

# A

## 1 KLIMAWANDEL UND WASSERHAUSHALT IN DER STEIERMARK

### 1.1 KLIMAWANDEL UND DIE ÖSTERREICHISCHE WASSERWIRTSCHAFT

In den letzten 30 Jahren haben sich die klimatischen Bedingungen speziell im Alpenraum verändert. Sichtbar wurde dies in der Zunahme der mittleren Lufttemperatur von etwa 1,5 °C in diesem Zeitraum sowie in Änderungen des Niederschlagsregimes. Die österreichische Wasserwirtschaft ist von diesen Entwicklungen besonders betroffen und gefordert. Um die zukünftige Entwicklung für den Wasserhaushalt und damit die Folgen des Klimawandels für die österreichische Wasserwirtschaft beurteilen zu können, eine entsprechende Risikoabschätzung durchführen zu können sowie Anpassungsmaßnahmen erarbeiten zu können, wurde 2009 vom Lebensministerium und den wasserwirtschaftlichen Abteilungen aller Landesregierungen bei der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) und der Technischen Universität Wien (TU Wien) eine entsprechende Studie in Auftrag gegeben.<sup>1</sup> Im Nachfolgenden werden die Ergebnisse dieser Studie – insbesondere für den Bereich Wasserversorgung – als Grundlage und Rahmen der Klimawandelszenarien für die Steiermark auszugsweise bzw. zusammenfassend dargestellt.

#### KLIMÄNDERUNG UND –VARIABILITÄT

Die Untersuchung des Klimas der Vergangenheit zeigt, dass in den 1970er Jahren eine markante Umstellung im Klimasystem für den Alpenraum stattgefunden hat. Seit damals liegt in ganz Österreich ein stark steigender Temperaturentrend vor. Die Histalp Daten zeigen, dass die Lufttemperatur in Österreich seit Mitte der 1970er Jahre deutlich (fast 1,5 °C) zugenommen hat. Es handelt sich dabei um einen für Österreich sehr einheitlichen Trend. Die Zunahme war stärker im Sommer (fast 2 °C) als im Winter (ca. 1 °C) (harte Aussage). Die Jahressummen des Niederschlags sind seit der Mitte der 1970er

Jahre überall gestiegen, außer im Südosten. Dabei war die Zunahme im Norden und inneralpin monoton ansteigend (mehr als 15 % im Norden, ca. 10 % inneralpin), im Westen und Südosten stark durch dekadische Minima und Maxima geprägt. Die Winterniederschläge sind seit der Mitte der 1970er Jahre nördlich des Alpenhauptkammes etwas gestiegen, südlich des Alpenhauptkammes deutlich gefallen. In den anderen Jahreszeiten gab es tendenziell eine Zunahme des Niederschlags in ganz Österreich mit Ausnahme des Südens, wo die Trends sehr gering waren.

Die Klimaszenarien ergeben, dass die Lufttemperatur in Österreich gemittelt über den Zeitraum 2021 bis 2050 gegenüber 1976–2007 um ca. 1 °C steigen wird, wobei die Zunahme im Sommer stärker sein wird als im Winter. Gemittelt über den Zeitraum 2021 bis 2050 gegenüber 1976–2007 werden die Winterniederschläge insbesondere nördlich des Alpenhauptkammes eher zunehmen, die Sommerniederschläge werden eher abnehmen. Eine stärkere Veränderung des Niederschlags ist erst nach 2050 zu erwarten. Die Verdunstung wird gemittelt über den Zeitraum 2021 bis 2050 gegenüber 1976–2007 zunehmen. Die Größenordnung der Änderung ist jedoch unsicher. Die Aussage, dass Extremwerte des Niederschlags auf Grund der höheren Niederschlagssummen im Winter und des auf Grund physikalischer Zusammenhänge mit dem zu erwartenden Temperaturanstieg einhergehenden höheren Feuchtegehaltes der Atmosphäre im Sommer (konvektive Ereignisse) zunehmen ist derzeit eher spekulativ, da die bisherigen Niederschlagsdaten in Österreich mit ihrer räumlichen und zeitlichen Auflösung und Genauigkeit keine Hinweise auf eine Zunahme von Extremniederschlägen ergeben.

<sup>1</sup> BMLFUW (2010)

## WASSERDARGBOT GRUNDWASSER

Die Neubildung des Porengrundwassers erfolgt vor allem im Frühjahr. Änderungen sind also vor allem von den klimatischen Verhältnissen im Frühjahr bestimmt. Die Auswertung der letzten rund 30 Jahre zeigt, dass bei 18 % der Grundwassermessstellen die Jahresmittelwerte des Grundwasserstandes einen fallenden Trend und bei ca. 12 % einen steigenden Trend aufwiesen. Eine Abnahme der Grundwasserstände wurde für Messstellen in Kärnten, Südsteiermark und Burgenland bis zur Donau verzeichnet, eine starke Zunahme im Süden des südlichen Wiener Beckens. In den nächsten Jahrzehnten ist im Süden Österreichs (Kärnten, Steiermark) eine Abnahme der Grundwassererneubildung zu erwarten, im Norden und Westen könnte die Grundwassererneubildung zunehmen. Durch die vermutlich geringe Zunahme der Niederschläge und die erwartete Temperaturerhöhung sind in den niederschlagsarmen Regionen im Osten Österreichs eher sinkende Grundwasserstände zu erwarten. Die Abnahme der Abflüsse im Süden und Südosten zeigen sich auch in einer Abnahme des Grundwasserstandes in den gewässernahen Grundwasservorkommen. Inwieweit hier eine Überlagerung von Auswirkungen durch die errichteten Flusskraftwerke gegeben ist, müsste in Detailuntersuchungen analysiert werden.

Eine Fortsetzung bzw. Intensivierung der Wasserwirtschaftlichen Planung der Grundwasservorkommen erscheint speziell in den niederschlagsarmen Regionen des Ostens und Südens Österreichs sinnvoll.

Erhöhte Abflüsse und Niederschläge in den Zentralalpen im Zeitraum 1976–2006 lassen auch eine Zunahme des Grundwasserdargebotes in

den Karst- und Kluftgrundwasservorkommen erwarten (diese wurden hier aufgrund unzureichender Datenlage nicht untersucht).

Die Grundwassertemperaturen nahmen im Zeitraum 1976 – 2006 mit ganz wenigen Ausnahmen in den beobachteten Messstellen zum Teil deutlich zu (zwischen 0,3 °C bis 1,2 °C). Zwischen Lufttemperatur und Grundwassertemperatur lässt sich aus den Daten der Zeitreihe 1976–2006 ein regionaler Zusammenhang von einem Anstieg von 0,5 °C bis 1,0 °C pro 1,0 °C Lufttemperaturzunahme ableiten, der jedoch von der lokalen Grundwassersituation stark beeinflusst wird.

Bei einer klimabedingten Veränderung von Temperatur, Niederschlag und Verdunstung sind sowohl quantitative als auch qualitative Auswirkungen auf das Grundwasser zu erwarten. Die Szenarienrechnungen mit dem Klimamodell CCM lassen für den Zeitraum 2021–2050 gegenüber 1976–2006 folgende regionale Auswirkungen auf die Grundwasservorkommen erwarten: Für den Süden Österreichs (Kärnten, Steiermark), wo auch eine Abnahme der Winterniederschläge erwartet wird, ist mit einer Abnahme der Grundwassererneubildung zu rechnen. Aufgrund der erhöhten Winter- und Frühjahrsniederschläge im Norden und Westen ist in diesen Regionen eher eine Zunahme der Grundwassererneubildung zu erwarten. Durch die vermutlich geringe Zunahme der Niederschläge und der erwarteten Temperaturerhöhung sind in den niederschlagsarmen Regionen im Osten Österreichs eher sinkende Grundwasserstände zu erwarten. Mit einer Zunahme der Grundwassertemperatur zwischen 0,2 °C und 1 °C ist zu rechnen, wobei der genaue Wert wieder von den lokalen Verhältnissen abhängt.

## 1.2 KLIMAWANDELSZENARIOEN FÜR DIE STEIERMARK

Um die Einschätzung der Auswirkungen des künftigen Klimawandels und die Erarbeitung von Anpassungsoptionen an den Klimawandel auf eine zuverlässige und langlebige Informationsgrundlage zu stellen, wurden im

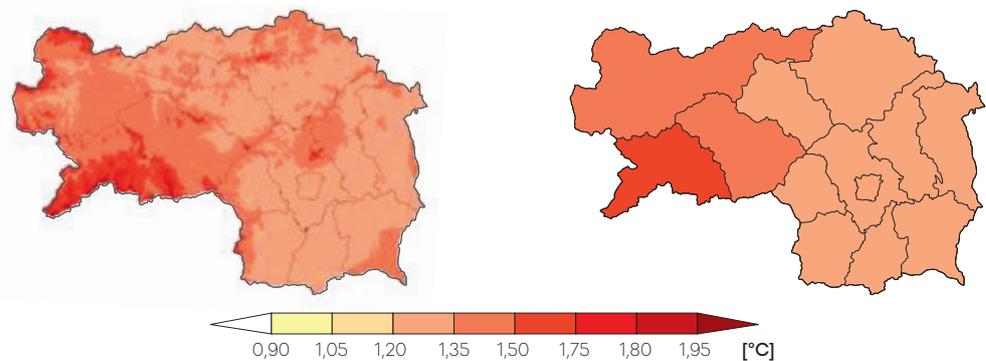
Auftrag der Steiermärkischen Landesregierung vom Wegener Zentrum für Klima und Globalen Wandel der Karl-Franzens-Universität Graz erstmals umfassend Klimaszenarien für die Steiermark erarbeitet.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Klimaszenarien für die Steiermark bis 2050 (STMK12)

Diese Informationsgrundlage enthält die neuesten Ergebnisse der nationalen und internationalen Klimaforschung und besteht aus den Ergebnissen von 24 Klimasimulationen, welche auf ein 1-km Gitter verfeinert, von Modellfehlern bereinigt und auf Tagesbasis für Temperatur und Niederschlag zur Verfügung gestellt wurden. Der Datensatz ermöglicht neben der Analyse von Szenarien unterschiedlicher meteorologischer Parameter auch eine weiterführende Nutzung in vielen anwendungsorientierten Abschätzungen der Folgen des Klimawandels.

Im ersten Teil des Projekts wurden die STMK12-Szenarien für die Grundgrößen Temperatur und Niederschlag analysiert. Aufbauend auf diesen Grundergebnissen wurden STMK12-Szenarien im zweiten Teil des Projekts auf anwendungsorientierte Kenngrößen des Klimawandels erweitert. So wurden beispielsweise Änderungen von Starkniederschlägen, Schneesicherheit oder Trockenperioden unter Berücksichtigung der neuen Bezirksgrenzen, die seit Jänner 2013 in der Steiermark gültig sind, analysiert.

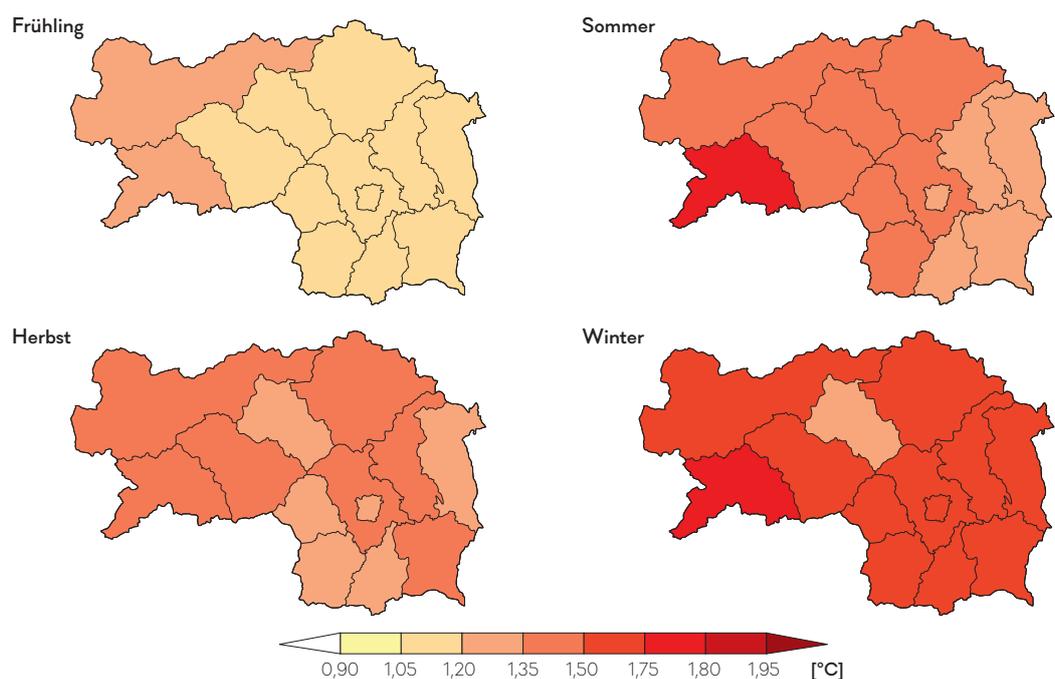
**Abbildung 2:**  
Erwartete Änderung  
der Jahresmittel-  
temperatur [°C]  
(1971–2000 vs. 2021–2050).  
(Quelle: Land Steier-  
mark/Wegener  
Zentrum)



Die Ergebnisse (siehe *Abbildung 2* und *Abbildung 3*) zeigen, dass eine weitere Temperaturzunahme in der Steiermark bis 2050 mit sehr hoher Wahr-

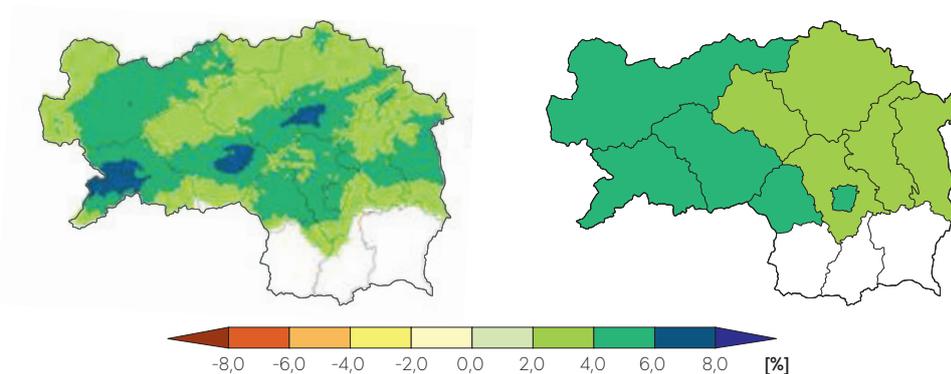
scheinlichkeit eintreten und einen Trend von etwa 0,3 °C pro Jahrzehnt aufweisen wird. Insbesondere im Winter wird eine stärkere Erwärmung erwartet.

**Abbildung 3:**  
Erwartete saisonale  
Temperaturänderung [°C]  
(2021–2050 verglichen  
mit 1971–2000) in der  
Steiermark. (Quelle:  
Land Steiermark/  
Wegener Zentrum)



In Bezug auf Niederschlag (siehe *Abbildung 4*) sind die Aussichten sehr unsicher. Von Herbst bis Frühling wird eher mehr Niederschlag erwartet. Im Sommer und vor allem im Süden der Steiermark ist auch eine Niederschlagsabnahme möglich (siehe *Abbildung 5*). Zusätzlich gibt es allerdings Anzeichen, dass Niederschläge in Zukunft heftiger ausfallen

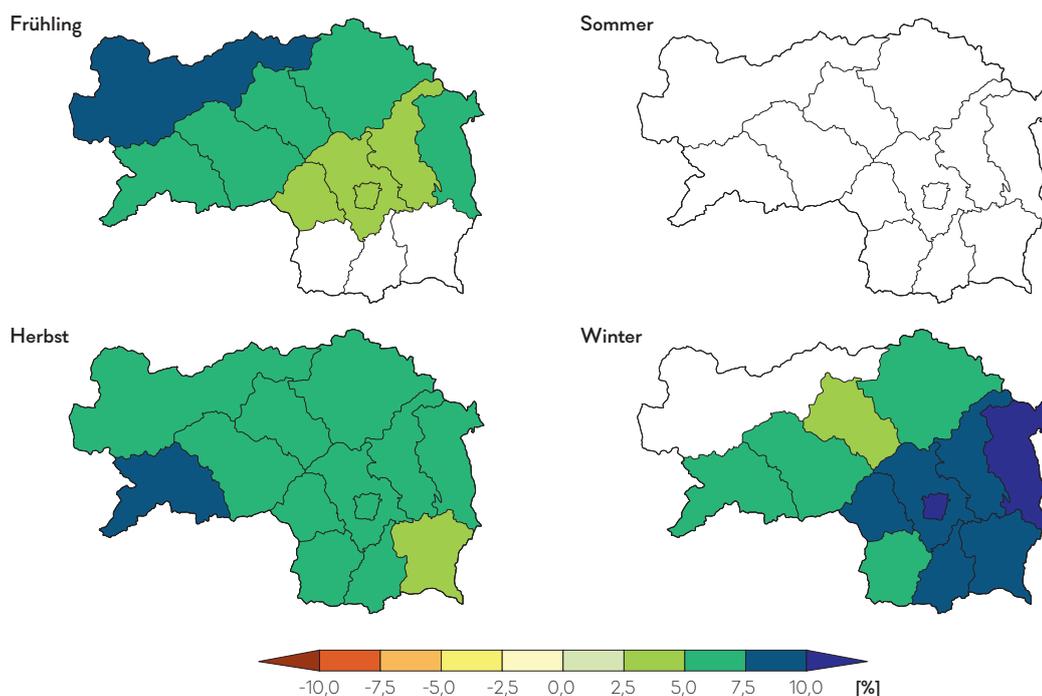
könnten. Auswirkungen des Klimawandels, die stark von der Temperaturzunahme abhängen, werden in den nächsten Jahrzehnten mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit spürbar werden. So ist ohne Anpassung etwa mit einer Zunahme des Energiebedarfs für Kühlung und mit einer starken Abnahme der Tage mit Schneedecke zu rechnen.



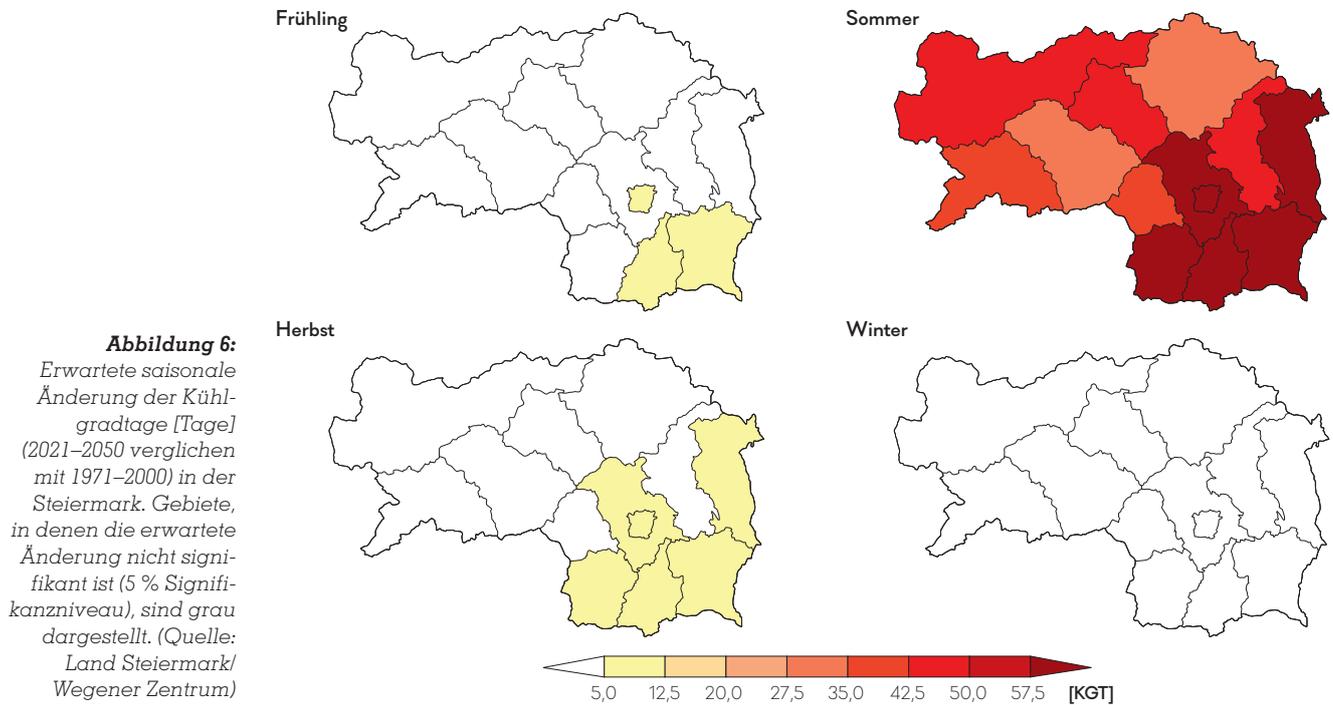
**Abbildung 4:** Erwartete Änderung der jährlichen Niederschlagssumme [%] (2021–2050 verglichen mit 1971–2000) in der Steiermark. Links: 1 km Gitter, rechts: Bezirke. Gebiete, in denen die erwartete Änderung nicht signifikant ist (5 % Signifikanzniveau), sind grau dargestellt. (Quelle: Land Steiermark/Wegener Zentrum)

Aufbauend auf den für STMK12 erarbeiteten Daten können nun von den jeweiligen Fachleuten relativ unaufwändig weitere Studien über die Auswirkungen des Klimawandels durchge-

führt werden. So bietet es sich beispielsweise an, Szenarien für die Grundwasserneubildung in Teilen der Steiermark oder über landwirtschaftlich relevante Trockenheit zu erstellen.



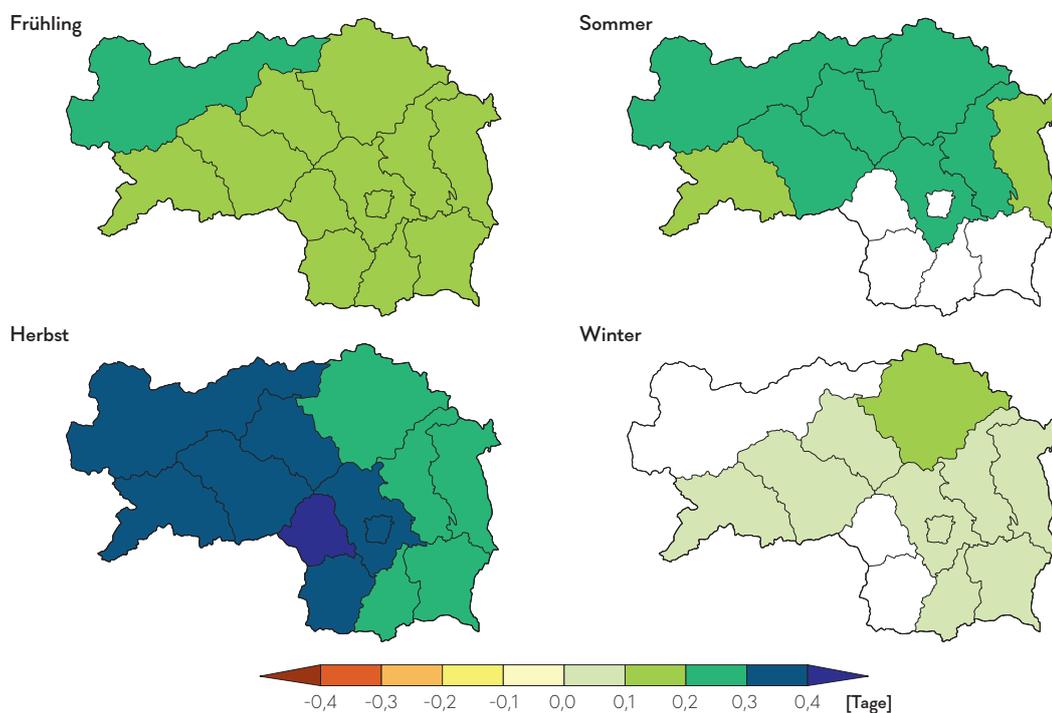
**Abbildung 5:** Erwartete saisonale Niederschlagsänderung [%] (2021–2050 verglichen mit 1971–2000) in der Steiermark. Gebiete, in denen die erwartete Änderung nicht signifikant ist (5 % Signifikanzniveau), sind grau dargestellt. (Quelle: Land Steiermark/Wegener Zentrum)



Kühlgradtage sind eine wichtige Kenngröße für den Energieverbrauch durch Gebäudekühlung. In den Sommermonaten und im Südosten der Steiermark ist mit einer deutlichen Steigerung zu rechnen. Relativ zur Referenzperiode verdoppelt sich die Anzahl der Kühlgradtage nahezu (siehe *Abbildung 6*).

Weitere Untersuchungen zeigen, dass die Niederschlagszunahme von Herbst bis Frühling nicht etwa durch häufigere, sondern durch heftigere Niederschläge zustande kommt (siehe

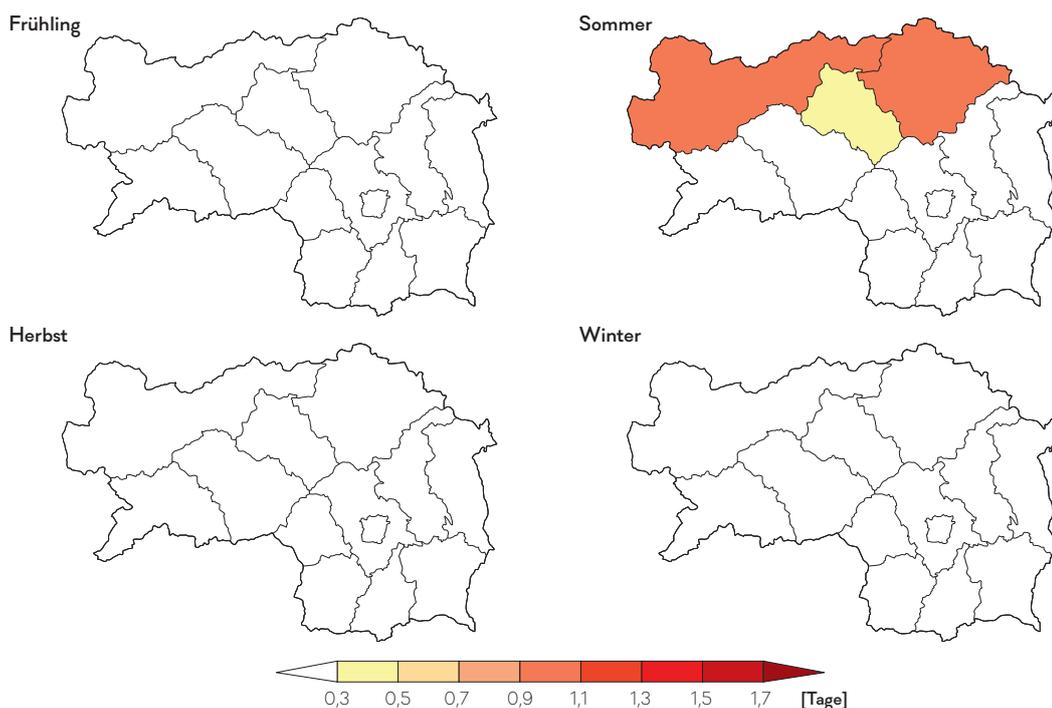
*Abbildung 7*). Im Sommer ist sogar von einer signifikanten Abnahme der Niederschlagshäufigkeit auszugehen, während die Niederschlagsintensität in allen Saisonen zunimmt (siehe *Abbildung 7*). Starkniederschläge sind als Kenngröße sowohl für Überschwemmungen, Naturgefahren als auch für die Landwirtschaft relevant. Tendenziell ist in allen Jahreszeiten mit mehr Starkniederschlagsereignissen zu rechnen. Die Unsicherheiten sind aber sehr groß und eine endgültige Aussage ist derzeit nicht möglich.



**Abbildung 7:** Erwartete saisonale Änderung der Tage mit starkem Niederschlag (> 30 mm Niederschlags-summe pro Tag) [Tage/ Saison] (2021–2050 verglichen mit 1971–2000) in der Steiermark. Gebiete, in denen die erwartete Änderung nicht signifikant ist (5 % Signifikanzniveau), sind grau dargestellt. (Quelle: Land Steiermark/Wegener Zentrum)

Die längste Trockenperiode ist eine wichtige Kenngröße für Landwirtschaft und Wasserversorgung. In der Steiermark sind nach heutigem

Stand des Wissens in Zukunft längere Trockenperioden zwar möglich, aber nicht besonders wahrscheinlich (siehe *Abbildung 8*).



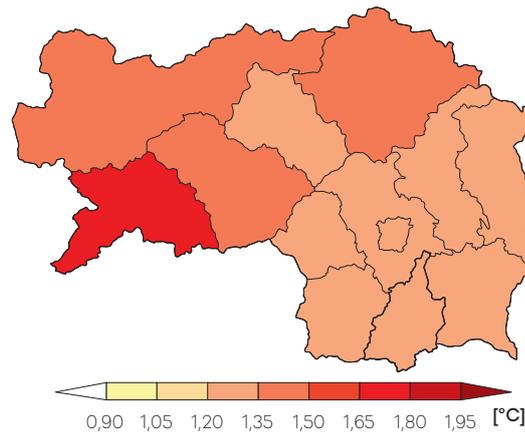
**Abbildung 8:** Erwartete saisonale Änderung der längsten Trockenperiode pro Saison [Tage] (2021–2050 verglichen mit 1971–2000) in der Steiermark. Gebiete, in denen die erwartete Änderung nicht signifikant ist (5 % Signifikanzniveau), sind grau dargestellt. (Quelle: Land Steiermark/Wegener Zentrum)

## BEZIRK LEIBNITZ

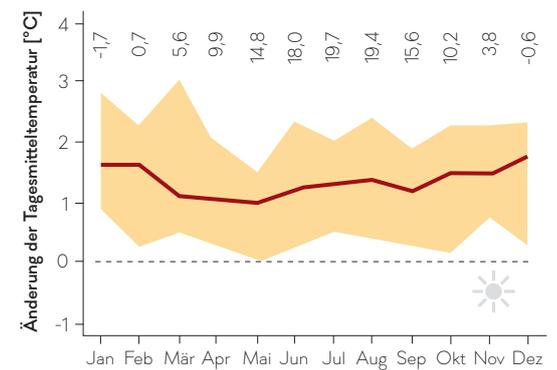
Nachfolgend werden die zwei Bezirke Leibnitz und Liezen kurz genauer betrachtet, um die unterschiedlichen Tendenzen des Klimawandels in der Süd- bzw. Obersteiermark detaillierter darstellen zu können.

### Leibnitz im steirischen Vergleich

**Abbildung 9:**  
Links: Erwartete Temperaturänderung [%]. (2021–2050 verglichen mit 1971–2000). Gebiete, in denen die erwartete Änderung nicht signifikant ist (5 % Signifikanzniveau), sind grau dargestellt.  
Rechts: Bandbreite der erwarteten Temperaturänderung. (Quelle: Land Steiermark/Wegener Zentrum)



### Jahresgang der Klimaänderung im Bezirk Leibnitz

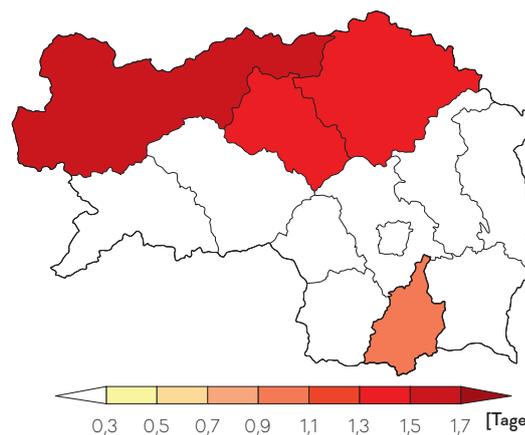


Im Jahresmittel ist mit einer Temperaturzunahme um +1,3 °C zu rechnen bei einer schwächeren Erwärmung im Frühling und einer

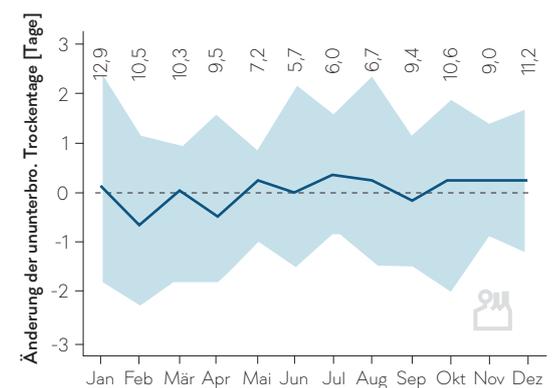
stärkeren im Winter. Die Bandbreite der Temperaturzunahme liegt allerdings zwischen +0,4 °C und +2,3 °C (siehe Abbildung 9).

### Leibnitz im steirischen Vergleich

**Abbildung 10:**  
Links: Erwartete Änderung der längsten Trockenperiode pro Saison [Tage]. (2021–2050 verglichen mit 1971–2000). Gebiete, in denen die erwartete Änderung nicht signifikant ist (5 % Signifikanzniveau), sind grau dargestellt.  
Rechts: Bandbreite der erwarteten Änderungen der längsten Trockenperioden. (Quelle: Land Steiermark/Wegener Zentrum)



### Jahresgang der Klimaänderung im Bezirk Leibnitz



In Abbildung 10 ist zu erkennen, dass mit einer Zunahme der Trockenperioden im Jahresmittel um +0,4 Tage zu rechnen sein wird. Die Bandbreite der Verlängerung der Trockenperioden

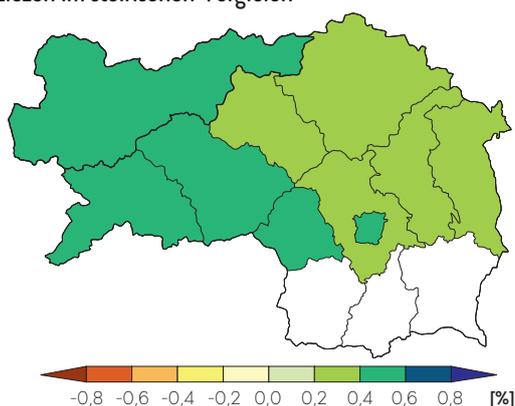
liegt allerdings im Jahresmittel zwischen -3,0 Tage und +2,8 Tage und liegt um 0,2 Tage über dem steirischen Schnitt.

## BEZIRK LIEZEN

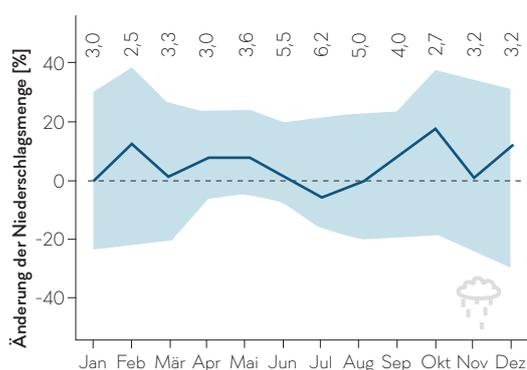
Im Vergleich dazu sehen die Änderungstrends im Bezirk Liezen in der Obersteiermark etwas anders aus. Während die Zunahme der Temperatur sich etwa am steirischen Schnitt von

+1,4 °C im Jahresmittel orientiert, nimmt der Niederschlag im Jahresmittel um +5,2 % zu, wobei die Zunahme im Oktober am stärksten sein wird (siehe *Abbildung 11*).

Liezen im steirischen Vergleich



Jahresgang der Klimaänderung im Bezirk Liezen



**Abbildung 11:**

Links: Erwartete Änderung des Niederschlags [%]. (2021–2050 verglichen mit 1971–2000). Gebiete, in denen die erwartete Änderung nicht signifikant ist (5 % Signifikanzniveau), sind grau dargestellt. Rechts: Bandbreite der erwarteten Änderungen des Niederschlags. (Quelle: Land Steiermark/Wegener Zentrum)

Es kann somit von einer Zunahme des Niederschlags im Jahresmittel um +5,2 % ausgegangen werden, wobei hier die Bandbreite ziemlich stark von -7,4 % bis +23,3 % vor allem im Herbst

variiert (siehe *Abbildung 11*). Im Vergleich dazu gibt es im Bezirk Leibnitz keine signifikanten Änderungen.

## 1.3 ANPASSUNGSSTRATEGIEN AN DEN KLIMAWANDEL FÜR DIE ÖSTERREICHISCHE WASSERWIRTSCHAFT

In der Studie „Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft“ werden auf Basis der erarbeiteten Grundlagen Empfehlungen für Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel für die österreichische Wasserwirtschaft erarbeitet. Diese werden im Folgenden auszugsweise bzw. zusammenfassend dargestellt.<sup>3</sup>

### GRUNDLEGENDE WASSERWIRTSCHAFTLICHE POSTULATE

„Die Wasserwirtschaft hat eine extrem lange Tradition der Anpassung durch technische und organisatorische Maßnahmen an geänderte Klimabedingungen, die meist durch Extremereignisse (Hochwasser, extreme Trockenperioden, trockene und nasse Dekaden) ausgelöst

oder zumindest beschleunigt wurden. Die meisten Anforderungen der Nutzer und Schützer von Wasser und Gewässern an die Wasserwirtschaft (Abdeckung des Wasserbedarfes und/oder einer Einhaltung gewisser Gütekriterien in Grund und Oberflächengewässern, Überschreitung von Mindestdurchflüssen) sind dadurch gekennzeichnet, dass sie „zu jeder Zeit“ (also auch bei seltenen außergewöhnlichen Bedingungen mit hoher Sicherheit erfüllt werden sollen. Diese dauernden Anforderungen haben dazu geführt, dass die Wasserwirtschaft sogenannte „robuste“ Systeme anstrebt. Diese weisen einerseits eine geringe Versagenswahrscheinlichkeit auf, andererseits bleiben bei Versagen (Nichteinhaltung aller Anforderungen an Schutz von Mensch und Umwelt) die Schäden zumindest

<sup>3</sup> BMLFUW (2010)

zeitlich begrenzt und die Reparatur oder Kompensationsmaßnahmen abschätzbar.“

„Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel müssen sich an einem Vorsorgeprinzip orientieren, das Kosten und Risiken für Mensch und Umwelt in einem akzeptablen Gleichgewicht hält. Die Risiken betreffen zwei unterschiedliche Bereiche:

Einerseits kann die Nutzung von Wasser für verschiedene Zwecke durch den Klimawandel bedroht sein (Einschränkung von Nutzungen), was auch ökonomische Risiken (z.B. Kühlwasserentnahmen für Kraftwerke oder Industrie) oder die Erfüllung von Verpflichtungen (z.B. Trinkwasserversorgung) einschränkt oder mit zusätzlichen Aufwendungen verknüpft. In beiden Fällen sind Veränderungen im Bereich des Wasserdargebotes und der Umweltbedingungen über die Zeit eng mit den Veränderungen der Beschaffenheit von Wasser und Gewässern gekoppelt.

Andererseits stellen die Aufgabe des Schutzes aller Gewässer vor Verschlechterung und die Erreichung bzw. Herstellung eines guten Zustandes sowie der Schutz der davon abhängigen Ökosysteme nach WRG 1959 i.d.g.F ein öffentliches Interesse dar. Hier besteht das Risiko für die Wasserberechtigten, dass Veränderungen des Klimas und die damit ausgelösten Anpassungen der lebendigen Umwelt einen Eingriff in bestehende Wasserrechte notwendig machen können. Dieser Eingriff ist juristisch schwierig und an die Bedingung der „Kostenminimierung“ (gelindestes Mittel) auch in Hinblick auf die Verwendung öffentlicher Gelder gebunden.

Daraus folgt, dass eine langfristige Perspektive von Anpassungsmaßnahmen sinnvoll ist, weil einerseits die Veränderungen des Klimas langsam vor sich gehen und auch Anpassungsmaßnahmen meist nicht kurzfristig umzusetzen sind. Dabei ist immer zu beachten, dass die Vulnerabilität der wasserwirtschaftlichen Aktivitäten, also des Wechselspiels zwischen Wassernutzung und -schutz, wesentlich stärker durch die Variabilität des Wettergeschehens an sich bedroht wird als durch die vergleichsweise langsamen Veränderungen des Klimas. Daraus

kann man den Schluss ziehen, dass Maßnahmen, die beide Bedrohungen verringern, eine höhere zeitliche Priorität bekommen sollten also solche, die nur die negativen Auswirkungen eines zukünftigen Klimawandels betreffen.

Die Erhöhung der Risiken (potentielle Kosten für Schadensbehebung), die von Wasser zufolge Klimawandel für die Menschen ausgehen kann, insbesondere jene durch Veränderung der Hochwasserregime auch in Siedlungsgebieten, aber auch jene durch Dürren in der Landwirtschaft, erfolgt mit großer Sicherheit wesentlich langsamer als die Erhöhung der Schadenspotenziale zufolge der laufenden Steigerung des Wertes der betroffenen Infrastruktur oder der betroffenen landwirtschaftlichen/forstwirtschaftlichen Flächen auch durch indirekte Auswirkungen wie Hangrutschungen, Windbruch oder Lawinen. Bei Anpassungsmaßnahmen muss daher immer überprüft werden, ob nicht Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkung von Extremereignissen auf die Schadenskosten (z.B. Objektschutz, Freihaltung von Überflutungsflächen) geringere Kosten verursachen als die Aufrechterhaltung eines definierten Schutzniveaus für die bedrohte Infrastruktur durch technische Maßnahmen auf der Basis von für die Zukunft berechneten erhöhten Auftretswahrscheinlichkeiten für Extremereignisse.“

„Obwohl die Studie „Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft“ die Fragestellung in umfassender Weise beleuchtet hat, besteht weiterer Forschungsbedarf. Die in absehbarer Zukunft erwartbaren Ensemblesimulationen von Klimamodellen könnten die Unsicherheiten der Klimamodelle bei Impaktanalysen weitergehend abbilden als dies durch die Auswertung der Ergebnisse einzelner Modelle möglich ist. Für hydrologische Fragestellungen müssen Untersuchungen mit regionalen Klimamodellen ein vermehrtes Interesse auf hydrologisch relevante Wetterlagen und deren richtige Simulation durch die Modelle legen. Da nicht zu erwarten ist, dass sich die Genauigkeit der Klimamodelle in nächster Zeit sprunghaft verbessert, sind robuste (empirische) Methoden zu entwickeln,

die eine Abschätzung von Extremwerten für die Zukunft zulassen. Das gilt besonders für Hochwasser, da die Veränderungen im Extrembereich weiterhin eine offene Forschungsfrage sind. In Hinblick auf die Frühwarnung vor Extremereignissen wäre die Entwicklung von probabilistischen Hochwasserwarnsystemen in kleinen Einzugsgebieten für flash floods sowie Niederwasserprognosen anzudenken. Erfahrungen aus dem Sommer des Jahres 2003 in Hinblick auf Nutzungs- und Versorgungspässe auszuwerten wäre empfehlenswert, um daraus Schlüsse für Maßnahmen zur Erhöhungen der Redundanz abzuleiten.

Bei der Bestimmung der Veränderungen der Verdunstung gibt es derzeit Defizite. Eine Ergänzung der bisherigen Wannenmessungen durch eine direkte Messung der Verdunstung etwa durch die Eddy-Correlation Methode wäre deshalb wünschenswert. Auch der Niederschlagsmessung im alpinen Bereich ist vermehrte Aufmerksamkeit zu schenken, um eine langfristige gute Datenbasis zu erhalten. Gleiches gilt für Messreihen der Wasserbeschaffenheit. Hier sollte verstärkt auf qualitativ hochwertige lange Reihen gesetzt werden. Um aus Messdaten Trendänderungen ablesen zu können ist eine sehr hohe Datenqualität nötig. Deswegen besteht Bedarf zur Homogenisierung hydrologischer Daten in ähnlicher Weise wie dies etwa für den Histalp Datensatz bereits durchgeführt wurde. Auch die Digitalisierung derzeit nur auf Papier vorhandener Daten wäre wünschenswert, um klimainduzierte Trends besser beurteilen zu können. Mit einer derartig erweiterten Datenbasis sollten anthropogene und klimatische Einflüsse auf den Wasserhaushalt und die Wasserbeschaffenheit schärfer getrennt werden, als dies derzeit möglich ist.“

## SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

Aus den in dieser Studie durchgeführten Analysen werden darin folgende Schlussfolgerungen bzw. Empfehlungen für die Anpassung an den Klimawandel getroffen:

- „Eine Fortsetzung bzw. Intensivierung der Wasserwirtschaftlichen Planung der Grundwasservorkommen erscheint speziell

in den niederschlagsarmen Regionen des Ostens und Südens Österreichs sinnvoll. Wegen der Klimaänderung könnte der Nutzungsdruck auf die Grundwasservorkommen erhöht werden. Deshalb können regional Strategien hinsichtlich der Deckung eines zu erwartenden vermehrten Wasserbedarfes notwendig werden.

- Wegen der zukünftig zu erwartenden höheren Grundwassertemperaturen wird eine Überprüfung von Einflussnahmen auf den Wärmehaushalt des Grundwassers bei zukünftigen Konsensen empfohlen.
- Das Messstellennetz zur Grundwasserstandsmessung sollte zumindest in diesem Umfang erhalten werden, um für die wasserwirtschaftlichen Planungsaufgaben die notwendigen Informationen zu erhalten bzw. zu verdichten. Das Messstellennetz zur Grundwassertemperaturmessung sollte in intensiv genutzten Gebieten verdichtet werden, um die Grundwassertemperatur und den zu erwartenden Anstieg besser dokumentieren und damit bessere Aussagen treffen zu können.
- Durch steigende Grundwasserstände könnten in Gebieten mit derzeit schon bestehenden Problemen bei Kellervernässungen diese zunehmen. Eine Überprüfung der Bebauungsvorschriften könnte in diesen Fällen notwendig werden. Eine Berücksichtigung bei der regionalen Raumplanung wird angeraten.

Klimaänderungen finden in der Regel nicht abrupt statt und deshalb erscheint auch eine langfristig ausgerichtete Anpassungsstrategie als sinnvoll. Dabei ist eine Berücksichtigung nicht klimabedingter Einflüsse wie Bevölkerungsentwicklung, Energieverbrauchsentwicklung etc. in die Überlegungen mit einzubeziehen, da diese gesellschaftspolitischen Vorgaben sehr leicht größere Effekte als Klimaänderungen nach sich ziehen können.

Schon heute eingesetzte Instrumente der wasserwirtschaftlichen Planung erscheinen dafür geeignet bzw. können an die Erfordernisse angepasst werden.

Herausforderungen werden auf die Trinkwasserversorgung insbesondere in den Porengrundwasservorkommen durch zunehmende Ansprüche anderer Nutzer (Stichwort Bewässerungsbedarf der Landwirtschaft) und einen durch die Temperaturerhöhung zu erwartenden Anstieg beim Spitzenbedarf zukommen. Durch den zu erwartenden Temperaturanstieg in den Oberflächengewässern und im Grundwasser ist bei Uferfiltratanlagen zur Trinkwassergewinnung mit einer Zunahme von Qualitätsproblemen zu rechnen. Bei der voraussichtlichen Zunahme an Nutzungskonflikten wird die Deckung des Trinkwasserbedarfes im Sinne eines öffentlichen Interesses verstärkt einzufordern sein.“

#### THESEN DER ÖSTERREICHISCHEN WASSERWIRTSCHAFT ZUM KLIMAWANDEL BIS 2050 (AUSZUG)<sup>4</sup>

**Niederwasser:** In den Alpen Österreichs werden die Abflüsse bei Winterniederwasser wegen höherer Lufttemperaturen deutlich erhöht, was als positiv zu betrachten ist. In den Flachlandregionen Ost- und Südösterreichs kann eine Abnahme der Abflüsse bei Niederwasser eintreten.

**Gletscher:** Der Rückgang der Gletscher wird sich fortsetzen. Der Abfluss aus Gletscherschmelze dürfte um die Jahre 2040–2050 sein Maximum erreichen. In unmittelbarer Nähe von Gletschern ist in diesem Zeitraum eine deutliche Zunahme der Sommerabflüsse zu erwarten, in größeren Einzugsgebieten ist der Einfluss nur in Trockenjahren relevant.

**Grundwassermenge:** Für den Süden Österreichs, wo eine Abnahme der Winterniedererschläge erwartet wird, wie auch in den nieder-

schlagsarmen Regionen im Osten Österreichs, ist künftig wieder eine Abnahme der Grundwasserneubildung wahrscheinlich. Im Norden und Westen Österreichs könnte die Grundwasserneubildung zunehmen.

**Wassertemperaturen:** Eine Zunahme der Temperaturen von Oberflächengewässern um ca. 0,8°C bis 2050 ist zu erwarten. Diese erhöhte Temperatur entspricht einer Verschiebung in der Seehöhe um ca. 100 m. Damit ist auch mit Verschiebungen der Bioregionen zu rechnen. Die Zunahme der Wassertemperatur konnte auch im Grundwasser gemessen werden. Bei der Beurteilung von Wärmeeinleitungen (z.B. von Kraftwerken, die Flusswasser als Kühlwasser verwenden) ist diese Temperaturerhöhung zu berücksichtigen.

**Grundwassergüte:** Das Grundwasser unterliegt Prozessen analog zu denen der Oberflächengewässer. Durch die Temperaturerhöhung laufen die Prozesse im Übergangsbereich zwischen Oberflächen- und Grundwasser etwas rascher und vollständiger ab, wodurch Änderungen in der chemischen Zusammensetzung möglich sind. Eine Weiterführung der bisherigen Grundwasserschutzpolitik ist angebracht.

**Nutzungs- und Bedarfsaspekte:** Aufgrund der hohen Wasserverfügbarkeit in Österreich und der zu erwartenden geringen Änderungen ist mit keinem großräumigen Mangel an Rohwasser für die Wasserversorgung zu rechnen. Kleinräumig könnten sich jedoch vorhandene Engpässe in Gebieten mit ungünstigem Wasserdargebot verstärken. Dies ist bei der Bewirtschaftung der Wasserressourcen zu berücksichtigen.

## 1.4 KLIMAWANDELANPASSUNG – STRATEGIE STEIERMARK 2050

Aufbauend auf der Studie über die Klimaszenarien Steiermark (STMK12), welche im Auftrag des Landes Steiermark vom Wegener Zentrum der Universität Graz durchgeführt wurde, wurde 2013 mit der Erarbeitung der „Klimawandelanpassung-Strategie Steiermark

2050“ begonnen. Das Ziel dieser Strategie ist die Steiermark auf die möglichen Folgen des Klimawandels vorzubereiten und durch Anpassungsmaßnahmen negative Klimawandelfolgen für die Steiermark zu vermindern. Da die Regionen der Steiermark davon unterschiedlich

<sup>4</sup> BMLFUW (2010)

betroffen sein werden, wurde es notwendig eine regionale Strategie für das Land Steiermark zu entwickeln, um auf diese Entwicklungen optimal reagieren zu können. Um konkrete Maßnahmenempfehlungen festlegen zu können, wurden relevante Bereiche identifiziert, die sich in Zukunft besonders den Herausforderungen des Klimawandels stellen müssen. Einer dieser relevanten Bereiche ist der Bereich „Wasserhaushalt und die Wasserwirtschaft“. Im Folgenden wird nur auf diesen eingegangen und es werden die Ergebnisse auszugswise bzw. zusammenfassend dargestellt.<sup>5</sup>

„Auswirkungen des Klimawandels betreffen bereits heute viele Bereiche der Wasserwirtschaft. So führen beispielsweise einerseits Hitze-/Trockenperioden zu niederen Wasserständen sowohl im Grundwasser als auch in den Oberflächengewässern bei gleichzeitig erhöhtem Wasserbedarf. Längere Hitzeperioden führen zu Niederwasserführungen in Fließgewässern und können Gewässerlebensraum sowie -qualität beeinträchtigen. Andererseits verursachen Extremwetterereignisse wie Starkniederschläge bereits heute beträchtliche Schäden z.B. an Gebäuden, Verkehrsinfrastruktur, Landwirtschaft oder auch an der Versorgungsinfrastruktur. Studien belegen, dass durch den Klimawandel in den letzten 30 Jahren in etwa 20% der Einzugsgebiete Österreichs die Hochwässer zugenommen haben. Dabei zeigt sich, dass österreichweit die Winterhochwässer deutlich stärker zugenommen haben als die Sommerhochwässer. Die Häufung der Hochwässer in den letzten Jahrzehnten liegt im Rahmen der natürlichen Variabilität von Hochwasserdekaden, wobei aber auch ein Einfluss durch die Klimaänderung nicht auszuschließen ist.

In den letzten Jahren war auch die Steiermark von zahlreichen Extremwetterereignissen betroffen. Dürren in den Jahren 2002 und 2003 sowie Hochwässer in den Jahren 2005, 2009 und 2013 haben nahezu im gesamten Landesgebiet große Schäden verursacht. 2012 verschüttete ein gewaltiger Murenabgang in der Gemeinde St. Lorenzen im Paltental 70 Häuser. Extreme Wettersituationen stellen die Wasserwirtschaft

daher vor besondere Herausforderungen: Zum einen gilt es, Maßnahmen zur Versorgungssicherheit der Bevölkerung mit Trinkwasser in ausreichender Menge und Qualität zu setzen und zum anderen Menschen und Umwelt vor Extremereignissen zu schützen.“

Die im Rahmen einer Anpassung zu erreichenden Ziele (Chancen) für den Bereich der Wasserwirtschaft und insbesondere der Trinkwasserwirtschaft sind:

- Gesicherte Wasserversorgung
- Ausbau der Wasserinfrastruktur
- Optimiertes Wassermanagement
- Sicherung bzw. Verbesserung des Wasserhaushalts/-kreislaufs

Parallel dazu werden auch für die steirische Trinkwasserwirtschaft relevante Risiken der Klimawandelfolgen identifiziert und beschrieben:

- Trockenperioden führen zu Trink- und Nutzwasserknappheit bzw. jahreszeitlich geänderter Verfügbarkeit in einzelnen Landesteilen.
- Niederwasserstände beeinflussen die Wasserqualität und das Ökosystem.
- Vermehrter Eintrag von Schadstoffen in das Grundwasser durch Hochwasserereignisse.
- Veränderungen der Wassertemperatur von Oberflächengewässern und Grundwässern können zu negativen ökologischen und hygienischen Folgen führen.
- Anstieg der Nährstoff- und Pestizidbelastung von Gewässern: Schadstoffe können bei Starkregen leichter in die Oberflächengewässer gelangen und bei Trockenperioden in der ungesättigten Zone gespeichert und anschließend in erhöhter Konzentration ins Grundwasser gelangen.

„Die Ziele der Anpassung stellen einerseits die flächendeckende Versorgungsmöglichkeit der Bevölkerung mit einwandfreiem Trinkwasser in ausreichender Menge zu leistbaren Gebühren auch in Notsituationen dar. Andererseits soll ein entsprechender Schutz vor Naturgefahren

sichergestellt und eine ausreichende Resilienz gegenüber Änderungen im Niederschlags- und Abflussverhalten auf Grund des Klimawandels und den daraus resultierenden Hochwasserereignissen erreicht werden. Diese Ziele können nur durch Entwicklung entsprechender Maßnahmenpläne und Bewusstseinsbildung erreicht werden.“

Die abgeleiteten Anpassungen werden in diesem Strategiepapier eingeteilt in übergeordnete Handlungsprinzipien (Postulate) bzw. in konkrete vorgeschlagene Maßnahmen, welche im Folgenden mit dem Fokus auf die Trinkwasserwirtschaft der Steiermark auszugsweise dargestellt werden:

#### ÜBERGEORDNETE HANDLUNGSPRINZIPIEN FÜR DIE ANPASSUNG

- Versorgungssicherheit für Trink- und Nutzwasser unter Einhaltung von ökologischen und hygienischen Kriterien.

- Angepasstes Monitoring von Wasserqualität und -menge als Grundlage für die Entwicklung von etwaigen notwendigen Maßnahmen.

#### VORGESCHLAGENE MASSNAHMEN ZUR ANPASSUNG

- Weiterer Ausbau von Wasser-Transportsystemen in niederschlagsarmen Regionen und Vernetzung
- Ressourcenbewusster Umgang mit Wasser (qualitativ und quantitativ)
- Schutz der Tiefengrundwasserreserven und Erhalt vorrangig für die Notwasserversorgung
- Anpassung bzw. Weiterentwicklung der Regenwasserbewirtschaftung
- Bewusstseinsbildung zum Thema Wasser
- Verbesserung des Grundlagenwissens (Monitoring, Forschung)
- Kontinuierliche Aktualisierung und Wartung von bestehenden Informationssystemen zur Wassersituation in der Steiermark

## 2 HYDROGEOLOGISCHE GRUNDZÜGE DER STEIERMARK

In Bezug auf die wasserwirtschaftlichen Belange ist eine exakte Kenntnis über die hydrogeologischen Grundzüge des Landes von besonderer Bedeutung. Aus diesem Grunde wird ein kurz gefasster Überblick über den geologischen Bau und die hydrogeologischen Grundzüge gegeben, wobei folgende Gliederung vorgenommen wird:

- Nördliche Kalkalpen
- Altkristalline und paläozoische Gesteine
- Tertiäre Ablagerungen
- Holozäne und jungpleistozäne Ablagerungen Mur, Mürz, Enns

### 2.1 NÖRDLICHE KALKALPEN

Der Gesteinsbestand der zu den Nördlichen Kalkalpen im engeren Sinne zählenden Einheiten umfasst eine Schichtfolge, welche mit Gesteinen des jüngsten Paläozoikums beginnt und bis in die oberste Kreide reicht. Unterschiedliche Entstehungsprozesse, die zum Teil im gleichen Zeitraum abliefen, in verschiedenen räumlich getrennten Ablagerungsgebieten trugen zur heute sichtbaren Vielfalt der Gesteine dieses Bereiches bei. Diese unterschiedliche Entstehungsweise der Gesteine, ihre Zusammensetzung und ihr Verhalten gegenüber den gebirgsbildenden und -formenden Kräften drückt sich u. a. auch in der erreichten hydro-