



Veränderung der Neuschneehöhen in der Steiermark seit Anfang des 20. Jahrhunderts

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Science

der Studienrichtung Gebirgs- und Klimageographie

an der Karl-Franzens-Universität Graz

vorgelegt von

Patrick ILLGOUTZ Bakk.rer.nat. MSc

am Institut für: Geographie und Raumforschung

Begutachter: Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Wolfgang Schöner

Graz 2020

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen inländischen oder ausländischen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht. Die vorliegende Fassung entspricht der eingereichten elektronischen Version.

Datum

Unterschrift

Vorwort und Danksagung

Die vorgelegte Masterarbeit hätte ohne Unterstützung nicht in dieser Form erstellt werden können. Zu danken ist hierbei vor allem dem Hydrographischen Dienst Steiermark und seinen Mitarbeitern, welche mir die Daten, die dieser Masterarbeit zu Grunde liegen, zur Verfügung gestellt haben und auch für Nachfragen und ergänzende Daten immer an einer Mithilfe bemüht waren. Danken möchte ich auch meinen Eltern, die meine Ausbildung immer unterstützt haben und mir dabei auch immer zur Seite standen. Zu guter Letzt möchte ich auch dem Betreuer meiner Masterarbeit danken, welcher mir trotz der herausfordernden Umstände im Jahr 2020 unterstützend zur Seite stand.

Zusammenfassung

Die vorliegende Masterarbeit befasst sich mit dem Thema der Veränderung der Neuschneehöhen in der Steiermark seit Beginn des 20. Jahrhunderts, auf Grundlage von Daten des Hydrographischen Dienstes. Dabei wird auf die Neuschneesummen pro Winter eingegangen und diese mit Hilfe von Tiefpassfiltern bezüglich ihrer längerfristigen Trends untersucht. Darüber hinaus werden aus korrelierenden Messdaten unterschiedlicher Messstationen „Messstationsgruppen“ gebildet, welche regionale Trends in Hinblick auf die Veränderung der Neuschneesummen aufzeigen. In darauffolgenden Kapiteln werden auch die jährlichen Neuschneemaxima sowie exemplarisch die Wiederkehrwahrscheinlichkeit von Schneefallereignissen berechnet.

Ergebnisse dieser Masterarbeit waren dabei die Herausfilterung längerfristiger Trends sowie Zyklen in Bezug auf die Neuschneesummen in der Steiermark. Wenngleich sich die Ergebnisse der einzelnen Messstationen in einigen Bereichen deutlich unterscheiden, so konnten auch Entwicklungen festgestellt werden, welche eine Vielzahl der Messstationen betrafen. Dazu zählt vor allem die tendenzielle Abnahme der Neuschneesummen seit den 1980er Jahren, welche sich in der Mehrzahl der Messstationen beobachten lässt. Auch die Erstellung von korrelierenden Messstationsgruppen, welche ähnliche Entwicklungen in Bezug auf die Neuschneesummen aufweisen, kann als Ergebnis dieser Arbeit angeführt werden. Bei der Untersuchung der jährlichen 24-Stunden- und 3-Tagesmaxima der Neuschneehöhe konnte festgestellt werden, dass deren Entwicklungen einen signifikanten Zusammenhang mit den jährlichen Neuschneesummen aufweisen. Dies deutet auf einen relativ großen Einfluss der jährlichen 24-Stunden- und 3-Tagesmaxima auf die Neuschneesummen hin. Bei der exemplarischen Berechnung der Wiederkehrwahrscheinlichkeit konnte nachgewiesen werden, dass vor allem die lange Zeitspanne, in der es im Jänner 2019 in der Obersteiermark zu hohen Neuschneesummen kam, ein selten wiederkehrendes Ereignis darstellte.

Abstract

This master thesis deals with the topic of the development of new snow height in Styria since the beginning of the 20th century, based on data from the hydrographical service. It focusses on the annual total new snow sum and these sums are also being observed with low pass filters regarding their long-term trends. Furthermore, there are, based on a correlation analysis of the data of the single measuring stations, “measuring station groups” being created. These measuring station groups show regional trends regarding the new snow sums. In subsequent chapters there are the annual new snow maximums as well as an example of the probability of recurrence of extreme new snow events being calculated.

The main outcomes were the extraction of long-term trends and cycles regarding the annual new snow sums in Styria. Although the results of the measuring stations are partly differing a lot, there are as well developments, which fits most of the measuring stations. What is meant by this is mainly the decrease of the annual new snow sums since the 1980s, which occurs at almost every observed measuring station. The data-based definition of correlating “measuring station groups” with similar developments can also be counted as an output of this thesis. The examination of the annual 24-hour- and 3-day-new snow maxima discovered that there is a significant coherence with the development of the annual new snow sum. This indicates that there is a relatively strong influence of the annual 24-hour- and 3-day-new snow maxima on the total annual new snow sum. The example of the probability of recurrence of extreme new snow events showed that especially the relatively long period of time, in which there were high new snow sums in January 2019 in northern Styria, has been a relatively rare recurring event.

Inhalt

Ehrenwörtliche Erklärung	1
Vorwort und Danksagung	2
Zusammenfassung	3
Abstract.....	4
1. Einleitung	10
2. Definitionen und Begriffsbestimmungen	13
3. Forschungsfragen	14
4. Untersuchungsgebiet	15
5. Methodik und Herangehensweise.....	20
5.1. Datengrundlage.....	20
5.2. Auswertungsmethodik – Winterneuschneesummen	21
5.2.1. Aufbau der Auswertungsmaske	23
5.3. Auswertungsmethodik – Maxima & Wiederkehrwahrscheinlichkeit	27
6. Analyse und Ergebnisse	28
6.1. Einzelmessstationen - Winterneuschneesummen	28
6.1.1. Vorland.....	28
6.1.2. Randgebirge.....	36
6.1.3. Mur-Mürz-Furche	43
6.1.4. Täler nördlich des Alpenhauptkammes.....	52
6.2. Untersuchung regionaler Trends.....	57
6.2.1. Korrelationsanalyse.....	57
6.2.2. Gruppierung korrelierender Messstationen.....	60
6.2.3. Auswertung der Messstationsgruppen.....	61
6.2.4. Analyse der Messstationsgruppen	63
6.3. Einzelmessstationen - jährliche 24-Stunden- und Dreitagesmaxima	78
6.3.1. Vorland.....	79

6.3.2.	Randgebirge.....	82
6.3.3.	Mur-Mürz-Furche	85
6.3.4.	Täler nördlich des Alpenhauptkammes.....	88
6.3.5.	Conclusio - jährliche 24-Stunden- und Dreitagesmaxima	89
6.4.	Wiederkehrwahrscheinlichkeit der Schneefallereignisse im Jänner 2019 an der Messstation Gollrad-Wegscheid	90
7.	Conclusio und Beantwortung der Forschungsfragen	94
8.	Quellen und Literatur.....	100

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1) Messstationen des HD Steiermark mit langjährigen Datenreihen und Klimaregionen der Steiermark (Quelle: GIS-Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	16
Abb. 2) „Die Landschaften der Steiermark mit einheitlichen Witterungszügen“ Wakonigg (1978, 368)	19
Abb. 3) Verteilungsfunktionen der Tiefpassfilter (bearbeitet von Illgoutz P.)	26
Abb. 4) Neuschneehöhen der Messstation Eibiswald 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	29
Abb. 5) Neuschneehöhen der Messstation St. Nikolai i. S. 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	30
Abb. 6) Neuschneehöhen der Messstation Kirchbach i. S. 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	32
Abb. 7) Neuschneehöhen der Messstation St. Johann b. H. 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	33
Abb. 8) Neuschneehöhen der Messstation Sinabelkirchen 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	34
Abb. 9) Neuschneehöhen der Messstation Maria Lankowitz 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	36
Abb. 10) Neuschneehöhen der Messstation Frohnleiten 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	38
Abb. 11) Neuschneehöhen der Messstation Rettenegg 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	39
Abb. 12) Neuschneehöhen der Messstation St. Jakob i. W. 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	40
Abb. 13) Neuschneehöhen der Messstation Vorau 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	42

Abb. 14) Neuschneehöhen der Messstation St. Lambrecht 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	43
Abb. 15) Neuschneehöhen der Messstation St. Johann a. T. 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	45
Abb. 16) Neuschneehöhen der Messstation Obdach 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	46
Abb. 17) Neuschneehöhen der Messstation Mautern 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	47
Abb. 18) Neuschneehöhen der Messstation Tragöß 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	49
Abb. 19) Neuschneehöhen der Messstation Mürzsteg 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	50
Abb. 20) Neuschneehöhen der Messstation Schladming 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	52
Abb. 21) Neuschneehöhen der Messstation Liezen 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	54
Abb. 22) Neuschneehöhen der Messstation Gollrad-Wegscheid 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	55
Abb. 23) Korrelationen aller Messstationen (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	59
Abb. 24) Messstationsgruppen und Klimaregionen der Steiermark (Quelle: GIS-Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	61
Abb. 25) Neuschneehöhen der Messstationsgruppe Vorland und Randgebirge 1901 bis 2018 inkl. 11- und 31-jährigem Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	64
Abb. 26) Neuschneehöhen der Messstationsgruppe Östliches Randgebirge 1901 bis 2018 inkl. 11- und 31-jährigem Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Stmk., bearbeitet von Illgoutz P.)	66
Abb. 27) Neuschneehöhen der Messstationsgruppe Oberes Murtal 1901 bis 2018 inkl. 11- und 31-jährigem Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	68

Abb. 28) Neuschneehöhen der Messstationsgruppe Liesingtal und Mürzta- ler Alpen 1901 bis 2018 inkl. 11- und 31-jährigem Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Ill- goutz P.)	70
Abb. 29) Neuschneehöhen der Messstationsgruppe Ennstal und Paltental 1901 bis 2018 inkl. 11- und 31-jährigem Tiefpassfilter (Quelle: Hyd- rographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	72
Abb. 30) Neuschneehöhen der Messstationsgruppe Mürzsteiger Alpen 1901 bis 2018 inkl. 11- und 31-jährigem Tiefpassfilter (Quelle: Hydrogra- phischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	74
Abb. 31) Jahresmaxima der Neuschneehöhen der Messstationen in der Klimaregion Vorland 1901 bis 2018 inkl. 11-jährigem Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	80
Abb. 32) Jahresmaxima der Neuschneehöhen der Messstationen in der Klimaregion Randgebirge 1901 bis 2018 inkl. 11-jährigem Tief- passfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	83
Abb. 33) Jahresmaxima der Neuschneehöhen der Messstationen in der Klimaregion Mur-Mürz-Furche 1901 bis 2018 inkl. 11-jährigem Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bear- beitet von Illgoutz P.)	86
Abb. 34) Jahresmaxima der Neuschneehöhen der Messstationen in der Klimaregion Täler nördlich des Alpenhauptkammes 1901 bis 2018 inkl. 11-jährigem Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)	88
Abb. 35) Vergleich Gumbel- und Normalverteilung (Quelle: Naghetti & Por- tela 2011, Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Ill- goutz P.)	91

1. Einleitung

Schneeverhältnisse haben im Allgemeinen großen Einfluss auf Mensch und Umwelt. Einerseits im Zusammenhang mit Tourismus, Straßenerhaltung, Landwirtschaft sowie andererseits Vegetationsperioden und der Isolationswirkung der Schneedecke für die darunterliegende Vegetation kommt dem Schnee und den Schneeverhältnissen in Österreich eine bedeutende Rolle zu (vgl. Wakonigg 1978, 278).

Dabei bekamen die Schneeverhältnisse in den vergangenen Jahren auch immer mehr Aufmerksamkeit hinsichtlich ihrer Aussagekraft als Indikator für den Klimawandel. Dies auch, da die Schneedecke sehr empfindlich auf Klimaänderungen reagiert und auch in starker Wechselwirkung mit dem Klima steht, da diese die Sonnenenergie reflektiert und als (teils saisonaler) Wasserspeicher im Wasserkreislauf fungiert. Der Prozess der Eis-Albedo-Rückkopplung der Sonnenenergie von der Schneeoberfläche spielt dabei eine bedeutende Rolle. Während die Reflexion von weißem Schnee bis 80 % und mehr beträgt, reflektieren apere Oberflächen 20 % und weniger der Sonnenenergie. Auch die Funktion des Schnees als Wasserspeicher, welcher den Abfluss des Niederschlages saisonal oder im Falle von Vergletscherungen auch über einen längeren Zeitraum verzögert ist ein äußerst relevanter Aspekt der Schneeforschung. (vgl. ZAMG 2020 b)

Relevanz hat der Schnee naturgemäß auch im Bereich der Lawinenforschung. Anders als auf den Ersten Blick anzunehmen ist handelt es sich bei Schnee um ein sich ständig veränderndes Material, da Temperaturveränderungen, Setzungsvorgänge oder Windverfrachtung die Eigenschaften der Schneedecke ständig beeinflussen (vgl. WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF 2020).

Im Rahmen dieser Arbeit wird die Veränderung der Neuschneehöhen in der Steiermark in den vergangen rund 120 Jahren analysiert. Anhand von einzelnen Messstationen werden unterschiedliche Entwicklungen in verschiedenen Regionen der Steiermark untersucht. Wie bereits dargelegt ist Schnee eine bedeutende Kenngröße für die Beurteilung von klimatischen Veränderungen. Dabei wurde explizit die Summe der Neuschneehöhe pro Winter als zu untersuchende Kenngröße gewählt. Dies auch aufgrund der Datenlage der zugrundeliegenden Neuschneehöhen, welche vom

Hydrographischen Dienst Steiermark zur Verfügung gestellt wurden. Die Ergebnisse der Arbeit sollen im Hinblick auf ein sich veränderndes Klima ein weiteres Puzzleteil zum Verständnis und einer breiteren Analysegrundlage für die diesbezüglichen Entwicklungen im österreichischen Bundesland Steiermark liefern. Dies auch im Hinblick darauf, dass die langen Zeitreihen von Neuschneehöhen des Hydrographischen Dienstes Steiermark noch kaum vertiefend ausgewertet wurden.

Die Neuschneehöhe bzw. die Neuschneesumme pro Winter kann als Messgröße bezeichnet werden, welche stark schwankend und sehr abhängig von anderen Umwelteinflüssen ist. Denn abhängig von Faktoren wie Lufttemperatur, Untergrundtemperatur, Windstärke etc. kann Neuschnee sehr unterschiedliche Dichten und damit auch ein sehr variables Wasseräquivalent aufweisen (vgl. Helfricht et al. 2018, 2656 f.). Beim Wasseräquivalent der Schneedecke handelt es sich um den Wassergehalt der Schneedecke, welche gleich wie Niederschlag in Form von Wasser in Millimeter bzw. Liter pro Quadratmeter angegeben wird (vgl. Deutscher Wetterdienst 2020b). Das Wasseräquivalent der Schneedecke wird dabei in Millimeter bzw. Liter Wasser pro Zentimeter Schneehöhe angegeben und entspricht damit nicht der Schneedichte, welche in Gramm pro Kubikzentimeter angegeben wird (vgl. ebd.). Der Deutsche Wetterdienst (vgl. ebd.) gibt für Neuschnee (ebd.: „frisch gefallener Schnee, der nicht länger als 3 Tage liegt“) eine Bandbreite für das spezifische Wasseräquivalent von 0,5 bis 1,5 mm/cm an. Für gelagerten Schnee wird im Vergleich dazu ein Wert von 3,5 bis 6,0 mm/cm angegeben (vgl. ebd.). Diesen Werten ist daher zu entnehmen, dass Neuschnee in sehr variabler Form in Bezug auf Dichte und Wassergehalt vorkommen kann. Zur Veranschaulichung: Zwanzig Liter Niederschlag der in Form von Schnee fällt kann demgemäß in einer Neuschneehöhe von 10 bis 30 cm resultieren. Dies bedeutet, dass sich innerhalb dieser Bandbreite des spezifischen Wasseräquivalents für Neuschnee, abhängig von anderen Rahmenbedingungen die dreifache Neuschneehöhe bei selber Niederschlagsmenge ergeben kann. Daraus ergibt sich für die Analyse der gegenständlichen Masterarbeit, dass die Neuschneehöhen nur bedingt Aussagen über die Niederschlagsmenge zulassen und dass die Ergebnisse nur auf die Untersuchung der Neuschneehöhe abzielt, was alle Niederschläge in flüssiger Form von der Untersuchung ausnimmt. Keine Aussagen lassen sich mit den Ergebnissen dieser

Untersuchung jedoch beispielsweise darüber treffen ob es sich in einem Untersuchungszeitraum um eine Periode mit trockenen bzw. niederschlagsarmen Wintern handelte.

Die Neuschneehöhe und die Neuschneesumme sind in Bezug auf deren vergangene Entwicklungen relativ wenig untersuchte Größen. Publikationen in Bezug auf Neuschnee zielen oftmals vielmehr auf die Prognose von Neuschneehöhen und die Zusammensetzung bzw. Dichte des Neuschnees ab (beispielsweise Helfricht et al. (2018) oder Nousu et al. (2019)).

2. Definitionen und Begriffsbestimmungen

Grundsätzlich kann zur Begriffsbestimmung des Wortes Schnee festgehalten werden, dass im Duden die Wortbedeutung mit „Niederschlag in Form von Schneeflocken“ (Bibliographisches Institut 2020) beschrieben wird. Das Wetterlexikon des Deutschen Wetterdienstes definiert Schnee etwas genauer als „Schnee ist fester Niederschlag aus meist verzweigten kleinen Eiskristallen. Diese haben gewöhnlich die Form von hexagonalen Plättchen und Säulen oder Sternchen von zarter Struktur in vielfältigen Variationen. [...]“ (Deutscher Wetterdienst 2020a).

Es gibt unterschiedliche Messgrößen, welche zur Beurteilung der Schneeverhältnisse herangezogen werden können. Wakonigg (1978, 277ff.) unterteilt Messgrößen zu Schneeverhältnissen in die drei Kategorien: Schneemengen, Schneedecke und Anteil des Schnees am Gesamtniederschlag. Der Fokus dieser Arbeit liegt hier im Bereich der Schneemengen und geht nicht näher auf die Verhältnisse der Schneedecke und den Anteil des Schnees am Gesamtniederschlag ein. Wichtige Kenngrößen für die Schneemenge sind in weiterer Folge die Zahl der Tage mit Neuschnee, die Summe der Neuschneehöhen und die Veränderlichkeit der Summen der Neuschneehöhen (vgl. ebd.). Auch die Zahl der Tage mit Neuschnee bleibt im Rahmen dieser Arbeit unberücksichtigt. Die Summe der Neuschneehöhen ist hingegen jene Kenngröße auf welche die Analyse dieser Arbeit abzielt.

Die Neuschneehöhe pro Winter, welche naturgemäß die Summe der Neuschneehöhen darstellt muss dabei aber von der Gesamtschneedeckenhöhe bzw. Gesamtschneehöhe unterschieden werden (vgl. Deutscher Wetterdienst 2020a). Diese beiden unterschiedlichen Kenngrößen können gem. Deutschem Wetterdienst (2020a) wie folgt definiert werden:

- „Die Neuschneehöhe ist der Zuwachs von Ablagerungen des letzten Bemessungszeitraumes.“
- „Die Gesamtschneehöhe ist die Summe aus alten und neuen Ablagerungen (gefallenen festen Niederschlägen).“

Die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Neuschneehöhen beziehen sich auf einen Bemessungszeitraum von 24 Stunden, da die Messwerte des Hydrographischen Dienstes in Form von einmal täglichen Messungen um 07:00 Uhr vorliegen.

3. Forschungsfragen

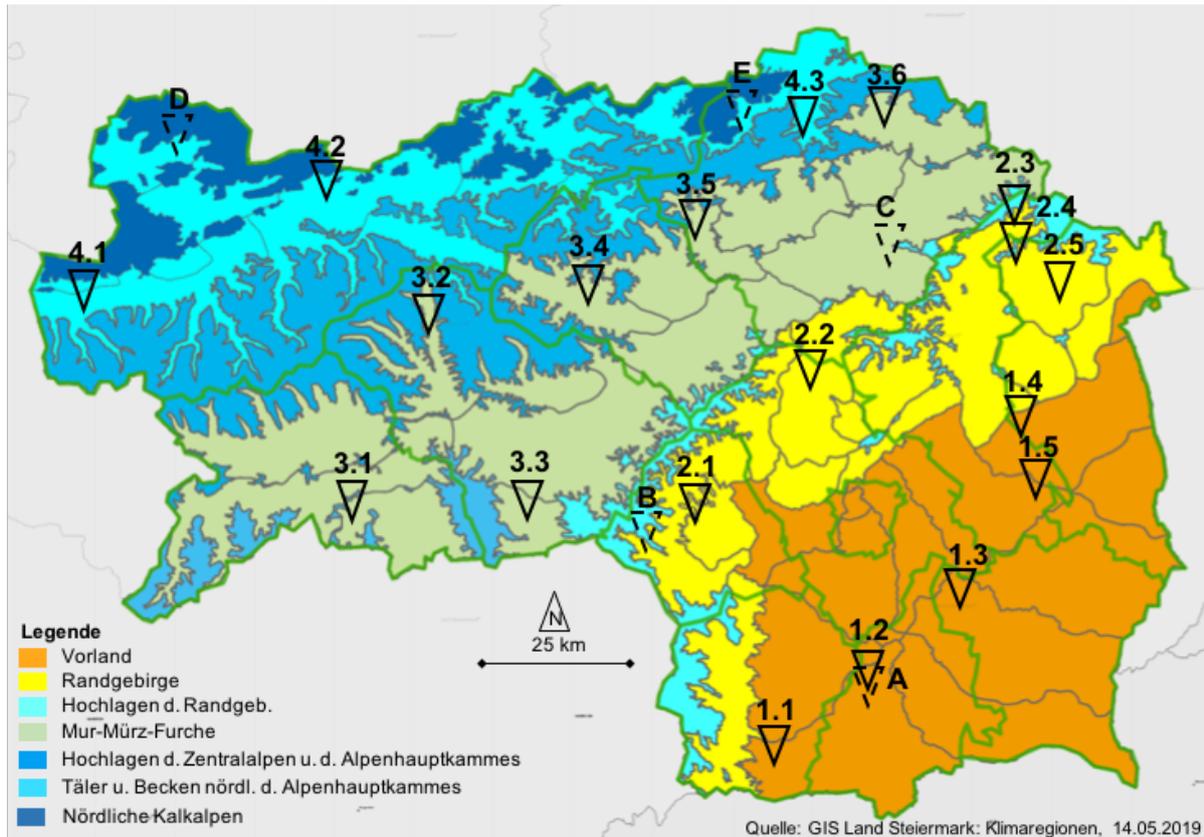
Basierend auf der vorhandenen Datenlage zu täglichen Neuschneehöhen für einen Zeitraum von rund 120 Jahren wurden die nachfolgenden fünf Forschungsfragen erarbeitet, welche im Zuge dieser Masterarbeit behandelt und darauffolgend beantwortet werden sollen.

- 1) *Wie haben sich die Neuschneesummen pro Winter in der Steiermark seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts geändert?*
- 2) *Welche unterschiedlichen Entwicklungen gibt es in den verschiedenen Klimaregionen der Steiermark oder lassen sich anhand der Neuschneedaten des Hydrographischen Dienstes eigene, korrelierende Klimaregionen in Bezug auf die Neuschneesummen bilden?*
- 3) *Lassen sich Anhand der Neuschneedaten des Hydrographischen Dienstes Zyklen neuschneereicher sowie neuschneearmer Perioden erkennen und wie sehen diese gegebenenfalls aus?*
- 4) *Wie haben sich die 24-Stunden- und 3-Tage-Jahresmaxima der Neuschneehöhen in der Steiermark seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts entwickelt und in welchem Zusammenhang stehen diese mit den Neuschneesummen pro Winter?*
- 5) *Welche Wiederkehrwahrscheinlichkeit wiesen die Schneefälle im Jänner 2019 an der Messstation Gollrad-Wegscheid, basierend auf den Daten der langjährigen Messreihen auf?*

4. Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet entspricht im Wesentlichen den Grenzen des österreichischen Bundeslandes Steiermark in welchem sich die relevanten Messstationen des Hydrographischen Dienstes räumlich relativ gut verteilen. Manche Regionen der Steiermark wie beispielsweise das Ausseerland oder der südöstlichste Teil des Bundeslandes sind durch die Messwerte der vorhandenen Messstationen jedoch nicht repräsentiert. Diese Abschlussarbeit zielt jedoch nicht auf eine flächendeckende Analyse für die gesamte Steiermark, sondern auf eine Analyse der Neuschneemengen in Regionen mit ausreichend vorhandene Messdaten ab. Nichtsdestotrotz sind die relevanten Messstationen innerhalb der Steiermark jedoch so gut verteilt, dass sich dadurch für viele Bereiche und auch für alle „Landschaften der Steiermark mit einheitlichen Witterungszügen“ nach Wakonigg (1978, 365), Aussagen treffen lassen.

Die Messstationen wurden grundsätzlich nach den Klimaregionen der Steiermark kategorisiert (vgl. Land Steiermark 2020). Um diese Klimaregionen in Bezug auf die Neuschneesummen zu verifizieren beziehungsweise neue, auf dieser Klimamessgröße basierende Regionen herauszufiltern wurden auch die Korrelationen der Daten jeder Messstation mit den Daten aller anderen Messstation untersucht. Dies ergab vor allem Überschneidungen in Grenzbereichen zwischen den, vom Land Steiermark (2020) definierten Klimaregionen der Steiermark.



Messstationen

1.1 Eibiswald	2.1 Maria Lankowitz	3.1 St. Lambrecht	4.1 Schladming	A <i>Kitzeck i. Saus.</i>
1.2 St. Nikolai i. S.	2.2 Frohnleiten	3.2 St. Johann a.T.	4.2 Liezen	B <i>Hirschegg</i>
1.3 Kirchbach i. St.	2.3 Rettenegg	3.3 Obdach	4.3 Gollrad-Wesch.	C <i>Stanz</i>
1.4 St. Johann b. H.	2.4 St. Jakob i. W.	3.4 Mautern		D <i>Gössl</i>
1.5 Sinabelkirchen	2.5 Voralpe	3.5 Tragöß		E <i>Weichselboden</i>
		3.6 Mürzsteg		

Abb. 1) Messstationen des HD Steiermark mit langjährigen Datenreihen und Klimaregionen der Steiermark (Quelle: GIS-Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

Die Steiermark wird in verschiedenen Teilbereichen von sehr unterschiedlichen Wetterlagen beeinflusst. Dies wirkt sich natürlich auch unterschiedlich auf die Neuschneemengen an den untersuchten Messstationen aus. Wakonigg (1978, 365) grenzt „Die Landschaften der Steiermark mit einheitlichen Witterungszügen“ ab und beschreibt diese. Die nachfolgende Auflistung und Beschreibung der, für diese Arbeit relevanten Landschaftseinheiten sind inhaltlich diesem Standardwerk entnommen und eine kartographische Darstellung dieser befindet sich im Anschluss an die textlichen Beschreibungen (vgl. Wakonigg 1978, 365 ff.).

„Das Vorland und Randgebirge“

Diese Landschaft zeichnet sich durch die Abschirmung in Richtung Norden, Süden und Westen aus. Damit ist dieser Bereich auch für Niederschlagslagen aus diesen Richtungen geschützt gelegen. Südostalpine Niederschlagslagen sind für diese Landschaft hingegen sehr bedeutend. Daraus ergibt sich eine relative Niederschlagsarmut im Winter. Die nur einseitig offene Lage dieser Landschaft hemmt auch den Luftmassenaustausch bei sehr geringer Windwirkung. Mit Eibiswald, St. Nikolai im Sausal, Krichbach in der Steiermark, St. Johann bei Herberstein, Sinabelkirchen, Maria Lanowitz, Frohnleiten, Rettenegg, St. Jakob im Walde und Vorau liegt der Großteil der, in dieser Arbeit untersuchten Messstationen in dieser Landschaft. (vgl. Wakonigg 1978, 367)

„Das Obere Murtal und seine Umgebung“

Diese Landschaft gilt als die niederschlagärmste der Steiermark, da sie sowohl in Nord- als auch in Südrichtung abgeschirmt gelegen ist. Abgeschirmt durch die Niederen Tauern in Richtung Norden verzeichnet diese Landschaft sowohl wesentlich geringere Niederschlagsmengen als auch -häufigkeiten gegenüber dem nördlich davon gelegenen Ennstal. Tiefdruckgebiete, welche der Zugstraße V folgen sind hier jedoch von größerer Bedeutung in Bezug auf den Niederschlag als im Ennstal. Die Niederschlagsarmut zeigt sich hier vor allem im Winter deutlich. Untersuchte Messstationen dieser Arbeit in dieser Landschaft sind St. Lambrecht, Obdach sowie randlich auch St. Johann am Tauern. (vgl. Wakonigg 1978, 366 f.)

„Das Mürztal und seine Umgebung“

Das Mürztal und seine Umgebung sind geprägt durch ihren Charakter als Übergangsbereich. Dies vor allem bedingt durch den hier relativ niedrigen und durchlässigen Alpenhauptkamm. Bezüglich des Niederschlages kann für diese Landschaft festgehalten werden, dass die im Vergleich zu den Niederen Tauern niedrigeren Gebirgszüge nördlich dieser Landschaft, nördlich ankommende Niederschlagslagen weniger beeinflussen und dadurch hier in diesem Fall ähnliche Witterungen bestehen wie im Ennstal. Andererseits ist das Mürztal und seine Umgebung stärker von Mittelmeerzyklonen beeinflusst. Jedoch ist diese Beeinflussung weit geringer als im Oberen Murtal, im

Randgebirge oder im Vorland. Untersuchte Messstationen dieser Arbeit in dieser Landschaft sind Mautern und Tragöß. (vgl Wakonigg 1978, 367)

„Ennstal und Niedere Tauern (Nordseite)“

Diese Landschaft ist durch die Kalkalpen etwas abgeschirmt in Bezug auf die westlich, nördlich und nordöstlich anströmenden Wetterlagen gelegen, wird jedoch auch sehr stark von diesen beeinflusst. Die Häufigkeit von Niederschlägen ist im Vergleich zu den Kalkalpen kaum unterschiedlich, der Unterschied liegt hier vor allem in der deutlich niedrigeren Niederschlagsmenge. Für südlich an die Alpen anströmende Wetterlagen ist der Bereich des Ennstals sowie die Nordseite der Niederen Tauern leeseitig gelegen und vor allem in den südlichen Seitentälern des Ennstales tritt der Südföhn relativ häufig auf. Untersuchte Messstationen dieser Arbeit in dieser Landschaft sind Schladming, Liezen sowie randlich auch St. Johann am Tauern. (vgl Wakonigg 1978, 366)

„Nordstaugebiet“

Die Nördlichen Kalkalpen und die Eisenerzer Alpen bilden gemeinsam diese Landschaft, welche von Wakonigg (1978, 365) als Nordstaugebiet bezeichnet wird. In Bezug auf die Niederschlagsverhältnisse zeichnet sich diese Landschaft dadurch aus, dass sie das Hauptstaugebiet für Strömungen aus westlicher, nördlicher und nordöstlicher Richtung darstellt. Diese Landschaft verzeichnet dadurch sehr hohe Niederschlagsmengen bei gleichzeitig auch relativ häufigen Niederschlagsereignissen. Bei Südwestlagen ist in diesem Bereich der Südföhn charakteristisch und stärker ausgeprägt als in anderen Teilen der Steiermark. Durch ihre offene Lage in Richtung Norden ist diese Landschaft anfällig für Kaltlufteinbrüchen von Norden und damit auch für sprunghafte Temperaturrückfälle im Frühjahr. Untersuchte Messstationen dieser Arbeit in dieser Landschaft sind Gollrad-Wegscheid sowie Mürzsteg, wobei sich die beiden Stationen im südöstlichen Randbereich dieser Landschaft befinden. (vgl Wakonigg 1978, 366)

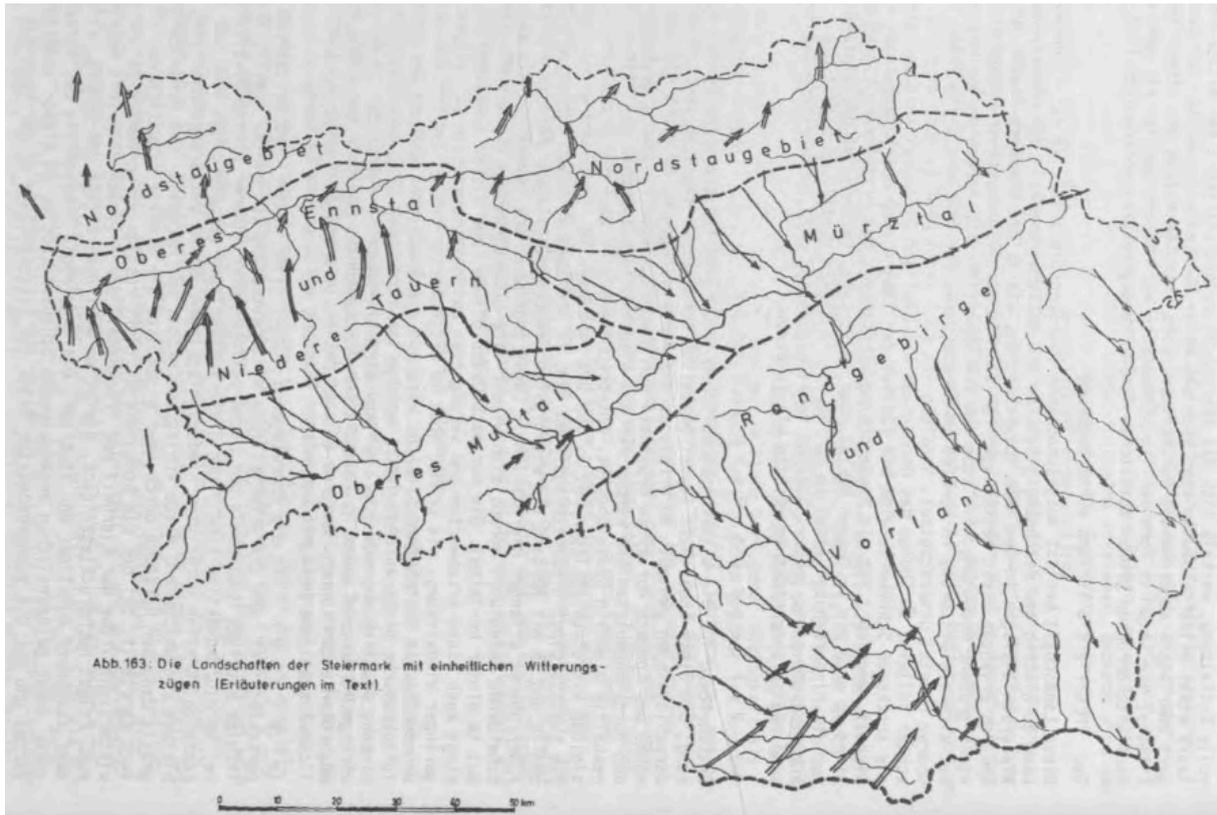


Abb. 2) „Die Landschaften der Steiermark mit einheitlichen Witterungszügen“ Wakonigg (1978, 368)

Im Zuge der Analyse der Ergebnisse der einzelnen Messstationen wird auch auf die kleinste Untersuchungsgebietseinheit – auf deren räumliche Lage beispielsweise bezüglich Seehöhe und landschaftsräumliche Zugehörigkeit eingegangen.

5. Methodik und Herangehensweise

Dieses Kapitel befasst sich mit der Auswertungsmethodik, welche für die Aufbereitung und Analyse der Rohdaten verwendet wurde. Ein wesentliches Element der angewandten Methodik waren dabei Zeitreihenanalysen mit Tiefpassfiltern, welchen innerhalb dieses Kapitels ein ausführlicher Unterpunkt gewidmet ist. Zum Einstieg in die Methodik folgt im nun anschließenden Unterkapitel eine Darstellung und Erläuterung der Datengrundlage, auf welcher diese Arbeit aufbaut.

5.1. Datengrundlage

Die verwendeten Neuschneemesswerte wurden vom Hydrographischen Dienst Steiermark zur Verfügung gestellt und reichen teilweise bis in das 19. Jahrhundert zurück. Dabei wurden Daten jener 24 Messstation zur Verfügung gestellt, welche Aufzeichnungen ab dem Beginn des 20. Jahrhunderts aufweisen. Da einige der betreffenden Messstationen jedoch teils massive Datenlücken aufweisen oder die Messungen an manchen Stationen im Laufe des 20. Jahrhunderts eingestellt wurden musste die Anzahl der aussagekräftigen Messstationen nochmals reduziert werden. So blieben für die tatsächliche Auswertung noch 19 Stationen übrig, welche sich trotz der nicht allzu großen Anzahl relativ gut über die Steiermark verteilen. Nicht von der Auswertung ausgeschlossen wurden insbesondere Messstationen, welche Messlücken in den Jahren der beiden Weltkriege (1914-1918 & 1938-1945) aufweisen, da beinahe alle Datensätze unterschiedlich große Lücken während dieser Zeitspannen aufweisen.

Die Daten der Messstationen des Hydrographischen Dienstes Steiermark zur Neuschneemenge bestehen prinzipiell aus lediglich zwei Spalten. Die erste Spalte beinhaltet die Datumsinformationen im Format „TT.MM.JJJJ hh:mm:ss“, wobei der Messwert nur einmal täglich für die gemessene Neuschneesumme der vergangenen 24 Stunden jeweils um 07:00 Morgens angegeben ist. Datensätze mit wenigen Messlücken beinhalten daher mehr als 40.000 einzelne Messwerte. Die zweite Spalte der Rohdaten beinhaltet den eigentlichen Datenwert - die Neuschneemenge der vorhergehenden 24 Stunden angegeben in Zentimeter.

Die Datensätze beinhalten neben den Messwerten selbst auch noch Informationen über die Messstationen selbst. Dabei sind Metadaten wie beispielsweise der Stationsname, mehrere Messstellen-Codes, die Organisation, welche die Messungen durchführt, die Seehöhe oder die Koordinaten der Messstation enthalten. Vor allem die Seehöhe sowie die Veränderung ebendieser im Falle einer Versetzung der Messstation in der Vergangenheit sind dabei für die gegenständliche Untersuchung von Relevanz.

Die Messungen der Neuschneehöhen an den Messstationen des Hydrographischen Dienstes erfolgen zum Teil auch heute noch händisch, zum Teil aber auch schon automatisch, wobei die händischen Messungen durchaus als präziser aber auch wesentlich kostenintensiver beschrieben werden (vgl. Auer et al. 2008, 7). Die gemessene Neuschneehöhe des Hydrographischen Dienstes bezieht sich auf die vergangen 24 Stunden und die Messung wird um 7 Uhr durchgeführt, sie wird dabei auch dem, der Messung vorhergehenden Tag zugeordnet (vgl. ebd.). Die händischen Messungen werden von Beobachtern mit Hilfe eines Neuschneebretts durchgeführt (vgl. Müller et al. 2019, 39). Diese bestehen aus einer 50 x 50 cm große Bodenplatte mit einer senkrecht daran anschließenden Messlatte, wobei der Neuschnee nach der Messung wieder vom Neuschneebrett entfernt wird (vgl. ebd.). Die automatische Messung erfolgt vor allem mit Laser- und Ultraschallmessgeräten (vgl. ebd., 40).

5.2. Auswertungsmethodik – Winterneuschneesummen

Als Software für die Auswertung der Datensätze wurde Microsoft Excel ausgewählt. Die Anwendung dieser Software bietet sich aufgrund der relativ einfachen Datenstruktur mit täglich einem Messwert zur immer gleichen Uhrzeit und dem einfachen Aufbau der Rohdaten in zwei Spalten zu je circa 30.000 - 40.000 Zeilen an.

Das Grundkonzept der Auswertung mit Microsoft Excel im Rahmen dieser Arbeit beruht dabei auf der Idee anhand der Messdaten einer Messstation eine „Auswertungsmaske“ zu erstellen, welche in weiterer Folge für die Datensätze aller weiteren Messstationen angewendet werden kann. Die Umsetzung dieses Grundkonzeptes hatte also so zu erfolgen, dass die beiden Spalten der Rohdaten (Datum und Messwert) ersetzt werden können, es sich dabei also um Variablen handelt, auf welchen alle

weiteren Auswertungen Bezug nehmen. Die Zellbezüge aller Berechnungen, Auswertungen, Filterungen und sonstiger Analysen mussten direkt oder indirekt immer auf diese beiden Rohdatenspalten bezogen werden, um eine automatische Kalkulation im Falle des Einfügens anderer Rohdatensätze zu erzielen. Um das gewünschte Ergebnis in Bezug auf die Anwendbarkeit dieser Auswertungsmaske zu erzielen wurde mit relativ vielen Hilfsspalten und Datenfiltern gearbeitet.

Für die Filterung der Daten mussten einige Grundannahmen getroffen werden, welche im folgenden Teil nun erläutert werden.

Um die Auswertung der Neuschneemengen auf die relevanten Zeitspannen zu beschränken musste eine Definition für „den Winter“ bzw. „die Wintermonate“ angenommen werden. Dabei wurde definiert, dass in der gegenständlichen Untersuchung ein Winter mit dem ersten Tag des Oktobers beginnt und mit dem letzten Tag des März des jeweils folgenden Jahres endet. Diese Definition des Winters bzw. der Wintermonate beinhaltet also die vollständigen drei letzten Monate eines Jahres sowie die vollständigen drei ersten Monate des darauffolgenden Jahres.

Eine Definition von einem nicht ganzjährigen Untersuchungszeitraum bietet dabei auch den Vorteil irrelevante Messlücken in den Sommermonaten von vornherein zu eliminieren. Dies ist vor allem für Jahre mit großen Messlücken während der Sommermonate von Bedeutung, da mit dieser Herangehensweise Jahre in denen große Messlücken während der Sommermonate existieren nicht von der Auswertung ausgeschlossen werden. Sollten nämlich ganze Jahre Messlücken von beispielsweise 40 % aufweisen, welche lediglich in den Sommermonaten auftreten würden diese wohl durch das Auswertungssystem fallen obwohl die „relevanten“ Wintermonate gar keine oder nur geringe Messlücken aufweisen.

Auch im Bereich der Messlücken mussten Grenzen definiert werden, ab welchen ein Winter nichtmehr repräsentativ ist. Für die gegenständliche Untersuchung wurde festgelegt, dass Winter mit Messlücken $> 10\%$ von der Auswertung ausgeschlossen werden.

5.2.1. Aufbau der Auswertungsmaske

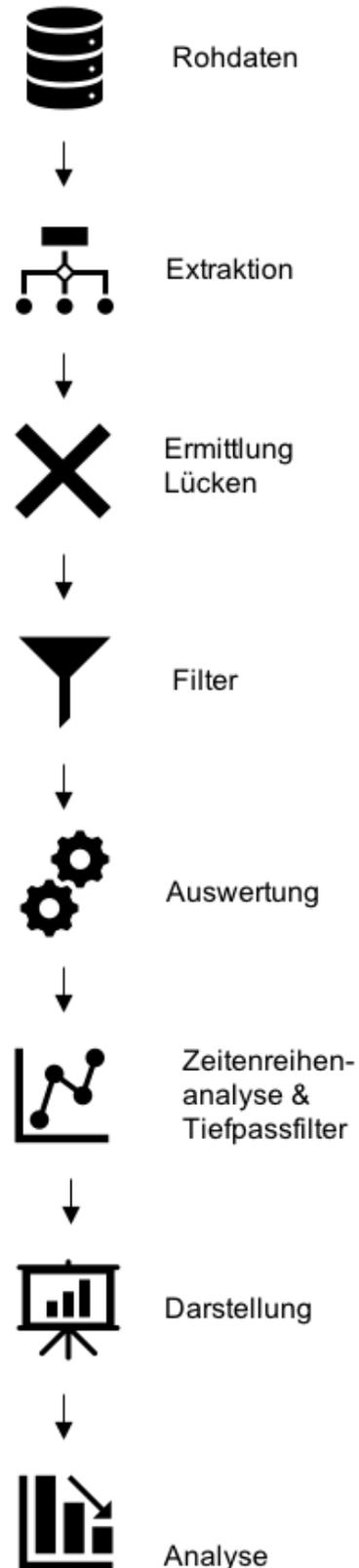
Der grundsätzliche Aufbau der Auswertungsmaske erfolgte angepasst an die Datenstruktur sowie an die auftretenden Probleme während des Auswertungsprozesses. Zum Aufbau der Auswertungsmaske wurden die Daten der Messstation Eibiswald herangezogen. Das Ziel des Auswertungsprozesses war die Herstellung eines Datensatzes pro Messstation, welcher sich mit anderen, gleich aufgebauten Datensätzen gut vergleichen lässt und die Neuschneemengen pro Winter sowie eine Trendanalyse dieser Werte über einen längeren Zeitraum enthält. Dafür wurden die Daten in verschiedenen Prozessschritten, wie in der Ablauf-Grafik anbei dargestellt, bearbeitet.

Extraktion

Im ersten Schritt der Bearbeitung wurden die Daten extrahiert um diese mit vorgegebenen Funktionen der Software Excel weiterbearbeiten zu können. Dabei wurde für die Datumsspalte jeder Datenzeile der Monat sowie das Jahr als Einzelwert in je eine Spalte extrahiert. Mit Hilfe dieser Hilfsspalten wurden dann jene Werte addiert, welche beispielsweise den Monatswert 1 und den Jahreswert 1901 aufweisen, das Ergebnis waren also Monats-Neuschneesummen für den gesamten Untersuchungszeitraum.

Ermittlung Lücken

In einem nächsten Schritt wurden die Lücken der Messdatensätze ermittelt. In den Datensätzen tauchten zwei unterschiedliche Arten von Lücken auf. Zum Einen solche, welche einen Datumswert aufwiesen und in der



entsprechenden Zeile den Neuschneewert „Lücke“ darstellten. Zum Anderen enthielten die Datensätze auch Messlücken, welche keine eigene Zeile aufwiesen also auch keinen Datumswert beinhalteten. So folgte in den Datensätzen beispielsweise der Wert des 01.01.1947 auf den Wert des 1.7. 1941 direkt in der nächsten Zeile.

Um die Lücken für jeden Monat des Untersuchungszeitraumes zu ermitteln wurden mit der Excel-Funktion „Zählenwenns“ die Messlücken mit dem Wert „Lücke“ extrahiert und die Anzahl der Tage, welche jeder einzelne Monat des Untersuchungszeitraums aufweisen sollte mit den tatsächlich in den Messdaten vorhandenen Tagen jedes einzelnen Monats des Untersuchungszeitraumes verglichen. Durch das Gegenüberstellen dieser Werte konnte die Anzahl der Messlücken jedes Monats dann relativ einfach ermittelt werden. Durch die Addition dieser Messlücken pro Monat konnten in weiterer Folge die Messlücken pro Winter ermittelt werden und darauf aufbauend jene Winter mit Messlücken $> 10\%$ von der weiteren Verarbeitung ausgeschlossen werden.

Filter

Da die Messdaten durch die vorhergehende Bearbeitung in Monate und Jahre kategorisiert wurden, mussten in einem nächsten Schritt die letzten drei Monate eines jeden Jahres mit den ersten drei Monaten des folgenden Jahres summiert werden um die Neuschneemenge des jeweiligen Winters zu erhalten. Daher wurden die Werte der Monate „>9“ jedes Jahres sowie die Werte der Monate „<4“ des folgenden Jahres aus den Gesamtjahren gefiltert und darauffolgend miteinander addiert.

Auswertung

Mit einer einfachen Wenn-Funktion wurden die Anzahl der Lücken dann mit den Neuschneesummen jedes Winters verschnitten. Das Zwischenergebnis an diesem Punkt war dann eine Neuschneesumme für jeden Winter, in welchem die jeweilige Messstation weniger als 10% Messlücken aufweist. Für Winter in denen die Messlücken 10% übersteigen wurde ein Leerwert ausgegeben und diese Winter dann auch als Messlücken dargestellt und weiterverarbeitet.

Zeitreihenanalyse und Tiefpassfilter

Um Entwicklungen der Variable „Neuschneesumme“ über den gegebenen Zeitraum untersuchen zu können wurde eine Zeitreihenanalyse samt Tiefpassfilterung durchgeführt. Im Gegensatz zu den meisten statistischen Auswertungen, bei welchen zu einem Zeitpunkt ein Merkmal einer Population beobachtet wird, werden bei Zeitreihen Werte einer Variablen zu unterschiedlichen nacheinander stehenden Zeitpunkten beobachtet (vgl. Zucchini et al. 2009, 405). „Das Ziel der klassischen Zeitreihenanalyse ist, die Zeitreihe in übersichtliche Komponenten zu zerlegen, nämlich den Trend, die Saisonkomponente und die Residuen.“ (ebd., 407). Im Fokus dieser Arbeit stehen im Bereich der Zeitreihenanalyse die langjährigen Trends der einzelnen Messstationen sowie der definierten Messstationsgruppen, welche mittels Glättung bzw. Filterung berechnet und grafisch hervorgehoben wurden.

Zur Glättung und damit zur Herausfilterung langfristiger Trends der sehr stark von Jahr zu Jahr variierenden Neuschneesummen wurde ein Gauß'scher Tiefpassfilter angewandt. Diese Methode ist laut Hennemuth et al. (2013, 35) ein geeignetes Werkzeug für die Zeitreihenanalyse von Jahres-, Monats-, Tages- oder Stundenwerten hydrologischer Zeitreihen zum Zwecke der Herausfilterung von kurz- oder langfristigen Schwankungen der zugrundeliegenden Zeitreihe. Dabei hebt diese Methode gegenüber jener des gleitenden Mittelwertes die langfristigen Schwankungen besser hervor (vgl. ebd.). Diese Methode wird für die Auswertung ähnlicher Messwerte auch von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) verwendet (vgl. ZAMG 2020 a) und kam beispielsweise auch bei einer Untersuchung der Summen der Neuschneehöhen von Scherrer et al. (2013, 3167 f.) in der Schweiz zum Einsatz. Dabei wird im Falle dieser Arbeit ein 11 bzw. 31 Winterneuschneesummen umfassendes Auswertungsfenster, immer um einen Jahreswert der Neuschneesumme weiter verschoben, sodass für jeden Winter ein Wert ausgegeben wird der einem gewichteten Mittelwert des Jahres selbst gemeinsam mit fünf bzw. fünfzehn vorhergehenden sowie nachfolgenden Winterneuschneesummen entspricht (vgl. ebd.). Dies wird als gewichteter gleitender Durchschnitt bezeichnet (vgl. Zucchini et al. 2009, 414). Die Gewichtung erfolgte dabei im Zuge dieser Arbeit wie bereits erwähnt mit Hilfe einer Gaußverteilung, sprich je weiter eine Winterneuschneesumme von der Mitte des Auswertungsfensters entfernt liegt, desto weniger Gewichtung hat diese für den tiefpassgefilterten Ausgabewert, welcher sich in der Mitte des Auswertungsfensters befindet (siehe dazu

auch nachfolgende Abbildung). Die höchste Gewichtung hat im Umkehrschluss hingegen jener Wert in der Mitte des Auswertungsfensters. Dazu ein Beispiel: Um den, mit einem Gauß'schen Tiefpassfilter gemittelten Wert der Neuschneesumme für den Winter 1960/61 zu erhalten wird mit dieser Methode ein gewichteter Mittelwert aller Neuschneesummen der Winter 1955/56 bis 1965/66 errechnet. Die Gewichtung jedes einzelnen dieser Werte erfolgt dann, vom Winter 1960/61 ausgehend synchron entlang der Gauß'schen Glockenkurve abgestuft von diesem Winter zeitlich nach vorne und nach hinten. Mit einer Standardabweichung von 3 erfolgt die Gewichtung des Winters 1960/61 mit dem Wert 0,133 und jene der Winter 1955/56 sowie 1965/66 mit dem Wert 0,033. Die Gewichtungen der Werte für die anderen, in diesen Zeitraum fallenden Winter liegen, entlang der Gauß'schen Glockenkurve verteilt zwischen den oben genannten Gewichtungswerten, wie dies auch grafisch der nachstehenden Abbildung entnommen werden kann.

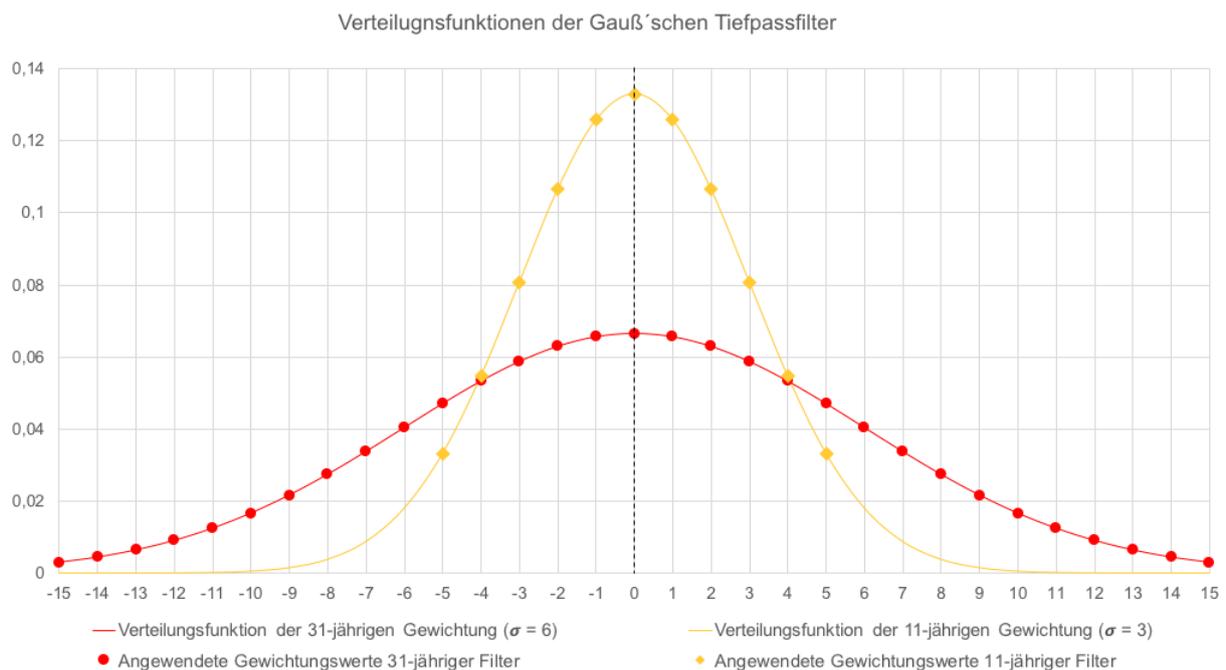


Abb. 3) Verteilungsfunktionen der Tiefpassfilter (bearbeitet von Illgoutz P.)

Darstellung

Die Darstellung erfolgte in Säulendiagrammen wobei jede Säule die Neuschneesumme eines Winters in Absolutwerten (cm) darstellt. Über diese Säulen wurde dann noch die Kurve der tiefpassgefilterten Neuschneesummen der jeweiligen Station gelegt. Die Diagramme bestehen daher aus maximal 117 Säulen (Anzahl abhängig von

der Anzahl der Lücken-Winter) und einem, aus diesen Säulen resultierenden tiefpassgefilterten Kurvenverlauf. Die Horizontale Achse wurde mit Jahren bzw. Wintern (z.B. 1938/39) und die vertikale Achse mit Neuschneesummen in Zentimetern mit 50er Schritten beschriftet. Zur vertikalen Diagrammachse ist anzumerken, dass diese nicht bei jeder Messstation die gleiche Bandbreite abbildet, da die Neuschneesummen unterschiedlicher Messstationen sich Teils sehr stark voneinander unterscheiden. Es wurde jedoch darauf geachtet, dass die Bandbreite der vertikalen Achse innerhalb einer Klimaregion gleichbleibt. Von einer einheitlichen Werte-Bandbreite der vertikalen Diagrammachse wurde abgesehen, da sich Trends und Entwicklungen von Messstationen mit vergleichsweise geringen Neuschneesummen dann kaum in den Diagrammen erkennen ließen.

Analyse

Die Analyse und textliche Interpretation erfolgte dann anhand der fertigen Diagramme sowie unterstützend natürlich auch durch die Miteinbeziehung der Rohdaten selbst. Die textliche Analyse ist damit das Kernstück dieses schriftlichen Teils der Masterarbeit.

5.3. Auswertungsmethodik – Maxima & Wiederkehrwahrscheinlichkeit

Zur Beantwortung der 4. Forschungsfrage wurden die 24-Stunden- sowie die 3-Tagesmaxima pro Jahr für jede der untersuchten Messstationen berechnet und in entsprechenden Diagrammen dargestellt. Diese beiden Maxima wurden dabei gestapelt dargestellt, um aussagekräftigere und gleichzeitig zahlenmäßig weniger Diagramme zu erhalten. Für langjährige Trends der 24-Stunden- und 3-Tagesmaxima wurden in weiterer Folge die selben Filterungsmethoden wie für die zuvor beschriebene Analyse der Winterneuschneesummen verwendet.

Weitere Absätze zur Auswertungsmethodik der Maxima sowie die Auswertungsmethodik zur Wiederkehrwahrscheinlichkeit befinden sich in nachfolgenden Kapiteln, an geeigneter Stelle und in Zusammenhang mit der Anwendung der jeweiligen Methodik. Dies vor allem um die Nachvollziehbarkeit der Auswertungen entlang eines roten Fadens durch die Arbeit zu gewährleisten.

6. Analyse und Ergebnisse

Diese Kapitel widmet sich im ersten Teil der Auswertungen der einzelnen Messstationen und geht in einem darauffolgenden Teil auf die Formung von Gruppen korrelierender Messstationen zur Untersuchung regionaler Trends ein. Den Abschluss dieses Kapitels bildet dann die Analyse der ausgewerteten Regionaldaten.

6.1. Einzelmessstationen - Winterneuschneesummen

Für die dargestellten Daten der unterschiedlichen Messstationen werden im Folgenden in unterschiedlichen Klimaregionen verschiedene Maximalwerte der vertikalen Diagrammachse verwendet. Innerhalb der Klimaregion wird der Maximalwert der vertikalen Diagrammachse jedoch beibehalten. Dies könnte als verzerrtes Bild in Bezug auf den Vergleich der Klimaregionen interpretiert werden. Es ist jedoch andererseits notwendig, da die maximalen Neuschneesummen in unterschiedlichen Klimaregionen sehr weit auseinander liegen und die optische Interpretation und Nachvollziehbarkeit etwaiger Trends, vor allem im Falle der Messstationen mit tendenziell niedrigeren Neuschneesummen deutlich erschwert würde. So liegen beispielsweise die Maximalwerte der Messstation Kirchbach in Steiermark (Neuschneesumme von 199 cm im Winter 1995/96) und der Messstation Liezen (Neuschneesumme von 727 cm im Winter 1906/07) um deutlich über 500 cm auseinander.

Zu den nachfolgenden Diagrammen ist auch anzumerken, dass die 11-jährig tiefpassgefilterten Daten 5 Jahre vor und nach einer Messlücke eine geringere Aussagekraft haben als in Bereichen, welche länger andauernde Zeitspannen ohne Messlücken aufweisen. Dies resultiert aus der Bildung des gewichteten Durchschnittes über einen Zeitraum von 11 Jahren.

6.1.1. Vorland

Im folgenden Teil der Arbeit werden die relevanten Neuschneeedaten der Einzelmessstationen der steierischen Klimaregion „Vorland“ gem. Land Steiermark (2020) analysiert und interpretiert.

Messtation Eibiswald

Die Messtation Eibiswald befindet sich in der steirischen Klimaregion Südsteirisches Riedelland, welche dem Vorland zugehörig ist und sich entlang der südlichen Grenze der Steiermark erstreckt (vgl. GIS-Steiermark 2020, a & b). Der Bereich liegt am Fuße der Koralpe und ist landschaftsräumlich dem Weststeirischen Riedelland zugehörig (vgl. ebd.). Die Messtation befindet sich auf 360 m über Adria und wurde seit 1901 nie versetzt.

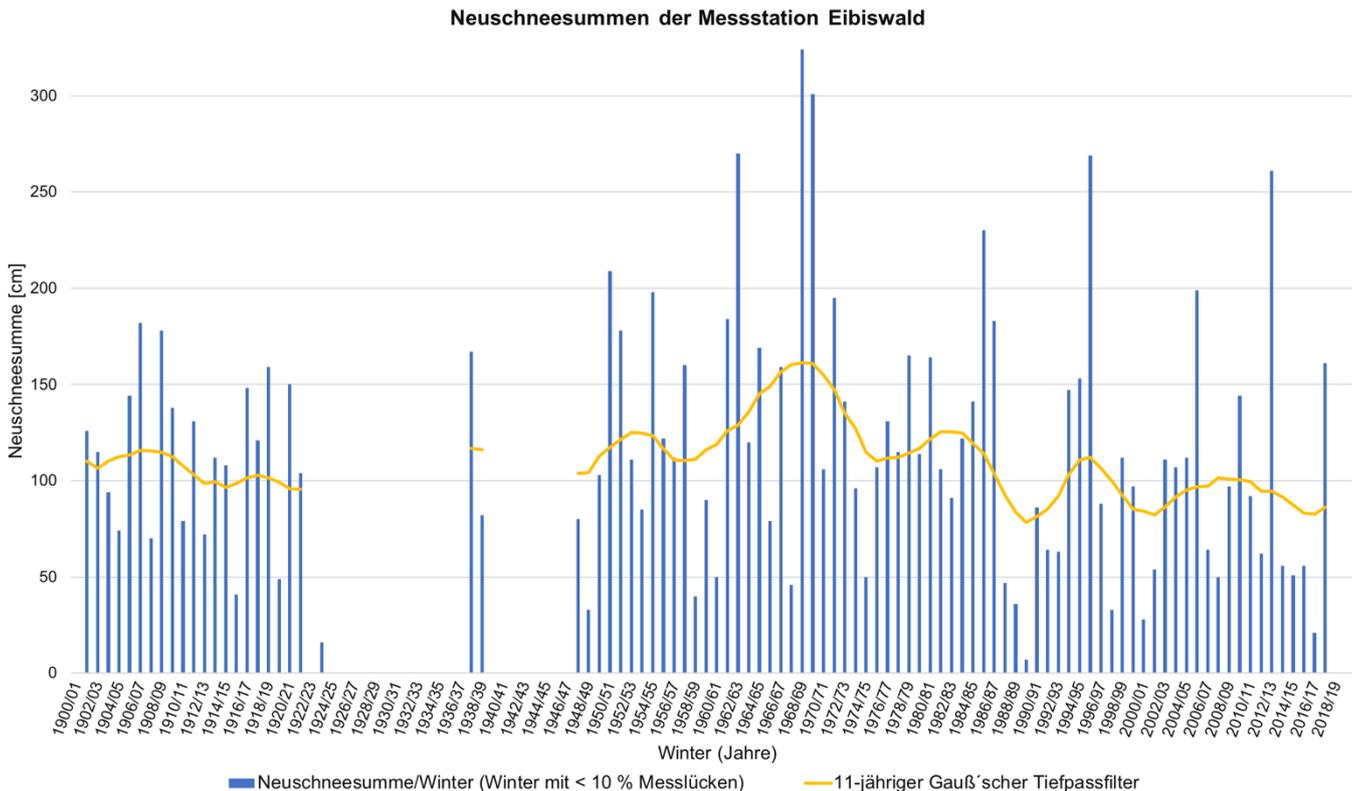


Abb. 4) Neuschneehöhen der Messtation Eibiswald 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

Wie auch viele andere der untersuchten Messtationen weist die Messtation Eibiswald während und zwischen den beiden Weltkriegen die meisten Messlücken auf. Die maximale zwischen den Wintern 1901/02 und 2017/18 gemessene Neuschneesumme wurde hier mit 324 cm im Winter 1968/69 verzeichnet, wobei auch die zweit- und dritthöchste im untersuchten Zeitraum gemessene Neuschneesumme in die 60er Jahre des vergangenen Jahrhunderts fallen. Dies ist auch ausschlaggebend für das im Diagramm ersichtliche Maximum der tiefpassgefilterten Daten in diesem Zeitraum. Die Phase mit den niedrigsten Neuschneesummen im Bereich dieser Messtation fällt in

den Zeitraum zwischen den Wintern 1986/87 und 1993/94. Tendenziell fällt bei den tiefpassgefilterten Daten dieser Messstation auf, dass es eine zyklusartige Entwicklung der Neuschneehöhen gibt, welche sich seit dem 2. Weltkrieg mit Ausnahme der 1960er Jahre tendenziell eher nach unten bewegt.

Messstation St. Nikolai im Sausal

Die Messstation St. Nikolai im Sausal befindet sich in der steirischen Klimaregion Südsteirisches Riedelland, welche dem Vorland zugehörig ist und sich entlang der südlichen Grenze der Steiermark erstreckt (vgl. GIS-Steiermark 2020, a & b). Der Bereich liegt zwischen der Koralpe und dem Leibnitzer Feld und ist landschaftsräumlich dem Sausal zugehörig (vgl. ebd.). Die Messstation befindet sich auf 340 m über Adria und wurde seit 1901 nie versetzt.

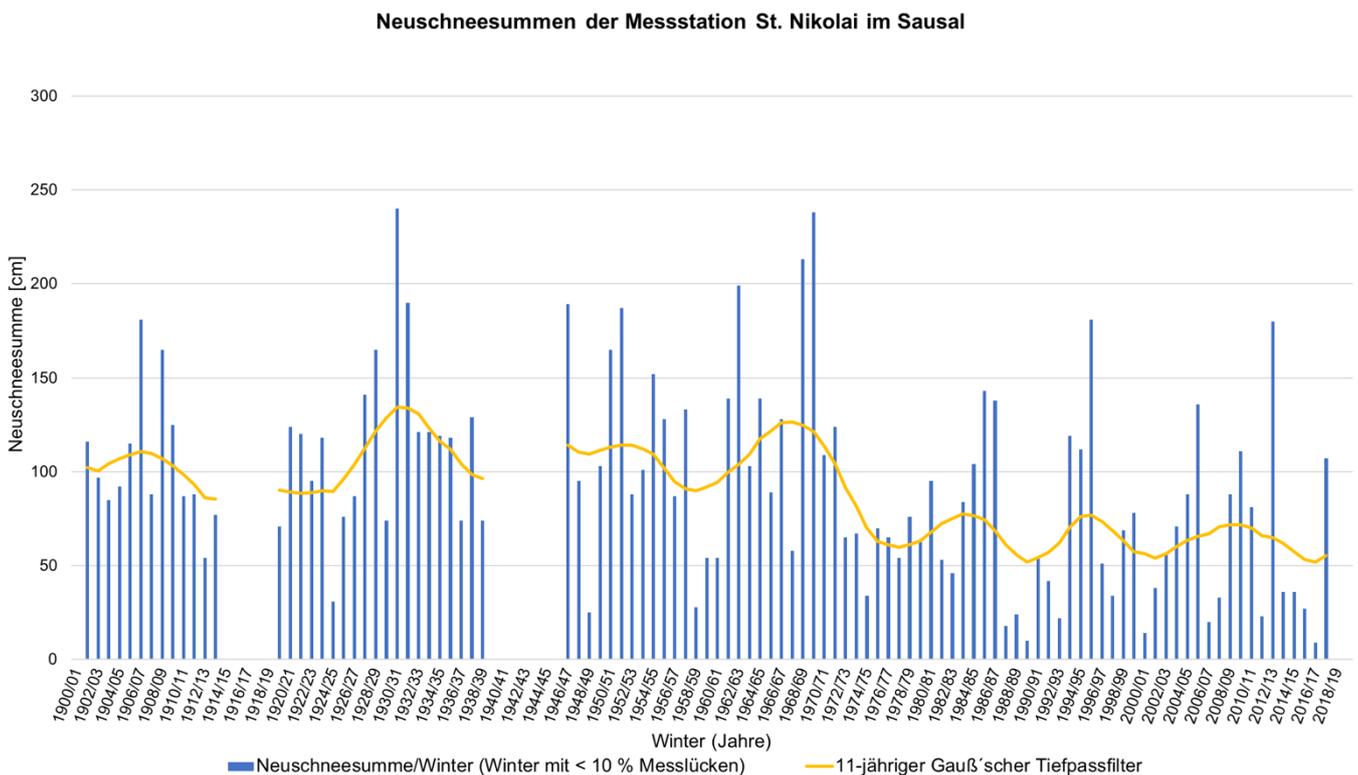


Abb. 5) Neuschneehöhen der Messstation St. Nikolai i. S. 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

Die Neuschneedaten der Messstation St. Nikolai i. S. weisen zwar während den Kriegsjahren des 1. und 2. Weltkrieges Messlücken auf, sind jedoch in der Zwischenkriegszeit lückenlos dokumentiert.

Die Daten dieser Messstation weisen zwei sehr ähnliche Maxima in den Wintern 1930/31 (240 cm) und 1968/70 (238 cm) auf. Diese beiden Winter fallen auch in zwei relativ neuschneereiche Perioden in diesem Gebiet, was sich auch an den, in diese Zeiträume fallenden Maxima der tiefpassgefilterten Daten erkennen lässt.

Die Phase mit den niedrigsten Neuschneesummen im Bereich dieser Messstation fällt wie auch bei der Messstation Eibiswald in den Zeitraum zwischen den Wintern 1986/87 und 1993/94. Tendenziell fällt auch bei den tiefpassgefilterten Daten dieser Messstation auf, dass es eine zyklusartige Entwicklung der Neuschneehöhen gibt, welche nach dem Hoch der 1960er Jahre auf ein deutlich niedrigeres Niveau gesunken ist.

Messstation Kirchbach in Steiermark

Die Messstation Kirchbach i. S. befindet sich in der steirischen Klimaregion Südoststeirisches Riedelland, welche dem Vorland zugehörig ist und sich nordöstlich des Leibnitzer Feldes zwischen dem Wildoner Berg und der burgenländisch-slowenischen Grenze erstreckt (vgl. GIS-Steiermark 2020, a & b). Der Bereich liegt zwischen dem Grazer/Leibnitzer Feld und dem Raabtal und ist landschaftsräumlich dem Oststeirischen Riedelland zugehörig (vgl. ebd.). Die Messstation befindet sich auf 365 m über Adria und wurde seit 1901 einmal versetzt. Die Versetzung der Messstation erfolgte im Jahr 2011 und die Messstation befand sich davor auf 350 m über Adria. Die Neuschneedaten der Messstation Kirchbach i. S. weisen während der Kriegsjahre des 2. Weltkrieges Messlücken auf, sind jedoch in der Zwischenkriegszeit und während des 1. Weltkrieges beinahe lückenlos dokumentiert. Messlücken weist die Station jedoch darüber hinaus auch während mehreren Wintern der 1960er Jahre sowie zwischen den Wintern 2007/08 und 2012/13 auf.

Die Daten dieser Messstation weisen mehrere ähnliche Maxima auf, welche sich beinahe über den gesamten Untersuchungszeitraum verteilen. Die Neuschneereichste in diesem Bereich seit 1901 gemessene Periode liegt gemäß den tiefpassgefilterten Daten dieser Messstation in der Mitte der 1950er Jahre. Zu berücksichtigen ist hier jedoch die Messlücke dieser Station in den 1960 Jahren, welche genau in jene Zeit fällt, in der benachbarte Messstationen hohe Neuschneesummen verzeichneten.

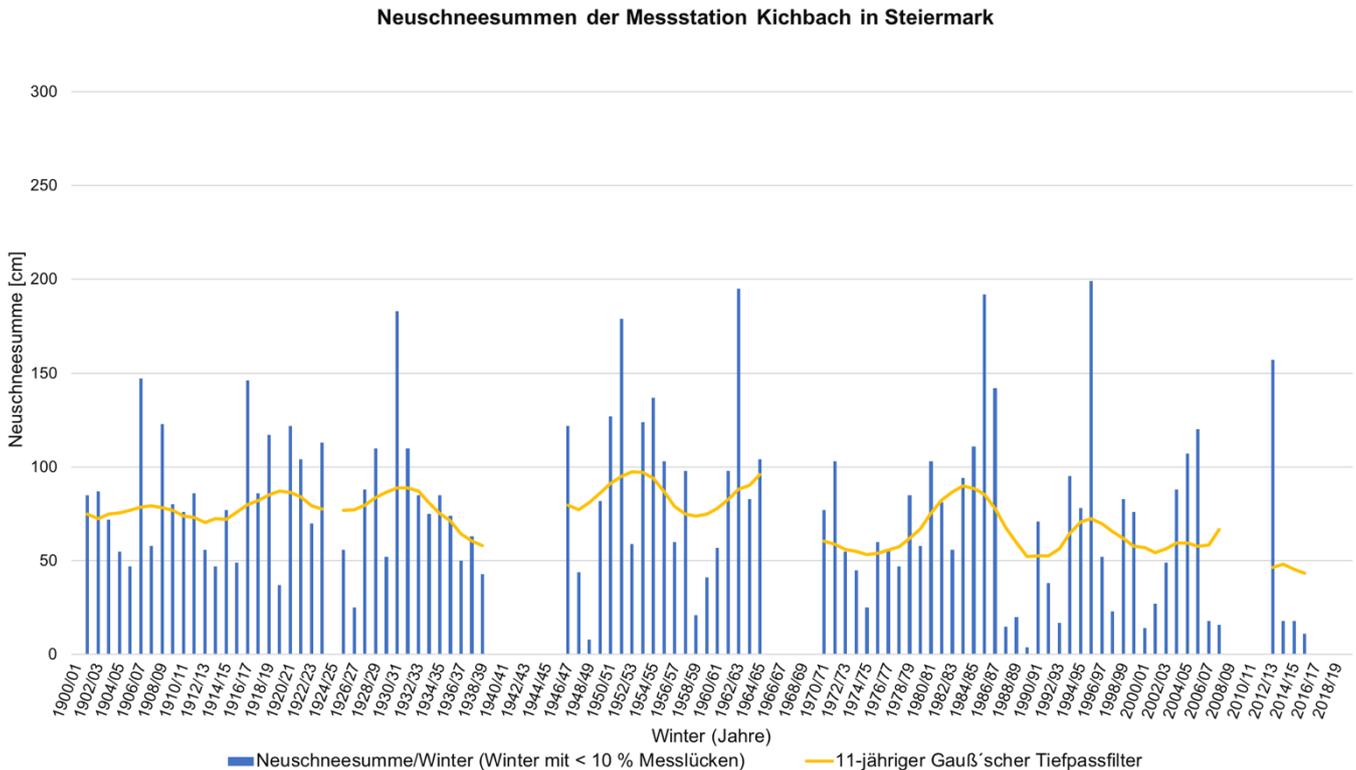


Abb. 6) Neuschneehöhen der Messstation Kirchbach i. S. 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

Die Phase mit den niedrigsten Neuschneesummen im Bereich dieser Messstation fällt in den Zeitraum der jüngsten Vergangenheit, seit dem Winter 2012/13 wobei hier bei der Interpretation auch die vorhergehende Messlücke beachtet werden muss. Tendenziell fällt auch bei den tiefpassgefilterten Daten dieser Messstation auf, dass es eine zyklusartige Entwicklung der Neuschneehöhen gibt. Winter mit sehr niedrigen Neuschneesummen von unter 20 cm kamen in diesem Bereich jedoch seit dem Ende der 1980er Jahre deutlich häufiger vor.

Messstation St. Johann bei Herberstein

Die Messstation St. Johann b. H. befindet sich in der steirischen Klimaregion Riedelland im Raum Hartberg, welche dem Vorland zugehörig ist und sich zwischen Gleisdorf und Hartberg erstreckt (vgl. GIS-Steiermark 2020, a & b). Der Bereich befindet sich am landschaftsräumlichen Übergang des Jogllandes hin zum Feistritztal (vgl. ebd.). Die Messstation befindet sich auf 410 m über Adria und wurde seit 1901 einmal versetzt. Die Versetzung der Messstation erfolgte im Jahr 1999 und die Messstation befand sich davor auf 450 m über Adria.

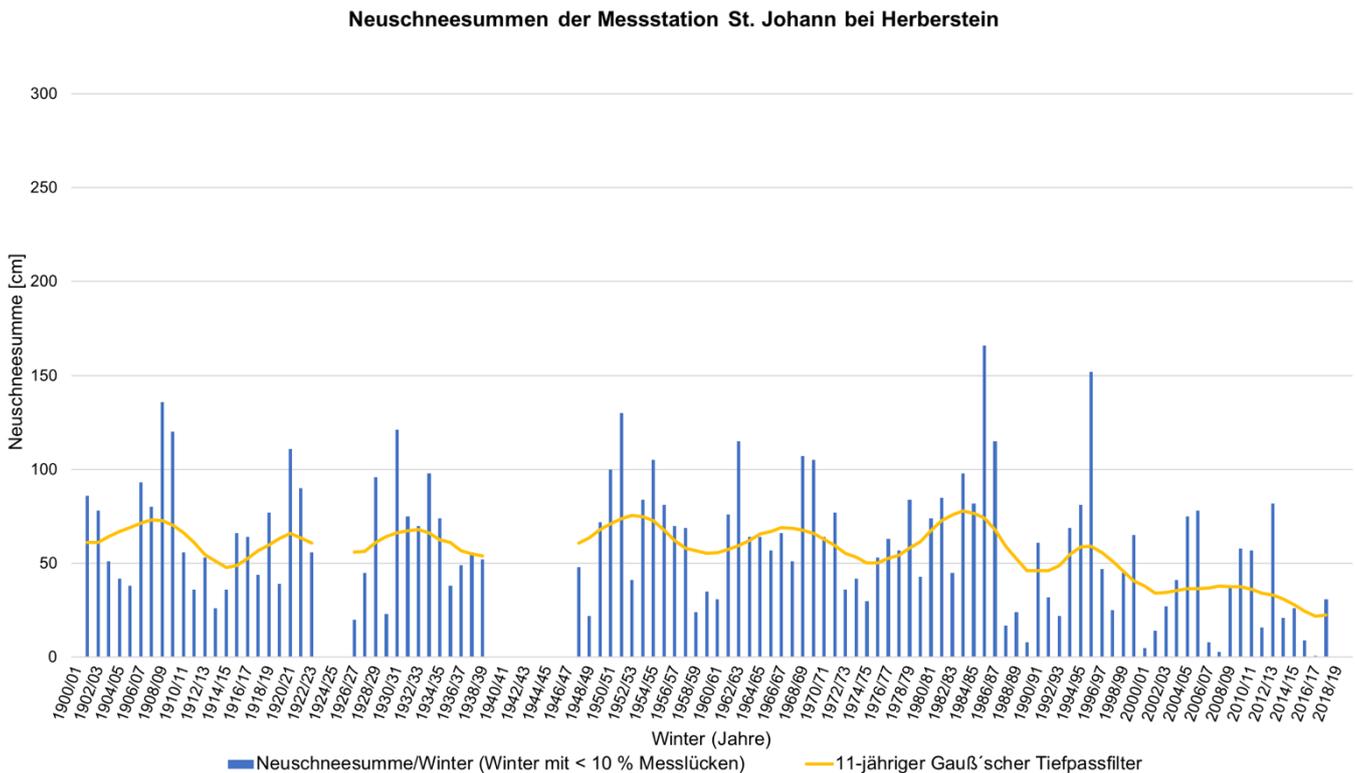


Abb. 7) Neuschneehöhen der Messstation St. Johann b. H. 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

Die Neuschneedaten der Messstation St. Johann b. H. weisen während der Kriegsjahre des 2. Weltkrieges und für den Zeitraum zwischen den Wintern 1922/23 und 1926/27 Messlücken auf, sind jedoch im gesamten Rest des Untersuchungszeitraumes lückenlos dokumentiert. Die maximal zwischen den Wintern 1901/02 und 2017/18 gemessene Neuschneesumme wurde hier mit 166 cm im Winter 1985/86 verzeichnet, wobei auch weitere Winter mit, für diese Messstation hohe Neuschneesummen in den 1980er Jahren auftraten. Dies ist auch ausschlaggebend für das im Diagramm ersichtliche Maximum der tiefpassgefilterten Daten in diesem Zeitraum. Die niedrigste Neuschneesumme wurde an dieser Messstation in der nahen Vergangenheit, nämlich im Winter 2016/17 mit lediglich 1 cm gemessen. Zusätzlich bedingt durch die drei vorhergehenden Neuschneearmen Winter im Bereich dieser Messstation fällt auch das Minimum der tiefpassgefilterten Daten in den Winter 2016/17.

Tendenziell fällt bei den tiefpassgefilterten Daten dieser Messstation auf, dass es eine zyklusartige Entwicklung der Neuschneehöhen gibt, welche sich seit den 1980 Jahren deutlich nach unten bewegt.

Messtation Sinabelkirchen

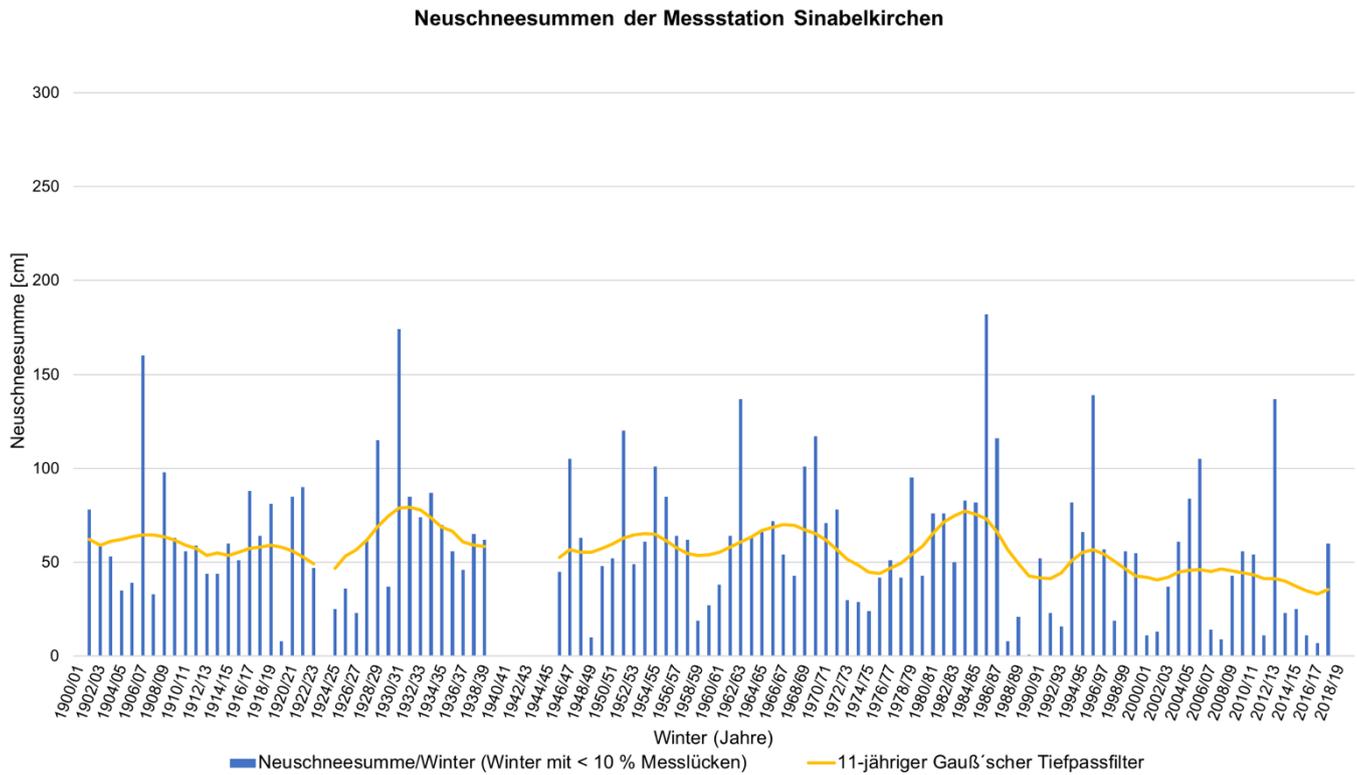


Abb. 8) Neuschneehöhen der Messtation Sinabelkirchen 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

Die Messtation Sinabelkirchen befindet sich in der steirischen Klimaregion Weizer-Gleisdorfer Riedelland, welche dem Vorland zugehörig ist und sich zwischen der Achse Weiz-Sinabelkirchen und der Laßnitzhöhe erstreckt (vgl. GIS-Steiermark 2020, a & b). Der Bereich ist landschaftsräumlich dem Oststeierischen Riedelland zugehörig (vgl. ebd.). Die Messtation befindet sich auf 350 m über Adria und wurde seit 1901 einmal versetzt. Die Versetzung der Messtation erfolgte im Jahr 2002 und die Messtation befand sich davor auf 330 m über Adria.

Die Neuschneedaten der Messtation Sinabelkirchen weisen, sehr ähnliche wie jene der benachbarten Station St. Johann bei Herberstein während der Kriegsjahre des 2. Weltkrieges und für den Zeitraum zwischen den Wintern 1922/23 und 1924/25 Messlücken auf, sind jedoch im gesamten Rest des Untersuchungszeitraumes lückenlos dokumentiert.

Die maximal zwischen den Wintern 1901/02 und 2017/18 gemessene Neuschneesumme wurde hier mit 182 cm im Winter 1985/86 verzeichnet, wobei auch weitere

Winter mit, für diese Messstation hohe Neuschneesummen in den 1980er Jahren auftraten. Auch im Winter 1930/01 verzeichneten die Daten der Messstation Sinabelkirchen eine ähnlich hohe Neuschneesumme von 174 cm mit ebenfalls mehreren relativ neuschneereichen Wintern in den 1930er Jahren. Dies ist ausschlaggebend für die beiden im Diagramm ersichtlichen annähernd gleich hohen Maxima der tiefpassgefilterten Daten in diesen Zeiträumen. Die niedrigste Neuschneesumme wurde an dieser Messstation im Winter 1989/90 mit lediglich 1 cm gemessen. Gleich wie bei der Messstation St. Johann b. H. fällt das Minimum der tiefpassgefilterten Daten in den Winter 2016/17.

Tendenziell fällt bei den tiefpassgefilterten Daten dieser Messstation auf, dass es eine zyklusartige Entwicklung der Neuschneehöhen gibt, welche sich seit den 1980er Jahren eher nach unten bewegt.

6.1.2. Randgebirge

Im folgenden Teil der Arbeit werden die relevanten Neuschneedaten der Einzelstationen der steirischen Klimaregion „Randgebirge“ gem. Land Steiermark (2020) analysiert und interpretiert.

Messstation Maria Lankowitz

Die Messstation Maria Lankowitz befindet sich in der steirischen Klimaregion Voitsberg-Köflacher-Becken, welche dem Randgebirge zugehörig ist und die tiefergelegenen Bereiche dieser Beckenlandschaft umfasst (vgl. GIS-Steiermark 2020, a & b). Der Bereich befindet sich am landschaftsräumlichen Übergang vom Köflach-Voitsberger-Becken hin zur Stubalpe (vgl. ebd.). Die Messstation befindet sich auf 530 m über Adria und wurde seit 1901 nie versetzt.

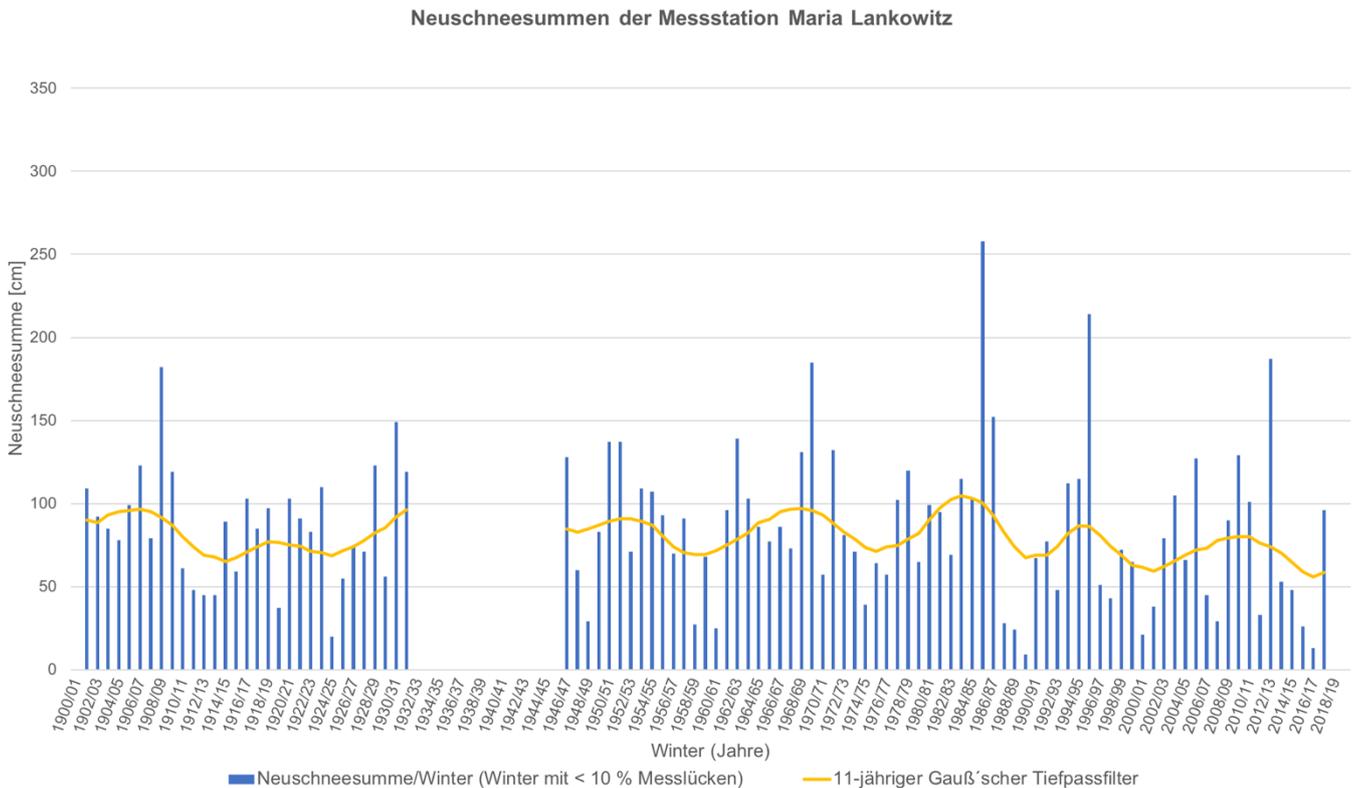


Abb. 9) Neuschneehöhen der Messstation Maria Lankowitz 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

Die Neuschneedaten der Messstation Maria Lankowitz weisen während der Kriegsjahre des 2. Weltkrieges sowie einigen vorhergehenden Wintern Messlücken auf, sind jedoch im gesamten Rest des Untersuchungszeitraumes lückenlos dokumentiert.

Die maximal zwischen den Wintern 1901/02 und 2017/18 gemessene Neuschneesumme wurde hier mit 258 cm im Winter 1985/86 verzeichnet. Generell gab es an dieser Messstation im Untersuchungszeitraum nur zwei Winter mit einer Neuschneesumme von mehr als 200 cm und auch nur drei weitere mit Neuschneesummen über 150 cm. Die niedrigste Neuschneesumme wurde an dieser Messstation im Winter 1989/90 mit lediglich 9 cm gemessen. Gleich wie bei einigen der vorhergehend analysierten Messstationen fällt das Minimum der tiefpassgefilterten Daten in den Winter 2016/17.

Tendenziell fällt auch bei den tiefpassgefilterten Daten dieser Messstation auf, dass es eine zyklusartige Entwicklung der Neuschneehöhen gibt, welche sich seit den 1980 Jahren eher leicht nach unten bewegt. Diese Tendenz fällt jedoch im Vergleich mit vorhergehend untersuchten Messstationen deutlich schwächer aus.

[Messstation Frohnleiten](#)

Die Messstation Frohnleiten befindet sich in der steirischen Klimaregion Murdurchbruchstal mit Seitentälern, welche dem Randgebirge zugehörig ist (vgl. GIS-Steiermark 2020, a & b). Der Bereich um die Messstation ist landschaftsräumlich dem Mittleren Murtal zugehörig, welches hier zwischen dem westlichen und östlichen Grazer Bergland eingefasst ist (vgl. ebd.). Die Messstation befindet sich auf 420 m über Adria und wurde im Jahr 1996 erneuert aber nicht versetzt.

Die Neuschneedaten der Messstation Frohnleiten weisen während der Kriegsjahre des 2. Weltkrieges sowie zwischen den Wintern 1919/20 und 1923/24 Messlücken auf, sind jedoch im gesamten Rest des Untersuchungszeitraumes lückenlos dokumentiert. Die maximal zwischen den Wintern 1901/02 und 2017/18 gemessene Neuschneesumme wurde hier mit 186 cm im Winter 1985/86 verzeichnet und liegt weit über den Neuschneesummen anderer schneereicher Winter dieser Messstation. Die niedrigste Neuschneesumme wurde an dieser Messstation im Winter 1926/27 mit 0 cm gemessen. Beim Blick auf die ausgewerteten Neuschneesummen der Messstation Frohnleiten fällt auf, dass relativ schneearme Winter mit Neuschneesummen von teils deutlich weniger als 20 cm in den letzten rund 30 Jahren merklich häufiger vorkommen als in den Jahrzehnten davor.

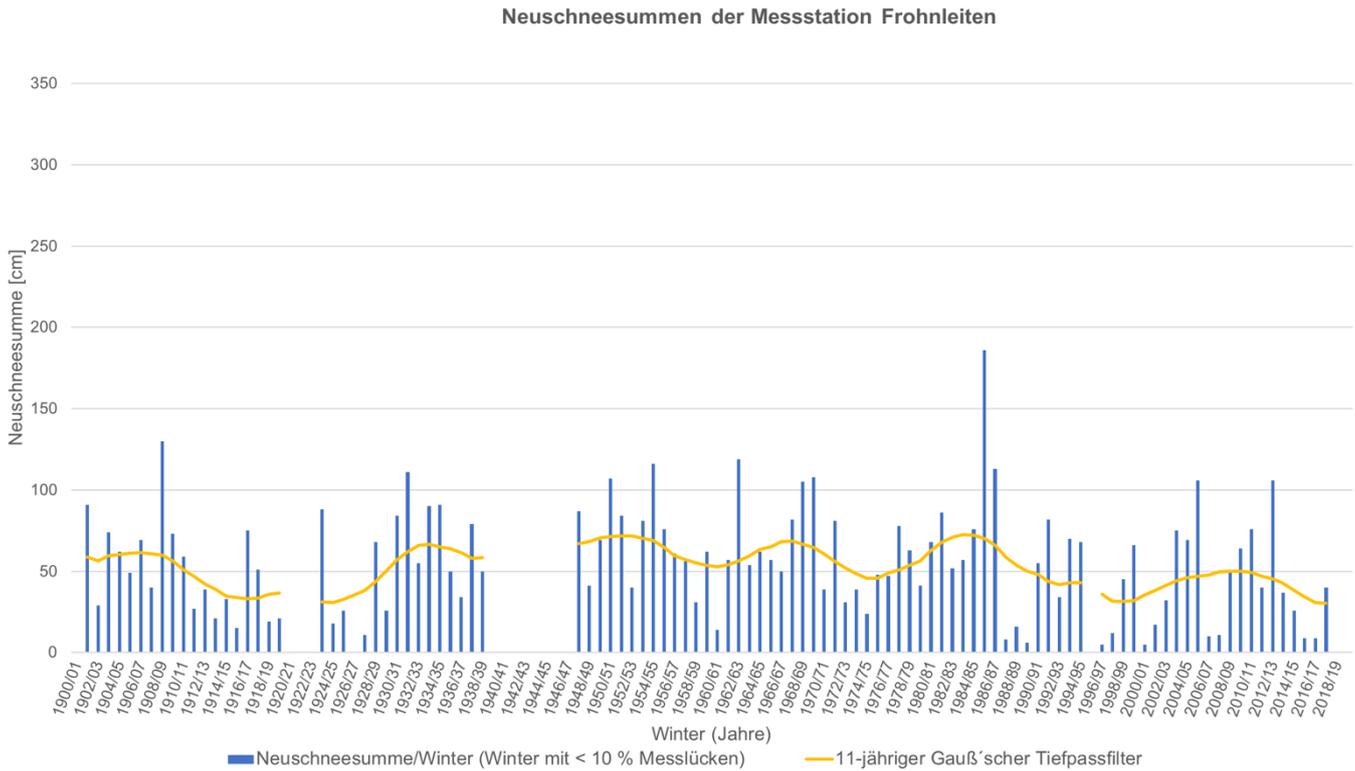


Abb. 10) Neuschneehöhen der Messstation Frohnleiten 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter
 (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

Auch die tiefpassgefilterten Daten dieser Messstation weisen eine zyklusartige Entwicklung mit Zeitspannen höherer und tieferer Neuschneesummen auf. Während diese Zyklen an dieser Messstation während dem Ende der 1940er und dem Ende der 1980er Jahre relativ gleichmäßig verliefen, verzeichnen die Minima dieser Zyklen um die Jahre 1920, 1998 und 2018 mit einem tiefpassgefilterten Wert von rd. 30 cm merklich niedrigere Werte in Bezug auf die Neuschneesummen.

Messtation Rettenegg

Die Messtation Rettenegg befindet sich in der steirischen Klimaregion Feistritztal, welche dem Randgebirge zugehörig ist (vgl. GIS-Steiermark 2020, a & b). Der Bereich um die Messtation ist landschaftsräumlich den Fischbacher Alpen zugehörig (vgl. ebd.). Die Messtation befindet sich auf 860 m über Adria und wurde seit 1901 nicht versetzt.

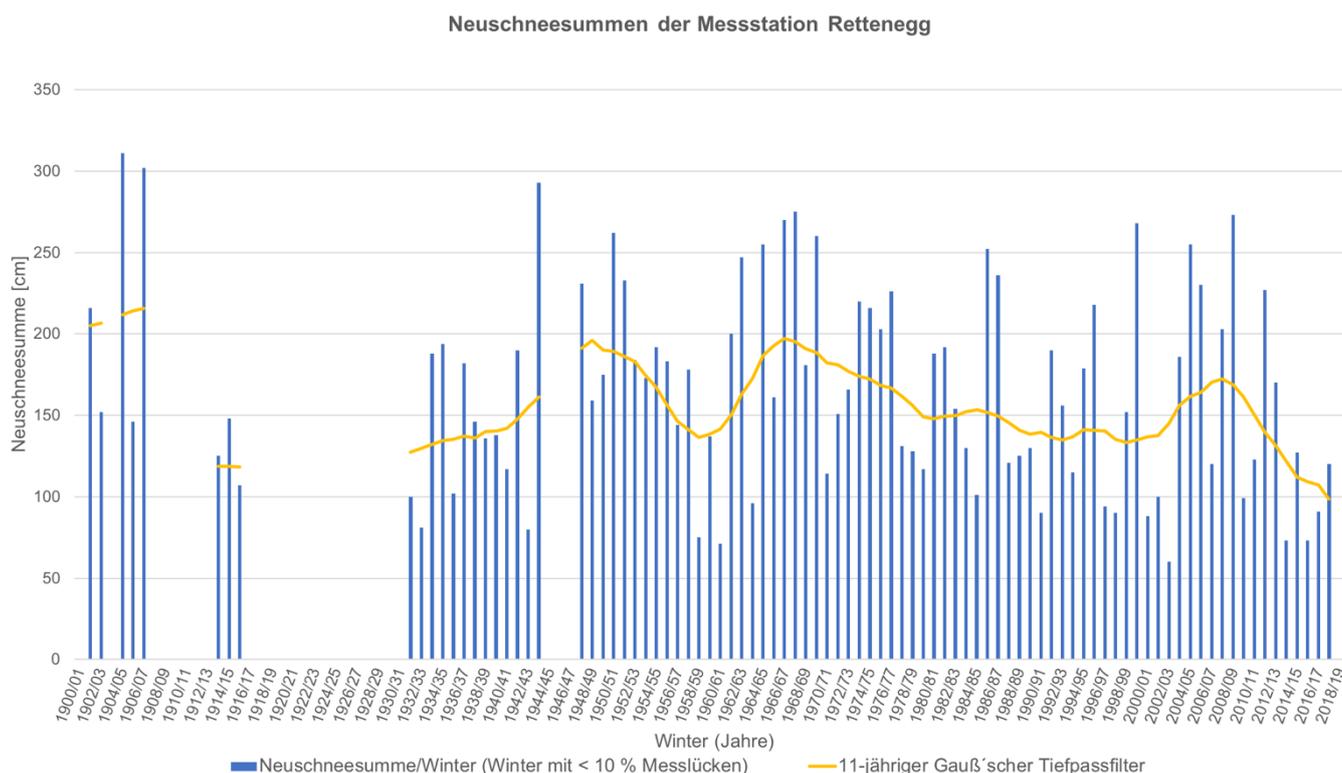


Abb. 11) Neuschneehöhen der Messtation Rettenegg 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter
 (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

Die Neuschneedaten der Messtation Rettenegg weisen während der Kriegsjahre des 2. Weltkrieges sowie kurz danach nur eine relativ kurze Lücke auf. Vor dem Winter 1931/32 sind, bis auf 8 Winter während und vor dem 1. Weltkrieg, keine bzw. nur zu lückenreiche Messdaten vorhanden.

Die maximale zwischen den Wintern 1901/02 und 2017/18 gemessene Neuschneesumme wurde hier mit 311 cm im Winter 1904/05 verzeichnet. Die niedrigste Neuschneesumme wurde an dieser Messtation im Winter 2002/03 mit 60 cm gemessen. Dabei ist festzuhalten, dass die Neuschneesummen der Messtation Rettenegg im Mittel weit über jenen der zuvor beschriebenen Messtationen in der allgemeinen Klimaregion Randgebirge liegen. Beim Blick auf die ausgewerteten

Neuschneesummen der Messstation Rettenegg fällt auf, dass die tiefpassgefilterten Daten auf zwei ähnlich hohe Maxima am Beginn der 1950er Jahre sowie am Ende der 1960er Jahre deuten wobei zwischen diesen Maxima auch eine relativ schneearme Periode verzeichnet wurde. Das Minimum der tiefpassgefilterten Daten liegt in der nächsten Vergangenheit, im Winter 2018/19. Einem relativen Maximum in den 2010er Jahren folgte hier ein Abwärtstrend der Neuschneesummen pro Winter. Die tiefpassgefilterten Daten dieser Messstation weisen einen weniger zyklischen Verlauf als viele andere untersuchte Messstationen auf.

Messstation St. Jakob im Walde

Die Messstation St. Jakob im Walde befindet sich in der steirischen Klimaregion Vorauer Bucht, welche dem Randgebirge zugehörig ist (vgl. GIS-Steiermark 2020, a & b). Der Bereich um die Messstation ist landschaftsräumlich dem Wechsel zugehörig (vgl. ebd.). Die Messstation befindet sich auf 922 m über Adria und wurde seit 1901 nie versetzt.

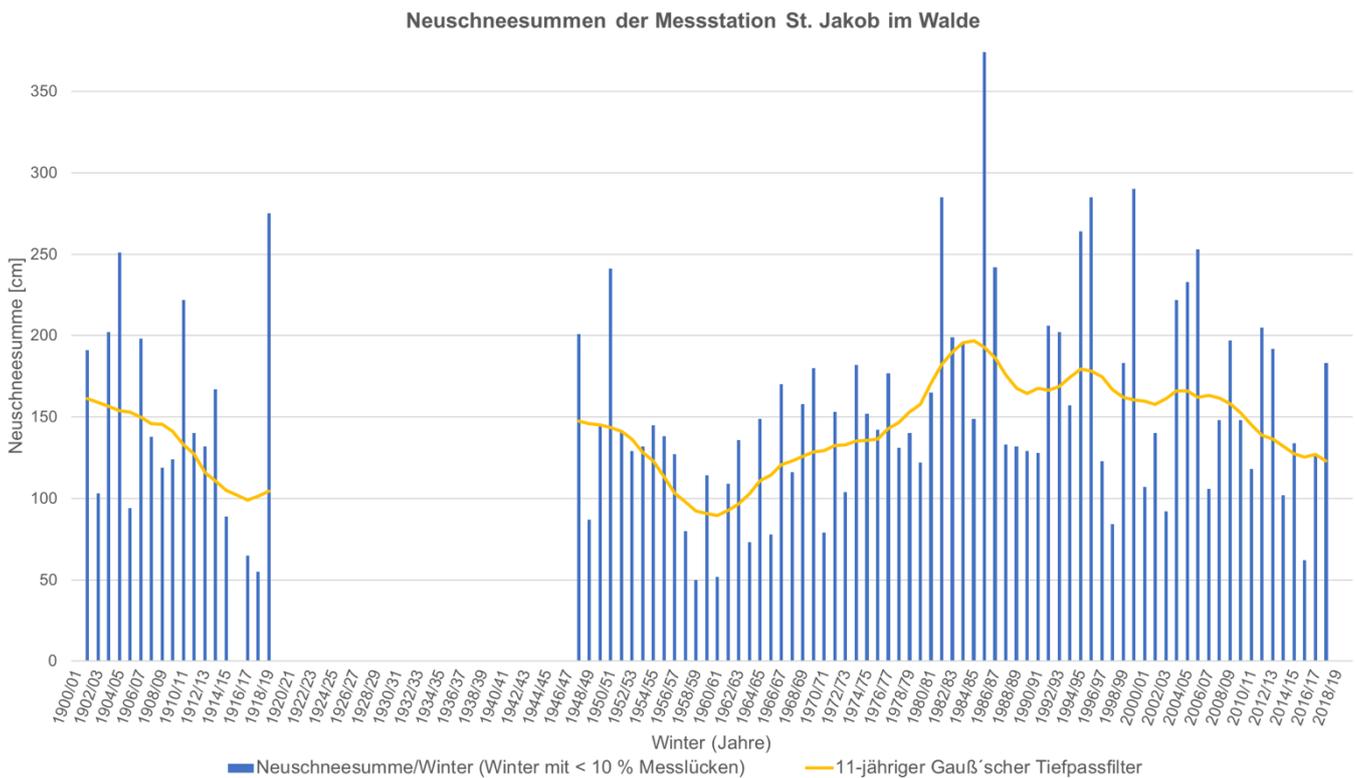


Abb. 12) Neuschneehöhen der Messstation St. Jakob i. W. 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

Die Neuschneedaten der Messstation St. Jakob im Walde weisen lediglich eine, aber dafür eine umso größere Messlücke zwischen dem Ende des 1. Weltkrieges und dem Ende des 2. Weltkrieges auf. Die maximale zwischen den Wintern 1901/02 und 2017/18 gemessene Neuschneesumme wurde hier mit 374 cm im Winter 1985/86 verzeichnet. Die niedrigste Neuschneesumme wurde an dieser Messstation im Winter 1915/16 mit 0 cm gemessen, wobei die Korrektheit dieser Daten angezweifelt werden muss. Die benachbarten Stationen Rettenegg und Vorau verzeichneten in diesem Winter keine unüblich niedrigen Neuschneesummen und der nächsthöhere Messwert an der Station St. Jakob i. W. liegt mit 50 cm im Winter 1958/59 deutlich darüber.

Gleich wie bei der Messstation Rettenegg fällt bei den Daten der Messstation St. Jakob i. W. auf, dass die Neuschneesummen im Mittel weit über jenen der zuvor beschriebenen Messstationen in der allgemeinen Klimaregion Randgebirge liegen. Beim Blick auf die ausgewerteten Neuschneesummen der Messstation St. Jakob i. W. fällt auf, dass die tiefpassgefilterten Daten anders als bei der benachbarten Station Rettenegg lediglich ein deutliches Maximum in der Mitte der 1980er Jahre aufweisen. Das Minimum der tiefpassgefilterten Daten liegt bei dieser Messstation in der zweiten Hälfte der 1950er Jahre. Dieses Minimum ist auch in den Daten der benachbarten Messstation Rettenegg deutlich zu erkennen. Ein Abwärtstrend der tiefpassgefilterten Neuschneesummen lässt sich hier vor allem nach dem Maximum in den 1980er Jahren beobachten. Die tiefpassgefilterten Daten dieser Messstation weisen einen weniger zyklischen Verlauf als viele andere untersuchte Messstationen auf.

Messstation Vorau

Die Messstation Vorau befindet sich ebenfalls in der steirischen Klimaregion Vorauer Bucht, welche dem Randgebirge zugehörig ist (vgl. GIS-Steiermark 2020, a & b). Der Bereich um die Messstation ist landschaftsräumlich jedoch dem Joglland zugehörig (vgl. ebd.). Die Messstation befindet sich auf 690 m über Adria und wurde seit 1901 nie versetzt.

Die Neuschneedaten der Messstation Vorau weisen nur eine Messlücke rund um die Kriegsjahre des 2. Weltkrieges auf. Die maximale zwischen den Wintern 1901/02 und 2017/18 gemessene Neuschneesumme beläuft sich bei dieser Messstation auf 207 cm und wurde ebenfalls im Winter 1985/86 aufgenommen. Die niedrigste Neuschneesumme wurde an dieser Messstation im Winter 2001/02 mit 14 cm gemessen.

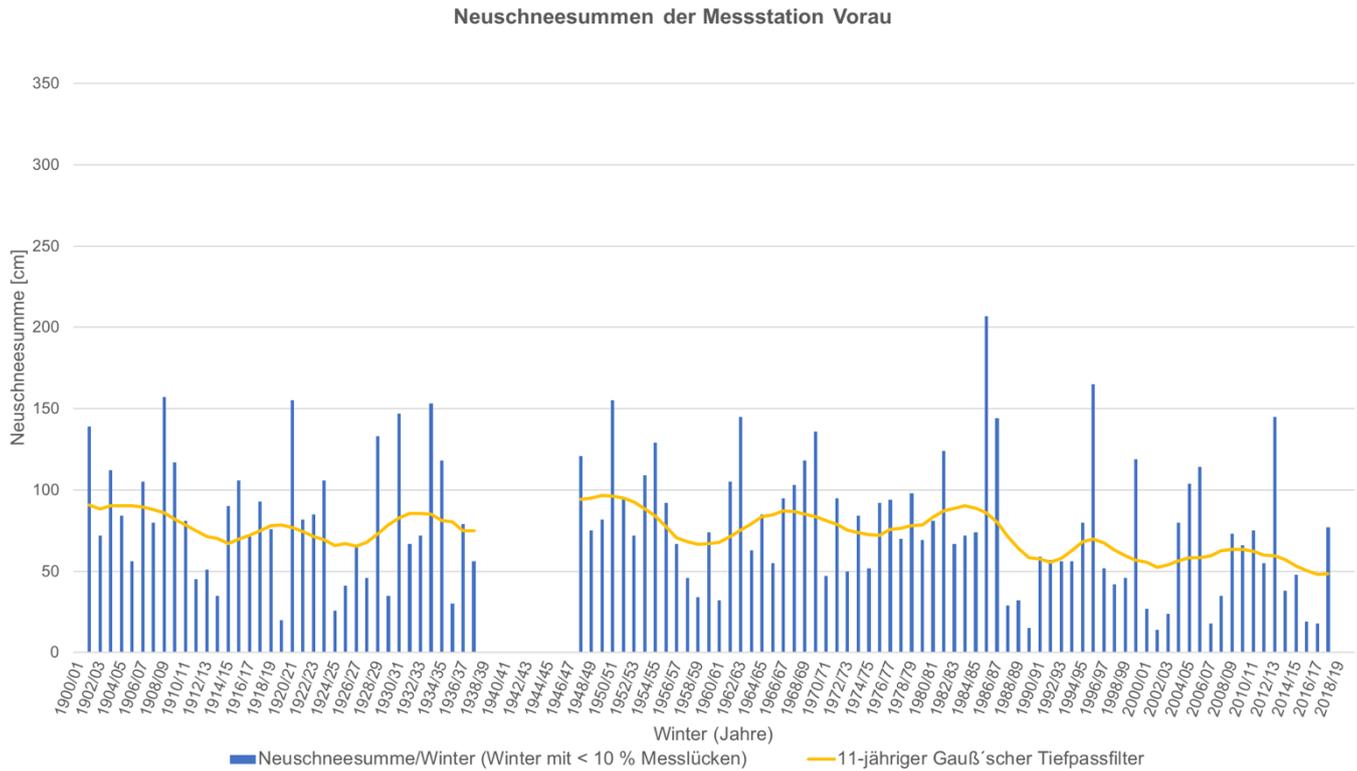


Abb. 13) Neuschneehöhen der Messstation Voral 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter
(Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

Beim Blick auf die ausgewerteten Neuschneesummen der Messstation Voral fällt auf, dass relativ schneearme Winter mit Neuschneesummen von weniger als 20 cm in den letzten rund 30 Jahren merklich häufiger vorkommen als in den Jahrzehnten davor. Auch die tiefpassgefilterten Daten dieser Messstation weisen eine zyklusartige Entwicklung mit Zeitspannen höherer und tieferer Neuschneesummen auf. Während diese Zyklen an dieser Messstation während dem Untersuchungszeitraum vor der Mitte der 1980er Jahre relativ gleichmäßig verliefen, verzeichnen die tiefpassgefilterten Daten nach diesem Zeitpunkt eine relativ abrupte Abnahme und ein späteres Beibehalten dieses tieferen Niveaus. Dafür sind vor allem die Daten jener, zuvor angesprochenen Winter verantwortlich, welche deutlich weniger Neuschneesummen aufweisen und in den letzten Jahrzehnten häufiger vorkommen, denn in diese Zeitspanne fällt auch der Winter mit der zweithöchsten an dieser Station gemessenen Neuschneesumme.

6.1.3. Mur-Mürz-Furche

Im folgenden Teil der Arbeit werden die relevanten Neuschneedaten der Einzelstationen der steirischen Klimaregion „Mur-Mürz-Furche“ gem. Land Steiermark (2020) analysiert und interpretiert.

Messstation St. Lambrecht

Die Messstation St. Lambrecht befindet sich in der steirischen Klimaregion Neumarkter Passlandschaft, welche der Mur-Mürz-Furche zugehörig ist (vgl. GIS-Steiermark 2020, a & b). Der Bereich befindet sich landschaftsräumlich im Bereich der Gurktaler Alpen (vgl. ebd.). Die Messstation befindet sich auf 1.070 m über Adria und wurde seit 1901 nie versetzt.

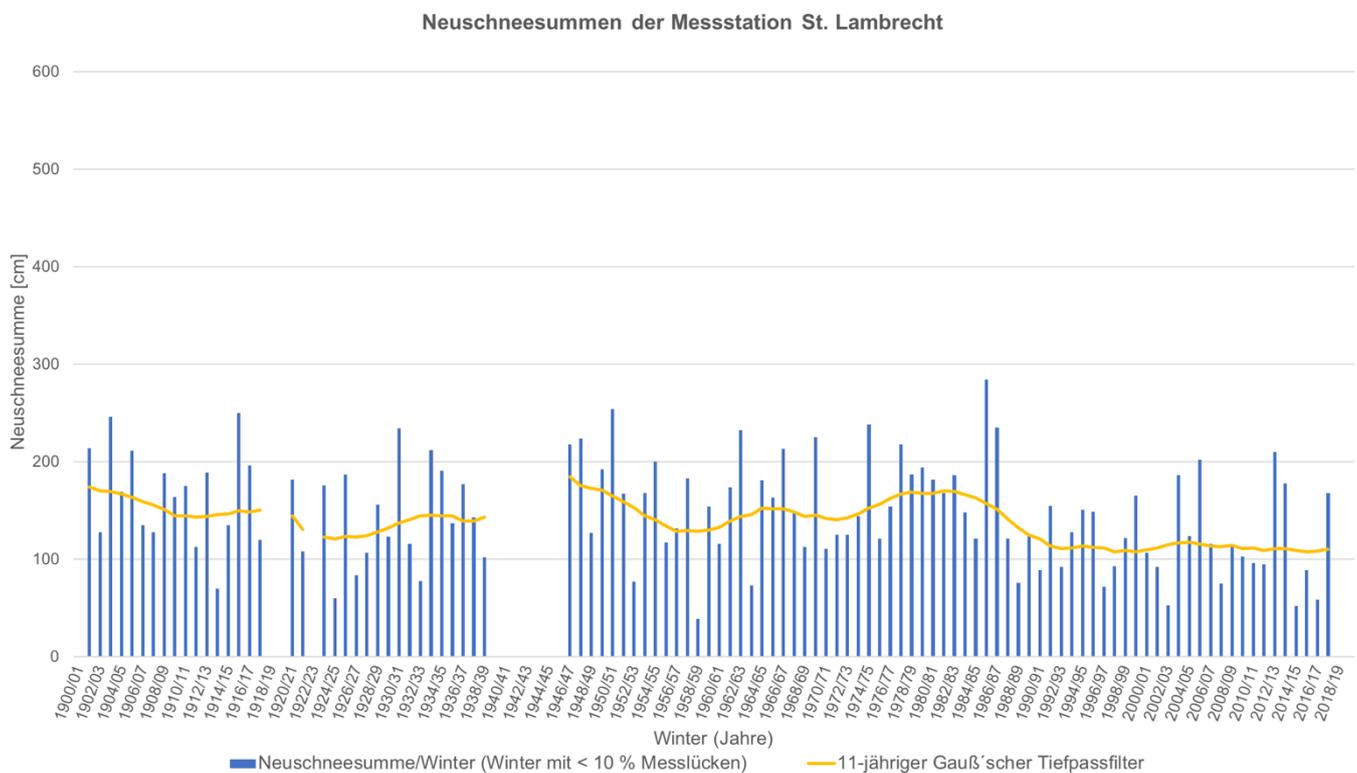


Abb. 14) Neuschneehöhen der Messstation St. Lambrecht 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

Die Neuschneedaten der Messstation St. Lambrecht weisen während der Kriegsjahre des 2. Weltkrieges sowie in einigen Wintern zum Ende der 1910er Jahre und zum Beginn der 1920er Jahre Messlücken auf, sind jedoch im gesamten Rest des Untersuchungszeitraumes lückenlos dokumentiert.

Die maximal zwischen den Wintern 1901/02 und 2017/18 gemessene Neuschneesumme wurde hier mit 284 cm ebenfalls im Winter 1985/86 verzeichnet wobei die Neuschneesumme in diesem Winter hier keinen übermäßigen „Außreißer“ wie bei manch anderen Stationen – vor allem im Randgebirge – darstellt. Die niedrigste Neuschneesumme wurde an dieser Messstation im Winter 1958/59 mit 39 cm gemessen.

Das Minimum der Tiefpassgefilterten Daten dieser Messstation ist im Diagramm kaum zu erkennen, da sich diese Kurve nach Absinken zum Ende der 1980er Jahre auf einem seither sehr konstanten Niveau befindet.

Tendenziell fällt bei den tiefpassgefilterten Daten dieser Messstation auf, dass es vor dem Ende der 1980er Jahre eine deutlich zyklusartigere Entwicklung der Neuschneehöhen gegeben hat als in den Jahrzehnten danach.

Messstation St. Johann am Tauern

Die Messstation St. Johann a. T. befindet sich in der steirischen Klimaregion Pölstal, welche der Mur-Mürz-Furche zugehörig ist (vgl. GIS-Steiermark 2020, a & b). Der Bereich befindet sich landschaftsräumlich am Übergang der Seckauer Tauern zu den Wölzer Tauern, welche beide Teil der Niederen Tauern sind (vgl. ebd.). Die Messstation befindet sich auf 1.050 m über Adria und wurde seit 1901 nie versetzt.

Die Neuschneedaten der Messstation St. Johann a. T. weisen während der Kriegsjahre des 2. Weltkrieges Messlücken auf, sind jedoch im gesamten Rest des Untersuchungszeitraumes lückenlos dokumentiert.

Die maximale zwischen den Wintern 1901/02 und 2017/18 gemessene Neuschneesumme wurde hier mit 427 cm bereits im Winter 1906/07 aufgenommen. Auch die zweithöchste gemessene Neuschneesumme an dieser Messstation fällt in den gleichen Zeitraum (Winter 1904/05), was das Maximum der tiefpassgefilterten Daten an dieser Stelle erklärt. Ähnlich wie bei der Messstation St. Lambrecht gibt es in den 1980er Jahren auch hier ein Maximum der tiefpassgefilterten Daten nach welchem diese Daten bis in die nähere Vergangenheit dann im Sinken begriffen waren.

Die niedrigste Neuschneesumme wurde an dieser Messstation im Winter 1918/19 mit 52 cm gemessen.

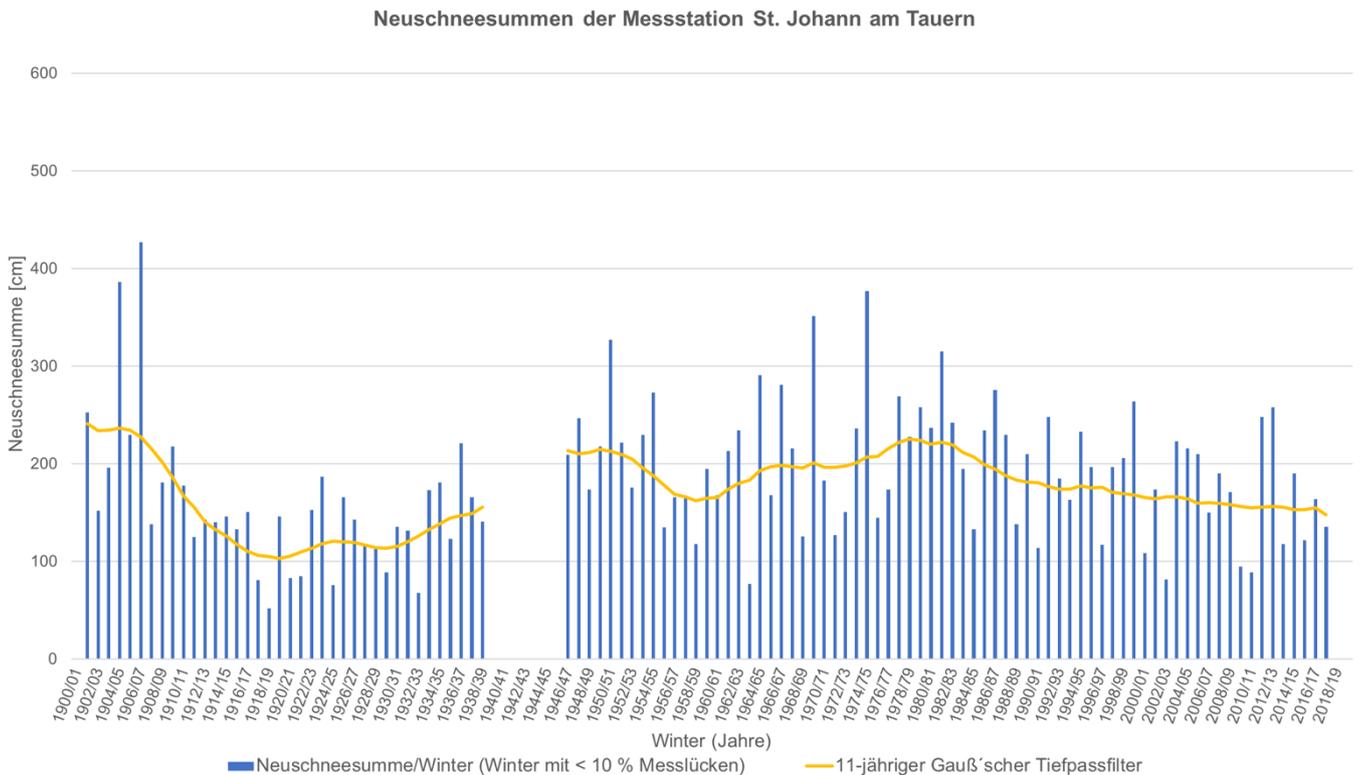


Abb. 15) Neuschneehöhen der Messstation St. Johann a. T. 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

Das in Relation sehr stark ausgeprägte Minimum der Tiefpassgefilterten Daten dieser Messstation befindet sich im Gegensatz zur Messstation St. Lambrecht jedoch im Zeitraum zum Ende der 1910er Jahre. Tendenziell fällt bei den tiefpassgefilterten Daten dieser Messstation auf, dass die zyklusartigere Entwicklung hier generell weniger stark ausgebildet ist und in den letzten 30 Jahren kaum erkennbar ist.

Messstation Obdach

Die Messstation Obdach befindet sich in der steirischen Klimaregion Obdacher Passlandschaft, welche der Mur-Mürz-Furche zugehörig ist (vgl. GIS-Steiermark 2020, a & b). Der Bereich befindet sich auch landschaftsräumlich in der sogenannten Obdacher Passlandschaft, welche von den Seetaler Alpen im Westen und der Stubalpe im Osten eingefasst wird (vgl. ebd.). Die Messstation befindet sich auf 875 m über Adria und wurde seit 1901 nie versetzt.

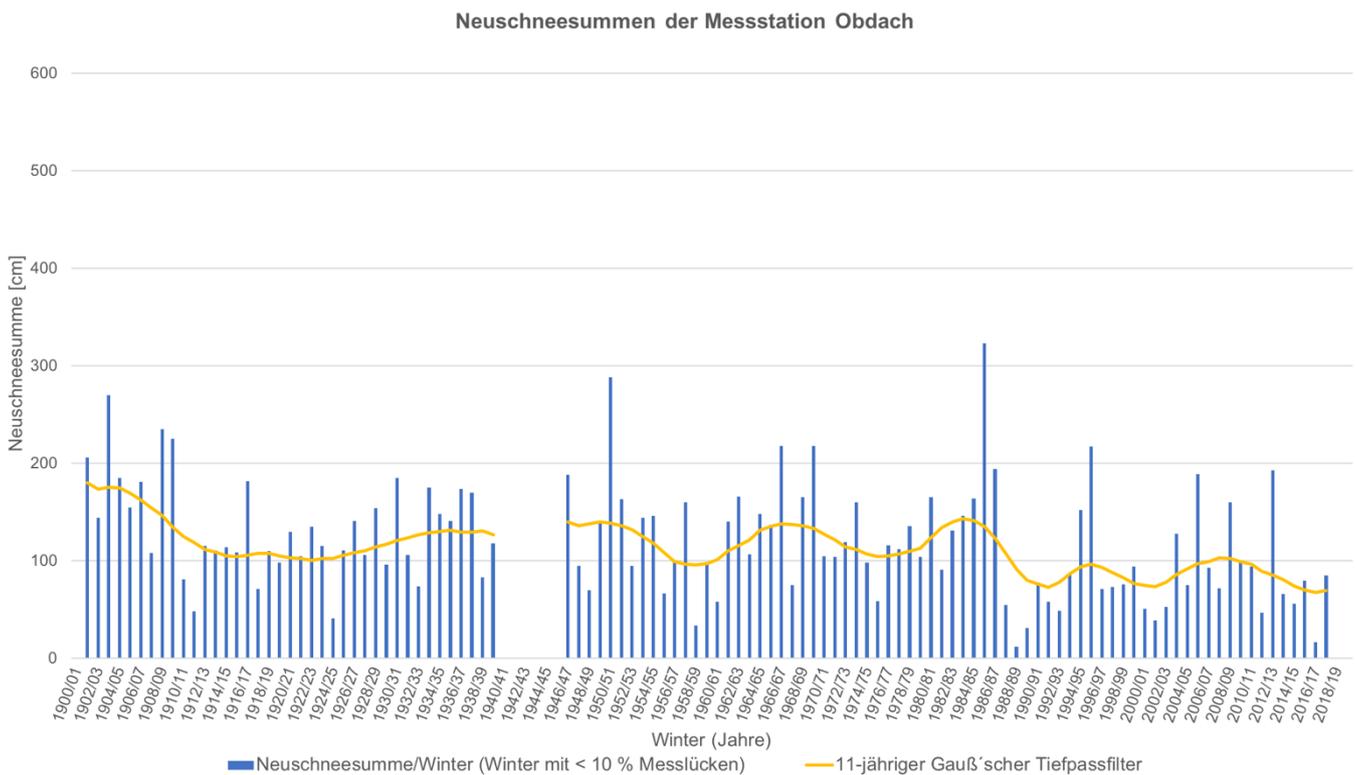


Abb. 16) Neuschneehöhen der Messstation Obdach 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter
(Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

Die Neuschneedaten der Messstation Obdach weisen während der Kriegsjahre des 2. Weltkrieges Messlücken auf, sind jedoch im gesamten Rest des Untersuchungszeitraumes lückenlos dokumentiert.

Die maximale zwischen den Wintern 1901/02 und 2017/18 gemessene Neuschneesumme wurde hier mit 323 cm wie bei vielen Messstationen im Randgebirge im Winter 1985/86 aufgenommen. Ähnlich wie bei der Messstation St. Johann am Tauern liegt das Maximum der tiefpassgefilterten Daten der Messstation Obdach in der Mitte der 1900er Jahre. Die niedrigste Neuschneesumme wurde an dieser Messstation im Winter 1988/89 mit 12 cm gemessen. Die gestiegene Häufigkeit von Wintern mit verhältnismäßig geringen Neuschneesummen in den letzten 30 Jahren hat die Messstation Obdach mit den benachbarten Messstationen des Randgebirges gemein. Zwei sehr ähnliche Minima der tiefpassgefilterten Daten verzeichnet diese Messstation jeweils zum Beginn der 1990er Jahre als auch zum Beginn des 2. Jahrtausends.

Auch weist diese Messstation speziell seit dem 2. Weltkrieg eine stärker ausgeprägte Zyklizität der tiefpassgefilterten Daten auf als die benachbarten, in der gleichen

Klimaregion gem. GIS-Steiermark (2020a) gelegenen Messstationen St. Lambrecht und St. Johann a. T..

Messstation Mautern

Die Messstation Mautern befindet sich in der steirischen Klimaregion Liesingtal, welche der Mur-Mürz-Furche zugehörig ist (vgl. GIS-Steiermark 2020, a & b). Der Bereich befindet sich auch landschaftsräumlich im Liesingtal, welches hier von den Eisenerzer Alpen im Nordosten und den Seckauer Tauern im Südwesten eingefasst wird (vgl. ebd.). Die Messstation befindet sich auf 753 m über Adria, wurde 2012 versetzt und befand sich davor auf 710 m über Adria.

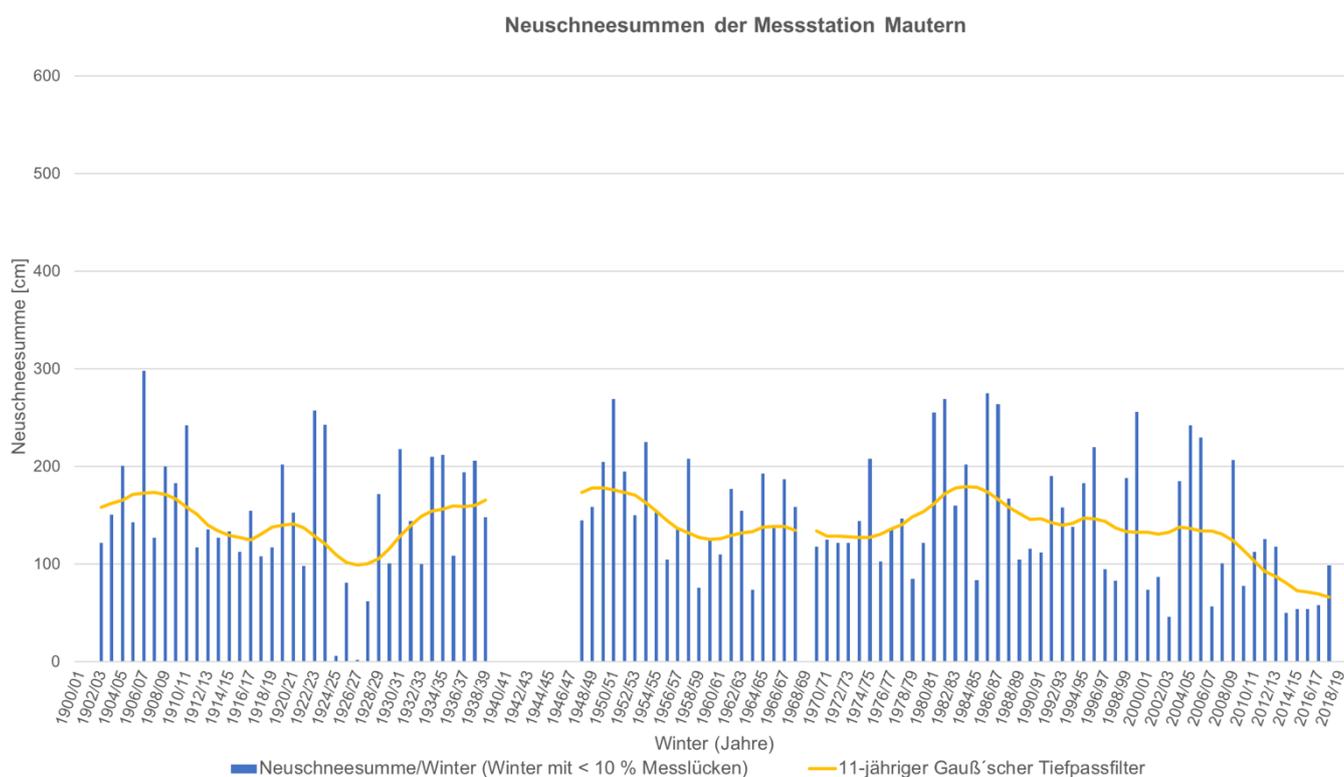


Abb. 17) Neuschneehöhen der Messstation Mautern 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter
(Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

Die Neuschneedaten der Messstation Mautern weisen während der Kriegsjahre des 2. Weltkrieges Messlücken auf, sind jedoch im gesamten Rest des Untersuchungszeitraumes beinahe lückenlos dokumentiert.

Die maximale zwischen den Wintern 1901/02 und 2017/18 gemessene Neuschneehöhe wurde hier mit 298 cm im Winter 1906/07 aufgenommen. Die tiefpassgefilterten Daten der Messstation Mautern weisen drei ähnlich hohe Maxima in der Mitte der

1900er Jahre, zu Beginn der 1950er Jahre und in der Mitte der 1980er Jahre auf. Das Maximum in der Mitte der 1980er Jahre ähnelt dabei den Verläufen der zuvor untersuchten Messstationen St. Lambrecht, St. Johann a. T. und Obdach, wenngleich die darauffolgende Periode an der Messstation Mautern in Bezug auf die tiefpassgefilterten Messdaten ein höheres Niveau aufweist und erst im Laufe der 2000er Jahre einbricht. Die niedrigste Neuschneesummen wurden an dieser Messstation in den Wintern 1924/25 mit 6 cm und 1926/27 mit 2 cm gemessen. Hierzu muss jedoch angemerkt werden, dass diese auffallend niedrigen Messwerte an nahegelegenen Stationen nicht auftreten und deren Validität damit angezweifelt werden muss. Dies ist natürlich auch bei der Interpretation der tiefpassgefilterten Daten in diesem Zeitraum relevant und zu berücksichtigen. Neben den drei ähnlich hohen Maxima der tiefpassgefilterten Daten der Messstation Mautern, ist auch der Einbruch der tiefpassgefilterten Neuschneesummen nach dem Winter 2008/09 ob seiner starken Ausprägung eine Besonderheit dieser Messstation.

Bezüglich wiederkehrender Zyklen der tiefpassgefilterten Daten dieser Messstation sind die relativ gleichmäßigen Abstände der der Maxima mit 30-40 Jahren auffallend, wenngleich für diese Beurteilung die Messdaten während des 2. Weltkrieges fehlen. Abseits der Maxima oszillieren die tiefpassgefilterten Daten der Messstation zwischen diesen Maxima nur wenig, wenn man von dem anzweifelbaren Minimum der 1920er Jahre absieht.

Messstation Tragöß

Die Messstation Tragöß befindet sich in der steirischen Klimaregion Lamingtal mit Tragöß, welche der Mur-Mürz-Furche zugehörig ist (vgl. GIS-Steiermark 2020, a & b). Der Bereich befindet sich am landschaftsräumlichen Übergang von den Mürztaler Alpen zur Hochschwabgruppe am Talboden der Laming (vgl. ebd.). Die Messstation befindet sich auf 770 m über Adria und wurde während des Untersuchungszeitraumes nicht versetzt.

Die Neuschneedaten der Messstation Tragöß weisen nach dem ersten und während der Kriegsjahre des zweiten Weltkrieges sowie relativ weit darüber hinaus Messlücken auf, sind jedoch nach 1956 lückenlos dokumentiert.

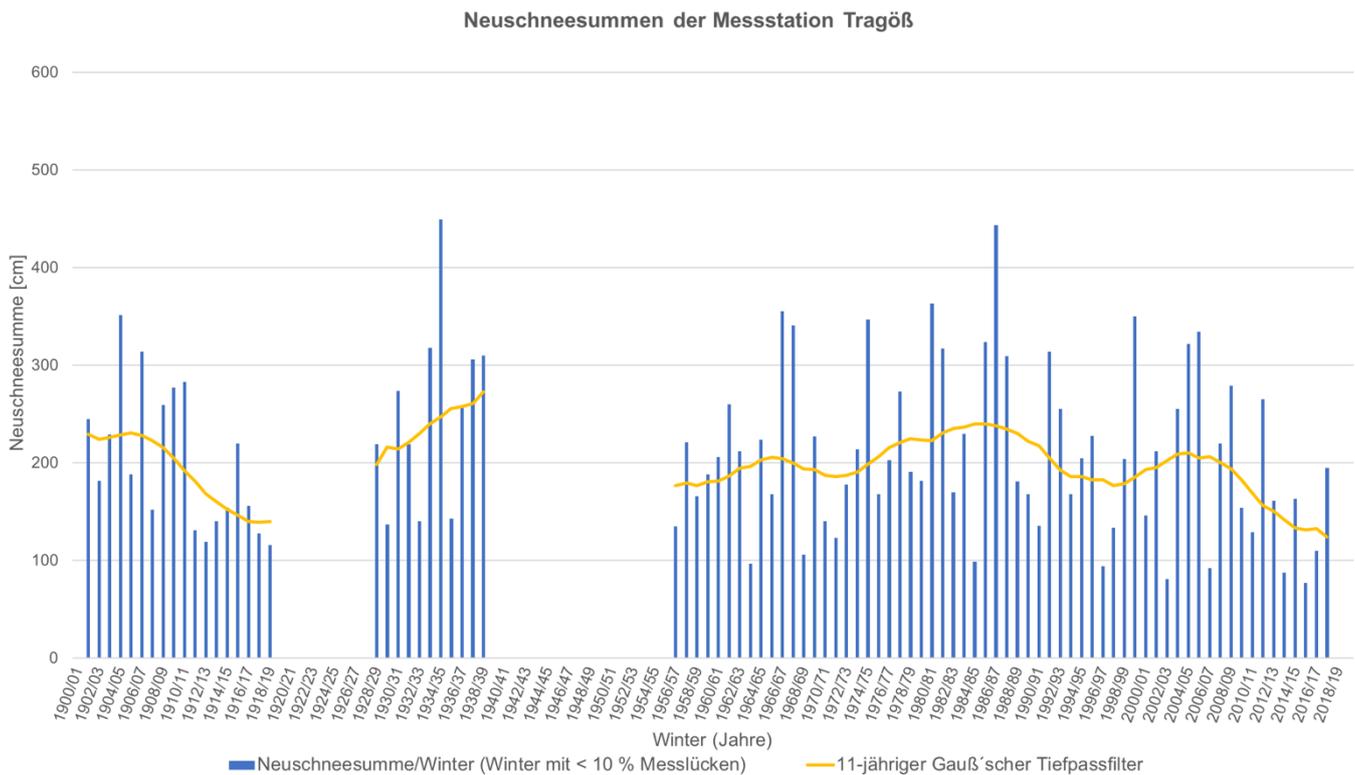


Abb. 18) Neuschneehöhen der Messstation Tragöb 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter
(Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

Die maximale zwischen den Wintern 1901/02 und 2017/18 gemessene Neuschneesumme wurde hier mit 449 cm im Winter 1934/35 aufgenommen. Ein ähnlich hoher Wert findet sich mit 443 cm auch im Winter 1986/87. Die tiefpassgefilterten Daten der Messstation Tragöb weisen deutliche Maxima in den 1900er, den 1930er und den 1980er Jahren auf, wobei jenes in den 1930er Jahren nur für den Winter 1933/34 aussagekräftig ist, da die 1920er und die 1940er Jahre an dieser Messstation von ausgedehnten Lücken gekennzeichnet sind.

Das Absinken der tiefpassgefilterten Neuschneesummen seit dem Ende der 2000er Jahre, wie auch die Zeitpunkte der Maxima ähneln im Falle der Messstation Tragöb sehr dem Verlauf der Messstation Mautern. Die niedrigste Neuschneesumme wurde an dieser Messstation im Winter 2015/16 gemessen. Bezüglich wiederkehrender Zyklen der tiefpassgefilterten Daten dieser Messstation lassen sich für die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts kaum Aussagen treffen. Im darauffolgenden Zeitraum lassen sich zwar deutliche Bewegungen der Tiefpassgefilterten Daten erkennen, die Frequenz der relativen Maxima ist jedoch weit von einer Gleichmäßigkeit entfernt.

Messstation Mürzsteg

Die Messstation Mürzsteg befindet sich in der steirischen Klimaregion Oberes Mürztal, welche der Mur-Mürz-Furche zugehörig ist (vgl. GIS-Steiermark 2020, a & b). Der Bereich befindet sich landschaftsräumlich inmitten der Mürzsteiger Alpen (vgl. ebd.). Die Messstation befindet sich auf 810 m über Adria und wurde im Jahr 1978 von zuvor 780 m über Adria an die jetzige Stelle versetzt.

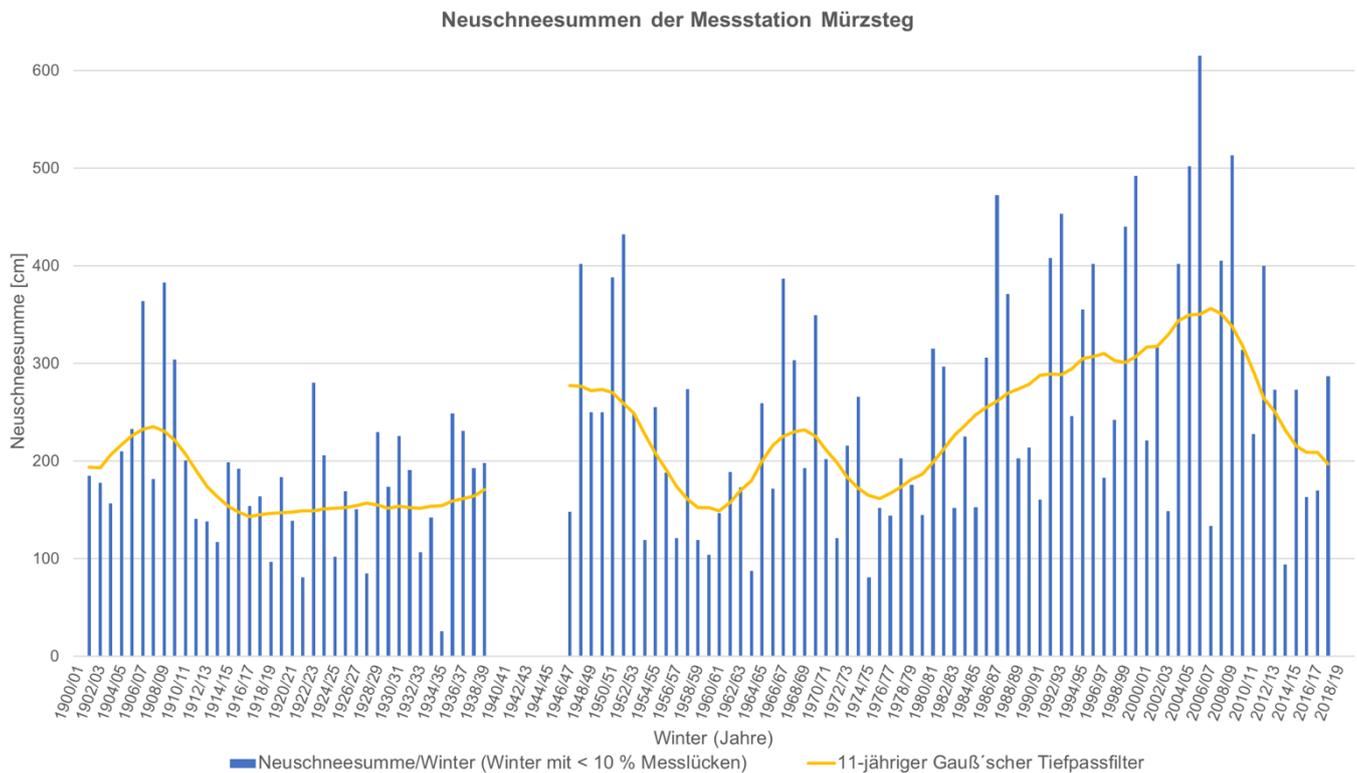


Abb. 19) Neuschneehöhen der Messstation Mürzsteg 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter
(Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

Die Neuschneedaten der Messstation Mürzsteg weisen nur während des 2. Weltkrieges eine Messlücke auf und sind ansonsten lückenlos dokumentiert.

Die maximale zwischen den Wintern 1901/02 und 2017/18 gemessene Neuschneesumme wurde hier mit bemerkenswerten 615 cm im Winter 2005/06 verzeichnet. Weitere Neuschneesummen von rund 500 cm wurden ebenfalls im selben Jahrzehnt verzeichnet, was auch bewirkt, dass das deutliche Maximum der tiefpassgefilterten Neuschneedaten dieser Messstation ebenfalls in dieses Jahrzehnt fällt.

Das Maximum sowohl der rohen Neuschneesummen als auch der tiefpassgefilterten Daten dieser Messstation fällt damit in einen Zeitraum, in dem an den meisten anderen Messstationen deutliche Rückgänge dieser Beiden Kenngrößen zu verzeichnen sind.

Auffallend ist bei den Daten der Messstation Mürzsteg auch die Höhe dieses Maximums gegenüber der, des restlichen Untersuchungszeitraumes sowie auch die Dauer des gut sichtbaren Maximums der tiefpassgefilterten Daten über einen Zeitraum von rund vier Jahrzehnten. Die Senkung des Wertes der tiefpassgefilterten Daten nach dem Ende des ersten Jahrzehnts des neuen Jahrtausends mutet gravierend an, stellt jedoch lediglich einen Rückgang auf das Niveau der Neuschneesummen dieser Messstation vor den 1980er Jahren dar. Nichtsdestotrotz ist auch dieser Rückgang bemerkenswert und vor allem durch die Steilheit dieser abfallenden Kurve eine Besonderheit. Die Entwicklungen der Neuschneesummen an dieser Messstation zum Ende des zwanzigsten Jahrhunderts täuschen beinahe darüber hinweg, dass das Niveau der Neuschneesummen hier in den Vorhergehenden Jahrzehnten spürbar niedriger lag. Die niedrigste Neuschneesumme innerhalb des Untersuchungszeitraumes wurde an dieser Messstation mit 26 cm im Winter 1934/35 gemessen und das Minimum der Tiefpassgefilterten Daten fällt in die Mitte der 1920er Jahre, wobei sich zwei Minima zum Beginn der 1960er Jahre sowie zur Mitte der 1970er Jahre auf ein ähnlich niedriges Niveau begeben.

Bezüglich wiederkehrender Zyklen der tiefpassgefilterten Daten dieser Messstation lassen sich bei dieser Messstation kaum wiederkehrende Muster erkennen, da das langgezogenen Maximum zum Ende des 20. Jahrhunderts einem stabilen Verlauf dieser Kurve in den 1920er und 1930er Jahren konträr gegenübersteht.

6.1.4. Täler nördlich des Alpenhauptkammes

Im folgenden Teil der Arbeit werden die relevanten Neuschneedaten der Einzelstationen der steirischen Klimaregion „Täler nördlich des Alpenhauptkammes“ gem. GIS-Steiermark (2020a) analysiert und interpretiert.

Messstation Schladming

Die Messstation Schladming befindet sich in der steirischen Klimaregion Ennstal bis Irdning mit Seitentälern im Süden, welche den Tälern nördlich des Alpenhauptkammes zugehörig ist (vgl. GIS-Steiermark 2020, a & b). Der Bereich befindet sich landschaftsräumlich im Oberen Ennstal, welches hier von der Dachsteingruppe im Norden und den Schladminger Tauern im Süden eingfasst wird (vgl. ebd.). Die Messstation befindet sich auf 747 m über Adria und wurde seit 1901 zweimal versetzt. Die erste Versetzung erfolgte 2004 von vorher 740 m über Adria auf 730 m über Adria, die zweite Versetzung erfolgte im Jahr 2013 auf die letztgültigen 747 m über Adria.

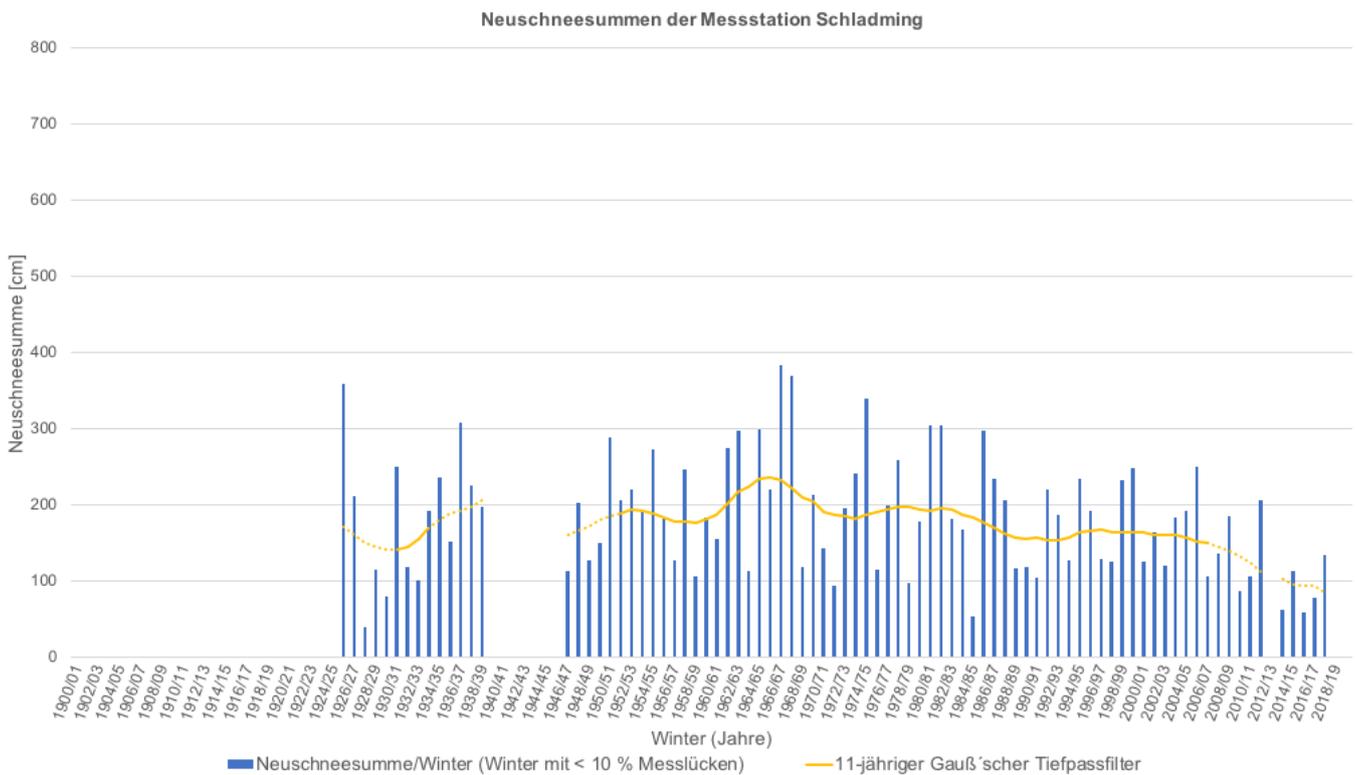


Abb. 20) Neuschneehöhen der Messstation Schladming 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

Die Neuschneedaten der Messstation Schladming weisen vor dem Winter 1925/26 keine Werte und während der Kriegsjahre des 2. Weltkrieges sowie im Winter 2012/13 Messlücken auf.

Die maximale zwischen den Wintern 1901/02 und 2017/18 gemessene Neuschneesumme wurde hier mit 384 cm im Winter 1966/67 aufgenommen. Auch die zweithöchste gemessene Neuschneesumme an dieser Messstation fällt in den gleichen Zeitraum (Winter 1967/68) was das Maximum der tiefpassgefilterten Daten an dieser Stelle erklärt. Nach diesem Maximum waren die tiefpassgefilterten Neuschneesummen der Messstation Schladming beinahe durchgehend im Sinken begriffen wobei dieser Trend vor allem seit der Mitte der 2000er Jahre deutlicher zu werden scheint. Dabei muss hier aber berücksichtigt werden, dass es für einen relativ langen Zeitraum in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts nur sehr wenige brauchbare Messwerte dieser Station gibt. Die niedrigste Neuschneesumme wurde an dieser Messstation im Winter 1927/28 mit 39 cm gemessen.

Tendenziell fällt bei den tiefpassgefilterten Daten dieser Messstation auf, dass eine zyklusartigere Bewegung der tiefpassgefilterten Daten hier wenig ausgeprägt bis kaum vorhanden ist.

Messstation Liezen

Die Messstation Liezen befindet sich in der steirischen Klimaregion Zentrales Ennstal bis Admont mit Seitentälern, welche den Tälern nördlich des Alpenhauptkammes zugehörig ist (vgl. GIS-Steiermark 2020, a & b). Der Bereich befindet sich landschaftsräumlich im Mittleren Ennstal, welches hier vom Toten Gebirge im Norden und den Wölzer Tauern im Süden eingefasst wird (vgl. ebd.). Die Messstation befindet sich auf 670 m über Adria und wurde seit 1901 nie versetzt.

Die Neuschneedaten der Messstation Liezen weisen während der Kriegsjahre des 2. Weltkrieges keine Messdaten auf, sind aber ansonsten über den gesamten Untersuchungszeitraum lückenlos dokumentiert.

Die maximale zwischen den Wintern 1901/02 und 2017/18 gemessene Neuschneesumme wurde hier mit bemerkenswerten 727 cm im Winter 1906/07 aufgenommen. Die zweithöchste gemessene Neuschneesumme an dieser Messstation liegt mit 481 cm im Winter 1980/81 deutlich darunter.

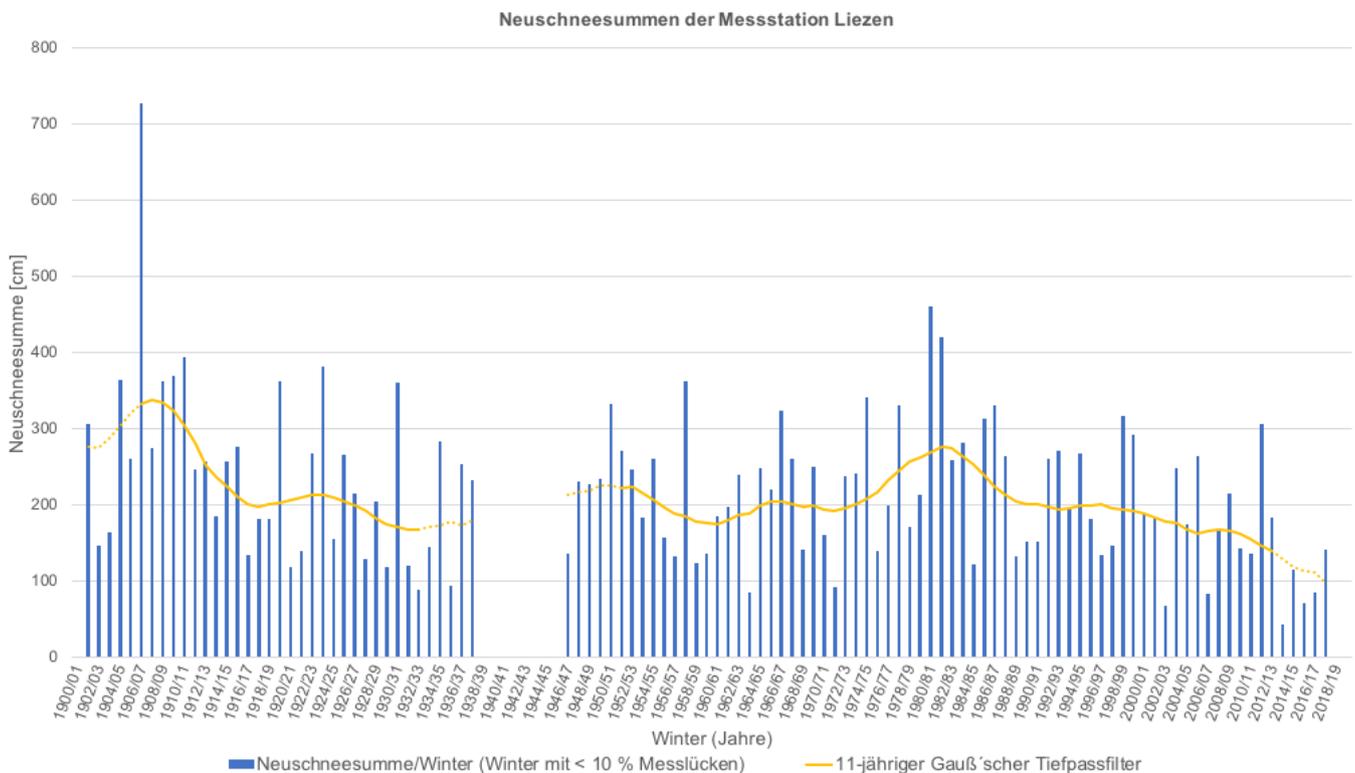


Abb. 21) Neuschneehöhen der Messstation Liezen 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter
(Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

Rund um das Maximum im Jahr 1906/07 verzeichnete die Messstation Liezen auch weitere relativ neuschneereiche Winter, was das klare Maximum der tiefpassgefilterten Daten an dieser Stelle erklärt. Ein zweites, wenn auch deutlich niedrigeres Maximum der tiefpassgefilterten Neuschneesummen verzeichnet diese Messstation in der ersten Hälfte der 1980er Jahre. Dieses Maximum deckt sich, anders als der nachfolgende Rückgang der tiefpassgefilterten Neuschneesummen nicht mit der zuvor beschriebenen und benachbarten Messstation Schladming. Der Trend zu einem spürbaren Rückgang der Neuschneesummen nach der Mitte der 2000er Jahre erscheint hier ähnlich deutlich wie bei der Messstation Schladming. Die niedrigste Neuschneesumme wurde an dieser Messstation im Winter 1913/14 mit 44 cm gemessen.

Tendenziell fällt bei den tiefpassgefilterten Daten dieser Messstation auf, dass eine zyklusartigere Bewegung der tiefpassgefilterten Daten hier nicht sehr stark ausgeprägt aber vor allem im Zeitraum zwischen den 1910er und den 1980er Jahren doch erkennbar ist.

Messtation Gollrad-Wegscheid

Die Messtation Gollrad-Wegscheid befindet sich in der steirischen Klimaregion Mariazeller Becken, welche den Tälern nördlich des Alpenhauptkammes zugehörig ist und sich am Übergang zu den Klimaregionen Veitscher Alpe, Hochschwab und Aflenzener Becken mit Hochschwabseitentälern befindet (vgl. GIS-Steiermark 2020, a & b). Der Bereich befindet sich landschaftsräumlich am Übergang zwischen der Hochschwabgruppe und den Mürzsteger Alpen (vgl. ebd.). Die Messtation befindet sich auf 850 m über Adria und wurde im Jahr 2000 von zuvor 920 m über Adria an die jetzige Stelle versetzt.

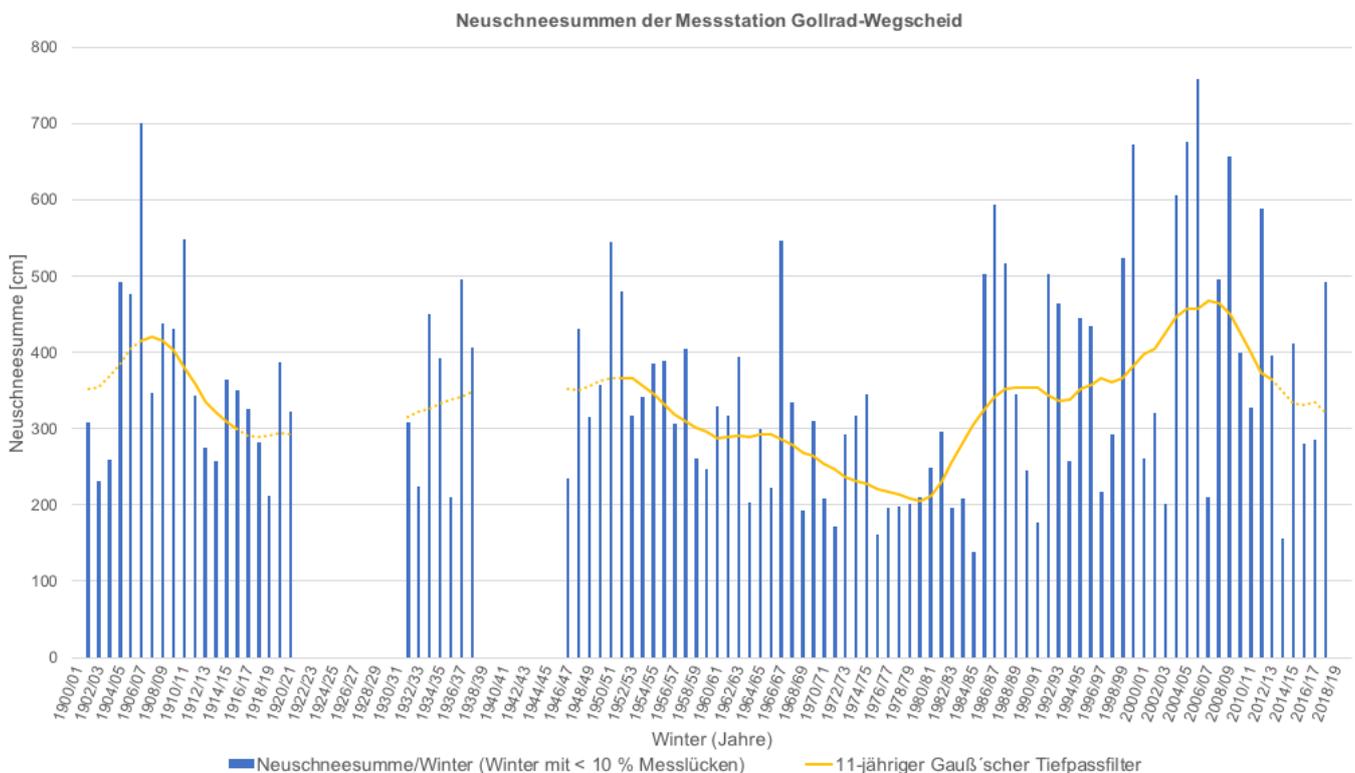


Abb. 22) Neuschneehöhen der Messtation Gollrad-Wegscheid 1901 bis 2018 inkl. 11-jähriger Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

Die Neuschneedaten der Messtation Gollrad-Wegscheid weisen während des 2. Weltkrieges sowie ungefähr im gesamten Zeitraum der 1920er Jahre Messlücken auf und sind ansonsten lückenlos dokumentiert.

Die maximal zwischen den Wintern 1901/02 und 2017/18 gemessene Neuschneesumme wurde hier mit außergewöhnlichen 759 cm im Winter 2005/06 verzeichnet. Weitere Neuschneesummen von über 600 cm wurden ebenfalls im selben Jahrzehnt

verzeichnet, was auch bewirkt, dass das deutliche Maximum der tiefpassgefilterten Neuschneedaten dieser Messstation ebenfalls in dieses Jahrzehnt fällt.

Das Maximum sowohl der rohen Neuschneesummen als auch der tiefpassgefilterten Daten dieser Messstation fällt damit in einen Zeitraum, in dem an den meisten anderen Messstationen deutliche Rückgänge dieser beiden Kenngrößen zu verzeichnen sind. Auffallend ist bei den Daten der Messstation Gollrad-Wegscheid auch die Höhe dieses Maximums gegenüber der, des restlichen Untersuchungszeitraumes. Lediglich ein Maximum in den 1900er Jahren kommt in Bezug auf den Verlauf der tiefpassgefilterten Daten annähernd an das Maximum der 2000er Jahre heran. Die Senkung des Wertes der tiefpassgefilterten Daten nach dem Ende des ersten Jahrzehnts des neuen Jahrtausends mutet gravierend an, stellt jedoch lediglich einen Rückgang auf das Niveau der Neuschneesummen dieser Messstation vor den 2000er Jahren dar und liegt damit noch deutlich höher als das Minimum am Übergang der 1970er in die 1980er Jahre. Trotzdem ist auch dieser Rückgang hervorzuheben und stellt vor allem durch die Steilheit dieser abfallenden Kurve eine Besonderheit dar. Die Entwicklungen der Neuschneesummen an dieser Messstation zum Ende der 1990er Jahre täuschen beinahe darüber hinweg, dass das Niveau der Neuschneesummen hier in den vorhergehenden Jahrzehnten spürbar niedriger lag.

Die niedrigste Neuschneesumme innerhalb des Untersuchungszeitraumes wurde an dieser Messstation mit einem vergleichsweise immer noch relativ hohen Wert von 138 cm im Winter 1984/85 gemessen und das Minimum der Tiefpassgefilterten Daten fällt wie bereits erwähnt in den Zeitraum des Überganges von den 1970er in die 1980er Jahre.

Bezüglich wiederkehrender Zyklen der tiefpassgefilterten Daten dieser Messstation lassen bei dieser Messstation kaum wiederkehrende Muster erkennen, da das langgezogene und teils abgestufte Maximum zum Ende des 20. Jahrhunderts sowie das vorhergehende deutliche Minimum eine diesbezügliche Interpretation kaum zulassen.

6.2. Untersuchung regionaler Trends

Neben der Untersuchung der Entwicklungen einzelner Messstationen ist es auch ein erklärtes Ziel dieser Arbeit aus den vorhandenen Daten regionale Trends abzuleiten und zu untersuchen. Die Gruppierung der Messstationen erfolgte dabei nichtmehr nur anhand der Klimaregionen gem. Land Steiermark (2020) sondern vor allem anhand einer Korrelationsanalyse. Die regionale Gruppierung der Daten erfolgte dabei hauptsächlich anhand der errechneten Korrelationskoeffizienten, welche die Datensätzen der einzelnen Stationen zueinander aufwiesen, sowie anhand räumlicher Aspekte. Die angesprochenen „räumlichen Aspekte“ bei der Gruppierung der Messstationen für die Analyse regionaler Trends bedeuten vor allem, dass beispielsweise Stationen die räumlich relativ weit entfernt von einander liegen und Trotzdem relativ stark miteinander korrelieren nicht in eine regionale Gruppe zusammengefasst wurden.

6.2.1. Korrelationsanalyse

Zur Untersuchung von Zusammenhängen zwischen den Datensätzen der unterschiedlichen Messstationen wurde eine Korrelationsanalyse durchgeführt. Dabei wurden die Datensätze aller Messstationen (Neuschneesumme je Winter) nach dem Winter 1946/47 mit der Software Microsoft Excel (Funktion Korrelation) auf Ihre gegenseitige Korrelation untersucht. Die Begrenzung der Zeitspanne, welche zur Korrelationsanalyse herangezogen wurde (nach dem Winter 1946/47), erfolgte aufgrund der vorhergehenden Messlücken beim überwiegenden Teil der Messstationen und um ebendiese Lücken nicht in die Korrelationsanalyse miteinzubeziehen. Im Zuge dessen ergab sich ein Korrelationskoeffizient jeder einzelnen Station im Verhältnis zu jeder anderen Station, in Summe also 162 Korrelationskoeffizienten, welche in der nachfolgenden Abbildung dargestellt sind.

In einem nächsten Schritt erfolgte die Kategorisierung der Korrelationskoeffizienten hinsichtlich der Signifikanz der Korrelation von Messdatenreihen unterschiedlicher Messstationen. Gemäß Cohen (1988) können Daten, welche einen Korrelationskoeffizienten von $> 0,5$ aufweisen, als stark positiv korrelierende Datensätze angenommen werden (vgl. Janczyk & Pfister 2013, 154). Die gegenständliche Kategorisierung der Korrelationskoeffizienten baut auf dieser Annahme auf. Zur Differenzierung und

besseren Aussagekraft der Korrelationswerte wurden diese jedoch nochmals in stark und sehr stark korrelierende Zusammenhänge zwischen Messstationen unterschieden. Die Werte der stark korrelierenden Messdatensätze (Korrelationskoeffizient $> 0,5$ & $< 0,75$) sind dabei in der nachfolgenden Abbildung als gelb hinterlegte und die sehr stark korrelierenden Messdatensätze (Korrelationskoeffizient $\geq 0,75$ & < 1) als grün hinterlegte Zellen markiert.

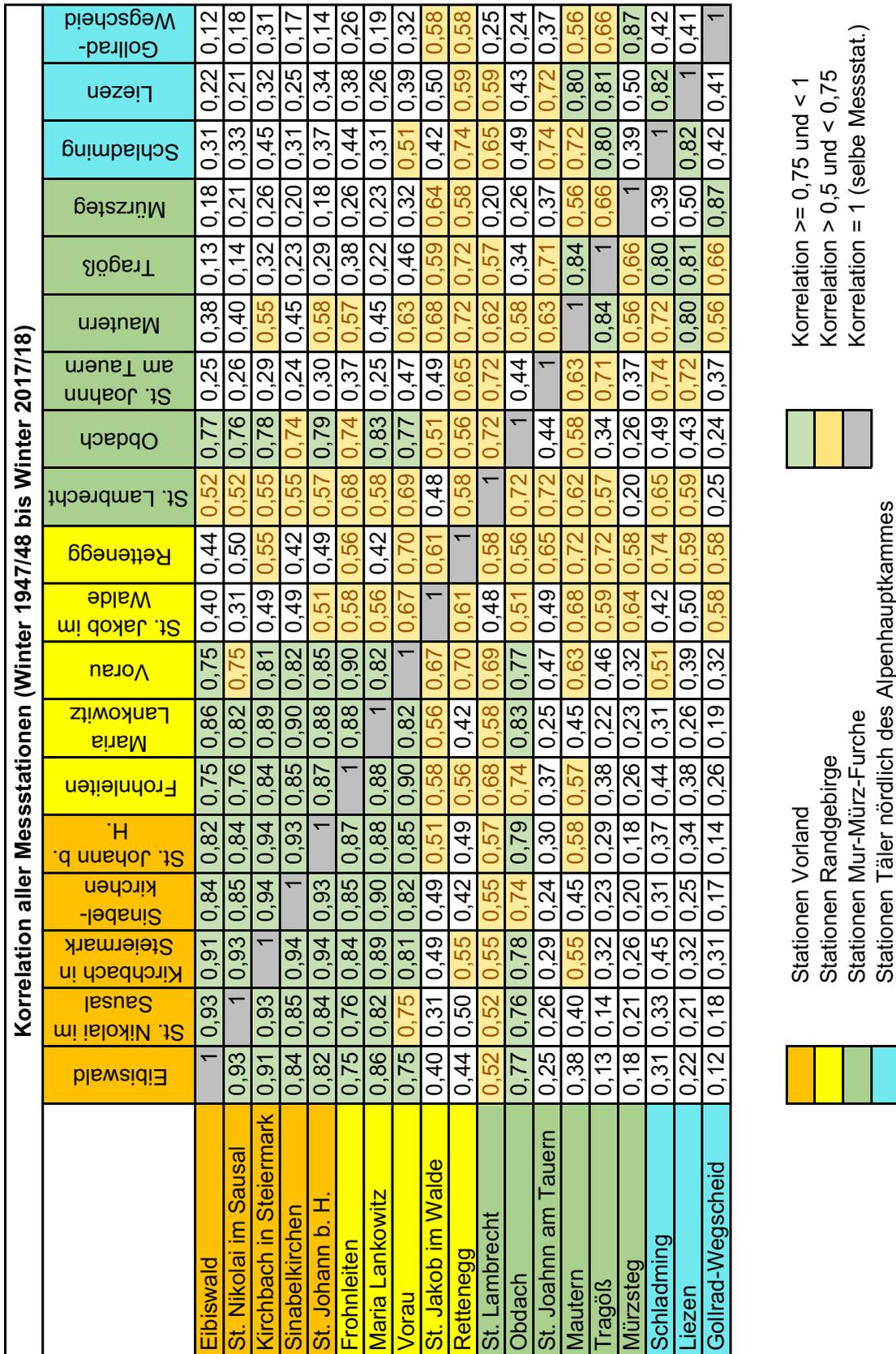


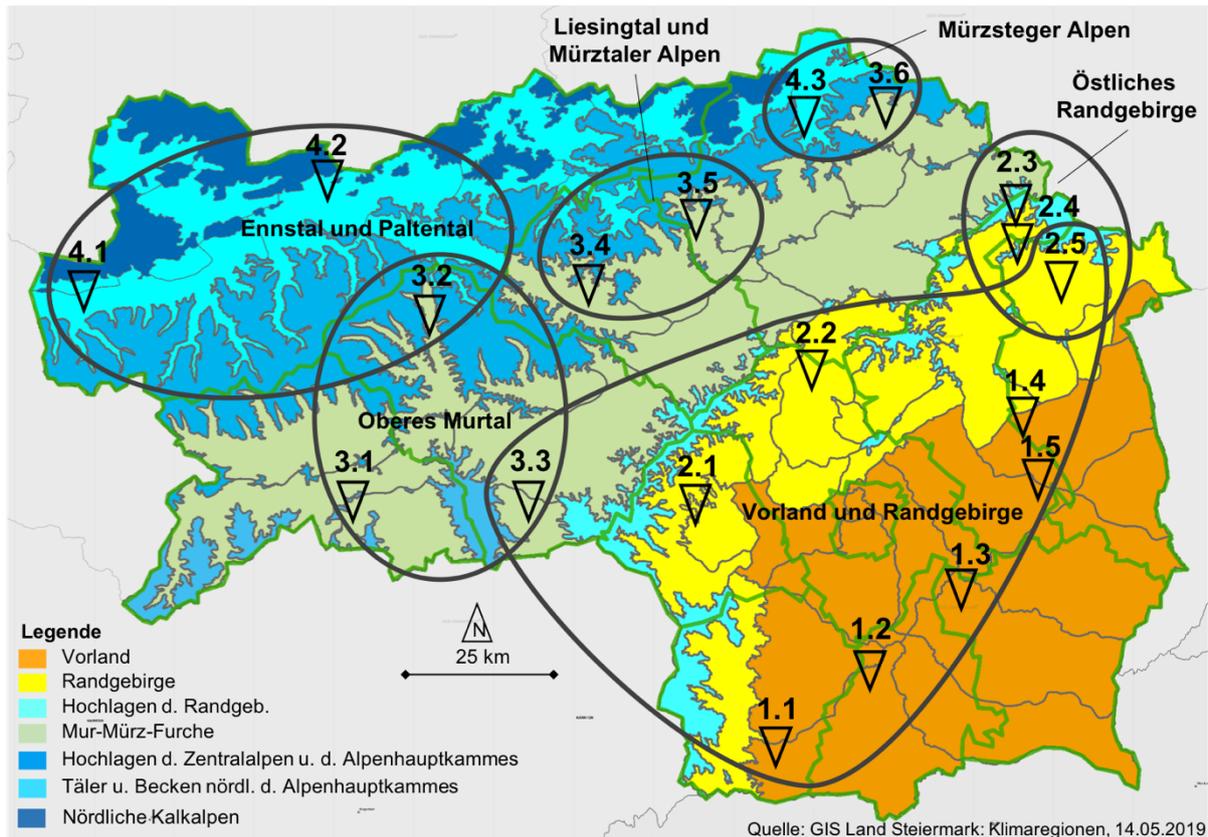
Abb. 23) Korrelationen aller Messstationen (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

6.2.2. Gruppierung korrelierender Messstationen

Für die Messstationsgruppen wurden, zur besseren räumlichen Verortung Namen mit geographischem Bezug gewählt. Die nun angeführten Messstationsgruppennamen referenzieren auf die Daten der folgenden Messstationen:

- Vorland und Randgebirge:
 - 1.1 Eibiswald
 - 1.2 St. Nikolai im Sausal
 - 1.3 Kirchbach in Steiermark
 - 1.4 St. Johann bei Herberstein
 - 1.5 Sinabelkirchen
 - 2.1 Maria Lankowitz
 - 2.2 Frohnleiten
 - 2.5 Voralpe
 - 3.3 Obdach
- Östliches Randgebirge:
 - 2.3 Rettenegg
 - 2.4 St. Jakob im Walde
 - 2.5 Voralpe
- Oberes Murtal:
 - 3.1 St. Lambrecht
 - 3.2 St. Johann am Tauern
 - 3.3 Obdach
- Liesingtal und Mürztaler Alpen:
 - 3.4 Mautern
 - 3.5 Tragöß
- Ennstal und Paltental:
 - 3.2 St. Johann am Tauern
 - 4.1 Schladming
 - 4.2 Liezen
- Mürzsteiger Alpen:
 - 3.6 Mürzsteg
 - 4.3 Gollrad/Wegscheid

Zur Veranschaulichung des räumlichen Zusammenhanges dieser Messstationsgruppen sowie der Überschneidungen dieser regionalen Abgrenzungen, sind diese in der nachfolgenden Abbildung nochmals samt der räumlichen Lage der einzelnen Messstationen sowie den Klimaregionen gem. Land Steiermark (2020) dargestellt.



Messstationen

- | | | | |
|-----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| 1.1 Eibiswald | 2.1 Maria Lankowitz | 3.1 St. Lambrecht | 4.1 Schladming |
| 1.2 St. Nikolai i. S. | 2.2 Frohnleiten | 3.2 St. Johann a.T. | 4.2 Liezen |
| 1.3 Kirchbach i. St. | 2.3 Rettenegg | 3.3 Obdach | 4.3 Gollrad-Wesch. |
| 1.4 St. Johann b. H. | 2.4 St. Jakob i. W. | 3.4 Mautern | |
| 1.5 Sinabelkirchen | 2.5 Voralpe | 3.5 Tragöß | |
| | | 3.6 Mürzsteg | |

Abb. 24) Messstationsgruppen und Klimaregionen der Steiermark (Quelle: GIS-Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

6.2.3. Auswertung der Messstationsgruppen

Auf Basis der vorhergehenden Korrelationsanalyse und der darauf folgenden Gruppierung der Messstationen zum Zwecke der Untersuchung regionaler Trends der Neuschneesummen und derer zeitlicher Entwicklung in den letzten rund 120 Jahren in der Steiermark erfolgte eine gruppenweise Mittelung und Auswertung dieser Daten. Dabei wurden die Winterneuschneesummen jeder Station der jeweiligen korrelierenden Gruppe gegenübergestellt und deren Mittelwert berechnet. Hier erfolgte keine statistische Anpassung der Werte der einzelnen Messstationen da das Hauptaugenmerk dieser Untersuchung vor allem auf den Trends der Entwicklung der Neuschneesummen liegen sollte und die Korrelation innerhalb dieser Messstationsgruppen bereits

nachgewiesen wurde bzw. wurden die Gruppen überhaupt erst auf Basis der Korrelationsanalyse zusammengesetzt.

Als problematisch erwiesen sich Mittelwerte jener Jahre, in welchen eine oder mehrere Stationen einer Messstationsgruppe Lücken aufwiesen. Dies vor allem in Hinblick darauf, dass dadurch bei Nichtberücksichtigung dieser Lücken sehr starke Ausreißer der Neuschneesummen ausgegeben werden könnten. Beispielsweise wenn in einem Winter nur Messstationen einer Messstationsgruppe mit tendenziell hohen Neuschneesummen Werte liefern und andere Messstationen Lücken aufweisen, würde der Mittelwert dieses Winters überproportional hoch ausgegeben werden.

Für die Lösung dieses Problems kamen zwei Möglichkeiten in Betracht:

- a) Alle Winter in denen eine oder mehrere Messstationen Lücken aufweisen werden aus der Analyse ausgeschlossen.

Dieser Ansatz wurde aufgrund der dadurch entstehenden sehr lückenhaften Auswertung der gesamten Messstationsgruppe nicht verfolgt.

- b) Für jene Messstationen, welche Lücken aufweisen werden basierend auf den Messwerten der anderen Messstationen der jeweiligen Messstationsgruppe sowie auf dem langjährigen Mittelwert der lückenhaften Messstation selbst, fiktive Messwerte errechnet, welche den Mittelwert der gesamten Messstationsgruppe für diesen Winter dann nicht aufgrund der vorhandenen Lücke überproportional ausbrechen lässt.

Diese Variante wurde aufgrund der dadurch viel lückenärmeren Analyse der Messstationsgruppen favorisiert und angewendet.

Dabei wurden in einem ersten Schritt die langjährigen Mittelwerte aller Messstationen der jeweiligen Messstationsgruppe ermittelt. Danach erfolgte eine Berechnung darüber wie sehr die Neuschneesumme des jeweiligen Jahres vom langjährigen Mittelwert dieser Messstation abweicht. Die sich daraus ergebenden Faktoren jeder Messstation der Messstationsgruppe für den jeweiligen Winter (nur jene, welche in diesem Winter keine Lücke aufweisen) wurden dann in

einem weiteren Schritt arithmetisch gemittelt. Aus diesem, gemittelten Faktor multipliziert mit dem langjährigen Mittelwert der lückenhaften Messstation ergab sich ein errechneter Wert für die Winterneuschneesumme, welcher dann weiterverwendet werden konnte.

6.2.4. Analyse der Messstationsgruppen

Um aus den gemittelten Absolutwerten der Messstationsgruppen etwaige Trends ablesen zu können, wurde analog zur Analyse der Einzelmessstationen auch ein Gauß'scher Tiefpassfilter angewandt. Neben einem 11-jährigen Gauß'schen Tiefpassfilter wurde bei der Zeitreihenanalyse der Messstationsgruppen zusätzlich ein 31-jähriger Gauß'scher Tiefpassfilter angewendet, um noch längerfristige Trends besser erkennen zu können. In den nachfolgenden Analysediagrammen der Messstationsgruppen ist zum Vergleich darüber hinaus auch noch der lineare Trend im Verlauf des gesamten Untersuchungszeitraumes dargestellt. Da die Aussagekraft der tiefpassgefilterten Daten im Bereich von Datenlücken bzw. am Anfang sowie am Ende des Untersuchungszeitraumes geringer ist, sind die entsprechenden Bereiche dieser Kurven strichliert dargestellt. Beim 11-jährigen Gauß'schen Tiefpassfilter entspricht dieser Bereich 5 Jahre bzw. Winter vor sowie nach einer Messlücke, beim 31-jährigen Filter sind dies 15 Jahre bzw. Winter.

Gruppe Vorland und Randgebirge

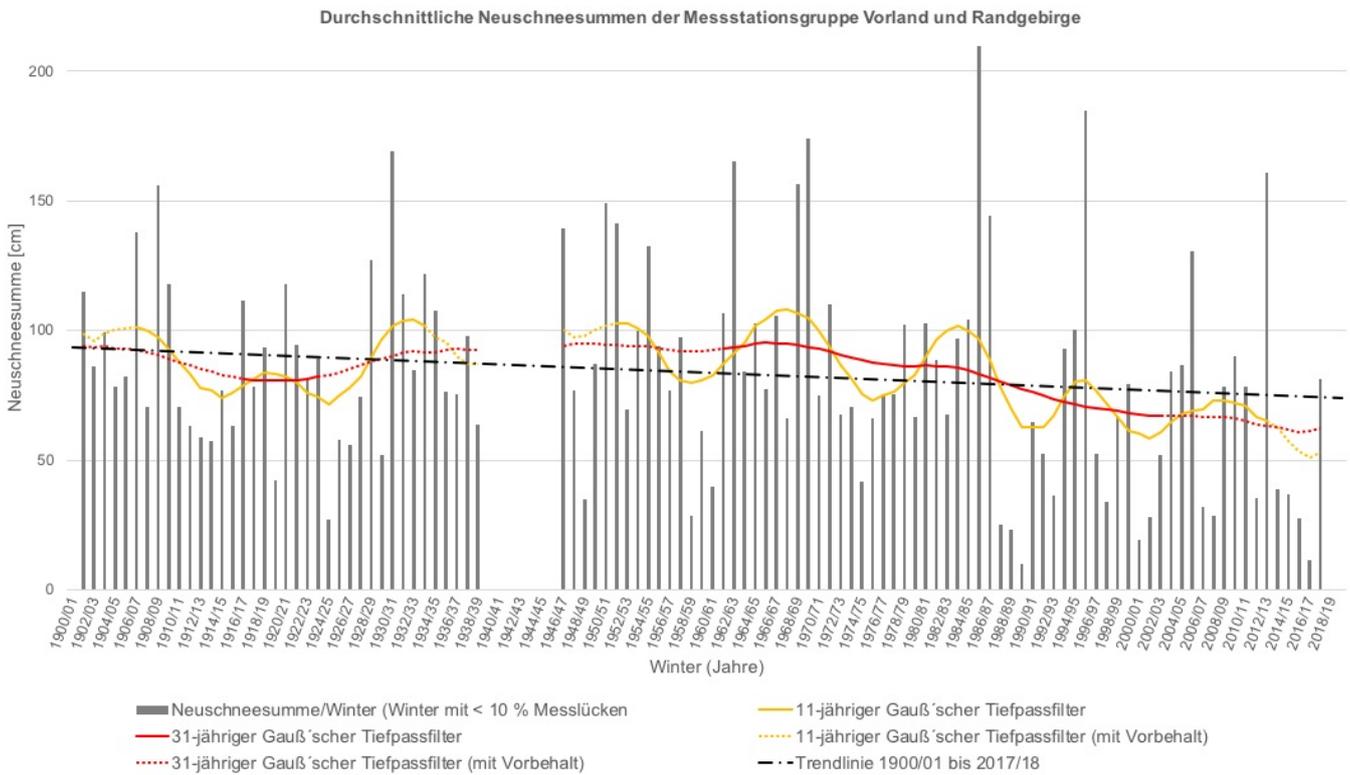


Abb. 25) Neuschneehöhen der Messstationsgruppe Vorland und Randgebirge 1901 bis 2018 inkl. 11- und 31-jährigem Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

Die Messstationsgruppe Vorland und Randgebirge repräsentiert mit den Messstationen Eibiswald, St. Nikolai im Sausal, Kirchbach in Steiermark, St. Johann bei Herberstein, Sinabelkirchen, Maria Lankowitz, Frohnleiten, Vorau und Obdach die größte Anzahl an Messstationen. Wie auch bei vielen Einzelmessstationen weisen die Jahre rund um den 2. Weltkrieg keine Messdaten auf und bilden damit die einzige, aber rund ein Jahrzehnt währende Messlücke dieser Messstationsgruppe. Die Korrelationskoeffizienten innerhalb dieser Messstationsgruppe können als sehr hoch und die Ergebnisse ihrer Auswertung damit als relativ aussagekräftig für diese Region bezeichnet werden. Die maximale und minimale Neuschneesumme (rd. 210 cm im Winter 1985/86 und rd. 10 cm im Winter 1989/90) dieser Messstationsgruppe liegen bemerkenswert nahe beieinander und sind zeitlich nur durch drei Winter getrennt. Der langjährige Mittelwert der Neuschneesummen pro Winter dieser Messstationsgruppe liegt bei rd. 84 cm.

Der Verlauf der gefilterten Daten (11-jährig) weist eine auffällige Kontinuität bezüglich wiederkehrender Zyklen auf. Zwischen den Hochpunkten dieser Kurve liegen in beinahe allen dargestellten Fällen je rd. 15 Jahre. Lediglich für den Verlauf dieser Kurve während und rund um den 2. Weltkrieg sind die Verläufe nicht nachvollziehbar. In der spätesten Periode dieser Kurve lässt sich darüber hinaus eine Streckung der Periode beobachten.

Die Kurve der gefilterten Daten (31-jährig) stellt hingegen einen noch längerfristigen Trendverlauf dar und filtert die zuvor beschriebenen Hoch- und Tiefpunkte aus der Funktion. Dieser langfristige Trend zeigt für diese Messstationsgruppe einen relativen Tiefpunkt der Neuschneesummen am Übergang der 1910er zu den 1920er Jahren und wird von einem Anstieg mit darauffolgender Stagnationsphase bis in die 1960er Jahre gefolgt. Auf diese Stagnationsphase folgt ein stetiger und dabei relativ konstanter Abwärtstrend der Neuschneesummen bis in die jüngste Vergangenheit. Über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg zeigt sich ein doch deutlicher, generell negativer Trend der Summe der Neuschneehöhen.

Gruppe Östliches Randgebirge

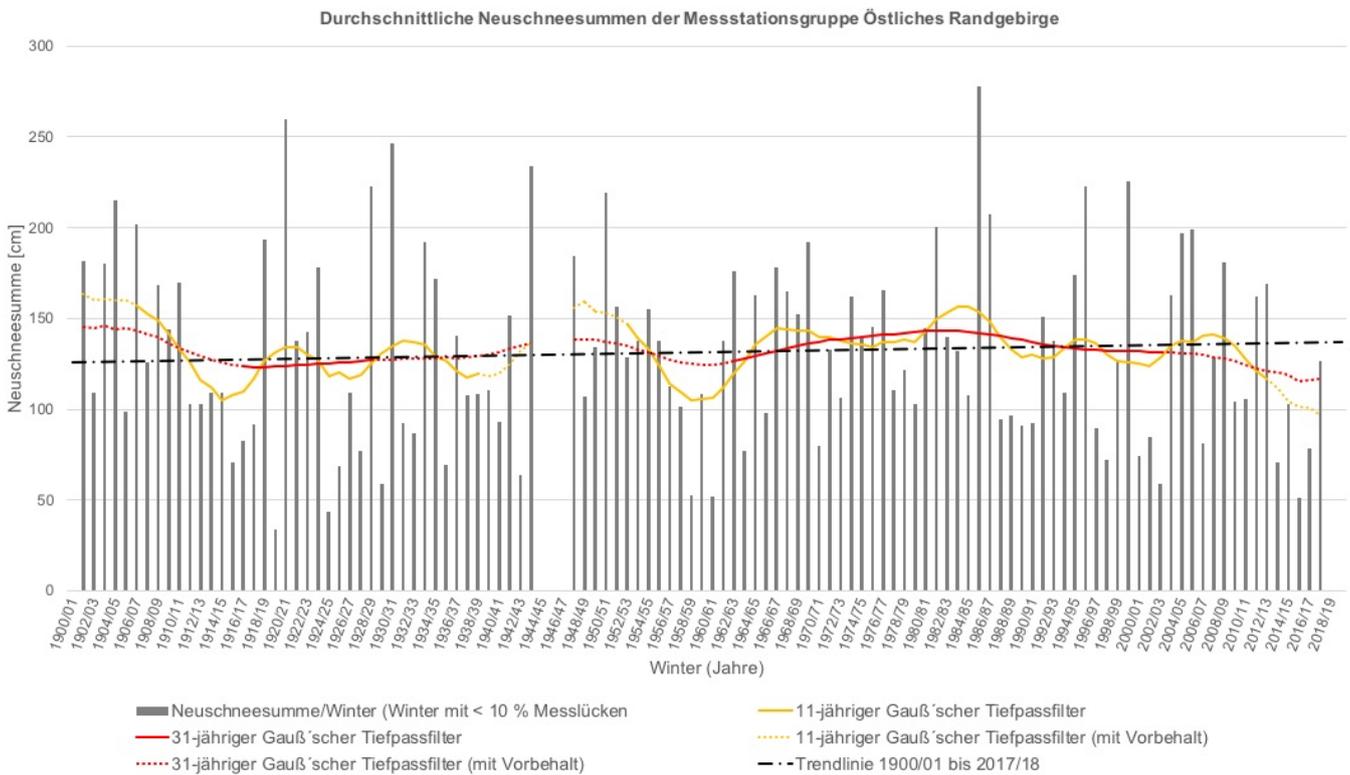


Abb. 26) Neuschneehöhen der Messstationsgruppe Östliches Randgebirge 1901 bis 2018 inkl. 11- und 31-jährigem Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Stmk., bearbeitet von Illgoutz P.)

Mit den Daten der Messstationen Rettenegg, St. Jakob im Walde und Vorau repräsentiert die Messstationsgruppe Östliches Randgebirge deutlich weniger Messstationen als die vorhergehend beschriebene Gruppe. Trotzdem sind die Korrelationskoeffizienten innerhalb dieser Gruppe spürbar niedriger, was trotz der räumlichen Nähe und des geringen Unterschiedes dieser Messstationen in Bezug auf die Seehöhe auf kleinräumig stärker variierende Neuschneeverhältnisse hindeutet.

Das Maximum der Summe der Neuschneehöhen dieser Messstationsgruppe fällt mit 278 cm im Winter 1985/86 in das selbe Jahr wie bei der vorhergehend beschriebenen und teilweise überschneidenden Messstationsgruppe. Das Minimum hingegen liegt mit rd. 34 cm im Winter 1919/20 zeitlich bereits relativ weit zurück. Der langjährige Mittelwert der Neuschneesummen pro Winter dieser Messstationsgruppe liegt mit rd. 133 cm jedoch deutlich höher als bei der Messstationsgruppe Vorland und Randgebirge.

Die Kurve der gefilterten Daten (11-jährig) zeigt sich bei dieser Messstationsgruppe deutlich inhomogener als bei der vorhergehend beschriebenen. Eine gleichmäßiger Sinusverlauf lässt sich hier kaum erkennen, die Periodendauer zwischen den relativ inhomogenen Hochpunkten variiert dabei zwischen 10 und 20 Jahren. Der Spitze-Tal-Wert zwischen den Hoch- und Tiefpunkten variiert dabei im Laufe des Untersuchungszeitraumes deutlich.

Die Darstellung der 31-jährig gefilterten Daten zeigen hingegen einen relativ konstanten Verlauf (Minimum von rd. 115 cm im Winter 2015/16 und Maximum von rd. 146 cm im Winter 1903/04) der sich sogar in einem leicht positiven Trend der Summe der Neuschneehöhen über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg äußert. Nach einem relativen Maximum in der Mitte der 1980er Jahre (rd. 143 cm) lässt sich beim Verlauf dieser gefilterten Daten jedoch ein spürbarer und kontinuierlicher Abwärtstrend bis in die jüngste Vergangenheit beobachten.

Gruppe Oberes Murtal

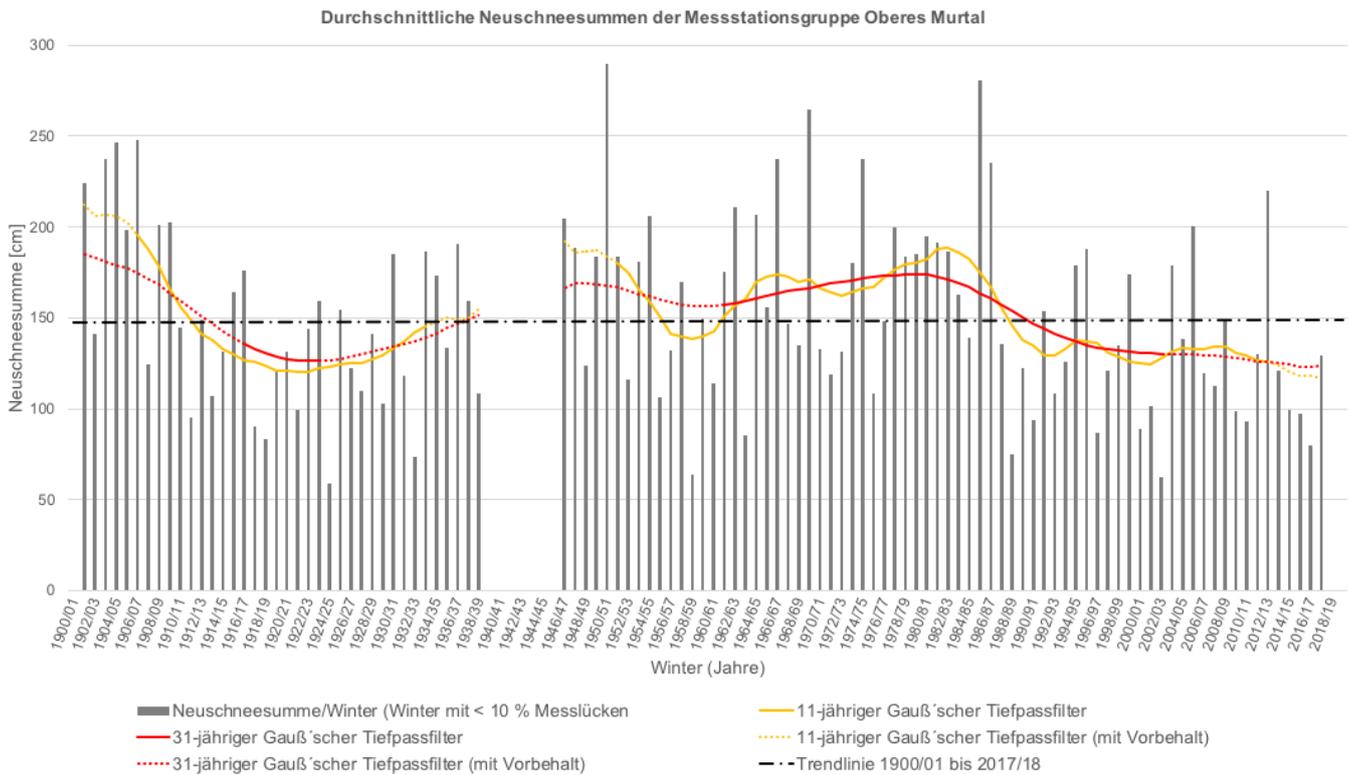


Abb. 27) Neuschneehöhen der Messstationsgruppe Oberes Murtal 1901 bis 2018 inkl. 11- und 31-jährigem Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

Auch die Messstationsgruppe Oberes Murtal repräsentiert mit den Messdaten der Messstationen St. Lambrecht, St. Johann am Tauern und Obdach, wie die Mehrzahl der Messstationsgruppen, drei Messstationen. Zwei dieser drei Messstationen weisen dabei Überschneidungen mit anderen Messstationsgruppen auf. Die Korrelationskoeffizienten innerhalb dieser Gruppe können mit durchgängig 0,72 als durchaus relativ hoch bezeichnet werden, was die Aussagekräftigkeit dieser kumulierten Analyse bestärkt.

Das Maximum der Summe der Neuschneehöhen dieser Messstationsgruppe fällt mit 290 cm im Winter 1950/51 in ein Jahr und eine Periode, welche bei allen anderen Messstationsgruppe als relativ unauffällig bezeichnet werden kann. Das Minimum mit rd. 59 cm im Winter 1924/25 lässt sich zeitlich auch bei anderen Messstationsgruppen beobachten. Der langjährige Mittelwert der Neuschneesummen pro Winter dieser Messstationsgruppe liegt mit rd. 151 cm deutlich höher als bei den Messstationsgruppe Vorland und Randgebirge sowie Östliches Randgebirge.

Betrachtet man die Kurve der gefilterten Daten (11-jährig) so zeigt sich auf den ersten Blick eine deutliche Inhomogenität der Periodendauer dieser Kurve. Während ihr Verlauf vor dem 2. Weltkrieg durch eine nur erahnbare Periodendauer von rd. 40 Jahren gekennzeichnet ist, verkürzt sich die Periodendauer – wenn auch sehr inhomogen – danach auf weniger als 20 Jahre. Generell können die Beträge der Spitze-Tal-Werte dieser Kurve als sehr inhomogen bezeichnet werden. Nach einem Hochpunkt zu Beginn der 1980er Jahre ändert sich der Verlauf dieser Kurve jedoch merklich bezüglich ihres generellen Charakters. Nach einem deutlichen Abfall dieser Kurve erfolgte eine relative Stagnation bis leichte, kontinuierliche Absenkung der Werte im Bereich dieses Niveaus.

Die Darstellung der 31-jährig gefilterten Daten unterscheidet sich vor dem 2. Weltkrieg kaum von jener der 11-jährig gefilterten Daten. Danach erreicht diese Kurve, zum Ende der 1970er Jahre ein relatives Maximum, welches jedoch, ebenfalls sehr ähnlich der 11-jährig gefilterten Daten, dann von einem deutlichen Absinken der Werte und einer nachfolgenden stagnierenden bzw. leicht aber kontinuierlich fallenden Entwicklung dieser Kurve gefolgt wird. Das Minimum der 31-jährig gefilterten Daten liegt am vorläufig gemessenen Ende dieser Entwicklung bei rd. 123 cm.

Über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg zeigt sich trotz der relativ stark schwankenden Entwicklungen der Neuschneesummen ein beinahe exakt stagnierender Trend im Laufe der letzten rund 120 Jahre.

Gruppe Liesingtal und Mürztaler Alpen

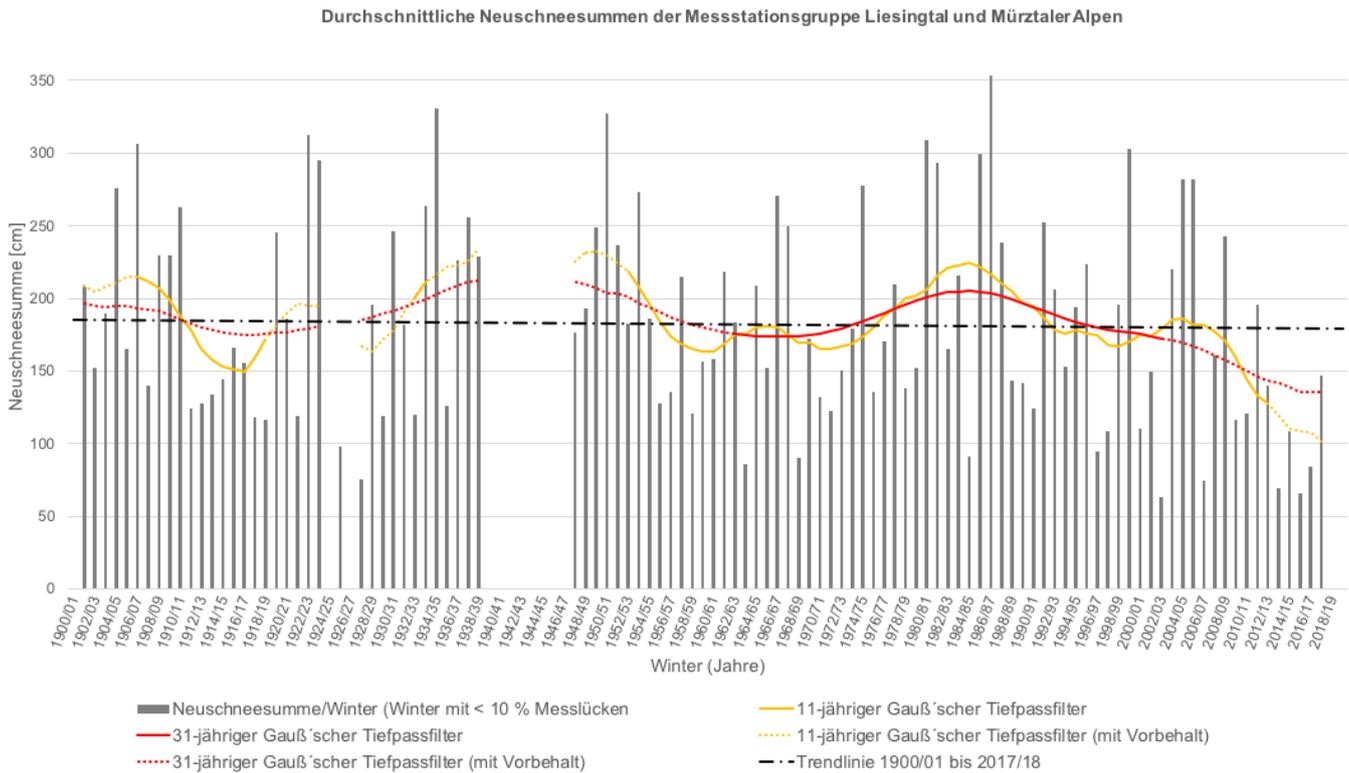


Abb. 28) Neuschneehöhen der Messstationsgruppe Liesingtal und Mürztaler Alpen 1901 bis 2018 inkl. 11- und 31-jährigem Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

Die Messstationsgruppe Liesingtal und Mürztaler Alpen repräsentiert mit den Messdaten der Messstationen Mautern und Tragöß lediglich zwei Messstationen. Diese Messstationsgruppe weist dabei keine Überschneidung mit anderen Messstationsgruppen auf. Der Korrelationskoeffizient der Daten dieser beiden Messstationen kann mit 0,84 als durchaus relativ hoch bezeichnet werden, was die Aussagekräftigkeit dieser kumulierten Analyse bestärkt.

Das Maximum der Summe der Neuschneehöhen dieser Messstationsgruppe fällt mit 353,5 cm im Winter 1986/87 in ein Jahr und eine Periode, welche auch bei einer Vielzahl anderer Messstationsgruppen durch relativ hohe Neuschneesummen auffällt. Das Minimum mit rd. 63,5 cm im Winter 2002/03 lässt sich zeitlich auch bei anderen Messstationsgruppen beobachten. Der langjährige Mittelwert der Neuschneesummen pro Winter dieser Messstationsgruppe liegt mit rd. 180 cm deutlich höher als bei allen vorhergehend beschriebenen Messstationsgruppen.

Betrachtet man die Kurve der gefilterten Daten (11-jährig) so lassen sich zwar ähnliche Periodendauern dieser Kurve von 15 bis 20 Jahren bis in die 1980er Jahre beobachten. Dies jedoch mit relativ stark variierenden Spitze-Tal Werten. Nach einem Hochpunkt zu Beginn der 1980er Jahre ändert sich der Verlauf dieser Kurve merklich bezüglich ihres generellen Charakters. Nach einer Stagnationsphase bis zur Mitte der 2010er Jahre, erfolgte ein deutlicher Abfall dieser Kurve, welcher bis in die nächste Vergangenheit andauerte.

Die Darstellung der 31-jährig gefilterten Daten bietet ein weitaus homogeneres Bild. Bis zu Ihrem Maximum zu Beginn der 1980er Jahre verläuft diese Kurve mit einer Periodendauer von rd. 40 Jahren sowie mit sehr ähnlichen Spitze-Tal-Werten. Nach diesem Maximum in den 1980er Jahren folgt die Kurve der 31-jährig gefilterten Daten dieser Messstation jedoch auch einem ähnlichen Trend wie jene der 11-jährig gefilterten Daten und geht in eine Phase einer kontinuierlichen Abnahme über.

Über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg zeigt sich trotz der relativ stark schwankenden Entwicklungen der Neuschneesummen, gleich wie bei der vorhergehend beschriebenen Messstationsgruppe, ein beinahe exakt stagnierender Trend im Laufe der letzten rund 120 Jahre.

Gruppe Ennstal und Paltental

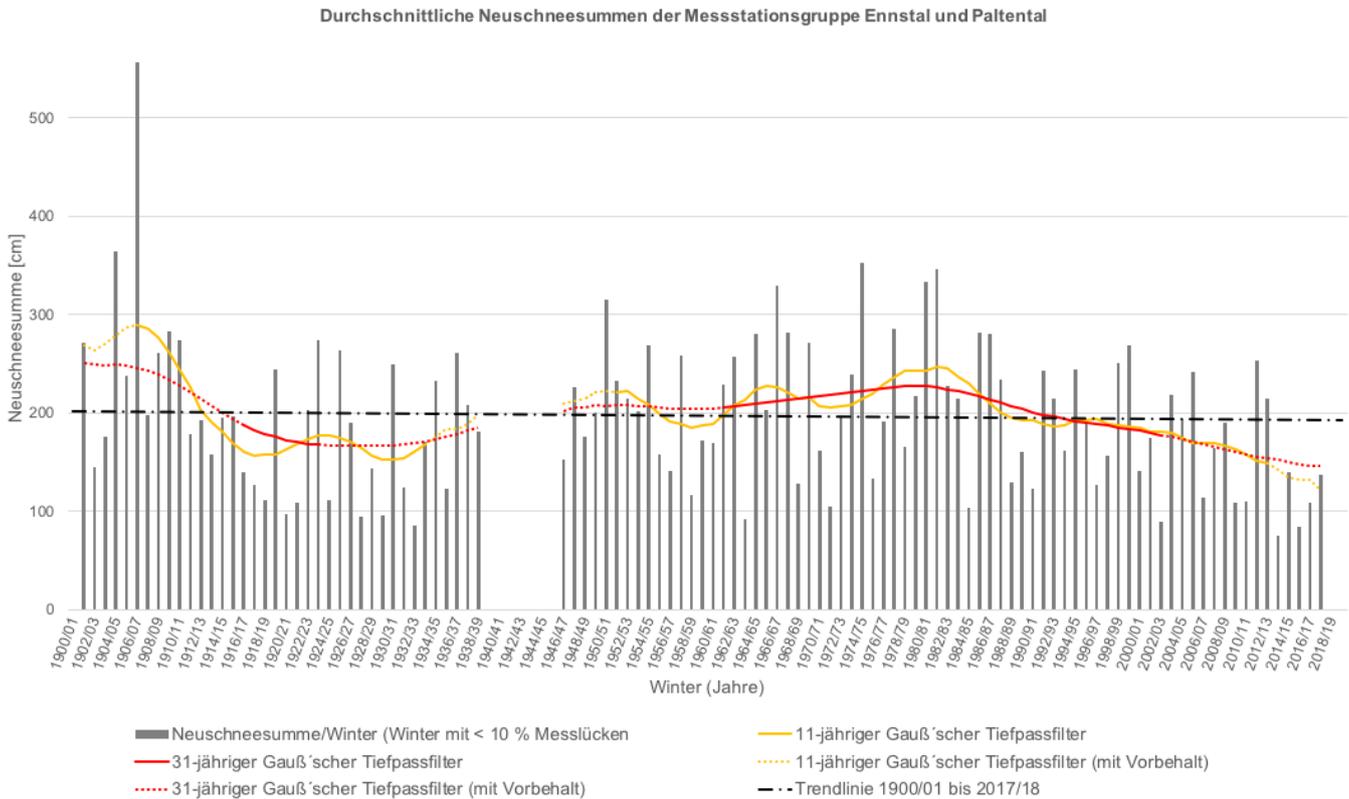


Abb. 29) Neuschneehöhen der Messstationsgruppe Ennstal und Paltental 1901 bis 2018 inkl. 11- und 31-jährigem Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

Mit den Daten der Messstationen Schladming, Liezen und St. Johann am Tauern repräsentiert die Messstationsgruppe Ennstal und Paltental wiederum drei Messstationen. Mit Korrelationskoeffizienten innerhalb dieser Gruppe von 0,72 bis 0,82 korrelieren die Daten dieser Messstationen relativ deutlich miteinander.

Das äußerst deutliche Maximum der Summe der Neuschneehöhen dieser Messstationsgruppe fällt mit 556 cm in den Winter 1906/07. Dieser Wert übertrifft den zweithöchsten Neuschneesummen Wert von 365 cm, welcher lediglich zwei Jahre davor gemessen wurde, sehr deutlich. Das Minimum liegt hingegen mit rd. 75 cm im Winter 2013/14 zeitlich erst relativ kurz zurück. Der langjährige Mittelwert der Neuschneesummen pro Winter dieser Messstationsgruppe liegt mit rd. 196 cm deutlich höher als bei allen vorhergehend beschriebenen Messstationsgruppen.

Die Kurve der gefilterten Daten (11-jährig) zeigt sich bei dieser Messstationsgruppe in weiten Teilen relativ homogen in Bezug auf die Periodendauer. Die ersten 20 sowie die letzten 30 Jahre des Untersuchungszeitraumes weichen von dieser

zwischenzeitlichen Homogenität jedoch deutlich ab. Die Periodendauer zwischen den Hochpunkten variiert dabei zwischen 10 und 20 Jahren. Der Spitze-Tal-Wert zwischen den Hoch- und Tiefpunkten ist dabei im Zeitraum zwischen ca. 1920 und 1990 relativ homogen. Nach einem relativen Höhepunkt in den 1980er Jahren fällt die Kurve der 11-jährig gefilterten Daten dieser Messstation kontinuierlich bis in die jüngste Vergangenheit deutlich ab. Durch die beiden höchsten an dieser Messstation gemessenen Neuschneesummen in der zweiten Hälfte der 1910er Jahre fällt auch das sehr deutliche Maximum der 11-jährig gefilterten Daten in diesen Zeitraum.

Die Darstellung der 31-jährig gefilterten Daten zeigen, mit Ausnahme des Maximums in den 1910er Jahren, einen relativ konstanten Verlauf (Minimum von rd. 146 cm im Winter 2017/18 und Maximum von rd. 251 cm im Winter 1901/02) der sich in einem stagnierenden Trend der Summe der Neuschneehöhen über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg äußert. Nach einem relativen Maximum zum Beginn der 1980er Jahre (rd. 228 cm) lässt sich beim Verlauf dieser gefilterten Daten jedoch ein spürbarer und kontinuierlicher Abwärtstrend bis in die jüngste Vergangenheit beobachten.

Gruppe Mürzsteiger Alpen

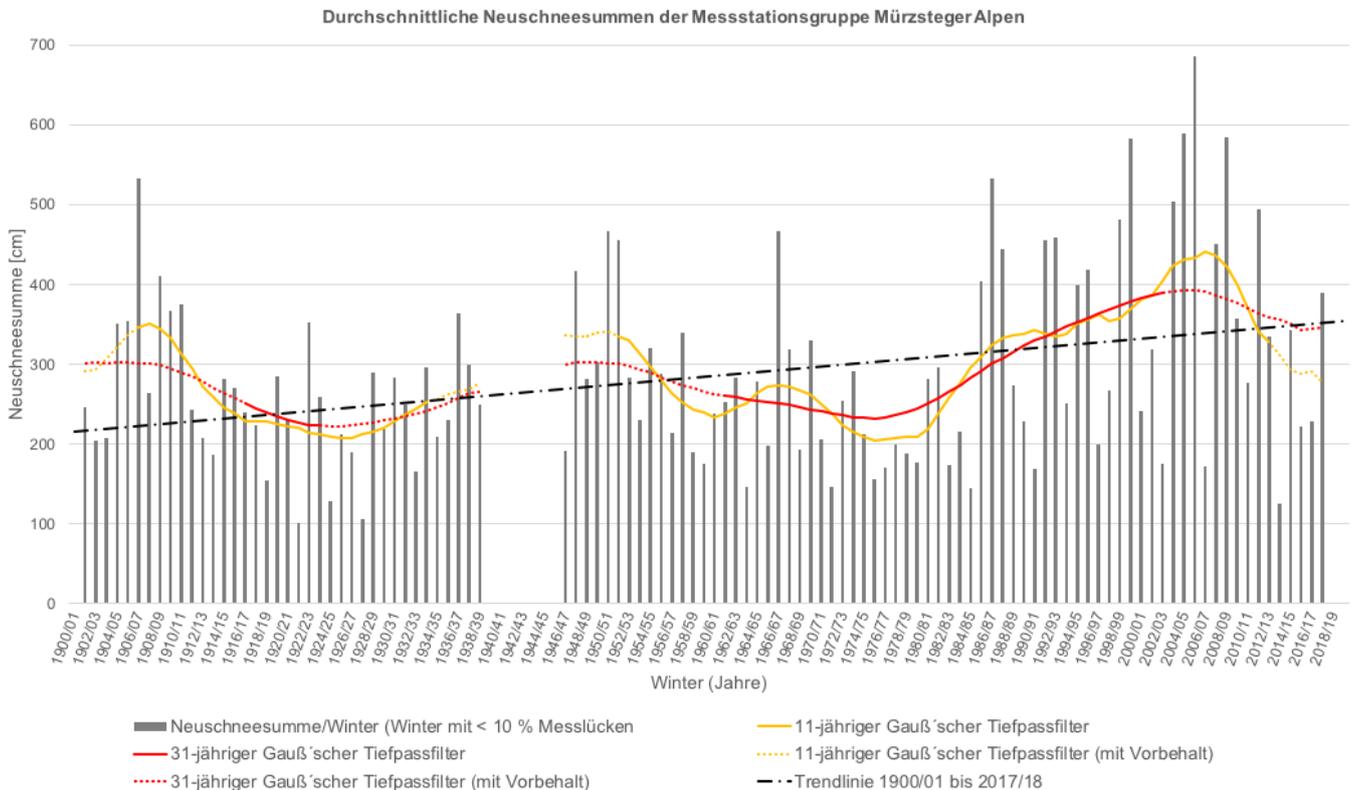


Abb. 30) Neuschneehöhen der Messstationsgruppe Mürzsteiger Alpen 1901 bis 2018 inkl. 11- und 31-jährigem Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

Die Messstationsgruppe Mürzsteiger Alpen repräsentiert mit den Messstationen Gollrad-Wegscheid und Mürzsteg lediglich zwei Messstationen. Wie auch bei vielen Einzelmessstationen weisen die Jahre rund um den 2. Weltkrieg keine Messdaten auf und bilden damit die einzige, aber rund ein Jahrzehnt währende Messlücke dieser Messstationsgruppe. Der Korrelationskoeffizient dieser beiden Messstationen kann mit einem Wert von 0,87 als sehr hoch bezeichnet werden.

Die maximal und minimal gemessene Neuschneesumme (rd. 687 cm im Winter 1905/06 und rd. 102 cm im Winter 1921/22) dieser Messstationsgruppe ist jeweils der höchste Wert im Vergleich zu allen anderen Messstationsgruppen innerhalb des Untersuchungszeitraumes. Der langjährige Mittelwert der Neuschneesummen pro Winter dieser Messstationsgruppe liegt mit rd. 295 cm weit höher als jener aller anderen Messstationsgruppen.

Der Verlauf der gefilterten Daten (11-jährig) weist eine auffällige Inhomogenität bezüglich wiederkehrender Zyklen auf. Zwischen den Hochpunkten dieser Kurve liegen in

beinahe jedem Fall unterschiedlich viele Jahre. Darüber hinaus variieren auch die Spitze-Tal-Werte zumeist sehr deutlich. Besonders hervorzuheben ist das Maximum der 11-jährig gefilterten Daten am Ende der 2000er Jahre. Dies vor allem weil es ein sehr deutliches Maximum ist und auch weil dieses Maximum in einen Zeitraum fällt, in welchem beinahe alle anderen Messstationsgruppen deutliche Stagnations- oder Abnahmetendenzen in Bezug auf die 11-jährig gefilterten Neuschneesummen aufweisen. Die Kurve der gefilterten Daten (31-jährig) verläuft bei dieser Messstationsgruppe hingegen bis in die 1980er Jahre relativ homogen. Darauf folgt jedoch ein deutlicher Anstieg auch dieser Kurve bis zu ihrem Maximum in der Mitte der 2000er Jahre. Sowohl die 11-jährig als auch die 31-jährig gefilterten Daten dieser Messstationsgruppe weisen nach diesem herausragenden Maximum einen Abfall der jeweiligen Kurve bis in die jüngste Vergangenheit auf.

Über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg zeigt sich ein deutlicher, generell positiver Trend der Summe der Neuschneehöhen, was im Vergleich zu den anderen untersuchten Messstationsgruppen durchaus eine Besonderheit darstellt.

Vergleich der Entwicklungen der Messstationsgruppen

Der Nachfolgende Vergleich bezieht sich auf die Inhalte der zuvor dargestellten Diagramme der einzelnen Messstationsgruppen. Die Winterneuschneesummen der Messstationsgruppen unterliegen, gleich wie jene der Einzelmessstationen großen Schwankungen von Winter zu Winter. Sich über den Untersuchungszeitraum verändernde Entwicklungen lassen sich auch hier wiederum eher nur aus den Kurvenverläufen der tiefpassgefilterten Daten ableiten. Für die Gesamtbetrachtung und den Vergleich der Entwicklung der Winterneuschneesumme aller Messstationsgruppen untereinander eignet sich im speziellen die Analyse der 31-jährig tiefpassgefilterten Daten. Diese Auswertungen zeigen in einigen Zeiträumen durchaus ähnliche Entwicklungen der Winterneuschneesummen in den Bereichen der unterschiedlichen Messstationsgruppen. So zeigt die Kurve der 31-jährig tiefpassgefilterten Winterneuschneesummen in den frühen 1920er Jahren der Messstationsgruppen Vorland und Randgebirge, Östliches Randgebirge, Oberes Murtal sowie Liesingtal und Mürztaler Alpen eine Senke dieser Kurve und weist damit auf tendenziell neuschneeärmere Jahre im Bereich all diesen Messstationen hin. Bei den Messstationsgruppen Ennstal und Paltental sowie Mürzsteger Alpen findet sich diese Senke erst rund ein halbes Jahrzehnt später. Ein relatives Maximum dieser Tiefpassauswertung findet sich in den 1980er Jahren. Dieses Maximum lässt sich bei allem Messstationsgruppen mit Ausnahme der Mürzsteger Alpen mehr oder weniger deutlich erkennen und die Kurve mündet bei diesen Messstationsgruppen darauffolgend ebenfalls in einen augenscheinlich ähnlichen Trend. Beim genaueren Blick auf die 31-jährig tiefpassgefilterten Daten der Messstationsgruppen sticht vor allem dieser Trend über annähernd alle Messstationsgruppen hinweg (ausgenommen die Messstationsgruppe Mürzsteger Alpen) ins Auge. Dabei handelt es sich um die vergleichsweise kontinuierliche Abnahme der Winterneuschneesummen – bezogen auf die 31-jährig tiefpassgefilterten Winterneuschneesummen – seit ca. Mitte der 1980er Jahre. Unter der Maßgabe, dass die Entwicklungen zwischen den Messstationsgruppen zuvor oftmals kurzzeitigeren Schwankungen unterlagen, ist diese ähnliche Entwicklung der Winterneuschneesummen seit ca. der Mitte der 1980er Jahre eine durchaus bemerkenswerte Beobachtung.

Eine davon abweichende Besonderheit stellt hingegen die Messstationsgruppe Mürzsteiger Alpen dar. Hier gab es gemessen am Verlauf der 31-jährig tiefpassgefilterten Winterneuschneesummen einen deutlichen und kontinuierlichen Anstieg der Winterneuschneesummen von der Mitte der 1970er Jahre bis Mitte der 2000er Jahre. Dies ist offensichtlich auf eine Vielzahl von Wintern mit überdurchschnittlich hohen Neuschneesummen innerhalb dieser Zeitspanne zurückzuführen. Darauf folgte jedoch auch hier ein Sinken dieser Kurve, allerdings eben erst seit ca. der Mitte der 2000er Jahre.

Zur Entwicklung der einzelnen Messstationsgruppen kann daher festgehalten werden, dass die Winterneuschneesummen (bezogen auf die 31-jährig tiefpassgefilterten Winterneuschneesummen) im Bereich der Messstationsgruppen Vorland und Randgebirge, Östliches Randgebirge, Oberes Murtal, Liesingtal und Mürztaler Alpen sowie Ennstal und Paltental seit ca. der Mitte der 1980er Jahre tendenziell abnehmen während diese im Bereich der Messstationsgruppe Mürzsteiger Alpen bis ca. zur Mitte der 2000er Jahre deutlich anstiegen und erst danach deutlich zurückgingen.

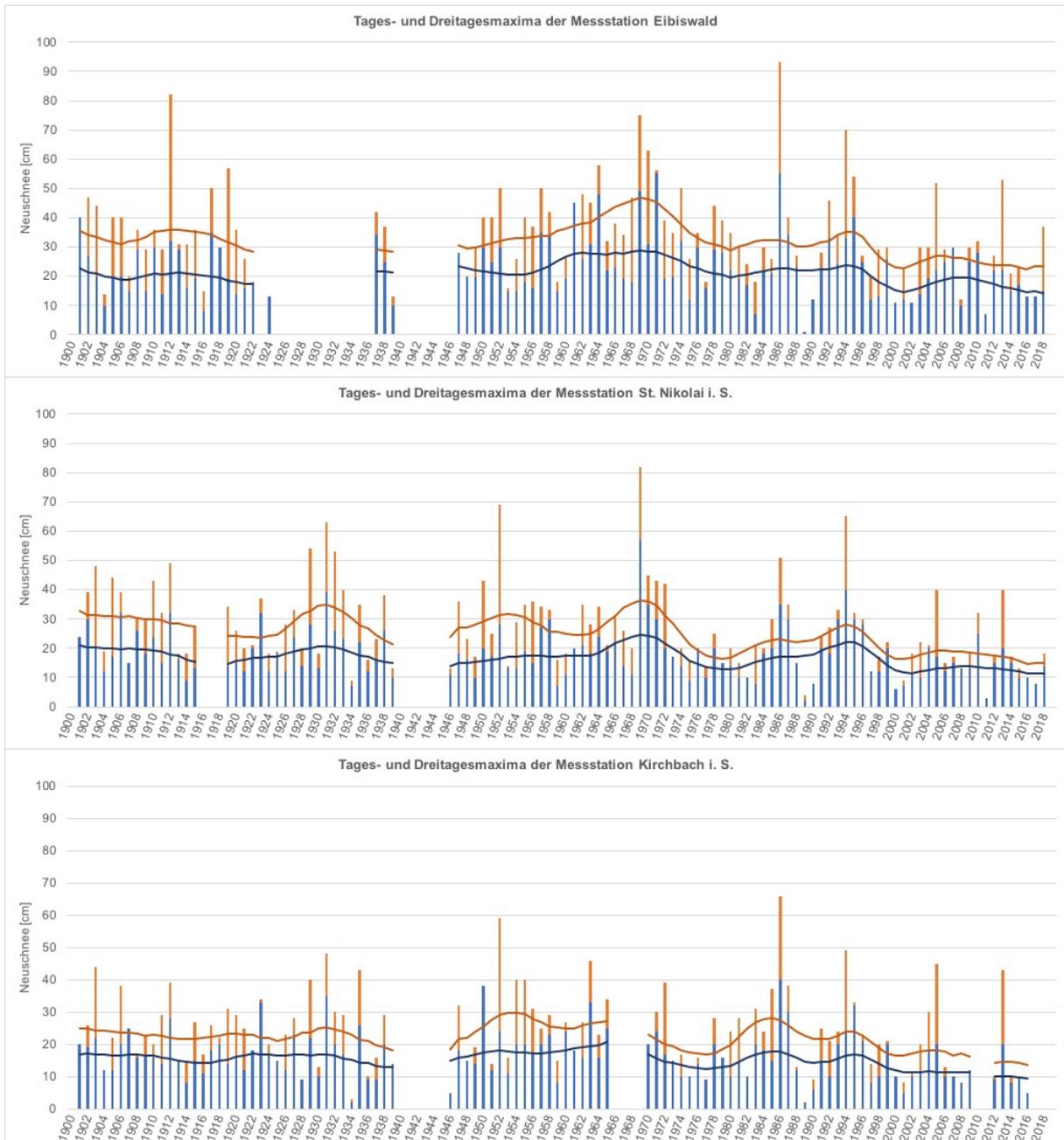
6.3. Einzelmessstationen - jährliche 24-Stunden- und Dreitagesmaxima

Zur Beantwortung der 4. Forschungsfrage wurden die jährlichen 24-Stunden- und 3-Tagesmaxima der Neuschneehöhe aller untersuchten Messstationen, wie im Kapitel zur Methodik beschrieben, ausgewertet. Die nachfolgenden Unterkapitel gliedern die Messstationen wieder anhand der steirischen Klimaregionen (vgl. GIS-Steiermark 2020 a).

Bei den Diagrammen ist zu beachten, dass die Differenz zwischen 24-Stunden- und 3-Tagesmaxima in Form von gestapelten Säulen dargestellt ist um die Diagramme etwas zu komprimieren. Dies bedeutet, dass das obere Ende des orangen Balkens das jeweilige 3-Tagesmaximum darstellt, während das obere Ende des blauen Balkens das jeweilige 24-Stundenmaximum darstellt. Sollte auf einen blauen Balken kein oranger Balken gestapelt sein entspricht das 24-Stundenmaximum des betreffenden Jahres dem 3-Tagesmaximum desselben Jahres. Die Verläufe der jeweils dargestellten Linien stellen wiederum die 11-jährig-tiefpassgefilterten Daten der 24-Stunden- als auch der 3-Tagesmaxima dar. Das Maximum der vertikalen Achse (Neuschneehöhe in cm) unterscheidet sich aufgrund sehr unterschiedlicher Werte zwischen den unterschiedlichen Klimaregionen. Innerhalb der jeweiligen Klimaregion ist der Achsenmaximalwert jedoch gleichbleibend.

6.3.1. Vorland

Die nachfolgenden Diagramme zeigen die jährlichen 24-Stunden- sowie die 3-Tagesmaxima der Neuschneehöhe der Messstationen in der Klimaregion Vorland gem. Land Steiermark (2020) samt den zugehörigen 11-jährigen tiefpassgefilterten Verläufen zwischen den Jahren 1901 und 2018.



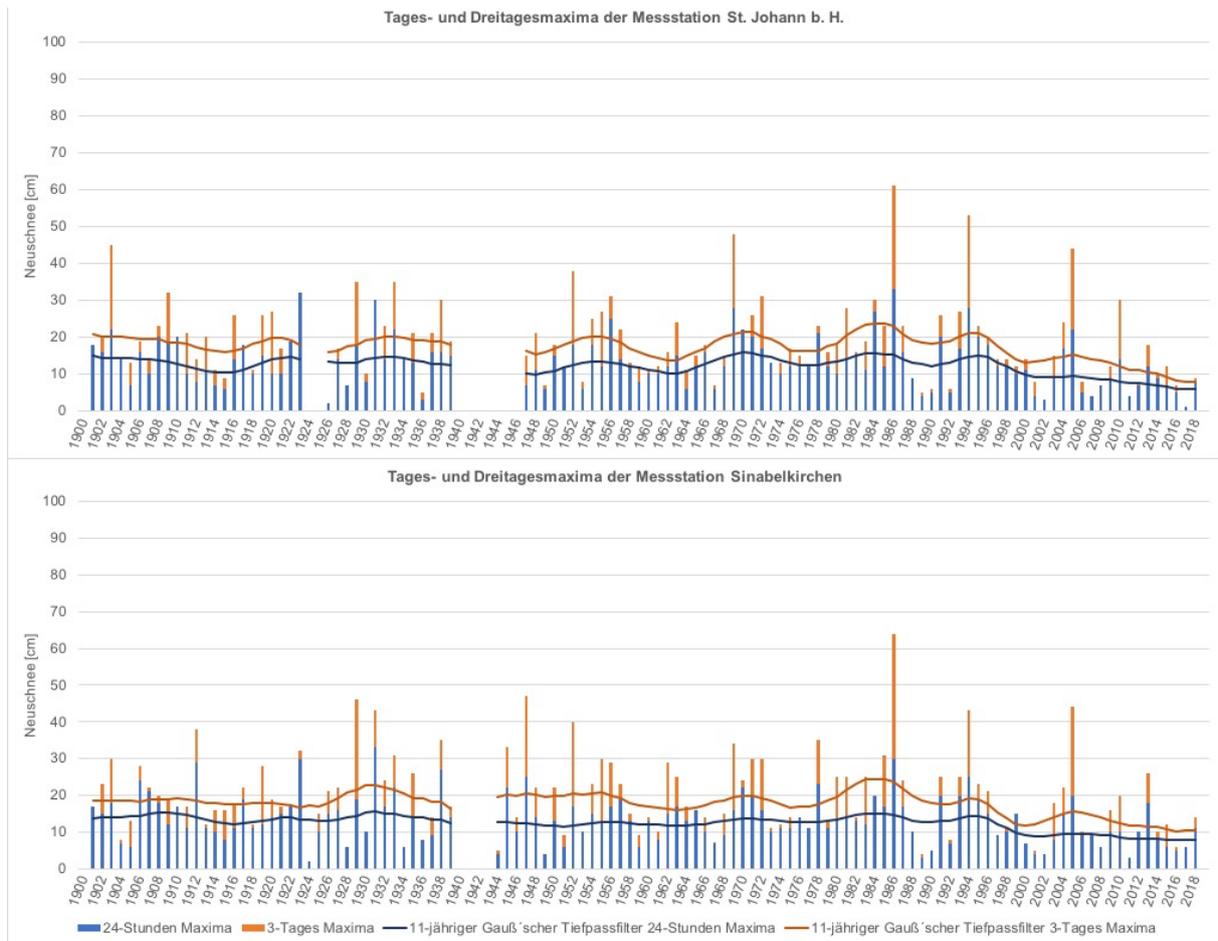


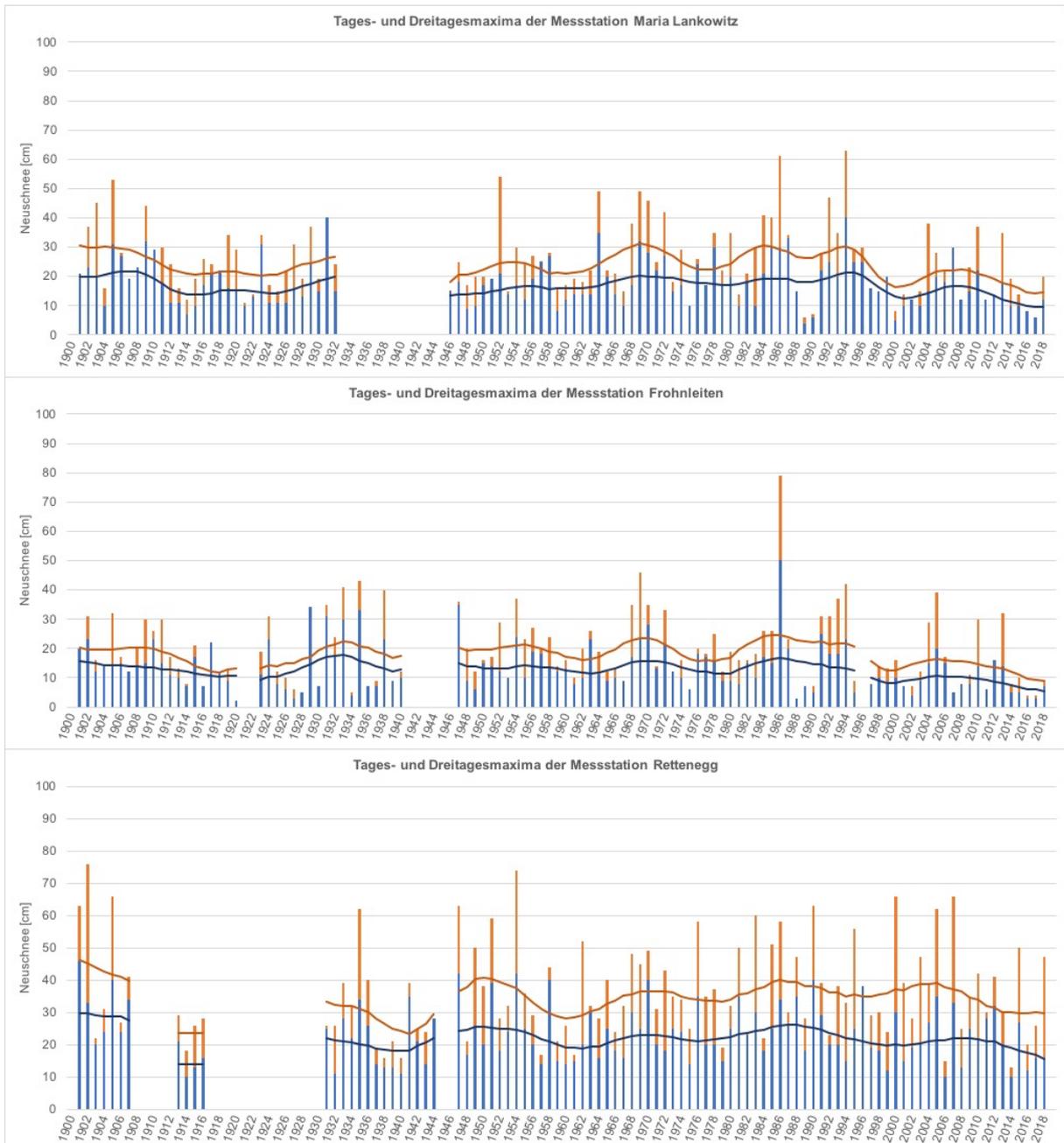
Abb. 31) Jahresmaxima der Neuschneehöhen der Messstationen in der Klimaregion Vorland 1901 bis 2018 inkl. 11-jährigem Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

In diesen Diagrammen zeigt sich, dass die Jahresmaxima generell sehr sprunghafte Werte darstellen und sich alleine daraus keine Trends oder Entwicklungen ablesen lassen. Durch Anwendung des Tiefpassfilters lassen sich hingegen leichte Trends und Entwicklungen aus den Diagrammen ablesen. Generell lässt sich aus den tiefpassgefilterten Daten der obigen Diagramme erkennen, dass sich sowohl die 24-Stunden- als auch der 3-Tagesmaxima aller untersuchten Messstationen in der Klimaregion Vorland ca. seit dem Ende der 1990er Jahre tendenziell auf einem niedrigeren Niveau befinden als in den vorhergehenden Dekaden. Die tiefpassgefilterten Daten der jährlichen 24-Stundenmaxima entsprechen dabei, bei allen untersuchten Messstationen der Klimaregion Vorland, dem Trend der tiefpassgefilterten 3-Tagesmaxima. Die Kurve der tiefpassgefilterten 24-Stundenmaxima weist dabei jedoch kleinere Amplituden sowie auch generell tiefere Werte auf als jene der 3-Tagesmaxima.

Bemerkenswert ist der augenscheinliche Zusammenhang zwischen den tiefpassgefilterten Kurvenverläufen der Maxima und jener der jeweiligen Neuschneesummen pro Winter (Kapitel Einzelmessstationen – Winterneuschneesummen). Die Trends dieser Kurven ähneln sich bei allen untersuchten Messstationen des Vorlandes stark.

6.3.2. Randgebirge

Die nachfolgenden Diagramme zeigen die jährlichen 24-Stunden- sowie die 3-Tagesmaxima der Neuschneehöhe der Messstationen in der Klimaregion Randgebirge gem. Land Steiermark (2020) samt den zugehörigen 11-jährigen tiefpassgefilterten Verläufen zwischen den Jahren 1901 und 2018.



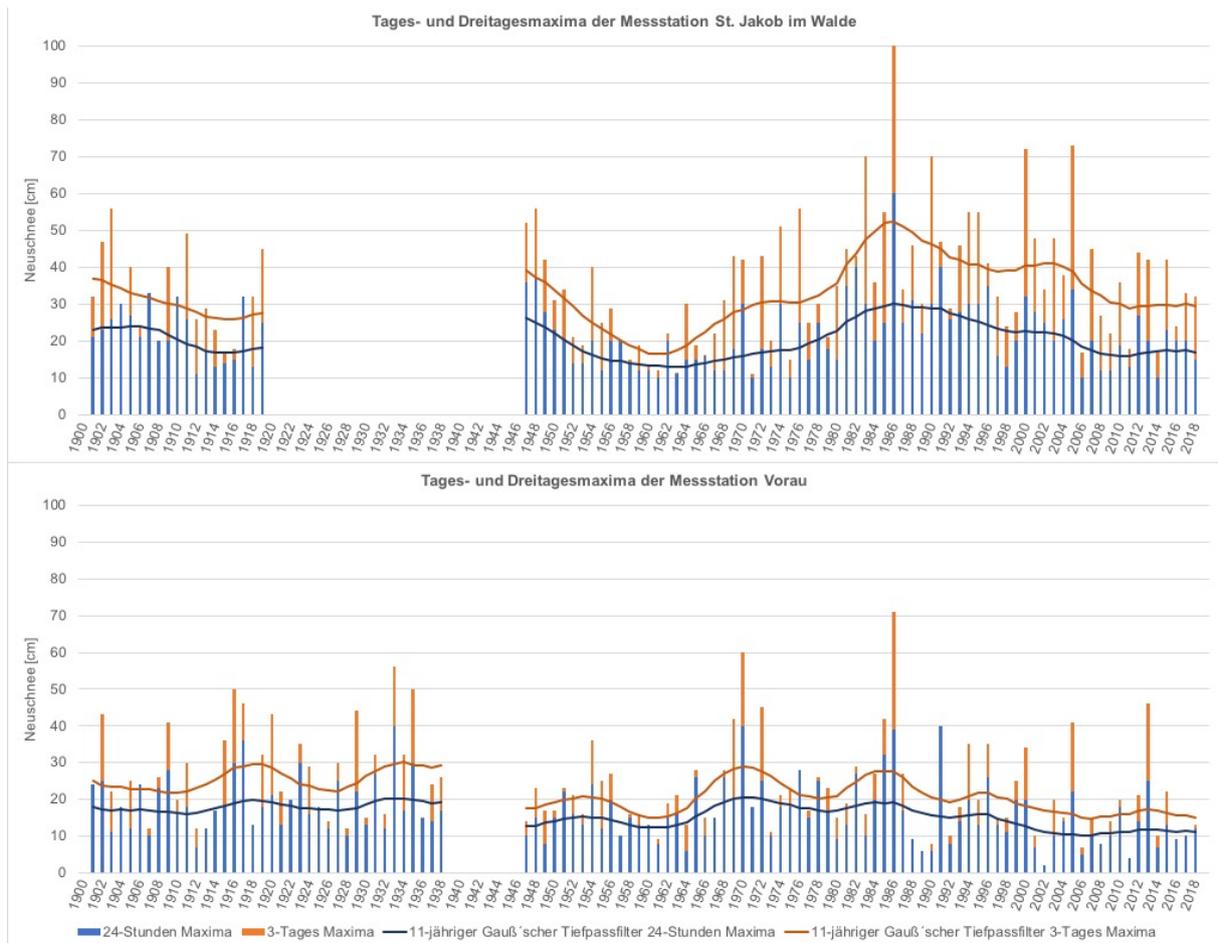


Abb. 32) Jahresmaxima der Neuschneehöhen der Messstationen in der Klimaregion Randgebirge 1901 bis 2018 inkl. 11-jährigem Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

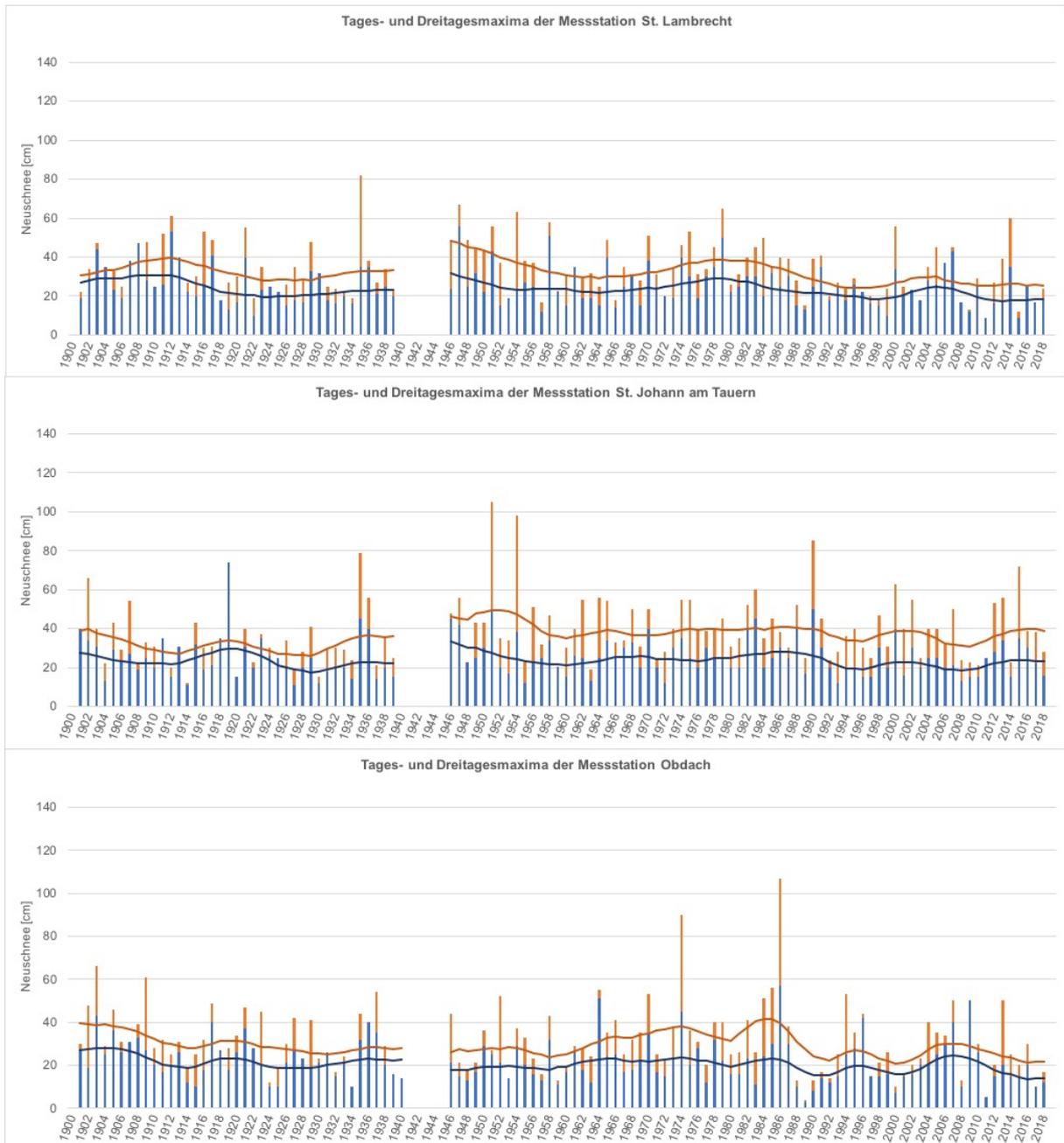
Generell lässt sich aus den tiefpassgefilterten Maxima der Diagramme der Messstationen Maria Lankowitz, Frohnleiten und Voralpe erkennen, dass diese auch in Bezug auf die Maxima spürbar mit den Messstationen der Region Vorland korrelieren. So befinden sich auch die 24-Stunden- sowie 3-Tagesmaxima dieser drei Messstationen ca. seit dem Ende der 1990er Jahre tendenziell auf einem niedrigeren Niveau als in den vorhergehenden Dekaden. Die tiefpassgefilterten Daten der jährlichen 24-Stundenmaxima entsprechen dabei auch bei allen untersuchten Messstationen der Klimaregion Randgebirge großteils dem Trend der tiefpassgefilterten 3-Tagesmaxima. Die Kurve der tiefpassgefilterten 24-Stundenmaxima weist dabei jedoch auch hier kleinere Amplituden sowie auch generell tiefere Werte auf als jene der 3-Tagesmaxima. Eine auffällige Abweichung zwischen den tiefpassgefilterten Daten der 24-Stunden und der 3-Tagesmaxima findet sich in den Daten der Messstation Rettenegg im Zeitraum der

2000er Jahre. Während ein relatives Maximum der tiefpassgefilterten 3-Tagesmaxima in das Jahr 2005 fällt, erreichen die tiefpassgefilterten Daten der 24-Stundenmaxima an dieser Messstation erst ein paar Jahre später ein ähnlich geformtes Maximum. Auch der nachfolgende Verlauf der tiefpassgefilterten Daten der Messstation Rettenegg lässt darauf schließen, dass die 24-Stunden- und 3-Tagesmaxima ab ca. den 2000er Jahren unterschiedliche Verläufe aufweisen.

Bemerkenswert ist auch hier der augenscheinliche Zusammenhang zwischen den tiefpassgefilterten Kurvenverläufen der Maxima und jener der jeweiligen Neuschneesummen pro Winter (Kapitel Einzelmessstationen – Winterneuschneesummen) mit Ausnahme der Messstationen Rettenegg und St. Jakob im Walde. Ein Zusammenhang lässt sich dabei auch bei den Messstationen Rettenegg und St. Jakob im Walde erkennen, jedoch fällt dieser augenscheinlich geringer aus als bei den anderen untersuchten Messstationen dieser Klimaregion.

6.3.3. Mur-Mürz-Furche

Die nachfolgenden Diagramme zeigen die jährlichen 24-Stunden- sowie die 3-Tagesmaxima der Neuschneehöhe der Messstationen in der Klimaregion Mur-Mürz-Furche gem. Land Steiermark (2020) samt den zugehörigen 11-jährigen tiefpassgefilterten Verläufen zwischen den Jahren 1901 und 2018.



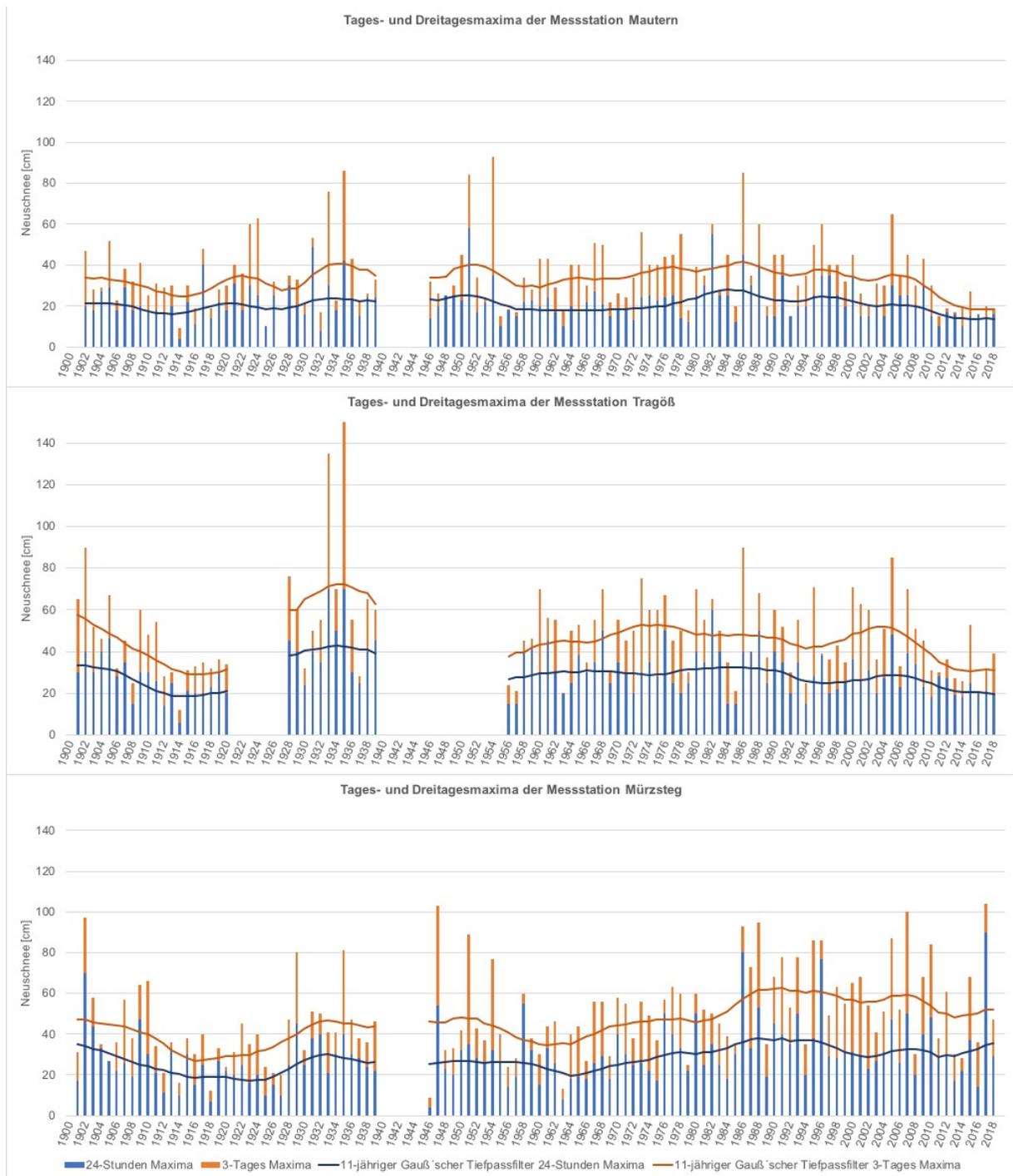


Abb. 33) Jahresmaxima der Neuschneehöhen der Messstationen in der Klimaregion Mur-Mürz-Furche 1901 bis 2018 inkl. 11-jährigem Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

Die Korrelation der Kurvenverläufe der tiefpassgefilterten 24-Stunden- und 3-Tagesmaxima ist bei den untersuchten Messstationen der Klimaregion Mur-Mürz-Furche merkbar geringer als bei den zuvor beschriebenen. Diese Kurvenverläufe stimmen zwar in weiten Teilen überein, weichen jedoch deutlich häufiger voneinander ab als in

den vorhergehend analysierten Diagrammen. Selbes trifft auch auf den Zusammenhang mit den tiefpassgefilterten Winterneuschneesummen der Einzelmessstationen zu. Viele Trends verlaufen auch hier zwar ähnlich, Abweichungen sind jedoch deutlich häufiger als bei den untersuchten Messstationen der Klimaregionen Vorland und Randgebirge.

6.3.4. Täler nördlich des Alpenhauptkammes

Die nachfolgenden Diagramme zeigen die jährlichen 24-Stunden- sowie die 3-Tagesmaxima der Neuschneehöhe der Messstationen in der Klimaregion Täler nördlich des Alpenhauptkammes gem. Land Steiermark (2020) samt den zugehörigen 11-jährigen tiefpassgefilterten Verläufen zwischen den Jahren 1901 und 2018.

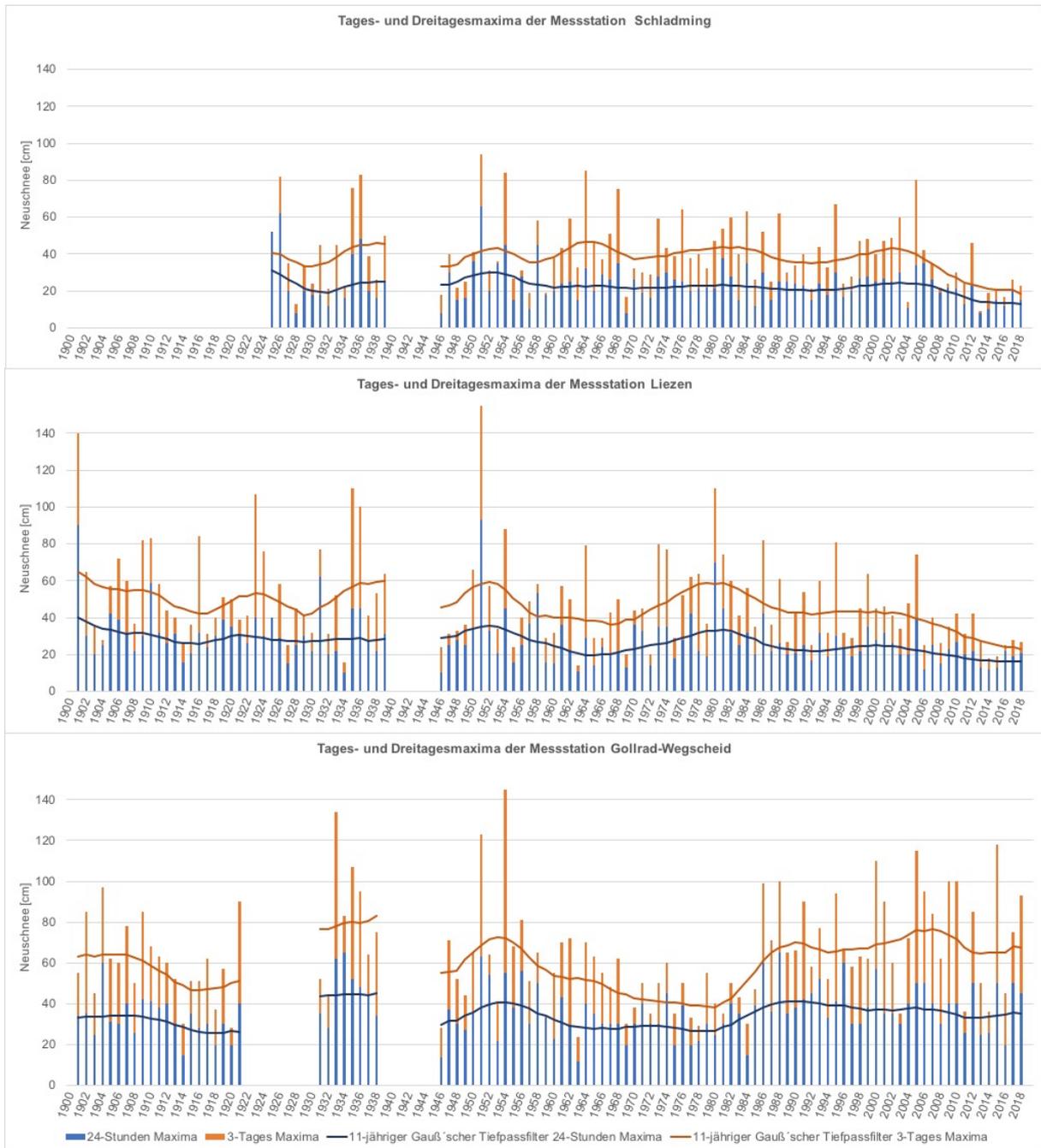


Abb. 34) Jahresmaxima der Neuschneehöhen der Messstationen in der Klimaregion Täler nördlich des Alpenhauptkammes 1901 bis 2018 inkl. 11-jährigem Tiefpassfilter (Quelle: Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

Ähnliches wie für die untersuchten Messstationen der Klimaregion Mur-Mürz-Furche zeigt sich auch für jene der Klimaregion Täler nördlich des Alpenhauptkammes. Die Korrelation der Kurvenverläufe der tiefpassgefilterten 24-Stunden- und 3-Tagesmaxima ist bei den untersuchten Messstationen auch hier spürbar geringer als bei den untersuchten Messstationen der Klimaregionen Vorland und Randgebirge beschrieben. Diese Kurvenverläufe stimmen zwar in weiten Teilen überein, weichen jedoch deutlich häufiger voneinander ab als in den Diagrammen der Messstationen in den Klimaregionen Vorland und Randgebirge. Wiederum Selbes trifft auch auf den Zusammenhang mit den tiefpassgefilterten Winterneuschneesummen der Einzelmessstationen zu. Viele Trends verlaufen auch hier zwar ähnlich, Abweichungen sind jedoch deutlich häufiger als bei den untersuchten Messstationen der Klimaregionen Vorland und Randgebirge.

6.3.5. Conclusio - jährliche 24-Stunden- und Dreitagesmaxima

Aus den Auswertungen der 24-Stunden und 3-Tagesmaxima der untersuchten Messstationen lassen sich nachfolgende Schlüsse ziehen. Die augenscheinlich stärkere Korrelation der jährlichen 24-Stunden- als auch 3-Tagesmaxima mit den jährlichen Neuschneesummen im Bereich der Klimaregionen Vorland und Randgebirge weisen darauf hin, dass bei niedrigeren jährlichen Neuschneesummen die stärkeren Einzelschneefallereignisse größere Auswirkungen auf die jährliche Neuschneesumme haben als in Regionen mit höheren jährlichen Neuschneesummen. Mitverantwortlich dafür könnte auch die Häufigkeit von Schneefallereignissen generell sein, da davon auszugehen ist, dass in den generell tiefergelegenen Klimaregionen Vorland und Randgebirge tendenziell weniger Tage mit Neuschnee pro Jahr vorkommen als in den Klimaregionen Mur-Mürz-Furche und Täler nördlich des Alpenhauptkammes.

Generell kann den Schneefällen, welche den 24-Stunden- sowie den 3-Tagesmaxima zu Grunde liegen aber eine relativ hohe Bedeutung für die jeweilige jährliche Neuschneesumme beigemessen werden. Denn über alle Klimaregionen der Steiermark hinweg lässt sich ein mehr oder weniger deutlicher Zusammenhang der 24-Stunden- und 3-Tagesneuschneemaxima mit den Neuschneesummen pro Winter erkennen, was auf diesen Einfluss der 24-Stunden und 3-Tagesmaxima eindrücklich hinweist.

6.4. Wiederkehrwahrscheinlichkeit der Schneefallereignisse im Jänner 2019 an der Messstation Gollrad-Wegscheid

Im Jänner 2019 kam es in der Obersteiermark zu ergiebigen und mehrere Tage andauernden Schneefällen. Die dafür verantwortliche Nordstaulage dauerte dabei mehrere Tage an und betraf weite Teile der, im Nordstau-Bereich gelegenen Alpenregionen. Diese Schneefallereignisse führten auch zu erheblichen Schäden und Verkehrsbehinderungen, wie aus Medienberichten vom Jänner 2019 hervorgeht. (vgl. ORF.at 2019a, ORF.at 2019b, meteoschweiz.ch 2019)

Der Jänner 2019 sticht daher auch bei den, im Rahmen dieser Masterarbeit untersuchten Datensätzen, vor allem bei den in der nördlichen Obersteiermark gelegenen Messstationen hervor. Aufgrund der Aktualität der Schneefallereignisse vom Jänner 2019 wurde daher eine Messstation im betreffenden Bereich der nördlichen Obersteiermark ausgewählt und anhand der langjährigen Messwerte von Neuschneehöhen die Wiederkehrwahrscheinlichkeit von derartigen Schneefällen ermittelt. Dabei wurde aufgrund der Signifikanz der Neuschneehöhen vom Jänner 2019 und der vorhandenen durchgängigen Messreihe an dieser Messstation (seit dem Winter 1946/47) die Messstation Gollrad-Wegscheid ausgewählt.

Da die 24-Stundenneuschneesummen in der ersten Hälfte des Jänner 2019 insgesamt sehr hoch ausfielen aber zwischenzeitlich auch stark schwankten, wurden die Wiederkehrwahrscheinlichkeit sowohl des 24-Stundenmaximas, des 3-Tagesmaximas und des 15-Tagesmaximas vom Jänner 2019 an der Messstation Gollrad-Wegscheid errechnet.

Die Berechnungen erfolgten dabei in Anlehnung an Berechnungen für die Wiederkehrwahrscheinlichkeit von Niederschlagsereignissen und mit Hilfe der Gumbelverteilung. Dabei wurden alle Berechnungen basierend auf der Publikation „Probabilidade e estatística aplicadas à hidrologia“ von Naghettini N. und Portela M.-M. (vgl. Naghetti & Portela 2011) sowie auf Unterlagen der Lehrveranstaltung „Modelação e planeamento de recursos hídricos“ von Maria-Manuela Portela im Sommersemester 2017/18 am Institut Superior Tecnico der Universidade des Lisboa ausgeführt. Darüber hinaus

wurden auch Inhalte des „Leitfaden Verfahren zur Abschätzung von Hochwasserkennwerten“ des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2011) für die Berechnungsmethodik herangezogen.

Die Sinnhaftigkeit der Verwendung der Gumbelverteilung gegenüber der Normalverteilung lässt sich mit Hilfe der Dichtefunktionen beider Verteilungen beweisen. Im Bereich der Maximal- und Minimalwerte zeigt sich in nachfolgendem Diagramm, dass die tatsächlich gemessenen Neuschneehöhen (jährliche Maxima, in diesem Fall am Beispiel der 15-Tages Neuschneesummen der Messstation Gollrad-Wegscheid) deutlicher dem Verlauf der Dichtefunktion der Gumbel- als der Normalverteilung folgen.

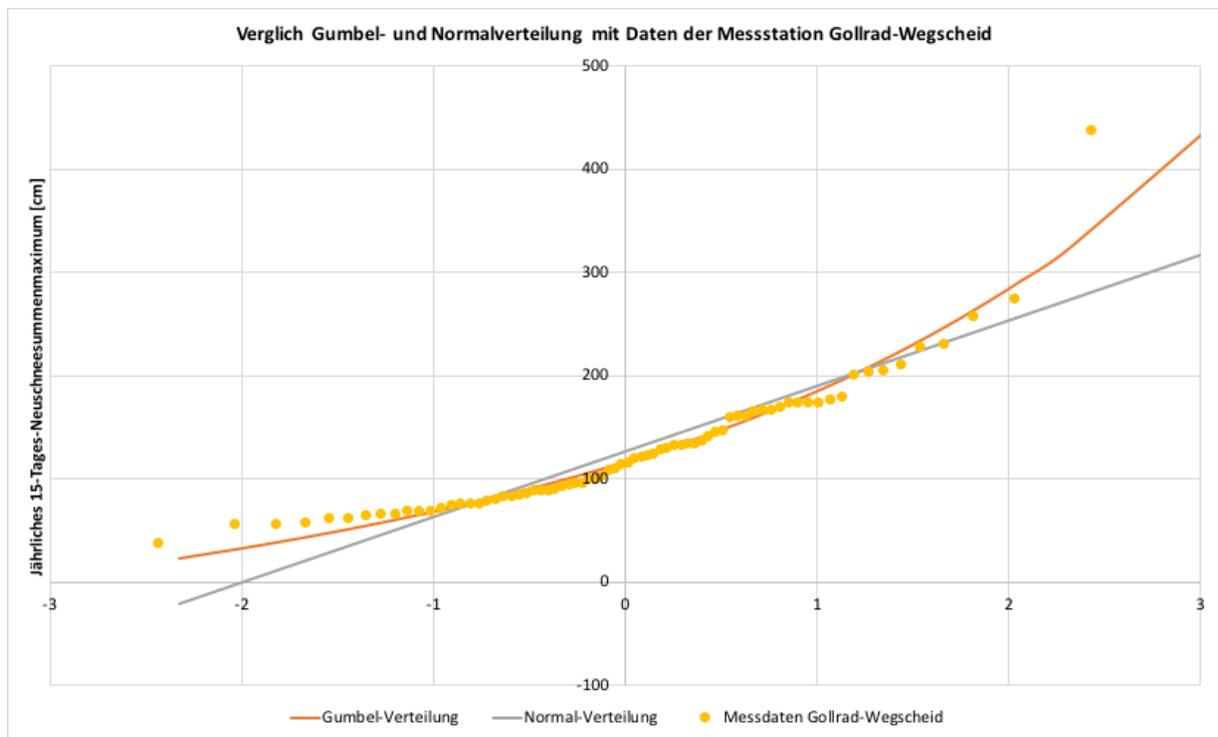


Abb. 35) Vergleich Gumbel- und Normalverteilung (Quelle: Naghetti & Portela 2011, Hydrographischer Dienst Steiermark, bearbeitet von Illgoutz P.)

Die Auswahl der Maximalwerte zur Berechnung der Wiederkehrwahrscheinlichkeit der Schneefallereignisse im Jänner 2019 erfolgte anhand der AMS-Methode (annual maximum series). Hierbei wird aus allen Messwerten eines Jahres nur jener Wert berücksichtigt, welcher das Maximum innerhalb eines Jahres darstellt. Als Grundlage der Berechnung zur Wiederkehrwahrscheinlichkeit wurden daher 24-Stunden-, 3-Tages- und 15-Tagesmaxima der Messstation Gollrad-Wegscheid für die Jahre seit 1946 (letzte

größere Messlücke) aus den Datensätzen gefiltert. (vgl. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2011, 38)

Für die Berechnung der Wiederkehrwahrscheinlichkeit eines spezifischen Neuschneemaximums (24-Stunden-, 3-Tages- und 15-Tagesmaxima der Messstation Gollrad-Wegscheid im Jänner 2019) wurde die, für die Berechnung von P umgeformte Verteilungsfunktion der Gumbel-Verteilung herangezogen:

$$P = \left\{ \left(\frac{-\sqrt{6}}{\pi} \right) * \left[0,577216 + \ln \left(\ln \left(\frac{x}{x-1} \right) \right) \right] * \sigma \right\} + \emptyset$$

P.....Niederschlag in cm Neuschneehöhe

\emptysetDurchschnitt

σStandardabweichung

x.....Wiederkehrwahrscheinlichkeit

Aus den jährlichen Neuschneesummenmaxima der Messstation Gollrad-Wegscheid ergaben sich für die Jahre 1946 bis 2019 folgende Werte für die jeweilige Standardabweichung bzw. den jeweiligen Durchschnitt. Dabei ist anzumerken, dass auch die Maximalwerte des Jänners 2019 als Maxima für das Jahr 2019 als Datenpunkte in diese Berechnungen miteinbezogen wurden.

	Maximalwerte Jänner 2019 (P)	Standard- abweichung (σ)	Durchschnitt (\emptyset)
24-Stunden-Maxima	70 cm	12,4 cm	37,0 cm
3-Tages-Maxima	120 cm	26,1 cm	64,4 cm
15-Tages-Maxima	438 cm	63,4 cm	126,5 cm

Mit Hilfe der oben beschriebenen und wie folgt umgeformten Formel der Gumbelverteilung sowie der in obiger Tabelle genannten Werte für P, \emptyset und σ wurde die Wiederkehrwahrscheinlichkeit (x) der 24-Stunden-, der 3-Tages- sowie der 15-Tagesmaxima der Neuschneesumme vom Jänner 2019 an der Messstation Gollrad-Wegscheid berechnet.

$$x = - \frac{\exp \left(\exp \left(\frac{P - \emptyset}{\frac{\sigma}{-\sqrt{6}} - 0,577216} \right) \right)}{1 - \exp \left(\exp \left(\frac{P - \emptyset}{\frac{\sigma}{-\sqrt{6}} - 0,57716} \right) \right)}$$

Aus den Berechnungen gingen nachfolgende Ergebnisse hervor:

- Das 24-Stundenmaximum der Neuschneehöhe im Jänner 2019 an der Messstation Gollrad-Wegscheid entsprach mit 70 cm und gemessen an den vorhandenen, im Wesentlichen ununterbrochen Messdaten seit 1946 einem Schneefallereignis (bezogen auf die Neuschneehöhe) mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 53,94 Jahren.
- Das 3-Tagesmaximum der Neuschneehöhe im Jänner 2019 an der Messstation Gollrad-Wegscheid entsprach mit 120 cm und gemessen an den vorhandenen, im Wesentlichen ununterbrochen Messdaten seit 1946 einem Schneefallereignis (bezogen auf die Neuschneehöhe) mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 27,96 Jahren.
- Das 15-Tagesmaximum der Neuschneehöhe im Jänner 2019 an der Messstation Gollrad-Wegscheid entsprach mit 438 cm und gemessen an den vorhandenen, im Wesentlichen ununterbrochen Messdaten seit 1946 einem Schneefallereignis (bezogen auf die Neuschneehöhe) mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 969,25 Jahren.

Als Schlussfolgerung aus diesen Ergebnissen resultierte daher, dass vor allem die Neuschneesummen über mehrere Tage hinweg ein außergewöhnlich starkes Schneefallereignis an dieser Messstation darstellte. Mit einer errechneten Wiederkehrwahrscheinlichkeit von annähernd eintausend Jahren bezogen auf die 15-Tagesneuschneesumme kann der Schluss gezogen werden, dass – basierend auf den vorhandenen Messdaten seit 1946 – vor allem derart langanhaltende und gleichzeitig intensive Schneefälle ein nur selten wiederkehrendes Ereignis darstellen.

7. Conclusio und Beantwortung der Forschungsfragen

In diesem Kapitel werden die Forschungsfragen konkret beantwortet und im Zuge dessen wird auch Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen der vorangegangenen Kapitel gezogen.

1) *Wie haben sich die Neuschneesummen pro Winter in der Steiermark seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts geändert?*

Generell ist zu dieser Frage festzuhalten, dass sich die Neuschneesummen pro Winter in der Steiermark auf unterschiedliche Art und Weise verändert haben und dabei keinem deutlichen linearen Trend folgten. Bei einer Betrachtung tiefpassgefilterter Neuschneesummen pro Winter lassen sich zwar Trends in Form von kurvenartigen Entwicklungen aus den Grundlagendaten ablesen, eine Beantwortung dieser Fragestellung für die Steiermark im Allgemeinen ist jedoch nicht möglich. Vielmehr lassen sich regionale Trends ableiten worauf jedoch in der Beantwortung der nachfolgenden Forschungsfrage eingegangen wird. Ein merkbarer Trend lässt sich jedoch beinahe für alle untersuchten Bereiche ableiten (mit Ausnahme der Messstationsgruppe Mürzsteger Alpen). Dabei handelt es sich um eine tendenzielle Abnahme der Neuschneesummen pro Winter seit der Mitte der 1980er Jahre, welche jedoch in unterschiedlichen Bereichen der Steiermark unterschiedlich stark ausfällt.

Mangels Vergleichsstudien in Bezug auf die Neuschneesummen pro Winter werden diese Entwicklungen mit anderen Schneekenngrößen verglichen. Marcolini et al. (2017, 240-254) stellten in ihrer Untersuchung zu Schneedeckendauer und durchschnittlicher saisonaler Schneehöhe im Einzugsgebiet des Flusses Etsch (ital.: Adige) in Nordostitalien fest, dass sich Veränderungen dieser beiden Kenngrößen seit 1988 deutlich bemerkbar machen. Sie stellten dabei auch fest, dass es diesbezüglich signifikante Unterschiede zwischen Messstationen, welche über bzw. unter 1.650 m über dem Meeresspiegel liegen, gibt. Für die gegenständliche Untersuchung der Veränderung der Neuschneehöhen in der Steiermark lassen sich daraus nur bedingt Rückschlüsse ziehen. So ist an vielen Stationen, vor allem

im Bereich der Messstationsgruppen Vorland und Randgebirge, Östliches Randgebirge, Oberes Murtal, Liesingtal und Mürztaler Alpen sowie Ennstal und Paltental eine Veränderung bzw. tendenzielle Abnahme der Neuschneesummen ab der Mitte der 1980er Jahre erkennbar, dies entspricht in groben Zügen den Ergebnissen der Untersuchung von Marcolini et al. (2017). Rückschlüsse auf unterschiedliche Entwicklungen von Messstationen über bzw. unter 1.650 m lassen sich für die untersuchten Messstationen des Hydrographischen Dienstes Steiermark bedingt durch das Fehlen von Messdaten über 1.070 m (höchste untersuchte Messstation: St. Lambrecht) nicht ableiten.

- 2) *Welche unterschiedlichen Entwicklungen gibt es in den verschiedenen Klimaregionen der Steiermark oder lassen sich anhand der Neuschneedaten des Hydrographischen Dienstes eigene, korrelierende Klimaregionen in Bezug auf die Neuschneesummen bilden?*

Die Klimaregionen der Steiermark (vgl. GIS-Steiermark 2020a) stellen grundsätzlich Regionen dar, welche auch in Bezug auf die jährlichen Neuschneesummen in weiten Teilen Bereiche mit ähnlichen Entwicklungen abbilden. Anhand einer Korrelationsanalyse wurden jedoch darüberhinausgehende und speziell auf die historischen jährlichen Neuschneesummendaten abgestellte „Messstationsgruppen“ gebildet. Es lassen sich also korrelierende Klimaregionen in Bezug auf die Neuschneesumme bilden.

Zwischen diesen Messstationsgruppen gab es in vielen Bereichen Überlagerungen in Bezug auf die Entwicklung der Neuschneesummen, in manchen Bereichen jedoch auch deutliche Divergenzen.

Die Winterneuschneesummen der Messstationsgruppen unterliegen, gleich wie jene der Einzelmessstationen großen Schwankungen von Winter zu Winter. Sich über den Untersuchungszeitraum verändernde Entwicklungen lassen sich auch hier wiederum eher nur aus den Kurvenverläufen der tiefpassgefilterten Daten ableiten. Für die Gesamtbetrachtung und den Vergleich der Entwicklung der

Winterneuschneesumme aller Messstationsgruppen untereinander eignet sich im speziellen die Analyse der 31-jährig tiefpassgefilterten Daten. Diese Auswertungen zeigen in einigen Zeiträumen durchaus ähnliche Entwicklungen der Winterneuschneesummen in den Bereichen der unterschiedlichen Messstationsgruppen. So zeigt die Kurve der 31-jährig tiefpassgefilterten Winterneuschneesummen in den frühen 1920er Jahren der Messstationsgruppen Vorland und Randgebirge, Östliches Randgebirge, Oberes Murtal sowie Liesingtal und Mürztaler Alpen eine Senke dieser Kurve und weist damit auf tendenziell neuschneeärmere Jahre im Bereich all dieser Messstationen hin. Bei den Messstationsgruppen Ennstal und Paltental sowie Mürzsteger Alpen findet sich diese Senke erst rund ein halbes Jahrzehnt später. Ein relatives Maximum dieser Tiefpassauswertung findet sich in den 1980er Jahren. Dieses Maximum lässt sich bei allem Messstationsgruppen mit Ausnahme der Mürzsteger Alpen mehr oder weniger deutlich erkennen und die Kurve mündet bei diesen Messstationsgruppen darauffolgend ebenfalls in einen augenscheinlich ähnlichen Trend. Beim genaueren Blick auf die 31-jährig tiefpassgefilterten Daten der Messstationsgruppen sticht vor allem dieser Trend über annähernd alle Messstationsgruppen hinweg (ausgenommen die Messstationsgruppe Mürzsteger Alpen) ins Auge. Dabei handelt es sich um die vergleichsweise kontinuierliche Abnahme der Winterneuschneesummen – bezogen auf die 31-jährig tiefpassgefilterten Winterneuschneesummen – seit ca. Mitte der 1980er Jahre. Unter der Maßgabe, dass die Entwicklungen zwischen den Messstationsgruppen zuvor oftmals kurzzeitigeren Schwankungen unterlagen, ist diese ähnliche Entwicklung der Winterneuschneesummen seit ca. der Mitte der 1980er Jahre eine durchaus bemerkenswerte Beobachtung.

Eine davon abweichende Besonderheit stellt hingegen die Messstationsgruppe Mürzsteger Alpen dar. Hier gab es gemessen am Verlauf der 31-jährig tiefpassgefilterten Winterneuschneesummen einen deutlichen und kontinuierlichen Anstieg der Winterneuschneesummen von der Mitte der 1970er Jahre bis Mitte der 2000er Jahre. Dies ist offensichtlich auf eine Vielzahl von Wintern mit überdurchschnittlich hohen Neuschneesummen innerhalb dieser Zeitspanne zurückzuführen. Darauf folgte jedoch auch hier ein Sinken dieser Kurve, allerdings eben erst seit ca. der Mitte der 2000er Jahre.

Zur Entwicklung der einzelnen Messstationsgruppen kann daher festgehalten werden, dass die Winterneuschneesummen (bezogen auf die 31-jährig tiefpassgefilterten Winterneuschneesummen) im Bereich der Messstationsgruppen Vorland und Randgebirge, Östliches Randgebirge, Oberes Murtal, Liesingtal und Mürztaler Alpen sowie Ennstal und Paltental seit ca. der Mitte der 1980er Jahre tendenziell abnehmen während diese im Bereich der Messstationsgruppe Mürzsteger Alpen bis ca. zur Mitte der 2000er Jahre deutlich anstiegen und erst seitdem wieder merkbar zurückgehen.

- 3) *Lassen sich Anhand der Neuschneedaten des Hydrographischen Dienstes Zyklen neuschneereicher sowie neuschneearmer Perioden erkennen und wie sehen diese gegebenenfalls aus?*

Sowohl Zyklen neuschneereicher als auch neuschneearmer Perioden lassen sich mithilfe der Anwendung eines Tiefpassfilters (Zeitreihenanalyse) auf die Daten der Neuschneesummen extrahieren. Die Parameter, welche dem Tiefpassfilter dabei zugrunde gelegt werden, sind dabei maßgeblich für die Untersuchung etwaiger Zyklen. Bei manchen Messstationen konnten im Zuge der Auswertung dieser Kurven in gewissen Zeitspannen Periodenlängen zwischen Phasen mit tendenziell höheren Neuschneehöhen von 10 bis 15 Jahre festgestellt werden. Eine generelle Gesetzmäßigkeit lässt sich daraus jedoch nicht ableiten, da die die Entwicklungen der Einzelmessstationen bezogen auf neuschneereiche bzw. neuschneearme Zyklen zu divergierend ausfallen.

- 4) *Wie haben sich die 24-Stunden- und 3-Tages-Jahresmaxima der Neuschneehöhen in der Steiermark seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts entwickelt und in welchem Zusammenhang stehen diese mit den Neuschneesummen pro Winter?*

Sowohl die 24-Stunden- als auch die 3-Tages-Jahresmaxima der Neuschneehöhen haben sich seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts generell sehr ähnlich entwickelt wie die Neuschneesummen pro Winter.

Die augenscheinlich stärkere Korrelation der jährlichen 24-Stunden- als auch 3-Tagesmaxima mit den jährlichen Neuschneesummen im Bereich der Klimaregionen (gem. Land Steiermark 2020) Vorland und Randgebirge weisen darauf hin, dass bei niedrigeren jährlichen Neuschneesummen die stärkeren Einzelschneefallereignisse größere Auswirkungen auf die jährliche Neuschneesumme haben als in Regionen mit höheren jährlichen Neuschneesummen. Mitverantwortlich dafür könnte auch die Häufigkeit von Schneefallereignissen generell sein, da davon auszugehen ist, dass in den generell tiefergelegenen Klimaregionen Vorland und Randgebirge tendenziell weniger Tage mit Neuschnee pro Jahr vorkommen als in den Klimaregionen Mur-Mürz-Furche und Täler nördlich des Alpenhauptkammes.

Generell kann den Schneefällen, welche den 24-Stunden- sowie den 3-Tagesmaxima zu Grunde liegen aber eine relativ hohe Bedeutung für die jeweilige jährliche Neuschneesumme beigemessen werden. Denn über alle Klimaregionen der Steiermark hinweg lässt sich ein mehr oder weniger deutlicher Zusammenhang der 24-Stunden- und 3-Tagesneuschneemaxima mit den Neuschneesummen pro Winter erkennen, was auf diesen Einfluss der 24-Stunden und 3-Tagesmaxima eindrücklich hinweist.

5) *Welche Wiederkehrwahrscheinlichkeit wiesen die Schneefälle im Jänner 2019 an der Messstation Gollrad-Wegscheid, basierend auf den Daten der langjährigen Messreihen auf?*

Zur Beantwortung dieser Forschungsfrage wurden Berechnungen zur Wiederkehrwahrscheinlichkeit in unterschiedlichen Zeitspannen durchgeführt. So wurde sowohl die Wiederkehrwahrscheinlichkeit des 24-Stundenmaximums, des 3-Tagesmaximums als auch des 15-Tagesmaximums von den, im Jänner 2019 an der Messstation Gollrad-Wegscheid gemessenen Neuschneehöhen berechnet. Daraus ließen sich nachfolgende Ergebnisse ableiten:

- Das 24-Stundenmaximum der Neuschneehöhe im Jänner 2019 an der Messstation Gollrad-Wegscheid entsprach mit 70 cm und gemessen an den vorhandenen, im Wesentlichen ununterbrochen Messdaten seit 1946 einem Schneefallereignis (bezogen auf die Neuschneehöhe) mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 53,94 Jahren.
- Das 3-Tagesmaximum der Neuschneehöhe im Jänner 2019 an der Messstation Gollrad-Wegscheid entsprach mit 120 cm und gemessen an den vorhandenen, im Wesentlichen ununterbrochen Messdaten seit 1946 einem Schneefallereignis (bezogen auf die Neuschneehöhe) mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 27,96 Jahren.
- Das 15-Tagesmaximum der Neuschneehöhe im Jänner 2019 an der Messstation Gollrad-Wegscheid entsprach mit 438 cm und gemessen an den vorhandenen, im Wesentlichen ununterbrochen Messdaten seit 1946 einem Schneefallereignis (bezogen auf die Neuschneehöhe) mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 969,25 Jahren.

Als Schlussfolgerung aus diesen Ergebnissen resultierte daher, dass vor allem die Neuschneesummen über mehrere Tage hinweg ein außergewöhnlich starkes Schneefallereignis an dieser Messstation darstellte. Mit einer errechneten Wiederkehrwahrscheinlichkeit von annähernd eintausend Jahren bezogen auf die 15-Tagesneuschneesumme kann der Schluss gezogen werden, dass vor allem derart langanhaltende und gleichzeitig intensive Schneefälle ein nur selten wiederkehrendes Ereignis darstellen.

8. Quellen und Literatur

Auer, I. et al. (2008): StartClim2007.A. Erweiterung und Vervollständigung des StartClim Datensatzes für das Element tägliche Schneehöhe. Aktualisierung des existierenden StartClim Datensatzes (Lufttemperatur, Niederschlag und Dampfdruck) bis 2007 04. Wien: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik.

Bibliographisches Institut (Hg.) (2020): Duden. Schnee. URL: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Schnee>, zuletzt geprüft am 26.04.2020.

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hg.) (2011): Leitfaden. Verfahren zur Abschätzung von Hochwasserkennwerten. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.

Cohen, J. (1988): Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Deutscher Wetterdienst (Hg.) (2020a): Wetterlexikon. Schnee. URL: <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=102248&lv3=102470>, zuletzt geprüft am 26.04.2020.

Deutscher Wetterdienst (Hg.) (2020b): Wetterlexikon. Wasseräquivalent der Schneedecke. URL: <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=102936&lv3=103050>, zuletzt geprüft am 08.05.2020.

GIS-Steiermark (Hg.) (2020 a): Digitaler Atlas der Steiermark. Klimaregionen und Klimamessstationen. URL: [https://gis.stmk.gv.at/atlas/\(S\(m001us5vutcz53ii3mdbknky\)\)/init.aspx?cms=da&karte=emptymap&layout=gisstmk&styles=gisstmk&template=gisstmk&gdiservices=hintergrund,gel,dopags,tc,opbmgrau,opbm,uctc,opoverlay&sichtbar=relief&gdiservices=kla_blok,kla_kombw,kla_schnee,kla_gew,kla_nied,kla_luff,kla_temp,kla_strlg,kl_reg,kl_eig,kla_stat,kat,orient_adr](https://gis.stmk.gv.at/atlas/(S(m001us5vutcz53ii3mdbknky))/init.aspx?cms=da&karte=emptymap&layout=gisstmk&styles=gisstmk&template=gisstmk&gdiservices=hintergrund,gel,dopags,tc,opbmgrau,opbm,uctc,opoverlay&sichtbar=relief&gdiservices=kla_blok,kla_kombw,kla_schnee,kla_gew,kla_nied,kla_luff,kla_temp,kla_strlg,kl_reg,kl_eig,kla_stat,kat,orient_adr), zuletzt geprüft am 26.04.2020.

GIS-Steiermark (Hg.) (2020 b): Digitaler Atlas der Steiermark. Landschaftsräumliche Gliederung, URL:

[https://gis.stmk.gv.at/atlas/\(S\(a5wjj2xjxhhl2rc03licgdr5\)\)/init.aspx?cms=da&karte=em
ptymap&layout=gisstmk&styles=gisstmk&template=gisstmk&gdiservices=hintergr.gel
.dopags_tc.opbmgrau.opbm.uctc.opoverlay&sichtbar=relief&gdiservices=fauna flor
a.kat.orient.adr](https://gis.stmk.gv.at/atlas/(S(a5wjj2xjxhhl2rc03licgdr5))/init.aspx?cms=da&karte=emptymap&layout=gisstmk&styles=gisstmk&template=gisstmk&gdiservices=hintergr.gel.dopags_tc.opbmgrau.opbm.uctc.opoverlay&sichtbar=relief&gdiservices=fauna flora.kat.orient.adr), zuletzt geprüft am 26.04.2020.

Helfricht, K. et al. (2018): Obtaining sub-daily new snow density from automated measurements in high mountain regions, In: Hydrology and Earth System Sciences, Vol. 22, 2655-2668.

Hennemuth, B. et al. (2013): Statistische Verfahren zur Auswertung von Klimadaten aus Modell und Beobachtung, eingesetzt in Projekten und Institutionen, die sich mit Klimafolgen und Anpassung befassen. CSC Report 13. Hamburg: Climate Service Center.

Janczyk, M. & Pfister, R. (2013): Inferenzstatistik verstehen. Von A wie Signifikanztest bis Z wie Konfidenzintervall. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

Land Steiermark (Hg.) (2020): Klimaregionen der Steiermark. URL: <https://www.umwelt.steiermark.at/cms/ziel/25206/DE/>, zuletzt geprüft am 26.04.2020.

Marcolini, G. et al. (2017): Variability in snow depth time series in the Adige catchment, In: Journal of Hydrology: Regional Studies 2017, Vol.13, 240-254.

Meteoschweiz.ch (Hg.) (2019): Ausgeprägte Nordstaulage. URL: [https://www.meteo-
schweiz.admin.ch/home/aktuell/meteoschweiz-blog/meteoschweiz-blog.sub-
page.html/de/data/blogs/2019/1/ausgepraegte-nordstaulage.html](https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/aktuell/meteoschweiz-blog/meteoschweiz-blog.sub-page.html/de/data/blogs/2019/1/ausgepraegte-nordstaulage.html), zuletzt geprüft am 29.08.2020.

Müller, G. et al. (2019): 125 Jahre Wasser im Blick. In: Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich Nr. 89.

Naghetti, M. & Portela M.-M. (2011): Probabilidade e estatística aplicadas à Hidrologia. Lissabon: DECivil, IST.

Nousu, J.-P. et al. (2019): Statistical post-processing of ensemble forecasts of the height of new snow, In: Nonlinear Processes in Geophysics, Vol 26, 339-357.

ORF.at (Hg.) (2019a): Katastrophenzustand in steirischen Orten. URL: <https://orf.at/stories/3106774/>, zuletzt geprüft am 29.08.2020.

ORF.at (Hg.) (2019b): Schneefall lässt weiterhin nicht nach. URL: <https://orf.at/stories/3107125/>, zuletzt geprüft am 29.08.2020.

Scherrer, S. C. et al. (2013): Snow variability in the Swiss Alps 1864-2009, In: International Journal of Climatology, Vol. 33, 3162-3173.

Wakonigg, H. (1978): Witterung und Klima in der Steiermark. 1. Aufl. Graz: Verlag für die Technische Universität Graz.

WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF (Hg.) (2020): Schnee. URL: <https://www.slf.ch/de/schnee.html>, zuletzt geprüft am 26.04.2020.

ZAMG (Hg.) (2020 a): Datenbearbeitung. URL: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimaforschung/klimamessung/datenbearbeitung>, zuletzt geprüft am 05.04.2020.

ZAMG (Hg.) (2020 b): Schnee. URL: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/standpunkt/klimafolgen/schnee>, zuletzt geprüft am 26.04.2020.

Zucchini, W. et al. (2009): Statistik für Bachelor- und Masterstudierende. Eine Einführung für Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.