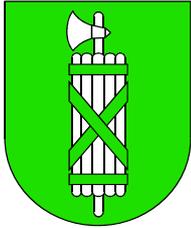


## Gefahrenabklärung, Teilgebiete 4-9



**Kanton St.Gallen**

# Naturgefahrenanalyse

## Niederschlagsanalyse

**Technischer Bericht**

Erstellt am:

Januar 2010

Genehmigt:

Ausfertigung für:

St.Gallen, den



**Naturgefahrenkommission  
Kanton St.Gallen**

Projektverfasser:

**Ingenieure Bart AG**

Waisenhausstrasse 15

9000 St.Gallen

Tel. 071 228 01 70 / Fax 071 228 01 71



## Inhalt

1.	Allgemeines.....	3
2.	Auswertung .....	4
2.1.	Ausgangslage .....	4
2.2.	Datenbereinigungen .....	6
2.2.1.	Messlücken .....	6
2.3.	Statistische Auswertung der Stationen .....	7
2.3.1.	Pluviographenmessungen der SMA.....	7
2.3.2.	Kantonale Stationen .....	8
2.3.3.	Lage der Stationen .....	8
2.4.	Räumliche Interpolation.....	9
2.4.1.	Allgemeines .....	9
2.5.	Wahl des Interpolationsverfahrens .....	10
2.5.1.	Distanz-basierte Interpolation (IDW) .....	11
2.5.2.	Kriging .....	11
2.5.3.	Spline .....	11
2.5.4.	Gegenüberstellung der Ausgleichsverfahren .....	12
3.	Ergebnisse .....	15
3.1.	Übersicht zu den Ergebnissen.....	15
3.2.	Hinweise zur Darstellung.....	15
3.3.	Stationsauswertungen.....	16
3.4.	Niederschlagsverteilung für Stationen mit $\geq 100$ Werten .....	16
3.5.	Niederschlagsverteilung für Stationen mit $\geq 40$ Werten .....	17
3.6.	Vergleich der beiden Karten .....	17
3.7.	Extrapolation auf Niederschläge kurzer Dauer .....	17
3.7.1.	Vorgehen und Ergebnisse .....	17
3.7.2.	Interpretation der Ergebnisse.....	25
3.8.	Wertung der Ergebnisse.....	26
3.8.1.	Veränderungen bei den Extremalverteilungen .....	26
3.8.2.	Gegenüberstellung der aktualisierten Werte und der WSL-Daten .....	27
3.8.3.	Extrapolationsbereiche in Jahren.....	36
4.	Literatur.....	37

## Verzeichnis der Tabellen

<b>Tabelle 1</b>	Fehlende Jahre in Messreihen nach Stationen und Messintervallen .....	6
<b>Tabelle 2</b>	Qualität der Extrapolation aus SMA-Tagestotalisatoren auf 1 Std. & 10 Min. ....	21
<b>Tabelle 3</b>	Qualität der Extrapolation aus kant. Tagesmessungen auf 1 Std. & 10 Min.....	24

## Verzeichnis der Abbildungen

<b>Abbildung 1</b>	Lage kantonaler Stationen .....	8
<b>Abbildung 2</b>	Differenzen zw. Karten- und Stationsdaten, WSL / HADES, 24 h, 100 Jahre.....	9
<b>Abbildung 3</b>	Interpolationsmethoden mit den Messwerten, Beispiel Kt. Schwyz, Teil 1 .....	13
<b>Abbildung 4</b>	Interpolationsmethoden mit den Messwerten, Beispiel Kt. Schwyz, Teil 2 .....	14
<b>Abbildung 5</b>	Chur: Extrapolation auf kurze Niederschlagsdauer .....	18
<b>Abbildung 6</b>	Glarus: Extrapolation auf kurze Niederschlagsdauer .....	18
<b>Abbildung 7</b>	Güttingen: Extrapolation auf kurze Niederschlagsdauer .....	18
<b>Abbildung 8</b>	Säntis: Extrapolation auf kurze Niederschlagsdauer .....	19
<b>Abbildung 9</b>	Schaffhausen: Extrapolation auf kurze Niederschlagsdauer .....	19
<b>Abbildung 10</b>	St. Gallen: Extrapolation auf kurze Niederschlagsdauer.....	19
<b>Abbildung 11</b>	Tänikon: Extrapolation auf kurze Niederschlagsdauer.....	20
<b>Abbildung 12</b>	Vaduz: Extrapolation auf kurze Niederschlagsdauer .....	20
<b>Abbildung 13</b>	Vergleich Vertrauensintervall bei ungleichem Wertumfang (Beispiel Säntis)	21
<b>Abbildung 14</b>	Eggersriet: Extrapolation auf kurze Niederschlagsdauer .....	22
<b>Abbildung 15</b>	Jona: Extrapolation auf kurze Niederschlagsdauer.....	23
<b>Abbildung 16</b>	Weesen: Extrapolation auf kurze Niederschlagsdauer .....	23
<b>Abbildung 17</b>	Weite: Extrapolation auf kurze Niederschlagsdauer .....	23
<b>Abbildung 18</b>	Widnau: Extrapolation auf kurze Niederschlagsdauer .....	24
<b>Abbildung 19</b>	Wil: Extrapolation auf kurze Niederschlagsdauer .....	24
<b>Abbildung 20</b>	Vergleich der Neuauswertung mit den Daten der WSL, 1h, 2.33 Jahre .....	28
<b>Abbildung 21</b>	Vergleich der Neuauswertung mit den Daten der WSL, 24h, 2.33 Jahre .....	28
<b>Abbildung 22</b>	Vergleich der Neuauswertung mit den Daten der WSL, 1h, 100 Jahre .....	30
<b>Abbildung 23</b>	Vergleich der Neuauswertung mit den Daten der WSL, 24h, 100 Jahre .....	31
<b>Abbildung 24</b>	Vergleich der 1-Stunden Niederschläge 2.33 Jahre .....	32
<b>Abbildung 25</b>	Vergleich der 24-Stunden Niederschläge 2.33 Jahre .....	33
<b>Abbildung 26</b>	Vergleich der 1-Stunden Niederschläge 100 Jahre .....	34
<b>Abbildung 27</b>	Vergleich der 24-Stunden Niederschläge 100 Jahre .....	35
<b>Abbildung 28</b>	Zulässige Extrapolation.....	36

## Stationsauswertungen

Inhalt der Register A bis XYZ zur Auffindung der Stationsauswertungen

## Karten

Beilage 1, Niederschlagsverteilung, Stationen mit mindestens 100 Werten

Beilage 2, Niederschlagsverteilung, Stationen mit mindestens 40 Werten

Beilage 3, Abweichung zwischen Interpolationen

## Daten

Daten-CD

# 1. Allgemeines

In der ganzen Schweiz werden Gefahrenkarten und Sicherungsmassnahmen gegen Hochwasser erstellt. Eine wesentliche Grösse zur Bestimmung der Gefährdung durch Hochwasserprozesse sind die Abflüsse und deren Eintretenswahrscheinlichkeiten. Von den diversen Methoden zur rechnerischen Schätzung von Abflüssen spielen die Niederschlags-Abflussmodelle eine tragende Rolle. Bei diesen Methoden sind die Niederschläge in Abhängigkeit der Jährlichkeit und der räumlichen Verteilung eine wesentliche Grösse.

Die WSL hat zwischen 1970 und 1992 mit der ersten umfassenden Auswertung der Niederschlagsmessstationen der Schweiz und des angrenzenden Auslandes [1] eine herausragende Grundlage für die Anwendung von Niederschlags-Abflussmodellen geschaffen. Die dafür verwendeten Messdaten stammen überwiegend aus dem Zeitraum von 1901 bis 1970. Damit werden heute Niederschlagsgrundlagen zur Bestimmung von Abflüssen verwendet, in welchen die letzten ca. 38 Jahre fehlen. Da die berücksichtigten Messreihen maximal 70 Jahre umfassen, ist der Anteil nicht berücksichtigter Daten erheblich. Der Datenmangel ist umso bedeutsamer, als seit 1987 in der Schweiz Niederschlagsereignisse eine Reihe grösserer Hochwasser auslösten. Die zur Hauptsache bisher berücksichtigten Niederschlagsdaten stammen aus einer Periode, welche atypisch wenig grosse Hochwasser aufweist [3].

Die vorliegende Aktualisierung der extremwertstatistischen Auswertung der Niederschläge wurde in Auftrag gegeben, da immer wieder Diskussionen zu den Abflüssen auftraten. Daher wurde entschieden, die Datengrundlage dort zu verbessern, wo dies mit vertretbarem Aufwand guten Erfolg versprach. Im Kanton St.Gallen weisen die Starkniederschläge über das Kantonsgebiet eine starke Streuung auf. Es war zu klären, ob sich dies mit längeren Messreihen so bestätigt. Es wurde immer wieder bezweifelt, dass die Extrapolation von Niederschlagsintensitäten auf kurze Dauern von deutlich unter einer Stunde zulässig sei, sofern die Grundlagen auf Tagesniederschlägen basieren. Die Zulässigkeit solcher Extrapolationen wurde hier speziell untersucht.

In den siebziger Jahren erforderte die Aufbereitung der Messwerte noch einen immensen Aufwand. In den letzten Jahren haben die SMA wie auch die Wetterdienste angrenzender Länder alte Messdaten digitalisiert. Die aufwändigen Arbeiten schliessen die Verifikation unsicherer Werte ein. Die Arbeiten sind immer noch im Gange und werden kurz- bis mittelfristig zu landesweit einheitlich vorliegenden, digitalen Messdaten führen. Damit waren die Grundvoraussetzungen jedoch wesentlich günstiger, um die Niederschlagsdaten mit vertretbarem Aufwand zu aktualisieren.

Für die Auswertungen wurden keine einheitlichen Auswerteperioden verwendet, sondern für jede Station die maximal mögliche. Damit wurde im Wesentlichen dasselbe Vorgehen gewählt wie seiner Zeit durch die WSL [1]. Ziel der Arbeit ist es, für jede der verfügbaren Stationen die hinsichtlich der Extremniederschläge beste Aussagekraft zu erreichen. Die Ergebnisse können nicht dazu dienen, Niederschlagsveränderungen zu untersuchen oder zu quantifizieren.

## 2. Auswertung

### 2.1. Ausgangslage

Die SMA betreibt landesweit unterschiedliche Typen von Messstationen. Für genauere Informationen wird zur SMA verwiesen. Es wurden Daten der NIME-Stationen, der SwissMetNet-Stationen und konventioneller Stationen verwendet. Grundsätzlich sind folgende Daten verfügbar:

#### **Daten der SMA, digital verfügbar**

Diese Daten wurden bei unseren Auswertungen mit der höchsten Priorität verwendet. Soweit die SMA-Daten digital verfügbar waren, wurden diese verwendet. Teils wurden die Daten auch ins 19. Jahrhundert zurück digital aufbereitet, so dass die Messreihen auch rückwärts gegenüber den Auswertungen der WSL verlängert werden konnten, längstens bis 1864.

#### **Daten durch die WSL im Rahmen ihres Projektes digital aufbereitet und verfügbar**

Die WSL hat bei der Auswertung der Messstationen [1] die Daten ebenfalls digital erfasst. Die Daten konnten teils bei der WSL bezogen werden, teils waren sie nicht mehr auffindbar.

#### **Durch die WSL [1] publizierte Rekordwerte**

Die Dokumentation der einzelnen Stationsauswertungen [1] umfasst auch eine Liste der Rekorde (erste zehn Ränge für die Niederschläge für einen, zwei und fünf Tage sowie einen und drei Monate und den Jahresniederschlag). Sofern für die betreffenden Messperioden die Messungen nicht vollständig in digitaler Form vorlagen (SMA oder WSL), wurden diese Rekordwerte von uns digital erfasst.

#### **Rechnerische Interpolation aus den Niederschlagsintensitätsdiagrammen der WSL [1]**

Das wichtigste Ergebnis der Dokumentation der einzelnen Stationsauswertungen durch die WSL [1] ist das jeweilige Niederschlagsintensitätsdiagramm. Es wurde aus den vollständig aufbereiteten Messdaten der WSL erstellt. Sofern die Daten durch die SMA noch nicht digital erfasst sind oder jene der WSL nicht mehr verfügbar waren, konnte die Reihe anhand der Niederschlagsintensitätsdiagramme rechnerisch ergänzt werden. Auf die rechnerische Interpolation wurde bei den 10-Tageswerten verzichtet, wenn die Werte der übrigen Messintervalle vollständig verfügbar waren.

#### **Kombinationen der Datenquellen**

Die Verfügbarkeit der Daten an den einzelnen Stationen ist verschieden. Die wesentlichen Kombinationen sind nachfolgend zusammengestellt.

	Daten der SMA, digital verfügbar
	Daten durch die WSL im Rahmen ihres Projektes [1] digital aufbereitet und verfügbar
	Durch die WSL [1] publizierte Rekordwerte
	Rechnerische Interpolation aus den Niederschlagsintensitätsdiagrammen der WSL [1]

Die nachfolgend in den schematischen Darstellungen angegebenen Jahreszahlen sind beliebige Beispiele.

Fall a)

1864	2008
------	------

Für die gesamte Messperiode stehen die Messdaten der SMA in digitaler Form zur Verfügung. Die Daten können ohne weitere Bereinigung vollständig übernommen werden.

Fall b)

	1961	2008
1901	1970	

In diesem Fall wurden die Daten der SMA vollständig übernommen und mit Daten der WSL ab 1960 rückwärts ergänzt. Damit wurden die Daten der WSL zwischen 1961 und 1970 nicht verwendet.

Fall c)

	1961	2008
1901	1970	
1901	1970	

Die Daten der SMA werden vollständig übernommen, ebenso die Rekorde der Periode von 1901 bis 1960. Die fehlenden Werte der Periode von 1901 bis 1960 werden aus dem Niederschlagsintensitätsdiagramm der WSL [1] bestimmt. Dabei werden Niederschlagswerte berechnet, welche zu einer Abfolge führen, die wiederum dasselbe Niederschlagsintensitätsdiagramm ergeben. Allerdings können die in die Reihe passenden Niederschlagswerte nicht den richtigen Jahren zugewiesen werden.

Fall d)

	1950	2008
	1950	1970

Zurzeit als die WSL [1] die Daten auswertete, war die Messperiode zu kurz, um berücksichtigt zu werden. In solchen Fällen war man bei der Aktualisierung der Daten darauf angewiesen, dass von der SMA die gesamte Messperiode digital vorliegt.

Fall e)

1901	1978
------	------

Bei der WSL [1] wurden Stationen berücksichtigt, welche heute nicht mehr in Betrieb sind. Da das Hauptziel der Arbeit die Aktualisierung und Verlängerung der Messreihen war, wurden solche Stationen nicht mehr berücksichtigt.

Fall f)

	2001	2008
--	------	------

Heute werden neue Stationen betrieben, welche früher noch nicht verfügbar waren. Sind die Messreihen sehr kurz (<10 Jahre), so wurde auf eine Auswertung verzichtet (z.B. Station Hörnli).

## 2.2. Datenbereinigungen

Die WSL hat verschiedentlich fehlende Messwerte durch Interpolationen ergänzt. In der Dokumentation der Auswertungen [1] sind die ungefähren Vorgehen genannt, jedoch nicht näher beschrieben. Die Daten wurden von der WSL unverändert übernommen.

Die WSL hat verschiedentlich durch aufwändige Abklärungen in den Grunddaten zwischen Regen und Regen plus Schnee unterschieden. Mit Rücksicht auf die Einheitlichkeit der Betrachtungen und die in den SMA-Daten nicht verfügbare Unterscheidung wurde hier ausschliesslich Regen plus Schnee berücksichtigt.

Die Daten wurden entweder von der WSL oder der SMA anhand der Originalaufzeichnungen, Erfahrungen mit den Betreuern der Stationen und Plausibilitätsprüfungen verifiziert und gegebenenfalls korrigiert. Wir selbst nahmen an den Daten keinerlei Korrekturen vor.

In diversen Messreihen der Stationen stellten wir fest, dass die WSL noch keine Werte aufweisen konnte (oder wollte) und die SMA unterdessen Daten aufführt. Dies betrifft sowohl kurze Lücken als auch längere Reihen vor 1901. Wir sind davon ausgegangen, dass die Daten der SMA ausreichend verifiziert und daher in Ordnung sind. Offensichtliche Fehler mit erheblichen Auswirkungen auf die Auswertung wären in den Darstellungen der Stationsergebnisse zu erkennen.

### 2.2.1. Messlücken

In den Stationsauswertungen ist lediglich aufgeführt, wie viele Messwerte fehlen. In der nachfolgenden Liste sind detaillierte Angaben zu fehlenden Messwerten zu finden.

**Tabelle 1** Fehlende Jahre in Messreihen nach Stationen und Messintervallen

Station	1-Tag	2-Tage	5-Tage	10-Tage
Achberg-Doberatsweiler	1915, 1916, 1945, 1946			
Arbon	1882			
Brand	1923 – 1925, 1928			
Bregenz	keine			alle
Ebnit	1918, 1940 – 1944			alle
Feldkirch-Gisingen	1900, 1912, 1918, 1921 – 1925, 1940 – 1945, 1953, 1980			
Innerlaterns	1940 – 1945			
Jona	1996 – 1997		1996 – 1998	
Lustenau	1940 – 1945			
Oberreute	1945 – 1946			
Radolfzell-Markelfingen	1997 – 2003			
Sargans	1887 – 1888		1864, 1887 – 1888	
Sigmarszell-Zeisertswei	1945 – 1946			
Vättis	2006			
Weingarten, Kr. Ravensburg	1945, 1987 – 1989			

Die Werte der 10-Tagesniederschläge wurden rechnerisch nie ergänzt. Bei früheren Analysen in anderen Gebieten deutete sich bereits an, dass dieses Messintervall für den Ausgleich im Niederschlagsintensitätsdiagramm keine Bedeutung haben wird. Dies wird durch die Abklärungen der WSL [1] bestätigt (siehe auch Kapitel 2.3).

## **2.3. Statistische Auswertung der Stationen**

Für die Auswertung der Stationen haben wir uns bezüglich des Vorgehens nach dem Vorbild der WSL [1] gerichtet. Die theoretischen Grundlagen sind im Band 7 ausführlich dargelegt.

Die rechnerische Ergänzung der Daten (vgl. 2.1, Fall c)) sowie die gesamten statistischen Auswertungen inkl. der Darstellung der Stationsauswertungen wurden vollständig ausprogrammiert. Damit kann gewährleistet werden, dass die einzelnen Auswertungen identisch ausfallen.

Die WSL [1] hat die Niederschlagsintensitätsdiagramme bis zu den Jahresniederschlägen erstellt. Der für die Hochwasserabschätzung praktische Nutzen der Extremwertstatistik beschränkt sich auf Niederschlagsdauern von maximal wenigen Tagen. Diese Einschränkung weist zusätzlich den Vorteil auf, dass das Niederschlagsintensitätsdiagramm auf rein rechnerischem Weg erstellt werden kann. Die umfassenden Abklärungen der WSL [1] ergaben, dass die Intensitäten für Dauern von weniger als 5 Tagen im doppelt logarithmischen Massstab auf einer Geraden liegen. Vereinzelt gilt dies bis zu einer Dauer gegen 10 Tage. Daher sind die Werte für 10-Tagesniederschläge in den Diagrammen ebenfalls angegeben. Wenn der 10-Tagesniederschlag zu einer Verbesserung der Annäherung führt, dann wird die Ausgleichskurve entsprechend verlängert. Meistens liegt der 10-Tagesniederschlag bereits in der leichten Krümmung nach oben und damit unter der Geraden im doppelt logarithmischen Massstab. In diesen Fällen wird zwar der 10-Tagesniederschlag dargestellt, jedoch die Gerade nicht bis zu diesem Punkt verlängert. In den Auswertungen für den Kanton St.Gallen wurde der 10-Tageswert letztlich nie berücksichtigt.

Die WSL [1] verwendete die 10-Tagesniederschläge nicht. Daher sind die Rekorde für die 10-Tages Niederschläge in der Dokumentation der Stationsauswertungen nicht enthalten. Die Vollständigkeit der Rekorde könnte nicht in allen Fällen für die gesamte, ausgewertete Periode gewährleistet werden.

### **2.3.1. Pluviographenmessungen der SMA**

Neben der Nachführung der Niederschlagsintensitätsdiagramme war auch speziell von Interesse, ob die Extrapolation von Tagesniederschlägen auf wesentlich kürzere Niederschlagsereignisse von einer Stunde und darunter zulässig ist. Die Extrapolationen auf Dauern von bis zu 10 Minuten sind seit längerer Zeit umstritten.

Um diese Frage zu klären, wurden Pluviographenmessungen der Stationen im Untersuchungsgebiet bis zu einer Auflösung von 10 Minuten gesondert ausgewertet. Bei der SMA betraf dies die Stationen: Chur, Glarus, Güttingen, Säntis, Schaffhausen, St.Gallen, Tänikon und Vaduz.

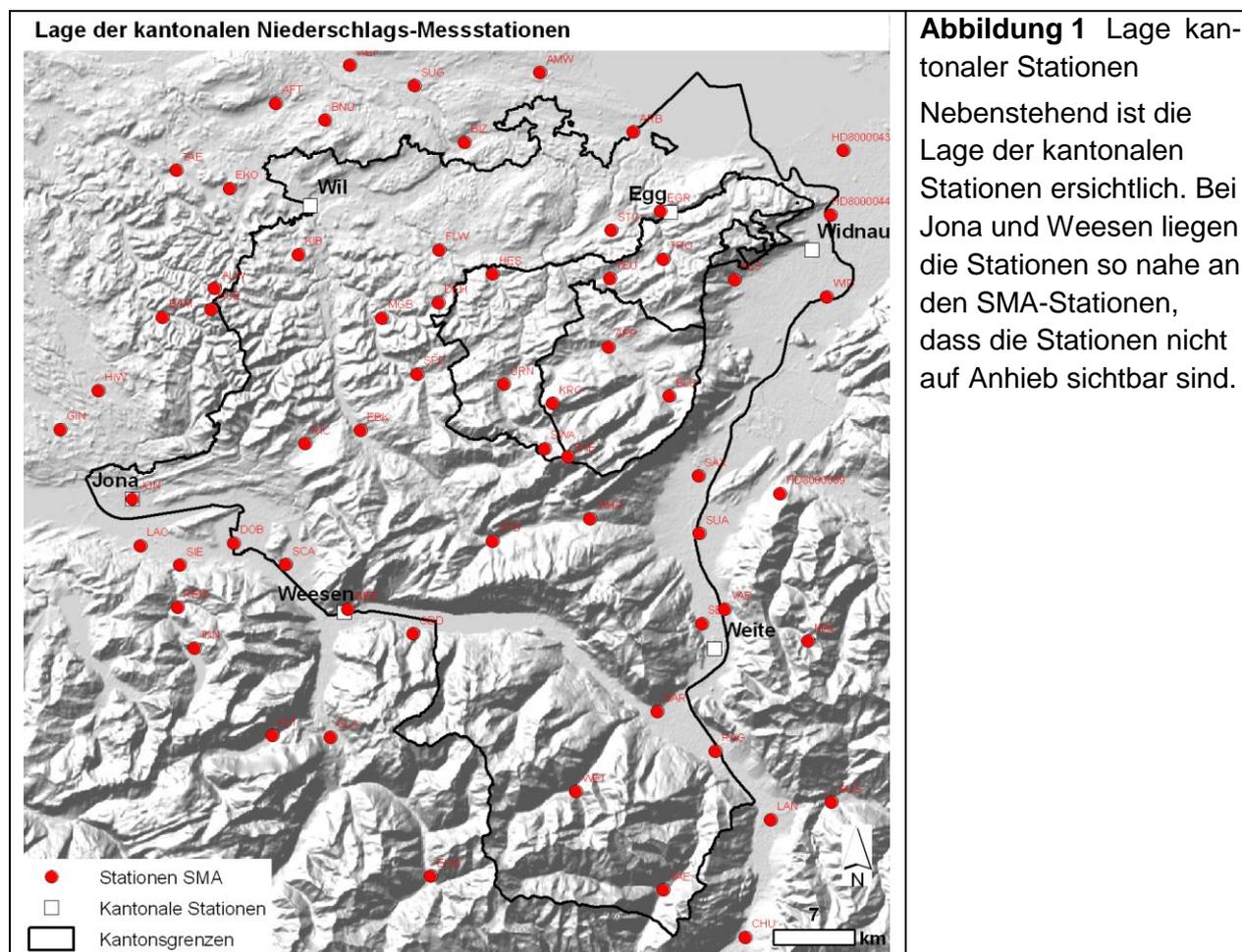
Mit Ausnahme von Schaffhausen sind diese Stationen mit längeren Messreihen ab Messbeginn auch in den ordentlichen Auswertungen berücksichtigt. Um bei den Ergebnissen zu den Stationsauswertungen Verwechslungen zu vermeiden, sind die kurzen Reihen von durchgehend 28 Jahren auf der Titelseite mit der Präzisierung „Pluviograph“ gekennzeichnet.

### 2.3.2. Kantonale Stationen

Der Kanton betreibt eigene Messstationen mittels hochauflösender Pluviographen. Die Stationen liegen in Eggersriet, Jona, Weesen, Weite, Widnau und Wil. Obwohl die Auflösung bis zu 1 Minute resp. 5 Minuten reicht, wurden wie bei den Pluviographen der SMA die Niederschläge von 10 Minuten und 1 Stunde Dauer neben den Tagesniederschlägen berücksichtigt.

Aufgrund der verwendeten Daten können die Aussagen zur Extrapolation auf kurze Niederschlagsdauern dadurch breiter abgestützt werden. Für die Hauptverwendung, die Auswertung brauchbarer Stationen als Grundlage für die Abflussermittlung, sind die Messreihen der kantonalen Stationen deutlich zu kurz und daher in Kartenwerken nirgends berücksichtigt worden.

### 2.3.3. Lage der Stationen

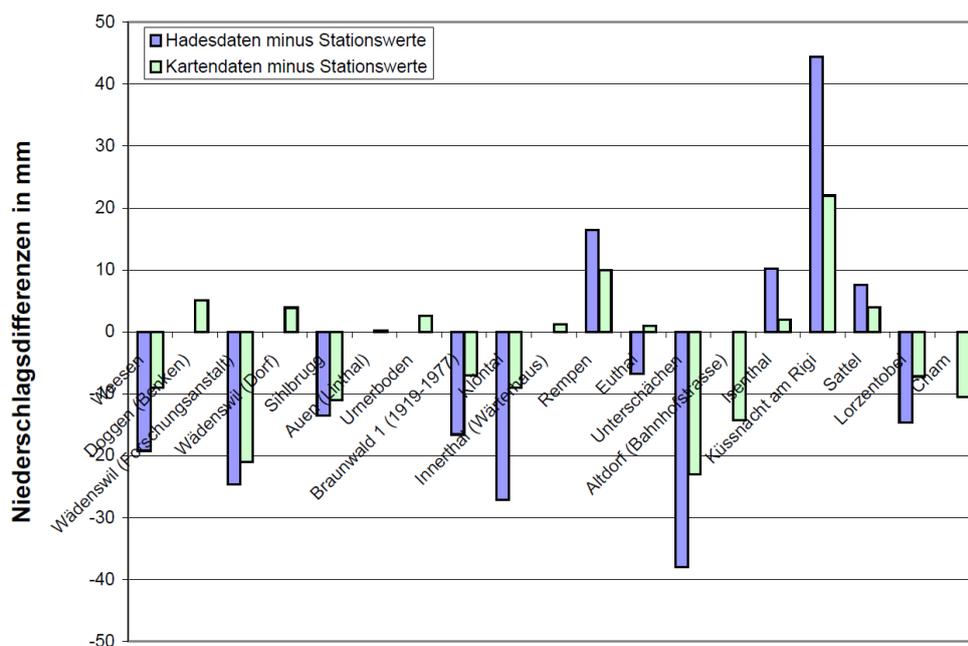


## 2.4. Räumliche Interpolation

### 2.4.1. Allgemeines

Die Ergebnisse in HADES, Tafeln 2.4 und 2.4<sup>2</sup>, zeigen deutlich, dass bezüglich der geeigneten räumlichen Interpolation sehr unterschiedliche Vorstellungen bestehen. Betreffend die Begründungen für die jeweils gewählten Verfahren wird auf den HADES [2] verwiesen.

**Abbildung 2** Differenzen zw. Karten- und Stationsdaten, WSL / HADES, 24 h, 100 Jahre



Die Suche nach dem geeigneten Verfahren erfolgte anhand der Daten des Kantons Schwyz. Diese Abklärungen haben ergeben, dass die Abweichungen der Niederschlagswerte an den Stationsstandorten zwischen den jeweiligen Stationsauswertungen und den Kartenergebnissen teils erheblich waren (vgl. Abbildung 2). Ebenfalls weichen die Kartendaten von den digitalen Werten gemäss HADES [2] voneinander ab. Aufgrund der nun deutlich längeren Messperioden schien es uns lohnend, ein Interpolationsverfahren zu wählen, welches die Werte an den Stationsorten unverändert übernimmt. Statt die ausgewerteten Daten räumlich zu glätten, wählten wir für die Kartendarstellungen Stationen mit kürzeren und längeren Messreihen.

Zusammen mit räumlichen Extrapolation stellte sich auch die Frage der zulässigen Extrapolation auf die Jährlichkeit der Niederschläge. Explizite Aussagen zur Bestimmung der zulässigen Extrapolation lieferten weder die umfassende Dokumentation der WSL [1] noch das deutsche Regelwerk [4] zur Starkregenauswertung. Die WSL [1] legte grundsätzlich 40 Messwerte als notwendiges Minimum fest. Die Hauptverwendung zielte auf den 100-jährlichen Niederschlag ab, der zur Bestimmung von Abflüssen derselben Häufigkeit verwendet wird und im Wasserbau eine herausragende Stellung einnimmt. Im deutschen Merkblatt zur statistischen Analyse von Hochwasserabflüssen [5] wird hingegen explizit empfohlen, den Extrapolationsbereich nicht über das 3- bis 4-fache der Messreihenlänge auszudehnen. Aus diesen Hinweisen legten wir für diese Arbeit fest, das zweieinhalb Fache der Messreihenlänge als „zulässige“ Extrapolationsdauer festzulegen.

Ein Kartenwerk berücksichtigt Stationen mit mindestens 40 Messwerten, das andere solche mit mindestens 100 Messwerten. Dadurch ergeben sich unterschiedliche, zulässige Extrapolationsbereiche. Da heutzutage die Jährlichkeiten bis 300 von Bedeutung sind, schien uns dieses Vorgehen geeignet. Die Kartendarstellung mit den kürzeren Messreihen ermöglicht einzuschätzen, ob relevante Abweichungen zu erwarten sind. Um diese Beurteilung zu erleichtern, wurde eine dritte Karte erstellt, welche den Vergleich zwischen den unterschiedlichen Datenbasen erleichtert.

### **Stationen mit mindestens 40 Messwerten**

Diese Auswahl entspricht den von der WSL gewählten Kriterien. Die Grenze von 40 Messwerten ist mit der häufigsten Anwendung zur Bestimmung von 100-jährlichen Niederschlägen resp. Abflüssen begründet. Für eine 40-jährige Messreihe ist die Extrapolation bis zu 100 Jahren zulässig.

### **Stationen mit mindestens 100 Messwerten**

Die zweite Auswahl beschränkt die berücksichtigten Stationen auf solche mit mindestens 100 Messwerten. Die Wahl dieser Grenze hat zwei Hauptgründe:

- Die zulässige Extrapolation erreicht mindestens 250 Jahre.
- Sehr viele Stationen weisen bis 2008 eine Messreihenlänge von 108 Jahren auf. Wäre die Grenze auf 120 Messwerte erhöht worden, um die Extrapolationsgrenze auf genau 300 Jahre zu erhöhen, so wären zu viele sehr gute Stationen weggefallen.

Die Auswahl an Stationen ist namentlich geeignet, sehr seltene Niederschläge zuverlässiger zu bestimmen. Die Interpolation aufgrund der Stationen mit langen Messreihen ist statistisch besser abgesichert.

## **2.5. Wahl des Interpolationsverfahrens**

Die Ergebnisse der nachfolgend genannten Interpolationsverfahren wurden mit den Ergebnissen der WSL optisch verglichen. Dazu wurden die digitalen Daten aus dem HADES verwendet. Insgesamt ergab das Spline-Verfahren die überzeugendsten Ergebnisse.

Innerhalb der Software ArcGIS 9.3 (Spatial Analyst Erweiterung) stehen mehrere Interpolationsverfahren zur Verfügung. Diese sind

- IDW (aus dem Englischen: „inverse distance weighted interpolation“)
- Spline
- Kriging

Eine genaue Beschreibung der jeweiligen Algorithmen ist hier nicht möglich, es bestehen jedoch zahlreiche Verweise in der Fachliteratur zu diesem Thema. Kurz zusammengefasst zeigen die Funktionen folgende Unterschiede:

Von den getesteten Interpolationsverfahren berücksichtigt keines die topographischen Verhältnisse. Auch die in HADES [2] angewandten Methoden stützen sich einzig auf statistische Kenngrößen und die räumliche Lage der Stationen, jedoch nicht auf die Höhenlage oder umgebende Topographie. Da die Interpolation Punktniederschläge betrifft sind auch alle Interpolationsergebnisse als Punktniederschläge zu verstehen.

Bei der **IDW Methode** wird vom Interpolationspunkt aus eine bestimmte Zahl von Messpunkten ausgewählt. Die Gewichtung der Messpunkte erfolgt einzig aus dem geographischen Abstand. Je näher der Messpunkt, desto stärker die Gewichtung.

Bei der **Spline Funktion** werden die Messpunkte als eine Art Nagelbrett angesehen, auf die eine biegsame Oberfläche aufgesetzt wird. Dabei kann gewählt werden, ob sich die Oberfläche eher steif oder eher biegsam verhalten soll, d.h., ob an den Messpunkten steile oder flache Übergänge verwendet werden.

Das **Kriging Verfahren** hat ausser dem des geographischen Abstands noch mehr Möglichkeiten, die Messpunkte für einen Interpolationspunkt zu gewichten und auszugleichen. Dabei werden die Messpunkte gruppiert, in ein Variogramm eingetragen und mit einer mathematischen Funktion ausgeglichen (Exponential-, sphärisch-, zirkular- oder Gauss-). Der Hydrologische Atlas der Schweiz [2] beruht auf einem sehr speziellen Kriging Verfahren. Dieses konnte jedoch in der Software ArcGIS nicht exakt umgesetzt werden. Die Umsetzung wurde auch dadurch verunmöglicht, dass in der Karte händische Anpassungen erfolgten.

Da sich die einzelnen Methoden stark unterscheiden, wurde zunächst ein Datensatz ausgewählt (100-jährige Niederschläge innerhalb 24 Stunden, Region Kanton Schwyz), mit verschiedenen Methoden und Parametern interpoliert und mit den Daten aus dem Hydrologischen Atlas verglichen. Die Ergebnisse des Vergleichs werden in den folgenden Abschnitten kurz zusammengefasst. Die Darstellung der Ausgleiche sind in Abbildung 3 und Abbildung 4 zu finden.

### 2.5.1. Distanz-basierte Interpolation (IDW)

Wie zu erwarten war, bilden sich bei der Interpolation mit IDW rund um die Messpunkte auffällig konzentrische Kreise (Abbildung 3-C). Die Methode ist für unsere Daten nicht geeignet, da solch extreme lokale Spitzenwerte in der Niederschlagsverteilung nicht der Natur entsprechen.

### 2.5.2. Kriging

Für ein solides Kriging Verfahren ist die Zahl der vorhandenen Punkte zu gering. Die Stärke von Kriging liegt darin, eine grosse Menge von Messpunkten auswerten und ausgleichen zu können. Bei den Versuchen traten je nach mathematischer Funktion und Parametern im Ergebnis so grosse Unterschiede auf, dass eine Wahl der „richtigen“ Funktion nicht möglich war (Abbildung 4-E bis Abbildung 4-G). Die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse ist nicht gewährleistet.

### 2.5.3. Spline

Für die vorhandenen Messstationen zeigte die Spline Funktion die besten Ergebnisse (Abbildung 3-D). Die Funktion hat zwei wesentliche Vorteile. Zum einen bleibt der Wert an der

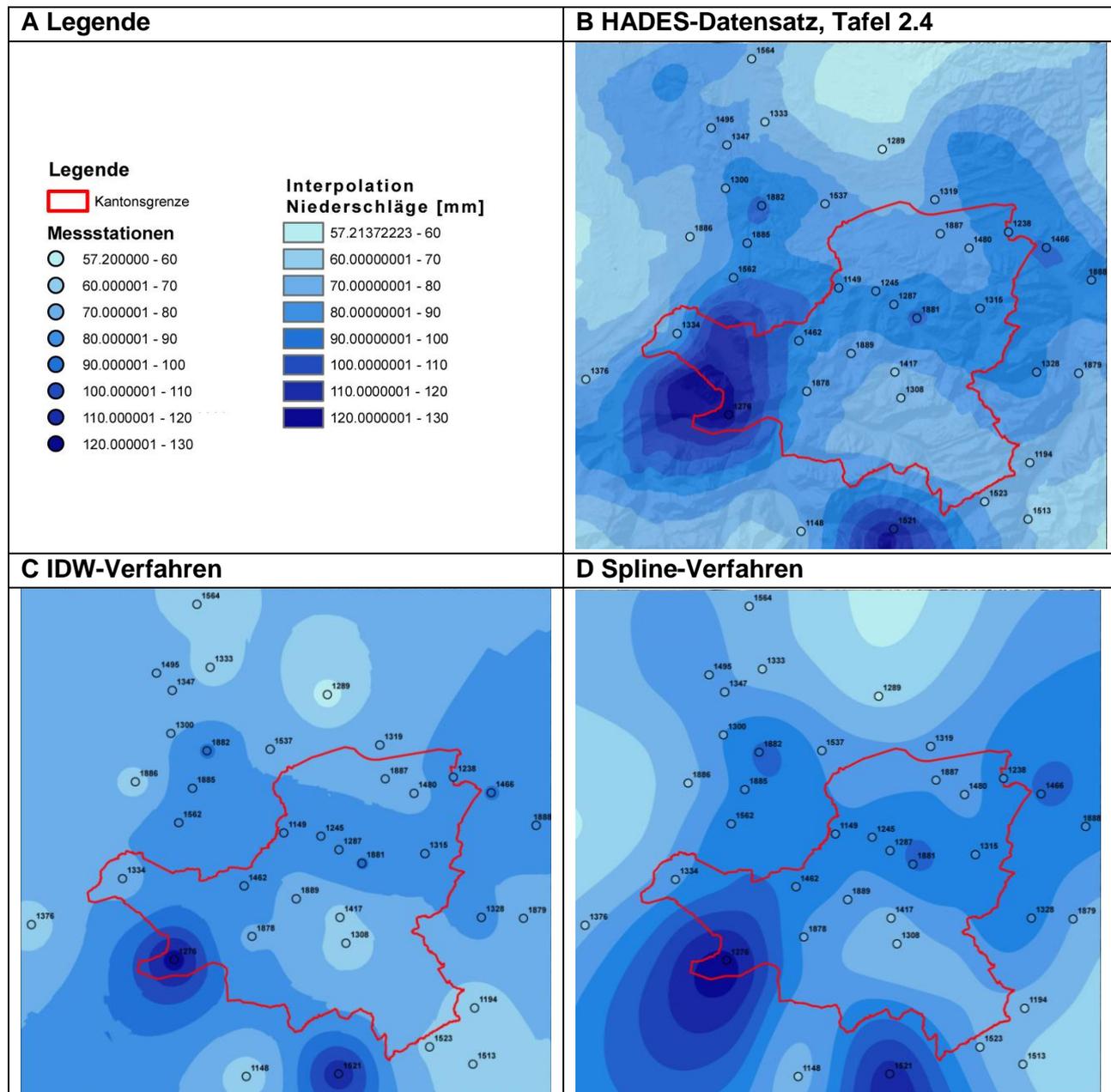
Messstation erhalten (die maximale Abweichung von 0.1mm entspricht der Genauigkeit der verwendeten Zahlenwerte). Zum anderen werden die Isolinien (in diesem Fall die Isohyeten) möglichst rund zwischen die Messpunkte gelegt. Dies bildet die natürliche Situation am ehesten ab und ist intuitiv gut nachvollziehbar.

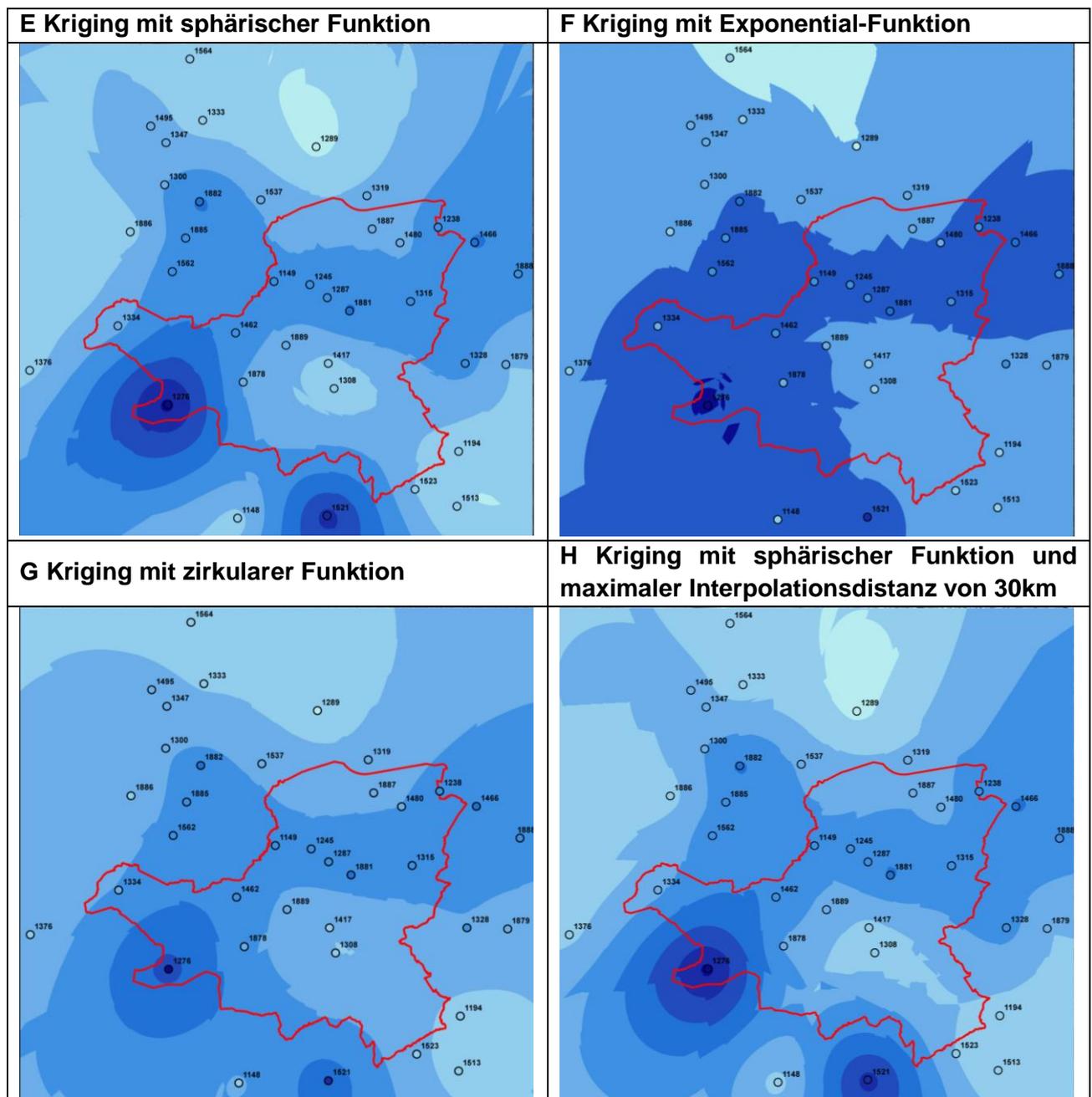
Die Bild Darstellungen der Interpolationsmethoden sind auf den folgenden Seiten aufgeführt. Sie beziehen sich auf das Datenbeispiel mit den Messwerten für 100-jährliche 24-Stundenniederschläge.

#### **2.5.4. Gegenüberstellung der Ausgleichsverfahren**

Die Ergebnisse der verschiedenen Verfahren folgen nachfolgend. Die Darstellung unter B ist aus den digitalen Daten des HADES [2] erstellt.

**Abbildung 3** Interpolationsmethoden mit den Messwerten, Beispiel Kt. Schwyz, Teil 1



**Abbildung 4** Interpolationsmethoden mit den Messwerten, Beispiel Kt. Schwyz, Teil 2

## 3. Ergebnisse

### 3.1. Übersicht zu den Ergebnissen

Die wichtigsten Ergebnisse sind:

- Auswertung der Stationen in den Kantonen St. Gallen sowie den angrenzenden Kantonen Appenzell I.Rh., Appenzell A.Rh., Graubünden, Glarus, Schwyz, Zürich, Thurgau (Schaffhausen) plus dem angrenzenden Ausland Deutschland, Österreich und Liechtenstein.
- Räumliche Interpolation der Stationswerte für Messstationen mit mindestens 40 Messwerten resp. mindestens 100 Messwerten. Es werden je vier Karten im Massstab 1 : 300'000 ausgegeben, welche die Niederschläge der Jährlichkeiten 2.33 und 100 für die Dauer von je 1 und 24 Stunden in der räumlichen Verteilung aufzeigen.
- Darstellung der verwendeten Messstationen und der zulässigen Interpolation in Jahren je in einer kleinmassstäblichen Übersichtskarte.
- Darstellung der Unterschiede zwischen den Ergebnissen aus der Interpolation mit mindestens 40 resp. mindestens 100 Jahren.
- Alle Kartenergebnisse liegen auch als Raster in einer Auflösung von 100 m vor.
- Alle Karten und Stationsauswertungen werden auf der beiliegenden Daten-CD als PDF abgegeben.

### 3.2. Hinweise zur Darstellung

Sowohl die Karten wie die Stationsauswertungen sind in Anlehnung an die Arbeiten der WSL [1] konzipiert worden. Einige Änderungen wurden aus der eigenen Erfahrung bei der Arbeit mit den bisherigen Unterlagen vorgenommen. Dazu gehören insbesondere:

- In den Kartendarstellungen ist immer ersichtlich, welche Stationen berücksichtigt wurden und welche nicht.
- Die wesentlichen Stationsergebnisse sind auf den Karten immer angegeben. Dies gilt auch für Stationen, die in einer räumlichen Interpolation nicht berücksichtigt wurden.
- Die zulässige Extrapolation in Jahren ist in Übersichtskarten angegeben.
- In den Stationsauswertungen sind alle relevanten Werte zu den vier massgebenden Extremwerten angegeben: jene der ursprünglichen WSL-Auswertung [1] (sofern solche vorhanden waren) sowie für die aktualisierten Auswertungen je für die 1. und die 2. Extremalverteilung. Das mühsame Herauslesen aus den graphischen Darstellungen entfällt.
- Bei den Niederschlagsintensitätsdiagrammen ist immer angegeben, nach welcher Extremalverteilung sie ermittelt wurden.
- Die Frequenzanalysen sind für alle verwendeten Messreihen und immer für die 1. und die 2. Extremalverteilung ausgegeben.
- Bei Pluviographenmessungen wurden auch Messreihen für 10 Minuten und 1 Stunde berücksichtigt. Deswegen weisen solche Stationen je 6 Frequenzanalysen für die 1. und 2. Extremalverteilung auf.
- Bei einzelnen Stationen wurden die Messreihen für 10-Tagesniederschläge nicht geliefert, weshalb dort die entsprechenden Frequenzanalysen fehlen.
- Zur statistischen Auswertung der Daten werden alle relevanten Kennzahlen für die einzelnen Messreihen vollständig offen gelegt. Dadurch werden die Ergebnisse für Fachleute nachvollziehbar.

- Die Darstellung der Abweichungen zwischen den Ergebnissen der Interpolationen aus Stationen mit mindestens 40 resp. mindestens 100 Messwerten erlaubt es Fachleuten, die für die jeweilige Fragestellung am besten geeignete Grundlage für ein bestimmtes Gebiet zu bestimmen.

### 3.3. Stationsauswertungen

In den Unterlagen sind sämtliche Stationsauswertungen vollständig wiedergegeben, die im Rahmen der Arbeiten verwendet wurden. Dadurch stehen auch Ergebnisse aus beiden Appenzell, Graubünden, Glarus, Schwyz, Zürich, Thurgau und Schaffhausen sowie angrenzenden Gebieten in Deutschland, Österreich und Liechtenstein zur Verfügung.

Bei den Niederschlagsintensitätsdiagrammen werden die 10-Tagesniederschläge nur dann in die Ausgleichsgerade einbezogen, wenn der Wert ideal passt. Die Länge der Geraden zeigt auf, innerhalb welchen Niederschlagsdauern eine Anwendung mittels rechnerischer Interpolationen zulässig ist (vgl. dazu auch 2.3 ). Die 10-Tagesniederschläge waren in der vorliegenden Untersuchung bei keiner Station von Bedeutung und wurde zur Konstruktion der Niederschlagsintensitätsgeraden nirgends verwendet. Die Werte werden zur Illustration als Einzelpunkt angegeben. Zur Bestimmung der Niederschlagsintensitäten beliebiger Dauer und Jährlichkeit gelten nach wie vor die theoretischen Grundlagen gemäss WSL [1], Band 7.

Es gibt nur eine Station im Untersuchungsgebiet, welche aufgrund der kurzen Messreihe nicht ausgewertet werden konnte (Hörnli). Die Stationen mit mindestens 10 Messwerten bis maximal 39 Messwerten sind alle ausgewertet worden und liegen der Dokumentation bei. Diese Stationen wurden jedoch in der räumlichen Interpolation nicht berücksichtigt. Neben den Stationen der SMA wurden die Stationen des Kantons St. Gallen ebenfalls ausgewertet. Aufgrund der kurzen Messreihen konnten sie in der räumlichen Interpolation nicht verwendet werden. Hingegen liefern die sechs Stationen weitere Hinweise zur Extrapolation von Niederschlägen kurzer Dauer.

### 3.4. Niederschlagsverteilung für Stationen mit $\geq 100$ Werten

Die Werte können für Extrapolationen bis mindestens 250 Jahren angewandt werden. Die Verteilung der zulässigen Extrapolation im Raum ist aus der Übersichtskarte ersichtlich, welche in der Beilage 1 abgedruckt ist. Der Anwendungsbereich hinsichtlich zulässiger Jährlichkeiten ist relativ eng und dadurch übersichtlich.

### 3.5. Niederschlagsverteilung für Stationen mit $\geq 40$ Werten

Die Werte können für Extrapolationen bis mindestens 100 Jahre angewandt werden. Die Verteilung der zulässigen Extrapolation im Raum ist aus der Übersichtskarte ersichtlich, welche in der Beilage 2 abgedruckt ist. Den Stationen mit mindestens 100 Messwerten werden für die räumliche Interpolation jene mit mindestens 40 Messwerten beigelegt. Dadurch wird der Anwendungsbereich hinsichtlich zulässiger Jährlichkeiten relativ weit und erfordert mehr Aufmerksamkeit für die korrekte Anwendung.

### 3.6. Vergleich der beiden Karten

Insgesamt sind die Niederschlagswerte im Gesamtergebnis für Stationen mit mindestens 100 Werten homogener als für die Auswahl mit mindestens 40 Messwerten. Dies gilt auch für die Verteilung der zulässigen Extrapolationsbereiche.

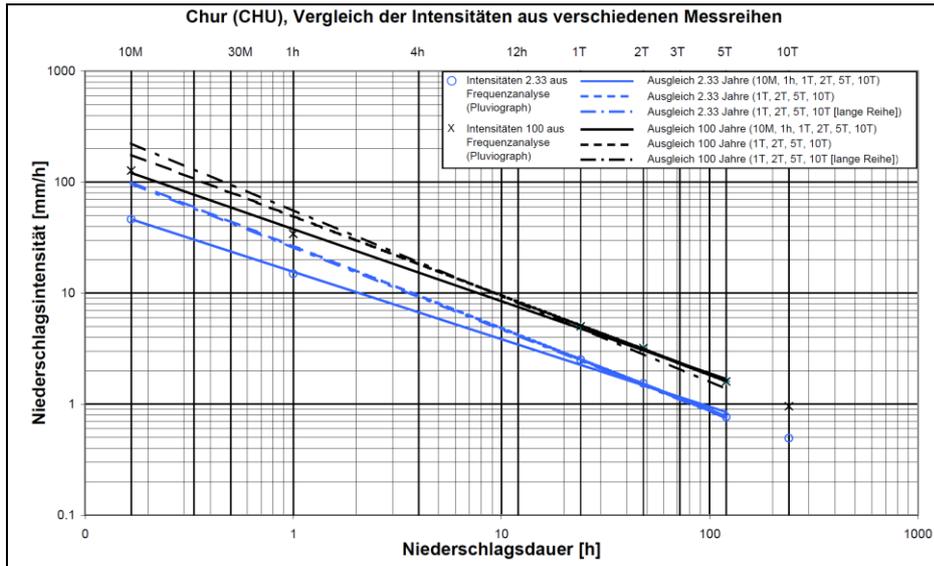
Die Karte gemäss Beilage 3 zeigt auf, wie die Werte der beiden Karten voneinander abweichen. Die Karte erleichtert es, Bereiche und Ausmass von Abweichungen in die eine oder andere Richtung zu erkennen und die Werte je nach Anwendung zu wählen oder allenfalls zu kombinieren, z.B. als Maximum aus beiden Karten.

### 3.7. Extrapolation auf Niederschläge kurzer Dauer

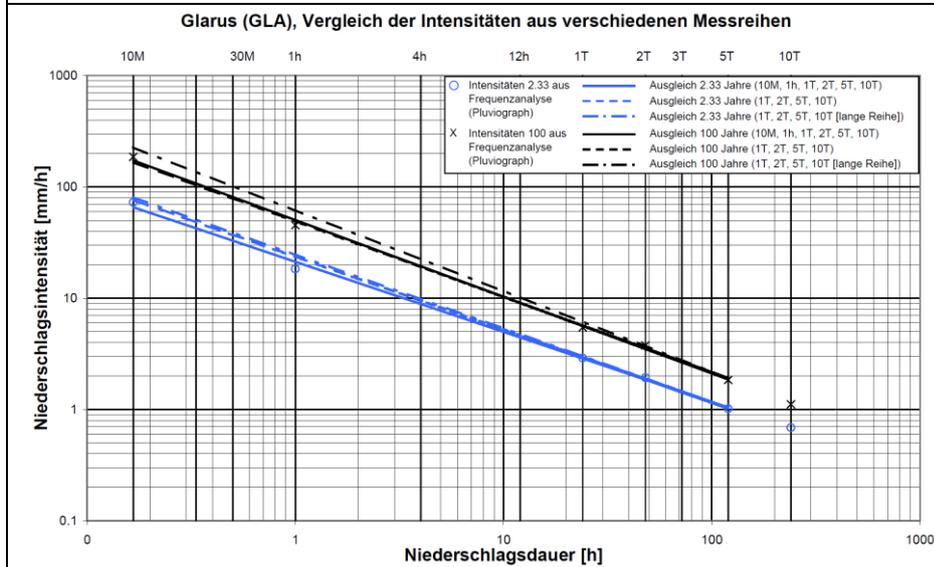
#### 3.7.1. Vorgehen und Ergebnisse

Es wird geprüft, ob Extrapolationen auf Niederschläge kurzer Dauer zulässig sind, sofern die Niederschlagsintensitätsdiagramme aus Messungen erstellt werden, die auf Tagesmessungen aufbauen. Mit der Auswertung von Pluviographenmessungen der SMA an den Stationen Chur, Glarus, Güttingen, Säntis, Schaffhausen, St.Gallen, Tänikon und Vaduz sowie den hochauflösenden Pluviographenmessungen des Kantons St. Gallen an den Stationen Eggersriet, Jona, Weesen, Weite, Widnau und Wil wurden die Abklärungen vorgenommen. Die Messreihen der SMA betragen 28 Jahre, jene des Kantons erfassen 10 bis 15 Jahren.

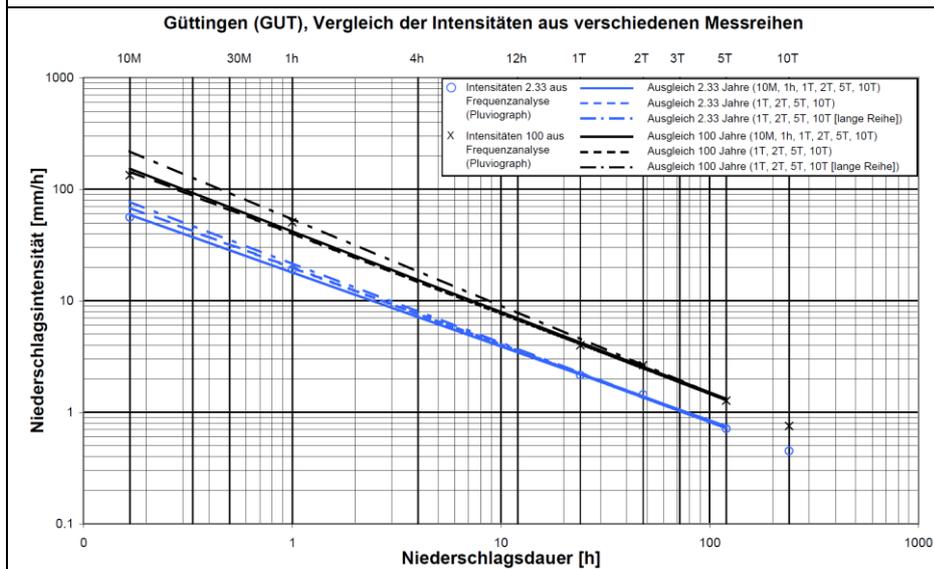
In den folgenden Abbildungen ist jeweils ein Ausgleich eingetragen, welcher nur die Werte aus den Frequenzanalysen der Niederschläge für 1, 2 und 5 Tage ausgleicht. Der zweite Ausgleich schliesst zusätzlich die Werte aus den Frequenzanalysen für die Niederschläge von 10 Minuten und 1 Stunde Dauer mit ein. Anhand der Abweichung der beiden Ausgleiche kann beurteilt werden, wie gut die Extrapolation der Messungen der Tagestotalisatoren die Pluviographenmessungen annähert. Vereinzelt weichen die Ausgleiche deutlich voneinander ab. Um diese Abweichungen besser einzuordnen, wurde an Stationen, bei welchen lange Messreihen (aus Tagestotalisatoren) vorliegen, auch diese Werte in die Grafik eingetragen.



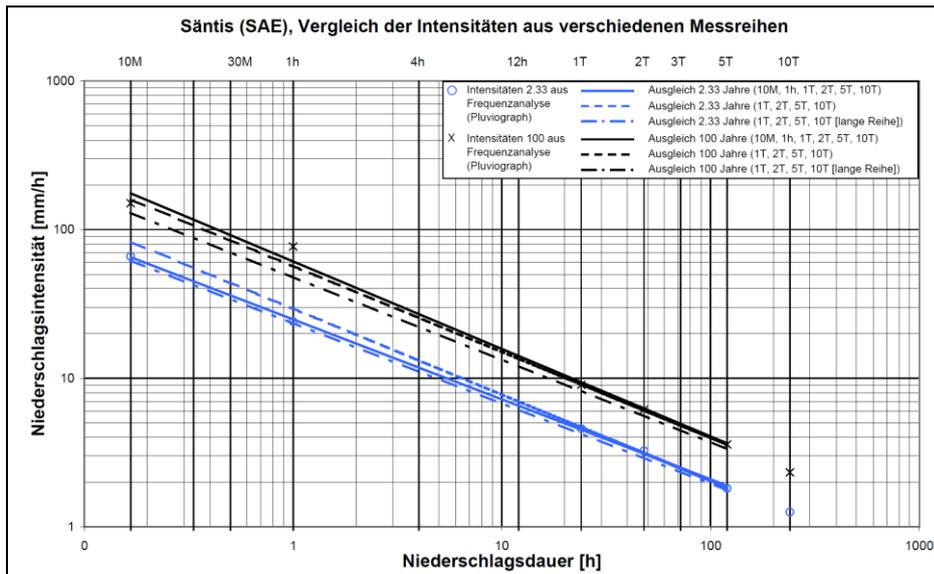
**Abbildung 5** Chur:  
Extrapolation auf kurze Niederschlagsdauer  
1981 - 2008



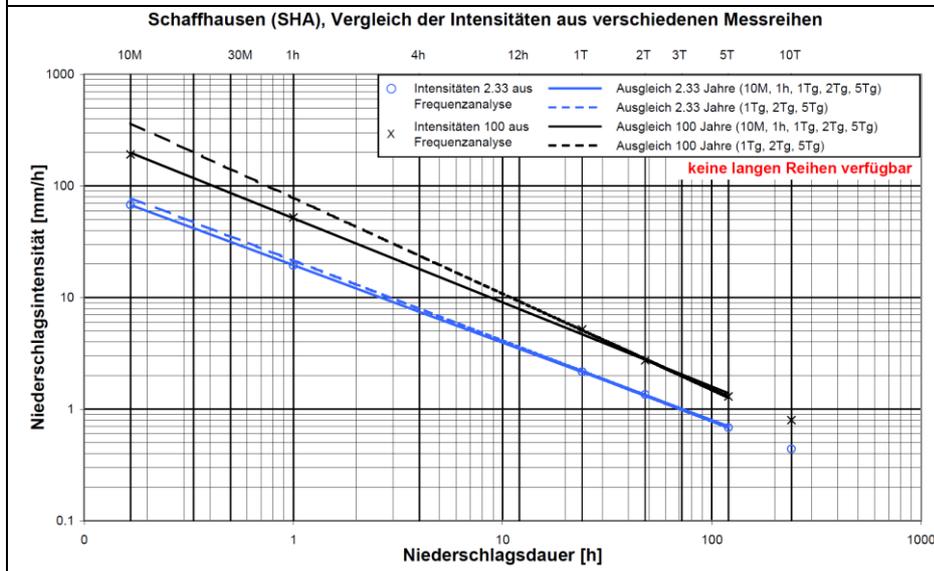
**Abbildung 6** Glarus:  
Extrapolation auf kurze Niederschlagsdauer  
1981 - 2008



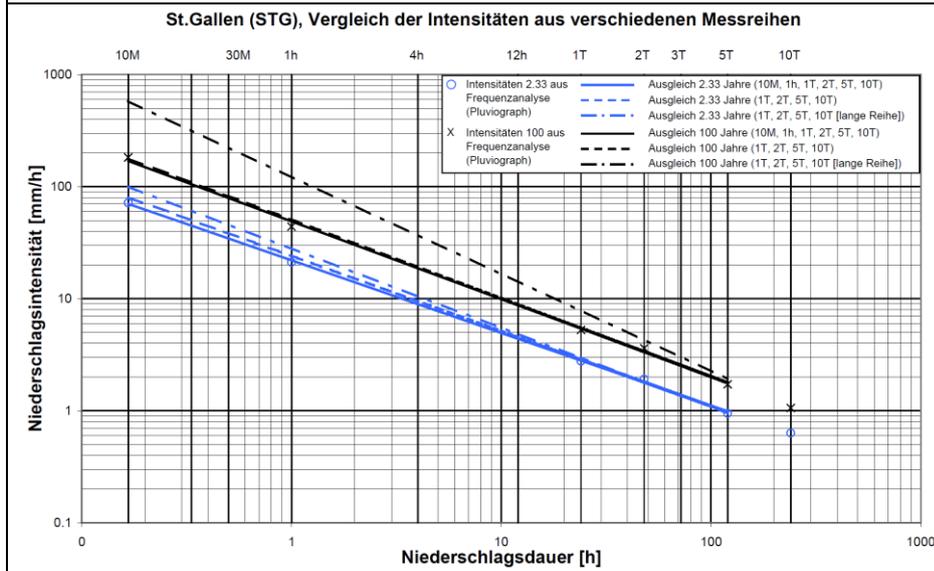
**Abbildung 7** Güttingen:  
Extrapolation auf kurze Niederschlagsdauer  
1981 - 2008



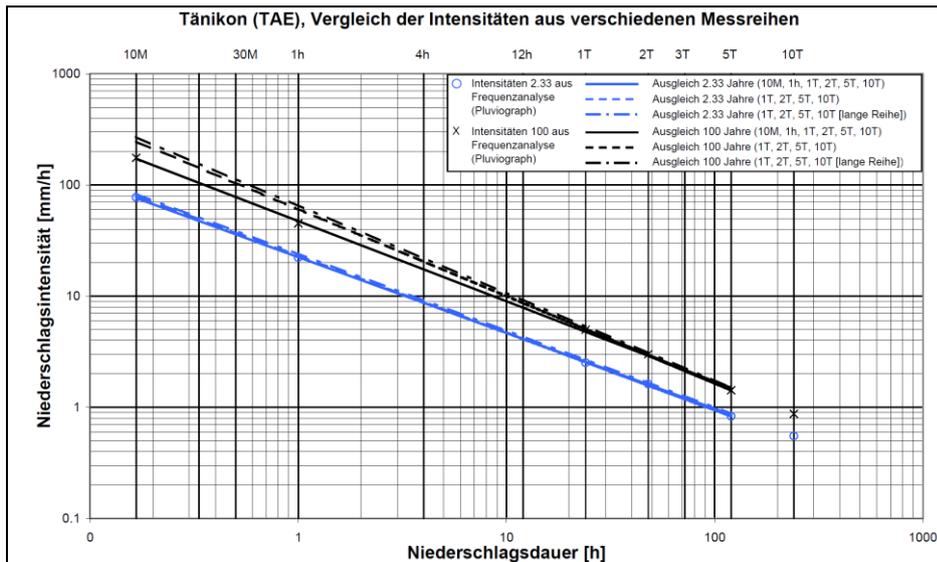
**Abbildung 8** Sántis: Extrapolation auf kurze Niederschlagsdauer  
1981 - 2008



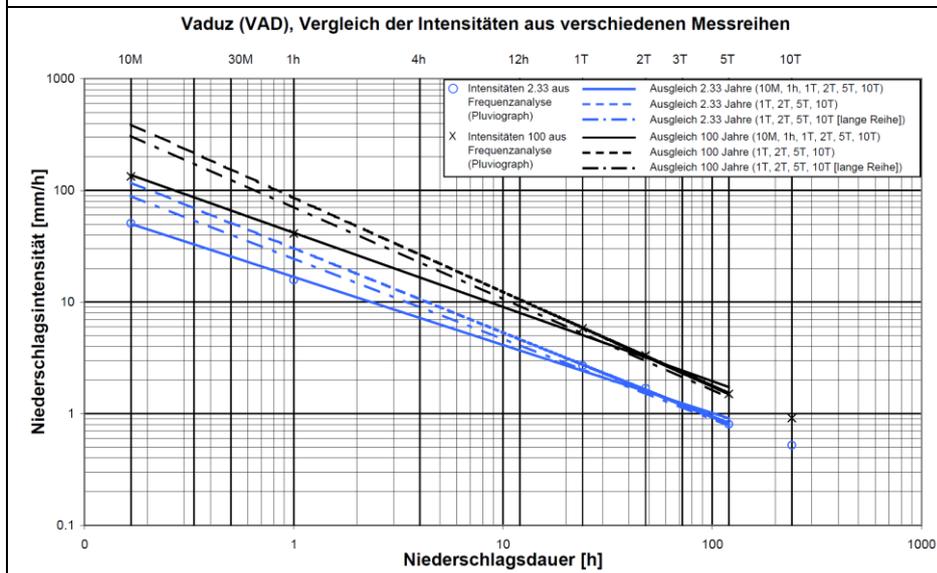
**Abbildung 9** Schaffhausen: Extrapolation auf kurze Niederschlagsdauer  
1981 - 2008



**Abbildung 10** St. Gallen: Extrapolation auf kurze Niederschlagsdauer  
1981 - 2008

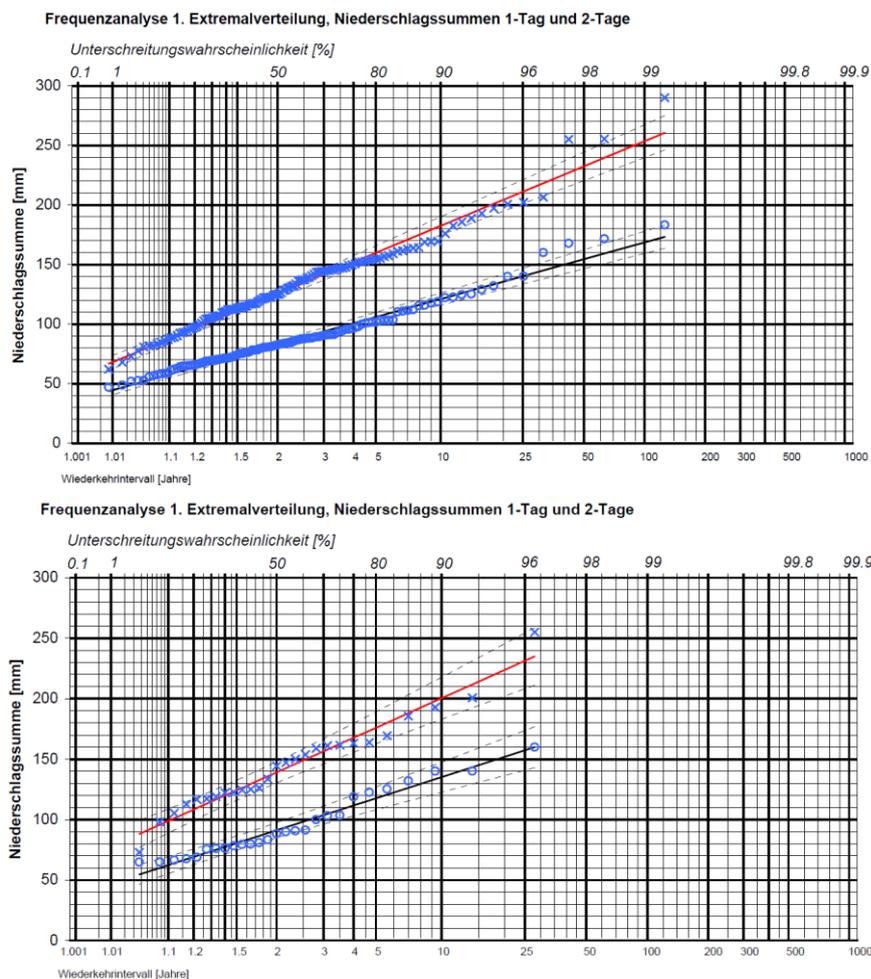


**Abbildung 11** Täni-  
kon: Extrapolation auf  
kurze Niederschlags-  
dauer  
1981 - 2008



**Abbildung 12** Vaduz:  
Extrapolation auf kurze  
Niederschlagsdauer  
1981 - 2008

Die Einschätzung der Qualität der Extrapolation berücksichtigt die Streuung der Messwerte in den kurzen Messreihen. In Abbildung 13 ist ein Beispiel für die Station Säntis dargestellt. Die Vertrauensgrenzen (90%) liegen für die kurzen Messreihen wesentlich weiter auseinander als für die langen Reihen. Entsprechend sind die daraus abgeleiteten Werte zur Konstruktion der Niederschlagsintensitätsdiagramme mit grösseren Unsicherheiten behaftet.

**Abbildung 13** Vergleich Vertrauensintervall bei ungleichem Wertumfang (Beispiel Säntis)

Station Säntis  
Beispiel einer Fre-  
quenzanalyse für Nie-  
derschlagssummen 1-  
Tag und 2-Tage, Pluvio-  
graphenmessungen, 125  
Jahre

Station Säntis  
Beispiel einer Fre-  
quenzanalyse für Nie-  
derschlagssummen 1-  
Tag und 2-Tage, Pluvio-  
graphenmessungen, 27  
Jahre

In der nachstehenden Tabelle ist zusammengestellt, wie der Ausgleich aus reinen Tagesmes-  
sungen Niederschläge von 1 Stunde resp. 10 Min. annähert. Die Übereinstimmung zwischen  
den Auswertungen mit kurzzeitigen Messungen und ausschliesslich Messungen mittels Tag-  
gestotalisatoren wird mit den drei Qualifikationen „identisch“, „leicht überschätzt“ und „deutlich  
überschätzt“ bewertet. Dabei werden die Vertrauensgrenzen (90%) der Messreihen (vgl. Stati-  
onsauswertungen) berücksichtigt. Die Einschätzung der Qualität erfolgte gutachtlich. Die nach-  
folgende Tabelle erlaubt es, die Qualifikationen nachzuvollziehen.

**Tabelle 2** Qualität der Extrapolation aus SMA-Tagestotalisatoren auf 1 Std. & 10 Min.

Qualität der Extrapolation	Jährlichkeit 2.33		Jährlichkeit 100	
	10 Min.	1 Std.	10 Min.	1 Std.
identisch	Glarus, Güttingen, Säntis, Schaffhausen, St. Gallen, Tänikon	Glarus, Güttingen, Säntis, Schaffhausen, St. Gallen, Tänikon	Glarus, Güttingen, Säntis, St. Gallen	Glarus, Güttingen, Säntis, St. Gallen
leicht überschätzt		Chur	Chur, Schaffhausen, Tänikon	Chur, Schaffhausen, Tänikon
deutlich überschätzt	Chur, Vaduz	Vaduz	Vaduz	Vaduz

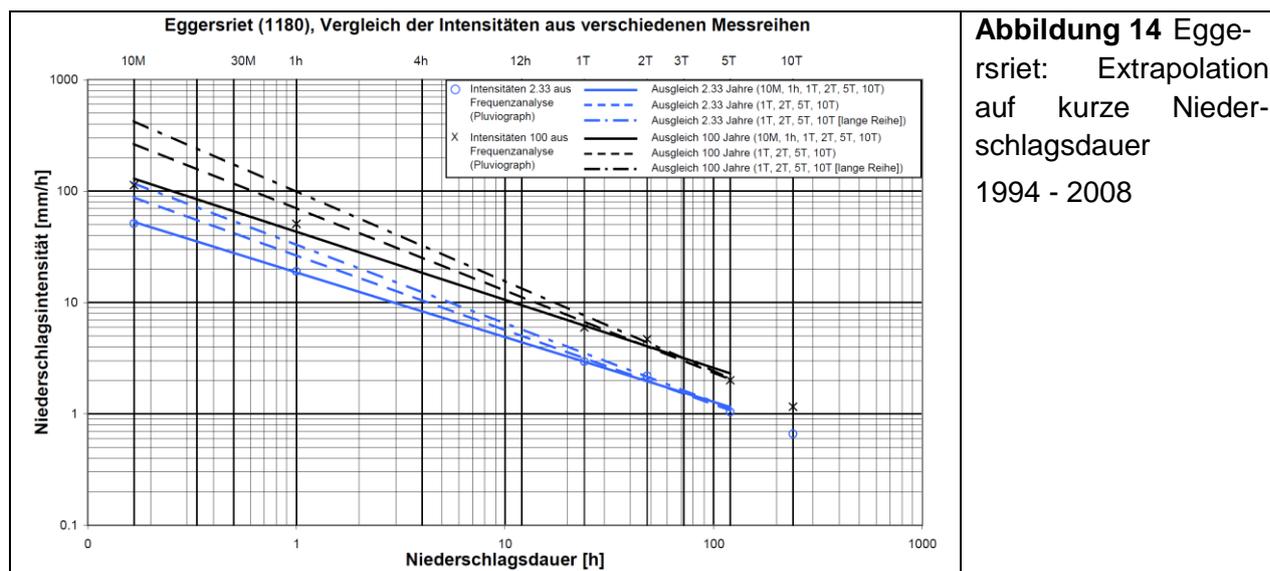
Von den 32 beurteilten Einzelwerten präsentieren sich die Abweichungen zwischen reinen Extrapolationen auf Niederschläge für 1 Stunde resp. 10 Minuten und den Ausgleichen unter Berücksichtigung hochauflösender Messungen wie folgt:

- 20 Werte oder 63% sind als **identisch** zu werten.
- Bei 7 Werten oder 22% ist eine **leichte Überschätzung** festzustellen
- Bei 5 Werte oder 15% ist eine **deutliche Überschätzung** festzustellen

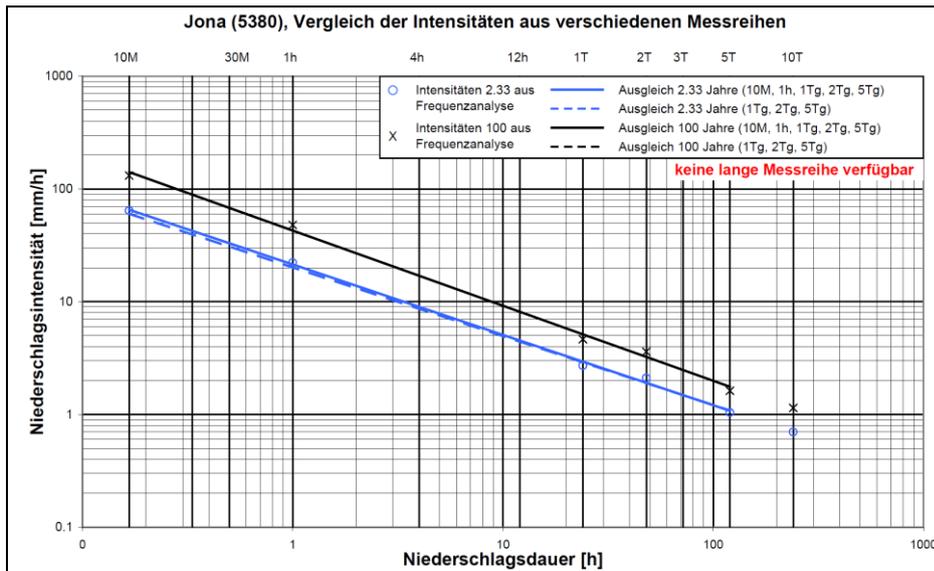
Vier der schlechten Extrapolationen stammen von der Station Vaduz.

Weitere Beurteilungen von Extrapolationen aus Messungen mittels Tagestotalisatoren auf Niederschläge kurzer Dauer sind anhand der Auswertungen der kantonalen Messstationen möglich. Es wurde dasselbe Vorgehen gewählt wie bei den SMA-Stationen. An den Stationen Eggersriet, Weesen und Widnau wurden als „lange Reihen“ Auswertungen der Tagesmessungen der nahe gelegenen SMA Stationen gleicher Namen verwendet.

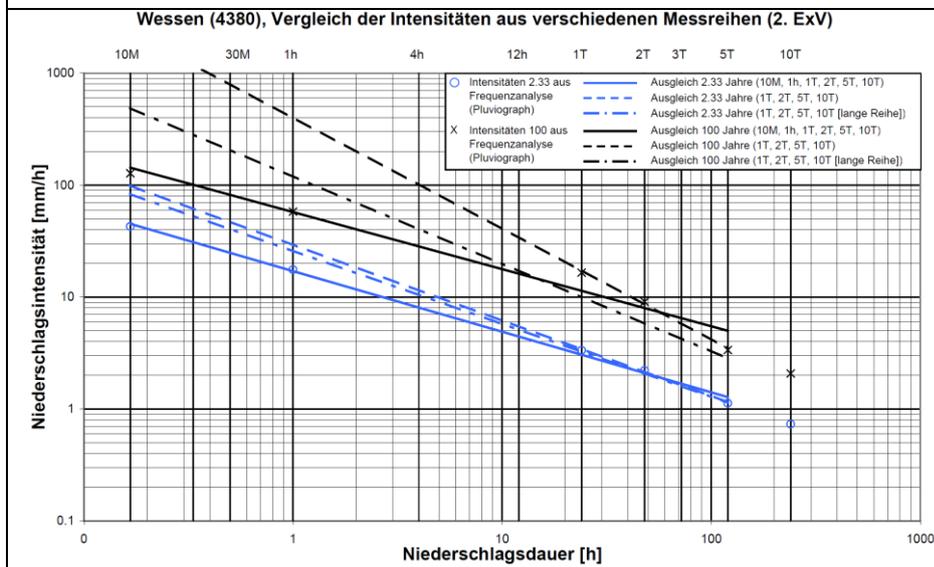
Speziell interessiert, ob das Ergebnis der SMA-Stationen mit den höchstens halb so langen Messreihen bestätigt werden kann.



**Abbildung 14** Eggersriet: Extrapolation auf kurze Niederschlagsdauer 1994 - 2008

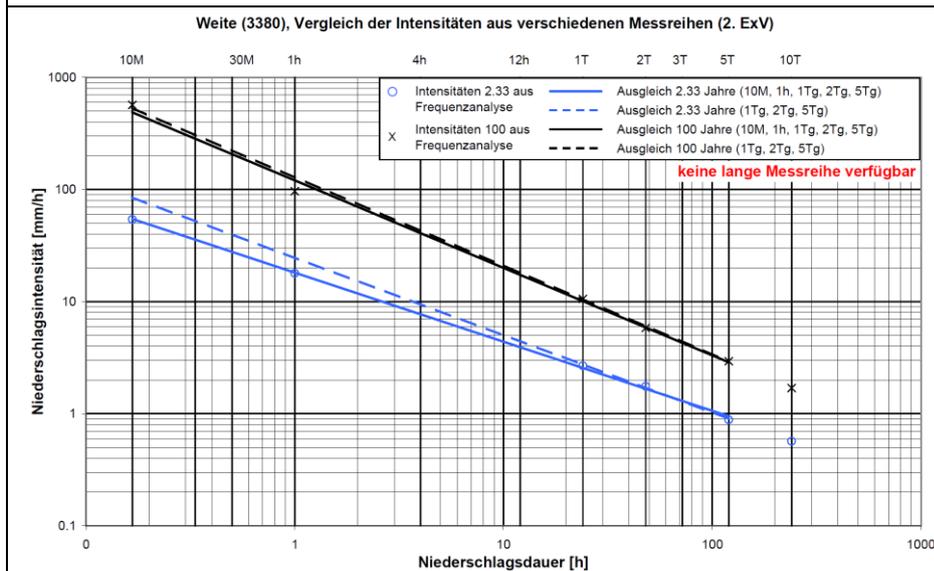


**Abbildung 15** Jona:  
Extrapolation auf kurze Niederschlagsdauer  
1999 - 2008



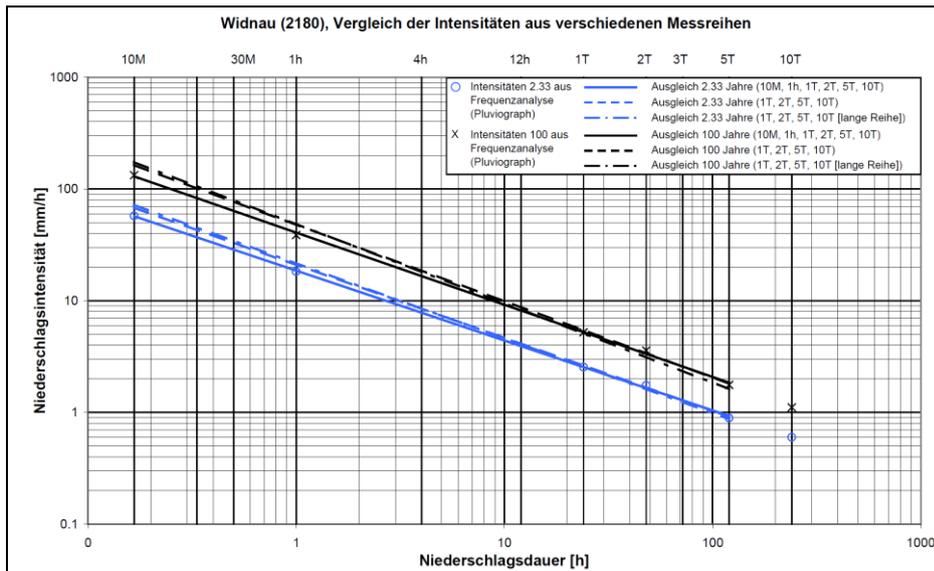
**Abbildung 16**  
Wessen: Extrapolation auf kurze Niederschlagsdauer  
1994 - 2008

Massgebend ist die 2. Extremalverteilung.

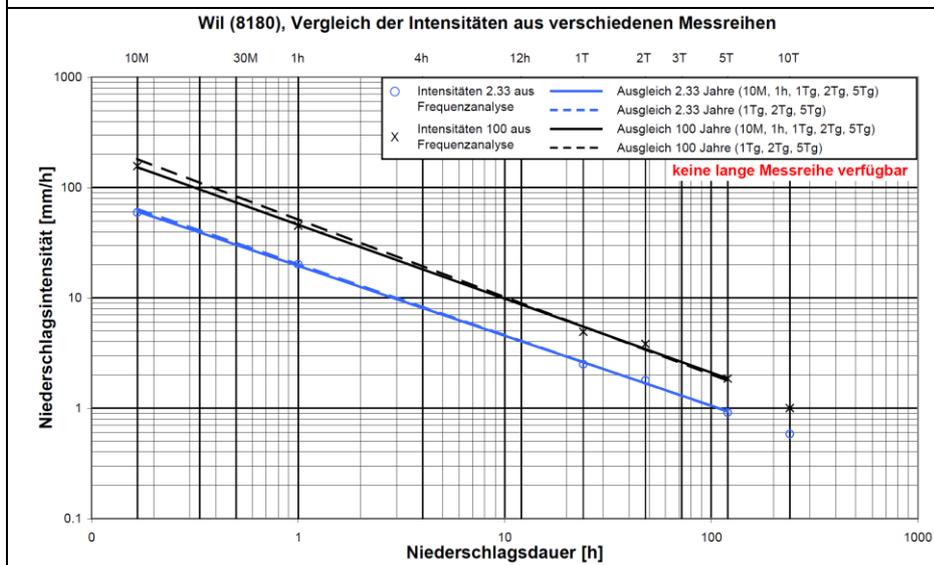


**Abbildung 17** Weite:  
Extrapolation auf kurze Niederschlagsdauer  
1995 - 2008

Massgebend ist die 2. Extremalverteilung.



**Abbildung 18**Wid-  
nau: Extrapolation auf  
kurze Niederschlags-  
dauer  
1995 - 2008



**Abbildung 19**Wil:  
Extrapolation auf kur-  
ze Niederschlagsdau-  
er  
1994 - 2008

**Tabelle 3** Qualität der Extrapolation aus kant. Tagesmessungen auf 1 Std. & 10 Min.

Qualität der Extrapolation	Jährlichkeit 2.33		Jährlichkeit 100	
	10 Min.	1 Std.	10 Min.	1 Std.
identisch	Jona, Widnu, Wil	Jona, Weite, Widnu, Wil	Jona, Weite, Widnu, Wil	Jona, Weite, Widnu, Wil
leicht überschätzt	Weite	Eggersriet, Weesen		
deutlich überschätzt	Eggersriet, Weesen		Eggersriet, Weesen	Eggersriet, Weesen

Von den 20 beurteilten Einzelwerten präsentieren sich die Abweichungen zwischen reinen Extrapolationen auf Niederschläge für 1 Stunde resp. 10 Minuten und den Ausgleichen unter Berücksichtigung hochauflösender Messungen wie folgt:

- 15 Werte oder 63% sind als **identisch** zu werten.
- Bei 3 Werten oder 12% ist eine **leichte Überschätzung** festzustellen

- Bei 6 Werte oder 25% ist eine **deutliche Überschätzung** festzustellen

Damit stimmen die Ergebnisse der SMA-Stationen mit 28 Messwerten und jene der kantonalen Stationen mit 10 bis 15 Messwerten gut überein. Dass der Anteil von Werten mit schlechter Übereinstimmung höher ist als bei den SMA Stationen kann ohne weiteres eine Folge der kürzeren Messreihen sein.

### 3.7.2. Interpretation der Ergebnisse

Die Auswertung der total 14 Stationen mit Pluviographenmessungen lässt als wichtigste Aussage zu:

**Die Extrapolation auf Niederschläge von 10 Minuten Dauer ist auch für Stationen zulässig, bei welchen ausschliesslich mit Tagestotalisatoren gemessen wird.**

Diese Aussage kann gestützt auf die Untersuchungen mindestens für das Untersuchungsgebiet der Region St. Gallen, Appenzell und Thurgau gemacht werden.

Neben obiger Hauptaussage kann weiter festgehalten werden:

- Eine Unterschätzung der Niederschläge für kurze Dauern kann mit grosser Sicherheit ausgeschlossen werden. Der Fall trat nur bei einem der beurteilten 56 Einzelwerte in schwacher Ausprägung auf (Säntis 100 Jahre, vgl. Abbildung 8).
- Mit einer Sicherheit von rund 80% stimmen extrapolierte Niederschläge kurzer Dauer mit Auswertungen hochauflösender Niederschläge überein.
- Die verbleibenden Unsicherheiten beziehen sich stark auf schlechte Übereinstimmung an einzelnen Stationen. Etwas vereinfacht kann gesagt werden, dass die Übereinstimmung an einer Station entweder gut bis sehr gut oder dann insgesamt schlecht ist (vgl. Vaduz sowie Weesen und Eggersriet).
- Die vorliegenden Abklärungen rechtfertigen es nicht, Extrapolationen auf kurze Dauern gutachtlich auf ein bestimmtes Messintervall zu begrenzen (z.B. wenige Stunden, 30 Min. etc.). Insbesondere, wenn man die Relevanz der Abweichung vom „wahren“ Wert berücksichtigt, so sind die Übereinstimmungen in aller Regel entweder bis 10 Minuten gut oder eben nicht.
- Es lässt sich nicht rechtfertigen, die Extrapolationen für die Jährlichkeiten 2.33 oder 100 qualitativ zu unterscheiden. Sie sind für beide Jährlichkeiten sehr ähnlich. Bei den SMA Stationen sind die Übereinstimmungen für die Jährlichkeiten 2.33 leicht besser, bei den kantonalen Stationen für die Jährlichkeiten 100.
- Bei den untersuchten Beispielen ist auch festzustellen, dass bei Stationen mit guter Übereinstimmung extrapolierte mit gemessenen Werten, die lange Messreihe aus reinen Tagesmessungen gut mit den beiden übrigen Ausgleichen zusammenpassen (auffallende Ausnahme: St.Gallen, Jährlichkeit 100).
- Mit kurzen Messreihen lassen sich Niederschläge, die deutlich seltener auftreten, nur mit sehr grossen Unsicherheiten abschätzen. Hingegen scheint es anhand der untersuchten Fälle gut möglich, eine Übereinstimmung von extrapolierten Niederschlägen kurzer Dauer mit hochauflösenden Messungen zu ermitteln.

- Untersucht man kurze Messreihen, so scheint die gute Übereinstimmung von Ausgleichen von Niederschlägen von 1 Tag bis 5 Tage resp. 10 Min. bis 5 Tage ein starkes Indiz zu sein, dass die Werte mit einer längeren (noch nicht bekannten) Messreihe übereinstimmen werden.

## 3.8. Wertung der Ergebnisse

### 3.8.1. Veränderungen bei den Extremalverteilungen

Nach den angewandten statistischen Methoden wird für die Frequenzanalysen der einzelnen Wertetypen, beispielsweise der 1-Tagesniederschläge (resp. der 2-, 5- oder 10-Tagesniederschläge) untersucht, ob die erste oder die zweite Extremalverteilung die Werte besser ausgleicht. Für die Niederschläge längerer Intervalle, wie sie bei der Untersuchung der WSL einbezogen wurden, war meist die Normalverteilung massgebend.

Letztlich muss für jede Station entschieden werden, welche Verteilung insgesamt als die am besten passende zu wählen ist. Für die Untersuchung der WSL mit den Daten überwiegend der Periode 1901 bis 1970 war für die viele Stationen im Untersuchungsgebiet die 2. Extremalverteilung massgebend (vgl. dazu auch [1]). Die Verlängerung der Messreihen bis 2008 inkl. teils rückwirkender Verlängerung bis 1864 ergab nun, **dass überwiegend die 1. Extremalverteilung massgebend wurde**. Das Mittel der massgebenden Extremalverteilungen wird beigezogen, um die für das Niederschlagsintensitätsdiagramm massgebende Extremalverteilung zu wählen. Neben den Mittelwerten spielt bei der Festlegung auch eine Rolle, für welche Messreihe die einzelnen Verteilungstypen massgebend werden. Weist eine Station gegenüber allen Nachbarn eine abweichende Extremalverteilungen auf, so würde in der Regel für eine solche Station die Extremalverteilung der Umgebung gewählt. Diese Art der Wahl der massgebenden Extremalverteilung wurde bereits bei der Arbeit der WSL [1] in der beschriebenen Art gewählt. Nur bei St. Gallen passt die 2. Extremalverteilung rechnerisch besser als die 1. Daher ist nun im Untersuchungsgebiet ausschliesslich die 1. Extremalverteilung massgebend.

Diese Tendenz, dass das Vorkommen der 2. Extremalverteilung stark zurückgeht, konnte bei analogen Aktualisierungen der Niederschlagsdaten für den Kanton Schwyz ebenfalls beobachtet werden. Wenn die Daten der 1. statt der 2. Extremalverteilung folgen, weist dies typischerweise folgende generellen Auswirkungen auf:

- Die Niederschläge der Jährlichkeiten 2.33 (1 und 24 Stunden) sind mit der 1. Extremalverteilung leicht höher.
- Die Niederschläge der Jährlichkeiten 100 (1 und 24 Stunden) sind mit der 2. Extremalverteilung höher, meist deutlich höher.
- Extrapolationen auf Niederschläge höherer Jährlichkeiten (geringerer Eintretenswahrscheinlichkeit) fallen bei der 2. Extremalverteilung höher aus, meist deutlich höher.

Gestützt auf die nachfolgenden Vergleiche zwischen den WSL-Daten gemäss [1] und den aktualisierten Werten, könnte der Eindruck erweckt werden, dass die massgebende Verteilung mit den alten WSL-Daten unpassend gewählt wurde. Zieht man jedoch die Stationswerte selbst bei, so wird dieser Eindruck widerlegt. Gestützt auf die damalige Datenauswahl, war die 2. Extre-

malverteilung tatsächlich die bessere. Die weiter unten dargestellten Veränderungen bilden die Unterschiede aufgrund der Stationenwahl samt Extremalverteilung ab. Die Extremalverteilungen änderten gerade in den Gebieten mit den scheinbar grossen „Verringerungen“ der Niederschläge nach der Aktualisierung der Werte. Vergleicht man hingegen bei den einzelnen Stationen die Niederschlagswerte gleicher Extremalverteilung überwiegt trotz allem die Zunahme der Niederschläge. Die dargestellte Veränderung ist daher oft eine Auswirkung der veränderten Extremalverteilung.

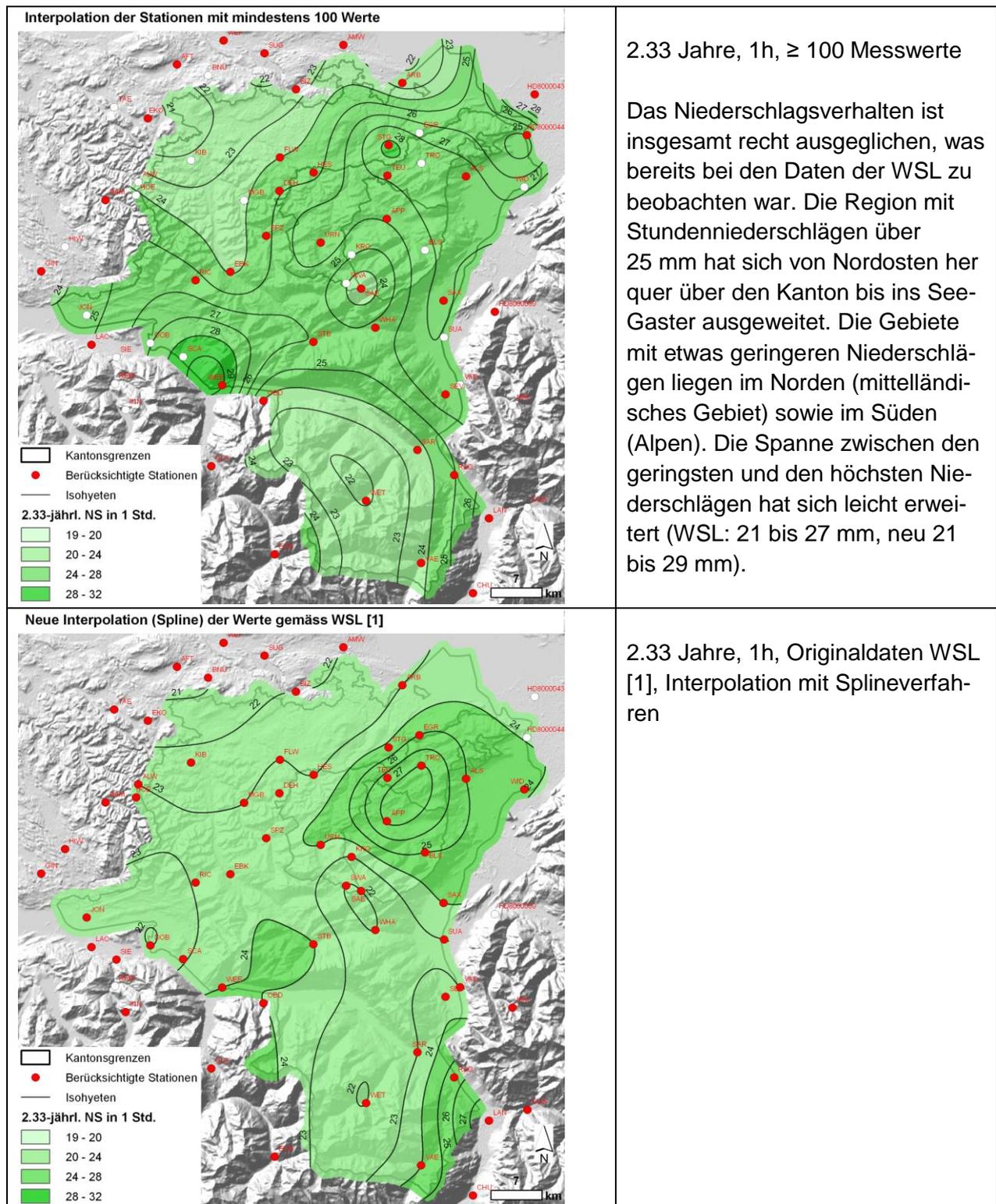
### 3.8.2. Gegenüberstellung der aktualisierten Werte und der WSL-Daten

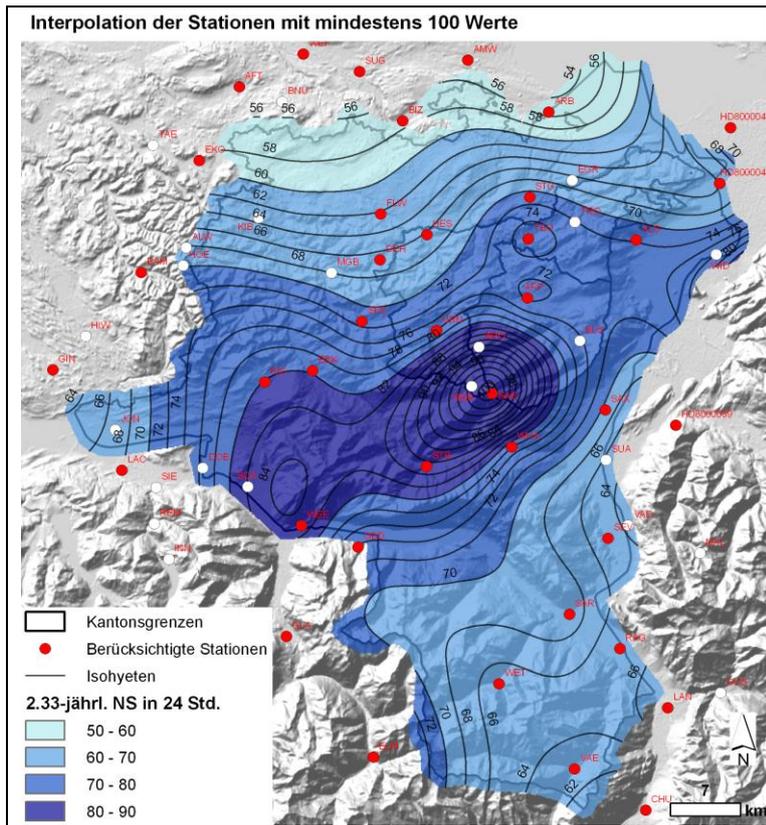
Um effektiv die Daten und nicht Unterschiede des räumlichen Ausgleiches darzustellen, wurden die Stationsergebnisse der WSL [1] mit demselben Splineverfahren ausgeglichen wie die Neuauswertungen.

Nachstehend folgen einige Vergleiche mit den Daten der WSL aus [1]. Die Vergleiche sind aus verschiedenen Gründen mit Vorsicht zu werten:

- Neben der Veränderung der Werte ändern auch die Extremalverteilungen.
- Neu sind Stationen im Vergleich eingeschlossen, die von der WSL wegen der kurzen Messreihen noch nicht berücksichtigt werden konnten.
- Stationen die heute nicht mehr in Betrieb sind, wurden von der WSL noch berücksichtigt, neu jedoch nicht mehr.
- Es ist aufgrund der Art der Auswertung nicht möglich, Tendenzen im Niederschlagsverhalten abzuleiten, welche auf eine allfällige Klimaänderung zurückzuführen wäre.
- Aus den Veränderungen für einzelne Werte kann nicht geschlossen werden, wie sich die Niederschlagsintensitäten für eine bestimmte Niederschlagsdauer und Niederschlagsjährlichkeit konkret auswirken werden.

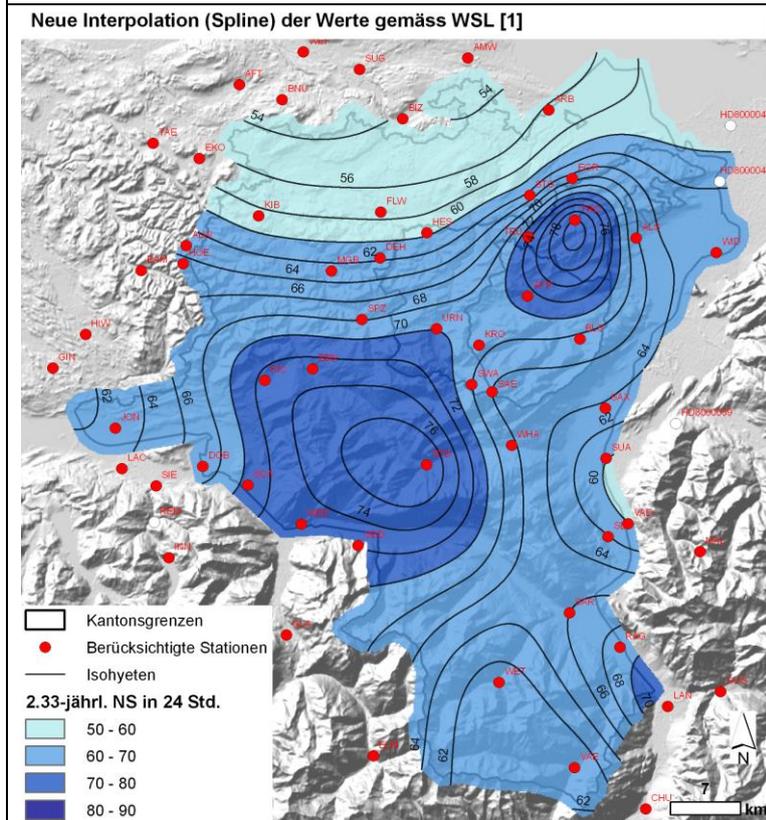
Die Vergleiche haben für sich genommen keinen praktischen Wert. Die vorliegende Untersuchung zielte lediglich darauf ab, für jede Station, die heute noch in Betrieb ist, die bestmögliche Auswertung zu erreichen. Neben der von der SMA gewährleisteten Messqualität an sich betraf dies auch die Länge der Messreihe.

**Abbildung 20** Vergleich der Neuauswertung mit den Daten der WSL, 1h, 2.33 Jahre**Abbildung 21** Vergleich der Neuauswertung mit den Daten der WSL, 24h, 2.33 Jahre

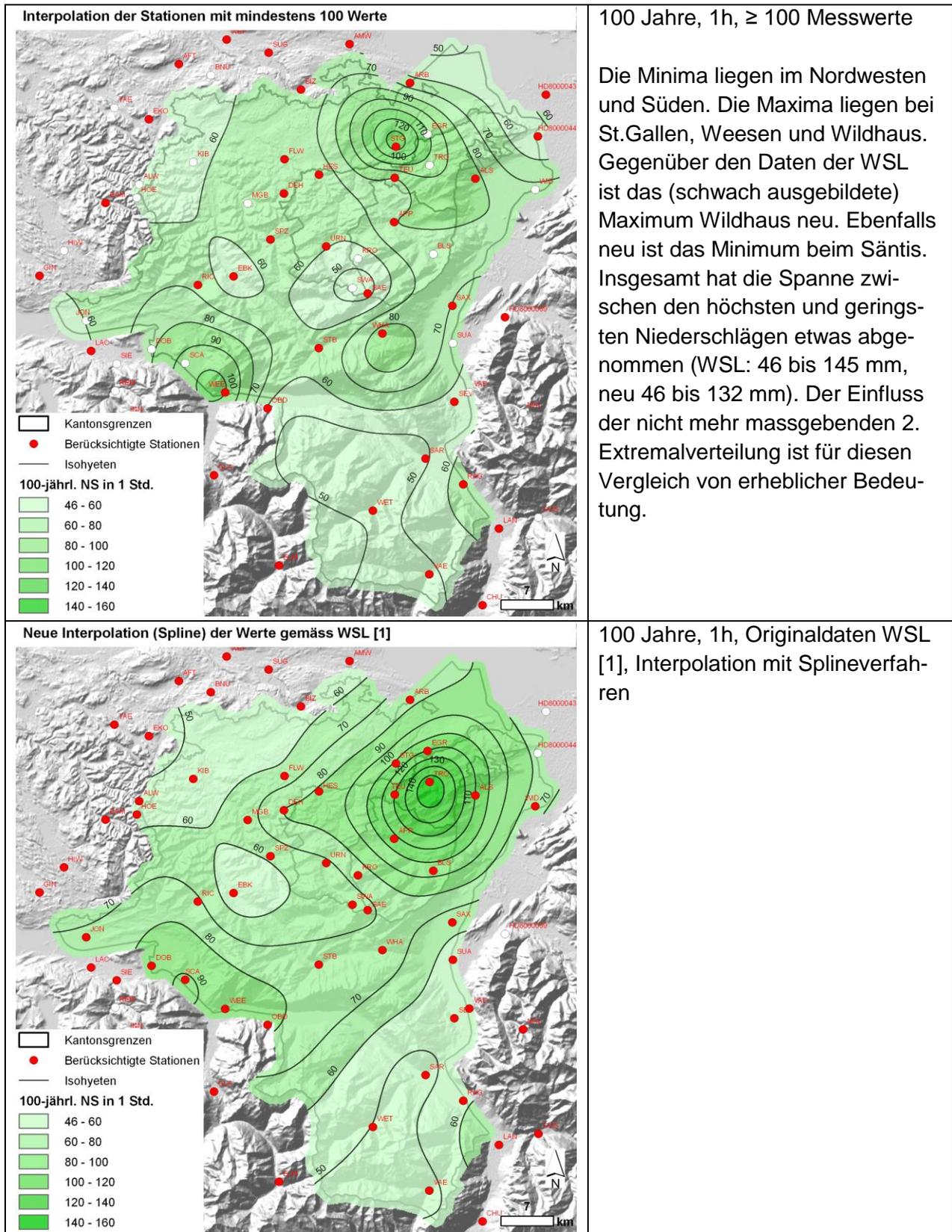


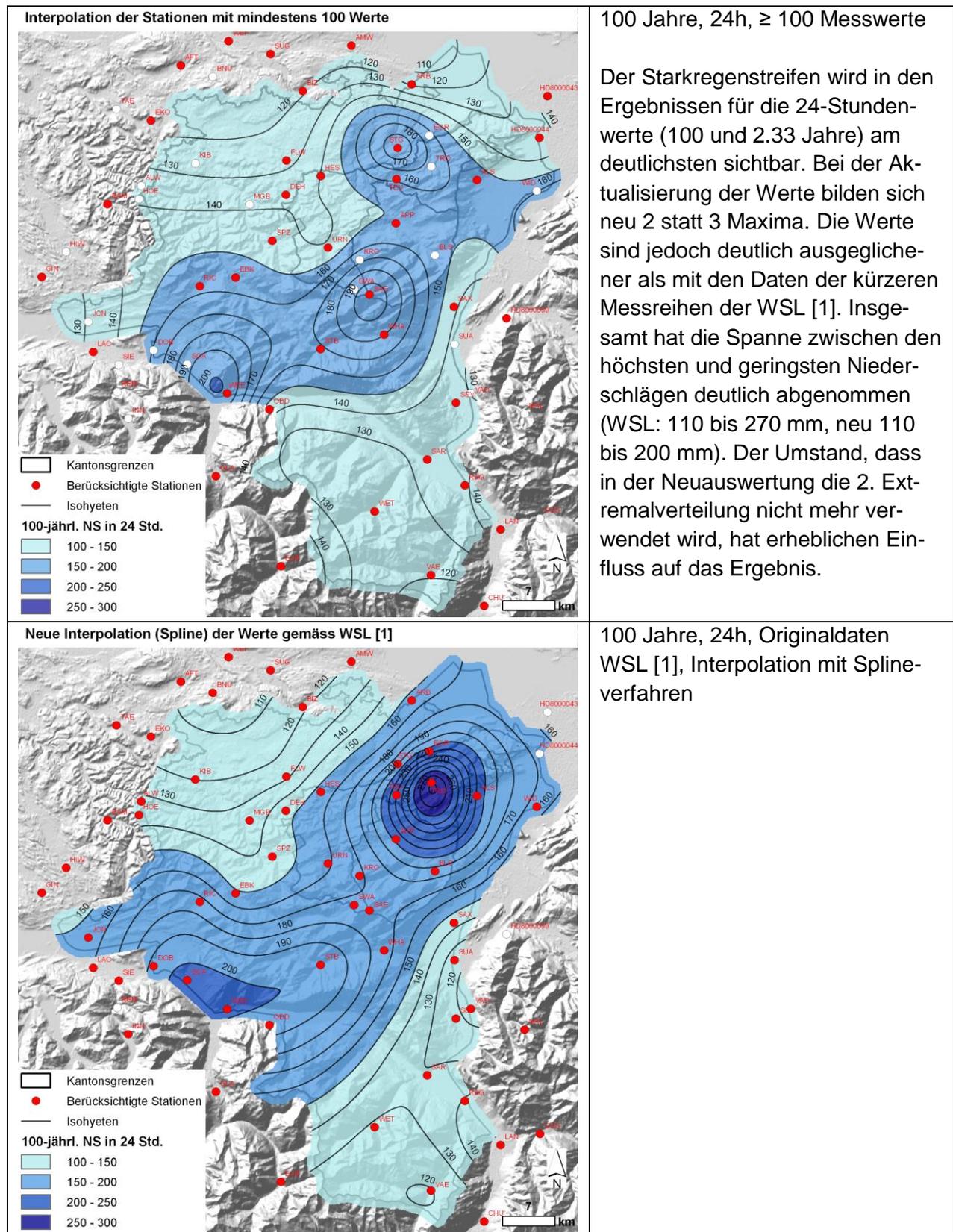
2.33 Jahre, 24h,  $\geq 100$  Messwerte

Im Zentrum des Untersuchungsgebietes vom Säntis bis nach Weesen, Schänis sind neu deutlich höhere Niederschläge zu verzeichnen. Die Klasse 80 bis 90 mm in 24 Stunden war auf der Basis der Daten der WSL [1] nirgends zu verzeichnen. Insgesamt hat die Spanne zwischen den höchsten und geringsten Niederschlägen deutlich zugenommen (WSL: 54 bis 78 mm, neu 54 bis 101 mm).



2.33 Jahre, 24h, Originaldaten WSL [1], Interpolation mit Splineverfahren

**Abbildung 22** Vergleich der Neuauswertung mit den Daten der WSL, 1h, 100 Jahre

**Abbildung 23** Vergleich der Neuauswertung mit den Daten der WSL, 24h, 100 Jahre

Als Quintessenz lässt sich festhalten:

- Insgesamt ist das Niederschlagsverhalten mit den aktualisierten Daten in der räumlichen Verteilung gleichmässiger.

- Grundlegende Veränderungen ergaben sich nicht.

Für die nachstehenden Vergleiche wurden zwar die Daten der WSL verwendet, jedoch ebenfalls nach dem Splineverfahren räumlich interpoliert, so dass effektiv die Daten und nicht die Verfahren verglichen werden.

**Abbildung 24** Vergleich der 1-Stunden Niederschläge 2.33 Jahre

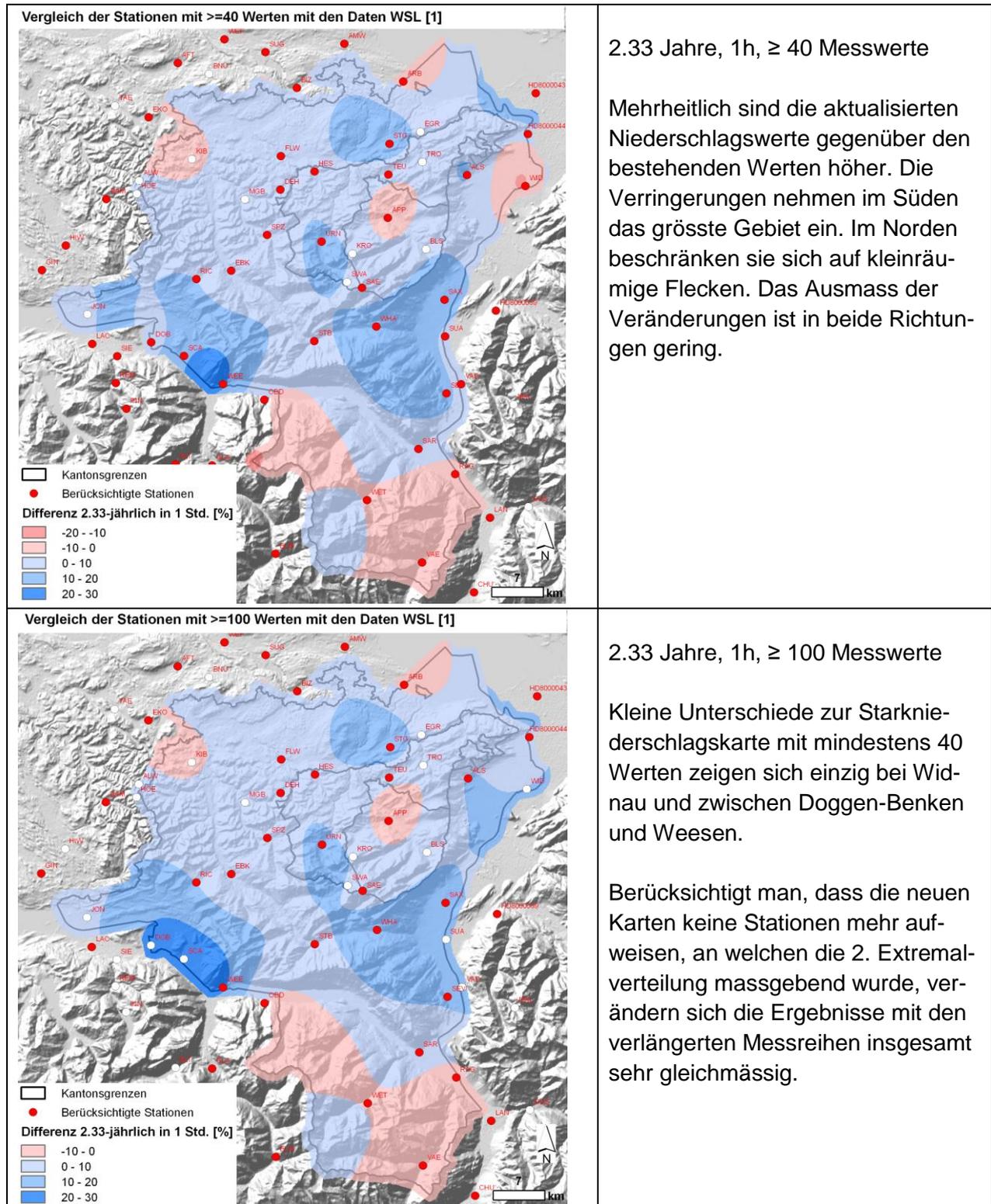


Abbildung 25 Vergleich der 24-Stunden Niederschläge 2.33 Jahre

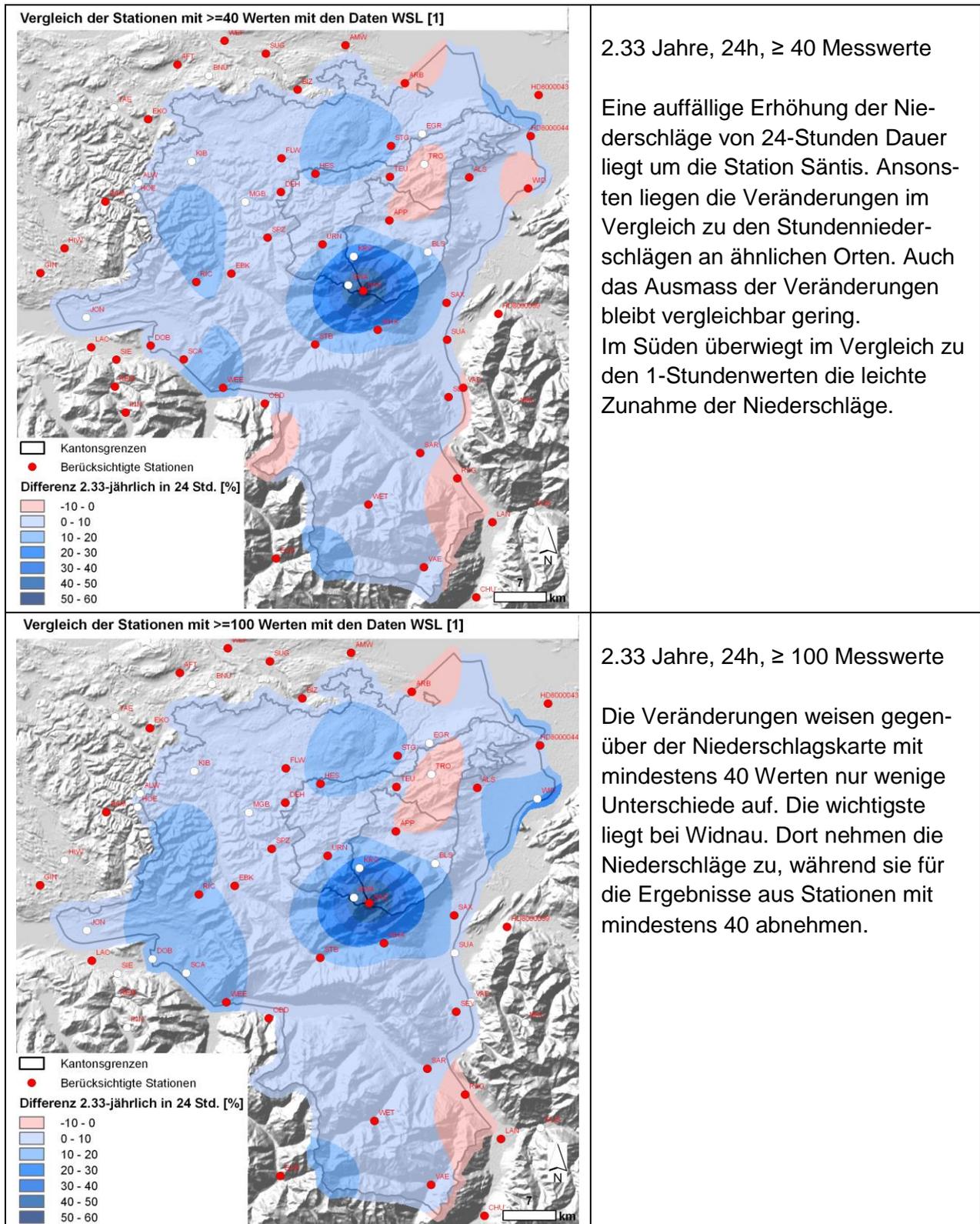
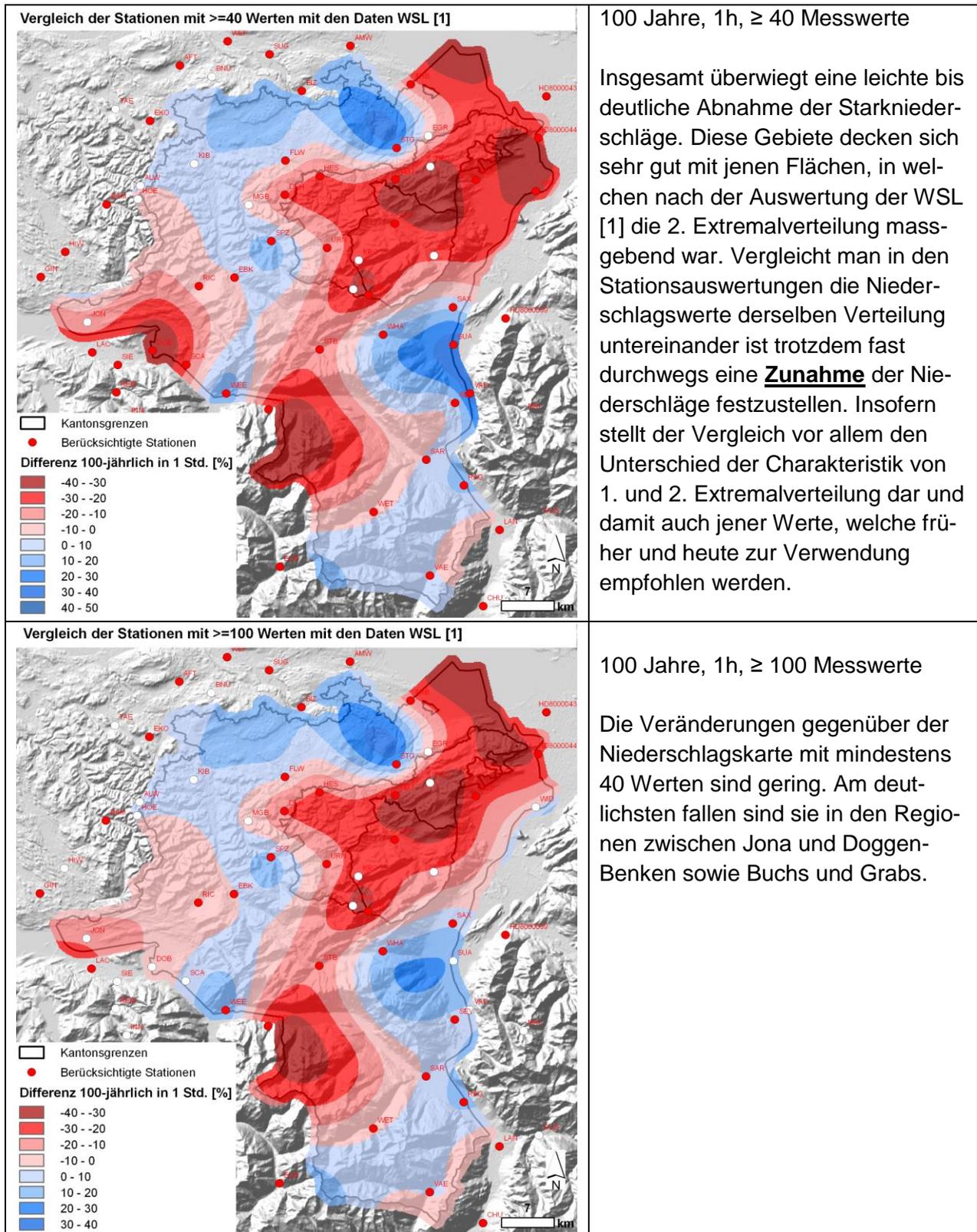
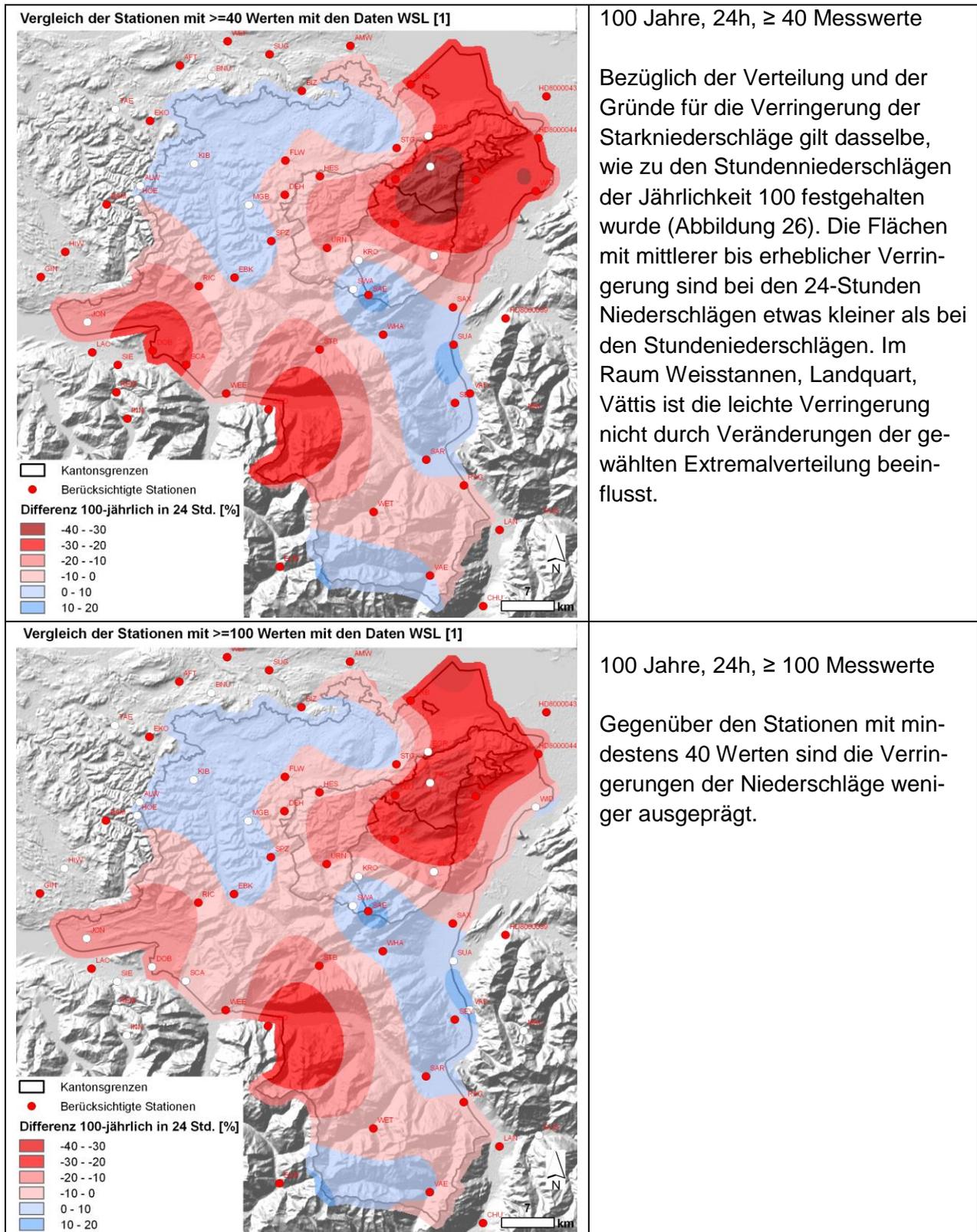


Abbildung 26 Vergleich der 1-Stunden Niederschläge 100 Jahre

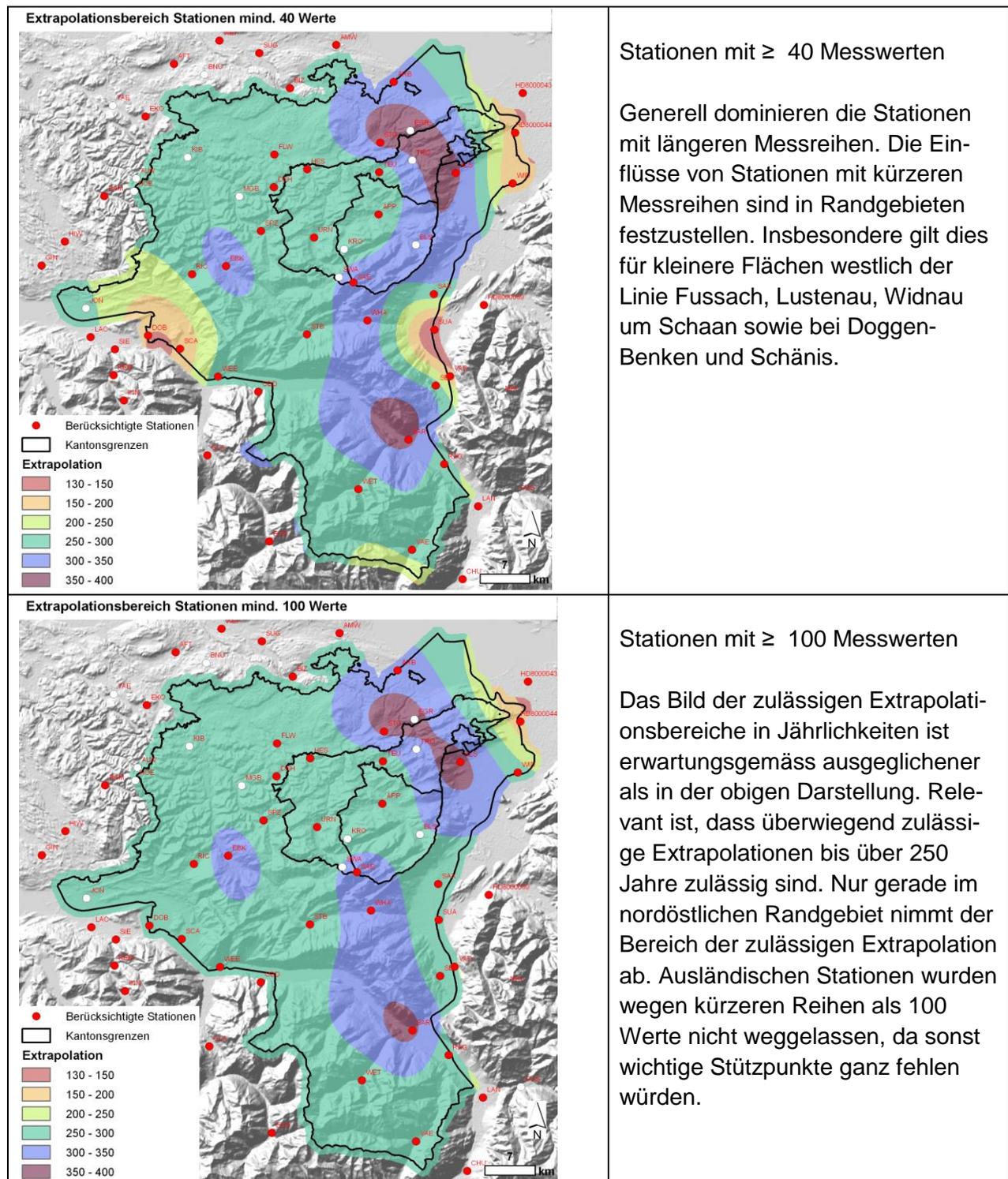


**Abbildung 27** Vergleich der 24-Stunden Niederschläge 100 Jahre

### 3.8.3. Extrapolationsbereiche in Jahren

Für viele Fragestellungen ist es von Bedeutung, die verlässliche Extrapolation der Jährlichkeiten zu kennen. Es kann zweckmässig sein, die Daten zu verwenden, welche auf Stationen mit mindestens 40 Messwerten oder mit mindestens 100 Messwerten basieren. Es soll erkennbar sein, wie sich die zulässige Extrapolation räumlich verteilt. Die räumliche Verteilung wurde ebenfalls mit dem Splineverfahren interpoliert.

**Abbildung 28** Zulässige Extrapolation



Generell dominieren die Stationen mit längeren Messreihen. Die Einflüsse von Stationen mit kürzeren Messreihen sind in Randgebieten festzustellen. Insbesondere gilt dies für kleinere Flächen westlich der Linie Fussach, Lustenau, Widnau um Schaan sowie bei Doggen-Benken und Schänis.

Das Bild der zulässigen Extrapolationsbereiche in Jährlichkeiten ist erwartungsgemäss ausgeglichener als in der obigen Darstellung. Relevant ist, dass überwiegend zulässige Extrapolationen bis über 250 Jahre zulässig sind. Nur gerade im nordöstlichen Randgebiet nimmt der Bereich der zulässigen Extrapolation ab. Ausländischen Stationen wurden wegen kürzeren Reihen als 100 Werte nicht weggelassen, da sonst wichtige Stützpunkte ganz fehlen würden.

## 4. Literatur

- [1] Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes, EAFV, H. Geiger, J. Zeller, G. Röthlisberger, Bände 1 bis 9, 1970 bis 1992
- [2] Hydrologischer Atlas der Schweiz, HADES, M. Spreafico, R. Weingartner, Ordner 1, 1992 bis 2001
- [3] Ereignisanalyse Hochwasser 2005, BAFU, WSL, 2008
- [4] Niederschlag – Starkregenauswertung nach Wiederkehrzeit und Dauer, Niederschlagsmessungen, Auswertung, ATV-Regelwerk 2/2001, ATV-A 121
- [5] Statistische Analyse von Hochwasserabflüssen, DVWK, Merkblätter 251/1999

St. Gallen, Februar 2010