

# Endbericht SYN-METAL

Einfluss des SYstematischen Niederschlags- MEssfehlers auf Trends  
ALpiner Zeitreihen

Ingeborg Auer, Barbara Chimani, Johanna Nemec, Johanna Nikitsch,  
Franz Rubel

Abteilung Klimaforschung, KS-OST, Veterinärmedizinische Universität  
Wien

Wien, 14. April 2011

# Inhalt

1. Einleitung .....	3
1.1 Projektbeschreibung .....	3
1.2 Ziele .....	3
1.3 Projektorganisation .....	4
2. Methode .....	5
2.1 Probleme der Niederschlagsmessung .....	5
2.2 Niederschlagskorrektur .....	5
2.2.1 Aerodynamische Korrektur .....	6
2.2.2 Benetzungs- und Verdunstungsfehler .....	9
3. Vergleichsdatensätze in Tirol und Vorarlberg .....	10
4. Korrektur der Tagesdaten.....	16
4.1 Stationsauswahl .....	16
4.2 Eingangsdaten .....	18
4.2.1 Winddaten.....	18
4.2.2 Temperaturdaten.....	20
4.2.3 Niederschlagintensität .....	20
4.2.4 Metadaten.....	20
4.3 Bestimmung der Unsicherheiten der Korrektur .....	21
4.4 Ergebnisse .....	22
4.4.1 Wien Hohe Warte .....	22
4.4.2 Rauris .....	25
5. Korrektur der monatlichen Niederschlagssummen .....	28
5.1 Methode 1: Anwendung der Korrekturformel .....	28
5.2 Methode 2: Anwendung einer Regression .....	32
6. Projektergebnisse.....	36
Anhang: Ergebnisse der Korrektur der Tagesniederschläge.....	37
Literaturverzeichnis: .....	47

# 1. Einleitung

## 1.1 Projektbeschreibung

Das Ziel des Projektes war die Prüfung von Möglichkeiten einer weiteren Verbesserung der bereits homogenisierten HISTALP (historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region; <http://www.zamg.ac.at/histalp/>) Niederschlagsdaten in Hinblick auf Restfehler, die durch den systematischen Messfehler bei Ombrometern entstehen. Wie Fjørland und Hanssen-Bauer (2000) zeigten, steckt auch in homogenisierten Niederschlagsreihen ein Restfehler, der durch Verwendung der landesüblichen Homogenisierungstools nicht korrigierbar ist, da er sich als Trend manifestiert. Dieser Trend ist durch die klimatische Erwärmung, durch die fester Niederschlag seltener und flüssiger häufiger möglich ist, bedingt. Durch die unterschiedlichen Eigenschaften dieser Niederschlagstypen können sich vorgetäuschte Niederschlags erhöhungen ergeben, die ein mögliches Klimasignal überlagern.

Der systematische Niederschlagsmessfehler ist einerseits von den meteorologischen Bedingungen wie Temperatur, Niederschlagsart und Windgeschwindigkeit und andererseits vom Typ des verwendeten Messgeräts abhängig. Er beträgt für flüssigen Niederschlag im Mittel 5-10%, übersteigt aber bei festem Niederschlag und hohen Windgeschwindigkeiten 50% deutlich (Auer, 1992; Auer und Schöner, 2001). Daher ist davon auszugehen, dass in Österreich vor allem Winterniederschlagsreihen betroffen sein werden.

Rubel und Hantel (1999) haben ausgewählte Methoden zur Korrektur von Tagesdaten nach Fjørland et al. (1996) implementiert und für die operationelle Anwendung erweitert. Eine Adaptierung für Österreich unter Verwendung von Fisheye-Fotos ist bereits in Ungersböck (2000) beschrieben und folgt den Vorschlägen von Sevruk und Zahlavova (1994).

In diesem Projekt sollte überprüft werden in welchem Ausmaß die Korrektur der täglichen Niederschlagsdaten Einfluß auf den Trend ausübt. Außerdem sollte getestet werden, inwieweit sich diese Art der Niederschlagskorrektur für HISTALP-Daten, die nur in monatlicher Auflösung vorliegen, eignet.

Um zu untersuchen, ob sich die Korrektur des Niederschlags auch zur Vereinheitlichung der Messungen mit unterschiedlichen Messsystemen eignet, wurden die Unterschiede zwischen 10min-TAWES-Stationen und parallel durchgeführten Handmessungen für ausgewählte Stationen untersucht.

## 1.2 Ziele

Zur Beantwortung der Fragestellungen im Projekt wurden folgende Ziele definiert:

- Erstellung der notwendigen Software
- Vergleich der 10 minütigen TAWES-Messungen mit Parallelmessungen (siehe Abschnitt 3)
- Anwendung des Korrekturprogrammes auf Tagesdaten (siehe Abschnitt 4.4)
- Abschätzung des Fehler bei Korrektur (siehe Abschnitt 4.3)
- Prüfung der Unterschiede der Trends in korrigierten und unkorrigierten Zeitreihen (siehe Abschnitt 4.4)
- Anwendung der Methodik auf Monatsdaten, Vergleich der Ergebnisse und Prüfung, ob das Korrekturverfahren für Monatsdaten anwendbar ist. (siehe Abschnitt 5)

### 1.3 Projektorganisation

Das Projekt startete mit Juli 2010. An der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik arbeiteten die Mitarbeiterinnen Johanna Nemeč, Johanna Nikitsch und Barbara Chimani, jeweils mit unterschiedlichen Einstiegsdaten an dem Projekt.

Durch den Kooperationspartner Prof. Rubel wurde das Know-how über das Korrekturmodell eingebracht. Anita Jurkovic war eine gute Ansprechpartnerin für alle Fragen bezüglich der verwendeten Stationen.

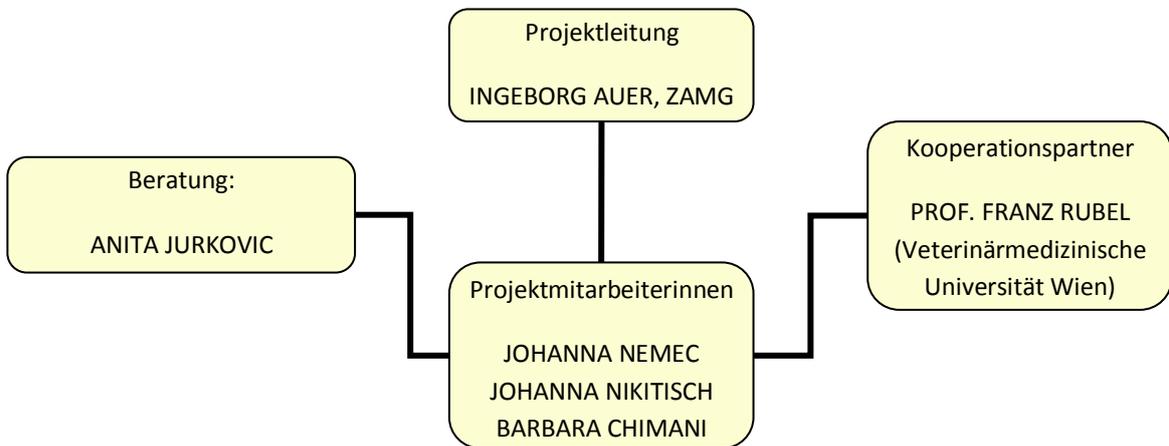


Abbildung 1: Organigramm des Projektteams

Der Ablauf des Projektes, das aus finanziellen und organisatorischen Gründen zeitlich stark gekürzt werden musste, ist der Abbildung 2 zu entnehmen. Die genehmigten Projektmittel wurden zu 100% für Personalkosten verwendet.

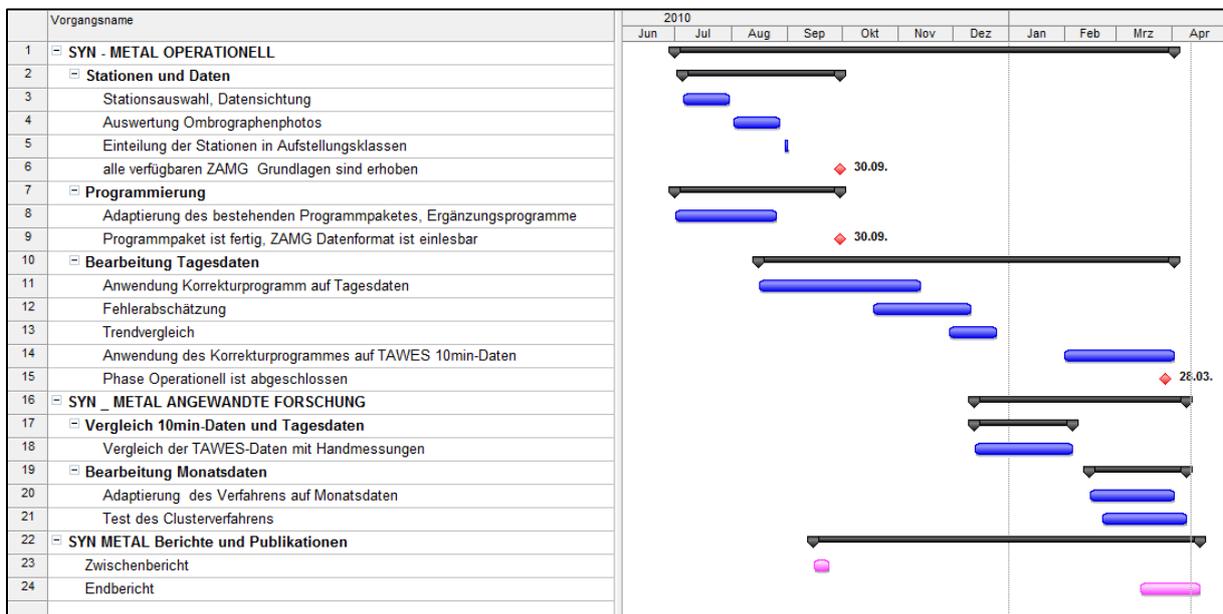


Abbildung 2: Projektplan

## 2. Methode

### 2.1 Probleme der Niederschlagsmessung

Mit herkömmlichen Niederschlagsmessgeräten gemessene Daten weisen eine Reihe von zufälligen und systematischen Messfehlern auf. Werden diese nicht berücksichtigt, wird in vielen Fällen eine Genauigkeit vorgespiegelt, die nicht gegeben ist. Die wichtigste Voraussetzung für die Genauigkeit der Messungen ist, die als mögliche Fehlerquellen erkannten Umwelteinflüsse durch geeignete Konstruktion, Eichung und möglichst ideale Aufstellungsbedingungen zu reduzieren. Trotz dieser Maßnahmen auftretende Fehler versucht man durch Korrekturen zu verringern (Sevruk, 2004).

Die systematischen Fehler sind im Wesentlichen:

- der aerodynamische Fehler (die Windfelddeformation über dem Kollektor)
- der Verdunstungsfehler (Verdunstung des gesammelten Wassers im Messintervall)
- der Benetzungsfehler (Benetzung an den Innenflächen von Kollektor und Sammelbehälter) (Ungersböck, 2000).

Die beiden letzten Fehler hängen im Falle des Verdunstungsfehlers vor allem von der Jahreszeit und im Falle des Benetzungsfehlers vor allem von der Art des Niederschlags (fest, flüssig oder gemischt) ab. Diese Abhängigkeiten wurden während eines extensiven Feldexperiments in Schweden bestimmt (Førland et al. 1996) und gehen in Form von Korrekturkoeffizienten in das Modell ein. Der aerodynamische Messfehler ist hingegen von der Art des Niederschlagsmessgerätes, dessen näherer Umgebung und von den meteorologischen Bedingungen in der zu untersuchenden Zeit abhängig.

Durch die klimatische Erwärmung kommt es zu einer Umstellung der Verteilung der Niederschlagsart, sodass die aerodynamischen, Benetzungs- und Verdunstungsfehler über längere Zeitspannen nicht gleich bleiben, sondern Änderungen unterworfen sind. Dadurch werden langjährige Niederschlagsmessreihen verfälscht und eine klimatische Untersuchung erschwert.

### 2.2 Niederschlagskorrektur

Als Korrekturverfahren wird ein Verfahren verwendet, welches von Rubel und Hantel (1999) erstmals auf Niederschlagsdaten in den baltischen Staaten angewendet wurde und von Ungersböck (2000) unter Verwendung von Fisheye-Fotos für österreichische Stationen adaptiert wurde. Das Korrekturverfahren unterscheidet grundsätzlich drei verschiedene Arten von Messfehlern: den aerodynamischen Messfehler, den Verdunstungsfehler und den Benetzungsfehler.

Wie in Ungersböck (2000) beschrieben, wird der gemessene Niederschlag  $Z_m$  nach der Formel (2-1) korrigiert:

$$(2-1) \quad Z_c = k(Z_m + \Delta Z_w + \Delta Z_e)$$

mit	$Z_m$	beobachteter Niederschlagswert [mm]
	$\Delta Z_w$	Benetzungsfehler [mm/Tag]
	$\Delta Z_e$	Verdunstungsfehler [mm/Tag]
	k	aerodynamische Eigenschaften der Messung

### 2.2.1 Aerodynamische Korrektur

Der aerodynamische Messfehler ist von der Art des Niederschlagsmessgerätes, von der Windgeschwindigkeit in Höhe der Ombrometeröffnung, von der Niederschlagsintensität, von der Art des Niederschlags (flüssig, fest) sowie von der näheren Ombrometerumgebung abhängig. Um all diese Faktoren bestmöglich zu erfassen ist eine umfassende Analyse der zu untersuchenden Stationen notwendig.

In Tabelle 1 sind gerätespezifische Koeffizienten für den in Österreich häufig verwendeten Hellmann Niederschlagskübel angegeben.

Niederschlagstyp	flüssig c	fest c <sub>1</sub>	fest c <sub>2</sub>	fest c <sub>3</sub>	fest c <sub>4</sub>
Hellmann unshielded	0,000	0,0459	0,2367	0,0180	-0,0154

Tabelle 1: Empfohlene Werte für die Gerätekoefizienten für Hellmann Niederschlagskübel, nach Førland et al. (1996).

Bei der Berechnung des aerodynamischen Korrekturfaktors wird im ersten Schritt zwischen den verschiedenen Phasen des Niederschlags (flüssig, fest und Mischniederschlag) unterschieden.

#### Korrektur des flüssigen Niederschlags

Die Gleichung für die aerodynamische Korrektur von flüssigem Niederschlag lautet nach Førland et.al. (1996):

$$(2-2) \quad k_l = \exp(-0.00101 \log Z_l - 0.012177 v_g \log Z_l + 0.034331 v_g + 0.007697 + c)$$

- mit  $v_g$  Windgeschwindigkeit [m/s] auf Messniveau (Ombrometeröffnung)  
 $c$  Gerätekoefizient für flüssigen Niederschlag (Tabelle 1)  
 $Z_l$  Niederschlagsintensität [mm/h]

Die Korrektur des flüssigen Niederschlags hängt demnach von der Niederschlagsintensität und der Windgeschwindigkeit in Messhöhe ab. Bei hoher Windgeschwindigkeit und geringer Niederschlagsintensität ist der Korrekturfaktor am größten (siehe Abbildung 3).

Flüssiger Niederschlag wird in einem Temperaturbereich von  $T > 2^\circ\text{C}$  angenommen.

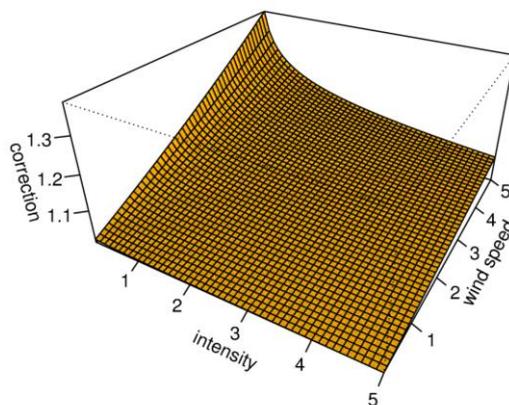


Abbildung 3: Zusammenhang Korrekturfaktor, Windgeschwindigkeit und Niederschlagsintensität bei flüssigem Niederschlag.

### Korrektur des festen Niederschlags

Die Gleichung für die aerodynamische Korrektur von festem Niederschlag lautet nach Førland et al. (1996):

$$(2-3) \quad k_s = \exp(c_0 + c_1 v_g + c_2 T + c_3 v_g T)$$

mit  $v_g$  Windgeschwindigkeit [m/s] auf Messniveau (Ombrometeröffnung)  
T Temperatur [°C]  
 $c_0, c_1, c_2, c_3$  gerätespezifische Korrekturfaktoren, vergleiche Tabelle 1

Anders als beim flüssigen Niederschlag hängt der Korrekturfaktor des festen Niederschlags nicht von Windgeschwindigkeit und Niederschlagsintensität, sondern von Windgeschwindigkeit und Temperatur ab. Wie in Abbildung 4 dargestellt ist, ist der Korrekturfaktor bei hoher Windgeschwindigkeit und tiefen Temperaturen am größten.

Von festem Niederschlag wird bei Temperaturen  $\leq 0^\circ\text{C}$  ausgegangen.

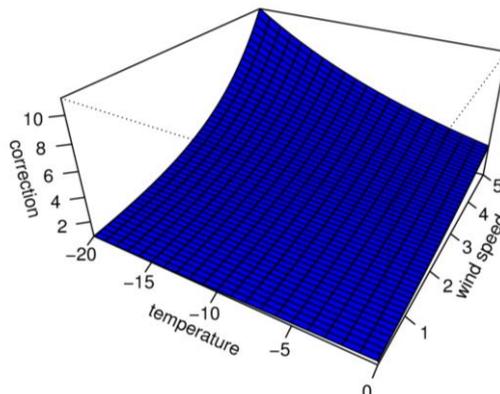


Abbildung 4: Zusammenhang Korrekturfaktor, Windgeschwindigkeit und Temperatur bei festem Niederschlag

### Korrektur des gemischten Niederschlags

Da eine genaue anteilmäßige Zusammensetzung des gemischten Niederschlags nicht bekannt ist, werden in diesen Fällen die Korrekturfaktoren von festem( $k_s$ ) und flüssigem( $k_l$ ) Niederschlag gemittelt.

$$(2-4) \quad k_m = 0,5 * k_l + 0,5 * k_s$$

Der Korrekturfaktor für gemischten Niederschlag wird für Temperaturen im Bereich  $0^\circ\text{C} < T \leq 2^\circ\text{C}$  verwendet.

## Windreduktion

Für die Korrektur des aerodynamischen Fehlers ist sowohl bei flüssigem als auch bei festem Niederschlag der Wind in Höhe der Niederschlagsmessung ein wichtiger Parameter.

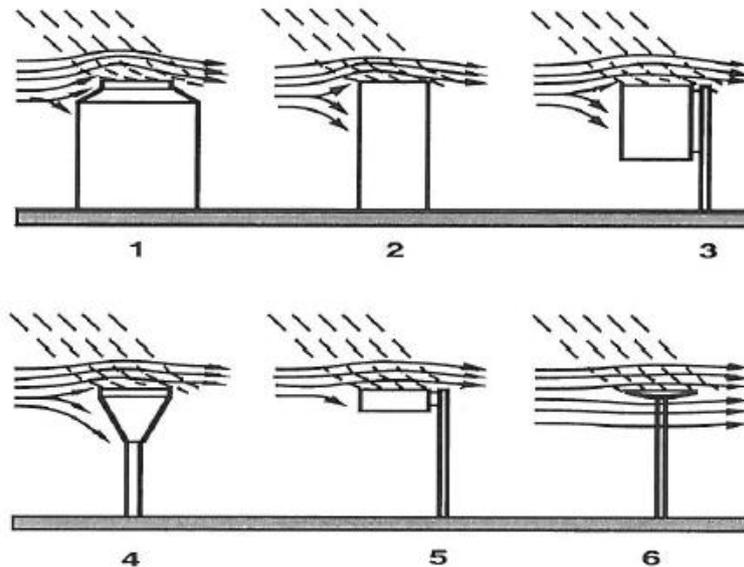


Abbildung 5: Deformation des Windfeldes je nach Niederschlagsmesser, gestrichelte Linien: Pfade der Niederschlagsteilchen, durchgezogene Linien: Stromlinien des Windfeldes; (Sevruk und Nespor 1994)

Die synoptische Windmessung erfolgt aber üblicherweise in 10 m Höhe (wobei deutliche Abweichungen von dieser Höhe möglich sind) und es ist daher notwendig die Windgeschwindigkeit auf die Höhe der Auffangöffnung des Niederschlagsmessers zu reduzieren (Ungersböck 2000). Die Gleichung zur Reduktion des Windfeldes ist eine Modifikation der Formel für das logarithmische Windprofil und lautet (Sevruk und Zahlavova 1994):

$$(2-5) \quad v_g = \frac{\log \frac{h}{z_0}}{\log \frac{H}{z_0}} (1 - 0.024 \bar{\alpha}) v_H$$

mit	$v_g$	Windgeschwindigkeit [m/s] auf Messniveau (Ombrometeröffnung)
	$h$	Höhe [m] der Ombrometeröffnung über Grund
	$z_0$	Rauhigkeit [m]: 0.005-0.02 m im Winter, 0.03 m im Sommer
	$H$	Höhe [m] der Windmessung über Grund
	$v_H$	Windgeschwindigkeit [m/s] auf dem Niveau $H$
	$\bar{\alpha}$	mittlere vertikale Winkel [°] zu Hindernissen rund um die Messung

$\alpha$  beschreibt die Exponiertheit des Ombrometers, das heißt die Abschattung durch Gebäude, Bäume etc. (Abbildung 6). Die Exponiertheit der Messstation wird also als Funktion des Winkels  $\alpha$  dargestellt (Ungersböck 2000). Um  $\bar{\alpha}$  zu bestimmen wurden zuerst die  $\alpha$  der acht Hauptwindrichtungen mit Hilfe von Fisheye-Fotos bestimmt (siehe Abbildung 7). Dabei wird aus den Ombrometeröffnungen nach oben fotografiert und ein Gitter über das Bild gelegt. Als nächster Schritt wird die Höhe der Objekte rund um die Station abgeschätzt und daraus ein mittleres  $\alpha$  bestimmt.

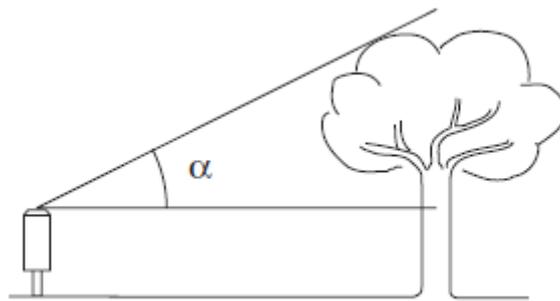


Abbildung 6: Der vertikale Winkel  $\alpha$  beschreibt die Abschattung des Niederschlagsmessers durch Hindernisse (Ungersböck 2000)

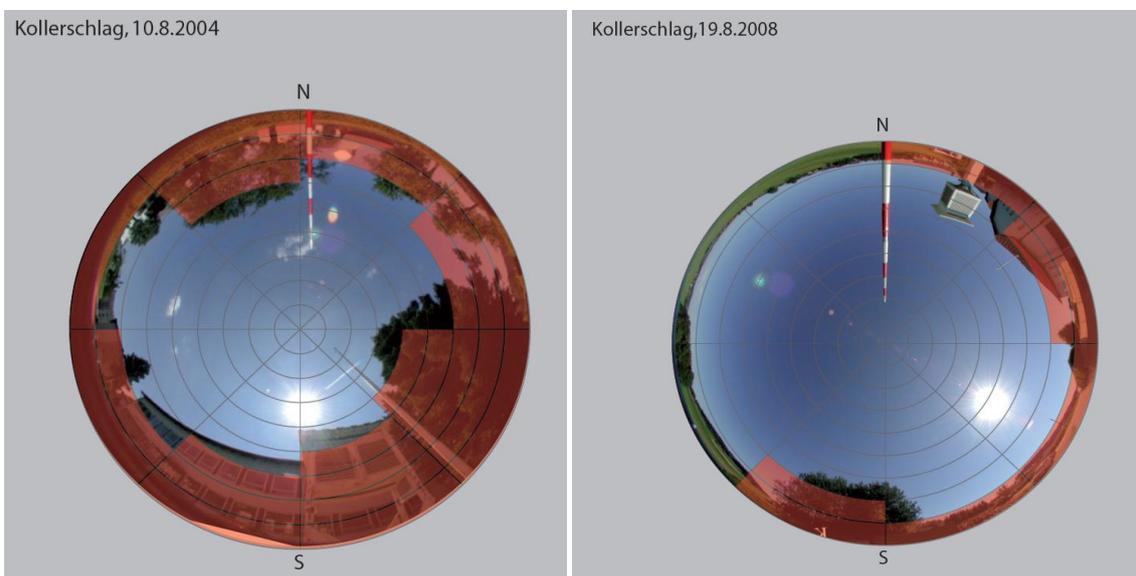


Abbildung 7: Beispiele für Fisheye-Fotos; Station Kollerschlag, Stationsverlegung Anfang 2008; links mit starker Abschattung und hohen  $\alpha$ -Werten, rechts mit geringer Abschattung und kleinen  $\alpha$ -Werten

### 2.2.2 Benetzungs- und Verdunstungsfehler

Diese Fehler werden über experimentell bestimmte Werte korrigiert (siehe Tabelle 2 und Tabelle 3).

Monat	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Hellmann unshielded	0,01	0,02	0,03	0,04	0,09	0,15	0,16	0,08	0,02	0,01	0,01	0,01

Tabelle 2: Vorgeschlagene Werte für den mittleren täglichen Verdunstungsfehler  $\Delta Z_e$  für Nordische Ombrometer [mm/Tag], nach Fjørland et al. (1996).

Niederschlagstyp	flüssig	fest	gemischt
Hellmann unshielded	0,14	0,10	0,14

Tabelle 3: Vorgeschlagene Werte für den Benetzungsverlust  $\Delta Z_w$  für Nordischer Ombrometer [mm/Ereignis], nach Fjørland et al. (1996).

### 3. Vergleichsdatensätze in Tirol und Vorarlberg

In Tirol und Vorarlberg werden für Vergleichszwecke an den meisten Stationen parallel zu den neuen TAWES-Messungen noch Handmessungen durchgeführt. Die unterschiedlichen Messgeräte stehen dabei in den meisten Fällen nur einige Meter voneinander entfernt, sodass die Messungen eigentlich identisch sein sollten. Dies ist jedoch meistens nicht der Fall. Üblicherweise wird von den TAWES-Stationen weniger Niederschlag festgestellt als bei der Vergleichsmessung. Es sollte nun getestet werden, ob eine Korrektur sowohl der TAWES- als auch der Handmessungen zu einer Verringerung der Differenzen in den Messungen führt. Dies würde bedeuten, dass die Korrekturen in der Lage sind unterschiedliche Meßsysteme auszugleichen.

Zur Korrektur der 10-minütigen Messungen wurden im Prinzip dieselben Formeln verwendet wie für die Korrektur der Tagesdaten ((2-1) bis (2-5)), der aerodynamische Korrekturfaktor wurde jedoch für jeden 10-Minutenwert einzeln bestimmt. Anschließend wurde die Tagessumme der korrigierten 10-Minutenwerte gebildet. Ein mittlerer täglicher aerodynamischer Korrekturfaktor ergibt sich aus dem Quotienten der über den Tag aufsummierten korrigierten Niederschlagsmenge zur gemessenen Niederschlagsmenge. Mit diesem mittleren Korrekturfaktor wurden die Terme des Benetzungs- und des Verdunstungsfehlers multipliziert.

$$(3-1) \quad Z_c = \sum_i k_i Z_{m_i} + \bar{k}(\Delta Z_w + \Delta Z_e)$$

mit	$Z_c$	korrigierte Niederschlagsmenge
	$Z_{m_i}$	beobachtete Niederschlagsmenge im 10-Minutenintervall $i$
	$k_i$	aerodynamischer Korrekturfaktor für das 10-Minutenintervall $i$
	$k$	gemittelter aerodynamischer Korrekturfaktor
	$\Delta Z_w, \Delta Z_e$	Benetzungs- und Verdunstungsfehler

Der Verdunstungsfehler wurde, der Empfehlung von Førlund et al. 1996 folgend, als 0,25\*der Füllmenge der Wippe pro Tag angenommen. Der Benetzungsfehler beträgt je nach Phase des Niederschlags 0,10 bzw. 0,14 mm/Tag. Es wurde dabei jene Phase berücksichtigt, die als letztes an dem entsprechenden Tag gefallen ist.

Für die TAWES-Geräte wurden dieselben Messgerätparameter (Tabelle 1) für die aerodynamische Korrektur verwendet, die auch für Hellmann gültig sind (Skoda und Filipovic, 2007).

Die betrachteten Stationen sind Fraxern, Alberschwende, Obergurgl, Holzgau, Ehrwald, Innsbruck Flug und Schoppernau.

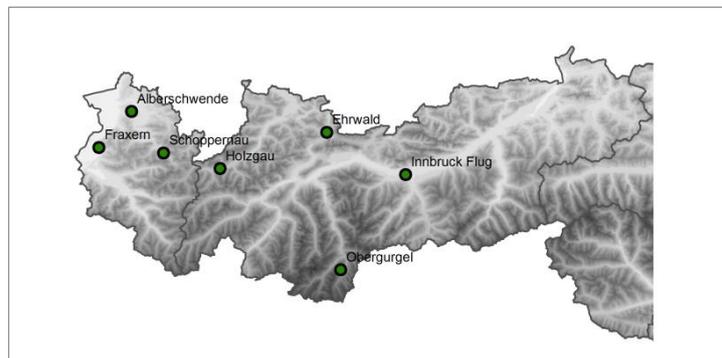


Abbildung 8: Gewählte Stationen in Tirol und Vorarlberg.

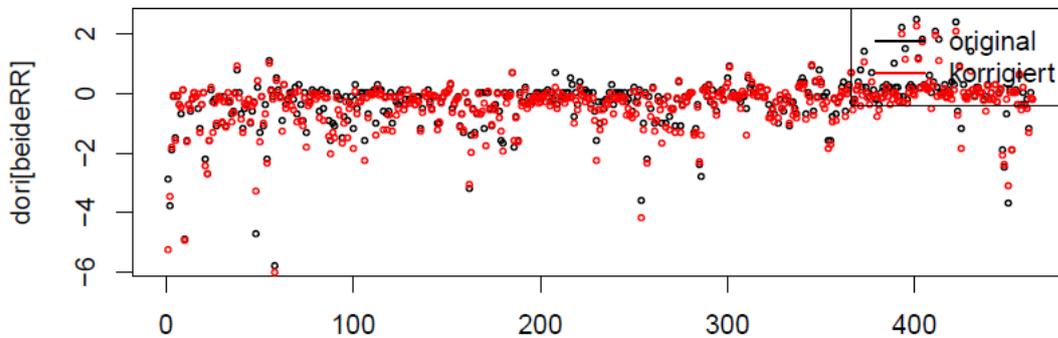
Die Daten der einzelnen Stationen sind jeweils für unterschiedliche Zeiträume vorhanden. Die Zeiträume sind in Tabelle 4 zu finden.

Stationsname	Beginn	Ende
Alberschwende	19960116	20101229
Obergurgl	19990104	20101229
Innsbruck Flughafen	20020701	20101230
Fraxern	20030716	20101229
Holzgau	20070804	20101230
Ehrwald	20030903	20101230
Schoppernau	2007006	20101229

Tabelle 4: Beginn und Ende des Vergleichszeitraums der Handmessung und der entsprechenden TAWES-Daten

Die Ergebnisse für die Stationen Ehrwald und Innsbruck sind in Abbildung 9 zu sehen. Man erkennt, dass die gemessenen Daten Unterschiede von bis zu 6 mm pro Tag in der betrachteten Zeitspanne aufweisen. Die Streuung bleibt auch nach der Korrektur weitgehend erhalten. Um zu sehen, ob es durch die Korrektur zu einer besseren Übereinstimmung zwischen den verwendeten Daten kommt, wurden die Differenzen nach der Korrektur gegen jene vor der Korrektur aufgetragen (Abbildung 10). An beiden Stationen sind die Daten mit geringer Streuung entlang der Identität aufgereiht. Durch die Korrektur ist insgesamt kaum ein Einfluss auf die Differenzen zwischen den beiden Messmethoden zu bemerken. Dass die Differenzen der Messungen auch größer ausfallen können, ist in Abbildung 11

### Vergleich der Differenzen (10min-Tag)



### Vergleich der Differenzen (10min-Tag)

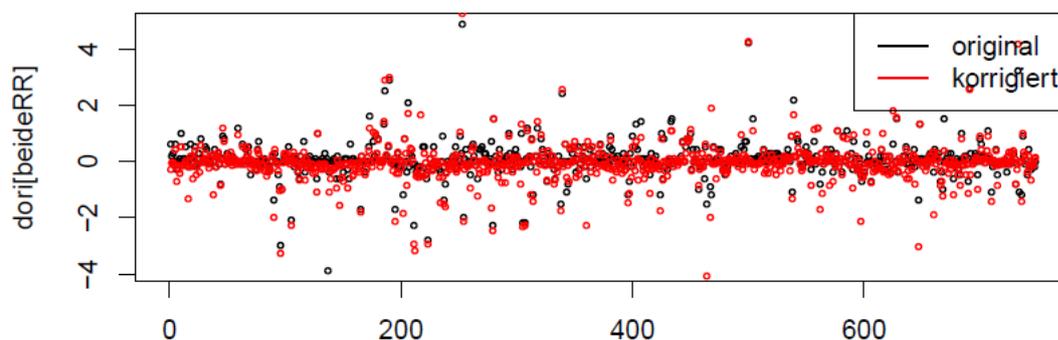


Abbildung 9: In der obigen Abbildung sind die Differenzen der Station Ehrwald (11602) und in der unteren Graphik die der Station Innsbruck (11800) dargestellt. In schwarz sind die Differenzen der gemessenen Daten zu sehen, in rot die der korrigierten Messwerte.

anhand der Station Alberschwende (11135) dargestellt. Auch hier ist jedoch kein genereller Einfluss der Korrektur auf Differenzen zu bemerken. Dies ist erkenntlich an der Neigung der Regressionslinie, wobei gelb die Referenz darstellt. Eine stärkere Neigung der grünen Regressionslinie bedeutet eine größere Abweichung zwischen den beiden korrigierten Niederschlagsreihen im Vergleich zu den gemessenen Niederschlagsreihen.

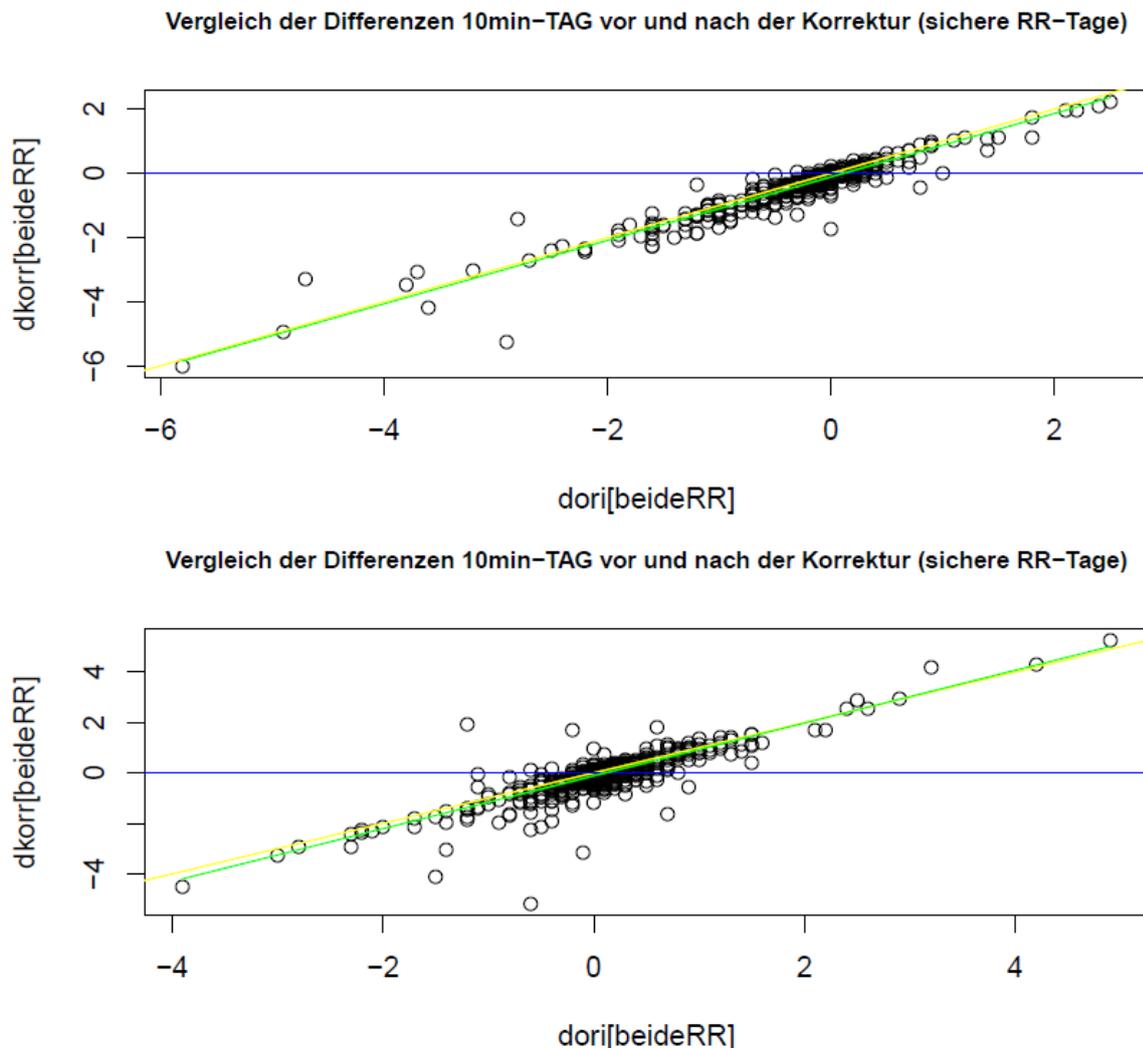


Abbildung 10: Auf der x-Achse ist die Originaldifferenz der 2 Stationsmessungen aufgetragen, auf der y-Achse die Differenz der korrigierten Daten. Es wurden dabei nur solche Tage berücksichtigt, an denen beide Messgeräte Niederschlag gemessen haben (sichere RR-Tage). Die gelbe Linie ist 45°-Gerade. In blau ist die Differenz von 0 in den korrigierten Daten aufgetragen und grün ist die Regression der Messwerte, oben Ehrwald unten Innsbruck.

Für eine genauere Analyse der Differenzen wurden die Unterschiede in den einzelnen Jahreszeiten untersucht. Im Allgemeinen ist keine Verringerung der Differenzen durch die Korrektur feststellbar. Ein Beispiel für eine Verbesserung ist hier Alberschwende (Abbildung 12). Doch nur der Median der Differenzen hat sich in allen Jahreszeiten verbessert, die Abweichungen vom Median sind hingegen ungefähr gleich geblieben oder, wie am Beispiel des Winters zu sehen, sogar deutlich gestiegen. Diese Tendenz, dass die Abweichungen vom Median größer werden, ist bei allen betrachteten Stationen gegeben.

An den Stationen Fraxern, Holzgau, Ehrwald und Schoppernau ergab sich das Problem, dass die Heizung (die benötigt wird um das Gerät auch im Winter einsetzen zu können) vor 2009 nicht optimal

eingestellt gewesen ist, wodurch es zu besonders großen Unterschieden zwischen automatischen Messungen und Handmessungen kommen konnte. 2009 wurden die entsprechenden Einstellungen geändert. Eine Untersuchung der Unterschiede in den 2 Teilbereichen „vor 2009“ und „2009 und danach“ sollte zeigen, wie sich der Einfluss der Heizung auf die Differenzen zwischen Tageswerten und den aufsummierten 10min-Werten auswirkt. Um einen vergleichbaren Zeitraum vor und nach der Umstellung zu betrachten wurden nur die Jahre 2007-2008 und 2009-2010 betrachtet.

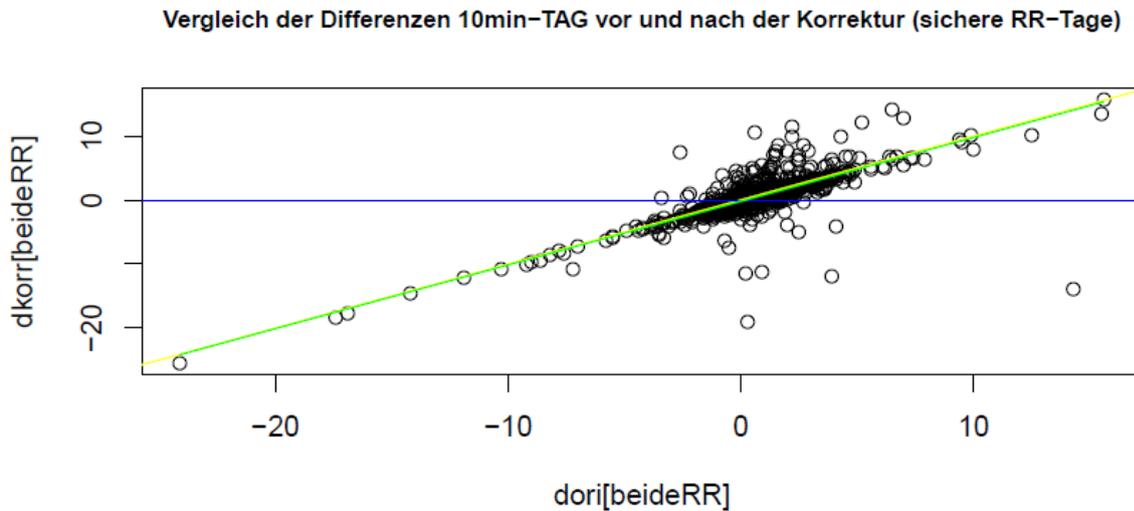


Abbildung 11: Wie Abbildung 10 aber für Alberschwende (11135).

Für Holzgau konnte auf Grund mangelnder Daten diese Untersuchung nicht durchgeführt werden. In Schoppernau und Ehrwald kam es zu einer Verringerung des Absolutwertes des Medians und auch der Range der Extremwerte der Differenzen zwischen Tages- und Minutendaten verringert sich. In Fraxern konnte diese Tendenz hingegen nicht gefunden werden (Abbildung 13). Die größten Unterschiede treten in Ehrwald im Herbst und im Winter auf. Im Gegensatz dazu sind die Unterschiede in Schoppernau im Winter und Frühling am größten und deutlich stärker als in Ehrwald.

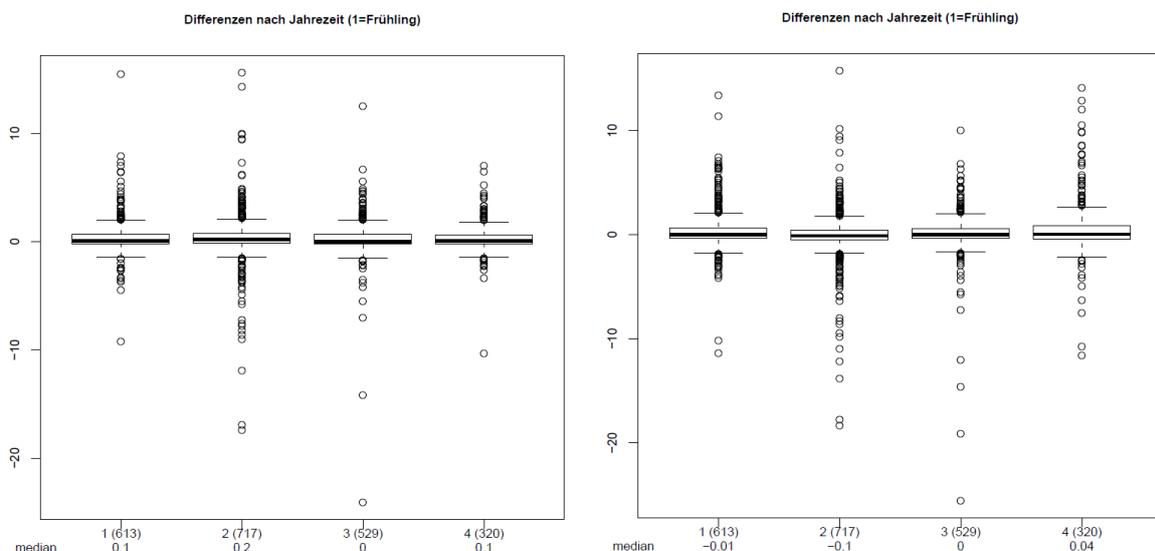


Abbildung 12: Auf der linken Seite sind Boxplots der Differenzen der Originaldaten für die einzelnen Jahreszeiten dargestellt, auf der rechten Seite für die korrigierten Daten der Station Alberschwende. In der ersten Zeile der Beschriftung der x-Achse zeigt die erste Zahl die Jahreszeit an (1 Frühling, 2 Sommer, 3 Herbst, 4 Winter) und die eingeklammerte Zahl gibt die verwendeten Meßwerte an. In der 2. Zeile ist der Median der Differenzen zu sehen. Auf der y-Achse ist die Differenz in mm aufgetragen.

Der Median verringert sich hier um etwa 0,5 bzw. 0,9 mm.

Als Vergleich wurde dieselbe Untersuchung auch für die Station Alberschwende (Abbildung 11) durchgeführt. Die Änderungen des Medians sind nur geringfügig vorhanden und übersteigen nicht die Werte, die an den von der Umstellung betroffenen Stationen etwa im Sommer wahrgenommen werden können.

Insgesamt tritt aber zwischen den beiden Teilperioden allgemein ein Unterschied in den Verteilungen der Differenzen auf, die sich je nach Station und Jahreszeit unterscheiden können. Die deutlichen Änderungen im Median der Station Schoppernau und Ehrwald lassen trotzdem darauf schließen, dass der Einfluss der Heizung nicht zu vernachlässigen ist, können aber auch von der Variabilität des Niederschlags kommen.

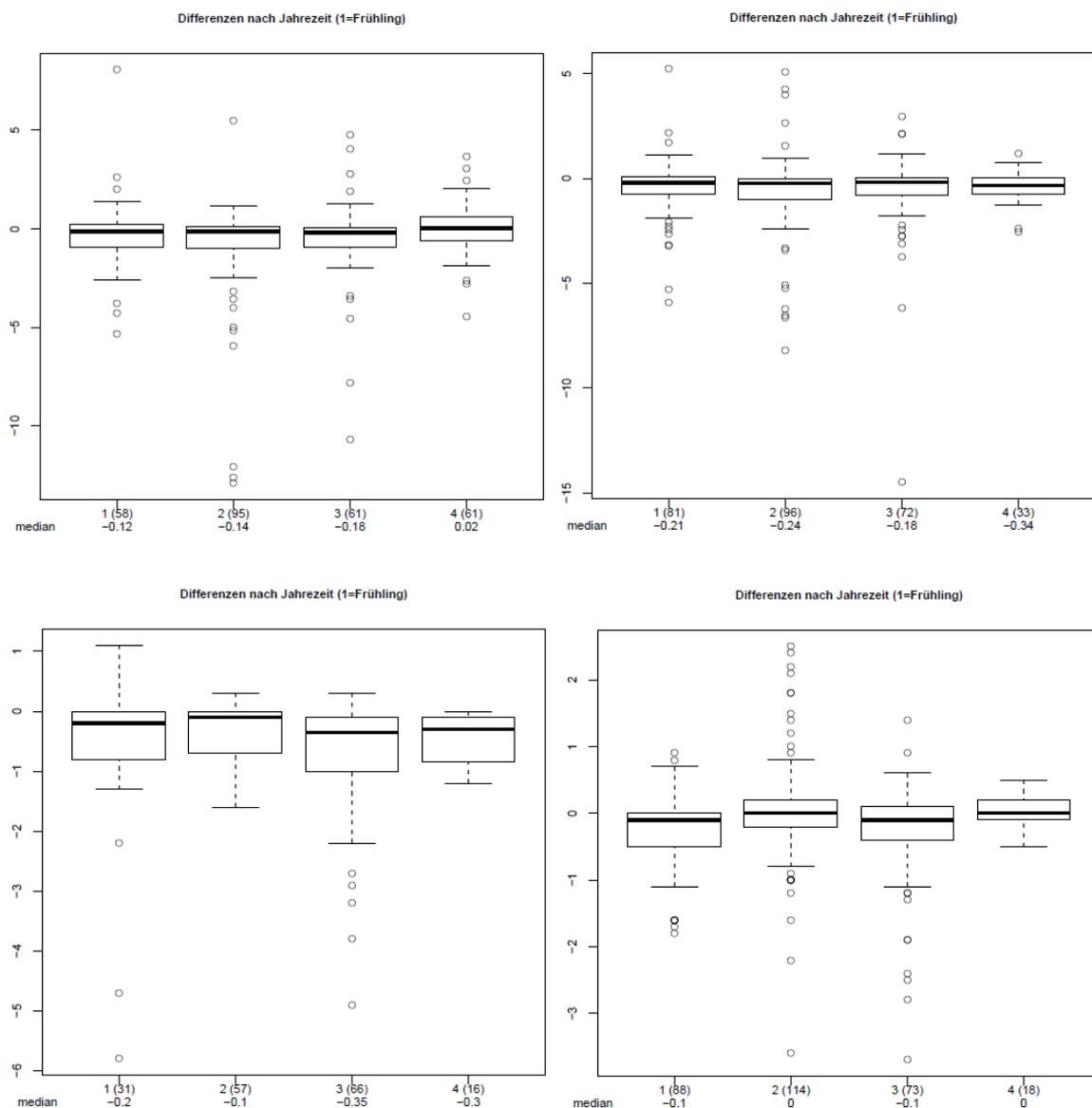


Abbildung 13: In der linken Spalte sind die Differenzen der Originaldaten nach Jahreszeit (wie Abbildung 12) für den Zeitraum 2007-2008 dargestellt in der rechten Spalte für 2009-2010. In der ersten Zeile sind die Ergebnisse der Station Fraxern (11106), in der zweiten die der Station Ehrwald (11602) dargestellt.

Zusammenfassend kann man sagen, dass es im Allgemeinen zu keiner besseren Übereinstimmung von Handmessung und automatischen Stationen kommt, wenn beide entsprechend korrigiert werden. Die Hauptursache für die Unterschiede in der Korrektur sind durch den aerodynamischen Korrekturfaktor  $k$  gegeben, der in einem Fall für den gesamten Tag bestimmt wird und im anderen Fall für jeden 10-Minutenwert getrennt. Wie sehr sich der Einfluß der Korrekturen auf einen Vergleich der beiden Messungen auswirkt, ist stark von den Stationen abhängig. Da es keine Information über die „richtige“ Niederschlagsmenge gibt, kann keine endgültige Aussage darüber gemacht werden, ob die Korrektur der Tagesdaten oder die der 10-Minutenwerte ein besseres Ergebnis liefert. Die Unterschiede zwischen den korrigierten Daten der gleichen Station, wenn sie 10minütig bzw. tageweise korrigiert werden, scheint bei kleinen Niederschlagsmengen größer zu sein als bei großen, unabhängig davon, ob der gefallene Niederschlag in fester oder flüssiger Form gefallen ist (Skoda und Filipovic, 2007). In dieser Studie wurde statt der gemessenen Temperatur die Feuchttemperatur verwendet.

Wir gehen davon aus, dass die Korrektur der 10min-Werte dadurch, dass die möglichst exakten Werte in die Formel eingehen, also die bei Niederschlag tatsächlich vorherrschende Windgeschwindigkeit und Temperatur, ein besseres Ergebnis liefern sollten. Allerdings muss dabei beachtet werden, dass eine falsch eingestellte Heizung zu einem nicht-korrigierbaren Fehler führt.

## 4. Korrektur der Tagesdaten

### 4.1 Stationsauswahl

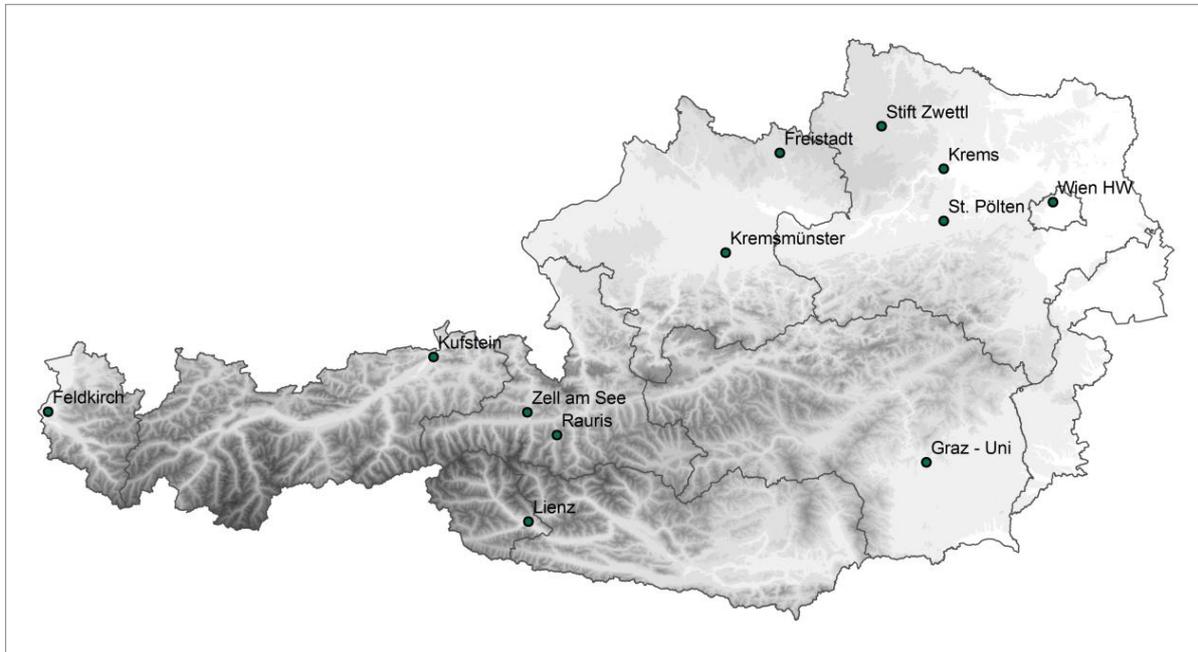


Abbildung 14: Ausgewählte Stationen nach den beschriebenen Kriterien.

Kriterien zur Stationsauswahl:

1. HISTALP Station
2. Ombrometerfoto muss vorhanden sein
3. Qualität der Station soll möglichst gut sein
4. TAWES mit automatischen Windmessungen seit mehr als 5 Jahren (Salzburg, Innsbruck, Kollerschlag)
5. Ausreichend genaue Informationen über die Stationsgeschichte
6. keine langen Unterbrechungen

Punkt 3 ist eine sehr subjektive Einschätzung und beruht auf Aussagen von Kollegen der Fachabteilung Messtechnik und der Abteilung für Datenprüfung, z.B. wurde Landeck aus der Liste genommen, weil ein in der Nähe stehender Baum die Messungen stark beeinflusste. In den letzten Jahren wurden an den meisten österreichischen Stationen Ombrometerfotos (siehe Abschnitt 0) angefertigt. Mit Hilfe dieser Fotos wird die Windabschattung in der Umgebung der Niederschlagsmessgeräte bestimmt. Weiters sollen die Stationen Teil des HISTALP Datensatzes sein um die langfristigen Auswirkungen der Niederschlagskorrektur zu untersuchen.

Name	Nummer	h	H	z0	Alpha	Startdatum	Enddatum	Wind	Ort
<b>Freistadt</b>	1600	1,2	13	0,02	15	19480101	19911231	0	0
	1601	1,5	13	0,02	31,25	19920101	20101231	1	0
<b>Stift Zwettl</b>	1910	1,08	15	0,02	21,25	19360101	19890711	0	1
	1910	1,08	15	0,02	21,25	19890712	19940731	0	1
	1920	1,08	15	0,02	21,25	19940801	20101231	1	0
<b>Krems</b>	3807	1,27	10	0,02	6,25	19430101	19770531	0	1
	3800	1,27	10	0,02	6,25	19770401	19820930	0	1
	3801	1,27	10	0,02	6,25	19820922	19960331	0	0
	3805	1,27	10	0,02	6,25	19960201	20101231	1	0
<b>Kremsmünster</b>	5010	1,5	52	0,02	28,75	19420610	19871231	0	0
	5010	1,5	52	0,02	28,75	19880101	19900923	0	0
	5012	1,67	52	0,02	28,75	19900924	20101231	1	0
<b>St. Pölten</b>	5601	1,43	24	0,02	10	19470101	19550831	0	1
	5607	1,43	24	0,02	10	19550801	19790331	0	1
	5600	1,43	24	0,02	10	19790401	19931231	0	1
	5604	1,43	24	0,02	7,5	19940101	20050430	1	0
	5609	1,43	24	0,02	12,5	20050501	20101231	1	0
<b>Wien HW</b>	5901	1,5	35	0,02	11,25	18720101	19651231	0	0
	5901	1,5	35	0,02	18,75	19660101	19730331	0	0
	5901	1,5	35	0,02	20	19730401	19921231	0	0
	5904	1,2	35	0,02	20	19930101	20101231	1	0
<b>Kufstein</b>	9010	1,2	11	0,02	16,25	19480101	19891130	0	1
	9010	1,2	11	0,02	16,25	19891201	19920631	0	0
	9016	1,2	11	0,02	16,25	19920701	20101231	1	0
<b>Feldkirch</b>	11110	1	10	0,02	18,75	19480101	19650431	0	1
	11110	1	10	0,02	18,75	19650501	19941231	0	0
	11115	1,3	10	0,02	18,75	19950101	20101231	1	0
<b>Zell am See</b>	12320	1,3	12	0,02	10	19480101	19610127	0	1
	12320	1,3	12	0,02	10	19610126	19781122	0	1
	12320	1,3	12	0,02	10	19781123	19831231	0	1
	12322	1,3	12	0,02	10	19840101	19920828	1	0
	12322	1,3	12	0,02	17,5	19920829	20000731	1	0
	12322	1,3	12	0,02	20	20000801	20050605	1	0
	12322	1,3	12	0,02	21,25	20050606	20101231	1	0
<b>Rauris</b>	15400	1,2	10	0,02	10	19510101	19890630	0	1
	15401	1,2	10	0,02	10	19890701	19930531	0	1
	15402	1,2	10	0,02	10	19930601	20091231	1	0
<b>Graz Uni</b>	16402	1	34	0,02	15	18940101	19420131	0	1
	16402	1	34	0,02	10	19420201	19880531	0	1
	16412	1	34	0,02	20	19880601	20101231	1	0
<b>Lienz</b>	17900	1,15	18,2	0,02	3,75	19480101	19851131	0	1
	17988	1,15	18,2	0,02	3,75	19851201	19920831	0	0
	17901	1,15	18,2	0,02	3,75	19920901	20091231	1	0

*Tabelle 5: Stationsauswahl und Zusammensetzung der Teilstücke einer Zeitreihe. Nummer bezieht sich auf die Stationsnummer in der Datenbank. Teilstücke unterscheiden sich in Aufstellungsort oder in der Ausstattung mit Messgeräten. h und H geben die Höhe des Niederschlagsmessgeräts und der Windmessung an; z0 die Rauigkeitslänge in unmittelbarer Stationsumgebung; Alpha die Abschattung, abgeschätzt aus Ombrometerfotos; Start- und Enddatum den Beginn und das Ende der Zeitreihe. Die letzten beiden Spalten geben an ob (1) automatische Windmessungen vorhanden sind und ob (1) der genaue Standort der Station bekannt ist.*

## 4.2 Eingangsdaten

### 4.2.1 Winddaten

Vor der Einführung der automatischen Windmessungen wurde die Windgeschwindigkeit an den meisten österreichischen Stationen entweder über die Beaufortskala geschätzt oder mit Hilfe eines sehr einfachen Windmessgeräts, der Wildschen Windfahne, bestimmt. Auswertungen der Winddaten auf Monatsbasis zeigen, dass verschiedene Beobachter die vorherrschende Windgeschwindigkeit oft sehr unterschiedlich einschätzten. Abbildung 15 und Abbildung 16 zeigen die Abhängigkeit der Windmessung vom jeweiligen Beobachter der Stationen Kollerschlag und Freistadt. In den meisten Fällen geht ein Beobachterwechsel mit einer Stationsverlegung einher und relativiert auf diese Weise einerseits die eindeutigen Sprünge in der Zeitreihe und erfordert andererseits eine Homogenisierung der Zeitreihe bevor diese für weitere Auswertungen und Datenkorrekturen verwendet werden kann.

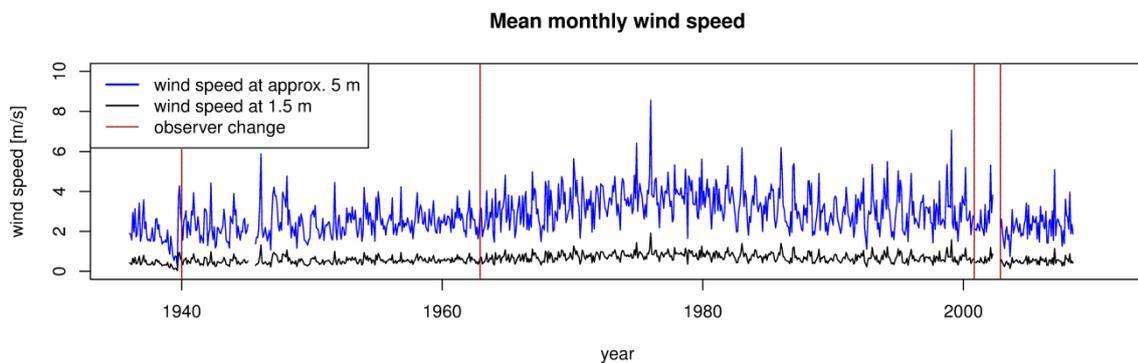


Abbildung 15: Mittlere monatliche Windgeschwindigkeit der Station Kollerschlag in Höhe der Windmessung und in Höhe des Niederschlagsmessgeräts. Die roten vertikalen Linien zeigen die Jahre in denen der Beobachter gewechselt hat.

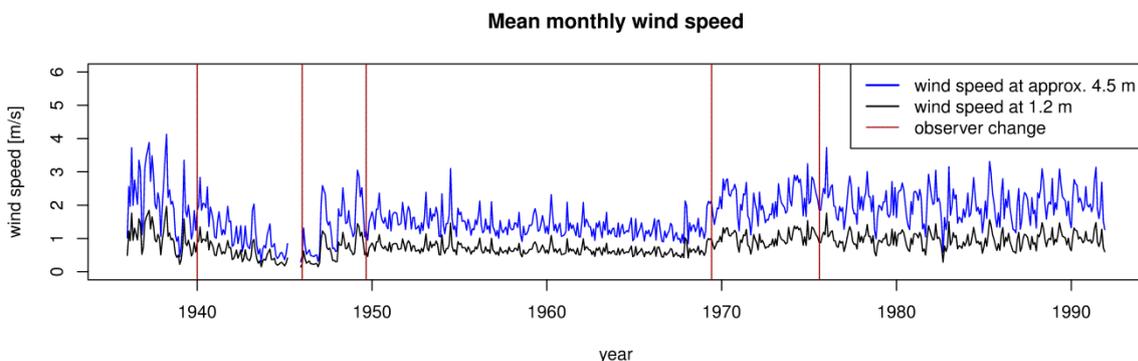


Abbildung 16: Wie Abbildung 15 für die Station Freistadt.

Aus diesem Grund wurden für die Niederschlagskorrektur nur Windmessungen aus dem Zeitraum der automatischen Wetterstationen verwendet. Weiters ergibt sich eine systematische Unterschätzung der Windgeschwindigkeit während Niederschlagsereignissen gegenüber dem gemittelten Wind aus den 3 täglichen Messungen. Daher wurden auch in Wien (trotz Messungen) nur automatische Windmessungen verwendet. In Tabelle 5 (Spalte Wind) sind Zeitreihen mit automatischen Windmessungen mit 1 und solche ohne mit 0 klassifiziert. Für den Zeitraum ohne direkte Messungen wurde ein mittlerer Jahrgang der Windgeschwindigkeit während Niederschlagsereignissen aus den 10min Werten der TAWES Stationen bestimmt und extrapoliert.

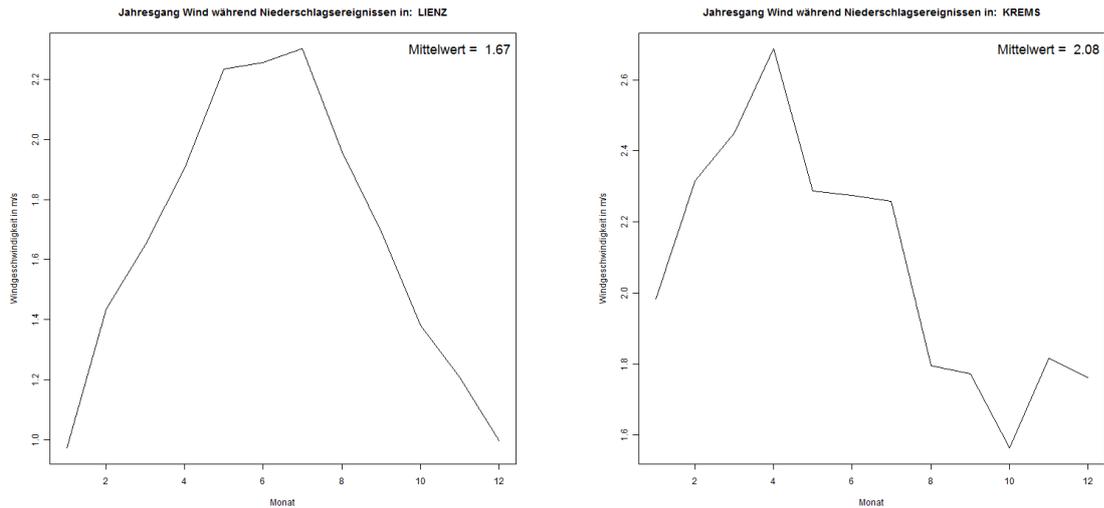


Abbildung 17: Mittlere Jahresgang der Windgeschwindigkeit in Höhe der Niederschlagsmessung während Niederschlagsereignissen der Station Lienz (links) und Krems (rechts).

Mit Hilfe eines adaptierten logarithmischen Windprofils (siehe Formel (2-5)) wurde der Wind auf Höhe des Niederschlagskübels bestimmt.

An der Station Wien Hohe Warte ist ein Vergleich zwischen der Windgeschwindigkeit, die aus der Windreduktion folgt und der tatsächlich gemessenen Windgeschwindigkeit in diesem Niveau möglich (Abbildung 18). Die Differenzen zwischen diesen beiden Werten sind normalverteilt und weisen keinen systematischen Fehler auf (Abbildung 19).

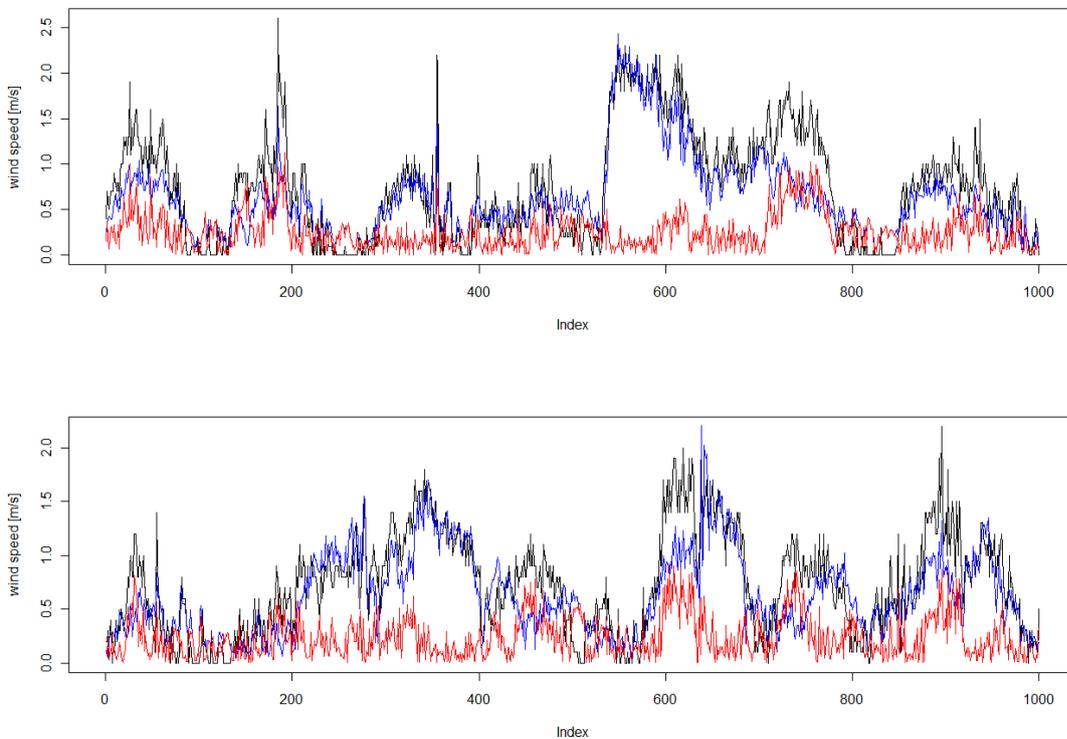


Abbildung 18: Vergleich der gemessenen und der reduzierten Windgeschwindigkeit in Höhe des Ombrometers für Wien Hohe Warte. Die schwarze Kurve zeigt die auf die Höhe des Ombrometers reduzierte Windgeschwindigkeit der Messung in 35m Höhe. In blau ist die Messung der Windgeschwindigkeit im Ombrometerniveau dargestellt. Rot stellt die absoluten Differenzen aus den beiden Messungen dar. Aufgetragen sind Tageswerte, beginnend mit 1.1.1993.

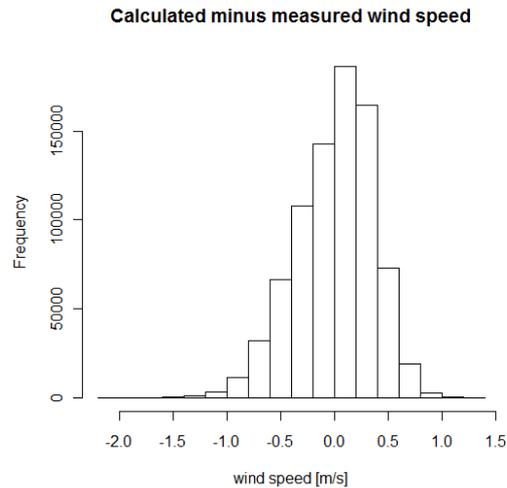


Abbildung 19: Histogramm der Differenzen zwischen gemessener und reduzierter Windgeschwindigkeit in der Höhe des Ombrometers für Wien Hohe Warte.

#### 4.2.2 Temperaturdaten

Für die Unterteilung der Niederschlagsereignisse in festen, flüssigen bzw. Mischniederschlag und die Korrektur der festen Niederschlagssummen wurden tägliche Mitteltemperaturen der Temperatur gewählt.

#### 4.2.3 Niederschlagsintensität

Die Niederschlagsintensität wurde für den Zeitraum, in welchem 10 Minutendaten vorhanden sind, aus der Tagesniederschlagssumme und der Anzahl der 10 Minutenwerte mit Niederschlag berechnet. Für die Periode davor wird eine mittlere tägliche Intensität bestimmt, d.h. die Niederschlagssumme wird konstant über den gesamten Tag verteilt.

#### 4.2.4 Metadaten

Informationen über die Station und die Stationsgeschichte wurden aus diversen Quellen zusammengetragen:

- Dokumentationen aus vorhergehenden Projekten: HOMSTART, HISTALP, ALOCLIM
- Aktuelle Informationen aus verschiedenen internen Quellen: Statprot, TAWES Monitoring
- Ombrometer Fischaugenfotos

Unsicherheiten, welche sich durch ungenaue Daten bzw. fehlende Informationen über die Stationen zustande kommen, werden im nächsten Kapitel detailliert beschrieben.

### 4.3 Bestimmung der Unsicherheiten der Korrektur

Die oben beschriebene Korrekturmethode (Abschnitt 2.2) kann in der beschriebenen Form nur für den Zeitraum mit automatischen Wind- und Niederschlagsmessungen verwendet werden. Davor müssen die Windgeschwindigkeit und die Intensität approximiert werden. Der dadurch entstehende Fehler wird über eine zufällige Variation der Eingangsdaten und wiederholter Korrekturberechnung bestimmt. Im ersten Schritt wird eine Weibullverteilung an den Fehler der Wind- bzw. Niederschlagsintensitätsapproximation angepasst.

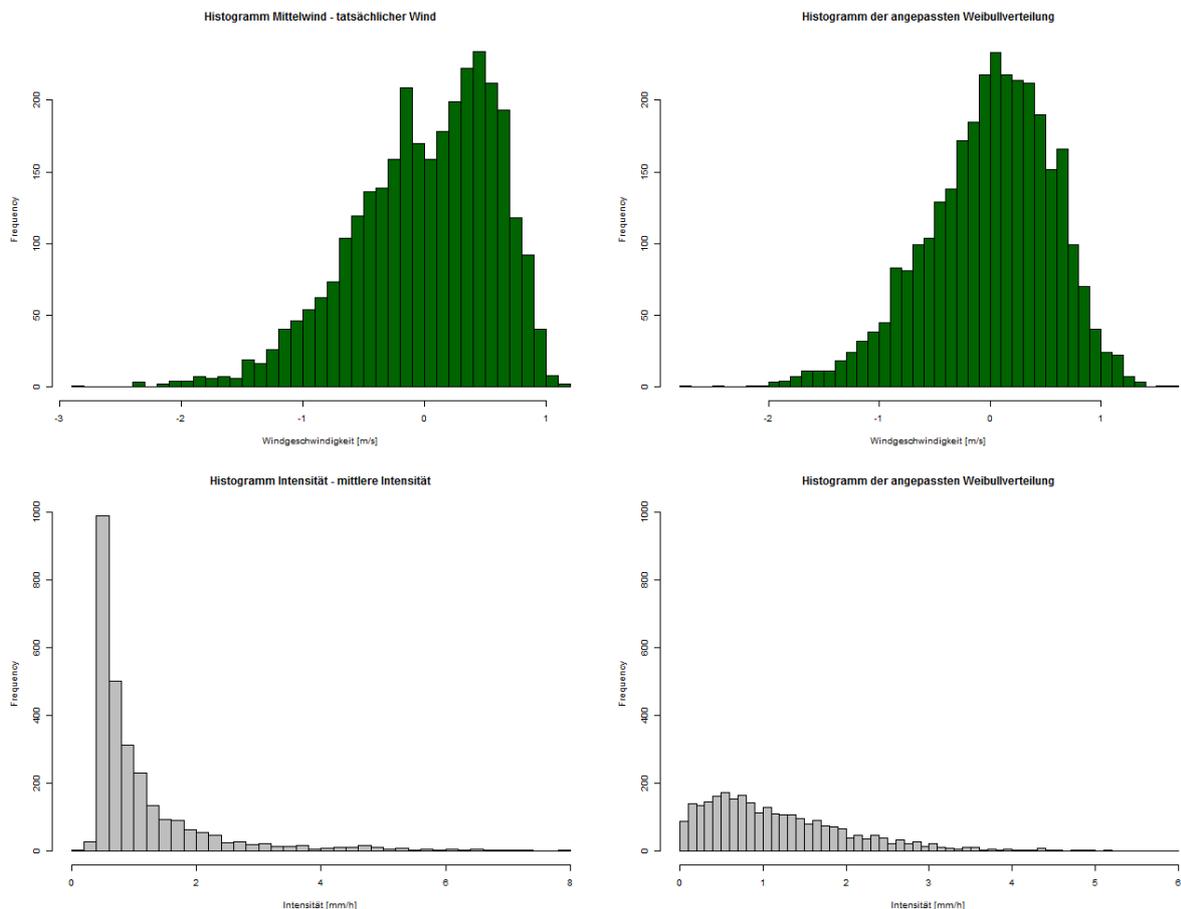


Abbildung 20: Links: Histogramm des Abweichung zwischen gemessenen und approximierten Windgeschwindigkeiten aus Höhe der Niederschlagsmessung und Intensitäten der Station Wien Hohe Warte. Rechts: an linke Histogramme angepasste Weibullverteilungen.

Aus der dargestellten Weibullverteilungen werden zufällige Sequenzen gezogen, zu den mittleren Windgeschwindigkeiten bzw. mittleren Intensitäten addiert und die Niederschlagskorrektur neu berechnet. Die Prozedur wird 100mal wiederholt um eine realistische Einschätzung des Fehlers, welcher durch die Approximation gemacht wird, zu erhalten.

## 4.4 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Niederschlagskorrektur werden an Hand der Stationen Wien Hohe Warte und Rauris beschrieben. Im Anhang (ab Seite 37) sind die Ergebnisse der restlichen Stationen gesammelt.

### 4.4.1 Wien Hohe Warte

Die Station Wien Hohe Warte wurde aus 2 Teilstücken zusammengesetzt. Seit der Automatisierung der Station 1993 gibt es sowohl 10minütige Windmessungen als auch Niederschlagsmessungen für die Intensitätsberechnung. Die Windmessungen werden am Dach des Hann-Hauses in 35m Höhe durchgeführt. Mittels logarithmischem Windprofil und dem Parameter  $\alpha$ , der mittleren Abschottung des Ombrometers durch umliegende Gebäude, Bäume etc., wird der Wind auf Höhe der Niederschlagsmessung bestimmt (siehe Abschnitt 0). Für die letzten 2 Teilstücke wurde  $\alpha$  aus Ombrometerfotos bestimmt, für den Zeitraum davor wurden Stationsaufnahmen und Standortbeschreibungen aus dem Stationsprotokoll entnommen. 1973 wurde die Station an ihren heutigen Standort verlegt (siehe Tabelle 5), davor stand sie ca. 30 Meter nordöstlich, nahe des neuen Gebäudes, welches 1971 fertiggestellt wurde. In Abbildung 21 links ist das Ombrometerfoto für die Abschottung der Station nach der Stationsverlegung dargestellt, rechts ist eine Schätzung der Exponiertheit der Station vor der Errichtung des Neubaus und in der Übergangsphase vor der Verlegung der Station zu sehen.

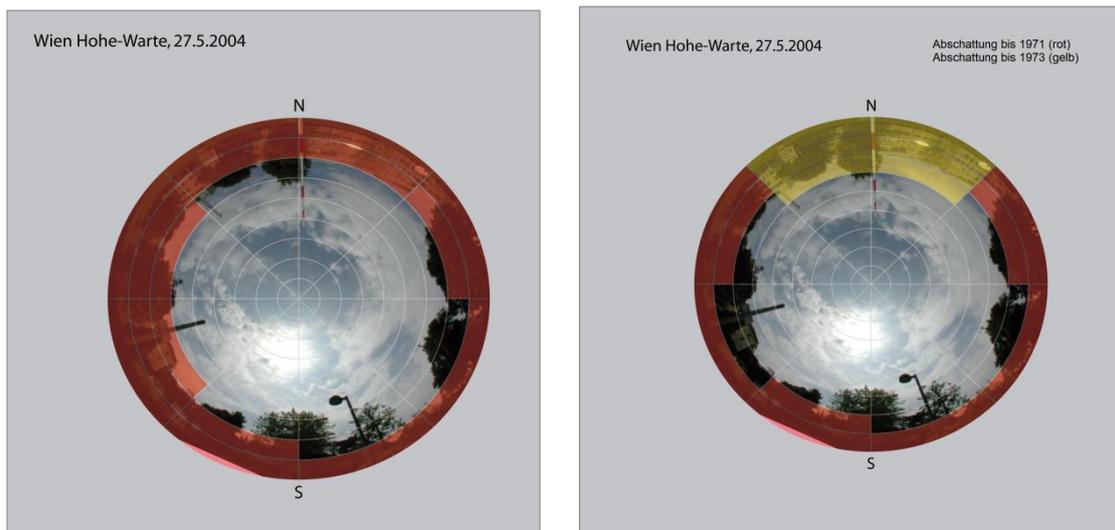


Abbildung 21: Ombrometer Fotos der Station Wien Hohe Warte. Links: nach der Stationsverlegung. Rechts: vor der Stationsverlegung mit und ohne Neubau.

Abbildung 22 zeigt die Ergebnisse der Niederschlagskorrektur. Die obere Abbildung zeigt in gelb die jährlichen gemessenen Niederschlagssummen, die schwarze Linie zeigt die korrigierte Niederschlagssumme, in dunkelrot deren Differenz (die jährliche Summe der Niederschlagskorrektur). Die Boxplots stellen die Bandbreite der Unsicherheiten, welche durch die Approximationen zustande kommen, dar. Das grau hinterlegte Polygon gibt den maximalen Fehler, welcher durch die Mittelung gemacht wurde, an. In Wien wäre beispielsweise die maximale Niederschlagskorrektur erreicht, wenn bei gleichbleibender Intensität der Mittelwind permanent um ca. 3 m/s erhöht wird (siehe Abbildung 20). Die vertikalen strichlierten Linien zeigen Stationsverlegungen, Messgerätetausch oder Änderungen der Stationsumgebung an; die grauen vertikalen Balken hingegen zeigen Jahre, in welchen mehr als 30 tägliche Niederschlagssummen nicht

korrigiert werden konnten. Fehlwerte jedes einzelnen Eingangsparameters können dazu führen, dass die Korrektur nicht berechnet werden kann.

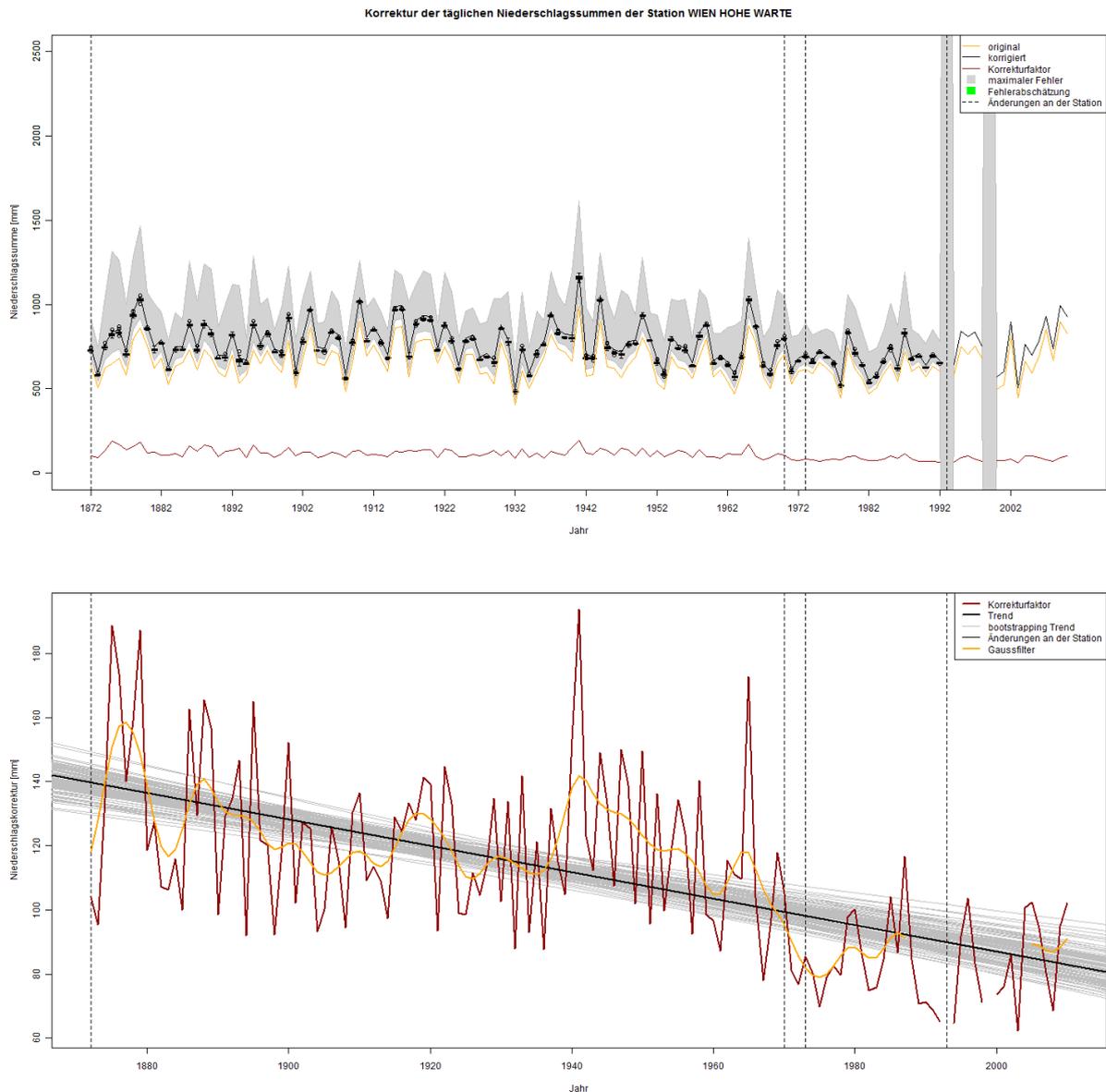


Abbildung 22: Oben: Jährliche gemessene und korrigierte Niederschlagssummen der Station Wien Hohe Warte, mit zusätzlicher Fehlerabschätzung. Unten: Trend der Zeitreihe der Niederschlagskorrektur mit linearem Trend unterlegt mit bootstrapping Trends und mittels Gauß gefilterter Zeitreihe. Vertikale Linien zeigen das Datum der Zusammenlegung von Zeitreihen und einhergehenden Änderungen an der Station.

Die korrigierten Niederschlagssummen liegen in jedem Fall über dem Konfidenzintervall des Fehlers, welcher durch die Approximation zustande kommt. Dennoch sind speziell nach oben die Unsicherheiten sehr groß; eine Unterschätzung der Windgeschwindigkeit kann zu großen Unterschieden in der Korrektur führen.

Die untere Abbildung geht genauer auf den Trend im Niederschlagskorrekturfaktor ein. In dunkelrot ist wieder die jährliche Korrektursumme abgebildet, in gelb dieselben Daten mit einem 10jährigen Gaussfilter geglättet, in schwarz ein linearer Trend der Korrekturen und grau unterlegt die mit Hilfe von Bootstrapping berechneten Trends zu Abschätzung der Trendsignifikanz.

Die Jahressummen der Niederschlagskorrektur variieren zwischen 60 und 190 mm/a und zeigen sehr starke jährliche Schwankungen. Maximale Korrekturfaktoren treten vermehrt in Jahren mit großen Niederschlagssummen auf. Weiters ist ein stark signifikanter negativer Trend von  $-4 \text{ mm}/10\text{a}$  ersichtlich. Nach der Stationsverlegung 1973 sinkt der Korrekturfaktor um ca.  $1/3$  ab, auf Grund der stärkeren Abschattung des Ombrometers durch das Hann-Haus und die dadurch verringerte Windgeschwindigkeit.

Betrachtet man nur die Periode vor der Stationsverlegung (siehe Abbildung 23) schwächt sich der Trend auf nicht signifikante  $-1.6 \text{ mm}/10\text{a}$  ab. Saisonal betrachtet sind die Änderungen in den Übergangsjahreszeiten (Frühling und Herbst) am stärksten, bedingt durch einen schwach negativen Trend der Niederschlagssummen und einem schwach positiven Trend der Jahresmitteltemperatur. Der Einfluss der Temperatur auf den Korrekturfaktor ist in Abbildung 3 bzw. im Unterschied von Abbildung 3 zu Abbildung 4 ersichtlich. Durch die Multiplikation dieses Faktors mit der gemessenen Niederschlagssumme ist ihr Einfluss erklärt.

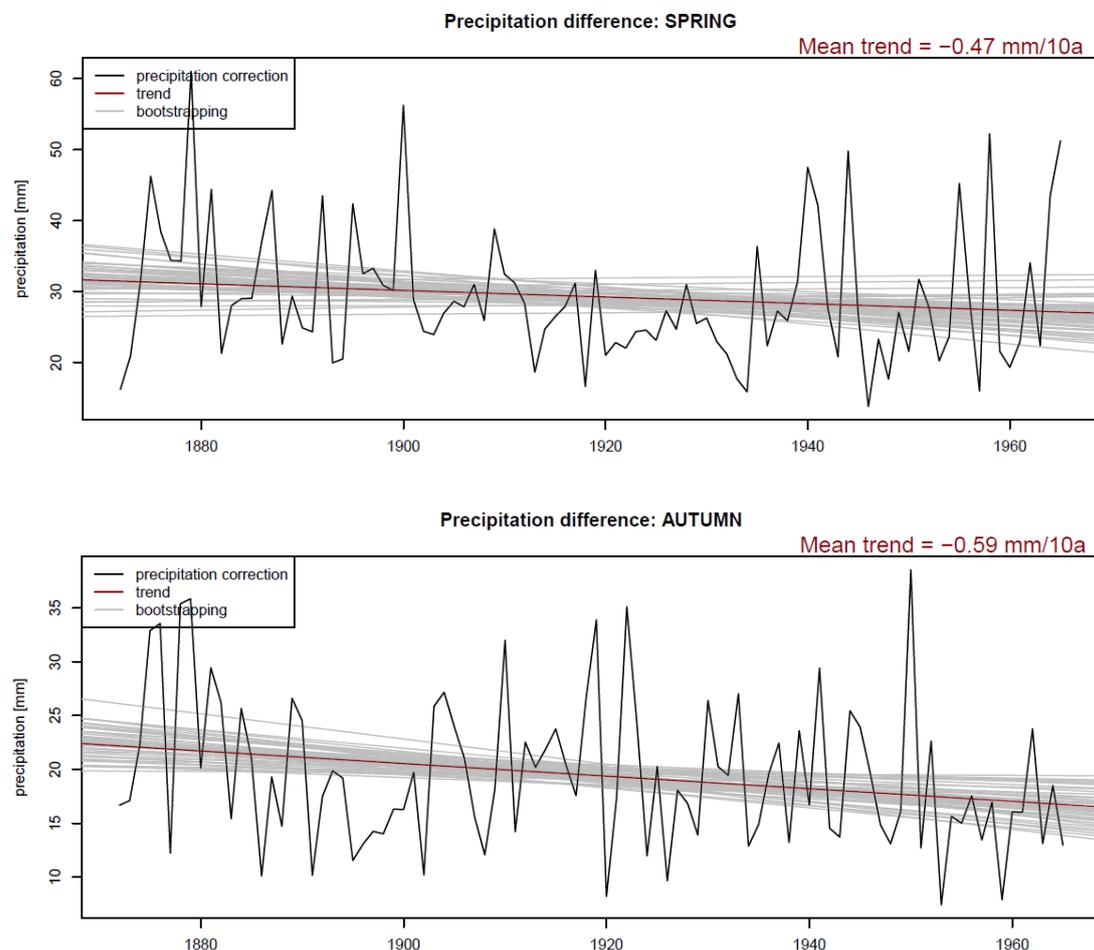


Abbildung 23: Trends der Niederschlagskorrektur für eine homogene Subperiode für Frühling (oben) und Herbst (unten) . Die Signifikanz des Trends wird mit einer Bootstrapping Methode (grau) bestimmt.

#### 4.4.2 Rauris

Die Zeitreihe der Station Rauris startet erst nach dem zweiten Weltkrieg im Jahre 1951. Die Station wurde zweimal verlegt, 1989 und 1993, wobei der genaue Standort der Messungen der älteren unzureichend dokumentiert ist. Aus diesem Grund kommen hier neben den Unsicherheiten der Wind- und Intensitätsapproximation noch Unsicherheiten bedingt durch den Standort hinzu. Hier wurde ein ähnlicher Ansatz der Fehlerbestimmung gewählt und das mittlere  $\alpha$  zufällig variiert mit maximalen Abweichungen von  $10^\circ$  (siehe Abbildung 24).

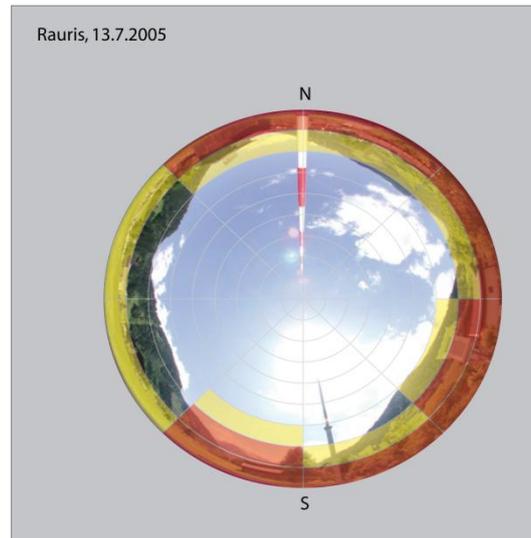


Abbildung 24: Ombrometerfoto der Station Rauris, rot die originale Einschätzung von  $\alpha$  und gelb die Unsicherheiten (jeweils  $10^\circ$  erhöht zur Einschätzung), bedingt durch fehlende Informationen über den genauen Standort.

Die Niederschlagskorrekturen liegen ähnlich wie in Wien zwischen 80 und 160 mm/a mit einem schwachen negativen Trend (Abbildung 25). Durch die zusätzlichen Unsicherheiten im Standort ist bei dieser Station die Schwankungsbreite der Unsicherheiten um einiges größer, liegt aber dennoch über dem nicht korrigierten Wert. Saisonal gesehen (Abbildung 26) ist der Trend während der Sommermonate am stärksten, großteils bedingt durch einen negativen Trend in den jährlichen Niederschlagssummen.

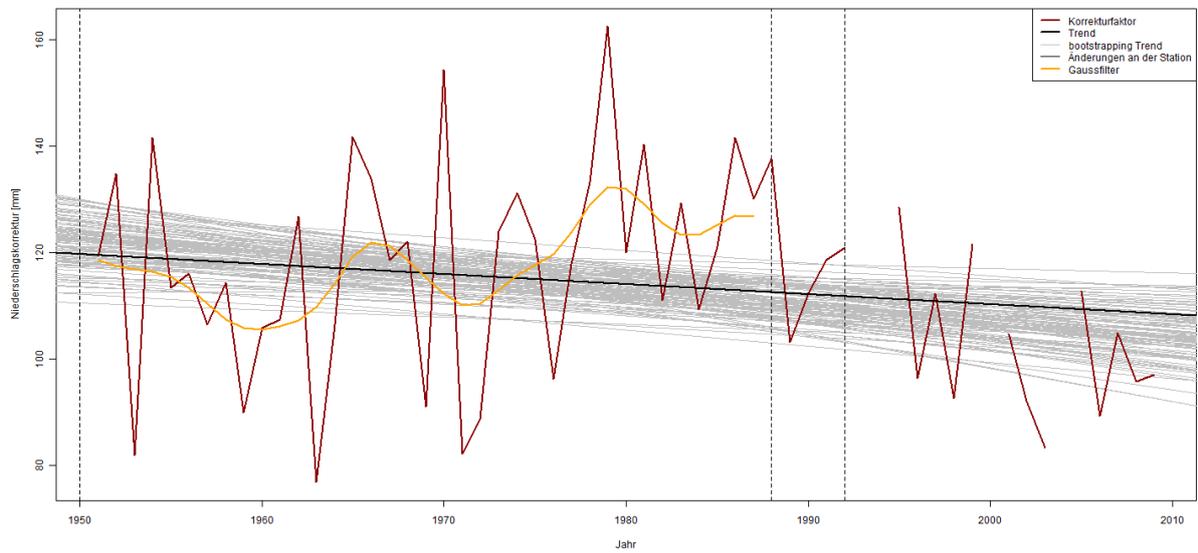
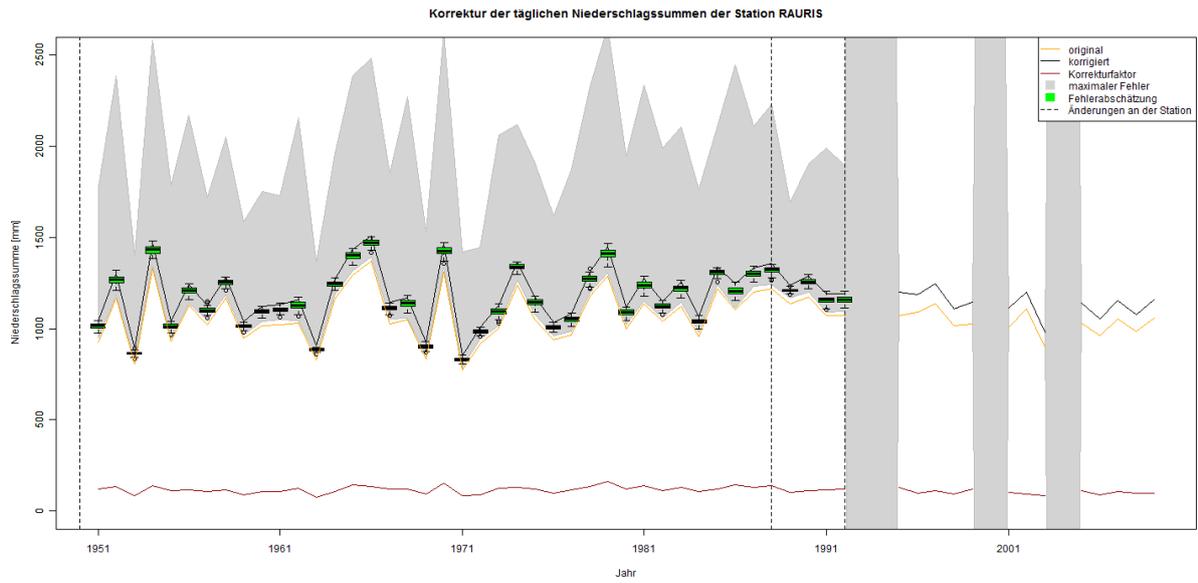


Abbildung 25: wie Abbildung 22 für die Station Rauris

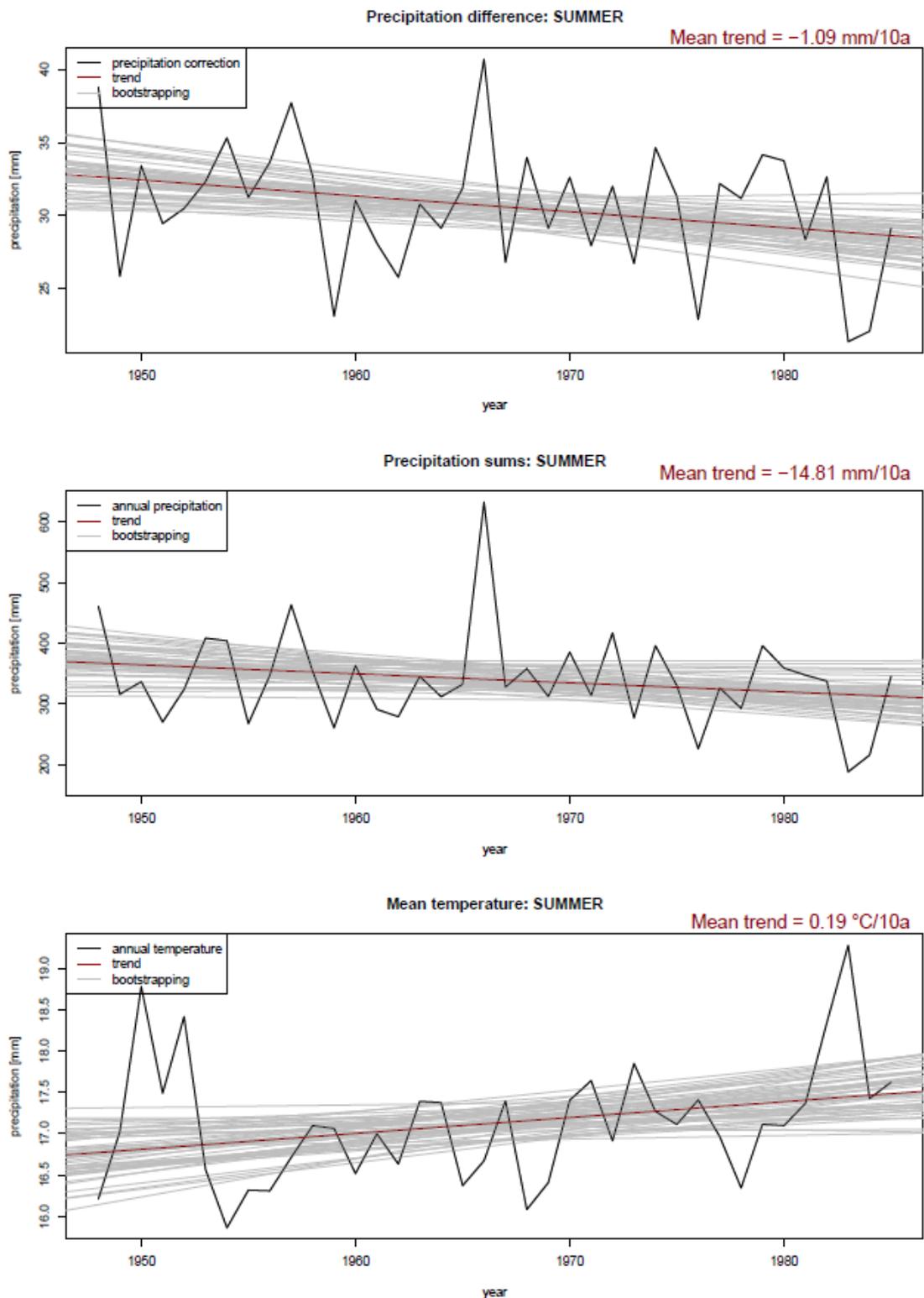


Abbildung 26: Trends der Niederschlagskorrektur (oben), der jährlichen Niederschlagssumme (Mitte) und der Jahresmitteltemperatur (unten) für eine homogene Subperiode. Die Signifikanz des Trends wird mit einer bootstrapping Methode (grau) bestimmt.

## 5. Korrektur der monatlichen Niederschlagssummen

### 5.1 Methode 1: Anwendung der Korrekturformel

Für die Stationen Wien Hohe Warte und Retz wurde versucht, das Niederschlagskorrekturmodell für Tagesdaten auf Monatsmittelwerte anzuwenden. Dafür wurde das Modell insoweit geändert, als die Werte der Temperatur auf Monatsmitteltemperaturen geändert wurden. Für die Intensität wurde sowohl ein Versuch mit einer optimalen Abschätzung der Niederschlagsintensität durch eine Mittelung der täglichen Intensitäten durchgeführt als auch durch eine Intensitätsabschätzung durch die Division der monatlichen Niederschlagssumme durch die Stunden des gesamten Monats. Diese zweite Methode ergibt deutlich unterschätzte Niederschlagsintensitäten. Für die Windgeschwindigkeit wurde zum einen die aus den Tagesdaten berechnete mittlere Geschwindigkeit verwendet und zum anderen die klimatologische Windgeschwindigkeit des entsprechenden Monats aus dem Zeitraum 1971-2000. Der Benetzungsfehler und der Verdunstungsfehler wurden für jeden Tag des Monats berücksichtigt.

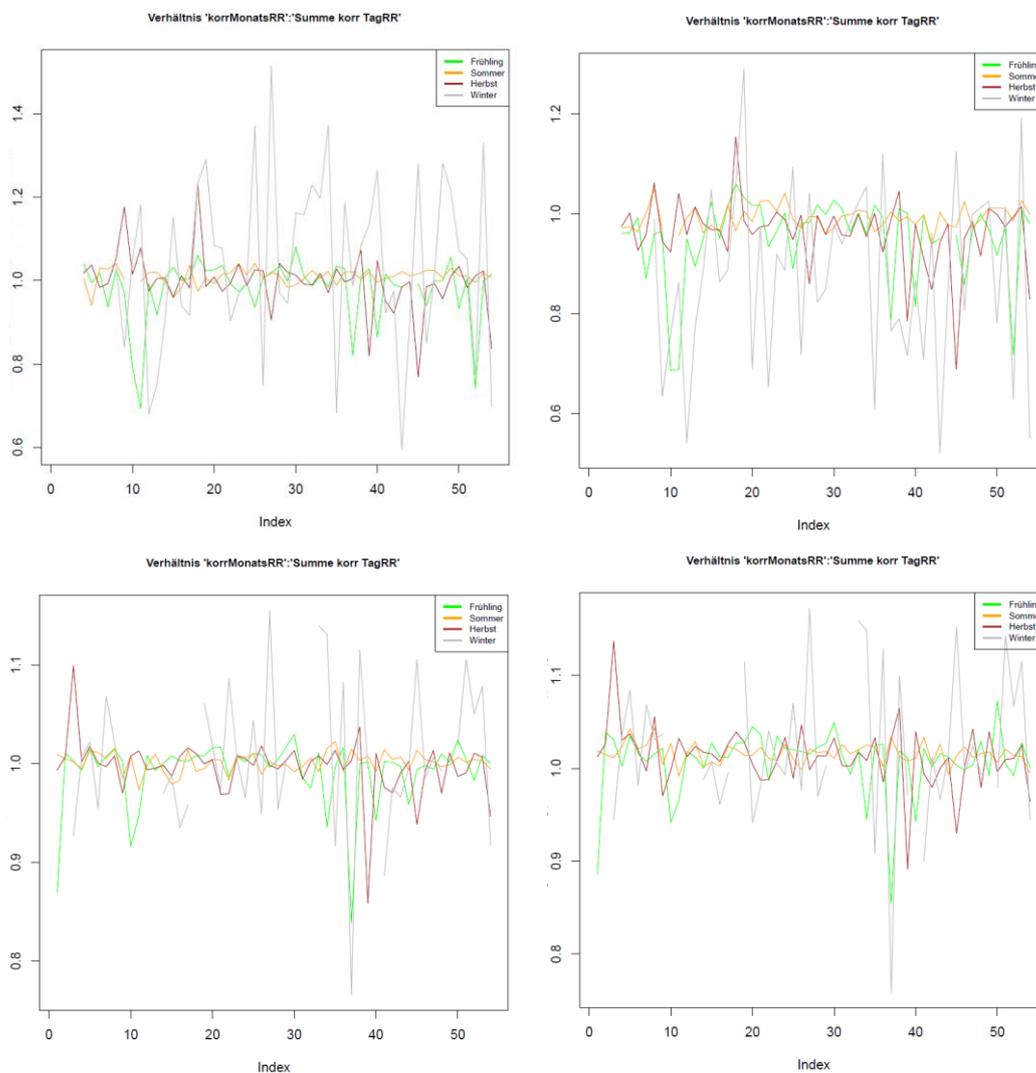


Abbildung 27: Links sind die Verhältnisse korr. Monatsniederschlag/Summe der korr. Tagesniederschläge für Monatsmitteltemperatur, gemittelter Tages-RR-Intensität und gemittelter Tageswindgeschwindigkeit dargestellt. Für die Ergebnisse der rechten Seite wurden für die Intensität die monatl. Niederschlagssumme durch die Anzahl aller Stunden im Monat dividiert und die Windgeschwindigkeiten der Klimatologie 1971-2000 entnommen. Ersten Zeile sind Station Retz (905); Zweite Zeile Station Wien Hohe Warte (5904).

In Abbildung 27 sind die Verhältnisse der korrigierten Niederschlagssummen zu der Summe der korrigierten Tagesniederschläge der einzelnen Monate für die einzelnen Jahreszeiten zu sehen.

Man erkennt die großen Schwankungen, denen das Verhältnis zwischen den korrigierten Monats- und den korrigierten Tagesdaten unterliegt. Nur in den Sommermonaten scheint das Verhältnis zwischen den unterschiedlichen Korrekturen relativ stabil zu sein und um 1 zu schwanken. Der Winter zeigt die stärksten Abweichungen.

Den stärksten Einfluss auf das Ergebnis hat der Unterschied zwischen der Verwendung der Monatsmitteltemperatur und der einzelnen Tagestemperaturen auf das Ergebnis. In Abbildung 28 sind die Verhältnisse zwischen dem korrigierten Monatsniederschlag und der Summe der korrigierten Tagesniederschläge zu sehen, wobei dieses Mal bei der Korrektur der Tagesniederschläge die Monatsmitteltemperatur des jeweiligen Monats an Stelle der tatsächlichen Tagesmitteltemperatur verwendet wurde. Man erkennt, dass nun auch der Frühling und der Herbst eine deutlich geringere Schwankungsbreite zeigen. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass in diesen Jahreszeiten im Allgemeinen Niederschläge in unterschiedlichen Phasen (flüssig, fest und gemischt) vorkommen können, die bei der täglichen Korrektur mit unterschiedlichen Faktoren korrigiert werden. Bei der Monatskorrektur werden die gesamten Niederschläge des Monats mit nur einem einzigen Korrekturfaktor korrigiert.

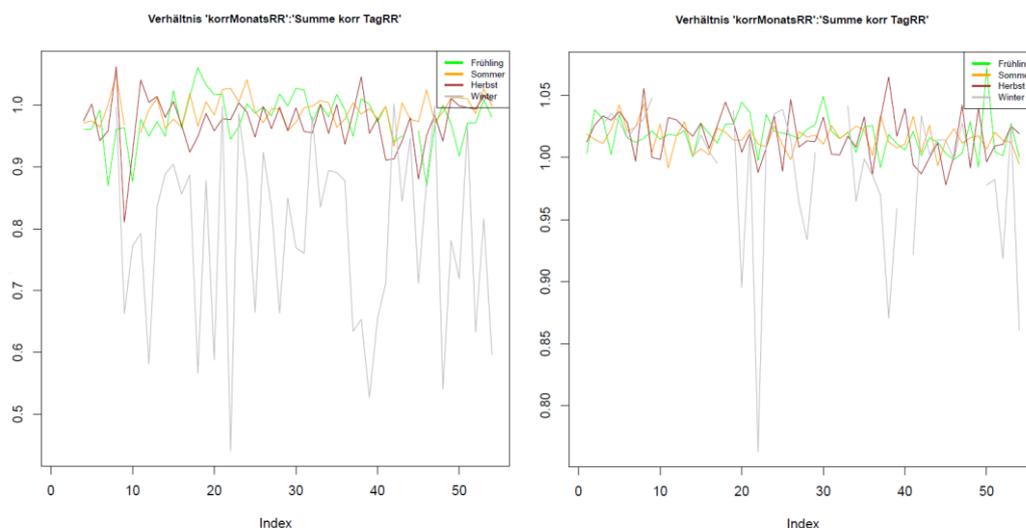


Abbildung 28: Wie Abbildung 27 aber nur für die groben Eingangsdaten. Links für Retz (905) rechts für die Station Wien Hohe Warte (5904). Die Tagesdaten wurden mit der entsprechenden Monatsmitteltemperatur korrigiert.

Im Winter fallen die hohen Verhältniszahlen zwar durch die Verwendung der Monatsmitteltemperatur an den einzelnen Tagen weg, die Schwankungen sind aber noch immer deutlich größer als in den anderen Jahreszeiten.

Die Verwendung der klimatologischen Windgeschwindigkeiten verringern die Unterschiede zwischen den Monats- und Tageskorrekturen noch weiter, sodass nur mehr geringe Schwankungen gegeben sind. (Abbildung 29, zu beachten ist die geänderte Skala der y-Achse im Vergleich zu den vorigen Abbildungen).

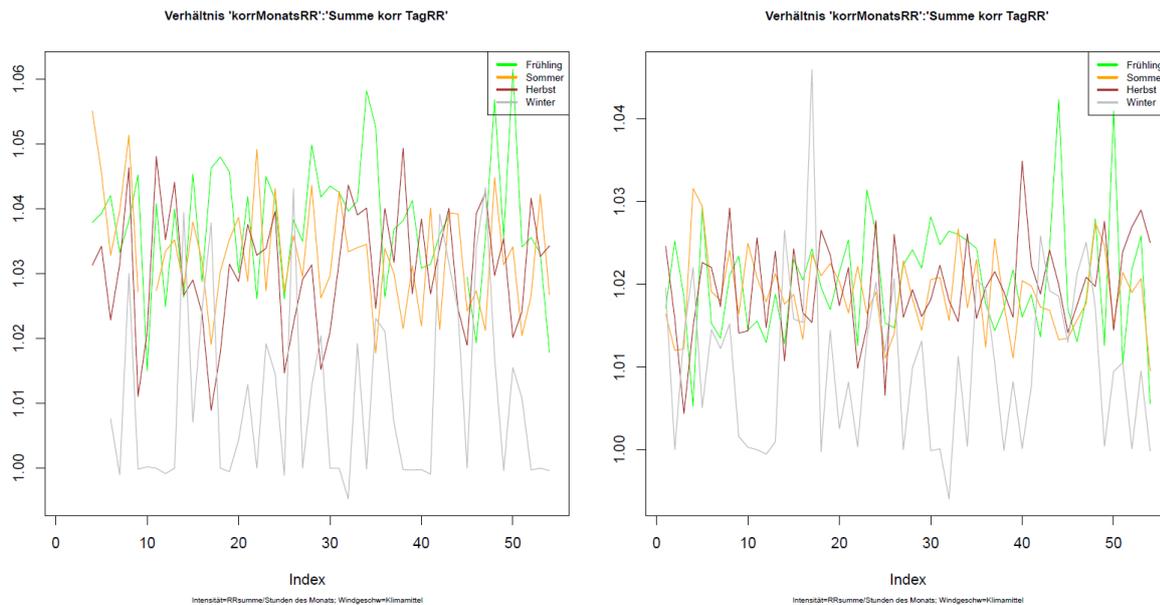


Abbildung 29: wie Abbildung 28, aber für die Korrektur der Tagesdaten wurden außerdem die klimatologischen Windgeschwindigkeiten für die einzelnen Monate verwendet.

Die noch verbliebenen Unterschiede sind durch die unterschiedlichen Intensitäten zu erklären (Abbildung 30).

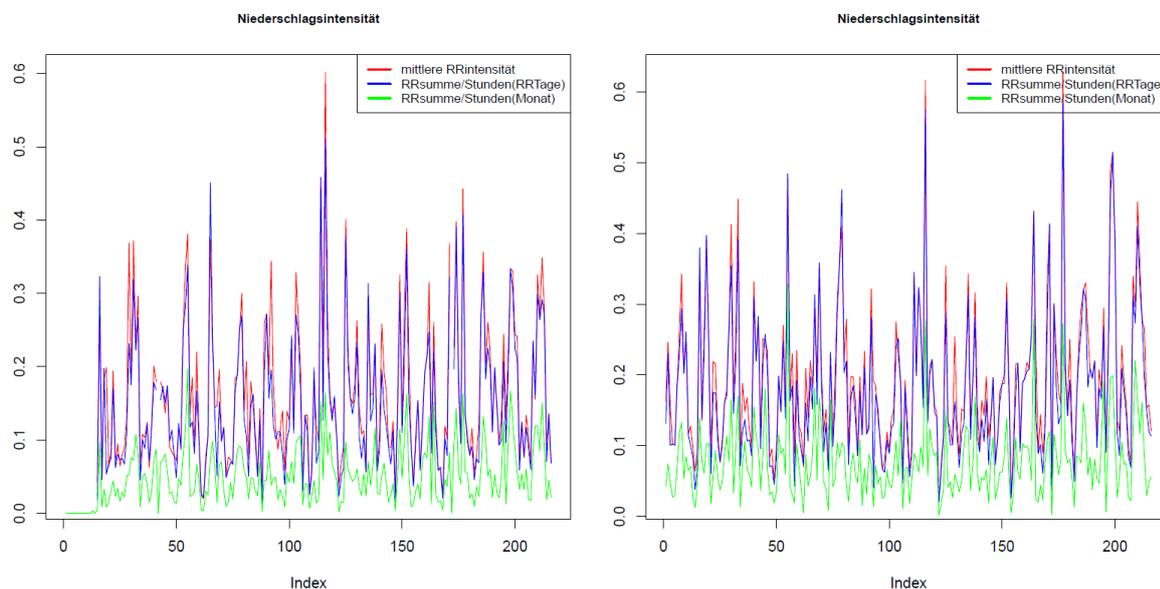


Abbildung 30: Niederschlagsintensitäten für unterschiedliche Berechnungen (links für Retz (905), rechts für Wien Hohe Warte (5904)). Die rote Kurve zeigt die gemittelte monatliche Niederschlagsintensität, in blau ist die monatliche Niederschlagssumme dividiert durch die Anzahl der Stunden der Niederschlagstage dividiert und für die grüne Kurve wurde die Niederschlagssumme durch die Anzahl der Stunden im jeweiligen Monat dividiert.

Auf Grund der großen Schwankungen zwischen den korrigierten Niederschlagssummen und den korrigierten, aufsummierten Tagesniederschlägen in allen Jahreszeiten mit Ausnahme vom Sommer, ist diese Art der Niederschlagskorrektur nicht empfehlenswert.

Da sich die größten Unterschiede zwischen der monatlichen und der täglichen Korrektur im Winter ergaben und mit der Verwendung der Monatsmitteltemperatur anstelle der Tagestemperaturen

zusammenhängen, scheint die Hauptursache in der fehlerhaften Abschätzung des festen Niederschlagsanteils zu liegen. In einem weiteren Versuch wurde daher der Niederschlag nach der Tangenshyperbolicus-Funktion in einen festen und einen flüssigen Anteil aufgeteilt (Chimani et al, 2011). Der gefallene Niederschlag wurde entsprechend mit dem passenden Korrekturfaktor korrigiert. Verdunstungs- und Benetzungsfehler wurden wie zuvor mit dem, nach der Monatstemperatur gewählten, Faktor bestimmt.

$$(5-1) \quad Z_c = k_s * Z_{m_s} + k_l * Z_{m_l} + k * (Z_E + Z_W)$$

- Mit
- $Z_c$  korrigierte Niederschlagsmenge [mm]
  - $Z_m$  gemessene Niederschlagsmenge, aufgeteilt in eine Menge festen Niederschlags  $Z_{m_s}$  und einer Menge an flüssigen Niederschlag  $Z_{m_l}$  [mm]
  - $k_s$  Korrekturfaktor für festen Niederschlag
  - $k_l$  Korrekturfaktor für flüssigen Niederschlag
  - $Z_e$  Verdunstungsfehler [mm/Tag]
  - $Z_w$  Benetzungsfehler [mm/Tag]

An der Station Wien kommt es in diesem Fall für jede Jahreszeit, abgesehen vom Winter, zu einer deutlichen Erhöhung des Medians des Quotienten der auf monatlicher Basis korrigierten Niederschlagsmenge und der aufsummierten täglich korrigierten Niederschlagssumme (Abbildung 31). In diesen Jahreszeiten wird der Anteil des festen Niederschlags also generell überschätzt. Im Winter ist nur eine geringe Verschiebung des Medians zu bemerken, eine deutliche Verbesserung des Wertebereichs für den Quotienten ist jedoch auch nicht gegeben (Abbildung 31).

In Retz hingegen sind die Änderungen des Median im Winter auch gering, der Bereich der Werte wird jedoch auch deutlich geringer. Trotzdem ist der Wertebereich, welcher der Quotient hier annehmen kann mit einer Spannweite von 0,7 noch sehr groß. Im Sommer sind an dieser Station kaum Änderungen durch die Verwendung der tanh-Funktion gegeben (Abbildung 32). In den Übergangsjahreszeiten sind auch hier die ungefähr +0,1 betragenden Änderungen im Median der Quotienten gegeben.

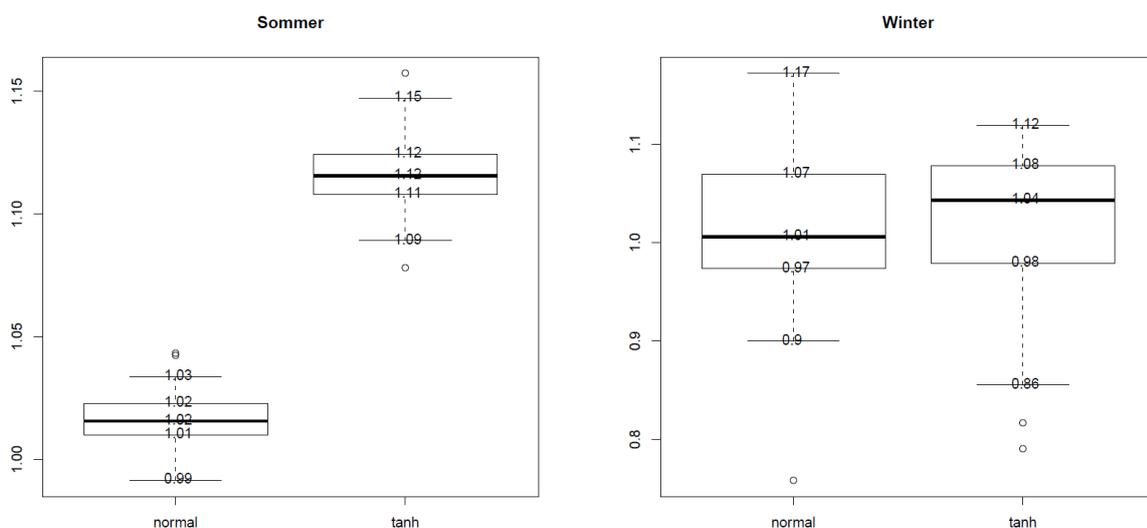


Abbildung 31: Vergleich der Quotienten des korrigierten Monatsniederschlags zu der Summe der korrigierten Tagesniederschläge für die Station Wien Hohe Warte. Mit "normal" bezeichnete Boxplots zeigen die Verteilung der Quotienten bei Verwendung der Korrekturformel, die mit "tanh" beschrifteten Boxplots die Verteilung der Quotienten,

wenn der Niederschlag, einer tanh-Funktion folgend, in festen und flüssigen Niederschlag aufgeteilt wird. Auf der linken Seite sind die Boxplots für den Sommer auf der rechten Seite für den Winter zu sehen.

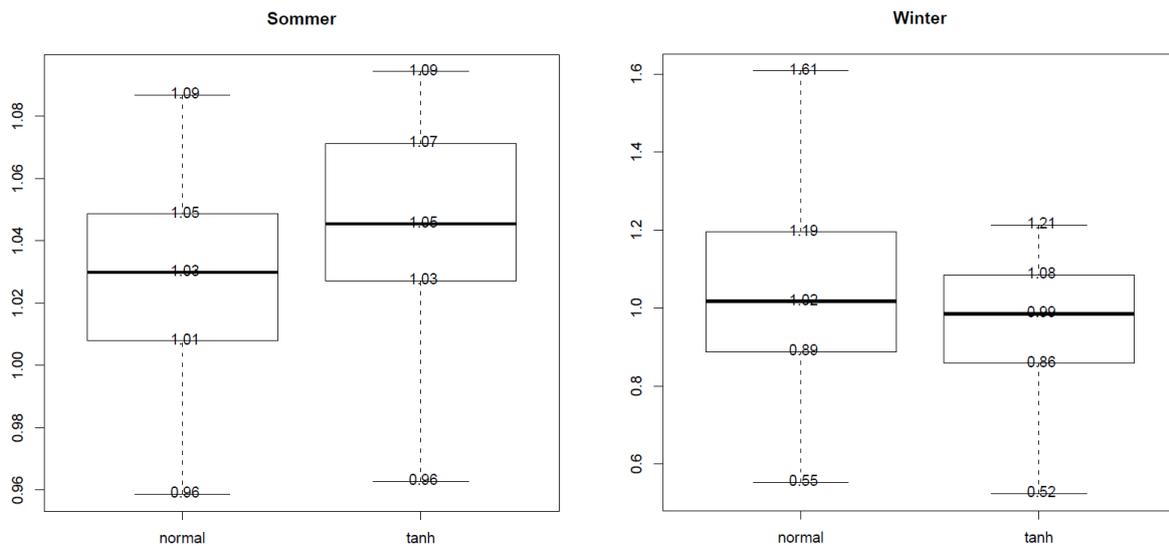


Abbildung 32: wie Abbildung 31, aber für die Station Retz

Dieses Verfahren wäre nur für den Winter zur Korrektur des Niederschlagsfehlers geeignet und die Ungenauigkeiten reduzieren sich dabei nur geringfügig. Die, auch mit diesem Verfahren auftretenden, großen Schwankungen in der Qualität der Korrektur lassen das Verfahren trotz leichten Verbesserungen nicht operationell anwendbar erscheinen. Eine Anwendung der tanh-Funktion im Flachland in den Übergangsjahreszeiten und dem Sommer ist nicht sinnvoll, da da im Sommer fester Niederschlag kaum in Form von Schnee zu erwarten ist. Im Sommer besteht fester Niederschlag aus Hagel und Graupel, die mit einer erhöhten Niederschlagsintensität auftreten)

## 5.2 Methode 2: Anwendung einer Regression

Als Alternative wurde versucht eine lineare Regression zwischen der originalen Niederschlagssumme und der korrigierten Niederschlagssumme zu bestimmen, die nur auf der Monatsmitteltemperatur und der gemessenen Niederschlagsmenge basiert. Diese geringe Anzahl aus Eingangsdaten wurde gewählt, da nur diese Werte in der langjährigen homogenisierten HISTALP-Datenbank vorhanden sind.

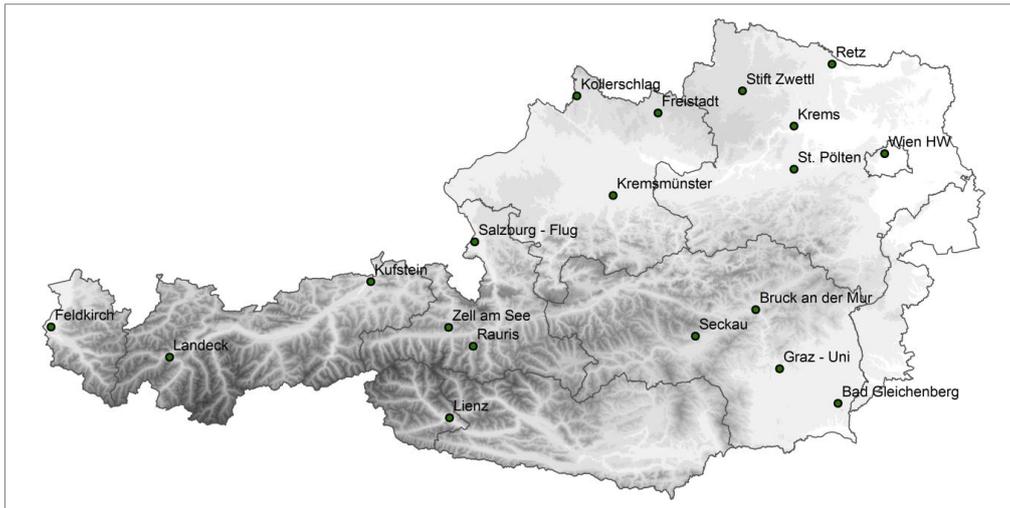


Abbildung 33: Gewählte Stationen für Clusterung.

Für die Bestimmung der Regression wurden Tagesdaten aller für dieses Projekt ausgewählten, Stationen mit der Ausnahme von Innsbruck verwendet, da hier für einzelne Monate keine Daten vorhanden waren. Die Untersuchung wurde für jeden Monat getrennt und zu Jahreszeiten zusammengefasst durchgeführt. Die gesuchte Regression war von der Form

$$(5-2) \quad RR_{\text{korrr}} = a * T + b * RR + c$$

In Abbildung 34 sind die Koeffizienten für Temperatur und Niederschlag für die einzelnen Jahreszeiten und die einzelnen Stationen dargestellt.

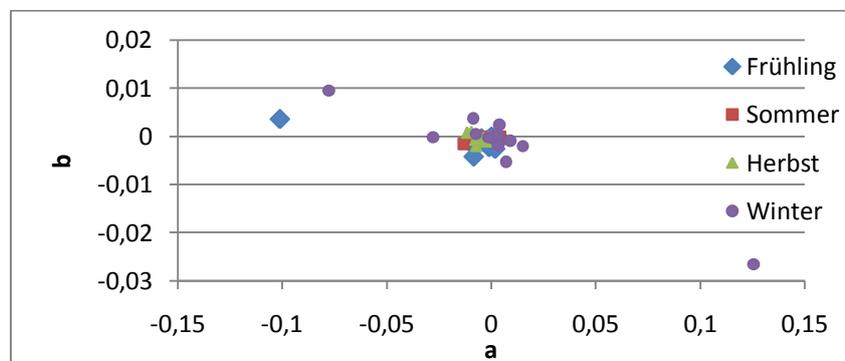


Abbildung 34: Koeffizienten für Temperatur und Niederschlag der Niederschlagskorrekturregression für unterschiedliche Stationen und Jahreszeiten.

Besonders im Frühling und im Winter sind starke Ausreißer zu finden, doch ist auch die Streuung, die um die 0/0 zu finden ist, nicht ohne Auswirkung auf die Ergebnisse.

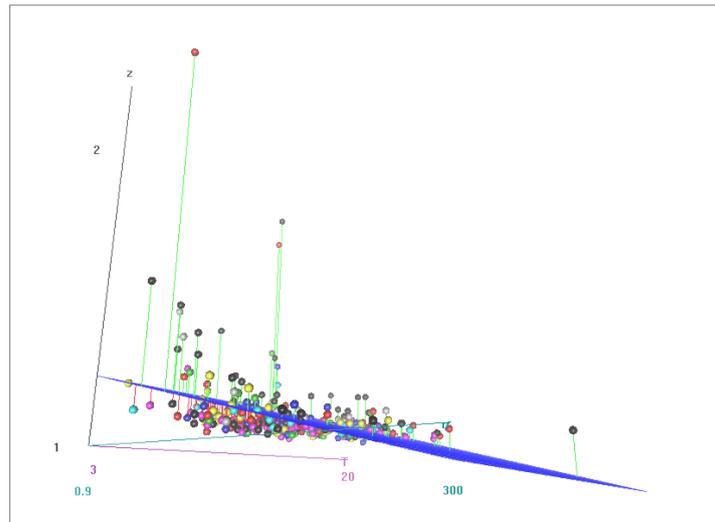


Abbildung 35: Beispiel eines Clustering: Alle dem Frühling zugehörigen Monatsdaten der Stationen unterhalb von 500m wurden verwendet. Eingezeichnet sind die Meßpunkte (unterschiedliche Farbe je nach Station) (türkise Achse: original Niederschlag, lila Achse: Temperatur, schwarze, vertikale Achse: Verhältnis der Summe der korrigierter Niederschlag zu der durch die Regression korrigierten Niederschlagssumme) und die bestimmte Regression.

Auf Grund der kurzen Zeitreihen waren für manche Stationen zu wenige Datenpunkte vorhanden, um diese Regression abschätzen zu können. Es wurde daher versucht ein Clustering vorzunehmen. Das Clustering wurde nach unterschiedlichen Kriterien vorgenommen: mikroskalige Lage der Stationen laut der Datenbank Statprot, Höhenlage der Stationen und durch ein automatisches Verfahren. Außerdem wurden die einzelnen Monate gemeinsam als Jahreszeit betrachtet.

Das automatische Verfahren empfiehlt für die Jahreszeiten 4 Cluster (im Winter 5). In Abbildung 36 sind die vorgeschlagenen Cluster dargestellt. Es fällt auf, dass in jeder Jahreszeit Cluster nur aus einer einzelnen Station bestehen. Dadurch ist die Berechnung der Regression für diesen Cluster nicht gut abgesichert oder sogar unmöglich, falls die entsprechende Zeitreihe zu kurz ist. Außerdem wechseln die Stationen die Zugehörigkeit von Clustern, sodass die Zusammensetzung für jede Jahreszeit unterschiedlich ist. Zudem deckt sich die automatische Einteilung scheinbar nicht mit einem Lageparameter der einzelnen Stationen. Es ist daher nicht möglich, auf Grund eines objektiven Kriteriums, hier nicht verwendete Stationen problemlos einem der Cluster zuzuordnen.

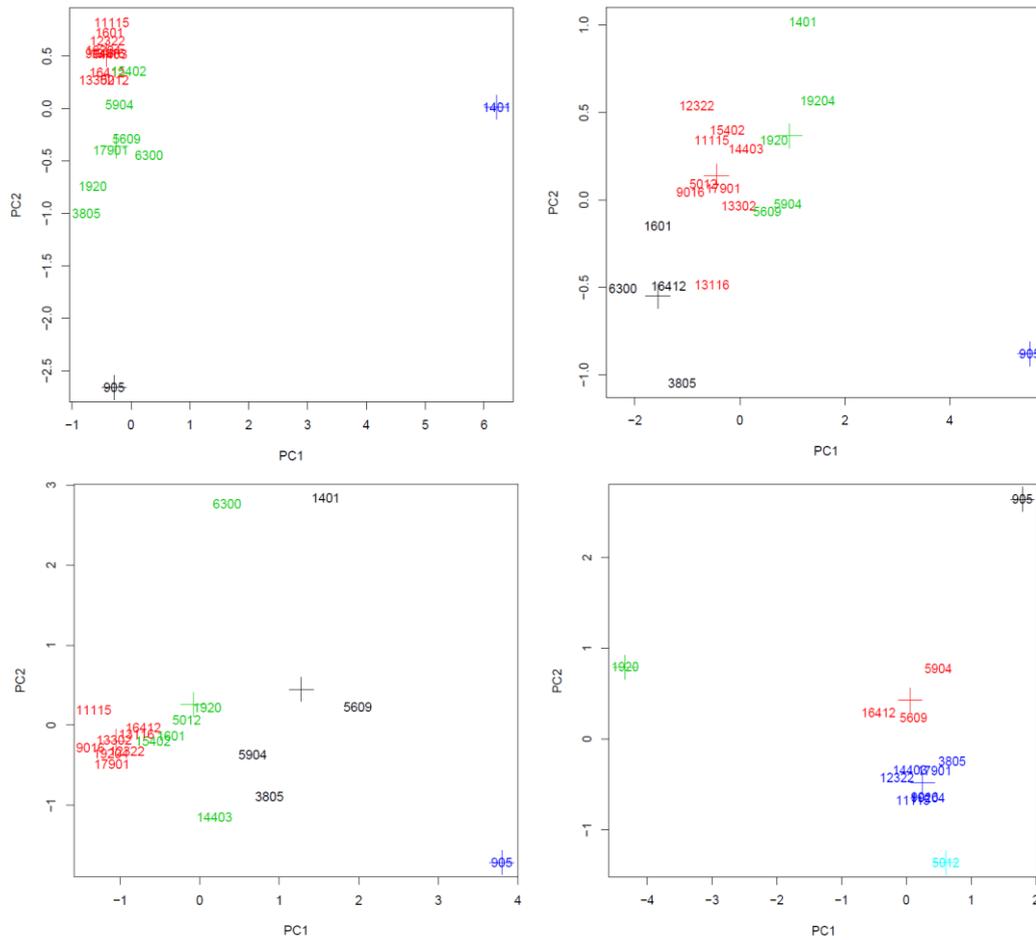


Abbildung 36: Vorschlag des Clustering der Stationen nach dem automatischen Verfahren für die einzelnen Jahreszeiten (links oben: Frühling; rechts oben: Sommer; links unten: Herbst; rechts unten: Winter).

## 6. Zusammenfassende Projektergebnisse

In Bezug auf die gesetzten Projektziele konnten die folgenden Erkenntnisse gewonnen werden:

- Die Anpassungen können langfristig durch Änderungen im Standort (z.B. Exponiertheit der Station), der Messgeräte, der Temperatur und des Niederschlags selbst einen Trends aufweisen. Wir konnten zeigen, dass Änderungen des Standorts und der Messgeräte signifikante, sprunghafte Änderungen in der Niederschlagskorrektur hervorrufen. Aufgrund mangelnder Informationen über den genauen Aufstellungsort und weniger genauen Daten in den älteren Messreihen sind die Unsicherheiten der Anpassung zu groß um eine Homogenisierung der Zeitreihen ersetzen zu können. Innerhalb einer homogenen Subperiode (z.B. zwischen 2 Stationsverlegungen) ist der Einfluss der Temperaturänderung auf die Niederschlagskorrektur zu gering um einen signifikanten Trendänderung in der Niederschlagsreihe zu generieren.
- Eine Korrektur der auf Monatsbasis vorliegenden Niederschlagsmengen scheint auf Grund der durchgeführten Untersuchungen nicht sinnvoll. Die Eingangsdaten liegen zum einen mit einer monatlichen Auflösung schon zu grob vor und auf Grund der individuellen Eigenschaften der einzelnen Stationen ist ein Clustering kaum möglich.
- Durch die hohe zeitliche Auflösung aller Eingangsparameter scheint die Korrektur der 10min-Werte eine gute Methode zu sein. Referenzmessungen wären aber für eine Verifikation wünschenswert.

Die Unsicherheiten, die bei der Korrektur der Niederschlagsdaten eine Rolle spielen sind vielfältig. Zum einen sind es methodeninterne Unsicherheiten, wie die Mittelung von Temperaturen auf Tagesbasis. Zum anderen sind es auch von außen vorgegebene Unsicherheiten, die sich aus Änderungen in Messsystemen oder Aufstellungen ergeben (z.B. Windabschattung). Um diese zweite Art von Ungenauigkeiten möglichst gering zu halten, ist die Fortführung der folgenden Maßnahmen essentiell:

\*) regelmäßige Besuche und Beschreibungen der Stationen inklusive Ombrometerfoto

\*) genaue Aufzeichnungen über die messenden Geräte an den Stationen und Bestimmung der entsprechenden Geräteparameter für das Korrekturmodell

Die Verwendung entsprechend korrigierter Niederschlagswerte, etwa für Fallstudien oder Auswertungen auf Tagesbasis, erscheint sinnvoll, da es durch die Korrektur zu einer räumlichen Verschiebung von Niederschlagsmaxima kommen kann. Eine genauere Untersuchung dieses Einflusses, etwa mit INCA, wäre denkbar.

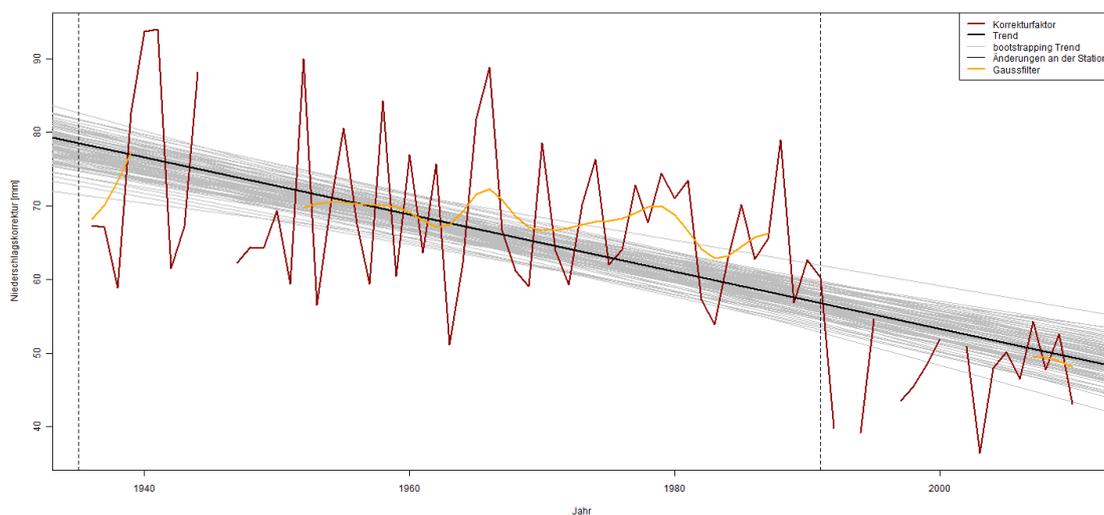
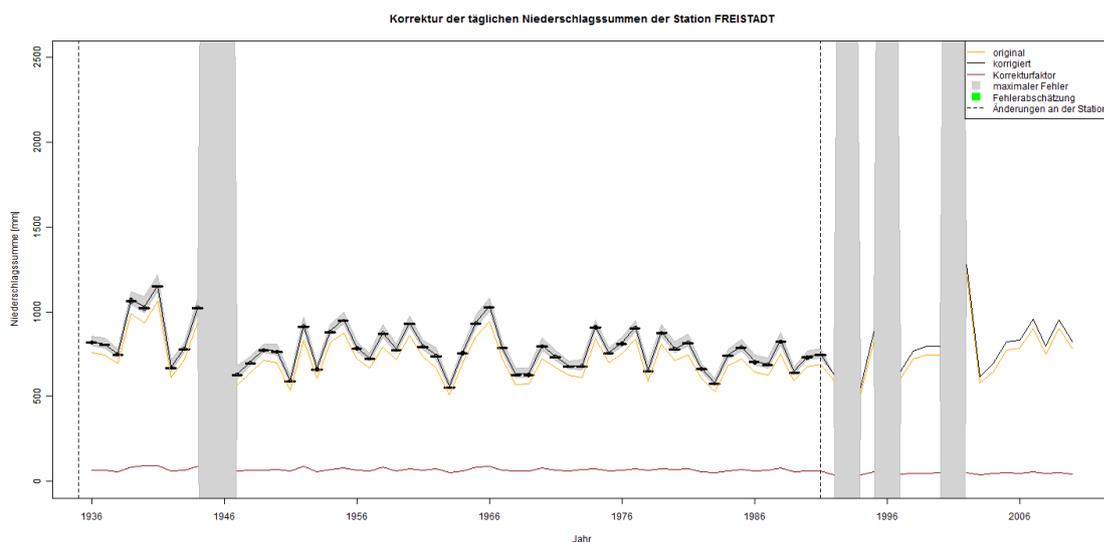
### Weiterer Forschungsbedarf ist in 2 Bereichen gegeben:

- Durchführung von Vergleichsmessungen auf internationalen Versuchsfeldern (z.B. Wasserkuppe), wobei besonders Messungen bei Schneefall von Bedeutung sind. Dadurch könnten auch für neue Messgeräte aerodynamische Korrekturfaktoren bestimmt werden und genauere Aussagen über die Verdunstungs- und Benetzungsfehler getroffen werden.
- Die Angabe von Unsicherheiten spielt besonders bei Auswertungen der Niederschlagsreihen eine wesentliche Rolle. Daher ist es notwendig sowohl für neue als auch für die bisherigen homogenisierten Daten Unsicherheitsgrenzen anzugeben.

### **Anhang: Ergebnisse der Korrektur der Tagesniederschläge**

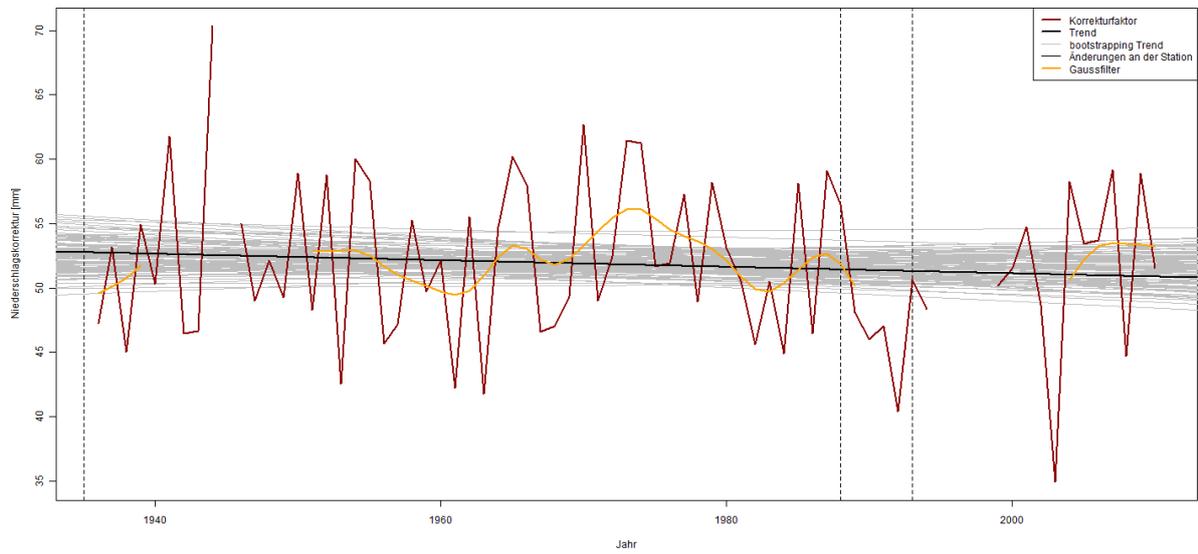
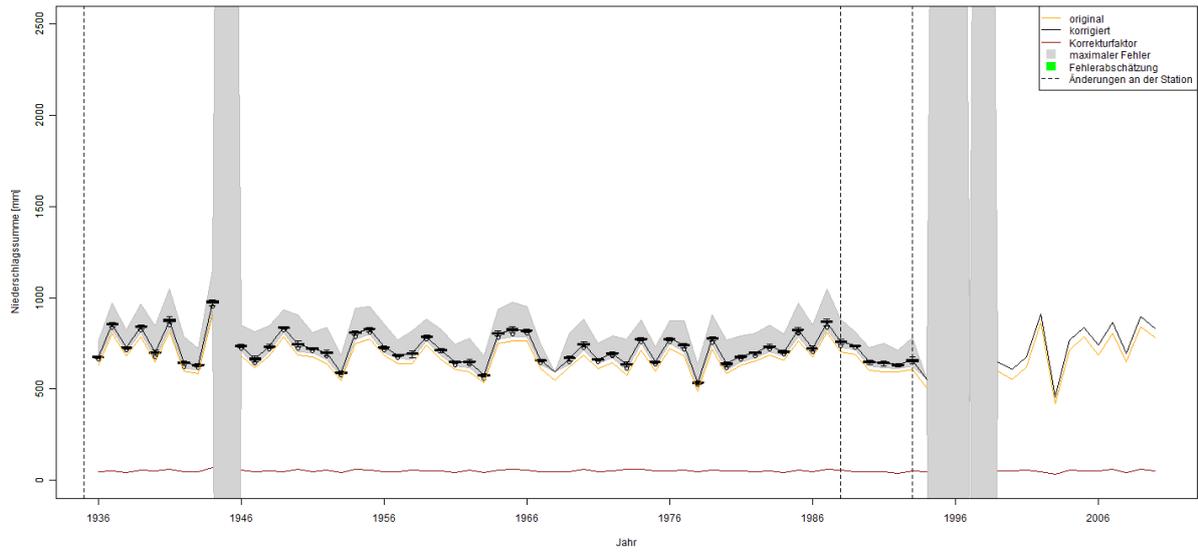
In diesem Abschnitt sind die Korrekturen der täglichen Niederschlagswerte für die in diesem Projekt bearbeiteten Stationen (siehe Tabelle 5) zu sehen.

Freistadt :

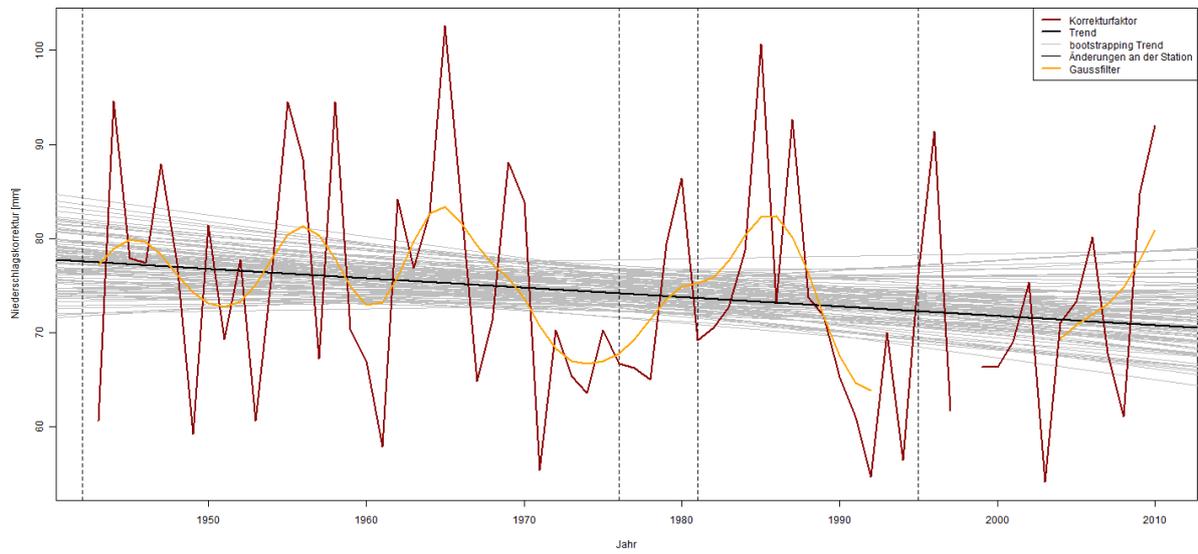
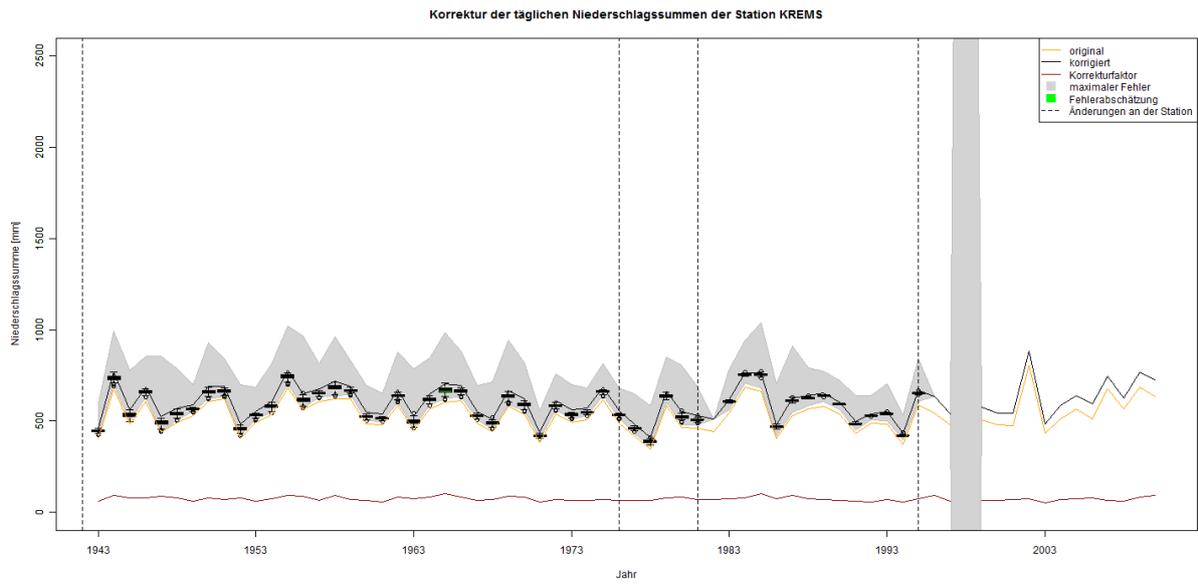


# Stift Zwettl:

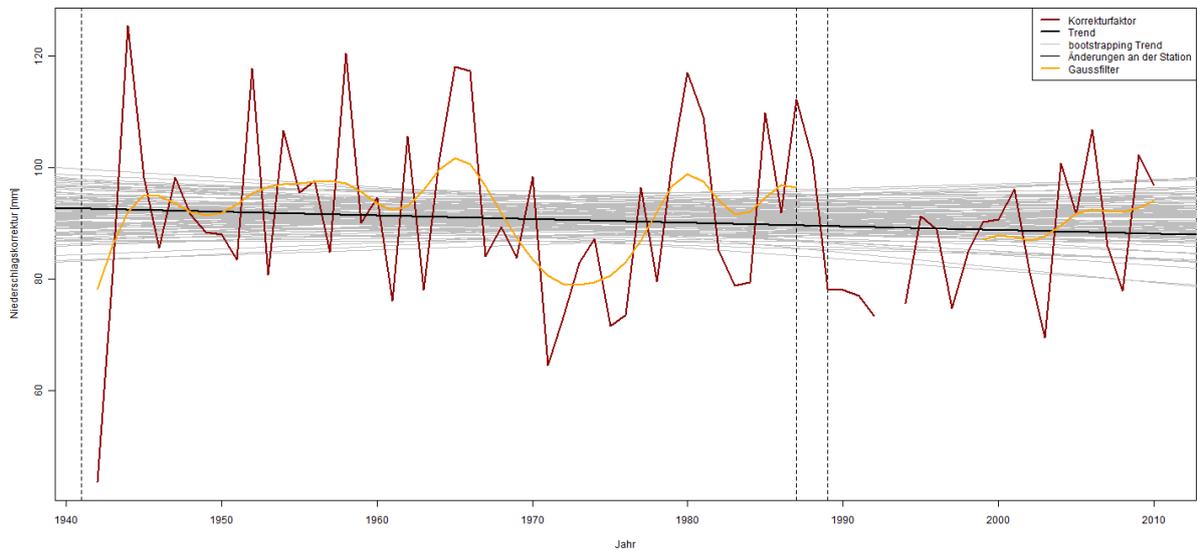
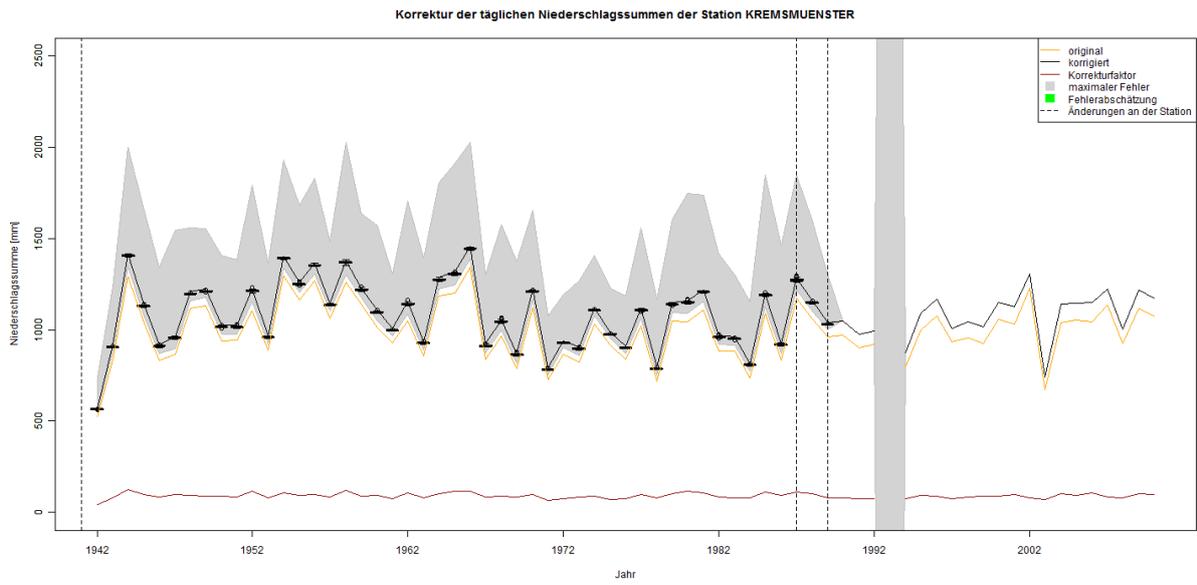
Korrektur der täglichen Niederschlagssummen der Station STIFT ZWETTL



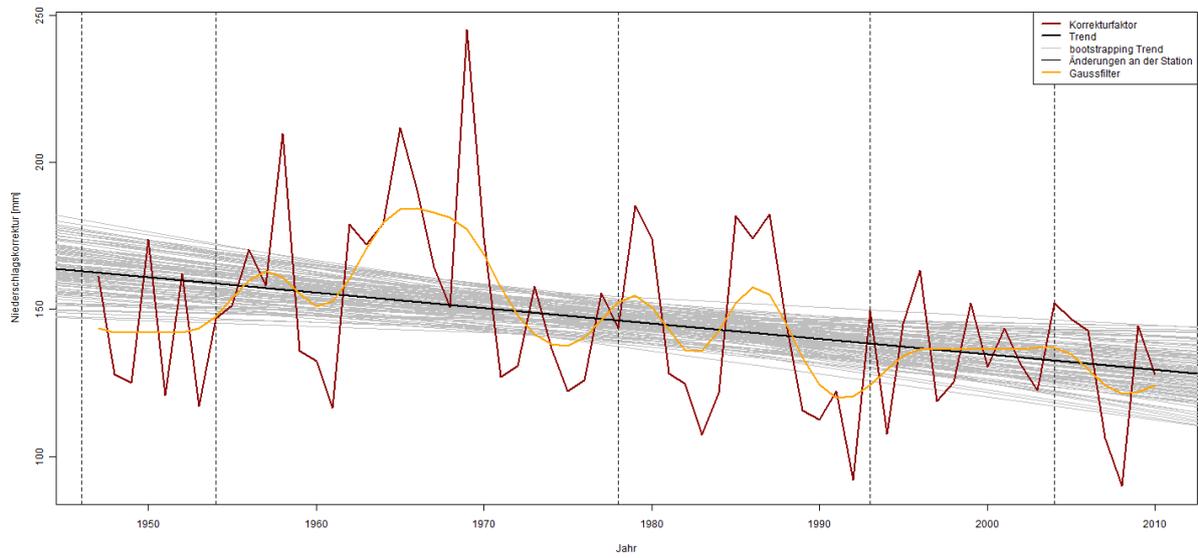
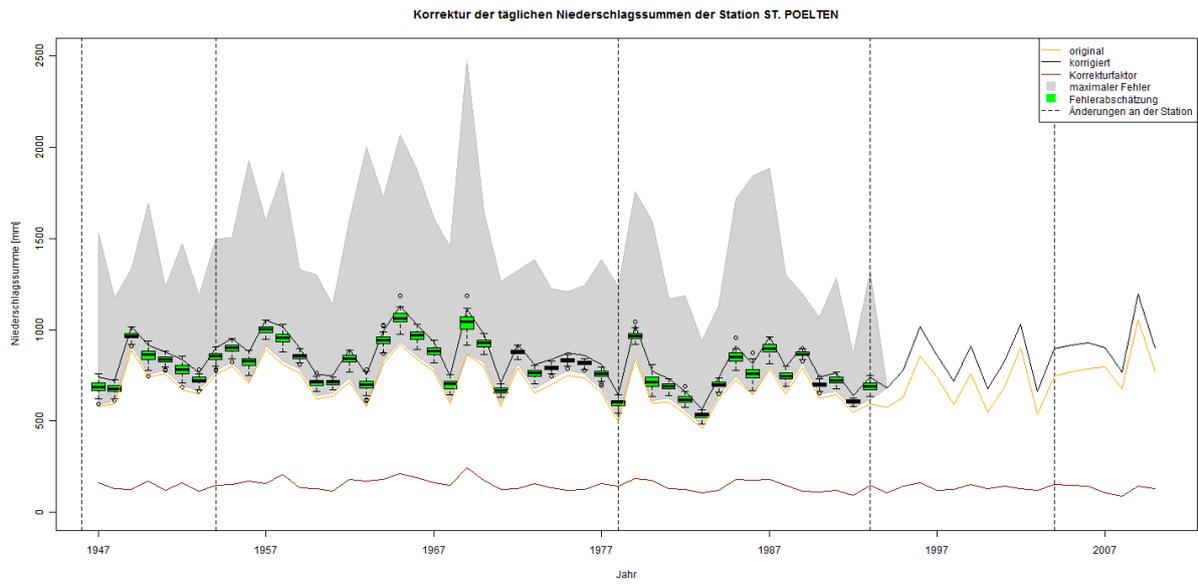
# Krems:



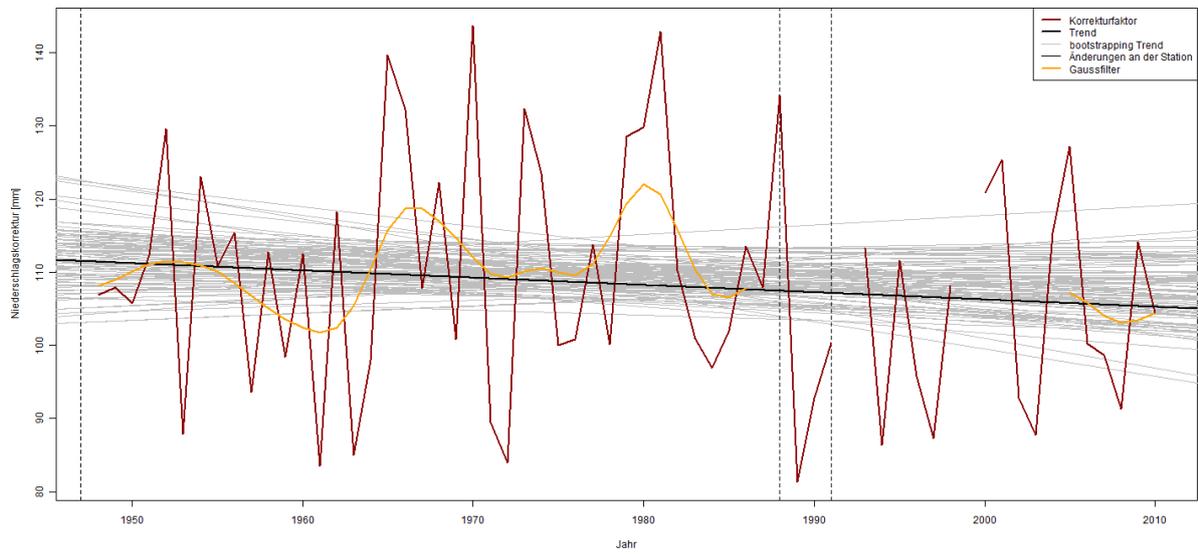
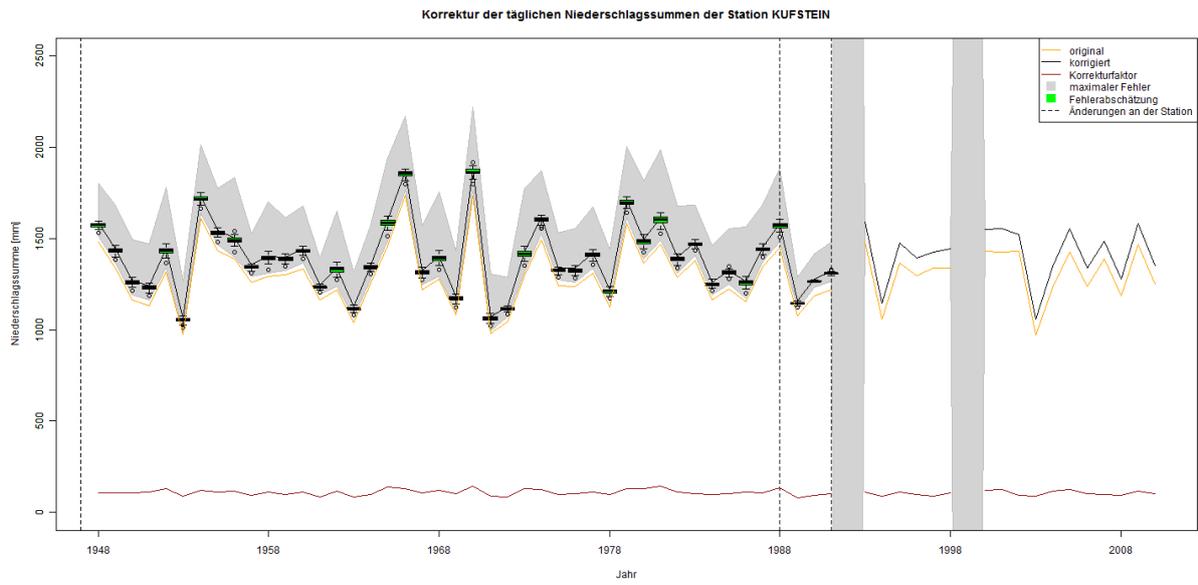
# Kremsmünster:



# St. Pölten:

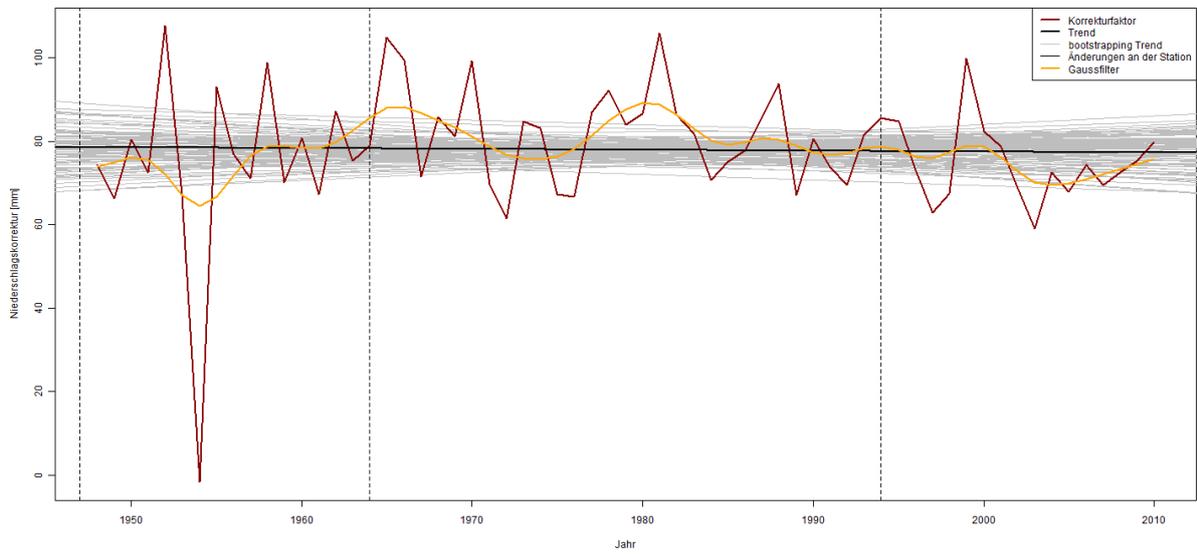
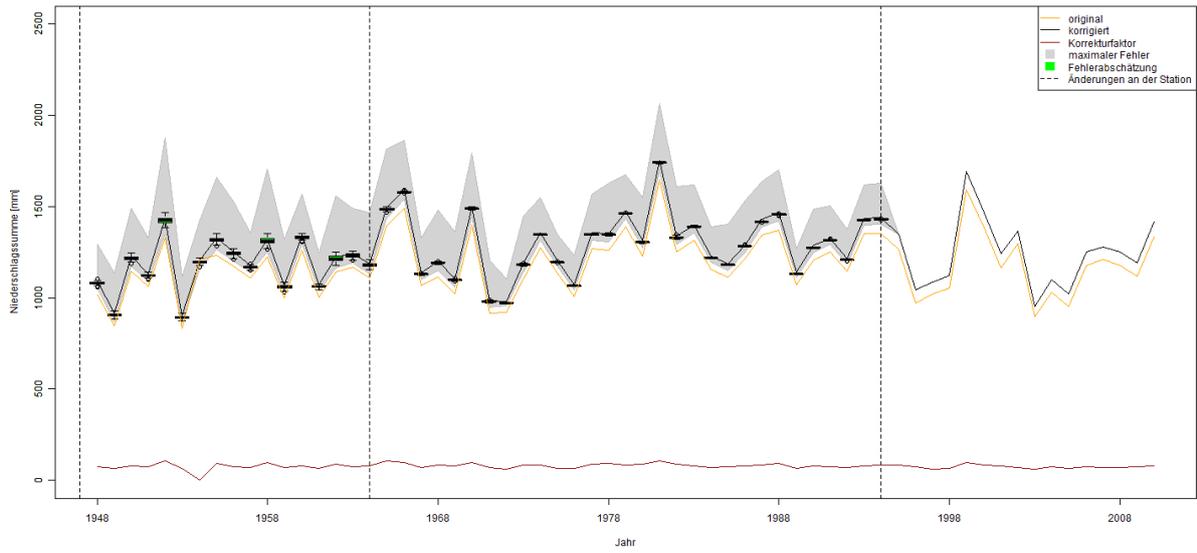


# Kufstein:



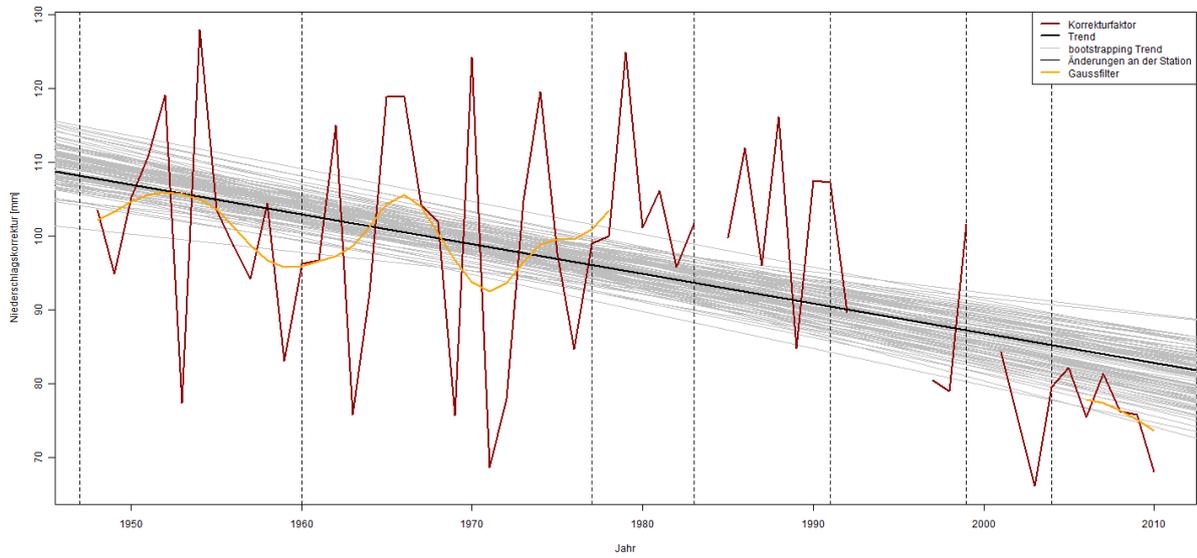
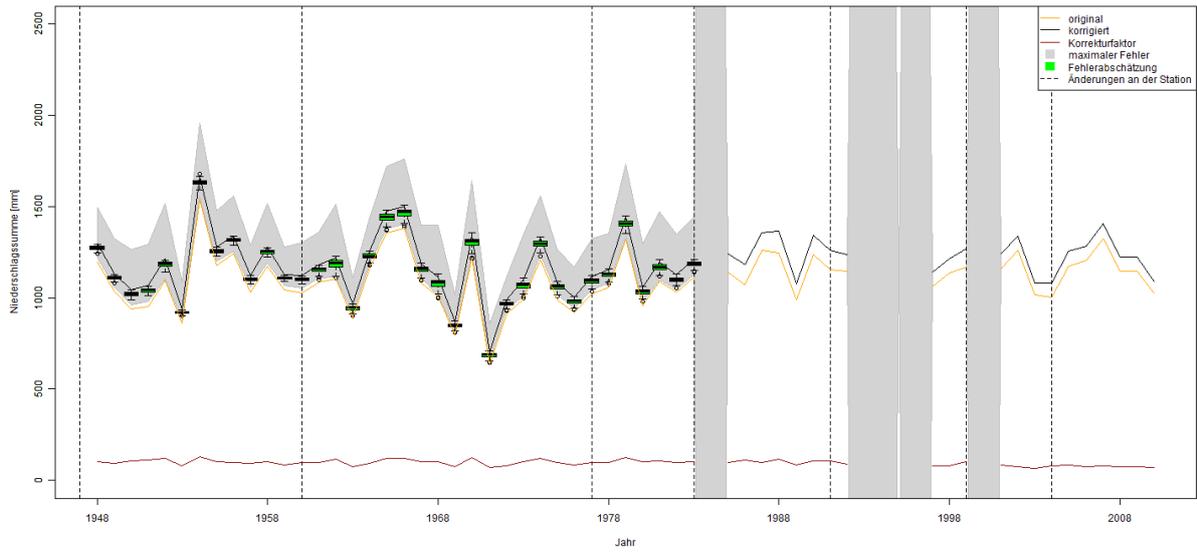
# Feldkirch:

Korrektur der täglichen Niederschlagssummen der Station FELDKIRCH

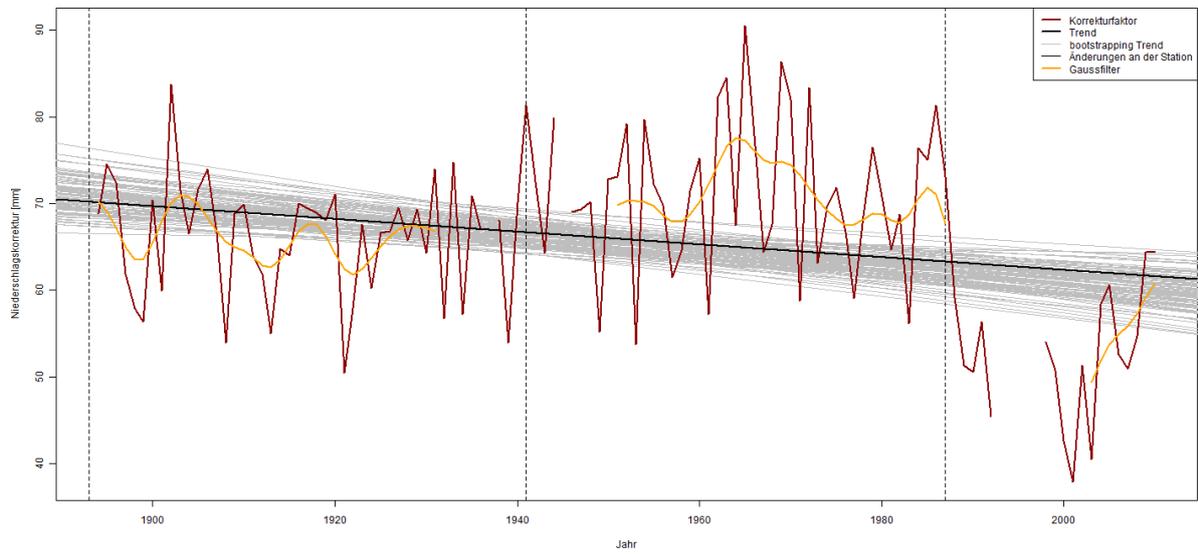
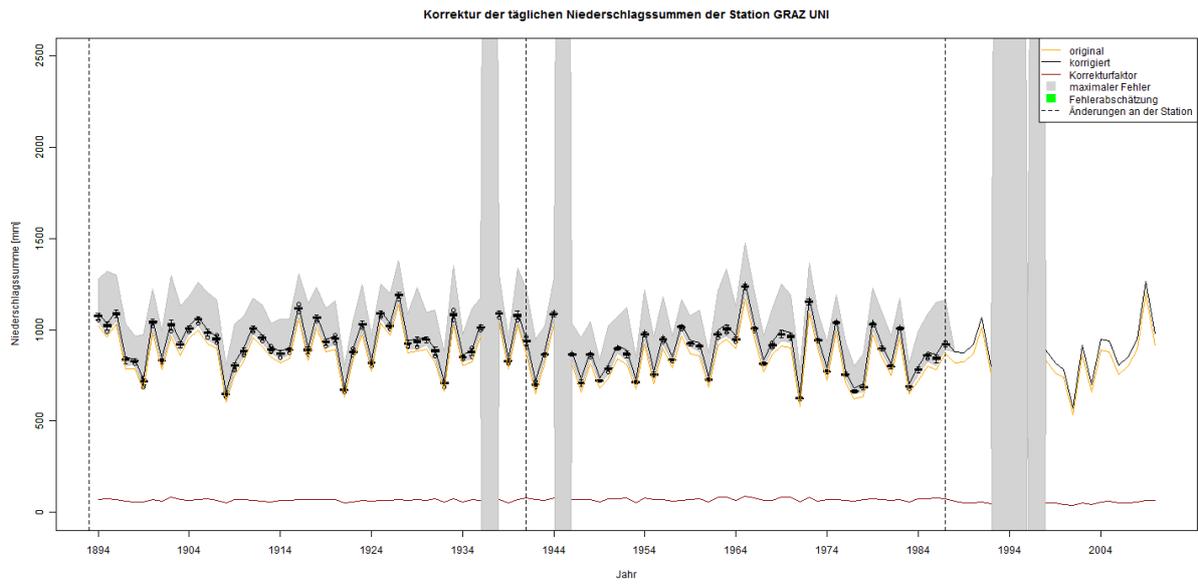


# Zell am See:

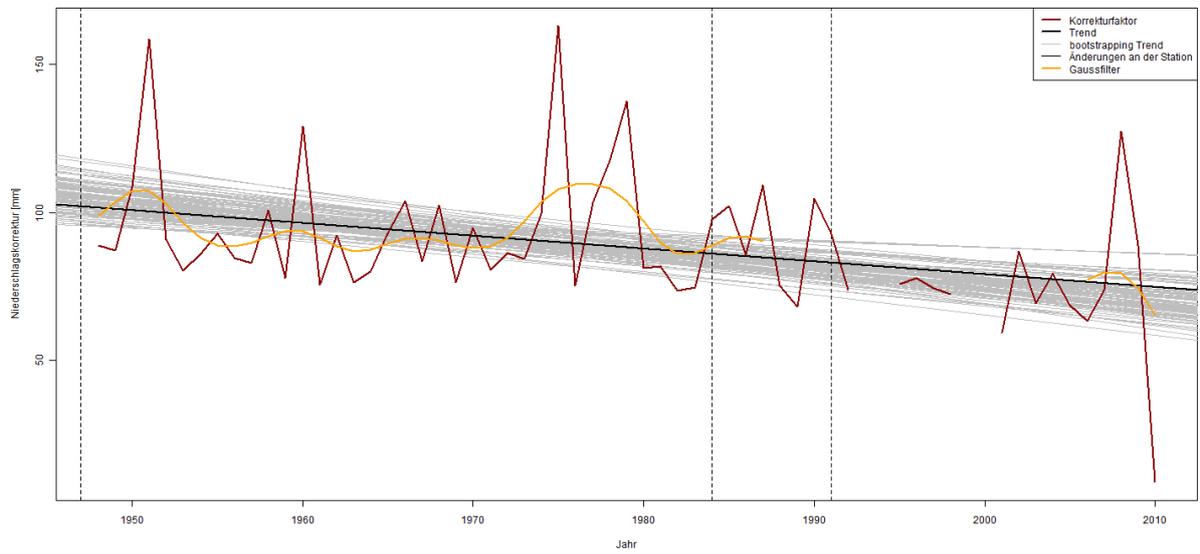
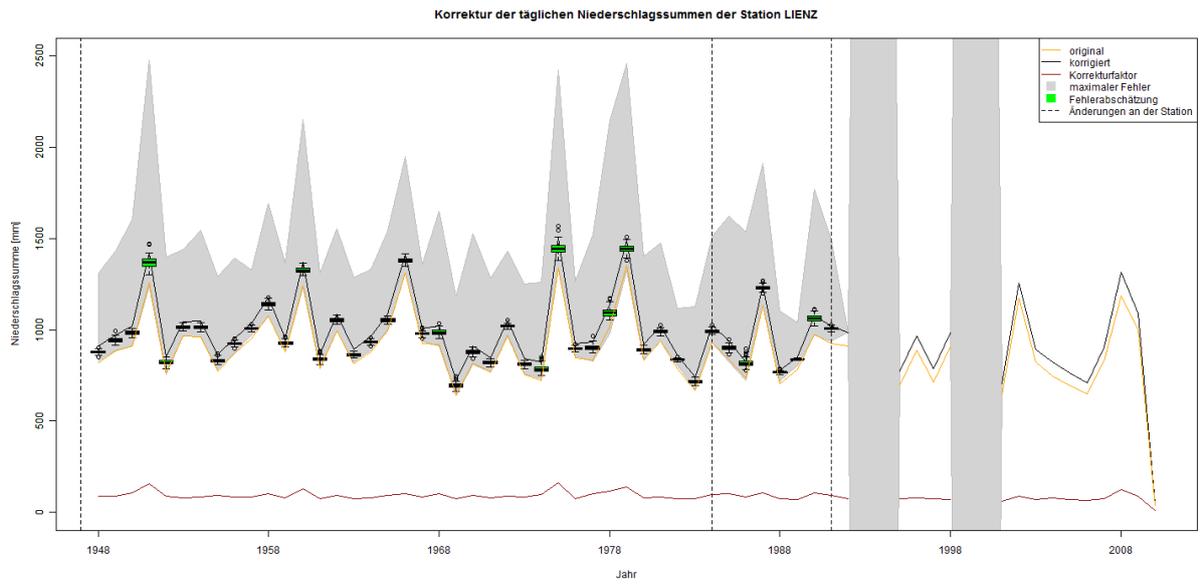
Korrektur der täglichen Niederschlagssummen der Station ZELL AM SEE



Graz Universität:



Lienz:



## Literaturverzeichnis:

Auer I. 1992. Precipitation Measurements in a high Alpine Region-intercomparison of different measuring systems. *TECO 92*, WMO/TD No.462, 251-256

Auer I, Schöner W. 2001. The reliability of precipitation measurements at high mountains – amounts in dependence of instruments and sites. Proc. 3<sup>rd</sup> Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases, Budapest, Hungary, 25-29.Sept. 2000, 8 pages,  
[http://www.met.hu/omsz.php?almenu\\_id=omsz&pid=seminars&pri=13&mpx=1&sm0=0&tfi=auer](http://www.met.hu/omsz.php?almenu_id=omsz&pid=seminars&pri=13&mpx=1&sm0=0&tfi=auer)

Chimani B, Böhm R, Matulla C, Ganekind M. 2010. Development of a longterm dataset of solid/liquid precipitation. *Advances in Science and Research* **6**: 39-43

Førland EJ (Ed.), Allerup P, Dahlström B, Elomaa E, Jonsson T, Madsen H, Perälä J, Rissanen P, Vedin H, Vejen F. 1996. Manual for Operational Correction of Nordic Precipitation Data. Norwegian Meteorological Institute, Oslo, 66pp

Førland EJ, Hanssen-Bauer I. 2000. Increased precipitation in the Norwegian Arctic: True or false?. *Climate Change* **46**:485-509

Rubel F, Hantel M. 1999. Correction of daily rain gauge measurements in the Baltic Sea drainage basin. *Nord.Hydrol.* **30**: 191-208

Sevruk B, Nespor V. 1994. The effect of dimensions and shape of precipitation gauges on the wind-induced error. M. Desbois and F. Desalmand (eds). Global Precipitation and Climate Change. *NATO ASI Ser.*, Vol. I 26, 231-246, Springer Verlag Berlin

Sevruk B, Zahlavova L. 1994. Classification system of precipitation gauge site exposure: Evaluation and application. *Internat. J.Climatol.* **14**: 681-689

Sevruk B. 2004. Niederschlag als Wasserkreislauelement, Institut für Atmosphäre und Klima ETH Zürich, 311pp

Skoda G, Filipovic N. 2007. Mult-Data Precipitation Analyses, Projektendbericht, Institut für Meteorologie und Geophysik, Universtät Wien

Ungersböck M. 2000. Korrektur des systematischen Fehlers weltweiter, synoptischer Niederschlagsmessungen, *Diplomarbeit*, Universität Wien, 97pp