

S4 Die GLOWA-Danube Klimavarianten aus dem statistischen Klimaantriebs-Generator

Als Klimavariante wird in GLOWA-Danube ein meteorologischer Antrieb für DANUBIA bezeichnet, der einem definierten Klimatrend folgt. Der meteorologische Antrieb besteht aus einer Zeitserie von Feldern der meteorologischen Parameter Niederschlag, einfallende Strahlung (kurz- und langwelliger Anteil), Lufttemperatur, Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit. Diese Felder werden i.d.R. in einer räumlichen Auflösung von 1x1 km und in einer zeitlichen Auflösung von 1 h erwartet. Für die Erzeugung verschiedener Klimavarianten stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung:

- 1. der statistische Klimaantriebs-Generator aus Kapitel S3
- 2. die Ergebnisse der regionalen Klimamodelle nach Bias-Korrektur und Downscaling aus Kapitel S5.

Im folgenden Kapitel soll vorwiegend auf Punkt 1 eingegangen werden, da die Möglichkeit der Erzeugung unterschiedlicher Klimavarianten aus den regionalen Klimamodellen wegen des hohen Rechenaufwandes z.Zt. noch begrenzt ist. Dem Projekt steht nur jeweils eine Klimavariante von REMO und MM5 zur Verfügung.

Mit dem statistischen Klimaantriebs-Generator existiert eine Methodik, mit deren Hilfe aus historischen Zeitreihen synthetische meteorologische Datenreihen erzeugt werden können. Der Verlauf des Witterungsgeschehens eines zukünftigen synthetischen meteorologischen Antriebs folgt dem vorgegebenen regionalen Klimatrend und hängt darüber hinaus wesentlich von den vom Zufallsgenerator des statistischen Klimaantriebs-Generators erzeugten Zufallszahlen ab. Der Zufallsgenerator des Klimaantriebs-Generators erzeugt auf der Grundlage einer zu Beginn des Programms bestimmten Initialisierungszahl, auch „Saat“ bezeichnet, eine vorgegebene Anzahl von Zufallszahlen, die einer 2-dimensionalen Normalverteilung mit vorgegebenen Mittelwerten und Kovarianzen folgen. Für jeden Saatwert entsteht bei mehrmaligem Anwenden des Programms immer dieselbe Reihe von Zufallszahlen. Unterschiedliche Saatwerte erzeugen unterschiedliche Reihen von Zufallszahlen, die aber immer eine Stichprobe aus der gleichen Grundgesamtheit darstellen, damit also statistisch äquivalent bezüglich einer vorgegebenen Normalverteilung sind. Somit lassen sich also durch die Wahl unterschiedlicher Saatwerte eine Vielzahl unterschiedlicher statistischer Reihen erzeugen, die alle statistisch äquivalent sind, d.h. der glei-

chen Grundgesamtheit angehören. Mit diesen unterschiedlichen Reihen von Zufallszahlen lassen sich dann mit dem Klimaantriebs-Generator unterschiedliche meteorologische Datenreihen erzeugen. Sie haben bei gleicher Wahl des Klimatrends die Eigenschaft, dass sie ebenfalls statistisch äquivalent sind, also der gleichen statistischen Grundgesamtheit angehören. Jede statistisch äquivalente meteorologische Datenreihe aus dem Klimaantriebs-Generators ist somit eine Klimavariante eines vorgegebenen Klimatrends.

Der statistische Klimaantriebs-Generator bietet die Möglichkeit, bei vorgegebenem Klimatrend eine große Anzahl verschiedener Klimavarianten zu erzeugen. Im Projekt wird diese Möglichkeit der Berücksichtigung der statistischen Streuung in den Witterungsverläufen der vorgegebenen zukünftigen Klimatrends vor allem für die folgenden drei Aspekte der Klimafolgenforschung genutzt:

- 1. Identifikation eines mittleren zukünftigen Witterungsverlaufs aus einer großen Anzahl von Klimavarianten aufgrund eines vorgegebenen Kriteriums. Dies begegnet dem Problem, dass bei den Ergebnissen der regionalen Klimamodelle REMO und MM5 bisher keine Aussage über deren Eintrittswahrscheinlichkeit gemacht werden kann, da nur jeweils eine Realisierung basierend auf einem ECHAM-Lauf vorliegt. Damit lassen sich auch keine Aussagen über die Wahrscheinlichkeit machen, mit der die Ergebnisse der Klimafolgenmodellierung eintreten können. Um praktisch relevante Aussagen machen zu können ist es jedoch notwendig, aufgrund vorgegebener statistischer Kenngrößen, wie z.B. dem mittleren Temperaturanstieg im betrachteten Untersuchungszeitraum, Aussagen über die Wahrscheinlichkeit machen zu können mit der die jeweils gewählte Klimavariante eintreten kann.
- 2. Untersuchung zur Abschätzung der Unsicherheiten in den Aussagen zu den Veränderungen hydrologischer Größen als Ergebnis der Szenariosimulation aufgrund der statistischen Variabilität des meteorologischen Antriebs des vorgegebenen Klimatrends. Hierzu wird für jeden angenommenen Klimatrend ein Ensemble von Klimavarianten, also statistisch äquivalenter zukünftiger meteorologischer Datenreihen, als Eingabe in DANUBIA benutzt und die Streuung der simulierten hydrologischen Größen wie Abfluss, Verdunstung, Schneebedek-

kung, etc. untersucht.

- 3. Untersuchungen der Auswirkungen extremer Situationen, die sich in den synthetisch erzeugten meteorologischen Datenreihen mit einer identifizierbaren Eintrittswahrscheinlichkeit einstellen. Eine breite Palette von extremen Situationen kann durch gezielte Analyse der Datenreihen identifiziert werden. Im Rahmen von GLOWA-Danube wurden von den Projektpartnern und Stakeholdern folgende interessante extreme Situationen formuliert:
 - a. geringe Niederschlagssummen über längere Zeiträume von mehreren Jahren,
 - b. hohe Temperaturen in verschiedenen Jahreszeiten über einen längeren Zeitraum von mehreren Jahren.

Mehrere Möglichkeiten für die Wahl der Auswahlkriterien für zukünftige Klimavarianten wurden deshalb im Rahmen des statistischen Klimaantriebs-Generators bisher für den GLOWA-Danube Szenarienzeitraum von 2011-2060 in einem offenen Diskussionsprozess mit den Teilprojekten und den Stakeholdern erarbeitet und implementiert:

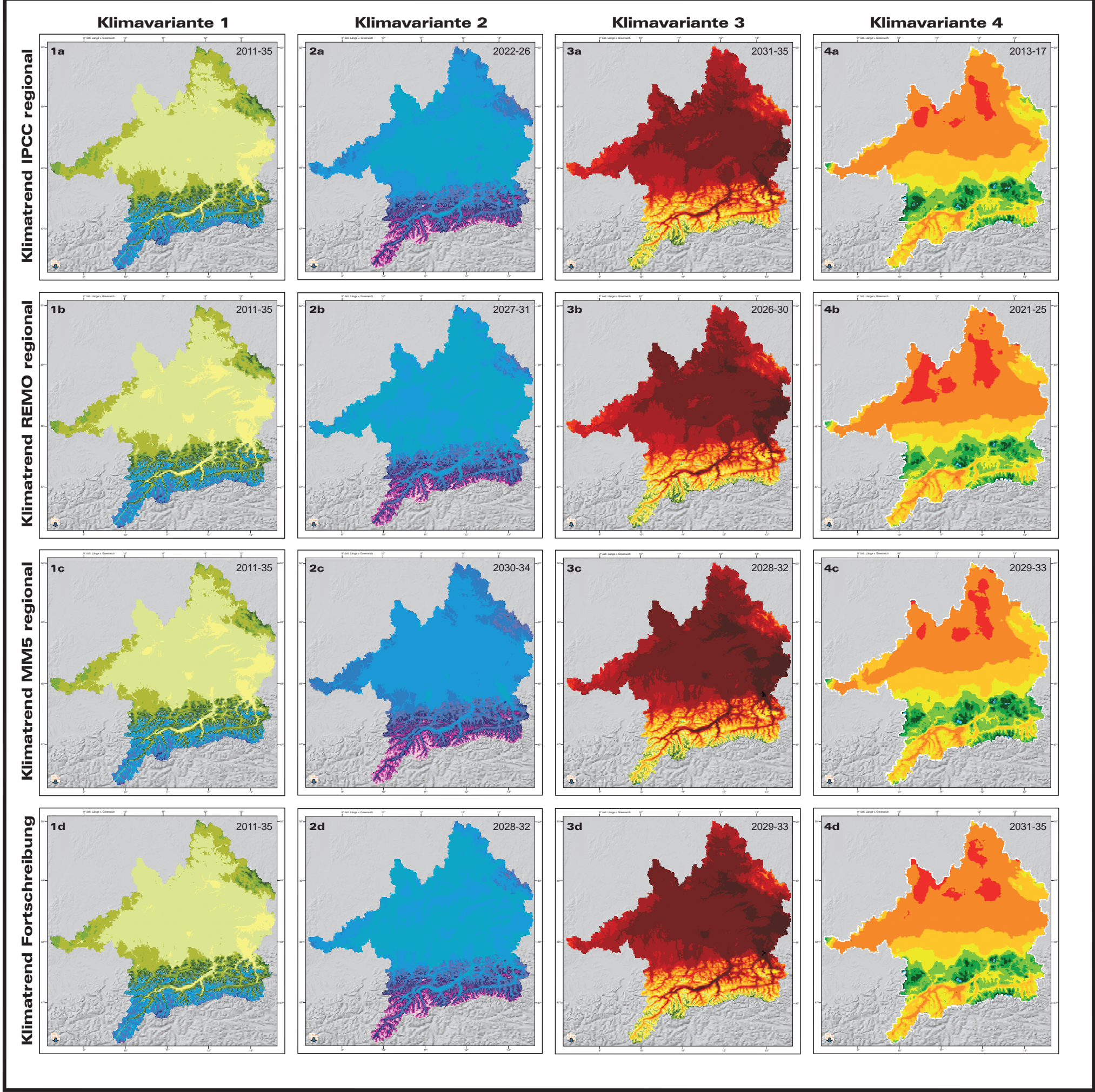
Die in Tabelle S4.1 aufgelisteten Klimavarianten und die ihnen zugrunde liegenden Kriterien wurden aufgrund der Überlegungen in Punkt 1-3 (siehe oben) definiert. Dies gilt vor allem für die Klimavarianten 1, 8-9 und 13-17. Hier stehen jährliche Extreme bzw. Mittelwerte im Vordergrund. Die Klimavarianten 2-7, 10-12 und 18-20 wurden vor allem auf der Grundlage von Überlegungen der Akteur-Teilprojekte für den Zweck definiert, Anpassungsvorgänge der Akteure an länger andauernde extreme Verhältnisse zu untersuchen. So reagieren nämlich Akteure in der Regel nicht auf ein einzelnes extremes Jahr.

Erzeugung der Klimavarianten

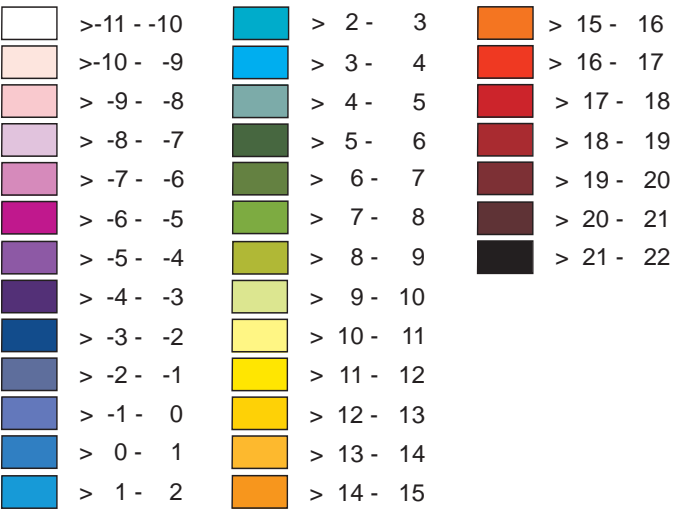
Der methodische Ansatz zur Erzeugung einer Klimavariante, die eine der 20 in Tabelle S4.1 aufgelisteten Kriterien oder auch darüber hinausgehenden Kriterien erfüllt, ist in Abbildung S4.1 schematisch dargestellt. Hierzu werden jeweils 5000 zufällig verteilte, statistisch äquivalente meteorologische Datenreihen für die nächsten 50 Jahre in einem jeweils dreistufigen Zyklus erzeugt und analysiert. Jeder der Zyklen läuft gleich ab und besteht aus einem doppelten Zufallsprozess. Zunächst wird für jede der 5000 Klimavarianten mit einem gleichverteilten Zufallsgenerator ein Startwert für den Zufallsgenerator des Klimaantriebs-Generators gewählt. Die Gleichverteilung dieses

Klimavariante	Bezeichnung	Kriterium
1	Baseline	mittlere Jahrestemperatur zwischen 2011 und 2035
2	Lang anhaltende Periode warmer Winter zwischen 2011 und 2035	5-jähriges Temperaturmaximum DJF zwischen 2011 und 2035
3	Lang anhaltende Periode heißer Sommer zwischen 2011 und 2035	5-jähriges Temperaturmaximum JJA zwischen 2011 und 2035
4	Lang anhaltende Trockenperiode zwischen 2011 und 2035	5-jähriges Niederschlagsminimum zwischen 2011 und 2035
5	Lang anhaltende Trockenperiode zwischen 2036 und 2060	5-jähriges Niederschlagsminimum zwischen 2036 und 2060
6	Mittlere Trockenperiode zwischen 2011 und 2035	3-jähriges Niederschlagsminimum zwischen 2011 und 2035
7	Mittlere Trockenperiode zwischen 2036 und 2060	3-jähriges Niederschlagsminimum zwischen 2036 und 2060
8	Ein trockenes Jahr zwischen 2011 und 2035	trockenstes Jahr zwischen 2011 und 2035
9	Ein trockenes Jahr zwischen 2036 und 2060	trockenstes Jahr zwischen 2036 und 2060
10	Lang anhaltende Periode heißer Sommer zwischen 2036 und 2060	5-jähriges Temperaturmaximum JJA zwischen 2036 und 2060
11	Mittlere Periode heißer Sommer zwischen 2011 und 2035	3-jähriges Temperaturmaximum JJA zwischen 2011 und 2035
12	Mittlere Periode heißer Sommer zwischen 2036 und 2060	3-jähriges Temperaturmaximum JJA zwischen 2036 und 2060
13	Ein heißer Sommer zwischen 2011 und 2035	Temperaturmaximum JJA zwischen 2011 und 2035
14	Ein heißer Sommer zwischen 2036 und 2060	Temperaturmaximum JJA zwischen 2036 und 2060
15	Mittlere Niederschlagssummen zwischen 2011 und 2035	mittl. Jahresniederschlagssumme zwischen 2011 und 2035
16	Mittlere Niederschlagssummen zwischen 2036 und 2060	mittl. Jahresniederschlagssumme zwischen 2036 und 2060
17	Baseline II	mittlere Jahrestemperatur zwischen 2036 und 2060
18	Lang anhaltende Periode warmer Winter zwischen 2036 und 2060	5-jähriges Temperaturmaximum DJF zwischen 2036 und 2060
19	Lang anhaltende Periode trockener Sommer zwischen 2011 und 2035	5-jähriges Niederschlagsminimum JJA zwischen 2011 und 2035
20	Lang anhaltende Periode trockener Sommer zwischen 2036 und 2060	5-jähriges Niederschlagsminimum JJA zwischen 2036 und 2060

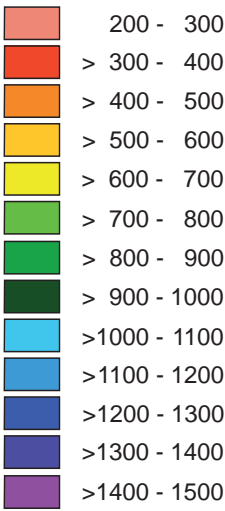
Tabelle S4.1: Zwischen den Teilprojekten und im Stakeholderprozess vereinbarte und implementierte GLOWA-Danube Klimavarianten (DJF: Dez., Jan., Febr.; JJA: Jun., Jul., Aug.).



Karten 1a-1d:
mittlere Lufttemperatur zwischen 2011 und 2035 (Klimavariante 1)
Karten 2a-2d:
mittlere DJF-Temperatur aus den 5 wärmsten Wintern zwischen
2011 und 2035 (Klimavariante 2)
Karten 3a-3d:
mittlere JJA-Temperatur aus den 5 heißesten Sommern zwischen
2011 und 2035 (Klimavariante 3)



Karten 4a-4d:
mittlerer Niederschlag aus den
5 trockensten Jahren zwischen
2011 und 2035 (Klimavariante 4)



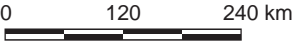
GLOBAL CHANGE ATLAS EINZUGSGEBIET OBERE DONAU



Herausgeber:
GLOWA-Danube-Projekt, Ludwig-Maximilians-Universität München

S4 Teilprojekt Koordination Die GLOWA-Danube Klimavarianten aus dem statistischen Klimaantriebs-Generator

Rastergröße: 1 x 1 km²
Maßstab: 1: 7.700.000



Datengrundlage:
Ergebnisse des statistischen Klimaantriebs-Generators
(siehe Kapitel S3)

Autor:
W. Mauser
Lehrstuhl für Geographie und geographische Fernerkundung,
Ludwig-Maximilians-Universität München

Grafik:
V. Falck
Lehrstuhl für Geographie und geographische Fernerkundung,
Ludwig-Maximilians-Universität München

Zufallsprozesses stellt sicher, dass alle Zufallszahlenreihen des Klimaantriebs-Generators die gleiche a-priori-Wahrscheinlichkeit aufweisen. Mit dem ermittelten Startwert wird im statistischen Klimaantriebs-Generator eine Klimavariante berechnet. Das Vorgehen bei der Berechnung der Klimavariante ist in Kapitel S3 „Der statistische Klimaantriebs-Generator“ detailliert dargestellt. Die erzeugten meteorologischen Daten werden anschließend auf das aus Tabelle S4.1 gewählte Kriterium für die ausgewählte Klimavariante hin analysiert.

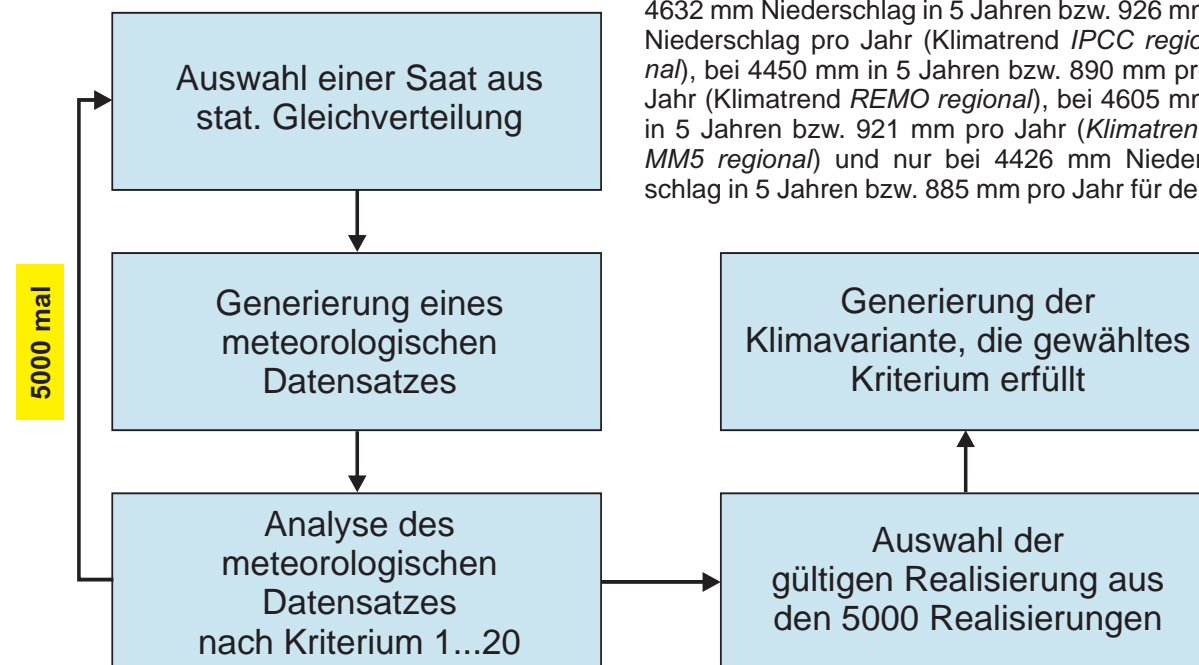


Abbildung S4.1: Schematische Darstellung der Erzeugung der Klimavarianten mit dem statistischen Klimaantriebs-Generator.

Dies wird im Folgenden exemplarisch für die Klimavariante 4 „Lang anhaltende Trockenperiode zwischen 2011 und 2035“ erläutert. Zur Ermittlung eines meteorologischen Szenario-Datensatzes, der im Zeitraum zwischen 2011 und 2035 eine lang anhaltende Trockenperiode von 5 Jahren aufweist, wird für diesen Zeitraum ein 5-Jahres-Fenster in Jahresschritten über die erzeugten Niederschlags-Messreihen geschoben und für jede 5-Jahres Periode die mittlere Niederschlagssumme aller meteorologischen Stationen im Datensatz bestimmt. Danach wird die kleinste berechnete Niederschlagssumme in 5 aufeinander folgenden Jahren zusammen mit dem jeweiligen Saatwert für den Zufallsgenerator des statistischen Klimaantriebs-Generators gespeichert. Dieses Vorgehen wird für jeden Klimatrend 5000-mal wiederholt. Die Häufigkeitsverteilung der generierten 5000 minimalen Niederschlagssummen in 5 aufeinander folgenden Jahren ist in Abbildung S4.2 für die Klimatrends *IPCC regional*, *REMO regional*, *MM5 regional* und *Fortschreibung* zu sehen.

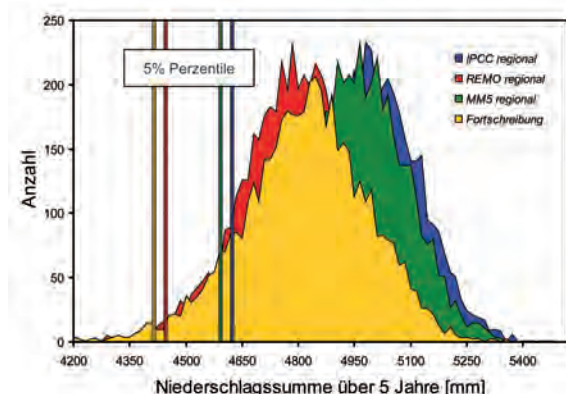


Abbildung S4.2: Vergleich der Häufigkeitsverteilung der 5000 berechneten Realisierungen zur Erstellung von Klimavariante 4 für die vier Klimatrends *IPCC regional*, *REMO regional*, *MM5 regional* und *Fortschreibung*.

An die Häufigkeitsverteilung der Niederschlagssummen wird nun eine Normalverteilung angepasst. Es ist nicht verwunderlich, dass diese mit einem student-t-Test stets auf hohem Niveau von über 99% als signifikant bestätigt wird, da der Zufallsgenerator, der dem statistischen Klimaantriebs-Generator zugrunde liegt annimmt, dass die Variabilität von Niederschlag und Temperatur normalverteilt ist. Um eine konkrete Realisierung aus den jeweils 5000 Realisierungen auszuwählen, wurde die 5%-Unterschreitungs-Perzentile der Normalverteilung gewählt. Sie gibt diejenige Niederschlagssumme an, die bei der Berechnung der 5000 Realisierungen in 5% der Fälle, also 100 mal, unterschritten wurde. Die 5%-Per-

zentile wurde in einem GLOWA-Danube-internen Abstimmungsprozess festgelegt. Sie bedeutet, dass der minimale Niederschlagswert in einem von 20 Versuchen auftritt. Dies stellt damit ein Ereignis von ungewöhnlicher aber nicht extremer Seltenheit dar. Es ist bei der Erstellung weiterer Klimavarianten durchaus möglich, diese Grenze und damit den Extremcharakter der Klimavariante zu verändern.

Je nach betrachtetem Klimatrend liegt die 5%-Perzentile für die Klimavariante 4 „Lang anhaltende Trockenperiode zwischen 2011 und 2035“ bei 4632 mm Niederschlag in 5 Jahren bzw. 926 mm Niederschlag pro Jahr (Klimatrend *IPCC regional*), bei 4450 mm in 5 Jahren bzw. 890 mm pro Jahr (Klimatrend *REMO regional*), bei 4605 mm in 5 Jahren bzw. 921 mm pro Jahr (Klimatrend *MM5 regional*) und nur bei 4426 mm Niederschlag in 5 Jahren bzw. 885 mm pro Jahr für den

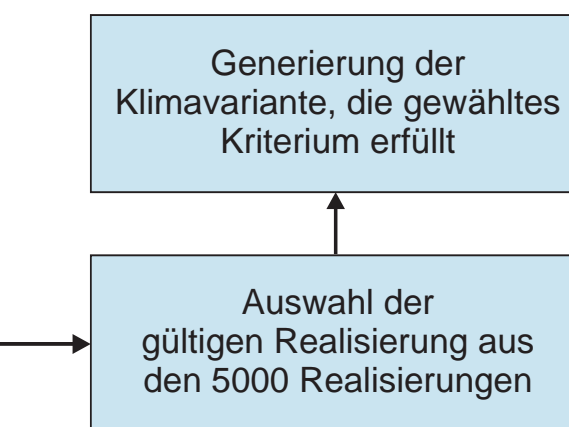


Abbildung S4.3: Verlauf der jährlichen Niederschlagssummen der ausgewählten Realisierungen von Klimavariante 4 für die vier Klimatrends *IPCC regional*, *REMO regional*, *MM5 regional* und *Fortschreibung*.

Abbildung S4.3 zeigt den Verlauf der jährlichen Niederschlagssummen in den ausgewählten Klimavarianten in der Periode von 2011 bis 2060 für die 4 Klimatrends. Die Perioden besonderer Trockenheit sind mit farbigen Zeitfenstern gekennzeichnet. Die vier unterschiedlichen 5-jährigen Trockenperioden mit ihrem jeweiligen Beginn in den Jahren 2013 (*IPCC regional*), 2021 (*REMO regional*), 2029 (*MM5 regional*) und 2031 (*Fortschreibung*) sind auch ohne die farbige Markierung deutlich zu erkennen.

Auch für die Erzeugung der anderen Klimavarianten wurde wie beschrieben vorgegangen. Mit Hilfe der 5%-Perzentilen wurde aus den Häufigkeitsverteilungen der jeweils 5000 Realisierungen der verschiedenen Klimavarianten (analog zu Abbildung S4.2) die jeweils gültige Klimavariante ausgewählt.

Klimavarianten in GLOWA-Danube

Für die Untersuchung der Auswirkungen von verschiedenen Klimavarianten in den vier gewählten Klimatrends *IPCC regional*, *REMO regional*, *MM5 regional* und *Fortschreibung* (siehe Kapitel S2) auf den Wasserhaushalt der Oberen Donau wurden aus den 20 in Tabelle S4.1 aufgeführten Klimavarianten in intensiven Diskussionen mit den betroffenen Akteur-Teilprojekten zunächst und mit höchster Priorität die folgenden vier Klimavarianten zur Behandlung in DANUBIA ausgewählt:

Klimavariante 1: Durchschnittliche Temperaturerhöhung (kurz: *Baseline*). Diese Klimavariante re-

präsentiert die durchschnittliche Temperaturerhöhung von 2011 bis 2035 und eröffnet damit die Möglichkeit, einen auf der Basis der gewählten Klimatrends und der im statistischen Klimaantriebs-Generator gemachten Annahmen sehr wahrscheinlich auftretenden Witterungsverlauf zu untersuchen. Für Klimavariante 1 sind die Häufigkeitsverteilungen der mittleren Jahrestemperaturen zwischen 2011 und 2035 der 5000 Realisierungen für die vier verschiedenen Klimatrends in Abbildung S4.4 gegenüber gestellt. Die Abbildung zeigt direkt die Auswirkung des gewählten Klimatrends auf die mittleren Jahrestemperaturen im Zeitraum von 2011 bis 2035. Sie befinden sich bei 9.4°C für den Klimatrend *IPCC regional*, 9.6°C für den Klimatrend *REMO regional*, 9.5°C für den Klimatrend *MM5 regional* und 9.5°C für den Klimatrend *Fortschreibung*. Dem steht eine mittlere Jahrestemperatur von 6.2°C in der Periode 1960 bis 2006 gegenüber.

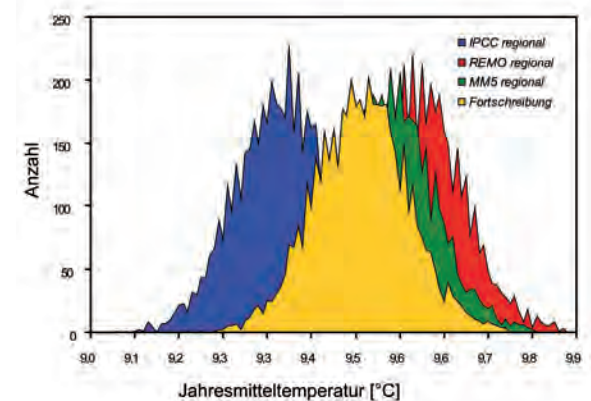


Abbildung S4.4: Gegenüberstellung der Häufigkeitsverteilung der 5000 Realisierungen zur Erstellung von Klimavariante 1 für die vier Klimatrends *IPCC regional*, *REMO regional*, *MM5 regional* und *Fortschreibung*.

Abbildung S4.5 zeigt den Verlauf der jährlichen Mitteltemperaturen im Einzugsgebiet der Oberen Donau für die Periode 2011-2060 für die vier gewählten Realisierungen, die den Mittelwert des zum jeweiligen Klimatrend gehörenden Histogramms darstellen. Aus Abbildung S4.5 ist neben dem generellen Anstieg der Temperatur im Zeitraum 2011 bis 2060 die unterschiedliche Steigung und der unterschiedliche Verlauf des Anstiegs für die vier gewählten Klimavarianten zu erkennen.

Die Karten 1a-1d aus dem Kartenblatt S4 zeigen die Mitteltemperaturen der Klimavariante 1 über den Zeitraum 2011-35 in den vier unterschiedlichen Klimatrends. Alle 4 Karten zeigen sehr ähnliche Werte, welche aber deutlich über den Temperaturen der Vergangenheit liegen (siehe Kapitel 1.6).

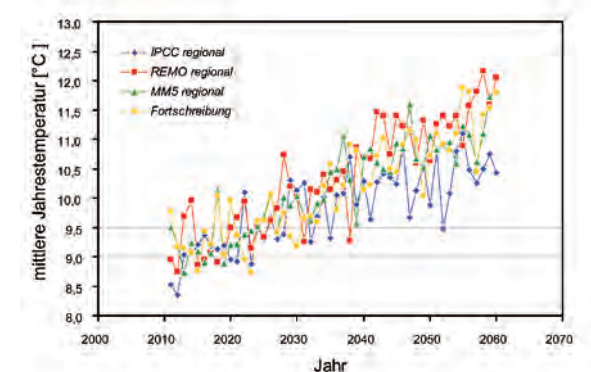


Abbildung S4.5: Verlauf der jährlichen Mitteltemperaturen der gewählten Realisierungen von Klimavariante 1 für die vier Klimatrends *IPCC regional*, *REMO regional*, *MM5 regional* und *Fortschreibung*.

Klimavariante 2: Lang anhaltende Periode warmer Winter zwischen 2011 und 2035 (kurz: *5 warme Winter*). Diese Klimavariante eröffnet die Möglichkeit, die Auswirkungen aufeinander folgender warmer Winter, die mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 5% auftreten, z.B. auf die touristische Infrastruktur oder die Energieversorgung zu untersuchen. Für Klimavariante 2 sind die Häufigkeitsverteilungen der maximalen 5-Jahres-Mitteltemperaturen der Wintermonate Dezember, Januar und Februar im Zeitraum 2011 bis 2035 der 5000 Realisierungen für die vier verschiedenen Klimatrends in Abbildung S4.6 gemeinsam mit den sich aus den angepassten Normalverteilungen ergebenden 5%-Perzentilen gegenüber gestellt. Abbildung S4.6 zeigt direkt die Auswirkung des gewählten Klimatrends auf die Extreme der maximalen 5-Jahres-DJF-Mitteltemperaturen aus der Periode 2011-2035. In Abbildung S4.7 ist der Verlauf der mittleren Winter-Temperaturen im Einzugsgebiet

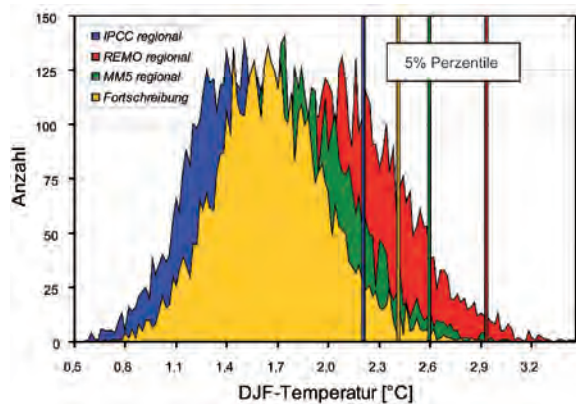


Abbildung S4.6: Gegenüberstellung der Häufigkeitsverteilung der 5000 Realisierungen zur Erstellung von Klimavariante 2 für die vier Klimatrends *IPCC regional*, *REMO regional*, *MM5 regional* und *Fortschreibung*.

der Oberen Donau für die vier gewählten Realisierungen, die das Kriterium für die vier gewählten Klimatrends auf der 5%-Perzentile erfüllen, dargestellt. Die Perioden der wärmsten Winter sind farbig eingezeichnet.

Die Karten 2a-2d aus dem Kartenblatt S4 zeigen jeweils die mittleren Wintertemperaturen aus den 5 Jahren, in denen die höchsten Temperaturen aufgetreten sind. Vergleicht man diese besonders warmen Winter mit der mittleren Wintertemperatur aus der Vergangenheit (siehe Karte 4 in Kapitel 2.5.2), so ist eine deutliche Erwärmung, insbesondere bei den Klimatrends *REMO regional* und *Fortschreibung* zu erkennen.

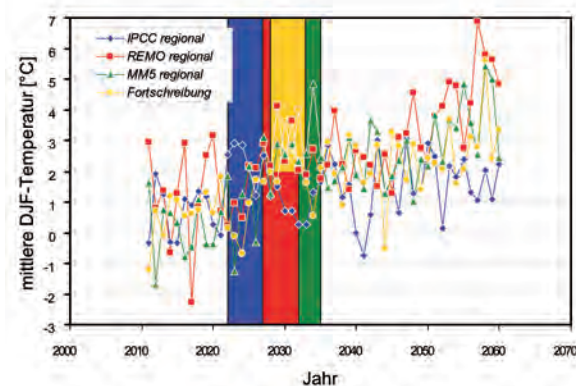


Abbildung S4.7: Verlauf der jährlichen mittleren Winter-Temperaturen (DJF) der ausgewählten Realisierungen von Klimavariante 2 für die vier Klimatrends *IPCC regional*, *REMO regional*, *MM5 regional* und *Fortschreibung*.

Klimavariante 3: Lang anhaltende Periode heißer Sommer zwischen 2011 und 2035 (kurz: *5 heiße Sommer*). Diese Klimavariante eröffnet die Möglichkeit, die Auswirkungen aufeinander folgender heißer Sommer, die mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 5% auftreten, z.B. auf die Energieerzeugung, Gletscherentwicklung, Waldbrandgefahr, Landwirtschaft und Wasserversorgung zu untersuchen.

Für Klimavariante 3 sind die Häufigkeitsverteilungen der maximalen 5-Jahres-Mitteltemperaturen der Sommermonate Juni, Juli und August zwischen 2011 und 2035 der 5000 Realisierungen für die vier verschiedenen Klimatrends in Abbildung S4.8 gemeinsam mit den sich aus den angepassten Normalverteilungen ergebenden 5%-Perzentilen gegenüber gestellt. Auch hier ist die Auswirkung des gewählten Klimatrends auf die Extreme der maximalen 5-Jahres-JJA-Mitteltemperaturen aus der Periode 2011-2035 deutlich zu erkennen.

In Abbildung S4.9 ist der Verlauf der mittleren Sommertemperaturen im Einzugsgebiet der Oberen Donau für die vier gewählten Realisierungen der vier Klimatrends auf der 5%-Perzentile dargestellt. Die Perioden heißer Sommer liegen mit ihrem jeweiligen Beginn in den Jahren 2031 (Klimatrend *IPCC regional*), 2026 (Klimatrend *REMO regional*), 2028 (Klimatrend *MM5 regional*) und 2029 (Klimatrend *Fortschreibung*) sehr nahe beieinander.

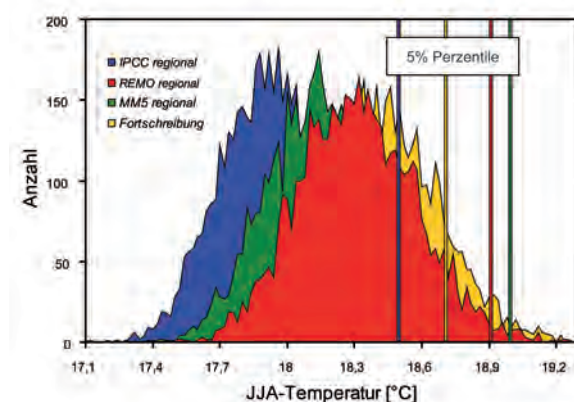


Abbildung S4.8: Gegenüberstellung der Häufigkeitsverteilung der 5000 Realisierungen zur Erstellung von Klimavariante 3 für die vier Klimatrends *IPCC regional*, *REMO regional*, *MM5 regional* und *Fortschreibung*.

Die mittleren Temperaturen aus den 5 wärmsten Sommern zwischen 2011 und 2035 in den verschiedenen Klimatrends sind im Kartenblatt S4 in den Karten 3a-3d dargestellt. Sie unterscheiden sich nur minimal voneinander, zeigen aber im Vergleich zu den mittleren Sommertemperaturen aus der Vergangenheit eine beachtliche Erwärmung (siehe Karte 2 in Kapitel 2.5.2).

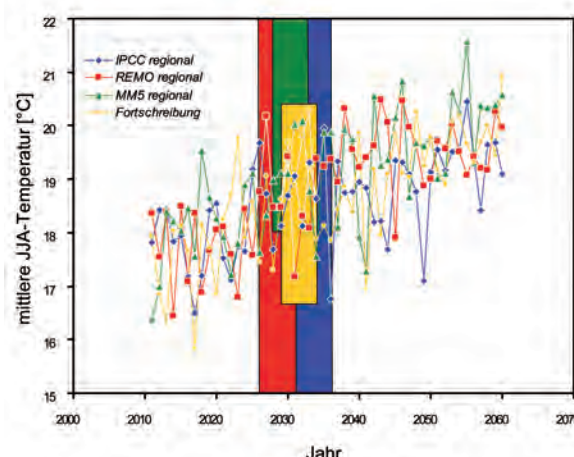


Abbildung S4.9: Verlauf der jährlichen mittleren Winter-temperaturen (DJF) der ausgewählten Realisierungen von Klimavariante 3 für die vier Klimatrends *IPCC regional*, *REMO regional*, *MM5 regional* und *Fortschreibung*.

Klimavariante 4: Lang anhaltende Trockenperiode zwischen 2011 und 2035. Diese Klimavariante eröffnet die Möglichkeit, die Auswirkungen langer Trockenperioden, die mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 5% auftreten, z.B. auf die Energieerzeugung, Landwirtschaft und Wasserversorgung zu untersuchen.

Der Vergleich der Häufigkeitsverteilung der 5000 berechneten Realisierungen zur Erstellung von Klimavariante 4 für die vier Klimatrends sowie der Verlauf der jährlichen Niederschlagssummen der ausgewählten Realisierungen von Klimavariante 4 wurden bereits bei der Beschreibung der Erzeu-

gung der Klimavarianten aufgeführt und in den Abbildungen S4.2 und S4.3 dargestellt. Die Karten 4a-4d aus dem Kartenblatt S4 zeigen jeweils die mittleren Jahresniederschläge aus den 5 Jahren, in denen die minimalen Niederschläge aufgetreten sind. Vergleicht man diese besonders trockenen Jahre mit dem mittleren Niederschlag aus der Vergangenheit (siehe Karte 4 in Kapitel 1.5), so ist eine deutliche Reduzierung des Niederschlags über das gesamte Einzugsgebiet zu erkennen.

Tabelle S4.2 fasst die Ergebnisse der Berechnung der vier ausgewählten Klimavarianten zusammen. Hier werden die Werte der 5%-Perzentilen, die Zeiträume, in denen das Kriterium nach Tabelle S4.1 eintritt, das die unterschiedlichen Klimavarianten definiert, sowie vergleichende Mittelwerte aus der Vergangenheit dargestellt.

Die Tabelle zeigt, dass bei der Auswahl der Klimavarianten, die zeitlich begrenzte, extreme Verhältnisse repräsentieren und mit einer Wahrscheinlichkeit von 5% auftreten könnten, innerhalb der nächsten 25 Jahren mit zum Teil beachtlichen Veränderungen gegenüber dem Mittelwert aus der Vergangenheit zu rechnen ist. Dies gilt vor allem für die Klimavariante „5 trockene Jahre“, bei der die mittlere Niederschlagssumme des betrachteten 5-Jahres-Zeitraums gegenüber dem langjährigen Mittel um bis zu 20% reduziert ist.

Schlussfolgerung und Ausblick

Es wurde dargestellt, nach welchen Kriterien und auf welche Weise GLOWA-Danube Klimavarianten für die drei gewählten Klimatrends entwickelt und mit dem statistischen Klima-antriebs-Generator in meteorologische Antriebe umgesetzt werden können. Die Klimavarianten, die auf der Grundlage der sowohl projektinternen als auch mit den Stakeholdern intensiv geführten Klimaszenarien-Diskussionen ausgewählt wurden, wurden beschrieben und dokumentiert. Somit stehen derzeit für jeden Klimatrend vier meteorologische Klimavarianten zur Verfügung, die sowohl auf der Grundlage eines großen Ensembles von statistisch äquivalenten meteorologischen Antrieben eine definierte statistische Eintrittswahrscheinlichkeit besitzen als auch die inhaltlichen Kriterien erfüllen.

Die Darstellungen haben gezeigt, dass im Rahmen der definierten Klimatrends, die die Bandbreite der erwarteten Entwicklung von Temperatur und Niederschlag im Zeitraum von 1990 bis 2100 abdecken sollen, eine große Variabilität von statistisch äquivalenten Witterungsverläufen für die Jahre 2011 bis 2060 besteht. Für jede Klimavariante kann auf der Basis der im Klima-antriebs-Generator gemachten Annahmen eine Aussage über ihre Eintrittswahrscheinlichkeit gemacht werden. Die Vielfalt der Klimavarianten wird eine Bandbreite von Ergebnissen der hydrologischen Modellierungen und der Akteur-Modellierungen erzeugen, wobei unter der Voraussetzung, dass der jeweilige Klimatrend eintritt, für jedes Ergebnis die Eintrittswahrscheinlichkeit bekannt ist.

Mit den in Tabelle S4.1 aufgeführten Kriterien für die Klimavarianten sind die Möglichkeiten des vorgestellten Ansatzes der Klimavarianten bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Fragestellungen, die mit den vier gewählten Klimavarianten nicht behandelt werden können, werden andere Kriterien benötigen, die je nach Komplexität der Anforderungen unterschiedlich aufwendig realisierbar sind.

	Klimavariante 1: <i>Baseline</i> (mittl. Temperatur 2011-2035)	Klimavariante 2: <i>5 warme Winter</i>	Klimavariante 3: <i>5 heiße Sommer</i>	Klimavariante 4: <i>5 trockene Jahre</i> (Min. Niederschlag in 5 Jahren/ Jahr)
Klimatrend 1: <i>IPCC regional</i>	9.4°C Zeitraum: -	2.2°C Zeitraum: 2022-26	18.5°C Zeitraum: 2031-35	4632 mm/ 926 mm Zeitraum: 2013-17
Klimatrend 2: <i>REMO regional</i>	9.6°C Zeitraum: -	2.9°C Zeitraum: 2027-31	18.9°C Zeitraum: 2026-30	4450 mm/ 890 mm Zeitraum: 2021-25
Klimatrend 3: <i>MM5 regional</i>	9.5°C Zeitraum: -	2.6°C Zeitraum: 2030-34	19.0°C Zeitraum: 2028-32	4605 mm/ 921 mm Zeitraum: 2029-33
Klimatrend 4: <i>Fortschreibung</i>	9.5°C Zeitraum: -	2.4°C Zeitraum: 2028-32	18.8°C Zeitraum: 2029-33	4426 mm/ 885 mm Zeitraum: 2031-35
	Mittlere Jahres-temperatur	Mittlere Winter-temperatur (DJF)	Mittlere Sommer-temperatur (JJA)	Mittlerer Jahres-niederschlag
Vergangenheit 1960-2006	6.2°C	-2.3°C	14.5°C	1040 mm

Tabelle S4.2: Werte der 5% Perzentilen in den unterschiedlichen Klimavarianten und Klimatrends sowie Zeiträume, in denen die Kriterien, die zu den Klimavarianten führen, auftreten.