM 4, IPCC-Emissionsszenario B2, Szenariozeitraum 2021-2050.

Die nachfolgenden Aussagen konzentrieren sich auf den Bereich des Landes Bayern und stützen sich auf die Ergebnisse aller drei Verfahren. Sie basieren auf dem Entwicklungsstand dieser regionalen Klimamodelle sowie des Globalmodells aus den letzten Jahren. Die Ergebnisse haben daher zwar noch Unsicherheiten, die Tendenzen der ermittelten Änderungen der wichtigsten hydrometeorologischen Größen wie Temperatur und Niederschlag aber weisen in allen drei Verfahren in die gleiche Richtung.

Für die Erstellung der regionalen Klimaszenarien wurden alle geeigneten Niederschlags- und Klimastationen verwendet. Obwohl die Dichte der Stationen für kleinräumige Aussagen, insbesondere zum Niederschlag, nicht ausreichend ist, sind trotzdem regional differenzierte Aussagen möglich. Die nachfolgenden flächenhaften Darstellungen zeigen wegen der weitgehenden klimatologischen Homogenität das gesamte KLIWA-Gebiet, also die Länder Baden-Württemberg und Bayern, und beziehen sich auf das Szenario von Meteo-Research (Dr. Enke); sie sind in der räumlichen Auflösung zwangsläufig unscharf und können nicht für punktgenaue Aussagen herangezogen werden.

### 3. Ergebnisse

#### Lufttemperatur

Die Lufttemperatur wird in Bayern auch in der Zukunft weiter deutlich zunehmen. Im Sommerhalbjahr wird die mittlere Tagestemperatur ca. 15°C betragen (Bild 1), im Winter ca. 3,5°C (Bild 3). Die Zunahmen fallen im hydrologischen Winter mit ca. 2°C (Bild 4) stärker aus als im hydrologischen Sommer mit ca. 1,4°C (Bild 2).

Die Temperaturerhöhung ist auch bei den einzelnen Monaten zu erkennen, und zwar nicht nur bei den mittleren, sondern auch bei den maximalen und minimalen Tagestemperaturen; sie ist in den Monaten Dezember bis Februar am höchsten. Die Unterschiede zwischen der Istzeit-Simulation (1971-2000) und der Zukunft (2021-2050) sind beispielhaft für die Klimastation Weihenstephan in den Bildern 5 bis 7 dargestellt.

Diese erwartete Temperaturzunahme im Winter ist von besonderer Bedeutung, da die Temperatur großen Einfluss auf die Zwischenspeicherung von Niederschlag als Schnee hat und somit entscheidend für das zukünftig zu erwartende Abflussregime sein kann.

#### Sommertage und heiße Tage

Die Anzahl der Sommertage (Tage mit  $T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$ ) in Bayern steigt danach im Mittel von 32 auf knapp 50 Tage (Bild 8). Auch die Anzahl der heißen Tage (Tage mit  $T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$ ) nimmt im Mittel um fast 100% zu (Bild 9).

### Frost- und Eistage

Entsprechend wird sich die Anzahl der Frosttage (Tage mit  $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$ ) im Mittel um rund 25% gegenüber dem derzeitigen Klima reduzieren (Bild 10). Die Anzahl der Eistage (Tage mit  $T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$ ) wird demnach noch deutlicher mit durchschnittlich 50% abnehmen. (Bild 11).

### Spätfröste im Frühjahr sowie frostfreie Zeit in der Vegetationsperiode

Spätfröste im Frühjahr können je nach Zeitpunkt große Schäden in der Landwirtschaft verursachen. Auf Grund der erwarteten Erwärmung wird der letzte Frost im Frühjahr im Mittel früher auftreten als derzeit, so dass sich für die Landwirtschaft die Gefahr von Frostschäden verringert (Bild 12a). Gleichzeitig schiebt sich der Tag mit dem ersten Frühfrost im Jahr nach hinten (Bild 12b), so dass die frostsichere Zeit in der Vegetationsperiode zunimmt (Bild 12c).

### Niederschlag

Die Niederschlagsverteilungen für das Sommer- und Winterhalbjahr des Szenarios finden sich in den Bildern 13 und 15 wieder. Im Sommerhalbjahr zeigen sich betragsmäßig landesweit nur geringe Änderungen, im Südosten finden sich regional allerdings etwas deutlichere Abnahmen (Bild 14). Im Winterhalbjahr lässt sich dagegen eine landesweite, deutliche Zunahme erkennen. Je nach Flussgebietsregion beträgt die unterschiedlich stark ausgeprägte Zunahme dabei bis zu 35% (Bild 16). Trotz der räumlichen Unschärfe sind regionale Unterschiede beim Niederschlag erkennbar und daher Aussagen dazu zulässig.

Auch die Anzahl der Tage mit hohen Niederschlägen (größer 25 mm) wird künftig im Winter steigen. Das Beispiel der Niederschlagsstation Hohenpeißenberg zeigt, dass in den Monaten Dezember bis Februar die Anzahl der Tage mit  $N > 25$  mm im Mittel um knapp das Doppelte zunimmt (Bild 17), während sie in den Sommermonaten Juli-August abnimmt.

Bei den Trockentagen (Niederschlag weniger als 1 mm) zeigt sich bei den monatlichen Werten der Niederschlagsstation Hohenpeißenberg eine saisonale Differenzierung (Bild 18): im Dezember bis Februar nehmen die Trockentage ab, während sie in den für die Vegetation wichtigen Monaten April bis August zunehmen. Regional kann es dadurch im Sommer zu einer leichten Erhöhung der Anzahl der Trockentage kommen, wobei in anderen Gebieten die Anzahl der Trockentage und auch der Trockenperioden abnimmt.

Diese Tendenz zur innerjährlichen Verschiebung zwischen Sommer- und Winterhalbjahr wurde für die letzten Jahrzehnten bereits in einer statistischen Untersuchung zum Langzeitverhalten der Gebietsniederschläge festgestellt.

### Wetterlagen

Im Winter werden die Häufigkeit und Dauer der für die Hochwasserbildung bedeutsamen Westwetterlagen, insbesondere die so genannte „Westlage zyklonal (WZ)“, zunehmen. Im Sommer sind keine größeren Änderungen zu erwarten.

### Abfluss

Die Ergebnisse der regionalen Klimaszenarien werden als Eingangsgrößen für die Wasserhaushaltsmodelle genutzt, um den Einfluss der Klimaveränderung auf die Abflüsse mit Hilfe von statistischen Berechnungen (Extremwertstatistik) abzuschätzen.

Die bisherigen Auswertungen zeigten, dass die Hochwasserabflüsse im Gebiet des Oberen Mains und an fast allen Pegeln des Neckar-Gebietes zunehmen werden. Bei der Bemessung neuer wasserwirtschaftlicher Anlagen ist es daher aus heutiger Sicht im Sinne des Vorsorgegedankens notwendig, den Auswirkungen des Klimawandels durch einen „Lastfall Klimaveränderung“ Rechnung zu tragen, in dem ein „Klimaänderungsfaktor“ berücksichtigt wird. Dies geschieht durch einen Zuschlag zum Bemessungswert in Höhe des Klimaänderungsfaktors.

Im Flusseinzugsgebiet des Neckars wird die Zunahme des hundertjährigen Hochwasserabflusses ( $HQ_{100}$ ) ca. 15% betragen. Für das obere Maingebiet wurden Tendenzen gleicher Größenordnung analysiert. Als pauschaler Zuschlag wurde deshalb in Bayern für das  $HQ_{100}$  zunächst ein Klimaänderungsfaktor von 15% festgelegt (also  $1,15 \cdot HQ_{100}$ ); dabei ist  $HQ_{100}$  der Hochwasserabfluss, der statistisch betrachtet, im Durchschnitt alle 100 Jahre einmal auftritt und derzeit in der Regel den Bemessungswert für die Auslegung von Hochwasserschutzanlagen darstellt.

#### 4. Fazit

Insgesamt ist bei kritischer Würdigung der bisherigen Ergebnisse für das Zieljahr 2050 festzuhalten:

- Die Erwärmung geht weiter. Die mittlere Lufttemperatur wird insbesondere im Winter weiter zunehmen.
- Die Niederschläge werden im Winterhalbjahr deutlich zunehmen, während im Sommerhalbjahr geringere Veränderungen zu erwarten sind.
- Auch bei der Dauer und Häufigkeit von Westwetterlagen ist im Winter mit einer Zunahme zu rechnen.
- Von diesen Veränderungen ist auch der Wasserkreislauf, insbesondere der Abfluss in den Gewässern, betroffen.

In Bayern werden die Wasserhaushaltsmodellierungen für weitere Flussgebiete fortgeführt. Für diese Gebiete sollen darauf aufbauend mit pragmatischen Ansätzen ebenfalls Auswertungen zu den Klimafaktoren erfolgen und der pauschale Klimaänderungsfaktor eventuell regional angepasst werden.

Die Unsicherheiten in Form von Unterschieden bei den Ergebnissen aus der Modellkette Globale Klimamodelle – Regionale Klimamodelle – Wasserhaushaltsmodelle und der anschließenden Extremwertstatistik sind zwar noch groß. Dennoch lassen die bisherigen Ergebnisse der Simulationsrechnungen insbesondere eine Zunahme der mittleren Hochwasser, aber auch der extremen Abflüsse erwarten. Eine Hochwasserverschärfung durch die Klimaveränderung erscheint für das Zieljahr 2050 somit wahrscheinlich, so dass entsprechende Anpassungen aus Vorsorgegesichtspunkten bereits jetzt geboten sind.

Weitere Informationen zum Thema sind im Internet unter [www.kliwa.de](http://www.kliwa.de) enthalten.

## 5. Anhang

- Bild 1: Künftig mögliche Lufttemperatur im Sommerhalbjahr
- Bild 2: Änderung der künftig möglichen Lufttemperatur im Winter gegenüber heute
- Bild 3: Künftig mögliche Lufttemperatur im Winterhalbjahr
- Bild 4: Änderung der künftig möglichen Lufttemperatur im Winter gegenüber heute
- Bilder 5-7: Änderung d. Lufttemperatur der Klimastation Weihenstephan, heute zu Szenario
- Bilder 8-9: Änderung der heißen und Sommertage an 27 Klimastationen, heute zu Szenario
- Bilder 10,11: Änderung der Frost- und Eistage an 27 Klimastationen, heute zu Szenario
- Bilder 12a-c: Änderung von Früh- und Spätfrosttermin sowie der frostfreien Periode an 27 Klimastationen, heute zu Szenario
- Bild 13: Künftig möglicher Niederschlag im Sommerhalbjahr
- Bild 14: Änderung des künftig möglichen Niederschlags im Winter gegenüber heute
- Bild 15: Künftig möglicher Niederschlag im Winterhalbjahr
- Bild 16: Änderung des künftig möglichen Niederschlags im Winter gegenüber heute
- Bild 17-18: Änderung der Anzahl der Tage mit Niederschlag  $< 1\text{mm}$  bzw.  $> 25\text{ mm}$  an der Klimastation Hohenpeißenberg, heute zu Szenario

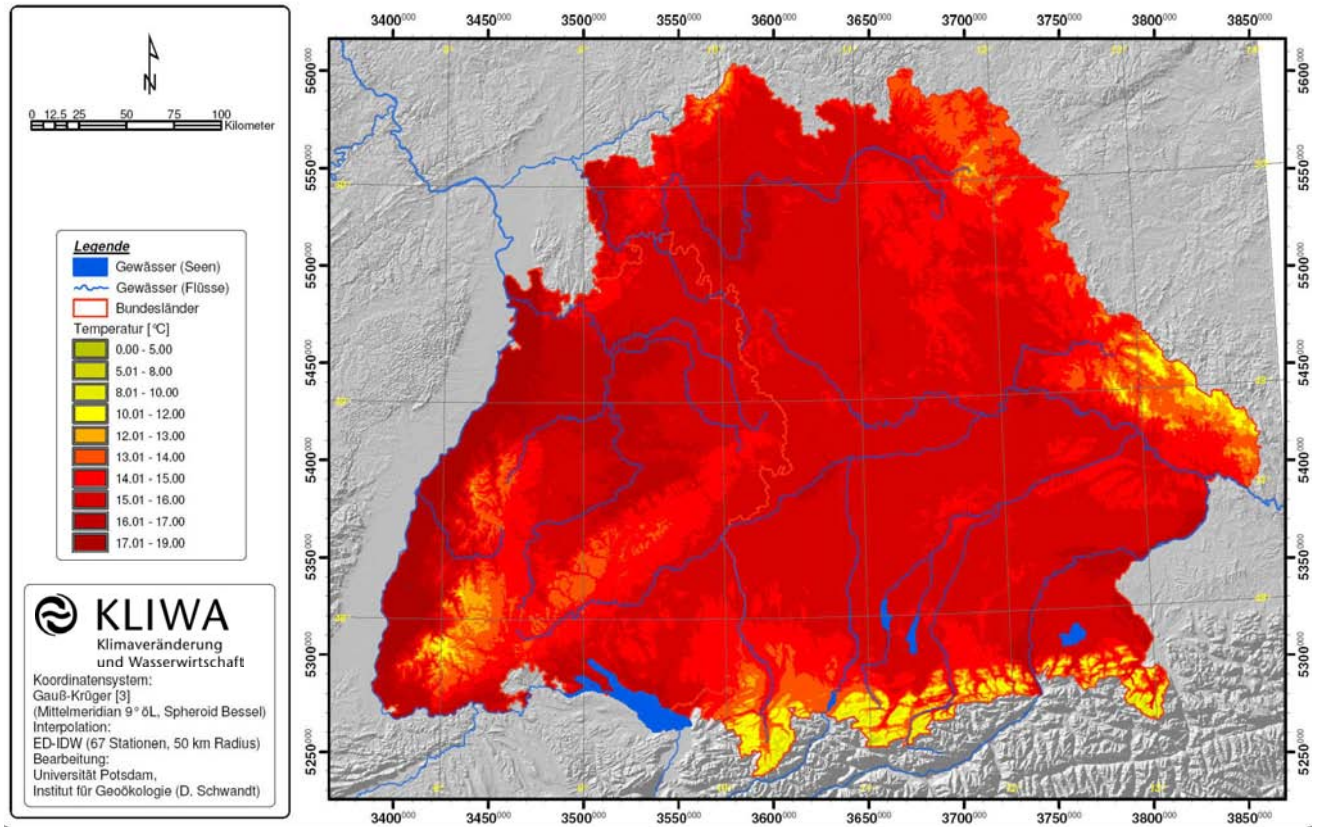


Bild 1: Künftig mögliche mittlere Lufttemperatur [°C] im Sommer (2021-2050)

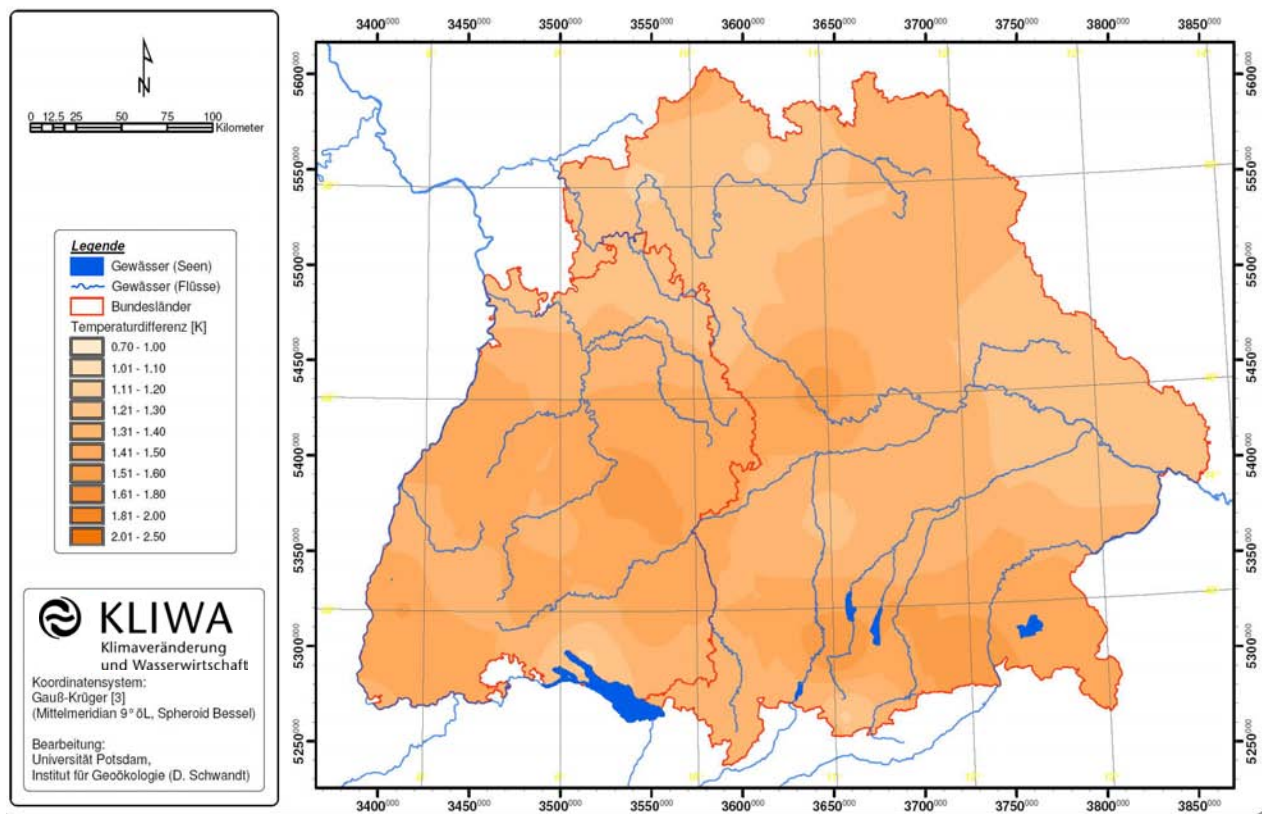


Bild 2: Änderung der künftig möglichen Lufttemperatur [°C] im Sommer gegenüber heute

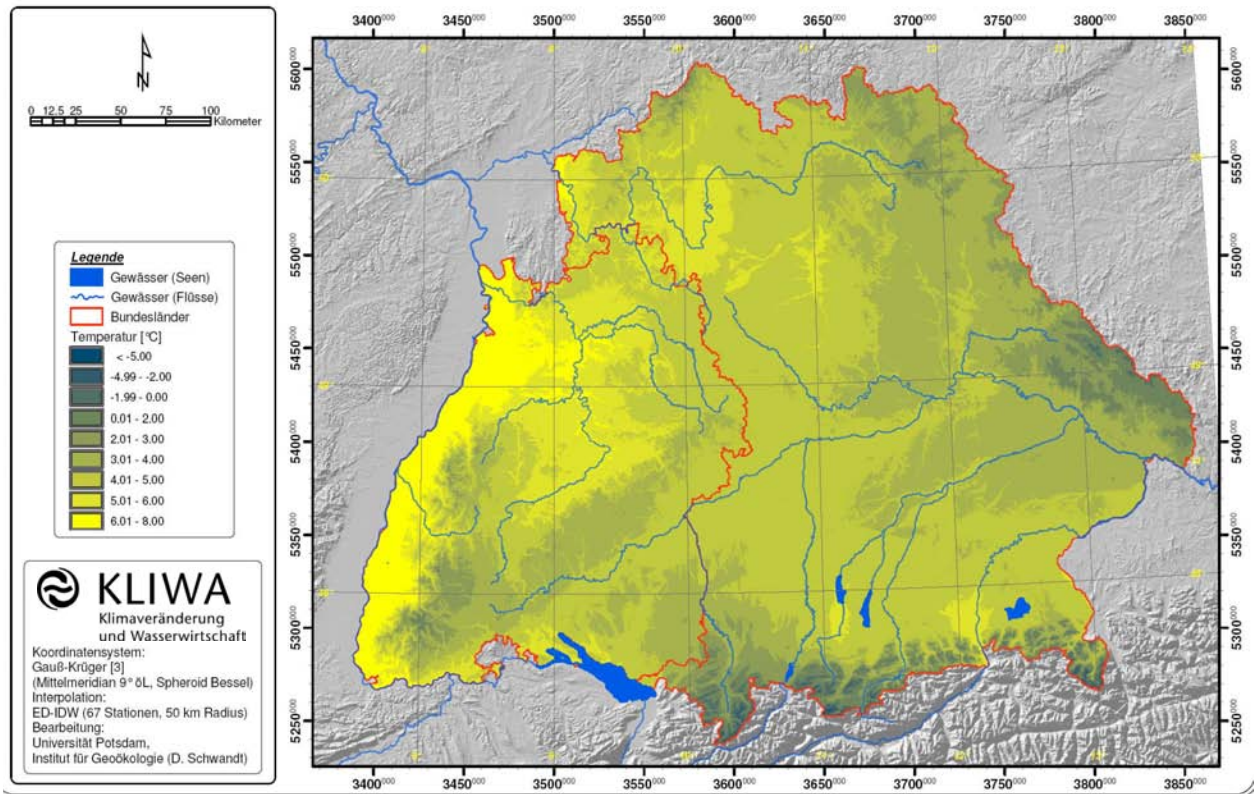


Bild 3: Künftig mögliche mittlere Lufttemperatur [°C] im Winter (2021-2050)

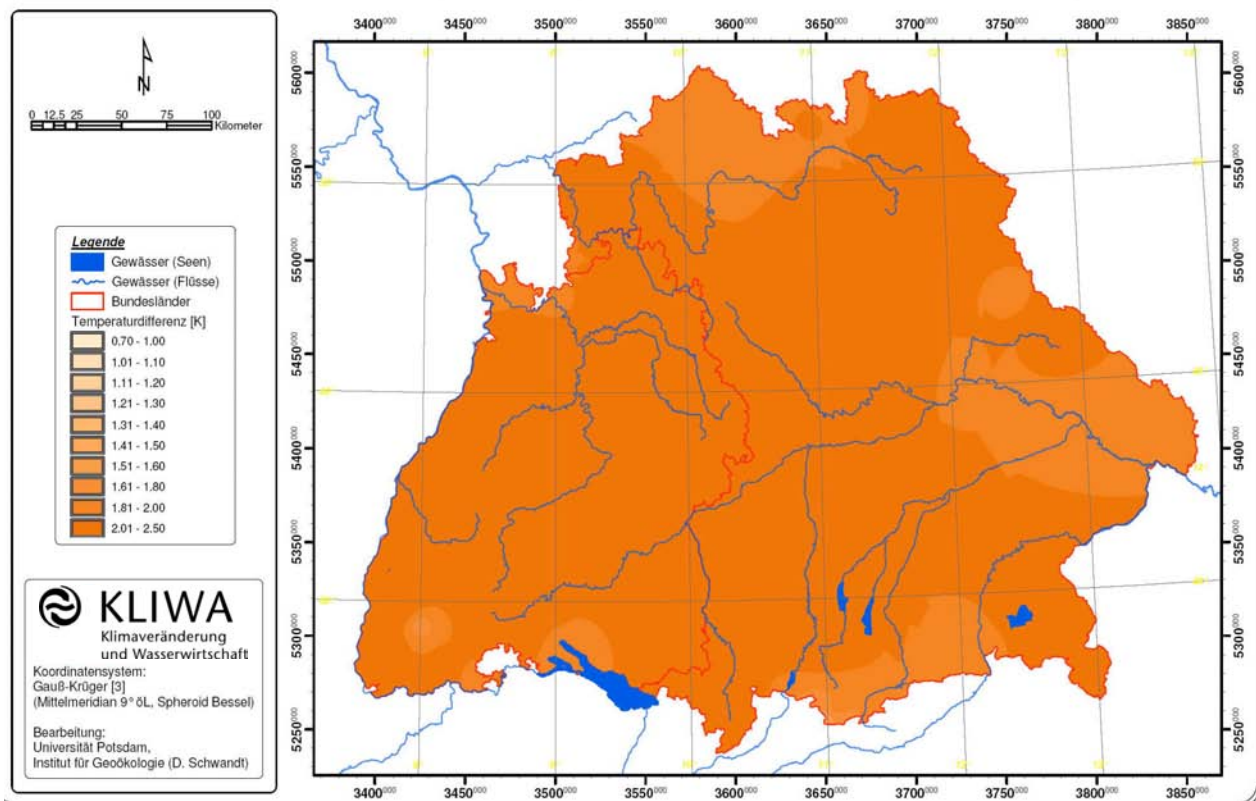


Bild 4: Änderung der künftig möglichen Lufttemperatur [°C] im Winter gegenüber heute

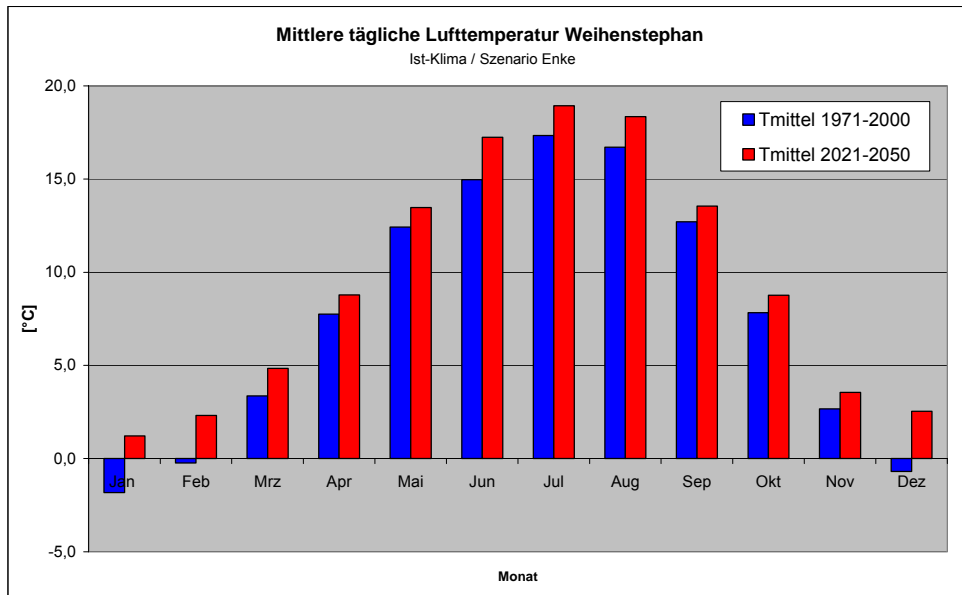


Bild 5: Monatliche mittlere Tagestemperatur in °C, Klimastation Weihenstephan.

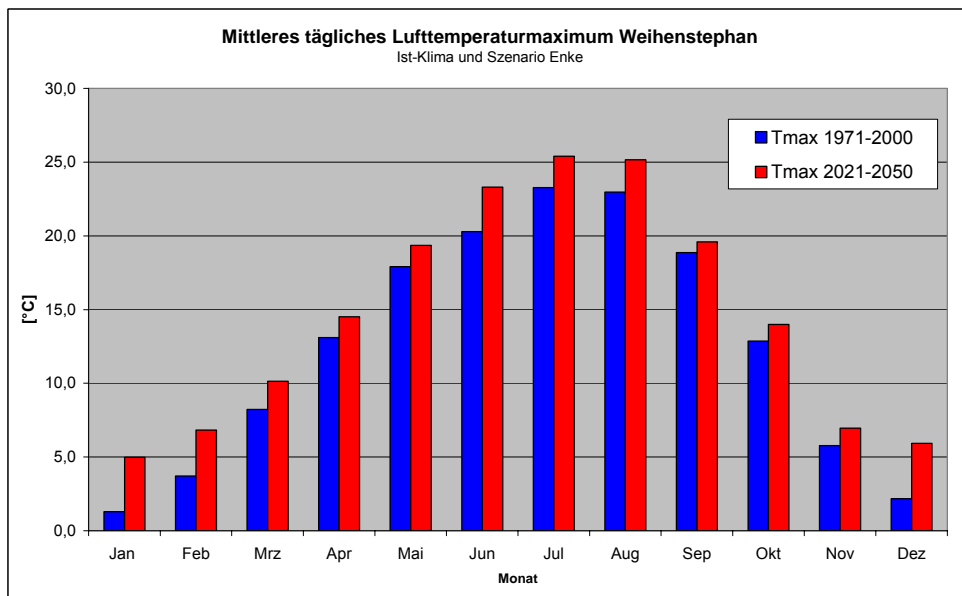


Bild 6: Monatliche maximale Tagestemperatur in °C, Klimastation Weihenstephan.

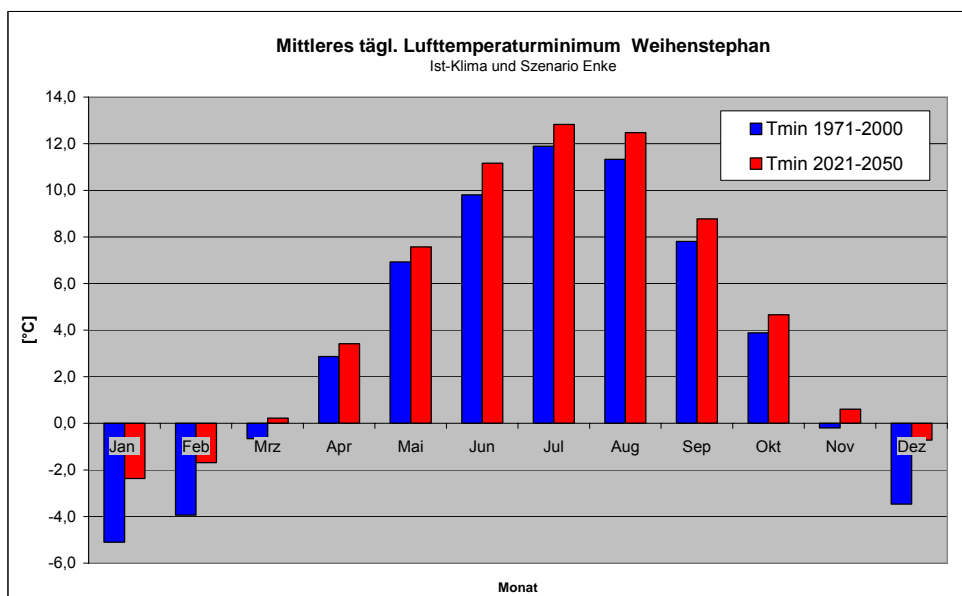


Bild 7: Monatliche minimale Tagestemperatur in °C, Klimastation Weihenstephan.



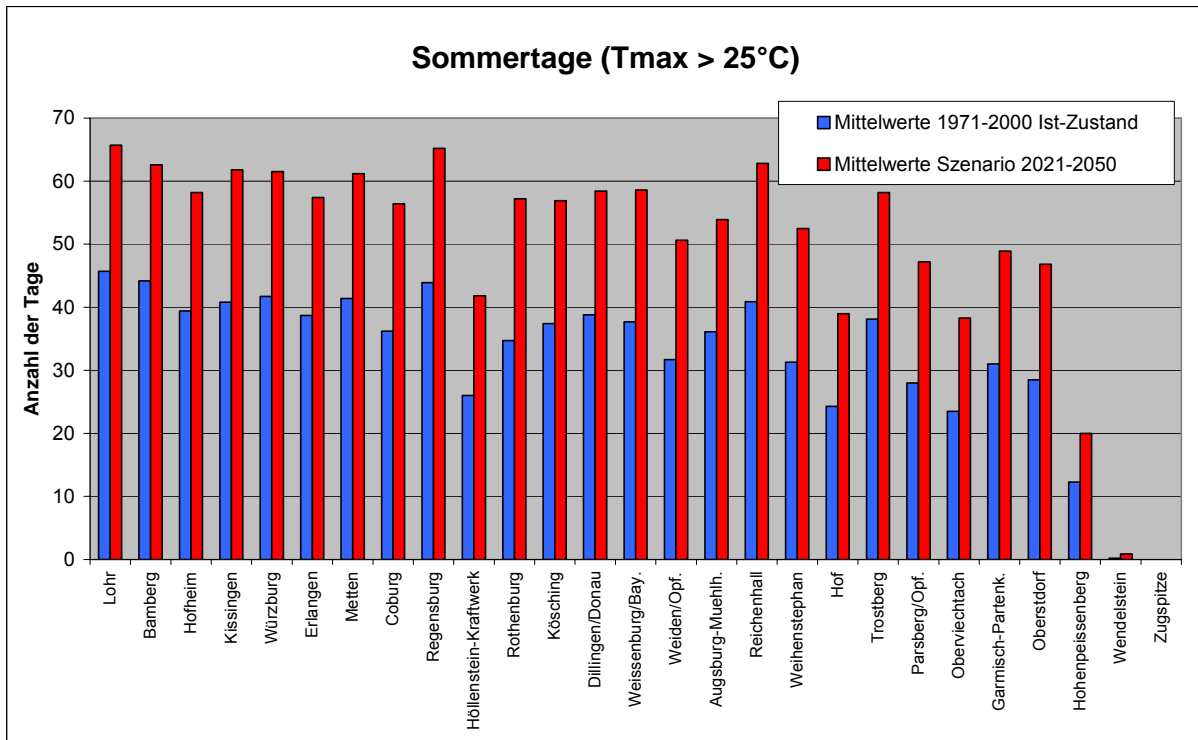


Bild 8: Anzahl der bisherigen und künftigen Sommertage ( $T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$ ) pro Jahr an 27 bayerischen Klimastationen, Szenario MeteoResearch.

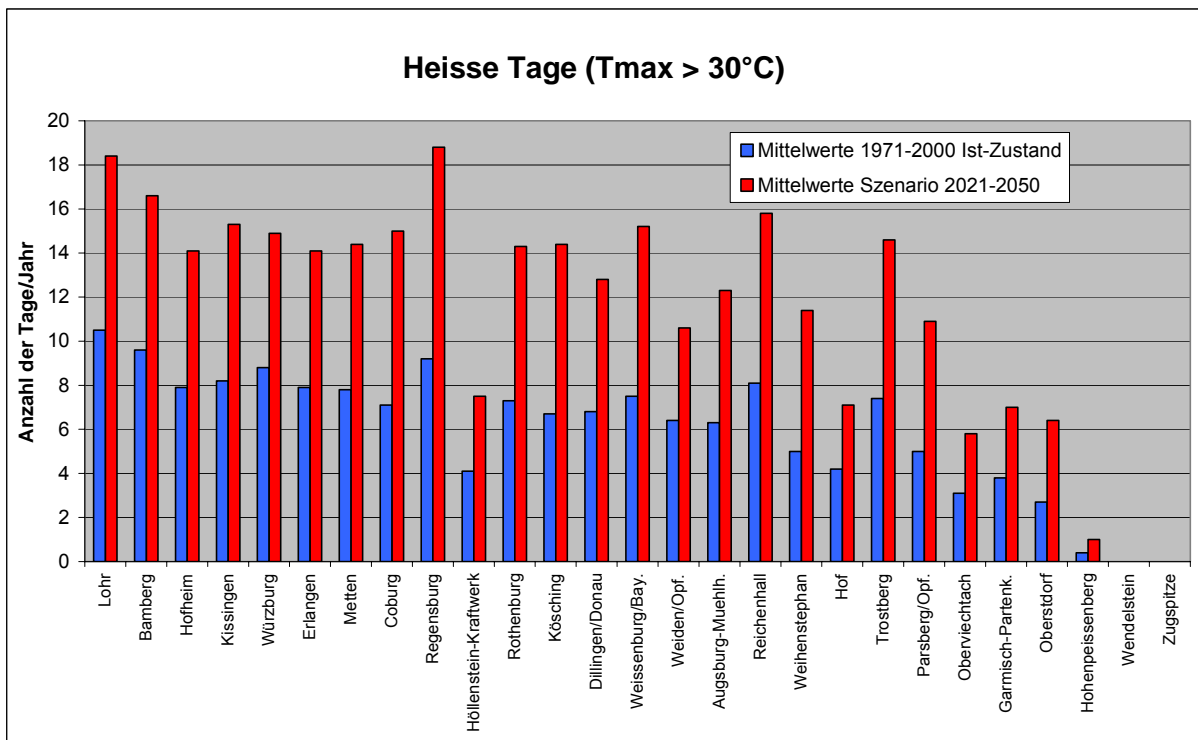


Bild 9: Anzahl der bisherigen und künftigen heißen Tage ( $T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$ ) pro Jahr an 27 bayerischen Klimastationen, Szenario MeteoResearch.

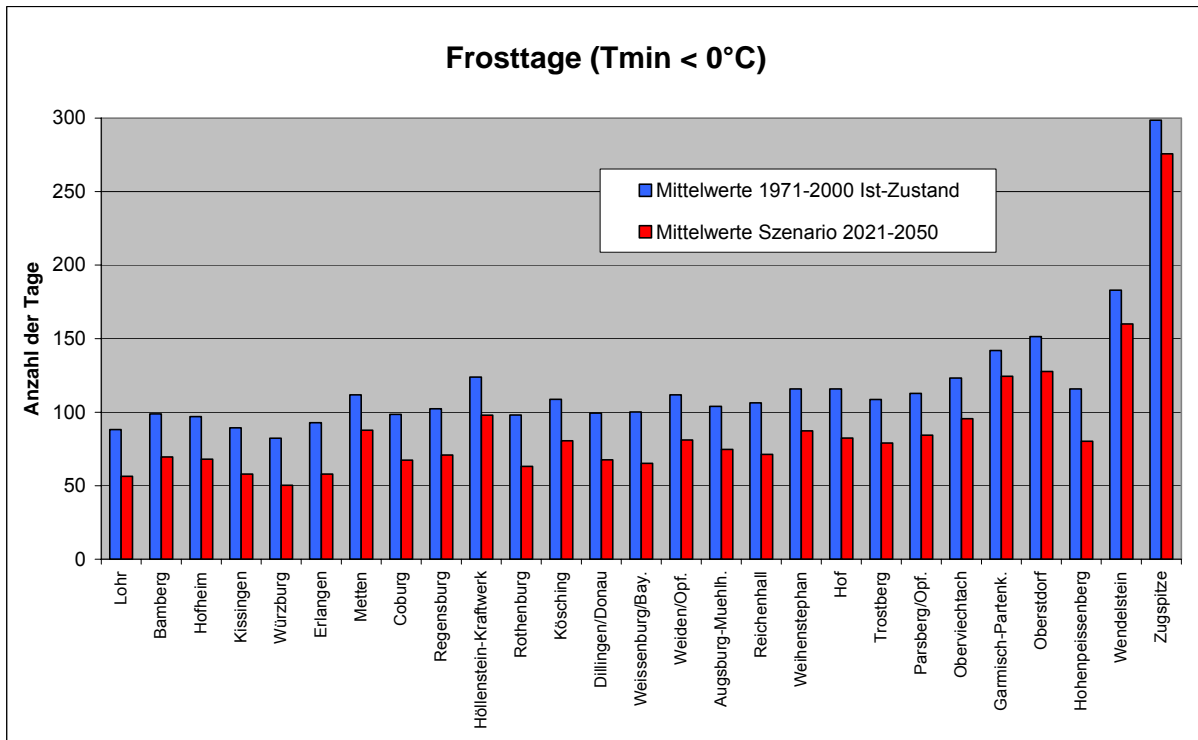


Bild 10: Anzahl der bisherigen und künftigen Frosttage ( $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$ ) pro Jahr an 27 bayerischen Klimastationen, Szenario MeteoResearch.

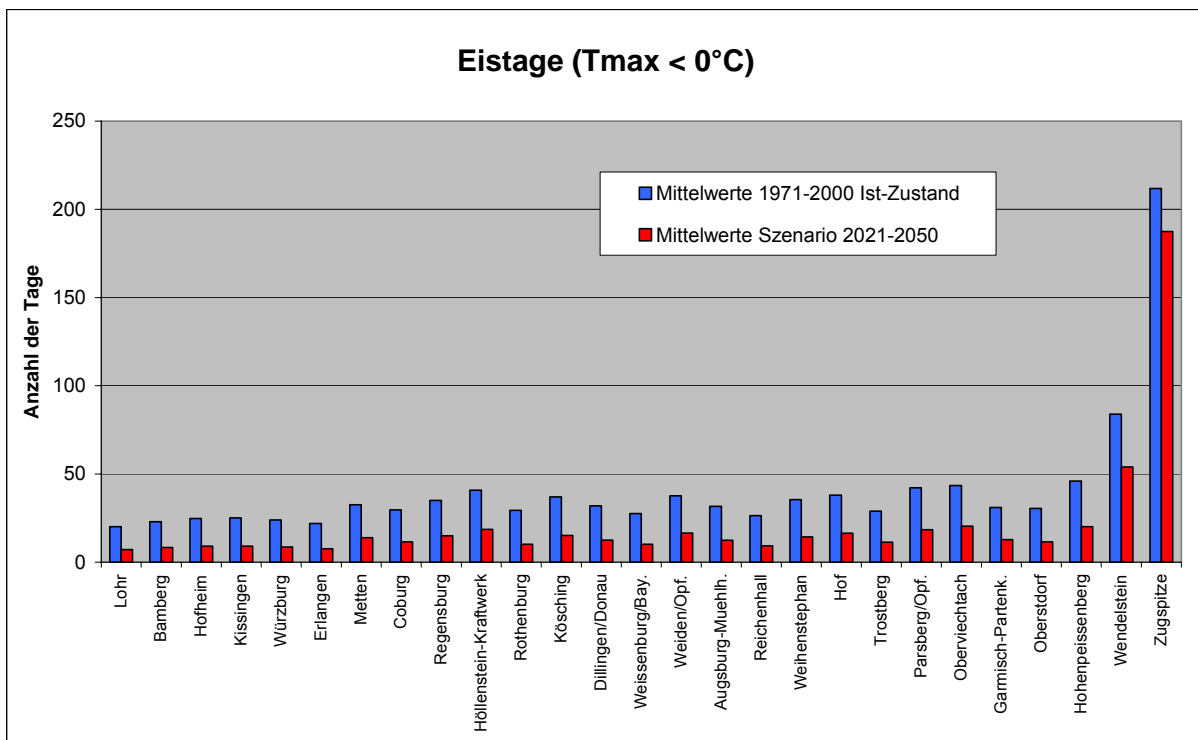


Bild 11: Anzahl der bisherigen und künftigen Eistage ( $T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$ ) pro Jahr an 27 bayerischen Klimastationen, Szenario MeteoResearch.

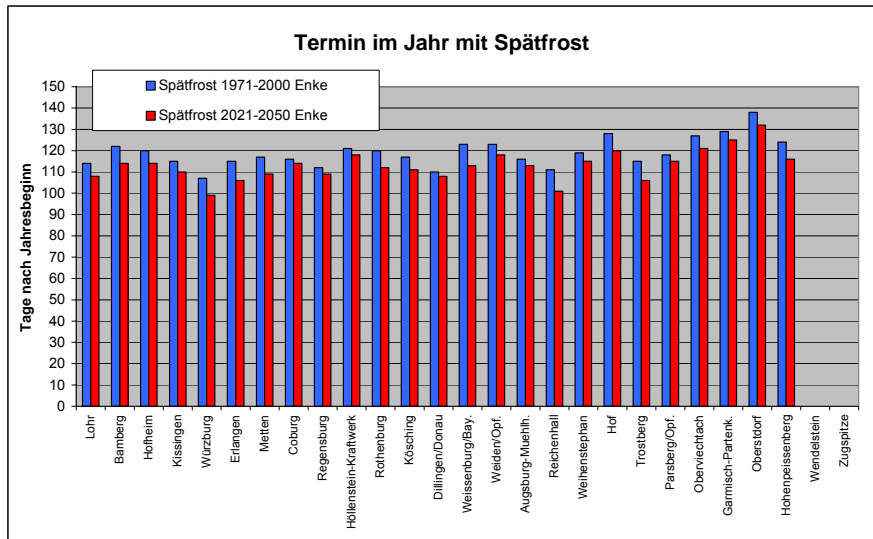


Bild 12a: Mittlerer Zeitpunkt des letzten Spätfrostes im Frühjahr an 27 bayerischen Klimastationen, Vergleich Ist-Klima 1971-2000 mit Szenario 2021-2050.

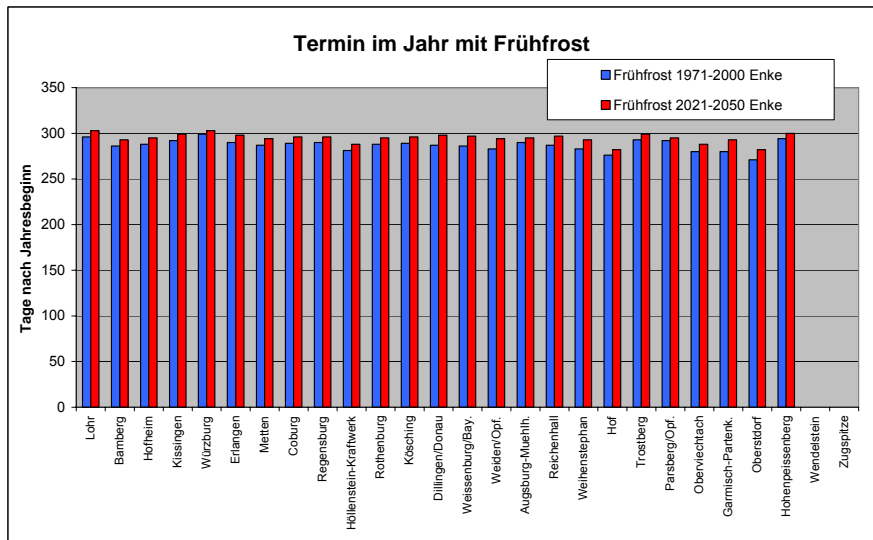


Bild 12b: Mittlerer Zeitpunkt des ersten Frühfrostes im Herbst an 27 bayerischen Klimastationen, Vergleich Ist-Klima 1971-2000 mit Szenario 2021-2050.

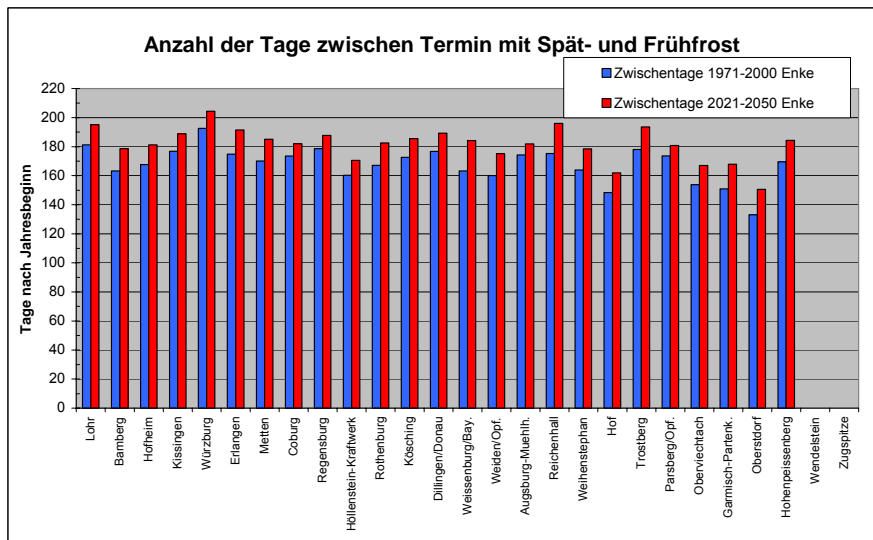


Bild 12c: Tage zwischen Termin mit letztem Spätfrost und erstem Frühfrost (frostsichere Zeit) an 27 bayerischen Klimastationen, Vergleich Ist-Klima 1971-2000 mit Szenario 2021-2050.

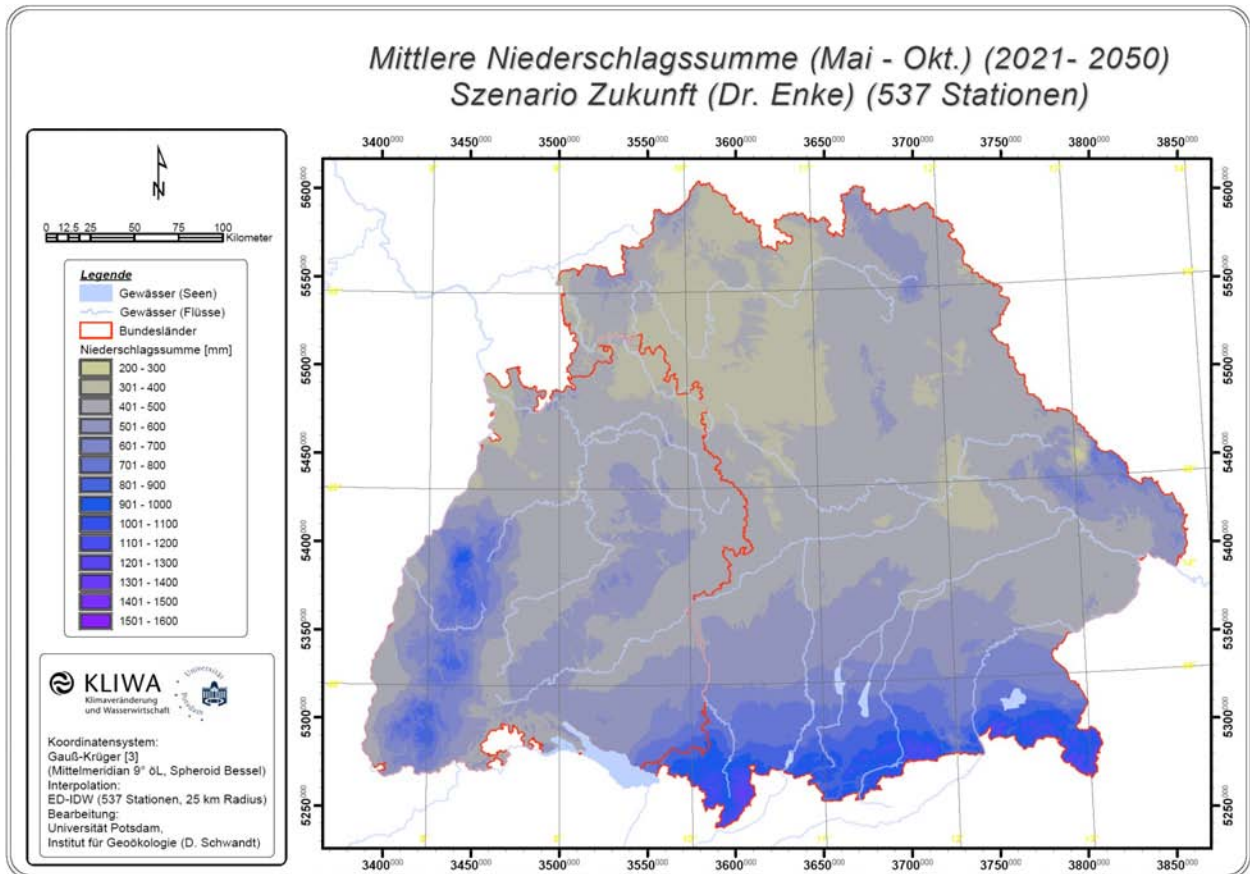


Bild 13: Künftig mögliche mittlere Niederschlagssumme [mm] im Sommerhalbjahr (2021-2050).

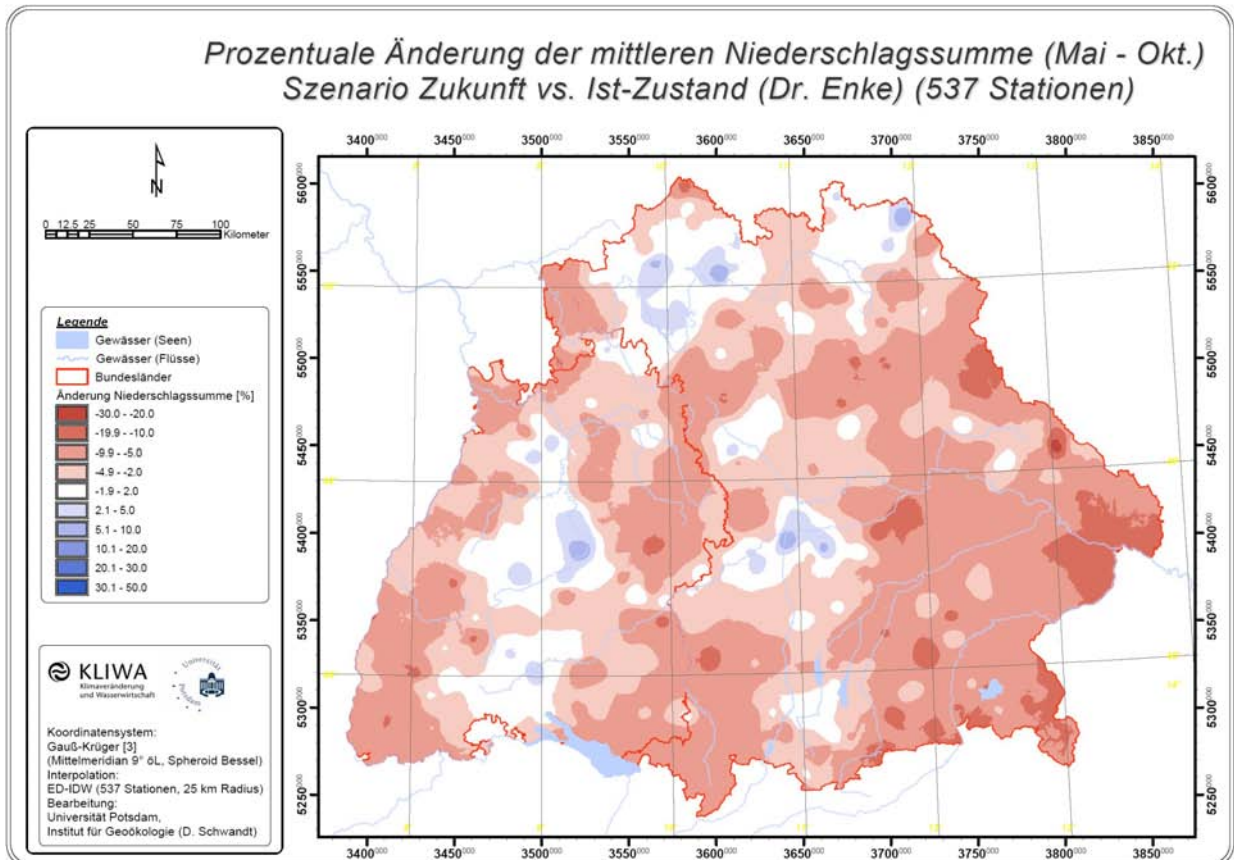


Bild 14: Änderung im Szenario der Niederschlagssumme [%] im Sommerhalbjahr gegenüber heute.

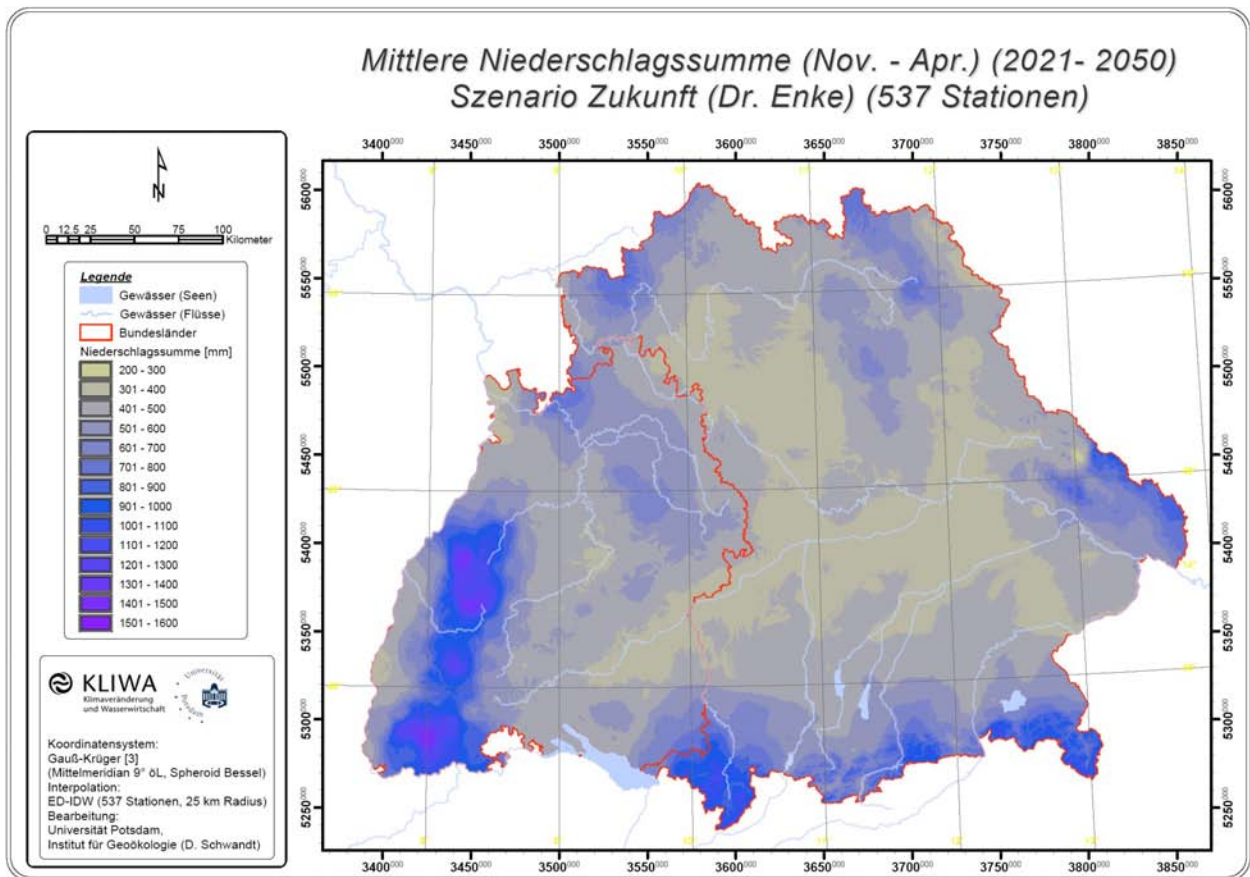


Bild 15: Künftig mögliche mittlere Niederschlagssumme [mm] im Winterhalbjahr (2021-2050).

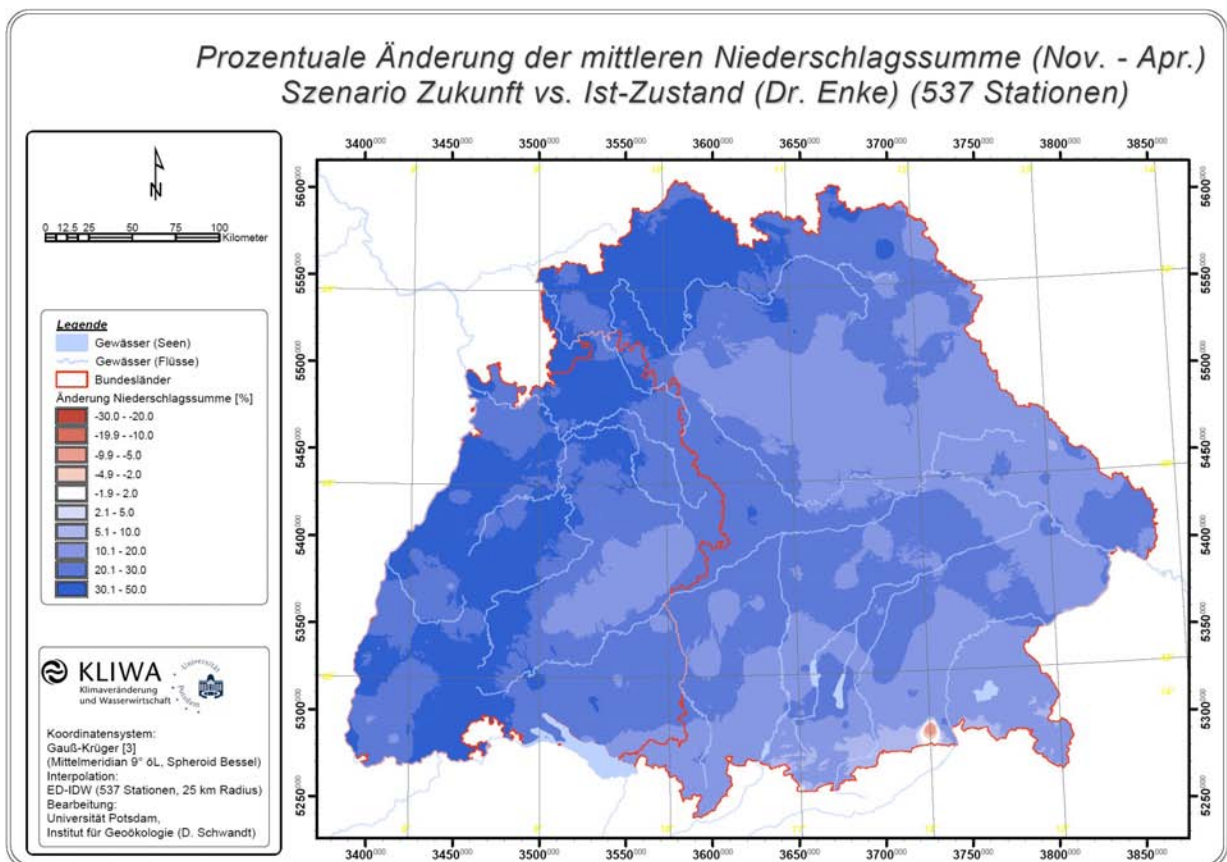


Bild 16: Änderung im Szenario der Niederschlagssumme [%] im Winterhalbjahr gegenüber heute.

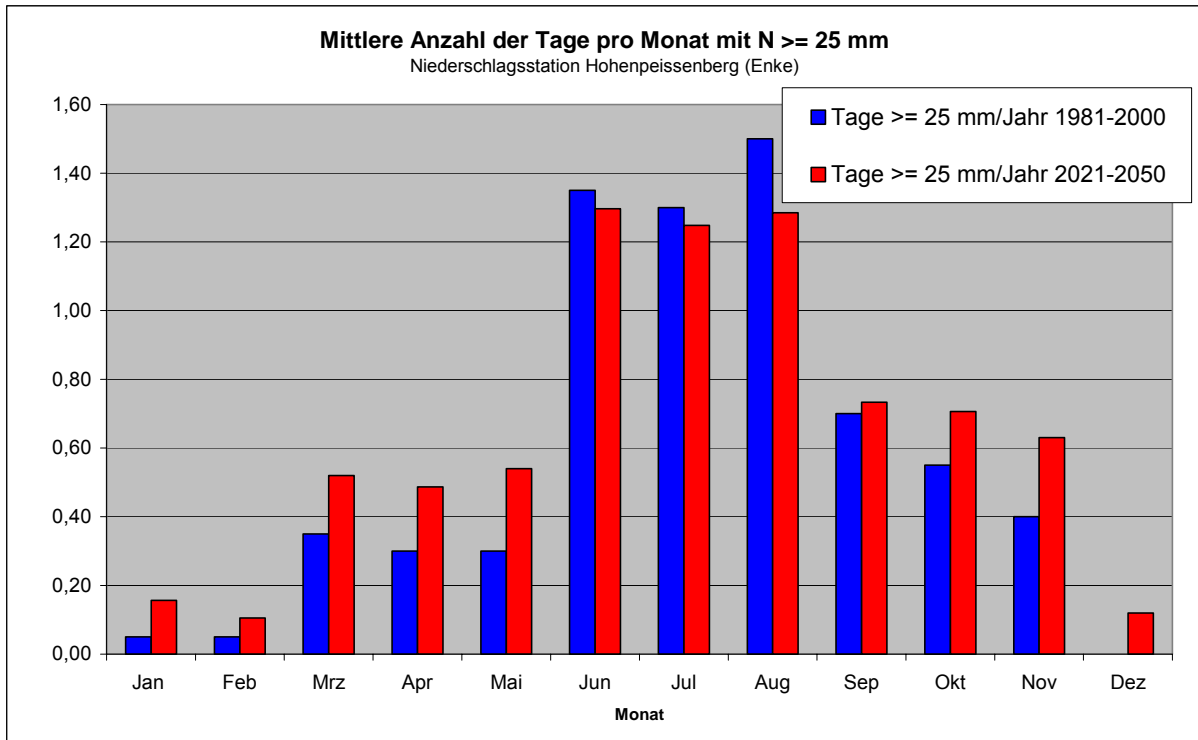


Bild 17: Monatliche Anzahl der Tage mit Niederschlag  $>25$  mm, Niederschlagsstation Hohenpeißenberg, Ist-Klima und Szenario MeteoResearch.

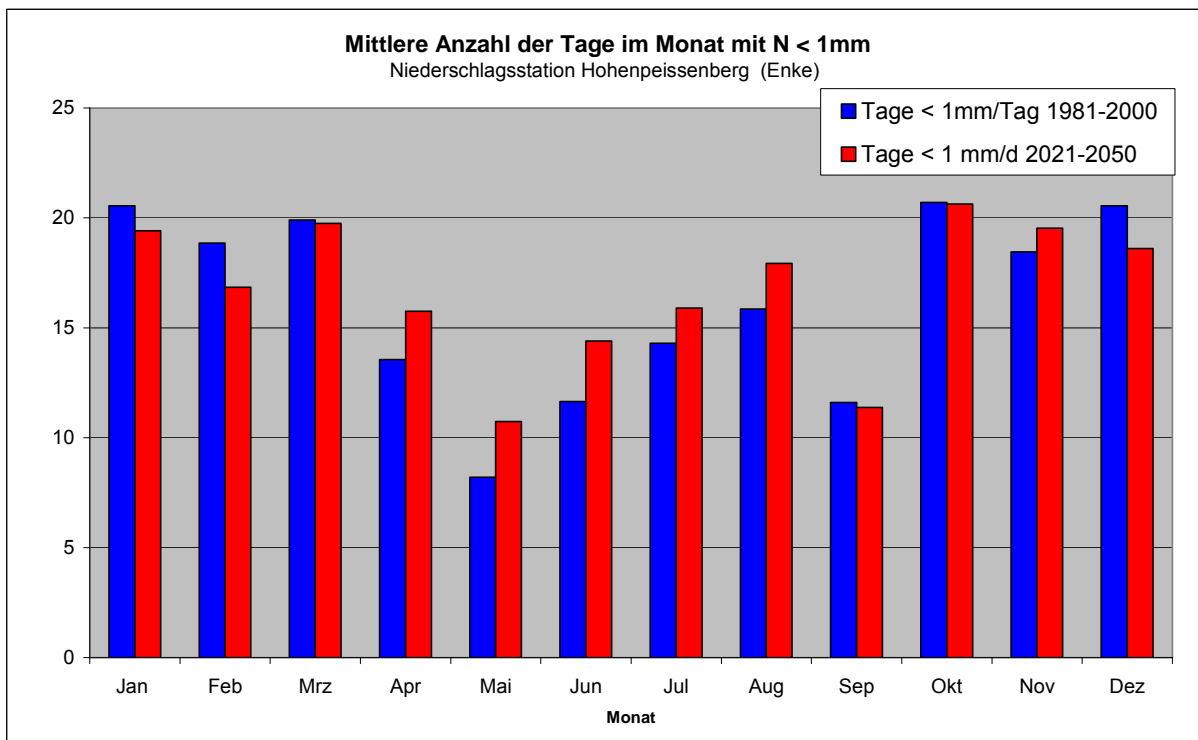


Bild 18: Monatliche mittlere Anzahl der Tage mit Niederschlag  $< 1$  mm, Niederschlagsstation Hohenpeißenberg, Ist-Klima und Szenario MeteoResearch.