



Bayerische Klimadaten

Beobachtungsdaten, Klimaprojektionsensemble und Klimakennwerte für Bayern

Qualitätsgeprüfte Beobachtungsdaten sind notwendig zur Analyse des Klimas der Vergangenheit und der Gegenwart. Das LfU stellt dafür den **Bayerischen Beobachtungsdatensatz (BayObs)** zur Verfügung. Dieser Datensatz wird für die Variablen Niederschlag, Minimal-, Maximal- und Tagesmitteltemperatur kontinuierlich fortgeschrieben und für unterschiedliche klimarelevante Fragestellungen in Bayern genutzt.

Um die Folgen des Klimawandels auf die Menschen und ihre Umwelt abzuschätzen, ist es von entscheidender Bedeutung, die zukünftige Entwicklung des Klimas anhand von Modellen zu simulieren. Dabei ist es wissenschaftlicher Konsens, ein Ensemble aus mehreren Klimaprojektionsläufen unterschiedlicher Klimamodelle heranzuziehen. Deshalb stellt das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) das **Bayerische Klimaprojektionsensemble (Bayern-Ensemble)** für verschiedene Zielgruppen, wie beispielsweise wissenschaftliche Einrichtungen und Ingenieurbüros, zur Verfügung.

Die Klimamodelle liefern grundlegende meteorologische Variablen, wie z. B. die Lufttemperatur und den Niederschlag. Für klimatologische Fragestellungen oder für die Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen sind jedoch häufig spezielle Klimakennwerte aussagekräftiger. Sie werden von den meteorologischen Variablen der Klimamodelle abgeleitet und geben einen schnellen Überblick über die Auswirkungen der Klimaveränderungen in verschiedenen Bereichen. Das LfU berechnet für das Staatsgebiet von Bayern **Klimakennwerte** für verschiedene Handlungsfelder wie beispielsweise die Wasserwirtschaft, die Landwirtschaft und die Gesundheit.

Das vorliegende Infoblatt „Beobachtungsdaten, Klimaprojektionsensemble und Klimakennwerte für Bayern“ beschreibt die verfügbaren Datensätze und die zugrundeliegenden Daten, erklärt die Methoden zur Erstellung dieser Datensätze, gibt Nutzungshinweise und informiert über die Nutzungsbedingungen.

1 Zusammenfassung: verfügbare Datensätze

1.1 Aggregierte Daten für direkte Auswertungen

Am LfU können Klimakennwerte auf Grundlage der Klimaprojektionen und Beobachtungsdaten für gezielte Anwendungen angefragt werden (s. Tab. 1). In Bezug auf die zeitliche Aggregation können Mittelwerte für 30-jährige Zeiträume der Vergangenheit und Zukunft bereitgestellt werden. Bevorzugte Zeiträume in der Zukunft sind die nahe Zukunft (2021–2050), mittlere Zukunft (2041–2070) und ferne Zukunft (2071–2100). Auch gleitende 30-jährige Mittel über den Zeitraum der Datenverfügbarkeit stehen zur Verfügung. Bei der räumlichen Aggregation sind Gebietsausschnitte möglich, deren aggregierte Fläche mindestens 1.500 km² umfasst (s. Kap. 5.3). Bei vertretbarem Aufwand können die Daten zeitlich wie räumlich auf die Nutzeranforderungen zugeschnitten werden. Die Daten werden im NetCDF-, ASCII- oder CSV-Format geliefert. Für Anwender, die eine zeitliche Aggregation selbstständig durchführen möchten, ist bei klimabezogenen Aussagen zu beachten, dass nach WMO-Vorgaben (World Meteorological Organization) eine Mittelung von mindestens 30 Jahren erforderlich ist. Bei einer selbstständig durchgeführten räumlichen Aggregation sind Flächen von mindestens 1.500 km² zu wählen.

Tab. 1: Aggregierte Datensätze, alle verfügbaren Parameter inklusive Erläuterungen sind im Abschnitt „Detaillierte Beschreibung der verfügbaren Datensätze“ zu finden.

Datensatz	Datengrundlage	Zeitraum	Parameter
Klimakennwerte der Zukunft	Klimaprojektionen	1951 (1970)–2100	z. B. tas-TM-Y, pr-Y
Klimakennwerte der Vergangenheit	Beobachtungsdaten	1951–2019	z. B. tas-TM-Y, pr-Y

1.2 Rasterdaten als Basis für Modellierungen

Sind die Daten als Eingangsfelder für eigene Modellierungen gedacht, so sind häufig zeitlich und räumlich hochaufgelöste Daten notwendig. Für diesen Fall stellt das LfU sämtliche Projektionen des Bayern-Ensembles, die Klimakennwerte und den Beobachtungsdatensatz als Rasterdaten innerhalb der Grenzen Bayerns zur Verfügung (s. Tab. 2). Sie liegen im NetCDF-Format vor und haben eine horizontale Auflösung von fünf km.

Tab. 2: Rasterdatensätze, alle verfügbaren Parameter inklusive Erläuterungen sind im Abschnitt „Detaillierte Beschreibung der verfügbaren Datensätze“ zu finden.

Datensatz	Datengrundlage	Zeitraum	Zeitliche Auflösung	Parameter
Bayern-Ensemble	Klimaprojektionen	1951 (1970)–2100	täglich	tas, tasmin, tasmax, pr, dew, hurs, rsds, sfcWind
Klimakennwerte	Klimaprojektionen	1951 (1970)–2100	jährlich	z. B. tas-TM-Y, pr-Y
BayObs	Beobachtungsdaten	1951–2019	täglich	tas, tasmin, tasmax, pr

2 Datengrundlage

2.1 Beobachtungs- und Reanalysedaten

Die aufgelisteten Datensätze bilden die Grundlage für den Beobachtungsdatensatz (1951 bis Vorgängerjahr des aktuellen Jahres) und damit auch der Klimakennwerte der Vergangenheit. Diese Datensätze bilden aber auch die Basis für den Referenzdatensatz (1971–2000), der zur Erstellung des Bayern-Ensembles verwendet wurde (s. Tab. 3):

- HYRAS-Datensatz des Deutschen Wetterdienstes (DWD) [1],[2]
- E-OBS-Datensatz (ENSEMBLES data archive 2014) [3] [4]

- MARS-Datensatz (Joint Research Center 2015) [5]
- ERA-40-Datensatz des European Centre for Medium-Range Weather Forecasts [6]
- REGNIE-Datensatz des DWD [2]
- Neuer Europäischer Windatlas [7]

Tab. 3: Erläuterungen zu den verwendeten Basisdatensätzen. Details zu den Parametern siehe Abschnitt „Detaillierte Beschreibung der verfügbaren Datensätze“.

Datensatz	Verfügbarkeit	Zeitliche Auflösung	Räumliche Auflösung	Parameter
HYRAS	1951–2015	täglich	11 km	tas, tasmin, tasmax, pr, hurs
E-OBS	1950–2020	täglich	11 km	tas, tasmin, tasmax
MARS	1975–2000	täglich	25 km	tas, pr, hurs, rsds, sfcWind
ERA-40	1970–1974	täglich	1,125°	hurs, rsds, sfcWind
REGNIE	1931–2020	täglich	1 km	pr
Neuer Europäischer Windatlas	1989–2018	täglich	3 km	sfcWind

2.2 Klimaprojektionsdaten

Für die Erstellung des Bayern-Ensembles (und damit auch der Klimakennwerte der Zukunft) wurden sämtliche regionalen Klimaprojektionsdaten aus dem EURO-CORDEX-Projekt [8] und dem ReKliEs-De-Projekt [9] mit einer horizontalen Auflösung von 12,5 km herangezogen und hinsichtlich ihrer Eignung bewertet. Darauf aufbauend wurde eine Auswahl getroffen (s. Kap.3.2). Das Ensemble umfasst Projektionen der Emissionsszenarien RCP 2.6, RCP 4.5 und RCP 8.5 (RCP = Representative Concentration Pathway).

3 Methodik zur Erstellung der Datensätze

3.1 Bayerischer Beobachtungsdatensatz

Der Bayerische Beobachtungsdatensatz BayObs umfasst die Niederschlagssumme sowie die mittlere, minimale und maximale Lufttemperatur in täglicher Auflösung. Er liegt derzeit für die Jahre 1951 bis 2019 vor und wird jährlich aktualisiert. Dabei werden die Ausgangsdatsätze auf das Gebiet Bayerns zugeschnitten und in ein einheitliches Gitter mit einer räumlichen Auflösung von 5 km überführt.

Für die Tagessummen des Niederschlags wird der REGNIE-Datensatz (s. Tab. 3) mit einer horizontalen Auflösung von 1 km verwendet [2]. Der REGNIE-Datensatz wird auf das Zielgitter aggregiert, indem das gewichtete Mittel aller ganz oder teilweise innerhalb einer Zelle des Zielgitters liegenden Werte des Ausgangsgitters gebildet wird.

Für die mittlere, minimale und maximale Lufttemperatur wird der E-OBS-Datensatz [3], [4] als Basis verwendet (s. Tab. 3). Der E-OBS-Datensatz ist für fast ganz Bayern mit den HYRAS-Daten qualitativ vergleichbar, in den Alpen zeigen sich jedoch deutliche Qualitätsunterschiede. Deshalb wird in der Alpenregion der HYRAS-Datensatz verwendet, aufgrund der fehlenden jährlichen Fortschreibung jedoch nur bis einschließlich 2015. Zunächst werden die Ausgangsdaten von E-OBS und HYRAS auf das Zielgitter interpoliert. Dabei wird eine Methode verwendet, die auf einem Höhenmodell und regionalen Regressionsparametern basiert [10]. Zur Erstellung des BayObs-Datensatzes werden dann die beiden Datensätze für die Jahre von 1951 bis 2015 verschnitten: in den Alpen wurde HYRAS verwendet, im übrigen Gebiet E-OBS. Zu beachten: da HYRAS nur bis 2015 vorliegt, besteht der resultierende BayObs-Datensatz für die Temperaturvariablen ab dem Jahr 2016 nur noch aus den interpolierten E-OBS Daten. Damit ist eine Auswertung für die Alpenregion ab dem genannten Jahr nicht sinnvoll.

3.2 Bayerisches Klimaprojektionsensemble

Es ist notwendig, eine plausibilitätsgeprüfte Datengrundlage für die Abschätzung der zukünftigen Klima- veränderungen zu verwenden. Dadurch wird gewährleistet, dass bayerische Klimaanpassungsaktivitäten beispielsweise in der Land-, Forst- und Wasserwirtschaft auf der gleichen Datengrundlage beruhen, bay- erische Klimawirkungsmodelle vergleichbare Eingangsdatensätze verwenden und bayerische For- schungsprojekte einheitliche klimatische Grundlagen für ihre Untersuchungen nutzen. Jedoch bildet nicht jede der von EURO-CORDEX und ReKliEs-De zur Verfügung gestellte regionale Klimaprojektion das bayerische Klima plausibel ab. Beispielsweise gibt es Klimaprojektionen, deren Jahresgang des Nieder- schlages entgegengesetzt zu den klimabezogenen Beobachtungen verlaufen. Daher kann nicht jede ver- fügbare Klimaprojektion Bestandteil des Bayern-Ensembles sein. Welche Klimaprojektionen geeignet sind, wurde mit Hilfe eines mehrstufigen Auditierungsverfahrens (s. Kap. 3.2.2) entschieden. Dieses Prüfverfahren hat das LfU zusammen mit der Ludwig-Maximilians-Universität München entwickelt [11]. Es ist als methodische Hilfe zur Beurteilung sowie zur Auswahl von Klimaprojektionen zu verstehen.

3.2.1 Bayerischer Klimareferenzdatensatz

Um die Qualität der Klimaprojektionen beurteilen zu können, wird das simulierte Klima mit Messwerten in einer Referenzperiode verglichen. Hierfür ist ein geprüfter Referenzdatensatz nötig. Der am LfU verwen- dete Referenzdatensatz beruht im Wesentlichen auf dem HYRAS-Datensatz des DWD [1], [2]. Fehlende Daten in den Randbereichen der Bayerndomäne wurden mit Hilfe der europäischen Datensätze von E- OBS [3] [4], MARS [5] und ERA-40 [6] ergänzt.

Die Ausgangsdatensätze wurden auf das Gebiet des hydrologischen Bayern zugeschnitten und in ein einheitliches Gitter mit einer räumlichen Auflösung von 12,5 km überführt. Um Inhomogenitäten aufgrund der Zusammenstellung verschiedener Datenquellen zu reduzieren, wurde hierfür eine bilineare Interpola- tionsmethode verwendet. Beim Parameter Windgeschwindigkeit wurden bei der Interpolation zudem Jah- resmittelwerte des „Neuen Europäischen Windatlas“ [7] als Hintergrundfeld verwendet. Da der HYRAS- Datensatz vor allem im Alpenraum zu wenig Niederschlag abbilden könnte [12], wurden für diese Region Niederschlagsregionalisierungen basierend auf Stationsdaten unter Verwendung des Wasserhaushalt- modells WaSiM [13] durch das LfU durchgeführt.

3.2.2 Klimaprojektionsaudit

Das LfU führte das Audit für alle Klimaprojektionen aus dem EURO-CORDEX- und dem ReKliEs-De-Pro- jekt [8], [9] für das Gebiet des hydrologischen Bayern durch. Dabei wurden die Klimaprojektionen für den Referenzzeitraum 1971-2000 mit dem bayerischen Klimareferenzdatensatz verglichen. Objektive Indika- toren und transparente Bewertungskriterien dienen als Entscheidungshilfe bei der Auswahl der Projekti- onen für das Bayern-Ensemble (s. Tab. 4). Alle weiteren Details dazu findet man in der LfU-Publikation „Das Bayerische Klimaprojektionsensemble – Audit und Ensemblebildung“ [11].

Tab. 4: Das bayerische Klimaprojektionsensemble (Bayern-Ensemble)

Globalmodell	Regionalmodell	Zeitraum	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
ICHEC-EC-EARTH_r1i1p1	KNMI-RACMO22E	1951–2100		x	x
ICHEC-EC-EARTH_r1i1p1	UHOH-WRF361H	1970–2100			x
ICHEC-EC-EARTH_r12i1p1	CLMcom-CCLM4-8-17	1951–2100	x	x	x
ICHEC-EC-EARTH_r12i1p1	KNMI-RACMO22E	1951–2100	x	x	x
ICHEC-EC-EARTH_r12i1p1	SMHI-RCA4	1970–2100	x	x	x
MIROC-MIROC5_r1i1p1	CLMcom-CCLM4-8-17	1951–2100	x		x
MOHC-HadGEM2-ES_r1i1p1	CEC-WETTREG2018	1951–2100			x
MOHC-HadGEM2-ES_r1i1p1	UHOH-WRF361H	1970–2099			x
MPI-M-MPI-ESM-LR_r1i1p1	CEC-WETTREG2018	1951–2100	x		x
MPI-M-MPI-ESM-LR_r1i1p1	CLMcom-CCLM4-8-17	1951–2100	x	x	x
MPI-M-MPI-ESM-LR_r1i1p1	SMHI-RCA4	1970–2100	x	x	x
MPI-M-MPI-ESM-LR_r1i1p1	UHOH-WRF361H	1970–2100	x		x

3.2.3 Downscaling

Bei einer Auflösung der regionalen Klimamodelle von 12,5 km wird komplexes Gelände stark geglättet. Aus diesem Grund wird am LfU die Auflösung der Klimaprojektionsdaten rechnerisch auf ein 5 km x 5 km-Gitter erhöht. Dafür werden die Projektionswerte des gröbereren Gitters auf die Geländehöhe des feineren Gitters interpoliert. Dieses als Downscaling bezeichnete Verfahren erfolgt mittels der Methode von Marke (2008) [10].

3.2.4 Bias-Adjustierung

Klimaprojektionen können eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Abweichung vom gemessenen Klimageschehen aufweisen. Nicht-systematische Abweichungen oder gar fehlerhafte Datensätze werden beim LfU durch das bereits beschriebene mehrstufige Auditierungsverfahren aussortiert. Folgen die Abweichungen jedoch einem regelmäßigen Muster, so wird von einem Bias – einem systematischen Fehler – gesprochen. Dieser Bias kann mit Hilfe verschiedener Methoden korrigiert werden. Dies wird als Bias-Adjustierung oder Bias-Korrektur bezeichnet. Dabei wird in einem ersten Schritt durch den Vergleich der modellierten Daten mit dem Referenzdatensatz die Systematik hinter den Abweichungen im Referenzzeitraum untersucht. Es geht jedoch nicht darum, den zeitlichen Ablauf von Einzeljahren oder innerjährlichen Zeitperioden anzugleichen. Sondern das Ziel ist hierbei, den saisonalen Verlauf und die Intensitäten der modellierten Zeitreihen in der Gesamtschau des 30-jährigen Referenzzeitraumes an die Referenzdaten anzupassen. In einem zweiten Schritt wird die gefundene Systematik auf die Zukunft in der Annahme angewendet, dass diese Systematik in den Klimamodellen verankert ist und sich durch die wandelnden Rahmenbedingungen nicht verändern wird.

Die Bias-Adjustierung der regionalen Klimaprojektionen erfolgt am LfU mithilfe einer Methode des Quantile Mappings. Die grundlegende Idee ist hierbei, die Verteilungsfunktion der simulierten Daten mit der Verteilungsfunktion der Beobachtungen in Einklang zu bringen [14], [15]. Beim verwendeten „Quantile Delta Mapping“ [16] wird dazu für jedes Perzentil der Verteilungsfunktion die Klimaänderung zwischen den simulierten Daten der Zukunft und des Referenzzeitraumes ermittelt und anschließend mit der Verteilungsfunktion der Beobachtungsdaten verrechnet.

3.3 Klimakennwerte

Basierend auf den Daten der Klimaprojektionen berechnet das LfU Klimakennwerte der Zukunft für alle Gitterzellen innerhalb der politischen Grenzen Bayerns. Anschließend werden daraus gleitende 30-jährige Mittelwerte der Änderungssignale pro Gitterzelle berechnet, also die Differenz zwischen den modellierten Werten in der Zukunft und dem zeitlichen Mittelwert der modellierten Werte in der Referenzperiode. Eine Liste der verfügbaren Klimakennwerte befindet sich in der Tab. 7, inklusive der verwendeten Berechnungsvorschriften. Die Klimakennwerte werden für jede Klimaprojektion des Bayern-Ensembles separat berechnet. Für jedes Emissionsszenario wird das Minimum, der Median und das Maximum des Bayern-Ensembles bestimmt.

Das LfU berechnet weiterhin Klimakennwerte der Vergangenheit auf Grundlage des Bayerischen Beobachtungsdatensatzes BayObs. Die verfügbaren Klimakennwerte können der Tab. 7 entnommen werden.

4 Detaillierte Beschreibung der verfügbaren Datensätze

Zunächst eine Vorbemerkung zu den Rasterdaten: Das LfU liefert nur dann NetCDF-Dateien von Klimaprojektionen und Klimakennwerten mit täglicher oder jährlicher Auflösung, wenn die Daten für weitergehende eigene Modellierungen benötigt werden. Auch in diesem Fall dürfen die Ergebnisse der Modellierung lediglich als zeitliches Mittel über lange Perioden interpretiert werden. Das LfU empfiehlt mindestens 30-jährige Mittelwerte. Auch bei Abbildungen sollten keine einzelnen Jahreswerte erkennbar sein.

Dies würde eine zeitliche Genauigkeit vortäuschen, welche die verwendeten Klimamodelle nicht erlauben. Sollen die Ergebnisse beispielsweise anhand einer Zeitreihe veranschaulicht werden, so können die Werte der Zeitreihe über die Bildung eines gleitenden 30-jährigen Mittelwertes berechnet werden.

4.1 Bayerischer Beobachtungsdatensatz BayObs

Die Dateien des Bayerischen Beobachtungsdatensatzes BayObs liegen im NetCDF-Format vor. Sie decken die Jahre 1951 bis 2019 ab. Jede Datei enthält eine physikalische Größe (s. Tab. 5) eines Jahres in täglicher Auflösung. Zu jedem Zeitschritt liegen die Daten für die Fläche Bayerns in einer räumlichen Auflösung von 5 km in einem Raster von 93 x 103 Gitterzellen vor. In den Variablen lon (longitude) und lat (latitude) sind die geographischen Koordinaten der Zellmittelpunkte abgespeichert. Das Gitter verwendet die Projektion: Lambert Conformal Conic; ETRS 1989 LCC; EPSG 3034. Somit ergibt sich aus den in diese Projektion transformierten geographischen Koordinaten ein reguläres Raster.

Tab. 5: Variablen von BayObs

Variable	Variablenerläuterung	Einheit
tas	mittlere Lufttemperatur in 2 m	°C
tasmin	minimale Lufttemperatur in 2 m	°C
tasmax	maximale Lufttemperatur in 2 m	°C
pr	Tagessumme des Niederschlages	mm/d

4.2 Bayern-Ensemble

Für die Projektionen des Bayern-Ensembles liegen je nach Modell Daten im NetCDF-Format für die Jahre 1970 bis 2100 beziehungsweise 1951 bis 2100 vor (s. Tab. 4). Jede Datei enthält eine physikalische Größe (s. Tab. 6) eines Jahres in täglicher Auflösung. Zu jedem Zeitschritt liegen die Daten in einer räumlichen Auflösung von 5 km in einem Raster von 71 x 73 Gitterzellen innerhalb der Grenzen von Bayern vor. Alle außerhalb Bayerns liegenden Gitterzellen sind mit NaN-Werten (Not a Number) gefüllt. In den Variablen lon (longitude) und lat (latitude) sind die geographischen Koordinaten der Zellmittelpunkte abgespeichert, und in den Variablen x und y die Rechtswerte und Hochwerte der Koordinaten (Projektion des Gitters: Lambert Conformal Conic; ETRS 1989 LCC; EPSG 3034). Die Dateinamen folgen der Konvention:

VariablenName_Domäne-GeographischeProjektion_Globalmodell_Szenario_ExperimentName_Regionalmodell_QuelleErzeugungsjahr_zeitlicheAuflösung_StartZeit-EndZeit.nc

Dazu ein Beispiel:

pr_Bayern-lcc5_ICHEC-EC-EARTH_rcp26_r12i1p1_SMHI-RCA4_LfU2020_day_20700101-20701231.nc

Tab. 6: Variablen der Klimaprojektionen. Wenn nicht explizit angegeben, beziehen sich die physikalischen Größen auf die Erdoberfläche.

Variable	Erläuterung	Einheit
tas	mittlere Lufttemperatur in 2 m	°C
tasmin	minimale Lufttemperatur in 2 m	°C
tasmax	maximale Lufttemperatur in 2 m	°C
pr	Tagessumme des Niederschlages	mm/d
dew	Taupunkttemperatur	°C
hurs	Relative Luftfeuchte	dimensionslos
rsds	Globalstrahlung	W/m ²
sfcWind	Windgeschwindigkeit in 10 m	m/s

Zu beachten ist, dass die Variable sfcWind im Vergleich zu den anderen Variablen mit größeren Unsicherheiten behaftet ist (s. Tab. 6). Der oberflächennahe Wind ist eine von lokalen Gegebenheiten (Beschaffenheit der Landoberfläche, Wasserflächen, Topographie) stark beeinflusste Variable. Das führt zu Unsicherheiten, da regionale Klimamodelle eine Auflösung von mehreren Kilometern verwenden. Zusätzlich kommt die Unsicherheit des Referenzdatensatzes hinzu, welcher auf Punktmessungen beruht.

4.3 Klimakennwerte

Für Bayern liegen die Absolutwerte der Klimakennwerte für jede Klimaprojektion für 1951 (1970) bis 2100, sowie die Änderungssignale der Klimakennwerte als gleitendes 30-jährige Mittel für 1985 bis 2085 im NetCDF-Format vor (s. Tab. 7). Jede Datei eines Emissionsszenarios enthält das Minimum, den Median und das Maximum des Bayern-Ensembles für alle Kennwerte. Das Raster mit 5 km Auflösung entspricht dem Raster der Klimaprojektionsdaten des Bayern-Ensembles. Die niederschlagsbasierten Kennwerte mit der Einheit mm liegen als prozentuale Änderungssignale vor, alle anderen als absolute Änderungssignale.

Tab. 7: Klimakennwerte und Berechnungsvorschriften. Die Kennwerte liegen sowohl für Kalenderjahre als auch für hydrologische Jahre vor.

Abkürzung	Beschreibung und ggf. Berechnungsvorschrift
tas-TM-Y	Mittlere Jahrestemperatur in °C
tas-TM-SO	Mittlere Halbjahrestemperatur (Apr–Sep) in °C
tas-TM-WI	Mittlere Halbjahrestemperatur (Okt–Mrz) in °C
tas-TM-DJF	Mittlere Quartalstemperatur Dez–Feb in °C
tas-TM-MAM	Mittlere Quartalstemperatur Mrz–Mai in °C
tas-TM-JJA	Mittlere Quartalstemperatur Jun–Aug in °C
tas-TM-SON	Mittlere Quartalstemperatur Sep–Nov in °C
tas-TM-JAN	Mittlere Monatstemperatur Jan in °C
tas-TM-FEB	Mittlere Monatstemperatur Feb in °C
tas-TM-MAR	Mittlere Monatstemperatur Mrz in °C
tas-TM-APR	Mittlere Monatstemperatur Apr in °C
tas-TM-MAI	Mittlere Monatstemperatur Mai in °C
tas-TM-JUN	Mittlere Monatstemperatur Jun in °C
tas-TM-JUL	Mittlere Monatstemperatur Jul in °C
tas-TM-AUG	Mittlere Monatstemperatur Aug in °C
tas-TM-SEP	Mittlere Monatstemperatur Sep in °C
tas-TM-OKT	Mittlere Monatstemperatur Okt in °C
tas-TM-NOV	Mittlere Monatstemperatur Nov in °C
tas-TM-DEZ	Mittlere Monatstemperatur Dez in °C
tas-ST	Sommertage: Anzahl der Tage mit Temperaturmaximum > 25 °C
tas-HitzeT	Heiße Tage bzw. Hitzetage: Anzahl der Tage mit Temperaturmaximum \geq 30 °C
tas-TN	Tropennacht: Anzahl der Tage mit Temperaturminimum > 20 °C
tas-HW-A	Hitzewelle als Häufigkeit: Häufigkeit der Phasen mit mindestens drei aufeinanderfolgenden Tagen mit einer Tagesmitteltemperatur größer dem 95 % - Perzentil. Das Perzentil bezieht sich auf den Referenzzeitraum von 1971–2000.
tas-HW-D	Hitzewelle als Dauer in d: Dauer der Phasen mit mindestens drei aufeinanderfolgenden Tagen mit einer Tagesmitteltemperatur größer dem 95 % - Perzentil. Das Perzentil bezieht sich auf den Referenzzeitraum von 1971–2000.
tas-HW-TM	Mittlere Temperatur der Hitzewelle in °C
tas-FT	Anzahl Frosttage: Anzahl der Tage mit Temperaturminimum < 0 °C
tas-ET	Anzahl Eistage: Anzahl der Tage mit Temperaturmaximum < 0 °C
tas-HT-15-Y	Anzahl Heitztage: Anzahl der Tage, bei denen $T_{\text{mittel}} < T_{\text{grenz}}$ ist (Definitionen nach VDI 3807: $T_{\text{grenz}} = 15$ °C, Bestandsgebäude, Raumtemperatur = 20 °C)

Abkürzung	Beschreibung und ggf. Berechnungsvorschrift
tas-KT-Y	Anzahl Kühltage: Anzahl der Tage, bei denen $T_{\text{mittel}} > T_{\text{kühl}}$ ist (Definitionen nach VDI 3807: $T_{\text{grenz}} = 18,3 \text{ °C}$, Bestandsgebäude, Raumtemperatur = 20 °C)
pr-Y	Mittlerer Jahresniederschlag in %
pr-SO	Mittlerer Halbjahresniederschlag (Apr–Sep) in %
pr-WI	Mittlerer Halbjahresniederschlag (Okt–Mrz) in %
pr-DJF	Mittlerer Quartalsniederschlag DJF in %
pr-MAM	Mittlerer Quartalsniederschlag MAM in %
pr-JJA	Mittlerer Quartalsniederschlag SON in %
pr-SON	Mittlerer Quartalsniederschlag DJF in %
pr-JAN	Mittlerer Monatsniederschlag Jan in %
pr-FEB	Mittlerer Monatsniederschlag Feb in %
pr-MAR	Mittlerer Monatsniederschlag Mrz in %
pr-APR	Mittlerer Monatsniederschlag Apr in %
pr-MAI	Mittlerer Monatsniederschlag Mai in %
pr-JUN	Mittlerer Monatsniederschlag Jun in %
pr-JUL	Mittlerer Monatsniederschlag Jul in %
pr-AUG	Mittlerer Monatsniederschlag Aug in %
pr-SEP	Mittlerer Monatsniederschlag Sep in %
pr-OKT	Mittlerer Monatsniederschlag Okt in %
pr-NOV	Mittlerer Monatsniederschlag Nov in %
pr-DEZ	Mittlerer Monatsniederschlag Dez in %
pr-VEGPER1-st	Niederschlagssumme in der Vegetationsperiode 1 (Apr–Jun) in %
pr-VEGPER2-st	Niederschlagssumme in der Vegetationsperiode 2 (Jul–Sep) in %
pr-SNT10	Anzahl der Tage mit $> 10 \text{ mm}$ Niederschlag
pr-SNT25	Anzahl der Tage mit $> 25 \text{ mm}$ Niederschlag
pr-SNT30	Anzahl der Tage mit $> 30 \text{ mm}$ Niederschlag

4.4 Zeitliche und räumliche Aggregationen

Werden die Daten nicht als Eingangswerte für Modellierungen verwendet, so können bei vertretbarem Aufwand auch räumlich und zeitlich aggregierte Daten beim LfU nachgefragt werden. Diese Daten werden im NetCDF-, ASCII- oder CSV-Format geliefert.

Für die räumliche Aggregation können gängige Regionen gewählt werden (z. B. Regierungsbezirke, Klimaregionen). Auch die Aggregation auf selbst definierte Raumeinheiten ist möglich, sofern dem LfU ein geeignetes „Shapefile“ für die Raumauswahl zur Verfügung gestellt wird und die Bearbeitung der Datenanfrage mit vertretbarem Aufwand möglich ist. Es muss darauf geachtet werden, dass die gewählte Raumeinheit mindestens 1.500 km^2 umfasst (s. Kap. 5.3).

Bei der zeitlichen Aggregation muss darauf geachtet werden, dass die Mittelungsperiode mindestens 30 Jahre umfasst. In der Regel wird die Referenzperiode und 2 bis 3 Zeiträume in der Zukunft ausgewählt, um abschätzen zu können, wie sich die Situation in der nahen, mittleren und fernen Zukunft im Vergleich zur Referenzperiode verändert. Seitens des LfU werden gegenüber Verwaltung und Öffentlichkeit folgende Zeiträume kommuniziert: „Nahe Zukunft“ 2021–2050, „Mittlere Zukunft“ 2041–2070 und „Ferne Zukunft“ 2071–2100. Auch wenn Zeitreihen dargestellt werden, dürfen bei Klimaprojektionen keine Einzeljahre analysiert werden, da die Klimamodelle nicht darauf ausgelegt sind, einzelne Jahre vorherzusagen. Stattdessen kann ein gleitendes 30-jähriges Mittel dargestellt werden. Der „Jahreswert“ für 2035 ist dann tatsächlich das 30-jährige Mittel der Periode 2021–2050.

5 Nutzungshinweise

5.1 Umgang mit einem Ensemble

Das Bayern-Ensemble umfasst jeweils 12, 6 bzw. 8 verschiedene Klimaprojektionen für die Emissionsszenarien RCP 8.5, RCP 4.5 bzw. RCP 2.6 (s. Tab. 4). Es sollte immer der gesamte Satz eines Emissionsszenarios benutzt werden, da jede Projektion eine gleichberechtigte, mögliche Entwicklung beschreibt und es unbekannt ist, welche der Entwicklungen am wahrscheinlichsten ist. Bei der graphischen oder tabellarischen Darstellung der Resultate sollte nach Möglichkeit immer die gesamte Spannweite des Bayern-Ensembles angegeben werden (Minimum, Median, Maximum).

Bei der Interpretation der Ergebnisse kommt es auf die Fragestellung an, ob die gesamte Spannweite des Bayern-Ensembles, inklusive aller verfügbaren Emissionsszenarien, diskutiert werden soll – oder ob es ausreicht, sich auf eine bestimmte Auswahl zu konzentrieren. Die Entscheidung richtet sich beispielsweise danach, ob man Klimaschutz oder Klimaanpassung betrachten möchte. Je nach Fragestellung kann es Sinn machen sich am RCP 2.6-Szenario (Zwei-Grad-Ziel, mit Klimaschutz) zu orientieren oder das RCP 8.5-Szenario (kein Klimaschutz) als Grundlage heranzuziehen.

5.2 Zeitliche Betrachtung

Da das Klima als das mittlere Wetter über eine Periode von mindestens 30 Jahren definiert ist, dürfen regionale Klimaprojektionen nur für längere Zeiträume ausgewertet werden. Die Klimamodelle liefern zwar tägliche Daten bis zum Jahr 2100, jedoch dürfen diese Tagesdaten nicht mit einer Wettervorhersage verwechselt werden. Anders als bei einer Wettervorhersage findet keine Datenassimilation statt. Klimaprojektionen simulieren eine physikalisch sinnvolle, aber zufällige Abfolge von Wettersituationen, die unter den vorgegebenen Rahmenbedingungen möglich sind. Klimamodelle können daher nur langfristige Variationen abbilden. So ist es möglich, Aussagen zu treffen, wie warm, kalt, trocken oder nass es im Durchschnitt über längere Zeiträume wird. Deshalb sollen die Betrachtungszeiträume im Regelfall 30 Jahre umfassen, was der Länge der von der WMO definierten Klimanormalperiode entspricht [17]. Dieses Vorgehen ist ebenfalls konform mit den „Leitlinien zur Interpretation regionaler Klimamodelldaten“ des Bund-Länder-Fachgespräches [18].

5.3 Räumliche Betrachtung

Bei räumlichen Auswertungen von regionalen Klimaprojektionen sollten die Empfehlungen der „Leitlinien zur Interpretation regionaler Klimamodelldaten“ des Bund-Länder-Fachgespräches berücksichtigt werden [18]. Zitat: „Neben der zeitlichen ist bei der Auswertung von Klimaprojektionsdaten im Allgemeinen auch eine räumliche Aggregation vorzunehmen. Grund hierfür ist die Tatsache, dass die effektive Auflösung dynamischer Simulationsmodelle, d.h. die Größenordnung vollständig vom Modell erfasster Prozesse, ein Vielfaches des eigentlichen Gitterpunktabstandes beträgt. Dementsprechend sollten basierend auf den Empfehlungen der Modellentwickler besser mehrere Gitterpunkte zusammengefasst werden. Als kleinste Einheit wird von vielen Klimamodellierern ein Raum von 3 x 3 Gitterboxen (des ursprünglichen Modellgitters) empfohlen.“ Das bedeutet, dass die Minimalgröße einer Region, für die eine Auswertung sinnvoll ist, mindestens 1.500 km² sein sollte. Das entspricht 60 Zellen des 5 km x 5 km Gitters.

5.4 Softwarehinweise

Zur Bearbeitung von NetCDF-Daten kann MATLAB (MathWorks) und R (GNU) sowie jede andere auf NetCDF-Dateien spezialisierte Software benutzt werden. Das Programm Panoply (NASA Goddard Institute for Space Studies) kann beispielsweise zur Sichtung und grafischen Darstellung der Daten sowie zum Lesen der Metadaten verwendet werden.

6 Nutzungsbedingungen

Die Daten können über die Datenstelle des LfU bezogen werden. Es ist folgendes Formular auszufüllen:
<https://www.lfu.bayern.de/umweltdaten/datenbezug/>

Bitte beachten Sie die Nutzungsbedingungen für den Datenbezug über die Datenstelle:

<https://www.lfu.bayern.de/umweltdaten/nutzungsbedingungen/index.htm>

Bei jeder Veröffentlichung oder Präsentation der Daten ist folgender Quellenvermerk anzubringen:

© Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de, 2020

Das vorliegende LfU-Infoblatt kann zitiert werden:

Bayerisches Landesamt für Umwelt [Hrsg.] (2020): Bayerische Klimadaten - Beobachtungsdaten, Klimaprojektionsensemble und Klimakennwerte für Bayern, Augsburg: 12 S.

Die Ausgangsdaten des Bayern-Ensembles stammen von den Projekten EURO-CORDEX und ReKliEs-DE. Deshalb müssen beide Datenquellen zitiert werden. Dazu sind die EURO-CORDEX-Richtlinien sowie die Nutzungshinweise auf der ReKliEs-DE-Webseite zu beachten:

<https://euro-cordex.net/index.php.en>

<http://reklies.hlnug.de/home>

Bei Verwendung des Bayerischen Beobachtungsdatensatzes sind ebenfalls dessen Datenquellen zu nennen (s. Kap. 2.1).

7 Literaturverzeichnis und Internetseiten

- [1] FRICK, CLAUDIA; STEINER, HEIKO; MAZURKIEWICZ, ALEX; RIEDIGER, ULF; RAUTHE, MONIKA; REICH, THOMAS; GRATZKI, ANNEGRET (2014): Central European high-resolution gridded daily data sets (HYRAS). Mean temperature and relative humidity. In: Meteorologische Zeitschrift, Volumen 23, Nummer 1, DOI: 10.1127/0941-2948/2014/0560, S. 15–32.
- [2] RAUTHE, MONIKA; STEINER, HEIKO; RIEDIGER, ULF; MAZURKIEWICZ, ALEX; GRATZKI, ANNEGRET (2013): A Central European precipitation climatology – Part I: Generation and validation of a high-resolution gridded daily data set (HYRAS). In: Meteorologische Zeitschrift, Volumen 22, Nummer 3, DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0436, S. 235–256.
- [3] E-OBS: <https://www.ecad.eu>. Abgerufen am 20.04.2020.
- [4] CORNES, R.; VAN DER SCHRIER, G.; VAN DEN BESSELAAR, E.J.M.; JONES, P.D. (2018): An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Datasets. In: Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 123 (17). DOI: 10.1029/2017JD028200, S. 9391–9409.
- [5] MARS: <https://agri4cast.jrc.ec.europa.eu>. Abgerufen am 20.04.2020.
- [6] ERA-40: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/era40>. Abgerufen am 20.04.2020.
- [7] Neuer Europäische Windatlas: <https://www.neweuropeanwindatlas.eu/> und <https://map.neweuropeanwindatlas.eu/>. Abgerufen am 20.04.2020.
- [8] EURO-CORDEX: <https://euro-cordex.net/index.php.en>. Abgerufen am 20.04.2020.
- [9] ReKliEs-De: <http://reklies.hlnug.de/home/>. Abgerufen am 20.04.2020.
- [10] MARKE, THOMAS (2008): Development and Application of a Model Interface to couple Regional Climate Models with Land Surface Models for Climate Change Risk Assessment in the Upper Danube Watershed, Ph.D. thesis, Department of Geography, Ludwig-Maximilians University, Munich, Germany.

- [11] Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2020: Das Bayerische Klimaprojektionsensemble – Audit und Ensemblebildung, Augsburg, 2020.
- [12] FREUDINGER, DAPHNÉ; FRIELINGSDORF, BARBARA; STAHL, KERSTIN; STEINBRICH, ANDREA; WEILER, MARKUS; GRIESSINGER, NENA; SEIBERT, JAN (2016): Das Potential meteorologischer Rasterdatensätze für die Modellierung der Schneedecke alpiner Einzugsgebiete. In: Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) (Hg.): HyWa: Das Potential meteorologischer Rasterdatensätze für die Modellierung der Schneedecke alpiner Einzugsgebiete; Einsatz simulationsgestützter Modelloptimierung im ereignisbezogenen Talsperrenbetrieb - weiteres siehe Abstract, BfG für Fachverwaltungen des Bundes und der Länder (60. Jahrgang, Heft 6).
- [13] SCHULLA, JÖRG (2012): Model description WaSiM - Water balance simulation model. Completely revised version 2012. Zürich.
- [14] TEUTSCHBEIN, CLAUDIA; SEIBERT, JAN (2012): Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies. Review and evaluation of different methods. In: Journal of Hydrology 456-457, S. 12–29. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2012.05.052.
- [15] MPELASOKA, FREDDIE SIMON; CHIEW, FRANCIS H. S. (2009): Influence of Rainfall Scenario Construction Methods on Runoff Projections. In: J. Hydrometeor 10 (5), S. 1168–1183. DOI: 10.1175/2009JHM1045.1.
- [16] CANNON, ALEX J.; SOBIE, STEPHAN R.; MURDOCK, TREVOR Q. (2015): Bias Correction of GCM Precipitation by Quantile Mapping: How Well Do Methods Preserve Changes in Quantiles and Extremes? In: Journal of Climate, Vol. 28, No. 17 (1 September 2015), S. 6938–6959.
- [17] TREWIN, B. (2007): The role of climatological normals in a changing climate. In: Report. WMO - WCDMP No. 61, WMO-TD No. S. 1377.
- [18] LINKE, C. et al. (2017): Leitlinien zur Interpretation regionaler Klimamodelldaten des Bund-Länder-Fachgespräches „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“, Essen. Bezug über <https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/fachgespraech/Leitlinien-2017.pdf>. Abgerufen am 20.04.2020.

8 Danksagungen

- Der HYRAS-Datensatz wird vom DWD (Deutscher Wetterdienst) bereitgestellt [1, 2]: www.dwd.de/DE/leistungen/hyras/hyras.html.
- Der E-OBS-Datensatz wird im EU-FP6 Projekt UERRA (<http://www.uerra.eu>) unter Mitwirkung des Copernicus Climate Change Service und den datenliefernden Partnern des ECA&D Projektes (<https://www.ecad.eu>) bereitgestellt und fortgeschrieben [3].
- Der REGNIE-Datensatz wird vom DWD bereitgestellt und fortgeschrieben [2]: <https://www.dwd.de/DE/leistungen/regnie/regnie.html>.
- Der Neue Europäische Windatlas ist eine kostenlose webbasierte Anwendung des NEWA-Konsortiums. Die Entwicklung und der Betrieb werden durch dieses Konsortium gewährleistet. Für weitere Informationen siehe www.neweuropeanwindatlas.eu [7].

Impressum:

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Telefon: 0821 9071-0
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung:

LfU Klima-Zentrum

Stand:

August 2020

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die publizistische Verwertung der Veröffentlichung – auch von Teilen – wird jedoch ausdrücklich begrüßt. Bitte nehmen Sie Kontakt mit dem Herausgeber auf, der Sie – wenn möglich – mit digitalen Daten der Inhalte und bei der Beschaffung der Wiedergaberechte unterstützt.

Diese Publikation wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 0 89 12 22 20 oder per E-Mail unter direkt@bayern.de erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.