

Universität für Bodenkultur Wien

University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna



Department für Wasser-Atmosphäre und Umwelt

Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft



Erstellen einer Erosivitätskarte von Österreich

Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen

Grades Diplom-Ingenieur

eingereicht von:

Smoliner Wolfgang, BSc

Betreuer: Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Andreas Klik

Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Mathew Herrnegger

Universität für Bodenkultur Wien

Wien, November 2019

Danksagung

Ich möchte mich herzlich bedanken für die fachliche und persönliche Unterstützung, die zum Abschluss dieser Arbeit beigetragen haben.

Besonders bedanke ich mich bei meinen Betreuern Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Andreas Klik und Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. Mathew Herrnegger für die ausführliche Betreuung bei der Erstellung der Masterarbeit. Danke für die Zeit, Geduld und Mühen die Sie in die Masterarbeit investiert haben

Meinen Eltern möchte ich für die umfassende Unterstützung während der Schul- und Studienzeit bedanken.

Meinem Freund Peter danke ich dafür, dass wir die größten Herausforderungen des Studiums gemeinsam gemeistert haben.

Ich möchte meiner Frau Lena und meiner Tochter Skadi bedanken, dass sie mein Leben bereichern.

Ich möchte auch den österreichischen Steuerzahlern danken, dass Sie meine Ausbildung möglich gemacht haben.

Kurzfassung

Die Erosivität von Niederschlägen ist die bestimmende klimatische Größe für das Risiko von Bodenerosion durch Wasser. Sie wird durch die Kombination aus kinetischer Energie und der max. 30 minütigen Regenintensität ($I_{\max 30}$) beschrieben.

Das Ziel der Arbeit war die Erstellung einer aktuellen Erosivitätskarte von Österreich unter der spezifischen Betrachtung von regionalen Unterschieden.

Dafür wurden in dieser Arbeit 5 min Regendaten von 142 Niederschlagsmessstellen über einen Zeitraum von 1996 – 2016 ausgewertet. Schneefallereignisse wurde nicht in die Berechnung des R-Faktors einbezogen.

Die Messstellen befanden sich in Höhen von 130 bis 2260 m über Adria, die mittleren Niederschlagshöhen lagen im Mittel bei 1038 mm. Der berechnete R-Faktor lag zwischen $450 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ und $4200 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, wobei der Durchschnittswert $1226 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ betrug.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Erosivität am Nordalpenrand, in den Ostalpen und in Südkärnten am höchsten ist, wobei man die höchste $I_{\max 30}$ im Waldviertel und Südost-Österreich beobachtet. Um diese Variabilität besser zu beschreiben, wurden Erosivitätsregionen auf Basis klimatischer und naturräumlicher Abgrenzungen definiert.

Die Regressionsmodelle zur Bestimmung des R-Faktors in Abhängigkeit des mittleren jährlichen Niederschlages zeigen für Gesamtösterreich, die Bundesländer und die Erosivitätsregionen bis auf die Steiermark ein Bestimmtheitsmaß (R^2) von über 70 %.

Für die erstellten Erosivitätskarten wurden die auf einen Kilometer aufgelösten mittleren Niederschlagsdaten Österreichs von INCA (2003–2015) und die ermittelten regionalen Modelle verwendet.

Die Abweichungen von den gemessenen Werten betragen im Mittel 14 %. Vergleiche der Ergebnisse und der Modelle mit dem Referenzzeitraum 1966 -1990 zeigen einen Anstieg der Erosivität um 30 %.

Abstract

The erosivity of precipitation is the main factor for the risk of soil erosion driven by water. The factors of erosivity are the kinetic energy and maximum Intensity in 30 minutes (I_{max30}). The aim of this work was to produce a current rain erosivity map of Austria under the specific consideration of regional differences.

For this purpose, 142 local precipitation data sets with a measuring period between 1996 and 2016 and a 5-minute measuring interval are evaluated. A self-written "R"-script was used for the evaluation. Snowfall events were identified by integrating the daily mean temperatures and were not included in the calculation of the R-factor.

The rain gauges were located at altitudes between 130 m and 2260 m above sea level, the mean precipitation altitudes were 1038 mm on average. The calculated R-factor was between 450 MJ mm ha⁽⁻¹⁾ h⁽⁻¹⁾ and 4200 MJ mm ha⁽⁻¹⁾ h⁽⁻¹⁾, whereas the average value was 1226 MJ mm ha⁽⁻¹⁾ h⁽⁻¹⁾.

The local data sets show, that the erosivity is highest at the northern edge of the Alps, eastern Alps and southern Carinthia, with the highest I_{max30} in Waldviertel and south-eastern Austria. In order to describe this variability in a better way, erosivity regions are defined in this thesis on the basis of climatic and natural boundaries.

The regression models for determining the R factor as a function of the average annual precipitation for the whole of Austria, the provinces and the erosivity regions show a coefficient of determination (R^2) of more than 70 % except for Styria.

For the erosivity maps produced in this thesis, the mean precipitation data of Austria from INCA (2003-2015) and regional models were used as a basis.

The deviations from the measured values average 14%. Comparisons of the results and the models with the reference period between 1966 and 1990 show an increase in erosivity of 30%.

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	VII
TABELLENVERZEICHNIS.....	VIII
1. EINLEITUNG	1
1.1 ERSIONSPROZESS.....	1
1.2 SITUATION IN ÖSTERREICH.....	2
1.3 EROSIVITÄT	3
1.4 ERODIBILITÄT	3
1.5 ZIELE DER ARBEIT.....	3
1.6 FORSCHUNGSFRAGEN UND ARBEITSSCHRITTE	4
2. GRUNDLAGEN	5
2.1 RÄUMLICHE EINTEILUNG ÖSTERREICHS.....	5
2.1.1 <i>Klimatische Gliederung Österreichs</i>	5
2.1.2 <i>Naturräumliche Einheiten</i>	6
2.2 USLE UND RUSLE	7
2.3 R-FAKTOR.....	9
2.3.1 <i>Berechnung nach Wischmeier und Smith (1978)</i>	9
2.3.2 <i>Berechnung nach Schwertmann et al. (1987)</i>	11
2.3.3 <i>Berechnung nach Brown und Foster (1987)</i>	12
2.3.4 <i>Energieberechnung nach Van Dijk (2002)</i>	12
3. DATEN UND METHODEN	13
3.1 VORHANDENE DATEN	13
3.1.1 <i>Niederschlagsdaten</i>	14
3.1.2 <i>Temperaturdaten</i>	15
3.2 METHODISCHES VORGEHEN ZUR DATENAUSWERTUNG.....	15
3.3 RIST	16
3.4 DATENAUSWERTUNG MITTELS R-SKRIPT	18
3.5 DATENPRÜFUNG	19
3.6 GLIEDERUNG VON ÖSTERREICHS ZUR BESTIMMUNG VON EROSIVITÄTSREGIONEN	20
4. ERGEBNISSE	21
4.1 PLAUSIBILITÄTSKONTROLLE ANHAND DER RIST ERGEBNISSE.....	21
4.2 ERGEBNISSE DER EROSIVITÄTSBERECHNUNG	23

4.3	VERÄNDERUNG DER ERGEBNISSE DURCH AUSSCHLUSS VON SCHNEEFÄLLEN	26
4.4	ZUSAMMENHANG VON R-FAKTOR UND MITTLEREM JÄHRLICHEN NIEDERSCHLAG	26
4.5	LOKALE REGRESSIONEN VON R-FAKTOR UND MITTLEREM JÄHRLICHEN NIEDERSCHLAG	
	28	
4.5.1	<i>Bundesländerspezifische Regressionen</i>	28
4.6	EROSIONSREGIONEN ÖSTERREICH	30
4.6.1	<i>Erosivitätsregionen Regressionen.....</i>	32
4.7	VERTEILUNG DER NIEDERSCHLÄGE ÜBER DAS JAHR DER EROSIONSREGIONEN	34
4.8	EROSIVITÄT IN ABHÄNGIGKEIT VON GEODÄTISCHER HÖHE	38
4.9	ISOERODENTENKARTE VON ÖSTERREICH.....	38
4.9.1	<i>Karte mit gesamtösterreichischen Regressionsmodell</i>	38
4.9.2	<i>Isoerodentenkarte mit Regressionsmodellen der Erosivitätsregionen.....</i>	40
5.	DISKUSSION.....	44
5.1	DISKUSSION DER ERGEBNISSE	44
5.2	DISKUSSION DER ERGEBNISSE IM KONTEXT DER VORHANDENEN LITERATUR.....	45
5.2.1	<i>Strauß et al. (1995).....</i>	45
5.2.2	<i>Nogler (2012).....</i>	45
5.2.3	<i>Klik und Konecny (2013).....</i>	46
5.2.4	<i>Panagos et al. (2015)</i>	47
5.2.5	<i>Tatzreiter (2017).....</i>	48
6.	ZUSAMMENFASSUNG.....	48
6.1	BEANTWORTUNG DER FORSCHUNGSFRAGEN	49
7.	AUSBLICK	52
8.	LITERATURVERZEICHNIS	53
9.	ANHANG	56
9.1	BERECHNUNGSTABELLE FÜR DARSTELLUNGEN UND ARCGIS KARTEN	56

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die naturräumliche Gliederung Österreichs (aus: Sauberer und Grabherr, 1995) ...	7
Abbildung 2: Evaluierungsergebnisse der Erosionsmodelle (A. K. Tiwari, 2001)	9
Abbildung 3: Darstellung der räumlichen Verteilung der ausgewerteten Messstationen in Österreich.....	13
Abbildung 4: Verteilung der mittleren jährlichen Niederschläge innerhalb Österreichs (INCA 2003 – 2015)	15
Abbildung 5: RIST 3.98 Darstellung der Kriterien zur Ereignisdefinition und Energieformel. ..	18
Abbildung 6: Darstellung der Niederschlagsmengen der Ereignisse als Zeitreihe (Hier exemplarisch die Ereignisse von der Messstation Schlegeis. Die Y-Achse beschreibt die Niederschlagsmenge [mm]	20
Abbildung 7: Ausgerechnete mittleren Jährlichen Erosivität [$\text{MJ} \cdot \text{mm} / (\text{ha} \cdot \text{h} \cdot \text{a})$] der Messstellen in Österreich. Hinterlegt mit den mittleren Jährlichen Niederschlägen (INCA 2003 – 2015)	23
Abbildung 8: Darstellung der mittleren jährlichen erosiven Energie [$\text{MJ} / \text{ha} \cdot \text{a}$] der Niederschläge der Messstationen.....	24
Abbildung 9: Darstellung des mittleren jährlichen I30 [mm / h] der erosiven Ereignisse der Messstationen.....	25
Abbildung 10: Darstellung der Anzahl der mittleren jährlichen erosiven Ereignisse.	25
Abbildung 11: Prozentueller Fehler ohne Temperaturkorrektur.	26
Abbildung 12: Darstellung der mittleren jährliche Erosivität in Abhängigkeit des mittleren jährlichen Niederschlags bei allen Messstationen. Zusammenhang mittels linearer Regression (blaue punktierte Linie). Die rote Linie ist der Zusammenhang nach Strauß et al. (1995)	27
Abbildung 13: Mittlere jährliche Erosivität in Abhängigkeit des mittleren jährlichen Niederschlags für alle Messstationen nach Bundesland eingeteilt. Die graue Linie ist der österreichweite Zusammenhang.....	29
Abbildung 14: Darstellung der mittleren jährliche Erosivität in Abhängigkeit des mittleren jährlichen Niederschlags bei allen Messstationen. Die Modelle sind nach Bundesland eingeteilt.	30
Abbildung 15: Erosionsregionen Österreichs	31
Abbildung 15: Einteilung der Messstationen nach Erosivitätsregionen	32
Abbildung 17: Zusammenhang zwischen Erosivität und mittleren jährlichen Niederschlag eingeteilt nach Erosivitätsregionen.	33

Abbildung 18: Zusammenhänge für die Erosionsregionen mit entsprechender Formel und Bestimmtheitsmaß.....	34
Abbildung 19: Verlauf der monatlichen Mittel der Niederschläge für die „Erosivitätsregionen“ gemittelt.	35
Abbildung 20: Niederschlagssummenlinien für die Erosivitätsregionen gemittelt.	36
Abbildung 21: Verlauf der monatlichen Mittel der Erosivität für die „Erosivitätsregionen“ gemittelt	37
Abbildung 22: Erosivitätssummenlinien für jede Region gemittelt.	37
Abbildung 23: Mittlere jährliche Erosivität in Abhängigkeit von der geodätischen Höhe der Messstation	38
Abbildung 24: Erosivitätskarte Österreich mittels österreichweiten Regressionsmodells angewendet an den mittleren jährlichen Niederschlägen der INCA- Daten (2003 – 2015) Werte in der Legend haben die Einheit: $[MJ*mm/(ha*h*a)]$	39
Abbildung 25: Abweichung in Prozent der Differenz von Beobachteten Werten zu Modellierten Werten an den Messpunkten.....	40
Abbildung 26: Erosivitätskarte Österreich mit lokalen Regressionsmodellen angewendet an den mittleren jährlichen Niederschlägen der INCA- Daten (2003 – 2015) Werte in der Legende haben die Einheit: $[MJ*mm/ha*h*a]$	41
Abbildung 27: Abweichung der Differenz zwischen beobachteten Werten zu Modellierten Werten an den Messpunkten. Die Angaben sind in Prozent.....	42
Abbildung 28: Prozentuale Veränderungen der Abweichungen durch die Anwendung der Modelle der Erosionsregionen im Vergleich zum Gesamtösterreichischen Modell. (Positive Werte zeigen die Verkleinerung der Abweichungen. Negative Werte zeigen die Vergrößerung von Abweichungen.)	43

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Darstellung der Ergebnisse aus RIST für die Messstelle Wulkaprodersdorf unter denselben Ereigniskriterien die auch in dieser Arbeit verwendet werden und der Energieformel nach Brown und Foster(1987)).	22
Tabelle 2: Ergebnisse des R-Script für die Messstelle Wulkaprodersdorf	22
Tabelle 3: Vergleich der Modelle für NÖ und OÖ nach Klik und Konezny (2013) mit Smoliner	46

Tabelle 4: Statistische Kennwerte für Österreich der modellierten Erosivitätskarten von Panagos et al. (2015) und Smoliner (Abbildung 26).....	48
Tabelle 5: Erosivitätsmodelle für Kärnten nach Tatzreiter (2017) und Smoliner.....	48

1. Einleitung

1.1 Erosionsprozess

Im Allgemeinen kann Bodenerosion als ein dreiphasiger Prozess definiert werden, dieser besteht aus: (1.) dem Ablösen einzelner Bodenpartikel von der Bodenmasse; (2.) deren anschließendem Transport durch ein Erosionsmittel; und schließlich, (3.) ihre Deposition, wenn dem Erosionsmittel genügend Energie für den weiteren Transport fehlt (Morgan, 2005). Im Falle der Bodenerosion durch Wasser lösen sowohl Regentropfeneinschlag, die so genannte „Spritz- oder Planscherosion“, in Englisch „splash“, als auch über die Bodenoberfläche fließendes Wasser die Bodenpartikel und transportieren sie dann.

Die durch das rasche Befeuchten des Bodens geschwächten Bodenaggregate werden durch den Einschlag des Regentropfens gelöst und zerkleinert. Zum einen ist die Menge der Erosion von der Größe der Regentropfen abhängig: Je größer der Tropfen, desto mehr Masse hat er, desto schneller fällt er und desto größer ist seine kinetische Energie, die direkt auf den Einschlagspunkt wirkt. Zum anderen hat die Beschaffenheit der Oberfläche einen großen Einfluss. Nach Auerswald (1998) sind Regentropfen vor allem dann erosiv wenn auf der Bodenoberfläche bereits ein Wasserfilm von 0.1 bis 0.3 mal des Tropfendurchmessers

Ist, da dadurch der Regentropfen nicht mehr in die Bodenoberfläche gelangt und somit die gesamte Energie an der Bodenoberfläche wirksam ist. Besonders bei wenig rauen Oberflächen z.B bei gewalzten Ackerflächen ist dieser Effekt verstärkt.

Der Transport von Bodenpartikeln unter abfließendem Wasser wird üblicherweise in Flächenerosion und Rillenerosion unterteilt. Flächenerosion bezieht sich auf Wasser, das durch Überlandströmung eine relativ gleichmäßige Dicke des Bodens entfernt. Während sich die Rillenerosion auf Wasser bezieht, das als konzentrierte Strömung abläuft und den Boden entfernt, indem Kanäle mit zunehmender Tiefe und/oder Breite "ausgegraben" werden. Die Rillenerosion wiederum wird in Abhängigkeit von den Kanalabmessungen im Allgemeinen in Rillen- und Rinnenerosion unterteilt. Eine Tiefe von bis zu 10 cm (Poesen, 2003) ist ein Kriterium zur Unterscheidung von Rillen und

Rinnen. Poesen (2003) berechnete, dass in größeren Maßstäben etwa 80% des Ablösungs-/Bodenverlustes durch Rinnen verursacht wird. Ab einer Tiefe von 30 cm spricht man von Grabenerosion.

Nicht nur Wasser, das wie vorstehend beschrieben über die Bodenoberfläche fließt, sondern auch Wasser, das sich seitlich durch die Bodenmatrix in Gefällerrichtung bewegt ("Interflow"), kann Bodenpartikel lösen und transportieren, auch als konzentrierte Strömung in Makroporen oder unterirdischen Röhren (Morgan, 2005). Diese unterirdischen Erosionsprozesse finden hauptsächlich in Mooren statt (Holden, 2005) sowie in Gebieten, in denen künstliche unterirdische Entwässerungssysteme installiert wurden (Russel et al., 2001).

Die Bodenerosion scheint von der Menschheit seit den frühen Zivilisationen Chinas und des Mittelmeerraums erkannt worden zu sein (Morgan, 2005). Dennoch erhielt die wissenschaftliche Erforschung der Bodenerosion erst in den 1920er und 1930er Jahren Impulse, wobei Hugh Hammond Bennett die Bodenschutzbewegung in den USA anführte. In Westeuropa hingegen wurde die Bedeutung der Bodenerosion erst ab den 1970er Jahren richtig erkannt.

1.2 Situation in Österreich

In Österreich gibt es seit dem Beitritt Österreichs zur Europäischen Union das österreichische Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft (ÖPUL). Mithilfe dieses Programms sollen durch bundesweite Förderungen u.a. erosionsvermindernde Maßnahmen durchgeführt werden. Um verstärkten Erosionsschutz zu bewirken werden diverse Maßnahmen angeführt, an denen Landwirte teilnehmen können und dies je nach Art der ausgeführten Maßnahme mit einem finanziellen Beitrag entgolten und subventioniert werden.

Dabei werden die ÖPUL-Maßnahmen in direkt erosionsvermindernde und indirekt erosionsvermindernde Maßnahmen unterteilt. Bei den direkten Maßnahmen werden im Ackerbau Mulch- oder Direktsaat auf Äckern subventioniert, bei denen zuvor die Maßnahme der Begrünung im Herbst und Winter durchgeführt wurden.

Die indirekten Maßnahmen sind z.B. die Verringerung von maisbetonten Fruchtfolgen, kleinräumige erhaltenswerte Strukturen, die Pflege ökologisch wertvoller Flächen und

die Neuanlegung von Landschaftselementen. (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2005).

1.3 Erosivität

Die regenabhängige Erosivität ist die erodierende Kraft von Regen oder Oberflächenabfluss auf eine Bodenoberfläche. Je größer die Menge und Intensität des Niederschlagsereignisses sind desto größer ist auch die Erosivität. Bei der Überschreitung des Bodenwiderstands tritt Spritzerosion ein und es kommt zur Verschlammung der Bodenoberfläche welche die Infiltrationskapazität verringert (Sauerborn, 1994). Dies wiederum führt zu erhöhten Oberflächenabfluss und somit zu erhöhter Erosion.

Diese Arbeit verwendet die Definition der empirischen Beschreibung der Erosivität durch den R-Faktor der „Universal Soil Loss Equation“ kurz USLE (Wischmeier und Smith, 1969).

1.4 Erodibilität

Die Erodibilität wird als Widerstandsfaktor des Bodens gegen die Erosion von Bodenpartikeln definiert. Diese wird bei Regen durch Herausschlagen von Bodenpartikel durch Regentropfen sowie die Scherwirkung des Abflusses in Rinnen oder Rillen induziert. Einfluss auf den Faktor hat die Infiltration und die Art des Bodens sowie seine Textur, da Böden die ein schnelles Versickern zulassen erosionsmindernd wirken (Wischmeier und Smith, 1969). Bei der Berechnung der Erodibilität nach der Definition der USLE ist wird ebenfalls der R-Faktor und dessen Tagessummenprozent benötigt.

1.5 Ziele der Arbeit

Die Aufgabenstellung dieser Arbeit ist es, eine Regenerosivitätskarte von Österreich zu erstellen mit einen aktuellen Datensatz von 140 Niederschlagsmessstationen und 20 Jahren Messzeitraum.

Es sollen Schneefälle bei der Berechnung ausgeschlossen werden mit der Hilfe von Tagesmitteltemperaturdaten der Messstationen.

Es wird ein bei der Analyse der Regenerosivität von Österreich spezifisch auf regionale Charakteristiken der Niederschläge eingegangen um damit die Modellierung der Erosivität zu optimieren.

1.6 Forschungsfragen und Arbeitsschritte

Die Forschungsfragen der Arbeit sind:

- Kann in Österreich die Erosivität von Niederschlägen im Jahresmittel in Abhängigkeit des mittleren Jahresniederschlags beschrieben werden?
- Kann man aufgrund der Datenlage eine genaue Isoerodentenkarte für Österreich erstellen und wie groß sind die Abweichungen?
- Wie groß ist der Fehler in der Berechnung des R-Faktors ohne Temperaturkorrektur?
- Gibt es einen Zusammenhang zwischen geodätischer Höhe und R-Faktor?
- Können Aussagen über die Veränderung der Erosivität durch den Vergleich der Auswertungen mit Daten aus der Literatur gemacht werden?

Die Hauptarbeitsschritte der Arbeit sind:

- Erstellung eines „R-Scripts“ zur vereinfachten Auswertung der Datensätze der Niederschlagsmessstellen und für den Ausschluss von Schneefall.
- Nähere Betrachtung der räumlichen Charakteristik der Ergebnisse sowie Überprüfung der Datensätze
- Erstellung von Modellen zur Berechnung der mittleren jährlichen Erosivität in Abhängigkeit des mittleren Niederschlags.
- Erstellung der Erosivitätskarten basierend auf den entwickelten Modellen

2. Grundlagen

2.1 Räumliche Einteilung Österreichs

Im Zuge der genaueren räumlichen Modellierung des R-Faktors und der Erstellung von Isoerodentenkarten war es notwendig Österreichs räumliche Gliederung näher zu betrachten. Da der R-Faktor direkt vom Niederschlag abhängt ist es naheliegend die klimatische Situation zu untersuchen. Weiteres gibt es auch einen ausgeprägten Zusammenhang zwischen Niederschlag und geodätischer Höhe deswegen wurde ebenfalls die geologischen und naturräumlichen Gliederungen betrachtet.

2.1.1 Klimatische Gliederung Österreichs

Die deskriptive Klassifikation definiert das Klima Österreichs als feucht-warmgemäßigte Zone (Auer, 2001).

Die Alpen werden durch ihr alpines Klima definiert mit kurzen feuchten Sommern, niederschlagsärmeren Herbst und schneereichen Wintern. Die Randgebirgsketten im Norden und Osten sind weitaus niederschlagsreicher als der Zentralalpine Bereich. Die Südalpen sind auch von niederschlagsreichen Tiefdruckgebieten aus dem Mittelmeerraum beeinflusst.

Weiteres wird der Norden und Westen Österreich in ozeanisch-beeinflussten oder auch atlantischen Klimabereich zugeordnet. Dies bedeutet vor allem in Bezug auf die Niederschläge, dass diese relativ gleichmäßig verteilt sind aufgrund von feuchten Westwinden. Im Waldviertel und Mühlviertel ist es bedingt durch die höhere Lage feuchter und kühler als im Alpenvorland und wird als Mittelgebirgsklima eingeteilt.

Der Osten von Österreich ist vorwiegend von pannonisch-kontinentalen Klima geprägt. Diese Region wird durch die geringeren Niederschläge sowie heißen Sommer und kalten Winter definiert.

Die illyrische Region ist im Südosten Österreichs. Der Alpenrand bewirkt teilweise sehr hohe Niederschlagsmengen durch warme Wetterfronten aus Süden und Osten. Zusätzlich ist das Klima Österreichs vom alpinen Relief geprägt. Häufig sind innerhalb kurzer Distanzen und geodätischen Höhenunterschieden beträchtliche klimatische Unterschiede zu beobachten. (Nagl, 1983)

Eine weitaus detailliertere Abgrenzung ist die Klimatypenkarte nach Bobek et al. (1971). Mit der Zusammenfassung der Klimaparameter: „Niederschlagsjahressumme“, „Zahl der Tage mit >1mm Niederschlag“, „Temperaturmittel im Jänner“ und „Temperaturmittel im Juli“ ergaben sich 73 Klimafacetten, welche zu 33 Klimabereichen bzw. zu den 6 Klimatypen Oberdeutscher-, Pannonischer-, Illyrischer-, Submediterranean beeinflusster-, Subalpiner- und Alpiner Klimatyp zusammengefasst wurden. (Zwittkovits, 1983)

2.1.2 Naturräumliche Einheiten

Ein weiterer Ansatz für die Gliederung Österreichs waren die naturräumlichen Einheiten zur Ausweisung von Natura 2000-Gebieten nach Sauberer et al. (1995) (Abbildung 1). Die Regionsdefinition verwendet großräumige Naturraumabgrenzungen, basierend auf den Faktoren Klima und Geologie, und darauf basierend aufgrund von biogeographischen und arealkundlichen Überlegungen sowie Kulturlandschaftsentwicklungen.

Die Abgrenzung der großräumigen außeralpinen Naturräume in nördliches Granit- und Gneishochland, nördliches Alpenvorland, Pannonische Flach- und Hügelländer und Südöstliches Alpenvorland sind weitgehend unbestritten. Größere Abgrenzungsprobleme gibt es jedoch vor allem an den Übergangszonen der Gebirgsränder.

Auch die Untergliederung der Alpen basiert auf der groben geologischen Dreiteilung der Alpen (nördliche Flysch- und Kalkalpen, vorwiegend silikatische Zentral- und Schieferalpen, vorwiegend karbonatische Südalpen).

Die Nordalpen wurden hierbei aus arealgeographischen Überlegungen in die Mittleren und Westlichen Nordalpen sowie die Östlichen Nordalpen aufgespalten.

Die Südalpen blieben als eine Einheit erhalten. Die Zentralalpen wurden nach physiogeographischen Aspekten in die Zentralalpen - zentraler Teil mit vorwiegend Hochgebirgscharakter und die Zentralalpen - südöstlicher Teil mit Mittelgebirgscharakter unterteilt (Schwarz, 2002).

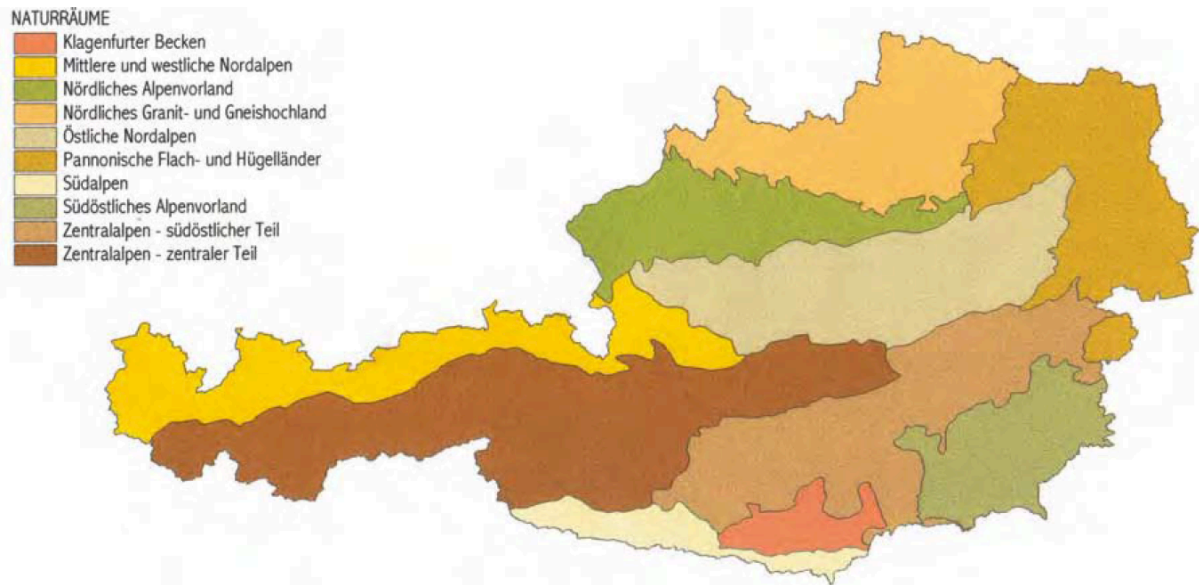


Abbildung 1: Die naturräumliche Gliederung Österreichs (aus: Sauberer und Grabherr, 1995)

2.2 USLE und RUSLE

Die Universal Soil Loss Equation (USLE, Wischmeier und Smith, 1978) gilt als eine der wichtigsten Entwicklungen im Boden- und Wasserschutz im 20. Jahrhundert. Es handelt sich um eine empirische Technologie, die weltweit eingesetzt wird, um die Bodenerosion durch Regentropfeneinschlag und Oberflächenabfluss zu schätzen. Die Entwicklung der USLE war das Ergebnis jahrzehntelanger Experimente und 10000 Plotstunden zur Bodenerosion, die von Universitätsfakultäten in den Vereinigten Staaten durchgeführt wurden. (Schwertmann et al., 1987)

Die vollständige USLE wurde erstmals 1965 im USDA Agriculture Handbook 282 veröffentlicht. Eine aktualisierte Version wurde 1978 im Agriculture Handbook 537 veröffentlicht. Die Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) ist eine computergestützte Version der USLE mit Verbesserungen in Bereich der Faktorschätzungen und wurde 1992 erstmals zur öffentlichen Nutzung freigegeben.

Die USLE wurde am USDA National Runoff and Soil Loss Data Center an der Purdue University in einer nationalen Initiative unter der Leitung von Walter H. Wischmeier und Dwight D. Smith entwickelt. Die USLE basiert auf umfangreichen Erosionsdaten aus Studien in den USA und bietet einen schnellen Ansatz zur Abschätzung des langfristigen durchschnittlichen jährlichen Bodenverlustes (A). USLE geht von den folgenden grundlegenden Beziehungen aus:

Die Allgemeine Bodenabtragsgleichung ist:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Gleichung 1

Diese Gleichung beschreibt den Bodenabtragsprozess eines Feldes anhand einer Funktion von Klima, Boden, Länge und Neigung des Feldes, sowie Bodenbedeckung je nach Anbauzyklus und Feldfrucht sowie Schutzmaßnahmen.

Die Gleichung besteht aus sechs Faktoren:

R – Niederschlags- und Abflussfaktor;

K - Bodenerodierbarkeitsfaktor

L - Hanglängenfaktor;

S -Hangneigungsfaktor

C – Bodenbedeckungs- und Managementfaktor;

P - Bodenschutzmaßnahmenfaktor.

USLE war die erste empirische Erosionsgleichung, die nicht an eine bestimmte Region der Vereinigten Staaten gebunden war, daher auch der Name "Universal" Soil Loss Equation.

Die USLE wird in mehr als 100 Ländern eingesetzt, um Planungen für den Naturschutz durchzuführen, die Bodenerosion für die Entwicklung der Naturschutzpolitik zu bewerten und den Eintrag von Sedimenten zu schätzen. Es hat bereits dazu beigetragen Boden zu schützen und somit die Ernährungssicherheit zu gewährleisten.

In der folgenden Tabelle (

Abbildung 2) sind die Evaluierungsergebnisse von A. K. Tiwari (2001) abgebildet, welche zeigen, dass die Schätzungen der USLE ihre Berechtigung haben.

Sites	Plot Years	Av. Soil Loss (kg/m ²)	USLE Soil Loss (kg/m ²)	RUSLE Soil Loss (kg/m ²)
Bethany	90	5.77	2.38*	2.01
Castana	44	7.65	14.58	10.23
Clarinda	117	5.50	4.72	6.01
Clemson	6	5.79	8.18	8.36
Dixon Springs	96	2.09	2.05	2.18
Geneva	57	2.29	2.08	2.20
Guthrie	153	2.26	2.85	2.02
Hayes	88	0.31	0.67	0.47
Hollyspring	24	8.88	10.97	11.49
Ithaca	79	0.65	0.91	0.67
Lacrosse	234	6.60	5.44	4.68
Madison	72	1.71	1.20	1.29
Marcellus	79	2.40	3.23	1.72
Morris	40	1.80	1.88	1.91
Presque	45	1.99	1.50	1.85
Raleigh	10	0.71	2.50	1.47
Statesville	72	5.41	11.99	7.25
Temple	105	2.88	2.62	3.14
Tifton	64	0.36	0.76	0.54
Watkinsville	119	3.21	2.88	1.30

Abbildung 2: Evaluierungsergebnisse der Erosionsmodelle (A. K. Tiwari, 2001)

2.3 R-Faktor

Der für den R-Faktor in der Bodenabtragungsgleichung verwendete Wert muss den Effekt des Regentropfenaufpralls quantifizieren sowie auch Informationen über die Menge und Geschwindigkeit des Abflusses die mit dem Regen zusammenhängt beinhalten (Wischmeier und Smith, 1978). Generell ist der R-Faktor der Mittelwert der Erosivität der Niederschläge über möglichst viel Messjahre.

2.3.1 Berechnung nach Wischmeier und Smith (1978)

Der R-Faktor entspricht laut der Definition von Wischmeier den Wert von EI₃₀. Das ist für ein gegebenes Regenereignis das Produkt der gesamte kinetische Ereignisenergie (E) aufsummiert und multipliziert mit der maximalen 30-minütigen Intensität (I₃₀). Wobei E in Hundert Fuß-Tonnen pro Hektar und I₃₀ ist in Zoll pro Stunde (in/h) gerechnet wird. Die Regenenergie selbst ist kein guter Indikator für das erosive Potenzial. Die Energie gibt die Menge der Niederschläge und Abflüsse an, aber ein

langer, langsamer Regen kann denselben Energiewert haben wie ein kürzerer Regen bei viel höherer Intensität. Die Erosion nimmt mit zunehmender Intensität zu. Das Produkt E_i ist ein statistischer Term der die Gesamtenergie und Spitzenintensität für jedes einzelne Ereignis abbildet.

Die I30 ist von Regenschreibern auszuwerten. Generell wäre die kinetische Energie des Ereignisses mittels Masse und Geschwindigkeit der Regentropfen zu berechnen nur sind beide dieser Faktoren schwer bestimmbar deswegen wird auf empirische Zusammenhänge zurückgegriffen.

Die Energie eines Regenereignisses ist abhängig von der Regenmenge und von der Intensität. Die mittlere Regentropfengröße steigt mit der Regenintensität, und die Endgeschwindigkeiten der frei fallenden Wassertropfen nehmen mit zunehmender Tropfengröße zu. Da die Energie einer bestimmten Masse in der Bewegung proportional zum Quadrat der Geschwindigkeit ist, steht die Niederschlagsenergie in direktem Zusammenhang mit der Regenintensität. Die Beziehung wird durch die empirische Gleichung von Wischmeier beschrieben.

$$i_i = \frac{\nabla V_i}{\nabla t_i}$$

Gleichung 2

$$e_i = (11.89 + 8.73 * \log_{10}(i_i)) * N_i * 10^{-3}$$

Gleichung 3

V_i = Niederschlagsvolumen

e_i = kinetische Energie im Zeitintervall i in kJ/m^2 ,

N_i = Niederschlag während dem Zeitintervall i in mm

i_i = Intensität während dem Zeitintervall i in mm/h

In der Originalgleichung ist die kinetische Energie e_i in Fuß Tonnen pro Hektar Zoll und Intensität i_i in Zoll pro Stunde gerechnet. Wischmeier und Smith (1978) führen an, dass die Regentropfengröße ab einer Intensität grösser 3 Zoll pro Stunde (bzw. 76 mm h⁻¹) nicht mehr zunimmt. Das führt dazu, dass die kinetische Energie pro Fläche und Niederschlagseinheit nicht mehr zunimmt. Der kritische Punkt bei der Berechnung nach dieser empirischen Formel ist die Optimierung dieses Zusammenhangs nur für eine Messstelle in Washington DC Van Dijk (2002).

Für jedes Messintervall wird nun wie in Gleichung 4 beschrieben mit der jeweiligen Niederschlagsmenge des Intervalls multipliziert und für das Ereignis aufsummiert.

$$E = \sum_{i=1}^m e_i \Delta V_i$$

Gleichung 4

Als Grenzen für ein erosives Ereignis sind bei Wischmeier sind 12.7 mm als Niederschlagsmenge oder 24.5 mm/h maximale 15-minütige Intensität angeführt. Diese werden in dieser Arbeit übernommen um die Vergleichbarkeit mit dem USLE Programm RIST sicherzustellen.

Abschließend kann nun für die jeweiligen Ereignisse mit der Information über Energie und Intensität der R-Faktor bestimmt werden und die Jahre gemittelt werden.

$$R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[\sum_{k=1}^m (E)_k (I_{30})_k \right]$$

Gleichung 5

2.3.2 Berechnung nach Schwertmann et al. (1987)

Schwertmann übernimmt die Energieformel von Wischmeier und Smith und formuliert sie für metrischen Einheiten um.

$$e_i = (11.89 + 8.73 * \log_{10}(i_i)) * N_i * 10^{-3} \quad \text{für } 0.05 < i_i < 76.2 \text{ mm/h}$$

$$e_i = 28.3 * N_i * 10^{-3} \quad \text{für } i_i > 76.2 \text{ mm/h}$$

Gleichung 6

e_i = kinetische Energie im Zeitintervall i in kJ/m^2 ,

N_i = Niederschlag während dem Zeitintervall i

i_i = Intensität während dem Zeitintervall i in mm/h

Weiteres werden die Grenzen, ab denen ein Ereignis als erosiv gilt, auf 10 mm Niederschlagsmenge und 10 mm/h Intensität herabgesetzt. Aufgrund dessen

argumentierten sich die unterschiedlichen Niederschlags und Bodenverhältnisse in Bayern im Vergleich zu den USA.

2.3.3 Berechnung nach Brown und Foster (1987)

Diese Energieberechnungsformel wurde mit einer größeren Datengrundlage bestimmt und ist exponentiell. Dies hat den Vorteil, Ereignisse mit geringeren Intensitäten besser beschreiben zu können.

Rennard et al. (1994) empfiehlt die Formel zur Berechnung der RUSLE

$$e_i = 0.29 (1 - 0.72 * e^{-0.05 i_i})$$

Gleichung 7

e_i = Regenfallenergie pro Messintervall in MJ ha⁻¹ mm⁻¹ und

i_i = Niederschlagsmenge pro Messintervall pro Stunde

2.3.4 Energieberechnung nach Van Dijk (2002)

Der Ansatz nach Van Dijk hat ebenfalls eine exponentielle Form (Gleichung Nr.8) die den Vorteil hat Ereignisse mit geringeren Intensitäten besser beschreiben zu können. Die Parameter der Funktion sind gemittelte Werte aus Parametern von sieben Arbeiten von zwölf Orten und wurde mit Messungen eines Joss-Waldvogel Distrometers in Gunnedah (NSW, Australien) getestet. Diese Formel wurde mit den Ergebnissen der Formeln nach Brown und Foster (1987) sowie Wischmeier und Smith (1987) verglichen. Für diese Formel sind keine Grenzen der Intensität vorhanden.

$$e_r = 28.3 (1 - 0.52 * e^{-0.042 i_i})$$

Gleichung 8

e_i = Regenfallenergie pro Messintervall in kJ m⁻² mm⁻¹ und

i_i = Niederschlagsmenge pro Messintervall pro Stunde

Momentan unveröffentlichter Forschungsergebnisse nach scheint die Energieformel nach Van Dijk auch die Charakteristik der Niederschläge in Österreich besser zu beschreiben Klik (2018).

Aufgrund der Entwicklungen der Energieformeln und der Anwendbarkeit an die Österreichische Situation wurde für diese Arbeit die Energieformel nach Van Dijk für die Berechnung des R-Faktors ausgewählt.

3. Daten und Methoden

3.1 Vorhandene Daten

Für die Auswertung standen Daten von 142 Messstationen (Abbildung 3) für Niederschlag und Temperatur des hydrographischen Dienstes zur Verfügung. Das wesentliche Ziel ist es Schneefälle auszuschließen, da diese nicht zur Erosion beitragen. Es werden nur Datensätze verwendet, zu denen auch Temperaturdaten vorhanden sind und das auch nur für den Zeitraum der verfügbaren Temperaturdaten. Der Vergleichszeitraum wurde mit 1996 bis 2016 festgesetzt und es wurden nur die Daten in diesem Zeitraum ausgewertet, auch wenn die verfügbare Zeitreihe aufgrund der mangelnden Temperaturdaten nicht über 20 Jahre vollständig war.

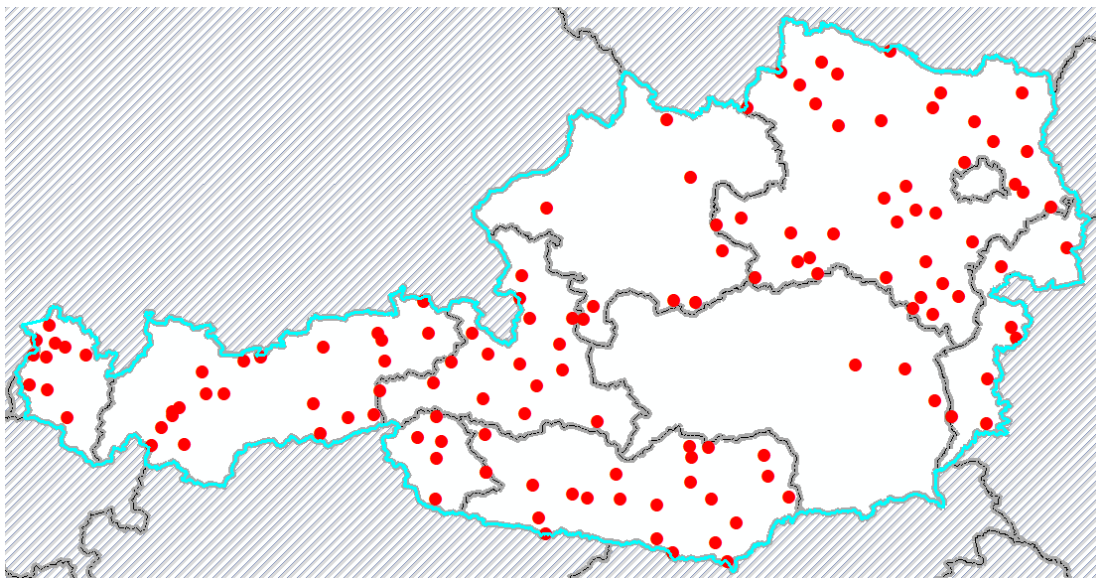


Abbildung 3: Darstellung der räumlichen Verteilung der ausgewerteten Messstationen in Österreich

Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, stehen für die Steiermark 3 und für Oberösterreich 5 Messstationsdaten zur Verfügung, welche eine ausreichend lange Messzeitreihe von 20 Jahren abbildeten.

3.1.1 Niederschlagsdaten

3.1.1.1 Hydrographischer Dienst

Die verwendeten Niederschlagsdaten sind 5 Minuten Intervallwerte in mm auf zwei Nachkommastellen der 142 Messstellen des hydrographischen Dienstes des jeweiligen Landes. Da manche der Messstellen nicht die notwendige Messauflösung besitzen, sind die Datensätze als interpoliert anzunehmen. Es wurden nur jene Messstellen verwendet, die über Daten für den gewählten Referenzzeitraum von 1996 bis 2016 verfügten.

In die Auswertung wurden schließlich 134 Stationen nach der Prüfung der Daten auf Plausibilität und Fehler mit einbezogen. Diese Prüfung bestand darin, sich alle Niederschlagsergebnisse nach der Berechnung als Zeitreihe graphisch als Niederschlagsmengenzeitreihe auszugeben und diese auf grobe Unregelmäßigkeiten zu prüfen. Um Messfehler auszuschließen wurden die zwei größten Ereignisse jeder Messreihe nicht in der Berechnung des mittleren R- Faktors die aktuellen Standorte berücksichtigt.

Umstellungen der Messstationen an andere Standorte wurden nicht berücksichtigt. Die Standorte der Messstellen zur GIS Auswertung sind in den Metadaten der jeweiligen Datensätze zu finden. Die Auswertung der Metadaten wurden mit der Programmiersprache ‚R‘ durchgeführt.

3.1.1.2 INCA Daten

Zusätzlich zu den Daten der Stationen wurden die bereits räumlich interpolierten langjährigen mittleren Niederschläge von 2003 – 2015 (Abbildung 4) von „Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis“ kurz „INCA“ zur Überprüfung der errechneten Werte und andererseits zur Modellierung der Isoerodentenkarte verwendet.

Jährlicher Niederschlag

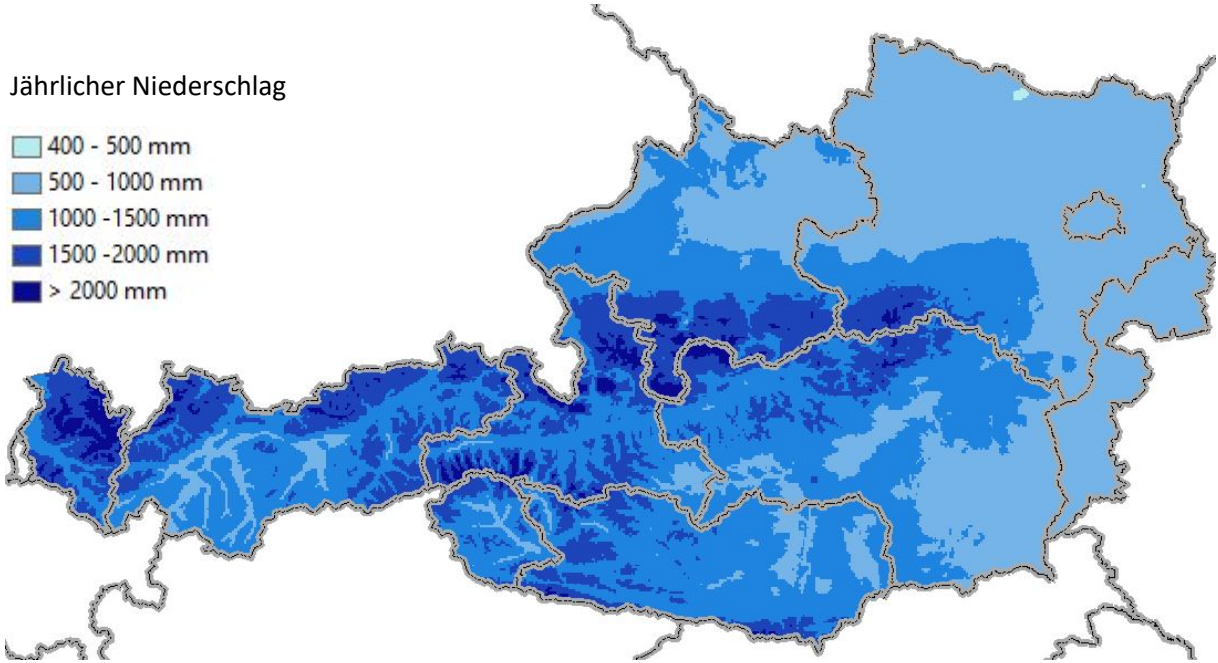
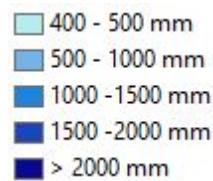


Abbildung 4: Verteilung der mittleren jährlichen Niederschläge innerhalb Österreichs (INCA 2003 – 2015).

3.1.2 Temperaturdaten

Die verwendeten Temperaturdaten sind Tagesmitteltemperaturen in C° Grad Celsius mit einer Nachkommastelle der jeweiligen Messstelle des hydrographischen Dienstes des jeweiligen Landes. Zu diesem Zweck wurden zu den jeweiligen Niederschlagsmessstellen die passende Temperaturmessstelle mittels HZB-Nummer Abgleich im R-Script gesucht.

3.2 Methodisches Vorgehen zur Datenauswertung

1. Einlesen der Metainformation: HZB-Nummer, Stationsname, Koordinaten, Geodätische Höhe
2. Einlesen der Niederschlagsdaten der Station
3. Ausrechnen der Intensität und Energie für jedes Messintervall von 5 Minuten
4. Definieren der Ereignisse: Zeitlicher Abstand zwischen Messintervall größer als 6h

-
5. Nachschärfen der Ereignisabgrenzung: Wenn innerhalb von 6h in Summe weniger als 1.27 mm Regen fällt beginnt danach ein neues Ereignis. Die Zeit von 6h wurde hierbei mit 72 Reihen in der Datenliste definiert.
 6. Berechnung der Niederschlagssumme, Dauer und Energie jedes Ereignisses
 7. Ausschluss aller Ereignisse mit einer Niederschlagsmenge unter 12.7 mm mit der Ausnahme von Ereignissen mit 24.5 mm/h Intensität
 8. Berechnung des maximalen 30-Minütigen Intensität der Ereignisse
 9. Berechnung des R-Faktors für jedes Ereignis
 10. Zuordnung der mittleren Tagestemperatur zu Ereignisbeginn
 11. Ausschließen der Ereignisse vor 1996, bei einer Lufttemperatur von weniger als 0°C und die 2 größten Ereignisse
 12. Berechnung des langjährigen jährlichen mittleren Niederschlags unter Berücksichtigung aller Ereignisse
 13. Berechnung der langjährigen jährlichen Monatsmittelwerte des R-Faktors, der Niederschlagsenergie
 14. Berechnung der mittleren Tagessummenprozent des R-Faktors aufsummiert über 365 Tage
 15. Ausgabe einer Ereignisliste über die 20 Jahre für den jeweiligen Standort
 16. Ausgabe der Monatssummenprozente der Niederschläge und des R-Faktors
 17. Ausgabe des Ergebnisfiles
 18. Kontrolle der Ergebnisse mittels R-Plots der Ereigniszeitreihen und entsprechende Auslese von Datensätzen deren Datenmenge oder Messfehler eine grobe Auswirkung auf den Mittelwert hat.
 19. Erstellung von Karten und Regressionen mit ArGis und Excel

3.3 RIST

Das „Rainfall Intensity Summarization Tool“ kurz RIST 3.98 ist ein auf WINDOWS basierendes Programm zur Auswertung von Niederschlagsaufzeichnungen (USDA, 2018). Es errechnet aus eine Niederschlagszeitreihe die notwendigen Eingangsparameter für RUSLE, Water Erosion Prediction Project (WEPP), Soil and Water Assessment Tool (SWAT) and Annualized Agricultural Non-Point Source Pollution (AnnAGNPS). Die Ergebnisse zeigen jedes erosive Ereignis mit Dauer und

der maximalen Intensität für 5, 10, 15, 30, und 60 Minuten, der Kinetisch Energie, und EI30.

Bei diesem Programm lässt sich allerdings nur die Niederschlagsdatenreihen einzeln auswählen und erzeugt nur ein Ergebnis –File für den jeweiligen Datensatz. Zusätzlich kommen aufgrund von Computer-Abstürzen und anderen Fehlern weitere Verzögerungen hinzu.

Dies bedeutet, dass der Zeitaufwand zur Auswertung von 140 Messstationen unverhältnismäßig und fehleranfällig wäre. Zusätzlich wären spätere Änderungen mit einem weiteren, sehr hohen Zeitaufwand verbunden. Zusätzliche Auswertungen von den Metadaten der Datenreihen wären ebenfalls sehr zeitintensiv und fehleranfällig. Zusätzlich werden im RIST je nach Definition der Ereignisse und der Grenzwerte ebenso die mittleren Niederschlagsmengen nur aus diesen Extremereignissen gebildet. Dennoch ist die Anwendung für eine geringe Anzahl von Datensätzen zuverlässig. (Thamiris 2018) und dient dem für diese Arbeit verwendeten R-skript als Vorlage und Kontrolle.

Wie in Abbildung 5 zu sehen ist, werden in RIST, wie auch im R-Skript, die selben Werte zu der Ereignisdefinition zur Bestimmung erosiver Ereignisse verwendet. Der Hauptgrund für die Verwendung eines eigenen Skriptes war die Vorgabe, für die österreichische R-Karte Schneefall-Ereignisse auszuschließen.

Abbildung 5: RIST 3.98 Darstellung der Kriterien zur Ereignisdefinition und Energieformel.

3.4 Datenauswertung mittels R-Skript

Um mit dem Umfang der der Stationsanzahl umzugehen, wurde ein Skript in der Programmiersprache ‚R‘ erstellt, welches die R-Faktoren (Regenabtrag, nicht die Programmiersprache) auswertet. Das Skript erstellt ein Textfile in dem zunächst die Metadaten: HZB-Nummer, Stationsname, Koordinaten und Geodätische Höhe der Datensätze eingelesen werden und danach die Berechnung der R-Faktoren durchgeführt wird. Zur Erinnerung: Um die mittleren Niederschläge mit RIST auszuwerten, bräuchte es mit RIST einen kompletten, zusätzlichen und manuell durchgeführten Durchlauf jedes Files, noch dazu ohne die geforderten Minimal-Kriterien für die jeweiligen Ereignisse.

Der für diese Arbeit entscheidende Punkt ist die Differenzierung zwischen Niederschlag und Schneefall. Für jedes Ereignis wurde die Tagesmitteltemperatur zu dessen Beginn der jeweiligen Messstelle zugeordnet. Ereignisse bei einer

Tagesmitteltemperatur unter 0°C wurden bei der R-Faktormittelung nicht berücksichtigt.

Weiters wurden Jahre, für die keine Niederschlagsdaten vorhanden waren, nicht in die Mittelung miteinbezogen, um größere Mittelungsfehler zu vermeiden.

3.5 Datenprüfung

Von jeder Messstation wurden die Ereignisse als Zeitdiagramm über die Zeit von 20 Jahren dargestellt. Anschließend wurden die Ergebnisse kontrolliert (Abbildung 6). Eine Liste der ausgewerteten Ereignisse befindet sich im Anhang. Generell wurden die 2 größten Ereignisse nicht in die Mittelberechnung miteinbezogen, da diese das typische jährliche Mittel verzerren würden. Oft befinden sich einzelne Ereignisse in den Datensätzen, bei denen vermutlich ein Messfehler passiert ist, da sie mehr Niederschlagsmengen enthalten wie manche Jahre in der Summe.

Häufig wurde auch in den letzten 20 Jahren die Messstation umgestellt und so die Charakteristik der gesammelten Daten verändert. Diese Änderungen wurden nicht speziell behandelt und fließen so in die gemittelte Erosivität mit ein. Dies kann bei manchen Messstellen zu unterschätzten oder überschätzten Werten geführt haben.

Einige Datensätze haben mehrjährige Datenlücken. Diese wurden, sofern das Ergebnis nicht außergewöhnlich verzerrt wurde, mitberücksichtigt, oder es wurde der gesamte Datensatz aus der Modellierung ausgeschlossen. Die betrifft besonders die Messstationen Klagenfurt, Wald, Wildkogel, Bodental, Zell-Pfarre, Schwarza im Gebirge, Schönenbach, Naßfeld, Mitterhof und Wf-Taschachbach. Es bleibt hier also ein Interpretationsspielraum darüber, ab wann das Ergebnis verzerrt wurde und wann nicht. Zu beobachten ist es jedoch, dass sich einige Ausreißer bei der Regressionsanalyse auf Mittelungsproblematiken zurückführen lassen. Um alle Datensätze gleich zu behandeln, wurde im Folgenden auf weitere Eingriffe in den Mittelungsprozess verzichtet.

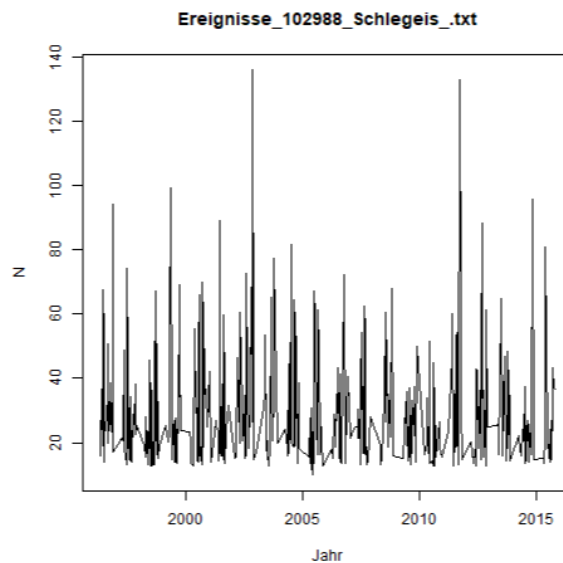


Abbildung 6: Darstellung der Niederschlagsmengen der Ereignisse als Zeitreihe (Hier exemplarisch die Ereignisse von der Messstation Schlegeis. Die Y-Achse beschreibt die Niederschlagsmenge [mm])

3.6 Gliederung von Österreich zur Bestimmung von Erosivitätsregionen

Zur detaillierteren Modellierung und zur Abbildung lokaler Unterschiede wurde versucht, Regionen abzugrenzen, in denen der Zusammenhang des mittleren jährlichen Niederschlags und der Erosivität stärker ausgeprägt ist als der gesamtösterreichische Zusammenhang.

Die Zusammenhänge basieren auf lokalen Klimabedingungen und lokalen Niederschlagscharakteristiken. Es ist das Ziel dieser Arbeit, räumliche Zusammenhänge zu finden und auf Basis von klimatischen und räumlichen Charakteristiken abzugrenzen. Auf Grund der begrenzten Anzahl an Messstationen war es notwendig, auf eine grobe Gliederung zurückzugreifen. Anders wären aussagekräftige Regressionsanalysen nicht möglich gewesen.

So wurden auf Basis der in Kapitel 2.3 ausgeführten Gliederungen Österreichs Regressionsanalysen für mittleren jährlichen Niederschlag und R-Faktor durchgeführt. Weil dies allein nicht zufriedenstellende Lösungen ergaben wurden die Bereiche zu den Erosivitätsregionen zusammengefasst um die Modellierungsergebnisse der Erosivität zu optimieren.

4. Ergebnisse

4.1 Plausibilitätskontrolle anhand der RIST Ergebnisse

Um sicherzustellen, dass die Ergebnisse des R-Skripts des Autors aussagekräftig sind, wurden sie mit den Ergebnissen des „Rainfall Intensity Summarization Tool“ kurz RIST verglichen. Bei drei Messstationen wurden die Ergebnisse überprüft. Es wurden Abweichungen in der Niederschlagsberechnung von ca. 1% festgestellt.

Als Grund dafür werden Rundungsfehler vermutet. Zum Beispiel wurden bei Ereignissen die in sechs Stunden nur 1.27 mm aufsummierten Niederschlag aufwiesen nach diesen sechs Stunden ein neues Ereignis definiert. Die Zeitdifferenz von 6 h wurde innerhalb der Ereignisse mittels 72 5-Minuten Intervallen definiert. Die Niederschlagsmengen waren in einer indizierten Tabelle abgelegt, in der jeder Index einem Zeitintervall von fünf Minuten entsprach.

Hierbei könnte es bei fehlenden Daten kürzer als 6 Stunden zu systematischen Rundungsfehlern und damit zu den Abweichungen gegenüber der RIST Auswertung gekommen sein, weil RIST mit dieser Problematik möglicherweise etwas anders umgeht. Da der RIST Quellcode nicht zur Verfügung steht, konnte diese Hypothese leider nicht überprüft werden.

Für die folgenden drei Abbildungen wurde beispielhaft die Messstation Wulkaprodersdorf gewählt.

Um in RIST die mittleren Niederschlagssummen zu erhalten, ist ein eigener Rechendurchlauf mit der Berücksichtigung aller Ereignisse notwendig da sonst das Mittel nur über die Extremereignisse gerechnet wird (Tabelle 1). Die Auswertung für die mittleren Niederschläge ist in Tabelle 2 dargestellt. Die Unterschiede zwischen den Ergebnissen des EI 30 in Tabelle 1 und den Ergebnissen des R-Skripts (Tabelle 3) beruhen in der Verwendung des Zusammenhangs zwischen Intensität und Energie nach Van Dijk et al (2002), die noch nicht in RIST implementiert sind.

Tabelle 1: Darstellung der Ergebnisse aus RIST für die Messstelle Wulkaprodersdorf unter denselben Ereigniskriterien die auch in dieser Arbeit verwendet werden und der Energieformel nach Brown und Foster(1987)).

RUSLE Monthly Averages for Period of Data Processed.
Reporting Period: 01/1996 - 12/2015

MONTH m	PRECIP mm	ENERGY MJ/ha	EI30 MJ*mm/ha*h	Erosivity_Density MJ/ha*h
1	25.96	1.10	4.25	0.16
2	21.50	0.90	4.06	0.19
3	36.71	2.25	11.54	0.31
4	32.90	1.48	15.31	0.47
5	60.62	5.22	56.43	0.93
6	71.61	7.59	140.43	1.96
7	77.54	8.81	192.78	2.49
8	69.70	8.34	146.07	2.10
9	66.47	6.81	86.87	1.31
10	38.19	2.73	20.39	0.53
11	33.66	1.88	12.38	0.37
12	24.65	1.12	3.25	0.13
Total	559.51	48.20	693.78	1.24

Tabelle 2: Ergebnisse des R-Script für die Messstelle Wulkaprodersdorf

Monat	Monatsmittel EI30 [MJ*mm/ha*h*a]	Monatsmittel Niederschlag [mm]
1	3.93	25.85
2	2.17	21.58
3	14.24	37.93
4	14.78	30.61
5	40.96	59.07
6	128.16	71.11
7	196.71	79.09
8	135.71	68.60
9	89.30	65.68
10	23.91	40.31
11	14.56	35.00
12	3.78	25.45
Summe	668.20	560.28

4.2 Ergebnisse der Erosivitätsberechnung

In den folgenden Abbildungen sind die Ergebnisse der Berechnung mittels ArcGis räumlich dargestellt. In Abbildung 7 sind die Ergebnisse des mittleren jährlichen R-Faktors als farbliche Punkte und der mittlere jährliche Niederschlag als Karte dargestellt. Besonders im Nordalpinen Bereich und bei den Karawanken zeigt sich eine besonders hohe Erosivität. Besonders geringe Erosivität zeigt sich in den inneralpinen Trockentälern in Tirol sowie Marchfeld und Wiener Becken. Auch hier zeigt sich der Zusammenhang zwischen jährlichen mittleren Niederschlag und Erosivität, da die Erosivität höher ist wenn auch die Niederschlagsmengen höher sind (Dunkelblaue Bereiche).

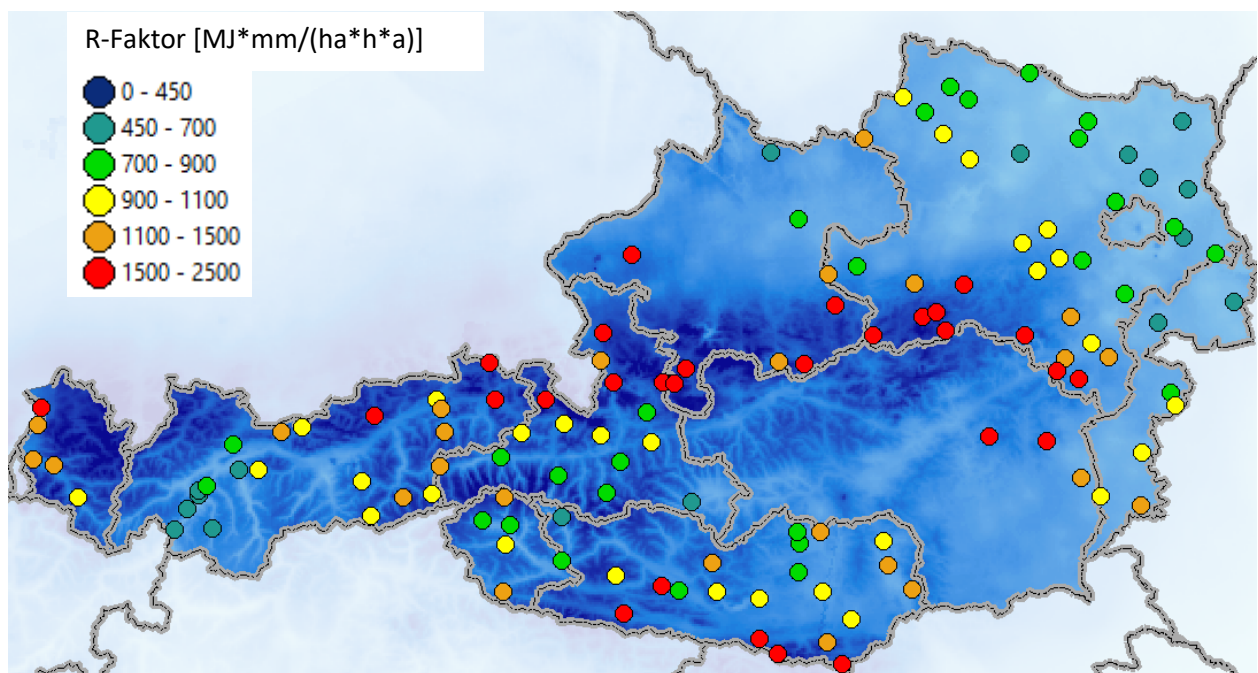


Abbildung 7: Ausgerechnete mittleren Jährlichen Erosivität [$\text{MJ} \cdot \text{mm} / (\text{ha} \cdot \text{h} \cdot \text{a})$] der Messstellen in Österreich. Hinterlegt mit den mittleren Jährlichen Niederschlägen (INCA 2003 – 2015)

Die Erosivitätswert ist das Produkt aus der Energie des Niederschlagsereignisses und der maximalen 30-Minütigen Intensität. In den folgenden beiden Karten sind die mittlere jährliche Energie (Abbildung 8) und der mittlere jährliche I30 (Abbildung 9) dargestellt um den Charakter der lokalen Erosivität besser zu verstehen.

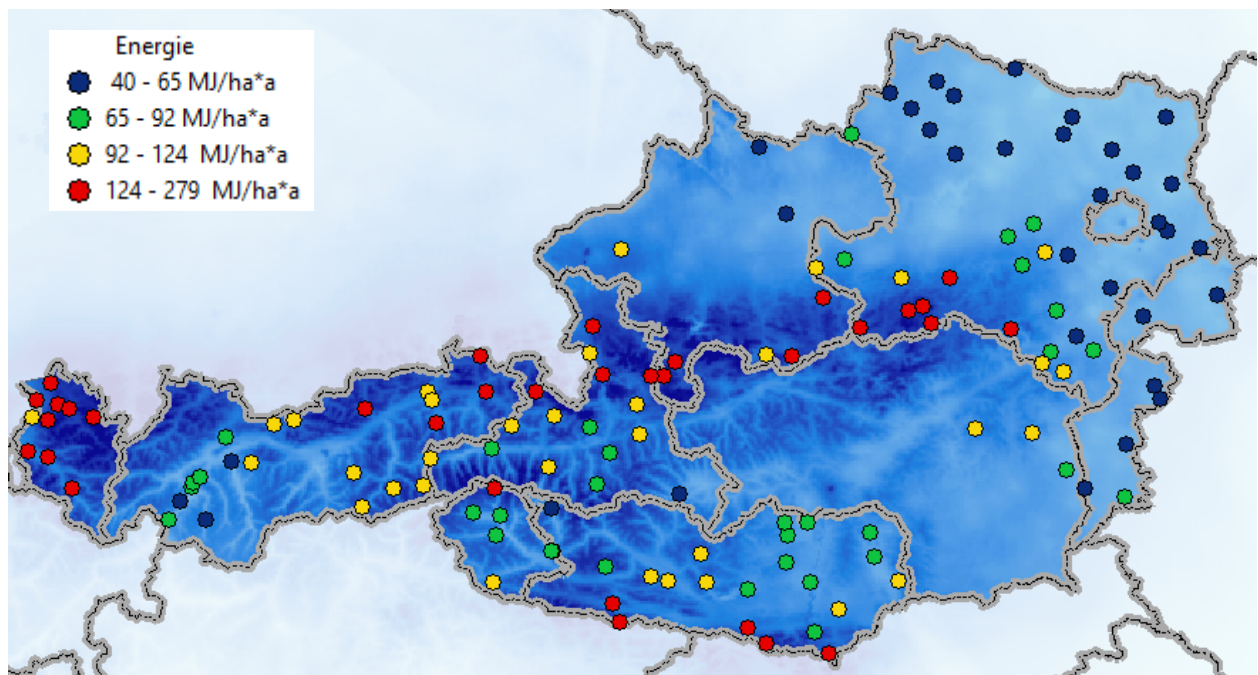


Abbildung 8: Darstellung der mittleren jährlichen erosiven Energie [MJ/ha*a] der Niederschläge der Messstationen.

Das Alpenvorland unterscheidet sich deutlich bei der Energie der Niederschläge von den Alpen. Deutlich erhöhte Energie sind in den Nordalpen, Vorarlberg und an der südlichen Grenze von Kärnten.

Nicht überall, wo der der Erosivitätswert maximal ist, ist auch der Energiewert maximal. Zum Beispiel weisen die Niederschläge im Osten von Österreich im Verhältnis zum R-Faktor geringe Energie auf. Vor allem stechen die lokalen hohen Intensitäten der Niederschläge in der Region des Granit- und Gneishochlandes sowie in Südostösterreich heraus (Abbildung 9). Geringere Intensitäten der Niederschläge werde vor allem im Bereich der Zentralalpenzone beobachtet.

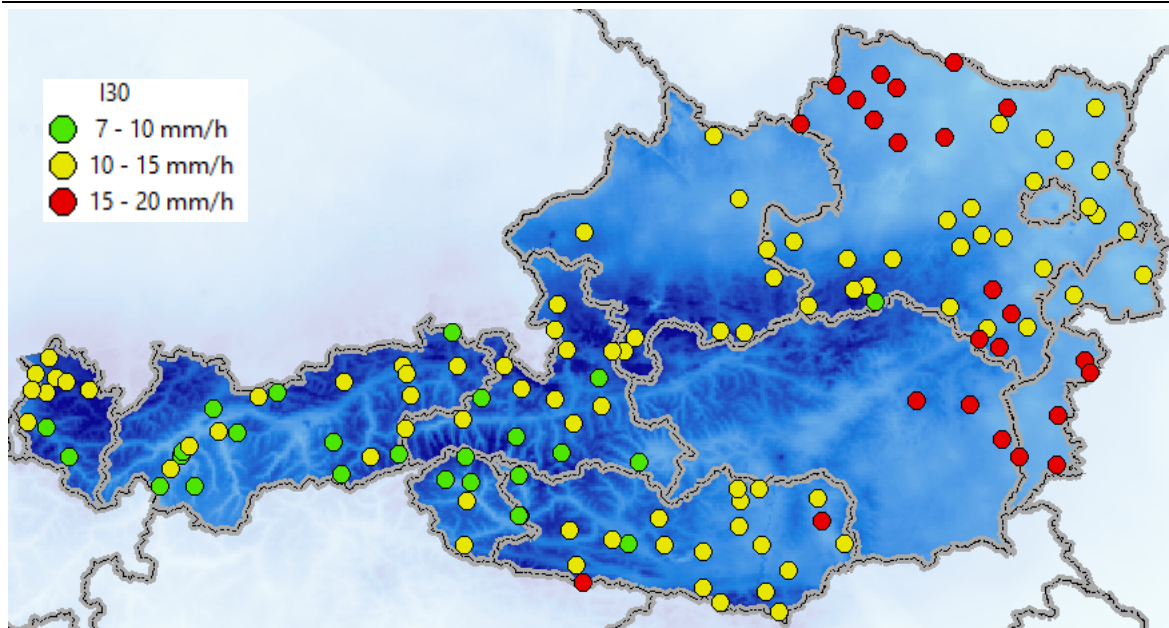


Abbildung 9: Darstellung des mittleren jährlichen I30 [mm/h] der erosiven Ereignisse der Messstationen.

Abschließend ist in Abbildung 10 die gemittelte erosive Niederschlagsereignisanzahl der Messstationen dargestellt. Im Alpenraum sind deutlich öfter hohe Ereigniszahlen zu beobachten als im Alpenvorland. In den Alpen weisen die Alpenränder die höchsten Ereigniszahlen auf. Dabei ist aber eine große Streuung der Anzahl zu sehen. Die wenigsten Ereignisse treten in den alpinen Trockentäler und Zentralalpen auf.

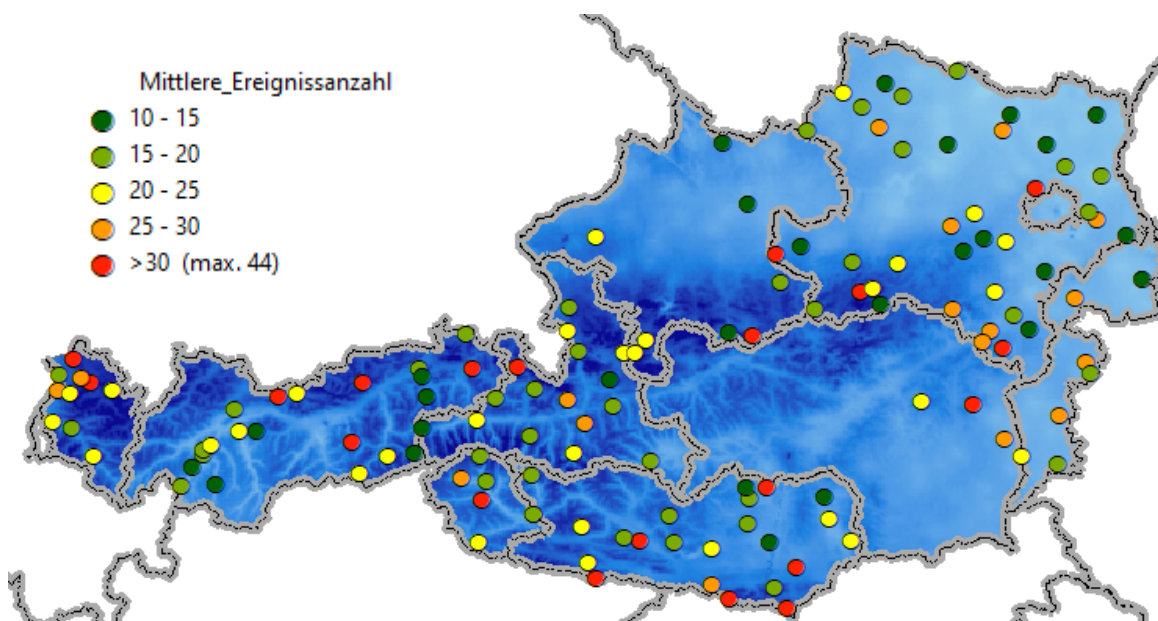


Abbildung 10: Darstellung der Anzahl der mittleren jährlichen erosiven Ereignisse.

4.3 Veränderung der Ergebnisse durch Ausschluss von Schneefällen

Das R-Skript überprüft die Tagesmitteltemperatur an den Ereignissen und die Ereignisse an denen die Tagesmitteltemperatur $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$. In der Abbildung 11 ist die Abweichung der Ergebnisse Prozentual am korrigierten Ergebnis dargestellt.

Es zeigt sich das außerhalb des Alpenraums der Fehler nicht größer als 5 % beträgt. In den Zentralalpen und Nordalpen zeigen sich höhere Fehlerwerte von 10 % bis über 20 %.

In Vorarlberg und anderen Alpenin Regionen sind ebenfalls Messstationen bei denen es in Winter keine Aufzeichnungen gibt.

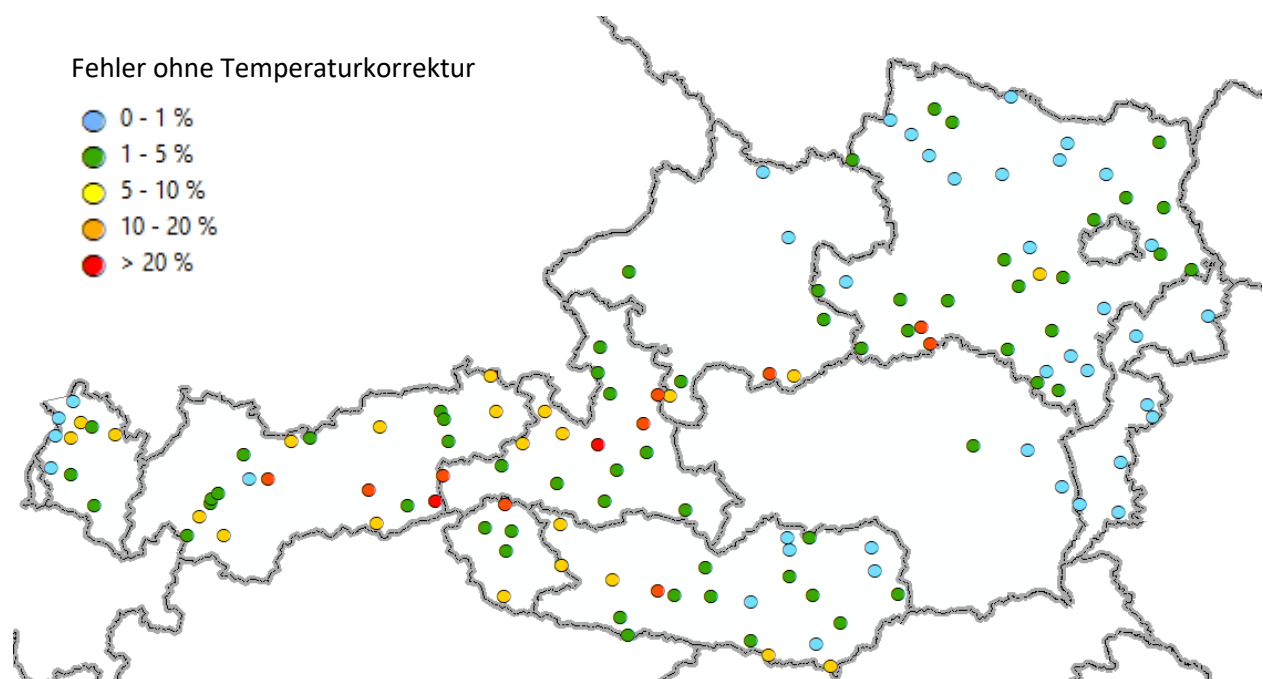


Abbildung 11: Prozentueller Fehler ohne Temperaturkorrektur.

4.4 Zusammenhang von R-Faktor und mittlerem jährlichen Niederschlag

Die folgende Abbildung zeigt den Zusammenhang zwischen mittlerer jährlicher Erosivität und mittlerem jährlich Niederschlag der vorliegenden Datensätze aus ganz

Österreich (Abbildung 12). Der Zusammenhang lässt sich (Blaue punktierte Line) mit einem R^2 von 0.73 abbilden.

Der Zusammenhang nach Strauß et al. (1995) (rot punktierte Line) beschreibt laut den Ergebnissen des Autors die Datensätze aus Tirol und Salzburg besser dennoch unterschätzt er doch andere Datensätze aus Österreich.

Der Zusammenhang nach P. Strauß unterschätzt die Werte Österreichweit obwohl Schneekorrektur nicht mit einfließt und eine tendenzielle überschätzende Energieformel verwendet. (V. Dijk 2002)

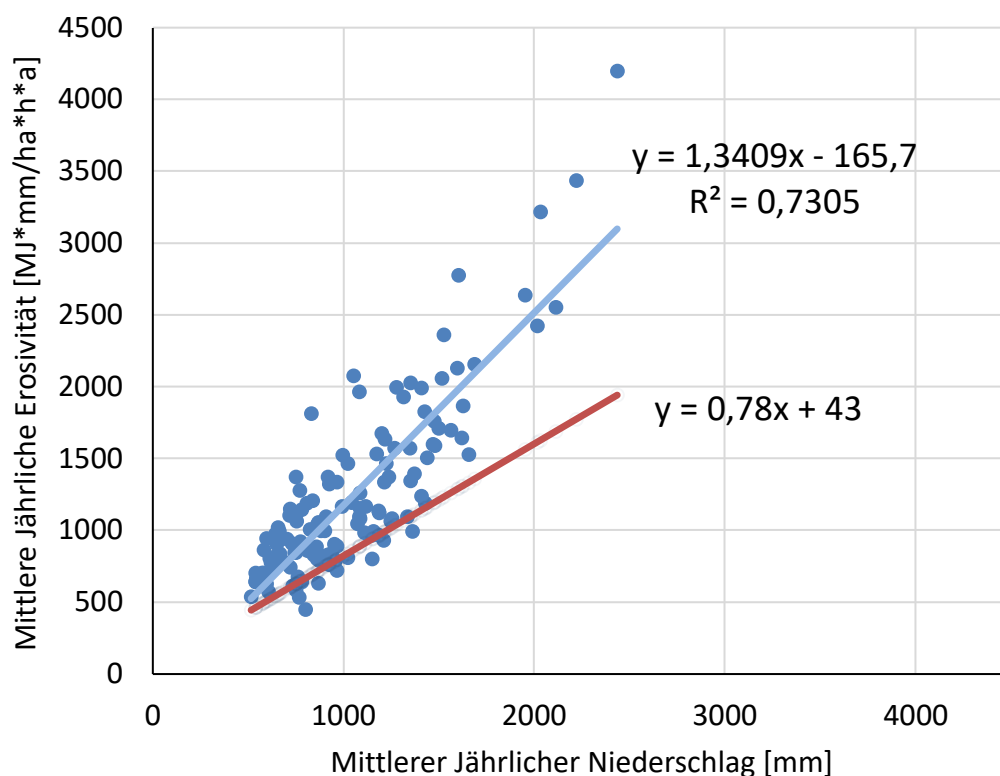


Abbildung 12: Darstellung der mittleren jährliche Erosivität in Abhängigkeit des mittleren jährlichen Niederschlags bei allen Messstationen. Zusammenhang mittels linearer Regression (blaue punktierte Linie). Die rote Linie ist der Zusammenhang nach Strauß et al. (1995)

4.5 Lokale Regressionen von R-Faktor und mittlerem jährlichen Niederschlag

4.5.1 Bundesländerspezifische Regressionen

Ein Ziel der Arbeit war es Regionen zu finden die sich durch einen guten Zusammenhang zwischen Niederschlag und Erosivität definieren.

Die Bundesländer sind räumlich nicht immer nach besonderen geologischen oder klimatischen Bedingungen abgegrenzt. Sie teilen Österreich in acht ähnlich große Bereiche. Wien wurde in dieser Arbeit nicht gesondert betrachtet und fällt in den Bereich Niederösterreich. Es zeigt sich in Abbildung 13 und Abbildung 14, dass allein sich durch die räumliche Nähe erstaunliche Zusammenhänge mit hohen Bestimmtheitsmaß feststellen lassen. Die Steiermark ist hier die Ausnahme, da nur Messstationen zur Verfügung standen.

In der folgenden Grafik ist der Zusammenhang zwischen dem mittleren jährlichen Niederschlag und der Erosivität der Messpunkte bundeslandspezifisch dargestellt (Abbildung 13). Die graue Linie ist die Regressionsgerade für gesamt Österreich. Für Tirol und Salzburg wird die Erosivität überschätzt. In Burgenland und der Steiermark werden die Werte am stärksten unterschätzt. Für Niederösterreich zeigen die Daten die größte Streuung aufgrund der räumlichen Vielfalt von den Alpen bis zur pannonischen Tiefebene.

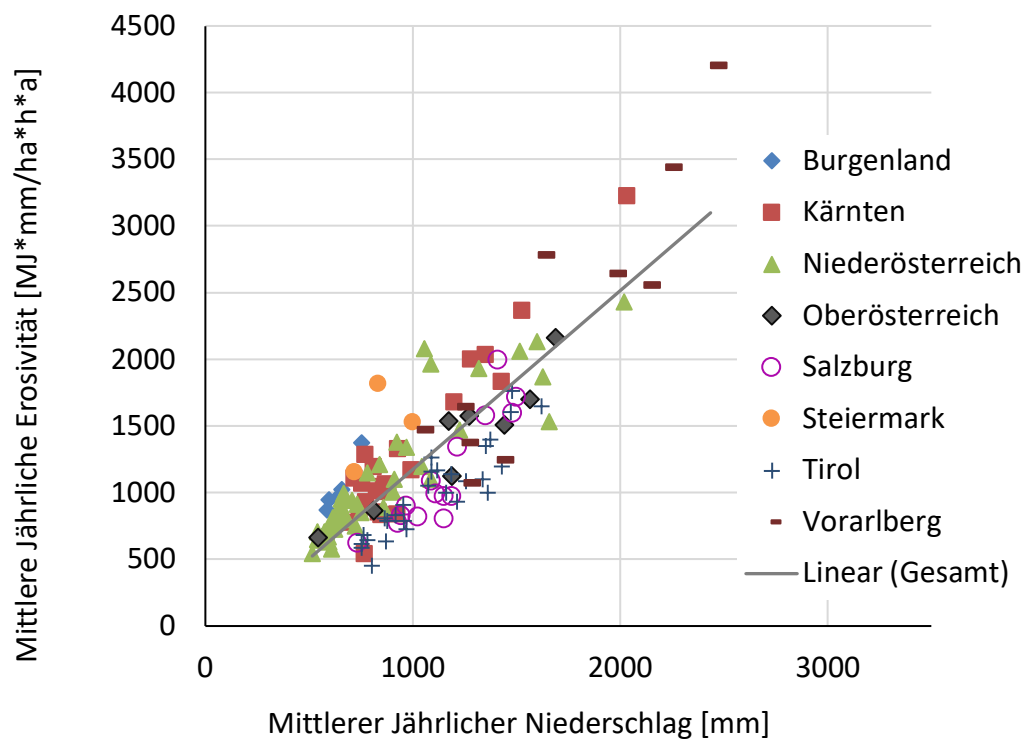


Abbildung 13: Mittlere jährliche Erosivität in Abhängigkeit des mittleren jährlichen Niederschlags für alle Messstationen nach Bundesland eingeteilt. Die graue Line ist der österreichweite Zusammenhang.

Es wurden für die einzelnen Bundesländer die Regressionen gebildet und mit der Geraden und dem Bestimmtheitsmaß in Abbildung 14 dargestellt. Bis auf die Steiermark erzielt werden überall erhöhte Bestimmtheitsmaße die über 80 % liegen und somit fast 7 % über den gesamtösterreichischen Zusammenhang.

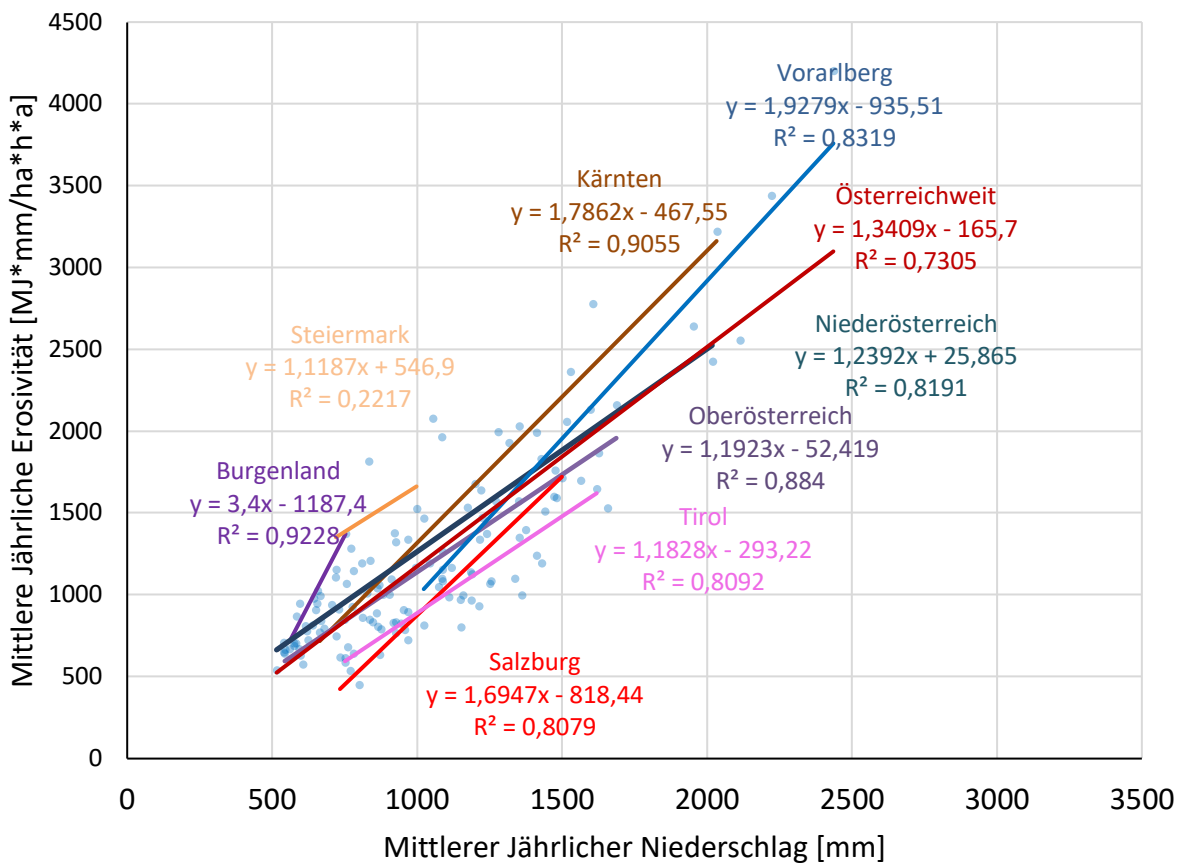


Abbildung 14: Darstellung der mittleren jährliche Erosivität in Abhängigkeit des mittleren jährlichen Niederschlags bei allen Messstationen. Die Modelle sind nach Bundesland eingeteilt.

Aufgrund der beinahe willkürlichen Einteilung der Daten für die Regressionsmodellfindung ist es natürlich fraglich, inwieweit diese Modelle wirklich für den Einsatz zur Bestimmung von Werten in unbekannten Bereichen genutzt werden können. Es zeigt aber doch eine Verbesserung im Vergleich zu dem gesamtösterreichischen Zusammenhang.

4.6 Erosionsregionen Österreich

Klimatisch ist Österreich grob, je nach Einfluss, in die Bereiche Alpiner-, Atlantischer-, Pannonischer– und Illyrischer Klimabereich eingeteilt (Nagl 1983). Da diese

Abgrenzung besonders im alpinen Raum etwas grob ist, führte sie in Folge bei den Modellen zu großen Abweichungen.

Durch den Vergleich der Naturraumregionen mit den errechneten Ergebnissen ergeben sich die in Abbildung 15 dargestellten Erosionsregionen.

Die Zusammenfassung von Osttirol und Kärnten als Erosionsregion begründet sich durch den gemeinsamen klimatischen Einfluss durch die Adria und dessen Begrenzung durch den Alpenhauptkamm. Ein weiterer Grund sind die geringen Abweichungen der Regressionsanalyse.

Der Bereich der Ostalpen ist aufgrund der mangelhaften Datenlage eine Zusammenfassung des Illyrischen Gebiets und Bereichen der Ostausläufer der Zentralalpen und bedarf einer Überarbeitung durch zukünftige Forschungsarbeiten (Abbildung 16).

Aufgrund der Modellierungsergebnisse wurde Südburgenland zur Pannonischen Erosionsregion zugeordnet anstatt des Illyrischen Gebiets. Ebenfalls sind weitere Untersuchungen notwendig, um die in dieser Arbeit angenommene Ostgrenze der Zentralalpen zu verifizieren.

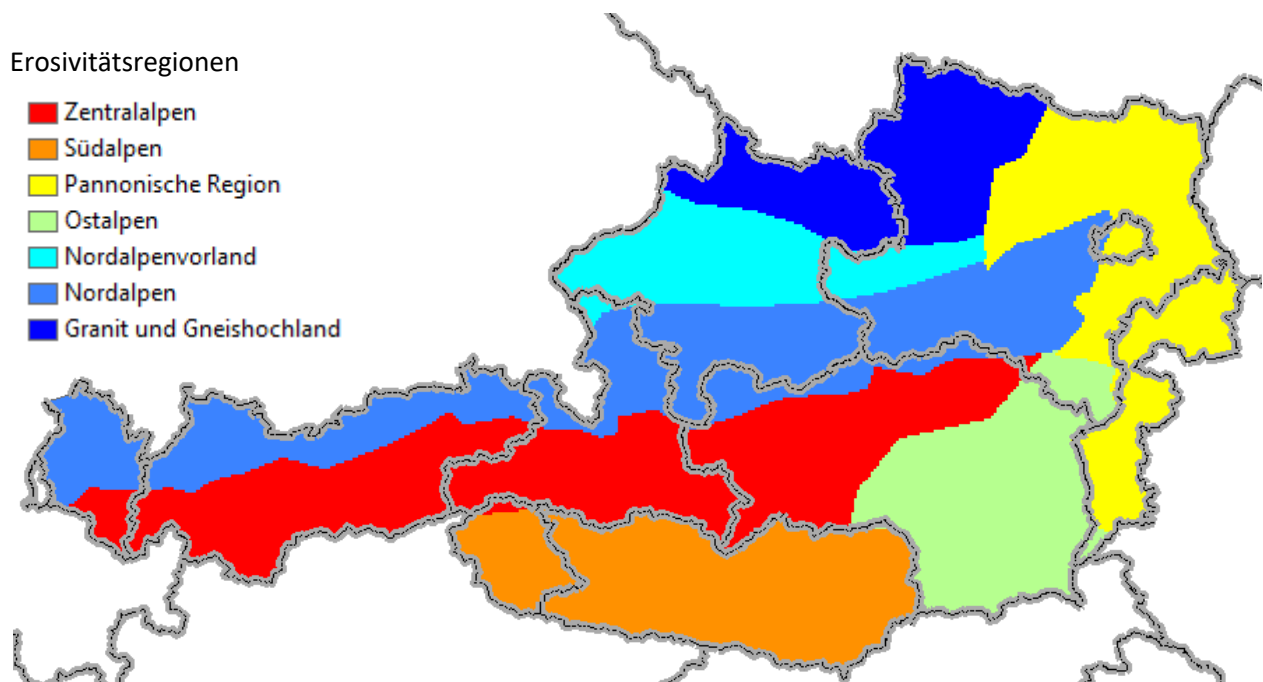


Abbildung 15: Erosionsregionen Österreichs

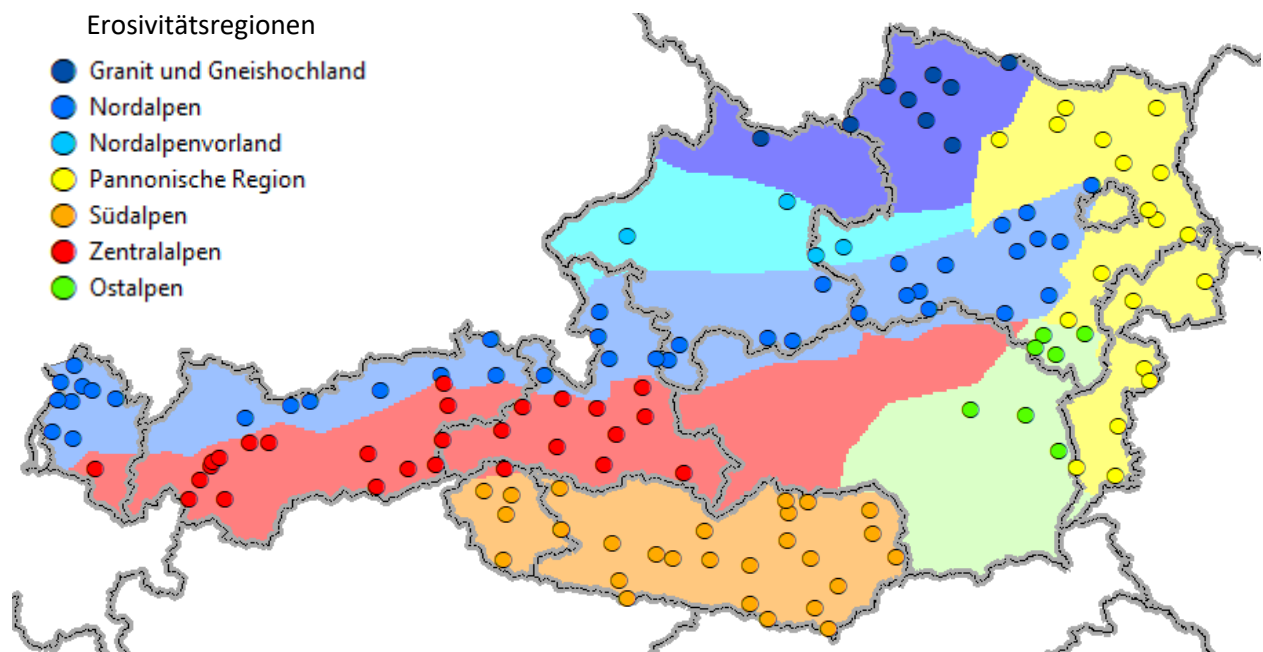


Abbildung 16: Einteilung der Messstationen nach Erosivitätsregionen

4.6.1 Erosivitätsregionen Regressionen

Zur Erstellung der Erosivitätskarte für Österreich wurden wie in Kapitel 4.6 beschrieben Erosivitätsregionen definiert. In Abbildung 17 zeigt sich, dass sich die räumliche Abgrenzung auch in der Punktwolke als Bereiche abgrenzen lassen.

Außerhalb der Alpen ist der Zusammenhang zwischen dem mittleren jährlichen Niederschlag und der Regenerosivität deutlich stärker ausgeprägt als zum Beispiel in den Zentralalpen, jedoch ist in den alpinen Regionen eine deutlich höhere Erosivität vorhanden.

Die maximale Erosivität befindet sich in sehr großer Höhe im alpinen Bereich. Das bedeutet aber, dass die Messpunkte sich weit über jeder Agrarfläche befinden, für die die USLE ausgelegt ist und somit auch die Einbeziehung in die Modelbildung kritisch betrachtet werden kann.

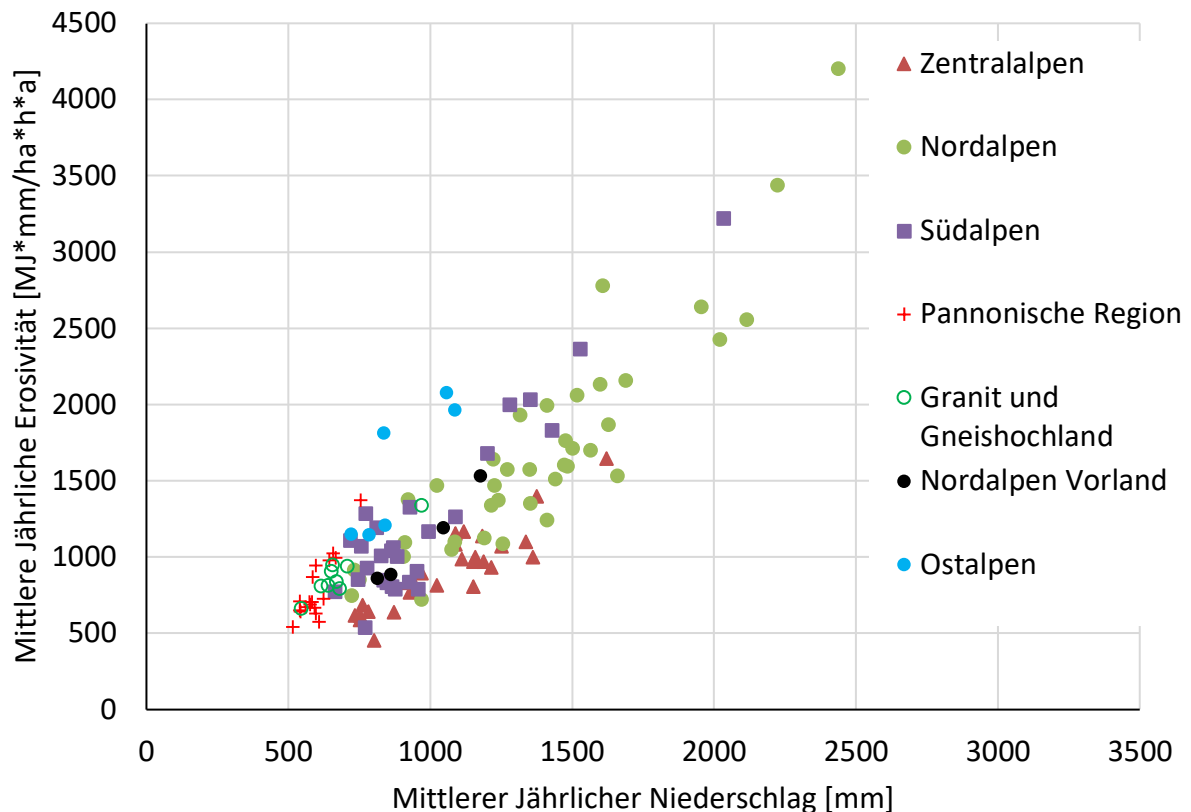


Abbildung 17: Zusammenhang zwischen Erosivität und mittleren jährlichen Niederschlag eingeteilt nach Erosivitätsregionen.

In der Abbildung 18 sind die Regressionsgeraden der einzelnen Erosivitätsregionen mit der Formel und den jeweiligen Bestimmtheitsmaß abgebildet.

Es zeigen sich in manchen Bereichen auch minimal geringere Bestimmtheitsmaße im Vergleich zu den Bundesländern. Dennoch ist zu hinterfragen, ob die Modelle für die Bundesländer für die räumliche Modellierung geeignet sind, da sie nach keinen klimatischen oder räumlichen Kriterien definiert sind.

Die besten Bestimmtheitsmaße sind für die Regionen Granit- und Gneishochland sowie Nördliches Alpenvorland zu finden. Diese Regionen sind auch im Verhältnis räumlich viel kleiner als zum Beispiel die Zentralalpenzone. Somit gibt es auch räumlich geringere Unterschiede. Das hohe Bestimmtheitsmaß für das Alpenvorland ist auch kritisch zu sehen, da es von nur vier vorhandenen Messstellen gebildet wird.

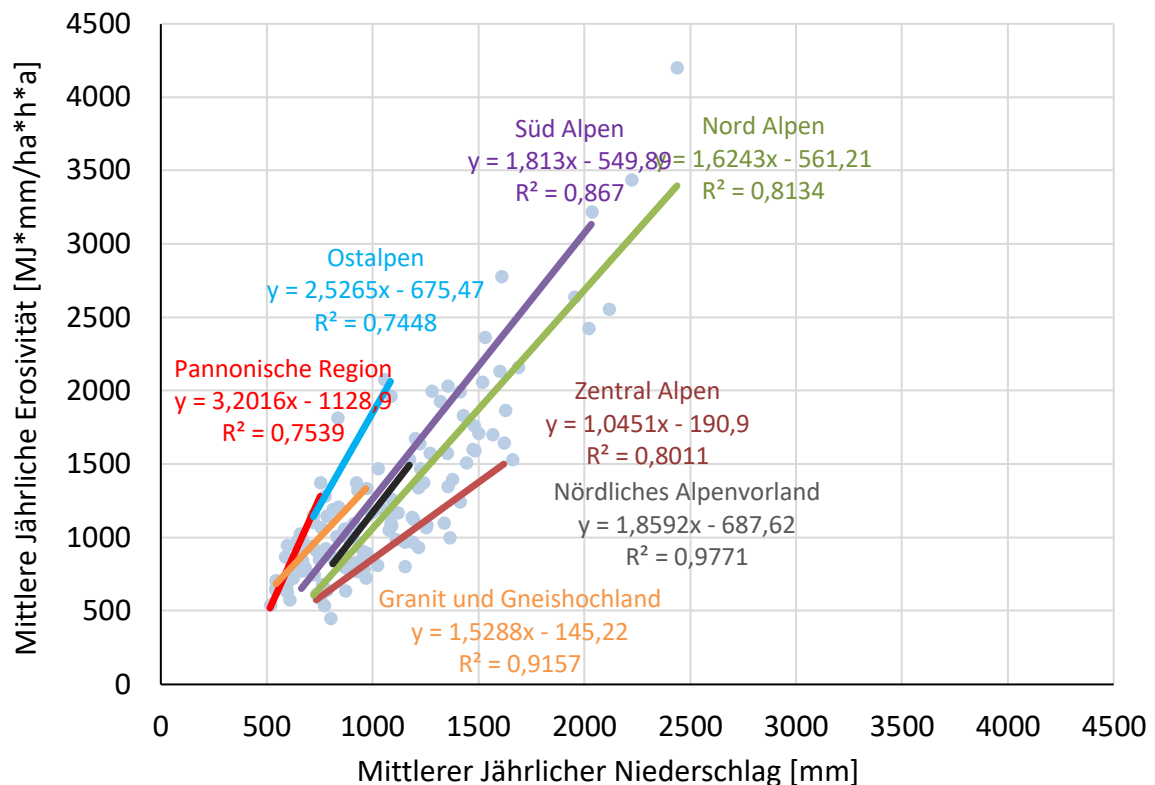


Abbildung 18: Zusammenhänge für die Erosionsregionen mit entsprechender Formel und Bestimmtheitsmaß

4.7 Verteilung der Niederschläge über das Jahr der Erosionsregionen

In der folgenden Grafik (Abbildung 19) sind die mittleren monatlichen Niederschläge der Messstationen für die Regionen gemittelt dargestellt. Die Daten sind ebenso aus den Ergebnissen des R-Script entnommen. Es zeigt sich, dass die Niederschläge in den alpinen Regionen ganzjährig höher sind als im Rest von Österreich. Der Verlauf und die Menge des Monatsverlaufs der Niederschläge zeigen doch deutliche Unterschiede zwischen den Regionen und rechtfertigen die Einteilung der Erosionsregionen.

Generell sind in Gesamtösterreich die Niederschläge im Sommer am höchsten. In den Südalpen sind die Herbstniederschläge stärker ausgeprägt als in restlichen Österreich. Es gibt auch in jeder Region eine Spitze der Niederschläge im März.

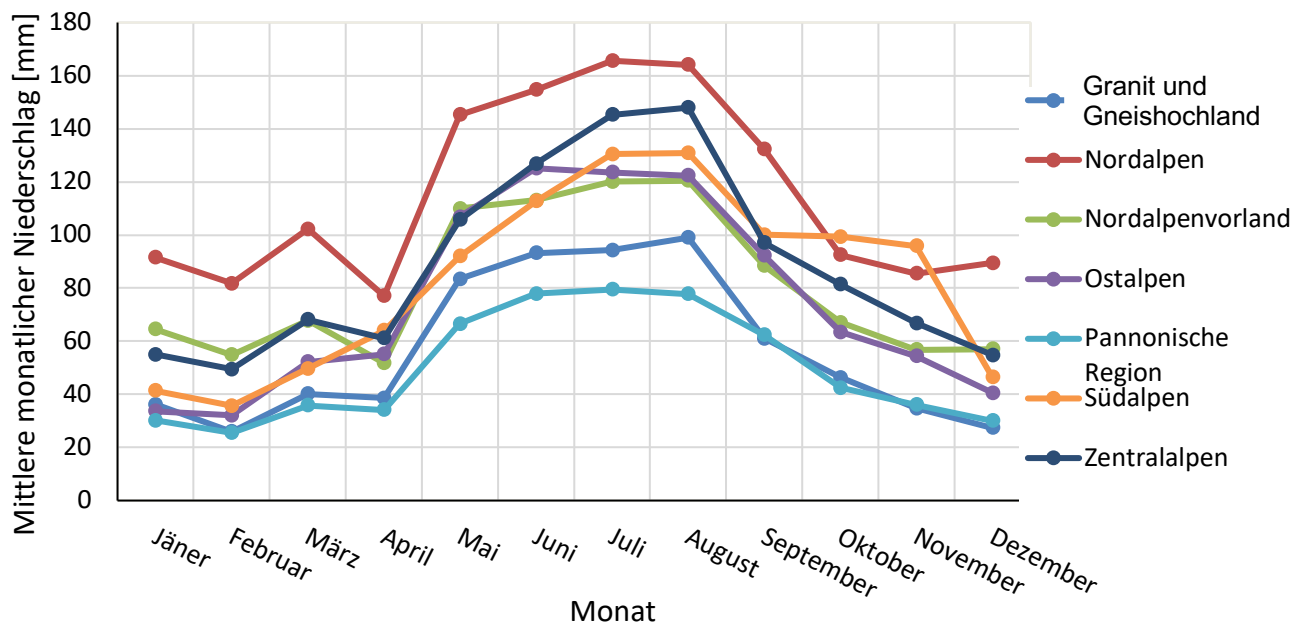


Abbildung 19: Verlauf der monatlichen Mittel der Niederschläge für die „Erosivitätsregionen“ gemittelt.

Die Niederschlagssummenlinien der Regionen in Abbildung 20 zeigen das die Verteilung der Niederschläge übers Jahr gesehen relativ gleichmäßig verläuft mit einem Schwerpunkt der Niederschläge im Sommer. Der prozentuelle verlauf der Niederschläge ist bei allen Regionen außer in der Region Südalpen nahezu ident. Nur die Region Südalpen zeigt das im Herbstanteil höher ist als in Restösterreich.

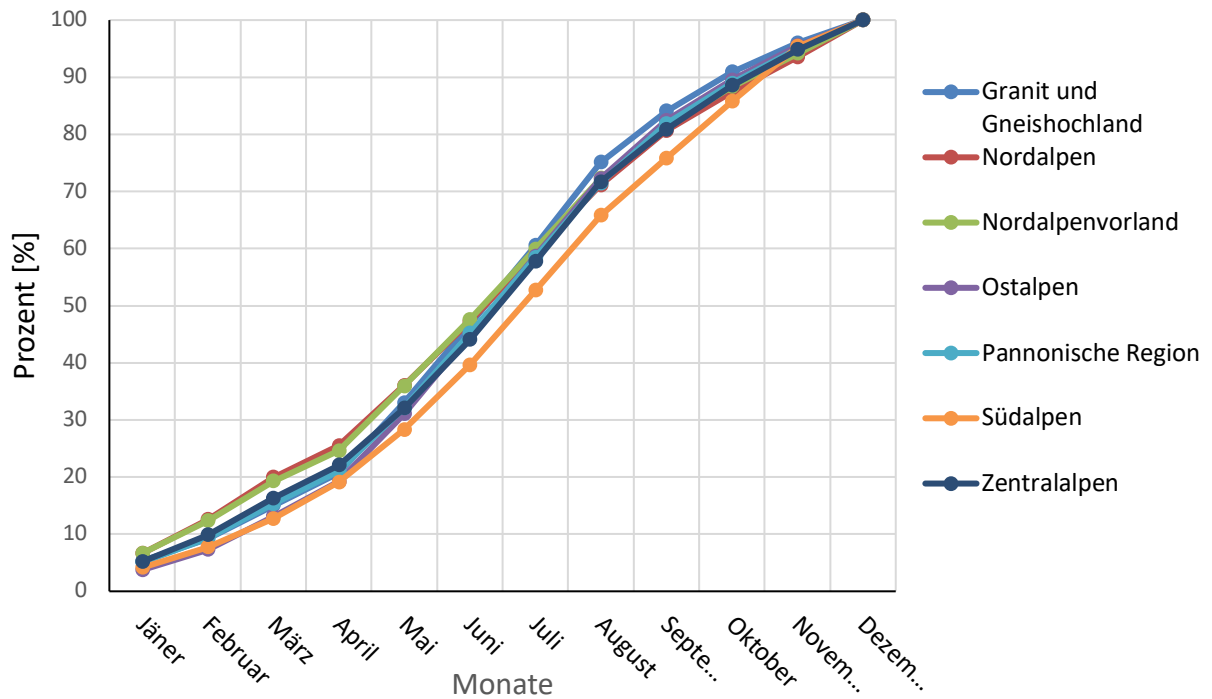


Abbildung 20: Niederschlagssummenlinien für die Erosivitätsregionen gemittelt.

Im Gegensatz zu der Niederschlagsverteilung zeigt die monatliche Erosivitätsverteilung in Abbildung 21, dass nahezu die gesamte Erosivität im Sommer auftritt. Die geringste Erosivität tritt in der pannonischen Region auf und die größte Erosivität in den Ostalpen sowie Nordalpen.

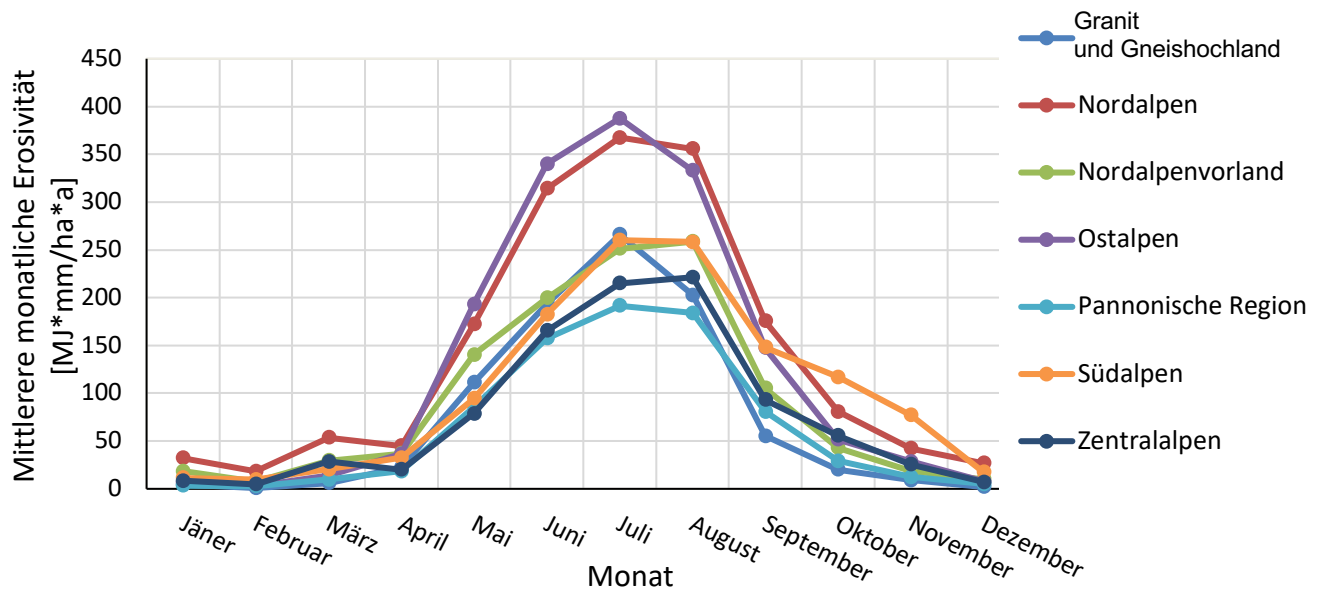


Abbildung 21: Verlauf der monatlichen Mittel der Erosivität für die „Erosivitätsregionen“ gemittelt

Mehr als etwa 80 % der Erosivitätsenergie tritt zwischen April und September auf (Abbildung 22). Nur in der Region Südalpen ist ein größerer Anteil noch im Herbst.

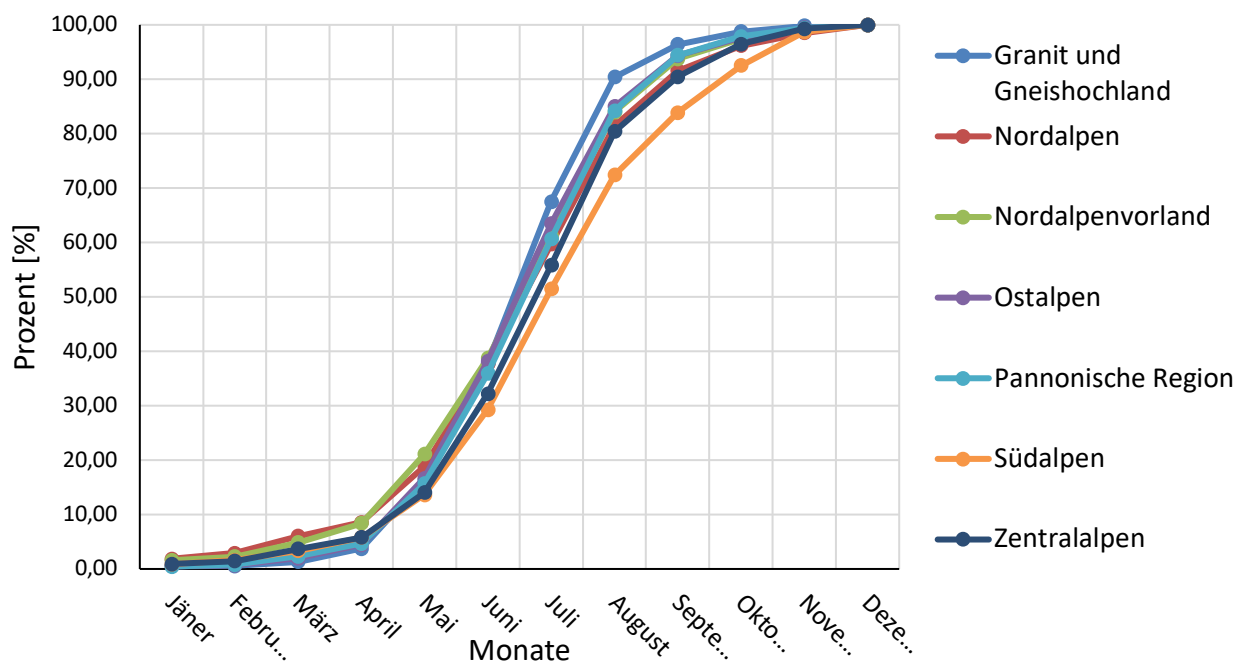


Abbildung 22: Erosivitätssummenlinien für jede Region gemittelt.

4.8 Erosivität in Abhängigkeit von geodätischer Höhe

Durch den vorhandenen Zusammenhang zwischen mittlerer jährlicher Erosivität und mittleren Niederschlag könnte man annehmen, dass auch ein Zusammenhang zwischen Erosivität und Seehöhe besteht, auch weil es einen Zusammenhang zwischen geodätischer Höhe und Niederschlag gibt.

Durch das Regressionsmodell und das Bestimmtheitsmaß von allen Daten, die verwendet wurden (Abbildung 23), lässt sich aber keine Aussage zu dem Zusammenhang machen. Die Annahme ist, dass die geodätische Höhe einen starken Zusammenhang mit dem Niederschlag hat und dieser bereits in die Erosivitätsberechnung einfließt und somit vielleicht deswegen kein „doppelter“ Zusammenhang zeigen lässt.

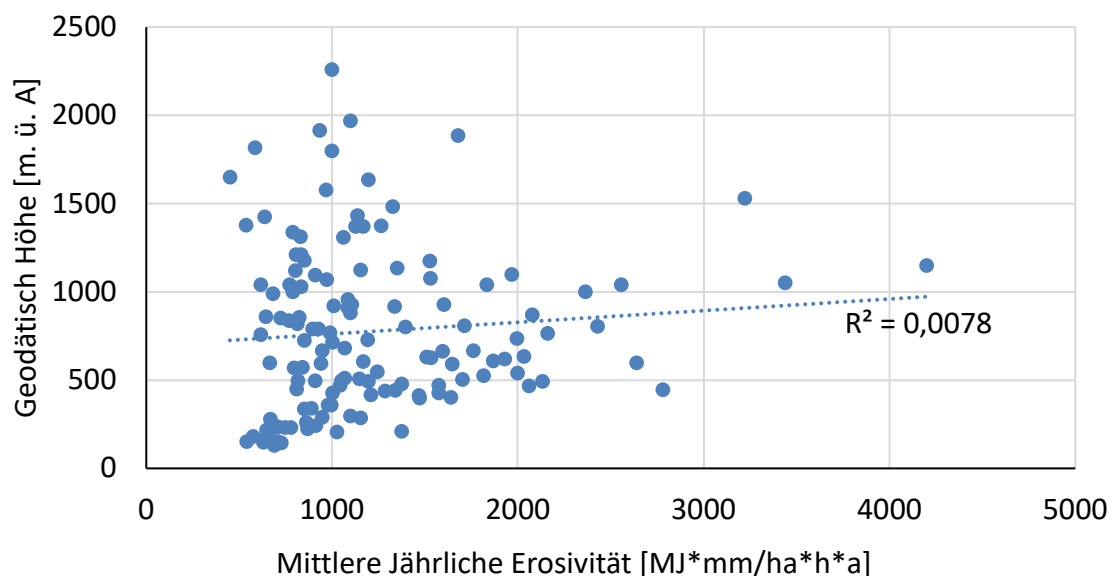


Abbildung 23: Mittlere jährliche Erosivität in Abhängigkeit von der geodätischen Höhe der Messstation

4.9 Isoerodentenkarte von Österreich

4.9.1 Karte mit gesamtösterreichischen Regressionsmodell

Der Zugang des Autors war in diesem Thema die vorhandenen mit 1 km aufgelöste mittleren Niederschlagsdaten zu verwenden und mittels Regressionsmodell ein Isoerodentenkarte zu erzeugen mit derselben Auflösung.

Geostatistische Methoden der Interpolation, wie Kriging oder Inverse Distanzgewichtung, sind in Anbetracht der Messpunktzahl und Messpunktdichte nicht zielführend. Es würden große Fehler wegen der räumlichen Situation wie Berge und Täler zwischen den Messpunkten entstehen.

Das hohe Bestimmtheitsmaß der Regressionsmodelle und die Auflösung der Niederschlagsdaten sind gute Argumente für den gewählten Modelansatz.

Entsprechend ist die Isoerodentenkarte in Abbildung 24 eine direkte Funktion des mittleren Niederschlags die so in weiteren USLE-RUSLE Modellen verwendet werden kann.

Die in

Abbildung 12 erstellte Regressionsgerade stellt den Zusammenhang für alle Messpunkte dar. Dies bedeutet einerseits, dass die Karten Verläufe ohne große Sprünge aufweisen. Auf der anderen Seite sind Abweichungen wie in Abbildung 25 dargestellt sind bis zu maximal 100 %.

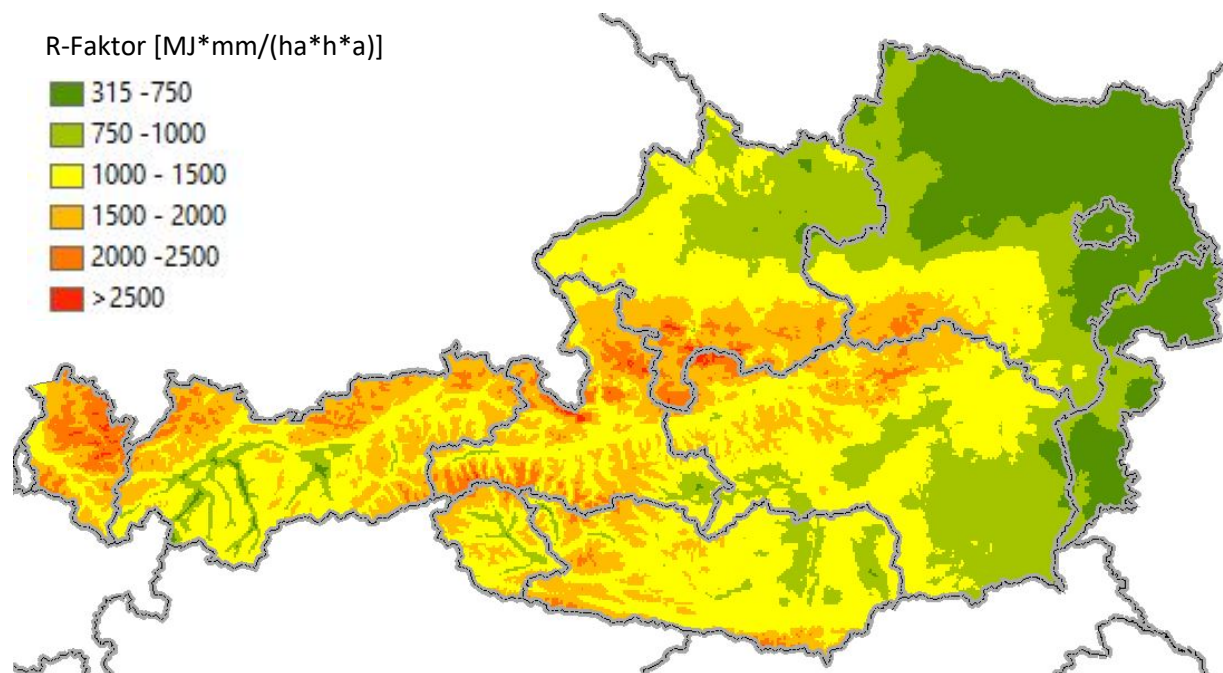


Abbildung 24: Erosivitätskarte Österreich mittels österreichweiten Regressionsmodells angewendet an den mittleren jährlichen Niederschlägen der INCA- Daten (2003 – 2015)
Werte in der Legend haben die Einheit: [MJ*mm/(ha*h*a)]

Trotz des hohen Bestimmtheitsmaßes (R^2) für das gesamtösterreichische Regressionsmodell von 0.73 erhalten wir in den meisten Regionen von Österreich zwischen 10 und 30 % Abweichung von den gemessenen Werten. Nur in Teilen der

Nordalpen sind geringere Abweichungen von 5 % zu sehen. Im Norden von Österreich und in der Ostalpenregion sowie im Südlichen Burgenland werden die Werte deutlich unterschätzt. Dagegen wird die Erosivität in der Zentralalpen Region nahezu überall um 30 % überschätzt.

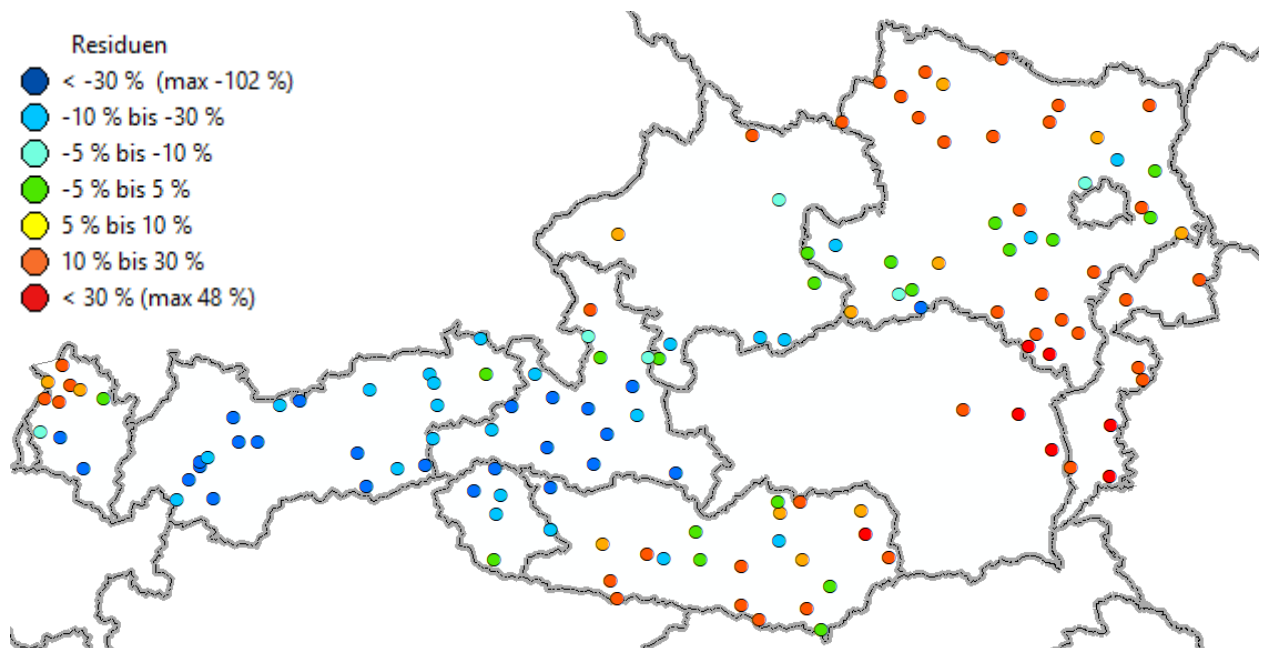


Abbildung 25: Abweichung in Prozent der Differenz von Beobachteten Werten zu Modellierten Werten an den Messpunkten.

4.9.2 Isoerodentenkarte mit Regressionsmodellen der Erosivitätsregionen

Um den gravierenden Abweichungen entgegenzuwirken wird, wie Abbildung 26 dargestellt, die lokalen Regressionsmodell der Erosivitätsregionen auf die jeweilige Region angewendet. Deutliche Erhöhungen der Erosivität im Vergleich zum Gesamtmodell sind vor allem in Kärnten und in der Region Ostalpen zu sehen. Auch in der Region Nordalpen ist die Erosivität erhöht.

Diese Darstellung enthält Sprünge an den Regionsgrenzen. Wie stark der Sprung ausgeprägt ist, ist unterschiedlich. Sehr deutlich sind abrupte Änderung zwischen Zentralalpenregion und der Ostalpenregion. Diese sind auf eine mangelnde Datenlage zurückzuführen. Der „Spitz“ im westlichen Bereich der pannonischen Region mit den größeren Sprüngen zu den Nachbarregionen wirkt ebenso wenig plausibel.

Es wurde trotz der Sprünge bewusst auf die Modellierung von Übergängen abgesehen, da für diese keinerlei Datengrundlage vorhanden ist und dies nicht zur Verbesserung der Ergebnisse beitragen würde.

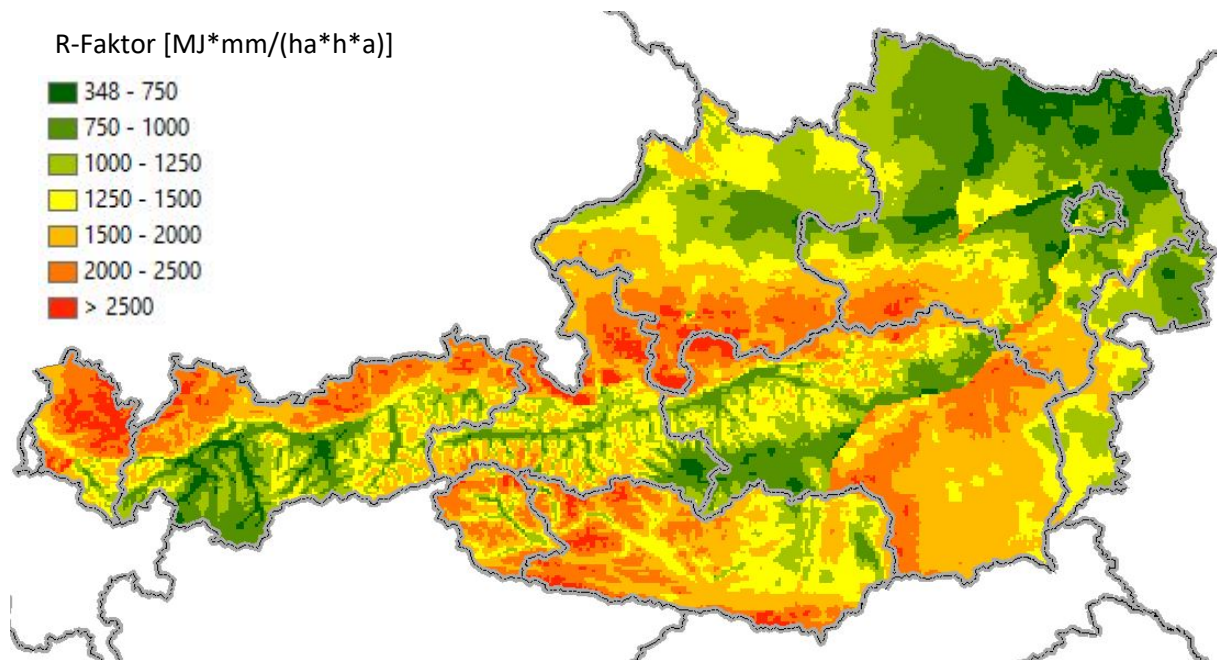


Abbildung 26: Erosivitätskarte Österreich mit lokalen Regressionsmodellen angewendet an den mittleren jährlichen Niederschlägen der INCA- Daten (2003 – 2015) Werte in der Legende haben die Einheit: [MJ*mm/ha*h*a]

In der folgenden Karte (Abbildung 27) sind die Differenzen zwischen beobachteten Werten und modellierten Werten als prozentueller Anteil der beobachteten Werte dargestellt. Im Vergleich zum gesamtösterreichischen Modell sind die Abweichungen deutlich niedriger. Die Messstationen mit den größten Abweichungen sind nicht mehr systematisch verteilt. In der Nordalpinen Region sind die größten Abweichungen in Bezug auf Überschätzung sowie Unterschätzung zu finden. Dies kann auf die Größe und die überdurchschnittlichen Regenmengen in der Region zurückzuführen sein. Im Nordöstlichen Kärnten sind durch einen möglichen Einfluss des illyrischen Klimas die Werte an mehreren Messstellen unterschätzt worden.

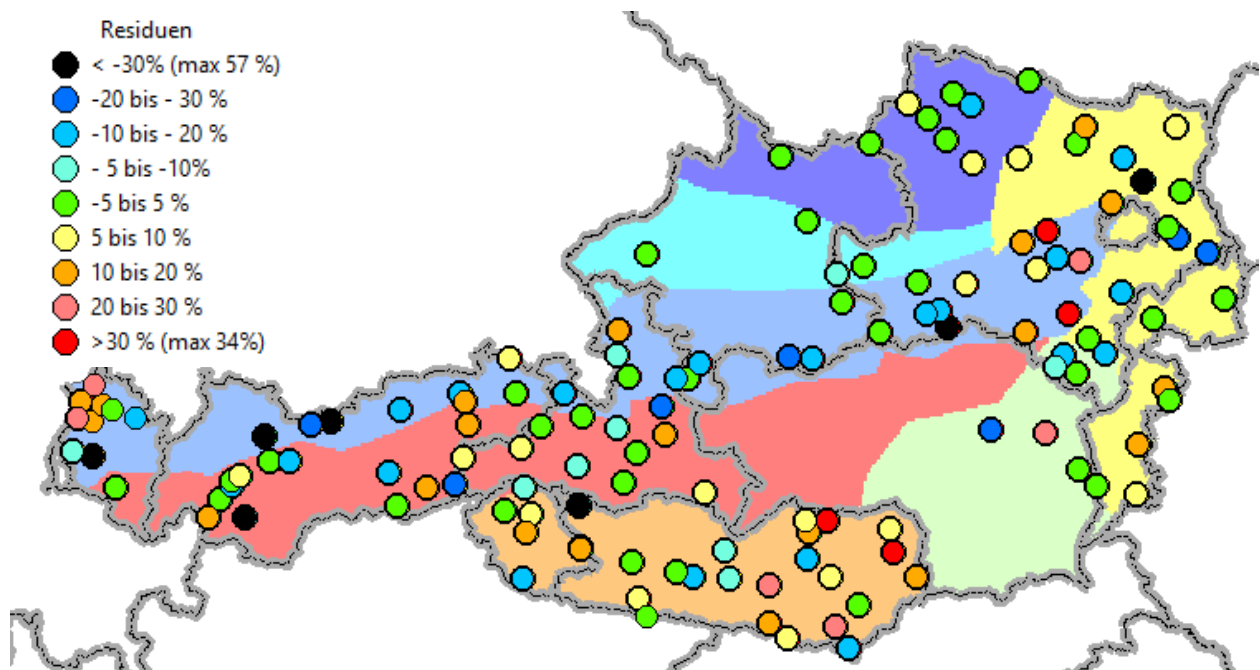


Abbildung 27: Abweichung der Differenz zwischen beobachteten Werten zu Modellierten Werten an den Messpunkten. Die Angaben sind in Prozent.

Um wieviel sich die Ergebnisse durch den Zugang mit regionalen Modellen im Gegensatz zu dem gesamtösterreichischen Modell verbessert oder verschlechtert haben sieht man in der folgenden Abbildung 28. Die Abweichungen vergrößerten sich auffällig im nordöstlichen Kärnten durchaus bis zu 10 %. In den Nordalpen gibt es bei der Hälfte der Punkte leicht negative Auswirkungen, wogegen sich bei der anderen Hälfte leichte Verbesserungen zeigten.

Rund um Wien, in der pannonischen Region, sowie in den Ausläufern der Alpen sehen wir deutliche negative Auswirkungen der lokalen Modelle auf das Ergebnis. Deutliche Verbesserungen können wir aber in den Zentralalpen, im pannonischen Raum sowie nördlich der Alpen beobachten. Auch in den Ostalpen und südlichen Burgenland verbessern sich die Ergebnisse um mehr als 30 %.

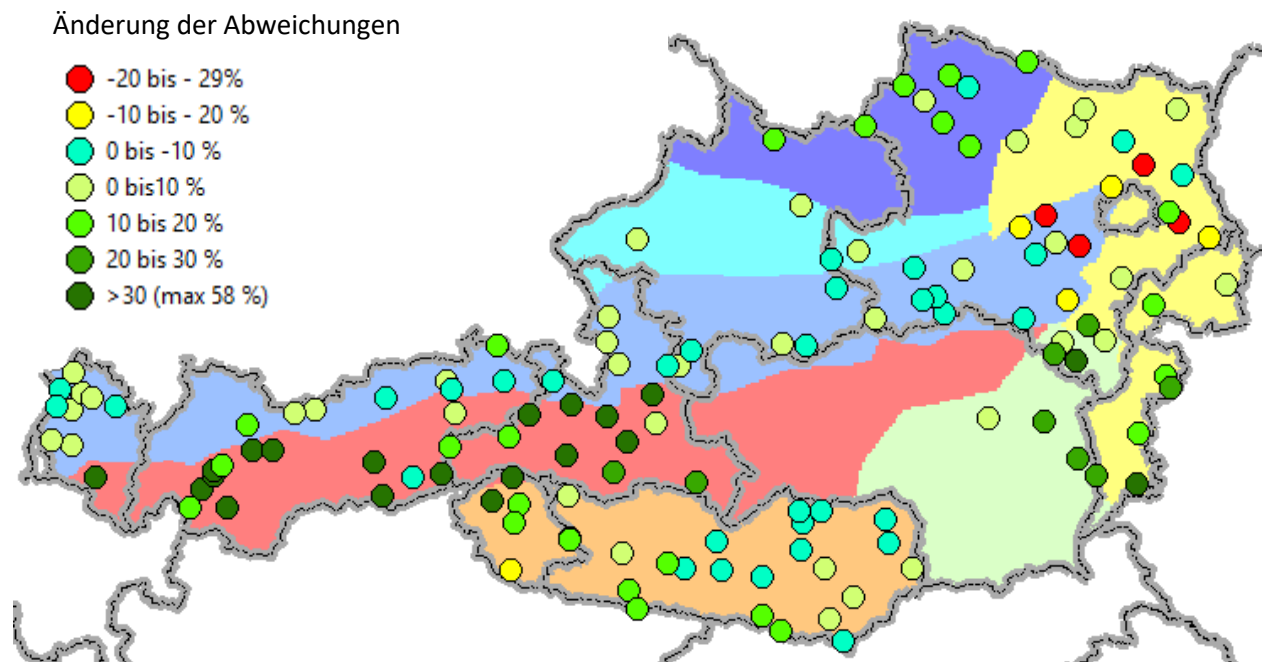


Abbildung 28: Prozentuale Veränderungen der Abweichungen durch die Anwendung der Modelle der Erosionsregionen im Vergleich zum Gesamtösterreichischen Modell. (Positive Werte zeigen die Verkleinerung der Abweichungen. Negative Werte zeigen die Vergrößerung von Abweichungen.)

5. Diskussion

5.1 Diskussion der Ergebnisse

Für die österreichweite Regressionsgerade zeigt das Bestimmtheitsmaß (Abbildung 12), dass die Erosivität sich zu 73 % in Abhängigkeit vom Niederschlag erklären lässt.

Generell ist zu beachten, dass in Bezug auf die Verwendung von Messdaten der systematische Niederschlagsmessfehler im Mittel 5 – 10 % für flüssigen Niederschlag beträgt und kann bei hohen Windgeschwindigkeit auf 50% steigen (Ungersböck et al. 2001).

Die Daten von 142 miteinander bezogenen Messstellen wurden nicht individuell bearbeitet, auch wenn sie teilweise Lücken aufwiesen um die Ergebnisse möglichst transparent zu gestalten. Nur Lücken von über einem Jahr wurden von der Mittelung ausgeschlossen. Der entstehende Mittelungsfehler, durch Lücken die kürzer als ein Jahr sind, lässt Raum für zukünftige Forschung. Ebenso wurden Standortveränderungen des Messgeräts vernachlässigt. Für jeden Standort wurde eine Zeitreihendarstellung von der Niederschlagsmenge der Ereignisse und ebenso ein Datenfile mit Informationen über alle Ereignisse ausgegeben. Durch die Überprüfung der Zeitreihen wurden sieben Messstellen aufgrund von mehrjährigen Lücken in Kombination mit un stetiger Ereignisscharakteristik nicht in die Modellberechnung miteinbezogen.

Weitere Unsicherheiten der Modelle bestehend aufgrund mangelnder Datenlage in Steiermark und Oberösterreich.

Der Ausschluss der Schneefälle durch die Überprüfung der Tagesmitteltemperatur bietet durch mögliche Föhneinbrüche und mögliche Messfehler eine zusätzliche Fehlerquelle. Auch die Erosivität der Schneeschmelze wird nicht berücksichtigt.

Die Erstellung der Erosivitätsregionen basiert auf naturräumlichen Abgrenzungen und wurde mittels Optimierung des Bestimmtheitsmaßes der Regressionsgeraden erweitert. Diese räumliche Anpassung basiert wiederum auf den Messdaten. Somit können bei den räumlichen Abgrenzungen Fehler eingeflossen sein. Generell sind klimatische Abgrenzungen schwierig und ist somit ein Bereich, in dem weitere Forschung notwendig ist. Dennoch sichtbar ist, dass die räumliche Abgrenzung der Erosivitätsregionen einen Vorteil gegenüber der Abgrenzung von z.B Bundesländern

bietet, da diese wie z.B in Niederösterreich nicht zwischen den klimatischen Räumen wie, Alpenvorland und Alpen, unterscheiden.

5.2 Diskussion der Ergebnisse im Kontext der vorhandenen Literatur

Betrachtet man Studien in Bezug auf Erosivität die Österreich und Nachbarländern sieht man doch ähnliche Muster. Andere Schwellenwerte scheinen geringe Auswirkungen zu haben. Lu und Yu (2002) beschreiben, dass die Entfernung des Schwellenwerts einen Anstieg des mittleren R-Faktors um 3.5 % mit sich zieht.

5.2.1 Strauß et al. (1995)

Das Vorgänger- Modell nach Strauß (1995) $R\text{-Faktor } [MJ \cdot mm / (ha \cdot h \cdot a)] = 0.78 \cdot \text{mittlerer Jahresniederschlag} + 43$ verwendet in seiner Arbeit 15 Messstellen zur Erstellung eines gesamtösterreichischen Regressionsmodells in Bezug auf mittleren jährlichen Niederschlag und Erosivität. Diese wurden mit der Energieformel sowie den Überschreitungswerten nach Schwertmann (1987) berechnet. Der Zeitraum der ausgewerteten Daten variiert je nach Station zwischen 1966 und 1990. Somit ist der Vergleich als einheitlicher Referenzzeitraum nicht möglich. Aus Abbildung 12 und Abbildung 13 geht hervor das diese Formel für den Bereich der Zentralalpen beziehungsweise Tirol und Salzburg auf ähnliche Ergebnisse kommt wie die Berechnungen dieser Arbeit.

Das aktuelle Modell (1996 - 2016) ergibt für die in dieser Arbeit verwendeten Messstationen, im Mittel, für die Erosivität ein 30 % höheres Ergebnis als das Modell nach Strauß (1966 -1990). Da nicht dieselben Messstationen verwendet wurden ist es nicht klar zu sagen ob es sich hier um einen Trend handelt. Dennoch unter der Annahme, dass die Stationen dieser Arbeit und von Strauß den Mittelwert für Österreich abbilden, ist der Mittelwert der Erosivität für die aktuelle Periode um etwa 30 % höher.

5.2.2 Nogler (2012)

Nogler (2012) verwendet 54 Messstationen zur Berechnung des R-Faktors in der Schweiz für die landwirtschaftlichen Produktionszonen. Er erstellte das Regressionsmodell ($R\text{-Faktor} = 1.747 \cdot \text{mittlerer Jahresniederschlag} - 422.63$) für die landwirtschaftlich relevanten Bereiche (Talzonen, Hügelzonen und leichte Bergzone)

der Schweiz. Der Referenzzeitraum ist hier von 1991 bis 2010. Weiteres werden zur Auswertung die Energieformel und die Überschreitungswerte nach Schwertmann (1987).

Aufgrund der räumlichen Nähe ist die in dieser Arbeit ermittelte Regressionsgerade für Vorarlberg ($R\text{-Faktor} = 1,9279 \cdot \text{mittlerer Jahresniederschlag} - 935,51$) eine Betrachtung wert. In der Arbeit von Nogler (2012) werden nur Messstationen in den Nordwestlichen Talbereichen zur Erstellung des Modells herangezogen und in dieser Arbeit sind drei Messstationen über 1000 Meter. Dennoch unterscheiden sich die Modelle nur leicht in Bezug auf die Steigung der Regressionsgeraden. Weiteres vergleicht er Isoerodentenkarten erstellt mittel linearer Regression, inverser Distanzgewichtung und Kriging. Hier ist anzumerken, dass die Ergebnisse leider nicht mit den gemessenen Werten verglichen wurden, sondern nur mit den durch Regression ermittelten Werten. Doch dabei zeigen sich Abweichungen bei 2/3 der verwendeten Messstationen zwischen 10 und 30 Prozent bei Kriging und IDW. Ob diese die Realität besser Abbilden ist allerdings nicht zu sagen.

5.2.3 Klik und Konecny (2013)

Klik und Konecny (2013) erstellten für Ober- und Niederösterreich Regressionsmodelle zur Berechnung der Erosivität anhand der Niederschläge von Mai bis Oktober. Für Niederösterreich wurden 31 Messstellen ausgewertet und für Oberösterreich 12 Messstellen. Es wurde RIST zur Auswertung der Niederschlagsdaten verwendet. Diese wurden mit den Grenzwerten von Schwertmann et al. (1987) mit der Energieformel nach Brown und Foster (1987) ausgewertet. Das Messintervall beträgt 15 Minuten. Viele der Messstellen wurden auch in dieser Arbeit verwendet. Zum Vergleich sind die Formeln in Tabelle 3 einsehbar.

Tabelle 3: Vergleich der Modelle für NÖ und OÖ nach Klik und Konecny (2013) mit Smoliner

	Klik und Konecny (2013) R-Faktor (1.Mai – 31.Okt)	Smoliner Jährlicher R-Faktor
NÖ	$R_S = 1.84N_S - 65.4$	$R_m = 1.2392N_m + 25.865$
OÖ	$R_S = 1.88N_S - 246.6$	$R_m = 1.1923N_m - 52.419$

Anzumerken ist, dass nicht allein der Niederschlag für die Erosion verantwortlich ist, sondern auch unter anderem die Vorgeuchte des Bodens und deswegen auch sehr erosive Ereignisse in Februar und November auftreten. (Prashun, 2010) Unter dieser Prämisse ist die Untersuchung der Ereignisse im Winter bedeutsam auch wenn über 80 % der Erosivität in den Sommermonaten auftritt.

Es zeigt sich in Tabelle 3, dass nach beiden Arbeiten die Steigung der Bundesländer ähnlich sind. Die höhere Steigung bei Klik und Konecny (2013) lässt sich durch die Berechnung nur mit dem Niederschlag der Sommermonate erklären, da der Niederschlag im Vergleich zur Erosivität gleichmäßiger über das Jahr verteilt (Abbildung 20, Abbildung 22).

5.2.4 Panagos et al. (2015)

Panagos et al. (2015) verwendete im Rahmen der Erstellung einer Erosivitätskarte von Europa für Österreich 31 Messstationen im Referenzzeitraum von 1995 bis 2010. 12 Stationen wurden mit 10- Minuten- Werten von Oberösterreich und 19 Stationen aus Niederösterreich, Burgenland, Steiermark und Salzburg mit 15- Minuten- Werten gerechnet. Die Karte wurde, wie in dieser Arbeit, über ein Regressionsmodell mit Niederschlagsdaten erstellt. Es wurde RIST zur Auswertung der Niederschlagsdaten verwendet. Es werden die Überschreitungswerte von Wischmeier und Smith (1978) verwendet. Diese Karte wurde auf Basis von Messstellen aus vier Bundesländern erstellt, also deckt sie kaum das gesamte Staatsgebiet ab. Die verwendete Gleichung des Regressionsmodells für Österreich ist nicht in der Literatur einsehbar, doch aber statistische Kennwerte für die erstellte Karte (Tabelle 4).

Die Spannweite der Ergebnisse ist sehr ähnlich. Der Mittelwert der Karte mit den Erosionsregionen ist höher vermutlich aufgrund der erhöhten modellierten Erosionswerte in Südosten und Süden des Landes.

Tabelle 4: Statistische Kennwerte für Österreich der modellierten Erosivitätskarten von Panagos et al. (2015) und Smoliner (Abbildung 26)

	Panagos et al. (2015) [MJ*mm/(ha*h*a)]	Smoliner [MJ*mm/(ha*h*a)]
Mittelwert	1075.5	1452.9
Standardabweichung	517.1	567.4
Minimum	346.9	348
Maximum	4345.7	3929

5.2.5 Tatzreiter (2017)

Tatzreiter (2017) untersucht die Erosivität von Niederschlägen in Kärnten von 1. Mai bis 31. Oktober. Mit der Formel nach Brown und Foster (1987) wurde die Niederschlagsenergie berechnet und die Überschreitungswerte nach Wischmeier und Smith (1978) verwendet. Es werden Daten mit möglichst langem Zeitraum bis 2014 verwendet um Trends zu erforschen. Das Messintervall beträgt 15 Minuten. In Tabelle 5 zeigt sich, dass sich das Modell kaum von dem in dieser Arbeit ermittelten unterscheidet, obwohl es nur für die Sommerniederschläge ausgelegt ist.

Tabelle 5: Erosivitätsmodelle für Kärnten nach Tatzreiter (2017) und Smoliner

Tatzreiter (2017)	Smoliner
R-Faktor (1.Mai – 31.Okt) für Kärnten	Jährlicher R-Faktor für Kärnten
$R_S = 1,8422 * N_S - 338,72$	$R_m = 1,7862 * N_m - 467,55$

6. Zusammenfassung

Diese Arbeit versucht mit aktuellen Niederschlagsdaten von 142 Messstellen mit einer Mindestmessdauer 20 Messjahren den Zusammenhang zwischen mittleren jährlichen

Niederschlag und mittleren jährlichen Erosivität für Österreich zu überprüfen und mit regionalen Modellen zu erweitern. Sie dienen zur weiterführenden Verwendung in USLE/RUSLE Modellen. Zusätzlich wird in dieser Arbeit Schneefall mit der Überprüfung der Tagesmitteltemperaturdaten an den Ereignisstartzeitpunkten ausgeschlossen, um mögliche Fehler durch die Miteinbeziehung von Schneefall zu erforschen und eine höhere Genauigkeit der Modelle zu erreichen (Abbildung 11).

Um dies zu verwirklichen und den großen Datenvolumen umzugehen wurde vom Autor ein „R“-Skript geschrieben, dass in wesentlichen sich an RIST bei der Niederschlagsauswertung orientiert und zusätzlich die Metadaten sowie zeitliche Verläufe der Niederschläge und Erosivität in einer weiterverarbeitungsfreundlichen Tabelle für viele Messstellen in 5- Minuten- Messintervallen auswertet.

Dieses Skript ermöglicht es, mit großen Niederschlagsdatenmengen effizient umzugehen.

Es wurden Regressionsmodelle für die alle Bundesländer erstellt. Wien fällt dabei in den Bereich von Niederösterreich. Dabei zeigen die Modelle erstaunlich hohe Bestimmtheitsmaße (Abbildung 14) obwohl nicht Rücksicht auf die Naturräume genommen wurde.

Es wurden Regressionsmodelle für die in dieser Arbeit definierten Erosivitätsregionen erstellt, die versuchen die erosive Charakteristik der Niederschläge räumlich auf Grundlage von Klima und Geologie abzugrenzen, um die Modelle zu optimieren (Abbildung 18).

Abschließend wurden Isoerodenten- Karten im 1- km- Raster von Österreich erzeugt basierend auf diesen Zusammenhängen und der räumlichen Einteilungen. Eine Karte wurde in gesamtösterreichischem Zusammenhang erstellt, die andere mit den vom Autor definierten Erosivitätsregionen (Abbildung 26).

6.1 Beantwortung der Forschungsfragen

- Kann in Österreich die Erosivität von Niederschlägen im Jahresmittel in Abhängigkeit des mittleren Jahresniederschlags linear beschrieben werden?

Wie aus Abbildung 12 und den folgenden Darstellungen ersichtlich ist, beträgt das Bestimmtheitsmaß für das österreichweite Regressionsmodell 73 Prozent. Die Modelle für die Bundesländer oder Erosionsregionen weisen alle, bis auf das Modell

der Steiermark, höhere Bestimmtheitsmaße auf. Sie zeigen, dass kleinräumigere Abgrenzungen die Niederschlagscharakteristik besser abbilden aufgrund von lokalen Unterschieden.

- Kann man aufgrund der Datenlage eine seriöse Isoerodentenkarte für Österreich erstellen?

Die Ergebnisse dieser Arbeit sind mit Ergebnissen der Literatur vergleichbar. Welche Energiegleichung und Überschreitungswerte nun die besten Ergebnisse ergeben muss nun durch Validierungsversuche festgestellt werden.

Wenn man die Ergebnisse der Erosivitätskarte basierend auf den Erosionsregionen des Autors mit dem der Panagos et al. (2015) vergleicht, sieht man, dass beide ähnliche Minimal- und Maximalwerte aufweisen (Tabelle 4), was zusätzlich für die Plausibilität des R-Skripts spricht. Durch die Einführung der Erosivitätsregionen wird eine deutliche Reduktion großer Abweichung möglich (Abbildung 28). Vergleicht man Abbildung 24 mit Abbildung 26 zeigt sich, dass die modellierte Karte die erhöhten R-Faktorwerte in Südosten und Süden Österreichs sowie die geringeren Werte in den Zentralalpen besser abbilden als das gesamtösterreichische Modell.

- Wie groß ist der Fehler in der Berechnung des R-Faktors ohne Temperaturkorrektur?

Aus

Abbildung 11 geht hervor, dass die Ausweisung der Schneefälle vor allem in den Alpen Regionen Veränderungen der R-Faktoren der Messstellen oft um 10 bis 20 Prozent bewirken und somit die Ausweisung der Schneefälle sinnvoll ist.

- Gibt es einen Zusammenhang zwischen geodätischer Höhe und R-Faktor?

Die Erstellung der Regression aus beiden Parametern (Abbildung 23) zeigt ein Bestimmtheitsmaß von 0 Prozent. Das kann daran liegen, dass der Niederschlag bereits in die Erosivitätsberechnung miteinfließt.

- Können Aussagen über die Veränderung der Erosivität durch den Vergleich der Auswertungen mit Daten aus der Literatur gemacht werden?

Das aktuelle Modell (1996 - 2016) ergibt für die in dieser Arbeit verwendeten Messstationen, im Mittel, für die Erosivität ein 30 % höheres Ergebnis als das Modell nach Strauß (1966 -1990). Da nicht dieselben Messstationen verwendet wurden ist es nicht klar zu sagen, ob es sich hier um einen Trend handelt. Dennoch, unter der Annahme, dass die Stationen dieser Arbeit und von Strauß den Mittelwert für Österreich abbilden, ist der Mittelwert der Erosivität für die aktuelle Periode um etwa 30 % höher.

7. Ausblick

Die Beschäftigung mit der Berechnung des R-Faktors in dieser Arbeit sowie in der Literatur zeigt, dass die Berechnungsgleichungen zur Bestimmung der Energie des Niederschlags trotz unterschiedlicher Zugänge sehr ähnlich sind und zu vergleichbaren Ergebnissen führen. Dieselbe Situation ist auch bei den Überschreitungswerten zu sehen. Es wäre nun interessant, die Koeffizienten dieser empirischen Zugänge der Energieermittlung der Niederschläge, sowie die Überschreitungswerte für Europa und im speziellen Österreich zu verifizieren, um mehr Klarheit zu schaffen

Diese Arbeit berücksichtigt nicht die Erosion durch die Schneeschmelze. Diese wäre vielleicht mittels Auswertung von Schneedecken-Daten aus Satellitenbildern und deren Bearbeitung mittels komplexer Verfahren für eine Verbesserung der R-Faktor-Werte möglich.

Diese Arbeit bietet ein R-Skript, um mit einer großen Zahl von Messstationsdaten umzugehen und auch Schneefall zu berücksichtigen, um erosive Ereignisse auch in den Wintermonaten besser zu erkennen und bei Berechnungen auszuschließen. Gerade in den Alpen scheint dies für ganzjährige Messstellen wichtig zu sein. Mit dem Skript lassen sich andere Energieformeln implementieren und „schnell“ Ergebnisse mit verschiedenen Parametern für viele Messstellen zu produzieren. Es scheint sinnvoll zu sein, regionale, auf Klima und Niederschlagscharakteristik abgestimmte Regressionsmodelle zu verwenden und diese Regionen genauer abzugrenzen und zu erforschen.

8. Literaturverzeichnis

- Auer I. u. a. (2001): ÖKLIM – Digitaler Klimaatlas Österreichs. In: Christa Hammerl u. a. (Hrsg.): Die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik 1851–2001. Leykam, Wien
- Auerswald, K., (1998): Bodenerosion durch Wasser. – In: Richter, G. (Hrsg.): Bodenerosion: Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, S. 33-42.
- Bobek, H., Kurz, W., Zwittkovits, F. (1971): Klimatypen (1: 1 000 000). In: Österr. Ak. d. Wiss. (ed.). Atlas der Republik Österreich, Tafel III/9.
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, (2005): Sonderrichtlinie für das Österreichische Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den Lebensraum schützenden Landwirtschaft. – BMLFUW-LE.1.18/0015-II/8/2005
- Dijk V., A.I.J.M. , L.A. Bruijnzeela, C.J. Rosewellb (2002): Rainfall intensity-kinetic energy relationships: a critical literature appraisal. In: Journal of Hydrology (261), S. 1–23.
- Klik A. & Konecny F. (2013): Rainfall Erosivity in Northeastern Austria. Transactions of the ASABE, 56(2), 719–725.
- Lu H. und Yu B. (2002) Spatial and seasonal distribution of rainfall erosivity in Australia Aust. J. Soil Res., 40 , S. 887-991
- Morgan, R.P.C., (2005): Soil erosion and conservation. Blackwell Publishing Ltd., Bodmin. ISBN 1-405-1781-8, 304 S. Nearing, M., Foster, G.R., Lane, L.J., Finckner, S.C., 1989. A process-based soil erosion model for USDA Water Erosion Prediction Project technology. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 32, 1587-1593.
- Nagl, H. (1983): Klima- und Wasserbilanztypen Österreichs. In: Geographischer Jahresbericht aus Österreich: 50 – 69.
- Nogler S. (2012): Erosivität der Niederschläge im schweizerischen Mittelland. Masterarbeit. Der Philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern. Centre for Development and Environment (CDE).
- Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rousseva, S., Tadic, M.P., Michaelides, S., Hrabalíková, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M.,

Rymszewicz, A., Dumitrescu, A., Begueria, S., Alewell, C. (2015): Rainfall erosivity in Europe. *Science of Total Environment* Volume 511, 1 S. 801-814.

- Poesen, J., (2003): Gully typology and gully control measures in the European loess belt. In: Wicherek, S. (ed.). *Farmland erosion in temperate plains environments and hills*. Elsevier, Amsterdam. S. 221-239.
- Prasuhn V. (2010): Zeitliche Variabilität von Bodenerosion – Analyse von 10 Jahren Erosionsschadenskartierungen im Schweizer Mittelland. *Die Bodenkultur, Journal for Land Management, Food and Environment*, 61. Band, Heft 2, S. 47-57.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A. and Porter, J.P. (1991): RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation. *J. Soil and Water Conservation* 46, S. 30-33.
- Renard, K. G. und Freimund, J. R. (1994): Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of hydrology* 157, Elsevier Science, Amsterdam. S. 287-306.
- Russel, M.A., Walling, D.E., Hodginson, R.A., (2001): Suspended sediment sources in two small lowland agricultural catchments in the UK. *J. Hydrology* 252, S. 1-24.
- Sauberer, N., Niklfeld, H., Wrбка, T. (1995): Gliederung Österreichs in „naturräumliche Einheiten“ zur Ausweisung von „Natura 2000“-Gebieten. (1 : 500000). In: Sauberer, N., Grabherr, G. 1995: *Fachliche Grundlagen zur Umsetzung der FFH-Richtlinie in Österreich. Schwerpunkt Lebensräume. Report des Umweltbundesamtes* 115.
- Sauerborn, P. (1994): Die Erosivität der Niederschläge in Deutschland – Ein Beitrag zur quantitativen Prognose der Bodenerosion durch Wasser in Mitteleuropa. In: *Bonner Bodenkundliche Abhandlungen*, Band 13, Bonn.
- Strauß P., K. Auerswald, E. Klaghofer und W. E. H. Blum (1995): Erosivität von Niederschlägen: Ein Vergleich Österreich - Bayern. *Niederschlag, R-Falctor, USLE, Österreich, Bayem*. In: *Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung* (36), S. 304–308.
- Schwarz, L. (2002) *Kleinräumige Modellierung von Naturräumen für Österreich ausgehend von edaphischen und klimatischen Faktoren in digitaler Form*.

- Schwertmann U., W. Vogl, M. Kainz (1987): Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen, Stuttgart: Ulmer.
- Tatzreiter Raphael (2017): Untersuchung der Erosivität von Niederschlägen in Kärnten. Diplomarbeit / Masterarbeit - Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft (IHLW), BOKU-Universität für Bodenkultur
- 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)
- USDA Agricultural Research Service, (2018) RIST - Rainfall Intensity Summarization Tool 3.98 unter: <https://www.ars.usda.gov/southeast-area/oxford-ms/national-sedimentation-laboratory/watershed-physical-processes-research/research/rist/rist-rainfall-intensity-summarization-tool/> (abgerufen am 04.03.2018)
- Wischmeier, W. H., and D. D. Smith, (1960): A universal soil-loss equation to guide conservation farm planning. Trans. Int. Congr. Soil Sci., 7th, p. 418-425.
- Wischmeier, W. H., & Mannering, J. V. (1969): Relation of Soil Properties to its Erodibility¹. Soil Science Society of America Journal, 33(1), 131.
- Wischmeier, W.H. und D.D. Smith, (1978): Predicting Rainfall erosions losses, A guide to conservation planning, Agriculture Handbook No. 537. USDA/Science and Education Administration, US. Govt. Printing Office, Washington, DC, S. 58.
- Zwittkovits, F. (1983): Klimatypen, Klimabereiche, Klimafacetten. Erläuterungen zur Klimatypenkarte von Österreich. Öster. Akademie d. Wissenschaften, S. 54.

9. Anhang

9.1 Berechnungstabelle für Darstellungen und ArcGis Karten

- Die Koordinaten der Tabelle sind im WGS 84 Referenzsystem.

- Abkürzungen:

Pan....Pannonische Region
SA.....Südalpen Region
NAV...Nordalpenvorland
Gran...Granit und Gneishochland
NA.....Region Nordalpen
ZA.....Region Zentralalpen
oA..Region Ostalpen

Stationsname	Geo. Länge	Geo. Breite	Geo. Höhe	Mittlerer Jaehrlicher N	Energie	Mittlerer Jaehrlicher R faktor	Erosivitäts-dichte	Mittlere Ereigniss-anzahl	Erosivitäts-Regionen	Bundes-land	Monatserosivitätssummen [%]												Niederschlagssummen [mm]												Fehler ohne Temp. Korr.
	[°] [°] [°]	[°] [°] [°]	[m]	[mm]	[MJ/(ha*a)]	[MJ*mm/(h a*h*a)]	R/N					Jän.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jän.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
Halbturn	16 59 11	47 52 23	130	575	47,7	689	1,20	12,0	Pan	B	1,2	1,5	3,4	7,8	15,5	38,0	62,6	83,9	93,1	97,1	99,1	100,0	45,2	32,7	38,3	31,0	69,3	62,9	60,7	62,9	62,3	42,8	36,6	30,6	0,76
Wulkaprodersdorf	16 31 05	47 48 02	164	560	49,2	668	1,19	11,3	Pan	B	0,6	0,9	3,0	5,3	11,4	30,6	60,0	80,3	93,7	97,3	99,4	100,0	25,8	21,6	37,9	30,6	59,1	71,1	68,6	65,7	40,3	35,0	25,5	0,71	
Nebersdorf	16 34 24	47 30 18	225	584	55,0	867	1,48	13,5	Pan	B	0,3	0,7	2,0	6,0	18,5	35,3	57,1	83,3	95,1	97,6	99,3	100,0	24,3	24,7	37,4	41,0	63,0	67,3	75,4	79,0	60,9	43,1	39,0	29,1	0,55
Frankenau	16 36 09	47 27 07	208	656	65,1	1023	1,56	15,7	Pan	B	0,3	0,8	1,9	4,4	16,3	28,9	55,8	81,9	92,2	96,8	99,2	100,0	25,0	24,9	36,0	42,0	70,8	81,1	90,1	85,3	67,5	53,7	45,5	34,2	0,76
Deutsch Kaltenbrunn	16 07 27	47 05 22	358	643	64,3	976	1,52	15,9	Pan	B	0,3	0,9	2,5	3,7	15,7	36,5	54,2	79,2	90,7	96,2	99,3	100,0	21,9	24,5	33,2	31,9	67,8	91,0	85,1	81,0	72,2	51,6	48,5	34,6	0,58
Glasing	16 21 55	47 02 52	209	753	78,9	1372	1,82	18,6	Pan	B	0,5	1,1	1,9	4,4	15,7	39,0	57,4	79,1	91,2	96,6	98,8	100,0	33,1	37,0	35,5	43,8	85,0	103,1	94,1	93,5	82,5	62,7	47,5	35,2	0,38
Dürnbach im Burgenland	16 23 19	47 15 47	292	596	56,1	944	1,59	13,6	Pan	B	0,2	0,6	1,8	4,5	13,1	31,2	65,1	83,7	90,4	97,6	99,6	100,0	21,8	20,6	28,9	38,8	66,3	86,4	94,0	71,0	52,0	44,8	42,1	28,9	0,64
Heiligenblut	12 51 07	47 02 12	1380	769	57,6	537	0,70	13,8	SA	K	0,8	1,8	3,2	4,5	9,2	26,2	47,2	70,7	79,8	88,0	98,2	100,0	51,8	28,5	36,5	38,3	60,1	85,3	99,8	99,6	57,8	95,7	78,3	37,1	6,47
Hochegg	13 33 59	46 44 00	1030	846	91,7	831	0,98	18,5	SA	K	2,1	3,0	5,0	7,5	15,6	29,0	50,5	69,3	79,8	90,7	98,5	100,0	40,1	25,6	40,9	52,4	81,2	89,9	111,7	120,1	93,0	91,4	79,5	30,5	1,53
Afritz	13 47 44	46 43 39	715	882	94,4	1000	1,13	20,1	SA	K	1,8	2,8	5,4	7,4	16,5	28,2	53,9	74,6	85,0	92,3	97,8	100,0	32,4	29,3	38,8	48,3	83,0	97,2	126,6	131,1	84,9	89,0	74,2	36,7	1,37
Bleistätter Moor	14 02 47	46 41 54	510	756	83,5	1067	1,41	18,3	SA	K	0,5	1,8	4,7	6,4	12,0	26,3	50,2	77,5	88,6	94,7	98,9	100,0	23,3	29,2	37,5	39,4	65,9	81,4	99,9	116,1	89,2	67,5	71,8	35,0	0,58
Waidegg	13 13 45	46 38 15	635	1352	169,6	2030	1,50	26,2	SA	K	2,1	3,8	6,4	9,0	15,4	25,8	44,1	66,7	78,3	89,4	96,8	100,0	75,2	61,1	73,5	84,8	110,9	121,5	138,1	171,4	124,5	154,5	163,7	72,7	4,92
Rosenbach	14 02 41	46 32 01	540	1278	158,3	1996	1,56	26,2	SA	K	1,9	3,5	6,0	9,5	16,1	26,7	45,1	62,9	78,6	89,9	97,6	100,0	68,6	49,5	68,9	90,6	99,4	100,3	141,6	137,4	136,2	141,0	159,4	85,2	4,11
Bärental	14 09 21	46 28 08	1000	1528	188,7	2363	1,55	29,3	SA	K	1,3	3,2	6,7	10,4	17,4	29,4	45,1	60,9	77,6	87,4	96,7	100,0	87,8	72,8	86,3	108,3	122,5	136,0	153,7	154,9	161,9	153,6	184,3	105,5	6,16
Homöisch	14 27 10	46 30 53	730	810	88,8	1191	1,47	20,0	SA	K	0,2	0,2	1,9	5,1	14,4	21,0	52,6	73,1	87,3	95,7	99,7	100,0	10,9	16,5	35,7	75,9	80,0	74,4	152,3	107,1	104,6	72,0	59,6	20,8	0,56
Seeburg	14 32 17	46 25 19	1040	1427	170,9	1830	1,28	30,4	SA	K	1,3	2,4	4,6	8,2	16,2	29,6	44,2	61,8	76,5	88,0	96,8	100,0	61,8	70,2	74,4	109,2	121,4	133,2	150,9	150,7	164,0	149,9	147,4	93,7	5,21
Magdalenberg	14 25 50	46 43 30	920	827	81,4	1008	1,22	17,8	SA	K	1,0	1,7	3,6	6,3	14,1	34,4	58,2	75,5	85,8	94,9	99,3	100,0	31,6	31,7	38,8	54,6	79,7	102,0	100,0	108,4	88,8	68,8	64,3	57,9	1,59
Dreifaltigkeit	14 17 12	46 48 24	1180	836	83,5	848	1,01	18,6	SA	K	0,8	1,1	2,4	5,2	11,7	31,8	53,7	75,9	87,2	94,6	99,3	100,0	25,1	25,9	38,8	54,5	78,9	111,0	121,3	125,7	89,1	72,0	64,9	28,4	1,93
Klopein am Klopeiner See	14 36 06	46 36 20	470	861	91,6	1041	1,21	20,2	SA	K	0,4	1,5	3,0	5,2	14,1	26,2	49,4	73,1	88,5	94,2	98,4	100,0	27,5	33,4	38,3	58,6	87,2	81,6	118,5	117,3	102,5	83,3	70,7	41,8	1,46
Preblau	14 48 14	46 55 41	790	775	81,6	926	1,19	18,3	SA	K	0,8	1,1	1,7	3,6	10,3	29,2	57,1	80,3	89,6	94,0	98,1	100,0	18,2	19,9	27,7	39,9	81,1	108,8	123,1	131,3	84,4	57,8	56,9	26,0	0,79
Brandi-Koralpe	14 58 10	46 43 29	1485	927	98,4	1323	1,43	20,4	SA	K	0,2	0,5	1,5	4,1	14,9	36,4	60,3	81,6	91,0	96,9	99,6	100,0	27,3	30,7	35,3	64,5	95,3	133,5	136,0	124,3	97,2	85,7	62,4	34,5	2,84
St.Oswald	13 45 56	46 50 52	1373	993	103,2	1167	1,17	20,6	SA	K	1,6	2,5	3,3	5,7	12,6	26,9	46,0	65,5	81,6	94,2	99,5	100,0	39,2	27,7	37,4	49,3	91,4	131,9	137,7	150,3	108,4	97,5	89,4	33,2	2,68
Winklern ob Straßburg	14 17 39	46 55 23	1040	663	70,8	771	1,16	16,8	SA	K	0,6	1,4	2,6	4,5	15,6	33,3	55,3	75,5	87,7	93,6	99,2	100,0	15,9	15,8	27,1	36,2	72,4	90,0	100,0	94,6	78,8	61,1	50,5	21,2	0,55
Glockeck	13 27 42	46 45 08	1885	1200	121,3	1676	1,40	20,8	SA	K	0,5	0,5	2,5	6,2	13,3	28,9	49,3	72,7	80,5	95,0	99,4	100,0	51,9	47,4	99,4	87,8	109,3	127,3	141,6	154,3	100,2	124,3	96,6	47,2	12,72
Grades-Klachel	14 16 51	46 58 30	725	744	76,5	849	1,14	18,3	SA	K	0,1	0,8	2,4	3,4	10,6	27,0	47,5	77,0	88,3	94,6	99,0	100,0	16,6	18,7	33,2	42,7	72,7	99,9	108,1	125,9	81,5	67,2	54,3	23,7	0,82
Naßfeld	13 16 33	46 33 37	1530	2033	180,5	3219	1,58	23,7	SA	K	0,8	0,8	2,5	4,6	10,2	21,4	36,6	63,4	77,5	93,5	99,0	100,0	104,4	91,5	117,4	134,9	177,1	179,7	190,8	250,0	183,6	257,8	232,0	113,5	4,31
Penzelberg-Iselsberg	12 51 34	46 51 28	1210	925	90,8	834	0,90	20,4	SA	T_o	0,9	1,6	3,3	5,9	12,4	30,7	52,8	71,9	82,9	90,8	98,5	100,0	41,8	28,9	44,5	51,6	77,6	117,1	132,6	125,0	88,2	87,5	95,4	34,6	4,90
Wolfsberg	14 49 35	46 49 40	440	772	82,5	1282	1,66	17,9	SA	K	0,5	1,0	1,8	2,9	16,8	37,3	58,5	80,7	90,6	95,8	99,2	100,0	19,7	21,7	27,4	39,9	97,3	108,8	108,8	112,9	82,8	67,1	57,7	27,9	0,35
Gaisberg	14 25 02	46 58 23	930	718	74,6	1105	1,54	16,4	SA	K	0,7	2,9	3,9	4,8	13,8	32,6	57,9	77,2	88,4	95,8	99,4	100,0	23,3	23,0	29,3	36,0	81,8	97,8	101,4	98,7	84,5	63,1	54,3	25,0	0,99
Gnoppnitz	13 10 56	46 47 47	1310	868	89,8	1059	1,22	17,4	SA	K	0,0	0,9	2,0	8,5	22,3	41,0	64,1	72,0	79,5	90,9	99,8	100,0	15,9	34,2	32,6	105,2	103,0	121,4	122,0	78,5	46,2	64,8	102,5	42,0	9,75
Behamberg	14 29 45	48 05 08	495	1043	96,8	1194	1,15	21,7	NAV	NÖ	1,1	1,6	4,5	6,6	19,7	35,7	61,6	85,5	94,6	97,6	99,1	100,0	62,1	54,4	74,8	56,8	115,6	123,7	133,6	129,3	97,5	72,1	62,4	60,3	1,54
Karlstift	14 43 46	48 35 45	919	968	82,8	1336	1,38	17,5	Gran	NÖ	0,4	0,7	1,5	5,2	13,7	31,5	63,8	84,7	96,3	98,8	99,6	100,0	58,1	50,6	66,2	60,0	106,3	110,5	136,0	130,6	85,9	64,1	50,1	49,3	2,67
Neuhaus am Zellerain	15 12 31	47 47 44	1076	1657	153,0	1529	0,92	28,9	NA	NÖ	2,9	4,0	7,2	9,3	19,9	34,4	58,1	79,5	91,8	95,4	98,4	100,0	155,8	121,5	148,0	74,9	160,8	143,4	92,1	160,4	165,7	92,0	112,1	130,3	12,93
Lackenhof	15 09 14	47 52 12	807	2017	202,5	2426	1,20	33,4	NA	NÖ	2,5	3,5	7,6	10,1	20,0	39,7	60,1	82,6	92,2	95,5	98,1	100,0	186,1	163,4	175,9	96,9	180,0	193,9	214,5	193,3	187,8	112,6	142,8	170,1	14,39
Lunz am See	15 04 07	47 51 18	611	1626	175,7	1866	1,15	32,6	NA	NÖ	3,6	5,1	10,4	13,2	23,6	37,0	61,2	81,1	91,7	95,8	98,2	100,0	129,9	106,7	137,1	89,9	165,2	165,2	197,0	165,2	162,4	105,2	96,7	106,1	3,23
Frankenfels	15 19 40	47 58 57	468	1516	170,6	2059	1,36	30,8	NA	NÖ	3,6	5,8	11,9	15,1	26,0	45,2	63,4	79,1	91,6	94,3	97,8	100,0	119,3	101,0											

Stationsname	Geo. Länge	Geo. Breite	Geo. Höhe	Mittlerer Jaehrlicher N	Energie	Mittlerer Jaehrlicher R faktor	Erosivitäts-dichte	Mittlere Ereigniss-anzahl	Erosivitäts Regionen	Bundes-land	Monatserosivitätssummen [%]												Niederschlagssummen [mm]												Fehler ohne Temp. Kor.
	[°] ['] ["]	[°] ['] ["]	[m]	[mm]	[MJ/(ha*a)]	[MJ*mm/(h a*h*a)]	R/N				Jän.	Feb.	März	April	Mai	Jun	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jän.	Feb.	März	April	Mai	Jun	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	[%]
Trattenbach (Schlaggraber	15 52 55	47 36 54	1100	1084	112,8	1964	1,81	22,9	oA	NO	0,2	0,5	1,7	4,1	23,5	43,5	66,0	85,6	95,5	98,0	99,8	100,0	52,0	45,1	72,8	67,2	132,7	146,1	137,3	131,7	109,0	70,6	67,8	52,1	2,81
Ollersbach	15 51 36	48 12 03	244	730	69,2	912	1,25	15,2	NA	NO	0,6	0,9	2,9	6,7	17,0	44,9	68,8	88,6	96,8	98,7	99,4	100,0	35,6	29,7	45,1	39,2	84,9	110,2	100,6	91,4	75,9	48,2	35,3	34,1	0,49
Ulrichskirchen	16 29 41	48 23 56	183	606	46,7	574	0,95	12,1	Pan	NO	0,4	0,9	4,2	6,5	18,3	37,6	62,5	85,4	95,3	97,7	99,2	100,0	37,5	33,3	44,1	35,9	64,3	70,2	75,6	73,3	58,7	39,0	37,4	36,8	1,46
Wolfsbach	14 40 23	48 04 09	343	859	73,8	886	1,03	17,8	NAV	NO	1,5	1,9	4,7	6,6	19,6	40,1	60,2	84,3	94,3	97,4	99,2	100,0	55,7	40,4	59,8	44,3	97,3	100,6	109,6	108,8	82,1	64,6	50,6	44,9	0,46
Hollern	16 53 26	48 04 33	145	623	53,2	724	1,16	12,4	Pan	NO	1,1	1,9	4,1	7,8	16,1	36,0	65,1	84,9	94,2	97,2	99,0	100,0	46,8	35,6	42,0	37,2	68,0	69,4	70,9	80,5	59,1	41,3	38,5	33,9	0,98
Blumau	16 19 17	47 55 25	233	620	56,8	778	1,26	13,2	Pan	NO	0,8	0,8	1,5	2,8	18,5	27,3	50,4	76,7	89,6	98,5	99,6	100,0	33,6	23,6	29,2	22,2	80,6	86,8	79,4	88,0	76,3	46,0	29,5	24,6	0,50
Schöpfli (Sternwarte)	15 55 20	48 04 59	880	1085	91,3	1097	1,01	17,8	NA	NO	1,9	2,2	3,2	6,8	21,1	49,6	71,6	86,8	93,9	98,0	99,2	100,0	84,5	72,0	77,4	54,1	129,7	156,7	109,9	124,5	97,7	59,8	58,6	60,1	5,91
St.Johann am Walde	13 16 48	48 07 21	629	1173	119,0	1533	1,31	25,0	NAV	OO	2,2	3,1	5,3	8,1	19,7	39,2	60,1	84,4	92,2	97,1	98,9	100,0	80,9	76,1	75,8	60,8	136,8	140,3	137,5	143,3	104,1	77,2	65,6	74,8	1,58
Helfenberg	14 08 52	48 32 42	598	543	51,9	663	1,22	11,7	Gran	OO	0,0	0,0	0,0	2,1	10,4	28,3	56,7	82,2	93,2	97,6	100,0	100,0	0,0	0,0	0,0	28,2	74,9	85,4	92,7	111,2	70,4	59,3	21,4	0,0	0,00
Gosau	13 32 31	47 35 23	765	1687	174,1	2157	1,28	34,4	NA	OO	1,4	2,4	5,2	6,7	18,6	35,2	61,8	84,7	93,6	97,8	99,0	100,0	131,6	114,8	131,0	83,9	186,0	173,6	208,3	204,1	155,2	99,2	90,6	108,7	9,62
Bad Goisern	13 36 47	47 39 06	505	1564	167,1	1699	1,09	33,0	NA	OO	3,4	5,5	9,2	11,1	21,9	37,7	61,8	81,1	89,0	93,5	97,0	100,0	134,8	107,4	130,4	74,9	162,6	163,0	175,8	165,0	146,1	97,2	94,4	112,1	4,20
Linz (WW Scharlinz)	14 18 42	48 16 00	260	811	65,3	861	1,06	16,6	NAV	OO	1,6	2,4	5,1	12,4	25,3	40,0	62,9	81,8	94,0	97,8	99,3	100,0	59,5	48,7	60,7	45,2	90,1	87,6	99,4	100,2	69,5	54,2	48,3	47,9	0,42
Huttererböden	14 10 50	47 40 47	1370	1189	97,2	1124	0,95	21,3	NA	OO	2,3	3,1	5,6	7,2	17,0	37,2	56,1	80,9	92,4	97,6	99,3	100,0	118,7	78,1	107,9	48,5	110,3	126,9	118,9	130,7	101,4	80,8	77,8	88,7	12,96
Spital am Pyhrn	14 20 05	47 40 08	630	1440	141,1	1508	1,05	31,3	NA	OO	2,5	4,0	7,6	9,4	20,8	47,4	65,6	82,9	91,9	96,0	98,4	100,0	121,5	103,8	107,2	68,2	149,3	163,9	160,5	156,7	135,3	91,5	85,2	96,5	6,23
Pechgraben	14 31 59	47 54 37	430	1270	138,4	1572	1,24	27,6	NA	OO	2,2	4,5	10,2	12,7	23,3	41,2	57,8	81,8	90,8	94,7	97,5	100,0	104,4	94,8	114,1	56,5	122,8	134,6	122,2	159,8	119,5	69,0	75,9	96,2	2,79
Rußbach am Paß Gschütt	13 27 59	47 35 38	810	1499	150,6	1711	1,14	28,2	NA	S	2,1	3,5	7,7	9,5	21,4	43,2	64,5	82,5	91,2	95,4	97,7	100,0	113,5	94,4	112,6	73,5	153,7	157,0	183,0	177,2	140,1	93,7	87,8	112,7	13,15
Fusch-Bärenwerk	12 49 55	47 12 37	820	1022	92,2	813	0,80	22,8	ZA	S	1,0	1,4	3,1	5,8	12,5	34,0	55,8	79,5	88,6	95,9	99,4	100,0	51,6	44,6	58,6	60,1	101,5	136,1	138,6	138,7	89,4	89,8	63,4	49,8	2,41
Karbachalm	13 05 18	47 22 39	1580	1186	86,0	967	0,82	18,2	ZA	S	0,1	0,5	3,2	4,0	13,9	36,9	59,2	80,7	95,5	98,1	99,4	100,0	88,4	94,6	112,2	59,7	99,8	127,2	135,2	136,6	106,1	69,8	72,1	84,4	27,94
St-Martin-Buttermilchalm	13 22 22	47 28 13	1120	1150	92,2	802	0,70	21,2	ZA	S	1,4	1,9	4,7	7,5	18,6	36,7	61,6	80,9	91,3	96,7	98,7	100,0	88,0	73,0	102,3	65,0	119,6	125,2	133,7	125,6	96,8	74,0	73,1	73,9	14,33
Mittersill	12 28 51	47 17 02	790	968	85,2	894	0,92	20,8	ZA	S	0,3	0,9	3,0	5,4	14,5	28,3	51,1	81,0	92,7	98,0	99,7	100,0	37,7	33,3	59,4	51,0	104,1	133,5	146,2	153,7	95,8	72,4	43,4	37,4	1,77
Hallein	13 05 19	47 41 17	443	1214	124,1	1338	1,10	26,5	NA	S	2,7	3,5	6,3	8,2	17,5	32,8	53,1	73,3	88,4	92,5	95,4	100,0	77,9	64,0	99,2	59,4	137,9	125,9	148,2	144,4	123,3	77,6	75,9	80,2	1,17
Flachau	13 23 45	47 20 50	910	1088	102,1	1083	1,00	24,8	ZA	S	0,7	0,9	3,4	4,8	11,2	28,5	51,4	81,6	92,4	97,7	99,7	100,0	51,3	46,6	74,8	63,1	99,0	143,2	153,3	145,3	111,0	82,2	65,4	52,5	2,16
St.Michael im Lungau	13 38 20	47 05 59	1040	734	65,7	616	0,84	16,3	ZA	S	1,9	2,4	4,3	6,8	15,0	27,2	48,2	73,1	87,8	93,6	99,8	100,0	18,1	20,5	46,7	54,3	69,6	91,1	102,5	108,0	72,3	57,6	66,9	25,8	1,42
Golling	13 09 51	47 35 46	470	1349	138,4	1574	1,17	31,5	NA	S	2,0	2,6	5,1	7,0	16,0	32,9	55,9	79,3	89,8	95,6	99,4	100,0	77,6	65,5	105,1	75,0	141,0	161,9	180,0	172,6	139,0	93,5	76,1	62,0	1,93
Weißbach	12 44 59	47 31 21	665	1481	152,2	1592	1,08	31,1	NA	S	0,9	3,4	11,8	13,6	22,9	36,1	59,6	80,9	92,3	97,2	99,0	100,0	76,7	133,9	118,3	68,6	147,9	152,9	193,4	183,7	157,6	100,3	78,0	69,6	6,02
Saalbach-Hinterglemm	12 36 27	47 23 01	1070	1150	102,0	969	0,84	24,7	ZA	S	0,9	1,4	3,4	5,5	17,3	33,6	56,1	78,2	90,4	97,4	99,4	100,0	71,5	60,8	78,7	57,7	131,4	130,1	158,1	146,3	102,2	86,8	62,8	63,3	8,36
Großarl	13 12 28	47 16 10	839	927	75,0	765	0,83	18,9	ZA	S	1,6	1,9	3,8	6,5	11,9	33,1	56,9	82,9	90,8	96,9	99,4	100,0	50,2	44,9	65,0	58,6	88,0	99,3	131,8	125,5	85,2	70,4	57,5	50,3	3,58
Badgastein-KW Remsach	13 07 42	47 08 12	855	944	86,5	823	0,87	21,1	ZA	S	1,0	1,4	2,9	4,5	12,6	33,3	58,3	80,5	89,1	95,1	99,3	100,0	40,1	35,3	46,6	49,6	95,5	126,0	146,4	130,2	92,6	78,8	62,2	40,6	1,28
Saalfelden	12 51 56	47 25 24	770	1110	96,4	986	0,89	22,1	ZA	S	2,8	3,3	5,6	8,6	16,3	36,3	56,6	80,6	92,6	97,2	98,9	100,0	73,0	57,6	77,9	64,2	109,7	125,6	139,2	139,4	104,2	82,4	62,9	73,4	6,30
Kobenzl	13 06 00	47 47 58	737	1411	147,4	1992	1,41	26,7	NA	S	3,2</																								

Stationsname	Geo. Länge	Geo. Breite	Geo. Höhe	Mittlerer Jaehrlicher N	Energie	Mittlerer Jährlicher R faktor	Erosivitäts-dichte	Mittlere Ereigniss-anzahl	Erosivitäts-Regionen	Bundes-land	Monatserositätssummen [%]												Niederschlagssummen [mm]												Fehler ohne Temp. Korr.
	[°] [°] [°]	[°] [°] [°]	[m]	[mm]	[MJ/(ha*a)]	[MJ*mm/(h a*h*a)]	R/N				Jän.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jän.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	[%]
Lustenau	09 40 08	47 26 01	404	1219	131,4	1639	1,34	28,4	NA	V	1,0	2,6	4,5	8,0	16,2	33,1	59,9	80,3	90,8	97,0	98,8	100,0	58,6	61,0	78,9	81,9	131,5	147,5	143,5	154,8	120,2	91,9	73,0	76,5	0,70
Ebnit	09 44 58	47 21 04	1051	2220	261,3	3438	1,55	42,9	NA	V	1,2	2,3	4,6	8,7	18,3	34,0	55,8	75,6	87,5	94,4	97,9	100,0	123,0	131,6	166,4	160,4	233,4	212,9	261,0	257,4	196,4	161,7	157,6	158,6	5,69
Bödele	09 48 31	47 25 16	1150	2436	279,6	4200	1,72	43,8	NA	V	0,8	1,4	3,8	7,7	17,5	38,8	57,5	76,7	89,7	96,0	98,8	100,0	138,0	151,7	174,2	171,0	252,5	263,3	272,3	269,3	221,2	171,4	174,9	175,8	8,07
Andelsbuch	09 52 39	47 24 14	600	1952	240,7	2639	1,35	44,7	NA	V	3,3	5,2	9,1	12,8	22,5	37,5	55,2	74,3	85,9	92,7	97,0	100,0	126,2	122,7	140,8	121,4	198,7	201,2	218,7	214,0	176,4	140,3	144,5	147,1	2,27
Schönenbach	10 01 42	47 22 24	1040	2114	216,3	2555	1,21	37,5	NA	v	2,5	2,9	5,2	7,5	16,4	34,5	59,7	78,1	86,9	94,7	97,9	100,0	141,6	92,9	136,9	119,5	220,8	244,4	285,1	240,0	170,3	167,6	120,3	174,9	6,06
Bregenz (Altretuweg)	09 45 24	47 30 26	447	1606	196,0	2778	1,73	36,8	NA	V	0,9	2,2	4,2	7,2	14,4	36,2	62,7	79,2	91,6	95,5	98,3	100,0	71,8	82,0	102,3	106,1	162,4	192,0	209,5	185,1	148,0	122,6	115,5	108,4	0,68
Allach	09 39 17	47 21 33	412	1022	116,3	1468	1,44	25,0	NA	V	0,3	0,6	1,0	3,8	11,8	35,4	57,6	81,5	92,5	97,8	99,1	100,0	20,4	14,9	17,3	72,5	141,2	152,5	162,0	163,5	121,8	89,7	31,5	35,1	0,18
Frastanz	09 38 09	47 13 00	487	1239	131,1	1372	1,11	29,2	NA	V	1,1	1,8	3,6	6,1	14,5	32,1	56,1	78,8	91,1	96,4	98,9	100,0	60,7	54,1	74,7	73,7	132,6	143,6	162,8	170,2	123,4	91,2	82,6	70,0	0,90