



ZAMG
Zentralanstalt für
Meteorologie und
Geodynamik

Klimaänderungssignale Trockenheit

für die

Land-, Wasser- und Forstwirtschaft im Bundesland Salzburg

Auftraggeber

Abteilung 5 Natur- und Umweltschutz, Gewerbe
des Amtes der Salzburger Landesregierung

Michael-Pacher-Straße 36, 5020 Salzburg

Durchführung

ZAMG

Kundenservice Salzburg und Oberösterreich

Alexander Ohms, Bernhard Niedermoser

DMM Klimaforschung

Konrad Andre, Klaus Haslinger

Salzburg, am 30.11.2020

Zahl: SBG/601-2020

www.zamg.at

5020 Salzburg, Freisaalweg 16
Tel +43 (0) 662 626 301
Fax +43 (0) 662 625 838
E-Mail: salzburg@zamg.ac.at

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung und Rahmenbedingung.....	5
2	Daten und Methoden	7
3	Landwirtschaft.....	11
3.1	Grünlandwirtschaft	11
3.1.1	<i>Fragestellungen für die Grünlandwirtschaft als Ergebnis aus den Workshops</i>	<i>11</i>
3.1.2	<i>Kompakte Kernaussagen der Studie zur Grünlandwirtschaft</i>	<i>11</i>
3.1.3	<i>Fragestellungen, die noch nicht beantwortet werden konnten und Verbesserungsvorschläge</i>	<i>12</i>
3.1.4	<i>Beschreibung und Interpretation der Abbildungen</i>	<i>13</i>
3.1.5	<i>Grünland im Flachgau</i>	<i>15</i>
3.1.6	<i>Grünland im Pongau.....</i>	<i>19</i>
3.1.7	<i>Grünland im Lungau.....</i>	<i>24</i>
3.1.8	<i>Fazit zu den Klimaänderungssignalen in der Landwirtschaft.....</i>	<i>29</i>
3.2	Ackerbau im Lungau	31
3.2.1	<i>Fragestellungen für den Ackerbau im Lungau als Ergebnis aus den Workshops.....</i>	<i>31</i>
3.2.2	<i>Kompakte Kernaussagen der Studie zum Ackerbau im Lungau.....</i>	<i>31</i>
3.2.3	<i>Fragestellungen, die noch nicht beantwortet werden konnten und Verbesserungsvorschläge</i>	<i>31</i>
3.2.4	<i>Beschreibung und Interpretation der Abbildungen</i>	<i>32</i>
3.2.5	<i>Fazit zu Klimaänderungssignalen im Ackerbau</i>	<i>35</i>
3.3	Almwirtschaft	36
3.3.1	<i>Fragestellungen für die Almwirtschaft als Ergebnis aus den Workshops</i>	<i>36</i>
3.3.2	<i>Kompakte Kernaussagen der Studie zur Almwirtschaft.....</i>	<i>36</i>
3.3.3	<i>Fragestellungen, die noch nicht beantwortet werden konnten und Verbesserungsvorschläge</i>	<i>37</i>
3.3.4	<i>Beschreibung und Interpretation der Abbildungen</i>	<i>37</i>
3.3.5	<i>Fazit zu Klimaänderungssignalen in der Almwirtschaft.....</i>	<i>46</i>
4	Wasserwirtschaft, Hydrographie, Gewässerschutz	47
4.1.1	<i>Fragestellungen für Hydrographie, Wasserwirtschaft, Gewässerschutz aus den Workshops .</i>	<i>47</i>
4.1.2	<i>Kompakte Kernaussagen der Studie zu Hydrographie, Wasserwirtschaft, Gewässerschutz ...</i>	<i>48</i>
4.1.3	<i>Fragestellungen, die noch nicht beantwortet werden konnten und Verbesserungsvorschläge</i>	<i>48</i>
4.1.4	<i>Beschreibung und Interpretation der Abbildungen</i>	<i>49</i>
4.2	Grundwasserneubildung.....	49
4.2.1	<i>Grundwasserneubildung im Flachgau.....</i>	<i>50</i>
4.2.2	<i>Grundwasserneubildung im Pongau</i>	<i>51</i>

4.2.3	<i>Grundwasserneubildung im Lungau</i>	52
4.3	Wasserqualität der Salzburger Flachlandseen	53
4.4	Niederwasserverhalten im Enns-Pongau	55
4.5	Flussgewässerökologie im Enns-Pongau	57
4.6	Energiegewinnung durch Wasserkraft im Lungau.....	58
4.7	Fazit zu Klimaänderungssignalen in Hydrographie, Wasserwirtschaft und Gewässerschutz..	59
5	Forstwirtschaft	61
5.1.1	<i>Fragestellungen für die Forstwirtschaft als Ergebnis aus den Workshops</i>	61
5.1.2	<i>Kompakte Kernaussagen der Studie zur Forstwirtschaft</i>	61
5.1.3	<i>Fragestellungen, die noch nicht beantwortet werden konnten und Verbesserungsvorschläge</i>	62
5.1.4	<i>Beschreibung und Interpretation der Abbildungen</i>	63
5.2	Der Wald im Flachgau.....	64
5.3	Der Wald im Nordstau (Alpennordrand).....	68
5.4	Der tief gelegene Wald im Lungau	72
5.5	Fazit zu Klimaänderungssignalen in der Forstwirtschaft	76
6	Abbildungsverzeichnis	78
7	Tabellenverzeichnis	80
8	Literaturverzeichnis	80

1 Aufgabenstellung und Rahmenbedingung

Mit fortschreitendem Klimawandel und dessen Folgen sieht sich auch das Bundesland Salzburg mit zunehmender Trockenheit und daraus resultierenden Problemen u.a. in der Forst-, Land- und Wasserwirtschaft konfrontiert. Um dem begegnen zu können, ist eine solide, wissenschaftlich abgesicherte Planungsgrundlage mit den möglichen Entwicklungen im Land von großer Bedeutung, weshalb das Land Salzburg die ZAMG mit der Erstellung einer solchen beauftragt.

Die vorliegende Arbeit (Werkvertrag 205-A/35/575-2019 des Landes Salzburg vom 25.11.2019) wurde in Zusammenarbeit der Referate 4/02 Landesforstdirektion und 4/07 Agrarwirtschaft, Bodenschutz und Almen und der Abteilungen 5 Natur- und Umweltschutz, Gewerbe und 7 Wasser beauftragt.

Zielsetzung ist ein anwendungsorientierter und regionaler Blick auf den Klimawandel mit Schwerpunkt Trockenheit und Wasser mit dem Arbeitstitel „Planungstool Trockenheit“.

Spezifische Fragestellungen aus den Themenkreisen WASSER (Hydrographie, Wasserwirtschaft, Gewässerschutz), WALD (Forstwirtschaft, Schädlinge) und LANDWIRTSCHAFT (Bewässerung, Pflanzenbau) sollen für die nahe und ferne Zukunft (bis 2100) beantwortet werden.

Die Berechnung der Klimaänderungssignale setzt voraus, dass in der ersten Projektphase zusammen mit den drei Nutzerkreisen konkrete und spezifische Fragestellungen an den Klimawandel formuliert werden. Diese regionalen und thematischen Problemstellungen werden dann – soweit möglich – in einfache Zusammenhänge heruntergebrochen und in Form von modellierbaren Indikatoren abgebildet.

Zum thematischen Erarbeiten der Fragestellungen und Indikatoren wurden folgende Austauschtreffen und Workshops durchgeführt:

Brainstorming mit dem WASSER-Team am 01.04.2019, 15:30-17:00, Michael-Pacher-Straße

Teilnehmer: *Winfried Kunrath, Theodor Steidl, Andreas Unterweger, Hans Wiesenegger (alle Land Salzburg), Bernhard Niedermoser (ZAMG)*

Workshop mit WASSER, FORST, LANDWIRTSCHAFT, Stabsstelle Klimaschutz am 12.11.2019, 09:00-15:00, Fanny-von-Lehnert-Straße

Teilnehmer: *Ludwig Wiener, Martin Leist, Florian Mackinger, Manuela Steinwender, Theodor Steidl, Peter Walzl (alle Land Salzburg), Klaus Haslinger, Bernhard Niedermoser (beide ZAMG)*

Workshop mit WASSER, FORST, LANDWIRTSCHAFT, Stabsstelle Klimaschutz am 16.12.2019, 10:00-14:00, Fanny-von-Lehnert-Straße

Teilnehmer: *Ludwig Wiener, Michael Mitter, Martin Leist, Florian Mackinger, Theodor Steidl, Harald Huemer, Peter Walzl (alle Land Salzburg), Matthias Greisberger (Landwirtschaftskammer Salzburg), Klaus Haslinger, Bernhard Niedermoser (beide ZAMG)*

Zusätzlich gab es im direkten Austausch mit den Sachverständigen des Landes Detailinfos und wertvolle Hinweise die in diese Arbeit einfließen.

Ergänzend zum vorliegenden Bericht wird eine zusammenfassende Präsentation zur Verfügung gestellt um die Vermittlung innerhalb des Landes und in den Klimaregionen (KEM und KLAR!) zu erleichtern.

2 Daten und Methoden

Die vorliegende Studie basiert auf dem nationalen Referenzdatensatz für Klimaszenarien – OEKS15 (Chimani et al. 2016). Dieser bietet Information über mögliche Klimaentwicklungen in Österreich im Verlauf des 21. Jahrhunderts unter der Annahme verschiedener sozioökonomischer Entwicklungspfade und somit unterschiedlicher Emissionsszenarien. Die Simulationsergebnisse einer Vielzahl an Szenarien und regionaler Klimamodelle für Europa wurden dafür für das österreichische Bundesgebiet auf eine Rasterweite von 1 km herunterskaliert, um robuste Information für die Klimawandelanpassung auf regionaler Ebene zur Verfügung stellen zu können.

Die Simulationsergebnisse zweier Emissionsszenarien werden in dieser Studie verwendet. Zum einen ein Szenario mit sich noch weiter intensivierenden Emissionen, also einem ungünstigsten anzunehmenden Fall (RCP8.5), welcher im Mittel über das Bundesland Salzburg einen Temperaturanstieg von +3,4 bis +5,8° C gegen Ende des 21. Jahrhunderts gegenüber dem Vergleichszeitraum 1971-2000 bedeuten würde (Abbildung 2-1). Zum anderen wird ein Szenario betrachtet in welchem moderater Klimaschutz betrieben wird, jedoch nicht in dem Ausmaß, welcher für die Erreichung der Klimaziele im Abkommen von Paris entsprechen würde (RCP4.5). Unter diesem Szenario würde der Temperaturanstieg ca. +1,8 bis +3,7° C am Ende des Jahrhunderts gegenüber des Vergleichszeitraums betragen.

Die Analysen dieser Studie stützen sich auf jeweils 16 einzelne Klimasimulationen für jedes der beiden Szenarien. Die Einzelsimulationen sind mit unterschiedlichen globalen und regionalen Klimamodellen durchgeführt worden, die Auswahl erfolgte nach bestimmten Kriterien der Modellgüte und ist optimiert für Österreich (Maraun 2018).

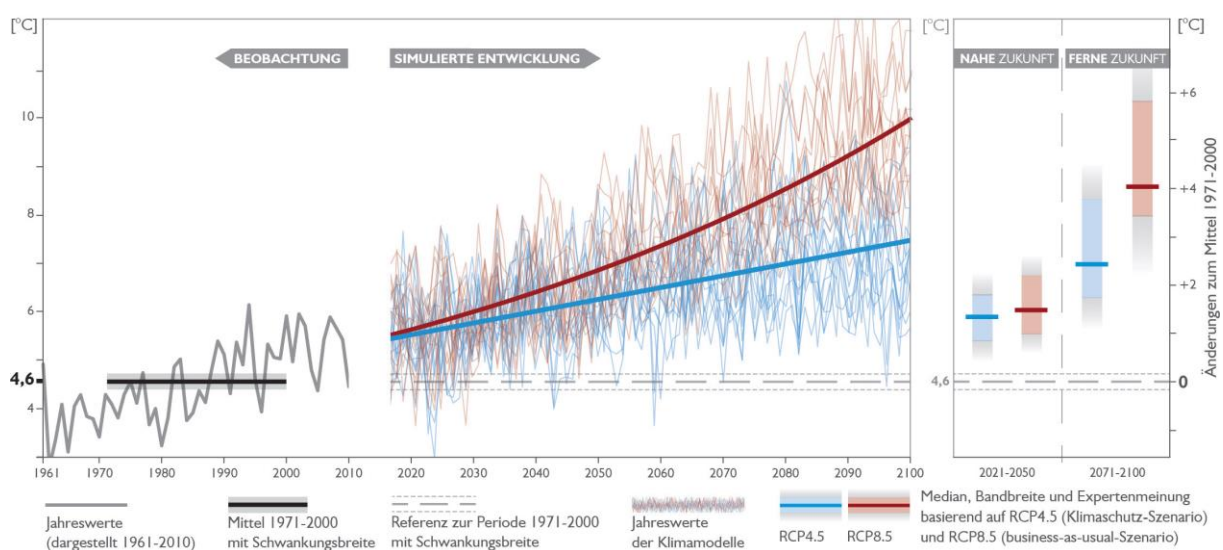


Abbildung 2-1: Vergangene und simulierte Entwicklung der mittleren Lufttemperatur für das Land Salzburg (OEKS15; https://www.salzburg.gv.at/umweltnaturwasser/_Documents/Factsheet-Salzburg.pdf Factsheet für Salzburg)

Für OEKS15 wurden die drei wichtigsten klimatologischen Größen Temperatur, Niederschlag und Globalstrahlung aus den Klimasimulationen bereitgestellt. Für eine Vielzahl an spezifischen Anwendungen sind diese Grundgrößen jedoch nicht ausreichend. Insbesondere im Hinblick auf Trockenheit und Dürre sind weitere Variablen erforderlich um die Veränderungen im Wasserhaushalt verlässlich abschätzen zu können.

Die vorliegende Studie stützt sich daher des Weiteren auf die Größen des flüssigen und festen Niederschlags (Schnee), die Schneeschmelze sowie die potentielle Evapotranspiration (Verdunstung) als die wichtigsten Variablen der Wasserbilanz. Die potentielle Verdunstung beschreibt jene Wassermenge, die unter gegebenen atmosphärischen Bedingungen von einem gut mit Wasser versorgten Boden verdunsten kann, wobei als Bodenbedeckung Gras angenommen wird. Die Komponenten des Niederschlages (Unterscheidung in fest/flüssig) sowie die Schneeschmelze wurden mit dem Schneedeckenmodell SNOWGRID (Olefs et al. 2013) ermittelt, die potentielle Evapotranspiration basiert auf der Methode von Haslinger und Bartsch (2016).

Eine Zusammenstellung sowie eine Erläuterung zur Berechnung der verwendeten Indikatoren abgeleitet aus den vorliegenden Variablen findet sich in *Tabelle 1* am Ende des Abschnitts. Der Oberflächenwasserbilanz kommt in der vorliegenden Studie besondere Bedeutung zu, da sie eine wichtige Größe darstellt, um Trockenheit zu quantifizieren. Üblicherweise wird aus der Differenz zwischen Niederschlag und potentieller Evapotranspiration der „Standardized Precipitation Evapotranspiration Index“ (SPEI) ermittelt, ein standardisierter Indikator der klimatischen Wasserbilanz, welcher häufig für Dürremonitoring verwendet wird (positive/negative Werte bezeichnen feuchte/trockene Bedingungen). Dabei werden Schneeakkumulations- und Schneeschmelzprozesse nicht explizit berücksichtigt. In dieser Studie wurde im Gegensatz dazu die klimatische Wasserbilanz unter der Einbeziehung der Schneedeckenprozesse berechnet. Damit wird der komplexen Topographie des Landes Salzburg und damit der Relevanz von Schneedeckenprozessen Rechnung getragen.

Zur Veranschaulichung sind in *Abbildung 2-2* oben die Tageswerte der Variablen Niederschlag, Schneehöhe und Schneeschmelze für einen Punkt im Land Salzburg auf ca. 1000 m Seehöhe im Jahr 2012 dargestellt. Sehr deutlich treten der Aufbau der Schneedecke sowie das folgende Abschmelzen im Frühjahr hervor. Während der Schneeakkumulation findet keine Infiltration von Feuchtigkeit in den Boden statt, der Niederschlag wird in der Schneedecke gespeichert und erst beim Abschmelzen an den Untergrund abgegeben. Die Berücksichtigung der Schneeprozesse hat auch wesentlichen Einfluss auf den Verlauf der Oberflächenwasserbilanz (*Abbildung 2-2* unten), hier in Form des SPEI (Akkumulationszeitraum 90 Tage) dargestellt.

Insbesondere im Winter und Frühjahr sind die Unterschiede in den Verläufen erheblich und es ergibt sich eine deutlich realistischere Repräsentation der Feuchtebedingungen und dadurch

ein erheblicher Mehrwert in der Aussage über mögliche zukünftige Änderungen, wenn die Schneeakkumulations- und Schneeschmelzprozesse mit berücksichtigt werden.

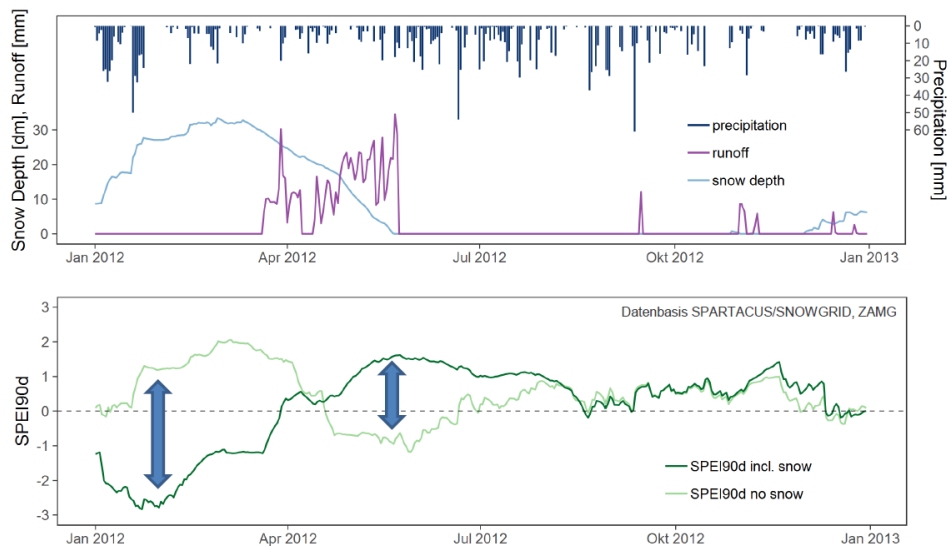


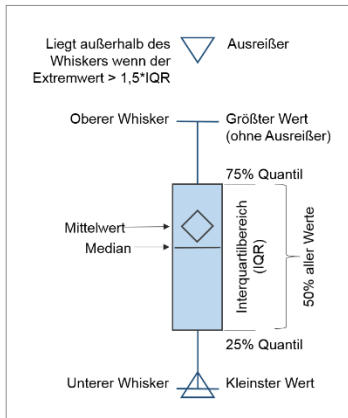
Abbildung 2-2: Zeitlicher Verlauf auf Tagesbasis des Niederschlages, der Schneehöhe und der Schneeschmelze für das Jahr 2012 an einem Punkt im Land Salzburg auf ca. 1000m Seehöhe (oben), Zeitlicher Verlauf des SPEI ermittelt durch die Differenz zwischen Niederschlagssumme und potentieller Evapotranspiration (hellgrün) und ermittelt durch die Differenz zwischen verfügbarem Oberflächenwasser (flüssiger Niederschlag und Schneeschmelze) und potentieller Evapotranspiration.

Die Analyse der Indikatoren aus den Klimasimulationen stützt sich im Wesentlichen immer auf dasselbe Prinzip. Zunächst wird für das betrachtete Gebiet und für den ausgewählten Indikator das Klimaänderungssignal aus jeder einzelnen Klimasimulation und jedem Szenario berechnet. Das Klimaänderungssignal bezeichnet dabei die zukünftige Änderung eines Indikators für einen bestimmten Zeitraum im Vergleich zur Referenzperiode.

Für die Zukunft werden zwei Zeitperioden betrachtet, die „nahe Zukunft“ als Mittel der Jahre 2021-2050 sowie die „ferne Zukunft“ als Mittel von 2071-2100. Die Referenzperiode ist 1971-2000. Das Ergebnis sind 16 Werte für jedes der beiden Szenarien, welche in Form eines „Box-Whisker-Plot“ oder kurz Boxplot abgebildet werden können (Abbildung 2-3). Der Boxplot bietet den Vorteil, dass sich die Verteilung der Werte, sowie andere statistische Kenngrößen wie der Mittelwert, der Median oder Ausreißer sehr anschaulich in einer Abbildung darstellen lassen.

Des Weiteren bietet diese Darstellungsform eine einfache Quantifizierung der Unsicherheiten die sich aus der Bandbreite der Klimasimulationen ergeben. Die Klassifizierung der Unsicherheiten ist in Abbildung 2-1: abgebildet. Als „unsicher“ ist ein Klimaänderungssignal dann einzustufen, wenn weniger als 75 % der Simulationen das gleiche Vorzeichen haben. Eine „Tendenz“ ist dann festzustellen, wenn mehr als 75 % der Simulationen das gleiche Vorzeichen im Klimaänderungssignal aufweisen. „Sicher“ ist ein Änderungssignal dann, wenn alle Klimasimulationen dasselbe Vorzeichen aufweisen.

a) Boxplot – Beschreibung



b) Klassifizierung von Unsicherheiten

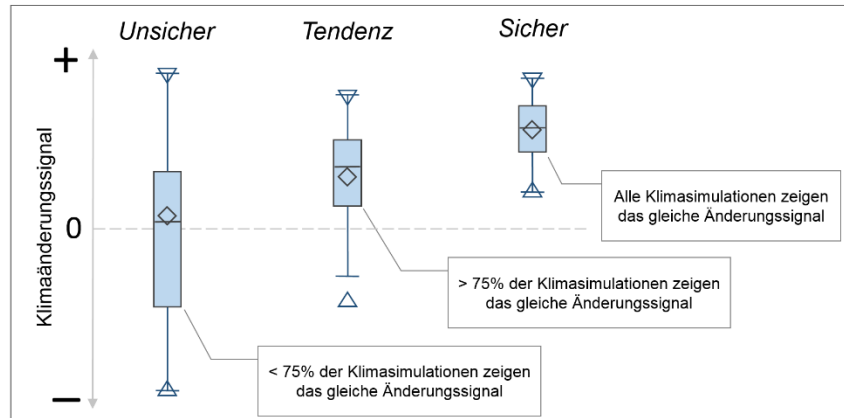


Abbildung 2-3: a) Aufbau und Komponenten eines Boxplots, b) Klassifizierung von Unsicherheiten je nach Lage des Boxplots relativ zur Nulllinie des Klimaänderungssignals.

Tabelle 1 Verwendete Indikatoren und Erläuterungen

Indikator	Beschreibung
Niederschlagssumme	Summe des flüssigen Niederschlages
Verfügbares Oberflächenwasser	Summe aus flüssigem Niederschlag und Schneeschmelze
Oberflächenwasserbilanz	Differenz zwischen verfügbarem Oberflächenwasser und potentieller Evapotranspiration
Sommertage	Jährliche Anzahl der Tage mit einer mittleren Lufttemperatur von zumindest 25° C
Hitzetage	Jährliche Anzahl der Tage mit einer mittleren Lufttemperatur von zumindest 30° C
Vegetationsperiode	Ein Vegetationstag ist ein Tag mit einer mittleren Lufttemperatur von zumindest 5°C. Die Vegetationsperiode umfasst im Kern den Zeitraum lückenlos aufeinanderfolgender Vegetationstage. Der Beginn dieser Zeitspanne wird erweitert bis zum ersten Tag jener vorhergehenden Teilperiode aufeinanderfolgender Vegetationstage, deren Dauer die Anzahl der nachfolgenden kühleren Tage überschreitet. Das Ende wird analog eruiert.
Spätfrost	Anzahl der Tage zwischen Beginn der Vegetationsperiode und kalendarisch letztem Frosttag innerhalb der Vegetationsperiode bis spätestens Mitte Juli.

3 Landwirtschaft

3.1 Grünlandwirtschaft

3.1.1 Fragestellungen für die Grünlandwirtschaft als Ergebnis aus den Workshops

Eine der Kernfragen für die mehrheitlich in Salzburg betriebene Grünland- bzw. Milchwirtschaft ist die Frage, ob in Zukunft künstliche Bewässerung nötig sein wird.

Beantwortet werden sollte die Frage, ob sich das Risiko, dass einer der Grünlandschnitte ausfällt, ändert.

Wie verhält es sich mit Hitzewellen?

Gibt es zeitliche Verschiebungen im Jahreszyklus?

Wie ändert sich die Vegetationsphase in Bezug auf zusätzliche Grünlandschnitte und die Verlängerung der Weidezeit?

Gibt es Unterschiede in den Bezirken?

3.1.2 Kompakte Kernaussagen der Studie zur Grünlandwirtschaft

Der erweiterte Winter (Oktober bis März) wird in allen Salzburger Klimazonen feuchter mit mehr Oberflächenwasser. Einige Szenarien zeigen eine Zunahme um den Faktor 4 im Vergleich zur Gegenwart – hauptsächlich, weil die isolierende Schneedecke fehlt oder durchlässiger wird.

Das Risiko, dass im Winter, Herbst und Frühling über längere Zeit kein oder kaum Niederschlag fällt, nimmt im Vergleich zur Gegenwart ab.

Für die Zeit der wichtigsten Wachstumsmonate Mai und Juni zeigen die Klimawandelmodelle keine wesentliche Veränderung in Bezug auf das Regenangebot. Die Verdunstung nimmt aber zu.

Im Juli und August steht in Zukunft weniger Oberflächenwasser zur Verfügung – im Mittel um zehn bis 15 Prozent weniger (bei gleichzeitiger Zunahme der Verdunstung). Im Mittel steht für

den Wasserbedarf des Grases im Mittel ausreichend Wasser zur Verfügung, wobei das Abflussverhalten bei Starkregen hier nicht berücksichtigt werden konnte.

Für Juli, August und September gibt es vor allem in der fernen Zukunft eine höhere Wahrscheinlichkeit für ein völliges Ausbleiben von Regen. Das Risiko für einen völligen Ausfall eines Grünschnittes ist dabei im Flachgau vergleichsweise am höchsten.

Die Vegetationsperiode verlängert sich deutlich – in der nahen Zukunft um zwei bis drei Wochen und in den Gebirgsgauen stärker als im Flachgau. In der fernen Zukunft dauert die Vegetationsperiode im Flachgau von März bis November, in den Gebirgsgauen von April bis Oktober.

Hitzetage sind eine „Wachstumsbremse“ für das Gras. Am stärksten ist die Hitzezunahme im August, gefolgt vom Juli. Die stärkste Zunahme gibt es dort, wo es jetzt schon am wärmsten ist – nämlich im Flachgau.

Im Lungau verbessern sich die Rahmenbedingungen für die Grünlandwirtschaft aufgrund der steigenden Temperaturen. Die Dauer der Vegetationsperiode nimmt zu, und im Sommer bremst die Hitze das Wachstum weniger stark als in den anderen Regionen. Das bestehende Trockenheitsrisiko im Frühling bleibt aber voraussichtlich bestehen.

Im Flachgau verschlechtern sich die Rahmenbedingungen für die Grünlandwirtschaft. Die Vegetationsperiode verlängert sich zwar auch, im Juli und August wirkt die zunehmende Hitzebelastung aber als Wachstumsbremse, und das Risiko für lange trockene Zeiten nimmt zu.

Eine temporäre künstliche Bewässerung erscheint am ehesten im Flachgau als eine mögliche Entwicklung. Allerdings gehen die Klimamodelle davon aus, dass ausgeprägte Trockenphasen oder Dürre auch in Zukunft eine seltene Ausnahme darstellen.

3.1.3 Fragestellungen, die noch nicht beantwortet werden konnten und Verbesserungsvorschläge

In dieser Studie wurde der Ansatz wie viel Wasser eine Pflanze braucht (Kartoffel oder Grünland) sehr einfach aus Erfahrungswerten der Landwirtschaftskammer abgeschätzt und über einen sehr vereinfachenden Ansatz aufgelöst. Auch um den Rahmen des Projektes nicht zu sprengen. Ziel war es, eine Aussage abzuleiten, ob zukünftig das Wasserangebot noch ausreicht. **Verbesserungsvorschlag:** Auf Basis dieser Klimastudie könnte man an ein einfaches zweidimensionales Modell andocken, welches auf der kartierten Feldkapazität aus eBod (Digitale Bodenkarte) aufsetzt und die Wechselwirkung zwischen Feldkapazität, (realer) Verdunstung und Niederschlag aus dem Klimamodell (ÖKS15 oder kommende

Nachfolgeprojektionen) und den Lebenszyklus einer Pflanze herstellt. Damit wären präzisere Aussagen für eine bestehende Nutzung in einem Gebiet mit höherer räumlicher Auflösung möglich. Mit dem skizzierten Ansatz wäre es dann auch möglich nach der „bestmöglichen“ Nutzung zu suchen, in Abhängigkeit mit dem Boden (Feldkapazität) und den Klimarahmenbedingungen.

Die Fragestellen wie oft sehr trockene Perioden in der Größenordnung von 4 Wochen (Grünschnittzyklus) in Zukunft vorkommen, konnte nicht direkt aus dem Klimamodell heraus berechnet werden. Der Rechenaufwand für eine zeitlich mitlaufende Mittelung hätte den Rahmen des Projektes gesprengt. Vereinfachend wurden daher fixe Monate betrachtet und „fast trockenen“ Monat gleichgesetzt mit so wenig Niederschlag wie er nur in 2 Prozent der Fälle vorkommt. **Verbesserungsansatz:** Mit mehr Rechenleistung und mehr Projektzeit neu modellieren.

Die Wirkung von Starkniederschlagsereignissen auf die Vegetation bzw. inwiefern Starkniederschläge in der warmen Jahreszeit für den Boden und die Vegetation nutzbar sind, insbesondere nach längeren trockenen Phasen, konnte in dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden. **Verbesserungsansatz:** Mit entsprechend wissenschaftlichem Hintergrund wäre ein möglicher Weg diese Wirkung zu parametrisieren und mit den Klimawandelprojektionen zu verknüpfen.

3.1.4 Beschreibung und Interpretation der Abbildungen

Für die Analyse der zukünftigen Entwicklung der Salzburger Grünlandwirtschaft hat man sich zum Ziel gesetzt, die Auswirkungen der klimatischen Änderungen repräsentativ für drei Regionen auszuwerten. Für den Flachgau, den Pongau und den Lungau wurde bezogen auf die Aussagen zu Oberflächenwasser und Niederschlag eine Mittelung für alle Flächen der einzelnen Bezirke unterhalb einer Seehöhe von 1400 m vollzogen. Eine weitere Spezifizierung auf kleinere Gebiete erscheint in diesem Zusammenhang nicht sinnvoll, da die Grünlandwirtschaft in den Bezirken sehr flächig und von den tiefsten Lagen bis in Mittelgebirgslagen betrieben wird.

Als spezifischer Indikator wurden zunächst das **verfügbare Oberflächenwasser** (aus den Niederschlägen in Form von Regen und Schnee), also der positive Feuchtefluss, und dessen Änderungen für die jeweiligen Klimaszenarien der Zukunft berechnet. Es wurde hier bewusst das Oberflächenwasserangebot betrachtet und nicht die klimatische Oberflächenbilanz (d.h. inkl. der Evaporation) weil es in der Landwirtschaft praktische Erfahrung mit dem gemessenen Niederschlagsangebot gibt auf welche später Bezug genommen wird.

Um die Werte aussagekräftiger hinsichtlich der erwarteten Auswirkungen auf das Grünland zu machen, wurde der erforderliche Wasserbedarf der gegebenen Pflanzenarten monatsweise in

Relation gesetzt. Dabei wurde der jährliche Gesamtbedarf an Oberflächenwasser einer Grünlandwiese mit rund 400 Liter pro Quadratmeter (entspricht Millimeter) abgeschätzt. Auf die Monate aufgeteilt ergibt sich jeweils ein Wasserbedarf von 60 mm für April, Mai und Juni (insgesamt 45 Prozent des Jahresbedarfs), 46 mm für Juli, August und September (insgesamt 35 Prozent des Jahresbedarfs) sowie 26 mm für März, Oktober und November (insgesamt 20 Prozent des Jahresbedarfs).

Fachlicher Einschub aus der Landwirtschaft (Quelle: Landwirtschaftskammer Salzburg; DI Matthias Greisberger):

Vereinfachte Abschätzung des Bedarfs an Niederschlag:

Wasserbedarf für Grünland:	600 Liter/kg Trockenmasse
Ertrag einer 4-Schnitt-Wiese:	9000 kg Trockenmasse/ha
Ergibt einen Wasserbedarf der Grünlandwiese:	540 Liter/m ²
Minus der Feuchtigkeit aus dem Boden (mittlere nutzbare Feldkapazität aus eBod Digitale Bodenkarte (https://bodenkarte.at)):	140 mm bzw. Liter/m ²
Entspricht dem nötigen Niederschlag:	400 l/m² pro Saison

Dieser wird anteilmäßig auf die einzelnen Grünlandschnitte (bzw. Monate) aufgeteilt – wie oben angeführt –, wobei die ersten Schnitte ein stärkeres Wachstum aufweisen und mehr Wasser benötigen.

Zur Abschätzung des Trockenheitsrisikos wurden die Änderungen der **Niederschlagsmengen** für die zukünftigen klimatischen Verhältnisse berechnet. Dabei wurde das Niederschlagsdefizit in einem „fast trockenen“ Monat (so wenig Niederschlag wie in nur 2 Prozent der Fälle) in Relation gesetzt.

Alle Berechnungen erfolgten in Monatsauflösung für den für die Vegetation im Grünland relevanten Zeitraum, wobei der Zeitraum auf März bis November ausgedehnt wird, um zukünftige Entwicklungen mit zu erfassen. Die Angaben erfolgen in Millimeter.

Zusätzlich wurde die Dauer der **Vegetationsperiode** modelliert. Berechnet wurden Beginn und Ende des sich rhythmisch wiederholenden Teils des Jahres, in dem eine Pflanze aktiv wächst und sich entfaltet.

Da neben dem Stress durch längere Trockenheit auch der Hitzestress einen wichtigen Faktor für die Grünlandwirtschaft darstellt, wurde auch die zukünftige Entwicklung der **Anzahl der Sommertage** (Tage mit einer Höchsttemperatur $\geq 25,0$ °C) und der **Anzahl der heißen Tage** (Tage mit einer Höchsttemperatur $\geq 30,0$ °C) modelliert.

Im unteren Teil aller Abbildungen sind aus Vergleichsgründen die jeweiligen Werte des Referenzzeitraums 1971-2000 dargestellt. Die Dreiecke kennzeichnen im Fall des verfügbaren Oberflächenwassers den erforderlichen Wasserbedarf der Pflanzen, im Fall der Niederschlagsmengen jene Abnahme des Niederschlags, die für das Erreichen eines „fast trockenen“ Monats nötig wäre.

Im oberen Teil der Abbildungen sind die Berechnungen der Änderung des verfügbaren Oberflächenwassers für die „nahe Zukunft“ (2021-2050) weiß hinterlegt, die Berechnungen für die „ferne Zukunft“ (2071-2100) sind grau hinterlegt.

3.1.5 Grünland im Flachgau

Das **verfügbare Oberflächenwasser** zeigt erwartungsgemäß den für die mittleren europäischen Breiten typischen Jahresgang mit den höchsten Werten in den Frühjahrs- und Sommermonaten und deutlich niedrigeren Werten zwischen Oktober und Februar. Alle Monatswerte liegen über dem erforderlichen Wasserbedarf der Pflanzen, im Hochsommer bis zum Vierfachen.

Die Szenarien gehen für das zukünftige Klima von einer teils deutlichen Steigerung der Niederschlagsmenge in den Wintermonaten aus. Zwischen Oktober und März zeigt sich eine positive Änderung des verfügbaren Oberflächenwassers, die in der fernen Zukunft bis zu vier Mal so hoch ist als in der nahen Zukunft.

April bis Juni sowie der September weisen sowohl für die nahe als auch für die ferne Zukunft nur sehr geringe Änderungen des verfügbaren Oberflächenwassers auf, selbst das Vorzeichen der Änderung ist dabei nicht eindeutig. Eine signifikante negative Änderung des verfügbaren Oberflächenwassers zeigt sich nur im Juli und August. Der deutlichste Rückgang wird für die ferne Zukunft in RCP8.5 berechnet.

Im Zuge der **Abschätzung des Trockenheitsrisikos** zeigt die Niederschlagsmenge erwartungsgemäß den für die mittleren europäischen Breiten typischen Jahresgang mit den höchsten Werten in den Sommermonaten und den niedrigsten Werten im Herbst und Winter.

Die Szenarien gehen für das zukünftige Klima von einer teils deutlichen Steigerung der Niederschlagsmenge zwischen Herbst und Frühling aus. Das Risiko, dass in diesen Monaten über längere Zeit kein oder kaum Niederschlag fällt, nimmt im Vergleich zur Gegenwart ab.

Eine signifikante negative Änderung der Niederschlagsmenge, also eine mittlere Abnahme, zeigt sich nur im Juli und August. Der deutlichste Rückgang wird für die ferne Zukunft in RCP8.5 berechnet. Nur in Ausnahmefällen – etwa im Juli in RCP8.5 (Ferne Zukunft) – kommt das Niederschlagsdefizit dem Referenzwert eines fast trockenen Monats (mit derzeit zweiprozentiger Auftrittswahrscheinlichkeit) nahe, erreicht wird diese Schwelle nicht.

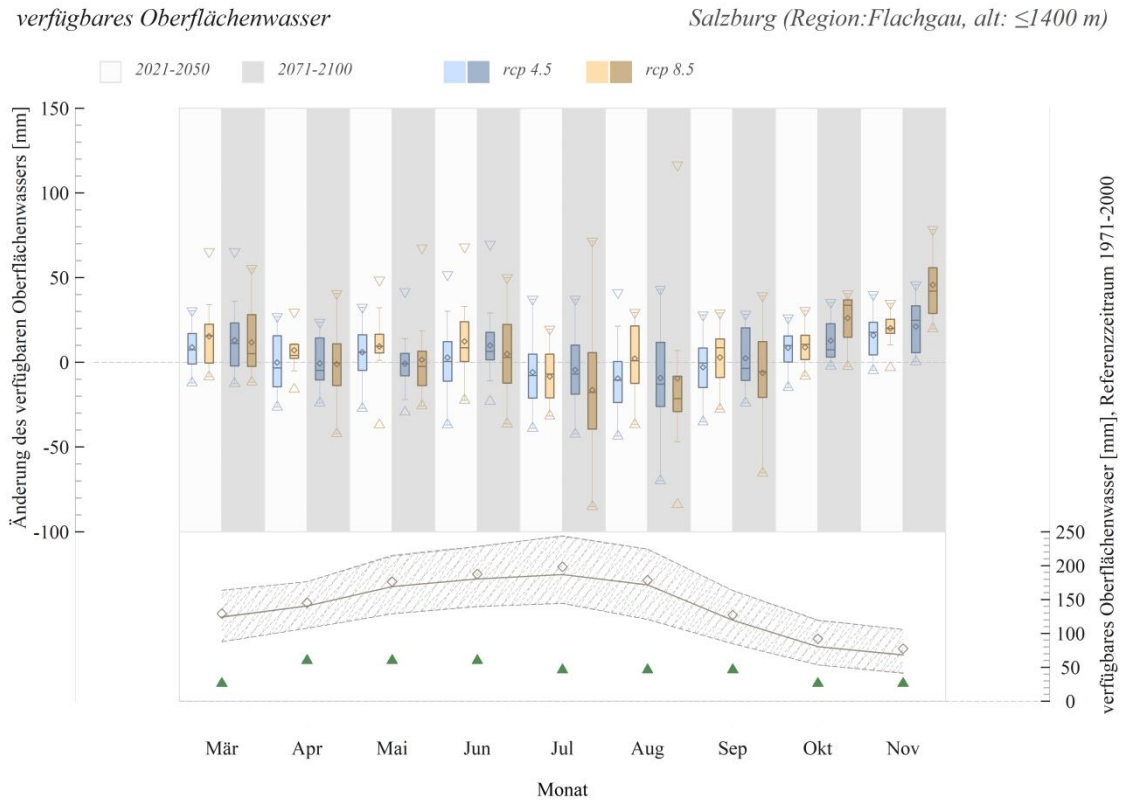


Abbildung 3-1: Verfügbares Oberflächenwasser (Regen und Schneeschmelze) und erforderlicher Wasserbedarf der Pflanzen (Dreiecke) für die Region Flachgau, Seehöhe unterhalb von 1400 m

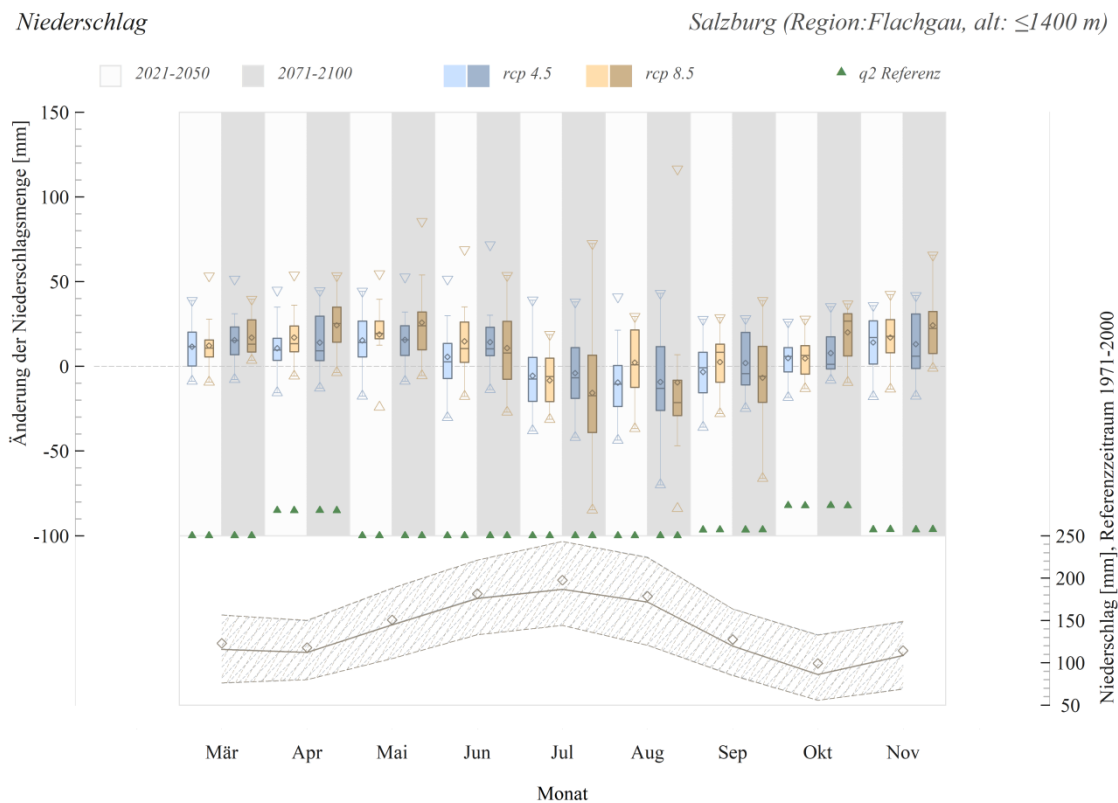


Abbildung 3-2: Änderung der Niederschlagsmenge samt Referenzwert für einen fast trockenen Monat (Dreiecke) für die Region Flachgau, Seehöhe unterhalb von 1400 m

Vergleicht man die Ausreißer in den Niederschlagsszenarien (helle Dreiecke unter den blauen und braunen Balken), so zeigt sich, dass Juli, August und September in der fernen Zukunft eine vergleichsweise höhere Wahrscheinlichkeit für ein völliges Ausbleiben von Regen aufzeigen. Dennoch wird ein solches Szenario als äußerst unwahrscheinlich angesehen.

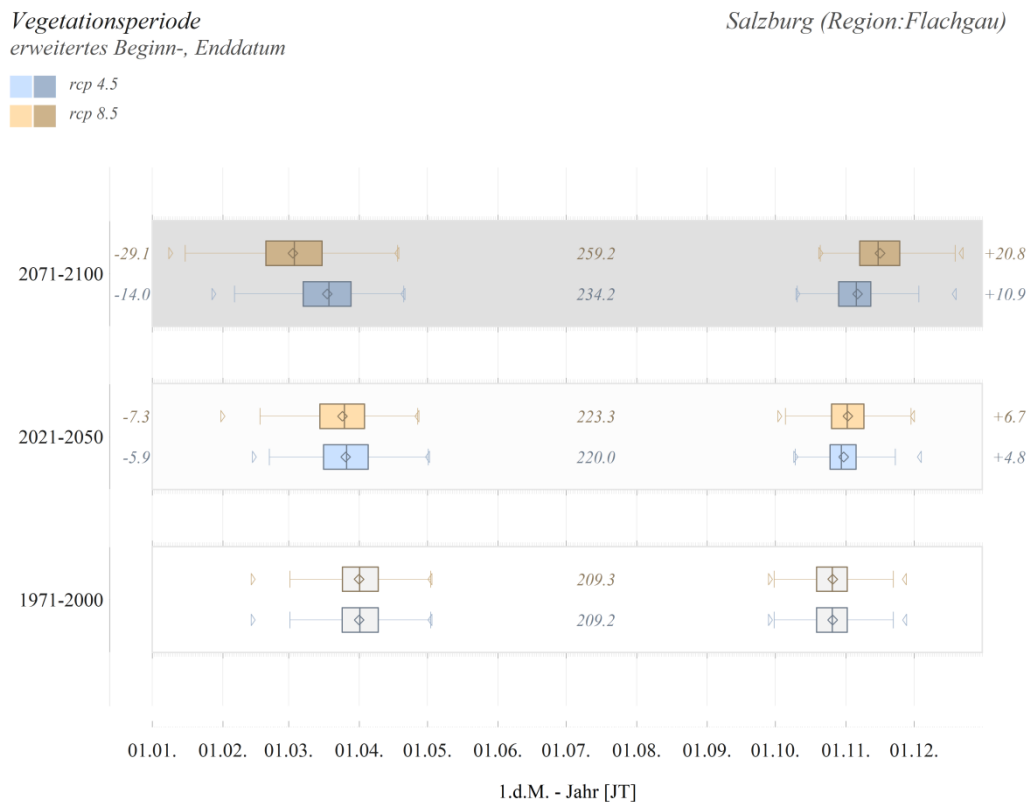


Abbildung 3-3: Vegetationsperiode für die Region Flachgau

Die **Vegetationsperiode** erstreckt sich im Flachgau im langjährigen Mittel der Referenzperiode 1971-2000 von Anfang April bis in die zweite Oktoberhälfte und weist damit eine durchschnittliche Dauer von 209 Tagen auf.

Die Szenarien des zukünftigen Klimas gehen aufgrund der gesicherten fortschreitenden Erwärmung naturgemäß von einer teils deutlichen Verlängerung der Vegetationsperiode aus. In der nahen Zukunft beträgt der entsprechende Zuwachs knapp zwei Wochen, wobei der Unterschied zwischen RCP4.5 und RCP8.5 nur etwa drei Tage ausmacht. Bei der Erweiterung der Vegetationsperiode ist der Beginn im Frühjahr etwas stärker, nämlich um ein bis zwei Tage, gewichtet als das Ende im Herbst. Beim Blick in die ferne Zukunft zeigt sich, dass bei RCP4.5 eine nochmalige Verlängerung der Vegetationsperiode in der gleichen Größenordnung wie in der nahen Zukunft erfolgt. Bei RCP8.5 wird hingegen eine deutlich beschleunigte Erweiterung modelliert. In diesem Fall würde sich die Vegetationsperiode gegenüber der nahen Zukunft noch einmal um rund fünf Wochen verlängern und würde dann von Anfang März bis Mitte November reichen, was eine Steigerung von 50 Tagen gegenüber der Referenzperiode bedeuten würde.

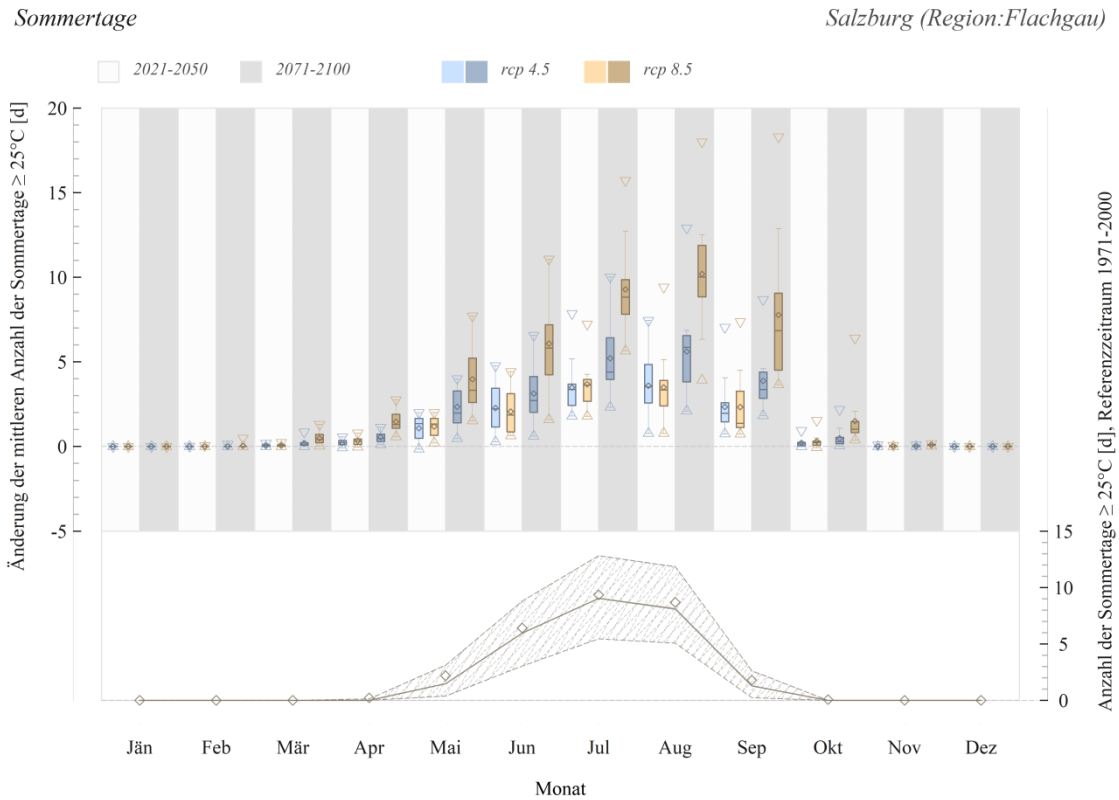


Abbildung 3-4: Anzahl der Sommertage für die Region Flachgau

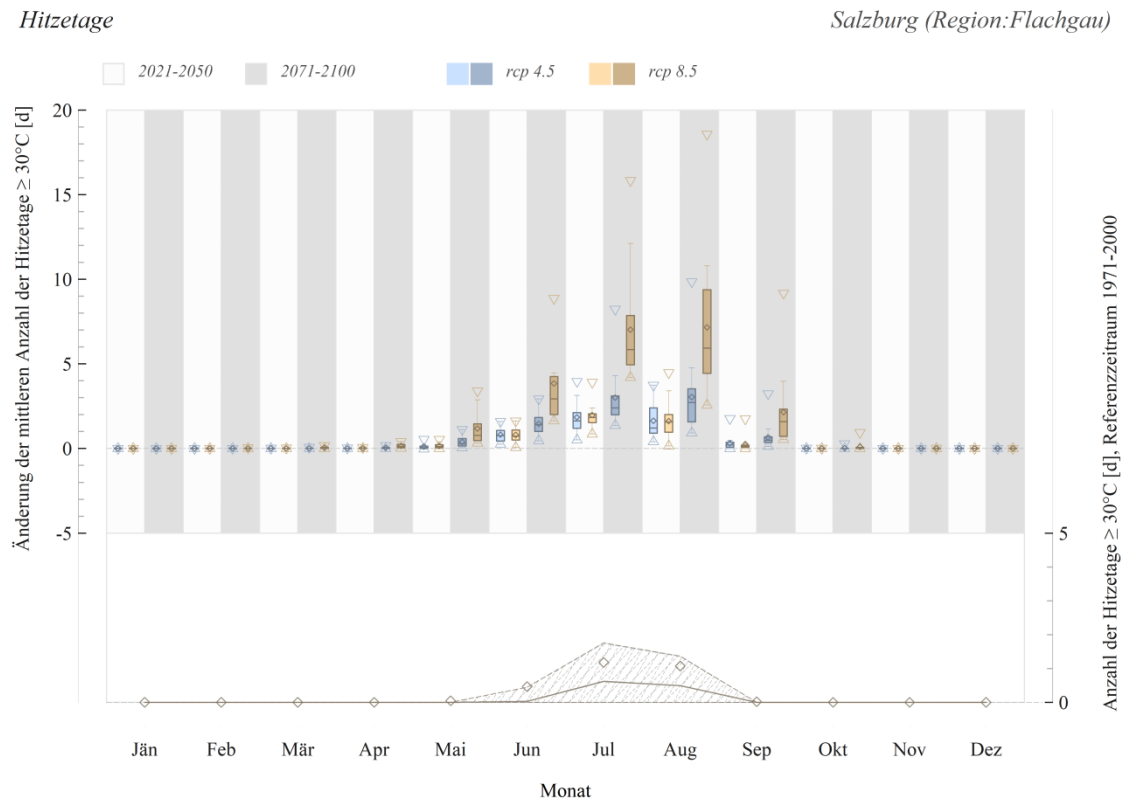


Abbildung 3-5: Anzahl der heißen Tage für die Region Flachgau

Die **Anzahl der Sommertage** weist im Flächenmittel der gesamten betrachteten Region in der Referenzperiode 1971-2000 den üblichen Jahresgang der Temperatur mit den höchsten Werten im Juli auf.

Die Szenarien des zukünftigen Klimas gehen aufgrund der gesicherten fortschreitenden Erwärmung naturgemäß von einer teils deutlichen Erhöhung der Anzahl der Sommertage aus. Auch im früheren Frühling und späteren Herbst, wo aktuell nur selten Sommertage registriert werden, werden Tagesmaxima von mindestens 25,0°C speziell in der fernen Zukunft deutlich wahrscheinlicher. Für die nahe Zukunft kann in den Sommermonaten – mit nur geringen Unterschieden zwischen den beiden Szenarien – mit einem Anstieg um zwei bis drei Tage pro Monat ausgegangen werden. Beim Blick in die ferne Zukunft zeigt sich, dass bei RCP4.5 eine nochmalige Erhöhung der Anzahl in der gleichen Größenordnung wie in der nahen Zukunft erfolgt. Bei RCP8.5 wird hingegen eine deutlich beschleunigte Erhöhung modelliert. In diesem Fall würden noch einmal bis zu sieben Tage pro Monat dazukommen. Auffällig ist, dass der stärkste Anstieg in diesem Fall im August erfolgt.

Die **Anzahl der heißen Tage** weist im Flächenmittel der gesamten betrachteten Region in der Referenzperiode 1971-2000 nur in den Sommermonaten einen signifikanten Wert auf.

Die heißen Tage sind für das Gras eine „Wachstumsbremse“. Länger anhaltende Perioden mit über 30 Grad wirken sich daher negativ aus.

Die Szenarien des zukünftigen Klimas gehen aufgrund der gesicherten fortschreitenden Erwärmung naturgemäß von einer teils deutlichen Erhöhung der Anzahl der heißen Tage aus. Für die nahe Zukunft kann in den Sommermonaten – mit nur geringen Unterschieden zwischen den beiden Szenarien – mit einem Anstieg um ein bis zwei Tage pro Monat ausgegangen werden. Beim Blick in die ferne Zukunft zeigt sich, dass bei RCP4.5 eine nochmalige Erhöhung der Anzahl in der gleichen Größenordnung wie in der nahen Zukunft erfolgt. Bei RCP8.5 wird hingegen eine deutlich beschleunigte Erhöhung modelliert. In diesem Fall würden noch einmal bis zu sieben Tage pro Monat dazukommen.

3.1.6 Grünland im Pongau

Das **verfügbare Oberflächenwasser** zeigt erwartungsgemäß den für Mitteleuropa typischen Jahresgang mit den höchsten Werten in den Frühjahrs- und Sommermonaten und deutlich niedrigeren Werten zwischen Oktober und Februar. Alle Monatswerte liegen über dem erforderlichen Wasserbedarf der Pflanzen, im Hochsommer sind sie teilweise viermal so hoch.

Die Szenarien gehen für das zukünftige Klima von einer teils deutlichen Steigerung der Niederschlagsmenge in den Wintermonaten aus. Zwischen Oktober und März zeigt sich eine positive Änderung des verfügbaren Oberflächenwassers, die in der fernen Zukunft bis zu vier Mal so hoch ist als in der nahen Zukunft. Im April bildet sich eine negative Tendenz ab, Mai und September weisen sowohl für die nahe als auch für die ferne Zukunft nur sehr geringe Änderungen des verfügbaren Oberflächenwassers auf, meist wird ein ganz leichter Zuwachs simuliert. Eine signifikante negative Änderung des verfügbaren Oberflächenwassers zeigt sich nur im Juli und August. Der deutlichste Rückgang wird für die ferne Zukunft berechnet.

Im Zuge der **Abschätzung des Trockenheitsrisikos** zeigt die Niederschlagsmenge erwartungsgemäß den für die mittleren europäischen Breiten typischen Jahresgang mit den höchsten Werten in den Sommermonaten und den niedrigsten Werten im Herbst und Winter.

Die Szenarien gehen für das zukünftige Klima von einer teils deutlichen Steigerung der Niederschlagsmenge zwischen Herbst und Frühling aus. Das Risiko, dass in diesen Monaten über längere Zeit kein oder kaum Niederschlag fällt, nimmt im Vergleich zur Gegenwart ab.

Eine signifikante negative Änderung der Niederschlagsmenge zeigt sich nur im Juli und August. Der deutlichste Rückgang wird für die ferne Zukunft in RCP8.5 berechnet. Nur in Ausnahmefällen kommt das Niederschlagsdefizit dem Referenzwert eines fast trockenen Monats (mit derzeit zweiprozentiger Auftrittswahrscheinlichkeit) nahe, erreicht wird diese Schwelle nicht.

Betrachtet man die Ausreißer in den Niederschlagsszenarien (helle Dreiecke unter den blauen und braunen Balken), so zeigt sich, dass Juli, August und September in der fernen Zukunft eine vergleichsweise höhere Wahrscheinlichkeit für ein völliges Ausbleiben von Regen aufweisen. Dennoch wird ein solches Szenario als äußerst unwahrscheinlich angesehen.

verfügbares Oberflächenwasser

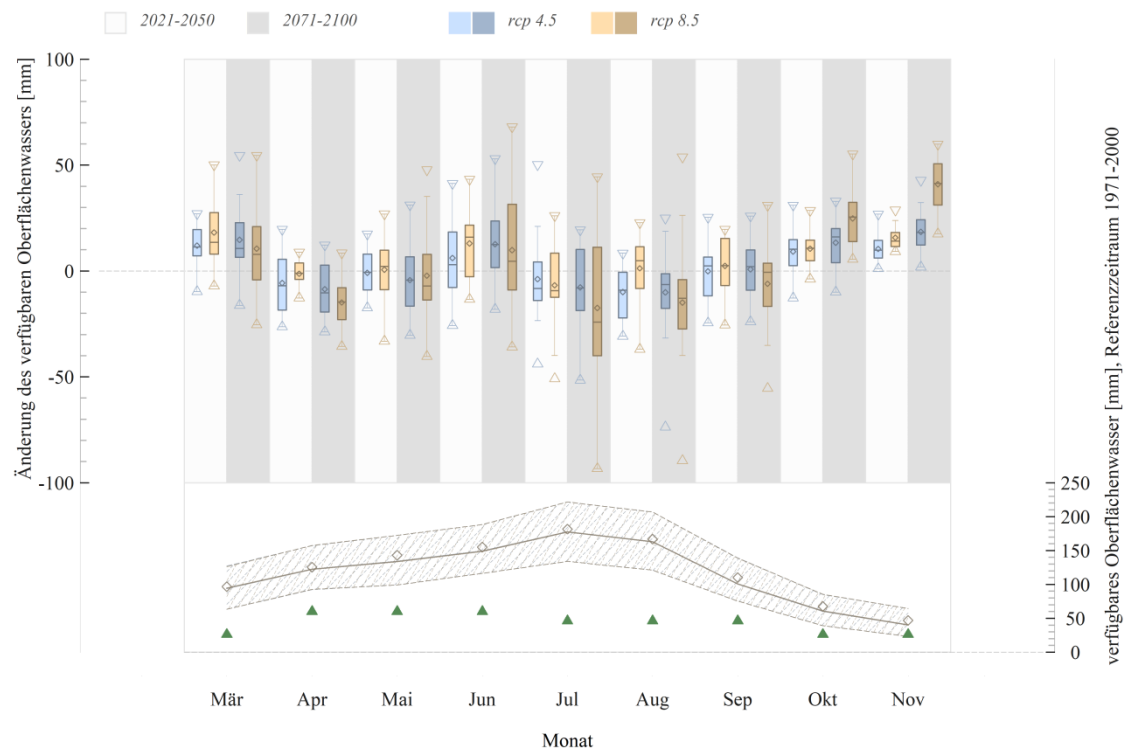
Salzburg (Region:Pongau, alt: ≤ 1400 m)

Abbildung 3-6: Verfügbares Oberflächenwasser (Regen und Schneefall) und erforderlicher Wasserbedarf der Pflanzen (Dreiecke) für die Region Pongau, Seehöhe unterhalb 1400 m

Niederschlag

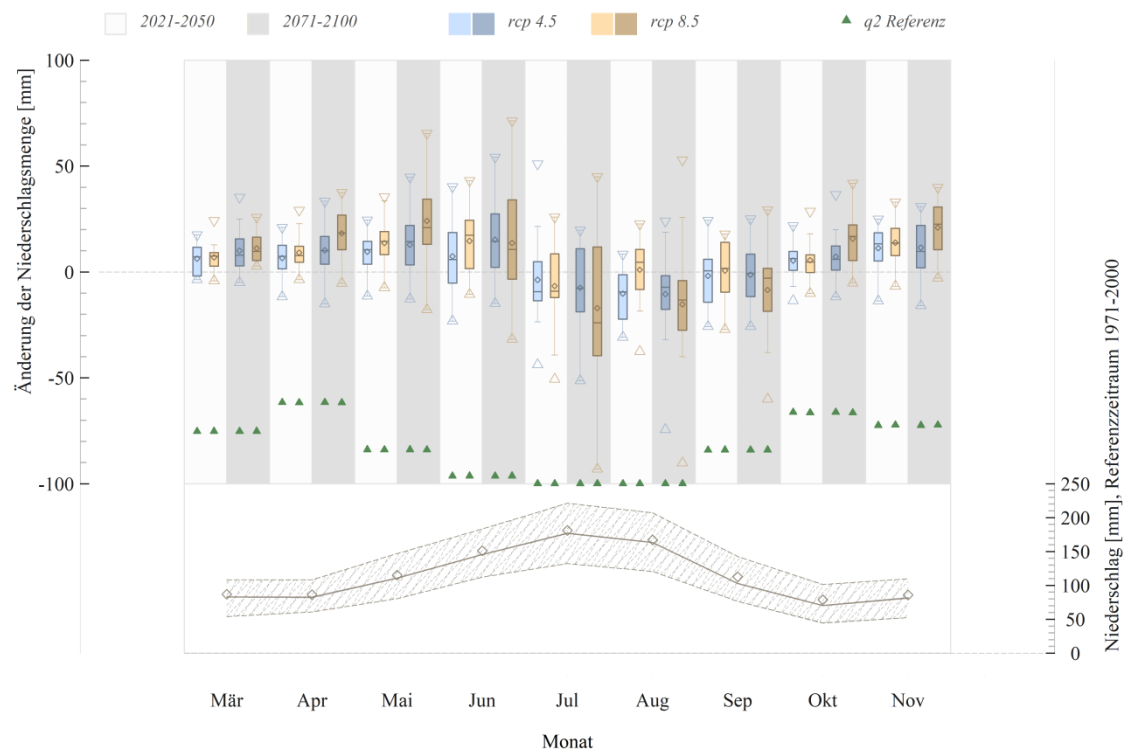
Salzburg (Region:Pongau, alt: ≤ 1400 m)

Abbildung 3-7: Änderung der Niederschlagsmenge samt Referenzwert für einen fast trockenen Monat (Dreiecke) für die Region Pongau, Seehöhe unterhalb von 1400 m

Die **Vegetationsperiode** erstreckt sich im langjährigen Mittel der Referenzperiode 1971-2000 von Anfang Mai bis in die erste Oktoberhälfte und weist damit eine durchschnittliche Dauer von 155 Tagen auf.

Die Szenarien des zukünftigen Klimas gehen aufgrund der gesicherten fortschreitenden Erwärmung naturgemäß von einer teils deutlichen Verlängerung der Vegetationsperiode aus. In der nahen Zukunft beträgt der entsprechende Zuwachs zwei bis drei Wochen, wobei der Unterschied zwischen RCP4.5 und RCP8.5 nur etwa drei Tage ausmacht. Bei der Erweiterung der Vegetationsperiode ist das Ende im Herbst etwas stärker, nämlich um ein bis zwei Tage, gewichtet als der Beginn im Frühjahr. Beim Blick in die ferne Zukunft zeigt sich, dass bei RCP4.5 eine nochmalige Verlängerung der Vegetationsperiode in der gleichen Größenordnung wie in der nahen Zukunft erfolgt. Bei RCP8.5 wird hingegen eine deutlich beschleunigte Erweiterung modelliert. In diesem Fall würde sich die Vegetationsperiode gegenüber der nahen Zukunft noch einmal um rund fünf Wochen verlängern und würde dann von der ersten Aprilhälfte bis Ende Oktober reichen, was eine Steigerung von 53 Tagen gegenüber der Referenzperiode bedeuten würde.

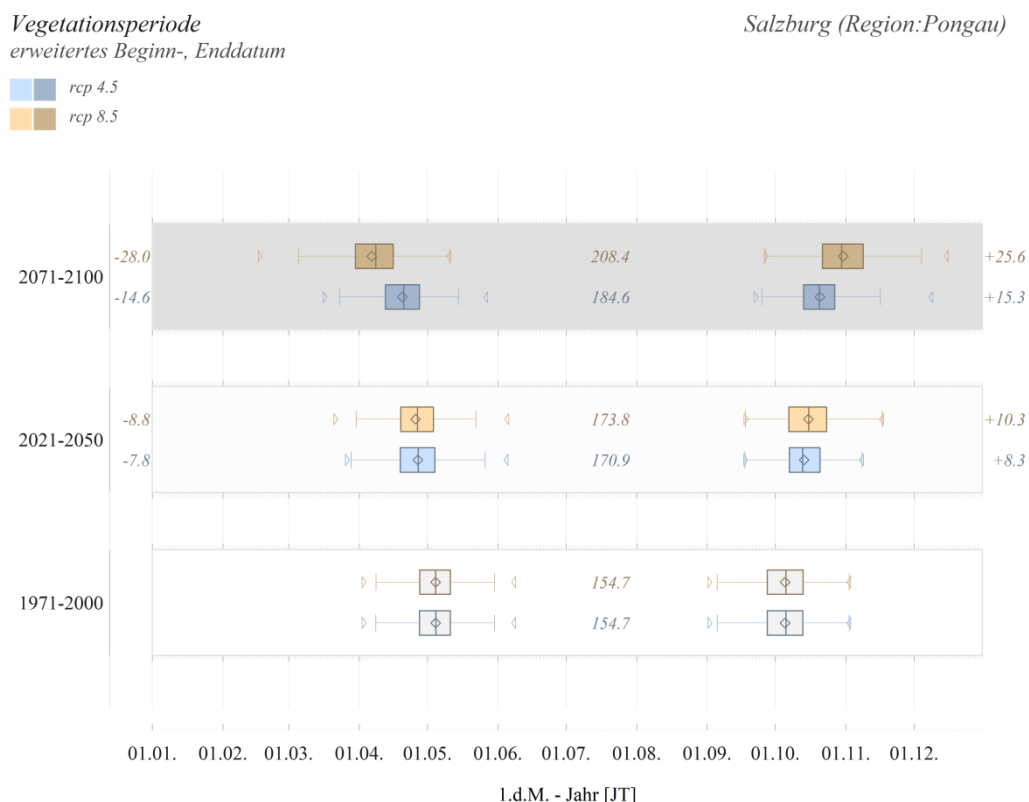


Abbildung 3-8: Vegetationsperiode für die Region Pongau

Die **Anzahl der Sommertage** weist im Flächenmittel der gesamten betrachteten Region in der Referenzperiode 1971-2000 im Pongau den erwarteten Verlauf mit den höchsten Werten im Juli auf.

Die Szenarien des zukünftigen Klimas gehen aufgrund der gesicherten fortschreitenden Erwärmung naturgemäß von einer teils deutlichen Erhöhung der Anzahl der Sommertage aus. Auch im Frühling und Herbst, wo aktuell nur selten Sommertage registriert werden, werden Tagesmaxima von mindestens 25,0 °C speziell in der fernen Zukunft deutlich wahrscheinlicher. Für die nahe Zukunft kann in den Sommermonaten – mit nur geringen Unterschieden zwischen den beiden Szenarien – mit einem Anstieg um etwa rund zwei Tage pro Monat ausgegangen werden. Beim Blick in die ferne Zukunft zeigt sich, dass bei RCP4.5 eine nochmalige Erhöhung der Anzahl in der gleichen Größenordnung wie in der nahen Zukunft erfolgt. Bei RCP8.5 wird hingegen eine deutlich beschleunigte Erhöhung modelliert. In diesem Fall würden noch einmal bis zu fünf Tage pro Monat dazukommen. Auffällig ist, dass der stärkste Anstieg in diesem Fall im August erfolgt.

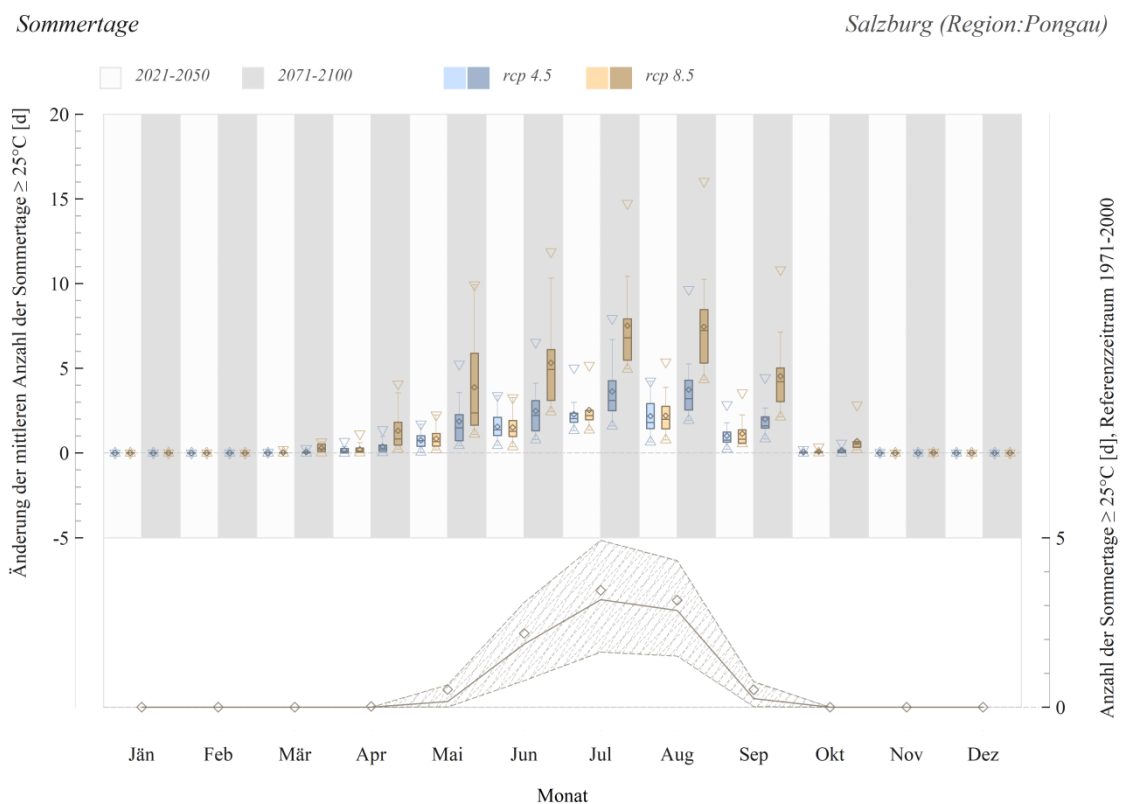


Abbildung 3-9: Anzahl der Sommertage für die Region Pongau

Die **Anzahl der heißen Tage** weist im Flächenmittel der gesamten betrachteten Region in der Referenzperiode 1971-2000 nur in den Sommermonaten einen signifikanten Wert auf.

Die Szenarien des zukünftigen Klimas gehen aufgrund der gesicherten fortschreitenden Erwärmung naturgemäß von einer teils deutlichen Erhöhung der Anzahl der heißen Tage aus. Für die nahe Zukunft kann in den Sommermonaten – mit nur geringen Unterschieden zwischen den beiden Szenarien – mit einem Anstieg um ein bis zwei Tage pro Monat ausgegangen werden. Beim Blick in die ferne Zukunft zeigt sich, dass bei RCP4.5 eine nochmalige Erhöhung

der Anzahl in der gleichen Größenordnung wie in der nahen Zukunft erfolgt. Bei RCP8.5 wird hingegen eine deutlich beschleunigte Erhöhung modelliert. In diesem Fall würden noch einmal über zwei Tage pro Monat dazukommen.

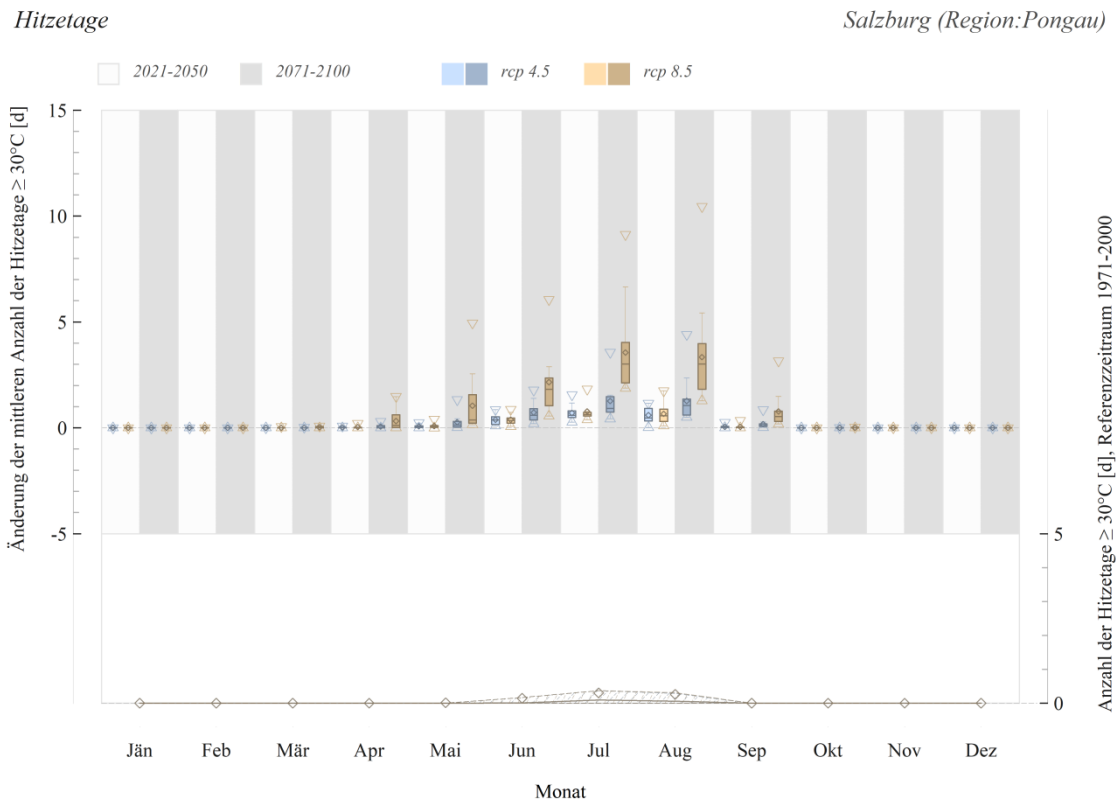


Abbildung 3-10: Anzahl der heißen Tage für die Region Pongau

3.1.7 Grünland im Lungau

Das **verfügbare Oberflächenwasser** zeigt erwartungsgemäß den für die mittleren europäischen Breiten typischen Jahresgang mit den höchsten Werten in den Frühjahrs- und Sommermonaten und deutlich niedrigeren Werten zwischen Oktober und Februar. Die Monatswerte liegen größtenteils über dem erforderlichen Wasserbedarf der Pflanzen, im Hochsommer bis zum Vierfachen. Lediglich im April ist der Wasserbedarf im aktuellen Klima nicht vollständig gedeckt.

Die Szenarien gehen für das zukünftige Klima von einer teils deutlichen Steigerung der Niederschlagsmenge in den Wintermonaten aus. Im Oktober und November sowie im Mai und Juni zeigt sich eine positive Änderung des verfügbaren Oberflächenwassers, die in der fernen Zukunft bis zu vier Mal so hoch ist als in der nahen Zukunft. März und April sowie der September weisen nur sehr geringe Änderungen des verfügbaren Oberflächenwassers auf. Im Juli und August zeigt sich für die ferne Zukunft in beiden RCP's eine meist negative Änderung des verfügbaren Oberflächenwassers. Am markantesten fällt der Rückgang im August in der fernen Zukunft in RCP8.5 aus.

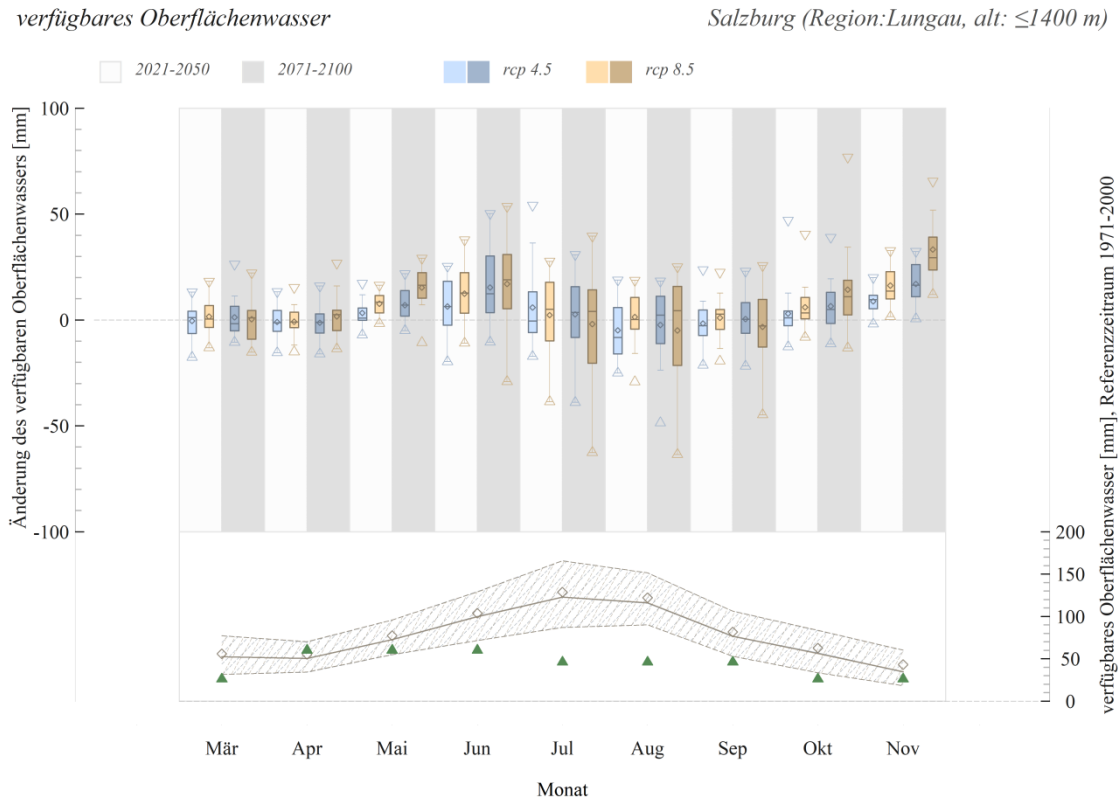


Abbildung 3-11: Verfügbares Oberflächenwasser (Regen und Schneefall) und erforderlicher Wasserbedarf der Pflanzen (Dreiecke) für die Region Lungau, Seehöhe unterhalb von 1400 m

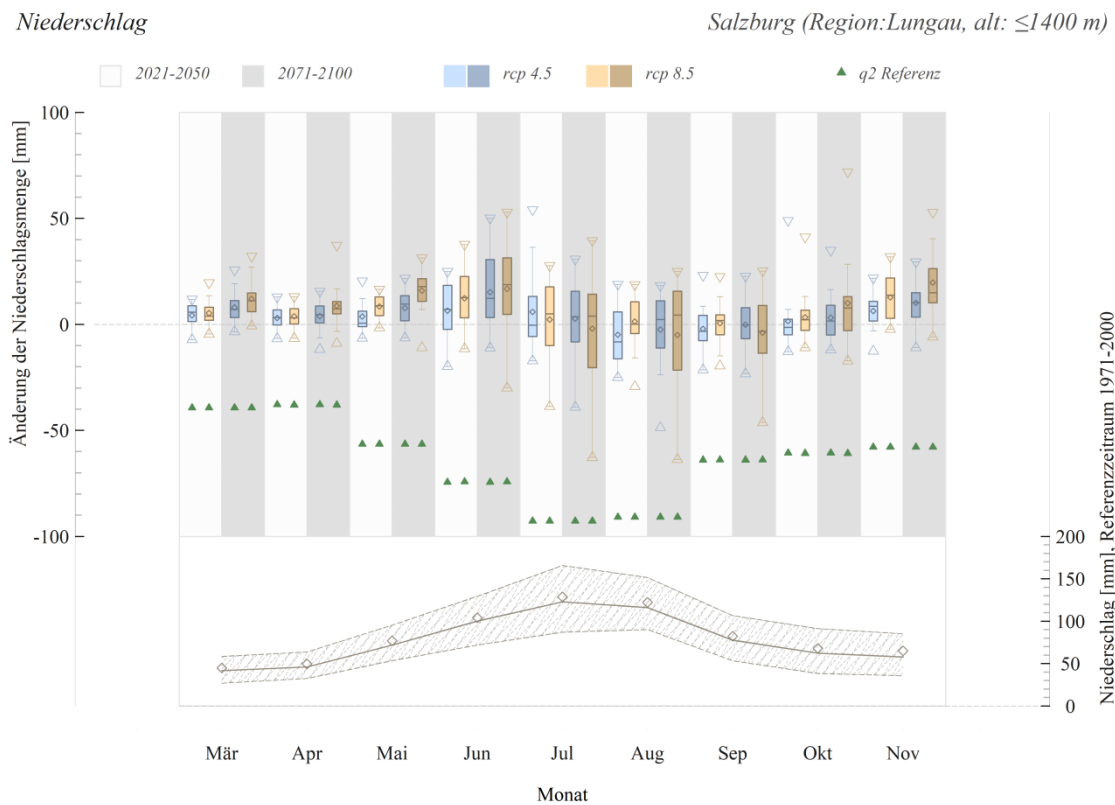


Abbildung 3-12: Änderung der Niederschlagsmenge samt Referenzwert für einen fast trockenen Monat (Dreiecke) für die Region Lungau, Seehöhe unterhalb von 1400 m

Im Zuge der **Abschätzung des Trockenheitsrisikos** zeigt die Niederschlagsmenge erwartungsgemäß den für die mittleren europäischen Breiten typischen Jahresgang mit den höchsten Werten in den Sommermonaten und den niedrigsten Werten im Herbst und Winter.

Die Szenarien gehen für das zukünftige Klima von einer teils deutlichen Steigerung der Niederschlagsmenge zwischen Herbst und Frühling aus. Das Risiko, dass in diesen Monaten über längere Zeit kein oder kaum Niederschlag fällt, nimmt im Vergleich zur Gegenwart ab.

Eine signifikante negative Änderung der Niederschlagsmenge zeigt sich nur im Juli und August der fernen Zukunft im Szenario RCP8.5. Nur in Ausnahmefällen kommt das Niederschlagsdefizit dem Referenzwert eines fast trockenen Monats (mit derzeit zweiprozentiger Auftrittswahrscheinlichkeit) nahe, erreicht wird diese Schwelle nicht.

Betrachtet man die Ausreißer in den Niederschlagsszenarien (helle Dreiecke unter den blauen und braunen Balken), so zeigt sich, dass Juli, August und September in der fernen Zukunft eine vergleichsweise höhere Wahrscheinlichkeit für ein völliges Ausbleiben von Regen aufweisen. Dennoch wird ein solches Szenario als selten angesehen.

Die **Vegetationsperiode** erstreckt sich im langjährigen Mittel der Referenzperiode 1971-2000 von der ersten Maihälfte bis Ende September und weist damit eine durchschnittliche Dauer von 141 Tagen auf.

Die Szenarien des zukünftigen Klimas gehen aufgrund der gesicherten fortschreitenden Erwärmung naturgemäß von einer teils deutlichen Verlängerung der Vegetationsperiode aus. In der nahen Zukunft beträgt der entsprechende Zuwachs zwei bis drei Wochen, wobei der Unterschied zwischen RCP4.5 und RCP8.5 nur etwa drei Tage ausmacht. Bei der Erweiterung der Vegetationsperiode ist das Ende im Herbst etwas stärker, nämlich um ein bis zwei Tage, gewichtet als der Beginn im Frühjahr. Beim Blick in die ferne Zukunft zeigt sich, dass bei RCP4.5 eine nochmalige Verlängerung der Vegetationsperiode in der gleichen Größenordnung wie in der nahen Zukunft erfolgt. Bei RCP8.5 wird hingegen eine deutlich beschleunigte Erweiterung modelliert. In diesem Fall würde sich die Vegetationsperiode gegenüber der nahen Zukunft noch einmal um über einen Monat verlängern und würde dann von Mitte April bis in die zweite Oktoberhälfte reichen, was eine Steigerung von 53 Tagen gegenüber der Referenzperiode bedeuten würde.

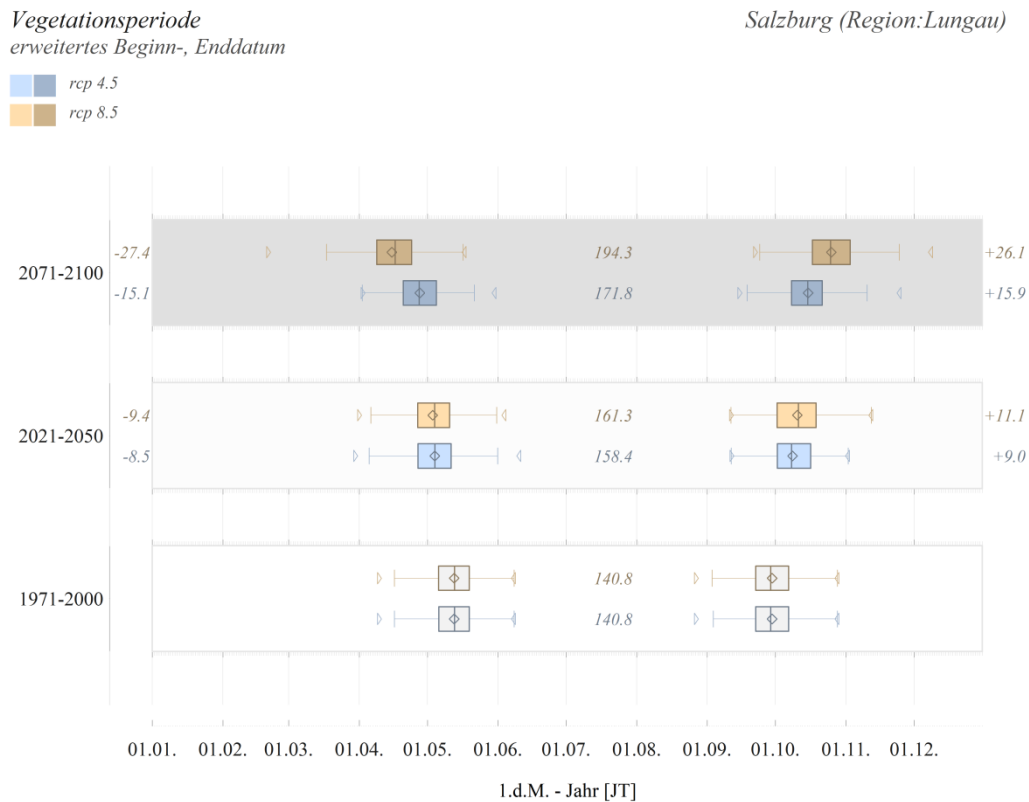


Abbildung 3-13: Vegetationsperiode für die Region Lungau

Die **Anzahl der Sommertage** weist im Flächenmittel der gesamten betrachteten Region in der Referenzperiode 1971-2000 den erwarteten Verlauf mit den höchsten Werten im Juli auf.

Die Szenarien des zukünftigen Klimas gehen aufgrund der gesicherten fortschreitenden Erwärmung naturgemäß von einer teils deutlichen Erhöhung der Anzahl der Sommertage aus. Auch im Frühling und Herbst, die aktuell nur selten Sommertage hervor bringen, werden Tagesmaxima von mindestens 25,0 °C speziell in der fernen Zukunft deutlich wahrscheinlicher. Für die nahe Zukunft kann in den Sommermonaten – mit nur geringen Unterschieden zwischen den beiden Szenarien – mit einem Anstieg um ein bis zwei Tage pro Monat ausgegangen werden. Beim Blick in die ferne Zukunft zeigt sich, dass bei RCP4.5 eine nochmalige Erhöhung der Anzahl in der gleichen Größenordnung wie in der nahen Zukunft erfolgt. Bei RCP8.5 wird hingegen eine deutlich beschleunigte Erhöhung modelliert. In diesem Fall würden noch einmal bis zu vier Tage pro Monat dazukommen.

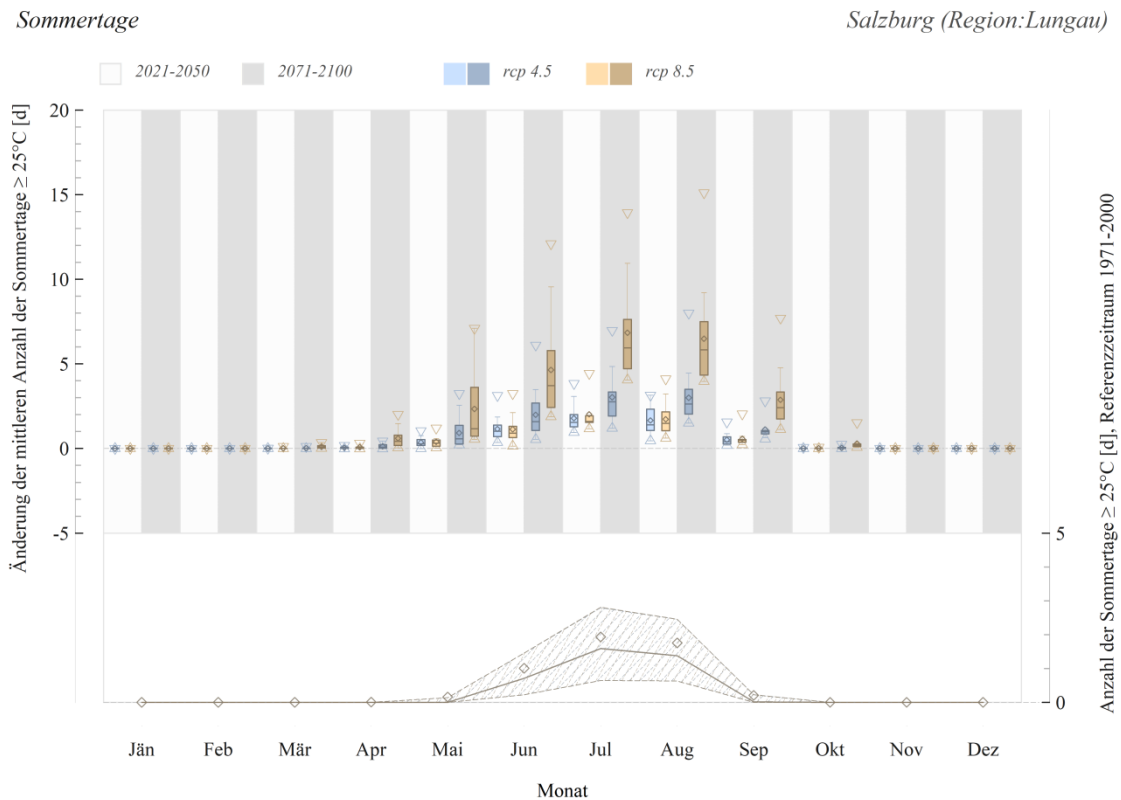


Abbildung 3-14: Anzahl der Sommertage für die Region Lungau

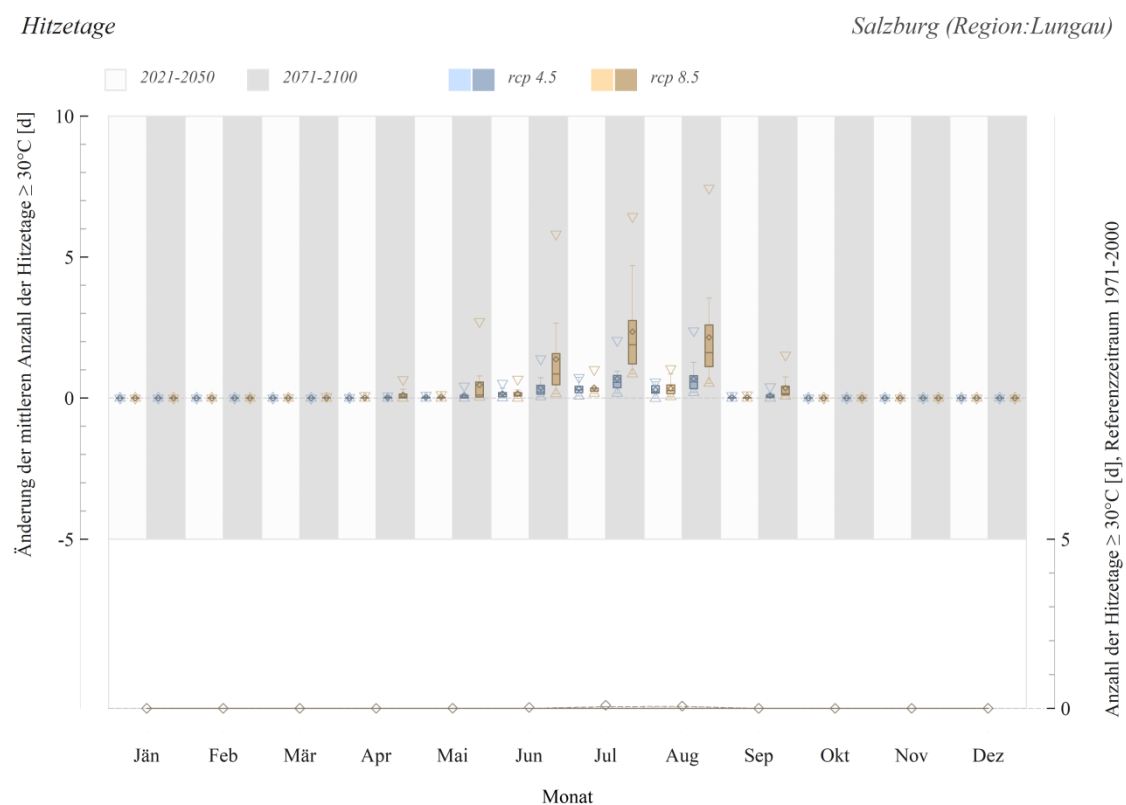


Abbildung 3-15: Anzahl der heißen Tage für die Region Lungau

Die **Anzahl der heißen Tage** weist im Flächenmittel der gesamten betrachteten Region in der Referenzperiode 1971-2000 nur in den Sommermonaten einen signifikanten Wert auf.

Die Szenarien des zukünftigen Klimas gehen aufgrund der gesicherten fortschreitenden Erwärmung naturgemäß von einer Erhöhung der Anzahl der heißen Tage aus, aufgrund der Höhenlage der Region bleiben die Werte aber im Vergleich zu den anderen Landesteilen gering. Für die nahe Zukunft kann in den Sommermonaten – mit nur geringen Unterschieden zwischen den beiden Szenarien – mit einem Anstieg um knapp einen Tag pro Monat ausgegangen werden. Beim Blick in die ferne Zukunft zeigt sich, dass bei RCP4.5 eine nochmalige Erhöhung der Anzahl in der gleichen Größenordnung wie in der nahen Zukunft erfolgt. Bei RCP8.5 wird hingegen eine deutlich beschleunigte Erhöhung modelliert. In diesem Fall würden noch einmal bis zu zwei Tage pro Monat dazukommen.

3.1.8 Fazit zu den Klimaänderungssignalen in der Landwirtschaft

Für das Grünland als eine der wesentlichen Strukturen der Landwirtschaft im Bundesland Salzburg sind die erwarteten Änderungen von Temperaturen und Niederschlagsmengen im Klima der Zukunft essentiell. Neben einem veränderten Wasserhaushalt mit seinen kleinräumigen Unterschieden und differenziert zu betrachtenden Auswirkungen besteht mit der allgemeinen Erwärmung der kommenden Jahrzehnte ein Faktor, der alle Regionen und Höhenlagen einschließt und sowohl positive als auch negative Auswirkungen nach sich ziehen könnte.

Als wesentlichstes Ergebnis der vorliegenden Daten zur zukünftigen Entwicklung des verfügbaren Oberflächenwassers gilt wohl die Tatsache, dass auch im Klima der nahen und fernen Zukunft in allen Szenarien der Wasserbedarf der Pflanzen in allen betrachteten Regionen während des gesamten Jahres grundsätzlich gedeckt sein wird. Ein höheres Trockenheitspotenzial besteht nur in der Region Lungau, wo im aktuellen Klima der Wasserbedarf im Frühling und Herbst nur knapp gedeckt ist. Während im Herbst durch die Zunahme der Niederschläge zukünftig feuchtere Verhältnisse zu erwarten sind, kratzen März und April auch im Klima der Zukunft an der Schwelle zur Deckung des Wasserbedarfs des Grünlands.

In den Sommermonaten ist der Wasserbedarf der Pflanzen trotz des erwarteten Rückgangs des verfügbaren Oberflächenwassers auch im Klima der Zukunft im Mittel mehr als gedeckt. Dennoch ist eine gewisse Vorsicht bei der Interpretation der Daten anzuraten: Wie schon in den letzten Jahrzehnten anhand der Niederschlagsmessungen festzustellen war, erhöht sich mit fortschreitender Erwärmung der Atmosphäre der Anteil von Starkniederschlagsereignissen an der gesamten Niederschlagsmenge. Starkniederschläge und somit der Wasserverlust durch Oberflächenabfluss sind im vorliegenden Modell nicht abbildbar. Das Problem des erhöhten

Wasserverlustes durch den verstärkten Oberflächenabfluss durch vermehrte Starkniederschläge kann daher nur qualitativ betrachtet werden. Die Messreihen der Stationen in den betrachteten Regionen zeigen seit Beginn der zeitlich hoch aufgelösten Niederschlagsmessungen eine Zunahme der Niederschlagsmengen um 20 Prozent innerhalb der vorgegebenen Zeiträume. Da von den Klimamodellen berechnet wird, dass dieser Trend während der nächsten Jahrzehnte anhält oder sich (speziell in RCP8.5) auch deutlich verstärkt, ergibt sich als Folgerung, dass auch bei gleichbleibenden oder nur leicht sinkenden Wassereinträgen in den Sommermonaten den Pflanzen aufgrund des verstärkten Oberflächenabflusses bei Starkniederschlägen insgesamt weniger Wasser zur Verfügung stehen könnte. Auf diese Weise könnte sich trotz der ausreichenden Regensmengen dennoch eine zeitweilige Trockenheitssituation mit Bewässerungsbedarf in den Hochsommermonaten ergeben.

Die Untersuchung der zukünftigen Entwicklung des Hitzestresses mittels der Analyse der Anzahl der Sommertage und der heißen Tage zeigt deutlich, dass einerseits speziell in den tiefer gelegenen Grünlandregionen des Bundeslandes die Wärmebelastung deutlich steigt. Der Schwerpunkt liegt dabei naturgemäß im Bereich zwischen spätem Frühling und frühem Herbst, allerdings ist auch eine Ausdehnung des hitzestressrelevanten Zeitraums in Richtung früher Frühling und später Herbst wahrscheinlich. Damit einher geht naturgemäß neben einer Schwächung der Pflanzen auch eine verstärkte Verdunstung, die wiederum ein höheres Trockenheitsrisiko (trotz eigentlich ausreichenden Oberflächenwassers) zur Folge haben kann. In Zusammenschau mit der Wahrscheinlichkeit des Auftretens von fast trockenen Monaten ergibt sich im Klima der Zukunft das höchste Risiko für einen Ausfall eines Schnittes und auch die höchste Wahrscheinlichkeit eines Bewässerungsbedarfs in den tiefer gelegenen Regionen des Flachgaus. Aufgrund des jahreszeitlichen Verlaufs der erwarteten Änderungen der Niederschlagsmenge und des Hitzestresses ist davon auszugehen, dass das Risiko für den Ausfall eines Schnittes weniger den ersten Schnitt im April/Mai, sondern den zweiten und dritten Schnitt (seehöhenabhängig zwischen Juni und August) betrifft.

Die höheren Temperaturen der Klimazukunft (und damit auch die kürzere Andauer der Winterschneedecke) beeinflussen die Dauer der Vegetationsperiode stark. Sowohl zu Beginn der Vegetationsperiode im Frühling als auch zu deren Ende im Herbst ergibt sich eine deutliche Ausweitung. Im „business-as-usual“-Szenario (RCP 8.5) verlängert sich die Vegetationsperiode in der fernen Zukunft deutlich markanter als im Klimaschutzszenario. Die längere Vegetationsperiode lässt sowohl im Frühling als auch im Herbst eine längere Bewirtschaftung des Grünlands erwarten. Damit ist zum einen eine Vorverlegung der bestehenden Schnitte im Vergleich zur aktuellen Situation zu erwarten, zum anderen kann sich auch die Anzahl der Schnitte durch weitere Schnitte im Herbst erhöhen. Während im Flachgau der größte Anteil der Verlängerung auf das Frühjahr fällt, ist es in den Gebirgsgauen der Herbst.

3.2 Ackerbau im Lungau

3.2.1 Fragestellungen für den Ackerbau im Lungau als Ergebnis aus den Workshops

Die Sorge ist, ob zukünftig genug Wasser für die rund 90 ha umfassende Fläche, auf der der „Lungauer Eachtling“ angebaut wird, zur Verfügung steht bzw. ob und in welchem Umfang künstliche Bewässerung ein Thema werden könnte.

Die Fragestellung bezüglich der Kartoffelernte unterscheidet sich vom Grünlandschnitt insofern, als zwei Monate für einen positiven Ertrag entscheidend sind und weil sich der Lungau als „inneralpines Trockental“ von den anderen Regionen Salzburgs deutlich unterscheidet.

Kann man abschätzen, ob sich das Risiko, dass in den beiden Wachstumsmonaten Juni und Juli kein oder kaum Niederschlag fällt, in Zukunft ändert?

3.2.2 Kompakte Kernaussagen der Studie zum Ackerbau im Lungau

In den Wachstumsmonaten der „Lungauer Eachtling“ steht auch in Zukunft – abgesehen von seltenen Ausreißern – im Mittel ausreichend Wasser zur Verfügung.

Die Wahrscheinlichkeit, dass in den wichtigen Wachstumsmonaten Juni und Juli kein oder kaum Niederschlag fällt, bleibt auch in naher und ferner Zukunft äußerst gering.

Der Bedarf nach einer systematischen und regelmäßigen künstlichen Bewässerung für die Produktion der „Lungauer Eachtling“ lässt sich aus den aktuellen Klimawandelmodellen nicht ableiten.

3.2.3 Fragestellungen, die noch nicht beantwortet werden konnten und Verbesserungsvorschläge

Für die Kartoffel gilt der selbe Verbesserungsvorschlag wie für das Grünland. Siehe Punkt 3.1.2.

3.2.4 Beschreibung und Interpretation der Abbildungen

Für die Analyse der zukünftigen Entwicklung des Ackerbaus hat man sich zum Ziel gesetzt, die Auswirkungen der klimatischen Änderungen repräsentativ für eine dem Ackerbau stark verbundene Region auszuwerten. Für den Lungau wurde eine Mittelung über alle Flächen des Bezirks unterhalb einer Seehöhe von 1400 m vollzogen. Die Spezialisierung der Lungauer Ackerwirtschaft auf eine regionale Kartoffelspezialität („Lungauer Eachtling“) lässt Informationen über die zukünftige Entwicklung in dieser Region als überaus wichtig erscheinen.

Als spezifischer Indikator wurden zunächst das **verfügbare Oberflächenwasser** (aus den Niederschlägen in Form von Regen und Schnee), also der positive Feuchtefluss, und dessen Änderungen für die jeweiligen Klimaszenarien der Zukunft berechnet. Um die Werte aussagekräftiger hinsichtlich der erwarteten Auswirkungen auf den Ackerbau zu machen, wurde der erforderliche Wasserbedarf der gegebenen Ackerpflanzen für die relevanten Monate Juni und Juli monatsweise in Relation gesetzt. Dabei wurde der jährliche monatliche Gesamtbedarf mit 70 Liter pro Quadratmeter (entspricht Millimeter) abgeschätzt.

Fachlicher Einschub aus der Landwirtschaft und deren vereinfachter Ansatz für diese Klimawandelbetrachtung und Interpretation (Quelle: Landwirtschaftskammer Salzburg; DI Matthias Greisberger):

Die Kartoffel wird im Lungau am 1.Mai gesetzt und hat insbesondere im Juni und Juli einen Wasserbedarf von 4-6 mm/Tag. Der spezifische Wasserbedarf der Eachtling beträgt somit in der wichtigen Wachstumsphase 240 bis 360 mm in zwei Monaten.

Für diese Untersuchung wird nun vereinfachend angenommen, dass der Lungauer Boden im Mittel ausreichend gesättigt ist. Entsprechend der eBod Digitale Bodenkarte (<https://bodenkarte.at>) ist die mittlere nutzbare Feldkapazität“ (pflanzenverfügbarer Teil der Wassermenge, die ein Boden (nach einer Sättigung) gegen die Schwerkraft halten kann) im Lungau mittel bis hoch. Der mittlere Wert liegt bei 220 mm.

In Näherung wird jener Wasseranteil, der in den Monaten Juni und Juli aus dem Niederschlag kommen sollte, wie folgt angenähert:

Wasserbedarf der Pflanze:	240 bis 360 mm bzw. Liter/m ² in zwei Monaten
Minus mittlere nutzbare Feldkapazität:	220 mm bzw. Liter/m ²
Entspricht dem nötigen Niederschlag:	20-140 mm bzw. Liter/m ² in zwei Monaten

Als Richtschnur für den Niederschlag bzw. das verfügbare Oberflächenwasser werden 70 Liter/m² und Monat angenommen.

Zur Abschätzung des Trockenheitsrisikos (kein oder kaum Niederschlag) wurden die Änderungen der **Niederschlagsmengen** für die zukünftigen klimatischen Verhältnisse berechnet. Dabei wurde das Niederschlagsdefizit in einem „fast trockenen“ Zweimonatszeitraum (so wenig Niederschlag wie in nur 2 Prozent der Fälle) näherungsweise in Relation gesetzt.

Alle Berechnungen erfolgten in Monatsauflösung für den für die Kartoffel relevanten Zeitraum zwischen April und August. Die Angaben erfolgen in Millimeter.

Im unteren Teil aller Abbildungen sind aus Vergleichsgründen die jeweiligen Werte des Referenzzeitraums 1971-2000 dargestellt. Die Dreiecke kennzeichnen im Fall des verfügbaren Oberflächenwassers den erforderlichen mittleren Wasserbedarf der Kartoffel, welcher aus dem verfügbaren Oberflächenwasser (Regen und Schnee) kommen sollte, im Fall der Niederschlagsmengen jene Abnahme des Niederschlags, die für das Erreichen eines „fast trockenen“ Zweimonatszeitraums nötig wäre.

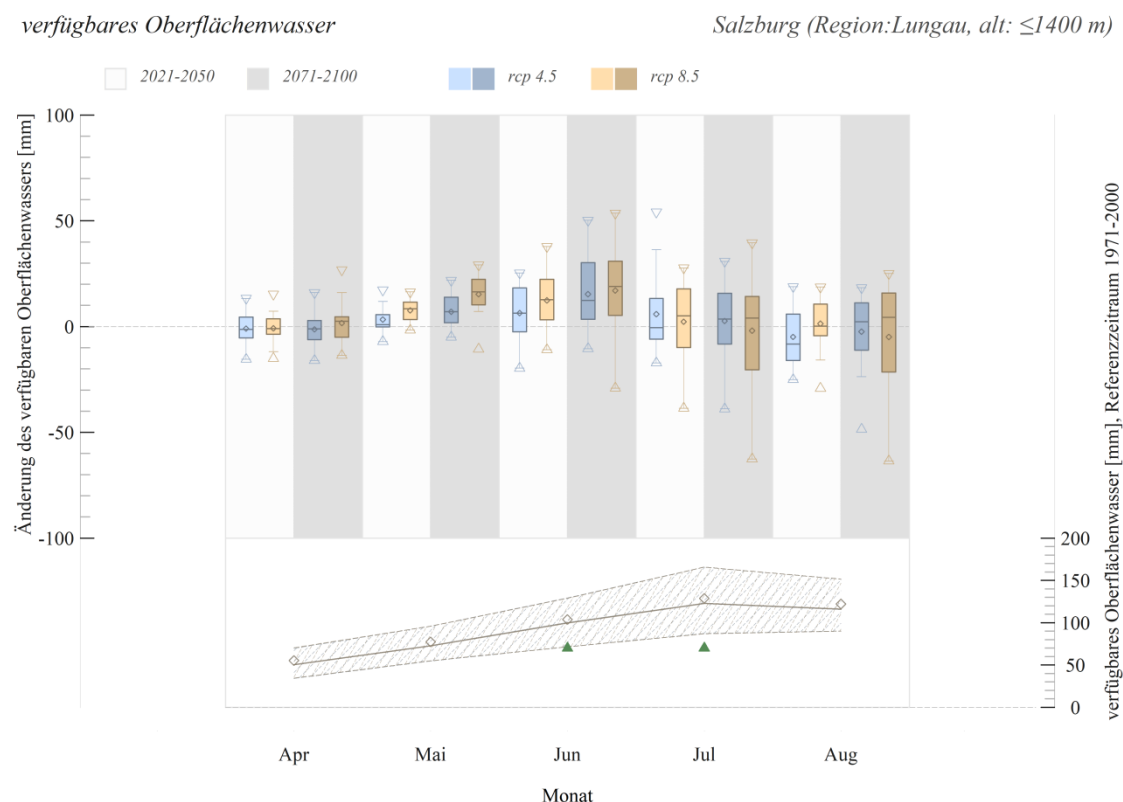


Abbildung 3-16: Positiver Feuchtefluss (Regen und Schneefall) und erforderlicher Wasserbedarf der Pflanzen (Dreiecke) für die Region Lungau, Seehöhe unterhalb von 1400 m

Das **verfügbare Oberflächenwasser** zeigt erwartungsgemäß den für die mittleren europäischen Breiten typischen Jahresgang mit den höchsten Werten in den Frühjahrs- und Sommermonaten und deutlich niedrigeren Werten im Herbst und Winter. Alle Monatswerte liegen im Juni und

Juli deutlich über dem erforderlichen Wasserbedarf der Pflanzen und erreichen mehr als Doppelte dieser Referenzwerte.

Die Szenarien gehen für das zukünftige Klima nur im Winterhalbjahr von einer teils deutlichen Steigerung der Niederschlagsmenge aus. Im April sind keine nennenswerten Änderungen zu erwarten. Mai und Juni zeigen eine positive Änderung des verfügbaren Oberflächenwassers, die in der fernen Zukunft bis zu doppelt so hoch wie in der nahen Zukunft. Im Juli und August zeigen sich keine signifikanten Änderungen des verfügbaren Oberflächenwassers. Am höchsten ist die negative Änderung im Juli und August der fernen Zukunft im Szenario RCP8.5.

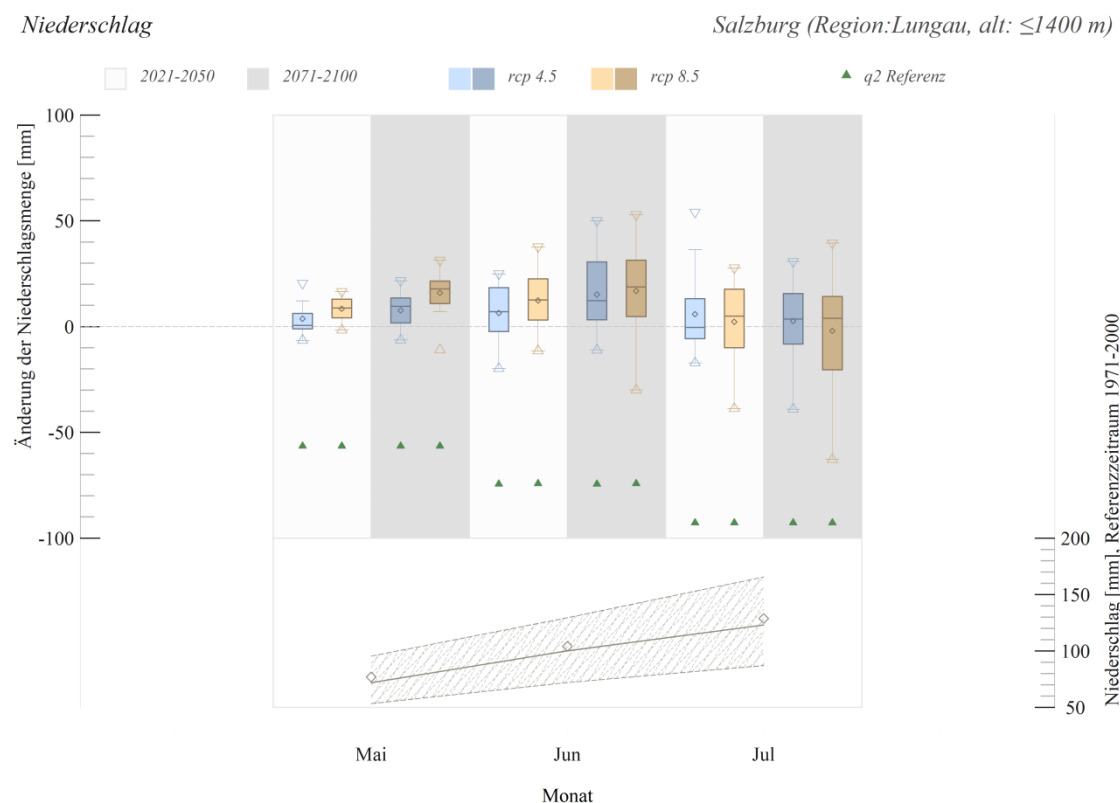


Abbildung 3-17: Änderung der Niederschlagsmenge samt Referenzwert für einen fast trockenen Zweimonatszeitraum (Dreiecke) für die Region Lungau, Seehöhe unterhalb von 1400 m

Im Zuge der **Abschätzung des Trockenheitsrisikos** zeigt die Niederschlagsmenge erwartungsgemäß den für die mittleren europäischen Breiten typischen Jahresgang mit den höchsten Werten in den Sommermonaten und den niedrigsten Werten im Herbst und Winter.

Die Szenarien gehen für das zukünftige Klima von einer Steigerung der Niederschlagsmenge im Mai, Juni und Juli aus. Nur in Ausnahmefällen kommt dabei das Niederschlagsdefizit dem Referenzwert eines fast trockenen Zweimonatszeitraums (mit derzeit zweiprozentiger Auftrittswahrscheinlichkeit) nahe – erreicht wird diese Schwelle nicht.

Vergleicht man die Ausreißer in den Niederschlagsszenarien (helle Dreiecke unter den farbigen Balken), so zeigt sich, dass der Juli – und hier vor allem der Juli der fernen Zukunft – eine vergleichsweise höhere Wahrscheinlichkeit für ein völliges Ausbleiben von Regen aufzeigt. Dennoch wird ein solches Szenario als äußerst unwahrscheinlich angesehen.

3.2.5 Fazit zu Klimaänderungssignalen im Ackerbau

Für den Ackerbau als eine der wesentlichen Strukturen der Landwirtschaft im Bundesland Salzburg sind die erwarteten Änderungen der Niederschlagsmengen im Klima der Zukunft essentiell.

Als wesentlichstes Ergebnis der vorliegenden Daten zur zukünftigen Entwicklung des verfügbaren Oberflächenwassers gilt wohl die Tatsache, dass auch im Klima der nahen und fernen Zukunft in allen Szenarien der Wasserbedarf der Ackerpflanzen in der Region Lungau während der relevanten Monate Juni und Juli grundsätzlich deutlich mehr als gedeckt sein wird.

Dennoch ist eine gewisse Vorsicht bei der Interpretation der Daten anzuraten: Wie schon in den letzten Jahrzehnten anhand der Niederschlagsmessungen festzustellen war, erhöht sich mit fortschreitender Erwärmung der Anteil von Starkniederschlagsereignissen an der gesamten Niederschlagsmenge. Starkniederschläge und somit der Wasserverlust durch Oberflächenabfluss sind im vorliegenden Modell nicht abbildbar. Das Problem des erhöhten Wasserverlustes durch den verstärkten Oberflächenabfluss durch vermehrte Starkniederschläge kann daher nur qualitativ betrachtet werden. Die Messreihen der Stationen in den betrachteten Regionen zeigen seit Beginn der zeitlich hoch aufgelösten Niederschlagsmessungen eine Zunahme der Niederschlagsmengen um 20 Prozent innerhalb der vorgegebenen Zeiträume. Da von den Klimamodellen berechnet wird, dass dieser Trend während der nächsten Jahrzehnte anhält oder sich (speziell in RCP8.5) auch deutlich verstärkt, ergibt sich als Folgerung, dass auch bei gleichbleibenden oder leicht zunehmenden Wassereinträgen in den Sommermonaten den Pflanzen aufgrund des verstärkten Oberflächenabflusses bei Starkniederschlägen insgesamt weniger Wasser zur Verfügung stehen könnte. Auf diese Weise könnte sich trotz der ausreichenden Wassermengen dennoch eine zeitweilige Trockenheitssituation mit Bewässerungsbedarf in den Hochsommermonaten ergeben.

3.3 Almwirtschaft

3.3.1 Fragestellungen für die Almwirtschaft als Ergebnis aus den Workshops

Die zentralen Themen für die Almwirtschaft lauten: Ändern sich die Rahmenbedingungen für das Graswachstum auf den Salzburger Almen?

Bekommt der Almboden in den unterschiedlichen Höhenstufen genügend Feuchtigkeit? Was passiert mit der Schneedecke im Spätwinter und Frühling?

Gibt es Verschiebungen in der Zeit oder in der Höhenlage?

Lassen sich Veränderungen in der Weidezeit erkennen?

Aufgrund der geringen Bodenmächtigkeit im Almgelände ist das Wasserhaltevermögen begrenzt – sind für dieses sensible Gleichgewicht Veränderungen zu erkennen?

3.3.2 Kompakte Kernaussagen der Studie zur Almwirtschaft

Im Winter kommt deutlich mehr flüssiges Wasser in die Schneedecke als bisher. Die Schneedecke wird vor allem in tieferen/mittleren Lagen und in den Übergangszeiten feuchter und durchlässiger, gibt also mehr Wasser an den Boden ab.

Im Sommer wird der Boden in allen Niveaus trockener, in den Hochalmen in der fernen Zukunft sogar deutlich trockener.

In der Zeit der wichtigen ersten Wachstumsphase (Mai und Juni) wird es auf den Almen trockener. Die erste starke Wachstumsphase wird sich in den April hinein verschieben.

Die Vegetationsphase wird deutlich länger. In allen Almniveaus dauert sie je nach Klimawandelszenario in der fernen Zukunft um ein bis zwei Monate länger.

Der Almauftrieb ist in ferner Zukunft um ein halbes bis ein Monat früher möglich als im Vergleich zur Gegenwart.

Die Hochalmen der fernen Zukunft bekommen das aktuelle Klima der Niederalmen.

3.3.3 Fragestellungen, die noch nicht beantwortet werden konnten und Verbesserungsvorschläge

Keine.

3.3.4 Beschreibung und Interpretation der Abbildungen

Im Vorfeld der Analyse der zukünftigen Entwicklung im Bereich der Salzburger Alpen hat sich gezeigt, dass aufgrund des Alpenbestandes in allen Landesteilen eine Beschränkung der Modellierung auf einzelne Punkte oder eng begrenzte Regionen nicht zielführend ist. Stattdessen wurde eine Flächenmittelung über das gesamte Bundesland vollzogen, dabei allerdings eine Differenzierung über drei definierte Höhenstufen vorgenommen.

Als typische Höhenstufe der tiefer gelegenen Alpen wurde der Bereich 1200 bis 1500 m festgelegt. In diese Höhenstufe sind beispielsweise die meisten der Alpenregionen des Flach- und Tennengaus einzureihen. Die zweite Stufe umfasst den Bereich zwischen 1500 und 1700 m, sie deckt den Großteil der Alpengebiete der Gebirgsgaue ab. Die dritte Stufe mit dem Bereich zwischen 1700 und 2000 m beinhaltet den Großteil der Hochalpen der Gebirgsgaue, wo sich die Bewirtschaftung auf einen deutlich kürzeren Zeitraum beschränkt als auf den tiefer gelegenen Alpen.

Als spezifischer Indikator wurde zunächst die **Oberflächenwasserbilanz** für die jeweiligen Klimaszenarien der Zukunft berechnet.

Alle Berechnungen erfolgten in Monatsauflösung für das gesamte Jahr. Die hohe zeitliche Auflösung ist aufgrund der geringen Bodenmächtigkeiten und des damit verbundenen geringen Wasserhaltevermögens in den Alpenregionen notwendig. Alle Angaben erfolgen in Millimeter.

Zusätzlich wurde die Dauer der **Vegetationsperiode** modelliert. Berechnet wurden Beginn und Ende des sich rhythmisch wiederholenden Teils des Jahres, in dem eine Pflanze aktiv wächst und sich entfaltet.

Im unteren Teil aller Abbildungen sind aus Vergleichsgründen Oberflächenwasserbilanz und Vegetationsperiode des Referenzzeitraums 1971-2000 dargestellt. Im oberen Teil sind die Berechnungen der Änderung der Oberflächenwasserbilanz für die „nahe Zukunft“ (2021-2050) weiß hinterlegt, die Berechnungen für die „ferne Zukunft“ (2071-2100) sind grau hinterlegt.

3.3.4.1 Höhenstufe 1200-1500 Meter

Die **Oberflächenwasserbilanz** im untersten Almniveau (1200 bis 1500 m) liegt in den Wintermonaten meist im leicht negativen Bereich. Im Lauf des klimatologischen Frühlings steigt die Bilanz in den deutlich positiven Bereich, wo sie bis August bleibt. In den Herbstmonaten sinkt die Bilanz langsam ab, bis zum Jahresende wieder der Übergang in den leicht negativen Bereich erfolgt.

Oberflächenwasserbilanz

Salzburg (LKZ:5, alt:1200-1500 m)

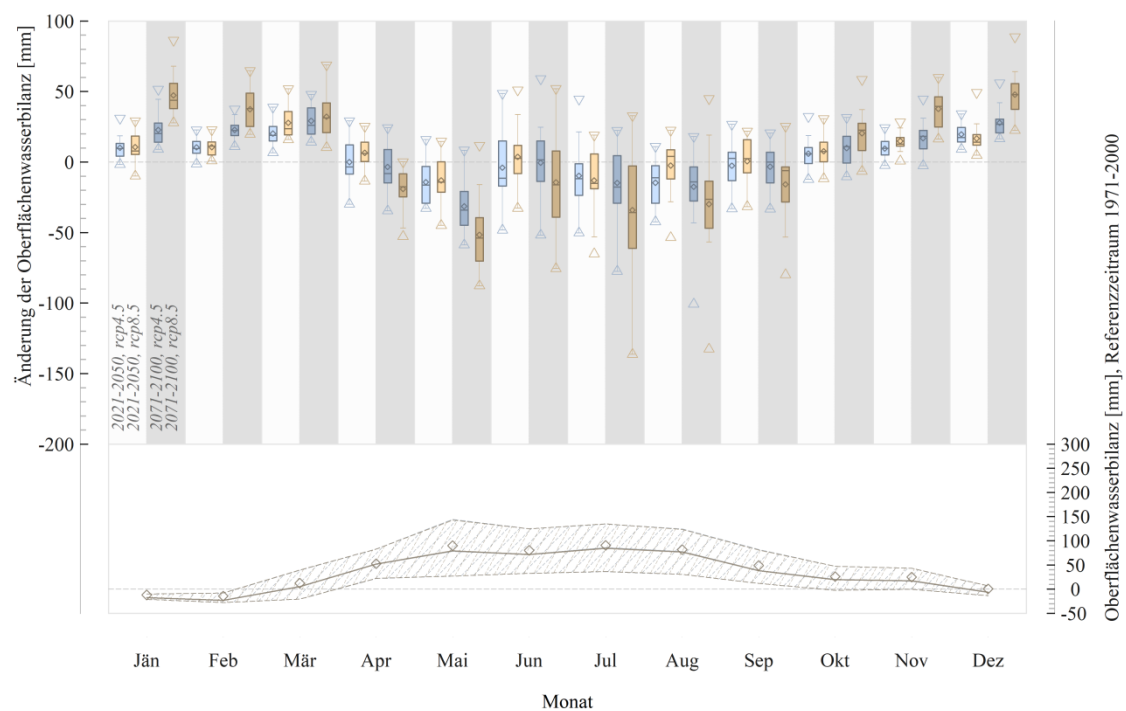


Abbildung 3-18: Oberflächenwasserbilanz für das Bundesland Salzburg, Höhenstufe 1200-1500 m

Die Szenarien gehen für das zukünftige Klima von einer deutlichen Steigerung der Niederschlagsmenge in den Wintermonaten aus. Dieser markante Trend wird auch bei der modellierten Änderung der Oberflächenwasserbilanz sichtbar: Zwischen Oktober und März zeigt sich eine positive Änderung der Oberflächenwasserbilanz, die in der fernen Zukunft bis zu vier Mal so hoch ist als in der nahen Zukunft. Während die Unterschiede zwischen den beiden Szenarien RCP4.5 und RCP8.5 in der nahen Zukunft sehr klein und auch im Vorzeichen nicht eindeutig sind, zeigen sich für die ferne Zukunft bei RCP8.5 etwa doppelt so hohe Änderungen als bei RCP4.5.

Im April zeigen sich für die nahe Zukunft nur marginale Änderungen der Oberflächenwasserbilanz, für die ferne Zukunft wird ein Trend zu einer negativen Änderung sichtbar.

Der Mai bringt vor allem für die ferne Zukunft eine markante negative Änderung. Hier schlägt vor allem die erwärmungsbedingt geringere Schneedecke im Frühling in diesen Höhenlagen durch. Durch das frühere Schmelzen des Schnees fehlt der Schmelzwassereintrag im Vergleich zum Referenzzeitraum bereits früher im Jahr.

Während des Hochsommers ist dieser Effekt kaum noch wirksam, wodurch sich vergleichsweise meist nur leicht negative Änderungen der Oberflächenwasserbilanz ergeben. Markanter fällt nur die negative Änderung in der fernen Zukunft in RCP8.5 aus.

Nach dem kaum auffälligen September zeigt sich ab Oktober ein ansteigender Trend zu positiven Änderungen – stärker in der fernen als in der nahen Zukunft und stärker in RCP4.5 als in RCP8.5.

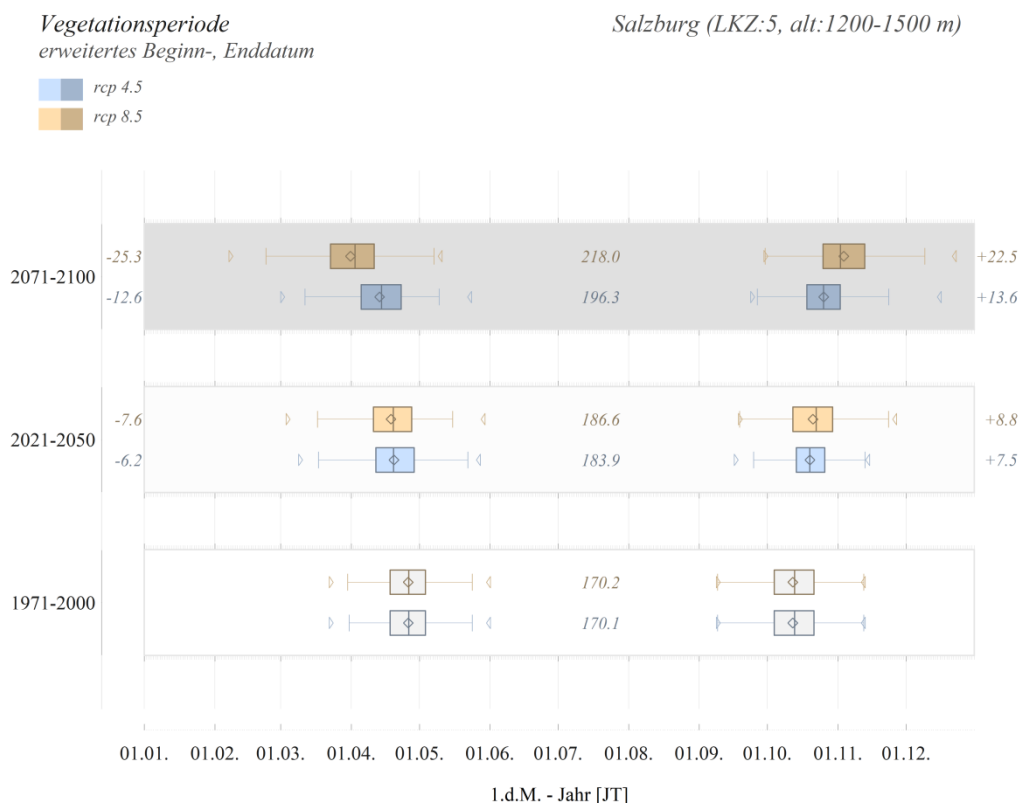


Abbildung 3-19: Vegetationsperiode für das Bundesland Salzburg, Höhenstufe 1200-1500 m

Die **Vegetationsperiode** im Höhenbereich zwischen 1200 und 1500 m erstreckt sich im langjährigen Mittel der Referenzperiode 1971-2000 von Ende April bis Mitte Oktober und weist damit eine durchschnittliche Dauer von 170 Tagen auf.

Die Szenarien des zukünftigen Klimas gehen aufgrund der gesicherten fortschreitenden Erwärmung naturgemäß von einer teils deutlichen Verlängerung der Vegetationsperiode aus. In der nahen Zukunft beträgt der entsprechende Zuwachs rund 15 Tage, wobei der Unterschied zwischen RCP4.5 und RCP8.5 nur knapp drei Tage ausmacht. Bei der Erweiterung der Vegetationsperiode ist das Ende im Herbst etwas stärker, nämlich um gut einen Tag, gewichtet als der Beginn im Frühjahr. Beim Blick in die ferne Zukunft zeigt sich, dass bei RCP4.5 eine nochmalige Verlängerung der Vegetationsperiode in der gleichen Größenordnung wie in der nahen Zukunft erfolgt. Bei RCP8.5 wird hingegen eine deutlich beschleunigte Erweiterung modelliert. In diesem Fall würde sich die Vegetationsperiode gegenüber der nahen Zukunft noch einmal um ein gutes Monat verlängern und würde dann von Anfang April bis Anfang November reichen, was eine Steigerung von knapp 48 Tagen gegenüber der Referenzperiode bedeuten würde.

3.3.4.2 Höhenstufe 1500-1700 Meter

Die **Oberflächenwasserbilanz** im mittelhohen Almniveau (1500 bis 1700 m) liegt in den Wintermonaten sowie zu Beginn des klimatologischen Frühlings im leicht bis mäßig negativen Bereich. Ab April steigt die Bilanz in den positiven Bereich, erreicht bereits im Mai ihren höchsten Wert und sinkt dann während des Sommers und Herbstes allmählich ab, bevor im Dezember wieder der Übergang in den leicht negativen Bereich erfolgt.

Oberflächenwasserbilanz

Salzburg (LKZ:5, alt:1500-1700 m)

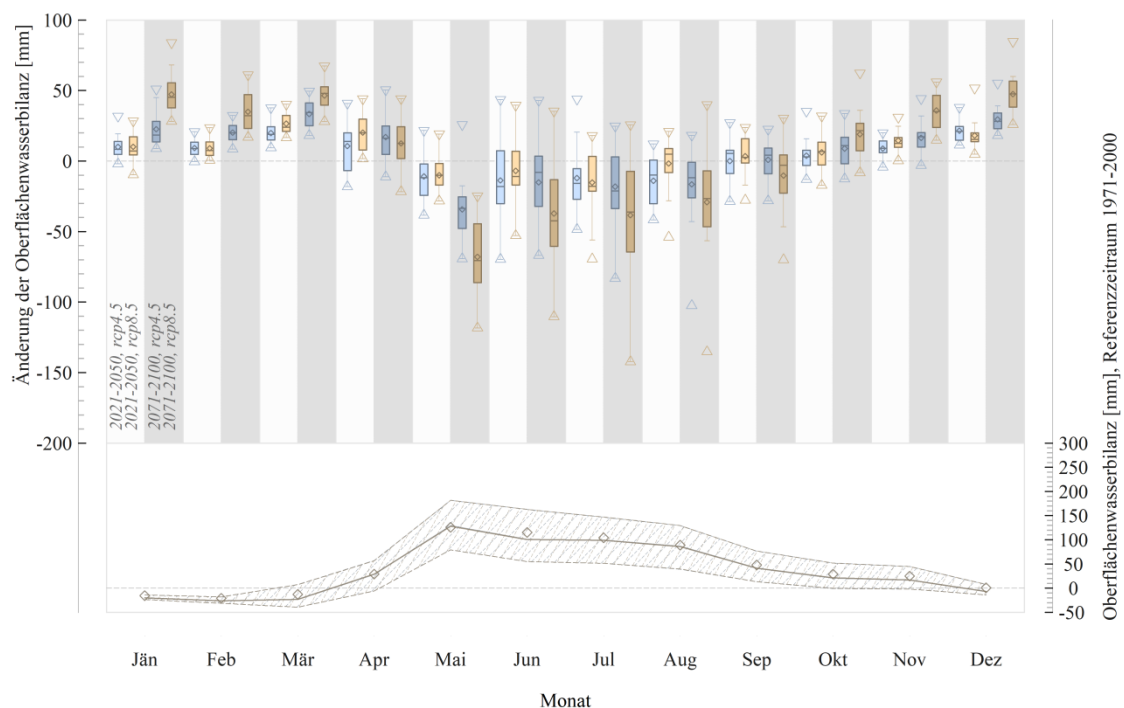


Abbildung 3-20: Oberflächenwasserbilanz für Bundesland Salzburg, Höhenstufe 1500-1700 m

Die Szenarien gehen für das zukünftige Klima von einem deutlich positiven Trend bei der Niederschlagsmenge in den Wintermonaten aus, was auch bei der modellierten Änderung der Oberflächenwasserbilanz markant sichtbar wird: Zwischen Oktober und April zeigt sich eine positive Änderung der Oberflächenwasserbilanz, die in der fernen Zukunft bis zu vier Mal so hoch ist wie in der nahen Zukunft. Während die Unterschiede zwischen den beiden Szenarien RCP4.5 und RCP8.5 in der nahen Zukunft sehr klein und auch im Vorzeichen nicht eindeutig sind, zeigen sich für die ferne Zukunft bei RCP8.5 etwa doppelt so hohe Änderungen wie bei RCP4.5.

Der Mai bringt für die ferne Zukunft die stärkste negative Änderung überhaupt. Hier schlägt vor allem die erwärmungsbedingt geringere Schneedecke im Frühling in diesen Höhenlagen durch. Durch das frühere Schmelzen des Schnees fehlt der Schmelzwassereintrag im Vergleich zum Referenzzeitraum bereits früher im Jahr. Während des Hochsommers ist dieser Effekt kaum noch wirksam, wodurch sich vergleichsweise meist nur leicht negative Änderungen der Oberflächenwasserbilanz ergeben. Stärker ist die negative Änderung wiederum in der fernen Zukunft in RCP8.5. Vor dem ansteigenden Trend zum Jahresende hin zeigt sich der September hinsichtlich möglicher Änderungen noch unauffällig.

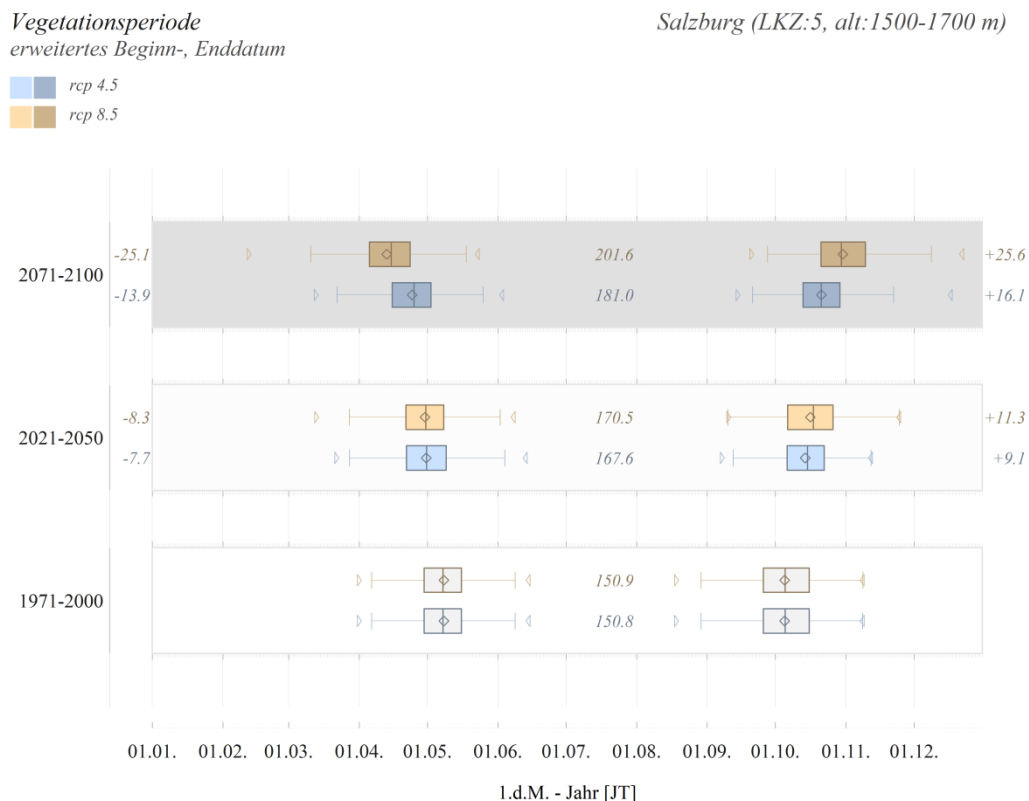


Abbildung 3-21: Vegetationsperiode für das Bundesland Salzburg, Höhenstufe 1500-1700 m

Die **Vegetationsperiode** im Höhenbereich zwischen 1500 und 1700 m erstreckt sich im langjährigen Mittel der Referenzperiode 1971-2000 von der ersten Maihälfte bis Anfang Oktober und weist damit eine durchschnittliche Dauer von 151 Tagen auf.

Die Szenarien des zukünftigen Klimas gehen aufgrund der gesicherten fortschreitenden Erwärmung naturgemäß von einer teils deutlichen Verlängerung der Vegetationsperiode aus. In der nahen Zukunft beträgt der entsprechende Zuwachs zwischen 17 Tagen bei RCP4.5 und 20 Tagen bei RCP8.5. Bei der Erweiterung der Vegetationsperiode ist das Ende im Herbst etwas stärker, nämlich um rund zwei Tage, gewichtet als der Beginn im Frühjahr. Beim Blick in die ferne Zukunft zeigt sich, dass bei RCP4.5 eine nochmalige Verlängerung der Vegetationsperiode um rund zwei Wochen erfolgt. Bei RCP8.5 ist die Erweiterung hingegen deutlich markanter modelliert. In diesem Fall würde sich die Vegetationsperiode gegenüber der nahen Zukunft noch einmal um ein Monat verlängern und würde dann von Mitte April bis Ende Oktober reichen, was eine Steigerung von 50 Tagen gegenüber der Referenzperiode bedeuten würde.

3.3.4.2.1 Höhenstufe 1700-2000 Meter

Oberflächenwasserbilanz

Salzburg (LKZ:5, alt:1700-2000 m)

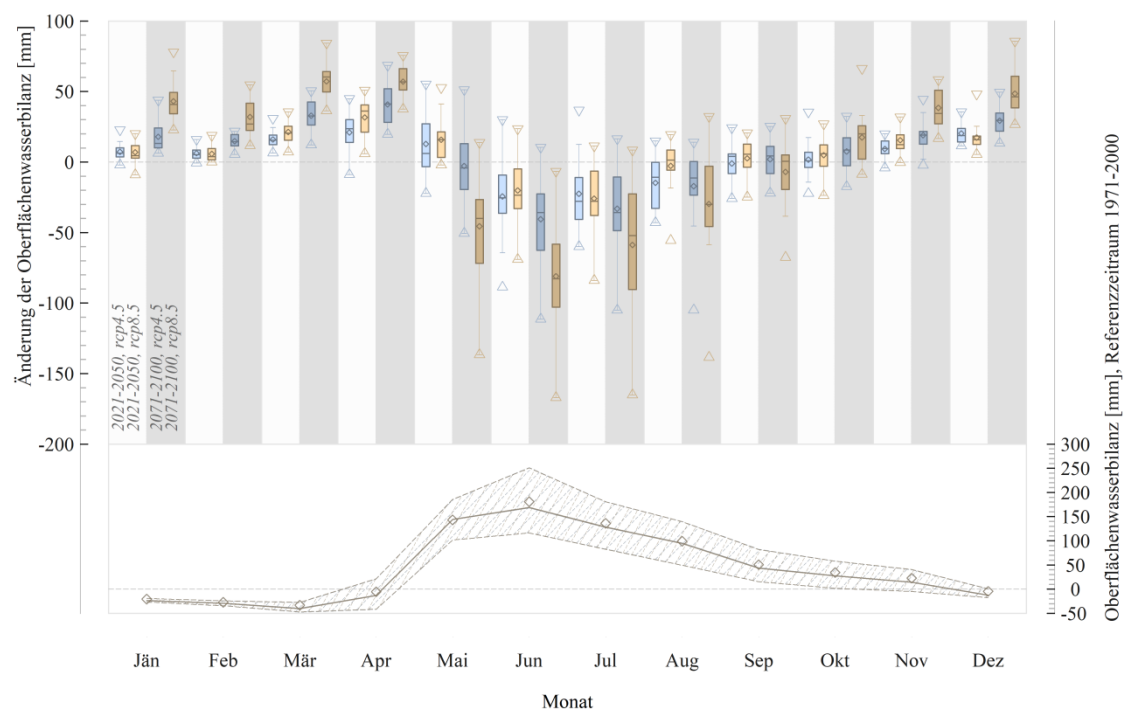


Abbildung 3-22: Oberflächenwasserbilanz für Bundesland Salzburg, Höhenstufe 1700-2000 m

Die **Oberflächenwasserbilanz** im Bereich der Hochalmen (1700 bis 2000 m) liegt in den Wintermonaten sowie im März und April im leicht bis mäßig negativen Bereich. Ab Mai steigt die Bilanz in den positiven Bereich, erreicht im Juni ihren höchsten Wert und sinkt dann

während des Sommers und Herbstes allmählich ab, bevor im Dezember wieder der Übergang in den leicht negativen Bereich erfolgt.

Der deutlich positive Trend in den zukünftigen Klimaszenarien bei der Niederschlagsmenge in den Wintermonaten wird auch bei der modellierten Änderung der Oberflächenwasserbilanz deutlich sichtbar: Zwischen Oktober und April zeigt sich eine positive Änderung der Oberflächenwasserbilanz, die in der fernen Zukunft bis zu vier Mal so hoch ist als in der nahen Zukunft. Während die Unterschiede zwischen den beiden Szenarien RCP4.5 und RCP8.5 in der nahen Zukunft sehr klein und auch im Vorzeichen nicht eindeutig sind, zeigen sich für die ferne Zukunft bei RCP8.5 bis zu drei Mal so hohe Änderungen als bei RCP4.5. Auffällig ist, dass die positive Abweichung im Gegensatz zu den niedrigeren Höhenlagen bis weit in den Frühling hinein anhält und dabei sogar noch ansteigt. Hier wird der Wassereintrag aus der erwärmungsbedingt früher schmelzenden Schneedecke sichtbar. Mai bis Juli bringen negative Änderungen der Oberflächenwasserbilanz, die für die ferne Zukunft sehr markant ausfallen. Hier schlägt die zu dieser Jahreszeit im Vergleich zur Referenzperiode zukünftig häufig bereits fehlende Schneedecke, die durch ihr Abschmelzen einen Wassereintrag liefern könnte, durch. Erst ab August fällt dieser Effekt weg, wodurch sich dann vergleichsweise geringere negative Änderungen der Oberflächenwasserbilanz ergeben. Vor dem ansteigenden Trend zum Jahresende hin zeigt sich der September hinsichtlich möglicher Änderungen noch unauffällig.

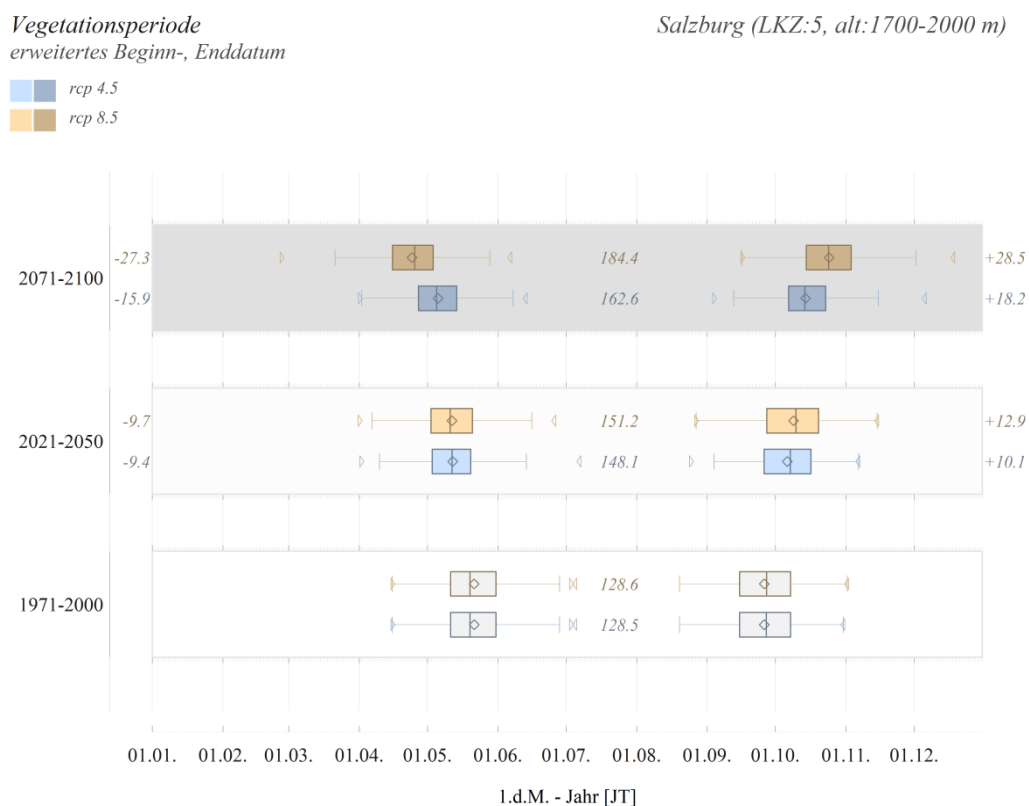


Abbildung 3-23: Vegetationsperiode für das Bundesland Salzburg, Höhenstufe 1700-2000 m

Die **Vegetationsperiode** im Höhenbereich zwischen 1700 und 2000 m erstreckt sich im langjährigen Mittel der Referenzperiode 1971-2000 von Mitte Mai bis Ende September und weist damit eine durchschnittliche Dauer von 129 Tagen auf.

Die Szenarien des zukünftigen Klimas gehen aufgrund der gesicherten fortschreitenden Erwärmung naturgemäß von einer teils deutlichen Verlängerung der Vegetationsperiode aus. In der nahen Zukunft beträgt der entsprechende Zuwachs zwischen 19 Tagen bei RCP4.5 und 21 Tagen bei RCP8.5. Bei der Erweiterung der Vegetationsperiode ist das Ende im Herbst etwas stärker, nämlich um rund zwei Tage, gewichtet als der Beginn im Frühjahr. Beim Blick in die ferne Zukunft zeigt sich, dass bei RCP4.5 eine nochmalige Verlängerung der Vegetationsperiode um rund zwei Wochen erfolgt. Bei RCP8.5 ist die Erweiterung hingegen deutlich markanter modelliert. In diesem Fall würde sich die Vegetationsperiode gegenüber der nahen Zukunft um 33 Tage verlängern und würde dann von Ende April bis in die zweite Oktoberhälfte reichen, was einer Steigerung von 55 Tagen gegenüber der Referenzperiode gleichkommt.

3.3.4.3 Vergleich der Entwicklung in Zusammenschau aller Höhenstufen

Die höchsten Werte der **Oberflächenwasserbilanz** – also jene Monate, in denen der Boden das meiste Wasser bekommt – gibt es im Mai, Juni und Juli, wobei das der höchste Wert im Juni auf den Hochalmen erreicht wird (ca. 200 mm). Im mittleren Niveau liegt das Maximum im Mai bei ca. 150 mm und im tiefsten Almenniveau verteilen sich die höchsten Monatswerte mit ca. 100 mm gleichmäßig auf die Monate Mai, Juni und Juli.

Mit zunehmender Seehöhe nimmt die Verdunstung auf Grund der niedrigeren Temperaturen ab, wodurch auf den Hochalmen mehr für den Boden (Versickern und/oder Abfließen) übrigbleibt. Der Regeneintrag dürfte im Sommer in den untersuchten Niveaus ungefähr gleich sein.

Die Änderung der Oberflächenwasserbilanz im Höhenvergleich

Der Sommer wird überall trockener für den Boden. Bis ca. 2050 geht es in den Monaten Mai bis Juli um einen Verlust von ca. 20 mm pro Monat, in den Hochalmen und ca. 30 mm. Ab 2050 sind die Auswirkungen bei ungünstiger Klimawandelentwicklung (RCP8.5) deutlich stärker, der Sommer wird deutlich trockener auf den Almen:

In Höhen bis 1500 m Seehöhe stehen im wasserreichsten Monat (aus Sicht des Bodens) statt 100 mm nur noch 30 bis 50 mm zur Verfügung.

In Höhen bis 1700 m Seehöhe stehen im wasserreichsten Monat statt 150 mm nur noch 100 bis 110 mm zur Verfügung.

In Höhen bis 2000 m Seehöhe stehen im wasserreichsten Monat statt 200 mm nur noch 120 bis 150 mm zur Verfügung.

Im Gegenzug werden in allen Niveaus im Herbst und Winter in naher Zukunft 10 bis 20 mm pro Monat mehr dem Boden zur Verfügung stehen (versickern oder abfließen), in ferner Zukunft bis 50 mm pro Monat mehr.

Die Änderung der Vegetationsperiode im Höhenvergleich

Der Höheneffekt ist nicht so stark wie bei der Oberflächenwasserbilanz. In naher Zukunft (bis zum Jahr 2050) nimmt die Vegetationsperiode in allen Niveaus um 15 bis 20 Tage zu. In ferner Zukunft (bis 2100) beträgt die Zunahme in allen Niveaus etwa 50 Tage.

3.3.4.4 Vergleich der Entwicklung in den einzelnen Jahreszeiten

Winter

Aktuell ist der Boden im Winter mit zunehmender Höhe durch die Schneedecke isoliert und bekommt kein oder nur wenig Wasser. Daher ergibt sich eine negative Oberflächenwasserbilanz.

In der Zukunft schmilzt der Schnee früher, der Schnee ist wärmer und feuchter, und es regnet häufiger und mehr. Damit kommt im Randwinter und später auch im Kernwinter zukünftig mehr bzw. deutlich mehr Schmelz- bzw. Niederschlagswasser in den Boden. Diese Bodenfeuchtigkeit ist in dieser Zeit aber nicht für das Wachstum nutzbar. Die Bodensättigung nimmt zu, der Abfluss aus diesen Höhen setzt früher ein.

Frühling

Im April ist der Schnee auf den Hochalmen zukünftig im Mittel schon früher geschmolzen oder wasserdurchlässig. Gleichzeitig verdunstet noch nicht so viel wie im Mai. In Summe bekommt der Boden in den Hochalmen daher mehr bis deutlich mehr Wasser als jetzt, unterhalb von 1500 m sind die Verhältnisse noch vergleichbar mit der Gegenwart.

Der Mai wird trockener in allen Niveaus, in ferner Zukunft sogar deutlich trockener – nicht, weil es nicht regnet, sondern weil die Verdunstung in Zukunft deutlich stärker sein wird.

Sommer

Der Sommer wird trockener für den Boden – in der fernen Zukunft im ungünstigsten Klimaszenario sogar deutlich trockener. Die primäre Ursache ist die stark steigende Verdunstung in Folge der Erwärmung. Begleitend nimmt die Wahrscheinlichkeit für längere niederschlagsfreie Zeiten zu.

Herbst

September und Oktober sind jene Monate, in denen sich für den Boden am wenigsten ändert. Im Spätherbst bekommt der Boden tendenziell wieder mehr Wasser als heute, weil der Niederschlag eher als Regen fällt und eine isolierende Winterschneedecke im November in Zukunft deutlich seltener wird.

3.3.5 Fazit zu Klimaänderungssignalen in der Almwirtschaft

Für die Almen als eine der wesentlichen Strukturen der Landwirtschaft in den alpinen Regionen des Bundeslandes Salzburg sind die erwarteten Änderungen von Temperaturen und Niederschlagsmengen im Klima der Zukunft essentiell. Neben einem veränderten Wasserhaushalt mit seinen kleinräumigen Unterschieden und differenziert zu betrachtenden Auswirkungen besteht mit der allgemeinen Erwärmung der kommenden Jahrzehnte ein Faktor, der alle Höhenlagen einschließt und speziell auch in den alpinen Hochlagen positive Auswirkungen nach sich ziehen könnte.

Die zukünftig feuchteren Wintermonate heben die bislang leicht bis mäßig negative Oberflächenwasserbilanz in dieser Jahreszeit auf ein ausgeglichenes oder teilweise sogar leicht positives Niveau. Inwieweit die feuchteren Verhältnisse in diesen Zeiträumen positive Effekte auf den Wasserhaushalt während der Frühjahrs- und Sommermonate haben können, erscheint aufgrund der geringen Bodenmächtigkeit und dem damit verbundenen geringeren Wasserhaltevermögens in den Almregionen fraglich. Die bisher deutlich positiven Oberflächenwasserbilanzen ab dem Frühling werden in zukünftigen Klimaverhältnissen eine deutliche Verminderung erfahren und sich vor allem in ferner Zukunft unter Umständen einem fast ausgeglichenen Saldo annähern. Während die stärksten Rückgänge in tiefer gelegenen Almregionen durch die bereits im Frühling zukünftig geringere Schneedecke recht früh, also im Mai, berechnet werden, zeigt sich dieser Effekt für hoch gelegene Almen erst im Frühsommer, meist erst im Juni. In den Hochlagen ist der Rückgang auch deutlich stärker ausgeprägt als in geringeren Seehöhen, da die Winterschneedecke hier mächtiger ist und deren (zukünftig zum jeweiligen Zeitpunkt fehlender) Wassereintrag beim Schmelzen größer ist.

Die höheren Temperaturen der Klimazukunft (und damit auch die geringeren Andauer der Winterschneedecke) beeinflussen die Dauer der im alpinen Bereich ohnehin sehr kurzen Vegetationsperiode stark. Sowohl zu Beginn der Vegetationsperiode im Frühling als auch zu deren Ende im Herbst ergibt sich eine deutliche Ausweitung. Je höher die Almregion, umso mehr verlängert sich die Vegetationsperiode speziell in der fernen Zukunft. Dabei sind aber zum Ende des Jahrhunderts für die unterschiedlichen Szenarien große Unterschiede auszumachen. Die längeren Vegetationsperioden lassen sowohl im Frühling als auch im Herbst eine längere landwirtschaftliche Nutzung der Almregionen erwarten.

4 Wasserwirtschaft, Hydrographie, Gewässerschutz

4.1.1 Fragestellungen für Hydrographie, Wasserwirtschaft, Gewässerschutz *aus den Workshops*

Die Fragen zum Klimawandel werden in vier unterschiedliche Themenkreise gruppiert.

Grundwasserbildung: Wird die Bewässerung ein Thema? (Querbeziehung zum Kapitel Landwirtschaft). Ist aus klimatologischer Sicht ein möglicher Nutzungskonflikt zu Industrie und Landwirtschaft erkennbar?

Wie ändert sich der Winter in Bezug auf die Grundwasserbildung? Gibt es mehr Regen im November und Dezember, und ist der Boden weniger oft gefroren? Ändern sich jene Wochen, in denen kein Niederschlag in den Boden kommt? Grundwasserbildung passiert primär in der „Nicht-Vegetationsperiode“ zwischen November und März. Ändert sich daran etwas? Von April bis Oktober ist nur stärkerer Dauerregen relevant (*ein Teil rinnt ab, einen Anteil nimmt der Boden auf und ein großer Anteil wird direkt von Pflanzen aufgenommen*). Ist in Bezug auf die Entwicklung stärkeren Dauerregens zwischen April und Oktober etwas zu erkennen?

Seen: Ändert sich die Wasserqualität und der Rahmen für die Ökologie im stehenden Gewässer im Hochsommer? Ein trockener und heißer Sommer senkt die Wasserqualität. Für die Ökologie sind zudem die Durchmischung und die Oberflächentemperatur wichtige Faktoren. Der Wind ist das treibende Phänomen im Herbst und Frühling für die Durchmischung, die Oberflächenwassertemperatur ist näherungsweise über die Lufttemperatur abbildbar.

Fließgewässer: Wie entwickelt sich die Wassertemperatur bei nicht-gletscherbeeinflussten Gewässern? Die Wassertemperatur ist eine wichtige Rahmenbedingung für das Ökosystem, ein Anstieg könnte die Artenzusammensetzung verändern. Wie ändert sich das Niederwasserverhalten der Vorfluter (vor allem im Winter)? In Wechselwirkung mit dem Kläranlageneintrag und Einträgen aus Wintertourismus und Industrie kann sich die Wasserqualität dadurch ändern.

Energieversorgung: Ändert sich das gesamte zur Verfügung stehende Wasser zur Energiegewinnung? Gibt es zeitliche Veränderungen im Jahreszyklus? Als Beispiel wird der Lungau als geschlossenes Einzugsgebiet für die obere Mur herangezogen.

4.1.2 Kompakte Kernaussagen der Studie zu Hydrographie, Wasserwirtschaft, Gewässerschutz

Grundwasserbildung: Die Grundwasserbildung wird in der vegetationsfreien Zeit – auch wenn sich die Vegetationsperiode ausdehnt und die vegetationsfreie Zeit kürzer wird – in allen Regionen zunehmen. Dies geschieht einerseits, weil mehr Niederschlag im Winter fällt und mehr Regen dabei ist, andererseits, weil die isolierende Schneedecke weniger oder durchlässiger wird und der Boden weniger lang gefroren ist. Ein ausgeprägter Nutzungskonflikt zur Landwirtschaft ist aus klimatologischer Sicht am ehesten im Flachgau und am ehesten in der fernen Zukunft zu erkennen.

Seen: Die Wasserqualität im Sommer wird tendenziell abnehmen. Einerseits, weil weniger frisches Wasser in die Salzburger Flachlandseen kommt, andererseits, weil die Oberflächentemperaturen steigen werden. In der fernen Zukunft sind beide Effekte stark ausgeprägt.

Niederwassersituation: Von Juni bis September werden die Vorfluter in Zukunft weniger Wasser führen. Ab November und im Winter werden die Vorfluter im Mittel höhere Pegelstände aufweisen.

Flussökologie: Die Bäche und kleineren Flüsse ohne Gletscherabfluss werden weniger Wasser im Sommer führen, die Wassertemperatur wird gleichzeitig steigen.

Energieversorgung durch Wasserkraft: Es kommt zu einer jahreszeitlichen Verschiebung. Der Durchfluss im Sommer wird sinken, der Durchfluss im Spätherbst und Winter wird vor allem in der fernen Zukunft deutlich ansteigen.

4.1.3 Fragestellungen, die noch nicht beantwortet werden konnten und Verbesserungsvorschläge

Grundwasserbildung: Die beabsichtigte Suche nach einer einfachen Korrelation zwischen Langzeit-Oberflächenwasserbilanz (über viele Monate oder Jahre hinweg) und ausgewählten Grundwasserpegeln als parametrisierter und stark vereinfachender Ansatz war nicht durchführbar. Eine erste Abschätzung ergab, dass der Vergleich mit historischen Messdaten und der sehr hohe Modellierungsaufwand den Rahmen der Studie deutlich gesprengt hätten.

Verbesserungsansatz: Koppelung eines einfachen hydrologischen Grundwassermodells mit dem Klimamodell. Bei Grundwasserkörpern welche durch Flüsse gespeist werden, könnte man mit dem Klimawandelmodell (ÖKS15) Einzugsgebiete und deren Veränderungen rechnen. Siehe dazu Wasserenergiegewinnung im Kapitel 4.6. Bei Grundwasserkörpern welche durch lokale

Einzugsgebiete gespeist werden, könnte man ein zweidimensionales Oberflächenmodell mit Berücksichtigung von Boden und Abfluss koppeln.

Seen: Die beabsichtigte Auswertung von Starkwindsituationen im Flachgau zur Durchmischung der Flachlandseen ist derzeit nicht möglich. Die ÖKS15-Datensätze und regionale Klimaentwicklungsmodelle liefern in der derzeitigen Modellgeneration nicht die inhaltliche Qualität, um hier haltbare Aussagen treffen zu können. **Verbesserungsansatz:** Die nachfolgende Klimaprojektion (ÖKS23 etc.) könnte diese Fragestellung lösen.

4.1.4 Beschreibung und Interpretation der Abbildungen

Für die Analyse der zukünftigen Entwicklung der Wasserwirtschaft im Bundesland Salzburg hat man sich zum Ziel gesetzt, die Auswirkungen der klimatischen Änderungen in Bezug auf unterschiedliche Fragestellungen und jeweils für dafür repräsentative Regionen auszuwerten. Für die betreffenden Gebiete wurde eine repräsentative Flächenmittelung vollzogen.

Als spezifischer Indikator wurde zunächst die **Oberflächenwasserbilanz** für die jeweiligen Klimaszenarien der Zukunft berechnet: Dieser Indikator besteht aus der klimatischen Wasserbilanz (Niederschlagssumme minus Summe der potentiellen Verdunstung), die über den Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) dargestellt wird. Zusätzlich wird auch die Schneedecke simuliert und in den SPEI-Index (mit Bezug auf den Boden) integriert. Das heißt, dass die Bildung einer Schneedecke im Herbst und Frühwinter, deren isolierende Wirkung auf den Boden im Hochwinter und der zeitverzögerte Wassereintrag durch das Schmelzen im Frühjahr mit abgebildet wird und dadurch eine umfassende und realitätsnahe Beurteilung möglich ist.

Im unteren Teil aller Abbildungen ist aus Vergleichsgründen die Oberflächenwasserbilanz des Referenzzeitraums 1971-2000 dargestellt. Im oberen Teil sind die Berechnungen der Änderung der Oberflächenwasserbilanz für die „nahe Zukunft“ (2021-2050) weiß hinterlegt, die Berechnungen für die „ferne Zukunft“ (2071-2100) sind grau hinterlegt. Alle Angaben erfolgen in Millimeter.

4.2 Grundwasserneubildung

Die Fragestellung nach der Grundwasserneubildung in der vegetationsfreien Zeit betrifft das gesamte Bundesland in unterschiedlicher Weise. Dafür wurden drei Regionen ausgewählt – jeweils abgedeckt durch die politischen Bezirksgrenzen von Flachgau, Pongau und Lungau. Eine weitere Spezifizierung auf kleinere Gebiete erscheint in diesem Zusammenhang nicht sinnvoll.

Die Berechnungen erfolgten in Monatsauflösung für den relevanten vegetationsfreien Zeitraum zwischen November und Februar. Zudem sind auch die Werte für den gesamten Zeitraum angeführt.

4.2.1 Grundwasserneubildung im Flachgau

Die **Oberflächenwasserbilanz** liegt im Spätherbst und Winter der Gegenwart im mäßig positiven Bereich. Dabei erfolgt vom Herbst bis zum Jänner ein langsames Absinken, danach wieder ein leichter Anstieg.

Die Szenarien gehen für das zukünftige Klima von einer Steigerung der Niederschlagsmenge im Winterhalbjahr aus. Dieser Trend wird auch bei der modellierten Änderung der Oberflächenwasserbilanz deutlich sichtbar: In allen Monaten zeigt sich eine positive Änderung der Oberflächenwasserbilanz, die in der fernen Zukunft bis zu drei Mal so hoch ist wie in der nahen Zukunft. Während die Unterschiede zwischen den beiden Szenarien RCP4.5 und RCP8.5 in der nahen Zukunft sehr klein sind, zeigen sich für die ferne Zukunft bei RCP8.5 etwa doppelt so hohe Änderungen wie bei RCP4.5.

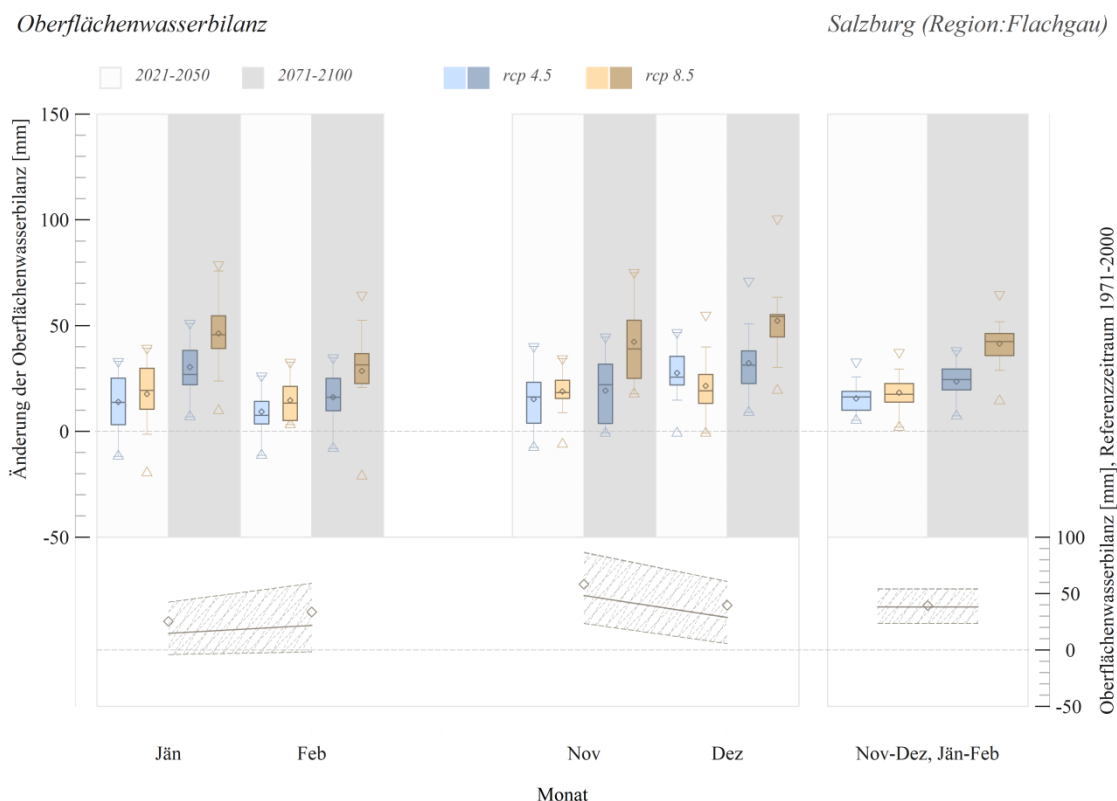


Abbildung 4-1: Oberflächenwasserbilanz für den Flachgau

4.2.2 Grundwasserneubildung im Pongau

Die **Oberflächenwasserbilanz** liegt im Winter auf Grund einer isolierenden Schneedecke im leicht negativen Bereich. Nur der November weist noch eine leicht positive Bilanz auf.

Die Szenarien gehen für das zukünftige Klima von einer Steigerung der Niederschlagsmenge und einer durchlässigeren oder zunehmend fehlenden Schneedecke im Winterhalbjahr aus. Dieser Trend wird auch bei der modellierten Änderung der Oberflächenwasserbilanz deutlich sichtbar: In allen Monaten zeigt sich eine positive Änderung der Oberflächenwasserbilanz, die in der fernen Zukunft bis zu vier Mal so hoch ist wie in der nahen Zukunft. Während die Unterschiede zwischen den beiden Szenarien RCP4.5 und RCP8.5 in der nahen Zukunft sehr klein und auch vom Vorzeichen her nicht immer eindeutig sind, zeigen sich für die ferne Zukunft bei RCP8.5 etwa doppelt so hohe Änderungen als bei RCP4.5, weil der Niederschlag zunehmend als Regen fällt und direkt in den Boden geht.

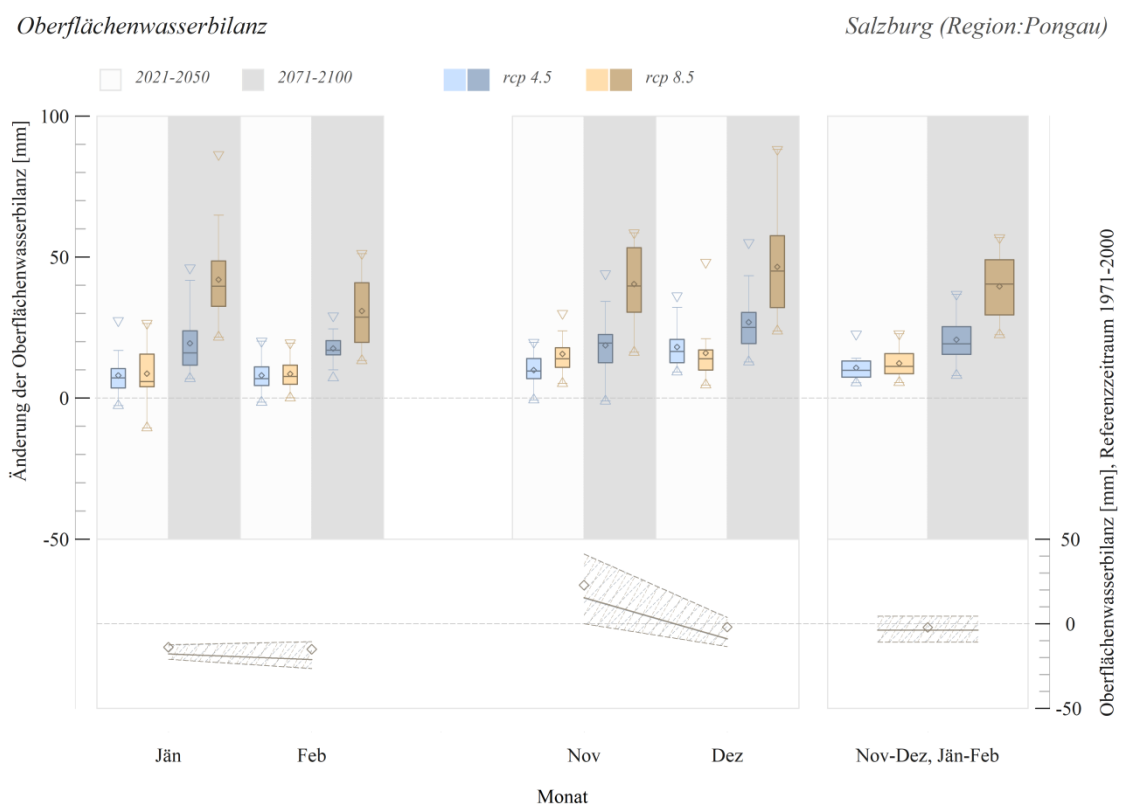


Abbildung 4-2: Oberflächenwasserbilanz für den Pongau

4.2.3 Grundwasserneubildung im Lungau

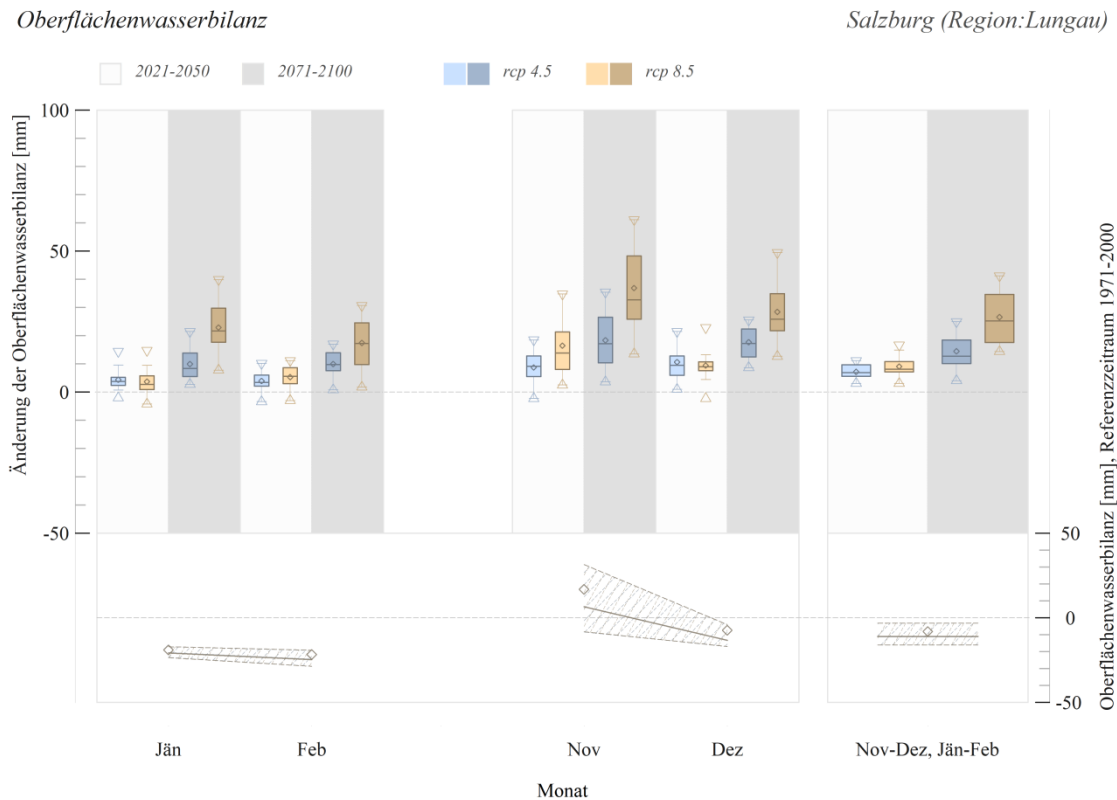


Abbildung 4-3: Oberflächenwasserbilanz für Lungau

Die **Oberflächenwasserbilanz** liegt im Winter im leicht negativen Bereich, aufgrund des mittleren Vorhandenseins einer Schneedecke. Nur der November weist noch eine leicht positive Bilanz auf.

Die Szenarien gehen für das zukünftige Klima von einer Steigerung der Niederschlagsmenge im Winterhalbjahr aus, begleitet von einer geringeren bzw. durchlässigeren Schneedecke. Dieser Trend wird auch bei der modellierten Änderung der Oberflächenwasserbilanz deutlich sichtbar: In allen Monaten zeigt sich eine positive Änderung der Oberflächenwasserbilanz, die in der fernen Zukunft bis zu drei Mal so hoch ist wie in der nahen Zukunft. Während die Unterschiede zwischen den beiden Szenarien RCP4.5 und RCP8.5 in der nahen Zukunft sehr klein und auch vom Vorzeichen her nicht immer eindeutig sind, zeigen sich für die ferne Zukunft bei RCP8.5 etwa doppelt so hohe Änderungen wie bei RCP4.5.

4.3 Wasserqualität der Salzburger Flachlandseen

Für die Abschätzung der Wasserqualität der Seen im Klima der Zukunft wurde als repräsentatives Zielgebiet die Region um den Wallersee ausgewählt – in Form der Gemeindegebiete aller politischen Gemeinden mit Anteil am Wallersee.

Die Berechnungen erfolgten in Monatsauflösung für den relevanten Zeitraum zwischen August und Oktober. Zudem sind auch die Werte für den gesamten Zeitraum angeführt.



Abbildung 4-4: Oberflächenwasserbilanz für die Region Wallersee

Die **Oberflächenwasserbilanz** liegt im Spätsommer und Herbst im deutlich positiven Bereich mit leicht absinkender Tendenz von Monat zu Monat.

Die Szenarien gehen für das zukünftige Klima von gleichbleibenden oder leicht sinkenden Niederschlagsmengen und einer stärkeren Verdunstung in Folge von höheren Temperaturen im Sommer aus. Dieser Trend wird auch bei der modellierten Änderung der Oberflächenwasserbilanz sichtbar: Im August und September zeigen sich für die nahe Zukunft leichte negative Änderungen der Oberflächenwasserbilanz, für die ferne Zukunft wird dieser Trend etwas markanter und verdoppelt sich bei RCP8.5. Konkret zeigt das „business-as-usual“-Szenario eine Abnahme von rund einem Drittel im Vergleich zur Gegenwart, wodurch deutlich

weniger frisches Wasser für den Wallersee im Sommer zur Verfügung steht. Im Oktober dreht sich der Trend um und weist speziell in der fernen Zukunft wieder in Richtung einer positiven Änderung der Oberflächenwasserbilanz.

Parallel zum Umstand, dass im Sommer der Zukunft der Wallersee weniger frisches Wasser bekommt ist auch davon auszugehen, dass die Oberflächentemperatur des Sees zunehmen wird. Die Oberflächentemperatur ist eng verknüpft mit „Hitzewellen“ und heißen Tagen. Diese Hitzetage werden in allen Zukunftsszenarien zunehmen – vor allem die ferne Zukunft zeigt in den Monaten Juli und August eine starke Zunahme.

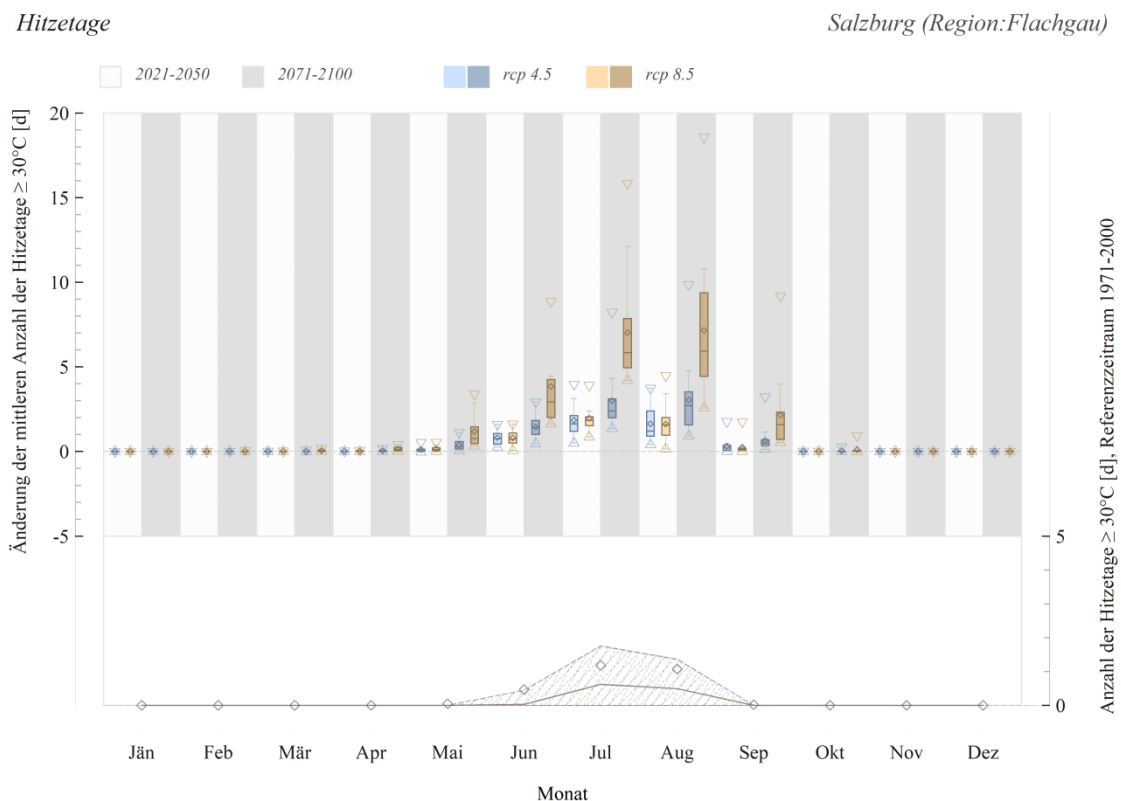


Abbildung 4-5: Anzahl der heißen Tage für die Region Flachgau

4.4 Niederwasserverhalten im Enns-Pongau

Die Beurteilung des zukünftigen Niederwasserverhaltens in den Vorflutern erfolgt durch Betrachtung der Region Ennspongau. Der Oberlauf der Enns wurde als repräsentativ für diese die Bäche und kleineren Flüsse betreffenden Fragestellungen erachtet.

Die Berechnungen erfolgten in Monatsauflösung für die relevanten Zeiträume zwischen Juli und November sowie zwischen Juli und Jänner. Zudem sind auch die Werte für die gesamten Zeiträume angeführt.

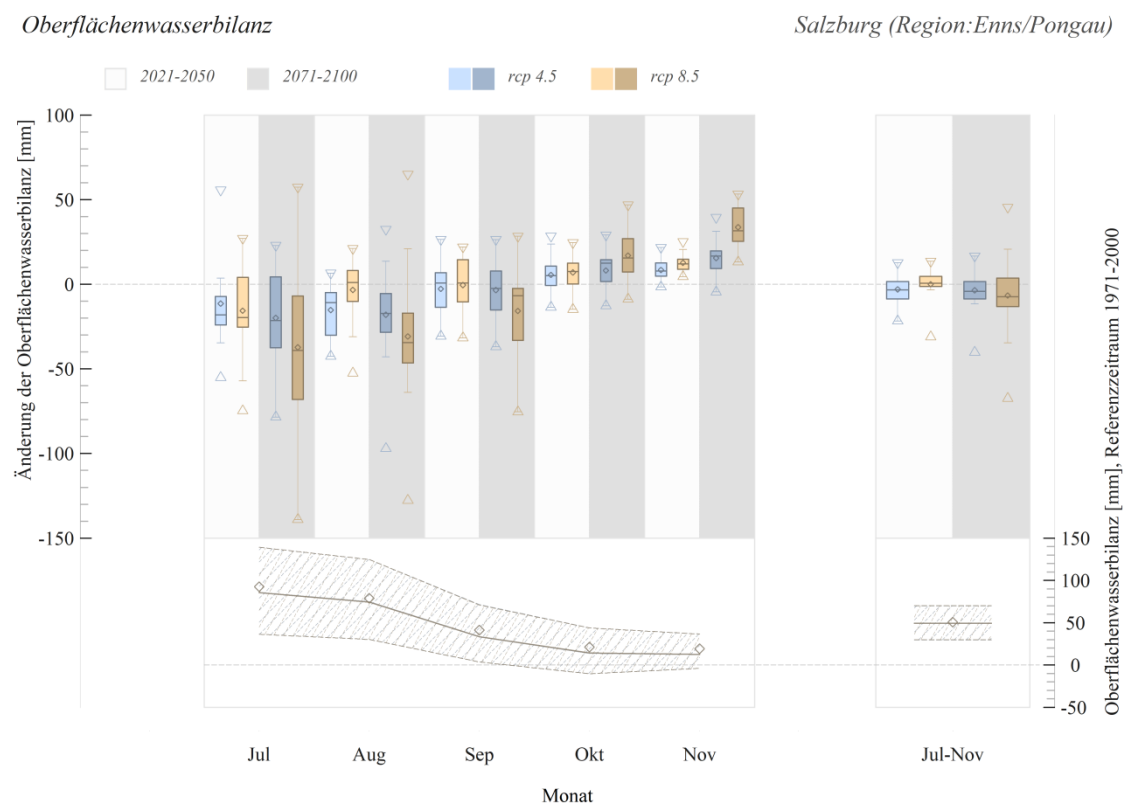


Abbildung 4-6: Oberflächenwasserbilanz für die Region Enns/Pongau, VII-XI

Die **Oberflächenwasserbilanz im Sommer** der Gegenwart liegt im deutlich positiven Bereich mit absinkender Tendenz von Monat zu Monat. Im Herbst (Oktober und November) ist die Bilanz im Mittel nur noch leicht positiv (im Mittel bei 20 mm pro Monat).

Die Szenarien gehen für das zukünftige Klima von gleichbleibenden oder leicht sinkenden Niederschlagsmengen im Sommer sowie steigenden Niederschlagsmengen im Winterhalbjahr aus. Dieser Trend wird auch bei der modellierten Änderung der Oberflächenwasserbilanz sichtbar: Zwischen Juli und September zeigen sich für die nahe Zukunft leichte negative Änderungen der Oberflächenwasserbilanz, für die ferne Zukunft wird dieser Trend etwas markanter und verdoppelt sich bei RCP8.5., wodurch im fernen Sommer deutlich weniger Wasser in den Vorfluter gelangt. Ab Oktober dreht sich der Trend um und weist zum Winter hin

speziell in der fernen Zukunft wieder in Richtung einer deutlich positiven Änderung der Oberflächenwasserbilanz, im Mittel wird der Durchfluss der Vorfluter daher zunehmen.

Für den langen Zeitraum zwischen Juli und November ergeben sich weder für die nahe noch für die ferne Zukunft signifikante Veränderungen der Oberflächenwasserbilanz. Bei Vorflutern, die auf große Einzugsgebiete und lange Zeiträume reagieren, wird sich daher in Zukunft wenig ändern.

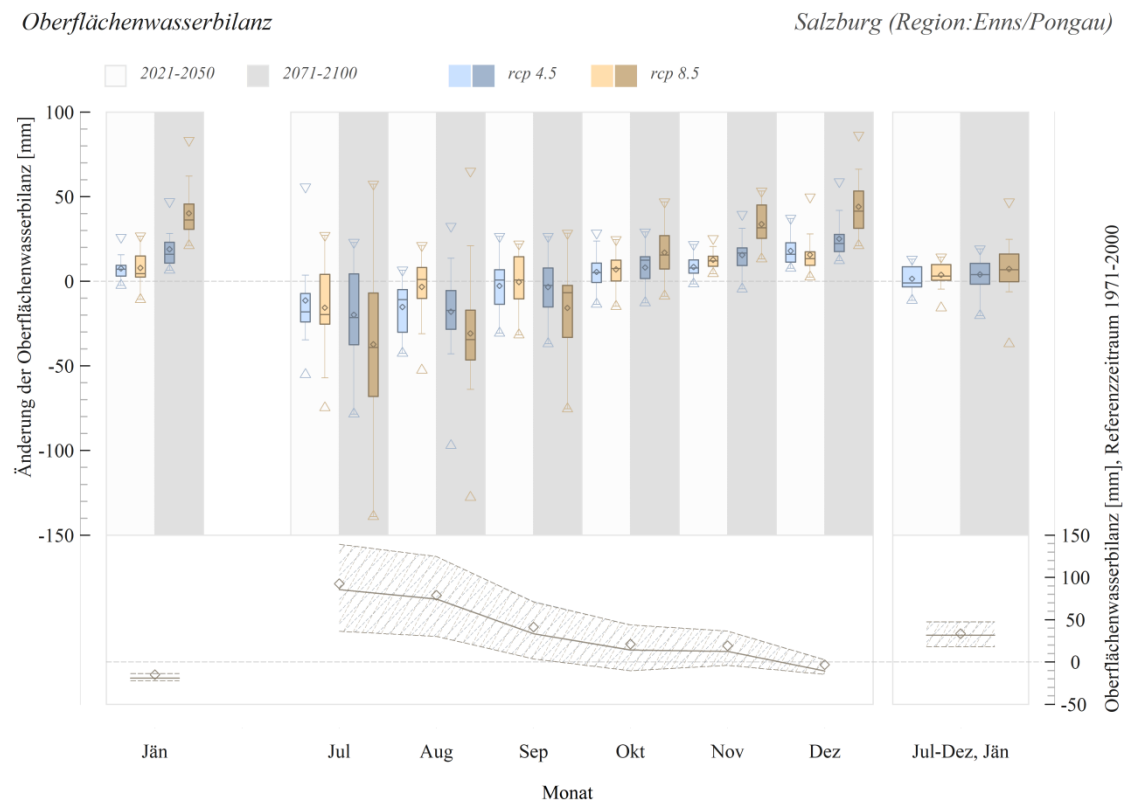


Abbildung 4-7: Oberflächenwasserbilanz für die Region Enns/Pongau, VII-I

Die **Oberflächenwasserbilanz zwischen Hochsommer und Hochwinter** liegt bis September im mäßig positiven Bereich mit absinkender Tendenz von Monat zu Monat. Im Herbst ist die Bilanz nur noch leicht positiv, im Winter auf Grund der Schneedecke negativ.

Die Szenarien gehen für das zukünftige Klima von gleichbleibenden oder leicht sinkenden Niederschlagsmengen und stärkerer Verdunstung im Sommer sowie steigenden Niederschlagsmengen und abnehmender bzw. durchlässigerer Schneedecke im Winterhalbjahr aus. Dieser Trend wird auch bei der modellierten Änderung der Oberflächenwasserbilanz sichtbar: Zwischen Juli und September zeigen sich für die nahe Zukunft leichte, negative Änderungen der Oberflächenwasserbilanz, für die ferne Zukunft wird dieser Trend deutlich markanter und verdoppelt sich bei RCP8.5. Im Hochsommer könnte die Oberflächenwasserbilanz in diesem Szenario fast in Richtung einer ausgeglichenen Bilanz abrutschen. Ab Oktober dreht sich der Trend um, speziell in der fernen Zukunft ergeben sich

zum Winter hin von Monat zu Monat deutlichere positive Änderungen der Oberflächenwasserbilanz. Insgesamt ergeben sich für den betrachteten Zeitraum zwischen Juli und Jänner weder für die nahe noch für die ferne Zukunft signifikante Veränderungen der Oberflächenwasserbilanz.

4.5 Flussgewässerökologie im Enns-Pongau

Die Beurteilung der zukünftigen Flussgewässerökologie erfolgt durch Betrachtung der Region Ennspongau. Der Oberlauf der Enns wurde als repräsentativ für diese die Bäche und kleineren Flüsse betreffenden Fragestellungen erachtet.

Die Berechnungen erfolgten in Monatsauflösung für den relevanten Zeitraum zwischen Juni und September. Zudem sind auch die Werte für den gesamten Zeitraum angeführt.

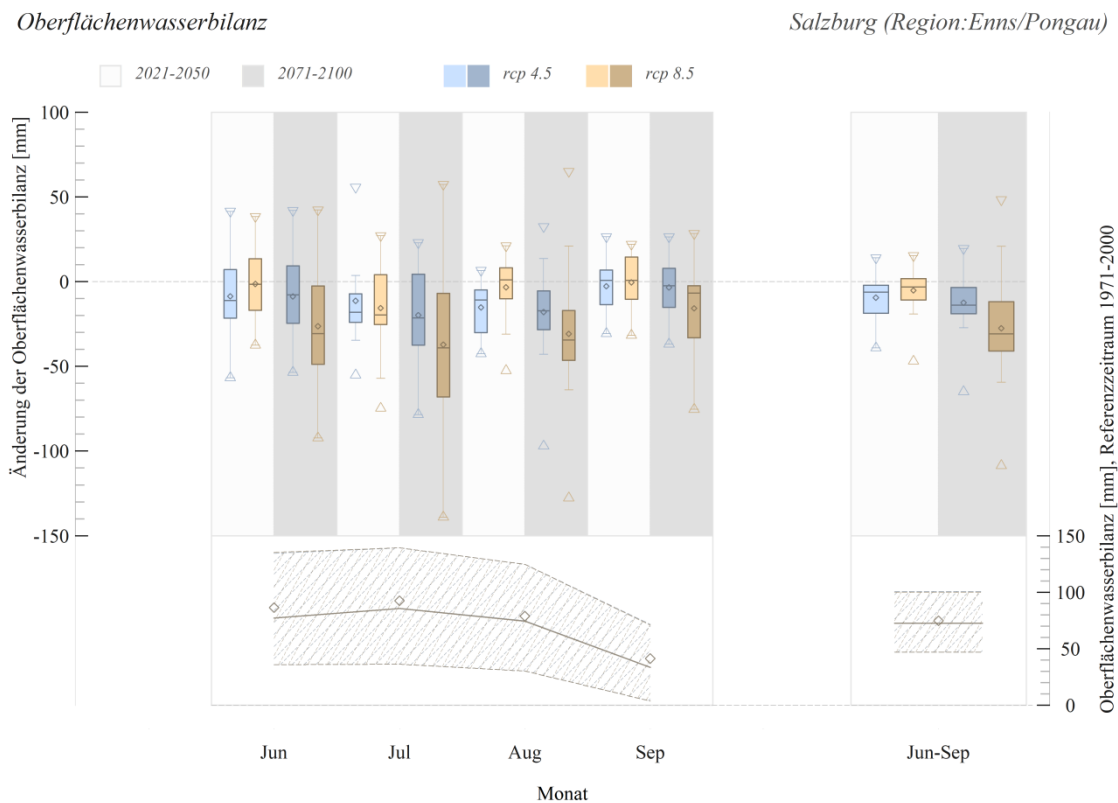


Abbildung 4-8: Oberflächenwasserbilanz für die Region Enns/Pongau, VI-IX

Die **Oberflächenwasserbilanz im Sommer und Frühherbst** liegt im deutlich positiven Bereich, eine absinkende Tendenz zeigt sich erst zum Herbst hin.

Die Szenarien gehen für das zukünftige Klima von gleichbleibenden oder leicht sinkenden Niederschlagsmengen im Sommer aus. Dieser Trend wird auch bei der modellierten Änderung der Oberflächenwasserbilanz sichtbar: In allen Monaten zeigen sich für die nahe Zukunft leichte

negative Änderungen der Oberflächenwasserbilanz, für die ferne Zukunft wird dieser Trend etwas markanter und verdoppelt sich bei RCP8.5. Im Hochsommer könnte die Oberflächenwasserbilanz in diesem Szenario fast in Richtung einer ausgeglichenen Bilanz abrutschen. Insgesamt ergibt sich für den betrachteten Zeitraum zwischen Juni und September in naher Zukunft noch keine signifikante Veränderung der Oberflächenwasserbilanz. Erst für die ferne Zukunft muss speziell im „business-as-usual“-Szenario von einer markanteren negativen Änderung ausgegangen werden.

4.6 Energiegewinnung durch Wasserkraft im Lungau

Zur Beantwortung der Frage nach den zukünftigen Voraussetzungen für die Energiegewinnung durch Wasserkraft wurde die Modellierung für das Einzugsgebiet der Mur – somit durch Betrachtung der Veränderungen in der Region Lungau – ausgewählt.

Die Berechnungen erfolgten in Monatsauflösung für das gesamte Jahr. Zudem sind auch die Werte für den gesamten Zeitraum angeführt.

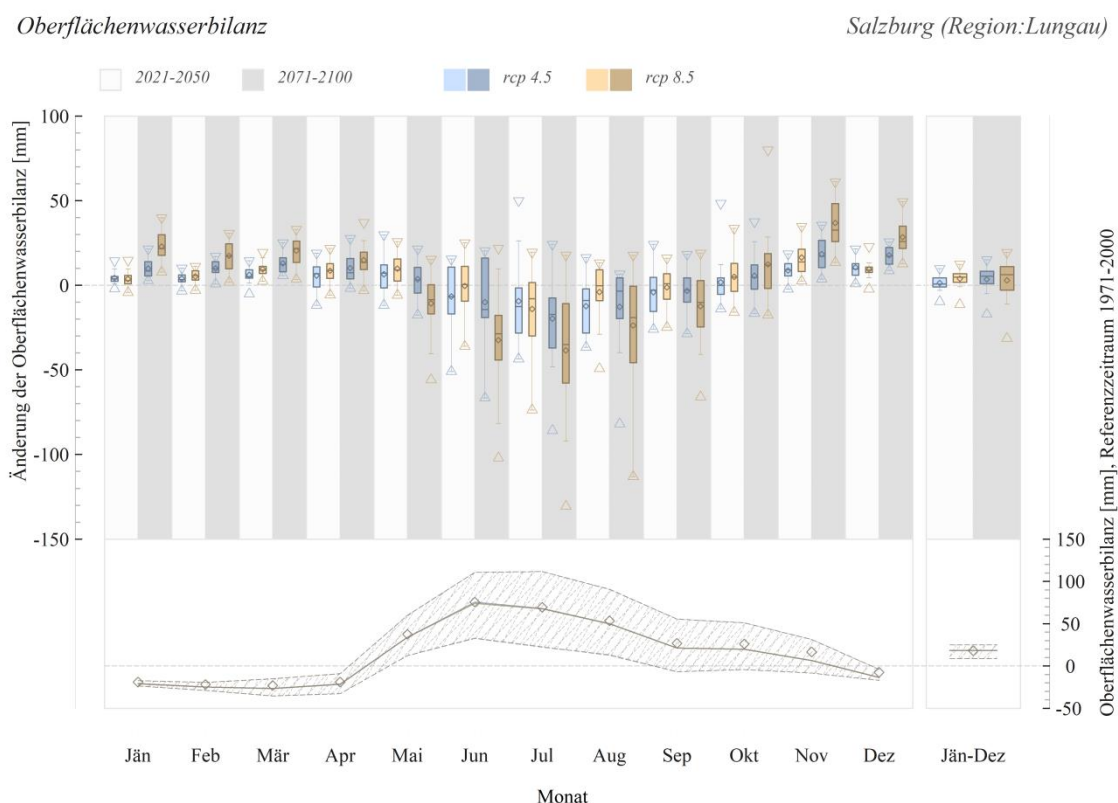


Abbildung 4-9: Oberflächenwasserbilanz für die Region Lungau

Die **Oberflächenwasserbilanz** liegt derzeit im Winter und im frühen Frühling im leicht negativen Bereich. Im Lauf des klimatologischen Frühlings steigt die Bilanz in den deutlich positiven

Bereich, wo sie bis August bleibt. In den Herbstmonaten sinkt die Bilanz langsam ab, bis zum Jahresende wieder der Übergang in den leicht negativen Bereich erfolgt.

Die Szenarien gehen für das zukünftige Klima von einer deutlichen Steigerung der Niederschlagsmenge und einer geringeren Schneedecke in den Wintermonaten aus. Dieser markante Trend wird auch bei der modellierten Änderung der Oberflächenwasserbilanz sichtbar: Zwischen Oktober und April zeigt sich eine positive Änderung der Oberflächenwasserbilanz, die in der fernen Zukunft bis zu vier Mal so hoch ist wie in der nahen Zukunft. Während die Unterschiede zwischen den beiden Szenarien RCP4.5 und RCP8.5 in der nahen Zukunft sehr klein sind, zeigen sich für die ferne Zukunft bei RCP8.5 etwa doppelt so hohe Änderungen als bei RCP4.5. Im Winter wird daher mehr bzw. in ferner Zukunft deutlich mehr Wasser in die Mur gelangen.

Der Mai bringt für die ferne Zukunft bereits eine nennenswerte negative Änderung. Während der Sommermonate verstärkt sich dieser negative Trend deutlich, sehr markant fällt er in der fernen Zukunft in RCP8.5 aus. Die Oberflächenwasserbilanz kann in diesem Szenario fast in Richtung einer ausgeglichenen Bilanz abrutschen. Die Pegelstände der Mur werden in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts im Sommer im Mittel niedriger ausfallen. Nach dem kaum auffälligen September dreht sich der Trend ab Oktober wieder um.

4.7 Fazit zu Klimaänderungssignalen in Hydrographie, Wasserwirtschaft und Gewässerschutz

Für die Wasserwirtschaft im Bundesland Salzburg sind die erwarteten Änderungen von Temperaturen und Niederschlagsmengen im Klima der Zukunft essentiell. Der veränderte Wasserhaushalt mit seinen kleinräumigen Unterschieden und differenziert zu betrachtenden Auswirkungen auf verschiedene Teilbereiche der Wasserwirtschaft betrifft alle Regionen und Höhenlagen und kann dabei sowohl positive als auch negative Auswirkungen mit sich bringen.

Als wesentlichstes Ergebnis für die Abschätzung der zukünftigen Grundwasserneubildung in der vegetationsfreien Zeit kann gelten, dass durch die deutlich positiven Änderungen der Oberflächenwasserbilanz in allen untersuchten Regionen keine Rückgänge, sondern sogar Zuwächse zu erwarten sind. Diese zusätzliche Bildung von Grundwasserreserven im Winterhalbjahr kann im Klima der Zukunft als wertvoller Puffer für Defizite im Sommerhalbjahr durch verminderte Niederschläge und/oder verstärkte Verdunstung dienen.

Bei der Frage nach der Wasserqualität der Salzburger Seen im Klima der Zukunft sind mehrere Faktoren zu berücksichtigen. Negativ auf das Ökosystem der Seen wird sich vor allem die mit der Lufttemperatur ansteigende Wassertemperatur auswirken, auch die Nutzung der Seen ist zu betrachten. Einen wesentlichen Einfluss nimmt aber auch die Oberflächenwasserbilanz im

Umland der Seen im Hoch- und Spätsommer ein. Es zeigt sich, dass durch verringerte Niederschläge und verstärkte Verdunstung eine negative Änderung dieser Bilanz zu erwarten ist. Speziell im Hochsommer könnten sich Probleme mit der Wasserqualität durch den verringerten Wasseraustausch verschärfen.

Das Niederwasserverhalten von Bächen und kleineren Flüssen dürfte in Zukunft aus der Sicht des Gesamtjahres eher stabil bleiben. Geringere Niederschlagsmengen könnten in den Sommermonaten aber für längere Niederwasserzeiträume sorgen, während deren Wahrscheinlichkeit im Herbst und Winter durchsteigende Niederschlagsmengen niedriger wird.

Die Ökologie der Salzburger Fließgewässer wird vor allem in ferner Zukunft speziell durch niedrigere Niederschlagsmengen und damit sinkende Oberflächenwasserbilanzen in den Sommermonaten beeinflusst. Dazu kommen höhere Wassertemperaturen, die direkt an die steigenden Lufttemperaturen gekoppelt sind. Insgesamt kann sich dadurch eine erhöhte Belastung der Gewässer ergeben.

Für die Energiegewinnung durch Wasserkraft zeigen sich jahreszeitlich bedingt sehr unterschiedliche Aussichten für die Zukunft. Geringere Niederschlagsmengen und damit eine sinkende Oberflächenwasserbilanz in können sich in den Sommermonaten negativ auf die Durchflüsse und damit auf die Leistung der Kraftwerke auswirken, während die Durchflüsse bei den Flusskraftwerken im Winter zunehmen werden. Schwierigkeiten könnten speziell in der fernen Zukunft auftauchen, wenn in den inneralpinen Gewässern nach dem Abschmelzen vieler Gletscher zusätzlich Schmelzwassereinträge fehlen.

Zu beachten ist bei allen wasserwirtschaftlichen Fragestellungen die Rolle der Starkniederschläge, die kurze, aber durchaus heftige Auswirkungen auf die Wasserstände haben können. Die Messreihen der Stationen in den betrachteten Regionen zeigen seit Beginn der zeitlich hoch aufgelösten Niederschlagsmessungen eine Zunahme der Niederschlagsmengen bei Starkniederschlagsereignissen um 20 Prozent innerhalb der vorgegebenen Zeiträume. Von den Klimamodellen wird berechnet, dass dieser Trend während der nächsten Jahrzehnte anhält oder sich (speziell in RCP8.5) auch deutlich verstärkt. Gleichzeitig sollte aber die Häufigkeit der Ereignisse kaum zunehmen. In der Zusammenschau ergibt sich als Schlussfolgerung, dass speziell an kleineren Fließgewässern die Schwankungsbreite der Wasserstände im Klima der Zukunft zunehmen wird.

5 Forstwirtschaft

5.1.1 Fragestellungen für die Forstwirtschaft als Ergebnis aus den Workshops

Das zentrale Überthema für die Forstwirtschaft lautet: Können Forste künftig noch bestehen, wo sie heute bereits an ihre Grenzen stoßen bzw. ergeben sich neue Grenzbereiche, wo heute noch kein Wachstum möglich ist? Gibt es Verschiebungen und Veränderungen im Randbereich? Ändern sich die Wuchsgebiete?

Der zweite Themenkreis umfasst potenziell schadenbringende Situationen und deren Veränderung mit dem Klimawandel. Dazu gehört die Trockenheit von Beginn der Vegetationsperiode bis Juni. Dazu gehört, dass ein trockener Herbst die Verwundbarkeit im Folgejahr deutlich erhöhen kann – oder auch ungünstige Kombinationen von Frühjahrstrockenheit mit Spätfrostereignissen. Waldbrand ist für den Salzburger Wald derzeit ein Nischenthema.

Erwartungswunsch wären Aussagen, ob die Risikoanfälligkeit bei den obigen Punkten abnimmt, zunimmt oder sich zeitlich verschiebt. Eine Aussage bezüglich einer Verschneidung von Trockenzeit und Borkenkäferaktivität wäre ebenso wünschenswert.

5.1.2 Kompakte Kernaussagen der Studie zur Forstwirtschaft

Die Trockenheit im Frühling und Frühsommer (insbesondere im April und Mai) ist in allen drei Waldrandzonen ein Zukunftsthema. Das Dürrierisiko und der Trockenstress nehmen zu.

Da im Lungau die Oberflächenbilanz derzeit im Mittel schon negativ ist, könnten dort die Auswirkungen im Frühjahr am stärksten ausfallen. Im Norden gibt es mehr Reserven.

Jene Periode im Frühling, in der der Waldboden im Vergleich zum Ist-Zustand die meiste Feuchtigkeit verliert, ist höhenabhängig. Durch das zukünftig frühere Winterende, dem noch fehlenden sommerlichen Schauerregen und der zunehmenden Verdunstung ist die Abnahme mit zunehmender Seehöhe rund um den Mai am stärksten, während in den tiefen Lagen die Abnahme im April stärker ausfallen wird.

Durch die zunehmende und früher einsetzende Wärme (höhere und frühere Temperatursummen) in Kombination mit dem Risiko für trockene Phasen im Frühling sind die Rahmenbedingungen für eine steigende Borkenkäferaktivität klimatologisch gegeben.

Die Wahrscheinlichkeit für schadbringende Situationen im Folgejahr, die mit einem trockenen Herbst zu tun haben, nimmt in allen Zukunftsszenarien ab. Es ist sogar davon auszugehen, dass der Spätherbst in Zukunft in allen drei untersuchten Waldzonen ein deutliches Mehr an Niederschlag bringen wird.

Die Wachstumsperiode und die Vegetationsphase über das ganze Jahr werden deutlich länger. Der Wald kann länger wachsen. In allen drei Waldzonen beträgt die Zunahme in der nahen Zukunft rund zwei Wochen, in der fernen Zukunft rund 50 Tage. Die Vegetationsphase dauert in der fernen Zukunft von März bis November.

Das Spätfrostrisiko für den Wald nimmt in der nahen Zukunft im Lungau leicht ab, im tief gelegenen Wald im Nordstau und im Flachgau ist das Risiko gleich wie in der Gegenwart. In der fernen Zukunft nimmt das Spätfrostrisiko für den Wald in allen Regionen leicht ab.

Das mittlere Auftreten eines stärkeren Spätfrostes verschiebt sich im Gleichschritt mit der Verlagerung der Wachstumsphase zeitlich nach vorne. In ferner Zukunft tritt der letzte stärkere Frost im Flachgau im März, in den Gebirgsgauen Anfang April auf.

Die Wahrscheinlichkeit für eine ungünstige Kombination von Spätfrostrisiko und Trockenheit nimmt im Lungau mit den Zukunftsszenarien zu, im Nordstau und Flachgau hingegen ab.

5.1.3 Fragestellungen, die noch nicht beantwortet werden konnten und Verbesserungsvorschläge

Die angedachte Korrelation zwischen Lebenszyklus von Schädlingen (Borkenkäfer) und Klimawandelmodell war im Rahmen dieser Studie nicht möglich. Es hätte den Rahmen und die zeitlichen Vorgaben gesprengt. Der Ansatz wäre gewesen, den Lebenszyklus der Schädlinge, welcher sehr gut mit Temperatursummen korreliert, auch für die nahe und ferne Zukunft zu simulieren. **Verbesserungsvorschlag:** Im Rahmen einer eigenen Studie könnte man diesen Ansatz vertiefen und für ein größeres Gebiet durchrechnen. Die Chancen auf ein abgesichertes Ergebnis werden hoch eingeschätzt, sowohl für ÖKS15 Projektionen als auch für Nachfolgeprojektionen.

Die Fragenstellung nach Situationen die den Wald im Herbst und Frühwinter sehr stark austrocknen (warme längere Südföhnphase) kann durch die zur Verfügung stehenden Klimawandelmodelle (ÖKS15 Projektionen) noch nicht befriedigend aufgelöst werden. Zwar sind diese im Mittel enthalten, klimatologische Ausreißer oder ausgeprägte Föhnstürme werden explizit aber nicht aufgelöst oder ausgewiesen. **Verbesserungsansatz:** Dies kann durch die neue Generation von Klimamodellen besser aufgelöst werden. Die neuen regionalen Klimamodelle für Europa sind gerade in der Evaluierungsphase.

5.1.4 Beschreibung und Interpretation der Abbildungen

Im Vorfeld der Analyse der zukünftigen Entwicklung im Bereich der Forstwirtschaft im Bundesland Salzburg hat sich gezeigt, dass aufgrund der großen Verbreitung der Wälder in allen Landesteilen eine Beschränkung der Modellierung auf einzelne Punkte nicht zielführend ist. Stattdessen wurde eine Flächenmittelung über drei repräsentative Regionen vollzogen, für die wiederum jeweils eine typische Höhenstufe gewählt wurde.

Für die Region Flachgau wurde als typische Höhenstufe der Bereich 800 bis 900 m festgelegt. Diese Höhenstufe ist repräsentativ für die meisten Wälder des Übergangsbereich zwischen Nordalpen und Alpenvorland. Die zweite Region umfasst den Bereich des typischen Nordstaus, repräsentiert durch den südlichen Flachgau und den Tennengau. Die Höhenstufe 1000 bis 1200 m deckt speziell den kritischen Bereich jener Lagen ab, die durch eine fortschreitende Erwärmung und damit einhergehende Veränderungen des Baumbestands betroffen sind. Die dritte ausgewählte Region mit dem Höhenbereich zwischen 1200 und 1300 m beinhaltet den Lungau. Sämtliche Waldregionen wurden so ausgewählt, dass sie den unteren Randbereich, sozusagen die Kampfzone des Waldes, abbilden.

Als spezifischer Indikator wurde zunächst die **Oberflächenwasserbilanz** für die jeweiligen Klimaszenarien der Zukunft berechnet.

Alle Berechnungen erfolgten in Monatsauflösung für die relevanten Zeiträume im Herbst (September bis November) und Frühjahr (März bis Juni). Zudem sind auch die Werte für die beiden gesamten Zeiträume angeführt. Alle Angaben erfolgen in Millimeter.

Zusätzlich wurde die Dauer der **Vegetationsperiode** modelliert. Berechnet wurden Beginn und Ende des sich rhythmisch wiederholenden Teils des Jahres, in dem eine Pflanze aktiv wächst und sich entfaltet. In weiteren Abbildungen wurde das Spätfrostrisiko dargestellt, indem der Beginn der Vegetationsperiode in Verhältnis zum Datum des letzten Frühjahrsfrosts gestellt wurde.

Im unteren Teil aller Abbildungen sind aus Vergleichsgründen Oberflächenwasserbilanz und Vegetationsperiode des Referenzzeitraums 1971-2000 dargestellt. Im oberen Teil sind die Berechnungen der Änderung der Oberflächenwasserbilanz für die „nahe Zukunft“ (2021-2050) weiß hinterlegt, die Berechnungen für die „ferne Zukunft“ (2071-2100) sind grau hinterlegt.

5.2 Der Wald im Flachgau

Die **Oberflächenwasserbilanz im Herbst** liegt im mäßig positiven Bereich. Im Ist-Zustand bzw. Referenzzustand bekommt der Flachgauer Waldboden in den tiefen Lagen einen mittleren Wassereintrag von 80 mm bzw. Liter/m² pro Monat. Dabei erfolgt von Monat zu Monat eine langsame Abnahme.

Die Szenarien gehen für das zukünftige Klima von einer Steigerung der Niederschlagsmenge im Winterhalbjahr aus. Dieser Trend wird auch bei der modellierten Änderung der Oberflächenwasserbilanz sichtbar: Nur der September weist für die ferne Zukunft noch eine leichte, in RCP8.5 mäßig starke Abnahme aus und wird trockener. Im Oktober und November zeigt sich eine positive Änderung der Oberflächenwasserbilanz. Durch mehr Regen ergibt sich ein deutlich höherer Wassereintrag für den Waldboden, der in der fernen Zukunft bis zu drei Mal so hoch ist wie in der nahen Zukunft. Während die Unterschiede zwischen den beiden Szenarien RCP4.5 und RCP8.5 in der nahen Zukunft sehr klein und auch im Vorzeichen nicht eindeutig sind, zeigen sich für die ferne Zukunft bei RCP8.5 etwa doppelt so hohe Änderungen wie bei RCP4.5.

Oberflächenwasserbilanz

Salzburg (Region: Flachgau, alt: 800-900 m)

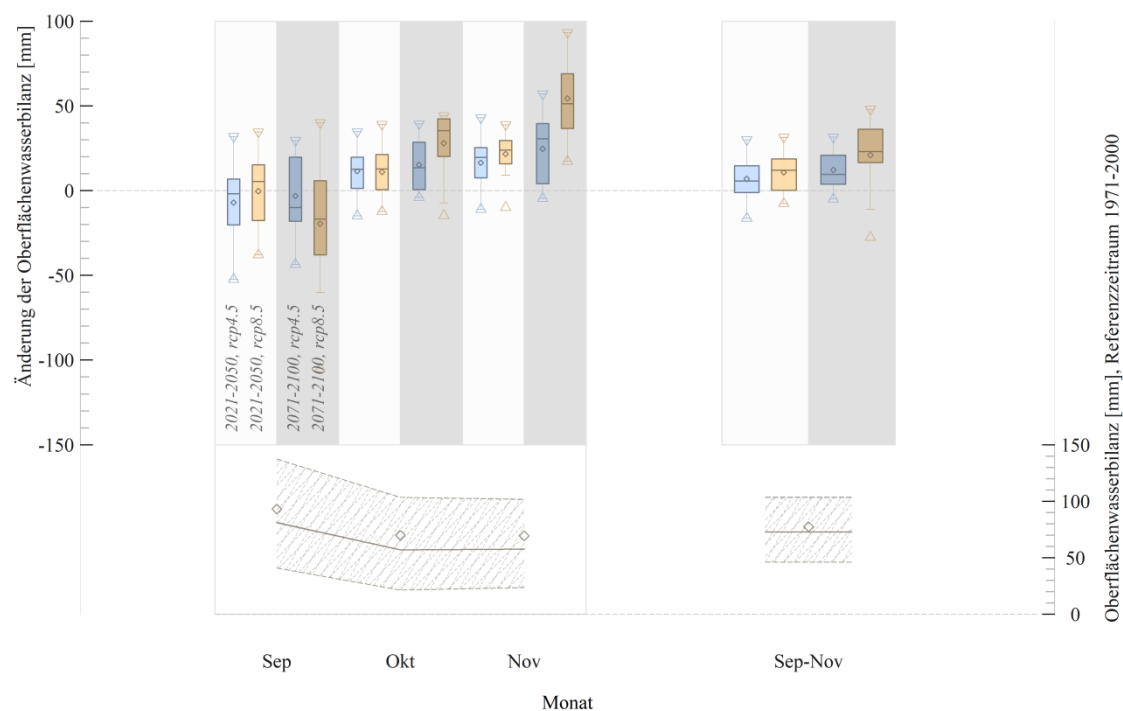


Abbildung 5-1: Oberflächenwasserbilanz Herbst für die Region Flachgau, Höhenstufe 800-900m

Die **Oberflächenwasserbilanz im Frühjahr** liegt im deutlich positiven Bereich, im Mittel um 140 mm pro Monat. Im Lauf des klimatologischen Frühlings steigt die Bilanz bis April zunächst an, um zum Frühsommer hin in Folge zunehmender Verdunstung wieder etwas abzusinken.

Die Szenarien gehen für das zukünftige Klima von einer Steigerung der Niederschlagsmenge im Winterhalbjahr, aber gleichbleibenden oder leicht sinkenden Niederschlagsmengen im Sommer aus. Dieser Trend wird auch bei der modellierten Änderung der Oberflächenwasserbilanz sichtbar: Im März zeigt sich noch eine positive Änderung der Oberflächenwasserbilanz, die aber bei RCP8.5 in der fernen Zukunft bereits deutlich geringer wird. Im April zeigen sich für die nahe Zukunft nur leichte negative Änderungen der Oberflächenwasserbilanz, für die ferne Zukunft wird dieser Trend deutlich markanter. Hier schlagen vor allem die erwärmungsbedingt geringere Schneedecke und die zunehmende Verdunstung im Frühling in diesen Höhenlagen durch. Durch das frühere Schmelzen des Schnees fehlt der Schmelzwassereintrag im Vergleich zum Referenzzeitraum bereits früher im Jahr. Im Mai und Juni geht dieser Effekt naturgemäß verloren, der Trend dreht sich um und weist zum Sommer hin wieder in Richtung einer positiven Änderung der Oberflächenwasserbilanz.

Oberflächenwasserbilanz

Salzburg (Region: Flachgau, alt: 800-900 m)

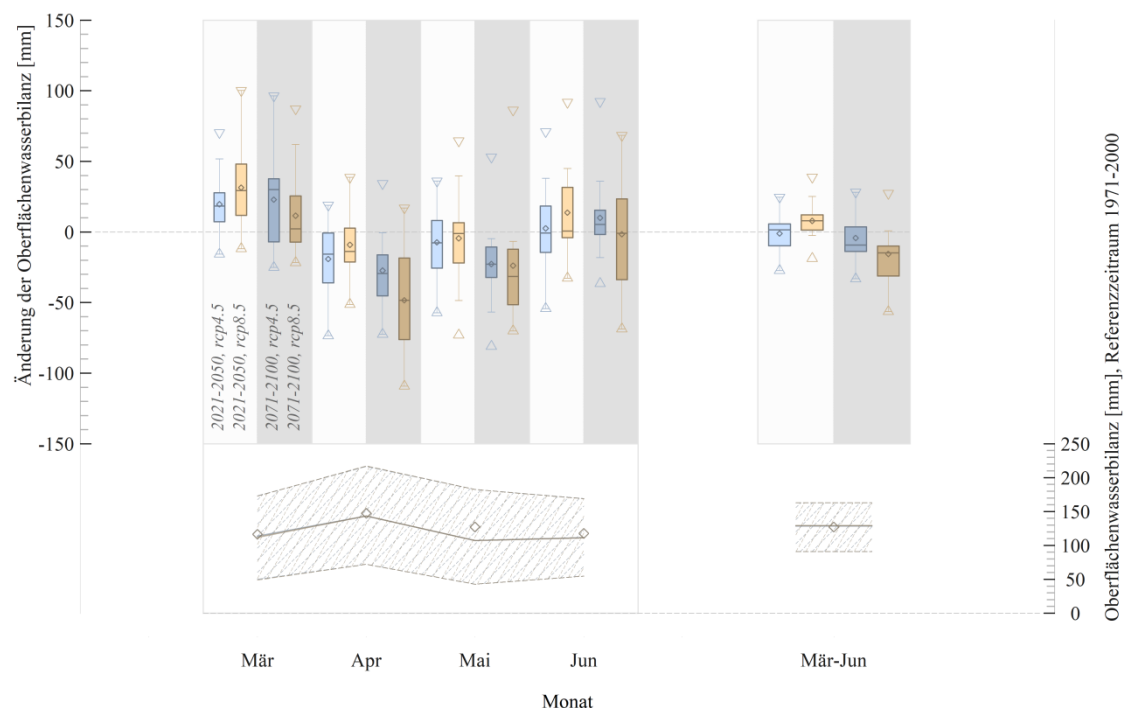


Abbildung 5-2: Oberflächenwasserbilanz Frühjahr für die Region Flachgau, Höhenstufe 800-900 m

Betrachtet man die gesamte Wachstumsphase (März bis Juni), so ist für die nahe Zukunft keine wesentliche Änderung der Oberflächenbilanz zu erkennen. Für die ferne Zukunft ergibt sich tendenziell eine Abnahme um etwa zehn Prozent.

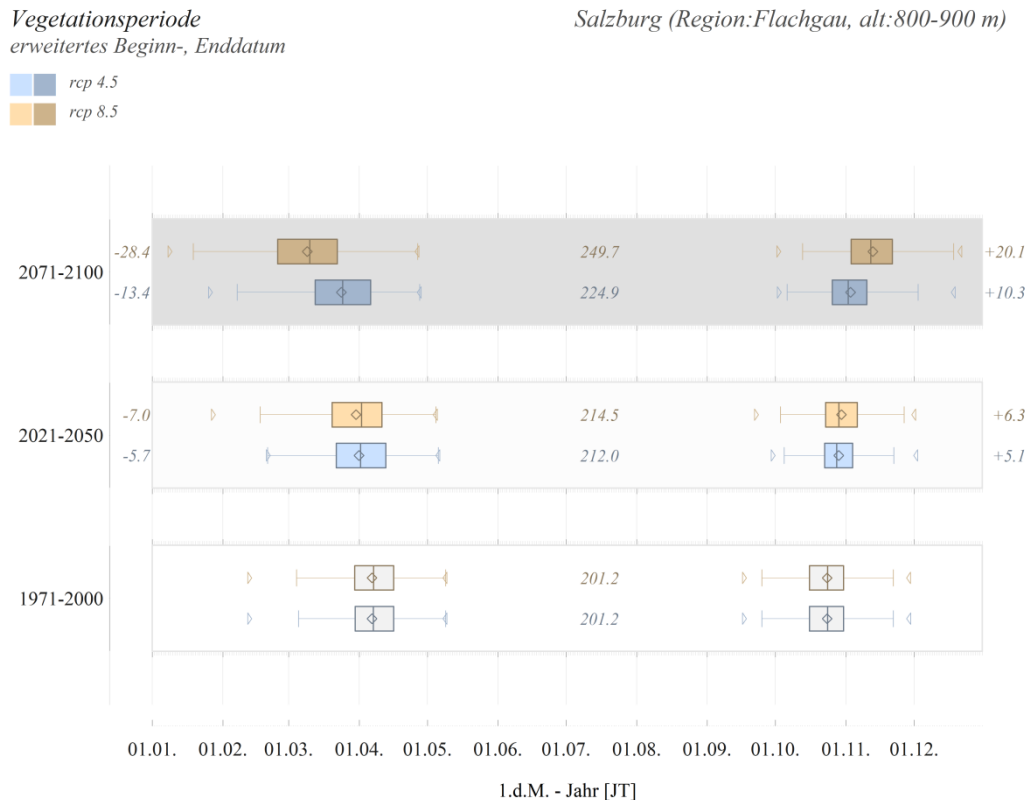


Abbildung 5-3: Vegetationsperiode für die Region Flachgau, Höhenstufe 800-900 m

Die **Vegetationsperiode** im Flachgauer Wald erstreckt sich im langjährigen Mittel der Referenzperiode 1971-2000 von der ersten Aprilhälfte bis zur zweiten Oktoberhälfte und weist damit eine durchschnittliche Dauer von 201 Tagen auf.

Die Szenarien des zukünftigen Klimas gehen aufgrund der gesicherten fortschreitenden Erwärmung naturgemäß von einer teils deutlichen Verlängerung der Vegetationsperiode aus. In der nahen Zukunft beträgt der entsprechende Zuwachs rund 12 Tage, wobei der Unterschied zwischen RCP4.5 und RCP8.5 nur knapp drei Tage ausmacht. Bei der Erweiterung der Vegetationsperiode ist der Beginn im Frühjahr etwas stärker, nämlich um rund einen Tag, gewichtet als das Ende im Herbst. Beim Blick in die ferne Zukunft zeigt sich, dass bei RCP4.5 eine nochmalige Verlängerung der Vegetationsperiode in der gleichen Größenordnung wie in der nahen Zukunft erfolgt. Bei RCP8.5 wird hingegen eine deutlich beschleunigte Erweiterung modelliert. In diesem Fall würde sich die Vegetationsperiode gegenüber der nahen Zukunft noch einmal um fünf Wochen verlängern und würde dann von Mitte März bis Mitte November reichen, was eine Steigerung von mehr als 48 Tagen gegenüber der Referenzperiode bedeuten würde.

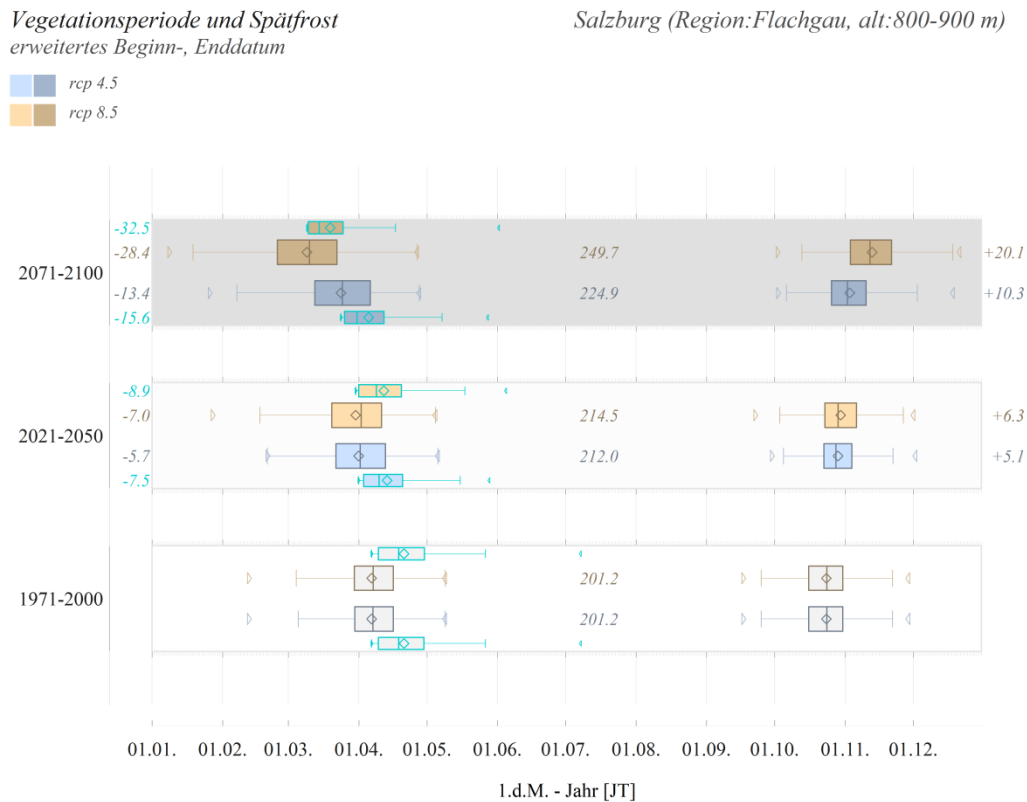


Abbildung 5-4: Datum des letzten Frostes im Vergleich zur Vegetationsperiode in der Region Flachgau, Höhenstufe 800-900 m

Das **Datum des letzten Spätfrosts** befindet sich im langjährigen Mittel der Referenzperiode 1971-2000 im Bereich von Mitte April und damit rund eine Woche nach dem Beginn der Vegetationsperiode.

Die Szenarien des zukünftigen Klimas gehen aufgrund der gesicherten fortschreitenden Erwärmung sowohl von einem früheren Beginn der Vegetationsperiode als auch von einem früheren Datum des letzten Spätfrosts aus. In der nahen Zukunft ergibt sich für beide Faktoren eine Verschiebung um etwa eine Woche, wobei die Unterschiede zwischen RCP4.5 und RCP8.5 nur ein bis zwei Tage betragen. Beim Blick in die ferne Zukunft zeigt sich, dass bei RCP4.5 eine nochmalige Verfrühung beider Daten in der gleichen Größenordnung wie in der nahen Zukunft erfolgt. Bei RCP8.5 wird hingegen eine deutlich beschleunigte Verfrühung modelliert. In diesem Fall würden sich Beginn der Vegetationsperiode und Datum des letzten Spätfrosts gegenüber dem Ist-Zustand um etwa ein Monat nach vorn in den März schieben, wobei der Abstand zwischen den beiden Faktoren kleiner werden und damit das Spätfrostisiko leicht sinken würde.

5.3 Der Wald im Nordstau (Alpennordrand)

Die **Oberflächenwasserbilanz im Herbst** liegt im mäßig positiven Bereich. Dabei erfolgt von Monat zu Monat ein langsames Absinken.

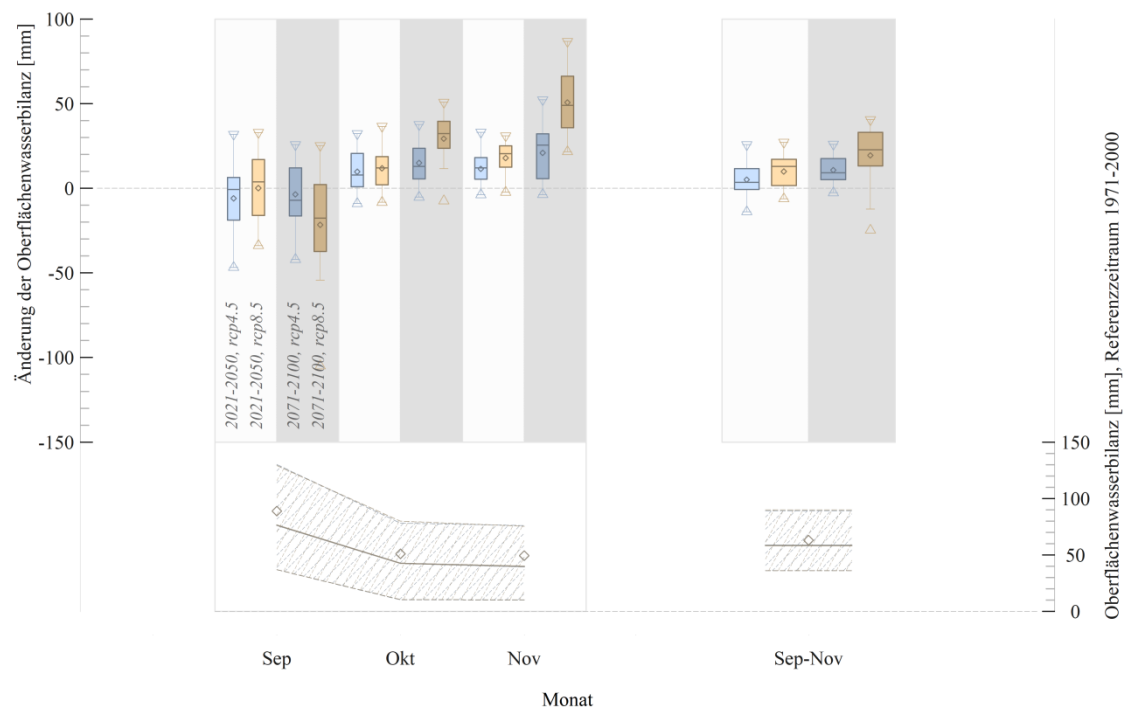
Die Szenarien für den tief liegenden Wald im Nordstau sind sehr ähnlich dem Trend des um 200 Höhenmeter tiefer liegenden Waldes im Flachgau. Die Niederschlagsmenge wird im Winterhalbjahr zunehmen. Dieser Trend wird auch bei der modellierten Änderung der Oberflächenwasserbilanz sichtbar: Nur der September weist für die ferne Zukunft noch eine leichte Abnahme aus. Im Oktober und November zeigt sich eine positive Änderung der Oberflächenwasserbilanz, die in der fernen Zukunft bis zu drei Mal so hoch ist als in der nahen Zukunft. Während die Unterschiede zwischen den beiden Szenarien RCP4.5 und RCP8.5 in der nahen Zukunft sehr klein sind, zeigen sich für die ferne Zukunft bei RCP8.5 etwa doppelt so hohe Änderungen wie bei RCP4.5.

Die **Oberflächenwasserbilanz im Frühjahr** liegt im deutlich positiven Bereich. Im Lauf des klimatologischen Frühlings steigt die Bilanz bis Mai zunächst an, um zum Frühsommer hin wieder etwas abzusinken.

Die Szenarien gehen von einer Steigerung des Niederschlags im Winter aus, aber gleichbleibender oder leicht sinkender Regenmenge im Sommer. Dieser Trend wird auch bei der modellierten Änderung der Oberflächenwasserbilanz sichtbar: Im März zeigt sich noch eine deutlich positive Änderung der Oberflächenwasserbilanz. Im April zeigen sich für die nahe Zukunft noch leichte positive Änderungen der Bilanz, für die ferne Zukunft kehrt sich dieser Trend ins Negative. Hier schlägt das erwärmungsbedingt schnellere Schmelzen der Schneedecke im Frühling in diesen Höhenlagen durch. Durch das frühere Schmelzen des Schnees fehlt der Schmelzwassereintrag im Vergleich zum Referenzzeitraum bereits früher im Jahr. Im Mai – dem Monat mit der aktuell positivsten Oberflächenwasserbilanz mit einem mittleren Monatswert um 170 mm – wird die Abnahme durch die zukünftig fehlende Schneedecke speziell in RCP8.5 sehr markant ausfallen, die Abnahme kann um 100 mm betragen! Im Juni verliert sich dieser reduzierende Effekt naturgemäß, der Trend weist zum Sommer hin wieder in Richtung einer positiven Änderung der Oberflächenwasserbilanz.

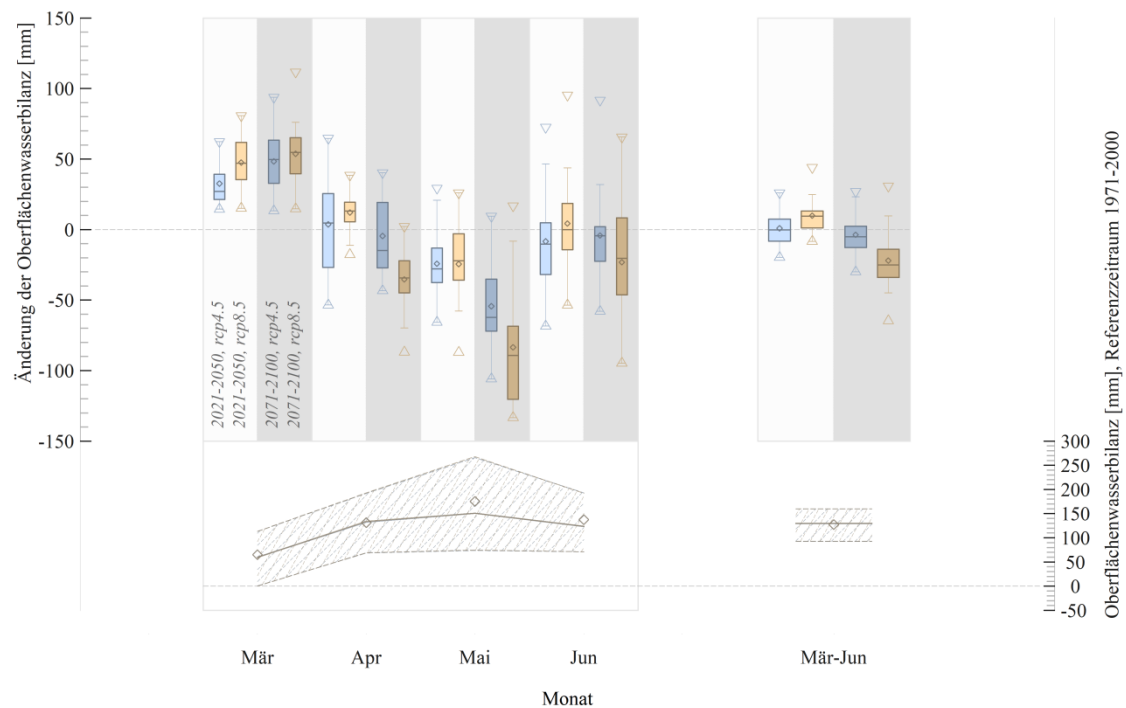
Oberflächenwasserbilanz

Salzburg (Region:Nordstau, alt:1000-1200 m)

**Abbildung 5-5:** Oberflächenwasserbilanz Herbst für die Region Nordstau, Höhenstufe 1000-1200 m

Oberflächenwasserbilanz

Salzburg (Region:Nordstau, alt:1000-1200 m)

**Abbildung 5-6:** Oberflächenwasserbilanz Frühling für die Region Nordstau, Höhenstufe 1000-1200 m

Die Szenarien gehen für das zukünftige Klima von einer Steigerung der Niederschlagsmenge im Winterhalbjahr, aber gleichbleibenden oder leicht sinkenden Niederschlagsmengen im Sommer aus. Dieser Trend wird auch bei der modellierten Änderung der Oberflächenwasserbilanz sichtbar: Im März zeigt sich noch eine deutlich positive Änderung der Oberflächenwasserbilanz. Im April zeigen sich für die nahe Zukunft noch leichte positive Änderungen der Oberflächenwasserbilanz, für die ferne Zukunft verkehrt sich dieser Trend ins Negative. Hier schlägt das erwärmungsbedingt schnellere Schmelzen der Schneedecke im Frühling in diesen Höhenlagen durch. Durch das frühere Schmelzen des Schnees fehlt der Schmelzwassereintrag im Vergleich zum Referenzzeitraum bereits früher im Jahr. Im Mai – dem Monat mit der aktuell positivsten Oberflächenwasserbilanz mit einem mittleren Monatswert um 170 mm – wird die Abnahme durch die zukünftig fehlende Schneedecke speziell in RCP8.5 sehr markant ausfallen, die Abnahme kann um 100 mm betragen! Im Juni verliert sich dieser reduzierende Effekt naturgemäß, der Trend weist zum Sommer hin wieder in Richtung einer positiven Änderung der Oberflächenwasserbilanz.

Betrachtet man die gesamte Wachstumsphase (März bis Juni), so ist für die nahe Zukunft keine wesentliche Änderung zu erkennen. Für die ferne Zukunft ergibt sich tendenziell eine Abnahme der Oberflächenbilanz um etwa 20 Prozent.

Vegetationsperiode
erweitertes Beginn-, Enddatum

Salzburg (Region: Nordstau, alt: 1000-1200 m)

rcp 4.5
rcp 8.5

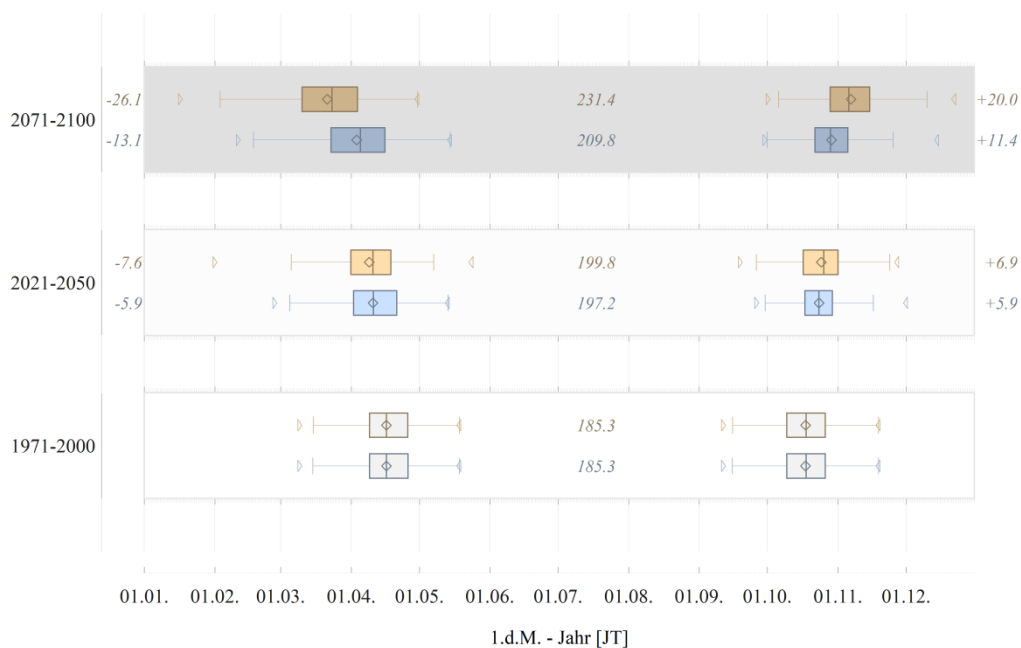


Abbildung 5-7: Vegetationsperiode für die Region Nordstau, Höhenstufe 1000-1200 m

Die **Vegetationsperiode** erstreckt sich im Nordstau im langjährigen Mittel der Referenzperiode 1971-2000 von Mitte April bis Mitte Oktober und weist damit eine durchschnittliche Dauer von 185 Tagen auf.

Die Szenarien des zukünftigen Klimas gehen aufgrund der gesicherten fortschreitenden Erwärmung naturgemäß von einer teils deutlichen Verlängerung der Vegetationsperiode aus. In der nahen Zukunft beträgt der entsprechende Zuwachs knapp zwei Wochen, wobei der Unterschied zwischen RCP4.5 und RCP8.5 nur knapp drei Tage ausmacht. Beim Blick in die ferne Zukunft zeigt sich, dass bei RCP4.5 eine nochmalige Verlängerung der Vegetationsperiode in der gleichen Größenordnung wie in der nahen Zukunft erfolgt. Bei RCP8.5 wird hingegen eine deutlich beschleunigte Erweiterung modelliert. In diesem Fall würde sich die Vegetationsperiode gegenüber der nahen Zukunft noch einmal um rund ein Monat verlängern und würde dann von der zweiten Märzhälfte bis in die erste Novemberhälfte reichen, was eine Steigerung von rund 46 Tagen gegenüber der Referenzperiode bedeuten würde.

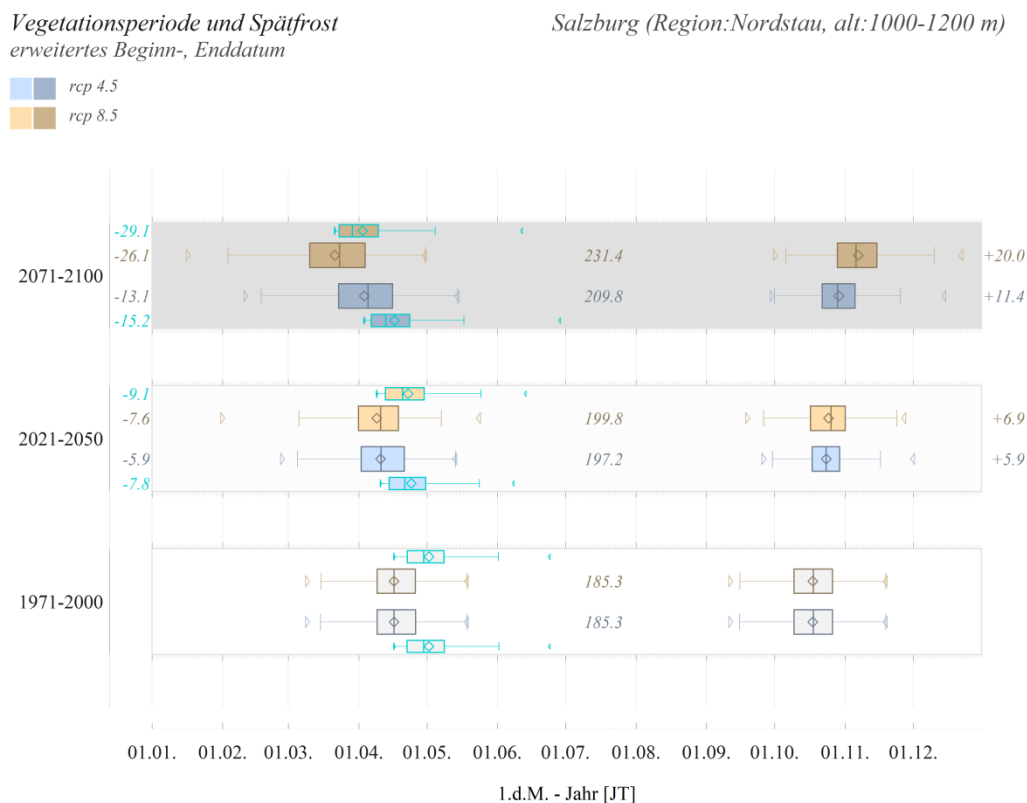


Abbildung 5-8: Datum des letzten Frostes im Vergleich zur Vegetationsperiode in der Region Nordstau, Höhenstufe 1000-1200 m

Das **Datum des letzten Spätfrosts** befindet sich im langjährigen Mittel der Referenzperiode 1971-2000 im Bereich von Anfang Mai und damit rund zwei Wochen nach dem Beginn der Vegetationsperiode.

Die Szenarien des zukünftigen Klimas gehen aufgrund der gesicherten fortschreitenden Erwärmung sowohl von einem früheren Beginn der Vegetationsperiode als auch von einem früheren Datum des letzten Spätfrosts aus. In der nahen Zukunft ergibt sich für beide Faktoren eine Verschiebung um etwas mehr als eine Woche, wobei die Unterschiede zwischen RCP4.5 und RCP8.5 nur ein bis zwei Tage betragen. Beim Blick in die ferne Zukunft zeigt sich, dass bei RCP4.5 eine nochmalige Verfrühung beider Daten in der gleichen Größenordnung wie in der nahen Zukunft erfolgt. Bei RCP8.5 wird hingegen eine deutlich beschleunigte Verfrühung modelliert. In diesem Fall würden sich Beginn der Vegetationsperiode und Datum des letzten Spätfrostes gegenüber dem Ist-Zustand um etwa ein Monat nach vorn in die zweite Märzhälfte bzw. auf Anfang April schieben, wobei der Abstand zwischen den beiden Faktoren kleiner werden und damit das Spätfrostrisiko leicht sinken würde.

5.4 Der tief gelegene Wald im Lungau

Die **Oberflächenwasserbilanz im Herbst** liegt im unteren Waldrandbereich im Lungau nur schwach im positiven Bereich. Im langjährigen Mittel stehen dem Waldboden nur 20 mm pro Monat zur Verfügung. Dabei erfolgt von Monat zu Monat ein leichter Anstieg.

Die Szenarien gehen für das zukünftige Klima von einer Steigerung der Niederschlagsmenge im Winterhalbjahr aus. Dieser Trend wird bei der modellierten Änderung der Oberflächenwasserbilanz erst im November sichtbar: Der September weist sogar für die ferne Zukunft noch eine leichte Abnahme aus, die allerdings angesichts der niedrigen positiven Werte der Referenzperiode speziell in RCP8.5 zu Trockenheitsproblemen durch eine leicht negative Oberflächenwasserbilanz führen könnte. Im Oktober zeigt sich kaum eine zukünftige Änderung gegenüber den Vergleichswerten der Referenzperiode. Der November bringt eine positive Änderung der Oberflächenwasserbilanz, die in der fernen Zukunft bis zu drei Mal mehr an Feuchtigkeit für den Waldboden zur Verfügung stellt als in der nahen Zukunft. Während die Unterschiede zwischen den beiden Szenarien RCP4.5 und RCP8.5 in der nahen Zukunft sehr klein sind, zeigen sich für die ferne Zukunft bei RCP8.5 etwa doppelt so hohe Änderungen wie bei RCP4.5.

Oberflächenwasserbilanz

Salzburg (Region:Lungau, alt:1200-1300 m)

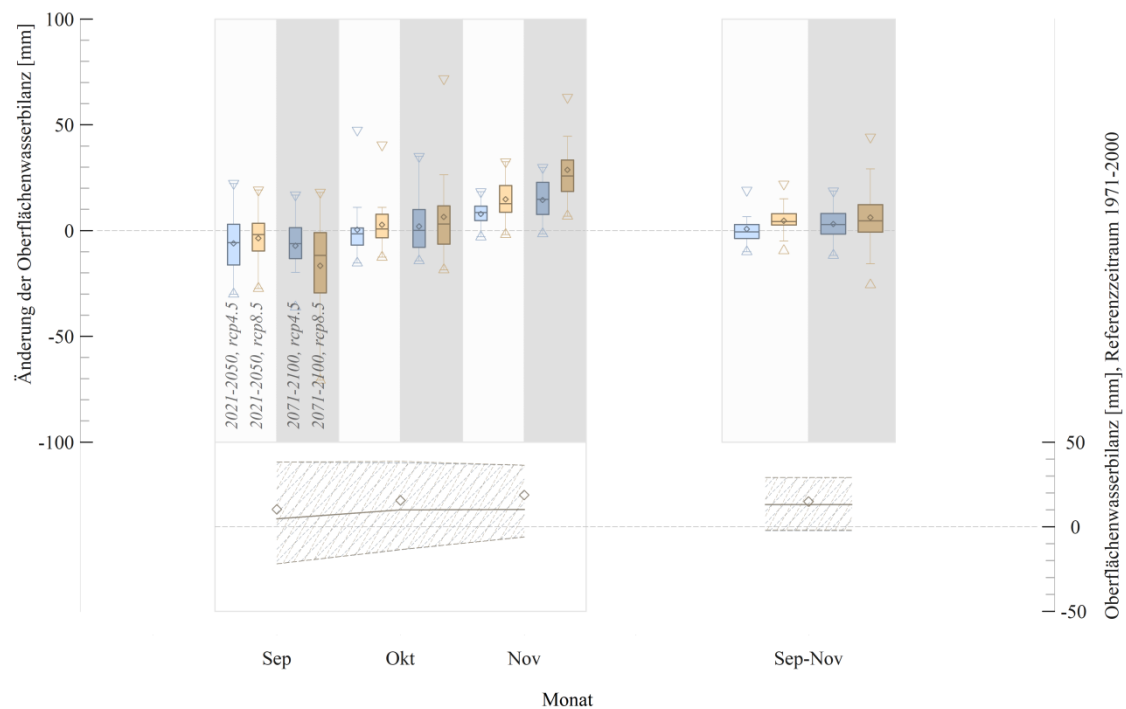


Abbildung 5-9: Oberflächenwasserbilanz (SPEI + Schneedecke) Herbst für die Region Lungau, Höhenstufe 1200-1300 m

Oberflächenwasserbilanz

Salzburg (Region:Lungau, alt:1200-1300 m)

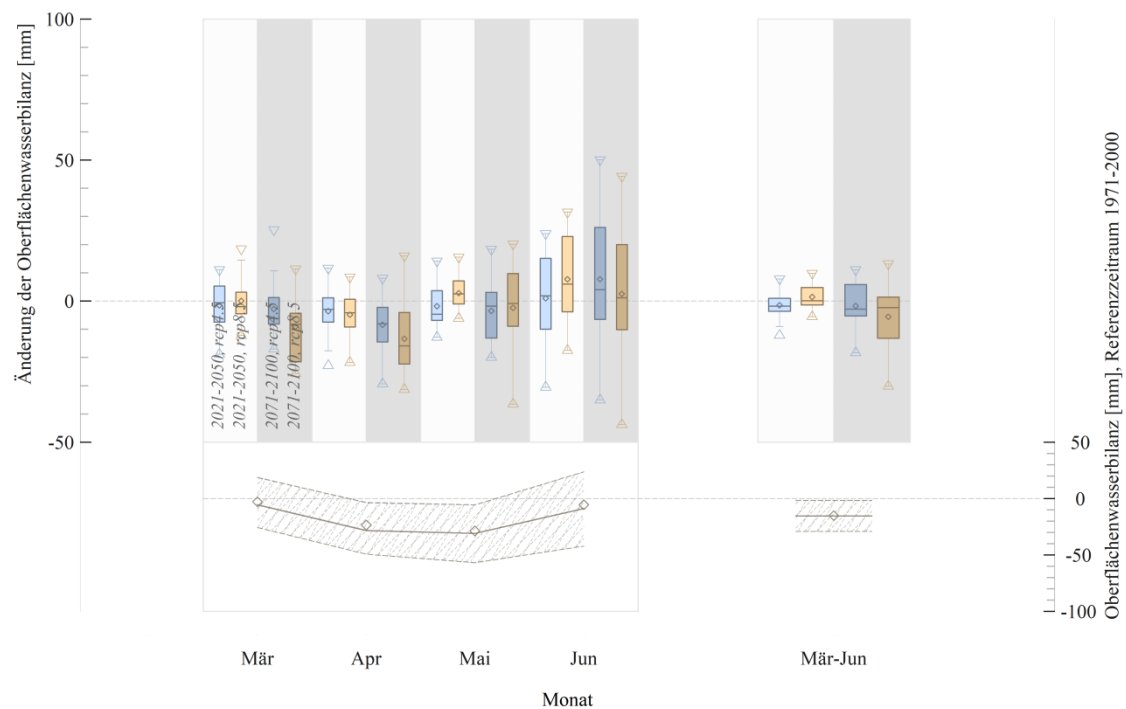


Abbildung 5-10: Oberflächenwasserbilanz Frühling für die Region Lungau, Höhenstufe 1200-1300 m

Die **Oberflächenwasserbilanz im Frühjahr** liegt gegenwärtig im leicht negativen Bereich. Im Mittel würden dem Boden theoretisch rund 20 mm entzogen werden (durch Verdunstung). Hauptverantwortlich für die negative Bilanz ist der meist geringe Niederschlag. Im Lauf des klimatologischen Frühlings sinkt die Bilanz von Monat zu Monat, um zum Juni hin wieder anzusteigen.

Die Szenarien gehen für das zukünftige Klima von einer Steigerung der Niederschlagsmenge im Winterhalbjahr, aber gleichbleibenden oder leicht sinkenden Niederschlagsmengen im Sommer aus. Bei der modellierten Änderung der Oberflächenwasserbilanz zeigt sich im März und April eine leichte, in der fernen Zukunft auch teils mäßige Abnahme. Hier schlägt das erwärmungsbedingt schnellere Schmelzen der Schneedecke im Frühling in diesen Höhenlagen durch. Der Schmelzwassereintrag fehlt somit im Vergleich zum Referenzzeitraum bereits früher im Jahr. Im Juni verliert sich dieser reduzierende Effekt naturgemäß, der Trend weist zum Sommer hin wieder in Richtung einer positiven Änderung der Oberflächenwasserbilanz.

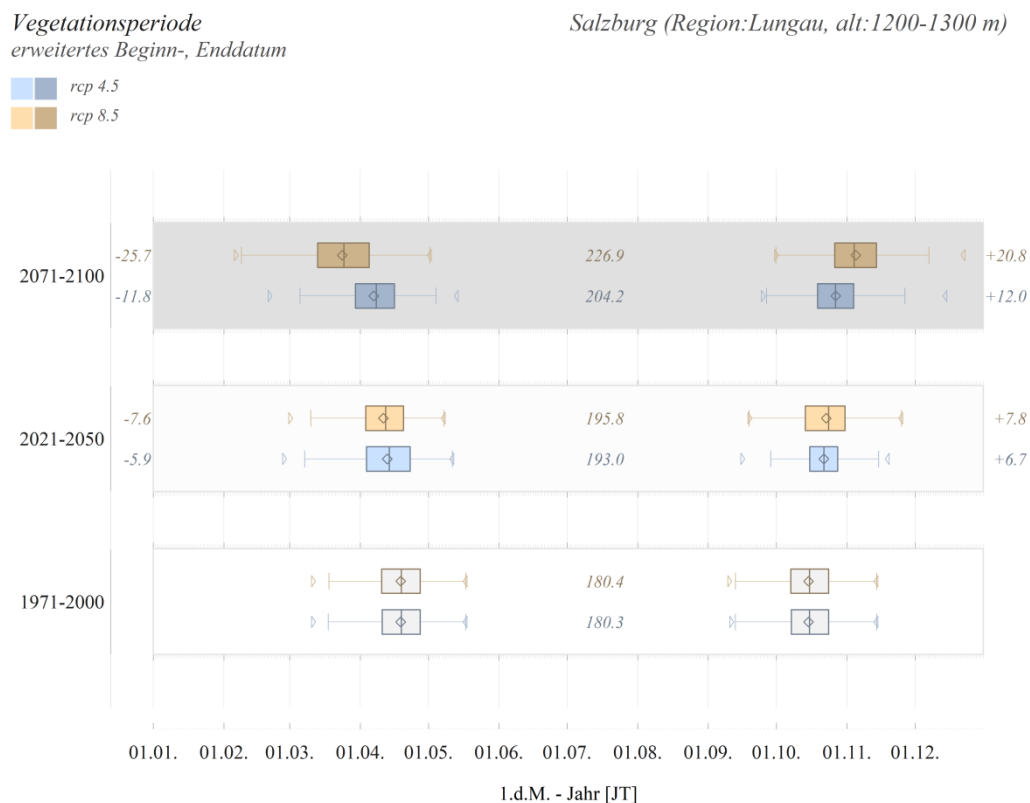


Abbildung 5-11: Vegetationsperiode für die Region Lungau, Höhenstufe 1200-1300 m

Die **Vegetationsperiode** erstreckt sich im langjährigen Mittel der Referenzperiode 1971-2000 von Mitte April bis Mitte Oktober und weist damit eine durchschnittliche Dauer von 180 Tagen auf.

Die Szenarien des zukünftigen Klimas gehen aufgrund der gesicherten fortschreitenden Erwärmung naturgemäß von einer teils deutlichen Verlängerung der Vegetationsperiode aus. In

der nahen Zukunft beträgt der entsprechende Zuwachs rund zwei Wochen, wobei der Unterschied zwischen RCP4.5 und RCP8.5 nur knapp drei Tage ausmacht. Beim Blick in die ferne Zukunft zeigt sich, dass bei RCP4.5 eine nochmalige Verlängerung der Vegetationsperiode in der gleichen Größenordnung wie in der nahen Zukunft erfolgt. Bei RCP8.5 wird hingegen eine deutlich beschleunigte Erweiterung modelliert. In diesem Fall würde sich die Vegetationsperiode gegenüber der nahen Zukunft noch einmal um rund ein Monat verlängern und würde dann von der zweiten Märzhälfte bis Anfang November reichen, was eine Steigerung von rund 46 Tagen gegenüber der Referenzperiode bedeuten würde.

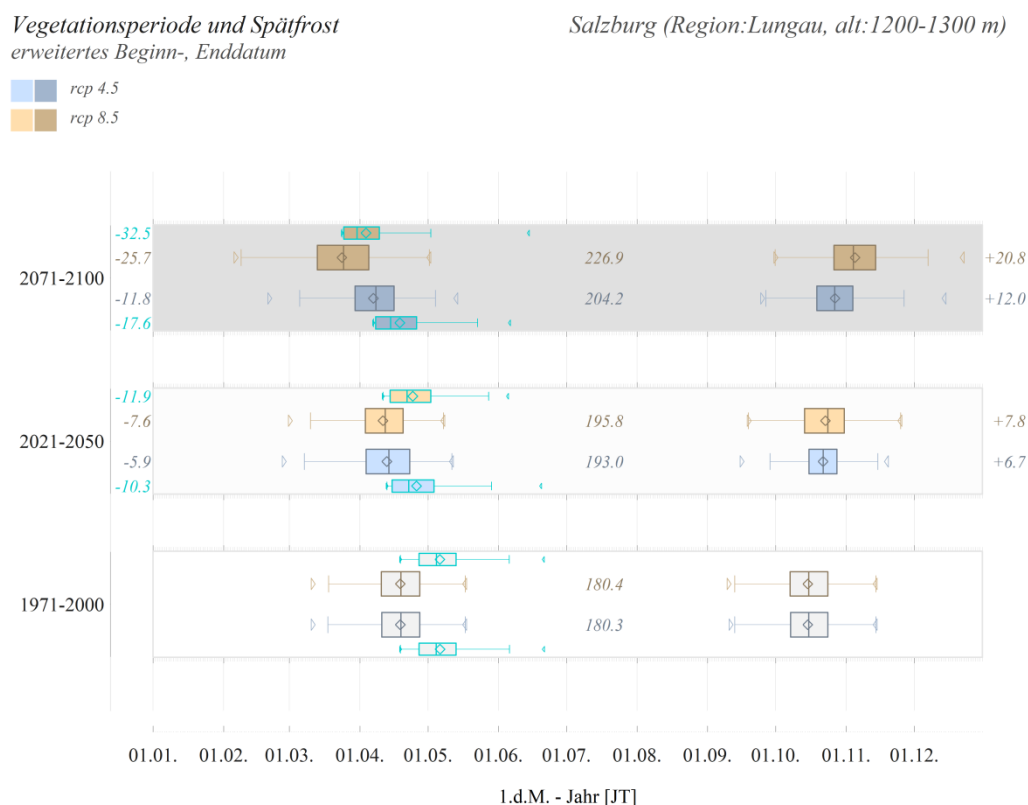


Abbildung 5-12: Datum des letzten Frostes im Vergleich zur Vegetationsperiode in der Region Lungau, Höhenstufe 1200-1300 m

Das **Datum des letzten Spätfrosts** befindet sich im langjährigen Mittel der Referenzperiode 1971-2000 im Bereich der ersten Maihälfte und damit zwei bis drei Wochen nach dem Beginn der Vegetationsperiode.

Die Szenarien des zukünftigen Klimas gehen aufgrund der gesicherten fortschreitenden Erwärmung sowohl von einem früheren Beginn der Vegetationsperiode als auch von einem früheren Datum des letzten Spätfrosts aus. In der nahen Zukunft ergibt sich für den letzten Spätfrost eine Verschiebung um fast zwei Wochen und beim Beginn der Vegetationsperiode um etwas mehr als eine Woche, wobei die Unterschiede zwischen RCP4.5 und RCP8.5 nur ein bis zwei Tage betragen. Beim Blick in die ferne Zukunft zeigt sich, dass bei RCP4.5 eine nochmalige Verfrühung beider Daten in der gleichen Größenordnung wie in der nahen Zukunft erfolgt. Bei

RCP8.5 wird hingegen eine deutlich beschleunigte Verfrühung modelliert. In diesem Fall würden sich Beginn der Vegetationsperiode und Datum des letzten Spätfrostes gegenüber dem Ist-Zustand um mehr als ein Monat nach vorn in die zweite Märzhälfte bzw. auf Anfang April schieben, wobei der Abstand zwischen den beiden Faktoren kleiner werden und damit das Spätfrostisiko leicht sinken würde.

5.5 Fazit zu Klimaänderungssignalen in der Forstwirtschaft

Für die Forstwirtschaft im Bundesland Salzburg sind die erwarteten Änderungen von Temperaturen und Niederschlagsmengen im Klima der Zukunft essentiell. Neben einem veränderten Wasserhaushalt mit seinen kleinräumigen Unterschieden und differenziert zu betrachtenden Auswirkungen besteht mit allgemeinen Erwärmung der kommenden Jahrzehnte ein Faktor, der alle Regionen und Höhenlagen einschließt und sowohl positive als auch negative Auswirkungen nach sich ziehen könnte.

Als wesentlichstes Ergebnis gilt die Antwort auf die Frage, ob auch im Klima der nahen und fernen Zukunft der Wasserbedarf des Waldes im Bundesland Salzburg während des gesamten Jahres grundsätzlich gedeckt sein wird. Diesbezüglich zeigen sich große Unterschiede während der einzelnen Jahreszeiten. Während im Herbst auch durch die zukünftigen Entwicklungen insgesamt keine markanten Trockenheitsprobleme zu erwarten sind, dürfte das Dürreisiko im Frühling und Frühsommer teils erheblich ansteigen.

In den Herbstmonaten ist der Wasserbedarf des Waldes vor allem nördlich der Tauern auch im Klima der Zukunft gedeckt. Die ohnehin positive Oberflächenwasserbilanz bleibt in der gleichen Größenordnung bzw. erfährt sie meist sogar eine leichte positive Änderung. Etwas unterschiedlich verhält sich die Situation allerdings in der Region Lungau: Einerseits ist die Oberflächenwasserbilanz hier bereits jetzt nur schwach positiv ausgeprägt. Andererseits zeigen die Modelle für die Zukunft eine Abnahme im September, wodurch sich besonders in diesem Monat und vor allem in ferner Zukunft und ohne ausreichende Klimaschutzmaßnahmen Trockenheitsprobleme ergeben könnten.

Frühling und Frühsommer zeigen hinsichtlich der erwarteten Änderung der Oberflächenwasserbilanz recht einheitliche Ergebnisse, durch verringerte Niederschläge im Sommerhalbjahr und erhöhte Verdunstung ergeben sich in allen Landesteilen Abnahmen. Am stärksten ist dieser negative Trend in jenen Zeiträumen, in denen das Defizit im aktuellen Klima zum Großteil durch die Schneeschmelze in der jeweiligen Höhenlage noch kompensiert wird. Im Klima der Zukunft fehlt in diesen Zeiträumen der Wassereintrag aus der schmelzenden Schneedecke, weil diese entweder gar nicht mehr vorhanden oder bereits früher abgeschmolzen ist. Dementsprechend verlagert sich das stärkste Minus bei der Oberflächenwasserbilanz mit zunehmender Höhenlage immer mehr vom frühen Frühling in den späten Frühling bzw. Frühsommer. Da die Oberflächenwasserbilanz im Istzustand im Frühling und Frühsommer

nördlich der Tauern sehr deutlich positiv ist, besteht für die Zukunft auch bei einer tendenziellen Abnahme ein großer Puffer. Probleme könnten hier erst in ferner Zukunft auftreten. Anders ist die Situation in der Region Lungau gelagert, wo die Oberflächenwasserbilanz bereits jetzt leicht negativ ist. Die für das Klima der Zukunft modellierten negativen Änderungen führen hier zu einer deutlichen Erhöhung des Trockenheitsrisikos.

Bei der Interpretation der Daten ist auch die Einbeziehung der Rolle von Starkniederschlägen in den Frühjahrs- und Sommermonaten anzuraten: Wie schon in den letzten Jahrzehnten anhand der Niederschlagsmessungen festzustellen war, erhöht sich mit fortschreitender Erwärmung der Atmosphäre der Anteil von Starkniederschlagsereignissen an der gesamten Niederschlagsmenge. Starkniederschläge und somit der Wasserverlust durch Oberflächenabfluss sind im vorliegenden Modell nicht abbildbar. Das Problem des erhöhten Wasserverlustes durch den verstärkten Oberflächenabfluss durch vermehrte Starkniederschläge kann daher nur qualitativ betrachtet werden. Die Messreihen der Stationen in den betrachteten Regionen zeigen seit Beginn der zeitlich hoch aufgelösten Niederschlagsmessungen eine Zunahme der Niederschlagsmengen um 20 Prozent innerhalb der vorgegebenen Zeiträume. Da von den Klimamodellen berechnet wird, dass dieser Trend während der nächsten Jahrzehnte anhält oder sich (speziell in RCP8.5) auch deutlich verstärkt, ergibt sich als Folgerung, dass dem Wald aufgrund des verstärkten Oberflächenabflusses bei Starkniederschlägen insgesamt weniger Wasser zur Verfügung stehen könnte. Auf diese Weise könnte sich trotz der ausreichenden Wassermengen dennoch eine zeitweilige Trockenheitssituation ab dem späten Frühling ergeben.

Die höheren Temperaturen der Klimazukunft beeinflusst die Dauer der Vegetationsperiode stark. Sowohl zu Beginn der Vegetationsperiode im Frühling als auch zu deren Ende im Herbst ergibt sich eine deutliche Ausweitung. Im „business-as-usual“-Szenario verlängert sich die Vegetationsperiode in der fernen Zukunft deutlich markanter als im Klimaschutzszenario. Die längere Vegetationsperiode lässt sowohl im Frühjahr als auch im Herbst eine längere Wachstumsphase des Waldes erwarten. Damit ist zum einen eine Vorverlegung von Austrieb und Blüte im Vergleich zur aktuellen Situation zu erwarten, zum anderen stellt sich auch die Ruhephase der Bäume im Herbst später ein. Während nördlich der Tauern der größte Anteil der Verlängerung auf das Frühjahr fällt, zeigen sich in der Region Lungau zumindest in der nahen Zukunft teils gegenteilige Effekte.

Bei der Beurteilung des Spätfrostrisikos zeigt sich, dass sich in der nahen Zukunft nördlich der Tauern die Daten von letztem Frost und Beginn der Vegetationsperiode nahezu „im Gleichschritt“ nach vorn verschieben. Lediglich in der Region Lungau verschiebt sich der Spätfrost stärker nach vorn, wodurch hier das Spätfrostrisiko bereits in der nahen Zukunft etwas sinken würde. In der fernen Zukunft zeigt sich der Effekt des verringerten Spätfrostrisikos aufgrund der geringeren Zeitspanne zwischen Beginn der Vegetationsperiode und letztem Frost in allen Regionen und bei beiden untersuchten Szenarien.

6 Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 2-1: Vergangene und simulierte Entwicklung der mittleren Lufttemperatur für das Land Salzburg (OEKS15; https://www.salzburg.gv.at/umweltnaturwasser/_Documents/Factsheet-Salzburg.pdf Factsheet für Salzburg)</i>	<i>7</i>
<i>Abbildung 2-2: Zeitlicher Verlauf auf Tagesbasis des Niederschlages, der Schneehöhe und der Schneeschmelze für das Jahr 2012 an einem Punkt im Land Salzburg auf ca. 1000m Seehöhe (oben), Zeitlicher Verlauf des SPEI ermittelt durch die Differenz zwischen Niederschlagssumme und potentieller Evapotranspiration (hellgrün) und ermittelt durch die Differenz zwischen verfügbarem Oberflächenwasser (flüssiger Niederschlag und Schneeschmelze) und potentieller Evapotranspiration.</i>	<i>9</i>
<i>Abbildung 2-3: a) Aufbau und Komponenten eines Boxplots, b) Klassifizierung von Unsicherheiten je nach Lage des Boxplots relativ zur Nulllinie des Klimaänderungssignals.</i>	<i>10</i>
<i>Abbildung 3-1: Verfügbares Oberflächenwasser (Regen und Schneeschmelze) und erforderlicher Wasserbedarf der Pflanzen (Dreiecke) für die Region Flachgau, Seehöhe ≤ 1400 m.....</i>	<i>16</i>
<i>Abbildung 3-2: Änderung der Niederschlagsmenge samt Referenzwert für einen fast trockenen Monat (Dreiecke) für die Region Flachgau, Seehöhe ≤ 1400 m</i>	<i>16</i>
<i>Abbildung 3-3: Vegetationsperiode für die Region Flachgau.....</i>	<i>17</i>
<i>Abbildung 3-4: Anzahl der Sommertage für die Region Flachgau.....</i>	<i>18</i>
<i>Abbildung 3-5: Anzahl der heißen Tage für die Region Flachgau</i>	<i>18</i>
<i>Abbildung 3-6: Verfügbares Oberflächenwasser (Regen und Schneefall) und erforderlicher Wasserbedarf der Pflanzen (Dreiecke) für die Region Pongau, Seehöhe ≤ 1400 m.....</i>	<i>21</i>
<i>Abbildung 3-7: Änderung der Niederschlagsmenge samt Referenzwert für einen fast trockenen Monat (Dreiecke) für die Region Pongau, Seehöhe ≤ 1400 m.....</i>	<i>21</i>
<i>Abbildung 3-8: Vegetationsperiode für die Region Pongau</i>	<i>22</i>
<i>Abbildung 3-9: Anzahl der Sommertage für die Region Pongau</i>	<i>23</i>
<i>Abbildung 3-10: Anzahl der heißen Tage für die Region Pongau</i>	<i>24</i>
<i>Abbildung 3-11: Verfügbares Oberflächenwasser (Regen und Schneefall) und erforderlicher Wasserbedarf der Pflanzen (Dreiecke) für die Region Lungau, Seehöhe ≤ 1400 m</i>	<i>25</i>
<i>Abbildung 3-12: Änderung der Niederschlagsmenge samt Referenzwert für einen fast trockenen Monat (Dreiecke) für die Region Lungau, Seehöhe ≤ 1400 m.....</i>	<i>25</i>
<i>Abbildung 3-13: Vegetationsperiode für die Region Lungau</i>	<i>27</i>
<i>Abbildung 3-14: Anzahl der Sommertage für die Region Lungau</i>	<i>28</i>
<i>Abbildung 3-15: Anzahl der heißen Tage für die Region Lungau.....</i>	<i>28</i>
<i>Abbildung 3-16: Positiver Feuchtefluss (Regen und Schneefall) und erforderlicher Wasserbedarf der Pflanzen (Dreiecke) für die Region Lungau, Seehöhe ≤ 1400 m.....</i>	<i>33</i>

<i>Abbildung 3-17: Änderung der Niederschlagsmenge samt Referenzwert für einen fast trockenen Zweimonatszeitraum (Dreiecke) für die Region Lungau, Seehöhe ≤ 1400 m</i>	<i>34</i>
<i>Abbildung 3-18: Oberflächenwasserbilanz für das Bundesland Salzburg, Höhenstufe 1200-1500m</i>	<i>38</i>
<i>Abbildung 3-19: Vegetationsperiode für das Bundesland Salzburg, Höhenstufe 1200-1500 m.....</i>	<i>39</i>
<i>Abbildung 3-20: Oberflächenwasserbilanz für Bundesland Salzburg, Höhenstufe 1500-1700 m.....</i>	<i>40</i>
<i>Abbildung 3-21: Vegetationsperiode für das Bundesland Salzburg, Höhenstufe 1500-1700 m.....</i>	<i>41</i>
<i>Abbildung 3-22: Oberflächenwasserbilanz für Bundesland Salzburg, Höhenstufe 1700-2000 m.....</i>	<i>42</i>
<i>Abbildung 3-23: Vegetationsperiode für das Bundesland Salzburg, Höhenstufe 1700-2000 m.....</i>	<i>43</i>
<i>Abbildung 4-1: Oberflächenwasserbilanz für Flachgau</i>	<i>50</i>
<i>Abbildung 4-2: Oberflächenwasserbilanz für Pongau</i>	<i>51</i>
<i>Abbildung 4-3: Oberflächenwasserbilanz für Lungau</i>	<i>52</i>
<i>Abbildung 4-4: Oberflächenwasserbilanz für Region Wallersee</i>	<i>53</i>
<i>Abbildung 4-5: Anzahl der heißen Tage für die Region Flachgau</i>	<i>54</i>
<i>Abbildung 4-6: Oberflächenwasserbilanz für die Region Enns/Pongau, VII-XI.....</i>	<i>55</i>
<i>Abbildung 4-7: Oberflächenwasserbilanz für die Region Enns/Pongau, VII-I.....</i>	<i>56</i>
<i>Abbildung 4-8: Oberflächenwasserbilanz für die Region Enns/Pongau, VI-IX.....</i>	<i>57</i>
<i>Abbildung 4-9: Oberflächenwasserbilanz für die Region Lungau</i>	<i>58</i>
<i>Abbildung 5-1: Oberflächenwasserbilanz Herbst für die Region Flachgau, Höhenstufe 800-900m</i>	<i>64</i>
<i>Abbildung 5-2: Oberflächenwasserbilanz Frühling für die Region Flachgau, Höhenstufe 800-900 m.....</i>	<i>65</i>
<i>Abbildung 5-3: Vegetationsperiode für die Region Flachgau, Höhenstufe 800-900 m.....</i>	<i>66</i>
<i>Abbildung 5-4: Datum des letzten Frostes im Vergleich zur Vegetationsperiode in der Region Flachgau, Höhenstufe 800-900 m.....</i>	<i>67</i>
<i>Abbildung 5-5: Oberflächenwasserbilanz Herbst für die Region Nordstau, Höhenstufe 1000-1200 m</i>	<i>69</i>
<i>Abbildung 5-6: Oberflächenwasserbilanz Frühling für die Region Nordstau, Höhenstufe 1000-1200 m....</i>	<i>69</i>
<i>Abbildung 5-7: Vegetationsperiode für die Region Nordstau, Höhenstufe 1000-1200 m.....</i>	<i>70</i>
<i>Abbildung 5-8: Datum des letzten Frostes im Vergleich zur Vegetationsperiode in der Region Nordstau, Höhenstufe 1000-1200 m</i>	<i>71</i>
<i>Abbildung 5-9: Oberflächenwasserbilanz (SPEI + Schneedecke) Herbst für die Region Lungau, Höhenstufe 1200-1300 m</i>	<i>73</i>
<i>Abbildung 5-10: Oberflächenwasserbilanz Frühling für die Region Lungau, Höhenstufe 1200-1300 m</i>	<i>73</i>
<i>Abbildung 5-11: Vegetationsperiode für die Region Lungau, Höhenstufe 1200-1300 m.....</i>	<i>74</i>
<i>Abbildung 5-12: Datum des letzten Frostes im Vergleich zur Vegetationsperiode in der Region Lungau, Höhenstufe 1200-1300 m</i>	<i>75</i>

7 Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1 Verwendete Indikatoren und Erläuterungen</i>	<i>10</i>
---	-----------

8 Literaturverzeichnis

Chimani B, Heinrich G, Hofstätter M, et al (2016) Endbericht ÖKS15 – Klimaszenarien für Österreich - Daten - Methoden - Klimaanalyse. Projektbericht

Haslinger K, Bartsch A (2016) Creating long-term gridded fields of reference evapotranspiration in Alpine terrain based on a recalibrated Hargreaves method. Hydrol Earth Syst Sci 20:1211–1223.

Maraun D (2018) STARC-impact – Supporting the Austrian Research Community in using recent Climate Change Projections for Climate Impact Studies, Endbericht

Olefs M, Schöner W, Suklitsch M, et al (2013) SNOWGRID – A new operational snow cover model in Austria. In: International Snow Science Workshop 2013. Grenoble, Chamonix