



Evaluierung von INCA Niederschlagsdaten für die regionale Hochwasserprognose

Masterarbeit

Studienrichtung
Gebirgs- und Klimageographie

zur Erlangung des akademischen Grades
Master of Natural Science

an der Karl-Franzens-Universität Graz

vorgelegt von

Patrick Sommer

am Institut für Geographie und Raumforschung

in Zusammenarbeit mit

Joanneum Research und Steiermärkischen Landesregierung

Begutachter(in):

Sass Oliver, Univ.-Prof. Dr.rer.nat.

(Ruch Christophe, Dr.rer.nat. (Joanneum Research))

Graz, 2014

Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, die vorliegende Arbeit selbst und ohne fremde Hilfe, nur unter Verwendung der angeführten Literatur verfasst zu haben.

Graz, im April 2014

Patrick Sommer

VORWORT

Ich möchte diese Arbeit meiner lieben Omama widmen die Anfang dieses Jahres verstorben ist. Sie stammte aus einfachen Verhältnissen und ihr Leben war stets durch harte Arbeit geprägt. Dennoch oder vielleicht gerade deswegen war ein wichtiger Standpunkt von ihr alles zu Teilen, stets ein Lächeln auf den Lippen zu haben und mit Freude und Optimismus durchs Leben zu gehen. Dafür möchte ich ihr Danken, da ich durch sie für meinen Lebensweg wichtige Erkenntnisse erlangen konnte. Weiters möchte ich meinen Eltern und vielen Freunden danken. Bei meinen Eltern ganz besonders da sie mir ermöglichten meinen eigenen Weg zu finden und mich dabei unterstützten. Bei meinen Freunden für die vielen gemeinsamen Erlebnisse und schönen Stunden. Jeder Einzelne von ihnen steht für eine einzigartige Persönlichkeit.

Im Zusammenhang mit dieser Arbeit möchte ich Christophe Ruch und Christian Reszler vom Joanneum Research danken. Sie ermöglichten mir diese Arbeit und standen stets für Auskünfte und Hilfestellungen zur Stelle. Weiters ist hier Robert Schatzl und sein Team, im Besonderen Robert Stöffler, vom Hydrographischen Dienst Steiermark zu nennen. Sie stellten mir die Daten für die Arbeit zur Verfügung und brachten mir wertvolle Tipps ein.

Damit möchte ich zu meiner Motivation dieser Arbeit übergehen. Im Sommer 2011 konnte ich bei Joanneum Research GmbH ein 4-wöchiges Praktikum absolvieren. Dabei kam ich das erste Mal mit der anwendungsorientierten Abflussmodellierung und -simulation in Berührung. Dabei konnte ich bei der Abflusssimulation für das Koralmgebiet (Projektbezug Koralmtunnel) mitarbeiten. Im Weiteren erarbeitete ich Niederschlagsgradienten für die steirischen Gebirgsgruppen. Anschließend kam ich durch einen weiterführenden Werkvertrag das erste Mal mit INCA Daten in Kontakt. Zur Aufgabenstellung selbst kann ich mein generelles Interesse, am Einsatz von modernen EDV-Werkzeuge, Modellen und geographischen Informationssystemen zur Analyse von Gefahrenpotential und Bewertung des Georisikos, ausdrücken. So sehe ich Hochwässer oder allgemein Naturgefahren in alpinen Regionen als komplexe und oft schwer abschätzbare Ereignisse, die großen Schaden am Menschen sowie seinen Sachwerten verursachen können. Gerade durch diese Komplexität der Ereignisse können die Interaktionen der Geofaktoren gesamtheitlich oft nur mehr durch Modelle realisiert werden.

ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit Analysen zur Qualität von INCA Niederschlagsdaten (im Analysemodus) im Einzugsgebiet der Mur. Das INCA System (Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis) ist ein Analyse und Prognosemodell der ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik), das Daten der Klimaelemente bereitstellt.

Das Einzugsgebiet Mur stellt eines der drei Großeinzugsgebiete (Enns, Mur und Raab) der Steiermark dar. Die Evaluierung der INCA Daten erfolgte für ein Forschungsprojekt des Land Steiermark, welches das Ziel verfolgt Hochwasserwarnsysteme für kleine Einzugsgebiete (ca. 100 km²) flächendeckend für die Steiermark zu entwickeln. Für diese Warnsysteme stellen die INCA Niederschlagsdaten eine interessante Datengrundlage dar, da sie einerseits räumlich und zeitlich hochauflösend sind und andererseits das System auf Onlinestationen basiert und die Daten nahezu in Echtzeit verfügbar sind. Die Evaluierung der Daten wurde durch drei methodische Ansätze realisiert. Die punktbezogene Evaluierung kann als generelle Modellevaluierung angesehen werden, wobei die Evaluierung mittels Stationen erfolgt, von denen INCA keine Niederschlagsinformation bezieht. Die gebietsbezogene Evaluierung stellt die Abweichungen in den Teileinzugsgebieten dar. Als Referenzdatensatz standen regionalisierte Niederschlagsdaten in zwei Versionen zur Verfügung. Der ereignisbasierte Ansatz im Teileinzugsgebiet MurPunkt1 quantifiziert die Abweichungen von ausgewählten Witterungsereignissen. Generell quantifiziert die Arbeit die mittlere Abweichung und die Verteilung der Abweichungen von INCA zu den Referenzdatensätzen für jedes Teileinzugsgebiet, bzw. jede Referenzstation.

Die Ergebnisse zeigen, dass leichte Unterschätzungen bei den Stundenniederschlägen größer 1 mm/h durch INCA vorliegen. Die mittlere Abweichung liefert bei der punktbezogenen Evaluierung einen Wert von minus 0,47 mm/h und bei der gebietsbezogenen Evaluierung sind Werte von minus 0,04 mm/h bis minus 0,18 mm/h je nach Version des Referenzdatensatzes gegeben. Diese guten Werte im Mittel resultieren aus einer breiten Streuung der Abweichungen. Die Unterschätzungen von Niederschlägen größer 1 mm/h geht einher mit geringfügiger Überschätzung der Niederschläge kleiner 1 mm/h. Die Analyse von Starkniederschlägen (größer 5 bzw. 10 mm/h) zeigt ausgeprägtere Unterschätzungen durch INCA. Die punktbezogene Evaluierung liefert eine mittlere Abweichung von minus 5,4 mm/h. Die gebietsbezogene Evaluierung zeigt Werte von minus 1,3 mm/h bis minus 1,6 mm/h je nach Version des Referenzdatensatzes. Die Mittelwerte resultieren wieder aus einer breiten Streuung der Abweichungen. Die Analyse ausgewählter Niederschlagsereignisse im Teileinzugsgebiet MurPunkt1 zeigt realistischere Ergebnisse durch INCA für konvektive Witterungsverläufe. So scheinen kleinräumigen Ereignisse, durch die Radarinformation im INCA System, in Gebiete mit geringen Stationsdichten, naturgetreuer abgebildet zu sein.

Die Vorteile für die Verwendung der INCA Niederschlagsdaten für Hochwasserprognosemodelle ergeben sich hauptsächlich aus methodischer Sicht. Durch die Radardaten können kleinräumige Niederschlagsereignisse in die Datensätze implementiert werden, auch wenn sie von keiner Station erfasst wurden. Für kleine Einzugsgebiete, in denen Hochwässer meist aus konvektiven Gewitterereignissen resultieren, sind durch den Ansatz wichtige Niederschlagsinformationen eingebunden.

Zusammenfassend sind die INCA Niederschlagsdaten für die regionalen Hochwasserprognosen als sinnvolle Datenbereicherung zu werten, sofern bei der Verwendung die damit verbundenen

Problematiken, die in dieser Arbeit dokumentiert wurden, beachtet werden. Im Weiteren wird eine hydrologische Evaluierung als sinnvoll erachtet.

ABSTRACT

The present thesis offers an analysis of the quality of INCA precipitation data (in the analysis mode) in the catchment of the Mur. The INCA system (Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis) is an analysis and forecast tool of the ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik) and offers data for the climatic elements. The Mur catchment is one of the three main catchments (Enns, Mur, Raab) in Styria. The evaluation of the INCA Data is part of an applied research project of the styrian government. This project follows the development of flood warning systems for small catchments (ca. 100 km²). In order to develop such a warning system, the INCA data are an interesting input data. The advantages of INCA data are on the one hand the high spatial and temporal resolution and on the other hand the rapid availability (nearly real-time) of the data. The evaluation in this thesis is based on three methodological backgrounds. Firstly a point-based evaluation is represented which presents a general model evaluation. This approach was made using data from gauging stations which don not send precipitation data to INCA. Secondly the area-based evaluation shows the deviations in the subcatchments. Therefore a regionalized precipitation data set in two versions was used. Third an event based approach is shown for the subcatchment MurPunkt1. Overall the thesis offers a quantification of the mean deviations and the distribution of these deviations for every subcatchment and gauging station.

The results show that in general the hourly precipitations (>1 mm/h) in the INCA system are slightly underestimated. The mean deviation of the point-based evaluation shows -0,47 mm/h underestimation. The area-based evaluation underestimates between -0,04 mm/h to -0,18 mm/h, depending of the version of the reference dataset. These mean deviations are based on a widespread distribution of the single values. Furthermore the underestimation in the hourly precipitation > 1 mm/h is attended by a small overestimation in hourly precipitation < 1 mm/h. The analysis of heavy precipitation events (> 5 mm/h, > 10 mm/h) shows distinct underestimations through the INCA system. The point-based evaluation shows a mean deviation of -5,4 mm/h. The area-based evaluation offers values from -1,3 mm/h to -1,6 mm/h depending on the version of the reference dataset. And again the mean deviations result in a widespread distribution. The event based approach presents more precise results for convective weathering conditions in the single subcatchment. The involvement of radar precipitation data in the INCA system offers advantages in small scale events in low dense gauged areas.

The advantage of using INCA precipitation data for hydrological modelling results on methodological issues. The usage of radar data allows the implementation of even small scale events in the data sets, even though the events were not registered by a gauging station. In small catchments where flooding is mainly connected to convective storm events the INCA offers a reasonable enrichment in area precipitation estimations. For these estimations the associated problems which were documented in the present thesis have to be considered. For further investigations an additional hydrological evaluation should be considered.

INHALTSVERZEICHNIS

VORWORT	1
ZUSAMMENFASSUNG	2
ABSTRACT	3
INHALTSVERZEICHNIS	4
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	5
TABELLENVERZEICHNIS	7
1 EINFÜHRUNG	8
1.1 AUFGABENSTELLUNG.....	8
1.2 ZIEL	9
1.3 FORSCHUNGSFRAGEN	9
2 GRUNDLAGEN, BEGRIFFE UND FORSCHUNGSSTAND	10
2.1 NIEDERSCHLAG-ABFLUSS-BEZIEHUNG	10
2.2 BEGRIFFE	11
2.2.1 Hochwasser	11
2.2.2 Hochwassermodellierung	12
2.2.3 Hochwasserprognose	12
2.3 INCA SYSTEM DER ZAMG	13
2.4 FORSCHUNGSENTWICKLUNG/-STAND	14
2.5 HOCHWASSERPROGNOSEMODELL KAMPUS	18
3 UNTERSUCHUNGSGEBIET MUR	19
3.1 OBERE MUR.....	22
3.2 MÜRZ	22
3.3 MITTLERE MUR.....	24
3.4 UNTERE MUR	24
4 METHODEN UND DATEN	26
4.1 NIEDERSCHLAGSDATEN	26
4.1.1 Referenzdaten	26
4.1.2 INCA Daten	28
4.1.3 Datenproblematik	30
4.2 STATISTISCHE EVALUIERUNG DER INCA NIEDERSCHLAGSDATEN	32
4.2.1 Statistische Methoden.....	33
5 ERGEBNISSE	35
5.1 PUNKTBEZOGENE EVALUIERUNG.....	35
5.2 GEBIETSBEZOGENE EVALUIERUNG	42
5.3 ANALYSE AUSGEWÄHLTER NIEDERSCHLAGSEREIGNISSE IM TEILEINZUGSGEBIET MURPUNKT 1 (WÖLZERBACH).....	56
6 SCHLUSSFOLGERUNGEN	59
LITERATUR	64

DATENGRUNDLAGEN	68
ANHANG I	69
ANHANG II	76

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

ABBILDUNG 1: SCHEMATISCHES NIEDERSCHLAG- ABFLUSS MODELL, VERÄNDERT NACH MANIAK (2010)	10
ABBILDUNG 2: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES HOCHWASSERPROGNOSEMODELLS DER STEIERMARK, QUELLE: SCHATZL (2012)	13
ABBILDUNG 3: GEWICHTUNG VON METEOROLOGISCHE PROGNOSEN ALS INPUT FÜR HYDROLOGISCHE MODELLE, QUELLE: RUCH & JORGENSEN (2011)	16
ABBILDUNG 4: UNTERSUCHUNGSGEBIET MUR IN DER STEIERMARK MIT DEN EINZUGSGEBIETEN VON ENNS UND RAAB, EIGENE DARSTELLUNG, KARTENGRUNDLAGE: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, GIS STEIERMARK, SRTM	20
ABBILDUNG 5: REFERENZSTATIONEN FÜR DIE PUNKTBEZOGENE EVALUIERUNG, EIGENER ENTWURF, DATENGRUNDLAGE: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, GIS STEIERMARK, ZAMG, SRTM	27
ABBILDUNG 6: VERGLEICH DES FÜR DIE REGIONALSIERUNG VERWENDETEN STATIONSNETZES (LINKS) MIT DEM IN INCA EINFLEIßENDEN MESSNETZ (RECHTS), EIGENE DARSTELLUNG, DATENGRUNDLAGE: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, GIS STEIERMARK, ZAMG, SRTM	28
ABBILDUNG 7: BILDUNG VON INCA RASTERMITTELWERTEN FÜR DIE PUNKTBEZOGENE EVALUIERUNG, EIGENER ENTWURF, DATENGRUNDLAGE: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, ZAMG	30
ABBILDUNG 8: BILDUNG VON INCA GEBIETSMITTELWERTEN FÜR DIE GEBIETSBEZOGENE EVALUIERUNG, EIGENER ENTWURF, DATENGRUNDLAGE: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, ZAMG	30
ABBILDUNG 9: ANALYSE DER DATENPROBLEMATIK (UNKORRIGIERTE STATIONSDATEN FÜR DIE REGIONALISIERUNG VON 2012), VERGLEICH DER BEIDEN TEZG MURPUNKT1 UND VOITSBERG, EIGENER ENTWURF, DATENGRUNDLAGE: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG	31
ABBILDUNG 10: BOXPLOT FÜR DIE ANALYSE DER VERTEILUNG DER FEHLERWERTE, EIGENER ENTWURF	34
ABBILDUNG 11: LINKS: KUMULIERTER QUADRATISCHER FEHLER (RMSE [KUM.]); RECHTS: MITTLERER ABSOLUTER QUADRATISCHE FEHLER (RMSE [ABS.]) AN DEN REFERENZSTATIONEN NACH VERSCHIEDENE ZEITSUMMEN, EIGENER ENTWURF, DATENGRUNDLAGE: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, ZAMG	36
ABBILDUNG 12: MITTLERE FEHLERFAKTOREN (MFAKT) FÜR VERSCHIEDENE ZEITSUMMEN, EIGENER ENTWURF, DATENGRUNDLAGE: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, ZAMG	37
ABBILDUNG 13: KARTE DER MITTLEREN ABSOLUTEN FEHLER (MAE), QUADRATISCHEN FEHLER (RMSE [ABS.]) UND MINIMALE UND MAXIMALE ABWEICHUNGEN IN MM/H DER INCA RASTERWERTE ZU DEN REFERENZSTATIONEN FÜR NIEDERSCHLÄGE GRÖßER 1 MM/H, EIGENE DARSTELLUNG, DATENGRUNDLAGE: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, ZAMG, SRTM	39
ABBILDUNG 14: VERTEILUNG DER ABSOLUTE ABWEICHUNGEN (STUNDENSUMMEN) VON INCA RASTERZELLEN ZU DEN REFERENZSTATIONEN FÜR NIEDERSCHLÄGE GRÖßER 1 MM/H. BOXPLOT GIBT DEN MEDIAN DAS 25 % UND 75 % QUANTIL SOWIE DIE VERTEILUNG VON 98 % DER DATEN DURCH DIE FEHLERINDIKATOREN AN, EIGENER ENTWURF, DATENGRUNDLAGE: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, ZAMG	39
ABBILDUNG 15: KARTE DER MITTLEREN ABSOLUTEN FEHLER (MAE), QUADRATISCHEN FEHLER (RMSE [ABS.]) UND MINIMALE UND MAXIMALE ABWEICHUNGEN IN MM/H DER INCA RASTERWERTE ZU DEN REFERENZSTATIONEN FÜR NIEDERSCHLÄGE GRÖßER 10 MM, EIGENE DARSTELLUNG, DATENGRUNDLAGE: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, GIS STEIERMARK, ZAMG, SRTM	41
ABBILDUNG 16: VERTEILUNG DER ABSOLUTE ABWEICHUNGEN (STUNDENSUMMEN) VON INCA RASTERZELLEN ZU DEN REFERENZSTATIONEN FÜR NIEDERSCHLÄGE GRÖßER 10 MM/H. BOXPLOT GIBT DEN MEDIAN DAS 25 % UND 75 % QUANTIL SOWIE DIE VERTEILUNG VON 98 % DER DATEN DURCH DIE FEHLERINDIKATOREN AN, EIGENER ENTWURF, DATENGRUNDLAGE: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, ZAMG	41

ABBILDUNG 17: LINKS: KUMULIERTE QUADRATISCHE ABWEICHUNG (RMSE [KUM.]); RECHTS: MITTLERE QUADRATISCHE ABWEICHUNG (RMSE [%]) FÜR DIE TEZG NACH VERSCHIEDENE ZEITEINTEILUNGEN, VERGLEICH INCA - REGIO V1, EIGENER ENTWURF, DATENGRUNDLAGE: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG	44
ABBILDUNG 18: LINKS: KUMULIERTE QUADRATISCHE ABWEICHUNG (RMSE [KUM.]); RECHTS: MITTLERE QUADRATISCHE ABWEICHUNG (RMSE [ABS.]) FÜR DIE TEZG NACH VERSCHIEDENE ZEITEINTEILUNGEN, VERGLEICH INCA - REGIO V1, EIGENER ENTWURF, DATENGRUNDLAGE: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG	45
ABBILDUNG 19: FEHLERFAKTOREN VON INCA ZU REFERENZDATENSATZ (REGIONALISIERTE NIEDERSCHLAGSDATEN - REGIO V1 (LINKS) & REGIO V2 (RECHTS)) FÜR VERSCHIEDENE ZEITSUMMEN, EIGENER ENTWURF, DATENGRUNDLAGE: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG	48
ABBILDUNG 20: KARTE DER MITTLEREN ABSOLUTEN FEHLER (MAE) UND MIN UND MAX ABWEICHUNGEN IN MM/H DER INCA GEBIETSMITTELWERTE ZU DEN REGIONALISIERTEN NIEDERSCHLÄGEN VERSION 1 (REGIO V1) GRÖßER 1 MM/H, EIGENE DARSTELLUNG, DATENGRUNDLAGE: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG, GIS STEIERMARK, SRM	50
ABBILDUNG 21: KARTE DER MITTLEREN ABSOLUTEN FEHLER (MAE) UND MIN UND MAX ABWEICHUNGEN IN MM/H DER INCA GEBIETSMITTELWERTE ZU DEN REGIONALISIERTEN NIEDERSCHLÄGEN VERSION 2 (REGIO V2) GRÖßER 1 MM/H, EIGENE DARSTELLUNG, DATENGRUNDLAGE: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG, GIS STEIERMARK, SRM	50
ABBILDUNG 22: VERTEILUNG DER ABSOLUTE ABWEICHUNGEN (STUNDENSUMMEN) VON INCA GEBIETSMITTELWERTEN ZU DEN REFERENZDATEN REGIONALISIERTE NIEDERSCHLAGSDATEN VERSION 1 & 2 FÜR NIEDERSCHLÄGE GRÖßER 1 MM/H. BoxPLOT GIBT DEN MEDIAN DAS 25 % UND 75 % QUANTIL SOWIE DIE VERTEILUNG VON 98 % DER DATEN DURCH DIE FEHLERINDIKATOREN AN, EIGENER ENTWURF, DATENGRUNDLAGE: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG.....	51
ABBILDUNG 23: KARTE DER MITTLEREN ABSOLUTEN FEHLER (MAE) UND MIN UND MAX ABWEICHUNGEN IN MM/H DER INCA GEBIETSMITTELWERTE ZU DEN REGIONALISIERTEN NIEDERSCHLÄGEN VERSION 1 (REGIO V1) GRÖßER 5 MM/H, EIGENE DARSTELLUNG, DATENGRUNDLAGE: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG, GIS STEIERMARK, SRM	53
ABBILDUNG 24: KARTE DER MITTLEREN ABSOLUTEN FEHLER (MAE) UND MIN UND MAX ABWEICHUNGEN IN MM/H DER INCA GEBIETSMITTELWERTE ZU DEN REGIONALISIERTEN NIEDERSCHLÄGEN VERSION 2 (REGIO V2) GRÖßER 5 MM/H, EIGENE DARSTELLUNG, DATENGRUNDLAGE: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG, GIS STEIERMARK, SRM	53
ABBILDUNG 25: VERTEILUNG DER ABSOLUTE ABWEICHUNGEN (STUNDENSUMMEN) VON INCA GEBIETSMITTELWERTEN ZU DEN REFERENZDATEN REGIONALISIERTE NIEDERSCHLAGSDATEN VERSION 1 & 2 FÜR NIEDERSCHLÄGE GRÖßER 5 MM/H. BoxPLOT GIBT DEN MEDIAN DAS 25 % UND 75 % QUANTIL SOWIE DIE VERTEILUNG VON 98 % DER DATEN DURCH DIE FEHLERINDIKATOREN AN, EIGENER ENTWURF, DATENGRUNDLAGE: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG.....	54
ABBILDUNG 26: NIEDERSCHLAGSVERHÄLTNISSE IM TEZG MURPUNKT1 AM 7.7 2011 DURCH INCA, REGIO V1 UND REGIO V2, EIGENER ENTWURF, DATENGRUNDLAGE: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG	56
ABBILDUNG 27: NIEDERSCHLAGSSITUATION VOM 9.7 - 15.7 2012 IM TEZG MURPUNKT1 (WÖLZERBACH), EIGENER ENTWURF, DATENGRUNDLAGE: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG.....	58
ABBILDUNG 28: NIEDERSCHLAGSSITUATION VOM 26.10 - 5.11 2012 IM TEZG MURPUNKT1 (WÖLZERBACH), EIGENER ENTWURF, DATENGRUNDLAGE: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG.....	58

TABELLENVERZEICHNIS

TABELLE 1: AUSGEWÄHLTE MITTLERE ABFLÜSSE UND ABFLUSSSPENDEN FÜR DIE MUR UND IHRE ZUBRINGER, EIGENE DARSTELLUNG, DATENGRUNDLAGE: BRILLY ET AL (2012)	21
TABELLE 2: ZUSAMMENFASSUNG DER MITTLEREN RELATIVEN FEHLER MRE UND RMSE [%] VON INCA IM VERGLEICH ZU DEN REFERENZSTATIONEN, DATENREIHE 08/2010 - 12/2012, DATENGRUNDLAGE: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG	35
TABELLE 3: ÜBERSICHT ÜBER DIE MITTLEREN RELATIVEN FEHLER (MRE) UND QUADRATISCHEN RELATIVEN FEHLER (RMSE [%]) FÜR VERSCHIEDENE ZEITSUMMEN. VERGLEICH VON INCA MIT REGIONALISIERTEN NIEDERSCHLAGSDATEN VERSION 1 (REGIO V1) UND VERSION 2 (REGIO V2) DER TEILEINZUGSGEBIETE, EIGENER ENTWURF, DATENGRUNDLAGEN: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG	43

1 EINFÜHRUNG

Nach KOMMA, DRABEK & BLÖSCHL (2009) gibt es in den letzten Jahren einen Trend in der Entwicklung von Hochwasserprognosesystemen. Dabei werden Warnsysteme für kleinere Einzugsgebiete mit immer längeren Prognosezeiträumen gefordert. Dies verlangt neue Datengrundlagen, die zur Durchführung solcher Modellierungen benötigt werden. Insbesondere für den benötigten Niederschlagsinput gibt es in diesem Sinne Entwicklungen. Dabei werden verschiedene Ansätze verfolgt um die Qualität des Niederschlagsinputs zu verbessern. Ein Ansatz forciert den Ausbau von Messnetzen zu immer feinmaschigeren Netzwerken, ein anderer behandelt die Verwendung von kombinierten Datensätzen. Grundgedanke bei der Kombination von Datensätzen besteht darin, dass durch die Einbindung anderer Messsysteme die Qualität zwischen den einzelnen Stationen des Messnetzes verbessert wird. So wird seit einigen Jahren versucht Niederschlagsmessungen aus Radardaten in die Messnetze zu implementieren. Somit stehen für die Ableitung von Gebietsniederschlägen, die für die Modelle den Basisinput darstellen, nicht mehr nur Punktinformationen aus dem Stationsmessnetz, sondern auch flächenhafte Daten aus den Radarinformationen zur Verfügung. Damit gehen einige Problematiken einher, welche an späterer Stelle dieser Arbeit erläutert werden. Ein solches Modell eines kombinierten Ansatzes stellt das von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (im Weiteren: ZAMG) entwickelte Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis (im Weiteren: INCA) System dar.

Solche Ansätze werden nun in die hydrologischen Modellen zu implementieren versucht. Damit werden die Niederschlagsinputs einerseits als reine Analyse (IST-Situation) und andererseits als Prognosedaten in die Modelle übernommen, um in weiterer Folge den Abfluss zu simulieren. Die Hochwasserwarnung kann dann als Überschreitung von kritischen Abflüssen aus der Simulation angesehen werden. Aus so einem angewandten Forschungsprojekt, welches die Entwicklung eines regionalen Hochwasserwarnsystems für kleine Einzugsgebiete zum Ziel hat, lässt sich die folgende Aufgabenstellung ableiten.

1.1 AUFGABENSTELLUNG

Nach Fertigstellung der Prognosemodelle Mur, Enns und Raab in der Steiermark, wurde vom Auftraggeber Land Steiermark die Projektidee der Umsetzung von Hochwasserwarnsystemen für kleine Einzugsgebiete (ca. 100 km²) flächendeckend für die Steiermark geboren. Auftragnehmer hierzu waren Joanneum Research GmbH, Ingenieurbüro für Umweltmanagement und Wasserwesen UWM (München), ZAMG und Aquaplan. Die Umsetzung wurde dabei für ein Piloteinzugsgebiet Sulm (Teileinzugsgebiet der Mur) im Rahmen des EU-Projektes INARMA vereinbart. INARMA stellt dabei ein CENTRAL EUROPE Projekt "Integrated Approach to Flood Risk Management" mit dem Ziel der Hochwasserwarnung in kleinen Einzugsgebieten und der Kommunikation der Ergebnisse mit dem Katastrophenschutz dar. Die Pilotgebiete des EU Projektes waren: Steiermark (Sulm); Polen (Weichsel); Ungarn (Pecs); Italien (Region Alessandria) (SCHATZL, 2012).

Bei der Durchführung dieses Projektes wurde mit INCA Daten gearbeitet. Die Ergebnisse von RUCH & RESZLER (2013) zeigten generelle Tendenzen der Unterschätzung bei der Abflusssimulation mit den INCA Daten. Deshalb wurde es vom Joanneum Research GmbH als sinnvoll erachtet die INCA Niederschlagsdaten für das komplette Einzugsgebiet der Mur zu evaluieren. Hierzu wurde ein

Untersuchungszeitraum von 2010 bis 2012, sowie eine Evaluierung durch statistische Methoden vereinbart.

1.2 ZIEL

Ziel ist einerseits die Evaluierung der INCA Niederschlagsanalysedaten hinsichtlich ihrer Abweichungen zu Referenzstationsdaten des Hydrographischen Dienstes Steiermark. Hierzu wurden Stationen ausgewählt, welche nicht in das INCA System integriert sind. Andererseits ist die Quantifizierung der Abweichungen der Gebietsniederschläge von INCA Niederschlagsdaten zu einem Referenzdatensatz (regionalisierte Niederschlagsdaten - siehe Kapitel 4.1) von Interesse.

Für die beiden Ansätze soll die Frage beantwortet werden, welche Abweichung für die Jahres-, Monats-, Wochen-, Tages- und Stundensummen für den Zeitraum 08/2010 bis 12/2012 im Mittel erreicht wird. Weiters wird auf die eventuelle Verbesserung des INCA Systems mit der Einbindung weiterer Stationen (Messnetze des Hydrographischen Dienstes, MA31 Wien, LWD und AHP) eingegangen. Ziel ist die Visualisierung im Geographischen Informationssystem (GIS) um die Ergebnisse nach räumlichen Faktoren beurteilen zu können.

Da sowohl INCA als auch der Referenzdatensatz, Schätzfunktionen beinhalten, sollen die Schwierigkeiten der Interpretation dargestellt werden. Darüber hinaus soll die Problematik bei der Verwendung von INCA Daten für die hydrologische Abflusssimulation behandelt werden. So können geringfügige Abweichungen im Niederschlagsinput, über die Simulation, zu beachtlichen Fehlern in den Abflussspitzen führen. Durch die Ansätze soll die Eignung der INCA Daten in regionalen Hochwasserprognosesystemen im Einzugsgebiet der Mur diskutiert werden.

Einführend werden die Grundlagen der Niederschlag–Abfluss-Beziehung, das INCA System und die Begriffe Hochwassermodellierung und -prognose vorgestellt. Zudem wird der Forschungsstand in der Verwendung von hochauflösenden Niederschlagsdaten für die Hochwasserprognosemodelle geklärt. Weiters sollen die Geofaktoren und hydrologischen Rahmenbedingungen, die als Grundlage für Modellierungsansätze anzusehen sind, im Einzugsgebiet dargestellt werden.

1.3 FORSCHUNGSFRAGEN

- Wie eignen sich INCA Daten für die regionale Hochwasserprognose im Einzugsgebiet (EZG) der Mur?
 - Welche Abweichungen sind bei INCA Niederschlagsdaten im Vergleich zu Referenzmessstationen gegeben?
 - Welche Abweichungen ergeben sich bei den Gebietsmittelwerten für die Teileinzugsgebiete von INCA bzw. regionalisierten Niederschlägen?
 - Welche Abweichungen werden für ausgewählte Witterungsperioden im Teileinzugsgebiet (TEZG) MurPunkt 1 (Wölzerbach) erreicht?
- Gibt es durch die Einbindung von weiteren Stationen ins INCA Messnetz Qualitätsverbesserungen?
- Was sind die Problematiken bei der Verwendung der INCA Niederschlagsdaten für die regionale Hochwasserprognose?

2 GRUNDLAGEN, BEGRIFFE UND FORSCHUNGSSTAND

In diesem Kapitel werden Themenfelder, die als Grundlagen für die Arbeit anzusehen sind behandelt. Dies wurde anhand von Literatursichtungen durchgeführt. Die Niederschlag–Abfluss-Beziehung zeigt den Weg des gefallenen Niederschlags zum effektiven Abfluss. Für Abflussmodellierungen stellt das die theoretische Grundlage dar. Weiters werden die Begriffe Hochwassermodellierung und Hochwasserprognose behandelt, sowie das Prognosesystem INCA der ZAMG vorgestellt. Schlussendlich wird die Entwicklung der Forschung, sowie der aktuelle Stand in Bezug auf hochauflösende Niederschlagsdatensätze für die regionale Hochwasserprognose erläutert.

2.1 NIEDERSCHLAG–ABFLUSS-BEZIEHUNG

Will man die Entstehungsursachen von Hochwässern oder allgemein Abflüssen untersuchen, erfordert dies unweigerlich die Synoptik des meteorologischen Inputs. Im Wesentlichen stellt das die Analyse des Niederschlages in seiner weiteren Prozesskette zum effektiven Abfluss dar.

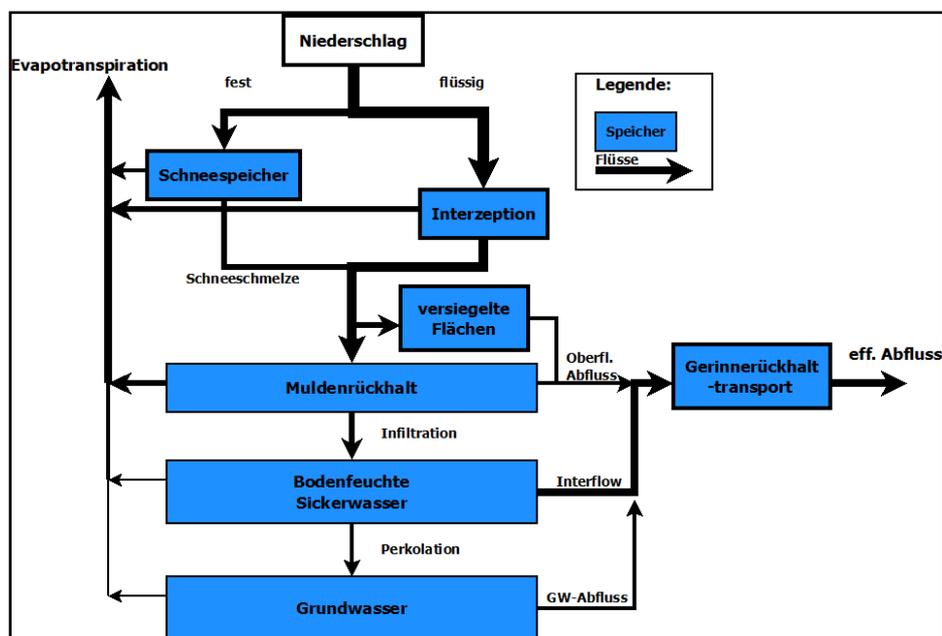


Abbildung 1: Schematisches Niederschlag- Abfluss Modell, Verändert nach MANIAK (2010)

Diese Prozesskette (Abbildung 1) wird anhand eines Modells aus MANIAK (2010) beschrieben. Das System kann als Kaskade von Speichersystemen angenommen werden. So wird der gefallene Niederschlag von Speichersystem zu Speichersystem überführt. Der Niederschlag geht zeitlich verzögert in den effektiven Abfluss über, wobei während dieser Überführungen auch immer wieder Verluste auftreten. Somit ist nur ein Teil des Niederschlages als tatsächlich abflusswirksamer Niederschlag anzusehen. Im ersten Schritt ist die Art des gefallenen Niederschlages ausschlaggebend. Bei festen Niederschlagsereignissen ist die gefallene Menge nicht sofort dem System zuzuführen sondern verharrt vorerst im Schneespeichersystem und wird von dort nur verzögert der Prozesskette zugeführt. Flüssige Niederschlagsereignisse können dem System sofort zugeführt werden. Dem effektiv gefallenen Niederschlag sind zunächst Verluste wie Verdunstung, Interzeption und Muldenrückhalt abzuziehen. In diesem Prozess können versiegelte Flächen als abflussbegünstigend

erachtet werden. Die Verdunstung ist abhängig von Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Sonneneinstrahlung (Jahreszeit), Wind, Oberflächenbeschaffenheit, Vegetation und verfügbarer Wassermenge. Die Interzeption ist abhängig von Pflanzenbestand, Jahreszeit, Wind, Luftfeuchte und Verdunstung. Als Muldenrückhalt wird der Anteil des Niederschlages bezeichnet, der in natürlichen Unebenheiten der Geländeoberfläche zurückgehalten wird. Dieser kann entweder verdunsten oder verzögert dem Abfluss zugeführt werden. Muldenrückhalt kann erst einsetzen, wenn die Niederschlagsintensität die Infiltrationskapazität überschreitet. Nach Beseitigung dieser Verluste kann der abflusswirksame Niederschlag bestimmt werden. Dieser kann als Oberflächen-, Sickerwasser- (Interflow) oder Grundwasserabfluss dem Vorfluter zugeführt werden. Oberflächenabfluss tritt erst auf wenn die Infiltrationskapazität vom Boden überschritten wird. Infiltration hält während des gesamten Niederschlagsereignisses an (solange der Boden nicht gefroren oder versiegelt ist) und wird vom Boden, der Vegetation (Durchwurzelung) und der Bodenfeuchte bestimmt. Dies wird dem Gesamtabfluss als Interflow beigeführt und ist hingegen des Oberflächenabflusses als verzögert anzusehen. Der Niederschlagsanteil, der in tiefere Schichten bis in das Grundwasser infiltriert, hat weitere zeitliche Verzögerungen zur Folge. Schlussendlich kann der Gesamtabfluss als Zusammenspiel aus Translation und Retention aufgefasst werden. Translation kennzeichnet die zeitliche Verschiebung des Abflussmaximums in Fließrichtung. Retention die Abminderung des Wellenscheitels im Gewässernetz.

Die Ausführungen sollen die Komplexität der Niederschlag–Abfluss-Beziehung verdeutlichen. Hauptproblem an diesem System ist, dass geringe Fehler bei den Niederschlagsinputs im Laufe der Prozesskette zu markanten Fehlern im Abfluss führen können. Dies setzt möglichst genaue zeitliche als auch räumliche Niederschlagsdaten voraus.

2.2 BEGRIFFE

In diesem Kapitel werden die Hochwasser, Hochwassermodellierung und Hochwasserprognose erläutert.

2.2.1 HOCHWASSER

MANIAK (2010) definiert Hochwasser wie folgt:

„Hochwasser ist das kurzzeitige Ansteigen der Wasserstandes bzw. des Abflusses über den Mittelwasserbereich. Dies kann durch natürliche Ursachen wie Starkregen, Schneeschmelze oder Eisversetzung entstehen und gegebenenfalls durch anthropogene Einflüsse wie große Versiegelungsflächen verschärft werden.“

Da die meisten Niederschlagsereignisse nicht zu Hochwässern (im Sinne der Überschreitung des Mittelwasserbereiches) führen, gewinnen im Weiteren die Begriffe Niederschlagsdauer und -intensität an Bedeutung. In kleinen Einzugsgebieten besitzen konvektive Niederschläge (kurze Dauer, große Intensitäten) die größte Hochwasserrelevanz. In großen Einzugsgebieten führen vor allem advektive Niederschläge (lang andauernd, geringere Intensitäten) zu markanten Abflüssen. Dies führt zur Tatsache, dass die Niederschlagsverteilung verschiedener Witterungsperioden verschiedene Abflusskurven erzeugt.

Die jahreszeitliche Charakterisierung macht eine Einteilung in Winter- und Sommerhochwässer, also in Schmelz- und Niederschlagshochwässer und reine Niederschlagshochwässer, sinnvoll.

Weiters besitzen menschliche Einflüsse Relevanz am Hochwassergeschehen. Durch die Versiegelung von Flächen wird der Oberflächenabfluss beschleunigt. Flussbauliche Maßnahmen (wie Flussbegradigungen) verringern den Gerinnerückhalt und können zu markanteren Abflussspitzen in den unteren Gebieten des Flusssystemes führen.

Die Intensität von Hochwässern wird statistisch, nach deren Auftretswahrscheinlichkeit oder Wiederkehrwahrscheinlichkeit, eingeteilt. Gängige statistische Einteilungen wären HQ5 (5 jähriger Hochwasserabfluss), HQ10, HQ30, HQ100, HQ200 und HQ500. Dies gewinnt vor allem bei der Hochwasserprognose an Bedeutung, da diese Bemessungswerte einerseits an rechtliche Maßnahmenkonzepte geknüpft sind und andererseits für versicherungstechnische Gründe von Belangen sind.

2.2.2 HOCHWASSERMODELLIERUNG

Die Modellierung von Hochwässern erfolgt nach mehreren methodischen Ansätzen. Die gängigsten sind statistische, empirische und deterministische Ansätze. In den letzten Jahren haben sich, sofern dies kosteneffizient geschehen kann, die deterministischen (physikalischen) Modelle etabliert. Generell kann die Hauptaufgabe von deterministischen Abflussmodellen als Transformation des meteorologischen Inputs in eine Abflussganglinie verstanden werden. Das kann an jedem beliebigen Untersuchungspunkt im Einzugsgebiet abgerufen werden. Hierfür werden physikalisch begründete Beziehungen von Variablen vorausgesetzt und anhand von Parametern quantifizierbare Größen für das System definiert. Ziel der Modellierung ist die Simulation und Vorhersage von Abflussvorgängen, seien diese natürlich oder anthropogen verändert (MANIAK, 2010).

Wichtiges Kriterium hierbei ist das Bewusstsein über die Komplexität der deterministischen Modelle, denn werden die Modellparameter nicht passend gewählt, sondern etwa Standardwerte auf Basis von Boden-, Gelände- und Landnutzungskarten verwendet, so sind die Simulationen mit solchen Modellen in der Regel ungenauer als mit traditionellen ingenieurhydrologischen Systemansätzen. Dadurch sind bei den deterministischen Modellen aufwendige Kalibrierungs- und Validierungsprozesse notwendig (GRAYSON & BLÖSCHL, 2000).

2.2.3 HOCHWASSERPROGNOSE

Hochwasserprognose kann als Echtzeitbetrieb der oben beschriebenen Modelle, im Sinne von Warnungen durch die statistischen Bemessungswerte, verstanden werden. Dabei werden die Ergebnisse meist direkt mit dem Katastrophenschutz kommuniziert, bzw. wie dies bereits vom Land Steiermark realisiert ist, die Warnungen über Internetportale der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Abbildung 2 zeigt die schematische Darstellung des Hochwasserprognosemodells der Steiermark aus SCHATZL (2012). Hier werden anhand hydrometeorologischer Daten und meteorologischer Prognosen über Modelle Abflussprognosen für das Einzugsgebiet erstellt. Diese werden mit dem Katastrophenschutz kommuniziert und der Öffentlichkeit über die Internetpräsenz zugänglich gemacht. Die aktuellen Entwicklungen in der Hochwasserprognose macht - abhängig vom Prognosezeitraum - eine Einteilung in reine Wellenablauf-, Niederschlag - Abfluss- und Niederschlagsprognosesimulationen sinnvoll. In der Praxis werden die Methoden zu einem

Vorhersagesystem kombiniert. Die Qualität ergibt sich aus dem Prognosezeitraum. Die genauesten Prognosen können mit reinen Wellenablaufmodellen erzielt werden. Hierzu wird anhand von Pegeldata aus den oberen Einzugsgebieten die zukünftige Situation im unteren Einzugsgebiet abgeleitet. Niederschlag-Abflussmodelle prognostizieren die Abflusssituation anhand von gemessenen Niederschlagshöhen. Die Ableitungen des flächenhaften Niederschlags, der als Input für die Modelle benötigt wird, beinhalten bereits Annahmen. Am ungenauesten sind die Simulationen mit prognostizierten Niederschlagsdaten. Neben den flächenhaften Annahmen kommen die Unsicherheiten in der Abschätzung der zukünftigen Niederschlagsituation hinzu. Generell kann mit zunehmendem Prognosezeitraum von zunehmender Unsicherheit ausgegangen werden (KOMMA et al, 2009).

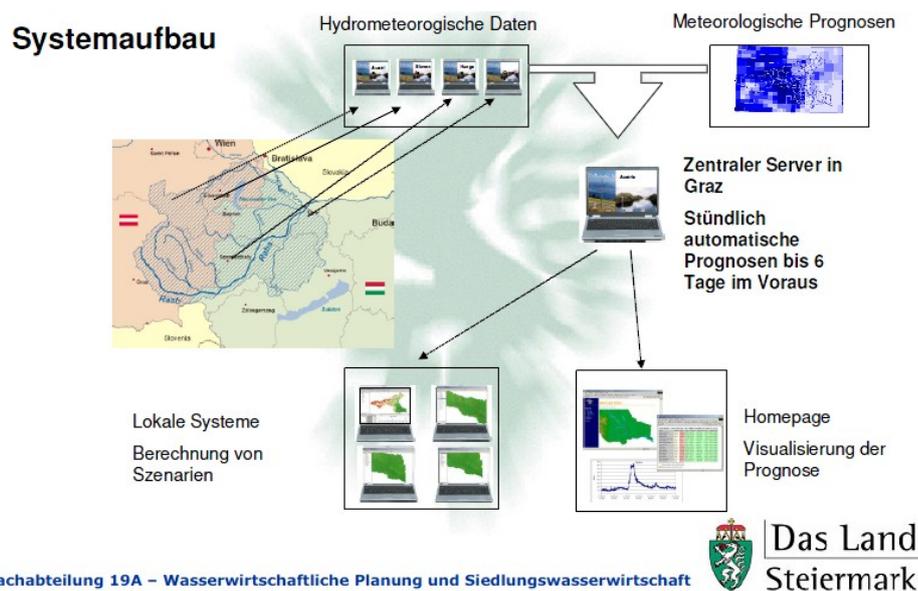


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Hochwasserprognosemodells der Steiermark, Quelle: SCHATZL (2012)

2.3 INCA SYSTEM DER ZAMG

Das INCA System (Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis) ist ein Analyse und Prognosemodell der ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik), das Daten für die Klimaelemente Temperatur, Feuchte, Bewölkung, Niederschlag und Niederschlagsart, Globalstrahlung und WindChill auf Rasterbasis und zeitlich hoher Auflösung zur Verfügung stellt. Es ist als Erweiterung der beiden Modelle ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) und ALADIN (Aire Limitee Adaptation Dynamique Developpement) anzusehen. Die Erweiterung besteht in der Kombination von verfügbaren meteorologischen Daten (Stationsdaten, Radardaten und Satellitendaten) und der Einbindung hochauflösender Geländeinformationen. INCA liefert im **1-km Raster** für ganz Österreich **stündlich aktualisierte Prognosen** von Temperatur, Luftfeuchte, Wind, Globalstrahlung und **viertelstündlich aktualisierte Prognosen** von Bewölkung, Niederschlag und Niederschlagsart (ZAMG, 2013).

Die Arbeitsweise des Modells für die Elemente, die in 3D prognostiziert werden (Temperatur, Feuchte und Wind), kann folgendermaßen vereinfacht wiedergegeben werden: Eine Prognose aus dem ALADIN Modell wird auf das Rastergitter INCA (Downscaling des ALADIN Rasters (10 km) auf

INCA Raster (1 km)), mit speziellem Augenmerk auf Täler im Alpenraum, interpoliert. Im Weiteren folgt eine Korrektur anhand aktueller Beobachtungen der einfließenden Stationen. Dabei kommt es zur Gewichtung der Stationen nach Lage und räumlicher Entfernung. Anhand eines interpolierten Differenzfeldes erfolgt die Korrektur dieser ersten Prognose. Für die Prognose in INCA wird das berechnete Differenzfeld für die Korrektur der ALADIN Prognosen der nächsten 6h verwendet (HAIDEN ET AL, 2010A).

Für die 2D Prognosen (Bewölkung und Niederschlag) kann folgende vereinfachte Arbeitsweise angenommen werden: Die Stationsdaten werden mit Radardaten (für Niederschlag) und Satellitendaten (für Bewölkung) kombiniert. Dadurch ist es möglich die gute räumliche Auflösung der Fernerkundungsdaten mit den punktuellen, aber quantitativen Genauigkeiten der Stationsdaten zu verschneiden. Seit 2008 werden Höheneffekte des Niederschlages miteinbezogen. Die Prognose basiert auf aufeinanderfolgenden Analysen (Korrelationsverfahren) in Abstimmung mit den ALADIN Prognosen. Dazu werden Verlagerungsvektoren vorangegangener INCA Analysen ermittelt und daraus die Prognose für die nächsten 6h berechnet. Hieraus kann die Bewölkungssituation bzw. die Zugstraße eines Gewitters abgeschätzt werden. (HAIDEN et al, 2010A)

Das INCA System arbeitet mit Stationsmessnetzen der ZAMG, der Hydrographischen Dienste der Länder, sowie anderen öffentlichen und privaten Messnetzen. BICA (2013) nennt, dass generell versucht wird so viele Stationen wie möglich in das INCA System zu implementieren. Für die Steiermark werden die TAWES Stationen der ZAMG, Onlinestationen des Hydrographischen Dienstes Steiermark, Stationen des Lawinenwarndienstes, Stationen des Wiener Wasser (MA 31) entlang der Wiener Hochquellleitung und Stationen der Austrian Hydro Power AG, miteinbezogen. Für die Analysen und Prognosen werden prinzipiell alle Stationen verwendet, die rechtzeitig Daten bereitstellen (Onlineübertragung, Updatefrequenz). Diese Stationen werden automatischen Filteroperatoren unterzogen (Plausibilitätsprüfung mit anderen benachbarten Stationen) und gegebenenfalls aus der Berechnung für einzelne Zeiträume ausgeschlossen. Stationen die fehleranfällig sind, werden von der Berechnung ausgeschlossen, bis diese durch Revisionen (ZAMG, Hydrographischer Dienst) als wieder einwandfrei funktionierend eingeteilt werden.

2.4 FORSCHUNGSENTWICKLUNG/-STAND

Dieses Kapitel behandelt die Entwicklung der Methoden zur Implementierung des meteorologischen Inputs für die Modelle der Hochwasserprognose. Für die Einbindung des Niederschlags in die hydrologischen Modelle werden räumliche Niederschlagsdaten benötigt. Dies führt bereits zu Problematiken da die Niederschlagsdaten nach herkömmlichen Methoden punktuell gemessen (Stationsdaten) werden und weiters durch Interpolationsverfahren flächenhaft dargestellt werden. Bei der Interpolation sind bereits Annahmen enthalten. Probleme ergeben sich aus der kleinräumigen Variation des Niederschlags. Vor allem im Gebirge unterliegen die Niederschläge durch die topographischen Bedingungen starken kleinräumigen Abweichungen. Neben diesen räumlichen Problemen sind auch zeitliche gegeben. Beispielsweise sind Niederschlagshöhengradienten, die im Jahresniederschlag ausgeprägt sind, keinesfalls zwingend für einzelne Niederschlagsereignisse. Eine weitere Erfahrung zeigt, dass kein allgemein gültiger Niederschlagshöhengradient für alle Gebirgsgruppen gegeben ist. Selbst in der Steiermark treten unterschiedliche Niederschlagshöhengradient zwischen den Gebirgsgruppen auf.

Weitere Probleme sind bei der Messung des Niederschlags gegeben. Messfehler sind unvermeidlich. Systematische Fehler ergeben sich aus schlecht gewählten Messstandorten, mangelnden Strahlungsschutz, etc.. Ein nach wie vor ungelöstes Problem ist, dass Messungen den tatsächlichen Niederschlag allgemein unterschätzen. Der Messfehler kann im Wesentlichen auf die Deformation des Windfeldes über dem Messgerät, auf Verdunstung des gesammelten Wassers zwischen den Messterminen, auf Verluste durch Spritzwasser und Schneeverfrachtung, sowie auf die Benetzung an den Innenseiten von Auffangfläche und Sammelbehälter zurückgeführt werden. Der Messfehler entsteht also einerseits durch das Messgerät selbst (Form, Größe, Querschnitt, Material, Farbe usw.), andererseits durch meteorologische Faktoren (Wind, Luftfeuchtigkeit, Strahlung, Lufttemperatur usw.). Der größte Niederschlagsmessfehler ist aufgrund der höheren Windgeschwindigkeiten und des höheren Anteils an Schneeniederschlag im Hochgebirge gegeben. Insgesamt beträgt der systematische Niederschlagsfehler im Mittel 5 - 10 % für flüssigen Niederschlag, übersteigt aber bei Schnee und hohen Windgeschwindigkeiten sogar 50 % (UNGERSBÖCK et al, 2001).

Das sind die bekannten Schwierigkeiten im Zusammenhang mit der Verwendung von Niederschlagsdaten für die hydrologische Modellierung.

In den letzten Jahren erfolgte die Entwicklung neuer Methoden zur Verbesserung der flächenhaften Niederschlagschätzung. So kamen herkömmlich nur reine Interpolationsverfahren (GAREN et al, 1994; LY et al, 2011) zur Anwendung, die die Niederschlagsinformationen aus einem Messnetz von Messstationen durch Algorithmen flächenhaft interpolierten. Neuere Ansätze hingegen beziehen u.a. topographische Niederschlagseffekte mit ein (BLÖSCHL & MERZ, 2000, WEILGUNI, 2006). BLÖSCHL (2006) nennt unzureichend ausgestattete Messnetze von Niederschlagsmessstationen als ein Problem. Insbesondere Gebirgsregionen, welche wichtige Zubringer für die großen Flusseinzugsgebiete darstellen, weisen oft geringe Stationsdichten auf. Hier wurden Ansätze entwickelt, die die Qualität der bestehenden Messnetze über die Einbindung von Niederschlagsinformationen aus andere Quellen zum Ziel hat. HABERLANDT et al (2005) und LY et al (2011) nennen als einen Ansatz des Informationsgewinnes die sogenannte Variogrammschätzung, welche im Zuge der Regionalisierung von Niederschlagsdaten durchgeführt wird. So können beispielsweise dem herkömmlichen Niederschlagsmessnetz, das Stundensummen bereit stellt, Informationen aus einem Messnetz von Tages- oder Jahressummen beigefügt werden. Als zweiten Ansatz liefern HABERLANDT et al (2005) die Einbeziehung von Radarniederschlagsdaten in die Regionalisierung der Niederschläge. Grundgedanke hierbei ist es, eine Relation zwischen der gemessenen Radarreflektivität Z und der Niederschlagsrate R aufzustellen. Diese Z - R -Beziehung ist als Potenzgesetz in Abhängigkeit des Tropfendurchmessers formuliert. In der Praxis werden zur Ableitung dieser Beziehung oft empirische Formeln verwendet. Die Schwierigkeiten bei der Radarmeteorologie ergeben sich vorrangig aus Abschattungseffekten, bedingt durch die Topographie. Als weitere Problematik ist zu nennen, dass die Z - R -Beziehung räumlich und zeitlich nicht konstant ist. Zudem breiten sich die Radarstrahlen divergent aus, was zu einer Abnahme der Energiedichte über die Distanz führt. Durch die Ansammlung von großen Wassermengen in den Wolken können Radarschatten ein Problem darstellen. Ein weiterer Effekt, das sogenannte Ground Cluttering, kann durch die gezielte Manipulation der Empfindlichkeit oder Doppler-Verfahren ausgeblendet werden (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2013).

Beim Umgang mit diesen Problematiken der Radartechnologie liefern GERMANN et al (2006) für die Gebirgsregionen einige Ansätze, die Datenqualität zu verbessern. Im Bezug auf die Verwendung von Radardaten als Niederschlagsinput für die Abflusssimulation erachtet BORGA (2002) lediglich die Verwendung von kalibrierten Radardaten als sinnvoll. Nur so können gute Ergebnisse in der Abflusssimulation erzielt werden. HABERLANDT et al (2005), HABERLANDT (2007) und HABERLANDT (2011) nennen bereits die systematische Niederschlagsunterschätzung bei Radardaten. Dabei liefert die alleinige Einbeziehung von Radardaten als Zusatzinformation zu einem gering dichten Stationsnetz für Stundenniederschläge ungefähr gleiche Ergebnisse wie die Skalierung (Variogrammanalysen) der Daten auf ein dichteres Stationsnetz aus Tagesniederschlägen. Insgesamt können die besten Ergebnisse durch die Kombination von beiden Ansätzen (Einbindung von Radardaten und Variogrammanalysen mit Tagessummen) erzielt werden.

JASPER (2005) geht einen Schritt weiter: Er bezieht u.a. neben kombinierten Datensätze, Daten aus atmosphärischen Modellen in die Abflusssimulation mit ein. Diese können für die hydrologischen Modelle als Inputdaten verwendet werden, mit dem großen Vorteil nun auch Prognosedaten der zukünftigen Niederschlagsituation einbinden zu können. KOBALD & SUSELI (2005) verwenden bereits die ECMWF Modelldaten zur Abflusssimulation. AHRENS (2003) beschreibt die großen atmosphärischen Modelle in der Auflösung als zu ungenau für die alpinen Einzugsgebiete und betreibt Downscaling. Auch HAY & CLARK (2003) verwenden Eingangsdaten aus einem atmosphärischen Modell und versuchen die Auflösung durch Downscaling zu verfeinern.

Die aktuellen Forschungen forcieren die Verbesserung der Prognosedaten der nahen Zukunft. Ein solches aus Stations- und Radardaten kombiniertes atmosphärische Modell, das Niederschlagsdaten für die Gegenwart (Analysemodus) und die nahe Zukunft (Prognosemodus) bereitstellt, stellt das im vorigen Kapitel vorgestellten INCA System dar.

Die Abbildung 3 zeigt ein Anwendungsbeispiel nach RUCH & JORGENSEN (2011) wie verschiedene atmosphärische Modelle in einem Hochwasserprognosesystem kombiniert werden. Die meteorologischen Modelle werden gewichtet, nach ihren räumlichen und zeitlichen Auflösungen, in die Abflussprognosen mit einbezogen. Die Nowcasting Daten (rote Markierung) stellen die INCA Daten dar. Sie werden insbesondere in den kurzfristigen Prognosen bis 2h in die Zukunft als alleiniger Dateninput für die Abflusssimulation verwendet. Erst dann gewinnen die großflächigen europäischen Modelle ALADIN und ECMWF an zunehmender Bedeutung für die Abflussprognose. Dieser Ansatz wird in den Hochwasserprognosesystemen des Hydrographischen Dienstes Steiermark verwendet. Es sind Abflussprognosen bis 48 h möglich, wobei die Prognosen mit zunehmendem Zeitraum mit größer werdenden Unsicherheiten einhergehen.



Abbildung 3: Gewichtung von meteorologische Prognosen als Input für hydrologische Modelle, Quelle: RUCH & JORGENSEN (2011)

Erfahrungen mit INCA werden durch HAIDEN (2007) erläutert. Er nennt, durch die primäre Stützung auf Stationsdaten, Probleme mit geringen Stationsdichten für Teilgebiete. Teile der Ost- und Weststeiermark sind mit einem sehr dichten Stationsnetz versehen, hingegen die Gebirgsregionen der Obersteiermark mit einer geringen Anzahl an Stationen ausgestattet. Dadurch kann es insbesondere bei kleinräumigen Phänomenen, wie bei den konvektiven Niederschlägen, zu großen Abweichungen kommen. Diese werden räumlich von der Station nicht erfasst, wenn die Gewitterzelle nicht unmittelbar über die Station hinwegzieht. Die Gewittermodellierung gestaltet sich generell problematisch, da die labile Schichtung großräumig, die Entladung aber nur kleinräumig auftritt. Durch die Verwendung der räumlich hochauflösenden Radardaten kann dieser Effekt minimiert werden. Radardaten sind jedoch, wie durch die vorhergegangenen Anführungen verdeutlicht wurde, als quantitativ unsicher einzustufen. Weiters ist die Abdeckung der Radarstationen für das österreichische Staatsgebiet nicht flächendeckend. Auch wenn die Abschattung des Radarstrahls durch die Topographie, vor allem in den Bundesländern Vorarlberg, Tirol, ein Problem darstellt, sind prinzipiell alle Niederschlagsanalysen in den alpinen Regionen betroffen. Die räumliche Genauigkeit wird dabei von HAIDEN (2007) je nach Niederschlagsverteilung im besten Fall mit 2-3 km angenommen. Wobei für die Prognosezeiträume relativ schnell absinkende Genauigkeiten auf 5-10 km angenommen werden können. Die größten Abweichungen sind erwartungsgemäß bei konvektiven Niederschlägen zu erwarten. Durch BLÖSCHL et al (2008) und HAIDEN (2005) sind Erfahrungen mit der Verwendung von INCA Niederschlagsdaten im Kontext der hydrologischen Modellierung aus dem Kampgebiet bekannt. Dabei nennt HAIDEN (2005) die Problematik der Prognosedaten. Hier kann ein Fehler in der Niederschlagsprognose von 20 %, was aus meteorologischer Sicht eine sehr gute Prognose darstellt, in der Simulation zu einem Fehler von 50 % in der Abflussspitze führen. WEILGUNI (2006) gibt Informationen zur Verwendung der Kalibrierung von Radardaten im INCA System und qualitative Aussagen über deren Verwendung.

In der Hochwasserprognose, zeigt die Entwicklung einen Trend zu kontinuierlichen Modellen mit flächendetaillierter räumlicher Struktur. Durch die Aufgabenstellung der Warnsysteme für immer kleinere Einzugsgebiete und dichtere Messnetze, sowie längere Prognosezeiträume ergeben sich automatisierte Prognosesysteme mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung. Hier finden bilanzierende, konzeptionelle Modelle Anwendung, die laufend die Abflusssituation im Einzugsgebiet berechnen (KOMMA et al, 2009).

So sind derzeit in Österreich und International zahlreiche Hochwasserwarnsysteme in Betrieb. In Österreich wären dies, um nur einige zu nennen, die Hochwasserprognosemodelle Mur (SCHATZL & RUCH, 2006), Kamp (BLÖSCHL et al, 2007a), Inn (KIRNBAUER & SCHÖNLAUB, 2006), Kärnten (MOSER & KOPEINIG, 2006).

Erfahrungen mit dem in dieser Arbeit zugrunde liegenden Hochwasserprognosemodell der Mur liefert SCHATZL (2012), dabei nennt er vor allem Fehler in den meteorologischen Prognosen in den oberen Einzugsgebieten als maßgeblich. Weiters werden Probleme mit den Speichern (z.B. zu viel Schnee im Speicher), die Datenanpassung an „falsche“ Pegelwerte und das Aufheben der Fehler durch die Datenanpassung in den unteren Einzugsgebieten genannt. In weiterer Folge gab es aufgrund der wenigen Einzugsgebiete Probleme bei der Kalibrierung. Die Kalibrierung wurde anhand der Hochwasserereignisse von 2009 durchgeführt.

2.5 HOCHWASSERPROGNOSEMODELL KAMPUS

Für die Hochwasserprognose in kleinen Einzugsgebieten sollen die INCA Daten als möglicher Inputdatensatz im Hochwasserprognosemodell Kampus verwendet werden. Das Modell wurde an der TU Wien, als Prognosemodell des Einzugsgebiets Kamp (Niederösterreich) entwickelt und im Weiteren für die Verwendung in der Steiermark am Joanneum Research adaptiert. Es gestaltet sich als Kombination eines Wellenablaufmodells und einem Niederschlag-Abflussmodells, das sowohl beobachtete als auch prognostizierte Niederschläge verwendet. Das Modell basiert auf einem gestuften Prognoseansatz. So sollen genau Abflussprognosen innerhalb weniger Stunden getroffen werden, dies wird durch Wellenablaufmodelle und der Einbeziehung von beobachteten Abflussdaten vollzogen. Eine Ausweitung der Prognosezeit auf wenige Stunden wird mit Hilfe eines Niederschlag-Abflussmodells unter Berücksichtigung von beobachteten Temperatur und Niederschlagsdaten erreicht. Die Prognosezeit bis 48h wird mit Hilfe von prognostizierten Niederschlags- und Temperaturdaten der ZAMG vollzogen (BLÖSCHL et al 2008).

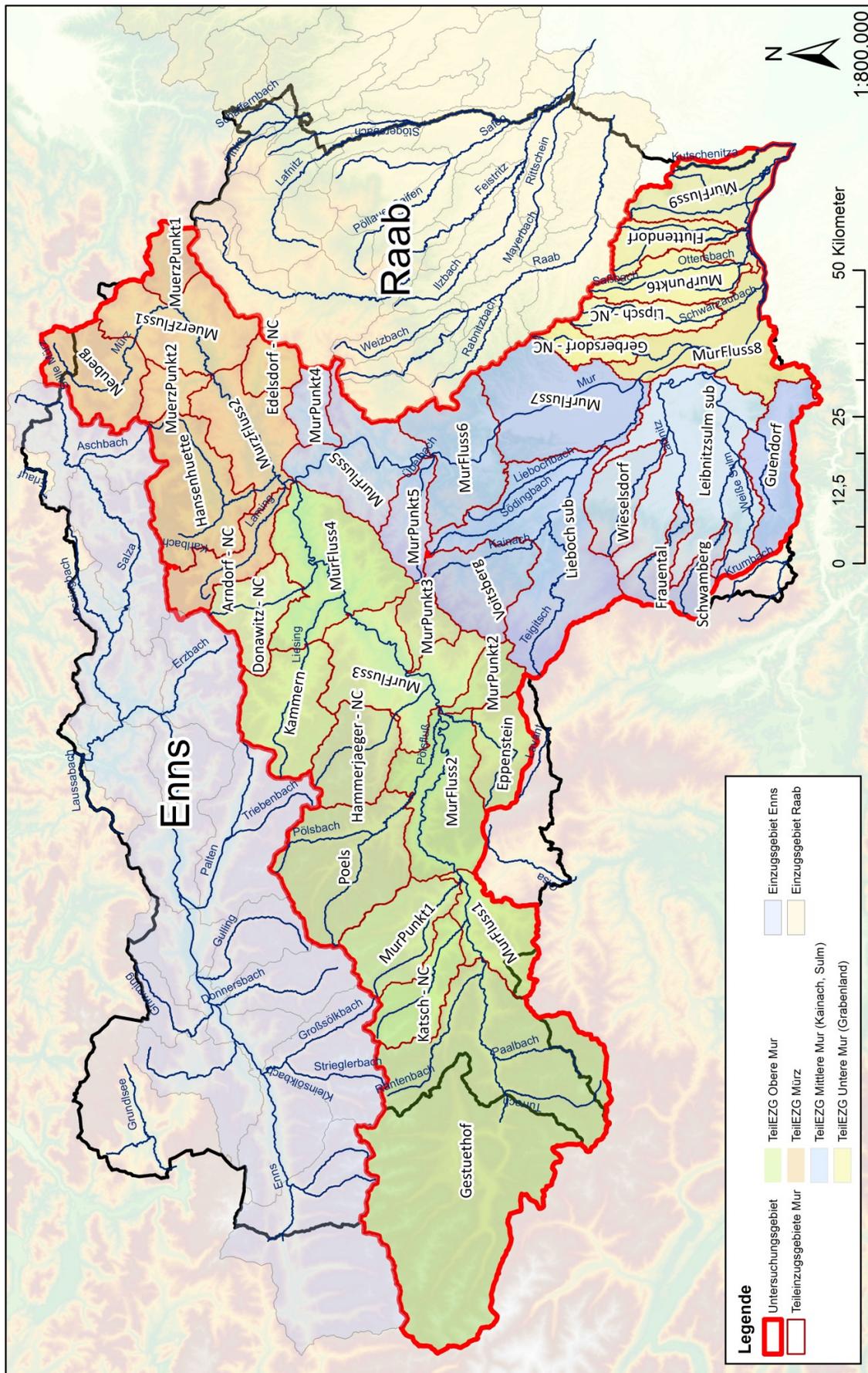
Das Modell wird als flächendifferenziertes Modell dargestellt, die Abflussbildung wird für Pixel von 1 x 1 km durch einen konzeptionellen Bodenfeuchteansatz beschrieben. Die Parameter der Pixel wurden manuell unter Berücksichtigung von Voranalysen, Abfluss- und Grundwasserganglinien und Feldbegehungen festgelegt. Weiters folgte eine Ereignisanpassung nach den Ereignistypen (advektiv, konvektiv, Schneeschmelze oder Regen auf Schnee). Zudem wurden Verdunstungsparameter und der Perkulationsparameter, sowie Analysen der Wellenform und Wellenvolumen auf Ereignisbasis erarbeitet. Zur Fehleroptimierung wurde ein Ensemble Kalman Filter und ein additiv statistisches Fehlermodell verwendet. Als Modell für den Wellenablauf wurde eine lineare Speicherkaskade mit durchflussabhängigen Parametern gewählt. Außerdem wurden Regelungsmaßnahmen von Kraftwerksbetrieben ins Modell einbezogen. (BLÖSCHL et al 2007a & 2007b)

3 UNTERSUCHUNGSGEBIET MUR

Gegenstand dieser Arbeit ist das Einzugsgebiet der Mur (Abbildung 4) in der Steiermark. Generell erfolgt die Entwässerung der Steiermark über die drei Großeinzugsgebiete Enns, Mur und Raab. Das gegenständliche Einzugsgebiet ist bereits Gegenstand des Hochwasserprognosemodells Mur (SCHATZL & RUCH, 2007) und nach topographischen und hydrologischen Bedingungen in 40 Teileinzugsgebiete unterteilt. Das Gebiet ist durch eine facettenreiche Landschaft, von einem ausgesprochenen Hochgebirge bis hin ins Vorland mit seinen sanften Riedeln, geprägt. Der Ursprung der Mur ist im Salzburger Lungau aus einer Karstquelle der Schmalzgrube auf 1.898 m gegeben. Im Zuge der Definitionen des Einzugsgebietes, im Sinne der Wasserscheide, werden im Einzugsgebiet Höhenlagen bis 3.076 m (Großer Hafner in der Ankogelgruppe) erreicht. Die Mur fließt dabei aus diesen Hochgebirgsgebieten in östlicher Richtung bis Bruck an der Mur, wo sie sich mit dem wichtigsten Zubringer des Einzugsgebietes der Mürz vereinigt um dann nach einigen Durchbrüchen das Grazer Feld erreicht. In weiterer Folge fließt die Mur durch Leibnitzer Feld und weiter nach Spielfeld. Hier bildet sie den österreichisch-slowenischen Grenzfluss bis nach Bad Radkersburg wo die Mur in einer Seehöhe von rund 200 m die österreichische Staatsgrenze und somit das Untersuchungsgebiet verlässt. Das Untersuchungsgebiet umfasst 10.341 km², was mehr als 2/3 des gesamten Einzugsgebietes der Mur darstellt. Auf ihren weiteren Weg fließt die Mur durch Slowenien, entlang der slowenisch-kroatischen und kroatisch-ungarischen Grenze. Schließlich mündet die Mur bei Legrad auf einer Seehöhe von 130 m als linker Zufluss in die Drau.

Geologisch findet man im Untersuchungsgebiet kristalline und paläozoischen Gesteine, Gesteine der nördlichen Kalkalpen sowie die neogene Beckenfüllung des Vorlandes mit den eingelagerten Vulkaniten. Die maximalen Niederschlagsjahressummen sind dabei nach BRILLY et al (2012) zwischen 1800 mm in den oberen Einzugsgebieten und 900 mm im südlichen Flachland anzunehmen. Als allgemeine Charakteristik kann für das Untersuchungsgebiet gelten: Höhere Niederschläge und tiefere Temperaturen im Mittel in den oberen Teileinzugsgebieten und geringerer Niederschlag und höher Temperaturen in den unteren Teileinzugsgebieten. Allgemein formuliert kann nach Formwandelkriterien eine Zunahme der Niederschläge mit der Höhe, eine Abnahme von außen nach innen, und eine Abnahme von Nord nach Süd angenommen werden.

In der nachfolgenden Beschreibung folgt eine überblicksmäßige Betrachtung der wichtigsten Geofaktoren und hydrologischen Rahmenbedingungen. Detaillierte hydrologische Betrachtungen für die einzelnen Teileinzugsgebiete können der Arbeit von BRILLY et al (2012) entnommen werden.



Bearbeiter: Patrick Sommer
 Datengrundlage: Hydrographischer Dienst Steiermark, GIS Steiermark, SRTM

Abbildung 4: Untersuchungsgebiet Mur in der Steiermark mit den Einzugsgebieten von Enns und Raab, eigene Darstellung, Kartengrundlage: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, GIS STEIERMARK, SRTM

Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die mittleren Abflussverhältnisse für die Mur und ihre wichtigsten Zubringer nach BRILLY et al (2012). Dabei zeigt sich im Untersuchungsgebiet die Zunahme von Gestüthof im Oberlauf mit mittleren Abflüssen von 35,7 m³/sec auf 155,6 m³/sec im Unterlauf südlich von Bad Radkersburg. Die wichtigsten Zubringer der Mur sind die Mürz, Kainach und Sulm. Im Mittel ist eine Zubringerleistung von ca. 21,74 m³/sec, 9,48 m³/sec und 15,66 m³/sec anzunehmen.

Pegel	Fluss	EZG Fläche [km ²]	Mittl. Abflüsse [m ³ /sec]	Mittl. Abflussspende [l/sec*km ²]
Gestüthof	Mur	1638	35,7	21,79
Zeltweg	Mur	3217	57,13	17,76
Bruck an der Mur	Mur	6209	107,63	17,33
Graz	Mur	6979	106,63	15,28
Mureck	Mur	9763	147	15,06
Gornja Radgona	Mur	10341	155,6	15,05
Neuberg	Mürz	230	6,88	29,91
Kindthal	Mürz	696	13,74	19,74
Kapfenberg	Mürz	1351	21,74	16,09
Voitsberg	Kainach	223	2,61	11,70
Lieboch	Kainach	773	9,48	12,26
Leibnitz	Sulm	1106	15,66	14,16

Tabelle 1: Ausgewählte mittlere Abflüsse und Abflussspenden für die Mur und ihre Zubringer, eigene Darstellung, Datengrundlage: BRILLY ET AL (2012)

Entlang des Laufes der Mur befinden sich die größten Städte und Dörfer der Steiermark, was sich in den stark anthropogenen Veränderungen im Flusssystem widerspiegelt. Der Eingriff erfolgte bereits früh, schon seit der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts gibt es Aufzeichnungen über systematische Regulierungsarbeiten. Diese umfassten vor allem Ufersicherungen, Sporndeiche, Leiteinrichtungen und die Schließung von Nebenarmen. Weiteres wurden am Lauf der Mur eine Reihe von Kraftwerken errichtet. BRILLY ET AL (2012) spricht von einer regelrechten Kraftwerkskette zwischen Bodental und Spielfeld. So sind in diesem Abschnitt (am Stand 2012) 18 Kraftwerksanlagen in Betrieb. BRILLY ET AL (2012) gibt an, dass das System Kraftwerke, aber keine größeren Speicher und Rückhaltekapazitäten besitzt, sodass sich keine gravierenden Einflüsse auf die Hochwasserabflüsse einstellen können. Jedoch sind Veränderungen im Wasserhaushalt durch den Betrieb der Kraftwerksanlagen bei Niedrig- und Mittelwasserführung gegeben. Auch an den Zubringern der Mur sind drei Speicherkraftwerksanlagen (Pack, St. Martin, Arnstein) und Rückhaltebecken im Sinne des Hochwasserschutzes realisiert.

Gemäß einer Höhenzonierung (Abbildung 4) kann die Mur nach BRILLY et al (2012) in die folgenden Kategorien eingeteilt werden:

- **Obere Mur** umfasst den alpinen Bereich und bis zur Einmündung der Mürz
- **Mürz*** umfasst die Quellgebiete der Mürz bis zur Einmündung in die Mur
- **Mittlere Mur** umfasst das Einzugsgebiet zwischen der Mürz und der Sulm
- **Untere Mur** beginnt ab der Einmündung der Sulm

* nach BRILLY et al (2012) der Kategorie der Oberen Mur zugeordnet wird in dieser Arbeit als wichtigster Zubringer der Mur mit anderen geologisch und klimatischen Bedingungen als eigene Kategorie geführt.

3.1 OBERE MUR

Der Oberlauf bildet die alpinen Bereiche des Einzugsgebietes und umfasst Seehöhen von 3.076 m bis 470 m. Die Einzugsgebietsfläche beträgt 4.701 km² und umfasst die Gebirgszüge der Hohe Tauern, Niedere Tauern, Gurktaler Alpen und Seetaler Alpen. Morphologisch zeichnet sich das Gebiet durch eine ausgesprochene Hochgebirgscharakteristik aus. So sind die im Hochgebirge typischen schroffen Formen zu finden. Dabei spielte bei der Genese vor allem die quartäre Vergletscherung eine große Rolle. So sind in den Hochlagen regelrechte Karlandschaften mit dutzenden Moränenwällen anzutreffen. Vor allem die Niederen Tauern sind hierzu ein Paradebeispiel. Im flächenmäßig kleinen Anteil der Hohen Tauern ist Vergletscherung und rezente glaziale Formung gegeben. Die Niederen Tauern sind vorwiegend aus kristallinen Schiefen (Gneise, Glimmerschiefer, Phyllite, Marmore) aufgebaut. Zwischen Salzburg und Steiermark ist über den kristallinen Grundstock ein Aufbau aus Quarziten, Rauhacken und Kalken des zentralalpiner Mesozoikums gegeben. Im Bereich der Seckauer Tauern, treten zum Liesingtal hin Gesteine der Rannachserie sowie der Grauwackenzone auf. Die Entwässerung der Niederen Tauern erfolgt in südliche Richtung in Form von parallelen kleinen steilen Einzugsgebieten. Diese sind dem Wildbachcharakter zuzuordnen. Die wichtigsten Zubringer des Gebietes sind der Katschbach, Wölzer Bach und die Pöls. Die Pöls nimmt, aufgrund der geologischen Situation, als dentritischer Zubringer eine Sonderstellung ein. Im Gebiet der Gurktaler Alpen kommen noch Gesteine der zentralalpiner Trias und des Jungpaläozoikums hinzu. Als geologische Sonderstellung ist die Grebenzen, ein Karstock innerhalb der Gurktaler Alpen, anzusehen. Durch die rasche Infiltration der Niederschläge in den Karstock sind ergiebige Quellen an Kontakten zu nicht verkarstem Gestein vorhanden. Die Seetaler Alpen erstrecken sich südlich des Murtales zwischen dem Neumarkter Sattel im Westen und dem Obdacher Sattel im Osten. Der Aufbau dieses Gebietes ist in erster Linie auf Gneise, Glimmerschiefer, Amphibolite und Marmore beschränkt. Im Gebiet der Stubalpe und Gleinalpe überwiegen metamorphe Schiefer (Gneise, Glimmerschiefer), kristalline Kalke und Amphibolite (BRILLY et al, 2012; LIEB, 1985; LIEB, 2013).

Im Einzugsgebiet der oberen Mur werden im langjährigen Mittel in den Gebirgsregionen der Niederen Tauern 2.000 mm, teilweise 2.300 mm und mehr erreicht. Dies ist auf die zunehmende Wirkung der advektiven Niederschläge mit zunehmender Höhe und der Stauwirkung aus nördlicher Anströmung zurückzuführen. Dem gegenüber steht eine deutlich Abnahme der Niederschläge in die inneralpiner Tallagen. Hier werden oft nur mehr 900 - 1.000 mm im Mittel registriert. Als Annahme kann getätigt werden: In den Nordstaugebieten geht die Verteilung der Niederschlagshöhen beliebiger Jahreszeiten parallel. Diese sind überwiegend auf anhaltende Stauniederschläge zurückzuführen. Eine Sonderstellung nimmt das Gebiet in der deutlichen Abschirmung der inneralpiner Regionen gegenüber extrem hohen Tagesniederschlägen ein. Dies betrifft nicht nur die Täler sondern auch die Gebirge, was insbesondere auf die verringert auftretenden konvektiven Niederschläge zurückzuführen ist. (WAKONIGG, 2010; WAKONIGG, 1978).

3.2 MÜRZ

Die Mürz bildet die östlichen alpinen Bereiche des oberen Mureinzugsgebietes. Das Gebiet umfasst Seehöhen von 2.277 m bis 470 m und hat eine Fläche von 1.511 km². Im Einzugsgebiet findet man die

Gebirgszüge der Eisenerzer Alpen, Hochschwab, Mürztaler Alpen, Mürzsteiger Alpen und Fischbacher Alpen.

Die Eisenerzer Alpen stellen die Gebiete östlich der Liesing- Paltentales dar. In der Gebirgsgruppe werden Hochgebirgsformen erreicht. Die Gesteine stammen hauptsächlich aus der paläozoischen Grauwackenzone. Im Osten gibt es zwei eigenständige Hochgebirgsstöcke des Plateautypus die aus Karbonaten der Nördlichen Kalkalpen aufgebaut sind. Die Entwässerung des Gebietes erfolgt im Wesentlichen durch Liesing und Vordernberger Bach. Die Hochschwabgruppe östlich der Eisenerzer Alpen stellt einen mächtigen Kalkstock, des Plateaugebirgstypuses dar. Die Gebiete sind durch Hochgebirgsformen, mit der für die Kalkalpen typischen Formgebung, geprägt. Der Aufbau erfolgt aus triadischen Kalken. Verkarstungsformen mit der hydrogeologischen Charakteristik sind realisiert. Die Entwässerung kann als fliederförmiges, in den Gebirgsstock eingreifendes, Konstrukt angesehen werden. Da das Karstkluftwasser in den südlichen Gebieten in das Grundwasser der Täler übertritt sind hier bessere Speicherung und gleichmäßigerer Abfluss, als die Entwässerung durch Karstquellen, gegeben. Der wichtigste Zubringer des Gebietes ist der Thörlbach. Südlich geht der Gebirgsstock allmählich in den Mittelgebirgszug der Mürztaler Alpen über. Der Zug besteht in seinem äußersten Westen aus schwach metamorphen Gesteinen der Grauwackenzone, im Zentrum und im Osten hingegen aus höhermetamorphem zentralalpinem Kristallin, im äußersten Osten ist der hohe Anteil an karbonatischen Gesteinen (Semmeringmesozoikum) hervorzuheben. Diese weisen in geringem Maße Verkarstungserscheinungen auf. Die Entwässerung des Gebietes erfolgt systematisch aus fast homogen angeordneten Seitentälern und Gräben. Die Mürzsteiger Alpen stellen die nordöstlichen Gebiete des Einzugsgebietes dar und sind durch die eigenständigen Kalkhochgebirgsplateaus der Rax, Schneealpe, Veitschalpe und Toniongruppe sowie der zur Gänze in Niederösterreich gelegene Göller-Gippel-Zug geprägt. Typisch sind die karbonatischen Gesteine mit den Verkarstungserscheinungen. Hydrologisch stellt das Gebiet die Quellgebiete der Mürz. Als wichtigste Zubringer sind der Raxenbach und die Veitsch zu nennen. Südlich des Mürztales sind die Fischbacher Alpen anzutreffen. Der Ost - West streichende Mittelgebirgszug ist großteils aus kristallinem Schiefer aufgebaut. Ab Wartberg treten in Richtung Osten im Bereich des Nordrandes der Fischbacher Alpen sowie etwa östlich von Spital a. S. Gesteine des Semmeringmesozoikums auf. Die Entwässerung erfolgt ähnlich der Mürzsteiger Alpen über parallele Gräben und Seitentälern. Der Stanzbach ist wichtigster Zubringer des Gebietes und als ausgeprägtes dentritisches Seitental anzusehen (BRILLY et al, 2012; LIEB, 1985; LIEB, 2013).

Das Einzugsgebiet stellt die Regionen mit den höchsten mittleren jährlichen Niederschlagssummen. So werden in den extremen Nordstaulagen von Hochschwab, Hohe Veitsch, Windberg und Heukuppe mittlere Jahresniederschläge von 2.400 mm und mehr angenommen. Damit einhergehend kann eine Abnahme in die Tallagen des Mürztales auf 1.000 bis 1.100 mm angenommen werden. Im Hinblick auf große Tagesniederschlagshöhen kann von ähnlichen Verhältnissen wie in den Niederen Tauern ausgegangen werden. Generell ist die Dominanz von Stauniederschlägen an den großen Tagesniederschlagshöhen von Bedeutung. Lediglich in den oben genannten extremen Nordstaulagen werden durchwegs mehr Tage mit extremen Niederschlagshöhen registriert als in den Niederen Tauern (WAKONIGG, 2010; WAKONIGG, 1978).

3.3 MITTLERE MUR

Das Einzugsgebiet des Mittellaufs der Mur umfasst die Randgebirge der Koralpe, Stubalpe, Gleinalpe und das Grazer Bergland. Das Einzugsgebiet befindet sich auf einer Seehöhe von 200 bis 2.000 m und nimmt eine Fläche von 4.330 km² ein. In diesem Abschnitt münden der Übelbach (117 km²), die Sulm (1.117 km²) und die Kainach (853 km²) als größte Zubringer in die Mur. Im Gebiet der Koralpe sind Hochgebirgselemente in Form von Kargebieten und Moränen gegeben. So bewirkte die Lokalvergletscherung der Koralpe eine bedeutende Umgestaltung der Landschaft. Es kam aber zu keiner Ausbildung von Talgletschern. Allgemein sind im Gebiet aber typische Mittelgebirgsformen gegeben. Am Aufbau der Koralpe sind Gneise, Plattengneise, Pegmatite, Amphibolite, Eklogitamphibolite, Glimmerschiefer und untergeordnet Marmore beteiligt. Das Grazer Bergland erstreckt sich in einem Streifen zwischen dem Kristallin der Stubalpe und der Kainacher Gosau bis hin zum oststeirischen Joglland. Die Gebiete sind aus schwach metamorphen Gesteinen des Paläozoikums aufgebaut. Diese werden vom Altkristallin unterlagert. Durch die Verkarstung ergeben sich die typischen hydrologischen Bedingungen im Grazer Paläozoikum, wobei die Quellen an den Schichtgrenzen zum kristallinen Grundstock zu Tage treten (BRILLY ET AL, 2012; LIEB, 1985; LIEB, 2013). Die Betrachtung der Niederschlagsverteilung des Einzugsgebietes der mittleren Mur zeigt folgendes Bild: Die größten mittleren jährlichen Niederschlagshöhen von 1800 mm und mehr werden in den Kammlagen des Korallengebietes erreicht. In den nördlichen Gebirgslagen des Randgebirges kann von generell geringeren Jahresniederschlägen ausgegangen werden. Hier werden je nach Gebiet noch 1.500 bis 1.700 mm erreicht. Generell ist von einer tendenziellen Abnahme von den Gebirgsregionen ins Hügelland auszugehen. So nehmen die Jahresniederschläge bis ins Grazer Feld und Leibnitzer Feld auf 900 bis 1.000 mm ab. Außerordentlich hervorstechend ist die Zahl der heftigen Niederschlagsereignisse >30 mm/Tag. Hier sind die konvektiven Niederschläge entscheidend für hohe Tagesmengen. Die Region nimmt in diesem Punkt eine außerordentliche Führungsposition im Untersuchungsgebiet ein. Im langjährigen Mittel werden im Korallengebiet 8-9 Tage durch Niederschlagsereignissen >30 mm/Tag charakterisiert. Dabei werden im Bereich der Koralpe und des Vorlandes der südlichen Weststeiermark durchaus die durchschnittlichen Höchstmengen der Nordstaugebiete erreicht. Dies kann als Besonderheit gewertet werden und charakterisiert die Weststeiermark als unwettergefährdete Region (WAKONIGG, 2010; WAKONIGG, 1978).

3.4 UNTERE MUR

Das Einzugsgebiet der Unteren Mur umfasst die Bereich von der Einmündung der Sulm bis zu den südöstlichsten Regionen des Untersuchungsgebietes bei Bad Radkersburg. Das Gebiet schließt Teile des oststeirischen Hügellandes zwischen Mur und Raab ein und wird auch unter dem Synonym Grabenland geführt. Charakteristisch für das Grabenland sind die langgezogenen, in Nord- Süd verlaufenden Rücken. Die Rücken sind durch eine deutliche Talasymmetrie, mit steilen Westflanken und flachen Ostflanken, geprägt. Die Riedel sind sehr stark zerschnitten und gehen nach unten oftmals in ältere Terrassen über. Die 8 wichtigsten Zubringer des Gebietes sind: die Stiefing, der Zerlachbach, der Schwarzaubach, der Ottersbach, der Gnasbach, der Sulzbach, der Drauchenbach und die Kutschenitza.

Innerhalb des neogenen Beckens treten neben marinen und limnisch-fluviatilen Sedimenten auch Vulkanitkörper auf. Innerhalb des Riedellandes kann geologisch zwischen den jüngeren marinen Ablagerungen im Norden und den älteren limnisch-fluviatilen Ablagerungen im Süden unterschieden werden. (BRILLY et al, 2012; LIEB, 198; LIEB, 2013)

Die Niederschlagsverhältnisse im Gebiet der Unteren Mur sind wesentlich anders als in den gebirgigen Bereichen der Oberen und Mittleren Mur. Durch das Fehlen von gebirgigen Regionen werden auch keine hohen mittleren Jahressummen erreicht. So werden im Einzugsgebiet nur mehr 900 bis 1.000 mm im Jahresmittel erreicht, wobei eine generelle Abnahme gegen Osten nach Bad Radkersburg gegeben ist (WAKONIGG, 2010; WAKONIGG, 1978).

4 METHODEN UND DATEN

In diesem Kapitel sind die für Evaluierung verwendeten Datengrundlagen erklärt. Im Weiteren ist der methodische Hintergrund der Arbeit dargestellt sowie die verwendete Statistik erläutert.

4.1 NIEDERSCHLAGSDATEN

Die Evaluierung der Niederschlagsdaten erfolgte anhand des Ansatzes, dass die INCA Daten mit Referenzdaten verglichen werden. Dabei wurde für die Analyse ein Messzeitraum von **August 2010 - Dezember 2012** definiert. Die Auswahl dieses Messzeitraumes ist auf die Verfügbarkeit der INCA Niederschlagsdaten am Server des Hydrographischen Dienstes Steiermark zurückzuführen. Dabei wurde vereinbart für die Evaluierung Stundensummen der Niederschläge zu verwenden. Zusammenfassend kann eine Untergliederung der Niederschlagsdaten in Referenz- und die zu evaluierenden INCA Niederschlagsdaten geschehen. Die Daten gliedern sich wie folgt:

- **Referenzdaten:**
 - Stationsdaten (siehe Kapitel 4.1.1.1):
 - gemessene Daten an 13 Stationen im Gebiet der Steiermark
 - Regionalisierte Niederschlagsdaten (siehe Kapitel 4.1.1.2):
 - Flächeninterpolierte gebietsgemittelte Niederschlagsdaten aus Stationsdaten
- **INCA Niederschlagsdaten:**
 - Einzelne Rasterzellen (siehe Kapitel 4.1.2.1)
 - Gebietsmittelwerte (siehe Kapitel 4.1.2.2)

In den Analysen selbst wurden die Referenzstationsdaten mit den Rasterwerten aus INCA bzw. die für die Teileinzugsgebiete gemittelten regionalisierten Niederschlagsdaten mit den für die TEZG gemittelten INCA Daten verglichen.

4.1.1 REFERENZDATEN

4.1.1.1 Stationsdaten für die punktbezogene Evaluierung

Zur Evaluierung wurden vom Hydrographischen Dienst Steiermark Stationsdaten für 13 Stationen im Gebiet der Steiermark zur Verfügung gestellt. Bei den Daten handelt es sich um korrigiert Daten für den Messzeitraum 08/2010 - 12/2012. Die Niederschlagsdaten wurden in Stundensummen zur bereitgestellt. Bei der Auswahl der Stationen wurde einerseits darauf geachtet, dass die Stationen zwischen den Stationen des INCA Messnetzes liegen. Dies zeigt die Qualität der Niederschlagsschätzung im INCA Systems.

Bei der Auswahl sind nur Stationen herangezogen worden, die nach Erfahrungen vom Hydrographischen Dienst „gute“ Daten liefern. Dies erfolgte in Zusammenarbeit mit Ing. Josef Quinz vom Hydrographischen Dienst Steiermark. Weiters wurde versucht bei der Stationsauswahl verschiedenen Höhenlagen abzudecken. Bei der Stationsauswahl in den Gebirgsregionen waren Limitierungen durch die Stationsdichte gegeben. So sind nur Stationen bis 1372 m in der Auswahl enthalten. Die Abbildung 5 zeigt die Auswahl der Referenzstationen aus dem Messnetz des Hydrographischen Dienstes. Vier Referenzstationen liegen in höheren Lagen von 1200 m bis 1400 m in verschiedenen Gebirgsgruppen des Einzugsgebietes. Sieben Stationen in mittleren Höhenlagen von

500 -1000 m und zwei Stationen in Höhenlagen von 200 - 500 m. Im Hinblick auf die Verteilung von Stationen wurden drei im Einzugsgebiet der oberen Mur, eine im Einzugsgebiet der Mürz und fünf im Einzugsgebiet der mittleren Mur gewählt. Aufgrund von fehlenden repräsentativ guten Stationen im Grabenland wurde die Station Bad Waltersdorf außerhalb des Untersuchungsgebietes mit einbezogen. Weiters sind drei Stationen aus dem Einzugsgebiet der Enns, welche nicht Teil des Untersuchungsgebietes sind in die Auswertung miteinbezogen. Dies ist auf das Interesse vom Joanneum Research an diesen Stationen zurückzuführen. Zudem sind vier Stationen in der Auswertung die geringfügig in die INCA Analyse eingeflossen sind. Diese wurde deshalb gewählt, um eventuell Aussagen über die Qualitätsverbesserungen über die Einbindung von Stationen zu tätigen.

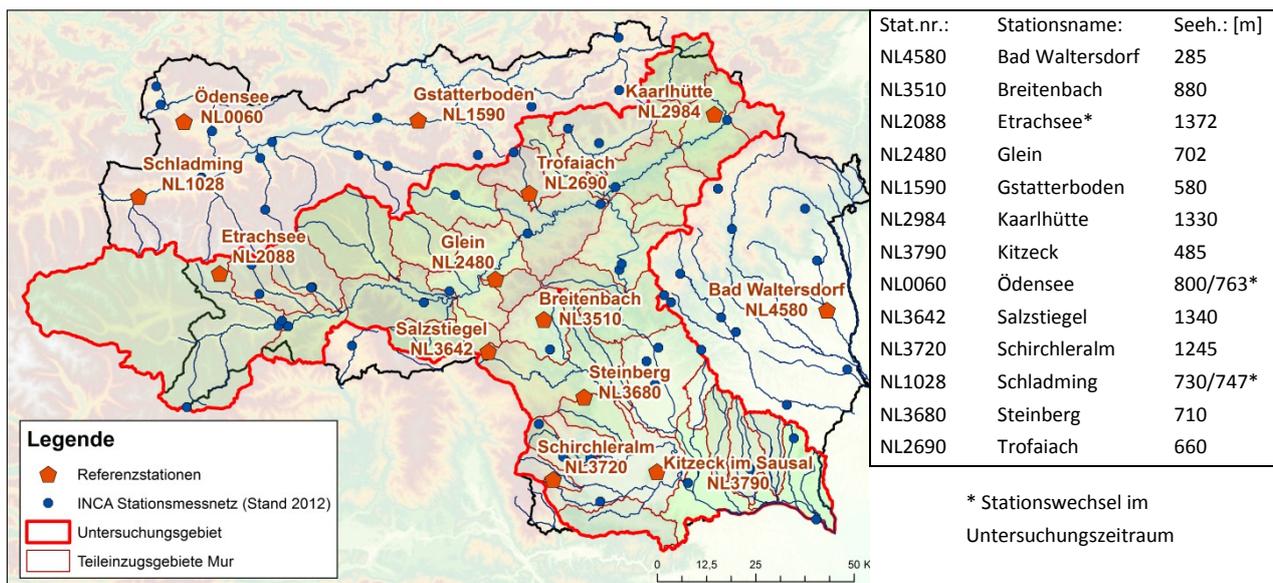


Abbildung 5: Referenzstationen für die punktbezogene Evaluierung, eigener Entwurf, Datengrundlage: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, GIS STEIERMARK, ZAMG, SRTM

4.1.1.2 Regionalisierte Niederschlagsdaten für die gebietsbezogene Evaluierung

Die Auswahl dieser Referenzdatensätze basiert darauf, da diese Ansätze für die Kalibrierung des Hochwasserprognosesystem Kampus verwendet wurden. Regionalisierte Niederschlagsdaten können als flächeninterpolierte, für die Teileinzugsgebiet gemittelte Niederschlagssummen bezeichnet werden. Die Interpolation wurde aus dem Stationsmessnetz des Hydrographischen Dienstes erstellt. Im linken Teil (A) von Abbildung 6 ist das für die Interpolation verwendeten Stationsnetz (Messnetz für Stundensummen in grün und Messnetz für Tagessummen in rot) in geographischer Verortung dargestellt. Insgesamt standen 100 Stationen aus einem Stundenmessnetz und 191 Stationen aus einem Tagesmessnetz zur Verfügung. Das ergibt eine Stationsdichte von 1,77 Stationen/100km² für Stunden- und Tagesstationen. Für die Stundenstationen ist eine Dichte von 0,61 Stationen/100km² und die Tagesstationen eine Dichte von 1,16 Stationen/100km² gegeben. Im Anhang II befindet sich hierfür ein Auszug aus den verwendeten Stationen. Für die Auswertung stehen Daten von 2010 bis 2012 zur Verfügung. Die Interpolationen von 2010 und 2011 wurden mit korrigierten Stationsdaten, die Interpolationen für **2012 mit unkorrigierten Stationsdaten** durchgeführt. Für die Interpolation wurde die Methode IWD - Inverse- Distance Weighting angewandt. Dabei erfolgte eine Skalierung auf das Tagesmessnetz über Variogramme nach HABERLANDT et al (2005). Dies führt zu deutlichen

Verbesserungen der Ergebnisse durch die Mitbenutzung des dichteren Stationsnetzes der Tagesniederschläge. Die Regionalisierung wurde vom Joanneum Research GmbH durchgeführt und als Gebietsmittelwerte für die Teileinzugsgebiete in zwei Versionen zur Verfügung gestellt. Für die zwei Versionen wurden die folgenden Parameter für die Interpolation gewählt:

Version 1 (REGIO V1):

- keine Höhenabhängigkeit
- Suchradius für Tageswerte 40 km, Stundenwerte 50 km

Version 2 (REGIO V2):

- Höhenabhängigkeit: 3.5 % pro 100 m (bezogen auf den Niederschlag auf 1000 m Seehöhe), für die gesamte Steiermark
- Suchradius für Tageswerte 40 km, Stundenwerte 50 km

Im Wesentlichen unterscheiden sich die beiden Versionen in der Verwendung eines Niederschlagshöhengradienten in der Version REGIO V2.

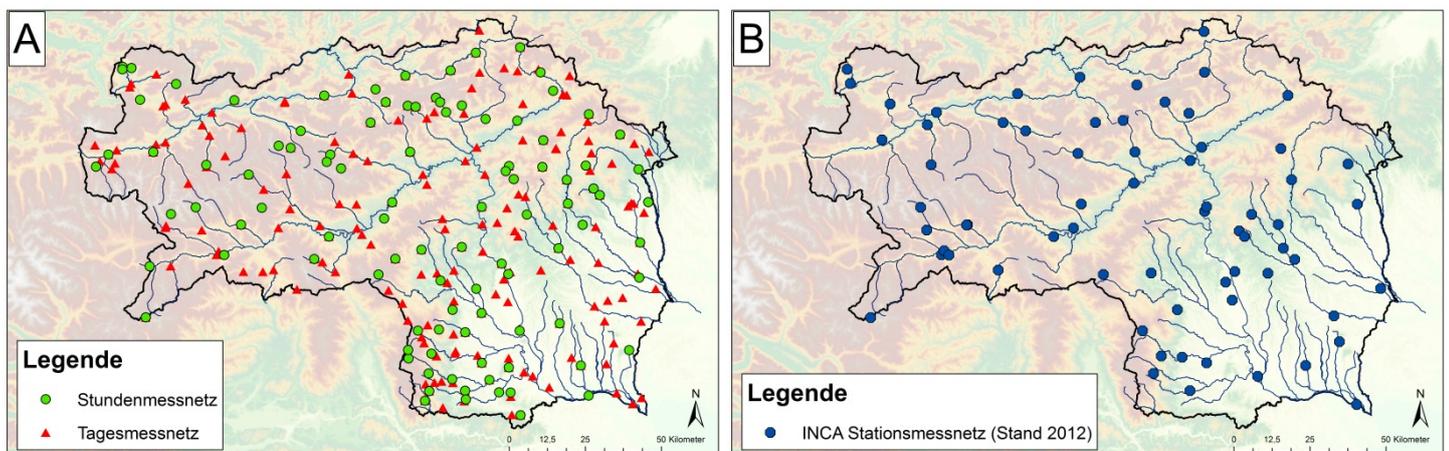


Abbildung 6: Vergleich des für die Regionalisierung verwendeten Stationsnetzes (links) mit dem in INCA einfließenden Messnetz (rechts), eigene Darstellung, Datengrundlage: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, GIS STEIERMARK, ZAMG, SRTM

4.1.2 INCA DATEN

Bei den INCA Daten handelt es sich um einen Auszug von Niederschlagsstundensummen im Analysemodus (keine Prognosedaten) aus dem INCA Modell der ZAMG. Diese wurden vom Hydrographischen Dienst (FA 14) zur Verfügung gestellt. Die INCA Niederschlagsdaten wurden aus einer Datenbankabfrage und weiteren Export in ASCII Listen am Hydrographischen Dienst akquiriert. Für diese Analyse stand eine **Datenperiode von August 2010 bis Dezember 2012** zur Verfügung. Im rechten Teil (B) von Abbildung 6 ist eine Übersicht der in INCA einfließenden Stationen am Stand 2012 dargestellt. 2010 flossen 41 Stationen, 2011 - 65 Stationen und 2012 - 66 Stationen in die Interpolationen der Gebietsniederschläge ein. Das ergibt Stationsdichten von 0,25 Stationen/100km² (2010), 0,40 Stationen/100km² (2011) und 0,40 Stationen/100km² (2012). Im Mittel ist eine Stationsdichte von 0,35 Stationen/100km² für den Analysezeitraum gegeben. Im Vergleich zu den regionalisierten Niederschlagsdaten zeichnet sich das INCA Messnetz durch eine geringere Stationsdichte aus, beinhaltet dafür Niederschlagsinformationen aus Radardaten. In Anhang I ist das Stationsmessnetz der einzelnen Jahre, das für die Berechnung von INCA Niederschlagsdaten herangezogen wurden, dargestellt. Zusätzlich ist angegeben welchen Anteil (in Prozent) die Stationen für die Berechnung der Rasterwerte haben. Da INCA als dynamischen System (siehe Kapitel 2.3

Grundlagen - INCA System) zu verstehen ist, kann das System bei der Berechnung einzelne Stationen aus diesen Stationenpool, durch automatische Filteroperatoren ausschließen. Werden Stationen ausgeschlossen sind diese normalerweise bei der nächsten Analyse wieder integriert, außer sie werden wieder über den Plausibilitätsfilter ausgeschlossen. Daher ist es sinnvoll bei der Verwendung von INCA Daten neben diesem Stationsmessnetz die tatsächlich eingeflossen Stationen zu kennen. Dies ist für einzelne Analysezeiten oder als statistische Mittelung für Zeiträume möglich. Bei den Angaben handelt es sich um statistische Mittelungen für jeweils Juli.

Die INCA Daten sind wie die regionalisierten Niederschlagsdaten als Interpolation von Stationsdaten anzusehen. Die Stationen werden mit der Methode IWD - Inverse- Distance Weighting mit dem Exponenten 2 interpoliert. Für die Interpolation eines Rasterpunktes werden die nächsten 8 Stationen verwendet. Zusätzlich sind im INCA System Radarniederschlagsdaten integriert. Für die Radardaten wird ein Skalierungsfaktor, auf Basis der jeweiligen Monatssummen und Abschattungseffekten, die aus lokalen Gegebenheiten resultieren, berücksichtigt. Weiters erfolgt eine Anpassung des Skalierungsfaktors für große Niederschlagsmengen ($> 1 \text{ mm}/15\text{min}$), was der Überschätzung von diesen Niederschlägen entgegen wirken soll. Anschließend erfolgt eine Skalierung der Radardaten an die Stationsdaten. Dies erfolgt im Vergleich der über den Stationen gemessenen Radarniederschlagssummen. Erst dann werden die beiden Ansätze zu einem Datensatz vereinigt. Die Vereinigung erfolgt über die Gewichtung der beiden Datensätze. An den Stationsdaten ist die Gewichtung der Radardaten gleich null, was eine reine Darstellung aus den Stationsniederschlägen wiedergibt. Zwischen den Stationen gewinnen die Radarniederschläge an Bedeutung sofern keine Abschattungseffekte (die im Skalierungsfaktor beinhaltet sind) auftreten. Parallel dazu sind Niederschlagshöheneffekte in das System integriert (HAIDEN et al, 2010A).

Für die Evaluierung wurden nun zwei Auszüge aus den INCA Niederschlagsdaten generiert. Erstens, die Niederschlagswerte der Rasterzellen über den Referenzstation und zweitens, die Gebietsmittelwerte für die Teileinzugsgebiete.

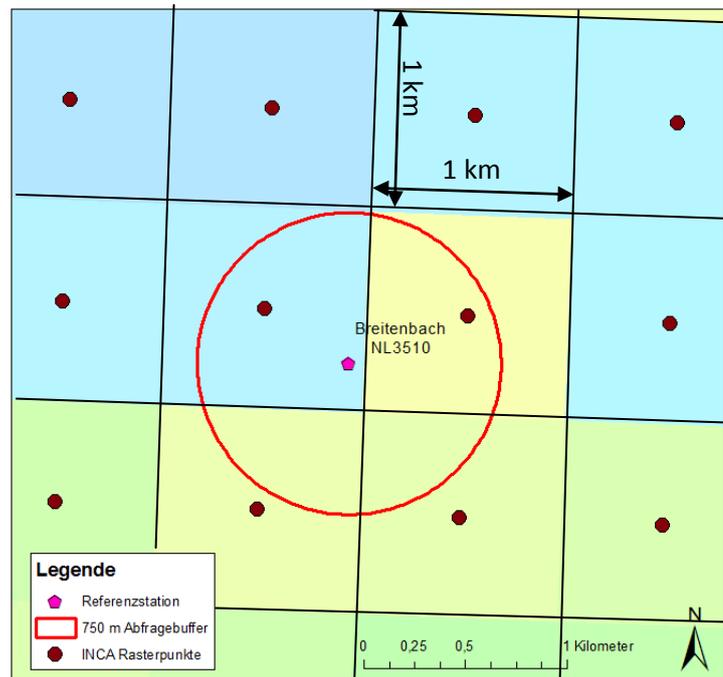
4.1.2.1 Rasterzellen für die punktbezogene Evaluierung

Der Vergleich zeigt punktuell gemessene Daten der Referenzstationen mit flächenhaften Rasterwerten aus INCA über diesen Stationen. Da INCA eine Rastergröße von $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ besitzt, somit ein Gebiet um die Station repräsentiert, sind innerhalb einer Rasterzelle bereits geringfügige Abweichungen im Niederschlag zu erwarten. Darüber hinaus erfolgte ein Prüfung der Lage der Station in der Rasterzelle, da falls die Station am Rande einer Rasterzelle liegt, die Rasterwerte trotzdem für die Station repräsentativ sein sollen. Zur Prüfung wurden Buffer um die Station gelegt. Es wurden Jahresmittelwerte an drei Stationen (Schladming, Breitenbach, Etrachsee) mit verschiedenen Bufferradien gebildet und mit den Jahrsmittelwerten der Referenzstation verglichen. Der Vergleich wurde folgendermaßen angestellt: Vergleich der Station mit der Rasterzelle in der sich die Station befindet, Vergleich der Rastermittelwerte im 750 m Buffer, 1000 m Buffer, 2000 m Buffer um die Station. Die besten Ergebnisse wurden mit einem Bufferradius von 750 m dokumentiert, weshalb diese für die weiteren Betrachtungen herangezogen wurde. Der Bufferradius von 750 m liefert nach den geometrischen Gegebenheiten folgende Ergebnisse: Liegt die Referenzstation im Zentrum der Rasterzelle kommt es zu keiner Mittelung, die Rasterzelle ist also repräsentativ für die Station. Hingegen ist die Referenzstation am Rand einer Rasterzelle situiert ist je nach Lage eine

Mittelung aus bis zu vier Rasterzellen möglich. Die Abbildung 7 zeigt beispielhaft einen 750 m Buffer um die Station Breitenbach. Für die Mittelung werden die Mittelpunkte der Rasterzellen herangezogen. In diesem Fall wird für die Evaluierung ein Mittelwert aus zwei INCA Rasterzellen gebildet.

Die Abfrage der INCA Rasterwerte erfolgte über den Buffer aus der Datenbank am Hydrographischen Dienst Steiermark. Bei der Datenabfrage wurden die Stationswechsel, die bei den Referenzstationen Schladming und Ödensee auftraten, berücksichtigt. Für die Auswertung standen Rastermittelwerte der Stundensummen über den 13 Referenzstationen zur Verfügung.

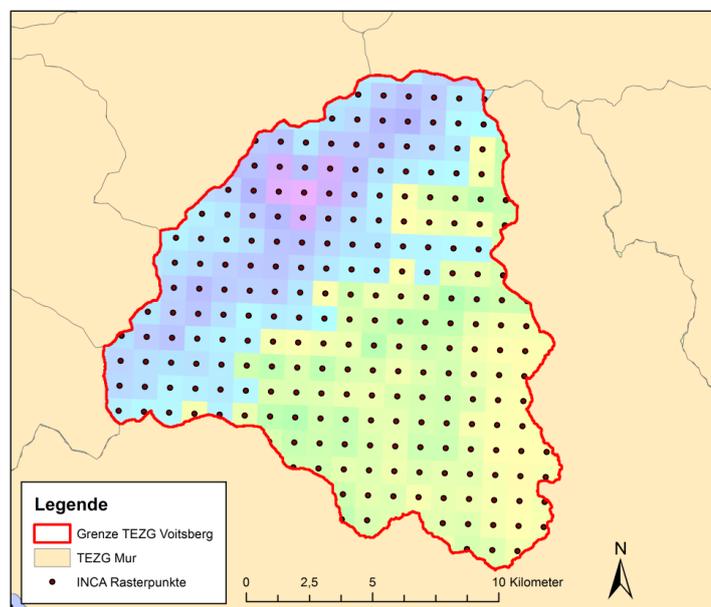
Abbildung 7: Bildung von INCA Rastermittelwerten für die punktbezogene Evaluierung, eigener Entwurf, Datengrundlage: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, ZAMG



4.1.2.2 Gebietsmittelwerte für die gebietsbezogene Evaluierung

Die Abfrage der Gebietsmittelwerte wurde über die Polygone der Teileinzugsgebiete aus der Datenbank am Hydrographischen Dienst Steiermark bewerkstelligt. Dabei wurden aus all jenen Rasterzellen Gebietsmittelwerte gebildet, deren Mittelpunkt sich innerhalb des Polygons des Teileinzugsgebietes befindet. Abbildung 8 zeigt die für das Teileinzugsgebiet Voitsberg verwendeten Rasterzellen. Für die Auswertung standen Gebietsmittelwerte der Stundensummen für die 40 Teileinzugsgebiet zur Verfügung.

Abbildung 8: Bildung von INCA Gebietsmittelwerten für die gebietsbezogene Evaluierung, eigener Entwurf, Datengrundlage: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, ZAMG

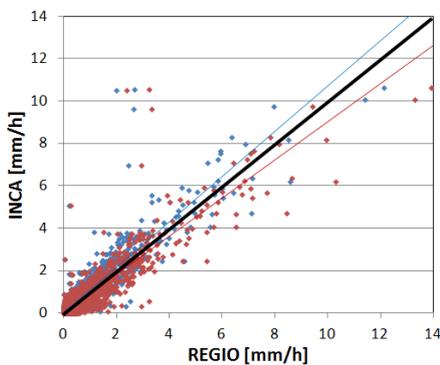


4.1.3 DATENPROBLEMATIK

Im Kapitel 4.1.1.2 Referenzdaten - Regionalisierte Niederschlagsdaten wurde bereits erläutert, dass für die Regionalisierung von **2012 unkorrigierte Stationsdaten** verwendet wurden. Damit ergeben sich bei der Auswertung gewisse Problematiken die an dieser Stelle genauer erläutert werden. Die

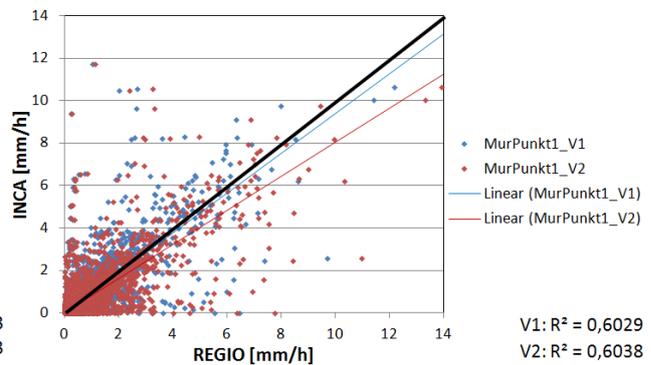
Abbildung 9 zeigt, anhand zweier Teileinzugsgebiete im Untersuchungsgebiet, was das für die Auswertung konkret bedeutet. Die Abbildung zeigt Punktwolken der Abweichungen der Stundenwerte von INCA und regionalisierten Niederschlagsdaten (REGIO V1 und REGIO V2). Lieferten INCA und regionalisierte Niederschlagsdaten dieselben Werte sind keine Abweichungen im Datenpunkt gegeben, es wäre ein linearer Zusammenhang (schwarze Linie) für die verschiedenen Niederschlagshöhen gegeben. Breitere Streuung der Punktwolken lässt auf ausgeprägte Abweichungen zwischen den Datensätzen schließen. Die Ergebnisse zeigen weit schlechtere Zusammenhänge bei der Verwendung der unkorrigierten Stationsdaten für die Interpolation für 2012 (rechte Seite der Abbildung). Für die korrigierten Daten (linke Seite der Abbildung) sind gute lineare Zusammenhänge, ausgedrückt durch die Bestimmtheitsmaße (R^2) um 0,8, dokumentiert. Dieses verringert sich bei den unkorrigierten Daten auf 0,6 bzw. 0,5. Durch die Punktwolken der Abweichung werden die breitere Streuung der Abweichungen, das häufigere Auftreten von Ausreißern und der schlechtere lineare Zusammenhang für die unkorrigierten Daten in den beiden Teileinzugsgebiete verdeutlicht. Somit ist bei der Verwendung der unkorrigierten Daten von 2012 mit größeren Fehlern und breiterer Streuung der Fehler zu rechnen. Konkret bedeutet dies, dass Interpretationen mit Vorsicht getroffen werden müssen und insbesondere Aussagen zur Entwicklung des INCA Systems. Also im Wesentlichen die Beantwortung der zweiten Forschungsfrage (Gibt es durch die Einbindung von weiteren Stationen ins INCA Messnetz Qualitätsverbesserungen?) nur bedingt möglich sind.

MurPunkt1, Stundenwerte, 08/2010 - 12/2011



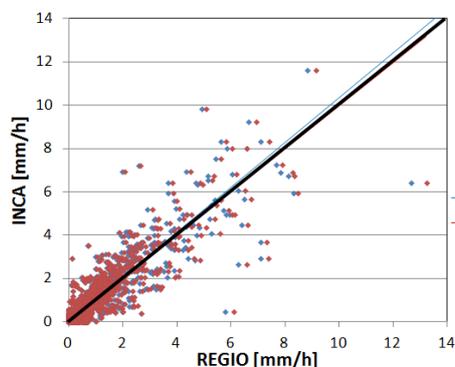
V1: $R^2 = 0,8483$
V2: $R^2 = 0,8493$

MurPunkt1, Stundenwerte, 08/2010 - 12/2012



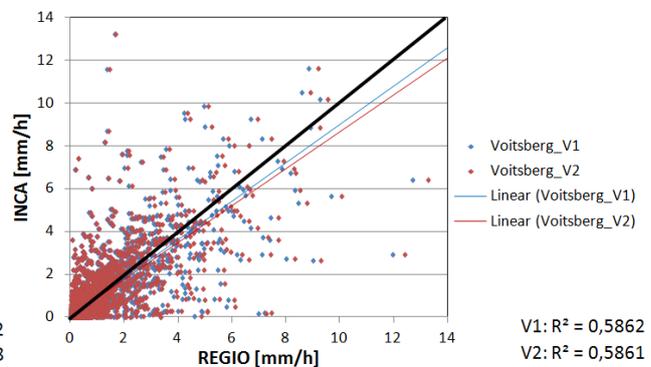
V1: $R^2 = 0,6029$
V2: $R^2 = 0,6038$

Voitsberg, Stundenwerte, 08/2010 - 12/2011



V1: $R^2 = 0,8212$
V2: $R^2 = 0,8258$

Voitsberg, Stundenwerte, 08/2010 - 12/2012



V1: $R^2 = 0,5862$
V2: $R^2 = 0,5861$

Abbildung 9: Analyse der Datenproblematik (unkorrigierte Stationsdaten für die Regionalisierung von 2012), Vergleich der beiden TEZG MurPunkt1 und Voitsberg, eigener Entwurf, Datengrundlage: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG

4.2 STATISTISCHE EVALUIERUNG DER INCA NIEDERSCHLAGSDATEN

Vor der Auswertung wurden die Datensätze aufeinander abgestimmt bzw. homogenisiert. Hierzu wurden folgenden Arbeitsschritte durchgeführt:

- **Anpassung der Zeitsysteme Coordinated Universal Time (UTC) und Mitteleuropäischen Zeit (MEZ)**
- **Ausweisung von Stationsausfällen mit dem Wert „Lücke“:** Treten Lückenwerte in einem der Datensätze auf werden diese im Zweiten als solche klassifiziert und umgekehrt. Zweck dieses Arbeitsschrittes ist es Fehler die aus Stationsausfällen resultieren nicht in die statistische Analyse einfließen zu lassen- somit falschen Interpretationen bzw. Verzerrungen der Ergebnisse vorzubeugen.
- **Ausreisserkontrolle:** Kontrolle von Extremwerte über Filteroperatoren
- **Verteilung der Daten:** Grafische Prüfung der Verteilung über Histogramme

Zur Auswertung wurde eine teilautomatisiertes Excel File verwendet. Das File ist so aufgebaut, das lediglich die Rohdaten als Stundensummen in das File eingelesen werden müssen. Die Auswertungen wurden, um dies nochmals zu verdeutlichen, bei den zwei Auswertansätzen folgendermaßen vollzogen:

- **Punktbezogene Evaluierung:** Die Referenzstationen wurden mit den im 750 m Buffer gemittelten Rasterzellen der INCA Niederschlagsdaten verglichen.
- **Gebietsbezogene Evaluierung:** Der Referenzdatensatz aus den regionalisierten Niederschlagsdaten in Version 1 (REGIO V1) und Version 2 (REGIO V2) wurden mit den für die Teileinzugsgebiete gemittelten INCA Niederschlagsdaten verglichen.

In den nächsten automatisierten Schritten erfolgt die Anpassung des gleichen Messzeitraumes. So wurde der Messzeitraum der mit Funktion *SVERWEIS* in Excel bewerkstelligt. Im Weiteren erfolgte die oben genannte Anpassung der Lückenwerte in den beiden Datensätzen.

Als nächstes erfolgte die Bildung von 3h-, 6h-, 12h-, Tages-, Wochen-, Monats- und Jahressummen aus den Stundenniederschlägen: Dies dient dazu allgemeine Aussagen über das INCA Systems bzw. quantitative Aussagen über die verschiedenen Zeitsummen treffen zu können. Die Bildung der Summen erfolgte über Parametrisierung der Daten und anschließender Pivotierung in Excel.

Für die Auswertung selbst wurde noch eine **Filterung der Niederschlagsdaten** vorgenommen. Für die Betrachtung der kumulierten quadratischen Fehler (siehe Kapitel 4.2.1) und mittleren quadratischen Fehler (siehe Kapitel 4.2.1) wurde eine Filterung von Niederschlägen größer **0,1 mm/h** durchgeführt. Die Filterung eliminiert das häufige Auftreten der Nullwerte (keine Niederschlag) in den Datensätzen, verhindert die Verzerrung der Statistik durch die Nullwerte und macht gewisse statistische Methoden erst sinnvoll. Weiters sind die Genauigkeiten der Stationen mit 0,1 mm Niederschlag begrenzt.

Weitere Auswertung sind mit Niederschlagshöhen größer als **1 mm/h** durchgeführt worden. Dies wurde verwendet, da geringfügige Fehler bei kleinen Niederschlagsmengen bei faktoriellen oder prozentueller Betrachtung beachtliche Fehlerwerte ergeben. Beispielsweise wird von der Referenzstation eine Niederschlagstundensumme von 0,2 mm registriert; für den gleichen Zeitraum liefert das INCA Modell einen Wert von 0,4 mm. Dies würde eine Abweichung des Faktors 2 oder einer 100-prozentigen Abweichung entsprechen. Für die Beurteilung der Daten im Sinne der

Hochwasserprognose ist dieser Ansatz, der Fehler bei kleinen Niederschlagshöhen vernachlässigt, sinnvoll da diese Niederschläge im Normalfall zu keinen Hochwässern führen.

Ein weiterer Ansatz forciert die Auswertung von großen Stundenniederschlagshöhen größer als **5 mm/h** bzw. **10 mm/h**. Dies gibt spezifischen Aussagen über Starkniederschläge, oder potentiell zu Hochwasser führenden Niederschlägen. **Für die Beurteilung von Hochwässern auf regionalem Maßstab sind solche Niederschlagshöhen von vorrangiger Bedeutung.**

Für die **punkbezogene Evaluierung** mit den Referenzstationen wurde der Ansatz von **10 mm/h** gewählt. An den Referenzstationen treten durchschnittlich 25 Niederschlagsereignisse von größer 10 mm/h in der Messreihe auf. Für die **gebietsbezogenen Evaluierung** wurden Niederschläge größer **5 mm/h** gewählt. Die Definition der Niederschläge erfolgte aufgrund der Ereignishäufigkeit. So treten durch die Mittelung auf die Gebiete meist nur mehr 0 bis 10 Niederschlagsereignisse von größer 10 mm/h auf. Dies erschwert die statistische Interpretation. Bei Ereignissen von größer 5 mm/h werden immerhin noch 50 bis 60 Ereignisse pro TEZG in der Messreihe dokumentiert.

Die Ausgabe der Ergebnisse aus dem teilautomatischen Excel File erfolgte anhand eines Tabellenblattes pro Referenzstation bzw. Teileinzugsgebiet. Die Interpretation kann als Zusammenführen der einzelnen Ergebnisse verstanden werden.

4.2.1 STATISTISCHE METHODEN

Die Auswertung der Daten erfolgte nach Eingabe der Daten, deren Homogenisierung und der Bildung der Summen nach verschiedenen Zeiteinteilungen, automatisch. Hierfür wurden die folgenden Fehlermaße verwendet:

Der **mittlere relative Fehler (MRE)** zeigt die prozentuellen Abweichungen von den Referenzdatensätzen zu den INCA Datensätzen.

$$MRE [\%] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{100}{REF * (INCA - REF)}$$

REF.....Referenzdatensätze (Referenzstationsdaten, regionalisierte Niederschlagsdaten Version 1 oder 2 für die Teileinzugsgebiete, siehe Kapitel 4.1.1)

INCA.....INCA Datensätze (gemittelte INCA Rasterzellen, für die Teileinzugsgebiete gemittelte INCA Niederschlagsdaten, siehe Kapitel 4.1.2)

Der **mittlere absolute Fehler (MAE)** zeigt die mittlere absolute Abweichung von den Referenzdatensätzen zu den INCA Niederschlagsdaten. Es ist als Genauigkeitsmaß, der durch lineare Zahlen die individuellen Abweichungen als gewichtetes Mittel angibt, zu verstehen.

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N REF * (INCA - REF)$$

Der **mittlere Fehlerfaktor (MFakt)** ist ein weiteres verwendetes Fehlermaß, dass die mittlere faktorielle Abweichung von INCA Niederschlagsdaten zu den Referenzdatensätzen angibt.

$$M Fakt = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{INCA}{REF}$$

Der **quadratische Fehler (RMSE - root mean square error)** ist als quadratisches mittleres Fehlermaß zu verstehen. Der RMSE verhindert durch die Quadrierung die Mittelung von positiven und negativen Abweichungen. Für die Auswertungen wurde der RMSE in drei Varianten verwendet. Erstens in Form des relativen Fehlermaßes (RMSE [%]), zweitens als absolutes Fehlermaß (RMSE [abs.]) und drittens wurde es als kumuliertes Fehlermaß (RMSE [kum.]) verwendet.

$$RMSE [\%] = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(INCA - REF)^2}{REF^2}}$$

$$RMSE [abs.] = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (INCA - REF)^2}$$

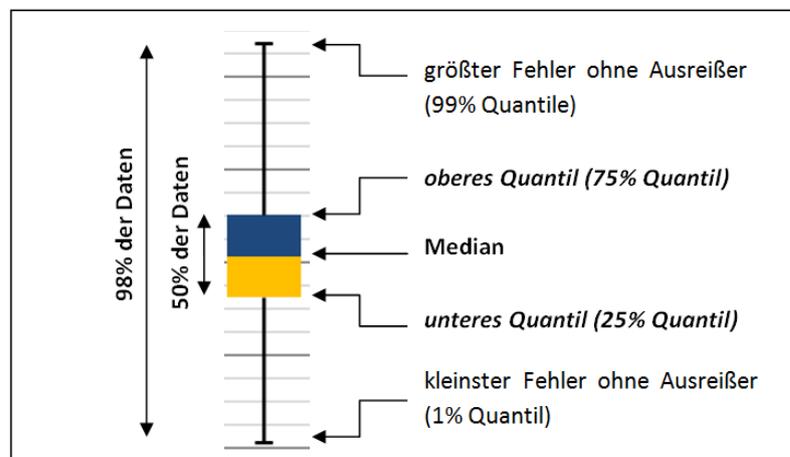
$$RMSE [kum.] = \sqrt{\sum_{i=1}^N (INCA - REF)^2}$$

Der RMSE kann in Verbindung mit dem MAE verwendet werden um die Streuung der Fehler zu beurteilen. So wird der RMSE stets größere Werte als der MAE annehmen, wenn sowohl negative und positive Abweichungen vorhanden sind. Es kann die Grundregel, je größer die Abweichung, desto größer die Streuung, angewandt werden.

Zusätzlich zu den verwendeten Fehlermaßen wurden statistische Indikatoren wie, Mittelwerte, Median, Standardabweichung, MIN, MAX und Quantile verwendet.

Die Angabe der Fehlerverteilung erfolgt in der Arbeit über einen modifizierten Boxplot. Die Abbildung 10 zeigt den verwendeten Boxplot. Der Median zeigt die Teilung der Fehler in die oberen und unteren 50 %. Oberes und unteres Quantile kennzeichnen 50 % der Daten. Durch die Angaben der größten und kleinsten Fehler ist die Streuung von 98 % der Daten angegeben. Hier wurde das 1 % und das 99 % Quantile verwendet. Dies wurde gewählt, um eventuelle Fehler die bei den MIN und MAX Abweichung enthalten sind, vorzubeugen. Vor allem im Kontext der Verwendung von unkorrigierten Daten für 2012 in der Regionalisierung, gibt dieser Zugang eine gewisse Sicherheit in der Interpretation.

Abbildung 10: Boxplot für die Analyse der Verteilung der Fehlerwerte, eigener Entwurf



5 ERGEBNISSE

Für die beiden Evaluierungsansätze werden die Ergebnisse in chronologischer Weise dargestellt. Als Erstes werden die mittleren relativen Fehler (MRE und RMSE [%]) für die Jahres-, Monats- und Tagesniederschläge dargestellt. Zweitens folgt die Betrachtung der kumulierten und mittleren quadratischen Fehler (RMSE [kum.] und RMSE [abs.]) nach verschiedenen Zeitsummen. Dies gibt Aussagen über die Qualität der Niederschlagshöhen vom Jahres- zum Stundenniederschlag. Drittens erfolgt die Analyse der Zeitsummen nach mittleren faktoriellen Fehlern (MFAkt). Viertens wird eine detaillierte Betrachtung der mittleren absoluten Fehler (MAE) sowie des mittleren quadratischen Fehlermaßes RMSE [abs.] für Niederschläge größer 1 mm/h und größer 5 bzw. 10 mm/h in einer GIS Visualisierung dargestellt. Das kann als Evaluierung der potentiellen zu Hochwässern führenden Niederschläge angesehen werden. Als weiteren Schritt werden für jede Referenzstation, jedes Teileinzugsgebietes die Abweichungen über Boxplots klassifiziert. Das gibt die Verteilung der Abweichungen wieder.

5.1 PUNKTBEZOGENE EVALUIERUNG

Die punktbezogene Evaluierung stellt die Ergebnisse aus dem Vergleich der INCA Rasterzellen zu den ausgewählten Referenzstationen dar. Die Tabelle 2 zeigt eine Zusammenfassung der **mittleren relativen Fehler (MRE)** und des **quadratischen relativen Fehler (RMSE [%])** für die Jahres-, Monats- und Tagesniederschläge. Durch die Angabe des RMSE kann abgeschätzt werden, ob die mittleren Fehler eine einseitige Magnitude oder eine beidseitige, in Form von Unter- und Überschätzung im INCA System, besitzen. Im Generellen werden bei den Jahresniederschlägen relative Fehler von minus 2,8 % bis 29,6 % registriert. **Die Verteilung zeigt, dass das INCA System an fast allen Stationen mehr Niederschlag liefert, als an den Referenzstationen registriert wird.**

Stat.nr.:	Stationsname:	Seeh.: [m]	Einfluß in INCA [%] 2010 - 2012	Mittlerer relativer Fehler [%] NS > 1mm			RMSE [%] NS > 1mm		
				Jahres NS	Monats NS	Tages NS	Jahres NS	Monats NS	Tages NS
				NL4580	Bad Waltersdorf	285	0.0	11,17	39,35
NL3510	Breitenbach	880	0.0	12,99	28,84	25,34	12,99	32,06	55,56
NL2088	Etrachsee*	1372	0.0	24,93	62,08	33,93	24,93	63,25	61,77
NL2480	Glein	702	0.0	29,60	76,58	42,26	29,60	77,03	69,27
NL1590	Gstatterboden	580	0.0	13,62	17,63	24,82	15,06	25,46	57,33
NL2984	Kaarlhütte	1330	0.0	22,87	46,71	39,29	22,87	48,40	65,78
NL3790	Kitzeck	485	0.0	6,85	27,54	22,89	6,85	32,14	61,29
NL0060	Ödensee	**800/763	0.0	-2,79	0,54	12,54	4,83	13,06	49,05
NL3642	Salzstiegel	1340	26.0	12,68	19,77	20,06	12,68	31,99	64,68
NL3720	Schirchleralm	1245	39.6	-1,91	13,92	4,56	9,87	25,70	54,73
NL1028	Schladming	**730/747	0.0	10,59	30,61	22,94	10,59	39,95	56,98
NL3680	Steinberg	710	45.0	6,85	11,80	11,55	6,85	16,76	42,93
NL2690	Trofaiach	660	57.7	9,57	18,61	16,33	9,57	18,84	32,61

Periode 08/2010 - 12/2012

* Stationsausfall bis Ende 2010 (Datenperiode 2011 - 2012)

** Stationswechsel im Untersuchungszeitraum

Tabelle 2: Zusammenfassung der mittleren relativen Fehler MRE und RMSE [%] von INCA im Vergleich zu den Referenzstationen, Datenreihe 08/2010 - 12/2012, Datengrundlage: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG

An den beiden Stationen Ödensee und Schirchleralm treten geringfügige Unterschätzungen im Jahresniederschlag auf. Der Vergleich der MRE Werte mit den RMSE [%] Werten zeigt, dass fast

durchwegs eine Überschätzung in den Einzeljahren auftritt. An den Stationen Gstatterboden, Ödensee und Schirchleralm treten geringfügige Unter- und Überschätzungen für einzelne Jahre auf. Bei den Stationen Ödensee und Schirchleralm sind die Fehler aus Unter- und Überschätzung durch die höheren Abweichungen von RMSE und MRE stärker ausgeprägt.

Die Betrachtung der Monatsniederschläge zeigt größere relative Fehler als bei den Jahresniederschlägen. Es sind mittlere relative Fehler von 0,5 % bis 76,6 % gegeben. Das heißt, dass **im Mittel von INCA mehr Niederschlag für die einzelne Monate geliefert wird, als an den Referenzstationen registriert wird.** Bei zusätzlicher Betrachtung der RMSE [%] Werte wird klar, dass die Mittelung der MRE Werte aus negativen und positiven Abweichungen resultiert. Für die meisten Stationen werden lediglich einzelne Monate durch INCA geringfügig unterschätzt. An den Stationen Gstatterboden, Ödensee, Salzstiegel, Schierchleralm und Schladming ist eine breitere Streuung der Fehler gegeben. Hier treten bereits häufiger Unter- und Überschätzungen für einzelne Monate auf. Bei den Tagesniederschlägen zeigen sich nach MRE bessere Ergebnisse als bei den Monatsniederschlägen. Es sind Abweichungen von 4,6 % bis 42,3 % gegeben. **Im Mittel liegen die INCA Niederschläge wieder über den an den Referenzstationen registrierten.** Die deutlich höheren RMSE [%] Werte von 32,6 % bis 69,3 % zeigen, dass die besseren Ergebnisse des relativen Fehlers aus der Mittelung aus positiven und negativen Abweichungen entstehen. **So liegt bei den RMSE [%] Werten eine deutliche Verschlechterung von den Jahres- zu den Tagesniederschlägen vor.** Gutes Beispiel hierfür, stellt die Station Schirchleralm dar. Nach MRE wird eine Abweichung von 4,6 % gemittelt. Bei Betrachtung des RMSE [%] zeigt sich ein Fehler von 54,7 %. Die besten Ergebnisse für die Tagesniederschläge mit Abweichungen von 32,6 % und 42,9 % nach RMSE [%] sind für die Stationen Trofaiach und Steinberg gegeben. Das sind die Stationen die teilweise in die in die Berechnung der INCA Niederschläge mit eingeflossen sind. An den anderen Stationen sind Abweichungen von 50 % bis 70 % zum INCA System gegeben. **Zusammenfassend liegen die INCA Tagesniederschläge im Mittel über jenen der Referenzstationen, für die einzelnen Tageswerte sind bereits ausgeprägte Über- und Unterschätzungen im System gegeben.**

Als nächstes erfolgt die Betrachtung der Niederschlagsabweichung über die **kumulierten quadratischen Fehler (RMSE [kum.]**) und die **mittleren absoluten quadratischen Fehler (RMSE [abs.])** nach verschiedenen Zeitsummen (Abbildung 11). Für die Auswertung wurden Niederschlagshöhen von größer 0,1 mm verwendet.

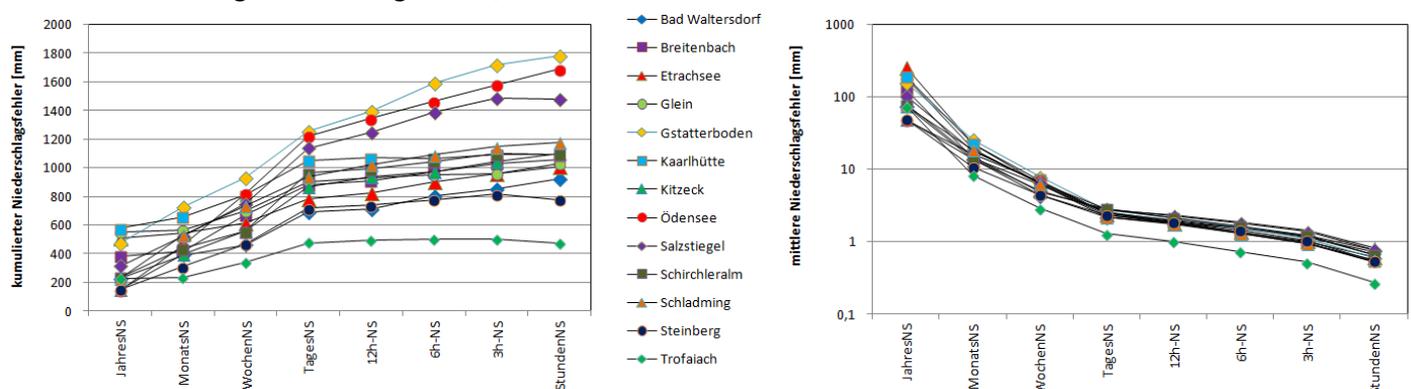


Abbildung 11: Links: Kumulierter quadratischer Fehler (RMSE [kum.]); Rechts: Mittlerer absoluter quadratischer Fehler (RMSE [abs.]) an den Referenzstationen nach verschiedene Zeitsummen, eigener Entwurf, Datengrundlage: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, ZAMG

Die Ergebnisse des kumulierten quadratischen Fehlers (RMSE [kum.]; Abbildung 11 - links) zeigt eine Zunahme der Fehler vom Jahres- zum Stundenniederschlag. An den drei Stationen Gstatterboden, Ödensee und Salzstiegel sind deutliche kumulierte Abweichungen in den Stundenniederschlägen gegeben. Das sind die in den Gebirgslagen situierten Stationen. Die besten Ergebnisse werden an der Station Trofaiach registriert, diese war teilweise als Station in INCA integriert. Die Betrachtung des mittleren absoluten quadratischen Fehlers (RMSE [abs.]; Abbildung 11 - rechts) zeigt, dass einhergehend mit der Zunahme der kumulierten Abweichung die mittleren absoluten Abweichungen tendenziell abnehmen. So treten im Jahresniederschlag mittlere Abweichungen von 50 bis 250 mm auf. Bei den Stundenniederschlägen sind mittlere Abweichungen von 0,3 mm/h bis 0,8 mm/h gegeben. Daraus kann abgeleitet werden, dass die absoluten Abweichungen die beim Stundenniederschlag im Mittel kleine Werte annimmt sehr häufig vorkommen müssen, sodass bei kumulierter Betrachtung die größten Fehlerwerte resultieren.

Die Betrachtung der **mittleren Fehlerfaktoren (MFakt)** nach Zeitsummen zeigt folgende Ergebnisse: Für die Auswertung wurden Niederschlagssummen von größer als **1 mm**, für die verschiedenen Zeiteinteilungen verwendet. Dadurch ergeben sich auch gewisse Besonderheiten bei der statistischen Analyse. Bei den Jahres-, Monats- und Wochensummen treten kaum Filterungen auf, da kaum Werte unter dem Grenzwert (1 mm) liegen. Hingegen kommt es bei den Tages- bis Stundensummen häufig zu Filterungen. Damit flossen kleinen Niederschlagssummen, welche vor allem bei den Stundenniederschlägen relativ häufig vorkommen nicht in die Analyse ein. Die Ergebnisse sind in Abbildung 12 zusammengefasst.

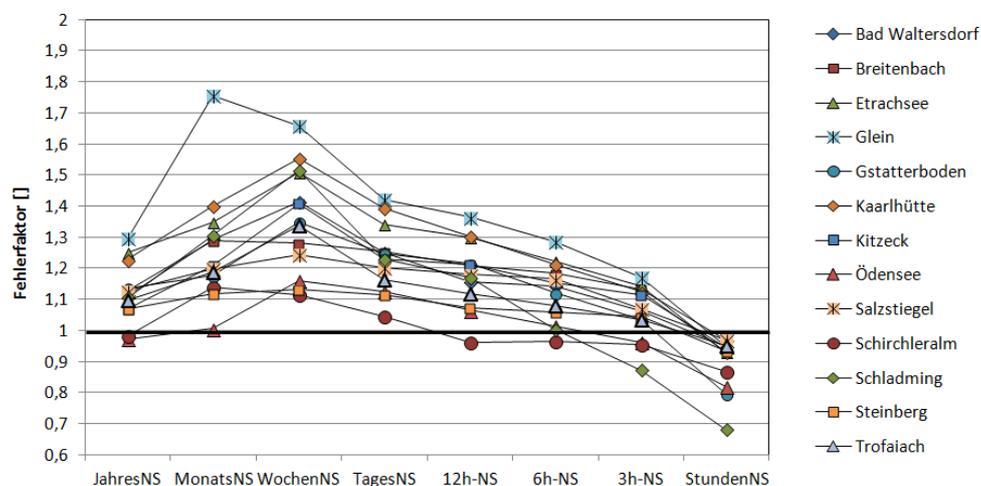


Abbildung 12: Mittlere Fehlerfaktoren (MFakt) für verschiedene Zeitsummen, eigener Entwurf, Datengrundlage: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, ZAMG

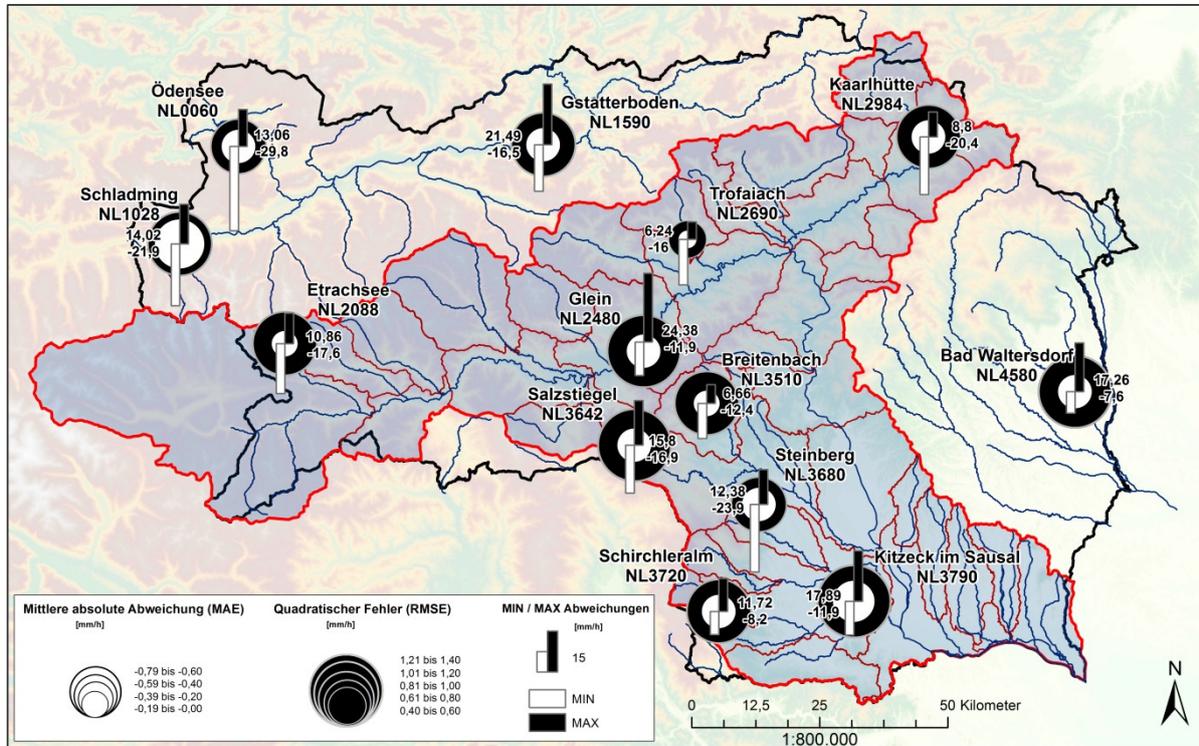
Für die Jahressummen zeigen sich an den Referenzstationen mittlere Fehlerfaktoren von 0,97 in Ödensee bis 1,30 in Glein. Generell ist an den Stationen ein Trend des Anstiegs des faktoriellen Fehlers vom Jahresniederschlag zum Wochenniederschlag gegeben. Für die Monatsniederschläge sind Fehlerfaktoren von 1,01 an der Station Ödensee bis 1,76 an der Station Glein gegeben. Für die Wochensummen zeigen sich mittlere Fehlerfaktoren von 1,11 an der Station Schirchleralm bis 1,66 in Glein. Anschließend nehmen die Fehlerfaktoren hin zu den Stundenniederschlägen ab. Jedoch ist diese subjektive Verbesserung der Fehler in der Mittelung mit Vorsicht zu behandeln. Da die Fehler im Mittel zwar geringere Werte annehmen bzw. bei den Stundenniederschlägen sogar in eine

negative Abweichung (durchwegs Fehlerfaktoren von unter 1) übergehen. Die Erklärung dieses Phänomens liegt in der Streuung der Abweichungen. So sind die subjektiv besseren Ergebnisse auf die Mittelung aus positiven und negativen Abweichungen zurückzuführen. **Bei der faktoriellen Betrachtung der Jahres- bis 6 h Niederschlag zeigt sich, dass die INCA Niederschläge über den Niederschlägen der Referenzstation liegen.** Für die Stundensummen liegen die INCA Niederschläge größer 1 mm generell unter jenen der Referenzstationen. Somit kann anhand dieser Analyse eine zweite Besonderheit des INCA Systems erarbeitet werden. **Da Niederschläge größer als 1 mm/h bei den Stundenniederschlägen generell von INCA unterschätzt werden, müssen Niederschlagsmengen von kleiner 1 mm/h vom System tendenziell überschätzt werden oder INCA Niederschlag liefern wenn an der Station kein Niederschlag registriert wird.** Diese kleinen Niederschlagssummen (die relativ häufig im System vorkommen) führen im Weiteren zur Überschätzung durch INCA, beispielsweise bei der Bildung von Tages- oder Monatsniederschlägen. Dies erklärt den Fehlerscheitel in den Wochen- und Monatsniederschlägen.

Im Weiteren erfolgt die Betrachtung der **potentiell zu Hochwasser führenden Niederschlägen.** Erstens erfolgt hierzu eine Analyse der **Stundenniederschläge größer gleich 1 mm/h.** Die Ergebnisse sind in einer GIS Visualisierung in Abbildung 13 dargestellt. Es sind die **mittleren absoluten Fehler (MAE)** in Weiß, der **mittlere quadratische Fehler (RMSE [abs.])** in Schwarz und die **minimalen und maximalen Abweichungen** in mm/h anhand von Balkendiagramme abgebildet. Bei gleicher Größe der Fehlermaße MAE und RMSE sind die Abweichungen einer Fehlermagnitudo zuzuordnen. Somit können der Abbildung die mittleren Abweichungen, die Streuung sowie die komplette Verteilung der Abweichungen für jede Referenzstation entnommen werden. Das heißt, dass beispielsweise an der Station Schladming mit einer MAE von -0,79 mm/h und einem RMSE von 1,07 generell eine geringere Streuung der Fehlermagnituden vorhanden ist. Die einzelnen Stundenwerte setzen sich also vorrangig aus negativen Abweichungen zusammen. Im Vergleich ist an der Station Etrachsee mit einer MAE von minus 0,35 mm/h und einem RMSE von 1,09 mm/h eine ausgeprägte Streuung von positiven und negativen Abweichungen gegeben. Generell tritt die Streuung der Fehlermagnitudo an allen Evaluierungsstationen auf. Die nach MAE Werten geringfügigsten Fehler treten an der Station Trofaiach mit 0,19 mm/h auf. Der größte MAE Wert mit 0,79 mm/h ist in Schladming gegeben. Nach der Betrachtung des RMSE Fehlermaßes sind günstigste Ergebnisse für die Stationen Trofaiach mit 0,53 mm/h und schlechtere Ergebnisse in Kitzeck mit 1,36 mm/h und Bad Waltersdorf mit 1,34 mm/h gegeben. Die minimalen und maximalen Abweichungen sind in Form von Balken mit den dazugehörigen Labels realisiert. In Schwarz sind die maximale Abweichungen und in Weiß die minimalen Abweichung im Analysezeitraum dargestellt. Für die maximalen Abweichungen ist ein Spektrum von der größten Überschätzung an der Station Gstatterboden mit 21,5 mm/h zu der kleinsten Überschätzung an der Station Trofaiach mit 6,2 mm/h dargestellt. Für die minimalen Abweichungen zeigen sich maximale Unterschätzungen von 29,8 mm/h an der Station Ödensee bis 7,6 mm/h in Bad Waltersdorf.

Zur genaueren Beurteilung sind in Abbildung 14 die Verteilung der Abweichungen dargestellt, wobei die Beschreibung der Diagramme im Methodenkapitel (Kapitel 4.2.1) erläutert ist. Die Diagramme geben die Interpretationen aus MAE und RMSE in detaillierter Form wieder. Die Darstellung zeigt, dass eine **geringfügige Unterschätzung im Mittel von INCA zu den Stationen gegeben ist.** Diese

geringen Fehler im Mittel resultieren allerdings aus einem Spektrum einer breiten Streuung. Bei der Betrachtung von 50 % der Abweichungen zeigt sich, dass für diese eine noch geringere Streuung vorhanden sind. So wird hier eine Fehlerspanne von minus 1 mm/h bis 0,5 mm/h erreicht. Bei statistischer Betrachtung für die 99 % und 1 % Quantile ergeben sich relativ große Abweichungen. Es werden Abweichungen von 7,5 mm/h in Bad Waltersdorf bis minus 11 mm/h in Kitzeck erreicht.



Bearbeiter: Patrick Sommer
 Datengrundlage: Hydrographischer Dienst Steiermark, GIS Steiermark, ZAMG, SRTM

Abbildung 13: Karte der mittleren absoluten Fehler (MAE), quadratischen Fehler (RMSE [abs.]) und minimale und maximale Abweichungen in mm/h der INCA Rasterwerte zu den Referenzstationen für Niederschläge größer 1 mm/h, eigene Darstellung, Datengrundlage: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, ZAMG, SRTM

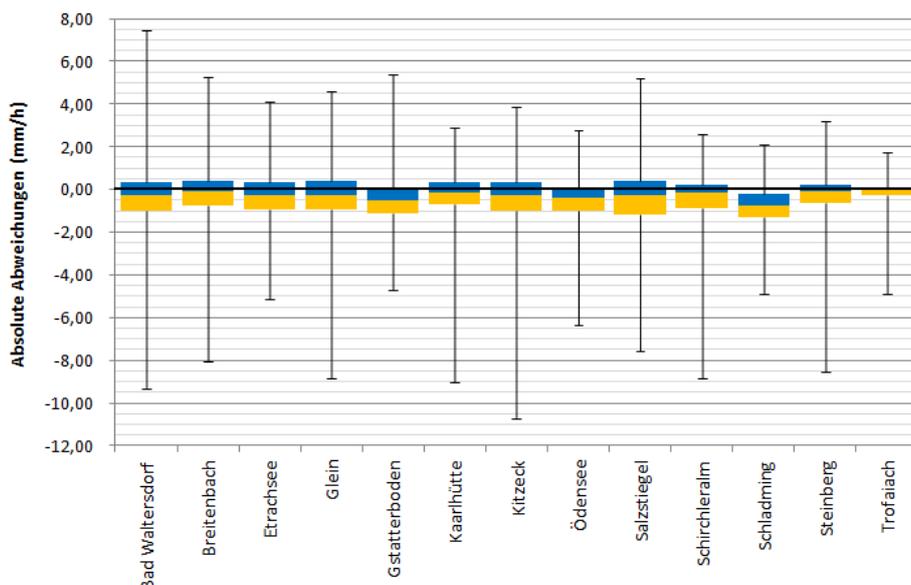


Abbildung 14: Verteilung der absolute Abweichungen (Stundensummen) von INCA Rasterzellen zu den Referenzstationen für Niederschläge größer 1 mm/h. BoxPlot gibt den Median das 25 % und 75 % Quantil sowie die Verteilung von 98 % der Daten durch die Fehlerindikatoren an, eigener Entwurf, Datengrundlage: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, ZAMG

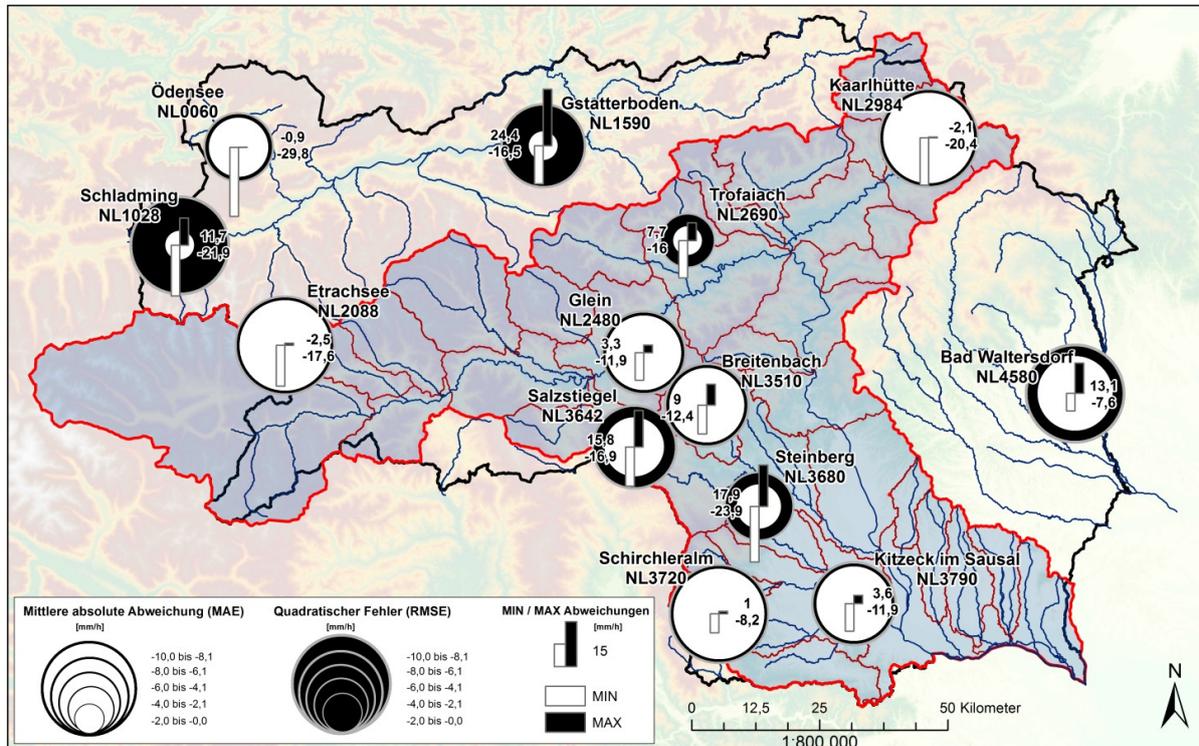
Zusammenfassend kann für die Stundenniederschläge größer 1 mm im INCA System folgende Aussagen getätigt werden: Im Mittel unterschätzt INCA den an den Referenzstationen registrierten Niederschlag um minus 0,26 mm/h (gemittelt an allen Referenzstationen). 50 % der Abweichungen liefern nur geringe Abweichungen zum Mittel, es treten aber bereits positive und negative Abweichungen auf. Eine breite Fehlerspanne tritt in 98 % der Daten auf. Es wird eine Fehlerspanne von 7,5mm/h bis minus 11 mm/h erreicht. Besonders die minimalen und maximalen Abweichungen an den Referenzstationen (siehe Abbildung 13) zeigen, dass für Einzelwerte extrem hohe negative und positive Abweichungen vorhanden sind. Damit ist keine klare Tendenz der Über- oder Unterschätzung der Niederschläge größer 1 mm/h durch das INCA System gegeben. Für die Hochwasserprognose ist die breite Streuung der Daten als problematisch anzusehen. Da Hochwasser meist nicht aus einer mittleren Niederschlagssituation resultiert sondern die Extremwerte von Bedeutung sind.

Im weiteren ist eine Analyse der **Stundenniederschläge größer 10 mm/h** in Abbildung 15 dargestellt. Es sind die **mittleren absoluten Fehler (MAE)**, der **quadratische Fehler (RMSE [abs.])** und die **minimalen und maximalen Abweichungen** in mm/h abgebildet. Der MAE ist in Weiß, der RMSE in Schwarz dargestellt. Bei gleicher Größe der beiden Fehlermaße sind die Abweichungen lediglich einer Fehlermagnitude zuzuordnen. Somit können der Abbildung die mittleren Abweichungen, die Streuung, sowie die komplette Verteilung der Abweichungen für jede Referenzstation entnommen werden. Für die Beurteilung ist ein gemittelter Stichprobenumfang ($N = 25$) gegeben. Das heißt, dass im Mittel an den Referenzstationen 25 Niederschlagsereignisse von größer 10 mm/h auftraten. Die Ergebnisse zeigen, dass generell markantere negative mittlere Fehler (MAE) im Vergleich zur Analyse der Niederschläge größer 1 mm/h gegeben sind. Es treten MAE Werte von minus 0,37 mm/h in Schladming bis minus 9,31 mm/h an der Station Schirchlalm auf. Die Betrachtung der RMSE Werte verdeutlicht die geringere Streuung der Fehlermagnituden an den meisten Stationen. So treten großzügige positive und negative Abweichungen nur mehr an den Stationen Schladming und Gstatterboden auf. Geringfügige Streuung der Fehlermagnituden ist an den Stationen Trofaiach, Salzstiegel, Steinberg und Bad Waltersdorf gegeben. Für die anderen Stationen sind die MAE und RMSE Werte nahezu ident, sodass an diesen Stationen fast nur negative Abweichungen, also Unterschätzungen durch INCA, auftreten.

Zur genaueren Beurteilung ist die Verteilung der Abweichung in Abbildung 16 dargestellt. Die Beschreibung der Diagramme ist im Methodenkapitel dargestellt. Im Endeffekt geben die Diagramme die Interpretationen aus MAE und RMSE in detaillierter Form wieder. Die Darstellung zeigt, dass durch das Heranziehen des Medians, generell von einer ausgeprägten Unterschätzung im Mittel durch INCA ausgegangen werden kann. Die Station Steinberg zeigt einen positiven Median. Die Streuung der Fehler ergibt sich hauptsächlich aus negativen Abweichungen. So wird bei der Verteilung von 50 % der Abweichungen eine Fehlerspanne von minus 20 mm/h in Bad Waltersdorf bis 6 mm/h in Schladming registriert. Allerdings treten positive Abweichungen bei der 50 % Verteilung an nur zwei Stationen (Schladming und Steinberg) auf. Die Verteilung von 98 % der Abweichungen zeigt Fehler von minus 29 mm/h in Bad Waltersdorf bis 8 mm/h in Schladming. Überschätzungen durch INCA sind hier nur geringfügig ausgeprägt.

Zusammenfassend kann für die Niederschläge größer **10 mm/h** im INCA System folgende Aussage getätigt werden: **Im Mittel unterschätzt INCA die an den Referenzstationen registrierten**

Niederschläge. Es kann von einer Unterschätzung von minus 5,6 mm/h (gemittelt an allen Stationen) der Niederschläge größer 10 mm/h durch das INCA System ausgegangen werden. Die Verteilung der Fehler zeigt bei 50 % der Abweichungen eine Fehlerspanne von 15 mm an der Station Schirchleralm. Bei 98 % der Abweichungen wird eine maximale Fehlerspanne von 25 mm in Bad Waltersdorf registriert. Als günstig kann erachtet werden, dass die Verteilung der Abweichung fast nur mehr der negativen Fehlermagnitude zuzuordnen ist.



Bearbeiter: Patrick Sommer
 Datengrundlage: Hydrographischer Dienst Steiermark, GIS Steiermark, ZAMG, SRTM

Abbildung 15: Karte der mittleren absoluten Fehler (MAE), quadratischen Fehler (RMSE [abs.]) und minimale und maximale Abweichungen in mm/h der INCA Rasterwerte zu den Referenzstationen für Niederschläge größer 10 mm, eigene Darstellung, Datengrundlage: Hydrographischer Dienst Steiermark, GIS Steiermark, ZAMG, SRTM

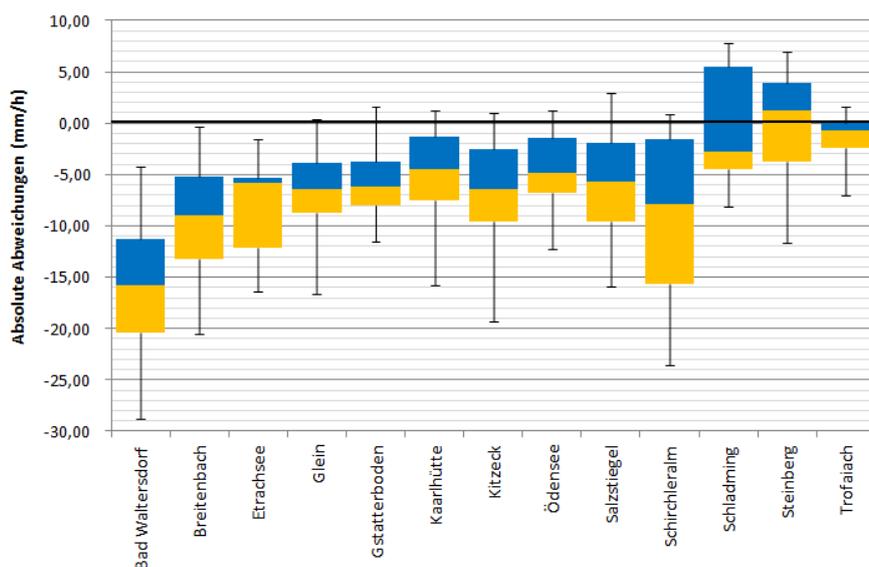


Abbildung 16: Verteilung der absolute Abweichungen (Stundensummen) von INCA Rasterzellen zu den Referenzstationen für Niederschläge größer 10 mm/h. BoxPlot gibt den Median das 25 % und 75 % Quantil sowie die Verteilung von 98 % der Daten durch die Fehlerindikatoren an, eigener Entwurf, Datengrundlage: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, ZAMG

5.2 GEBIETSBEZOGENE EVALUIERUNG

Die gebietsbezogene Evaluierung stellt die Ergebnisse aus dem Vergleich der gebietsgemittelten INCA Rasterzellen mit den regionalisierten Niederschlägen für die Teileinzugsgebiete dar. Die Tabelle 3 gibt eine Übersicht der **mittleren relativen Fehler (MRE und RMSE [%])** im Jahres-, Monats- und Tagesniederschlag. Die Abweichungen der INCA Niederschlagsdaten zu den regionalisierten Niederschlagsdaten Version 1 (REGIO V1) zeigt folgendes Bild: Generell sind mittlere relative Fehler (MRE) von minus 15,7 % bis 40,1 % im Jahresniederschlag gegeben. **Die mittleren relativen quadratischen Fehler (RMSE [%]) der Jahreswerte zeigen, dass die Mittelwerte der Teileinzugsgebiete, mit drei Ausnahmen (Leibnitzsulm_sub, Schwamberg und MurFluss9) für alle Einzeljahre von INCA überschätzt werden.** Die TEZG Leibnitzsulm_sub, Schwamberg und MurFluss9, in denen auch Unterschätzung für Einzeljahre auftritt, sind Gebiete mit generell geringeren Fehlern im Jahresniederschlag. Die Monatsniederschläge zeigen durchwegs höhere MRE Werte als die Jahresniederschläge. Es ist eine Fehlerspanne der MRE von minus 8,7 % in Guendorf bis 57,1 % in Gestuethof gegeben. Die Betrachtung der RMSE [%] Werte zeigt, dass die einzelnen Monate bereits häufiger durch das Auftreten von Über- und Unterschätzung geprägt sind. Die Ergebnisse der Tagesniederschläge zeigen nach MRE bessere Ergebnisse. Diese sind durch die Berücksichtigung der RMSE Werte zu relativieren. So wird gezeigt, dass die subjektiv besseren MRE Werte aus der Mittelung von positiven und negativen Abweichungen resultieren. Nach RMSE [%] werden bei den Tagesniederschlägen Fehler von bis zu 66 % in Gestuethof erreicht. Somit kann nach RMSE [%] eine Verschlechterung der mittleren Abweichungen vom Jahres- zum Tagesniederschlag erarbeitet werden.

Die Abweichungen der INCA Niederschlagsdaten zu den regionalisierten Niederschlagsdaten Version 2 (REGIO V2) zeigt folgendes Bild: Generell sind MRE Werte von minus 14,4 % bis 22,5 % im Jahresniederschlag gegeben. Die RMSE [%] Jahreswerte zeigen, dass eine generelle Überschätzung von INCA charakteristisch ist. Lediglich in Einzeljahren tritt eine Unterschätzung auf. Die Monatsniederschläge zeigen durchwegs größere relative Abweichungen als die Jahresniederschläge hervorbringen. Es ist eine Fehlerspanne von MRE von minus 7,1 % in Guendorf bis 33,1 % in Eppenstein gegeben. Die Betrachtung der RMSE [%] Werte zeigt, dass die einzelnen Monate bereits häufiger durch das Auftreten von Über- und Unterschätzung geprägt ist. Die Ergebnisse der Tagesniederschläge zeigen nach MRE Werten bessere Ergebnisse. Diese sind aber durch die Berücksichtigung der RMSE [%] Werte wieder zu relativieren. Es wird gezeigt, dass die subjektiv besseren MRE Werte aus der Mittelung von positiven und negativen Abweichungen resultieren. Nach RMSE [%] werden bei den Tagesniederschlägen Fehler von bis zu 56,4 % in MuerzPunkt 1 erreicht. Somit kann eine Verschlechterung der mittleren Abweichungen vom Jahres- zum Tagesniederschlag erarbeitet werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass unter Berücksichtigung der Höhenabhängigkeit des Niederschlags in den regionalisierten Niederschlagsdaten Version 2 (REGIO V2) geringere mittlere Fehler zu Folge haben. Die Verbesserungen sind vorrangig in den gebirgigen Teileinzugsgebieten gegeben. Es wird eine Abnahme des Fehlers von bis zu 10 % in den gebirgigen TEZG dokumentiert. Die Einteilung der Teileinzugsgebiete in Gebietseinzugsgebiete (obere Mur, Mürz, mittlere Mur und untere Mur) verdeutlicht, dass die größten Fehler erwartungsgemäß in den oberen TEZG auftreten. In den

unteren TEZG treten immerhin noch mittlere Abweichungen von 35 - 48 % nach RMSE [%] für die Tagesniederschläge auf.

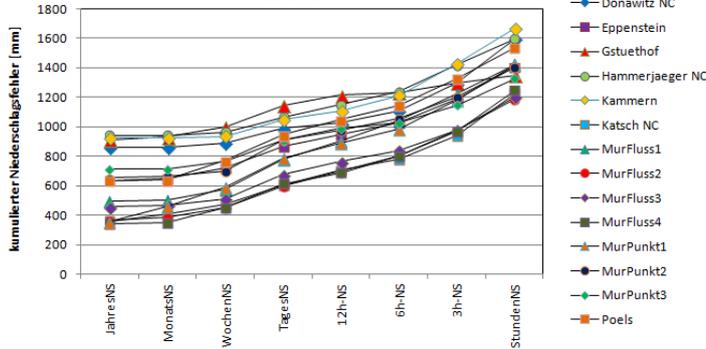
Teileinzugsgebiet	Mittlere Seehöhe [m]	Relative Abweichung INCA - REGIO V1						Relative Abweichung INCA - REGIO V2						
		JahresNS		MonatsNS		TagesNS		JahresNS		MonatsNS		TagesNS		
		MRE [%]	RMSE [%]	MRE [%]	RMSE [%]	MRE [%]	RMSE [%]	MRE [%]	RMSE [%]	MRE [%]	RMSE [%]	MRE [%]	RMSE [%]	
Obere Mur	DonawitzNC	1166	30,6	30,6	38,6	38,7	42,9	50,5	15,3	15,3	22,7	24,8	27,9	40,3
	Eppenstein	1286	33,0	33,0	43,8	44,2	39,5	57,0	22,5	22,5	33,1	35,5	29,2	50,7
	Gstuehof	1642	37,6	37,6	57,1	57,6	49,5	66,0	10,1	10,1	24,9	33,8	25,4	54,4
	Hammerjaeger	1531	40,1	40,1	52,5	52,5	46,9	55,5	11,4	11,4	21,4	24,8	19,4	39,3
	Kammern	1293	34,3	34,3	44,9	44,9	43,0	52,7	16,1	16,1	25,4	26,8	24,9	40,7
	KatschNC	1467	17,7	17,7	23,0	24,3	19,0	34,7	-1,3	5,4	3,4	15,1	1,1	29,9
	MurFluss1	1200	23,0	23,0	37,3	37,8	31,4	52,4	14,0	14,0	28,8	31,0	24,0	47,2
	MurFluss2	1066	20,3	20,3	27,1	27,6	24,3	39,6	14,3	14,3	21,7	23,0	18,0	36,8
	MurFluss3	970	23,1	23,1	38,5	38,9	32,8	44,1	15,2	15,2	29,9	31,4	25,9	40,3
	MurFluss4	931	15,6	15,6	27,8	28,0	25,9	41,0	6,6	6,6	18,7	23,6	16,3	36,0
	MurPunkt1	1476	17,3	17,3	17,8	21,7	15,2	39,9	-0,9	6,6	0,0	14,4	-2,6	36,3
	MurPunkt2	1265	30,2	30,2	37,6	43,5	40,7	58,3	15,2	15,2	22,2	30,6	24,1	48,6
	MurPunkt3	1226	34,8	34,8	53,2	54,0	52,7	62,6	14,3	14,3	30,4	34,8	37,1	53,5
	Poels	1492	25,3	25,3	27,3	27,5	29,0	43,3	9,1	9,1	11,1	17,9	13,0	35,9
Mürz	AmdorfNC	1157	18,0	18,0	26,1	28,5	36,4	49,7	5,2	7,0	12,3	18,5	24,8	44,1
	EdelsdorfNC	1029	25,8	25,8	38,2	38,8	30,5	49,8	19,0	19,0	31,2	32,9	24,7	47,1
	Hansenhuette	1166	9,6	9,6	16,7	18,4	24,3	37,2	-1,0	3,0	5,2	13,8	14,8	34,2
	MuerzFluss1	1038	22,8	22,8	33,5	34,4	37,5	51,1	17,0	17,0	27,1	29,6	32,2	48,2
	MuerzFluss2	844	21,1	21,1	30,1	30,1	30,9	45,0	17,3	17,3	26,4	26,5	28,3	42,9
	MuerzPunkt1	1118	28,5	28,5	43,2	44,2	40,8	62,1	17,2	17,2	30,7	36,0	30,0	56,4
	MuerzPunkt2	1043	21,0	21,0	28,3	28,9	35,7	46,6	10,6	10,6	17,1	21,3	24,5	39,8
	Neuberg	1195	20,7	20,7	26,1	26,6	34,0	45,8	6,3	7,2	11,1	13,9	20,5	38,7
Mittlere Mur	Frauental	313	3,1	3,1	8,0	11,3	7,9	30,0	1,2	2,1	6,0	10,8	5,9	29,2
	Guendorf	382	-15,7	15,7	-8,7	20,3	-14,5	32,0	-14,4	14,4	-7,1	20,1	-13,0	31,9
	Leibnitzsulum	351	4,0	7,2	13,0	18,2	8,3	29,4	6,9	8,2	16,2	19,4	11,1	30,5
	Lieboch_sub	316	14,2	14,2	21,7	22,6	23,5	38,1	13,2	13,2	20,8	21,9	22,5	37,9
	MurFluss5	280	19,4	19,4	35,4	35,9	34,4	47,1	11,4	11,4	27,0	29,6	27,0	42,3
	MurFluss6	329	6,2	6,2	22,0	25,8	12,1	33,2	7,1	7,1	23,2	26,6	13,4	34,0
	MurFluss7	313	5,5	5,5	17,9	20,6	4,0	29,9	7,4	7,4	20,6	22,3	6,2	30,6
	MurPunkt4	382	29,6	29,6	43,2	43,2	45,4	53,1	18,0	18,0	31,0	31,6	33,1	43,8
	MurPunkt5	351	17,3	17,3	34,1	37,3	30,5	43,8	7,2	7,2	22,9	30,6	22,7	40,8
	Schwamberg	316	3,2	4,8	9,0	14,8	8,0	34,7	-2,8	5,2	2,6	12,8	2,0	33,3
	Voitsberg	280	18,5	18,5	32,1	32,2	29,2	44,7	14,0	14,0	27,4	27,9	24,3	41,2
Wieselndorf	329	7,3	7,3	10,5	14,4	12,3	34,4	10,4	10,4	13,8	15,6	16,2	34,8	
Untere Mur	Ruttendorf	313	12,1	12,1	27,3	28,3	15,7	37,0	12,3	12,3	27,5	28,4	16,0	37,1
	GerbersdorfNC	382	16,4	16,4	21,4	23,6	17,2	42,2	18,4	18,4	23,6	25,3	19,1	43,3
	LipschNC	351	24,5	24,5	30,1	30,9	33,3	47,4	24,9	24,9	30,6	31,3	34,0	47,9
	MurFluss8	316	7,4	7,4	13,8	17,0	10,4	34,9	9,5	9,5	15,9	18,2	13,5	35,4
	MurFluss9	280	3,7	4,6	18,4	25,1	10,8	39,4	3,7	4,6	18,4	25,1	10,9	39,5
	MurPunkt6	329	12,1	12,1	22,1	23,7	21,3	35,5	11,6	11,6	21,5	23,3	20,8	35,2

Tabelle 3: Übersicht über die mittleren relativen Fehler (MRE) und quadratischen relativen Fehler (RMSE [%]) für verschiedene Zeitsummen. Vergleich von INCA mit regionalisierten Niederschlagsdaten Version 1 (REGIO V1) und Version 2 (REGIO V2) der Teileinzugsgebiete, eigener Entwurf, Datengrundlagen: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG

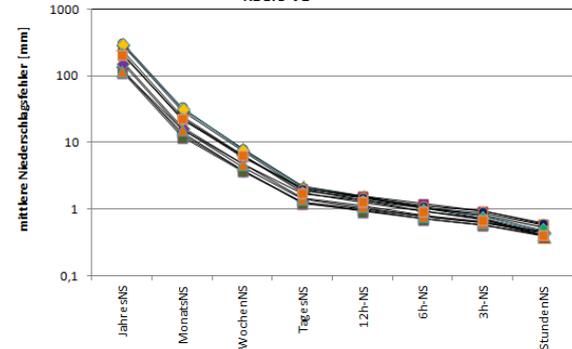
Als Nächstes erfolgt die Betrachtung der Niederschlagsabweichung durch die **kumulierten quadratischen Fehler (RMSE [kum.]**) und die **mittleren absoluten quadratischen Fehler (RMSE [abs.]**) nach verschiedenen Zeitsummen. Für die Auswertung wurden Niederschlagshöhen von größer 0,1 mm/h verwendet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 17 und Abbildung 18 dargestellt. Abbildung 17 zeigt den Vergleich der INCA Niederschläge mit den regionalisierten Niederschlägen Version 1 (REGIO V1). Abbildung 18 zeigt den Vergleich der INCA Niederschläge mit den regionalisierten Niederschlägen Version 2 (REGIO V2). Die beiden Abbildungen zeigen eine Zunahme der kumulierten Fehler (linke Seite der Abbildungen) vom Jahresniederschlag zum Stundenniederschlag für alle Teileinzugsgebiete. Tendenziell sind bessere Ergebnisse in den TEZG der mittleren und unteren Mur dokumentiert. Der Vergleich der beiden Ansätze REGIO V1 und REGIO V2

zeigt, dass in gebirgigen TEZG bessere Ergebnisse durch REGIO V2 also unter der Verwendung der Höhenabhängigkeit des Niederschlags erzielt werden. In den niedrig gelegenen TEZG (nach mittlerer Seehöhe), beispielsweise in den Gebieten der unteren Mur und Teile der mittleren Mur, sind geringere Abweichungen durch REGIO V1 gegeben.

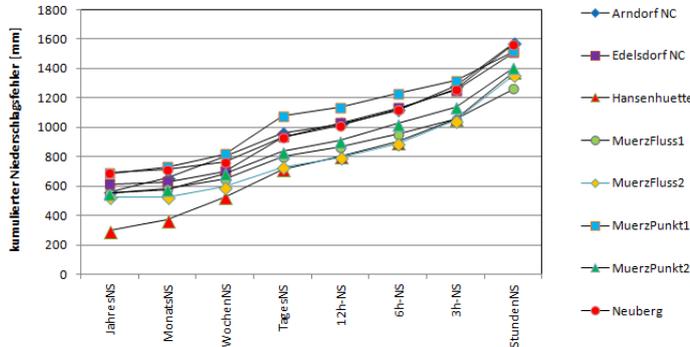
Obere Mur, kumulierte quadratische Abweichungen (RMSE kum.) von INCA zu REGIO V1



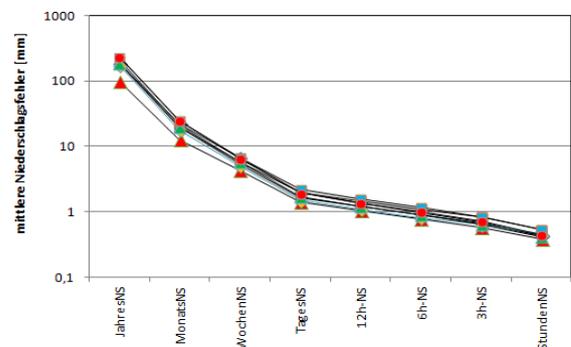
Obere Mur, mittlere quadratische Abweichungen (RMSE abs.) von INCA zu REGIO V1



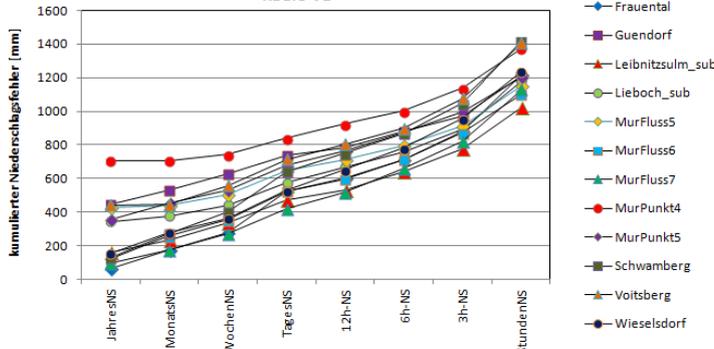
Mürz, kumulierte quadratische Abweichungen (RMSE kum.) von INCA zu REGIO V1



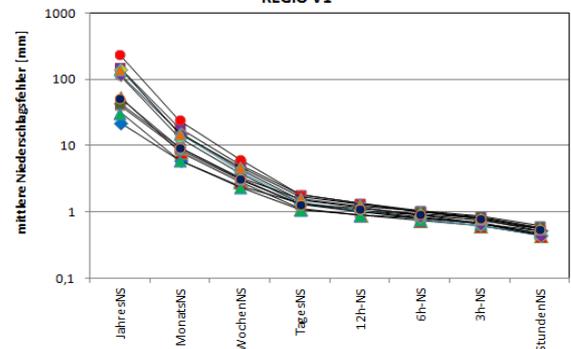
Mürz, mittlere quadratische Abweichungen (RMSE abs.) von INCA zu REGIO V1



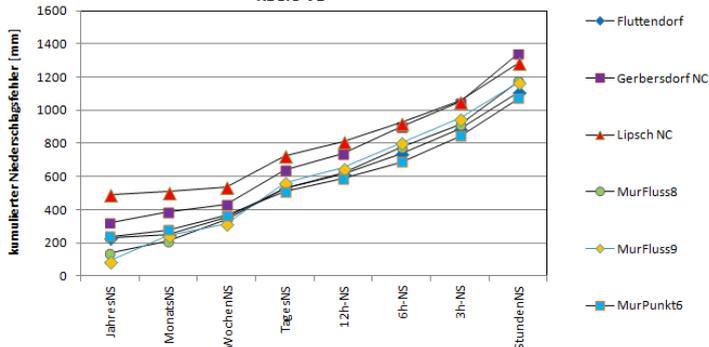
Mittlere Mur, kumulierte quadratische Abweichungen (RMSE kum.) von INCA zu REGIO V1



Mittlere Mur, mittlere quadratische Abweichungen (RMSE abs.) von INCA zu REGIO V1



Untere Mur, kumulierte quadratische Abweichungen (RMSE kum.) von INCA zu REGIO V1



Untere Mur, mittlere quadratische Abweichungen (RMSE abs.) von INCA zu REGIO V1

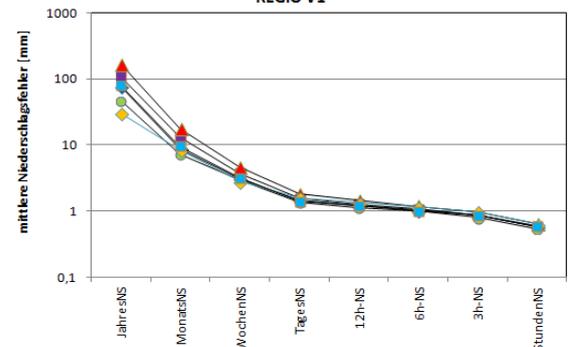
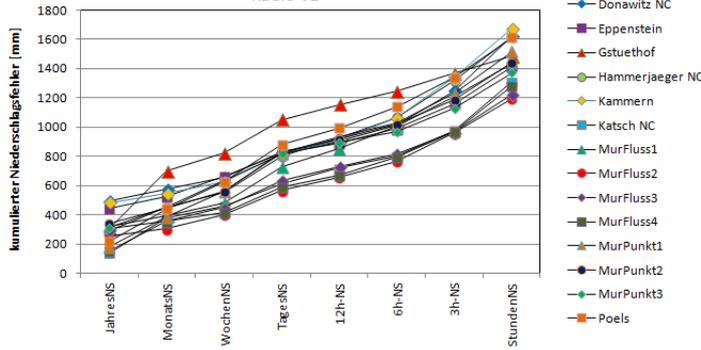
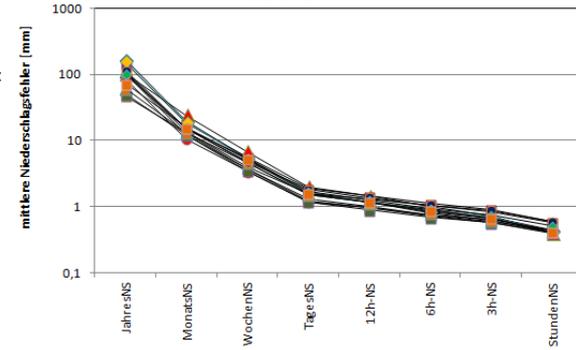


Abbildung 17: Links: Kumulierte quadratische Abweichung (RMSE [kum.]); Rechts: Mittlere quadratische Abweichung (RMSE [%]) für die TEZG nach verschiedene Zeiteinteilungen, Vergleich INCA - REGIO V1, eigener Entwurf, Datengrundlage: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG

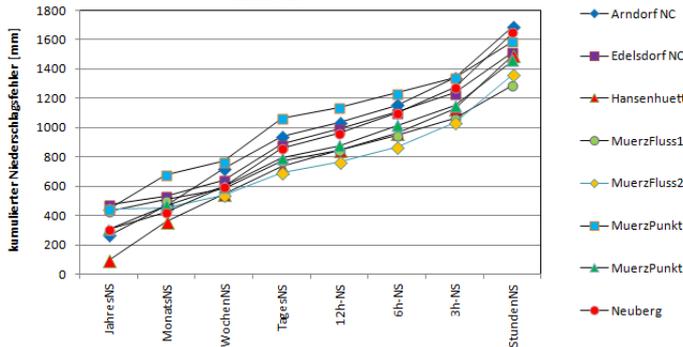
Obere Mur, kumulierte quadratische Abweichungen (RMSE kum.) von INCA zu REGIO V2



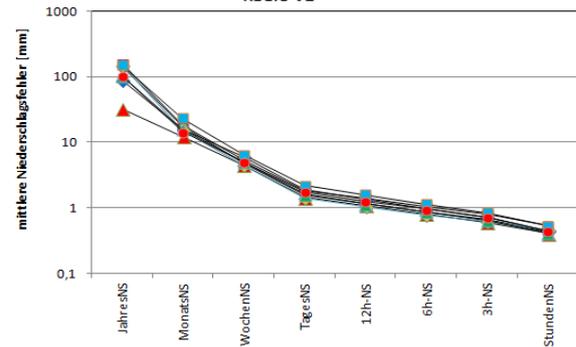
Obere Mur, mittlere quadratische Abweichungen (RMSE abs.) von INCA zu REGIO V2



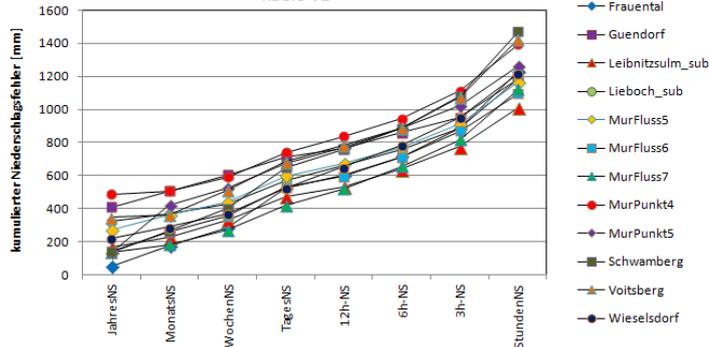
Mürz, kumulierte quadratische Abweichungen (RMSE kum.) von INCA zu REGIO V2



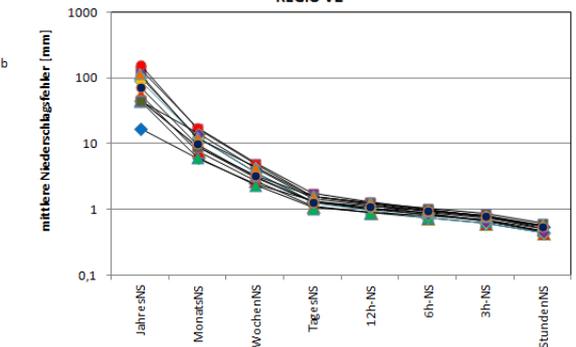
Mürz, mittlere quadratische Abweichungen (RMSE abs.) von INCA zu REGIO V2



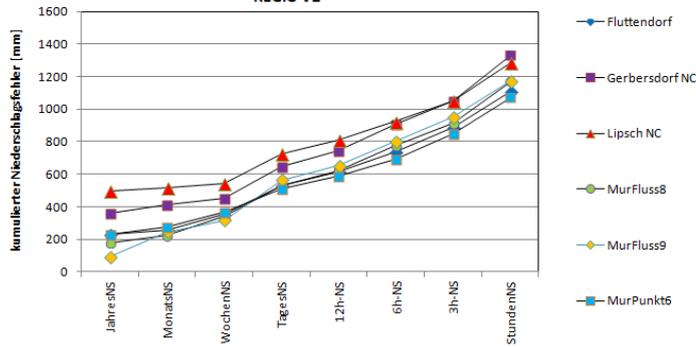
Mittlere Mur, kumulierte quadratische Abweichungen (RMSE kum.) von INCA zu REGIO V2



Mittlere Mur, mittlere quadratische Abweichungen (RMSE abs.) von INCA zu REGIO V2



Untere Mur, kumulierte quadratische Abweichungen (RMSE kum.) von INCA zu REGIO V2



Untere Mur, mittlere quadratische Abweichungen (RMSE abs.) von INCA zu REGIO V2

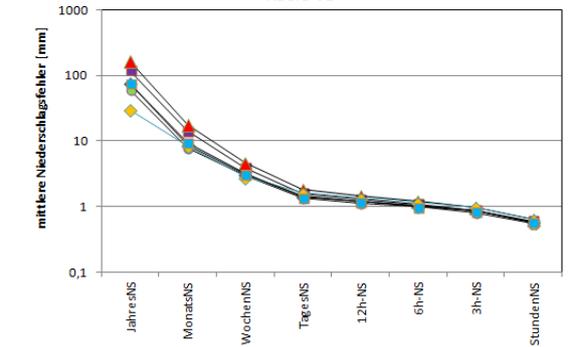


Abbildung 18: Links: Kumulierte quadratische Abweichung (RMSE [kum.]); Rechts: Mittlere quadratische Abweichung (RMSE [abs.]) für die TEZG nach verschiedene Zeiteinteilungen, Vergleich INCA - REGIO V1, eigener Entwurf, Datengrundlage: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG

Die mittleren quadratischen Fehler (RMSE [abs.]; Abbildung 17 und Abbildung 18 - rechts) zeigen durch beide Evaluierungsansätze eine Abnahme der absolute Abweichungen vom Jahres- zum Stundenniederschlag. Durch die Referenzdaten REGIO V1 (Abbildung 17 - rechts) sind in den TEZG

mittlere quadratische Abweichungen (RMSE abs.) gegeben: obere Mur 100 - 300 mm, Mürz 100 - 230 mm, mittlere Mur 20 mm bis 230 mm und untere Mur 30 mm bis 100 mm im Jahresniederschlag. Zum Stundenniederschlag treten in den TEZG mittlere quadratische Abweichungen von 0,4 mm/h bis 0,6 mm/h auf. Für den Ansatz REGIO V2 (Abbildung 18 - rechts) sind für die oberen EZG geringere mittlere quadratische Abweichungen registriert. Für die unteren TEZG sind ähnliche Abweichungen gegeben. Daraus kann abgeleitet werden, dass die absoluten Abweichungen die beim Stundenniederschlag im Mittel kleine Werte annehmen, sehr häufig vorkommen müssen, sodass bei kumulierter Betrachtung die größten Fehlerwerte resultieren.

Als Nächstes folgt die Darstellung der **mittleren Fehlerfaktoren (MFakt)** für die Zeitsummen. Für diese Betrachtung wird für die Auswertung die Niederschlagssummen von größer als 1 mm/h, für die verschiedenen Zeitsummen verwendet. Dadurch sind gewisse Besonderheiten bei der statistischen Analyse zu beachten. Bei den Jahres-, Monats- und Wochensummen treten kaum Filterungen auf, da kaum Werte unter diesem Grenzwert liegen. Filterungen bei den Tages- bis Stundensummen treten hingegen häufig auf. Damit flossen kleine Niederschlagssummen, welche vor allem bei den Stundenniederschlägen relativ häufig vorkommen, nicht in die Analyse ein. Die Ergebnisse sind in Abbildung 19 dargestellt.

Die Resultate zeigen eine Zunahme des mittleren Fehlerfaktors (MFakt) vom Jahres- zum Wochenniederschlag durch beide Evaluierungsansätze (REGIO V1 und V2). Dies gilt für alle TEZG. Anschließend nehmen die MFakt Werte hin zu den Stundenniederschlägen wieder ab. Dies ist einerseits auf die oben genannte Filterung zurückzuführen. Andererseits auf die Häufigkeiten der Stundenniederschlägen. So stehen sehr viele Einzelwerte zur Verfügung, bei der Mittelung kommt es zur Glättung der Fehler. Als weiterer Grund kann angenommen werden, dass die **Niederschlagsmengen von kleiner 1 mm/h vom INCA System überschätzt werden oder das System Niederschlag liefert, auch wenn an der Station kein Niederschlag registriert wird.** Durch die Summenbildung der Jahresniederschläge, sowie des geringen Stichprobenumfangs (N = 3 Jahreswerte) sind für die Jahresniederschläge wieder geringere mittlere Fehlerfaktoren registriert. Somit lässt sich der Fehlerscheitel in den Wochen- und Monatsniederschlägen erklären.

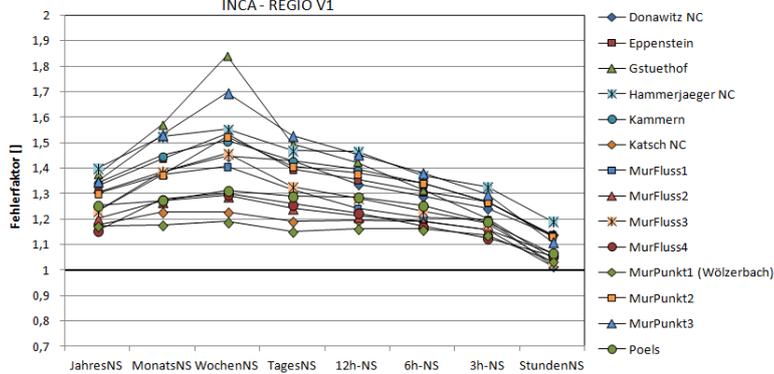
Der Vergleich der INCA Niederschläge mit den **regionalisierten Niederschlagsdaten Version 1** (REGIO V1; Abbildung 19 - links) zeigt folgende Verteilungen der mittleren Fehlerfaktoren: Das Einzugsgebiet **obere Mur** zeigt eine mittlere Überschätzung von 1,15 bis 1,4 im Jahresniederschlag. Mittlere Überschätzungen des Faktors 1,2 bis 1,85 im Wochenniederschlag und Fehlerfaktoren von 1,0 bis 1,2 im Stundenniederschlag. Das Einzugsgebiet **Mürz** zeigt eine mittlere Überschätzung von 1,1 bis 1,3 im Jahresniederschlag. Mittlere Überschätzungen des Faktors 1,2 bis 1,6 im Wochenniederschlag und je nach TEZG Unterschätzungen von 0,9 bis Überschätzungen von 1,1 im Stundenniederschlag. Das Einzugsgebiet **mittlere Mur** zeigt mittlere Unterschätzungen von 0,85 im TEZG Guendorf und mittlere Überschätzungen von 1,0 bis 1,3 im Jahresniederschlag. Im Wochenniederschlag sind mittlere Unterschätzungen von 0,9 in Guendorf und mittlere Überschätzungen von 1,1 bis 1,5 bei den weiteren TEZG gegeben. Bei den Stundenniederschlägen treten in Guendorf Unterschätzungen von 0,8 und Überschätzungen von 0,95 bis 1,15 bei den weiteren TEZG auf. Das Einzugsgebiet **untere Mur** zeigt mittlere Überschätzung von 1,0 bis 1,25 im Jahresniederschlag. Mittlere Überschätzungen von

1,2 bis 1,35 im Wochenniederschlag und je nach TEZG Unterschätzungen von 0,9 bis Überschätzungen von 1,15 im Stundenniederschlag.

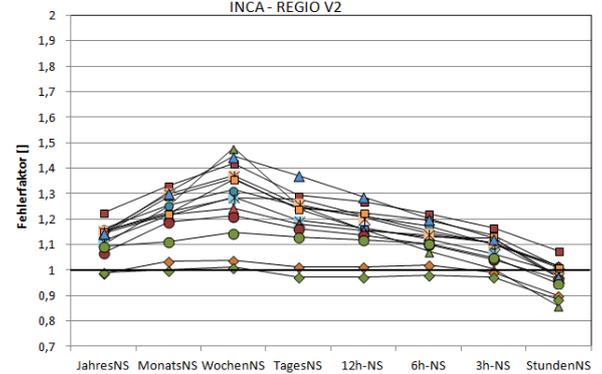
Der Vergleich der INCA Niederschläge mit den **regionalisierten Niederschlagsdaten Version 2** (REGIO V2; Abbildung 19 - rechts) zeigt folgende Verteilungen der Fehlerfaktoren: Das Einzugsgebiet **obere Mur** zeigt eine mittlere Überschätzung von 0,95 bis 1,25 im Jahresniederschlag. Mittlere 1,0 bis 1,5 im Wochenniederschlag, bei mittleren Fehlerfaktoren von 0,85 bis 1,1 im Stundenniederschlag. Das Einzugsgebiet **Mürz** zeigt eine mittlere Überschätzung von 1,0 bis 1,2 im Jahresniederschlag. Mittlere Überschätzungen des Faktors 1,1 bis 1,5 im Wochenniederschlag und je nach TEZG Unterschätzungen von 0,85 bis Überschätzungen von 1,05 im Stundenniederschlag. Das Einzugsgebiet **mittlere Mur** zeigt mittlere Unterschätzungen von 0,85 im TEZG Guendorf und mittlere Fehlerfaktoren von 0,95 bis 1,2 im Jahresniederschlag. Im Wochenniederschlag sind mittlere Unterschätzungen von 0,95 in Guendorf und mittlere Überschätzungen von 1,05 bis 1,45. Bei den Stundenniederschlägen treten in Guendorf Unterschätzung von 0,8 und mittlere Fehlerfaktoren von 0,9 bis 1,1 bei den weiteren TEZG auf. Das Einzugsgebiet **untere Mur** zeigt eine mittlere Überschätzung von 1,0 bis 1,25 im Jahresniederschlag. Mittlere Überschätzungen von 1,2 bis 1,35 im Wochenniederschlag und je nach TEZG, Unterschätzungen von 0,9 bis Überschätzungen von 1,15 im Stundenniederschlag.

Der Vergleich der Evaluierungsansätze REGIO V1 und REGIO V2 zeigt, dass bei Verwendung des Referenzdatensatz REGIO V1 (ohne Höhenabhängigkeit der Niederschläge) größere Abweichungen zu INCA auftreten.

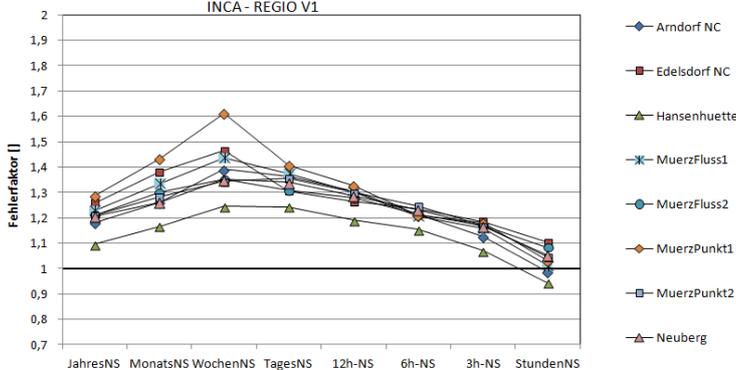
Mittler Fehlerfaktoren (MFakt) der **TEZG obere Mur** nach versch. Zeitsummen, INCA - REGIO V1



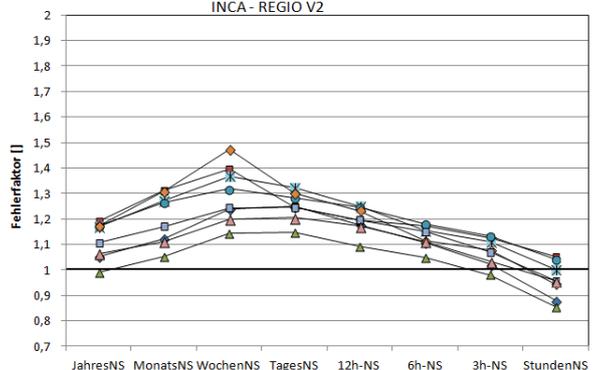
Mittler Fehlerfaktoren (MFakt) der **TEZG obere Mur** nach versch. Zeitsummen, INCA - REGIO V2



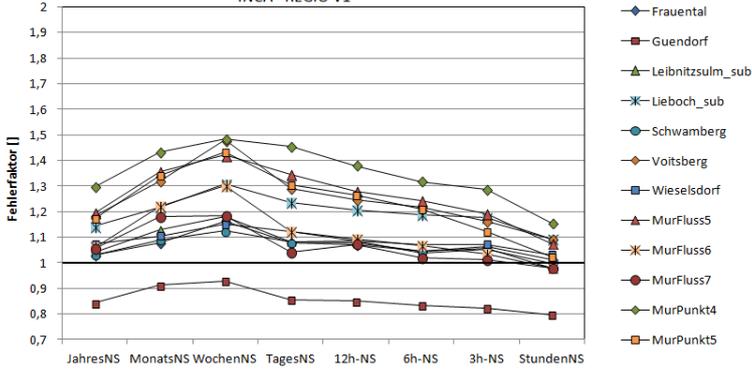
Mittlere Fehlerfaktoren (MFakt) der **TEZG Mürz** nach versch. Zeitsummen, INCA - REGIO V1



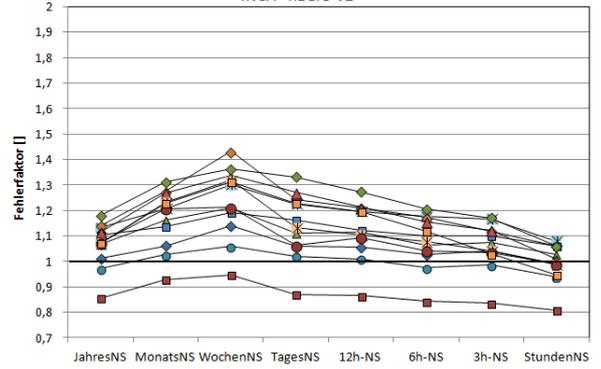
Mittlere Fehlerfaktoren (MFakt) der **TEZG Mürz** nach versch. Zeitsummen, INCA - REGIO V2



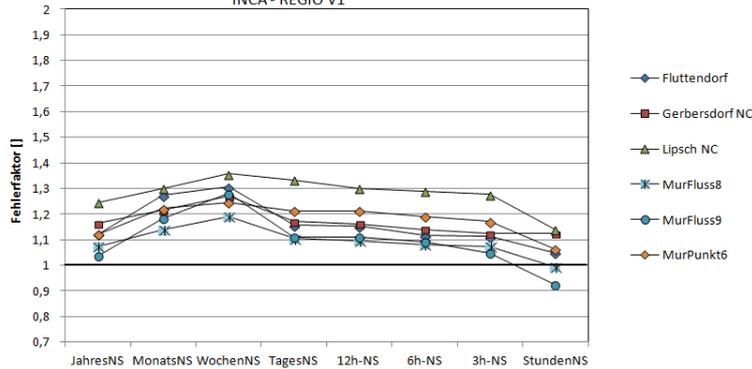
Mittlere Fehlerfaktoren (MFakt) der **TEZG mittlere Mur** nach versch. Zeitsummen, INCA - REGIO V1



Mittlere Fehlerfaktoren (MFakt) der **TEZG mittlere Mur** nach versch. Zeitsummen, INCA - REGIO V2



Mittlere Fehlerfaktoren (MFakt) der **TEZG untere Mur** nach versch. Zeitsummen, INCA - REGIO V1



Mittlere Fehlerfaktoren (MFakt) der **TEZG untere Mur** nach versch. Zeitsummen, INCA - REGIO V2

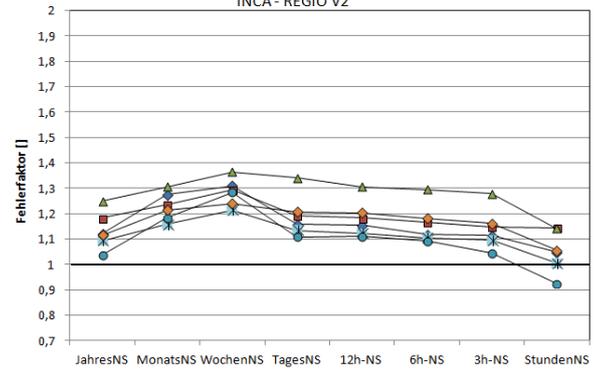


Abbildung 19: Fehlerfaktoren von INCA zu Referenzdatensatz (regionalisierte Niederschlagsdaten - REGIO V1 (links) & REGIO V2 (rechts)) für verschiedene Zeitsummen, eigener Entwurf, Datengrundlage: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG

In weiterer Folge werden Analysen zu den **potentiell zu Hochwasser führenden Niederschlägen** im regionalen Maßstab analysiert. Als Erstes folgt die Betrachtung der Stundenniederschläge größer gleich 1 mm/h in Abbildung 20 und Abbildung 21. Es sind die **mittleren absoluten Fehler (MAE)**, die **mittleren quadratischen Fehler (RMSE [abs.])** und die **minimalen und maximalen Abweichungen** in mm/h dargestellt. Die mittleren absoluten Fehler (MAE) sind durch eine farbliche Abstufung für die Teileinzugsgebiete umgesetzt. Die minimalen und maximalen Abweichungen sind in Form von Balken mit den dazugehörigen Labels dargestellt. In Schwarz die maximale Abweichung und in Weiß die minimale Abweichung. Die Abbildung 20 gibt den Vergleich der INCA Gebietsmittelwerte mit den regionalisierten Niederschlagsdaten Version 1 (REGIO V1) wieder. Die Abbildung 21 gibt den Vergleich der INCA Gebietsmittelwerte mit den regionalisierten Niederschlagsdaten Version 2 (REGIO V2) wieder.

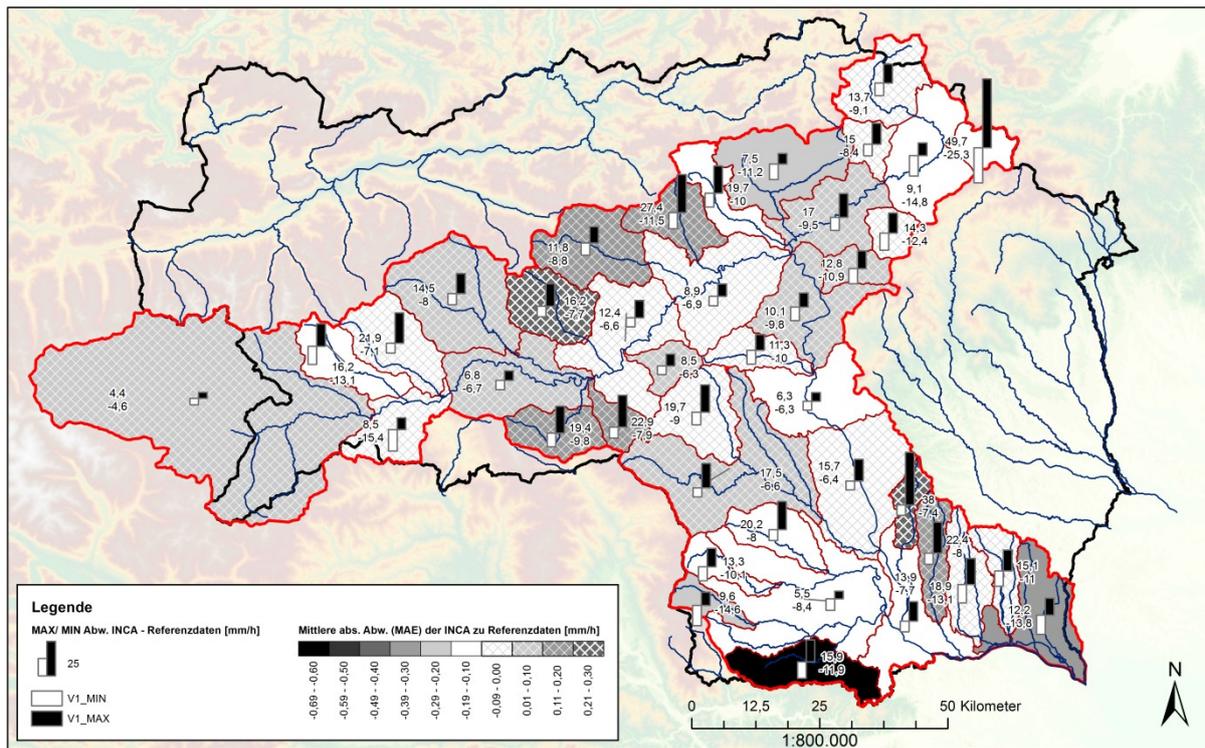
Im Vergleich der INCA Daten mit REGIO V1 wird deutlich, dass ohne Verwendung eines Höhengradienten des Niederschlags die oberen Einzugsgebiete leicht unterschätzt werden. Die Verwendung des Höhengradienten (REGIO V2) zeigt hingegen eine leichte Überschätzung der INCA Niederschläge. Im Mittel sind für beide Ansätze durchwegs geringe Abweichungen von plus 0,3 mm/h bis minus 0,7 mm/h gegeben. Die Betrachtung der minimalen und maximalen Abweichungen zeigt, dass diese geringen Abweichungen im Mittel auf einer breiten Streuung von negativen und positiven Werten beruhen. Im Teileinzugsgebiet MuerzPunkt1 tritt eine Streuung von 49,7 mm Überschätzung bis 25,3 mm Unterschätzung im Vergleich mit REGIO V1 auf. Die geringste Streuung der Fehler tritt im TEZG Gestüthof mit Überschätzungen bis 4,4 mm/h und

Unterschätzungen bis 4,6 mm/h auf. Somit sind bei den maximalen Abweichungen große Unterschiede zwischen den einzelnen TEZG gegeben.

Zur exakteren Beurteilung sind in Abbildung 22 die Verteilung der Abweichungen der Teileinzugsgebiete dargestellt. Die Beschreibung der Diagramme ist im Methodenkapitel (Kapitel 4.2.1) dargestellt. Die Darstellung zeigt für jedes Teileinzugsgebiet die Streuung der Fehler von INCA im Vergleich zu den Referenzdatensätzen der regionalisierten Niederschlagsdaten Version 1 & 2. Die Diagramme sind als Arbeitsgrundlagen anzusehen, die Beschreibung der Ergebnisse erfolgt daher nicht detaillierter. Die Mediane der TEZG liegen im Bereich von minus 0,5 mm/h bis 0,2 mm/h. Die Verteilung von 50 % der Daten zeigt Abweichungen von minus 1,2 mm und plus 1 mm. Die Verteilung von 98 % der Daten zeigt Abweichungen von minus 8,5 mm und plus 10 mm. Die markant hohen minimalen und maximalen Abweichungen aus Abbildung 20 und Abbildung 21 sind damit als statistische Ausreißer zu werten. Die Ausreißer könnten aus den unkorrigierten Daten 2012 resultieren.

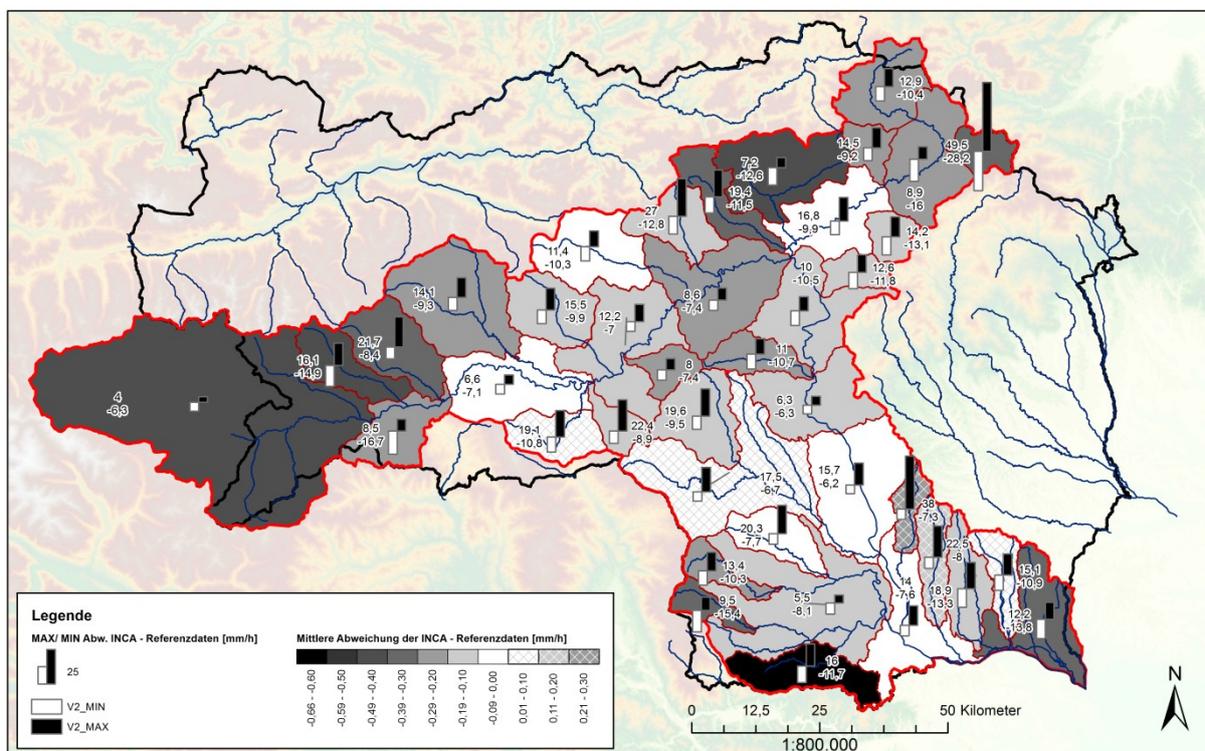
Zusammenfassend können für die Stundenniederschläge größer 1 mm im INCA System folgende Aussagen getätigt werden: Im Mittel sind je nach Referenzdatensatz geringe Unterschätzung bzw. geringe Überschätzung durch INCA gegeben. Gemittelt in allen TEZG ist eine Abweichung von minus 0,04 mm/h im Vergleich mit REGIO V1 und eine Abweichung von minus 0,18 mm/h im Vergleich mit REGIO V2 gegeben. Für TEZG der obere Mur, Mürz, mittlere Mur und untere Mur sind zusammenfassend im Vergleich mit REGIO V1 folgende mittlere Abweichungen registriert: Oberen Mur 0,07 mm/h, Mürz minus 0,09 mm/h, mittleren Mur minus 0,13 mm/h und untere Mur minus 0,03 mm/h. Im Vergleich mit REGIO V2 ist folgende Situation gegeben: Oberen Mur minus 0,20 mm/h, Mürz minus 0,26 mm/h, mittleren Mur minus 0,18 mm/h und untere Mur minus 0,02 mm/h. Eine Überschätzung im Mittel ist also nur im den TEZG der oberen Mur im Vergleich mit REGIO V1 gegeben. In den anderen Betrachtungen liefert INCA durchwegs weniger Niederschläge als die Referenzdaten. Im REGIO V2 Vergleich ist dieses Phänomen der Unterschätzung im Mittel, ausgeprägter als im Vergleich mit REGIO V1. Die Verteilung der Abweichungen, die zu diesen mittleren Verhältnissen führt, zeigt, dass die Hälfte der Daten durch geringe Streuung der Fehlermagnitude geprägt ist. Im Vergleich zu REGIO V1 wird eine Streuung von minus 0,79 mm/h bis 0,53 mm/h in allen TEZG gemittelt, dokumentiert. In REGIO V2 ist diese mit minus 0,87 mm bis 0,42 mm anzunehmen. Die statistische Verteilung von 98 % der Abweichungen zeigt ausgeprägtere Fehler. Im REGIO V1 Vergleich wird eine Streuung von minus 4,99 mm bis 5,62 mm, gemittelt an allen TEZG, erreicht. Im REGIO V2 Vergleich ist diese von minus 5,26 mm bis 5,46 mm dokumentiert.

Für Einzelwerte zeigen sich nach Abbildung 20 und Abbildung 21 extrem hohe Abweichungen. Es sind Abweichungen bis von minus 28,2 mm bis 49,7 mm im TEZG MürzPunkt1 gegeben. Gemittelt in allen TEZG sind im REGIO V1 Vergleich maximale Abweichungen von 20,2 mm bis minimale Abweichungen von minus 9,9 mm gegeben. Für den Vergleich mit REGIO V2 sind 20,3 mm bis minus 10,6 mm dokumentiert. Diese Abweichungen könnten zwar aus der Situation in der Verwendung der unkorrigierten Daten aus 2012 stammen, verdeutlichen aber die Problematik, dass für die mittleren Verhältnisse zwar durchwegs gute Ergebnisse vorliegen, einzelne Werte aber massiv von diesem Mittel abweichen können. Für die Hochwasserprognose bei der eben gerade diese Extremwerte von Interesse sind, sind solche Fehler als problematisch einzustufen.



Bearbeiter: Patrick Sommer
 Datengrundlage: Hydrographischer Dienst Steiermark, GIS Steiermark, ZAMG, SRTM

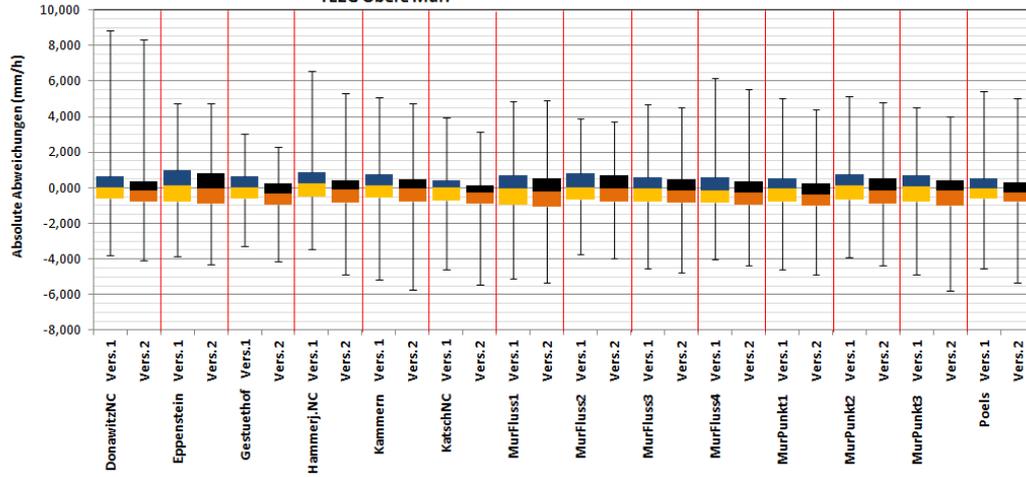
Abbildung 20: Karte der mittleren absoluten Fehler (MAE) und MIN und MAX Abweichungen in mm/h der INCA Gebietsmittelwerte zu den regionalisierten Niederschlägen Version 1 (REGIO V1) größer 1 mm/h, eigene Darstellung, Datengrundlage: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG, GIS STEIERMARK, SRTM



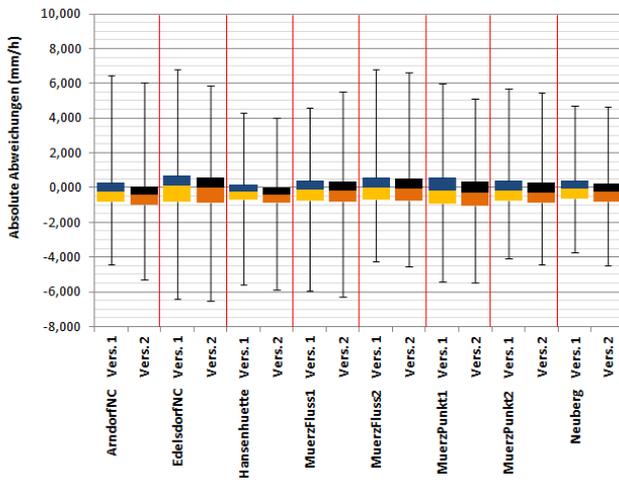
Bearbeiter: Patrick Sommer
 Datengrundlage: Hydrographischer Dienst Steiermark, GIS Steiermark, ZAMG, SRTM

Abbildung 21: Karte der mittleren absoluten Fehler (MAE) und MIN und MAX Abweichungen in mm/h der INCA Gebietsmittelwerte zu den regionalisierten Niederschlägen Version 2 (REGIO V2) größer 1 mm/h, eigene Darstellung, Datengrundlage: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG, GIS STEIERMARK, SRTM

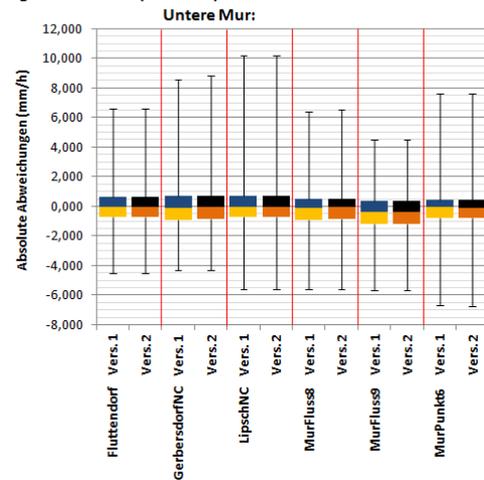
Verteilung der absolute Abweichungen (mm/h) INCA - regionalisierte NS (Vers.1&2) für NS >1mm für die TEZG Obere Mur:



Verteilung der absolute Abweichungen (mm/h) INCA - regionalisierte NS (Vers.1&2) für NS >1mm für die TEZG Mürz:



Verteilung der absolute Abweichungen (mm/h) INCA - regionalisierte NS (Vers.1&2) für NS >1mm für die TEZG Untere Mur:



Verteilung der absolute Abweichungen (mm/h) INCA - regionalisierte NS (Vers.1&2) für NS >1mm für die TEZG Mittlere Mur:

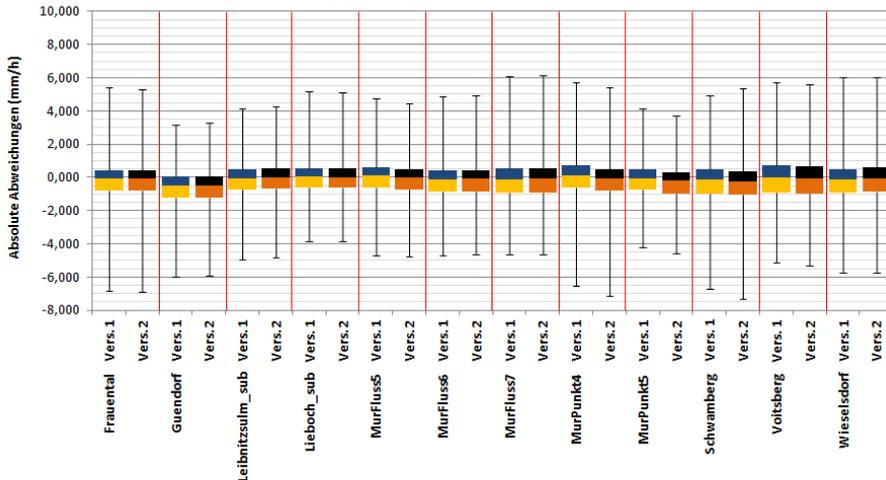
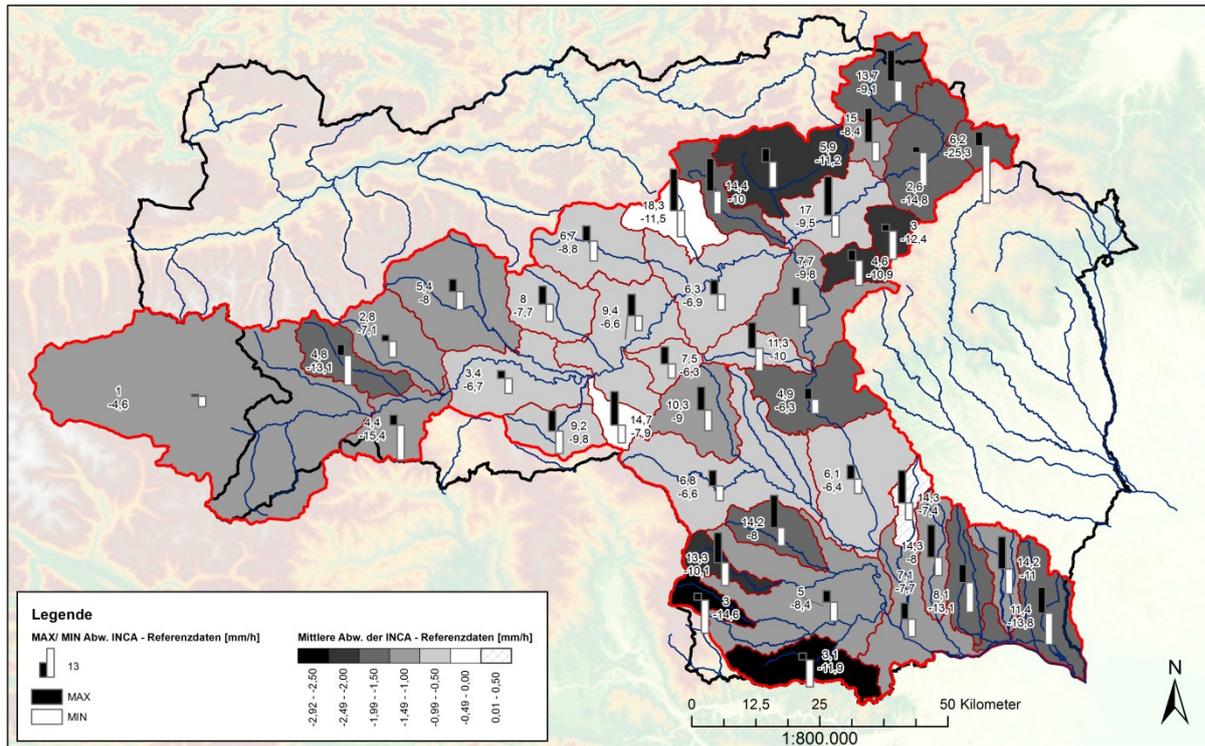


Abbildung 22: Verteilung der absolute Abweichungen (Stundensummen) von INCA Gebietsmittelwerten zu den Referenzdaten regionalisierte Niederschlagsdaten Version 1 & 2 für Niederschläge größer 1 mm/h. BoxPlot gibt den Median das 25 % und 75 % Quantil sowie die Verteilung von 98 % der Daten durch die Fehlerindikatoren an, eigener Entwurf, Datengrundlage: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG

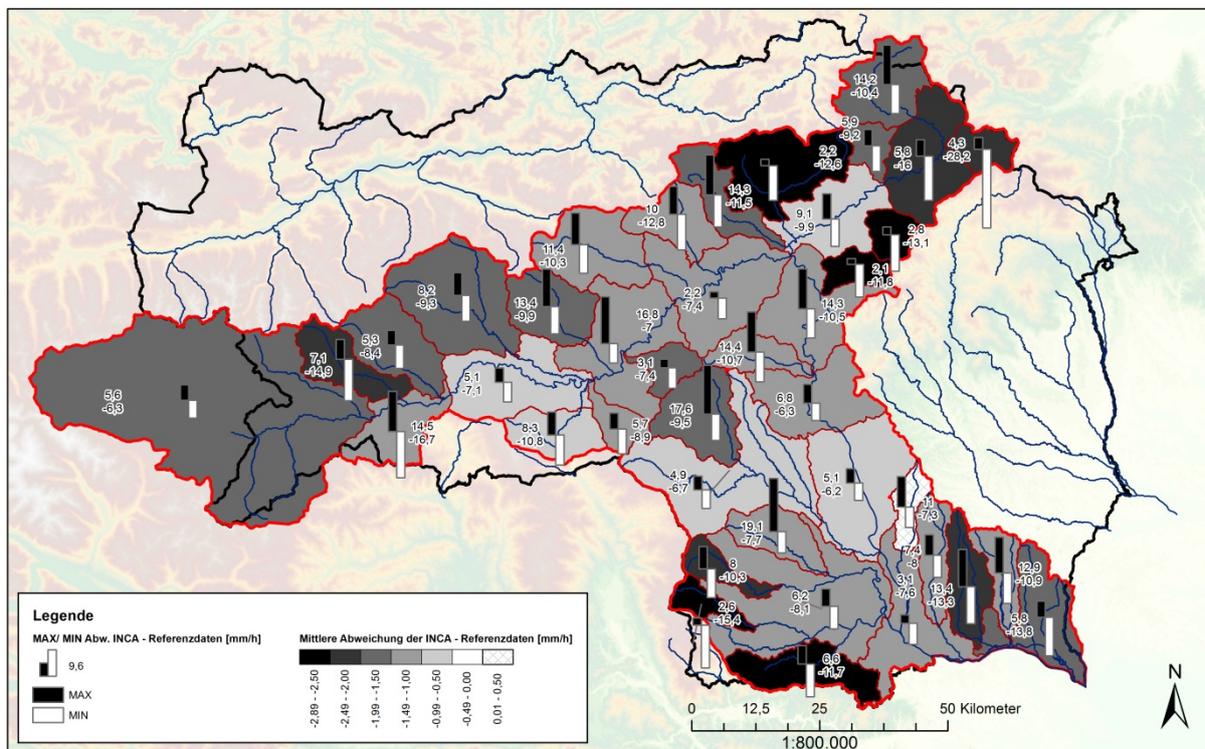
Im Weiteren wurden **Starkniederschläge von größer 5 mm/h** analysiert. Diese stellen im Sinne des regionalen Maßstabs die am wahrscheinlichsten zu Hochwasser führenden Niederschläge dar. Die Ergebnisse sind in Abbildung 23 und Abbildung 24 dargestellt. Die Abbildung 23 gibt den Vergleich zu REGIO V1 wieder. Die Abbildung 24 den Vergleich zu REGIO V2. Die Interpretation erfolgt nach der Beschreibung von Abbildung 20 und Abbildung 21. Für die Beurteilung ist ein gemittelter Stichprobenumfang für REGIO V1 (N = 50) und REGIO V2 (N = 60) gegeben. Die Ergebnisse zeigen, dass höhere absolute mittlere Fehler (MAE) als Niederschläge größer 1 mm/h, gegeben sind. Es treten MAE Werte von minus 0,5 mm/h bis 3,0 mm/h auf. Der Vergleich der beiden Ansätze REGIO V1 und REGIO V2 zeigt, dass durch die Verwendung des Höhengradienten des Niederschlags in REGIO V2 größere Unterschätzungen im Mittel in den oberen Einzugsbieten gegeben sind. Allgemein ist die Unterschätzung von INCA Niederschlägen größer 5 mm/h durch beide Evaluierungsansätze ausgeprägt. Lediglich an drei Teileinzugsgebieten im Vergleich mit REGIO V1 (Gerbersdorf, Mürzpunkt 2 und Donawitz) und einem (Gerbersdorf) im Vergleich mit REGIO V2 tritt im Mittel eine geringfügige Überschätzung auf. Die Betrachtung der minimalen und maximalen Abweichung zeigt, dass diese etwas geringer ausfallen als bei den Niederschlägen größer 1 mm/h. Damit treten große Abweichungen nicht vorrangig bei Niederschlägen größer 5 mm/h auf. Bei den Niederschlägen größer 5 mm/h treten aber durchaus hohe Abweichungen auf. Es wird eine Streuung der maximalen Abweichung von 18,3 mm in DonawitzNC zur minimalen Abweichung von minus 25,3 mm in Mürzpunkt1 im Vergleich zu REGIO V1 registriert. Im Vergleich mit REGIO V2 wird eine Streuung von 19,1 mm in Wieselsdorf bis minus 28,2 mm in Mürzpunkt1 erreicht.

Zur genaueren Beurteilung sind in Abbildung 25 die Verteilung der Abweichungen der Teileinzugsgebiete dargestellt. Die Beschreibung der Diagramme ist im Methodenkapitel dargestellt. Die Darstellung zeigt für jedes Teileinzugsgebiet die Streuung der Abweichungen von INCA im Vergleich zu den Referenzdatensätzen regionalisierte Niederschlagsdaten Version 1 & 2. Die Beschreibung erfolgt zunächst nur grob überblicksmäßig. Nach Median sind mittlere Abweichungen von minus 4 mm/h bis minus 9 mm/h gegeben. Somit ist in allen TEZG eine Unterschätzung dieser Niederschläge durch INCA gegeben. 50 % der Abweichungen liegen im Bereich von minus 1,5 mm/h bis minus 12 mm/h also durchwegs in allen TEZG im negativen Bereich. Die Streuung von 50 % der Fehler ist ausgeprägter als bei den Niederschlägen größer als 1 mm/h. Im Weiteren zeigt die Analyse, dass die Abweichungen von 98 % der Fehler im Bereich von $\pm 0,0$ mm/h bis minus 14 mm/h liegen. Damit tritt im Vergleich zu 50 % der Abweichungen nur mehr eine geringfügige Verschlechterung auf. Die markant hohen minimalen und maximalen Abweichungen aus Abbildung 23 und Abbildung 24 sind damit als statistische Ausreißer zu werten und könnten teilweise aus den unkorrigierten Daten 2012 resultieren.



Bearbeiter: Patrick Sommer
 Datengrundlage: Hydrographischer Dienst Steiermark, GIS Steiermark, ZAMG, SRTM

Abbildung 23: Karte der mittleren absoluten Fehler (MAE) und MIN und MAX Abweichungen in mm/h der INCA Gebietsmittelwerte zu den regionalisierten Niederschlägen Version 1 (REGIO V1) größer 5 mm/h, eigene Darstellung, Datengrundlage: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG, GIS STEIERMARK, SRTM



Bearbeiter: Patrick Sommer
 Datengrundlage: Hydrographischer Dienst Steiermark, GIS Steiermark, ZAMG, SRTM

Abbildung 24: Karte der mittleren absoluten Fehler (MAE) und MIN und MAX Abweichungen in mm/h der INCA Gebietsmittelwerte zu den regionalisierten Niederschlägen Version 2 (REGIO V2) größer 5 mm/h, eigene Darstellung, Datengrundlage: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG, GIS STEIERMARK, SRTM

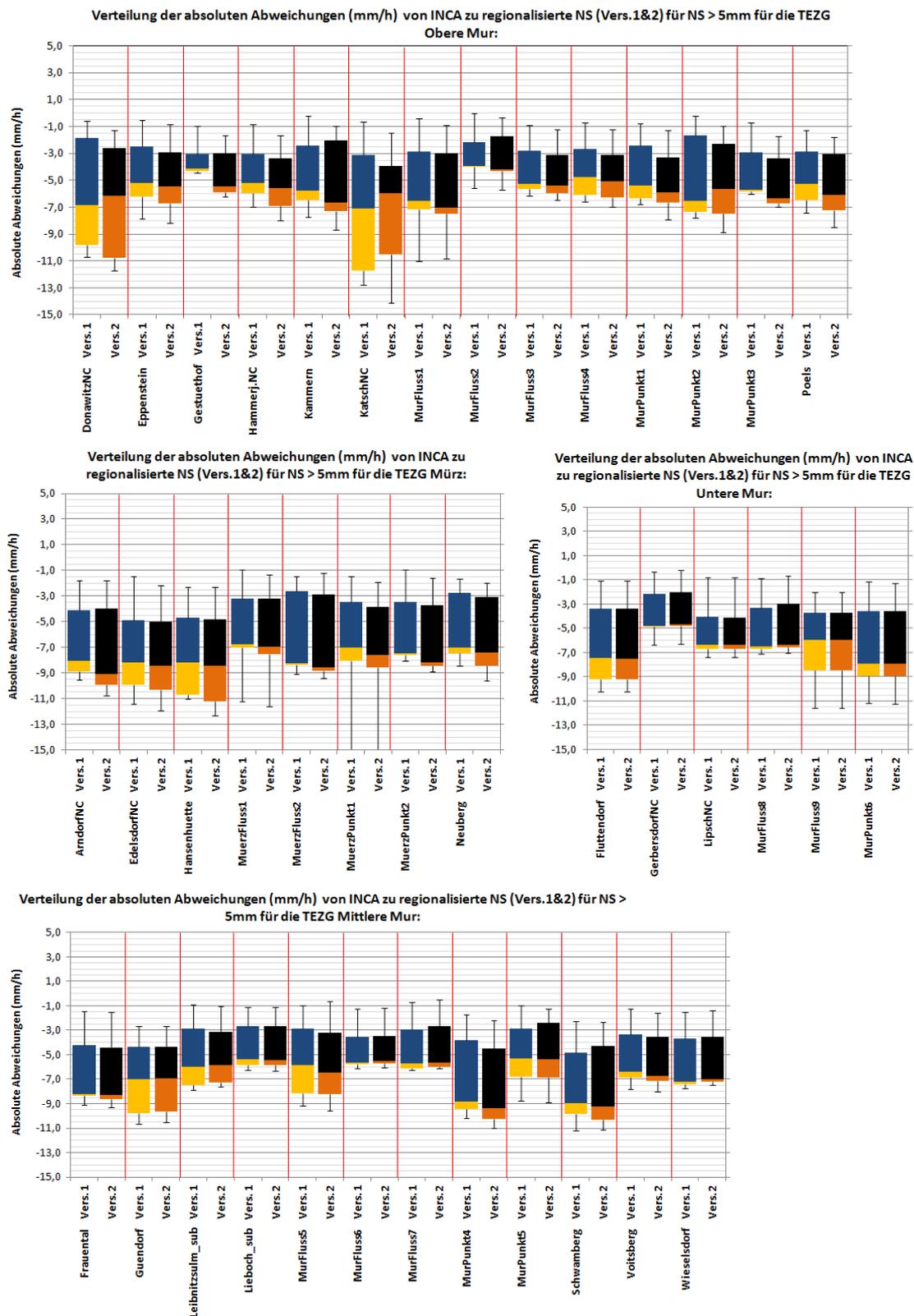


Abbildung 25: Verteilung der absolute Abweichungen (Stundensummen) von INCA Gebietsmittelwerten zu den Referenzdaten regionalisierte Niederschlagsdaten Version 1 & 2 für Niederschläge größer 5 mm/h. BoxPlot gibt den Median das 25 % und 75 % Quantil sowie die Verteilung von 98 % der Daten durch die Fehlerindikatoren an, eigener Entwurf, Datengrundlage: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG

Zusammenfassend kann für die Stundenniederschläge größer 5 mm/h im INCA System folgende Aussagen getätigt werden: Nach Median sind alle Teileinzugsgebiete der Kategorie Unterschätzung zuzuordnen. Im Mittel liegen die INCA Niederschläge um minus 1,32 mm/h unter den REGIO V1 Niederschlägen und um minus 1,60 mm/h unter den REGIO V2 Niederschlägen. Die Verteilung nach Einzugsgebieten zeigt folgende mittlere Verhältnisse. Im Vergleich mit REGIO V1 können folgende mittlerer Fehler zusammengefasst werden: oberen Mur minus 0,90 mm/h, Mürz minus 1,66 mm/h, Mittlere Mur minus 1,64 mm/h und untere Mur minus 1,21 mm/h. Der REGIO V2 Vergleich zeigt minus 1,46 mm/h in den TEZG der oberen Mur, minus 1,98 mm/h in den TEZG der Mürz, minus 1,73 mm/h in den TEZG der mittleren Mur und minus 1,19 mm/h in den TEZG der unteren Mur. Die mittleren Abweichungen zeigen geringfügig ausgeprägtere Fehler im Evaluierungsansatz REGIO V2. Die Verteilung der Fehler zeigt erneut, dass die mittleren Verhältnisse wieder aus einer breiten Streuung der Fehler resultieren. Die Streuung von 50 % der Fehler zeigt im Vergleich mit REGIO V1 Abweichungen von minus 7,55 mm bis minus 3,07 mm gemittelt in allen TEZG. Im REGIO V2 Vergleich liegen diese im Bereich von minus 7,86 mm und minus 3,17 mm. Die Streuung 98 % der Fehler zeigt gemittelt an allen TEZG Werte von minus 8,93 mm bis minus 1,05 mm. Im REGIO V2 Vergleich liegen diese im Bereich von minus 9,32 mm und minus 1,27 mm. Die Abweichungen verschlechtern sich also nur in geringem Maße von 50 % auf 98 % der Fehler. Die teilweise hohen maximalen Abweichungen in Abbildung 23 und Abbildung 24 sind also als Ausreißer zu beurteilen. Die Abweichungen könnten, wie bereits erwähnt, auf die Verwendung des unkorrigierten Datensatzes zurückzuführen sein.

5.3 ANALYSE AUSGEWÄHLTER NIEDERSCHLAGSEREIGNISSE IM TEILEINZUGSGEBIET MURPUNKT 1 (WÖLZERBACH)

Zusätzlich zur Betrachtungen der mittleren Verhältnisse im ganzen Untersuchungsgebiet wurden am TEZG MurPunkt 1, dem Einzugsgebiet des Wölzerbaches in den Niederen Tauern, anhand eines ereignisbasierten Ansatzes die Abweichungen der beiden Datensätze (regionalisierte Niederschlagsdaten und INCA Niederschlagsdaten) von einzelnen Hochwassersituationen analysiert.

- Das **Hochwasserereignis von 07.07.2011** wurde durch ein Tiefdruckgebiet mit Kern über den Britischen Inseln bestimmt. Dadurch gelangten labile Luftmassen mit einer Südwestströmung in den Alpenraum. Die Folge waren Schauer- und Gewitterbildung in der Obersteiermark. An diesem Tag wurden Temperaturen mit Tageshöchstwerten zwischen 26 und 33 °C erreicht. Gegen 14:00 Uhr MESZ (Mittleuropäischer Sommerzeit) bildeten sich im Bereich Sölkpass erste Schauer, die sich zwischen 15:00 Uhr und 17:30 Uhr MESZ im Bereich Oberwölz verstärkten. Die Gewitterzelle blieb während des gesamten Ereignisses nahezu stationär über dem TEZG und bewegte sich nur langsam nach Südosten. (HUEBL et al 2011).

Die Abbildung 26 zeigt die Niederschlagsituation vom 7.7 2011, dabei ist zu erkennen, dass die INCA Niederschläge mit einer Gesamthöhe von mehr als 30 mm fast dreimal so hoch sind wie die regionalisierten Niederschlägen (REGIO V1 und V2). Durch die Höhenabhängigkeit des Niederschlages in REGIO V2 fallen die Abweichungen geringer aus. Die ausgeprägten Abweichungen von mehr als 8 mm/h könnten durch die kleinräumige Entladung der Gewitterzelle erklärt werden. Beide Ansätze INCA und regionalisierte Niederschläge verwenden die Station Oberwölz zur Ableitung des Gebietsniederschlags. Das heißt, dass für die Nahbereiche der Station (Tallagen) annähernd gleiche Niederschlagshöhen in beiden Datensätzen gegeben sind. Die Abweichungen resultieren also vorrangig aus den höheren Lagen des TEZG. Durch die kleinräumige Entladung in Teilgebieten des EZG scheinen durch die Radarinformationen im INCA System gewisse Vorteile in der Erfassung gegeben zu sein. Eine Analyse von HUEBL et al (2011) zeigt, dass kleinräumig Niederschlagshöhen von 100 mm bis 140 mm während des Ereignisses erreicht wurden. Die Gebietsmittelwerte von INCA zeigen eine Niederschlagshöhe von 32 mm für das gesamte TEZG. Im Vergleich dazu liegen die regionalisierten Niederschlagshöhen deutlich darunter. Durch REGIO V1 werden gerade einmal 11 mm erreicht, geringfügig bessere Ergebnisse mit 13 mm durch REGIO V2.

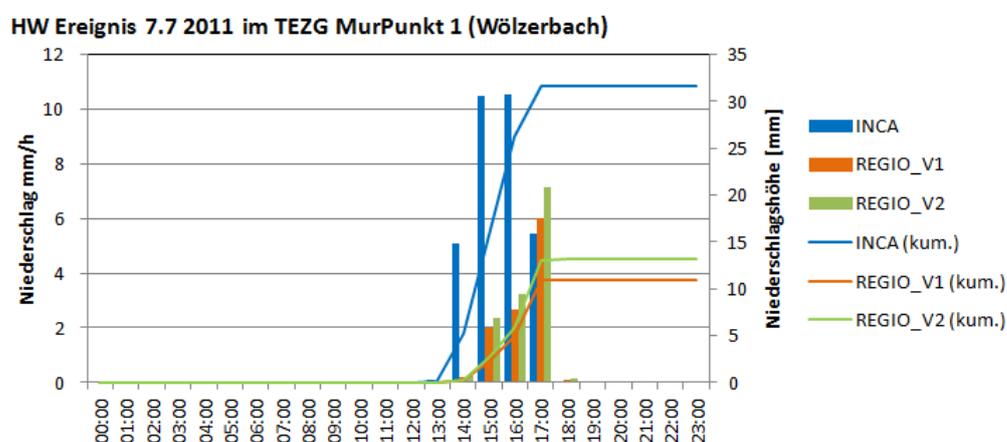


Abbildung 26: Niederschlagsverhältnisse im TEZG MurPunkt1 am 7.7 2011 durch INCA, REGIO V1 und REGIO V2, eigener Entwurf, Datengrundlage: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG

- Die **Hochwassersituation vom 09.07 2012 bis 15.07 2012** spiegelt sich aus meteorologische Sicht wie folgt wider: Die Wetterlage wurde durch ein Tiefdruckgebiet mit Kern über Skandinavien bestimmt. Zu Beginn traten große Hitze, labile Schichtung und nahezu täglich heftige Unwetter auf. In der Steiermark wurden im Juli neue Niederschlagsrekorde aufgestellt. Im Süden und Osten Österreichs gab es flächendeckend zwei bis dreimal so viel Niederschlag wie im langjährigen Mittel. Dabei ist die große Anzahl von Starkniederschlagsereignissen auffallend. Insgesamt wurde in diesem Juli an 41 der 266 Wetterstationen der ZAMG zumindest einmal eine Tagesniederschlagssumme von mehr als 50 mm registriert. Am 11. Juli fielen an manchen Stationen in zwei Stunden die normalen Monatsniederschlagshöhen. In Rottenmann, etwas östlich des Untersuchungsgebietes, summierte sich in 48 Stunden 126 mm Niederschlag. (ZAMG 2014)

Die Ergebnisse der Niederschlagsabweichungen der beiden Ansätze sind in Abbildung 27 dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass die kumulierten Niederschlagshöhen von INCA über jenen der Referenzdatensätze liegen. So scheint beim Auftreten von konvektiven kleinräumig inhomogen verteilten Niederschlagsintensitäten INCA durch die Radarinformationen Niederschläge zu erfassen, die in den Referenzdatensätzen nicht enthalten sind. Für einzelne Stundenwerte sind während der Witterungsperiode Abweichungen bis 4 mm/h gegeben. In Summe sind für die Witterungsperiode Abweichungen von 20 mm zu REGIO V2 und 40 mm zu REGIO V1 festgestellt worden. Somit zeigen die REGIO V2 wieder geringere Abweichungen zu den INCA Niederschlagshöhen.

- Die **Hochwassersituation vom 26.10 2012 bis 05.11 2012** zeigt aus meteorologische Sicht folgendes Bild: Die Wetterlage ist durch das Auftreten von frontgebunden Systemen charakterisiert. Die Anströmung erfolgte aus Süd, bzw. südöstlicher Richtung, was insbesondere für die Regionen südlich der Mur und Mürz im Mittel um 25 bis 75 % mehr Niederschlag brachte. Die Situation vom 4.11 auf 5.11 zeigt die Anströmung eines Adriatiefs. (ZAMG 2014)

Die Ergebnisse der Niederschlagsabweichungen der beiden Ansätze sind in Abbildung 28 dargestellt. Das Fallbeispiel spiegelt aus meteorologischer Sicht eine etwas andere Situation wider. Die kleinräumige Gewitterentladung fehlt, die Niederschläge stammen hingegen aus frontgebundenen Systemen und es können ausgeglichene Niederschlagsintensitäten angenommen werden. Die Abweichung von INCA und regionalisierten Niederschlagsdaten erreichen ± 5 mm/h. Im Allgemeinen liegen die Niederschlagshöhen von INCA in dieser Witterungsperiode unter jenen der regionalisierten Niederschläge. Im Vergleich zu REGIO V1 sind 5 mm Abweichung und im Vergleich zu REGIO V2 10 mm Abweichung gegeben. Damit zeigen die REGIO V1 bei diesem Witterungsereignis geringere Abweichungen als die REGIO V2, die die Höhenabhängigkeit des Niederschlags implementiert.

Niederschlagsereignisse 9.7 2012 bis 15.7 2012 TEZG MurPunkt 1 (Wölzerbach)

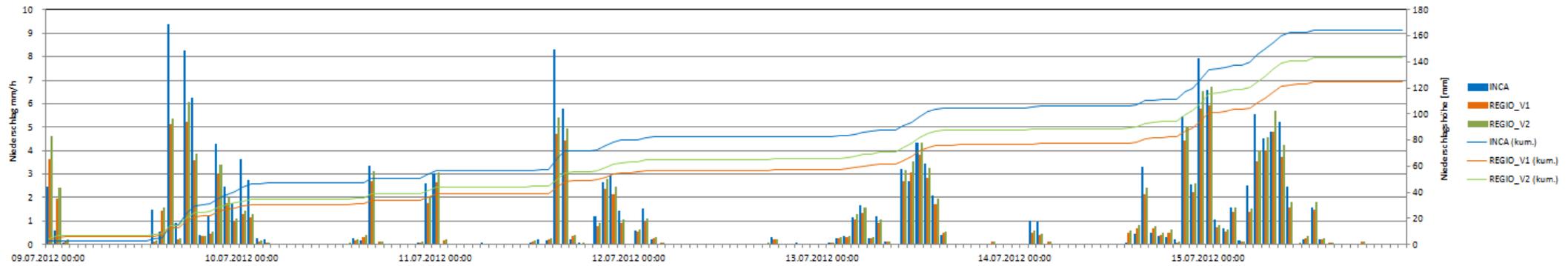


Abbildung 27: Niederschlagsituation vom 9.7 - 15.7 2012 im TEZG MurPunkt1 (Wölzerbach), eigener Entwurf, Datengrundlage: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG

Niederschlagsereignisse 26.10 2012 bis 5.11 2012 TEZG MurPunkt 1 (Wölzerbach)

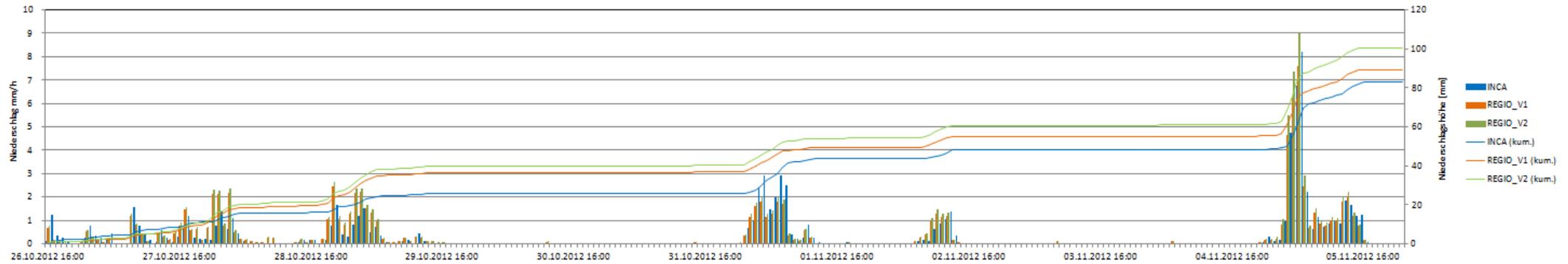


Abbildung 28: Niederschlagsituation vom 26.10 - 5.11 2012 im TEZG MurPunkt1 (Wölzerbach), eigener Entwurf, Datengrundlage: HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK, JOANNEUM RESEARCH, ZAMG

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Ziel der Arbeit war es die INCA Niederschlagsdaten anhand zweier Ansätze zu evaluieren. Die punktbezogene Evaluierung kann als generelle Modellevaluierung angesehen werden. Die Evaluierung erfolgte mit Stationen von denen INCA keine Niederschlagsinformation bezieht. Dabei wurden die Niederschläge der 13 Referenzstationen mit den Rasterwerten aus INCA über diesen Stationen verglichen. Die gebietsbezogene Evaluierung erfolgte anhand von Gebietsmittelwerten der TEZG im Einzugsgebiet der Mur. Hierzu wurden Gebietsmittelwerte auf Studenbasis für die TEZG gebildet. Als Referenzdatensatz standen regionalisierte Niederschlagsdaten in zwei Versionen (REGIO V1 und REGIO V2, siehe Kapitel 4.1.1) zur Verfügung. Der Referenzdatensatz wurden gewählt, da dieser für die Modellkalibrierung des Hochwasserprognosemodells Mur (SCHATZL & RUCH 2007) verwendet wurde.

Im Zusammenhang des methodischen Hintergrunds ist bei solchen Betrachtungen der mittleren Fehler (wie die in der Arbeit durch mittleren relativen Fehler (MRE) und mittleren absoluten Fehler (MAE)) nur im Zusammenhang mit anderen geeigneten Fehlermaßen, wie dem quadratischen Fehlermaß (RMSE), sinnvoll. Weitere Publikationen (z.B.: Yilmaz et al, 2005) untersuchen die Qualität von Niederschlagsprodukten über lineare Korrelationskoeffizienten, relative mittlere Fehler und einem normalisierten RMSE. DUETHMANN et al (2013) verwenden einen sehr ähnlichen punktbasieren Ansatz mit Kreuzvalidierung. Somit sind die angewandten Methoden dem derzeitigen Stand in der Evaluierung von flächenhaften Niederschlagsschätzungen angepasst.

Neben diesen statistischen werden in den Arbeiten meist hydrologischen Ansätzen über Modelle verwendet. (GOURLEY & VIEUX, 2005; DUETHMANN et al, 2013)

Die Schlussfolgerungen basieren auf der Zusammenführung der einzelnen Ergebnisse dieser Arbeit:

- Für die **punktbezogene Evaluierung** sind folgenden Abweichungen hervorzuheben: Allgemein ist eine Zunahme der Fehler vom Jahres- zum Stundenniederschlag gegeben. Nach RMSE sind Abweichungen (gemittelt an allen Referenzstationen) von 13,7 % im Jahresniederschlag, 36,1 % im Monatsniederschlag und 56,0 % im Tagesniederschlag gegeben. Die Zunahme geht einher mit einer Abnahme der absoluten Fehler. Im Mittel liegt der Fehler nach Berechnung des RMSE beim Jahresniederschlag bei 113,2 mm/a beim Stundenniederschlag bei 0,6 mm/h. Die Stundenniederschläge größer 1 mm/h zeigen MAE (mittlere absolute Fehler - siehe Kapitel 4.2.1) von 0,5 mm/h bis minus 1,0 mm/h je nach Referenzstation. Gemittelt an allen Stationen wird eine mittlere Abweichung von minus 0,47 mm/h dokumentiert. Damit ist eine geringfügige Unterschätzung der INCA Niederschläge im Mittel gegeben. Die Mittelwerte resultieren aus einer breiten Streuung der Fehler. Für die Verteilung von 98 % der Fehler ist eine Fehlerspanne gemittelt an allen Referenzstation von minus 7,5 mm bis 3,9 mm gegeben. Die Stundenniederschläge größer 10 mm/h, also die Analyse der hochwasserrelevanten Niederschläge auf regionalem Maßstab, zeigen mittlere absolute Fehler (MAE) von minus 0,4 mm bis minus 9,3 mm je nach Referenzstation. Mittelt man die Werte aller Stationen, so ist eine Abweichung von 5,4 mm/h zu verzeichnen. Damit ist eine ausgeprägte Unterschätzung durch INCA gegeben. Die Streuung von 98 % der Fehler zeigt eine Fehlerspanne (gemittelt an allen Stationen) von minus 16,0 mm bis minus 6,7 mm.

- Für die **gebietsbezogene Evaluierung** wurden die folgenden Ergebnisse erarbeitet: Auch hier ist eine Zunahme der Fehler, von der groben (Jahresniederschlag) hin zur feinen (Stundenniederschlag) temporalen Auflösung, charakteristisch. Nach dem Evaluierungsansatz REGIO V1 sind nach RMSE mittlere Abweichungen von 19,4 % im Jahresniederschlag, 30,9 % im Monatsniederschlag und 44,3 % im Tagesniederschlag gegeben. Der Ansatz REGIO V2 zeigt mittlere Abweichungen (RMSE) von 11,9 % im Jahresniederschlag, 24,5 % im Monatsniederschlag und 40,3 % im Tagesniederschlag. Die Zunahme des Fehlers geht einher mit einer Abnahme der absoluten Fehler. Im Jahresniederschlag treten in den TEZG mittlere Fehler von 150,7 mm/a beim REGIO V1 Vergleich und 95,3 mm/a im Vergleich mit REGIO V2 auf. Bei den Stundenniederschlägen sind durch beide Ansätze mittlere Fehler (RMSE) von 0,5 mm/h registriert. Die Stundenniederschläge größer 1 mm/h zeigen mittlere absolute Fehler (MAE) von plus 0,3 mm bis minus 0,7 mm je nach TEZG und Evaluierungsansatz. Gemittelt an allen TEZG werden durch REGIO V1 mittlere Abweichung von minus 0,04 mm/h und durch REGIO V2 mittlere Abweichungen von minus 0,18 mm/h registriert. Die INCA Niederschläge größer 1 mm liegen im Mittel damit bei beiden Evaluierungsansätzen geringfügig unter den Referenzniederschlägen. Die Streuung der Abweichungen von 98 % der Fehler zeigt eine Fehlerspanne (gemittelt an den TEZG) von minus 5,0 mm bis 5,6 mm mit REGIO V1 und minus 5,3 mm bis 5,5 mm mit REGIO V2. Die Stundenniederschläge größer 5 mm/h zeigen mittlere absolute Abweichungen von minus 0,4 mm bis minus 9,3 mm je nach TEZG und Evaluierungsansatz. Im Mittel (gemittelt an den TEZG) werden MAE Werte von minus 1,3 mm/h mit REGIO V1 und minus 1,6 mm/h mit REGIO V2 dokumentiert. Somit liegt eine Unterschätzung im Mittel der Niederschläge größer 5 mm/h durch INCA vor. Die Fehlerverteilung von 98 % zeigt eine gemittelte Fehlerspanne von minus 8,9 mm bis minus 1,1 mm mit REGIO V1 und minus 9,3 mm bis minus 1,3 mm mit REGIO V2. Die Aussagen korrelieren mit Ruch & Reszler (2013), die bei einer hydrologischen Evaluierung für das Sulmgebiet Unterschätzungen im Abfluss bei der Simulation mit INCA Daten erarbeiten konnten. Der Vergleich der beiden Evaluierungsansätze zeigt bei den Jahres- bis Tagesniederschlägen bessere Ergebnisse durch die Verwendung des Höhengradienten des Niederschlags in REGIO V2. Die Verbesserungen sind vorrangig in den oberen TEZG gegeben. Bei den Stundenniederschlägen sind durch den REGIO V2 Vergleich durchwegs größer Unterschätzungen im Mittel festzustellen. Ein weiteres interessantes Phänomen das erarbeitet werden konnte ist, dass Niederschlagsmengen kleiner 1 mm/h vom INCA System überschätzt werden müssen, oder das System Niederschlag liefert wenn an den Referenzdaten kein Niederschlag registriert wird. Folgende Schlussfolgerung kann hierzu getätigt werden: Da bei den Niederschlägen größer 1 mm/h generell eine Unterschätzung auftritt, sowie eine Überschätzung bei Jahres- bis Tagesniederschlägen, müssen diese Niederschläge im Zuge der Summenbildung zur Überschätzung im Jahres- und Monatsniederschlag führen.
- Die **Analyse der ausgewählten Niederschlagsereignisse** im TEZG MurPunkt1 (Wölzerbach) zeigt, dass zwar eine generelle Tendenz der Unterschätzung von Niederschlägen von größer 5 mm/h im TEZG besteht. Für Witterungsverläufe, in denen konvektive Niederschläge von vorrangiger Bedeutung sind, INCA Daten mehr Niederschlag als die Referenzdatensätze liefern, was das Niederschlagsereignis realistischer abbildet. Hier scheinen die kleinräumig stark variablen Niederschlagsintensitäten durch die Radarinformation im INCA System besser

implementiert zu sein. Die Analyse eines frontgebundenen Witterungsereignisses korreliert wieder mit der zuvor dargestellten tendenziellen Unterschätzung von großen Niederschlagsmengen.

- Im Zuge der Arbeit stellte sich die Frage ob die Einbindung von weiteren Stationen die Qualität der INCA Niederschlagsdaten verbessert. Dies kann in der vorliegenden Arbeit nicht eindeutig quantifiziert werden, da für die Evaluierung für 2012 unkorrigierte Daten einfließen. In diesem Jahr floss wiederum ein deutlich dichteres Stationsmessnetz in die Analyse ein. Die punktbezogene Analyse der INCA Daten zeigte, dass die besten Ergebnisse an den Stationen, die teilweise in das System einfließen, erzielt wurden. Dadurch kann erwartungsgemäß von Qualitätsverbesserungen durch dichtere Messnetze ausgegangen werden.

In weiterer Folge werden die Problematiken die bei den getroffenen Interpretation zu bedenken sind dargestellt:

- Aussagen über die Gebirgsregionen gestalten sich schwierig. Die Gebietsmittelwerte auf Teileinzugsgebietsbasis werden aus Niederschlagsdaten aus verschiedenen Höhenlagen gebildet. Bei der Mittelung sind Tal- und Gebirgsregionen enthalten. Die Stationen zur Bildung der Gebietsmittelwerte sind vorrangig in den Tallagen situiert. Die größten Niederschlagsfehler sind erwartungsgemäß in den höheren Lagen zu erwarten. Das dargestellte Beispiel des Hochwassers vom 7.7.2011 am Wölzerbach zeigt an der Talstation Oberwölz 31,6 mm Niederschlag während des Witterungsereignisses. Durch die Analyse von INCA Daten konnte während dieses Ereignisses auf Niederschlagsmengen von 100 - 140 mm in den höheren Lagen geschlossen werden. (Huebl et al 2011)
- Beide Ansätze (INCA und die regionalisierten Niederschlagsdaten) beinhalten gewisse Annahmen. Jeder der beiden Ansätze hat bestimmte Vorteile. Die INCA Daten besitzen zwar eine geringere Stationsdichte dafür sind Radarinformationen zwischen den Stationen vorhanden. Die regionalisierten Niederschlagsdaten beinhalten keine Radarinformationen, haben aber ein dichteres Stationsmessnetz mit zusätzlicher Verdichtung von Niederschlagsinformationen aus einem Tagesmessnetz.

Im Bezug auf die Verwendung der INCA Niederschlagsdaten für die Hochwasserprognosemodelle ergeben sich die **Vorteile** hauptsächlich aus methodischer Sicht. Durch die Radardaten sind räumlich hochauflösende Niederschlagsinformationen implementiert. Vor allem sind in der Verwendung auf regionaler Maßstabsebene für kleine Einzugsgebiete, in denen konvektive Gewitter und Schauer für die Hochwassersituation von großer Bedeutung sind, durch den Ansatz wichtige Niederschlagsinformationen eingebunden. Durch die Analyse der ausgewählten Niederschlagsereignisse (Kapitel 5.3) konnte gezeigt werden, dass bei dieser Niederschlagsgruppe die INCA Daten, durch die räumliche Erfassung der Radardaten, Niederschläge eingebunden sind, die im Referenzdatensatz in viel geringerem Ausmaß von einer Station erfasst wurden. Erfahrung mit der Einbindung von Radarniederschlägen in die räumliche Niederschlagsprognosen sind durch BORG (2002), GERMANN ET AL (2006), HABERLANDT ET AL (2005), HABERLANDT (2007) und HABERLANDT (2011) bekannt. Die Autoren erarbeiteten Verbesserungen in den Datensätzen, weisen aber stets auf die Problematiken bei der Verwendung der Daten hin. Neben den generellen Problemen mit der Topographie ist vor allem die quantitative Unsicherheit der Niederschlagsdaten zu

beachtet. Weiters sollten die Radardaten nur in kalibrierter Form verwendet werden. Im Bezug auf das Niederschlagsradar (z.B.: Zirbitzkogel) im Untersuchungsgebiet ist zu beachten, dass dieses Radar kein reines Wetterradar ist, sondern im Zuge des Flugradars von der Austro Control mit abgewickelt wird. Der größte Vorteil der Radarniederschlagsmessung ist die räumliche Auflösung und die flächenhafte Verfügbarkeit. Kleinräumige Phänomene, wie konvektive Gewitterzellen, mit stark variablen Niederschlagsintensitäten können so in die Datensätze implementiert werden. Bei den herkömmlichen Methoden (wie auch beim Referenzdatensatz) werden diese nur erfasst, wenn die Gewitterzelle unmittelbar über die Station hinwegzieht. Diese Niederschlagsmuster können wiederum das Abflussverhalten in kleinen EZG maßgeblich beeinflussen.

Weitere Vorteile der INCA Daten sind, dass diese als Prognosedaten bis 6 h in die Zukunft vorhanden sind und für die Einbindung in Modelle keine Interpolationen der Niederschlagsdaten vom Anwender entworfen werden müssen, da die INCA Daten im Rasterformat vorliegen. Die Daten können direkt in die hydrologischen Modelle übernommen werden. Durch die Prognosedaten können Abflussprognosen oder -szenarien gestartet werden. Die Prognosedaten basieren auf gemessenen Daten die über Verlagerungsvektoren in die Zukunft extrapoliert werden. Bei den generellen Problematiken im Analysemodus ist zusätzlich die Problematik der Prognose mit einzubeziehen.

Als **Nachteile** sind zu nennen, dass die Stationsdichte der INCA Daten im Vergleich zum Referenzdatensatz weit geringer ist. Nach HAIDEN (2007) sind Probleme durch die geringe Dichte der Stationen für Teilgebiete gegeben. Durch die Implementierung der Messnetze von Hydrographischen Diensten, Magistraten, Kraftwerksbetreibern, usw. konnte die Dichte des Stationsmessnetz zwar verbessert werden, die Niederschlagsmessung in den Gebirgslagen gestaltet sich jedoch nach wie vor schwierig. Es sind zwar hochgelegene Stationen des Lawinenwarndienstes implementiert, die Wartung dieser Stationen ist aufgrund der Witterung und Exponiertheit schwierig. Bei festen Niederschlagsereignissen im Zusammenhang mit Wind treten insbesondere Probleme bei der Messung auf. Höheneffekte des Niederschlags sind in INCA zwar eingebunden, der Höhengradienten der Niederschläge wird allerdings nur anhand zweier Stationen (Tal- und Bergstation) für Gebirgsgruppen realisiert. (HAIDEN, 2010A)

Ein nach wie vor schwieriges Gebiet stellt die Abschätzungen des Niederschlags aus Gewitterzellen dar. Im Prognosemodus ist von einer Zunahme der Fehler auszugehen. Problematisch bei der Prognose ist, dass die labile Schichtung großräumig, die Entladung aber nur kleinräumig auftritt. HAIDEN (2007) zeigt, dass für den Analysemodus im INCA System je nach Niederschlagsverteilung räumliche Genauigkeiten mit 2-3 km angenommen werden können. Für die Prognosezeiträume sinken die Genauigkeiten schnell auf 5-10 km ab. Hier könnten Fehlermodelle wie in McMILLAN et al (2011) dargestellt Verbesserungen bringen. Weitere Verbesserungen könnten durch die Anpassung an ein Tagesniederschlagsnetz nach HABERLANDT et al (2005) und LY et al (2011) erfolgen.

Zusammenfassend sind die INCA Niederschlagsdaten für die regionalen Hochwasserprognosen als sinnvolle Datenbereicherung zu werten, sofern bei der Verwendung die damit verbundenen Problematiken (die u.a. in dieser Arbeit dokumentiert wurden) beachtet werden.

Zukünftige Forschungen könnten die INCA Niederschlagsdaten einer hydrologischen Evaluierung unterziehen. Der hydrologische Ansatz bietet den Vorteil, dass die simulierten mit tatsächlich beobachteten Abflüssen verglichen werden können. Für die statistischen Evaluierungen von Niederschlagsdaten wäre nach Erfahrungen der vorliegenden Arbeit ein rasterbasierter Ansatz wohl

aussagekräftiger. Der rasterbasierte Ansatz bietet den Vorteil eventuell regionale Problemgebiete identifizieren zu können. So wären bessere Aussagen über die Gebirgsregionen, die als wichtige Hochwasserzubringer fungieren, möglich. Eine weitere mögliche Fragestellung wäre, die Qualität der INCA Prognosedaten zu evaluieren.

LITERATUR

AHRENS, B. (2003), Rainfall downscaling in an alpine watershed applying a multiresolution approach, In: Journal of Geophysical Research, Volume 108, Issue D8,

BICA, B. (2013): Ausführungen zum INCA System, Telefongespräch vom 24.10 2013, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

BLÖSCHL, G. & GRAYSON, R. (2000): Spatial Patterns in Catchment Hydrology: Observations and Modelling, Cambridge University Press, S. 3 - 124

BLÖSCHL, G. & MERZ, R. (2000): Methoden der hydrologischen Regionalisierung im Zusammenhang mit der Niederschlag-Abflussmodellierung, In: Wiener Mitteilungen (2000): WASSER • ABWASSER • GEWÄSSER, Band 164, Niederschlag-Abfluss Modellierung: Simulation und Prognose, S. 149 - 178

BLÖSCHL, G. (2006): Geostatistische Methoden bei der hydrologischen Regionalisierung, In: Wiener Mitteilungen (2006): WASSER • ABWASSER • GEWÄSSER, Band 197, Methoden der hydrologischen Regionalisierung, S. 21 - 40

BLÖSCHL, G. RESZLER, CH.; KOMMA, J. (2007a): Operationelle Hochwasservorhersage im Kampgebiet, In: *Wasserwirtschaft*, 5, S. 10 - 15

BLÖSCHL, G.; RESZLER, CH.; KOMMA, J. (2007b): A spatially distributed flash flood forecasting model, In: *Environmental Modelling & Software*, 23 (4), S. 464 - 478

BLÖSCHL, G.; RESZLER, CH.; KOMMA, J. (2008): Hydrologische Hochwasservorhersage für den Kamp - Erfahrungen mit den Ereignissen 2006 und 2007, In: *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 60 (3-4), S. 13 - 18

BORGA, M. (2002): Accuracy of radar rainfall estimates for streamflow simulation, Journal of Hydrology (Impact Factor: 2.96); DOI:10.1016/S0022-1694(02)00137-3, 14 S.

BRILLY, M.; ŠRAJ, M.; VIDMAR, A.; HORVAT, A.; KOPRIVŠEK, M. (2012): Hydrologische Studie der Mur, Universität Ljubljana, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Lehrstuhl für allgemeine Hydrotechnik, Ljubljana, 160 S. Online verfügbar: http://app.hydrographie.steiermark.at/berichte/Hydrological_Study_Report_AUT.pdf (Zugriff: 03/2014)

DEUTSCHER WETTERDIENST (2013): Radarmeteorologie, Online verfügbar: http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?nfpb=true&pageLabel=dwdwww_spezielle_nutzer_forschung_fkadar&T14609549251144921162765gsbDocumentPath=Navigation

[%2FForschung%2Fchemie_der_atmos%2FRADAR%2Fradarmet_start_de_node.html%3F_nnn%3Dtrue](#) (Zugriff: 03/2014)

DUETHMANN, D.; ZIMMER, J.; GAFUROV, A.; GÜNTNER, A.; MERZ, B.; VOROGUSHYN, S. (2013): Evaluation of areal precipitation estimates based on downscaled reanalysis and station data by hydrological modelling, In: *Hydrology and Earth System Sciences* 17, S. 2415-2434

DRABEK, U. (2010): Anwendungsbezogene Aspekte der operationellen Durchflussvorhersage, Dissertationsschrift am Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie, Technische Universität Wien, In: *Wiener Mitteilungen, WASSER • ABWASSER • GEWÄSSER*, Band 221, 189 S.

GAREN, D. C., JOHNSON, G. L., AND HANSON, C. L. (1994): Mean areal precipitation for daily hydrologic modeling in mountainous regions, In: *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* Volume 30, Issue 3, S. 481–491

GERMANN, U.; GALLI, G.; BOSCACCI, M. AND BOLLIGER, M. (2006), Radar precipitation measurement in a mountainous region. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 132: S. 1669–1692. doi: 10.1256/qj.05.190

GERMANN, U.; BERENQUER, M.; SEMPERE-TORRES, D.; ZAPPA, M. (2009): REAL – ensemble radar precipitation estimation for hydrology in a mountainous region. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 135 (639), S. 445–456.

GOURLEY, J. J. & VIEUX, B. E. (2005): A method for evaluating the accuracy of quantitative precipitation estimates from a hydrologic modeling perspective, *Journal of Hydrometeorological*, Volume 6, Issue 2, S. 115–133

HABERLANDT, U.; SCHUHMAN, A.; BÜTTNER, U. (2005): Räumliche Niederschlagsschätzung aus Punktmessungen und Radar am Beispiel des Elbehochwassers 2002, *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 49(2): S. 56-68

HABERLANDT, U. (2007): Geostatistical interpolation of hourly precipitation from rain gauges and radar for a large-scale extreme rainfall event - *Journal of Hydrology*, 332 (1-2): S. 144-157

HABERLANDT, U. (2011): Interpolation of precipitation for flood modelling. - In: *Flood Risk Assessment and Management*. A. Schumann, Springer: S. 35-52.

HADEN, TH. (2007): Niederschlagsprognose mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung: Fortschritte und Probleme, *Wiener Mitteilungen* Band 199: Hochwasservorhersage – Erfahrungen, Entwicklungen & Realität, S. 199 - 207

HADEN, TH.; KANN, A.; PISTOTNIK, G.; STADLBACHER, K. & WITTMANN, C. (2010a): Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis (INCA) - System description. Central Institute for Meteorology and Geodynamics, Vienna, Austria , 40 S. Online verfügbar: www.zamg.ac.at/fix/INCA_system.doc

HAIDEN, TH.; KANN, A.; WITTMANN, C.; PISTOTNIK, G.; BICA, B. & GRUBER, C. (2010b): The Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis (INCA) System and Its Validation over the Eastern Alpine Region, Central Institute for Meteorology and Geodynamics, Vienna, Austria; In: *Weather Forecasting*, 26, S. 166–183

HAY, L.E. & CLARK, M.P. (2003): Use of statistically and dynamically downscaled atmospheric model output for hydrologic simulations in three mountainous basins in the western United States, In: *Journal of Hydrology* 282, S. 56–75

HUEBL, J.; EISL, J.; HOHL, D.; KOGELNIG, B.; MÜHLBÖCK, F. (2011): Report 143: Ereignisdokumentation und Ereignisanalyse Wölzerbach, Band 1: Ereignisdokumentation, Im Auftrag von: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung IV/5, Universität für Bodenkultur Department Bautechnik und Naturgefahren Institut für Alpine Naturgefahren, 73. S

JASPER, K. (2005): Hydrological Modelling of Alpine River Catchments using Output Variables from Atmospheric Models, *Zürcher Klima-Schriften*, Heft 82, 152 S.

KIRNBAUER, R. & SCHÖNLAUB, H. (2006): Vorhersage für den Inn, In: *Wiener Mitteilungen, WASSER • ABWASSER • GEWÄSSER*, Band 199: Hochwasservorhersage – Erfahrungen, Entwicklungen & Realität, S. 69 - 83

KOBALD, M. & SUSELI, K. (2005): Precipitation forecast and their uncertainty as input to hydrological models, In: *Hydrology and Earth System Sciences*, 9 (4), S. 322 - 332

KOMMA, J.; DRABEK, U.; BLÖSCHL, G. (2009): Aktuelle Methoden der Hochwasservorhersage, In: *Wiener Mitteilungen (2009) WASSER • ABWASSER • GEWÄSSER*, Band 216, Hochwässer: Bemessung, Risikoanalyse und Vorhersage, S. 181 - 212

KRALL, E. (1997): Untersuchung der Gesamtwahrscheinlichkeit von Hochwasserereignissen in kleinen, unbeobachteten Einzugsgebieten Österreichs auf Grundlage von Gebietskennwerten, *Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft*, Band 25, Technische Universität Graz

LY, S., CHARLES, C., AND DEGRE, A. (2011): Geostatistical interpolation of daily rainfall at catchment scale: the use of several variogram models in the Ourthe and Ambleve catchments, Belgium, In: *Hydrology and Earth System Sciences* 15, S. 2259–2274

LAND STEIERMARK FA19A (2012): Abflussuntersuchung Kainach - Einmündung Oswaldbach bis Mündung - Fluss KM 0.000 bis 56.000, *Technischer Bericht* 45 S.

LIEB G. K. (1985): *Landschaftsgliederung und Standortverhältnisse Steiermark, Landschaftsgliederungen und –beschreibungen für alle steirischen Bezirke*, Graz, S. 9 – S. 12

LIEB G. K. (2013): Landschaftsgliederung der Steiermark, Online verfügbar: <http://www.umwelt.steiermark.at/cms/ziel/845251/DE/> (Zugriff: 03/2014)

MANIAK, U. (2010): Hydrologie und Wasserwirtschaft - Eine Einführung für Ingenieure, 6.Auflage, Springer Heidelberg Dordrecht London New York

MOSER, J. UND KOPEINIG, CH. (2006): Hochwasserwarnung in Kärnten, In: Wiener Mitteilungen Band 199: Hochwasservorhersage – Erfahrungen, Entwicklungen & Realität, S. 23 - 38

MCMILLAN, H.; JACKSON, B.; CLARK, M.; KAVETSKI, D.; WOODS, R. (2011): Rainfall uncertainty in hydrological modelling: An evaluation of multiplicative error models, In: Journal of Hydrology 400, S. 83 - 94,

RESZLER, CH.; BLÖSCHL, G. UND KOMMA, J. (2006b) Simulation der Kraftwerkssteuerung am Kamp. In: Hochwasservorhersage. Wiener Mitteilungen, Wasser-Abwasser-Gewässer, Band 199. Technische Universität Wien, S. 85-102.

RESZLER, CH.; KOMMA, J.; BLÖSCHL, G. UND GUTKNECHT, D. (2006a) Identifikation von Modellparametern in detaillierten Modellen. In: Hochwasservorhersage. Wiener Mitteilungen, Wasser-Abwasser-Gewässer, Band 199. Technische Universität Wien, S. 259-278.

RUCH, CH., JORGENSEN G. (2011): PRORAAB (A), Hochwasserprognosemodell Raab - Erste Ergebnisse in Österreich, Präsentation Güssing 31.5./1.6.2011

RUCH, CH.; RESZLER CH. (2013): INARMA - Validierung des Hochwasserwarnsystems des EZG der Sulm anhand der Hochwasserereignisse 2012, Präsentation am Land Steiermark Juni 2012, unveröffentlicht.

SCHATZL, R.; RUCH, CH. (2007): Internationales Hochwasserprognosemodell Mur, Wiener Mitteilungen Band 199: Hochwasservorhersage – Erfahrungen, Entwicklungen & Realität, S. 7 - 22

SCHATZL, R. (2012): Hochwasserprognosemodelle, Hochwasserwarnsystem, Hydrologische Studie der Mur, Hydrographischer Dienst Land Steiermark, Präsentation, Online verfügbar: <http://app.hydrographie.steiermark.at/berichte/hydropraesentation2012.pdf> (Zugriff: 03/2014)

UNGERSBÖCK, M.; AUER, I.; RUBEL, F.; SCHÖNER, W.; SKOMOROWSKI, P. (2001): Zur Korrektur des systematischen Fehlers der Niederschlagsmessung. Anwendung des Verfahrens für ÖKLIM-Karten. *Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik* 27, DACH 2001 (CD-ROM)

WAKONIGG, H. (1978): Witterung und Klima in der Steiermark. – Arbeiten aus dem Institut für Geographie der Universität Graz, 473 S.

WAKONIGG, H. (1965): Zur Witterungsklimatologie des Südostrandes der Alpen. – Wetter und Leben, Sonderheft 10 zu Jahrgang 17, 31 S.

WAKONIGG, H. (2010): Klimaatlas Steiermark, Periode 1971 - 2000 Eine anwenderorientierte Klimatographie, Kapitel 4 Niederschlag, Version 2.0, Verlag: ÖAW, 147 S.

WEILGUNI, V. (2006): Regionalisierung des Niederschlages, In: Wiener Mitteilungen (2006): WASSER • ABWASSER • GEWÄSSER, Band 197, Methoden der hydrologischen Regionalisierung, S. 71 - 92

YILMAZ, K. K., HOGUE, T. S., HSU, K. L., SOROOSHIAN, S., GUPTA, H. V., AND WAGENER, T.: Intercomparison of rain gauge, radar, and satellite-based precipitation estimates with emphasis on hydrologic forecasting, Journal of Hydrometeorological, Volume 6,S. 497 - 517,

ZAMG (2013): Projektbeschreibung INCA, Online verfügbar: <http://www.zamg.ac.at/cms/de/forschung/wetter/inca> (Zugriff: 03/2014)

ZAMG (2014): Klimamonatsrückblick, Online verfügbar: <http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/monatsrueckblick/wetterrueckblick/?jahr=2009&monat=10> (Zugriff: 03/2014)

DATENGRUNDLAGEN

GIS STEIERMARK (2013): Geodaten des Landes Steiermark, Shapefiles der Hauptgewässer, Gewässernetz, Landesgrenze

HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK (2013): Stationsdaten für 13 Stationen aus dem Messnetz des Hydrographischen Dienstes, Datenreihe 2010 bis 2012, Stundenwerte, Shapefiles der Teileinzugsgebiete des Hochwasserprognosemodell Mur

JOANNEUM RESEARCH (2013): Regionalisierte Niederschlagsdaten, Gebietsmittelwerte für die Teileinzugsgebiete, Stundenwerte, Datenreihe 2010 bis 2012

SRTM (2013): Digitales Höhenmodell 90m Bodenauflösung, online verfügbar: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/> (Zugriff: 06/2013)

ZAMG (2013): INCA Niederschlagsdaten, Rasterwerte und Gebietsmittelwerte der Teileinzugsgebiete Mur, Datenreihe 2010 bis 2012, Stundenwerte, Datenabfrage am Hydrographischen Dienst Steiermark

ANHANG I**Stationsnetz für die regionalisierten Niederschlagsdaten****Stundenmessnetz:**

ID	Quelle	NUMMER	NAME	Re	Ho	Seehöhe
1	HDST	NL0007	Losser	558373,9	282962,6	1545
2	HDST	NL0018	Altaussee-Lichtersbe	555462,6	283337	850
3	HDST	NL0020	Altaussee (Salzbergw.)	555372,1	282505,6	940
4	HDST	NL0060	Ödensee	561187,2	272453,6	800
5	HDST	NL1013	Hochwurzen	546696,7	250373,2	1795
6	HDST	NL1028	Schladming	550802,1	254374,6	730
7	HDST	NL1060	Michaelerberg	565561,2	255221,6	1280
8	HDST	NL1090	Ödernalm	573081,3	277675,2	1130
9	HDST	NL1141	Donnersbachwald	582999	250960,3	980
10	HDST	NL1210	Liezen	592222,6	272304,8	670
11	HDST	NL1510	Hohentauern	610751,8	256601,5	1265
12	HDST	NL1520	Edelrautehütte	606785,4	257284,3	1702
13	HDST	NL1538	Gaishorn	614067,5	262177,5	720
14	HDST	NL1590	Gstatterboden	621800,4	273866,4	580
15	HDST	NL1605	Eisenerzer Ramsau	637029,3	264933,1	1020
16	HDST	NL1607	Seeau	642009,6	271696,8	650
17	HDST	NL1620	Brunnsattel	638662,3	275930	872
18	HDST	NL1720	Brunngraben	671614,8	287995	710
19	HDST	NL1740	Wildalpen	648473,7	280415,2	610
20	HDST	NL2010	Turracher Höhe	563090,1	200625,6	1767
21	HDST	NL2056	Gstüthof I	588865,1	221256,1	780
22	HDST	NL2088	Etrachsee	571360,8	234737,4	1372
23	HDST	NL2095	Katschtal	579529,6	236968	1320
24	HDST	NL2141	Oberwölz	594380	231243,3	810
25	HDST	NL2201	Lachtal I	601215,7	236783,8	1600
26	HDST	NL2310	Schmelz	618488,8	219907,6	1560
27	HDST	NL2320	Judenburg	623307,8	227278,9	730
28	HDST	NL2341	Pusterwald-Hinterwin	596915,4	247769,5	1260
29	HDST	NL2480	Glein	641469,1	233280,6	702
30	HDST	NL2610	Kraubath an der Mur	644132,1	238637,9	600
31	HDST	NL2631	Liesing	623783,7	254360,3	1005
32	HDST	NL2633	Finsterliesing I	622599,1	251945,3	1355
33	HDST	NL2637	Hochreichhart	627315,9	249806,1	1500
34	HDST	NL2690	Trofaiach	650026,9	255245	660
35	HDST	NL2915	Frein an der Mürz	686200,6	289762,6	875
36	HDST	NL2930	Neuberg a. d. Mürz I	692931,2	281508,3	720
37	HDST	NL2984	Kaarlhütte	697068,9	275416,3	1330
38	HDST	NL3008	Kindtal	685223,8	265560,2	570
39	HDST	NL3022	Pogusch	674855,7	266146,8	1050
40	HDST	NL3042	Bürgeralm bei Aflenz	667032,4	270577,4	1500
41	HDST	NL3064	St. Ilgen	661856,9	268367,2	740
42	HDST	NL3068	Trawies	658502,9	273175,3	1000

43	HDST	NL3070	Buchberg	659879,6	271671,6	880
44	HDST	NL3076	Neuwaldalm	649241,5	270486,6	1260
45	HDST	NL3077	Jassing	651849,5	270164,2	890
46	HDST	NL3100	Breitenau bei Mixnit	682562,4	250580,5	560
47	HDST	NL3102	Zirbisegger	681473,1	248894,3	1000
48	HDST	NL3330	Teichalm	684108	246270,4	1175
49	HDST	NL3341	Frohnleiten	673537,6	237133,3	420
50	HDST	NL3385	Pleschkogel	667003,4	223879,7	910
51	HDST	NL3390	Graz-Andritz	680127,5	218398,2	360
52	HDST	NL3396	Graz (Stempfergasse)	682302,3	214945,6	360
53	HDST	NL3510	Breitenbach	653756,9	222999,3	880
54	HDST	NL3642	Salzstiegel	639610,1	214782,1	1340
55	HDST	NL3665	Gaberl	645126	219963,7	1160
56	HDST	NL3672	Voitsberg	660009	212800,9	392
57	HDST	NL3680	Steinberg	663964,8	203137,9	710
58	HDST	NL3703	Hitzendorf	671751,6	210071,8	370
59	HDST	NL3705	Sajach	673486,3	202081,6	340
60	HDST	NL3714	Mellach I	686046,9	196221,6	298
61	HDST	NL3720	Schirchleralm	656129,2	182101,2	1245
62	HDST	NL3727	Mauthnereck	656315,1	176323	840
63	HDST	NL3740	Wies	668103,8	176429	390
64	HDST	NL3744	Schwanberg I	663825,8	180225,5	407
65	HDST	NL3763	Grünangerhütte	649486,4	187088,5	1520
66	HDST	NL3766	Trahütten I	656994,8	188665,7	970
67	HDST	NL3768	Gleinstätten	676090,2	180000,1	320
68	HDST	NL3771	Hörmsdorf I	668340,7	173553,8	360
69	HDST	NL3773	Gündorf I	679267,9	175916,3	320
70	HDST	NL3776	Nestelberg	683068,1	175811,3	500
71	HDST	NL3778	Glanz	686323,3	168334,2	476
72	HDST	NL3790	Kitzeck im Sausal	682481,7	184093,9	485
73	HDST	NL3801	Kloster-Rettenbach	652583,1	196271,7	1150
74	HDST	NL3807	Absetzwirt	659489,3	196626,3	1238
75	HDST	NL3828	Hochgleinz	673572,4	185620,9	340
76	HDST	NL3830	Stainz	668134,1	195729,5	340
77	HDST	NL3870	Kirchbach in Steierm	699231,8	198658,3	350
78	HDST	NL3881	Mureck I	708714,3	174808,6	237
79	HDST	NL3890	St.Peter am Ottersba	706174,6	184738,6	270
80	HDST	NL3915	Waltra	722036,8	189830,8	380
81	HDST	NL4027	Arzberg	688414,1	234581,1	566
82	HDST	NL4033	St.Ruprecht an der R	698811,4	223488,6	400
83	HDST	NL4525	Festenburg-Hinterber	719105,6	260990	920
84	HDST	NL4540	Rohrbach I	725148,1	249505	455
85	HDST	NL4571	St.Johann in der Hai	728337,7	238654,3	401
86	HDST	NL4576	Pöllau (Zentralst.)	710340,4	243163,5	525
87	HDST	NL4577	Pöllau	712384,4	240988	420
88	HDST	NL4580	Bad Waltersdorf	725677,9	225324,4	285
89	HDST	NL4595	Zwieselgraben	708812,4	267693,1	1080
90	HDST	NL4618	Schanz	693821,9	259108,8	1230

91	HDST	NL4628	Wildwiesen	707791,5	250746,6	1250
92	HDST	NL4638	Gasen	693527,7	250279,8	950
93	HDST	NL4641	Birkfeld (Schule)	701524,8	246039,2	680
94	HDST	NL4645	Anger	701901,7	238223,6	520
95	HDST	NL4648	Kulm	706767,3	231176,6	840
96	HDST	NL4667	Maierhofen I	725377,2	213746,5	280
97	HDST	NL5035	Weinebene	649384,6	189869,5	1644
98	HDST	NL5040	Soboth	654905,1	173102,4	1145
99	HDST	NL1730	Weichselboden	663337,7	282151,9	680
100	HDST	NL5002	Kendlbruck (HD Sbg)	564332,4	217483,7	940

Tagesmessnetz:

ID	Quelle	NUMMER	NAME	Re	Ho	Seehöhe
1	HDST	NL0010	Gößl	566578,8	280905,5	710
2	HDST	NL0030	Bad Aussee	558225,9	277835,8	665
3	HDST	NL0050	Bad Aussee	557831,4	276643,1	640
4	HDST	NL1015	Rohrmoos	547999,3	252213,9	1080
5	HDST	NL1022	Untertal-Tetter	551943,9	249637,5	1040
6	HDST	NL1028	Schladming	550802,1	254374,6	730
7	HDST	NL1030	Planai	552972,1	251487,9	1820
8	HDST	NL1035	Birnberg	553475,6	255860,6	820
9	HDST	NL1040	Ramsau	546397,6	257493	1203
10	HDST	NL1060	Michaelerberg	565561,2	255221,6	1280
11	HDST	NL1070	St.Nikolai im Sölkta	577109,8	244857,6	1120
12	HDST	NL1085	Grubegg	568758,9	270390	790
13	HDST	NL1095	Bad Mitterndorf	569634,1	270950,4	808
14	HDST	NL1097	Greith	576064	272578,8	945
15	HDST	NL1132	Gröbming	566458,9	257758,8	766
16	HDST	NL1135	Stein/Enns	569583,4	258434,5	680
17	HDST	NL1141	Donnersbachwald	583065,3	250340,4	980
18	HDST	NL1143	Planneralm	589188,7	253938,8	1605
19	HDST	NL1150	Donnersbach	584030,1	260695,8	720
20	HDST	NL1160	Irdning	581697,1	264100,3	702
21	HDST	NL1192	Oppenberg	594511,6	263220,5	1060
22	HDST	NL1195	Aigen im Ennstal	584832,8	268337,7	640
23	HDST	NL1210	Liezen	592222,6	272304,8	670
24	HDST	NL1510	Hohentauern	610751,8	256601,5	1265
25	HDST	NL1560	Admont	608818,6	272034,9	646
26	HDST	NL1561	Admont	608806,7	271540,5	700
27	HDST	NL1590	Gstatterboden	621800,4	273866,4	580
28	HDST	NL1595	Hieflau	630948,4	274629,9	492
29	HDST	NL1605	Eisenerzer Ramsau	637029,3	264933,1	1020
30	HDST	NL1607	Seeau	642009,6	271696,8	650
31	HDST	NL1625	Kirchenlandl	629886,1	280861,6	510
32	HDST	NL1643	St.Sebastian/Mariaz.	672818,4	295423,5	872
33	HDST	NL1710	Gollrad (Wegscheid)	672904,4	281523,2	850
34	HDST	NL1720	Brunngraben	671614,8	287995	710
35	HDST	NL1730	Weichselboden	663337,7	282151,9	680

36	HDST	NL1740	Wildalpen	648473,7	280415,2	610
37	HDST	NL2010	Turracher Höhe	563090,1	200625,6	1767
38	HDST	NL2042	Paal-Stadl	571286,1	217587,7	950
39	HDST	NL2051	Murau	586335,5	221325,3	814
40	HDST	NL2080	Stolzalpe (Kurhaus)	587063,4	222479,1	1215
41	HDST	NL2085	Krakauebene I	569727,7	230893,2	1460
42	HDST	NL2086	Krakauebene	569561,6	230279,7	1318
43	HDST	NL2090	Schöler	581524,3	229432,5	900
44	HDST	NL2110	St.Lambrecht	595218,3	215742	1070
45	HDST	NL2141	Oberwölz	594380	231243,3	810
46	HDST	NL2170	Unzmarkt	606694,4	230222,2	745
47	HDST	NL2310	Schmelz	618488,8	219907,6	1560
48	HDST	NL2320	Judenburg	623307,8	227278,9	730
49	HDST	NL2330	St.Johann am Tauern	609351,3	248015,3	1050
50	HDST	NL2341	Pusterwald-Hinterwi	596915,4	247769,5	1260
51	HDST	NL2345	Pusterwald	601874	242884,8	1069
52	HDST	NL2370	Oberzeiring	610548	236463,4	930
53	HDST	NL2374	Gasselsdorf	620374,8	230894,5	780
54	HDST	NL2390	St.Wolfgang	621188,4	218921,5	1275
55	HDST	NL2400	Obdach	625486,9	215679	875
56	HDST	NL2420	Zeltweg	632569,3	230114,6	669
57	HDST	NL2435	Kleinlobming	637140,4	224743,8	740
58	HDST	NL2440	Großlobming	634169,4	227982,3	650
59	HDST	NL2490	Ingering II	626778,4	238140,6	850
60	HDST	NL2500	Seckau	632367,8	237965	855
61	HDST	NL2610	Kraubath an der Mur	644132,1	238637,9	600
62	HDST	NL2620	St.Michael in Oberst.	655534,9	244528,8	580
63	HDST	NL2630	Wald am Schoberpass	625237,9	258654	890
64	HDST	NL2635	Kalwang	631297	254698,2	742
65	HDST	NL2640	Mautern	636030,8	252318,1	710
66	HDST	NL2650	Leoben-Hinterberg	654202,3	247793,1	570
67	HDST	NL2685	Präbichl	646083,7	265723,1	1240
68	HDST	NL2690	Trofaiach	650026,9	255245	660
69	HDST	NL2715	Bruck an der Mur	668220,5	252337,3	482
70	HDST	NL2915	Frein an der Mürz	686200,6	289762,6	875
71	HDST	NL2918	Niederlpl	680995,7	282996,3	930
72	HDST	NL2920	Mürzsteg	685364	281958	810
73	HDST	NL2925	Karlgraben	692211,5	282534	775
74	HDST	NL2950	Preiner Gscheid	702497,3	280434,3	890
75	HDST	NL2980	Mürzzuschlag	701526	274018,4	700
76	HDST	NL2985	Mürzzuschlag	700358,2	274244,8	660
77	HDST	NL3000	Veitsch	687124,8	271160,1	665
78	HDST	NL3025	Stanz	687058,9	259177,5	648
79	HDST	NL3030	Seewiesen	670288,9	276369,5	980
80	HDST	NL3040	Aflenz Kurort	667748,4	267972,8	784
81	HDST	NL3068	Trawies	658502,9	273175,3	1000
82	HDST	NL3076	Neuwaldalm	649241,5	270486,6	1260
83	HDST	NL3077	Jassing	651849,5	270164,2	890

84	HDST	NL3080	Haringgraben	657990,3	268488,8	1020
85	HDST	NL3085	Tragöß	655551,7	266396,2	770
86	HDST	NL3088	Kapfenberg	671949,1	256796,3	508
87	HDST	NL3092	Pernegg	674620,3	247804,5	460
88	HDST	NL3100	Breitenau bei Mixni	682562,4	250580,5	560
89	HDST	NL3335	Rechberg	681899,3	236752,9	926
90	HDST	NL3341	Frohnleiten	673537,6	237133,3	420
91	HDST	NL3345	Eichberg	673779,1	231416,3	610
92	HDST	NL3352	Neuhof	660676,4	233237,1	770
93	HDST	NL3360	Semriach	678709	231941,9	700
94	HDST	NL3385	Pleschkogel	667003,4	223879,7	910
95	HDST	NL3388	Gratkorn	673895,1	222428,5	380
96	HDST	NL3390	Graz-Andritz	680127,5	218398,2	360
97	HDST	NL3397	Graz (Universität)	682964,2	215648,7	366
98	HDST	NL3404	Graz-Gries	680847,6	213232,6	350
99	HDST	NL3410	Gedersberg	678213,4	208322,7	390
100	HDST	NL3450	Graz (Flugplatz)	682177,1	205805,9	340
101	HDST	NL3510	Breitenbach	653756,9	222999,3	880
102	HDST	NL3520	Bärnbach	658927,9	215257,9	420
103	HDST	NL3540	Lobming	662236,6	212119,4	400
104	HDST	NL3640	Pack	647487,8	205282,4	1115
105	HDST	NL3645	Hirscheegg	642893,1	209564	1158
106	HDST	NL3665	Gaberl	645126	219963,7	1160
107	HDST	NL3670	Maria Lankowitz	653730,1	214845,7	530
108	HDST	NL3690	Ligist	664450	206034	370
109	HDST	NL3695	Gschnaidt	661530,3	229857,6	1128
110	HDST	NL3700	Södingberg	664427,4	216195,3	480
111	HDST	NL3705	Sajach	673486,3	202081,6	340
112	HDST	NL3725	Jägerwirt	655140,7	178626,9	1300
113	HDST	NL3727	Mauthnereck	656315,1	176323	840
114	HDST	NL3730	Wiel	658035,9	179137,6	900
115	HDST	NL3740	Wies	668103,8	176429	390
116	HDST	NL3745	Limberg	664106,4	179078,8	450
117	HDST	NL3750	St. Anna ob Schwanbe	660398,3	179534	1050
118	HDST	NL3767	Trah · ten	658700,1	187898,3	970
119	HDST	NL3768	Gleinstätten	676090,2	180000,1	320
120	HDST	NL3769	St.Lorenzen	660801,4	170911,7	780
121	HDST	NL3770	Eibiswald	667802,1	173004,5	360
122	HDST	NL3775	Kreuzberg	683138,9	174513,4	590
123	HDST	NL3778	Glanz	686323,3	168334,2	476
124	HDST	NL3780	Leutschach	683497,4	168519,2	370
125	HDST	NL3790	Kitzeck im Sausal	682481,7	184093,9	485
126	HDST	NL3795	St.Nikolai im Sausa	682453	187182	340
127	HDST	NL3800	Hebalpe	649274,3	199662	1310
128	HDST	NL3802	Osterwitz-Winkel	653819,1	194151,7	1000
129	HDST	NL3803	Osterwitz	654613,5	192193	1220
130	HDST	NL3805	Klosterwinkel	655829,5	198103,6	1162
131	HDST	NL3810	Hohenfeld	664335,7	195103,1	750

132	HDST	NL3821	Deutschlandsberg	664817,6	188796,5	410
133	HDST	NL3822	Frauental	664975,6	189473,9	350
134	HDST	NL3826	Groß St. Florian	672226,3	188109,1	320
135	HDST	NL3828	Hochgleinz	673572,4	185620,9	340
136	HDST	NL3830	Stainz	668134,1	195729,5	340
137	HDST	NL3850	Leibnitz	687470,8	182557,6	332
138	HDST	NL3852	Leibnitz I	690342,8	181262,3	267
139	HDST	NL3870	Kirchbach in Stmk.	699231,8	198658,3	350
140	HDST	NL3880	Straß	695825,9	177566	256
141	HDST	NL3882	Zehensdorf	703099,4	187386,5	288
142	HDST	NL3885	Unterpurkla	717978,4	175647,7	220
143	HDST	NL3890	St.Peter am Ottersb.	706174,6	184738,6	270
144	HDST	NL3896	Straden	714595,3	185269,5	360
145	HDST	NL3900	Bad Gleichenberg	717008,1	192203,4	303
146	HDST	NL3912	Bad Radkersburg	723250,1	172071,4	208
147	HDST	NL3920	Zelting	726169	174096,7	200
148	HDST	NL4002	Fladnitzberg	685690,3	241249,9	1070
149	HDST	NL4004	Hohenau an der Raab	687971,7	240484,8	702
150	HDST	NL4030	Weiz	696982,9	231039,2	465
151	HDST	NL4033	St.Ruprecht an der	698811,4	223488,6	400
152	HDST	NL4035	Gleisdorf	702678,8	219750,7	375
153	HDST	NL4040	Schöckl	684442,7	229158,2	1445
154	HDST	NL4044	St.Radegund	685582	227447	725
155	HDST	NL4062	Laßnitzhöhe	693053,8	216253	524
156	HDST	NL4100	Rohr an der Raab	710671,8	204376,7	306
157	HDST	NL4102	Wetzelsdorf	715035,9	206202,1	303
158	HDST	NL4105	Feldbach	714002,1	199415	323
159	HDST	NL4150	Fehring	725973,2	199354,8	260
160	HDST	NL4200	Riegersburg	719942,2	207163,3	350
161	HDST	NL4520	St.Jakob im Walde	708750,8	258954,2	922
162	HDST	NL4525	Festenburg-Hinterbe	719105,6	260990	920
163	HDST	NL4530	Wenigzell	709665,1	254871,6	785
164	HDST	NL4561	Vorau	716392,7	251463,1	690
165	HDST	NL4563	Hohenau am Wechsel	723759,9	258003,2	1080
166	HDST	NL4565	Friedberg-Ortgraben	728566,8	255327,6	550
167	HDST	NL4572	Hartberg I	723524,8	238271,9	335
168	HDST	NL4573	Schildbach	721818,6	237384,8	360
169	HDST	NL4574	Altenberg-Hartberg	726979,9	235262,4	429
170	HDST	NL4575	Hartberg	722768,5	238337,4	350
171	HDST	NL4576	Pörlau (Zentralstati	710340,4	243163,5	525
172	HDST	NL4577	Pörlau	712384,4	240988	420
173	HDST	NL4580	Bad Waltersdorf	725677,9	225324,4	285
174	HDST	NL4595	Zwieselgraben	708812,4	267693,1	1080
175	HDST	NL4600	Rettenegg	708418,8	265287,3	860
176	HDST	NL4610	Alpl	699709,1	261927,5	1020
177	HDST	NL4618	Schanz	693821,9	259108,8	1230
178	HDST	NL4620	Fischbach	698089,6	256259,7	1030
179	HDST	NL4622	Fischbach	698007,8	256507,4	1050

180	HDST	NL4630	Kreuzwirt	709226,8	249099,9	1038
181	HDST	NL4638	Gasen	693527,7	250279,8	950
182	HDST	NL4641	Birkfeld (Schule)	701524,8	246039,2	680
183	HDST	NL4645	Anger	701901,7	238223,6	520
184	HDST	NL4650	St.Johann bei Herbe	711076,1	230528,6	410
185	HDST	NL4655	Großwilfersdorf	724939,4	215075,8	275
186	HDST	NL4660	Sinabelkirchen	711947,4	218758	350
187	HDST	NL4670	Fürstenfeld	730808,9	210113,4	273
188	HDST	NL5020	Neumarkt in Steierm	605112,5	216326,5	872
189	HDST	NL5022	Zeutschach	601593,9	215733,5	1018
190	HDST	NL5030	Noreia	612795,3	209904	1060
191	HDST	NL5040	Soboth	654905,1	173102,4	1145

ANHANG II**INCA Stationsnetz**

ID	Name	x(degree)	y(degree)	Seehöhe	Verwendung im INCA System in %			
					2010	2011	2012	2013
11063	ROTTENMANN	14,43027778	47,50777778	705	97.8	99.8	30.7	99.4
11157	AIGEN IM ENNSTAL	14,13833333	47,53277778	641	97.5	99.9	75.5	99.2
11161	PRAEBICHL	14,95416667	47,52166667	1214	99.4	98.8	75.7	96.8
11166	SECKAU	14,77861111	47,27083333	872	98.0	99.5	78.9	99.9
11167	HALL/ADMONT	14,49083333	47,59444444	637	93.8	99.9	75.8	99.1
11171	MARIAZELL/ST SEBASTIAN	15,30222222	47,78916667	864	96.2	-	-	99.7
11173	FISCHBACH	15,64388889	47,44416667	1034	96.1	95.7	73.2	99.8
11174	ST.MICHAEL/LEOBEN	15,00566	47,33593	580	99.5	98.5	85.1	-
11175	BRUCK/MUR	15,24972222	47,40583333	482	99.1	99.8	85.6	99.9
11177	MUERZZUSCHLAG	15,67277778	47,60222222	705	97.0	98.9	88.5	99.4
11199	MOOSLANDL	14,76166667	47,6475	530	75.5	100.0	78.4	94.7
11220	NEUMARKT	14,42472222	47,06972222	869	99.5	68.2	84.4	99.9
11221	KOEFLACH	15,08722222	47,07	463	94.7	100.0	65.9	99.2
11238	GRAZ/STRASSGANG	15,41027778	47,04611111	357	98.1	99.9	91.3	97.8
11240	GRAZ-THALERHOF-FLUGHAFEN	15,43916667	46,99305556	340	99.8	99.9	89.9	99.6
11241	SCHOECKL	15,46638889	47,19861111	1443	99.4	100.0	89.3	99.9
11242	ST.RADEGUND	15,48972222	47,18222222	726	99.4	99.9	89.5	99.5
11243	WEIZ	15,63549	47,21873	465	99.5	99.9	87.8	-
11244	BAD GLEICHENBERG	15,90361111	46,87222222	269	99.6	99.7	88.2	99.2
11246	FUERSTENFELD	16,08083333	47,03083333	271	96.3	99.7	92.5	99.5
11247	GLEISDORF	15,70805556	47,11555556	377	96.9	99.8	87.9	99.3
11248	BAD RADKERSBURG	15,97944444	46,68583333	210	99.4	99.5	95.4	99.3
11249	FROHNLEITEN	15,315	47,25555556	421	97.8	99.9	85.0	94.6
11274	LEOBEN	15,08666667	47,37833333	544	-	-	-	99.2
11280	MURAU	14,17694444	47,11111111	816	99.4	99.7	87.0	98.8
11285	DEUTSCHLANDSBERG	15,22666667	46,82138889	354	99.6	99.4	90.3	99.4
11290	GRAZ UNIVERSITAET	15,44888889	47,07777778	367	99.4	99.9	89.4	99.5
11292	LASSNITZHOEHE	15,59222222	47,07361111	530	99.3	99.6	89.6	99.2
11296	LEIBNITZ	15,55277778	46,7675	268	99.6	99.4	90.2	99.3
11298	FELDBACH	15,87972222	46,94888889	323	99.6	99.3	89.7	97.7
11351	RAMSAU/DACHSTEIN	13,63416667	47,42527778	1207	-	-	-	99.7
11356	BAD AUSSEE	13,75833333	47,61055556	743	96.4	73.0	83.5	98.7
11358	BAD MITTERNDORF	13,935	47,55333333	814	99.2	99.1	80.9	99.0
11359	GROEBMING	13,90416667	47,44666667	766	89.0	98.4	78.3	98.8
11360	IRDNING/GUMPENSTEIN	14,09972222	47,495	697	99.1	99.7	83.5	97.9
11362	KALWANG	14,75972222	47,42138889	744	99.4	99.5	83.4	98.6
11363	STOLZALPE	14,18833333	47,12305556	1291	97.9	99.9	86.6	97.7
11365	ZELTWEG - AUTOM. STAT.	14,74694444	47,19972222	678	99.2	99.0	87.8	96.4
11370	KAPFENBERG	15,29833333	47,44583333	505	99.7	99.9	87.0	94.7
11375	AFLENZ	15,24083333	47,54583333	783	99.4	99.8	87.5	98.9
11377	OBERWOELZ	14,28666667	47,20194444	842	96.9	99.9	87.9	97.9
11390	HARTBERG	15,97861111	47,28055556	330	99.1	99.7	92.7	97.4

11398	EICHBERG	15,93694444	47,4	692	90.6	99.8	85.2	91.2
5280003	STEINBERG (HYDRO)	15,20277778	46,96222222	710	-	40.5	94.6	82.2
5280013	SCHIRCHLERALM (HYDRO)	15,10416667	46,77194444	1245	-	29.6	89.1	76.6
5280024	GESTUETHOF/MUR (HYDRO)	14,209998	47,110671	782	-	80.8	90.6	-
5280031	HOCHGLEINZ (HYDRO)	15,33194444	46,80583333	340	-	5.4	-	78.2
5280041	TRAHUETTEN (HYDRO)	15,13666667	46,82444444	970	-	79.3	90.1	55.8
5280044	SALZSTIEGEL (HYDRO)	14,88027778	47,06333333	1340	-	78.0	-	59.4
5280068	ALTAUSSEE (SALZBERGWERK) (HYDRO)	13,74222222	47,6525	940	-	77.3	71.1	36.5
5280069	ARZBERG (HYDRO)	15,51972222	47,24777778	566	-	80.5	93.2	77.5
5280070	BIRKFELD (SCHULE) (HYDRO)	15,69166667	47,35194444	680	-	81.5	92.4	44.2
5280071	BREITENAU BEI MIXNITZ (HYDRO)	15,44	47,39111111	560	-	-	-	72.4
5280072	BUCHBERG (HYDRO)	15,13527778	47,57805556	880	-	5.3	4.9	32.2
5280073	BUERGERALM BEI AFLENZ (HYDRO)	15,23055556	47,56916667	1500	-	-	-	74.6
5280074	DONNERSBACHWALD (HYDRO)	14,12166667	47,37666667	980	-	81.8	88.1	59.7
5280075	EDELRAUTEHUETTE (HYDRO)	14,43444444	47,43916667	1702	-	-	-	91.0
5280076	EISENERZER RAMSAU (HYDRO)	14,83333333	47,51388889	1020	-	81.6	88.6	37.8
5280077	FREIN AN DER MUERZ (HYDRO)	15,4825	47,74388889	875	-	-	-	69.8
5280078	FROHNLEITEN NLV (HYDRO)	15,32277778	47,26916667	420	-	20.6	23.0	41.3
5280079	GAISHORN (HYDRO)	14,52944444	47,48472222	720	-	80.6	87.1	69.7
5280080	GLANZ (HYDRO)	15,50041	46,65132	476	-	-	-	63.9
5280081	GLEIN (HYDRO)	14,9	47,23	702	-	-	-	40.1
5280082	GOLLRAD (WEGSCHEID) (HYDRO)	15,30666667	47,66833333	850	-	80.4	90.0	73.2
5280084	JUDENBURG (HYDRO)	14,66194444	47,17277778	730	-	82.3	91.1	81.6
5280086	KATSCHTAL (HYDRO)	14,08111111	47,25	1320	-	81.6	87.4	78.5
5280087	KIRCHBACH IN STEIERMARK (HYDRO)	15,66666667	46,92555556	350	-	-	-	51.4
5280088	KLOSTER-RETTENBACH (HYDRO)	15,053788	46,898498	1150	-	28.5	92.8	79.6
5280089	MICHAELERBERG (HYDRO)	13,88916667	47,41027778	1280	-	-	-	28.0
5280090	OBERWOELZ (HYDRO)	14,28305556	47,20111111	810	-	81.7	89.0	61.3
5280091	PUSTERWALD-HINTERWINKEL (HYDRO)	14,30694444	47,35138889	1260	-	-	-	56.3
5280094	SCHMELZ (HYDRO)	14,60055556	47,10555556	1560	-	-	-	77.8
5280095	SCHOEDER (HYDRO)	14,11027778	47,18277778	900	-	79.1	87.9	42.3
5280096	ST.PETER AM OTTERSACH (HYDRO)	15,75916667	46,80083333	270	-	78.9	89.1	38.0
5280097	ST.RUPRECHT AN DER RAAB NLV (HYDRO)	15,65833333	47,14888889	400	-	78.4	89.5	63.9
5280098	TROFAIACH (HYDRO)	15,00805556	47,42888889	660	-	81.6	91.7	60.7
5280099	TURRACHER HOEHE (HYDRO)	13,879187	46,91838	1767	-	19.4	8.0	16.4
5280100	WIES NLV (HYDRO)	15,26194444	46,7225	390	-	78.1	44.0	82.2
5280101	ZWIESELGRABEN (HYDRO)	15,78611111	47,54722222	1080	-	-	-	59.2
5280103	OEDENSEE (HYDRO)	13,823984	47,563264	763	-	-	-	89.7
5280104	LIEZEN (HYDRO)	14,23666667	47,57083333	670	-	-	-	78.1
5280105	SEEAU (HYDRO)	14,896907	47,575062	650	-	-	-	16.2
5280106	MITTERGRABEN (HYDRO)	14,76666667	47,14	860	-	-	-	92.9
5280107	GRAZ-ANDRITZ (HYDRO)	15,41583333	47,10972222	360	-	-	-	50.0
5280108	PLESCHKOGELE (HYDRO)	15,23888889	47,14916667	910	-	-	-	46.5
5280109	KITZECK IM SAUSAL (HYDRO)	15,44916667	46,79305556	485	-	-	-	91.2
5280110	STAINZ_NLV (HYDRO)	15,25888889	46,89611111	340	-	-	-	77.7
5280111	WALTRA (HYDRO)	15,96666667	46,8475	380	-	-	-	80.8
5280112	POELLAU (HYDRO)	15,83583333	47,30722222	420	-	-	-	95.5

5280113	ALPL (HYDRO)	15,66611111	47,49472222	1020	-	-	-	37.3
5280114	SOBOTH_NLV (HYDRO)	15,09	46,69083333	1145	-	-	-	57.3
5360003	EDELBODEN (MA31)	k.A.	k.A.	k.A.	-	-	-	48.1
5360005	HINTERWILDALPEN (MA31)	k.A.	k.A.	k.A.	-	-	24.6	46.3
5360007	KREUZPFAEDER SIEBENSEE (MA31)	15,01111111	47,6275	1256	-	-	9.8	46.8
5360009	LURGBAUER (MA31)	15,63527778	47,71138889	1764	-	-	-	90.3
5360012	SONNSCHIENALM (MA31)	k.A.	k.A.	k.A.	-	-	13.0	46.2
5360015	WEICHSELBODEN (MA31)	15,18166667	47,67277778	675	-	-	-	48.0
5360017	WINTERHOEHE (MA31)	14,985	47,65361111	667	-	-	-	47.6
5400510	TAUPLITZALM/BERGSTATION (LWD)	k.A.	k.A.	k.A.	-	-	-	0.5
5400530	JOHNSBACHER TAL/OBERKAINZ (LWD)	k.A.	k.A.	k.A.	-	-	-	-
5600023	GROEBMING (AHP)	k.A.	k.A.	k.A.	-	-	-	85.7
5600024	LIEZEN (AHP)	k.A.	k.A.	k.A.	-	-	-	85.8
5600025	ADMONT (AHP)	k.A.	k.A.	k.A.	-	-	-	85.9
5600026	LANDL/KRAFTWERK (AHP)	k.A.	k.A.	k.A.	-	-	-	86.5
5600027	WILDALPEN (AHP)	k.A.	k.A.	k.A.	-	-	-	84.9