

Saisonales Erdbeben in Abhängigkeit zu Niederschlagsereignissen am Beispiel der Massenbewegung Blaubachgraben bei Krimml

Masterarbeit

Günter Adler BSc

Technische Universität Graz

Institut für Angewandte Erdwissenschaften

Ao.Univ.-Prof. Mag.rer.nat Dr.rer.nat Qian Liu

Institut für Geodäsie

Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Viktor Kaufmann

Graz, im Juli 2016

EIDESSTÄTTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

.....

(Unterschrift)

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

.....

date

.....

(signature)

Zusammenfassung

Massenbewegungen sind im alpinen Raum häufig anzutreffen und bergen ein hohes Gefahrenpotenzial. Die Rutschung Blaubachgraben im Gemeindegebiet von Krimml (Bundesland Salzburg) wird seit 2001 mit Hilfe von Messpunkten im Rahmen eines Projektes unter der Leitung von Ao.Univ.-Prof. Dr. Viktor Kaufmann, durch das Institut für Geodäsie, an der Technischen Universität Graz, kontrolliert und die Bewegung durch Monitoring aufgezeichnet und ausgewertet.

Das Ziel dieser Arbeit war es nun herauszufinden, ob Zusammenhänge zwischen Niederschlagsereignissen und Bewegungsmustern erkennbar sind. Mit Hilfe von Bewegungsdaten aus dem Monitoringprogramm, jährliche geodätische Wiederholungsmessungen, und Niederschlagswerten der Jahre 2001- 2014, bereitgestellt von der ZAMG, wurde versucht, eine Analyse der Wechselwirkung darzustellen. Dazu wurden die Messpunkte grafisch dargestellt, die von 2001 bis 2014 kontinuierlich Daten lieferten, und in Relation zu den Niederschlagswerten gebracht. Weiters wurden die Niederschlagsdaten dem Zeitrahmen der Bewegungsmessungen angeglichen. Aller Wahrscheinlichkeit nach ist von einem Zusammenhang zwischen Niederschlagsereignissen und Rutschungen im Arbeitsgebiet auszugehen.

Abstract

Mass movements are frequently found in the alpine area and present a high potential for danger. The Blaubach landslide, located in the community of Krimml, in the federal state of Salzburg, has been monitored and evaluated since 2001 by measuring points, within a project of the Institute of Geodesy at the Technical University of Graz, under the direction of Ao.Univ.-Professor Dr. Viktor Kaufmann.

The special focus of this work has been to analyze the impact of precipitation events on movement patterns. The objective of this work is to represent interdependencies by using transaction data from the monitoring program, annual geodetic repeated measurements and precipitation values from the years 2001 - 2014, made available by ZAMG. For this purpose the measurement values from the years 2001-2014 were displayed graphically and set out in relation to the precipitation values. Furthermore, the precipitation data was adapted according to the timeframe of the movement measurements. It is most likely that this will show an interaction between precipitation events and mass movements.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei meiner Familie für die Unterstützung während des Studiums bedanken.

Besonderer Dank gilt Ao.Univ.-Prof. Mag.rer.nat Dr.rer.nat Qian Liu, der mich über den gesamten Zeitraum der Arbeit betreut hat.

Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Viktor Kaufmann für die zur Verfügung gestellten geodätischen Messdaten und für die Möglichkeit, ihn ins Gelände zu begleiten.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation und Motivation.....	1
1.2	Ziele.....	1
2	Theoretische Grundlagen der Arbeit	2
2.1	Geographischer Überblick.....	2
2.2	Geologischer Überblick.....	4
2.2.1	Tektonik.....	4
2.2.2	Geologie.....	6
2.3	Allgemeine Charakterisierung von Massenbewegungen.....	12
2.3.1	Klassifizierung von Massenbewegungen.....	13
2.4	Klassifizierung des Geschiebematerials.....	22
2.5	Erläuterung der Hangstabilität und deren Einflussfaktoren.....	22
2.6	Allgemeine Erklärung von Böden.....	23
2.7	Hydrologische Grundlagen.....	24
2.7.1	Abfluss.....	25
2.7.2	Interzeption.....	27
2.7.3	Infiltration.....	27
2.7.4	Durchlässigkeit (Permeabilität) und Vernässungszonen.....	28
2.8	Klimatische Bedingungen.....	29
2.8.1	Klima.....	29
2.8.2	Niederschlag.....	30
2.8.3	Niederschläge als Auslöser für Massenbewegungen.....	35
2.8.4	Schnee und Schneeschmelze als Auslöser für Massenbewegungen.....	35
2.9	Vegetation im Arbeitsgebiet.....	37
2.9.1	Bedeutung des Waldes für die Hangstabilität.....	38
2.10	Geodätische Messungen, die im Zuge des Monitorings der Massenbewegung Blaubachgraben verwendet wurden.....	38
2.10.1	Geodätisches Stütznetz und GPS- Einzelpunktbestimmung (Global Positioning System) 38	
2.10.2	Photogrammetrie.....	40
2.11	Sicherungsmaßnahmen im Arbeitsgebiet.....	40
3	Praktische Problemlösung	43

3.1	Ergebnisse früherer Untersuchungen.....	43
3.2	Punktbezogene (auf die geodätischen Messpunkte) Analyse der Bewegungen	44
3.2.1	Messbereich 1.....	46
3.2.2	Messbereich 2.....	47
3.2.3	Messbereich 3.....	49
3.2.4	Messbereich 4.....	50
3.2.5	Messbereich 5.....	53
3.2.6	Gegenüberstellung von Bewegungsmustern	57
3.2.7	Darstellung der Bewegungsmuster in 3D	60
3.2.8	Reaktion auf die Sicherungsmaßnahmen (Konsolidierungssperre und Drainageschächte).....	69
3.3	Korrelation der Niederschlagsmessungen mit den relativen Bewegungsraten.....	70
3.3.1	Korrelation.....	72
3.3.2	Signifikanz.....	76
3.3.3	Regression.....	78
3.3.4	Analyse der Regressionsgeraden.....	79
3.4	Einfluss des Starkregenereignisses vom 29.5- 5.6.2013	87
3.5	Wechselwirkung – Niederschlag- räumlicher Versatz 04.07-11.10.2001	89
3.6	Einfluss der Schneedecke und Schneeschmelze	93
3.7	Messbereichseinteilung nach Analyse.....	108
3.8	Abschätzung eines saisonalen Rutschverhaltens.....	110
4	Diskussion	111
	Literaturverzeichnis	113
	Abbildungsverzeichnis	118
	Tabellenverzeichnis	122
	Abkürzungsverzeichnis	123
	Anhang.....	124

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Motivation

Obwohl die Massenbewegung Blaubachgraben schon seit längerem Zeitraum beobachtet wird und auch von Vorläuferarbeiten analysiert wurde, sind die Mechanismen, die den hangabwärts gerichteten Bewegungen zu Grunde liegen, bis jetzt keiner genaueren Analyse unterzogen worden. Dies lässt sich durch mangelnde Breite der Daten erklären, da es sich bei den vorhandenen hauptsächlich um Oberflächendaten handelt. Nachdem eine genaue Klassifizierung von Massenbewegungen nur mit Oberflächendaten kaum möglich ist, wurde nun im Zuge dieser Arbeit versucht, eine Korrelation der Niederschlagswerte mit den durch das Monitoringprogramm gemessenen oberflächennahen Bewegungen zu erzielen.

1.2 Ziele

Durch die Korrelation der Niederschlagswerte mit den Bewegungsdaten sollten Rückschlüsse auf eine Saisonalität im Rutschverhalten der Massenbewegung Blaubachgraben festgestellt werden können. Die Ergebnisse dieser Untersuchung könnten zu einem besseren Verständnis der Wasserwechselwirkung führen und ein verbessertes Abschätzen des Risiko- bzw. Gefahrenpotentials ermöglichen.

2 Theoretische Grundlagen der Arbeit

2.1 Geographischer Überblick

Das Arbeitsgebiet befindet sich im Bundesland Salzburg, am westlichen Ende des Pinzgaus, an der Grenze zu Tirol in der Gemeinde Krimml (siehe Abb.1).

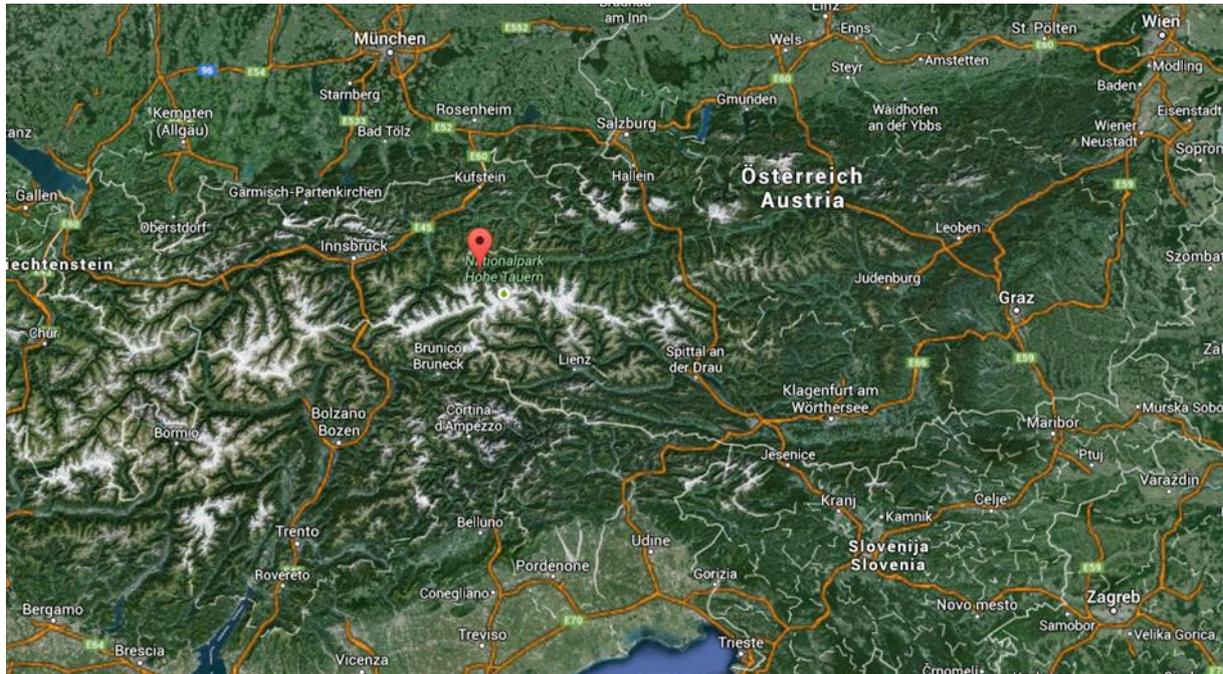


Abbildung 1: Geographische Karte Österreich (Krimml rote Makierung), (Google Maps)

Der Blaubach mit seinem Einzugsgebiet, das etwa 4.5 km² beträgt, ist ein Zubringer der Krimmler Ache.

Durch Rutschungen wurde der Blaubach nach Süden abgedrängt und gezwungen sich in den Hochstegenmarmor und in den eigenen Schuttkegel einzugraben. Der Blaubach ist der Hauptlieferant für das Geschiebe in die Krimmler Ache.

Die Massenbewegung befindet sich westlich der Gerlos - Alpenstrasse, südlich des Plattenkogels und östlich des Kammes Schmalscharte – Breitscharte (ZOBL, 2001), (siehe Abb.2). In Abbildung 3 ist der zentrale Schuttbereich der Massenbewegung zu sehen.



Abbildung 2: Geographische Karte Krimml u. Umgebung (Massenbewegung Blaibachgraben, rote Umrahmung) , (Google Maps)



Abbildung 3: Zentralbereich der Massenbewegung, Foto Adler 2014

2.2 Geologischer Überblick

Der folgende Teil behandelt kurz die Geologie und Tektonik im Arbeitsgebiet, soll aber nicht allzu detailliert ausfallen, da sich bereits ZOBL (2001) und RATHOFER (2012) im Rahmen ihrer Arbeiten mit der Grundgeologie des Arbeitsgebietes ausführlich auseinandergesetzt haben.

2.2.1 Tektonik

Tektonisch gesehen liegt die Massenbewegung in der Übergangszone zwischen den Penninischen und den Austroalpinen Decken in den westlichen Ausläufern der SEMP (Salzach-Ennstal-Mariazell-Puchberg-Störung).

Genauer zwischen den Unterpenninischen bzw. Subpenninischen Decken und den Oberaustroalpinen und Unteraustroalpinen Decken (siehe Abb.4 und Abb.5).

Die ungefähre Lage der Massenbewegung wird durch den roten Kreis in Abb.4 markiert.

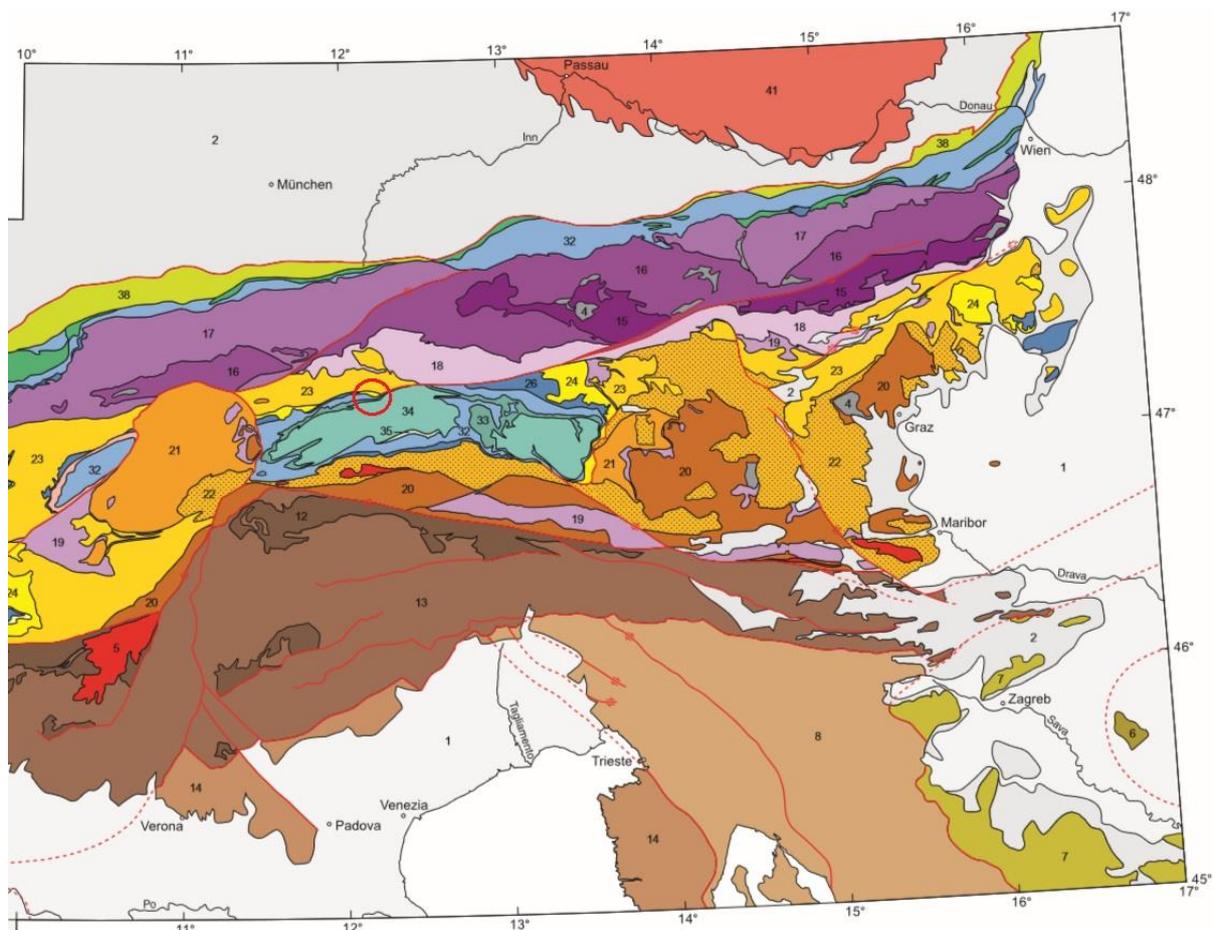


Abbildung 4 : Tekttonische Karte SCHMID et al., 2004

Austroalpine Nappes:**Northern Calcareous Alps and Grauwackenzone (Upper Austroalpine):**

- 15 Juvavic nappes (Mesozoic cover)
- 16 Tirolian nappes (Mesozoic cover)
- 17 Bavarian nappes (Mesozoic cover)
- 18 Grauwackenzone (Paleozoic, stratigraphic base of Tirolian nappes)

Upper Austroalpine basement nappes:

- 19 Mesozoic cover of Upper Austroalpine basement nappes
- 20 Drauzug-Gurktal nappe system
(Tonale series, Steinach nappe, basement of Drauzug, Gurktal nappe, Graz Paleozoic)
- 21 Ötztal-Bundschuh nappe system
(Ötztal and Bundschuh nappes)
- 22 Koralpe-Wölz high pressure nappe system
(Schneebergzug, Millstatt, Wölz, Saualpe-Koralpe crystalline units)
- 23 Silvretta-Seckau nappe system
(Campo-Sesvenna-Silvretta nappes, Innsbrucker Quarzphyllit, Schladming, Seckau, Semmering nappes)

Lower Austroalpine nappes:

- 24 Lower Austroalpine nappes (Ela, Err-Bernina nappes, Radstätter Tauern, Wechsel nappe)
- 25 Nappes derived from Margna-Sesia fragment (Margna-Sella, Sesia-Dent Blanche nappes)

Penninic nappes:**Upper Penninic nappes (Piedmont-Liguria ocean):**

- 26 South-Penninic ophiolites, Bündnerschiefer or Schistes Lustrés, Nappes Supérieures des Préalpes, Helminthoid flysch and Matrei mélange

Middle Penninic nappes (Briançonnais terrane):

- 27 Sedimentary cover of Middle Penninic basement nappes
- 28 Middle Penninic basement nappes
- 29 Detached Middle Penninic cover nappes ("Sub-Briançonnais" and "Briançonnais")
- 30 Permo-Carboniferous sediments (Zone Houlière) and their Mesozoic cover ("Briançonnais")

Lower Penninic nappes (Valais ocean):

- 31 Tertiary flysch sealing Lower Penninic accretionary prism (Cheval Noir Flysch)
- 32 North-Penninic ophiolites and Bündnerschiefer (including Rhenodanubian flysch)

Sub-Penninic nappes (distal European margin):

- 33 Mesozoic cover of Sub-Penninic basement nappes (including cover of "Gotthard Massif")
- 34 Non-eclogitic Sub-Penninic basement nappes (including "Gotthard Massif")
- 35 Eclogitic Sub-Penninic basement units

Abbildung 5: Legende Tektonische Karte SCHMID et al., 2004

2.2.2 Geologie

Das Gebiet liegt geologisch gesehen am Nordrand des Tauernfensters (Abb.6). Abbildung 7 zeigt die Legende, in der die einzelnen Gesteinspakete mit ihren in der Karte zugewiesenen Farben aufscheinen.

Der Zentralgneiskern wird von einer dünnen Hochstegenmarmorlage aus dem Mesozoikum umgeben. Auf diese folgen die Gesteinsserien der Schieferhülldecke (ANKER, 2008).

Die Gesteine der Hohen Tauern sind durch hohen Druck und hohe Temperaturen der darüber gelagerten Gesteinsdecken, die wieder abgetragen wurden, umgewandelt worden. Dadurch ist die Altersbestimmung erschwert, da die darin enthaltenen Fossilien zerstört wurden.

Im Tauern Fenster werden neben den Penninischen Decken auch noch die darunterliegenden Subpenninischen Decken sichtbar (SCHUSTER & STÜWE, 2010).

Im Bereich des Blaubachs besteht die Schieferhülle aus einer Porphyrschieferschuppe und Gesteinsserien aus der Gruppe der Bündner Schiefer, die inkompetente und gleitfähige Gesteine darstellen und der Glockner Gruppe zugerechnet werden (ANKER, 2008).

2.2.2.1 Anzutreffende Gesteinsformationen

2.2.2.1.1 Zentralgneis

Es handelt sich bei diesen Gneisen um helle Gneise mit grünen Fasern, die aus Muscovit und sehr wenig Chlorit bestehen (ZOBL, 2001).

Diese Gesteine sind sehr widerstandsfähig und benötigen eine lange Zeit für die Erosion.

2.2.2.1.2 Hochstegenmarmor

Nördlich der Gneiswalze befindet sich der fast reine Kalkmarmor, es finden sich nur geringe Vorkommen von Quarzen im Gestein (ZOBL, 2001).

2.2.2.1.3 Untere Schieferhülle

Über den Zentralgneisdecken liegen die Untere sowie die Obere Schieferhülle (erklärt bei Punkt 2.2.2.1.4).

Die Porphyrschieferschuppe ist ein Teil der unteren Schieferhülle, ihre Entstehung ist nicht genau dokumentiert.

2.2.2.1.4 Obere Schieferhülle

Die Obere Schieferhülle gehört zur Glocknerdecke, die mesozoischen Sedimente sind mächtiger ausgeprägt, als die in der Unteren Schieferhülle.

In der Oberen Schieferhülle finden sich Mitteltriaskarbonate, wie Kalkmarmore, Kalkschiefer und Dolomitschiefer. Gips- und Anhydritfunde lassen auf Keuper schließen.

2.2.2.1.5 Bündner Schiefer

Bei den Bündner Schiefen handelt es sich um eine bedeutende Gesteinsformation im Tauern Fenster. Sie bestehen hauptsächlich aus kalkfreien bis kalkarmen Phylliten, so wie aus Kalkphylliten, Kalkglimmerschiefern, hellen oder dunklen Karbonatquarziten und Kalkglimmermarmoren. Dazu treten auch immer wieder Chloritschiefer auf.

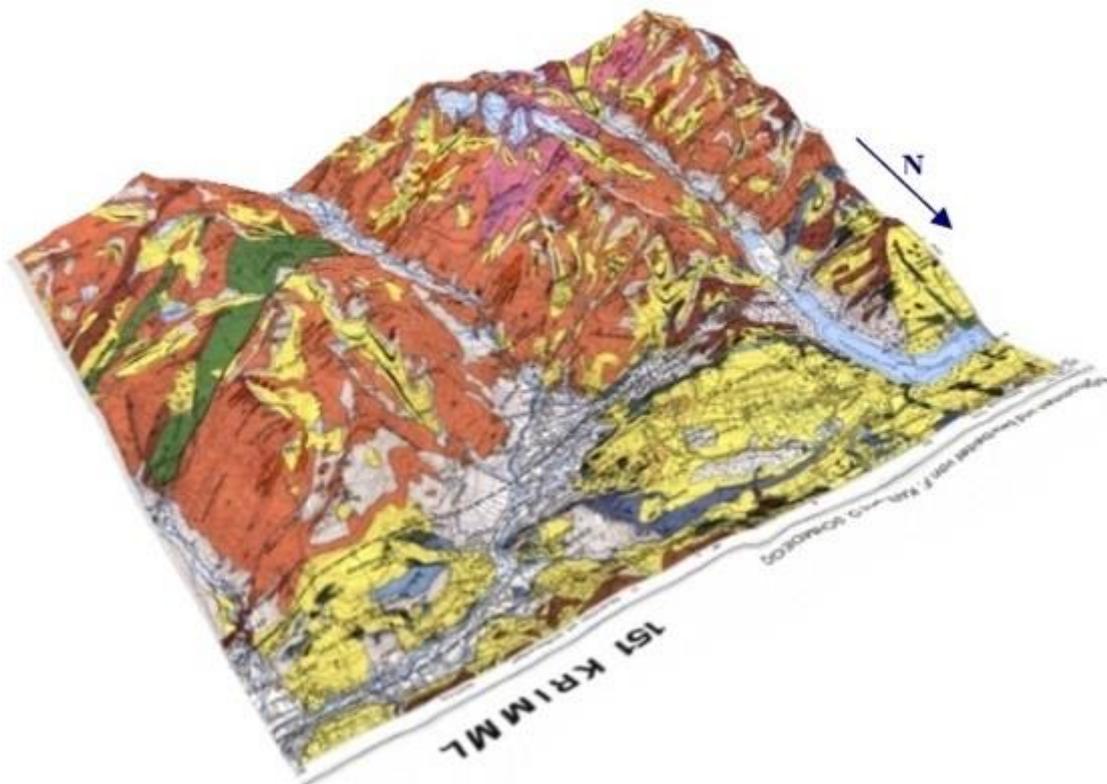


Abbildung 6: 3D Ansicht des Kartenblattes 151 Krimml, aufgenommen von KARL & SCHMIDEGG, 1979, modifiziert durch ZOBL, 2001

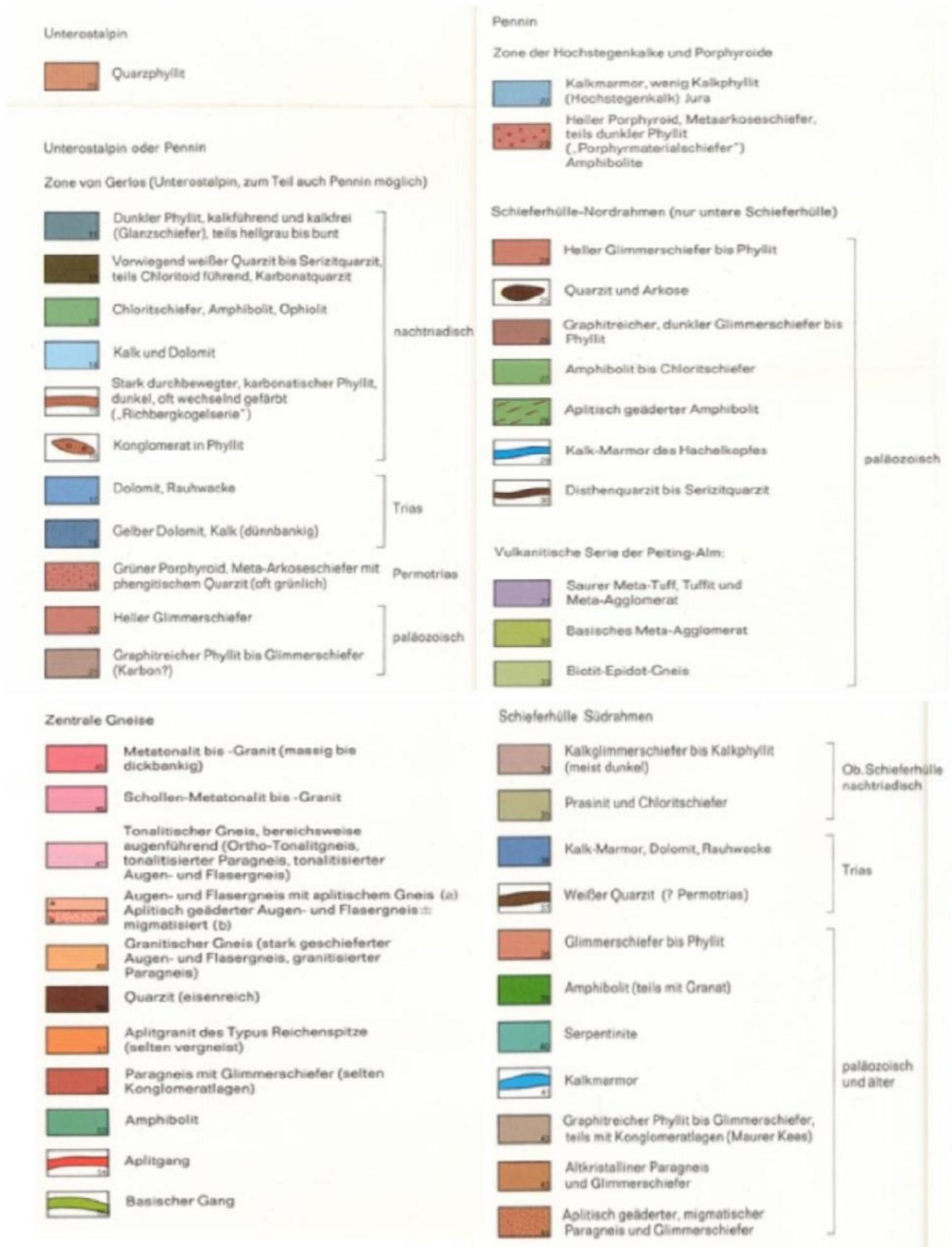


Abbildung 7: Legende der Geologischen Karte 151 Krimml, aufgenommen von KARL & SCHMIDEGG, 1979

2.2.2.2 Gesteine der Massenbewegung

ZOBL (2001) unterscheidet zwischen Fließ-, Hang- und Blockschutt, und bewertet den Schutt, das Moränenmaterial und die Gesteine, graphitreicher Phyllit, Glimmerschiefer, dunkler Phyllit, Porphyrschiefer, Quarzit, Chloritschiefer, heller Glimmerschiefer, Hochstegenmarmor und Gneis, auf Grund der Beeinflussung auf die Massenbewegung, wobei das Gelände, die Gesteinsfestigkeit, der Zerlegungsgrad und die Verwitterungsanfälligkeit berücksichtigt wurden.

Die verwitterungsanfälligen Phyllite und Schiefer, die als scherbiger Verwitterungsschutt, wie auch als Material mit hohem Feinanteil vorkommen, stellen, neben der tektonischen Situation, die die SEMP darstellt, wo die weichen Gesteine der Schieferhülle Zerreibungsprozessen unterzogen worden sind, ebenso Gründe für die Rutschungsbedingungen im Arbeitsgebiet dar. Dabei wird der Rutschprozess durch das zerlegte Gestein und plastisches, toniges Störungsmaterial begünstigt (ZOBL, 2001).

2.2.2.2.1 Schiefer

Unter Schiefer versteht man eine Kennzeichnung des Gefüges. Präzisiert wird der Schiefer durch Hinzufügen charakteristischer Minerale oder auch besonderer Gefügeeigenschaften (OKRUSCH et al., 2009).

Die Schieferung ist typisch für die Struktur von Gesteinen, die durch Regionalmetamorphose entstanden sind.

Durch den hohen Zerlegungsgrad sind im Hang- und Fließschutt des Arbeitsgebietes hauptsächlich Schiefergesteine enthalten, die ANKER (2008) als inkompetente und gleitfreundige Gesteine bezeichnet.

Chloritschiefer

Chloritschiefer bezeichnet ein Gestein der Schiefergruppe (Grünschiefer), das durch Regionalmetamorphose entstanden ist, mit feinkörniger Grundstruktur und ausgeprägter Schieferung. Chlorit, Quarz, Feldspat, Glimmer und Talk sind die Hauptgemengeteile dieses Gesteinstyps. Meist ist diese Schieferart eng geschiefert.

Porphyroid

Unter Porphyroid versteht man einen geschieferten Vulkanit, der aus Feldspat, Quarz und Glimmer besteht.

Glimmerschiefer

Als Glimmerschiefer werden metapelitische Gesteine bezeichnet, die mittel- bis grobkörnig ausfallen und ein ausgeprägtes Schieferungsgefüge aufweisen. Die Gemengeteile sind Glimmer (Muscovit, Biotit) und Quarz. Feldspat ist in typischen Glimmerschiefern nur sehr gering enthalten (OKRUSCH et al., 2009).

Porphyrschiefer

Laut ZAUTER (1989) handelt es sich wahrscheinlich beim Porphyrschiefer im Arbeitsgebiet um ein Sediment, in dem saures, porphyrisches Material als Verwitterungsschutt eines im Paläozoikum herausgehobenen kristallinen Bereiches angereichert wurde.

Am rechten Ufer des Blaubaches, auf Höhe der Schönmoos-Hochalm, wird Porphyrschieferschutt angelagert und auf Höhe der Konsolidierungssperre weist der Porphyrschiefer einen hohen Zerlegungsgrad mit Kluftscharen auf, bildet aber trotz des hohen Zerlegungsgrades einen Körper, den man als stabil ansehen könnte. Dadurch, dass dieser stabile Bereich, wie ein Trichter wirkt, der in weiterer Folge die Rutschmasse einengt und zusammenfließen lässt, wird die Massenbewegung begrenzt (ZOBL, 2001).

Der zerlegte Porphyrschiefer trifft als Blockschuttmaterial durch starke Verwitterungs- und Abtragungsereignisse entlang der Hauptstörung des Blaubachgrabens auf einen durch hohen Tongehalt plastischen Untergrund (ZOBL, 2001).

2.2.2.2 Kataklasite

Das Material von Kataklasiten, bei ZOBL (2001) als plastisches „fault gouge“ – Material, bezeichnet, begünstigt die Rutschbewegung des Hanges im Bereich Schönmoos- Hochalm, da das Quellen von Tonmineralen, Massenbewegungen auslösen kann.

Die tonigen Kataklasite sind an tektonische Störungszonen bzw. Verwerfungen gebunden, wobei die Gesteinsfestigkeit durch mechanische Beanspruchung überschritten wird und es zum kataklastischen Fließen kommt, dabei werden die Minerale bei niedrigen Temperaturen und hoher Strainrate deformiert .

Anschließend erfolgt eine Neu- bzw. Umbildung der Tonminerale (ANKER, 2008).

Der Begriff Kataklaste (Zerbrechung) bezeichnet die Vorgänge, denen die Kataklasite unterworfen sind. Bei der Kataklaste entstehen Unterschiede in der mechanischen Beanspruchung und so kann zwischen Karkirite (Reibungsbreccien) und Kataklasiten unterschieden werden (OKRUSCH et al., 2009).

Der Begriff Karkirit (fault gouge) bezieht sich nicht auf den Mineralbestand, sondern auf das Gefüge, die Kornbindung und die Genese des Gesteins.

In der Rutschung oberhalb der Konsolidierungssperre tritt toniges Material der Kataklasite zu Tage (ANKER, 2008).

2.2.2.3 Phyllit

Phyllit ist ebenso wie Schiefer ein Sammelbegriff zur Kennzeichnung des Gefüges und bezeichnet ein Metamorphgestein der Grünschieferfazies mit Tonmineralen und intensiver Schieferung. Die Gesteine sind feinkörnig und lassen durch beginnende Hellglimmerbildung einen charakteristischen Seidenglanz erkennen (SEBASTIAN, 2009).

Phyllite zählen zu den Gesteinen, die nur durch starke Deformation entstehen, sie bestehen hauptsächlich aus Schichtsilikaten, es ist aber kein oder nur wenig Biotit enthalten (MARKL, 2008).

Graphitphyllit

Unterhalb der Breitscharte, links vom Blaubach, kann man von einer Grenze zwischen einem labilen zu einem weitgehend stabilen Bereich ausgehen. Der rutschfreundige Untergrund besteht aus Graphitphyllit, dessen Schieferflächenorientierung der ungefähren Hangneigung entspricht (ZOBL, 2001).

Im Bereich der Schmalscharte ist ein hoher Anteil von stark verwittertem Graphitphyllit festzustellen, der mit Wasser vermischt plastisch wird und dadurch den Rutschvorgang fördern kann.

Sickerwasser dringt oft unkontrolliert in darunterliegende stufenförmig abgleitende Hangbereiche ein und verstärkt die Destabilisierung des Lockermaterials (ANKER, 2008).

2.2.2.2.4 Marmor

Unter Marmor versteht man ein durch Metamorphose entstandenes Gestein (Metamorphit), das durch Calcit oder Dolomit dominiert wird.

Hochstegenmarmor

Der Hochstegenmarmor ist ein Kalkmarmor und besteht aus wechselnden grauen bis blaugrauen Lagen. Hochstegenmarmor ist in Form einer kleinen Linse im Anschluss an den Bereich mit Porphyrchiefer unterhalb der Breitscharte erkennbar. Feine Verwitterungsprodukte des Hochstegenmarmors werden durch Wasser plastisch und die Massenbewegung wird dadurch gefördert (ZOBL, 2001).

2.3 Allgemeine Charakterisierung von Massenbewegungen

Massenbewegungen sind hangabwärts gerichtete Verlagerungsprozesse von Boden und Felsmassen unter Wirkung von Schwerkraft, anzutreffen an Böschungen und Steilhängen. Es gibt zahlreiche Begriffsdefinitionen und Klassifizierungsansätze von Massenbewegungen.

Die Klassifikation von Massenbewegungen erfolgt meistens nach der Art und Geschwindigkeit der Bewegung. Die Gesteinsart, der Verwitterungsgrad, die Festigkeit haben auch eine gewisse Bedeutung für die Bewegungsart. Es ist auch zu unterscheiden, ob es sich um Locker- oder Festgestein handelt.

Geologische, hydrologische, klimatische und durch Menschen ausgelöste Prozesse können sich auf die Stabilität von Hängen auswirken. Diese Prozesse können sowohl innerhalb eines kurzen Zeitraumes ablaufen, als auch über lange Zeitspannen bei unterschiedlicher Intensität stattfinden (WIECZOREK, 1996).

Massenbewegungen führen zu Abtragung und dadurch zu Änderungen des Reliefs und sie treten nur unter bestimmten Bedingungen auf. Sie sind zuständig für Transportprozesse von Verwitterungsmaterial.

Externe und interne Faktoren haben auslösende Wirkung für die Hangbewegung, sie erhöhen oder vermindern die Scherfähigkeit (NIEDERSCHICK, 2007).

In Österreich sind durch die geologische Situation, Massenbewegungen relativ häufig anzutreffen, es können dies rasche oder auch langsame Bewegungen sein, die durch Niederschläge, die eintretende Schneeschmelze oder auch durch plötzliche Erschütterungen wie z.B. Erdbeben ausgelöst werden (Geologische Bundesanstalt, GBA).

Im Arbeitsgebiet sind Rutsch-, Fließ- und Sturzprozesse zu erkennen (auf diese Prozesse wird später in diesem Kapitel genauer eingegangen).

Die Massenbewegung Blaubach wird durch mehr oder weniger stabile Bereiche umgrenzt. Es bildet sich durch die ständige Erosion Jungschutt, der Einfluss auf die Rutschung nimmt. Die größte Rutschungsbewegung ist durch Geländebeobachtungen im Mittelteil der Massenbewegung zu erkennen (ZOBL, 2001).

Die vorherrschenden geomorphologischen Prozesse sind Rutschprozesse im gesamten Beobachtungsgebiet, Fließprozesse im südlichen Bereich, von der Breitscharte ostwärts, sowie Sturzprozesse in den steilen Bereichen östlich der Schmalscharte und dem südlichen Gegenhang (RATHOFER, 2012).

2.3.1 Klassifizierung von Massenbewegungen

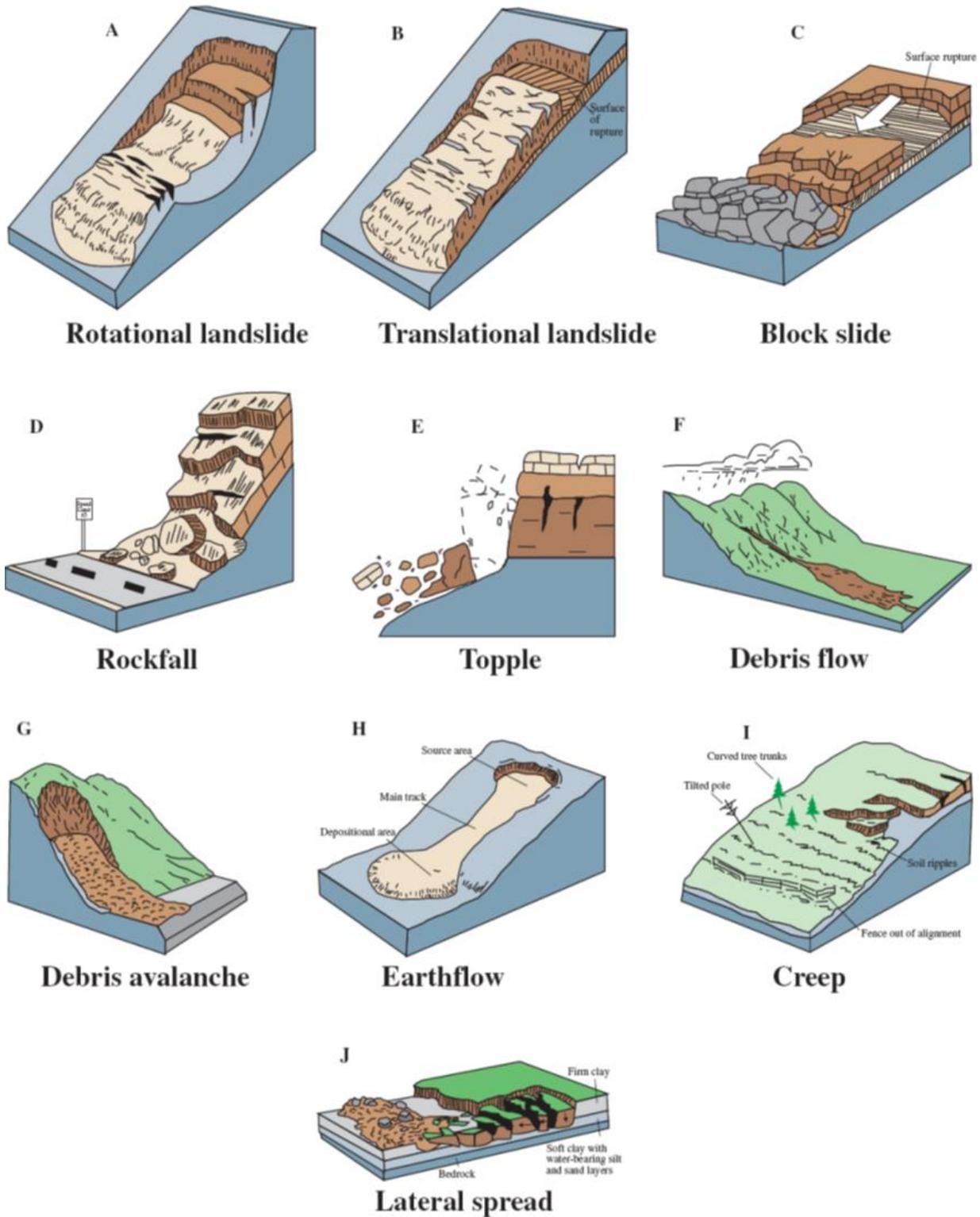
Massenbewegungen werden nach Art der Bewegung, Gesteinsart (unter Abhängigkeit von verschiedenen Parametern, Verwitterungsgrad, Festigkeit, Volumen etc.) und der Bewegungsgeschwindigkeit unterschieden.

Die Auslöser für Massenbewegungen können natürlichen oder anthropogenen Ursprung haben. Wie z.B. Durchfeuchtung, die durch starke Niederschläge oder Schmelzwässer herbeigeführt werden kann, sie führt zu Belastungs- und Spannungsänderungen. Aber auch Erschütterungen, die durch Erdbeben, eingestürzte Hohlräume oder durch von Menschen ausgelöste Sprengungen verursacht werden können, spielen eine Rolle. Diese Parameter sind nicht die einzigen Auslöser und sollen nur als Beispiele dienen.

2.3.1.1 Arten der Bewegung

VARNES (1978) unterteilt Massenbewegungen in Fließen (Flows/Creeps), Rutschen/Gleiten (Slides), Kippen/Fallen (Falls/Topples) und Driften (Spread), (siehe Abb.8).

Man kann die Massenbewegung in schnell und langsam ablaufende Prozesse einteilen, wobei zu den schnell ablaufenden Prozesse Stürze und zu den langsamen Prozessen Kriechen und Fließen zu zählen sind.



Schematische Illustration der Haupttypen von Massenbewegungen nach VARNES

Abbildung 8: Schematische Darstellung der Haupttypen von Massenbewegungen nach VARNES (1978)

2.3.1.1.1 Fließen (Flows)/ Kriechen (Creep)

VARNES (1978) versteht unter Fließen eine rasche kontinuierliche Bewegung von losem, wassergesättigtem, unsortiertem Material, das sich bei der Zusammensetzung, dem Wassergehalt und der Bewegungsgeschwindigkeit der Materialverlagerung, unterscheidet.

Fließprozesse können auftreten, wenn Schutt, feinkörnige oder tonige Böden verflüssigt werden, man kann zwischen Schutt-, Erd- und Schlammfließen unterscheiden (NIEDERSCHICK, 2007).

Fließen ist meist verbunden mit schnellen und wasserhaltigen Massenbewegungen wie Muren und Schlammströmen (KELLER, 2009).

Bodenkriechen ist eine langsam ablaufende Massenbewegung, ein plastisches Fließen, ohne eine ausgeprägte Gleitfläche. Abbildung 9 zeigt eine erste Einteilung möglicher Fließprozesse im Arbeitsgebiet nach ZOBL (2001).

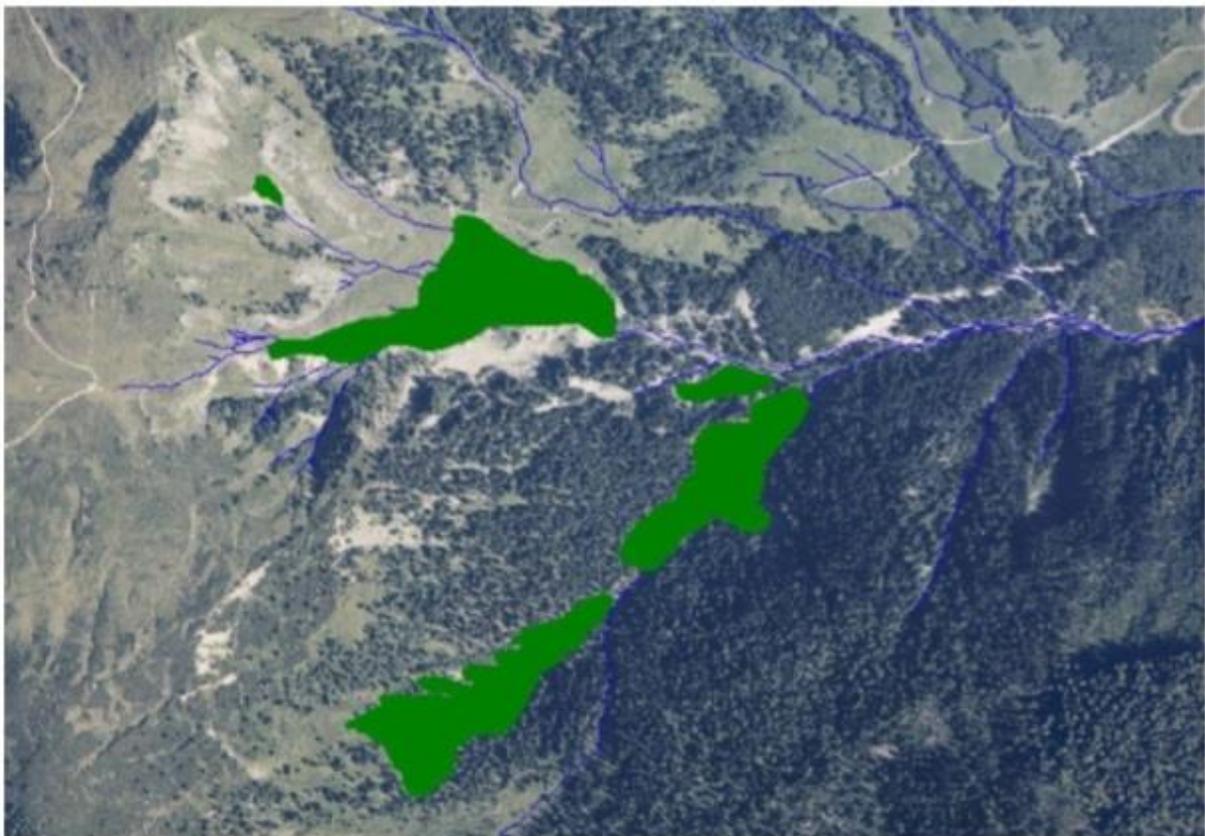


Abbildung 9: Gebiete mit möglichen Fließprozessen im Arbeitsgebiet, ZOBL, 2001

Bodenfließen bzw. Bodenkriechen wird von VARNES (1978) in weitere Kategorien unterteilt

Debris flows (Muren) und Debris avalanches (schnelle Muren)

Als Muren bezeichnet man Massenbewegungen, die aus einer Mischung von Wasser und Lockermaterial bestehen. Sie treten meist nach Übersättigung des Bodens mit Wasser durch Starkniederschläge oder durch plötzlich einsetzende Schneeschmelze auf. Der Anteil an Sediment ist meist größer als der Wasseranteil. Eine weitere Voraussetzung für Muren bilden ein großes Gefälle und ein kritischer Porenwasserdruck im Boden. So kann aus einer langsamen Massenbewegung durch ungünstige Prozesse eine schnelle Mure werden.

Ein Zusammenhang zwischen Niederschlägen und Murenaktivität kann hergestellt werden, ist jedoch im Detail schwer definierbar. Niederschläge beeinflussen die Stabilität eines Hanges nur durch den Porenwasserdruck, also indirekt, dadurch ist eine genaue Beschreibung der Zusammenhänge schwierig (WALLNER, 2012).

Durch den hohen Wasseranteil kommt es zu einer Prozessgeschwindigkeit von 1-10m/s, welche eine zerstörerische Wirkung zur Folge hat (ZOBL, 2001).

Mud flows (Schlammströme)

Unter Schlammstrom versteht man eine Massenbewegung aus wassergesättigtem Lockersediment, dessen Feststoffanteil hauptsächlich aus kleinen Korngrößen besteht.

Earth flows (Erdfließen, Solifluktion)

Boden- bzw. Erdfließen oder auch Solifluktion bezeichnet eine hangabwärts gerichtete Fließbewegung. Diese Fließbewegung kann bereits auf Hängen mit geringer Neigung stattfinden.

Solifluktion findet im periglazialen Bereich statt und ist das Kriechen der obersten Bodenschicht, es können dabei höhere Geschwindigkeiten, als bei anderen Kriechprozessen, erreicht werden (NIEDERSCHICK, 2007).

Creep (Kriechen)

Bodenkriechen ist eine langsam ablaufende Massenbewegung von Lockermaterial, ein plastisches Fließen, ohne eine ausgeprägte Gleitfläche. Im rheologischen Sinn bedeutet Kriechen eine langsame zeitabhängige Deformation, wobei die Belastung gleich bleibt (HAUSEGGER, 2012).

2.3.1.1.2 Kippen (Topple)

Beim Kippen, meist nur bei Steilhängen zu finden, handelt es sich um die Rotation eines Felspaketes unterhalb des Schwerpunktes um einen Punkt oder eine Achse. Je nach Hangneigung kann die Bewegung langsam oder schnell erfolgen. Gravitation, eis- oder wassergefüllte Gesteinsklüfte können die Kippbewegung auslösen.

Fall- oder Gleitbewegungen können Kippen vorangehen oder nachfolgen, deutlich an gelösten instabilen Körpern in Steilhängen erkennbar (NIEDERSCHICK, 2007).

2.3.1.1.3 Fallen (Fall)

Fallen gehört zu den Sturzprozessen, Fest- oder Lockermaterial löst sich in einer fallenden oder rollenden Bewegung. Zu dieser Art von Massenbewegung werden Steinschlag, Fels- und Bergsturz gezählt. Es sind dies abrupte schnelle bis extrem schnelle Ereignisse. Das Gesteinsmaterial löst sich entlang von Flächen mit geringen Scherbewegungen. Als Auslöser dafür kann mechanische Verwitterung angesehen werden.

In Bergstürzen kann verdichtete Luft eingeschlossen sein, was dazu führt, dass sich der Schutt mit einer sehr hohen Bewegungsgeschwindigkeit, wie auf einem Luftkissen, fortbewegen kann. Durch hohen Porenwasserdruck kann in grobkörnigem Material der Rutschprozess ausgelöst und dadurch aufrechterhalten werden (NIEDERSCHICK, 2007).

Sturzprozesse (Abb.10) kann man in drei Bereiche unterteilen, in das Ausbruchsgebiet, die Transportstrecke und das Ablagerungsgebiet (ZOBEL, 2001).

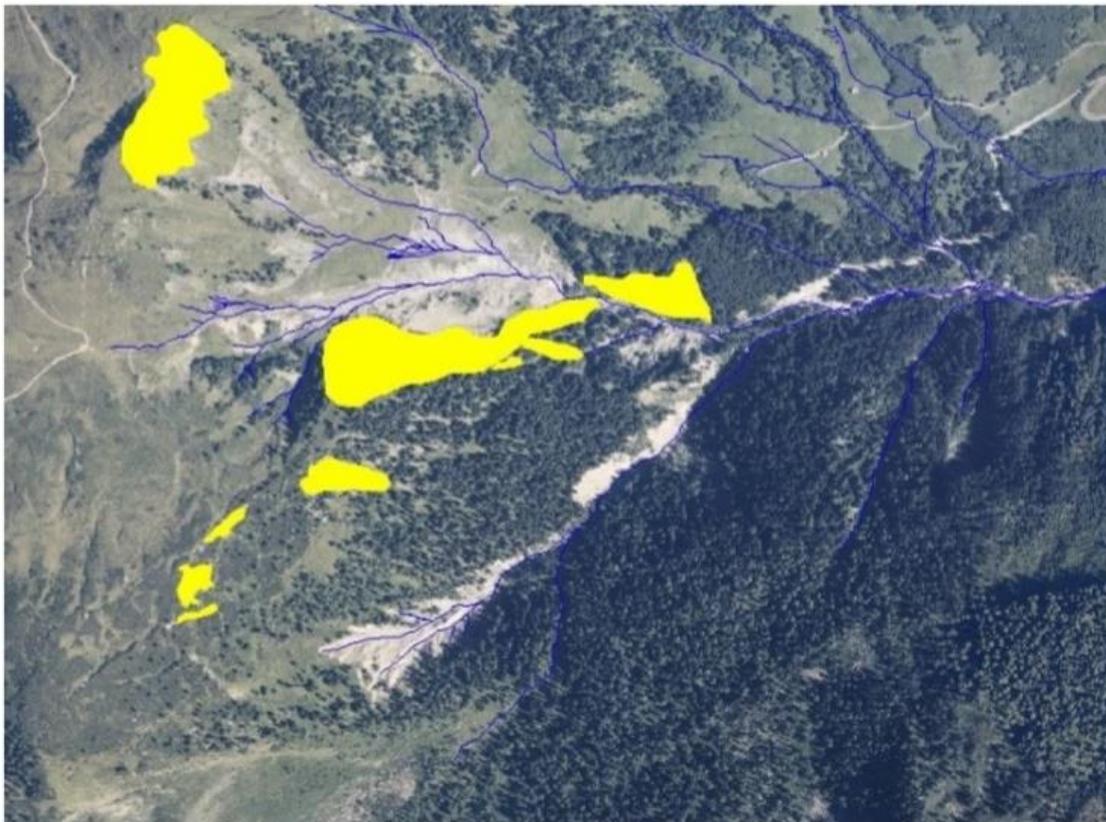


Abbildung 10: Gebiete mit möglichen Sturzprozessen im Arbeitsgebiet, ZOBEL, 2001

2.3.1.1.4 Driften (Spread)

Driften ist eine seitwärts gerichtete, meist tiefreichende Bewegung von Fest- und Lockergesteinen, bei der darunterliegende Schichten einsinken. Eine Scherung auf Gleitflächen findet dabei nicht statt. Durch Fließen des meist weicheren, liegenden Materials kann diese Bewegung entstehen, kompakte Felsmassen liegen auf einem weicheren Sockel auf. Karbonate auf Mergeln sind dafür prädestiniert. Besondere Formen des Driftens sind Blockbewegung, Talzus Schub und Bergzerrei ßung (NIEDERSCHICK, 2007).

2.3.1.1.5 Slides (Rutschen/Gleiten)

In die Begriffsdefinition der gleitenden oder rutschenden Massenbewegungen sind auch die für das Arbeitsgebiet (Abb.11) relevanten Rutschprozesse einzugliedern.

Das Gleiten bzw. Rutschen einer Gesteinsmasse verläuft meist langsam bis schnell hangabwärts entlang einer Gleitfläche, Bruchzone oder einer Zone starker Scherspannung, wobei oft eine Abrisskante erkennbar ist.

Oberflächennahe Rutschungen werden meist in Folge von Starkregenfällen ausgelöst, es werden dabei eine bestimmte Niederschlagsmenge und -intensität überschritten.

Gleitflächen von Rutschungen werden von Fest-, Lockergestein und von der Hydrologie beeinflusst. Rutschungen treten oft dann auf, wenn es sich um ein Ausgangsmaterial geringer Festigkeit oder um eine ungünstige Schichtabfolge handelt.

Eine fehlende oder offene Vegetationsdecke beschleunigt die Verwitterung bzw. Erosion, das Wasser infiltriert und das Material kann leichter abtransportiert werden.



Abbildung 11: Gebiete mit Rutschprozessen im Arbeitsgebiet, ZOBL, 2001

Rutschungstypen

VARNES (1978) unterscheidet bei Rutschungsprozessen nach der Form der Gleitfläche zwischen Rotations- und Translationsrutschungen.

Rotationsrutschungsprozesse sind hauptsächlich in homogenen, tonigen und siltigen Lockergesteinen zu finden, wobei ihr Volumen meist beschränkt ist (ZOBL, 2001).

Die Gleitflächen entstehen bei Rotationsrutschungen erst durch die Bewegung (NIEDERSCHICK, 2007).

Bei einer Translationsrutschung besteht die unterste Schicht aus wasserundurchlässigem Material, dadurch gleiten oder rutschen ganze Schichtpakete ab. Abbildung 12 zeigt eine schematische Darstellung der Translations- und Rotationsgleitung, Abbildung 13 zeigt erweiterte Subtypen.

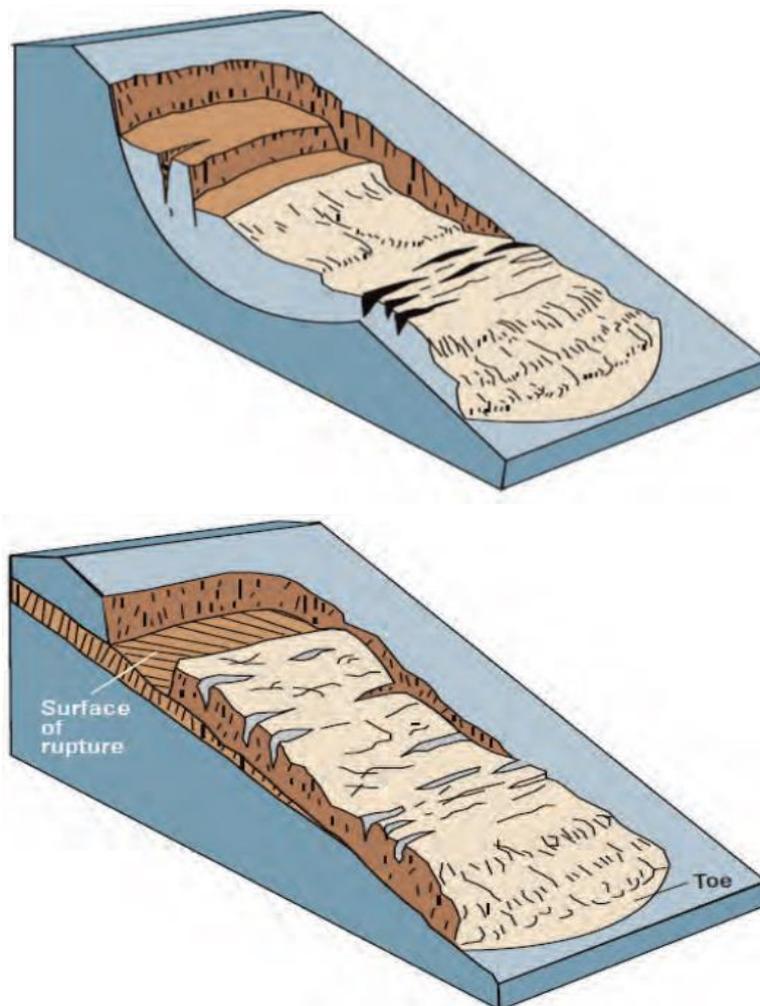


Abbildung 12: Schematische Darstellung einer Rotationsgleitung (oben) und einer Translationsgleitung (unten), (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008)

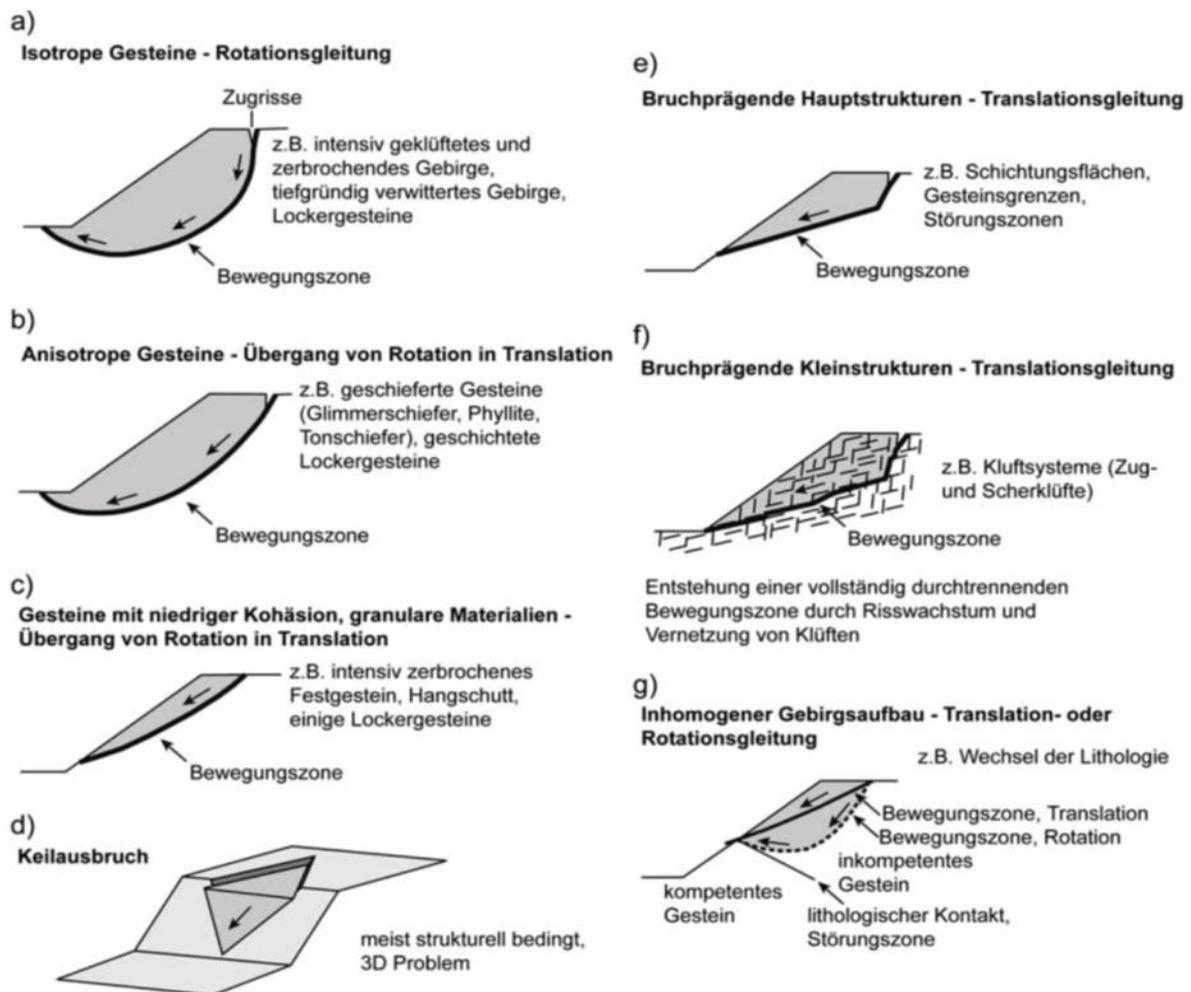


Abbildung 13: Unterschiedliche Arten des Gleitens, modifiziert und ergänzt nach HUDSON & HARRISON (1997).

2.3.1.2 Gesteinsparameter

Die Hangneigung ist als Einflussfaktor abhängig vom Material des Hanges. Weiters ist die Exposition des betreffenden Hanges ausschlaggebend und die Massenbewegungen treten am häufigsten an süd- und westexponierten Hängen auf (Niederschick, 2007).

Es werden folgende Typen unterschieden, wobei die Art des Material (Fest- oder Lockergestein) ausschlaggebend für die Differenzierung ist.

2.3.1.2.1 Massenbewegungen im Festgestein

Steinschlag

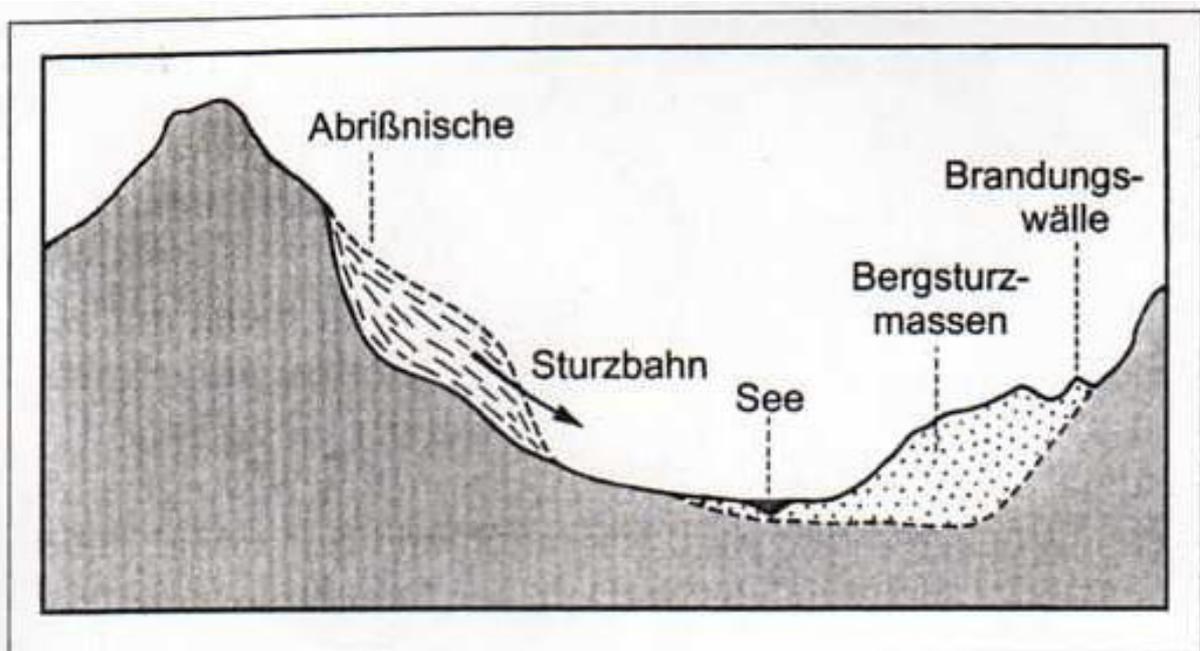
Der Steinschlag ist ein periodisches Sturzereignis von einzelnen, kleineren Festgesteinspartien bis hin zur Blockgröße. Starke Niederschläge oder auch Schneeschmelzen können den Porenwasserdruck erhöhen und damit kann der Hang in weiterer Folge instabil werden.

Felssturz

Beim Felssturz werden ganze Felsteile abgelöst und stürzen ab. Es ist anzunehmen, dass Temperaturschwankungen auch Einfluss auf Verwitterungsprozesse nehmen können.

Bergsturz

Dabei kann es sich um Kippen und Fallen oder auch um Gleiten und Fallen handeln, meist einhergehend mit einer hohen Geschwindigkeit und einem hohen Volumen an Material. Bei dieser Massenbewegung kann sich in kurzer Zeit eine gesamte Bergflanke in Bewegung setzen, die Gesteinsmassen können sich dabei oft mehrere Kilometer hoch auf den Gegenhang ausdehnen. Abbildung 14 zeigt die schematische Darstellung eines Bergsturzes.



**Schema eines Bergsturzes aus ZEPP (2008)
nach WILHELMY (1981)**

Bergrutsch

Man spricht von Bergrutsch, wenn es sich um ein Gleiten an Schichtgrenzen handelt.

2.3.1.2.2 Massenbewegung im Lockergestein

Im Lockergestein kann man Kriechen, Fließen, Schlammströme, Rutschungen und Gleiten unterscheiden. Es wird unter diesem Punkt darauf verzichtet die einzelnen Bewegungsarten zu erklären, da dies bereits in einem vorangegangenen Teil dieses Kapitels erfolgte.

2.3.1.3 Geschwindigkeit der Bewegung

Massenbewegungen kann man in spontane, schnelle und langsame Bewegungen einteilen. Zu den spontanen Bewegungen gehören Steinschlag, Bergsturz und Rutschungen. Zu den langsamen Bewegungen zählt man Talzuschub, Kriechen und Solifluktion. Dabei können die Geschwindigkeiten zwischen 1cm/Jahr und 5km/h liegen.

2.4 Klassifizierung des Geschiebematerials

Laut ZOBL (2001) sind die verwitterungsanfälligen Phyllite und Schiefer ein Hauptgrund für die Massenbewegung Blaubach. Sie bilden das Ausgangsmaterial für das Lockermaterial, das in Form von scherbigem Verwitterungsschutt bis hin zu Lockermaterial mit hohem Feinanteil auftritt. Plastisches, toniges Störungsmaterial, entstanden durch die Störungszone begünstigt die Rutschprozesse.

Nach meiner persönlichen Beobachtung, aus der Geländebegehung im September 2014, lässt sich sagen, dass das Geschiebematerial in seiner Zusammensetzung weitgehend inhomogen ist. Bei der Hauptmasse des Rutschkörpers handelt es sich um Material mit geringeren Korngrößen, jedoch treten auch Blöcke mit Korngrößen im Meterbereich auf.

2.5 Erläuterung der Hangstabilität und deren Einflussfaktoren

Für eine Hangstabilitätsmodellierung ergeben sich Probleme aus der mangelnden Verfügbarkeit von Information über Faktoren der Instabilität, da sich Hänge bei Gesteinstypen, Bodeneigenschaften, Vegetation und Wurzelstärke unterscheiden können. Es ist aber auch an einem Einzelstandort nicht immer möglich alle notwendigen Parameter zu messen. Bei einer flächendeckenden Messung wäre eine sehr große Anzahl von Messungen nötig, um die räumliche Variabilität korrekt wiedergeben zu können (ULMER, 2007).

Zu den Einflussfaktoren der Hangstabilität zählen die mechanische und hydrologische Wirkung der Vegetation, die Menge und Intensität des Niederschlages, wie auch die Beschaffenheit des Geländes, des Bodens und des Untergrundes. Korngrößen- und Porengrößenverteilung

sind ebenfalls ausschlaggebend für die Hangstabilität, da sie die Aufnahme von Wasser beeinflussen.

Hydrostatische Drücke in Poren und Klüften, sowie Strömungsdrücke, sind die Folge erhöhter Wasseraufnahme. Gefrierendes Wasser kann das Gestein sprengen und damit zu einer Entfestigung des Gesteines beitragen. Tonminerale sind stark quellfähig, das führt damit zu Quelldrücken (ZOBL, 2001).

Der steigende Hangwasserspiegel vergrößert den Porenwasserdruck, dabei wird die Hangstabilität ebenfalls verringert.

Es sind rückhaltende und antreibende Kräfte, die auf einen Hang einwirken. Bei einem stabilen Hang ist zu erwarten, dass die antreibenden Kräfte geringer ausfallen, als die rückhaltenden.

Es kann aber trotzdem sein, dass flache Hänge instabil werden, das hängt oft mit dem Untergrund, der Vernässung und weiteren Faktoren zusammen.

Anthropogene Einflussnahme kann die Stabilität von Hängen verringern, aber auch erhöhen. Faktoren für die Instabilität von Hängen resultieren aus Gesteinstypen, Bodeneigenschaften, Vegetationsdecke und Wurzelvorkommen.

2.6 Allgemeine Erklärung von Böden

„Der Boden ist ein unbewegliches, unvermehrbares und leicht zerstörbares Naturgut.“ (Salzburger Bodenschutz, Bodenschutzbericht 2001-2011).

Laut Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft versteht man unter Boden die durch Verwitterung an der Oberfläche der Erde entstandene lockere Schicht, die oft durch Wasser und Wind weit verlagert worden ist und deren oberste Zone mehr oder weniger mit Humus durchsetzt ist.

Das Bodenprofil wird beschrieben als senkrechter Schnitt durch den Boden, von dessen Oberfläche bis zum unveränderten Bodenausgangsmaterial (Muttergestein).

In diesem Raum spielen sich alle Vorgänge der Bodenbildung und Bodenentwicklung ab, daher können viele Bodeneigenschaften am Bodenprofil abgelesen werden.

Die Eigenschaften eines Bodens hängen von der Korngröße, der Minerale, der Dichte, dem Wassergehalt und der Belastung ab (ENGEL, 2010).

Zu den Eigenschaften gehören Korngrößenverteilung, Dichte, Humusgehalt, Porenverteilung, Durchlässigkeit, Wassergehalt, Saugspannung, Speichervermögen und Infiltrationskapazität. Zu den Parametern des Bodenwasserhaushaltes gehören Bodentyp, Gefüge, Eigenschaften von Poren, Lagerungsdichte und die Korngrößenverteilung.

Der Boden kann nach Struktur, Gefüge und Textur eingeteilt werden, die Korngrößenverteilung und die Einzelkornparameter bestimmen die Struktur, Bodenaufbau und Schichtung bestimmen die Textur.

Die Struktur eines Bodens ist einer laufenden Veränderung durch natürliche oder auch durch anthropogene Prozesse unterzogen.

Die Textur beschreibt die Anordnung der Mineralkörner und umfasst auch die Art und Festigkeit der Kontakte (ENGEL, 2010)

Das Gefüge (Porosität) wird auch Mikrostruktur genannt, es ist abhängig von den Hohlraumverhältnissen zwischen den einzelnen und innerhalb der Aggregate (Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft).

Die Bodenverhältnisse beeinflussen mehr oder weniger das Abflussverhalten, die Vegetation und anthropogene Faktoren die Infiltrationseigenschaften des Bodens.

Der Oberflächenabfluss wird bestimmt durch die Bodeneigenschaften, die Durchlässigkeit, das Speichervermögen, die Standortfaktoren und die Bewirtschaftung.

Das Infiltrationsvermögen ist wesentlich für den Oberflächenabfluss. Bei Böden, die ein geringes Infiltrationsvermögen haben, kommt es zu einem starken Oberflächenabfluss, bei Böden mit einer hohen Infiltrationsrate dagegen zu einer starken Versickerung.

Beim Boden kann man zwischen Lockermaterial und Fels unterscheiden.

Die Größe der Partikel beeinflusst das Verhalten von Böden. Grobkörnige Böden lassen Wasser leicht durch, feinkörnige dagegen binden einen Teil des Wassers und lassen Wasser kaum durch (ENGEL, 2010).

Die Bodentypen sind abhängig vom Ausgangsgestein, den klimatischen Bedingungen, den Mikroorganismen, der Vegetation und der exogenen Kräfte.

Die Verwitterungsfähigkeit von Böden kann auch für Massenbewegungen verantwortlich sein. Bei der Massenbewegung Blaubachgraben sind das Lockermaterial, das aus verwitterungsanfälligen Phylliten und Schiefen besteht, und das Ausgangsmaterial aus scherbigem Verwitterungsschutt mit hohem Feinanteil, ein Hauptgrund für die Hanginstabilität. Auch die weichen zerriebenen Gesteine der Schieferhülle und plastisches, toniges Material begünstigen die Rutschung (ZOBL, 2001).

2.7 Hydrologische Grundlagen

Massenbewegungen sind mit dem Bodenwasserhaushalt korreliert. Das Quellen von Tonmineralien, sowie die Erhöhung des Porenwasserdrucks sind als Auslösemechanismen für Hangbewegungen anzusehen. Die Gleitflächen können sich in den wasserführenden Schichten des Untergrundes bilden (ANKER, 2008). Abbildung 15 zeigt eine schematische Darstellung des Wasserkreislaufes am Hang.

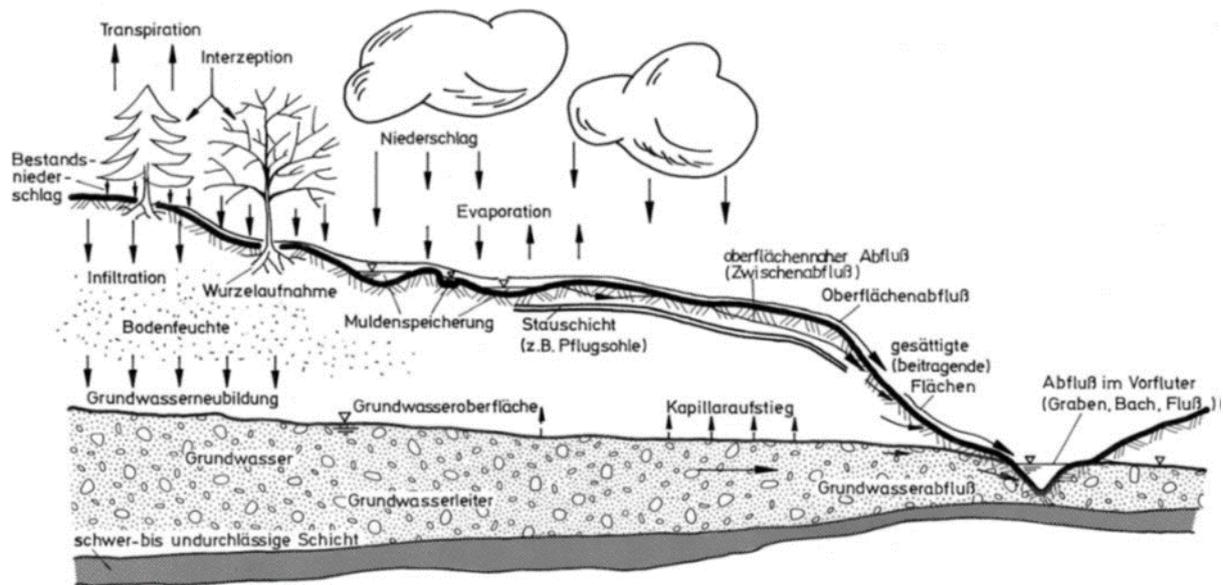


Abbildung 15: Schematische Darstellung der hydrologischen Prozesse an einem Hang nach DYCK (1980), aus BRONSTERT (1994)

2.7.1 Abfluss

Das aus dem Niederschlag nach der Verdunstung übriggebliebene Volumen wird als Abfluss bezeichnet. Im Wasserhaushalt kommt dem Abfluss eine große Bedeutung zu, da er oberflächlich sichtbar und messbar ist. Oberflächige und unterirdische Abflüsse sind für die Wasserversorgung von großer Wichtigkeit (HÖLTING & COLDEWEY, 2009).

Den Abflussbildungsprozess kennzeichnen drei wesentliche Komponenten, es sind dies der Niederschlag, der Abflusskonzentrationsprozess und der Fließvorgang im offenen Gerinne. Die folgende Abbildung 16 soll diese Prozesse veranschaulichen und die Zusammenhänge aufzeigen.

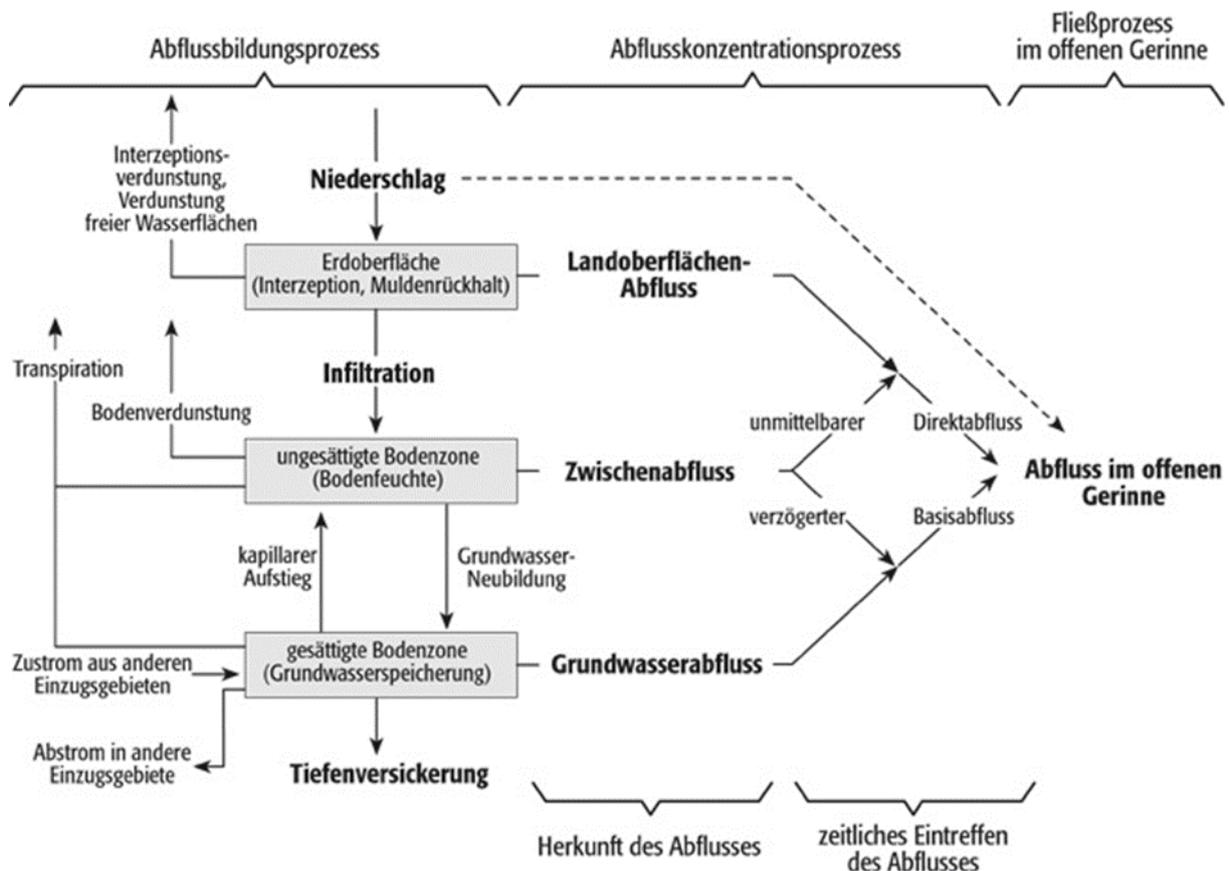


Abbildung 16: Die Abflussprozesse im Überblick (BAUMGARTNER & LIEBSCHER 1990)

Bis zum Abfluss ins offene Gerinne kann das Niederschlagswasser unterschiedliche Wege zurückgelegt und verschiedene Speicher durchlaufen haben.

Das Abflussverhalten wird durch die Art des Niederschlages, die Verdunstung, Interzeption und vor allem durch Infiltration und Wasserspeicherung beeinflusst.

Wenn die Niederschlagsintensität die Infiltrationsrate übersteigt, führt dies zu oberflächlichem Abfluss (Surface Runoff). Die Prozesse finden an der Geländeoberfläche statt, der Niederschlag kann nicht oder nur teilweise aufgenommen werden.

Wenn das meiste Niederschlagswasser aber infiltriert, wird es nach Beschaffenheit der physikalischen Parameter des Untergrundes zum unterirdischen Abfluss.

Bodenbeschaffenheit, Bodenfeuchte und Vegetation beeinflussen direkt das Abflussverhalten ob es zu Infiltration oder zu Oberflächenabfluss kommt.

Oberflächenabfluss tritt bei Sättigung des Bodens, das heißt, die maximale Wasserkapazität des Bodens wurde erreicht, oder bei besonderer Niederschlagsintensität auf.

Man spricht von Sättigungsabfluss bei Sättigung der Poren oder von Horton-Abfluss, wenn der Niederschlag die Infiltrationsrate des Bodens übersteigt und das Wasser deshalb an der Oberfläche des Geländes abfließt.

Für hydrologische Prozesse ist auch die Hangneigung von besonderer Bedeutung, sie beeinflusst die Geschwindigkeit der ober- und unterirdischen Abflüsse. Auf verdichteten Böden ist die Infiltration heruntergesetzt, dadurch wird der Oberflächenabfluss verstärkt.

Der Oberflächenabfluss an Hängen mit geringer Vegetationsdecke ist von hohem Feinstoffabtrag gekennzeichnet und zeigt bei Lockersedimenten eine hohe Bereitschaft zu Rutschungen (MARKART, 2004).

Durch die häufige Änderung der Geländeformen, besonders im Kern der Schuttfläche der Massenbewegung Blaubach, ändern sich auch die Abflussverhältnisse.

ZOBL (2001) hat durch eine Analyse der Luftbildaufnahmen von 1953 bis 2000 bereits darauf hingewiesen. Des Weiteren zeigte er große instabile Bereiche im Arbeitsgebiet auf, welche oft gekoppelt mit Vernässungszonen und/oder erhöhtem Oberflächenabfluss auftreten.

Diese Interpretationen wurden aber ohne durchgeführte bzw. verfügbare Abflussmessungen getroffen.

2.7.2 Interzeption

Unter diesem Begriff versteht man den Rückhalt des Niederschlages an der Blattoberfläche von Pflanzen, man spricht auch von Interzeptionsverdunstung. Von dort verdunstet das Wasser teilweise sofort wieder oder es rinnt zum Erdboden hin ab, deshalb hat die Interzeption die kürzeste Speicherzeit.

Unter Interzeptionsrate versteht man das Wasservolumen des durch Interzeption gespeicherten Niederschlags. Ausgedrückt wird diese Rate durch die Wasserhöhe in einer Betrachtungszeitspanne (HÖLTING & COLDEWEY, 2009).

2.7.3 Infiltration

Wenn Niederschläge in den Boden eindringen spricht man von Infiltration, deren Verlauf mit der Infiltrationsrate beschrieben werden kann. Die kumulative Infiltrationsrate bezeichnet das Wasservolumen, das innerhalb einer bestimmten Zeit in den Boden eingedrungen ist.

Die Infiltration ist ein wesentlicher Teil des Wasserkreislaufes, der Durchgang des Wassers wird auch als Durchsickerung oder Perkolation bezeichnet (HÖLTING & COLDEWEY, 2009). Abbildung 17 zeigt eine schematische Darstellung der wichtigsten hydrologischen Prozesse bei der Infiltration nach BAUMGARTNER & LIEBSCHER (1996).

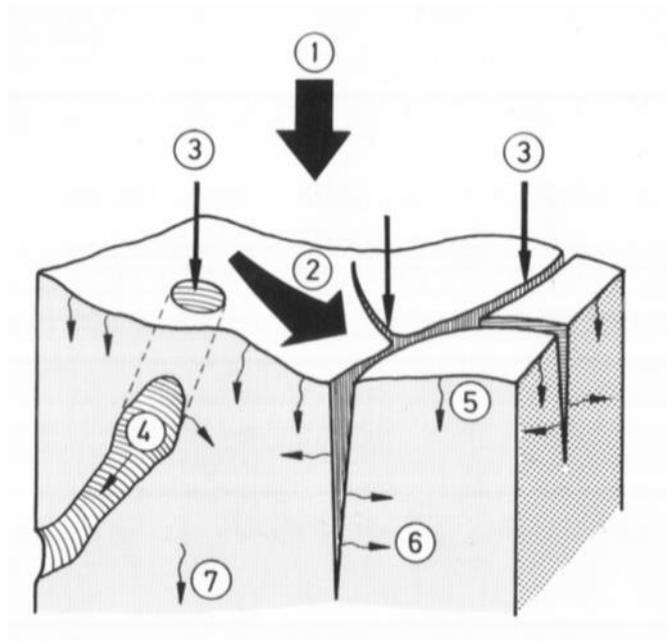


Abbildung 17: Die wichtigsten hydrologischen Prozesse bei der Infiltration nach BAUMGARTNER & LIEBSCHER, 1996, aus WETZEL, 2005

(1). Ein Teil des Wassers infiltriert nicht, sondern fließt oberflächlich ab (2). Ein anderer Teil nutzt die Makroporen zur Infiltration (3) und sickert in diesen abwärts (4). Aus den Makroporen tritt ein Teil des Wassers in die Mikroporen ein (6) und bewegt sich dort weiter. Die Mikroporen werden aber auch direkt von der Bodenoberfläche aus mit Wasser versorgt (5). Das Wasser in den Mikroporen sickert dann auch dem Potentialgradienten nach weiter (7) (BAUMGARTNER & LIEBSCHER 1996), (WETZEL, 2005).

2.7.4 Durchlässigkeit (Permeabilität) und Vernässungszonen

Die Durchlässigkeit des Bodens hängt von der Bodenart, von der Korngröße, der Kornverteilung und der Lagerungsdichte des Bodens ab und wird durch den Durchlässigkeitsbeiwert (k Wert), der die Dimension einer Geschwindigkeit hat, ausgedrückt. Der k Wert ist keine konstante Größe, er ist vom Bodenwassergehalt abhängig und nimmt mit diesem zu. Der höchste Wert wird bei vollständiger Wassersättigung des Bodens erreicht (LUNZER, 2009).

Der Wassertransport im Boden wird vom Durchlässigkeitsbeiwert aber auch von Wasserspannung und Gravitationspotenzial bestimmt.

Treibende Kräfte sind das Gravitations- und das Matrixpotenzial des Bodens.

Unter der Wasserspannung versteht man eine bodenspezifische Größe, die vom aktuellen Bodenwassergehalt abhängig ist (LUNZER, 2009).

Vernässungszonen (Abb.18) sind Feuchtstellen, sie finden sich an Verebnungsstellen oder auch an Randbereichen, ein meist hoher Feinanteil an Sedimenten wirkt wasserstauend, dadurch wird die Festigkeit des Untergrundes deutlich herabgesetzt. Durch den laufenden Abtragungsprozess ändern diese Zonen ständig ihre Ausbreitung und Form (ZOBL, 2001).



Abbildung 18: Gewässernetzwerk und Vernässungszonen im Arbeitsgebiet (ZOBL, 2001)

2.8 Klimatische Bedingungen

2.8.1 Klima

Im Untersuchungsgebiet herrscht gemäßigtes inneralpines Klima mit häufigen Föhntagen, kurzen Sommern und schneereichen Wintern. Das Temperaturmaximum findet sich im Juli, das Minimum im Jänner. Die Niederschlagswerte sind im Sommer wesentlich höher als im Winter. Abbildung 19 zeigt das Klimadiagramm von Krimml.

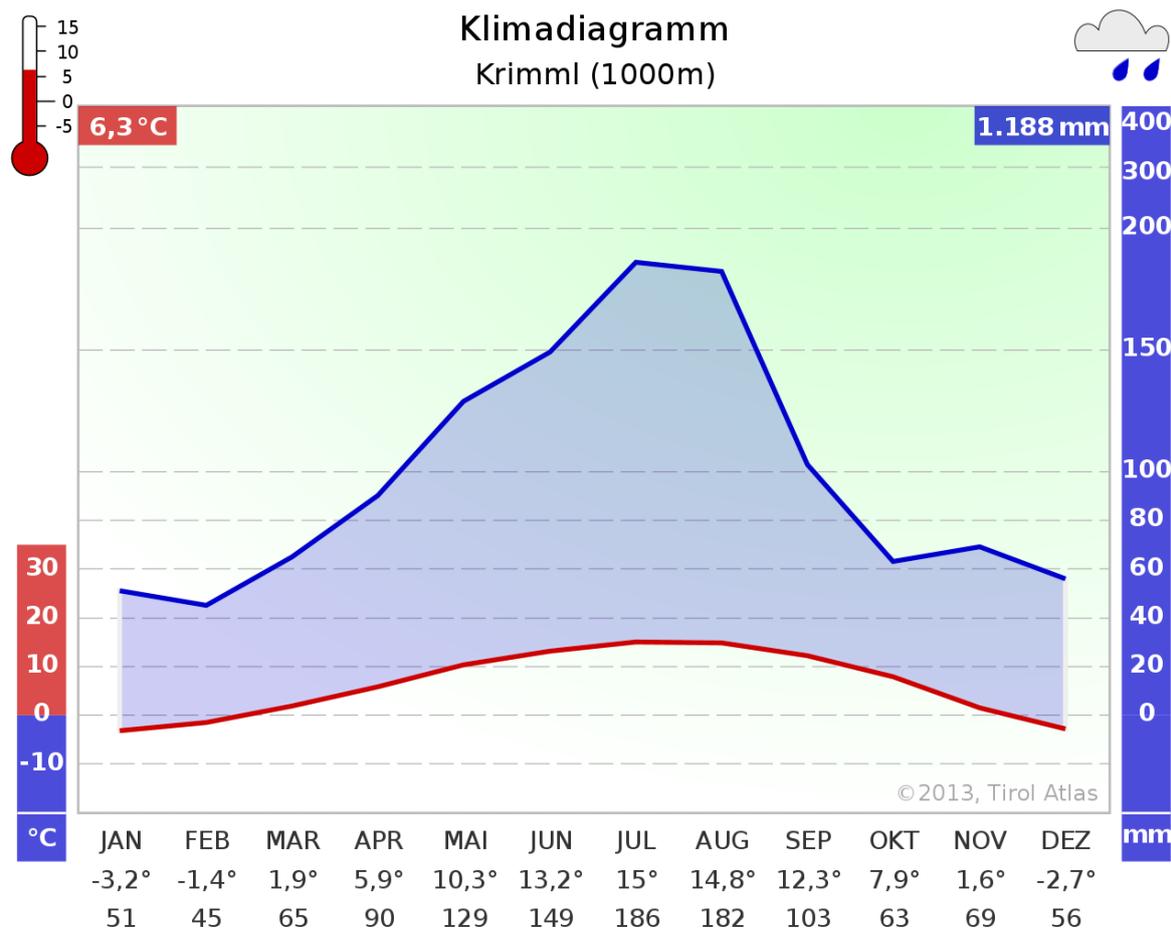


Abbildung 19: Klimadiagramm Krimml (<http://tirolatlas.uibk.ac.at>, 19.2.2016)

2.8.2 Niederschlag

Der Niederschlag ist ein Teil des Wasserkreislaufes, zu dem auch Infiltration, Interzeption und Abfluss zählen.

Durch den Niederschlag wird das Wasser der Atmosphäre wieder der Erde zugeführt. Man kann zwischen zyklonalen, orografischen und Konvektionsniederschlägen unterscheiden. Unter Konvektion versteht man das spontane Aufsteigen von Luft, es werden meist räumlich begrenzte Niederschlagszellen ausgebildet, orografischer Niederschlag entsteht bei Gebirgsstaulagen und zyklonale Niederschläge sind mit dem Zusammentreffen von zwei verschiedenen Frontsystemen verbunden.

Der Niederschlag als Klimaelement ist im Vergleich zur Temperatur schwieriger einzuschätzen. Regen- und Schneefälle können sowohl räumlich als auch zeitlich sehr variabel ausfallen. Niederschläge sind außerdem eng mit Wetterlagen und deren Zugbahnen verbunden, ebenso sind globale Auswirkungen auf den lokalen Niederschlag erkennbar (ZAMG, <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimavergangenheit/neoklima/niederschlag>, 19.2.2016).

2.8.2.1 Niederschlagsarten

BAUMGARTNER & LIEBSCHER (1996) teilen den Niederschlag in abgesetzten, abgefangenen und gefallenen Niederschlag ein.

2.8.2.1.1 Abgesetzter Niederschlag

Unter abgesetztem Niederschlag versteht man Wasser aus der Atmosphäre bzw. Niederschläge in fester oder flüssiger Form, die nach direkter Kondensation oder Resublimation von Wasserdampf unmittelbar an der Erdoberfläche oder an Pflanzen ausgeschieden wurden, dazu zählen Tau oder Reif.

2.8.2.1.2 Abgefangener Niederschlag

Abgefangener oder auch ausgekämmter Niederschlag entsteht an der Erdoberfläche. Diese Art des Niederschlages kann bei Gebirgsregionen zu erheblichen Zusatzintensitäten führen (THALER, 2004).

2.8.2.1.3 Gefallener Niederschlag

Gefallener Niederschlag bedeutet Kondensation bzw. Sublimation in der Atmosphäre, der Niederschlag fällt in flüssiger oder fester Form aus den Wolken und ist für die Messmethoden von Bedeutung, da diese Niederschläge einfach zu erfassen sind.

2.8.2.2 Effektivniederschlag

Unter Effektivniederschlag oder abflusswirksamem Niederschlag versteht man Niederschläge, die direkt abfließen, also nicht verdunsten oder zurückgehalten werden. Man spricht von Direktabfluss.

Der Anteil des nicht infiltrierenden Niederschlages kommt als Effektniederschlag, abhängig von den Geländebedingungen des Hanges, zum Abfluss.

Die Methoden für die Berechnung des effektiven Niederschlags nach NACHTNEBEL (2007) lauten wie folgt.

2.8.2.2.1 Φ -Index-Verfahren

Dieses Verfahren beruht auf der Annahme, dass die Infiltrationsrate zu jedem Zeitpunkt konstant bleibt. Ein konstanter Anteil vom gefallenen Niederschlag wird als Gebietsrückhalt subtrahiert.

2.8.2.2.2 Verfahren nach Koehler

Das Verfahren von Koehler berücksichtigt die Zunahme der Abflussbeiwerte mit wachsender Regendauer, sowie die Abhängigkeit der Abflussbeiwerte von der Niederschlagsintensität. Der Anstieg ist zuerst linear, dann konstant.

2.8.2.2.3 Verfahren nach Horton

Dieses Verfahren geht davon aus, dass die Infiltrationsrate mit zunehmender Niederschlagsdauer einer Exponentialverteilung folgend abnimmt.

2.8.2.2.4 SCS-CN-Methode(Soil Conservation Service - Curve Number- Methode)

Die SCS-CN-Methode ist eine stark vereinfachte Methode. Der Infiltrationsprozess wird mit allgemein verfügbaren räumlich verteilten Boden- und Landnutzungsdaten beschrieben. Die Parameter sind Bodenfeuchte, Bodentyp und Bodennutzung. Jeder CN-Wert verfügt über eine Kurve, es wird damit die Beziehung zwischen Niederschlag und dem daraus resultierenden Direktabfluss dargestellt. Der CN-Wert ist ein Maß für das Wasserspeichervermögen des Bodens (NACHTNEBEL, 2007).

2.8.2.3 Niederschlagshöhe

Die Niederschlagshöhe wird in Millimetern gemessen, sie gibt die Höhe einer Wassersäule an einer bestimmten Wetterstation in einer bestimmten Zeitspanne pro Flächeneinheit an. Es wird eine gleichmäßige Verteilung angenommen.

2.8.2.4 Niederschlagsmenge

Die Niederschlagsmenge eines Gebietes wird in Millimeter oder in Liter, auf eine bestimmte Fläche bezogen, angegeben und kann sich auf Tage, Monate oder Jahre beziehen. Ein Liter pro Quadratmeter entspricht dabei einem Millimeter. Durch die jährliche Niederschlagsmenge in Kombination mit der jährlichen Durchschnittstemperatur wird in der Regel auch ein Klimatyp definiert.

2.8.2.5 Niederschlagsdauer

Die Niederschlagsdauer wird in Minuten angegeben und bezeichnet die Zeit zwischen dem Beginn und dem Ende des Niederschlagsereignisses.

2.8.2.6 Niederschlagsintensität

Die Niederschlagsintensität ergibt sich aus dem Quotienten aus Niederschlagshöhe und Zeit, sie wird in Millimeter pro Stunde (mm/h) oder Millimeter pro Minute (mm/min) angegeben. Niederschlagsmenge und – intensität sind für die Charakterisierung von Niederschlagsereignissen bedeutsam.

2.8.2.7 Messmethoden

Das Hauptproblem der Niederschlagsmessmethoden besteht darin, dass sie punkthaft erfasst werden, dadurch können oft kurzzeitige Starkregenereignisse nur begrenzt oder gar nicht registriert werden. Das betrifft hauptsächlich sommerliche Konvektionsniederschläge.

Niederschlagsmesser messen die Niederschlagshöhe zwischen den Leerungen. Üblich sind tägliche Ablesungen, die zur selben Zeit stattfinden sollten.

Fehler bei der Messung können durch Geräteungenauigkeiten, Beobachtungsfehler, erhöhte Verdunstung oder durch äußere, meteorologische Einflüsse auftreten. Messungen von Schnee können auch zu Messfehlern führen.

Bei den Messgeräten wird zwischen einfachen, analogen und komplizierteren, digitalen, Niederschlagsmessern unterschieden. Moderne digitale Messgeräte werden sogar beheizt, damit Schnee schmelzen kann.

Die Niederschlagsmessung erfolgt punktuell und wird - auf eine bestimmte Fläche bezogen - als Gebietsniederschlag angenommen (ELSTER, 2011).

2.8.2.7.1 Ombrometer

Unter Ombrometer (Abb.20) versteht man ein zylindrisches Auffanggerät mit dem der Niederschlag gesammelt und in flüssiger Form mittels Messglas bestimmt werden kann. Ombrometer gehören zur Basisausstattung einer Niederschlagsmessstelle (THALER, 2004).

Gustav Hellmann war ein deutscher Meteorologe und er konstruierte diesen Niederschlagsmesser im Jahr 1886. Das Niederschlagswasser wird durch einen Trichter in die sogenannte Sammelkanne geleitet, damit es vor Verdunstung geschützt ist. Mit Hilfe des Messzylinders kann nun das Regenwasser auf 0,1mm genau abgemessen werden.

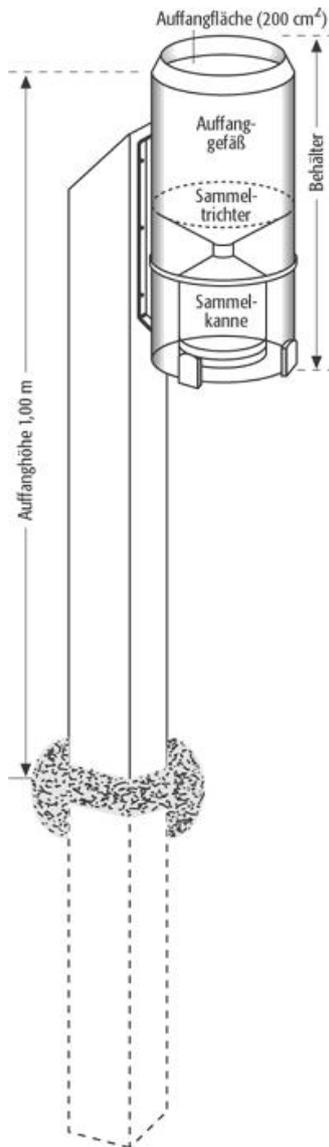


Abbildung 20: Ombrometer nach Hellmann (Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2001)

2.8.2.7.2 Totalisator

Totalisatoren werden in schwer zugänglichen Gebieten aufgestellt. Der Niederschlag wird über einen längeren Zeitraum gesammelt und muss manuell geleert werden.

2.8.2.7.3 Ombrograph

Ombrographen sind selbsttätig aufzeichnende Messgeräte, die nach dem Schwimmer- oder Waageprinzip arbeiten.

Nach THALER (2004) kann zwischen Niederschlagswippen, Tropfenzählern, Messzylindern, Schwimmergeräten mit und ohne Hebersystem und Niederschlagswaagen unterschieden werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wird aber auf die einzelnen Messgeräte nicht näher eingegangen.

2.8.3 Niederschläge als Auslöser für Massenbewegungen

Das Klima ist maßgeblich an der Hangstabilität beteiligt. Die Niederschläge üben direkten Einfluss auf die Hangstabilität aus und sind als physikalische Ursache für Massenbewegungen anzusehen (WALLNER, 2012).

Das Wasser aus den Niederschlägen bildet einen wesentlichen Einflussfaktor auf die Hangbewegungen. Intensität, Infiltration, Matrixfluss und gesättigter Oberflächenabfluss haben direkten Einfluss auf die Stabilität eines Hanges (ZOBL, 2001).

Niederschläge bilden eine Größe im hydrologischen System. Höhe, Verteilung und zeitliche Abstände zwischen den Niederschlägen beeinflussen auch das Abflussverhalten des Gebietes.

Der Prozentsatz der von Niederschlägen ausgelösten Hangrutschungen ist am größten, der Porendruck wird durch Starkniederschläge sehr erhöht.

Durch den globalen Klimawandel ändern sich die Faktoren der Niederschläge, das sind Häufigkeit, Menge des Niederschlags oder die Intensität, wie Starkregen.

Niederschlag kann in den Alpenregionen durch verschiedene Prozesse entstehen. Das können Tiefdruckgebiete sein, die in Staulagen intensiven Niederschlag mitbringen, oder auch Gewitter, die mit plötzlichen Starkniederschlägen einhergehen. Jahreszeitlich verschiedene Großwetterlagen mit unterschiedlicher Niederschlagsintensität und die Topographie sind dabei bedeutend.

Laut der ZAMG kann aber keinerlei Trend zu mehr Niederschlägen, weder im Sommer- noch im Winterhalbjahr festgestellt werden.

Im Arbeitsgebiet haben wir es im langjährigen Durchschnitt mit einem Niederschlags-Sommermaximum und einem Winterminimum zu tun.

Auch eine durch den Temperaturanstieg in den Alpenregionen verfrüht stattfindende Schneeschmelze könnte sich negativ auf den Untergrund auswirken. Es ist auch mit weniger Schnee und mehr Regenfällen zu rechnen, dadurch werden sich möglicherweise die Bedingungen für die Hangstabilität wesentlich ändern. Die Wasserspeicherung in der Schneedecke und die zeitversetzte Wasserabgabe aus der Schneedecke könnten sich nachteilig auf die Umgebung auswirken.

2.8.4 Schnee und Schneeschmelze als Auslöser für Massenbewegungen

Allgemein gilt, dass neben starken Regenfällen, größere Schneemengen, die zu einer intensiven Schneeschmelze führen, den Boden durchtränken und Auslöser für Hanginstabilität sein können.

In höheren Lagen fällt in den Wintermonaten Niederschlag meist in Form von Schnee, der eine Schneedecke bildet.

Parameter wie die Anzahl der Schneedeckentage, die maximale Schneedeckenhöhe und -dauer, beschreiben die Schneedeckenverhältnisse genau und sind somit wichtige Lieferanten für Informationen (JURKOVIC, 2008).

Als Tag mit durchgehender Schneebedeckung wird ein Tag bezeichnet, an dem die Schneedecke eine Gesamtschneehöhe von einem Zentimeter erreicht oder überschreitet.

Die Schneedecke besteht aus unterschiedlichen Schichten, sie dokumentieren die verschiedenen Schneefallperioden bzw. die damit verbundenen Eigenschaften, wie Schmelzprozesse oder Harsch- und Firnbildung.

Aufgrund ihrer Verformbarkeit ist die Schneedecke einer dauernden langsamen Kriechbewegung in Fallrichtung des Hanges unterzogen, wobei die Kräfte, die in der Schneedecke wirken aus ihrem Eigengewicht entstehen. Wir haben es durch die unterschiedlichen Bewegungsgeschwindigkeiten, bedingt durch die Hangneigung, mit Zug- und Druckkräften zu tun und Scherkräften zwischen Schichten oder parallelen Bewegungen (RIST, 2015).

Die Schneedecke speichert einen Teil der Winterniederschläge und bei der Schneeschmelze kann es nun zeitversetzt zur Freisetzung von großen Wassermengen kommen, die für die Auslösung von Rutschprozessen sehr bedeutend sind. Wenn Frühjahrsniederschläge in Form von Regen mit der Schneeschmelze zusammentreffen, kann der Abflussprozess verstärkt werden und die Instabilität steigen.

Dass es tatsächlich zu verstärkter Rutschung bei und nach der Schneeschmelze kommen kann, zeigt das Monitoring Projekt an einer Rutschung im Tiroler Wattental, wo eine höhere Aktivität des Rutschungsprozesses im Frühjahr beobachtet werden konnte, die wahrscheinlich auf die Folgen der Schneeschmelze zurückzuführen ist (KÄHNI et al., 2011). Schon früher wurden bei Beobachtungen von Massenbewegungen, Schneeschmelze und gleichzeitig stattfindende Niederschlagsereignisse mit verstärkter Rutschung in Zusammenhang gebracht.

Laut BECKER (1998) zeigte sich bei der Kontrollmessung der Rutschung im Kleinen Sölktal im Jahr 1992 nach der Schneeschmelze, dass mit den gleichzeitig auftretenden Niederschlägen im April, die Zunahme der Rutschungsaktivität der wasserangereicherten Masse im darauffolgenden Mai stark angestiegen war. In diesem wissenschaftlichen Beitrag wird auch auf das alpine Katastrophenjahr 1987 hingewiesen, in dem es durch das Zusammenspiel von einsetzender Schneeschmelze und gleichzeitig erhöhten Niederschlagsereignissen zu Muren, Rutschungen und Bergstürzen im gesamten Alpenraum gekommen ist.

Auch ZOBL (2001) berichtet von mehreren gestaffelten Gleitflächen im Arbeitsgebiet, an denen es zum Abgleiten von großen Teilen der Lockermassen kommen kann und während der Schneeschmelze 2001 war dieser Prozess in kleinerem Ausmaß zu verfolgen.

2.9 Vegetation im Arbeitsgebiet

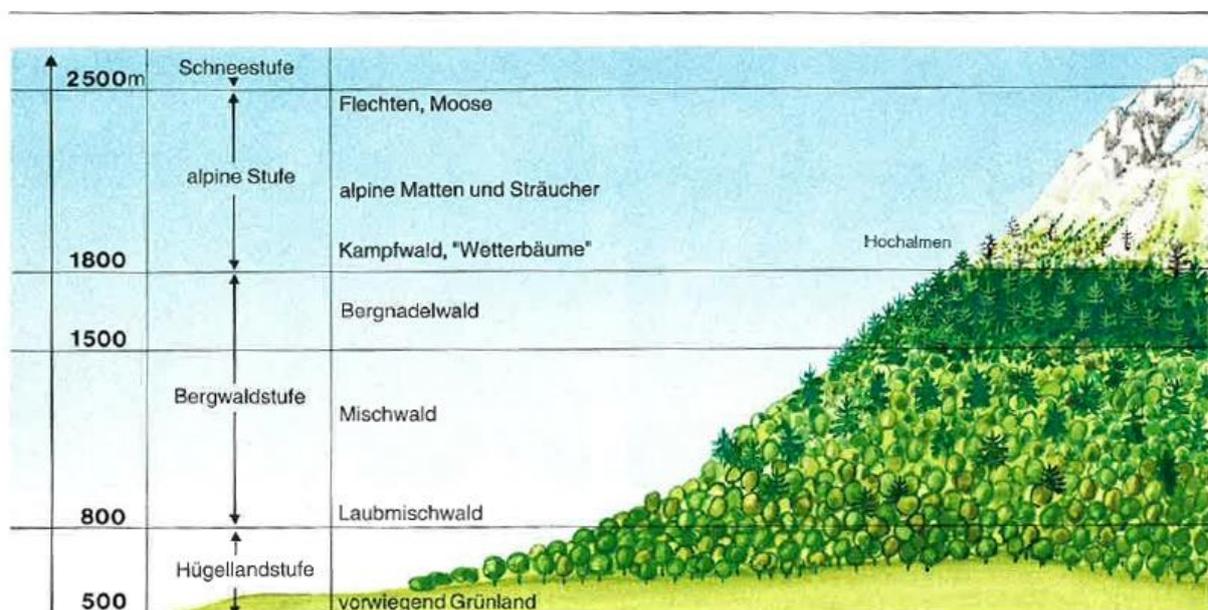
Die Vegetation der Alpenregionen wird in Höhenstufen (Abb.21) gegliedert. Die maßgeblichen Faktoren für die Einteilung resultieren aus den Klimafaktoren und der Höhenlage, wobei auch zwischen Nord- und Südseite der Alpen unterschieden wird.

Durch das alpine Klima haben wir es im Arbeitsgebiet hauptsächlich mit Fichten und Lärchen zu tun. Mit zunehmender Höhe geht der Fichtenwald in den Lärchen- Zirbenwald und in weiterer Folge zu Latschen und Grünerlengebüsche über, die dann von Zwergstrauchheiden abgelöst werden.

Die Bewirtschaftung durch den Menschen hat zu Wirtschaftswäldern mit großem Fichtenanteil und Weideflächen geführt (ZOBL, 2001).

Der subalpine Fichtenwald bedeckt den südlichen Teil der stabileren Steiflächen. Bei den labilen Flächen findet sich die Grauerle, die unempfindlich gegen Hangbewegungen und Staunässe ist (ANKER, 2008).

Im Bereich der aktiven Hangbewegung finden sich kaum Bäume und am Rand ist die vorhandene Vegetation rutschgefährdet (ZOBL, 2001).



1 Die Höhenstufen auf der Alpennordseite. Auf der Alpensüdseite setzen diese Stufen um 100 bis 200 m höher an.

Abbildung 21: Höhenstufen

(http://gw.eduhi.at/programm/kol/oe1/schulbuecher/ueberDieNatur3_2_Hoehenstufen
19.2.2016)

2.9.1 Bedeutung des Waldes für die Hangstabilität

Es ist anzunehmen, dass sich die Vegetation und besonders der Wald positiv auf die Hangstabilität auswirken. Der Wald in Gebirgsregionen übernimmt somit eine wichtige Schutzfunktion gegen Massenbewegungen.

Bei hohem Niederschlag, wie zum Beispiel bei Starkregen, erhöht sich der Porendruck. Bäume stabilisieren mit ihren Wurzeln den Boden, sie sind aber nur begrenzt in der Lage das abfließende Wasser aus angrenzenden höher liegenden vegetationsfreien Bereichen zu kompensieren.

2.10 Geodätische Messungen, die im Zuge des Monitorings der Massenbewegung Blaubachgraben verwendet wurden

Am Beginn der Monitoringphase, welche seit 2000 läuft, wurde unter Einbeziehung des Geologen F.Zobl, von Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Viktor Kaufmann ein geodätisches Stütznetz installiert. In weiterer Folge wurden Luftbildinterpretationen (von 1954 an) für photogrammetrische Untersuchungen herangezogen, sowie auch die Verwendung von 40 Messpunkten, die durch 1 m lange Torstahlstangen im Untergrund fixiert wurden. Im Laufe der Messperiode wurden zusätzliche Messpunkte im Gelände ausgebracht, da immer wieder Messpunkte Rutschprozessen zum Opfer fielen.

2.10.1 Geodätisches Stütznetz und GPS- Einzelpunktbestimmung (Global Positioning System)

Ein geodätisches Netz umfasst Messpunkte, die netzartig miteinander verknüpft werden.

Für die Bestimmung von Bewegungsvektoren ist ein Tracking von identen Punkten notwendig, was sich aber in Rutschungsgebieten, in denen es fast keine künstlichen Baukörper gibt, schwer gestaltet, daher wurden im Bereich Blaubachgraben Einzelbäume ausgewählt. Es wurde ein Stütznetz errichtet, welches zu Messbeginn (2001) aus drei stabilen Punkten (S1-S3) bestand. 2003 wurde das Netz durch den Punkt S4 auf der Konsolidierungssperre erweitert. Die koordinative Bestimmung der Stützpunkte wurde durch die topographischen Gegebenheiten vorgeben und erfolgte durch eine Kombination von geodätischer Netzmessung und GPS-Einzelpunktbestimmung (KAUFMANN et al., 2007).

Die geodätischen Messungen im Arbeitsgebiet erfolgen jährlich im Herbst, entweder im September oder im Oktober.

Im Rahmen dieser Arbeit begleitete ich Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Viktor Kaufmann im Zuge der Wiederholungsmessung September 2014 ins Gelände (Abb.22 und 23).

Zur Aufnahme der GPS-Daten wurde das institutseigene Messinstrumentarium SmartRover Package (GS15 GNSS) von Leica verwendet.



Abbildung 22: Freilegung eines Messpunktes, Foto Kaufmann 2014



Abbildung 23: Justieren des Messgerätes, Foto Kaufmann 2014

2.10.2 Photogrammetrie

Nach KAUFMANN (1998) stellt die Photogrammetrie bzw. Bildmessung ein leistungsstarkes Verfahren für die Ermittlung von Parametern entfernter Objekte dar. Es können durch die Photogrammetrie neben den aktuellen Werten auch Werte aus zurückliegenden Luftaufnahmen abgeleitet werden.

Bei der Dokumentation des Bewegungsverhaltens der Massenbewegung Blaubachgraben wurde die Photogrammetrie als effiziente Methode zur flächenhaften Erfassung der zeitlich zurückliegenden Kinematik des Rutschhangs herangezogen, und eine Luftbildreihe von 1953 – 2004 ausgewertet (KAUFMANN et al., 2007).

2.11 Sicherungsmaßnahmen im Arbeitsgebiet

Mit Schutzbauwerken können Verlagerungs- oder Ablagerungsprozesse beeinflusst werden. Eine Konsolidierungssperre (Abb.24) beeinflusst den Wasserabfluss und den Feststofftransport, sie wirkt vorbeugend auf die Prozesse im Ober- und Mittellauf eines Gewässers.

Im Mittellauf des Blaubaches wurden zwischen 1998 und 2003 zwei Geschiebesortierwerke (Abb.25) und an der Basis der Rutschung unterhalb der Breitscharte eine Konsolidierungssperre errichtet (ANKER, 2008).

Des Weiteren wurden im Zuge der Verbauung, Drainageschächte (Abb.26) oberhalb der Konsolidierungssperre installiert.

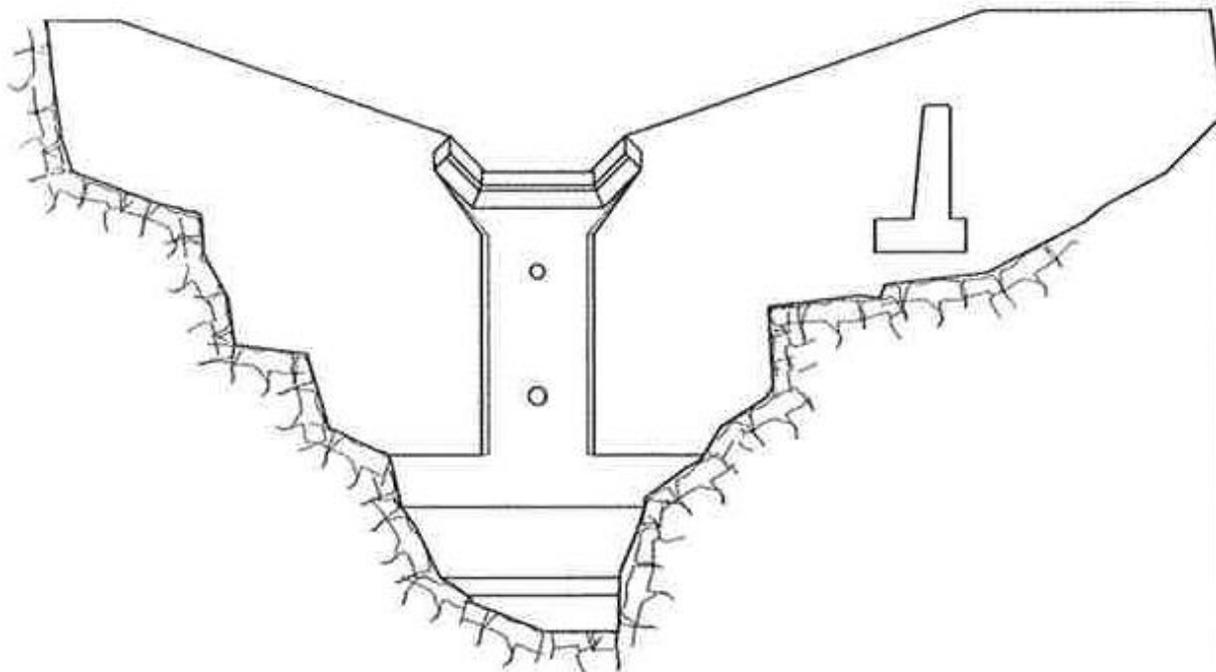


Abbildung 24: Ansicht der Sperre mit beweglich gelagerten seitlichen Flügeln, ANKER (2008)



Abbildung 25: Sortierwerk hm 22,24, Mittellauf des Blaubaches, Foto Kaufmann 2005

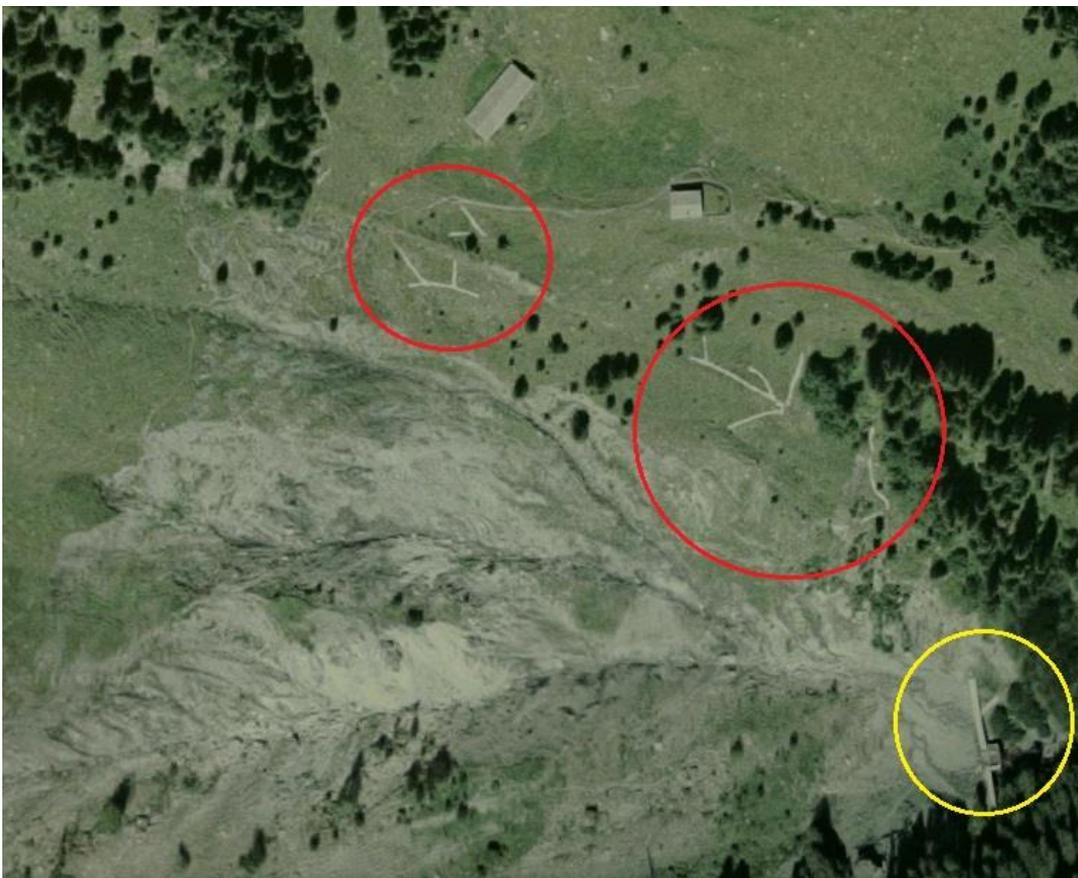


Abbildung 26: Lage der Drainageschächte (rot) und der Konsolidierungssperre (gelb), (Google Maps)

ANKER (2008) ist der Meinung, dass es zu einer Konsolidierung des Rutschkörpers gekommen ist und es nicht zu erwarten sei, dass gravitativ bedingte Rutschungen die Sperre erreichen werden. Außerdem hätten die Entwässerungsmaßnahmen zu einer deutlich verminderten Hangbewegung geführt.

Vorweggenommen sei zu erwähnen, dass es Messpunkte mit verringertem Bewegungsverhalten nach Fertigstellung der Sicherungsmaßnahmen gab, manche Punkte aber keine rückläufige Bewegung erkennen lassen.

Die Annahme, dass durch die Konsolidierung des Rutschkörpers das Erreichen bzw. Überschieben der Sperre nicht zu erwarten sei, wird mit der nachfolgenden Abbildung 27 widerlegt.



Abbildung 27: Konsolidierungssperre mit Material- Überschiebung, Foto Kaufmann 2010

3 Praktische Problemlösung

In diesem Kapitel werden die vorhandenen Daten in ausgewerteter Form präsentiert und in weiterer Folge interpretiert.

3.1 Ergebnisse früherer Untersuchungen

Die Massenbewegung Blaubachgraben wurde im Zuge von zwei Masterarbeiten (ZOBL, 2001) und (RATHOFER, 2012) untersucht.

ZOBL (2001) ermittelte die Faktoren der Massenbewegung Blaubach mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems (ArcView) und erstellte eine Gefahrenzonenkarte für die Massenbewegung, um damit einen Ansatz für Sanierungsmaßnahmen zu liefern. Die Geländearbeit und die Analysen von ZOBL haben dabei ergeben, dass die Hangneigung zunimmt und die größte Bewegung im Zentrum der Rutschung stattfindet. Entwässerungs- und Stützmaßnahmen wären wichtig für die Stabilisierung von labilen Bereichen um abgerutschte Hangpartien aufzuhalten und zu stützen. Für die Bereiche mit offener Vegetationsdecke bzw. für flachere Teile der Massenbewegung, oberhalb des Großbruchrandes, stellte sich heraus, dass das Wasser gezielt abfließen sollte, damit möglichst wenig davon in das tieferreichende Lockermaterial einsickern kann.

RATHOFER (2012) erstellte mit Hilfe von Laserscanning-Messungen Höhenänderungskarten und Analysen der Hangrutschung. Dabei war zu erkennen, dass sich die größten negativen Höhenänderungen im vegetationsfreien Teil der Hangrutschung zeigten. Dagegen war eine starke Höhenzunahme im Bereich der Konsolidierungssperre erkennbar, lockeres Material hatte sich bis zur Oberkante der Sperre abgelagert (Abb. 28).



Abbildung 28: Konsolidierungssperre 2010, Foto Kaufmann 2010

In keiner der vorhergegangenen Arbeiten wurde die Wechselwirkung zwischen Wassereintritt durch Niederschlagsereignisse und Rutschverhalten des Hanges untersucht.

Bei ZOBL (2001) findet sich, dass es durch Starkniederschlag oder Schneeschmelze zu einer Sättigung des Bodens und in weiterer Folge zu einer Hangbewegung kommen kann. Es wurden aber keine Untersuchungsergebnisse herangezogen bzw. es wurden die Versatzwerte der Rutschung mit Niederschlagswerten nicht korreliert.

Die Korrelation zwischen saisonalen Niederschlagsereignissen auf die Massenbewegung Blaubachgraben von 2001 – 2014 wird nun in dieser Arbeit hergestellt und eine Analyse vorgenommen.

3.2 Punktbezogene (auf die geodätischen Messpunkte) Analyse der Bewegungen

Um die Analyse der Punkte zu vereinfachen, wurden sie in fünf Bereichsgruppen unterteilt und für die folgende Auflistung nur Punkte berücksichtigt, welche über den gesamten Beobachtungszeitraum (2001-2014) verfolgbar sind, dabei wurde die Einteilung von neun Punktgruppen nach KAUFMANN (2001) reduziert. Die horizontalen, sowie auch die räumlichen Bewegungsraten des Monitorings sind in grafischer Form dargestellt. Nur ausgewählte Grafiken werden in diesem Kapitel verwendet um als Beispiele zu dienen. Alle Bewegungsmuster, die in der Auswertung nicht grafisch aufgeführt sind, werden im Anhang 1, 2 und 3 gelistet, inklusive der Microsoft Excel Tabellen, die als Grundlage für die grafische Darstellung der Punkte dienen.

1. Bereich: 10, 11, 12 (unterhalb der Breitscharte)
2. Bereich: 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 (erweiterte Zone unterhalb der Breitscharte)
3. Bereich: 2, 23, 24, 25, 32, 33, 34, 35, 36 (erweiterte Zone unterhalb der Schmalscharte)
4. Bereich: 26, 27, 28, 30, 31 (unterhalb der Schmalscharte)
5. Bereich: 1, 5, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47 (Jagdhütte und umliegender Bereich)

Abbildung 29 zeigt ein Orthophoto des Gebietes, in dem die einzelnen Bereiche farblich gekennzeichnet wurden. Bereich 1 in Rot, Bereich 2 in Gelb, Bereich 3 in Grün, Bereich 4 in Orange und Bereich 5 in Blau. Diese Einteilung erfolgte nach topographischen Gesichtspunkten.

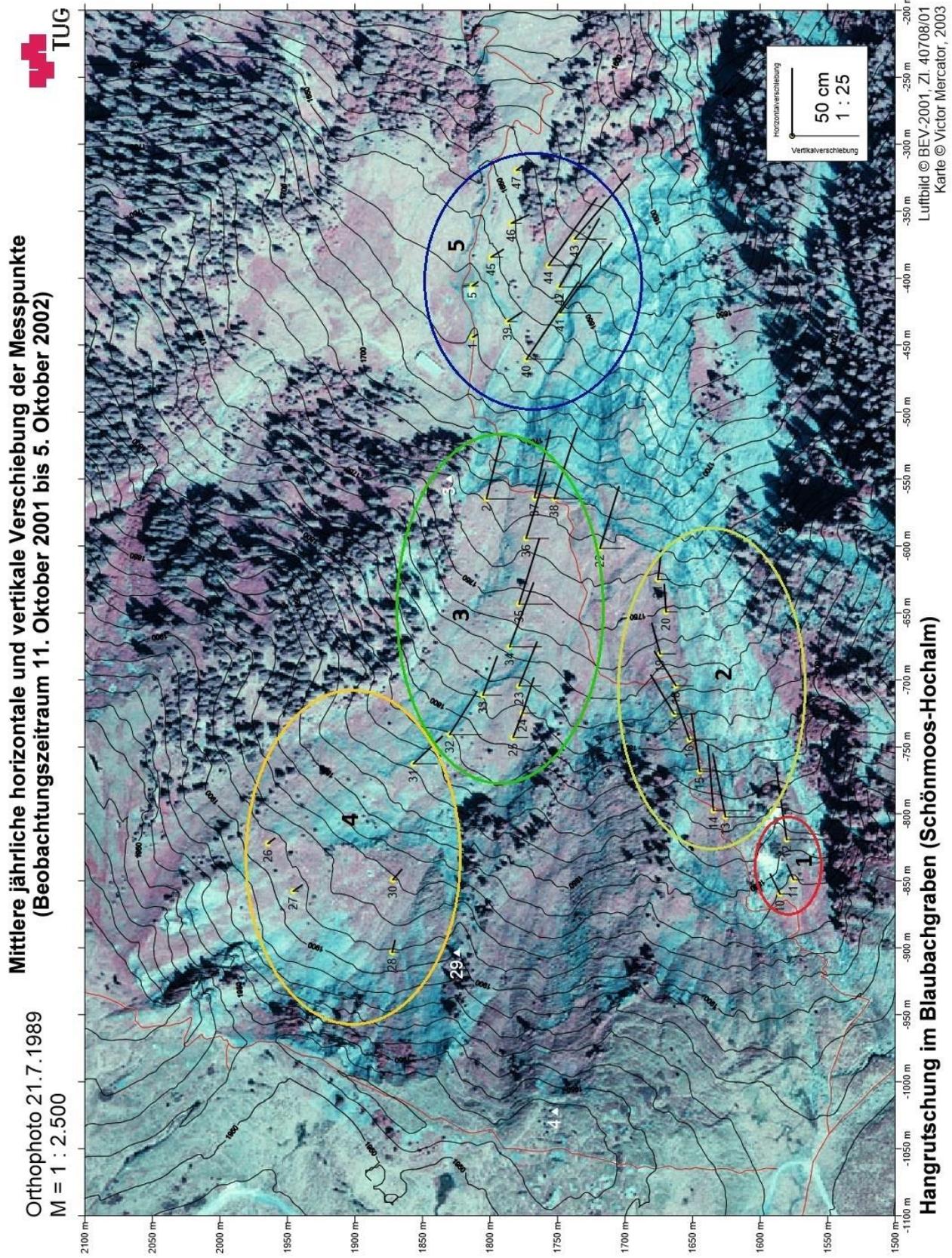


Abbildung 29: Orthophoto (KAUFMANN 2002)

Bevor die Datensätze der jährlichen Versätze (tatsächlich gemessen) und Bewegungsraten (auf 12 Monate hochgerechnet) mit den angeglichenen Niederschlagswerten der geodätischen Messperioden korreliert werden, und auf einen Zusammenhang von Niederschlag und Rutschungsanfälligkeit eingegangen wird, werden einzelne Beispiele aus den fünf Bereichen herangezogen und ihre Bewegungsprofile interpretiert, wobei der horizontale Versatz (bezogen auf die Grundebene) in blau und der räumliche Versatz (Raumdiagonale) in orange in den Grafiken dargestellt sind.

In einem weiteren Kapitel werden dann auch bei einigen ausgewählten Beispielen die Versätze im Raum grafisch dargestellt.

3.2.1 Messbereich 1

Der Messbereich 1 umfasst die Messpunkte 10, 11 und 12. Als Beispiel werden die Punkte 10 (Abb.30) und 12 ausgewählt.

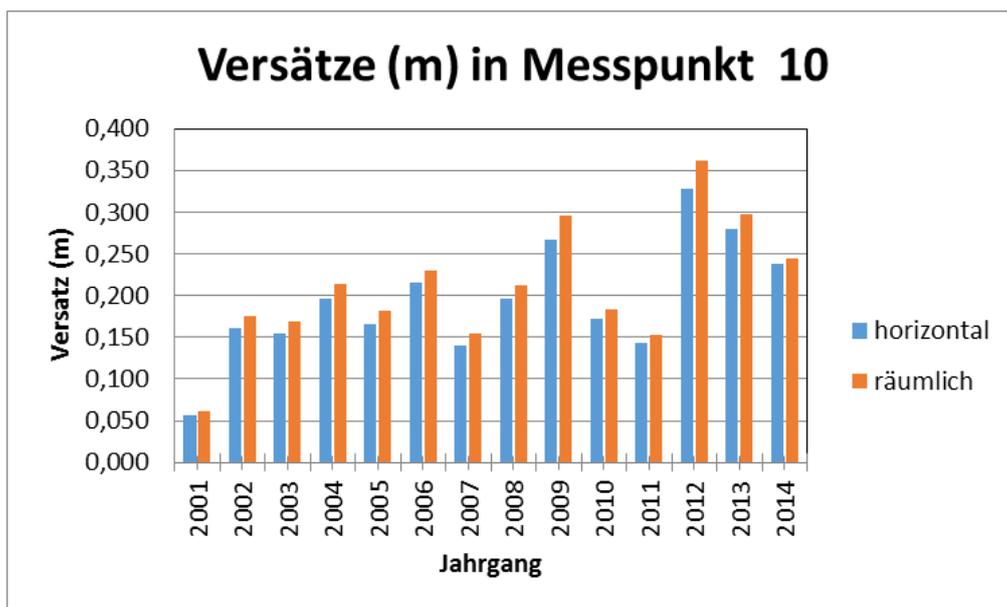


Abbildung 30: Versatzraten Messpunkt 10, 2001-20014

Beim Messpunkt 10, der vergleichsweise insgesamt eine eher geringe Versatzrate aufweist, können in den Messperioden 2007/08, 2011/12 und 20012/13 höhere Versätze erkannt werden.

Der dritte Punkt des ersten Bereiches , Nummer 12 (Abb.31), unterscheidet sich im Bewegungsmuster von Punkt 10. Punkt 12, der im Gegensatz zu den beiden anderen Punkten des ersten Bereiches höhere Versätze aufweist, zeigt auch ein differenziertes Verhalten in den Bewegungspeaks. Dies lässt sich wahrscheinlich durch seine Lage im Übergangsbereich zum darunter liegenden Bereich 2 erklären. Wenn man die Grafik mit denen der nachfolgenden Punkte im Bereich 2 vergleicht, erkennt man gewisse Ähnlichkeiten.

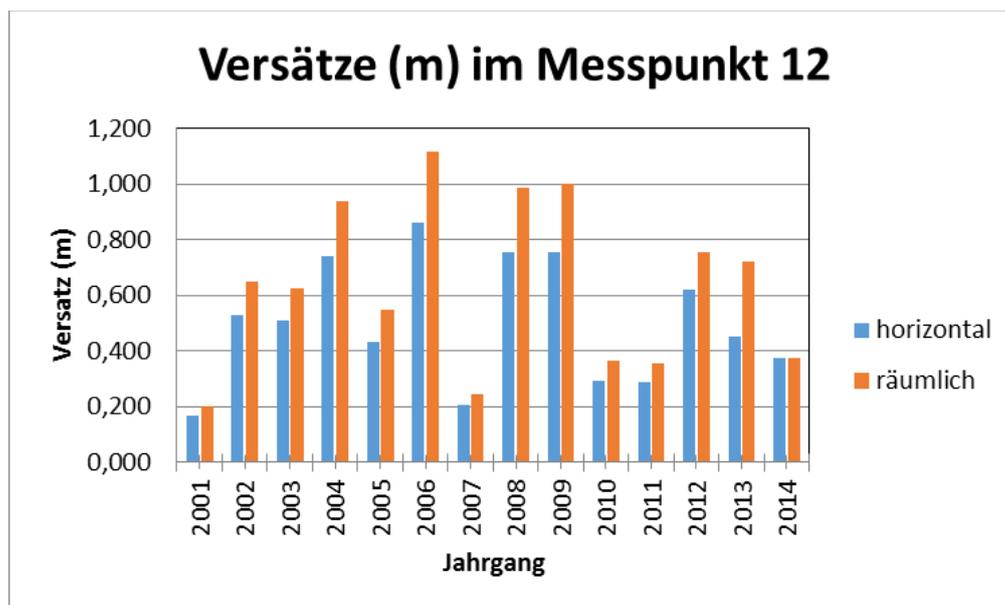


Abbildung 31: Versatzraten Messpunkt 12, 2001-2014

3.2.2 Messbereich 2

Alle Punkte des Bereiches 2 (13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21) weisen signifikante Ähnlichkeiten bei den Spitzenjahren des Versatzes auf, welche sich allerdings in der Höhe der Bewegungsbeträge unterscheiden. Vom grafischen Bild der Bewegung kann zwischen den Punkten 13,14,15 und 16-21 unterschieden werden.

Um den Unterschied optisch erkennbar zu machen wurden die Grafiken der Punkte 13 (Abb.32) und 21 (Abb.33) ausgewählt.

Auffallend ist, dass die Messperioden 2007/08 und 2011/12 zu hohen Versatzraten geführt haben.

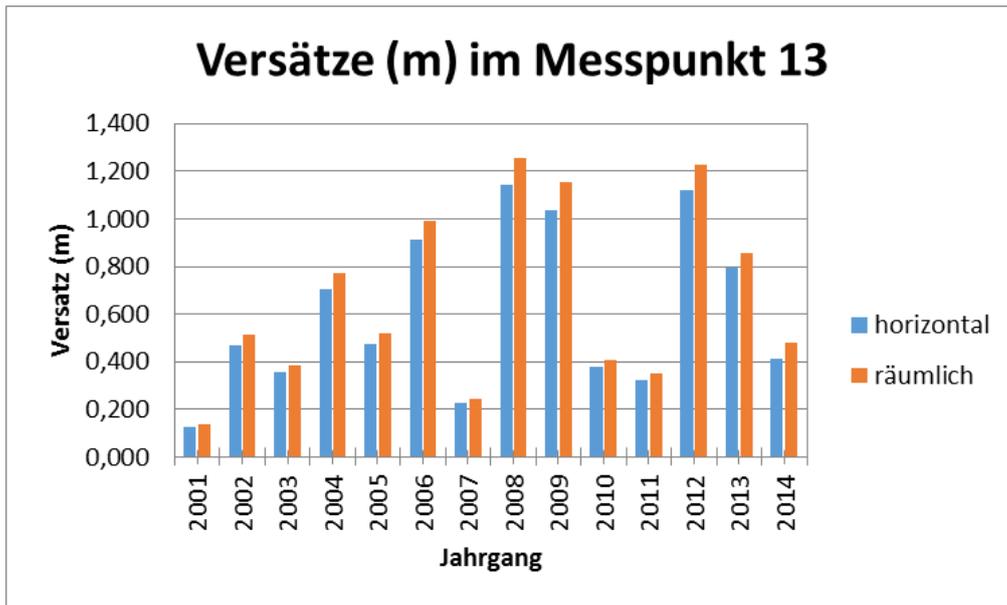


Abbildung 32: Versatzraten Messpunkt 13, 2001-2014

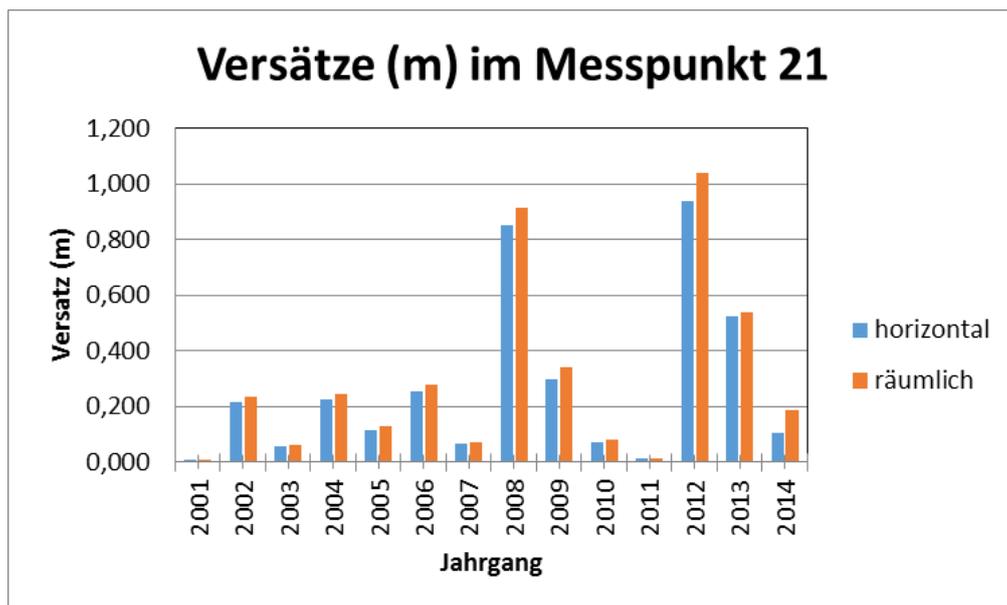


Abbildung 33: Versatzraten Messpunkt 21, 2001-2014

3.2.3 Messbereich 3

Bei den Punkten in Messbereich 3 sind, bis auf zwei Ausnahmen (24, 25), ähnliche Bewegungsmuster erkennbar, die sich wiederum in ihrer Intensität unterscheiden.

Die beiden Ausreißer 24 (Abb.34), hier als Beispiel gewählt, und 25 liegen in der Übergangszone zu dem nach ZOBL als stabil deklarierten Geländebereich zwischen Breit- und Schmalscharte und zeigen ein Bewegungsmuster, das sich von dem der anderen Punkte des Bereiches 3 wesentlich abhebt. Sie weisen eine ausgeprägte Spitze nur im Jahr 2008 auf.

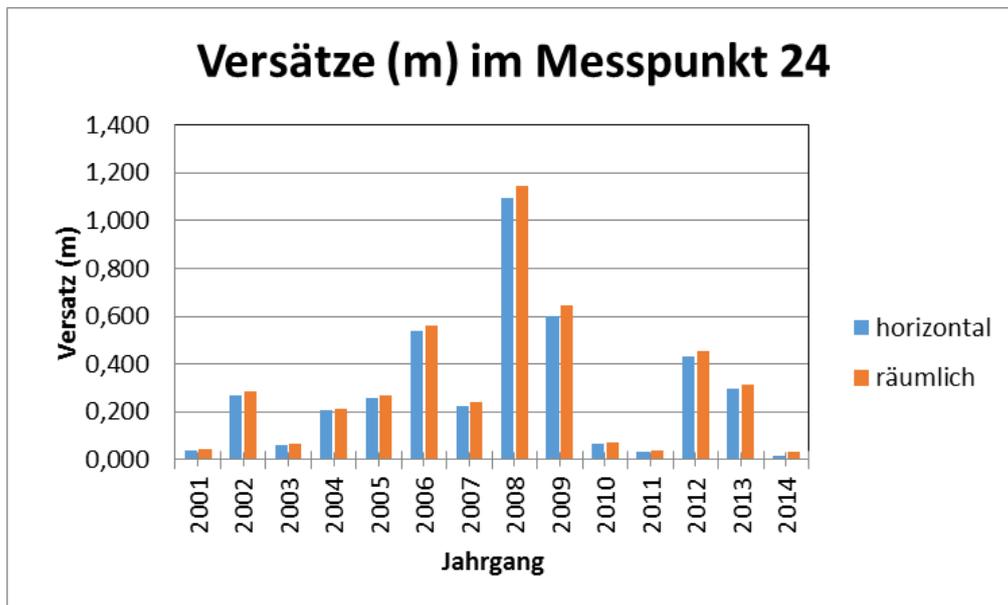


Abbildung 34: Versatzraten Messpunkt 24, 2001-2014

Da die Punkte 2 (Abb.35) und 23, sowie auch die Punkte 32 bis 36 eine nahezu idente Bewegungsverteilung aufweisen, wird nur der Punkt 2 als Beispiel herangezogen. Bewegungsintensive Messperioden waren 2007/08, 2008/09, 2011/12 und 2012/13.

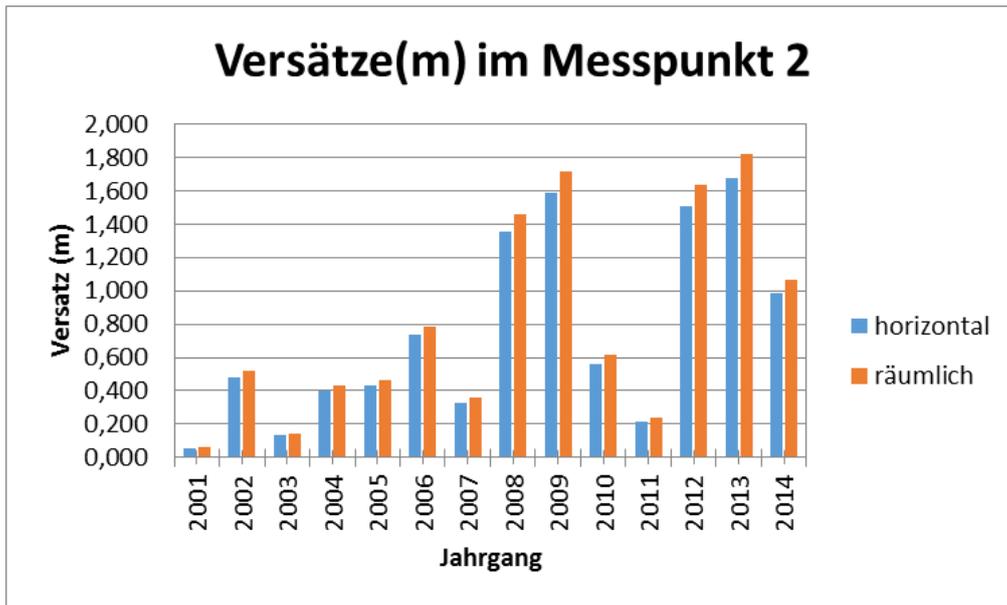


Abbildung 35: Versatzraten Messpunkt 2, 2001-2014

3.2.4 Messbereich 4

Dieser Messbereich zeigt sehr unterschiedliche Bewegungsmuster.

Der Punkt 31 (Abb.36), der im Übergangsbereich von Bereich 4 zu 3 liegt, weist ein Bewegungsmuster auf, das dem der Randpunkte 24 (Abb.34) und 25 ähnelt.

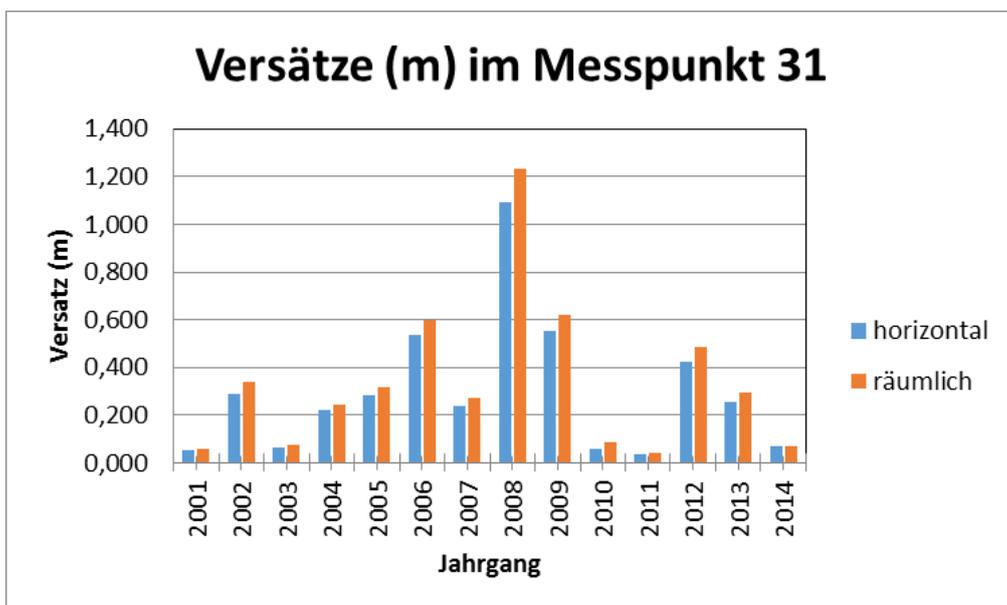


Abbildung 36: Versatzraten Messpunkt 31, 2001-2014

Die Punkte 26, 27, 28 und 30 zeigen bis auf die bewegungsintensive Messperiode 2008/09 kaum Gemeinsamkeiten. Der räumliche Versatz, im Vergleich zum horizontalen, in den Jahren 2001 (Nullmessung Juli-Oktober 2001) und 2014 fällt bei den Punkten 26 (Abb.37), 27 (Abb.38) und 28 (Abb.39) relativ stark aus, bei Punkt 30 (Abb.40) allerdings beschränkt sich der große Unterschied zwischen räumlichem und horizontalem Versatz auf die Nullmessung. Obwohl die Grafiken ein Bild liefern, das auf hohe Differenzen schließen lassen würde, haben wir es in diesem Bereich aber mit geringen Bewegungsbeträgen zu tun.

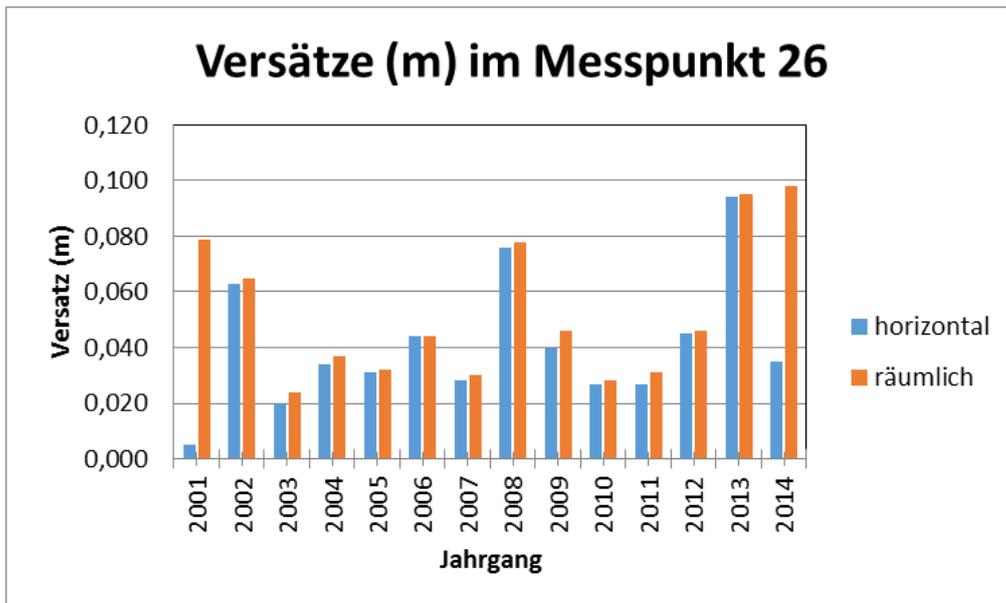


Abbildung 37: Versatzraten Messpunkt 26, 2001-2014

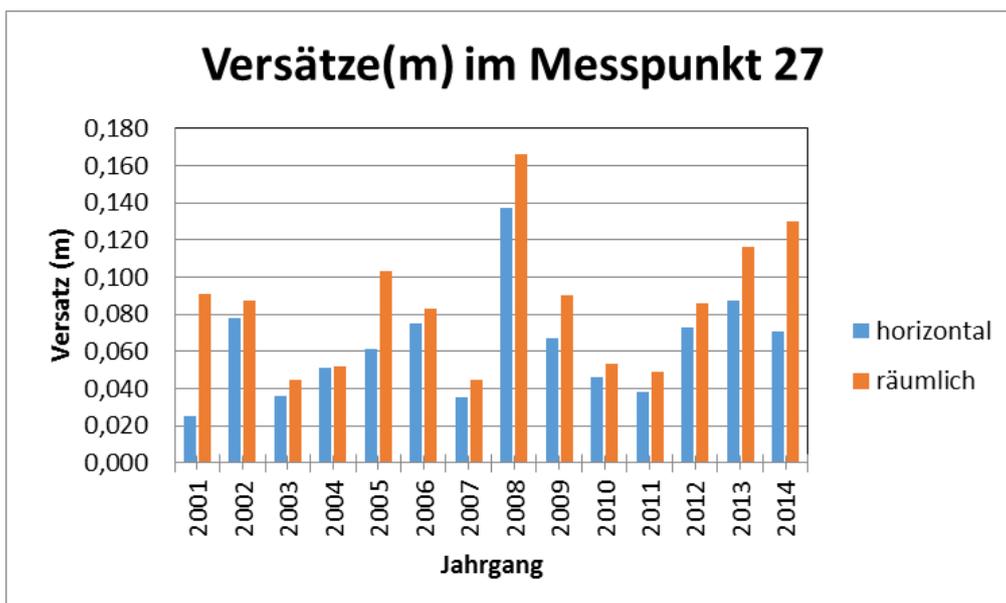


Abbildung 38: Versatzraten Messpunkt 27, 2001-2014

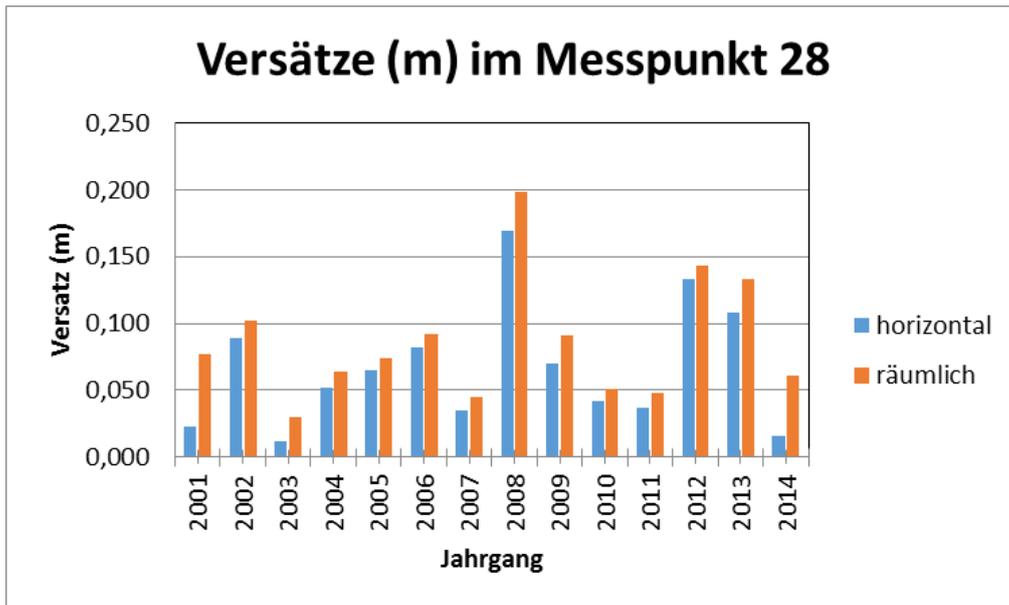


Abbildung 39: Versatzraten Messpunkt 28, 2001-2014

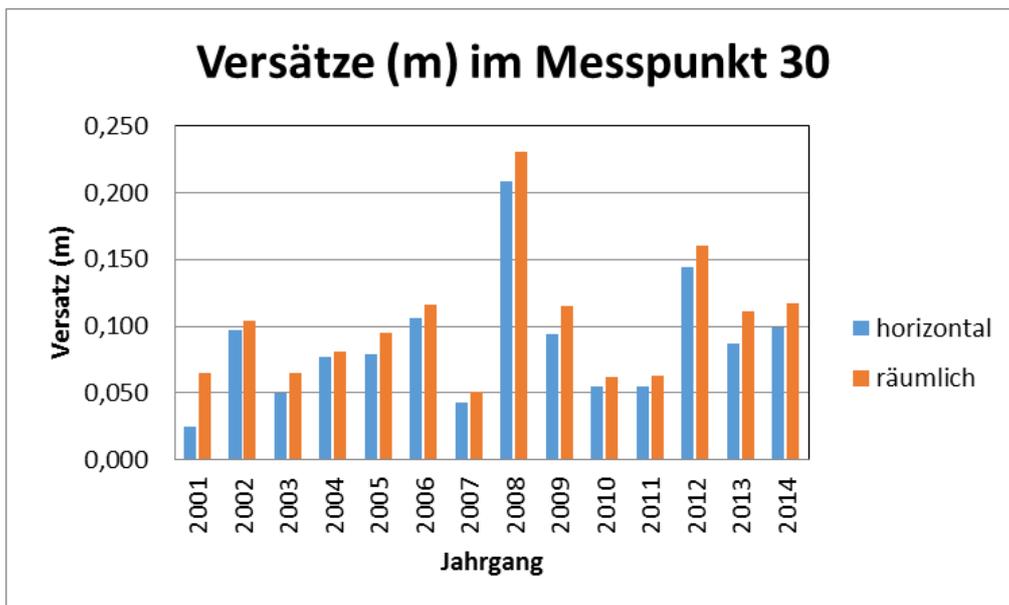


Abbildung 40: Versatzraten Messpunkt 30, 2001-2014

3.2.5 Messbereich 5

Die im Messbereich 5 liegenden Punkte weisen die am stärksten differenzierten Bewegungsprofile aller Bereiche des Untersuchungsgebietes auf.

Vor allem die Punkte 1 (Abb.41), 5 (Abb.42), 40 (Abb.43) und 41 (Abb.44) zeigen ein voneinander völlig unterschiedliches Bewegungsprofil.

Auffällig bei Punkt 1 sind die grafisch erkennbaren relativ hohen Unterschiede des räumlichen Versatzes zum horizontalen in den Messperioden 2011/12 und 2013/14.

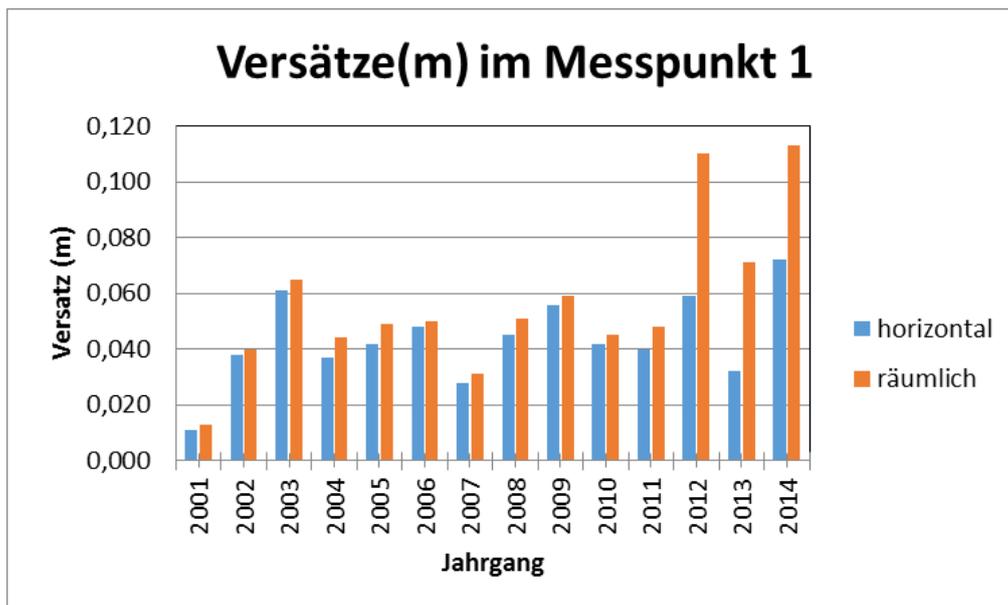


Abbildung 41: Versatzraten Messpunkt 1, 2001-2014

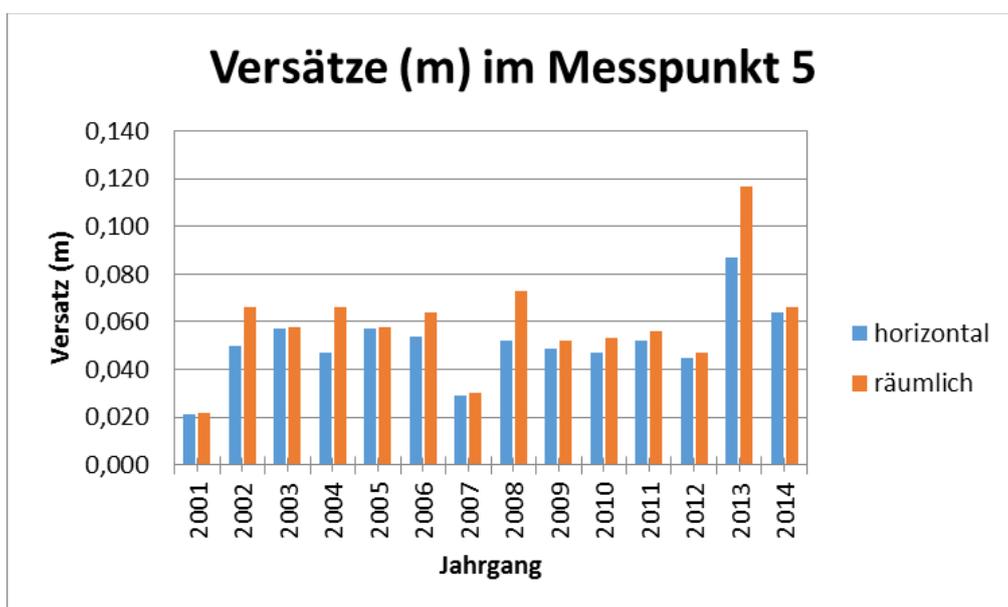


Abbildung 42: Versatzraten Messpunkt 5, 2001-2014

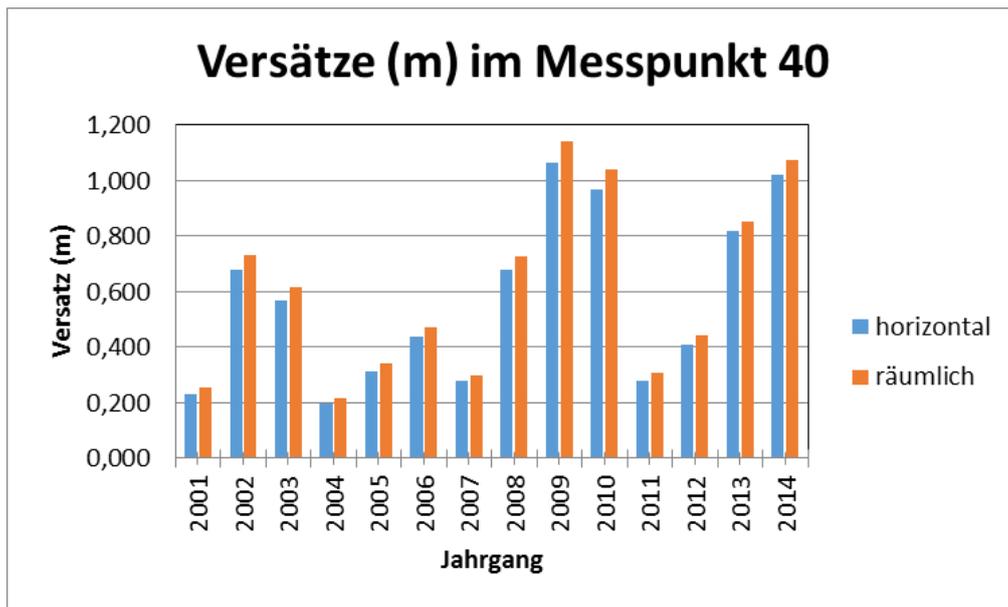


Abbildung 43: Versatzraten Messpunkt 40, 2001-2014

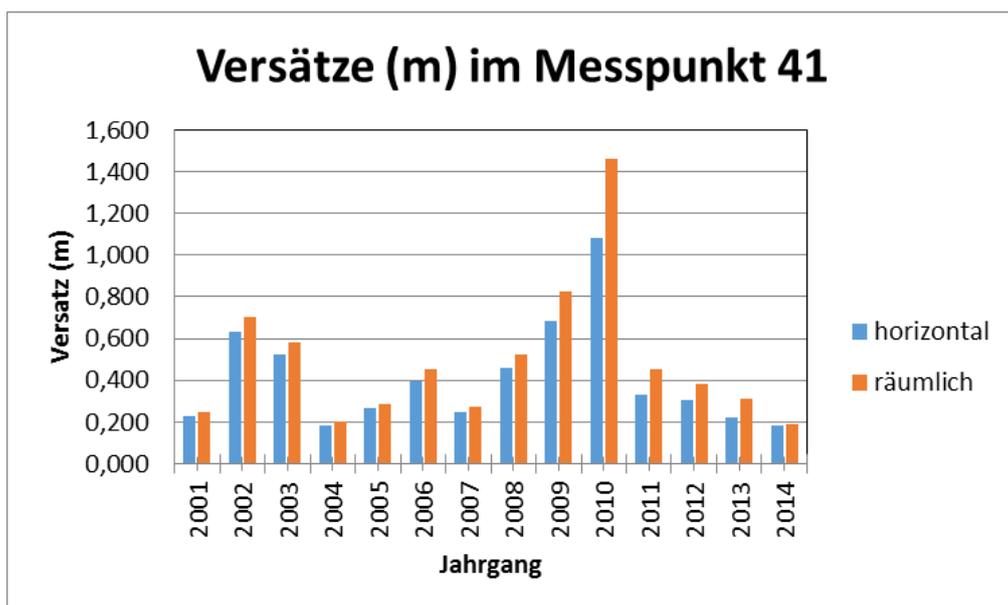


Abbildung 44: Versatzraten Messpunkt 41, 2001-2014

Die Punkte 42, 43 und 44 dagegen zeigen ein fast identes Profil, als Beispiel dient die Grafik von Punkt 43 (Abb.45).

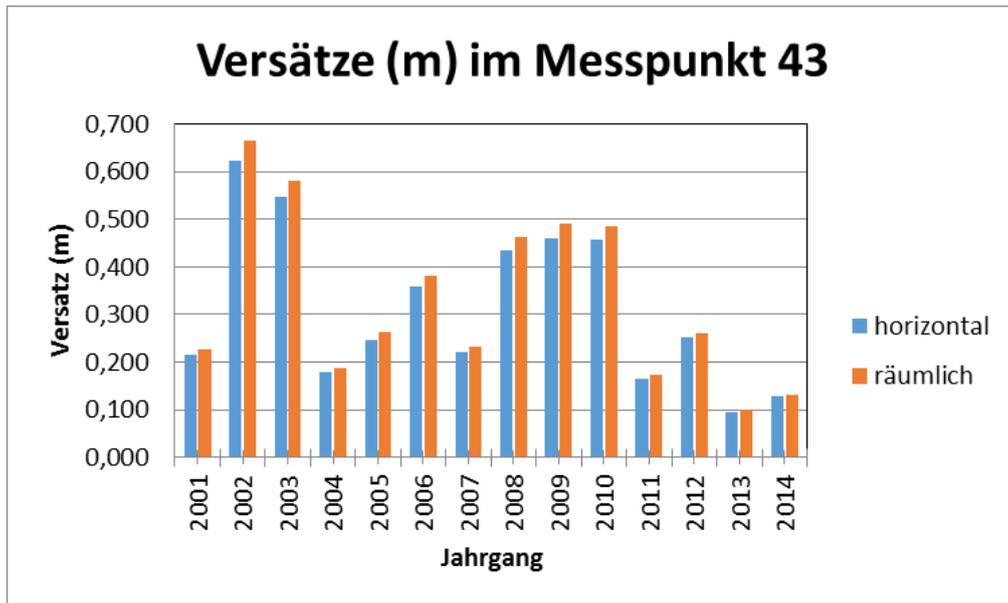


Abbildung 45: Versatzraten Messpunkt 43, 2001-2014

Sehr bemerkenswert sind die hohen Versatzraten in den Perioden 2001/02 und 2002/03 und die niedrige Rate in der Periode 2003/04. Es wird in einem späteren Kapitel dem möglichen Einfluss der Konsolidierungssperre auf die Bewegungsraten nachgegangen werden.

Obwohl die Lage der Punkte 39 (Abb.46), 45 (Abb.47), 46 (Abb.48) und 47 (Abb.49) darauf schließen lassen würde, dass ihre Profile sich gleichen, erweist es sich als nicht zutreffend. Die Unterschiede in den Grafiken sind teilweise zu markant.

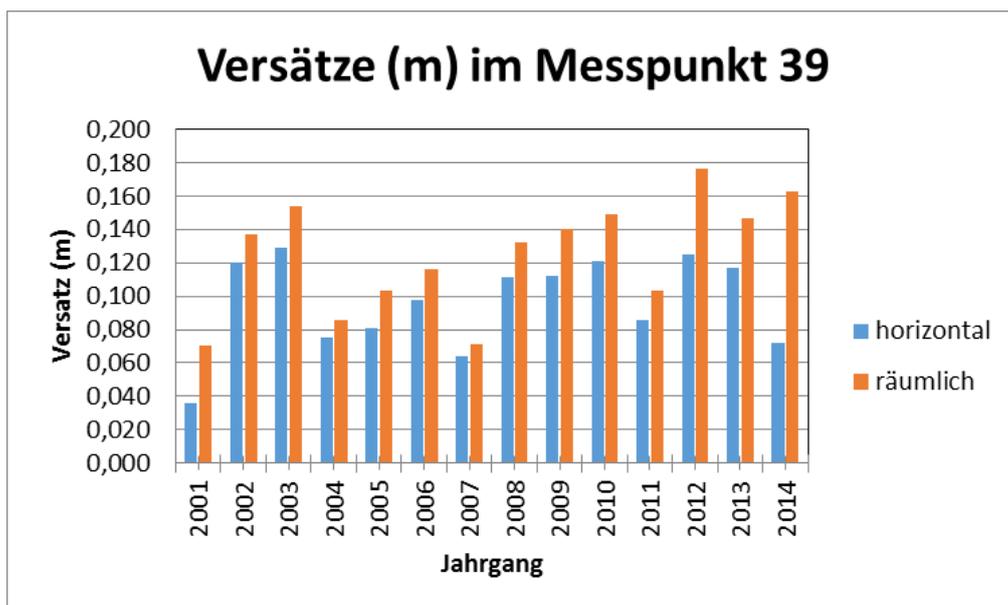


Abbildung 46: Versatzraten Messpunkt 39, 2001-2014

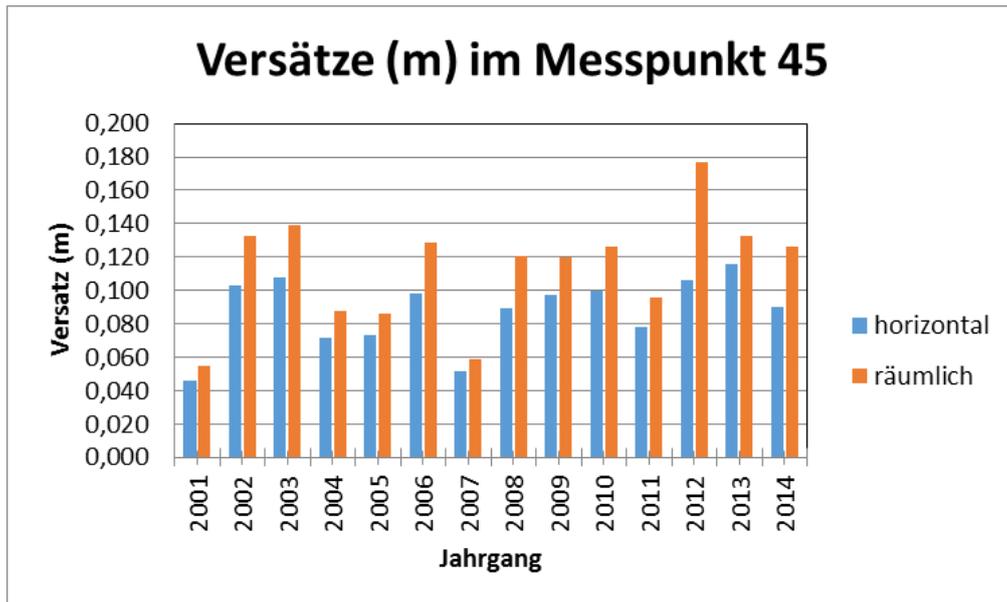


Abbildung 47: Versatzraten Messpunkt 45, 2001-2014

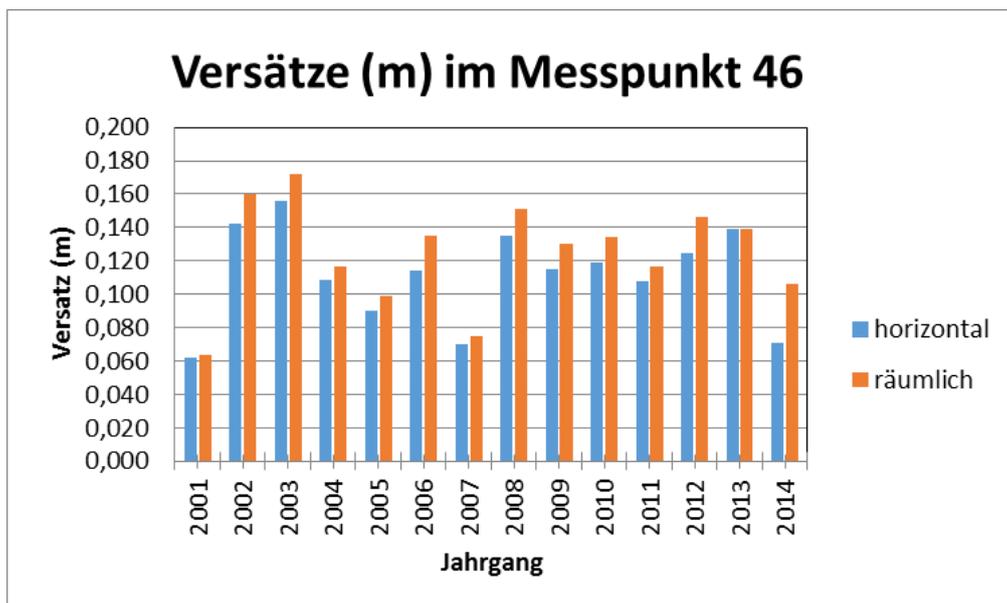


Abbildung 48: Versatzraten Messpunkt 46, 2001-2014

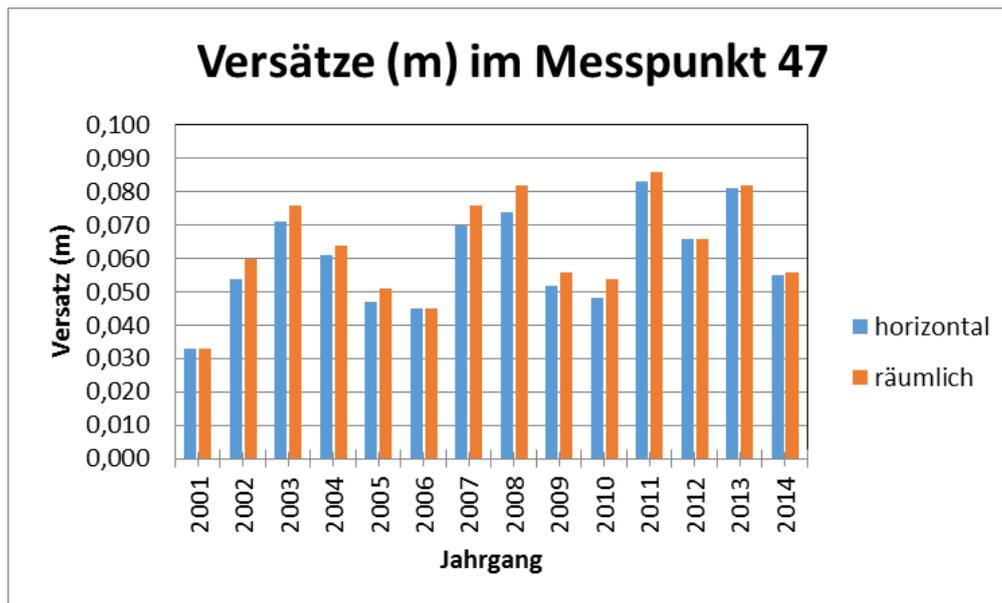


Abbildung 49: Versatzraten Messpunkt 47, 2001-2014

Bei der Nummer 47 fällt der durchgängig relativ geringe Bewegungsbetrag auf, der niemals die 0,1 Meter Marke überschreitet bzw. erreicht, während die Punkte 39, 45 und 46 den Wert des Öfteren erreichen oder überschreiten

Es sollte aber festgehalten werden, dass diese Bewegungsraten im Vergleich zu den Versatzwerten der Messpunkte in den Bereichen 2 und 3 recht gering ausfallen.

3.2.6 Gegenüberstellung von Bewegungsmustern

Obwohl viele Punkte in den fünf Bereichen ähnliche Bewegungsmuster aufweisen, sich aber die grafische Darstellung bei der Ausprägung der Peaks unterschiedlich darstellt, legt dies den Schluss nahe, dass diese Differenzen durch die verschiedenen Hangparameter erklärt werden können. Auffällig ist, dass bei fast allen ausgewerteten Messpunkten erhöhte Werte in den Messperioden 2007/08, 2008/09 und 2011/12 erkennbar sind. Die Gründe für die bei einigen Punkten auftretenden hohen Unterschiede bei einigen Messperioden vom räumlichen zum horizontalen Versatz (Abb. 50) könnten mit Hebungs- und Setzungsereignissen verbunden sein.

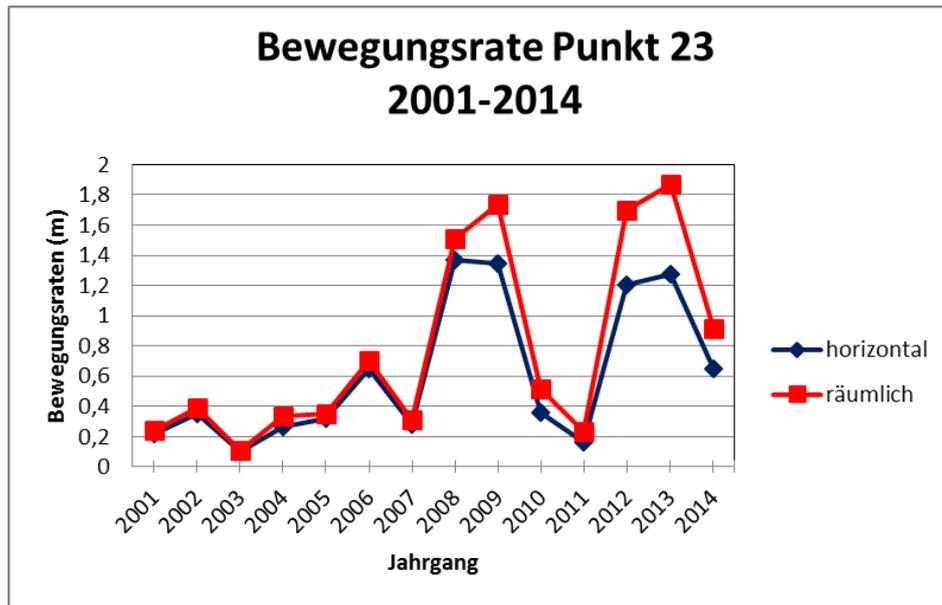


Abbildung 50: Bewegungsraten (m/a) Messpunkt 23, 2001-2014

Besonders übereinstimmende räumliche Bewegungsraten sind bei der Gegenüberstellung von Punkt 20 zu Punkt 21 (Bereich 2), in der rechten Rutschungszone der Breitscharte, gegeben (Abb.51) und auch bei der Gegenüberstellung der beiden Punkte 14 und 19 aus dem Bereich 2 (Abb.52).

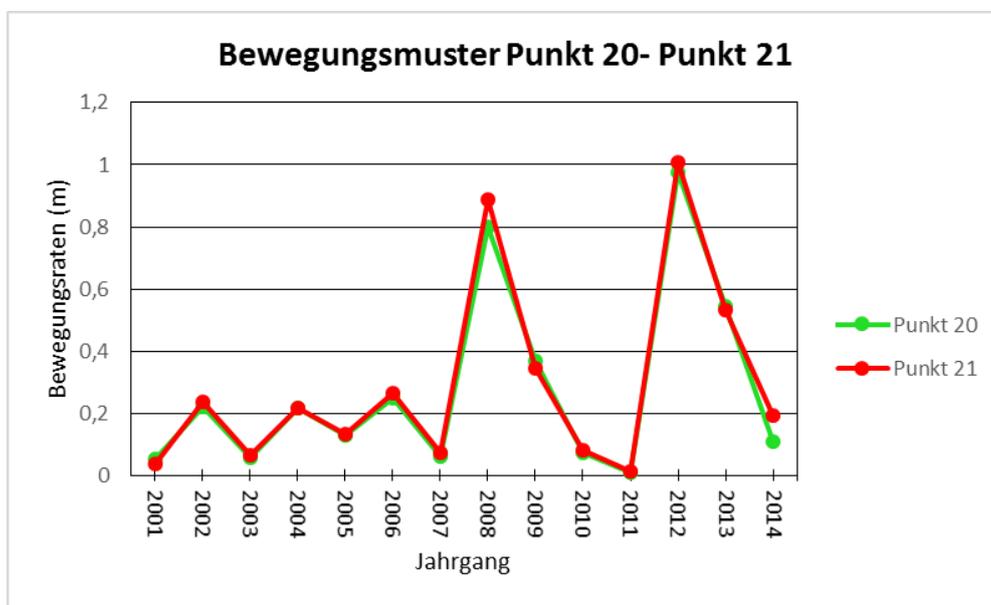


Abbildung 51: Räumliche Bewegungsraten (m/a) Messpunkte 5 und 20, 2001-2014

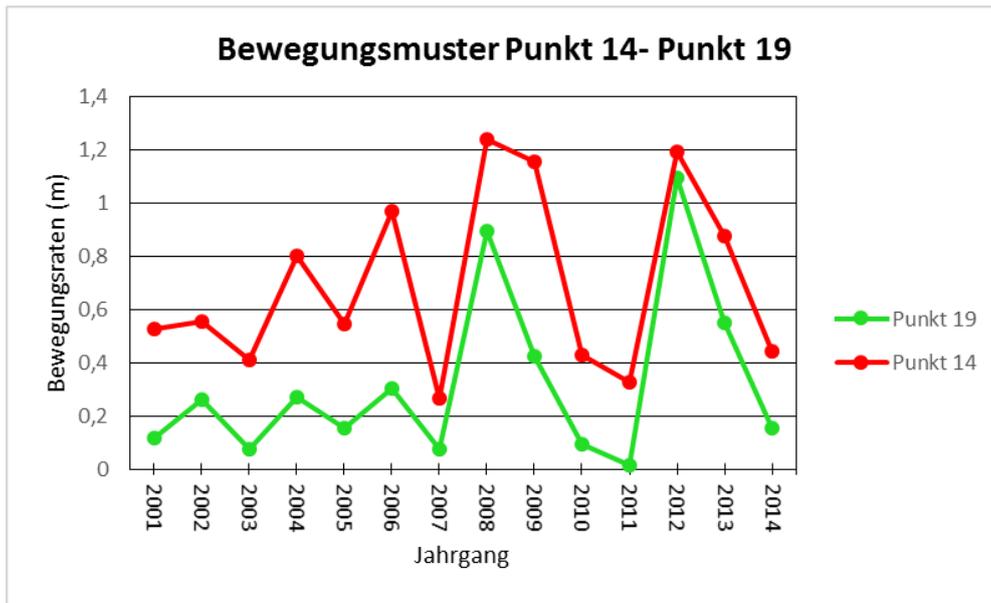


Abbildung 52: Räumliche Bewegungsraten (m/a) Messpunkte 14 und 19, 2001-2014

Keine Übereinstimmung dagegen zeigen die Gegenüberstellungen der räumlichen Bewegungsraten der Punkte 12 (Bereich 1, unterhalb der Breitscharte) mit Punkt 32 (Bereich 3, linke Rutschungszone unterhalb der Schmalscharte) (Abb. 53) und Punkt 24 (Bereich 3) zu Punkt 42 (Bereich 5, Rutschungszone unterhalb der Jagdhütte) (Abb. 54).

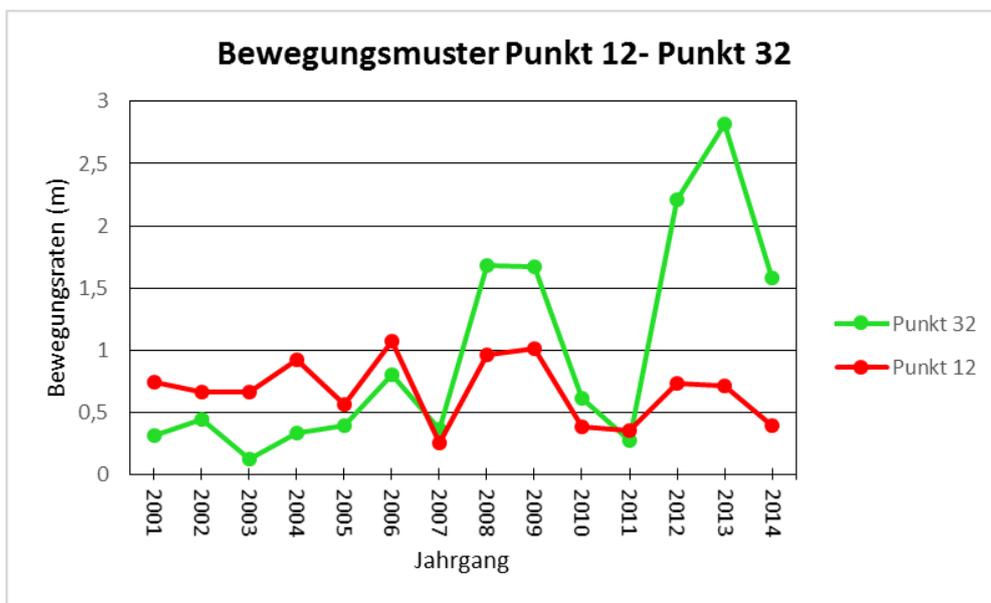


Abbildung 53: Räumliche Bewegungsraten (m/a) Messpunkte 12 und 32, 2001-2014

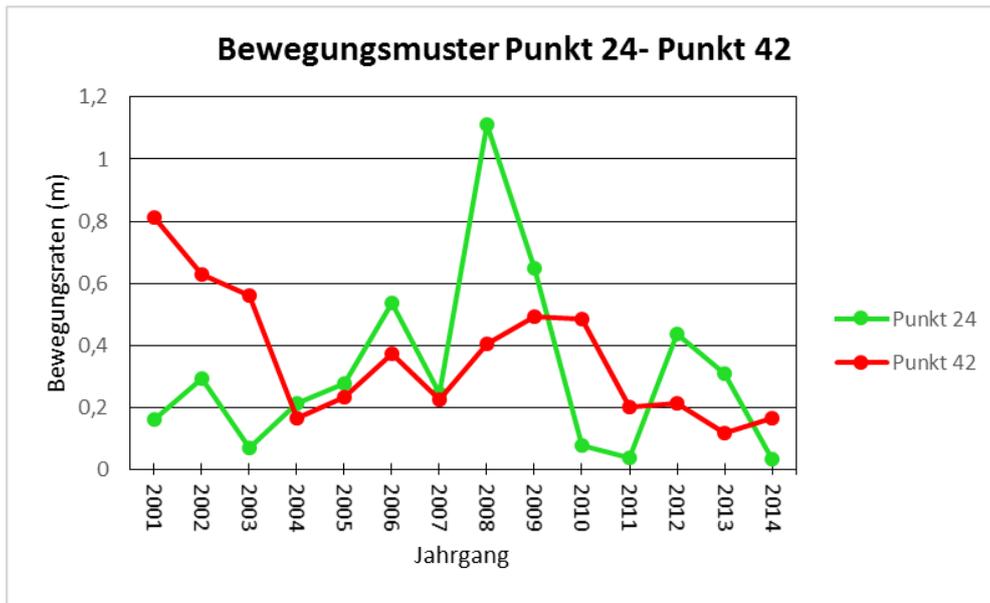


Abbildung 54: Räumliche Bewegungsraten (m/a) Messpunkte 24 und 42, 2001-2014

Das unterschiedliche Rutschverhalten und damit die differenten Bewegungsprofile der Messpunkte in den Messbereichen lassen sich mit einer starken Morphodynamik erklären, da Punkte, die sich in unmittelbarer Nähe zueinander befinden z.B. die Punkte 45 und 46, wie auch 23 und 24 unterschiedliche Bewegungsverteilungen aufweisen.

3.2.7 Darstellung der Bewegungsmuster in 3D

Um noch ein besseres Bild von den Bewegungsraten zu erzielen wurden von einigen ausgewählten Messpunkten 3D-Grafiken erstellt. Es ist damit ersichtlich, dass sich die meisten der Punkte im Raum sehr ähnlich bewegen. Als Datengrundlage wurden die Koordinaten verwendet. Die unterschiedlichen Blickrichtungen resultieren aus den teilweise gravierenden Unterschieden in den Bewegungen, die aus einem einheitlichen Blickwinkel nicht ersichtlich waren. Die in diesem Kapitel nicht aufgeführten Grafiken befinden sich im Anhang 4.

Messbereich 1

Der Messbereich, der sich unterhalb der Breitscharte befindet, weist keine gravierenden Versatzraten auf, was sich auch in der 3D-Grafik dokumentiert.

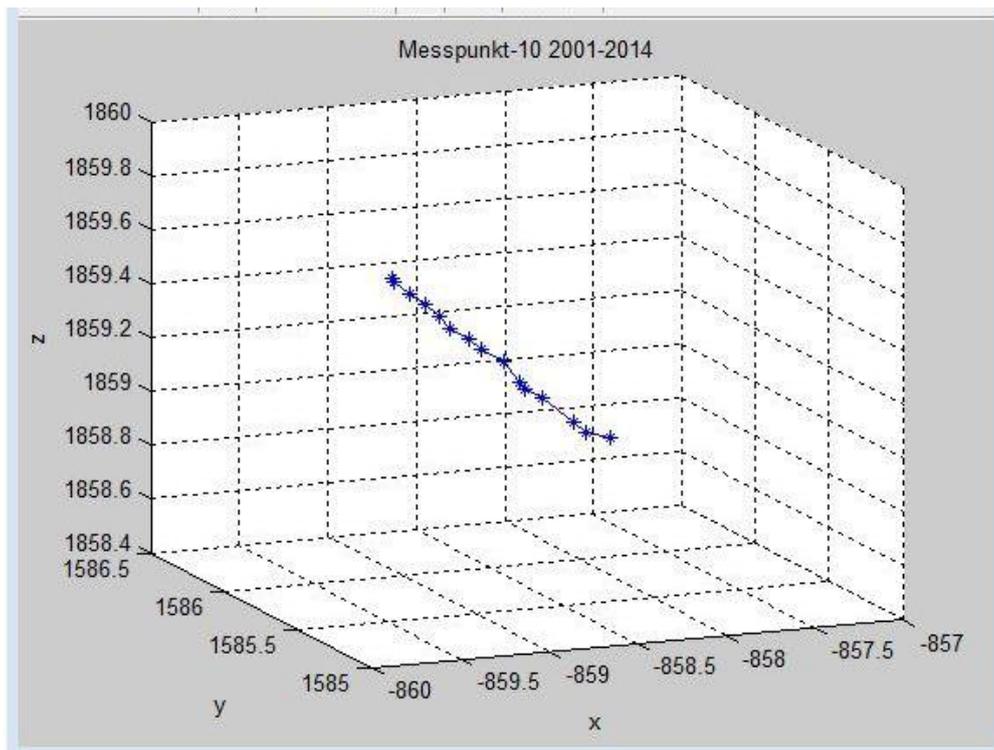


Abbildung 55: Messpunkt 10 3D-Bewegung, 2001-2014

Abbildung 55 zeigt die Bewegung des Messpunktes 10, der einen sehr gleichmäßig verlaufenden Versatz erkennen lässt.

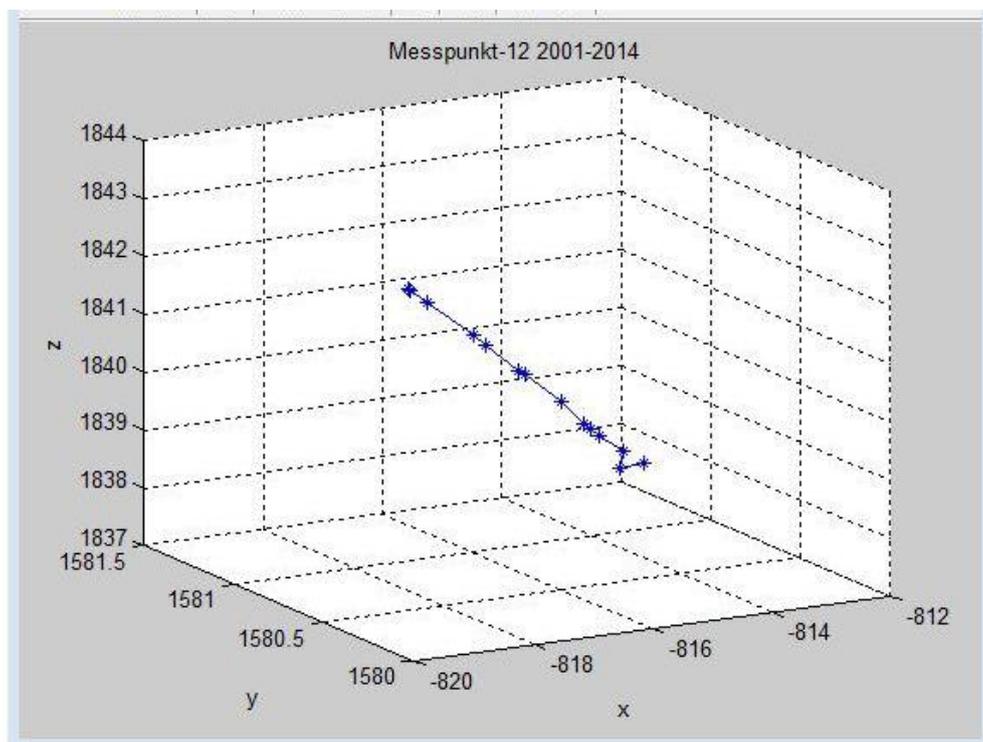


Abbildung 56: Messpunkt 12 3D-Bewegung, 2001-2014

Ein ähnliches Bild der Bewegung zeigt die Abbildung 56 bis auf die leichte Abweichung in der vorletzten Messperiode und die zurückgelegten Distanzen zwischen den einzelnen Messperioden.

Messbereich 2

Beim bewegungsaktiven Messbereich 2 wurden die Grafiken der Punkte 13 und 20 ausgewählt.

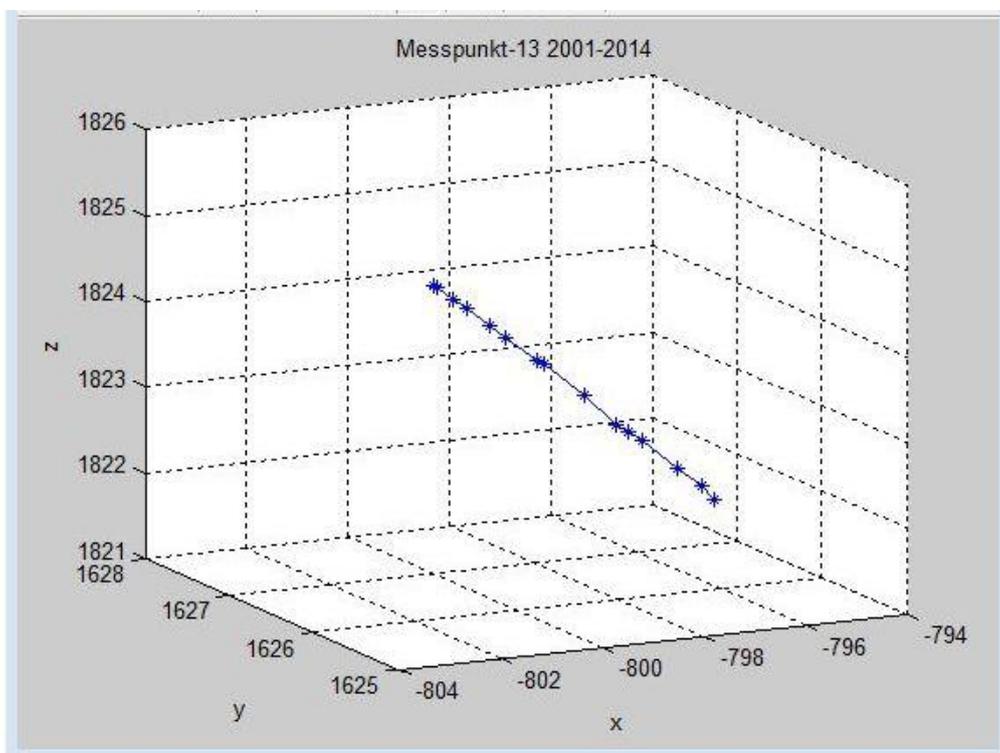


Abbildung 57: Messpunkt 13 3D-Bewegung, 2001-2014

Abbildung 57 zeigt die Bewegung des Punktes 13, der sich in der rechten Rutschungszone unterhalb der Breitscharte befindet, im Raum. Die 3D-Grafik lässt ein sehr ähnliches Bild, einen sehr kontinuierlichen Versatz in eine Richtung, wie bei Punkt 10 erkennen.

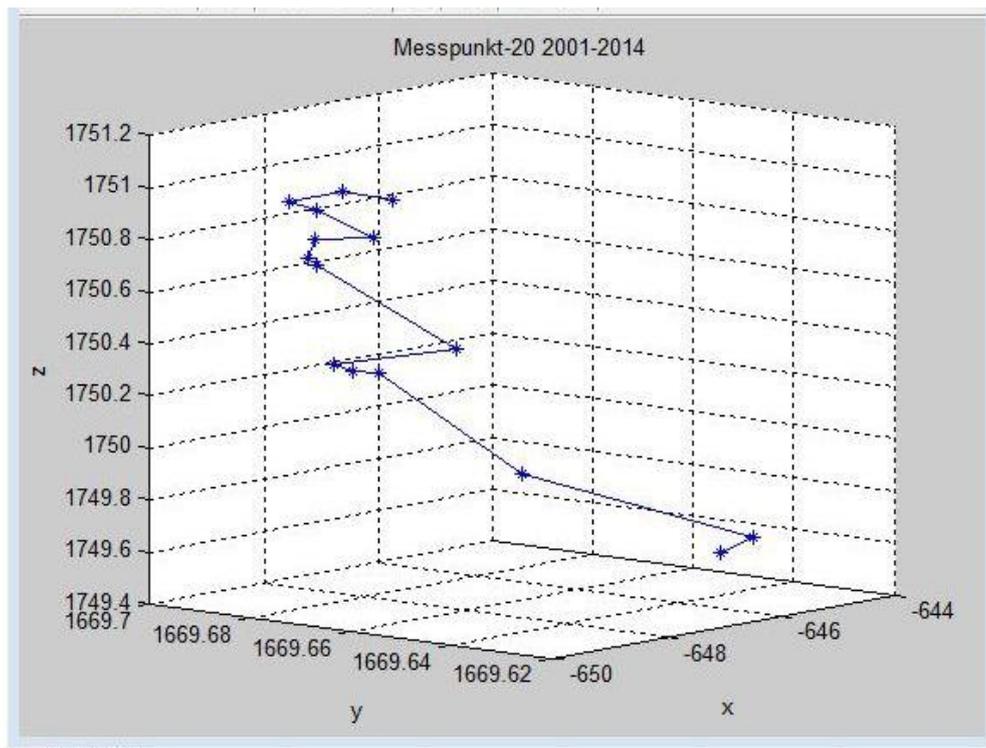


Abbildung 58: Messpunkt 20 3D-Bewegung, 2001- 2014

Ein völlig anderes Bewegungsmuster stellt sich bei der Abbildung 58 dar. Der Messpunkt 20, einer der beiden untersten Punkte der rechten Rutschungszone unterhalb der Breitscharte, zeigt eine sehr unruhige, keine erkennbare Hauptrichtung der Rutschbewegung, das würde auf eine höhere Instabilität in diesem Teil der Rutschungszone deuten.

Messbereich 3

Der Punkt 2 (Abb.59) befindet sich in der linken Rutschungszone unterhalb der Schmalscharte, bei der Abbruchkante. Das Bewegungsprofil zeigt keine auffälligen Richtungsänderungen.

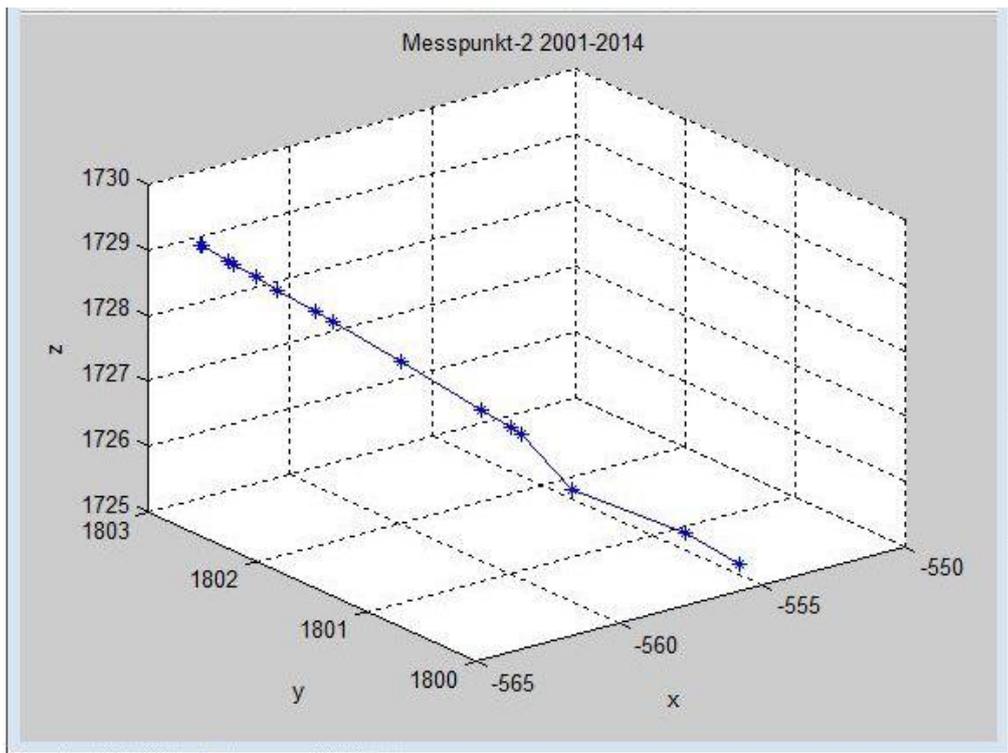


Abbildung 59: Messpunkt 2 3D-Bewegung, 2001-2014

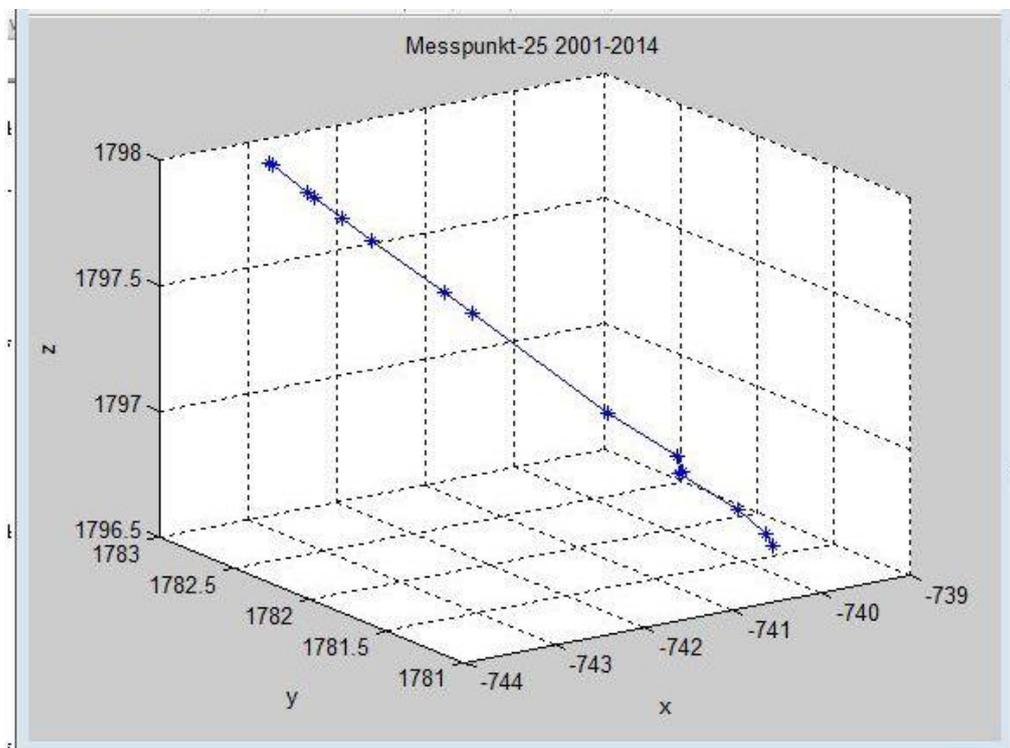


Abbildung 60: Messpunkt 25 3D-Bewegung, 2001-2014

Der Punkt 25 (Abb.60), der sich auch bei der großen Abbruchkante befindet, verhält sich ähnlich zum Punkt 2, es sind keine gravierenden Abweichungen zur Hauptrutschrichtung erkennbar.

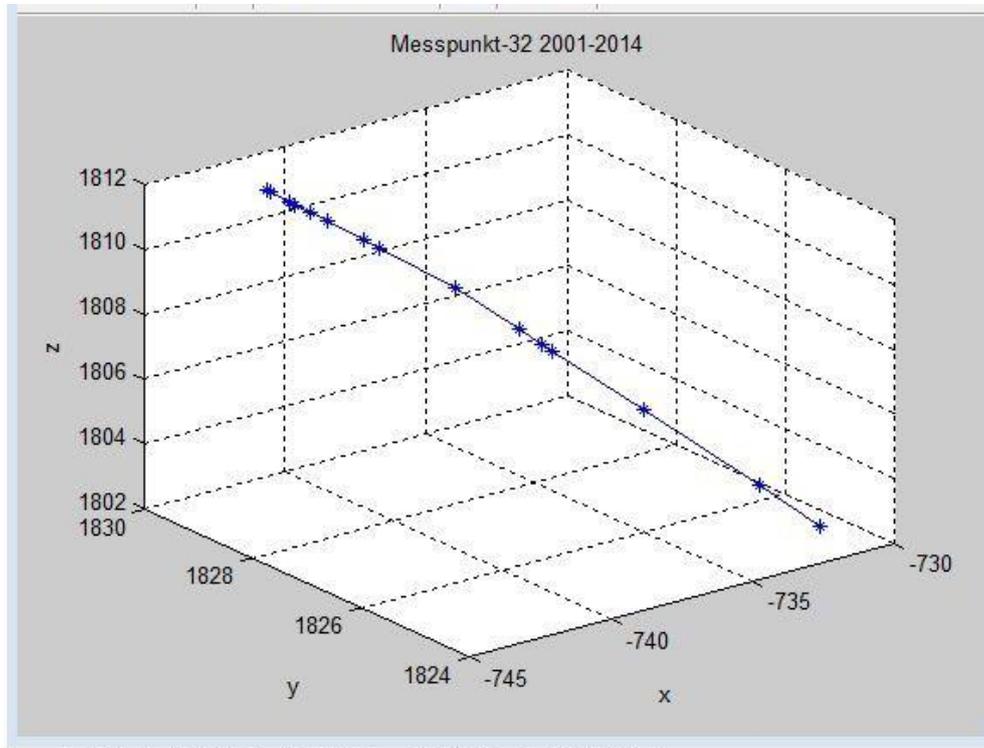


Abbildung 61: Messpunkt 32 3D-Bewegung, 2001-2014

Auch der dritte Punkt des Messbereichs 3 (Abb.61), einer der bewegungsaktivsten Punkte, weicht nicht vom Bewegungsprofil der Messpunkte an der großen Abbruchkante ab, was den Schluss zulässt, dass die Messpunkte des dritten Bereiches alle eine sehr gleichmäßige Bewegung durchführen.

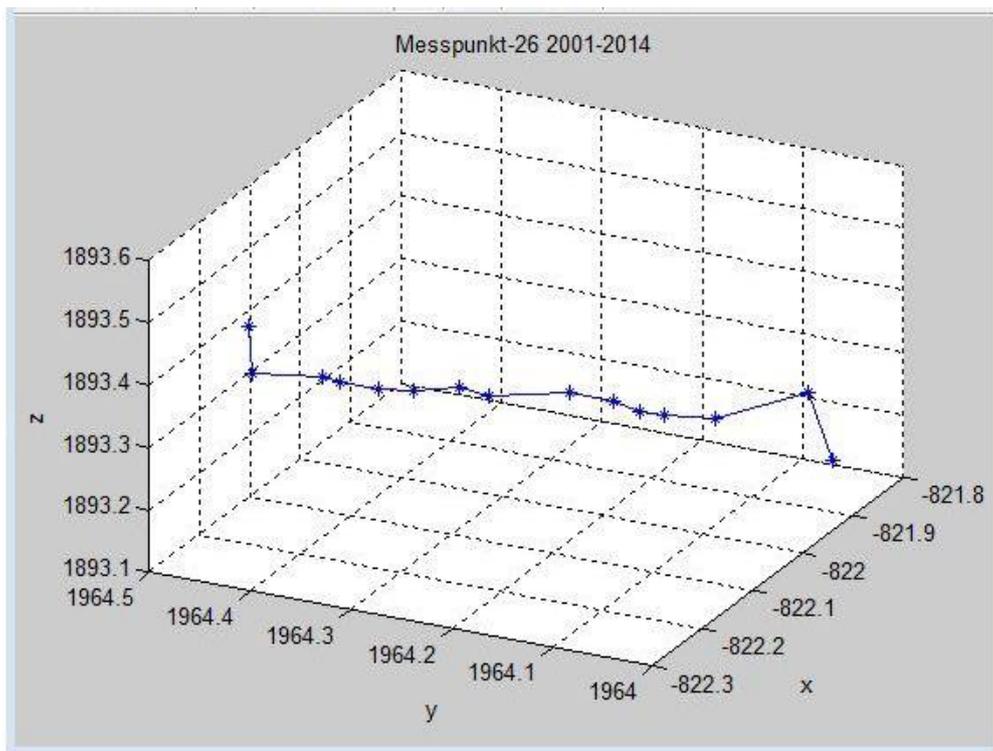
Messbereich 4

Abbildung 62: Messpunkt 26 3D-Bewegung, 2001-2014

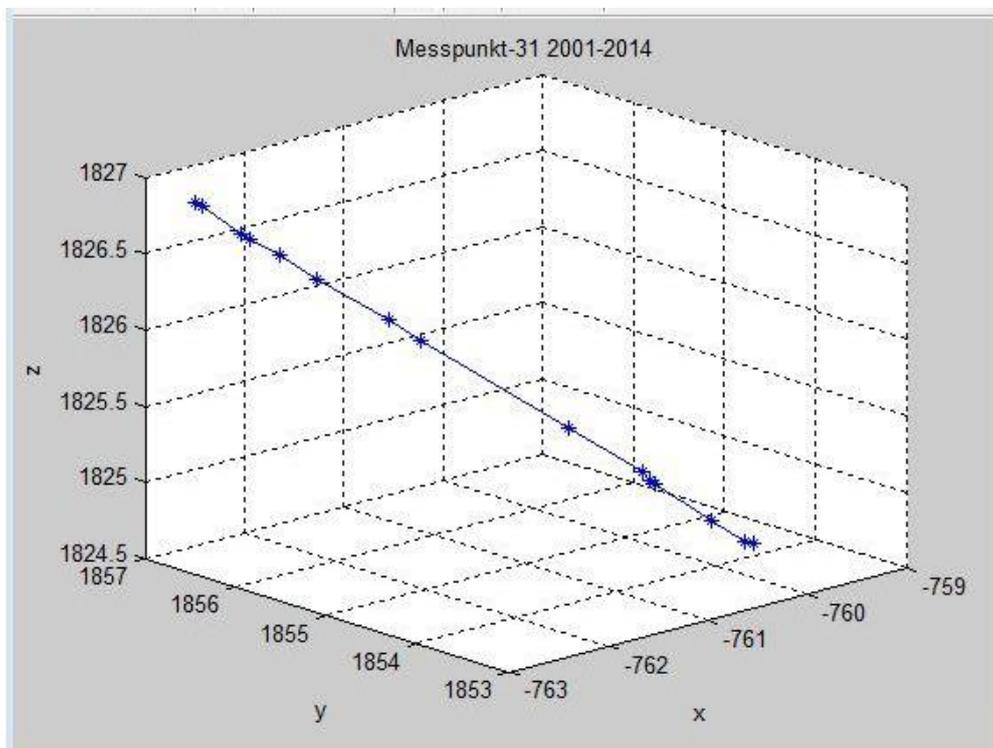


Abbildung 63: Messpunkt 31 3D-Bewegung, 2001-2014

Der Punkt 26 (Abb.62) befindet sich direkt unterhalb der Schmalscharte in einem flacheren Bereich und zeigt ein gänzlich unterschiedliches Rutschverhalten als der im selben Bereich liegende Punkt 31 (Abb.63). Der Grund dafür dürfte sein, dass sich der Punkt 31 schon näher an dem dritten Bereich, der linken Rutschungszone unterhalb der Schmalscharte befindet und somit eine ähnliche kontinuierliche Bewegung, wie z.B. der Punkt 32 (Abb.61) zeigt.

Messbereich 5

Der Messpunkt 5 (Abb.64) befindet sich bei der Jagdhütte in einem Gelände, das einem Kriechprozess unterzogen ist. Ein Vergleich mit den beiden anderen Beispielen aus dem Bereich 5, die Messpunkte 40 (Abb.65) und 42 (Abb.66), die sich in der Rutschungszone unterhalb der Jagdhütte befinden, zeigt, ein differentes Bild.

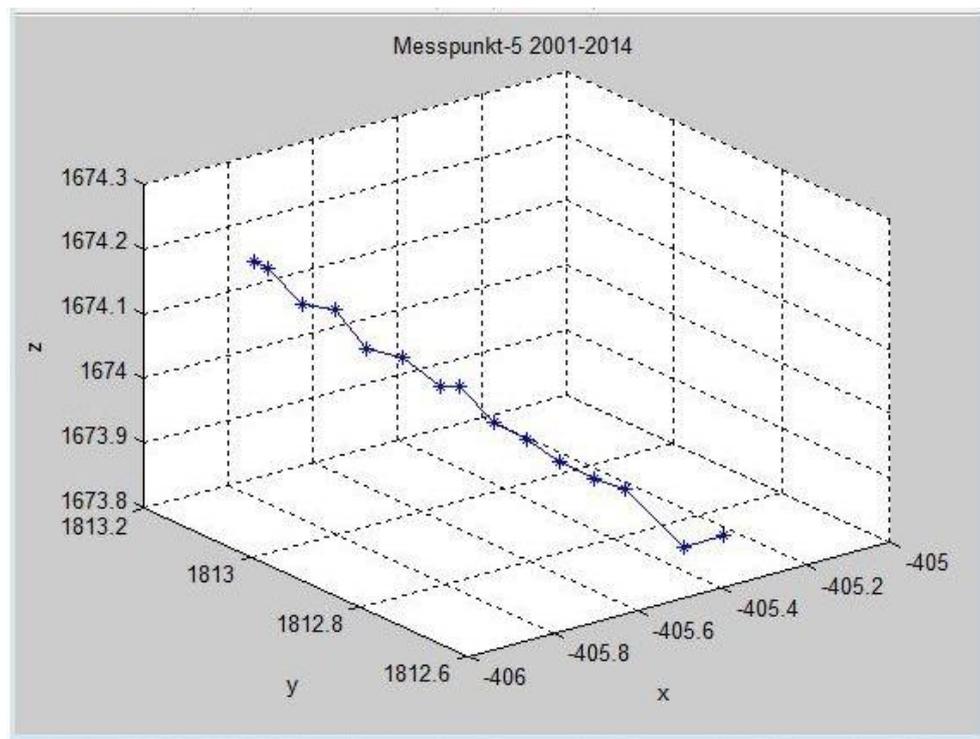


Abbildung 64: Messpunkt 5 3D-Bewegung, 2001-2014

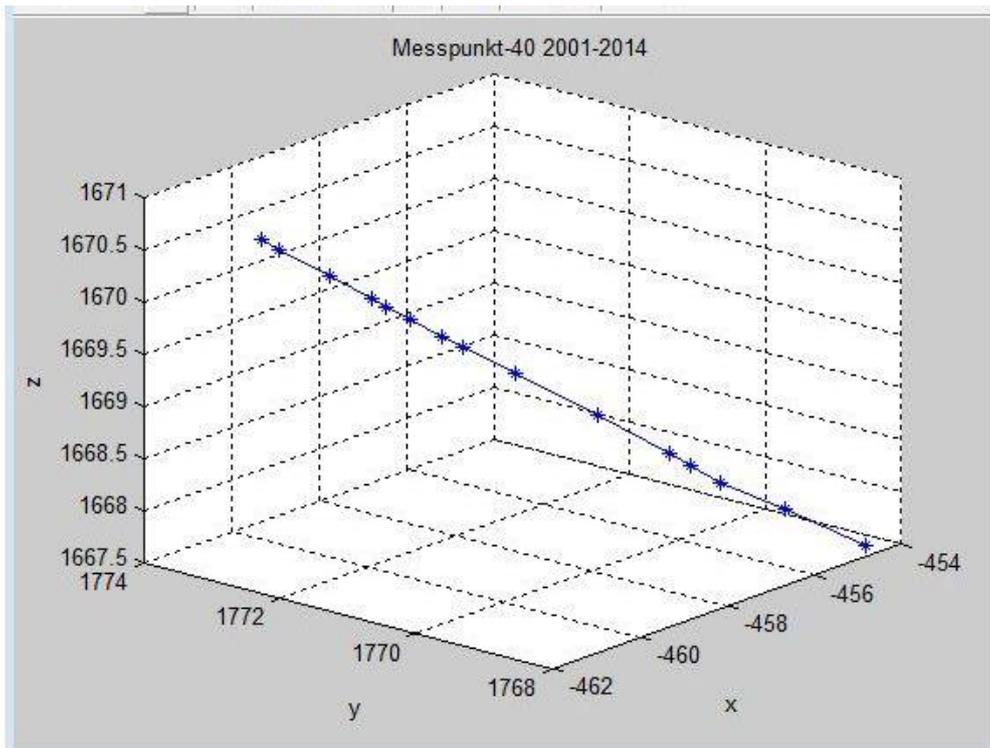


Abbildung 65: Messpunkt 40 3D-Bewegung, 2001-2014

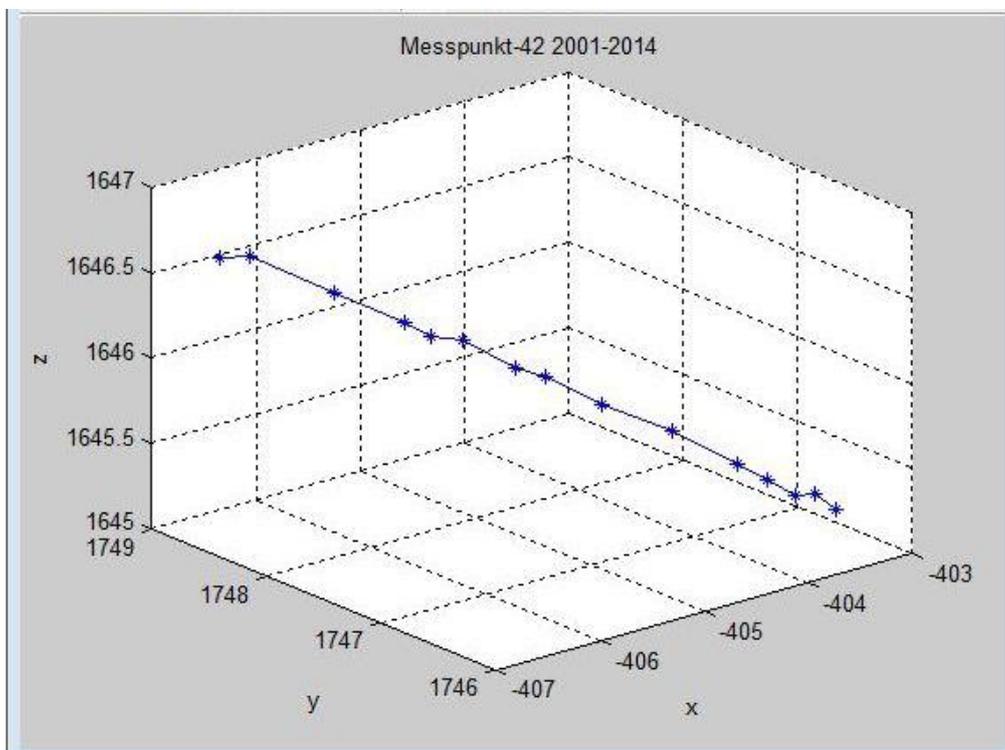


Abbildung 66: Messpunkt 42 3D-Bewegung, 2001-2014

Abschließend ist zu bemerken, dass Kriechprozesse in flacherem Gelände der Massenbewegung Blaubach ein grafisch unruhigeres 3D-Bild ergeben, als Prozesse in steilerem Gelände, da möglicherweise die Geschwindigkeit des Rutschprozesses dafür ausschlaggebend ist, wobei das unruhige Bewegungsprofil des Punktes 20 auf seine sehr instabile Position im Gelände, nahe einer Abbruchkante, zurückzuführen ist.

3.2.8 Reaktion auf die Sicherungsmaßnahmen (Konsolidierungssperre und Drainageschächte)

Wie bereits unter Punkt 2.11 erwähnt, kann kein genereller Trend einer rückläufigen Bewegung, nach Analyse der grafischen Bewegungsprofile, festgestellt werden. Die einzelnen Spitzenwerte der Bewegungen, die auch in den Folgejahren der Fertigstellung der Sicherungsmaßnahmen stattgefunden haben, lassen darauf schließen, dass trotz der Entwässerungsmaßnahmen, der Wasserhaushalt des Gebietes immer noch verstärkten Einfluss auf das Rutschungsverhalten ausübt.

In 3.3 wird versucht eine Wechselwirkung zwischen dem Wassereintrag durch Niederschläge und den Bewegungsmustern herzustellen.

3.3 Korrelation der Niederschlagsmessungen mit den relativen Bewegungsraten

Im folgenden Kapitel werden die Bewegungsraten in Abhängigkeit mit den Niederschlagswerten gebracht. Die Niederschlagsdaten bzw. die Jahrbücher der ZAMG für die Wetterstation Krimml wurden an die Messperioden des Monitorings von Professor Kaufmann angeglichen und grafisch dargestellt. Dies war notwendig, um eine bessere Vergleichbarkeit zu erzielen und die Korrelation zu erleichtern. In Tabelle 1 sind die Monatssummen der Niederschläge in mm von 2001- 2014 aufgelistet. Abbildung 67 zeigt eine grafische Darstellung der Daten aus Tabelle 1 um das Ablesen der monatlichen Niederschlagswerte im gesamten Beobachtungszeitraum zu erleichtern.

Jahr/Monat	Jan.	Feb.	Mär.	Apr.	Mai.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
2001	70	52	84	168	51	215	102	168	144	21	112	54
2002	19	36	135	115	58	138	190	175	107	114	132	44
2003	61	23	30	60	161	151	133	104	102	194	51	36
2004	71	35	61	80	146	152	185	181	114	80	46	12
2005	45	41	39	96	115	97	251	201	161	45	45	79
2006	37	44	62	111	150	143	155	224	57	92	54	40
2007	57	53	96	6	164	179	178	174	197	72	79	47
2008	38	19	96	161	44	220	248	168	67	117	52	90
2009	44	49	79	45	110	217	187	141	132	91	49	63
2010	18	32	35	43	123	131	193	285	97	85	54	40
2011	40	14	38	21	176	147	154	154	134	120	0	78
2012	97	36	24	71	115	172	229	228	104	92	81	76
2013	92	30	41	43	155	223	74	175	144	111	115	16
2014	50	80	45	92	116	105	228	239	98	130	22	

Tabelle 1: Monatsniederschlagssummen der Jahre 2001-2014 (Datenquelle ZAMG)

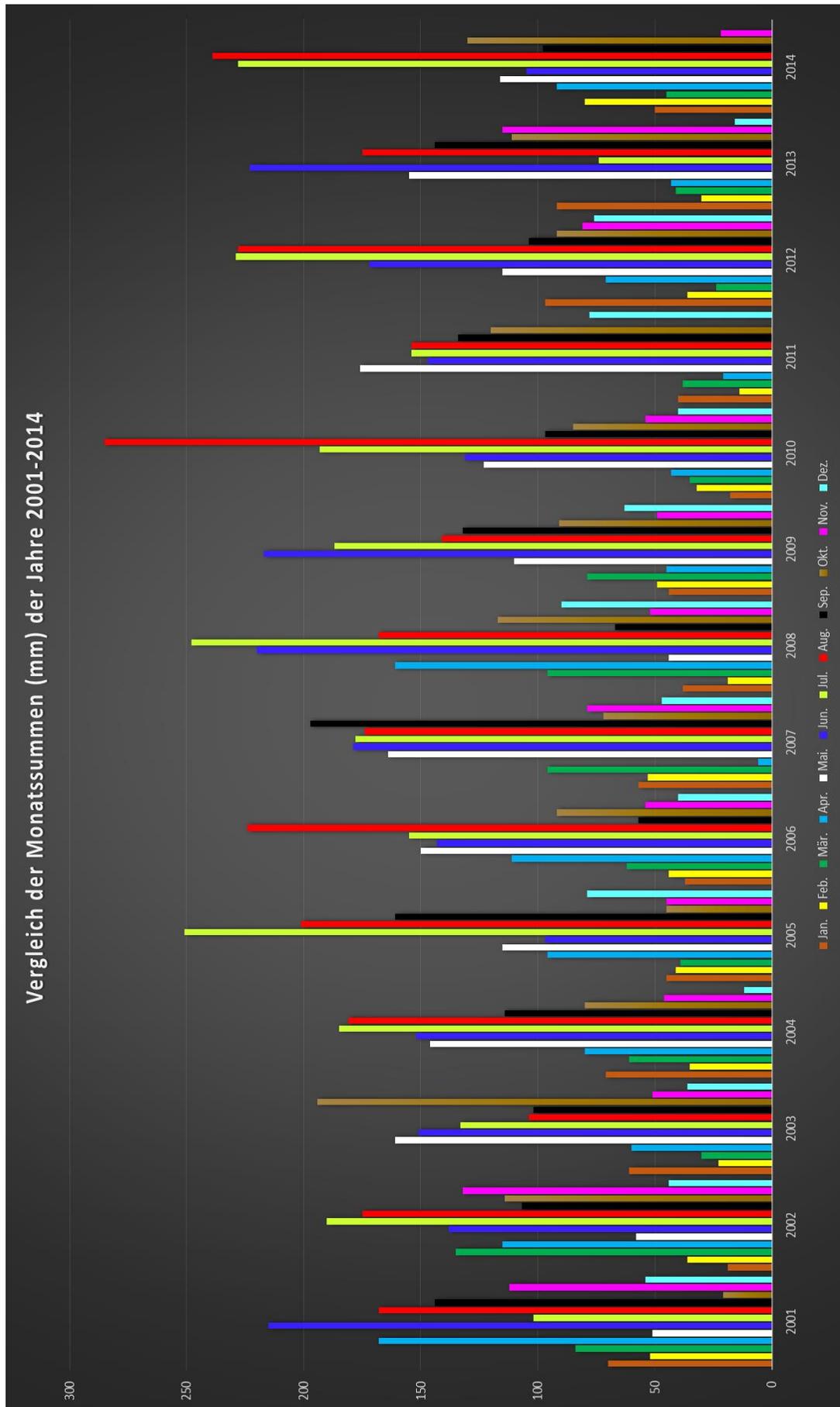


Abbildung 67 : Grafische Darstellung von Tabelle 1

Mit hoher Wahrscheinlichkeit gibt es zwischen den Niederschlagsereignissen im Arbeitsgebiet und den Versetzungen der Messpunkte in den fünf Bereichen einen Zusammenhang.

Da aber keine monatlichen Messungen oder Beobachtungen der Hangbewegungen, sondern nur die jährlichen Auswertungen, die im September oder Oktober erfolgen, bzw. ein zusätzliches Messergebnis von drei Messpunkten von Juni 2012 für die Auswertung herangezogen werden konnten, sind nur Annahmen möglich, dass sich ähnliche Niederschlagsereignisse und -mengen auf die Hangrutschung im Beobachtungszeitraum ausgewirkt haben. Mit Hilfe von Regression bzw. Korrelation lassen sich Abhängigkeiten definieren.

3.3.1 Korrelation

Die Korrelation beschreibt die mögliche zusammenhängende Intensität bezogen auf physische oder sachliche Überlegungen. Ob einem vermuteten Zusammenhang auch eine signifikante Aussage zugrunde liegt, kann mit Hilfe einer Korrelationsquantifizierung überprüft werden. Dazu müssen die Messpunktpaare, im Fall dieser Arbeit die Versatzraten und die Niederschlagssummen, als Streudiagramm veranschaulicht werden, um den Verlauf des Zusammenhanges zu verdeutlichen. Dies ist eine absolute Notwendigkeit, da die Korrelationskoeffizienten, je nach Verlauf, geradlinig bzw. kurvig, unterschiedlich berechnet werden. Die so ermittelten Korrelationskoeffizienten können danach mit der Signifikanztabelle (Tab.3) verglichen werden.

Streudiagramm –Punktwolke (Scatterplot)

Oft werden Theorien aufgestellt, dass zwei Größen in bestimmter Weise zusammenhängen. Der Zusammenhang zwischen den beiden Variablen x und y kann durch ein Streudiagramm, eine sogenannte Punktwolke, in einem Diagramm grafisch dargestellt werden, jedes Wertepaar entspricht dabei einem Punkt.

Durch diese grafische Darstellung lässt sich meist schon ein erster Eindruck von der Ausprägung und der Form eines möglichen Zusammenhangs zwischen den beiden Variablen gewinnen. Alle verwendeten Scatterplots sind im Anhang 5, 6 und 7 gelistet.

Korrelationsanalyse

Unter Korrelationsanalyse versteht man eine Analyse, bei der Richtung und Stärke eines Zusammenhanges zwischen zwei oder mehr Variablen festgestellt wird. Die Korrelationsanalyse betrachtet dabei im Gegensatz zur Regressionsanalyse beide Variablen gleichberechtigt. Es kann aber keine kausale Beziehung bewiesen oder im Sinne von Ursache-Wirkung erklärt werden.

Korrelationskoeffizient R

Die normierte Kovarianz, ein Maß für den linearen Zusammenhang zwischen Variablen, heißt in der Statistik Korrelationskoeffizient und wird meist mit dem Buchstaben R bezeichnet. Das Abhängigkeitsmaß zwischen zwei stochastischen Variablen wird durch R definiert. Voraussetzungen des Korrelationskoeffizienten sind ein linearer Zusammenhang zwischen Zufallsvariablen, zweidimensional normal verteilt und unabhängige Beobachtungspaare (LIU, 2008).

Die Aussagekraft des Korrelationskoeffizienten hängt auch von der Anzahl der verwendeten Werte ab. Bei einer großen Anzahl von Daten ist daher die Aussagekraft des Korrelationskoeffizienten höher.

Positive und negative Korrelation

Von einer positiven Korrelation (> 0 bis $+1$) zwischen zwei Variablen x und y ist auszugehen, wenn es einen direkt oder indirekt proportionalen Zusammenhang gibt.

Von einer negativen Korrelation (-1 bis < 0) zwischen zwei Variablen x und y ist dann auszugehen, wenn hohe x -Messwerte mit niedrigen y -Werten einhergehen bzw. umgekehrt, eine negative Korrelation bedeutet einen gegenläufigen Zusammenhang.

Die Stärke des Zusammenhangs der Variablen kann durch absolute Zahlen ausgedrückt werden, die Vorzeichen Plus oder Minus geben die Richtung an.

Das bedeutet also, wenn R den Wert -1 aufweist, dass es einen maximalen reziproken Zusammenhang gibt, dass mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit die Werte der Variablen y tendenziell abnehmen, wenn die Werte der Variablen x zunehmen.

Bei $R=+1$ spricht man von einem maximalen gleichgerichteten Zusammenhang, wobei mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit anzunehmen ist, dass die y -Werte auch tendenziell zunehmen, wenn die x -Werte höher werden.

Ein Korrelationswert von Null würde keinen Zusammenhang zwischen den Variablen erkennen lassen und je höher der Wert des Korrelationskoeffizienten ausfällt, desto offensichtlicher ist ein stärkerer linearer Zusammenhang.

Korrelationskoeffizient nach Pearson (Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient)

Zwischen den Variablen wird ein linearer Zusammenhang vorausgesetzt und die Variablen sollten normalverteilt sein. Grafisch können diese Bedingungen anhand von Scatterplots (Streudiagrammen) oder Histogrammen geprüft werden.

Die Berechnung von R erfolgt durch Mittelwert und Standardabweichung, daraus resultiert das sogenannte Bestimmtheitsmaß R^2 , das Quadrat des Korrelationskoeffizienten, das die Größe der Streuung von y definiert, die durch x erklärt werden kann.

Die Formel für den Korrelationskoeffizienten nach Pearson lautet:

$$r = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \quad 3.3.1$$

\bar{x} = arithmetisches Mittel

\bar{y} = arithmetisches Mittel

Korrelationskoeffizient nach Spearman (Rang-Korrelationskoeffizient)

Der Spearman-Korrelationskoeffizient R_s wird Rangkorrelationskoeffizient genannt, weil die Korrelation nicht zwischen den Datenpunkten selbst, sondern zwischen ihren Rängen berechnet wird, dadurch sind auch Abschätzungen bei nichtlinearem Zusammenhang möglich. Die Stichproben werden in aufsteigender Rangfolge angeordnet. Die Spearman-Korrelation misst den monotonen Zusammenhang, das heißt, wenn eine Zahl größer wird, wird auch die andere größer und umgekehrt, während die Pearson-Korrelation den linearen Zusammenhang misst.

Wenn die Beobachtungswerte durch die Rangzahlen ersetzt werden, ergibt sich daraus die Formel:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum D^2}{n(n^2 - 1)} \quad 3.3.2$$

D = Differenz der Rangpaare $X_i - Y_i$

n = Anzahl der Rangpaare

Wie der Korrelationskoeffizient nach Pearson nimmt auch der Korrelationskoeffizient nach Spearman nur Werte zwischen -1 und 1 an.

Bestimmtheitsmaß - Varianz

Das Bestimmtheitsmaß R^2 wird in der Statistik dem Korrelationskoeffizienten vorgezogen, da die gemeinsame Varianz implementiert wird.

$$R^2 = \frac{\text{erklärte Varianz}}{\text{Gesamtvarianz}}$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad 3.3.3$$

Unter Varianz versteht man die mittlere quadratische Abweichung der Ergebnisse um ihren Mittelwert. Die Gesamtvarianz setzt sich aus der erklärten und der unerklärten Varianz, dem Residuum, der Abweichung des empirischen Wertes von der Regressionsgeraden zusammen (JURKOVIC, 2008).

Die Gesamtvarianz bezeichnet die Varianz von y , die erklärte Varianz bedeutet die quadrierte Abweichung zwischen Vorhersagewert und Mittelwert von y und die nicht- oder unerklärte Varianz bezeichnet die quadrierte Abweichung zwischen dem Vorhersagewert und dem Beobachtungswert von y , dieser Wert kann auch durch die Regressionsgerade nicht erklärt werden.

Die Gleichung für Varianzen lautet:

$$v = s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad 3.3.4$$

Der Stichprobenmittelwert ist \bar{x} und die Anzahl der Beobachtungswerte n . Der Parameter s bezeichnet die Standardabweichung, wenn sie aus einer Stichprobe berechnet wurde, aus einer Grundgesamtheit wird die Standardabweichung durch σ (Sigma) dargestellt.

3.3.2 Signifikanz

Unter dem Begriff Signifikanz versteht man in der Statistik wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, dass der Zusammenhang zwischen zwei Variablen nicht durch Zufall erklärt werden kann. Überprüft wird die Signifikanz mit sogenannten Signifikanztests, wobei ein anhand einer Stichprobe berechneter Korrelationskoeffizient mit einem theoretischen Wert verglichen wird und dann entschieden wird, ob sich diese signifikant voneinander unterscheiden oder nicht.

Signifikanz- Hypothesentest

Mit dem Signifikanztest werden Hypothesen aufgestellt, wobei eine Hypothese die Annahme über eine Kenngröße in der Grundgesamtheit darstellt. Das heißt, ein Zusammenhang zwischen zwei Variablen ist in der Stichprobe nicht einfach nur zufällig zu erkennen, sondern auch für die Grundgesamtheit zu erwarten. Festgelegt werden muss die Nullhypothese (H_0), die Alternativhypothese (H_1), das Signifikanzniveau α , oder auch Irrtumswahrscheinlichkeit, und der geeignete Signifikanztest. Das Signifikanzniveau α (maximal 5%) gibt die Obergrenze der Irrtumswahrscheinlichkeit an.

Ein Hypothesentest (Signifikanztest), der für die zu untersuchenden Merkmale geeignet ist, zeigt den p-Wert als Ergebnis. Liegt dieser Wert unter 5% kann man von einem signifikanten Ergebnis sprechen.

Als einseitige Hypothese bezeichnet man die gerichtete, als zweiseitige Hypothese die ungerichtete Hypothese (Tab.2).

Beim einseitigen Hypothesen- oder Signifikanztest wird je nach Lage des Ablehnungsbereichs zwischen links- und rechtsseitigem Test unterschieden, wobei der Ablehnungsbereich von H_0 (Hypothese) aus den Werten besteht, bei denen die Hypothese abgelehnt bzw. verworfen wird. Die Richtung des Unterschieds ist vorgegeben.

Beim zweiseitigen Hypothesen- bzw. Signifikanztest wird getestet, ob sich die Wahrscheinlichkeit anders als angenommen darstellt, dabei werden zwei Grenzen gesetzt und die Wahrscheinlichkeit untersucht, mit der ein Ereignis innerhalb oder außerhalb dieser Grenzen liegt. Die Richtung des Unterschieds ist nicht vorgegeben.

Einseitige	$H_0 : p \leq p_0$ gegen $H_1 : p > p_0$ $H_0 : p \geq p_0$ gegen $H_1 : p < p_0$
Zweiseitig	$H_0 : p = p_0$ gegen $H_1 : p \neq p_0$

Tabelle 2: Einseitige, Zweiseitige Hypothese, www.mathe2go.de 12.04.2016

H_0 = Nullhypothese

H_1 = Gegenhypothese (Alternativhypothese)

P = unbekannte Wahrscheinlichkeit

p_0 = Randwert

Hypothesen können auf zwei Arten überprüft werden. Es können Zusammenhänge gegeben sein, das wären dann Korrelation und Regression oder es gibt Unabhängigkeit, dann wäre z.B. eine Varianzanalyse oder ein t-Test möglich.

P-Wert

Der p-Wert ist die Irrtumswahrscheinlichkeit, mit der man gerade noch die Nullhypothese widerlegen kann. Man kann am p-Wert direkt ablesen, ob und wie stark ein Test die Nullhypothese verwirft. Der p-Wert ist das Ergebnis eines Signifikanztests, mit dem man eine im Vorfeld aufgestellte Nullhypothese überprüfen kann. Fällt der p-Wert geringer aus, als das vorher bestimmte Signifikanzniveau, dann spricht man von einem signifikanten Ergebnis. Die p-Werte für alle Messpunkte wurden mit Student-t-Verteilung mit $n-2$ Freiheitsgraden berechnet. Die Tabelle mit den berechneten P-Werten befindet sich im Anhang 8.

T-Test

Beim t-Test werden zwei empirisch gefundene Mittelwerte von x und y untersucht, ob sie sich systematisch voneinander unterscheiden. Der t-Test liefert nur für intervallskalierte Daten zuverlässige Informationen, man zählt ihn deshalb zur Gruppe der parametrischen Verfahren.

Die standardisierten Stichprobenkennwerte heißen t-Werte, die standardisierten Verteilungen nennt man die t-Verteilungen, auch Student t-Verteilung, dabei ist die Form der t-Verteilung von

den Stichprobengrößen bzw. den Freiheitsgraden der Verteilung abhängig. Der t-Test findet meist als Nullhypothesensignifikanztest Anwendung (RASCH et al., 2009).

Der t-Wert kann mit der nachfolgenden Formel definiert werden.

$$t = \frac{\text{empirische Mittelwertsdifferenz} - \text{theoretische Mittelwertsdifferenz}}{\text{geschätzter Standardfehler der Mittelwertsdifferenz}} \quad 3.3.5$$

3.3.3 Regression

Ziel der Regression ist es herauszufinden, ob es einen Zusammenhang zwischen den Merkmalen von Datenreihen gibt. Dadurch sind nicht nur die Beschreibung eines vermuteten Zusammenhangs, sondern auch Prognosen (Trends) über mögliche zukünftige Ereignisse und Entwicklungen möglich. Das einfachste Modell der Regression ist das lineare Modell des Zusammenhanges von Merkmalen zweier Datenreihen.

Regressions- oder Trendlinie

Die Regressionslinie oder -gerade stellt mathematisch gesehen die beste lineare Anpassung an die Punktwolke dar. Man spricht dabei von einer Regressionsgeraden bzw. Trendlinie, wenn es sich bei den Daten um eine Zeitreihe handelt.

Beim Modell einer einfachen Regressionsgeraden besteht die Annahme, dass eine Größe von der anderen abhängt und durch eine lineare Funktion $y = ax + b + \text{Zufallszahl}$ ausgedrückt werden kann, dabei werden a und b aus den Datenreihen berechnet. Wir haben es dabei mit einer unabhängigen Variablen, Merkmal X , und einer abhängigen Variablen, Merkmal Y , zu tun. Die y -Werte der Regressionsgeraden sind die sogenannten Vorhersagewerte.

Je weiter die Messwerte von der Trendlinie entfernt sind, desto größer ist die Streuung der Datenpunkte.

Regressionsanalyse

Das Ziel einer Regressions- bzw. Korrelationsanalyse besteht darin, Zusammenhänge zu erkennen, den Nachweis von Zusammenhängen nachzuweisen, Art und Größe von Zusammenhängen zu schätzen und eine Prognose zukünftiger Zusammenhänge herzustellen.

Nach JURKOVIC (2008) wird unter Trend- bzw. Korrelationsanalyse von Zeitreihen eine Korrelation von Datensätzen mit Zeitspannen verstanden. Trendanalysen sollten nur bei langjährigen, vollständigen, qualitätsgeprüften und bereits homogenisierten Zeitreihen durchgeführt werden.

Da die vorhandenen Datensätze, das Arbeitsgebiet betreffend, die mit einander korreliert werden können, nur eine Zeitspanne von 14 Jahren umfasst, ist zwar ein Trend ablesbar, aber um eine aussagekräftige Analyse durchzuführen, müssten weitere Daten erhoben werden und in einigen Jahren weitere Analysen erfolgen, um die jetzigen Ergebnisse entweder zu bestätigen oder zu widerlegen. Für die Annahme, dass sich die Niederschlagsereignisse auf die Bewegung der Messpunkte im Arbeitsgebiet Blaubachgraben auswirken, wurden nun einige Regressionsgeraden und Korrelationen erstellt. Dabei wurden auf die Datenreihen der einzelnen Niederschlagsparameter, wie jährliche Niederschlagssummen in den Messperioden, wie auch in den Perioden von Mai bis September bzw. von Oktober bis April, die Maximalniederschläge von 24 Stunden und die maximale Tagesschneehöhe, sowie auf die Datenreihen der Bewegungsparameter der Messpunkte Bezug genommen und sie in Zusammenhang gebracht.

3.3.4 Analyse der Regressionsgeraden

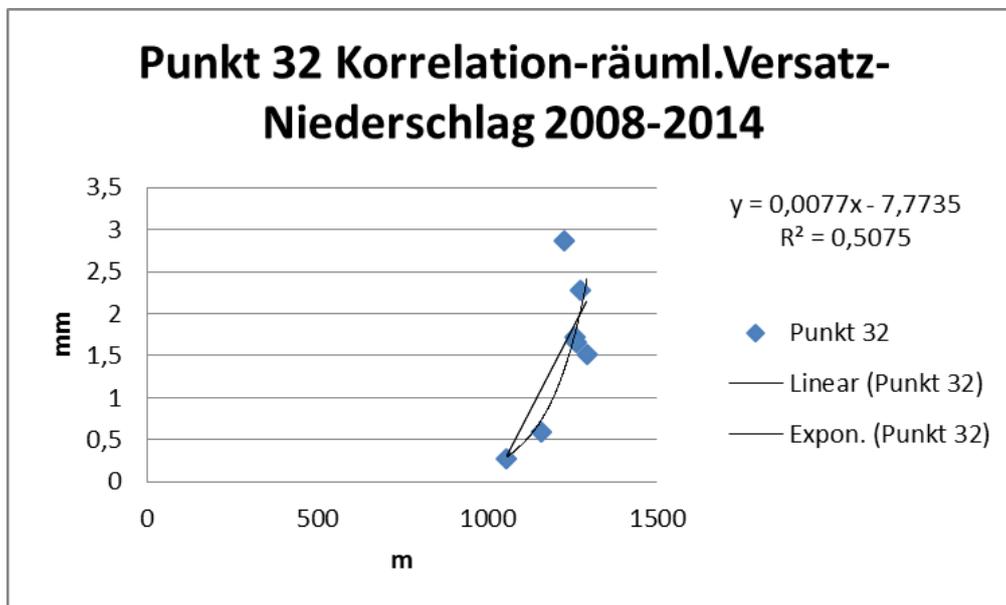


Abbildung 68: Korrelation Bewegungsrate und Niederschläge Messpunkt 32, 2008-2014

Bei diesem Beispiel (Abb.68) wurde der Punkt 32 aus dem Bereich 3 ausgewählt, dieser Messpunkt hat einen Gesamtversatz im Beobachtungszeitraum 2001-2014 von 13,44 m. Die verwendeten Parameter sind der räumliche Versatz und die Niederschlagswerte der Messperioden 2008 – 2014. In dieser Zeitspanne sind allgemein die höchsten räumlichen Versätze gemessen worden und mit der Trendlinie soll ein Zusammenhang zwischen Niederschlag und räumlichem Versatz hergestellt werden können. Die Vermutung liegt nahe, dass durchgängig höhere Niederschlagswerte zu höherem Versatz führen (Abb.69). Der Korrelationskoeffizient $R = 0,712$ deutet darauf hin, dass in der Messperiode 2008-2014 von einer starken Korrelation ausgegangen werden kann.

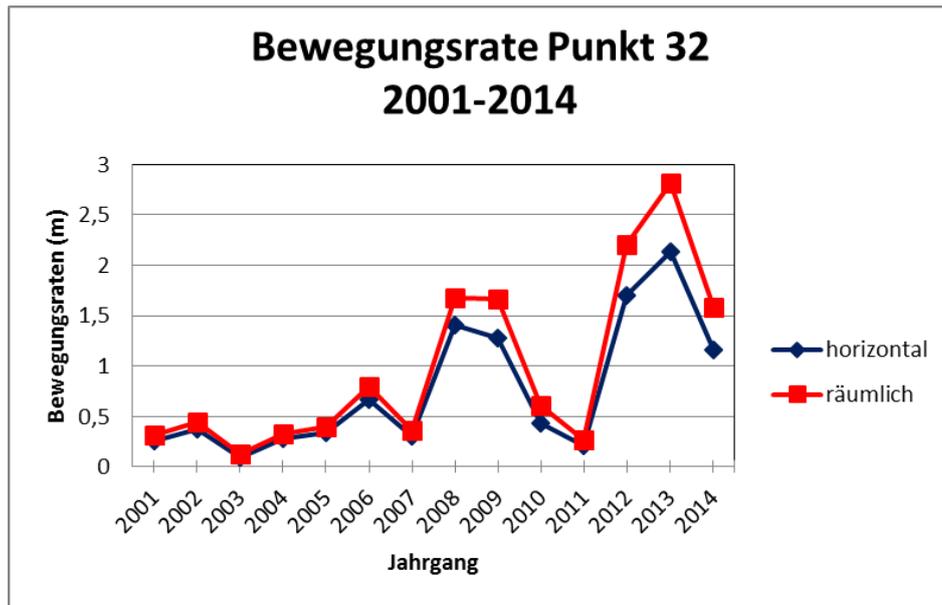


Abbildung 69: Bewegungsraten (m/a) Messpunkt 32

Der Korrelationskoeffizient auf die gesamte Messperiode 2001/02-2014 (Abb.70) beträgt $R=0,44$ und liegt damit im Bereich einer mittleren Korrelation, damit bestätigt sich die Annahme, dass Niederschläge mit Bewegungsmustern korrelieren, wobei keinerlei Rückschlüsse auf die saisonalen Gegebenheiten gezogen werden können, es kann nur eine generelle Wechselwirkung zwischen Niederschlagsereignissen und Bewegungsraten festgestellt werden.

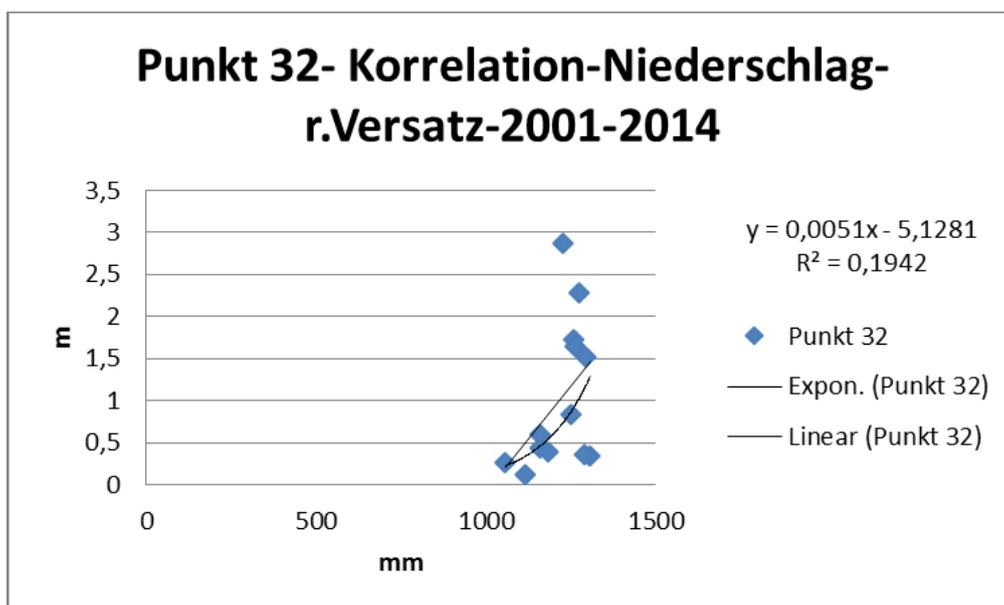


Abbildung 70: Korrelation Bewegungsrate und Niederschläge Messpunkt 32, 2001-2014

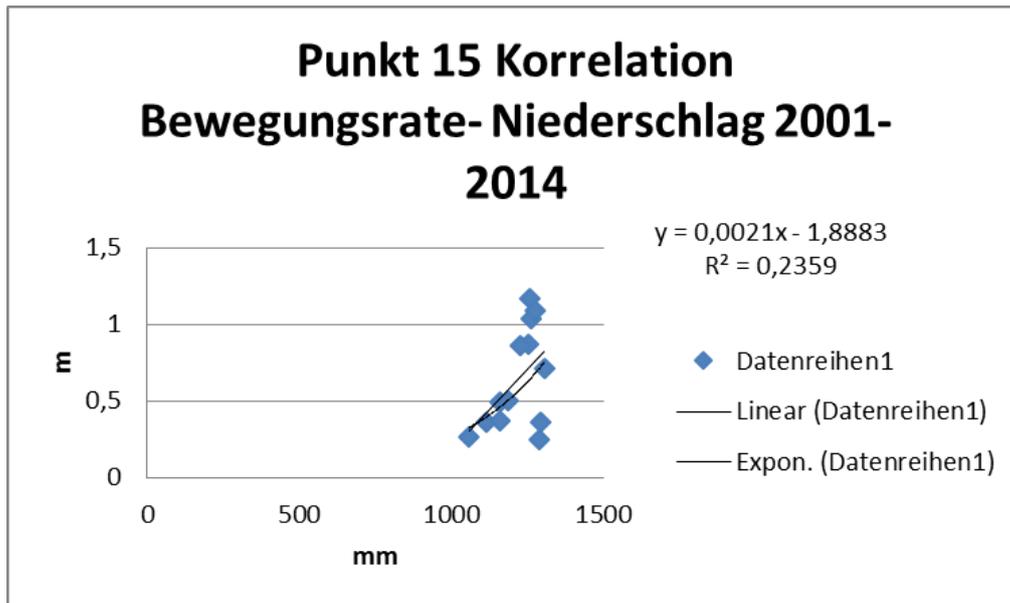


Abbildung 71: Korrelation Bewegungsrate und Niederschläge Messpunkt 15, 2001-2014

Um die Aussage zu verifizieren, dass sich Niederschläge auf die Bewegungsrate auswirken, werden weitere Punkte herangezogen. Die Korrelation (Abb.71) eines Punktes aus dem zweiten Messbereich ergibt einen Korrelationskoeffizienten von $R=0,485$ und liegt damit im mittleren Bereich und bestätigt die Annahme der Wechselwirkung.

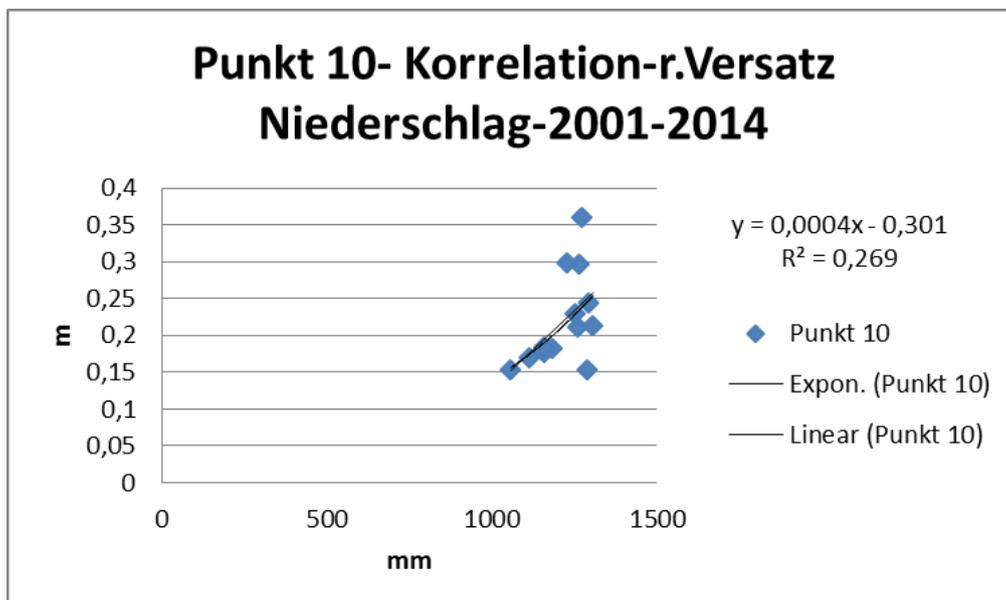


Abbildung 72: Korrelation r. Versatzraten und Niederschläge Messpunkt 10, 2001-2014

Die Trendlinie eines Punktes (Abb.72) des ersten Messbereiches ergibt einen Korrelationskoeffizienten von $R = 0,518$, auch hier ist eine mittlere Korrelation gegeben. Es ist also davon auszugehen, dass sich Niederschlagsverhältnisse auf die Bewegungsraten der Massenbewegung Blaubachgraben auswirken.

Um die Signifikanz der Korrelation aller Messpunkte zu überprüfen, wurde eine Tabelle (Tab.4) mit nach Pearson und Spearman erstellten Korrelationskoeffizienten (räumlicher Versatz – jährliche Niederschlagswerte, 2002-2014) erstellt. Mit der Tabelle 3 kann ein direkter Vergleich zu α (Signifikanzniveau) hergestellt werden.

95% Signifikanz zeigt nur der Punkt 11 zum Korrelationskoeffizienten nach Spearman.

Eine 90% Signifikanz weisen die Punkte 2, 10, 13, 14, 15, 34 und 35 nach Pearson und Spearman auf, der Punkt 21 nur nach dem Rangkorrelationskoeffizienten.

Würde man nur die Korrelationskoeffizienten betrachten, dann zeigt sich, dass es fast bei allen Messpunkten zu Zusammenhängen zwischen jährlicher Niederschlagsmenge und Versatz kommt.

Interessant gestalten sich die Werte vom Punkt 39 bis 47, die sich alle im Negativbereich bewegen und sich somit von den restlichen untersuchten Messpunkten abheben, da sie einen gegenläufigen Trend aufweisen.

$\phi=n-2$	$\alpha = 0,10$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$
1	0,98769	0,99692	0,999877
2	0,90000	0,95000	0,99000
3	0,8054	0,8783	0,95873
4	0,7293	0,8114	0,9172
5	0,6694	0,7545	0,8745
6	0,6215	0,7067	0,8343
7	0,5822	0,6664	0,7977
8	0,5494	0,6319	0,7646
9	0,5214	0,6021	0,7348
10	0,4973	0,576	0,7079
11	0,4762	0,5529	0,6835
12	0,4575	0,5324	0,6614
13	0,4409	0,5139	0,6411

Tabelle 3: Modifizierte Signifikanztabelle, Grenzwert r_α für $p(|r|>r_\alpha)=\alpha$ (modifiziert nach LIU, 2008)

Messpunkte	R nach	
	Pearson	Spearman
Punkt 1	0,280	0,132
Punkt 2	0,494	0,332
Punkt 5	0,000028	0,019
Punkt 10	0,518	0,521
Punkt 11	0,558	0,593
Punkt 12	0,366	0,291
Punkt 13	0,491	0,351
Punkt 14	0,489	0,313
Punkt 15	0,484	0,302
Punkt 16	0,444	0,390
Punkt 17	0,437	0,415
Punkt 18	0,426	0,390
Punkt 19	0,435	0,439
Punkt 20	0,435	0,439
Punkt 21	0,440	0,478
Punkt 23	0,466	0,390
Punkt 24	0,402	0,197
Punkt25	0,431	0,322
Punkt 26	0,372	0,426
Punkt 27	0,364	0,228
Punkt 28	0,345	0,219
Punkt 30	0,398	0,379
Punkt 31	0,407	0,241
Punkt 32	0,440	0,329
Punkt 33	0,433	0,280
Punkt 34	0,485	0,346
Punkt 35	0,492	0,341
Punkt 36	0,503	0,341
Punkt 39	-0,529	-0,088
Punkt 40	-0,070	-0,104
Punkt 41	-0,381	-0,637
Punkt 42	-0,337	-0,439
Punkt 43	-0,313	-0,379
Punkt 44	-0,325	-0,412
Punkt 45	-0,038	-0,225
Punkt 46	-0,327	-0,385
Punkt 47	-0,263	-0,137

Tabelle 4: Korrelationskoeffizienten nach Pearson (grün) und Spearman (orange)

Die eingebrachte Wassermenge wirkt sich demnach auf die Bewegungsgeschwindigkeit aus, ein stärkerer Wassereintritt bedingt ein höheres Eigengewicht des Hanges, ein höherer Wassergehalt verringert die innere Reibung, das bedeutet höhere Bewegungsraten. Besondere Bedeutung kommt dabei wahrscheinlich auch der Schneeschmelze, durch die in der Schneedecke akkumulierten Wassermengen, zu.

Die Frage stellt sich nun, welche Niederschlagsverhältnisse stärker auf die Rutschprozesse einwirken. Sind es die Starkregenfälle, Dauerregeneignisse des Sommerhalbjahres oder sind es die Schneedeckenparameter, die wirksam werden und vor allem die Schneeschmelze, die langsam oder plötzlich einsetzen kann.

Um jahreszeitliche Wechselwirkungen zwischen Bewegungsraten und Niederschlagsereignissen herbeiführen zu können, werden die modifizierten Jahresniederschlagsgrafiken der Messperioden, in denen die Bewegungsraten generell am höchsten ausfielen herangezogen.

Die Abbildungen 73, 74 und 75 zeigen die Niederschlagswerte der Messperioden 2007/08, 2008/09 und 2011/12.

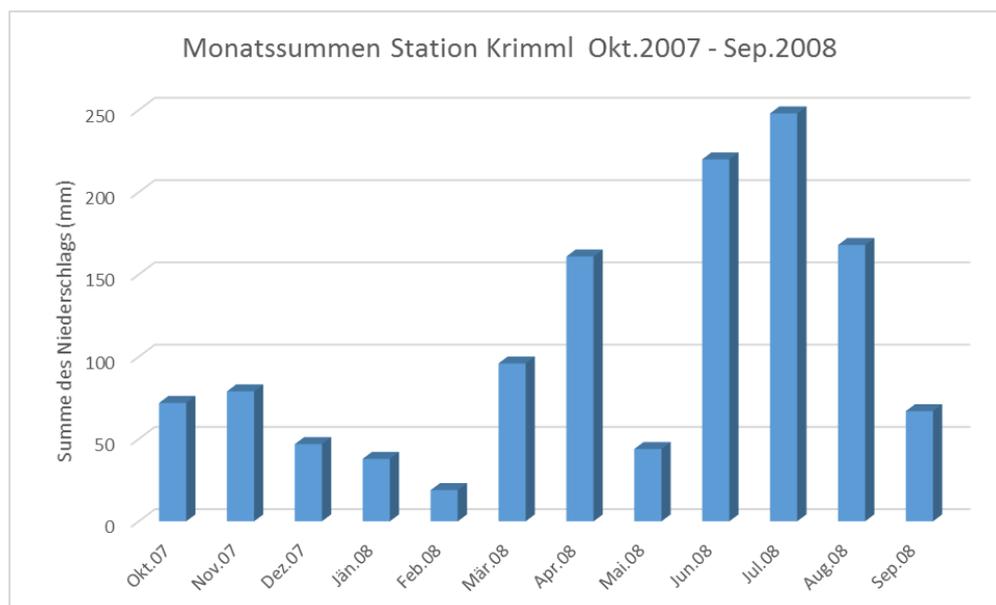


Abbildung 73: Modifiziertes Niederschlagsdiagramm (Datenquelle ZAMG)

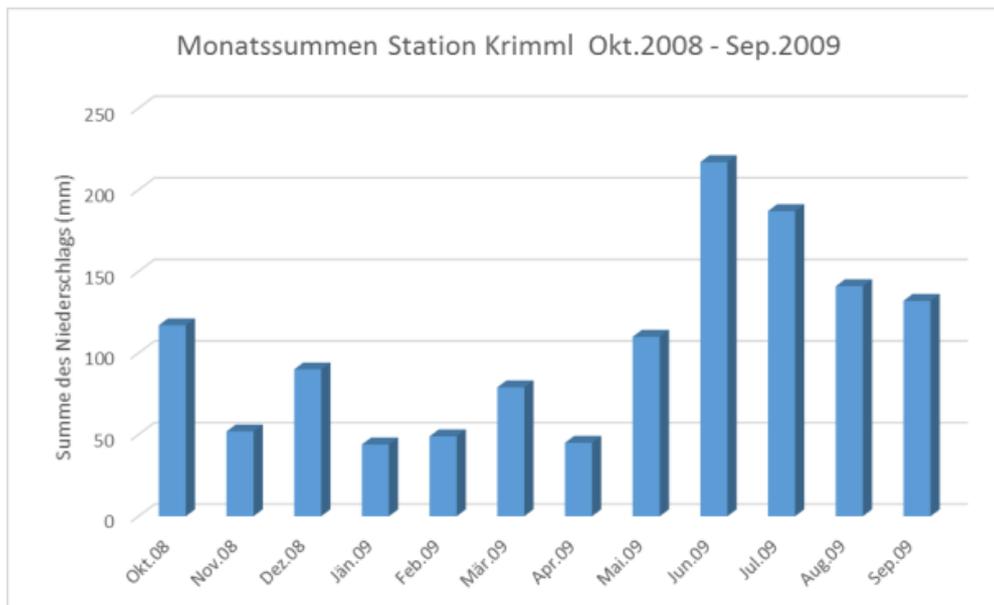


Abbildung 74: Modifiziertes Niederschlagsdiagramm (Datenquelle ZAMG)

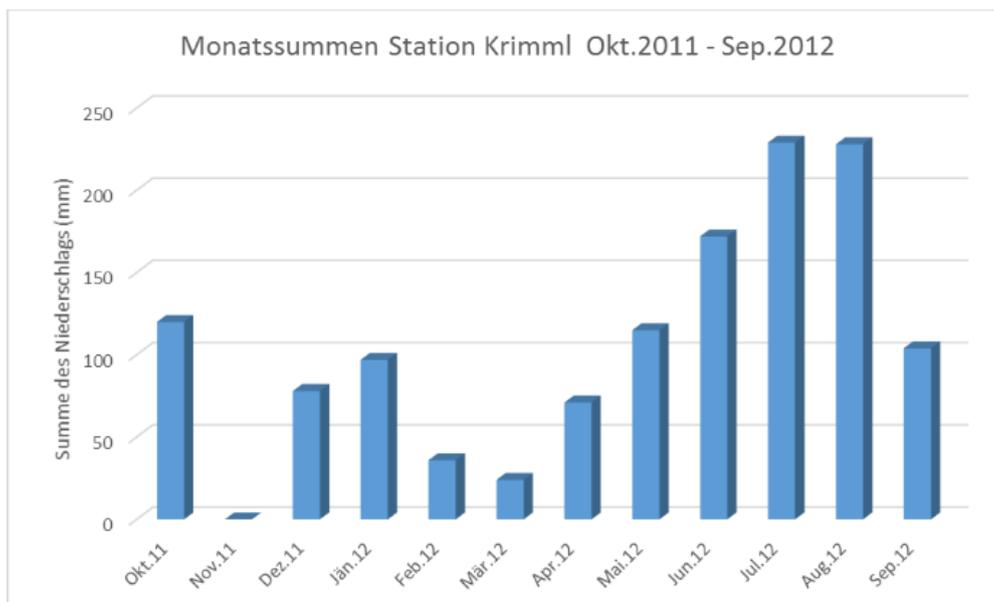


Abbildung 75: Modifiziertes Niederschlagsdiagramm (Datenquelle ZAMG)

Besonders am Beobachtungszeitraum 2012/2013 (Abb.76) ist bemerkenswert, dass der sonst regenreiche Monat Juli vergleichsweise schwach ausfällt, aber die Bewegungsraten bei der Messung 2013 bei den meisten Punkten erhöht bzw. sich als höchste Bewegungsrate der Untersuchungsdauer herausstellte. Als Beispiel dafür wird die Grafik der Bewegungsrate des Punktes 33 herangezogen (Abb.77).

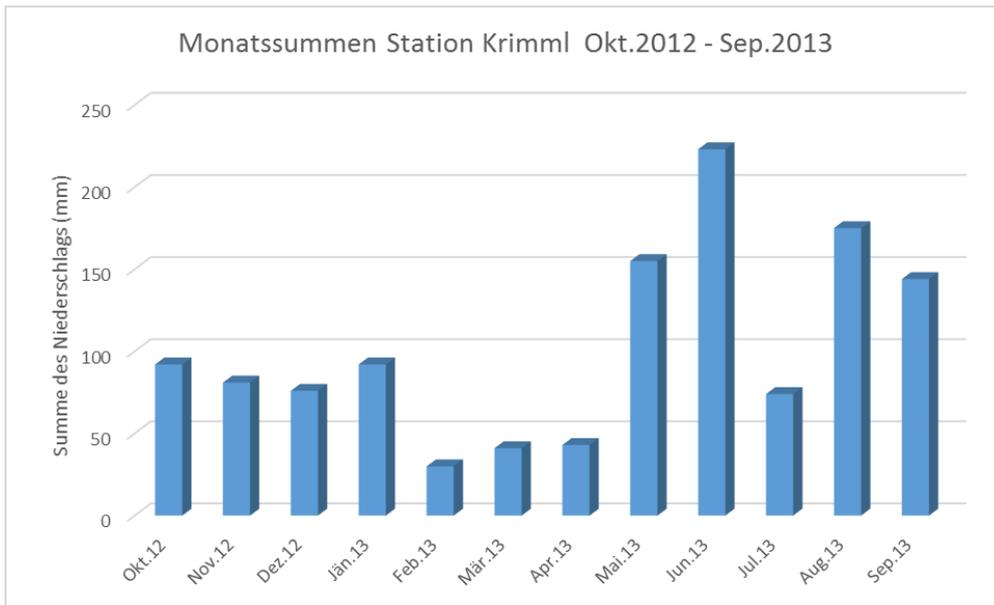


Abbildung 76: Modifiziertes Niederschlagsdiagramm (Datenquelle ZAMG)

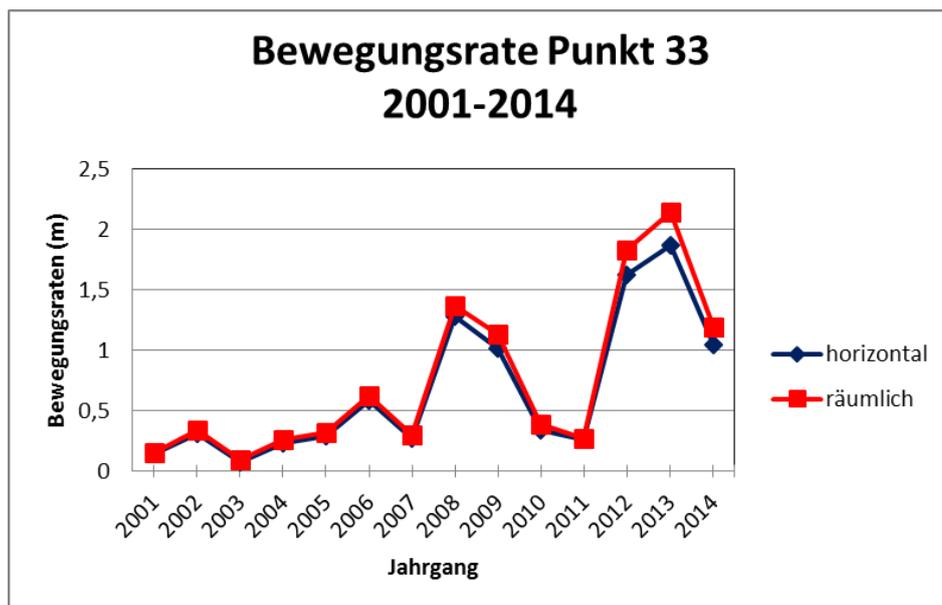


Abbildung 77: Bewegungsraten (m/a) Messpunkt 33, 2001-2014

Wenn die Niederschläge der Sommermonate die Rutschung stärker beeinflussen sollten, dann könnte einer der Gründe für starke Hangbewegungen auch in dem Starkniederschlagsereignis vom 29.5 bis 5.6 zu finden sein.

Laut der ZAMG gab es in diesem kurzen Zeitraum eine Niederschlagsmenge in Krimml von 154 Litern pro Quadratmeter, wobei der durchschnittliche Niederschlag im gesamten Juni 158 Liter pro Quadratmeter beträgt. Ein Liter entspricht dabei einem Millimeter Niederschlag.

3.4 Einfluss des Starkregenereignisses vom 29.5- 5.6.2013

Vom 29.5. bis 5.6.2013 führte eine großräumige, stationäre Wetterlage über Mitteleuropa zu hohen Niederschlagswerten, besonders in den Bundesländern Salzburg und Tirol.

Dieses Ereignis wurde von mir als Beispiel einer möglichen Beeinflussung durch Starkregenfälle ausgelösten Bewegungen ausgewählt.

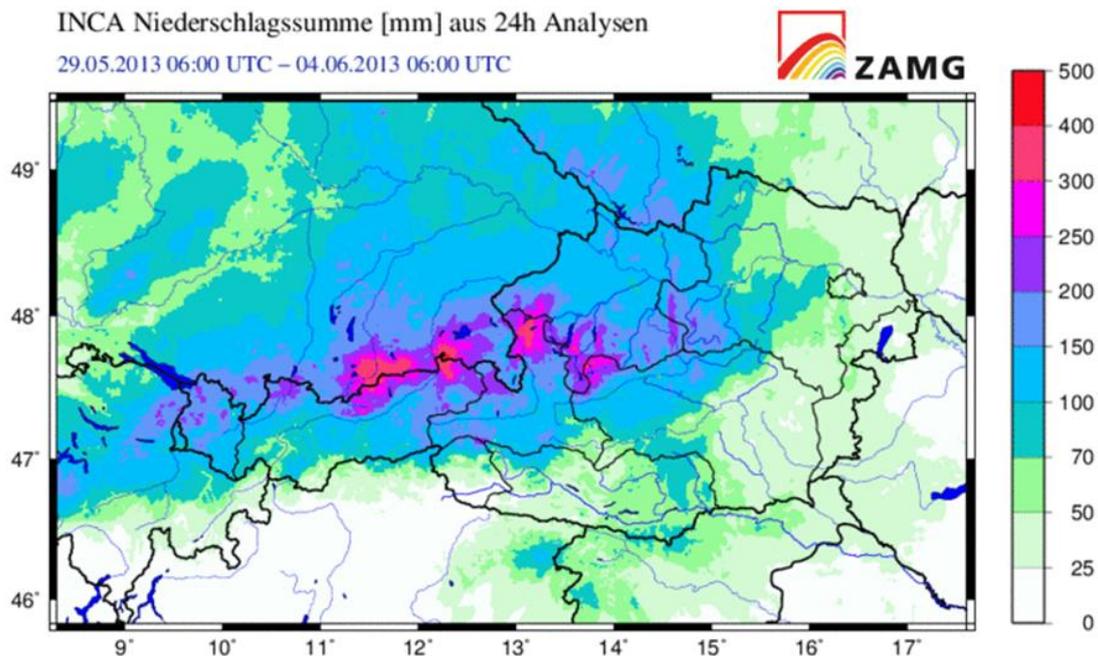


Abbildung 78: Starkregenereignis 2013,
(<https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/animation-regenmengen>, 19.2.2016)

In der Messperiode 2012/2013 haben folgende Punkte ihre Höchstwerte 2 (Abb.79), 5, 23, 32, 33, 34, 35, und 36, bei den Punkten 26 und 47 ist der Wert deutlich erhöht, die restlichen Punkte weisen einen rückläufigen Trend gegenüber der Messperiode 2011/2012 auf.

Generell sind die Werte der Periode 2012/2013, außer bei den Punkten 41, 42, 43 und 44, zu den bewegungsaktiveren Jahren zu zählen. Alle Grafiken der erwähnten Messpunkte sind im Anhang gelistet.

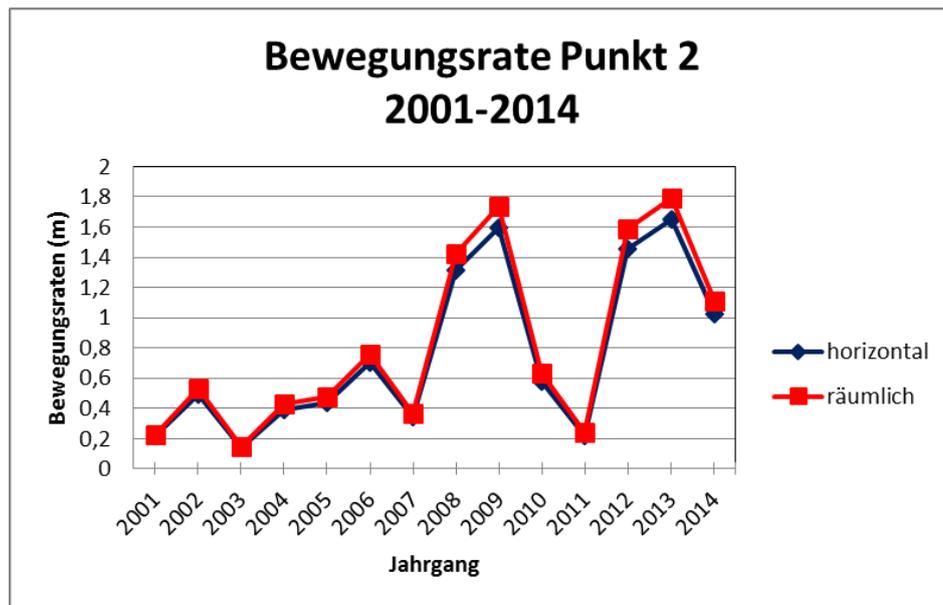


Abbildung 79: Bewegungsrate (m/a) Messpunkt 2; 2001-2014

Ausgehend von den Niederschlagswerten der Sommermonate war das Jahr 2013 (Abb.76) eher untypisch, da auf den starken Juni der sehr schwache Juli folgte, der August hingegen liegt wieder im durchschnittlichen Bereich.

Es ist aber anzunehmen, dass sich dieses Starkregenereignis neben anderen Niederschlagsereignissen auf die Bewegungsrate direkt ausgewirkt hat. Da es keine monatlichen Bewegungsmessungen gibt, kann nur die spekulative Aussage getroffen werden, dass sich innerhalb von 4 Monaten eine Reaktion zeigt. Interessant wäre zu wissen, in welchem Zeitraum die Reaktionen des Untergrundes stattfinden, damit eine genauere Abschätzung des Gefahrenpotentials erfolgen kann, dazu müssten weitere Messungen erfolgen.

3.5 Wechselwirkung – Niederschlag- räumlicher Versatz 04.07-11.10.2001

Da alle Punkte des vierten Bereichs (Abb.81) im Jahr der Nullmessung einen übermäßig hohen räumlichen Versatz gegenüber dem horizontalen aufweisen, werden für eine weitere Möglichkeit der Wechselwirkung von Niederschlägen im Sommer zu verstärkter Rutschung die Niederschlagswerte der drei Monate Juli bis September 2001 für eine Gegenüberstellung herangezogen (Abb.80)

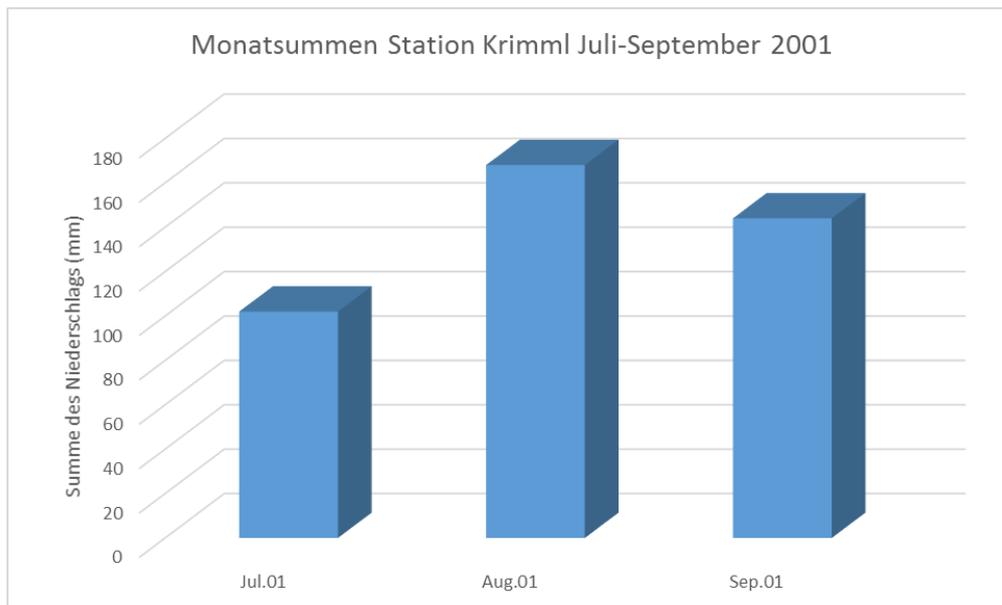


Abbildung 80: Modifiziertes Niederschlagsdiagramm (Datenquelle ZAMG)

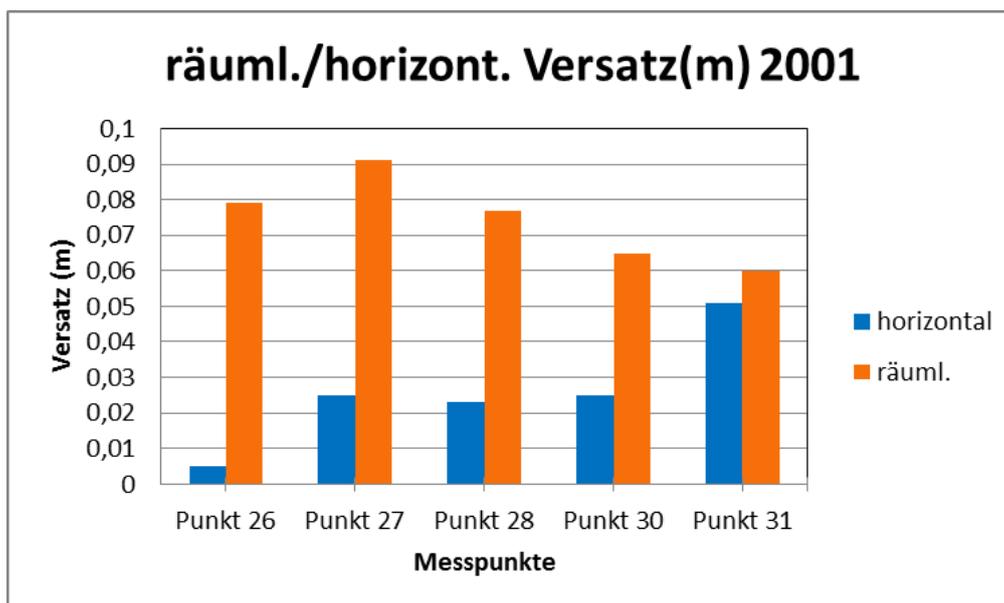


Abbildung 81: Versätze Messpunkte 26, 27, 28, 30, 31, Jul.- Okt. 2001

Allgemein ist zu sagen, dass in den wenigen Beobachtungsmonaten des Jahres 2001 (Nullmessung) bei fast allen Messpunkten ein Wert der Bewegungsrate zu bemerken ist, der auf einen Einfluss der Niederschlagsereignisse der Monate Juli bis September schließen lässt, besonders der Augustwert von 168mm (Abb.80) könnte darauf hindeuten, bzw. die Starkregenfälle vom 4.8, 16.8. und die Regenfälle vom 27.- 31.August 2001 (Abb.82) könnten sich auf die Bewegungsraten der Messpunkte aller Bereiche ausgewirkt haben.

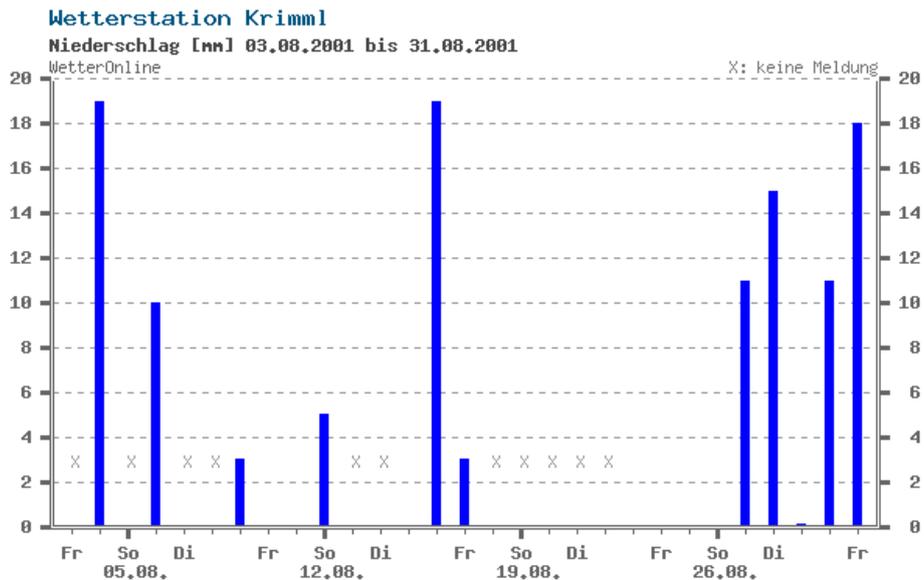


Abbildung 82:

http://www.wetteronline.at/rueckblick?pcid=pc_rueckblick_data&gid=11136&pid=p_rueckblick_diagram&sid=StationHistory&iid=11136¶id=RR24&period=4&month=08&year=2001,
19.02.2016

Dass sich aber die Niederschläge der Monate Mai bis September nicht generell ausschlaggebend auf die jährliche Bewegungsrate auswirken zeigt die Abbildung 83.

Diese Grafik zeigt die Niederschlagsverhältnisse der Monate Mai bis September von 2002 bis 2014. Interessant gestaltet sich der hohe Niederschlagswert des Jahres 2007, denn in der Messperiode 2006/07 sind neben der Periode 2011/12 die niedrigsten Bewegungsraten des Beobachtungszeitraumes gemessen worden, als Beispiel dafür wird der Punkt 13 (Abb.84) herangezogen.

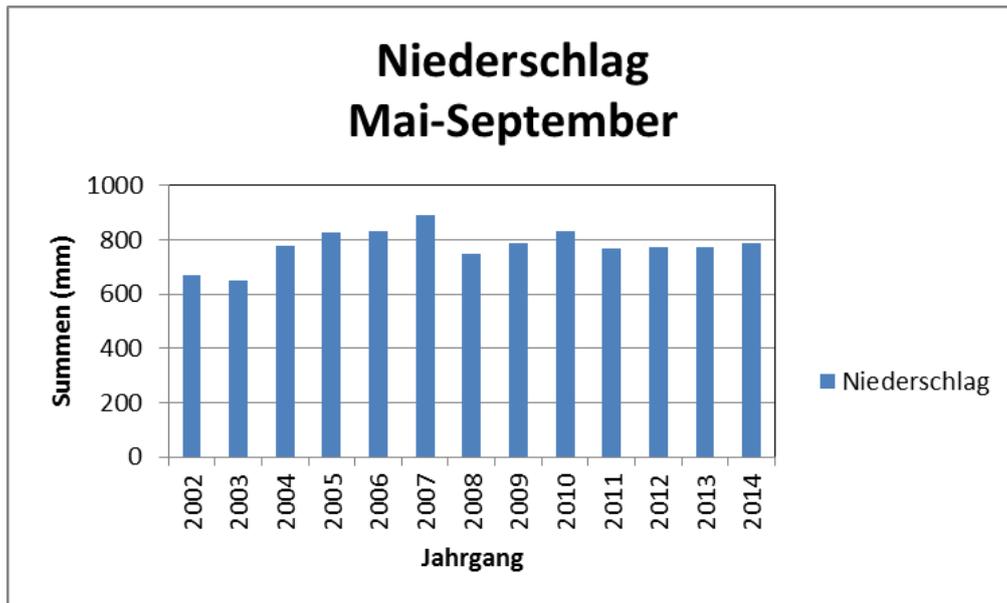


Abbildung 83: Niederschlagssummen (Mai- September) 2002-2014

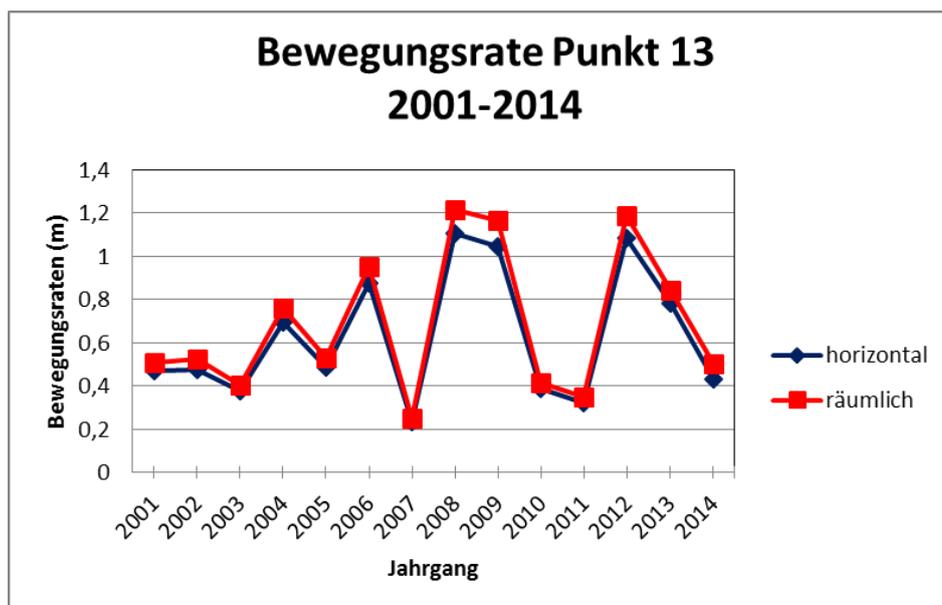


Abbildung 84: Bewegungsraten (m/a) Messpunkt 13, 2001-2014

Nachdem sich offensichtlich, nach Gegenüberstellung der Niederschlagsgrafik (Abb.83) mit der Grafik der Bewegungsrate (Abb.84), die Niederschlagswerte der Monate Mai bis September nicht gravierend auf die jährlichen Bewegungsraten auswirken dürften, Starkregenereignisse wahrscheinlich ausgenommen, muss die Ursache der hohen Bewegungsraten einiger Messperioden, wenn es einen Zusammenhang zwischen Niederschlagsereignissen und Massenbewegung in saisonaler Abhängigkeit geben sollte, bei den Niederschlagsereignissen der Monate Oktober bis April zu finden sein (Abb.85) und es ist auch zu untersuchen, in welcher Form sie vorkommen, als Regen oder als Schnee.

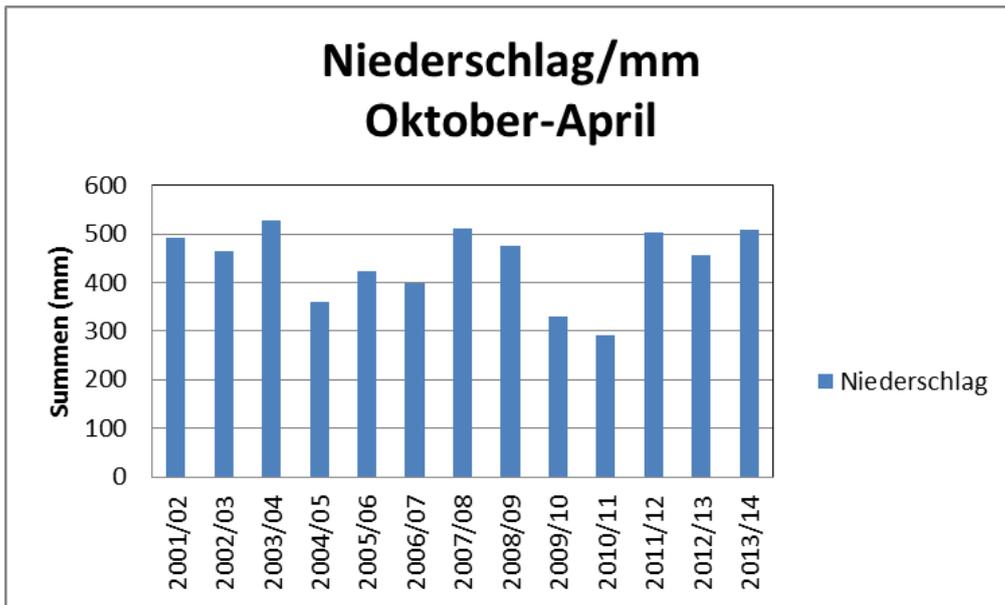


Abbildung 85: Niederschlagssummen (Okt.- April) 2001-2014

3.6 Einfluss der Schneedecke und Schneeschmelze

Welchen Einfluss Schnee, Schneedecke und Schneeschmelze auf die Bewegungsraten der Messpunkte der Massenbewegung Blaubach haben, darauf wird im folgenden Kapitel eingegangen.

Eine erkennbar höhere Aktivität der Bewegungsraten des Rutschprozesses in den Messperioden 2008/09, 2011/12 und 2012/13 ist wahrscheinlich nicht auf die Niederschläge im Sommerhalbjahr (Abb.83), sondern auf die Niederschläge im Winterhalbjahr (Abb.85) und die Folgen der Schneeschmelze zurückzuführen, da die Messperiode 2006/07 mit den allgemein geringsten Versatzraten den höchsten Niederschlagswert der Monate Mai-September des gesamten Beobachtungszeitraumes aufweist.

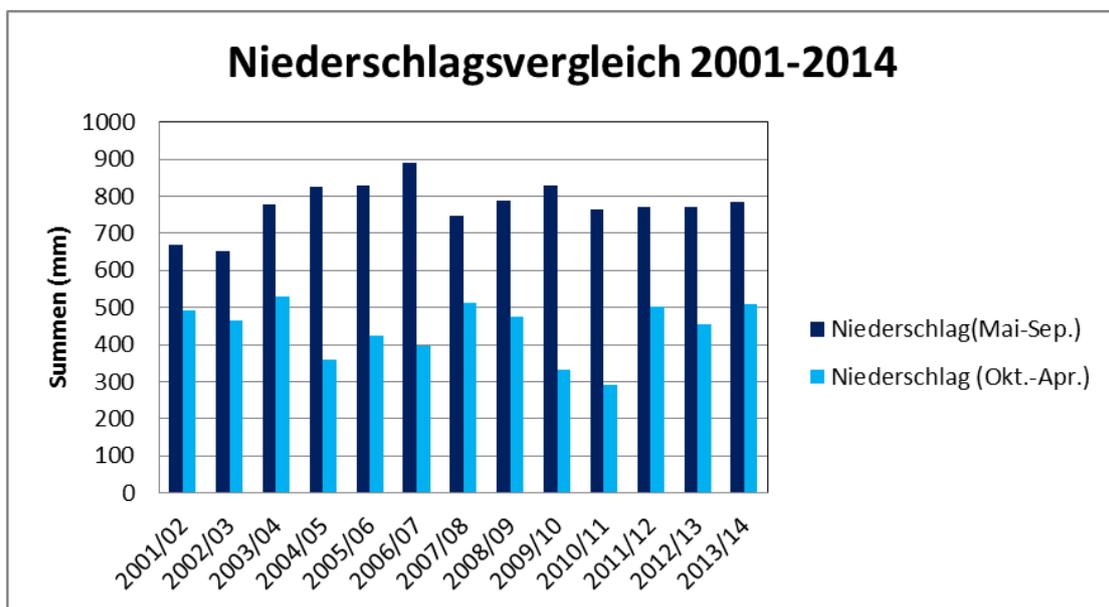


Abbildung 86: Vergleich Niederschlagssummen Mai.-Sep. und Okt.-Apr., 2001-2014

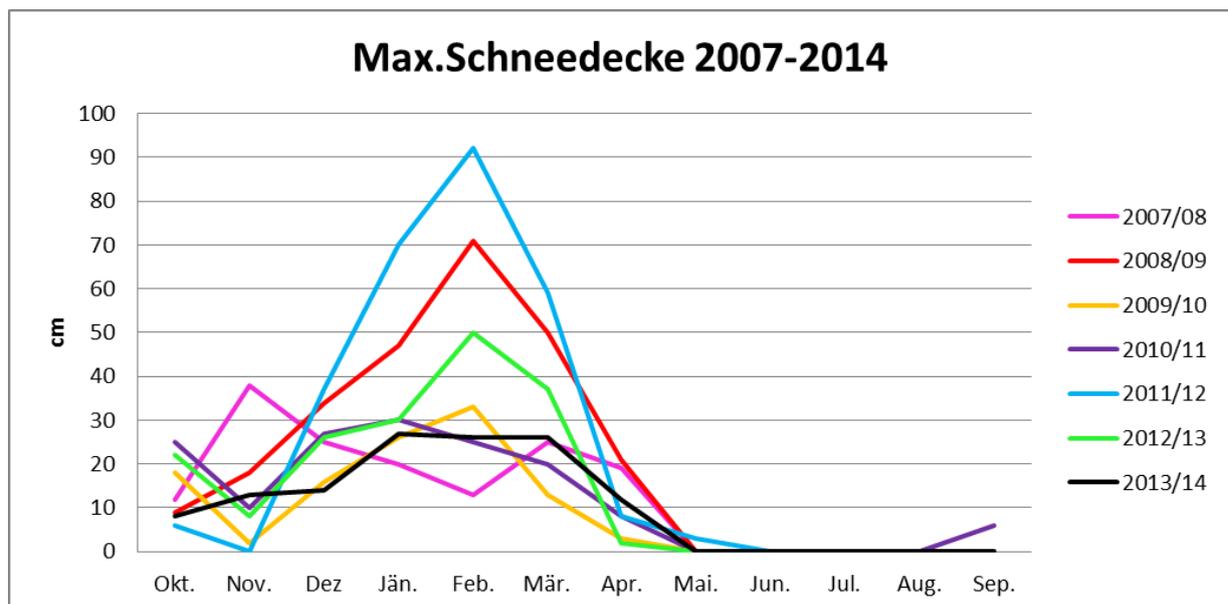


Abbildung 87: Maximale Schneedeckenhöhe (cm)

In der Grafik (Abb.87) ist deutlich zu erkennen, dass die Werte der maximalen Schneedecke der Winter 20012/13 (grün), 2008/09 (rot) und besonders des Winters 2011/12 (blau) weit über die durchschnittlichen Werte hinausgehen.

Korreliert mit dem Bewegungsmuster des Messpunktes 18 (Abb.88) wird der Zusammenhang klar ersichtlich, die höchsten Bewegungsraten sind bei den Messperioden 2011/12 und 2007/08 zu finden. Das würde bedeuten, dass die Schneedeckenparameter und die Schneeschmelze einen wesentlich höheren Einfluss auf die jährlichen Bewegungsraten der Messpunkte der Massenbewegung Blaubach ausüben, als die Niederschlagsereignisse der Monate Mai bis September.

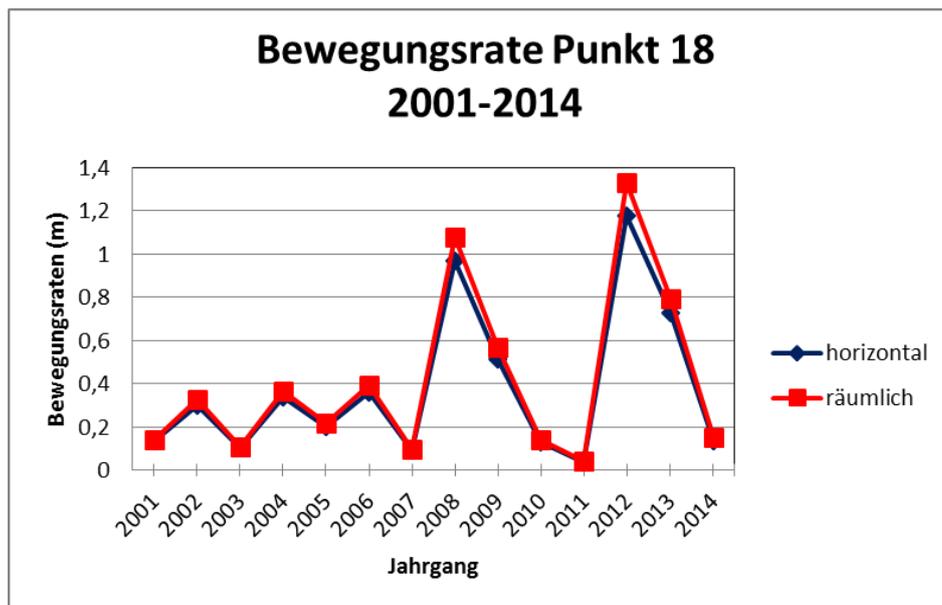


Abbildung 88: Bewegungsraten (m/a) Messpunkt 18, 2001-2014

Nachdem das Profil der Schneedecke der Messperiode 2007/ 2008 (Abb. 87) ein differentes Bild zeigt, müssen für die Korrelation auch die beiden Niederschlagsprofile Abbildung 89 und Abbildung 90 herangezogen werden, um die hohen Bewegungsraten der Messpunkte im Messzeitraum 2007/08 zu erklären.

Die Abbildung 90 zeigt die monatlichen Niederschlagsverhältnisse der Messperioden 2007/08 im Vergleich zu 2011/12.

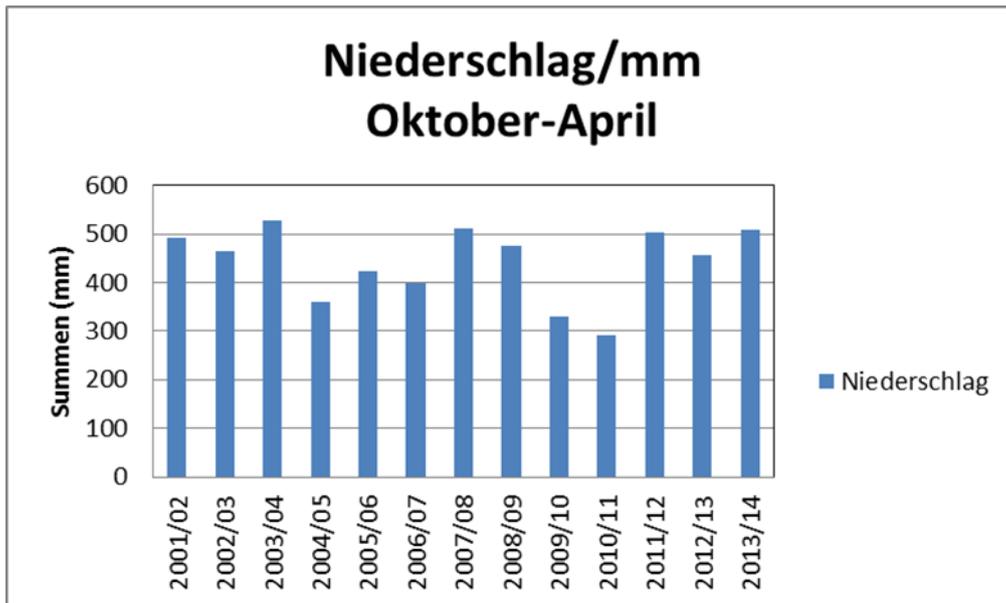


Abbildung 89: Niederschlagssummen (Okt.- April) 2001-2014

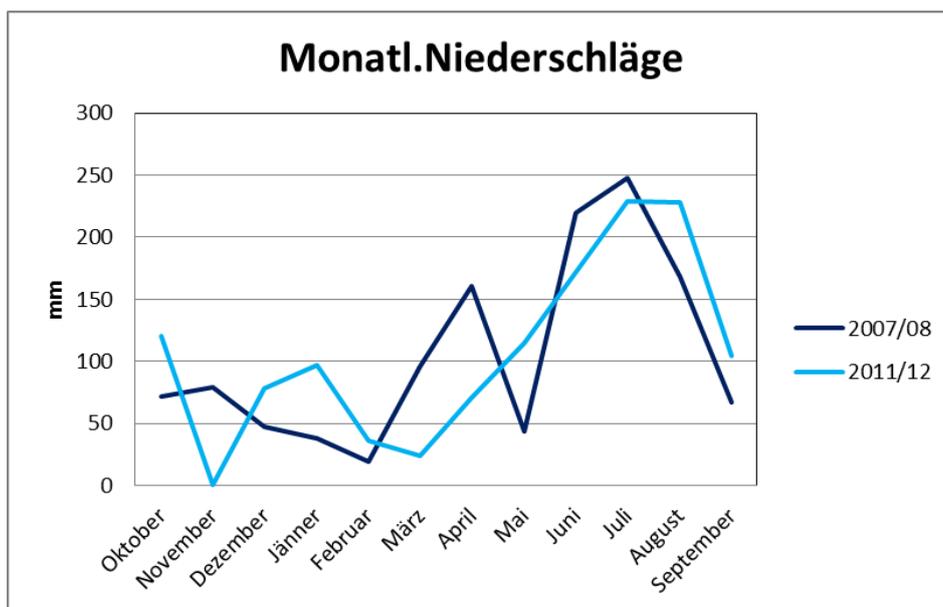


Abbildung 90: Vergleich Monatssummen (2007/08-2011/2012)

Auffällig dabei ist der hohe Niederschlagswert von 161 mm im April (Abb.91) der Messperiode 2007/08, der in Form von Schnee gefallen ist, wobei am 17.4.2007 noch eine durchgehende Schneedecke von 2cm gemessen werden konnte (ZAMG). Damit ist auch in der Messperiode 2007/08 der Einfluss der Schneeschmelze auf die erhöhten Bewegungsraten erklärbar.

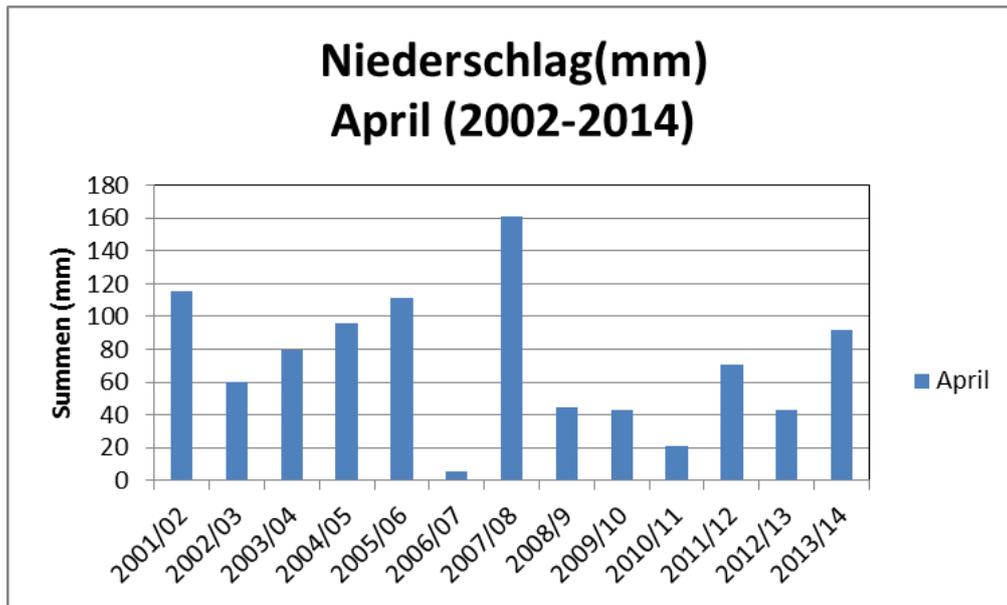


Abbildung 91: Monatsummen April 2002-2014

Es kann auch davon ausgegangen werden, dass die Niederschläge des Monats April, die mit der Schneeschmelze zusammenfallen, die Rutschungsanfälligkeit verstärken bzw. das Fehlen von Niederschlägen im April zu geringen Bewegungsraten führt. Als Beispiel dafür sind die Aprilwerte der Messperioden 2006/07 und 2010/11 (Abb.91) heranzuziehen.

Abbildung 89 zeigt die Unterschiede der winterlichen Niederschläge von 2001/02-2013/14, wobei klar erkennbar ist, dass der Winter 2010/11 die geringsten Niederschlagswerte aufweist. Trotz einem ähnlichen Niederschlagswert der Monate Mai bis September (Abb.92) wie bei den bewegungsintensivsten Messperioden 2007/08 und 2011/12, kam es zu geringen Bewegungsraten, deshalb kann ein Zusammenhang zur Schneedecke und Schneeschmelze hergestellt werden, wenig Niederschläge in den Monaten Dezember bis April bzw. keine ausgeprägte Schneedecke durch zu milde Temperaturen bewirken eine geringe Bewegungsrate.

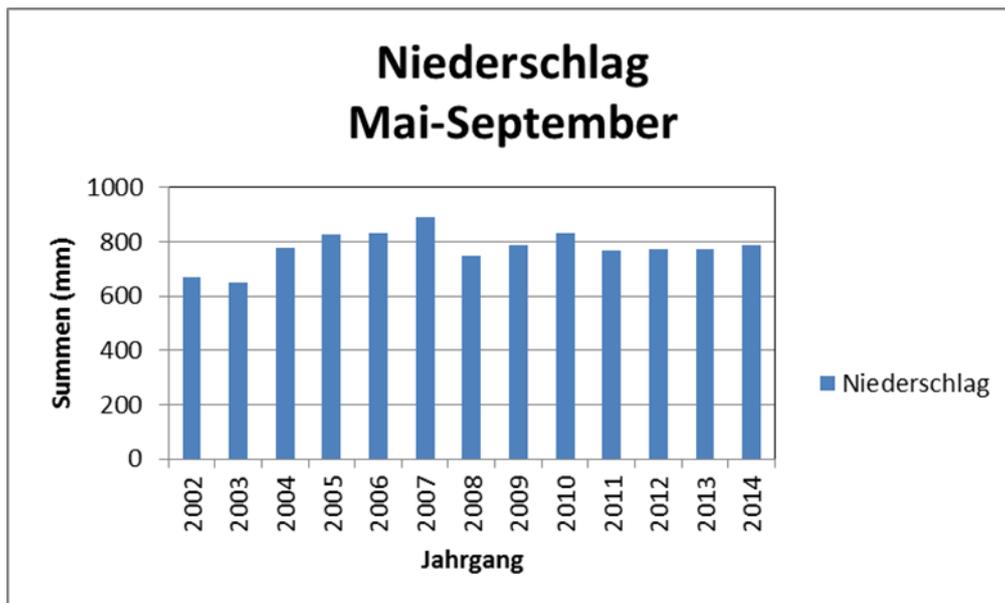


Abbildung 92: Niederschlagssummen (Mai- September) 2002-2014

Um eine Korrelation zwischen den Versätzen der Messpunkte mit den Werten der maximalen Schneedecke bzw. den Niederschlagswerten des Monats April, für den gesamten Beobachtungszeitraum, herzustellen, wurden alle Korrelationskoeffizienten (Tab.5) dafür nach Pearson und Spearman berechnet.

Außerdem kann mit der Tabelle 3 erneut auf die Signifikanz eingegangen werden. Eine 95% Signifikanz ergibt sich bei der Korrelation des räumliche Versatzes mit der Schneedecke bei den Punkten 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 28 und 31. Signifikant mit 95 % bei der Korrelation mit den Niederschlagswerten vom April und den räumlichen Versätzen sind die Punkte 12, 13, 14, 27, 28, 30, 31 und 39 zu erwähnen.

Negative Werte des Korrelationskoeffizienten finden sich bei der Korrelation mit der Schneedecke bei den Punkten 40, 41 (Pearson), 44 und 47 (Pearson und Spearman), sowie bei der Korrelation mit den Aprilniederschlagswerten bei den Punkten 41 und 47 (Pearson und Spearman). Diese negativen Werte deuten erneut auf einen rückläufigen Trend welcher sich hauptsächlich auf die Messpunkte des Bereichs 5 konzentriert.

Messpunkt	Spearman		Pearson	
	R/Schneed.	R/April	R/Schneed.	R/April
1	0,296	0,118	0,179	0,090
2	0,401	0,198	0,121	0,181
5	0,141	0,556	0,034	0,262
10	0,626	0,198	0,588	0,069
11	0,626	0,286	0,356	0,081
12	0,851	0,558	0,795	0,555
13	0,686	0,552	0,693	0,476
14	0,763	0,607	0,695	0,481
15	0,675	0,522	0,666	0,480
16	0,692	0,475	0,523	0,382
17	0,679	0,462	0,469	0,379
18	0,692	0,475	0,465	0,383
19	0,666	0,448	0,449	0,418
20	0,666	0,448	0,432	0,393
21	0,659	0,442	0,398	0,444
23	0,439	0,198	0,362	0,161
24	0,598	0,393	0,379	0,592
25	0,321	0,546	0,396	0,631
26	0,316	0,473	-0,080	0,409
27	0,079	0,553	-0,017	0,690
28	0,560	0,574	0,285	0,603
30	0,527	0,660	0,280	0,739
31	0,554	0,514	0,350	0,637
32	0,343	0,214	0,263	0,117
33	0,263	0,203	0,271	0,145
34	0,406	0,209	0,352	0,185
35	0,401	0,198	0,370	0,200
36	0,401	0,198	0,356	0,189
39	0,118	0,578	0,107	0,203
40	0,027	0,112	-0,171	0,076
41	0,071	-0,011	-0,153	-0,106
42	0,027	0,277	0,047	0,291
43	0,109	0,343	0,448	0,329
44	-0,005	0,266	-0,010	0,286
45	0,442	0,221	0,415	0,298
46	0,442	0,358	0,281	0,402
47	-0,063	-0,391	-0,356	-0,274

Tabelle 5: Korrelationskoeffizienten nach Pearson (grün) und Spearman (orange),
Schneedecke in cm, Aprilniederschläge in mm

Es wird nun anhand von drei Messpunkten (Abb.95), die im Zuge der Diplomarbeit von RATHOFER im Juni 2012 gemessen wurden, erläutert, dass sich tatsächlich die Schneeschmelze signifikant auf die Bewegungsraten auswirkt und die sommerlichen Niederschläge nur mehr in geringem Ausmaß auf den räumlichen Versatz einwirken.

RATHOFER (2012) meinte, dass sich visuell bei der Messung im Juni 2012, möglicherweise durch den schneereichen Winter, bereits starke Änderungen in der Morphologie zu den Messungen im Oktober 2011 zeigten, und Schneeschmelze und Frostwechsel große Faktoren für die Bewegung des Hanges darstellen.

Um den Unterschied zu einer Messperiode mit geringen Bewegungsraten zu verdeutlichen wurde die Bewegungsrate der gesamten Messperiode 2010/11 als Vergleich herangezogen, wobei RATHOFER als Grund für die geringen Bewegungsraten 2010/11, die baulichen Maßnahmen der WLW (Konsolidierungssperre, Drainagen, Grünerlenbesatz) annimmt. Es ist aber eher wahrscheinlich, dass die unterschiedlichen Niederschlagsverhältnisse verantwortlich sind. Dafür würde auch sprechen, dass sich die Messperioden 2006/07 und 2007/08 (Abb. 94) ähnlich zu den Messperioden 2010/11 und 2011/12 (Abb.93) verhalten und sich die baulichen Maßnahmen möglicherweise auf die Niederschlagsereignisse des Sommerhalbjahres positiv auswirken bzw. sich nur kurzzeitig positiv ausgewirkt haben, aber keinen besonderen Einfluss auf Rutschungsprozesse, die von Schneedecke und starker Schneeschmelze abhängen, haben.

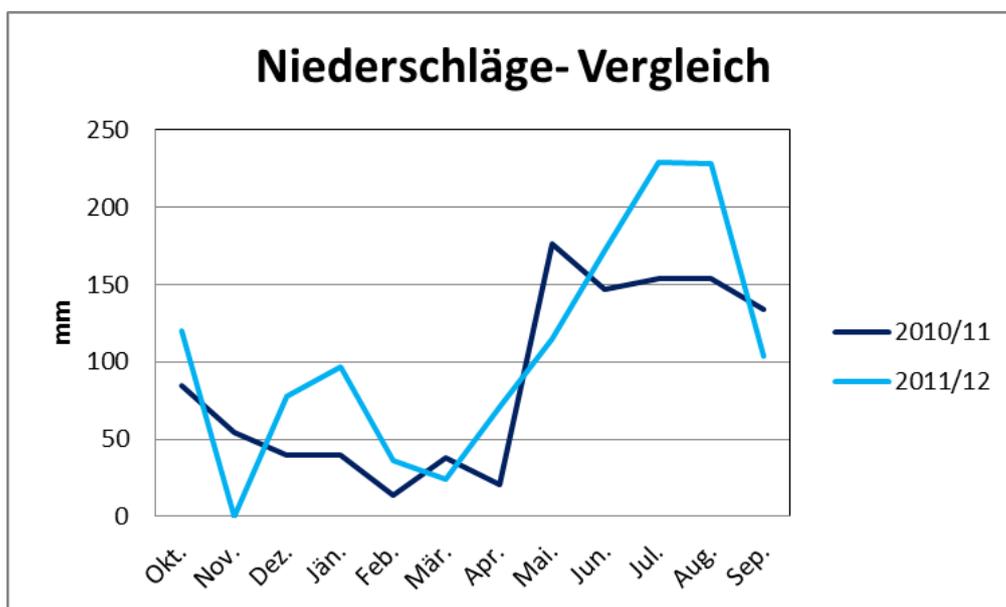


Abbildung 93: Vergleich Monatssummen (2010/11-2011/12)

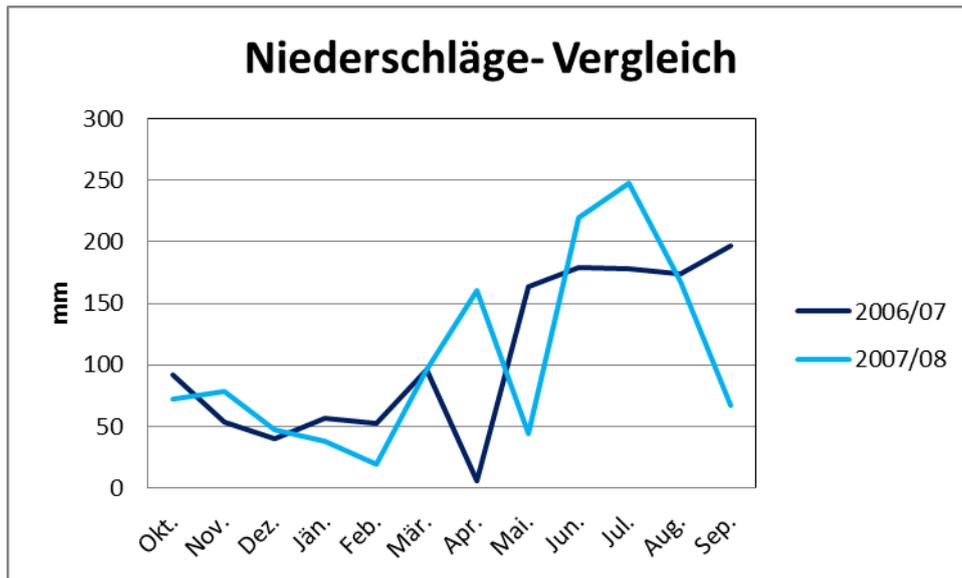


Abbildung 94: Vergleich Monatssummen (2006/07-2007/08)

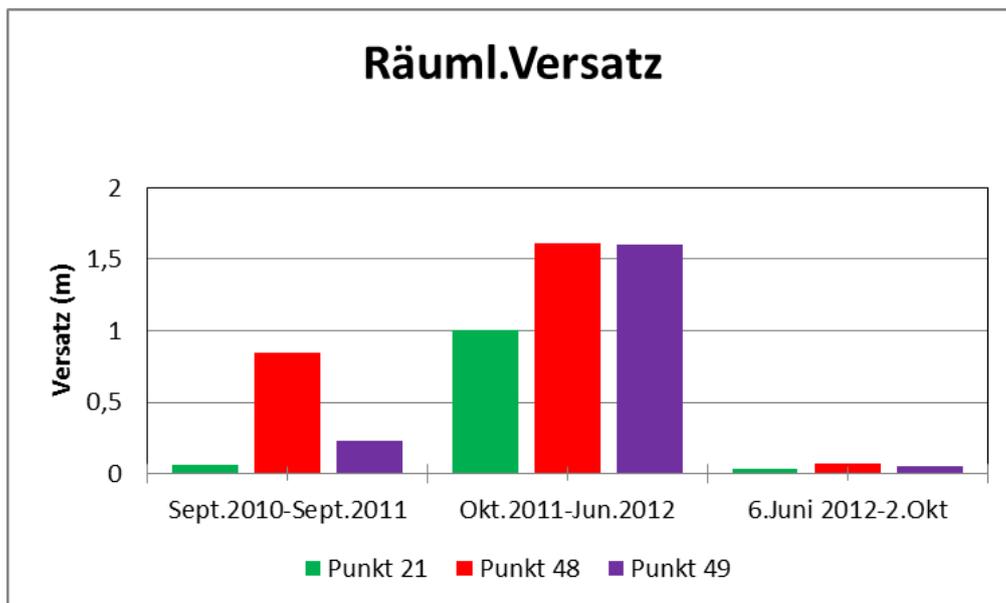


Abbildung 95: R. Versatz Punkte 21, 48, 49 Messung RATHOFER

In der Grafik der Messperiode 2010/11 (Abb.93) ist zu erkennen, dass die Niederschlagswerte in den Wintermonaten generell niedrig ausfallen, deswegen auch wahrscheinlich keine ausgeprägte Schneeschmelze stattgefunden hat und sich daher die niedrige Bewegungsrate in dieser Messperiode erklären lässt.

Auffallend ist aber, dass sich die hohen Niederschlagswerte der Monate Juni bis September 2012 von 733 mm nur gering bei den hohen Bewegungsraten der Messperiode 2011/2012 ausgewirkt haben, der Hauptversatz, in der Abbildung 95 zu erkennen, hat von Oktober 2011 bis Juni 2012 stattgefunden, was den Schluss zulässt, dass sich die Schneeverhältnisse bzw. die Schneeschmelze eindeutig stärker auf die Rutschungsereignisse im Blaubachgraben auswirken, als die Niederschlagsverhältnisse des Sommerhalbjahres.

Schon im Frühjahr 2001 war während der Schneeschmelze der Prozess des Abgleitens im Bereich unterhalb der Schönmoos-Hochalm in kleinerem Ausmaß zu verfolgen (ZOBL, 2001). Da es dazu keine Messergebnisse aus dem Jahr 2000 gibt, kann die Auswirkung auf die Rutschung nicht nachvollzogen werden, es kann nur angenommen werden, dass die tatsächliche Bewegungsrate wahrscheinlich höher ausfällt als die, durch die Nullmessung ermittelte bzw. hochgerechnete, da die Schneedeckenentwicklung des Winters 2000/01 (Abb.96) mit der maximalen Schneedecke bewegungsintensiver Messperioden verglichen werden kann und es mit großer Wahrscheinlichkeit zu höheren Versatzraten gekommen sein wird. Der hohe Niederschlagswert im April 2001 (Abb. 97) deutet auch auf eine verstärkte Bewegung im Rutschungsgebiet.

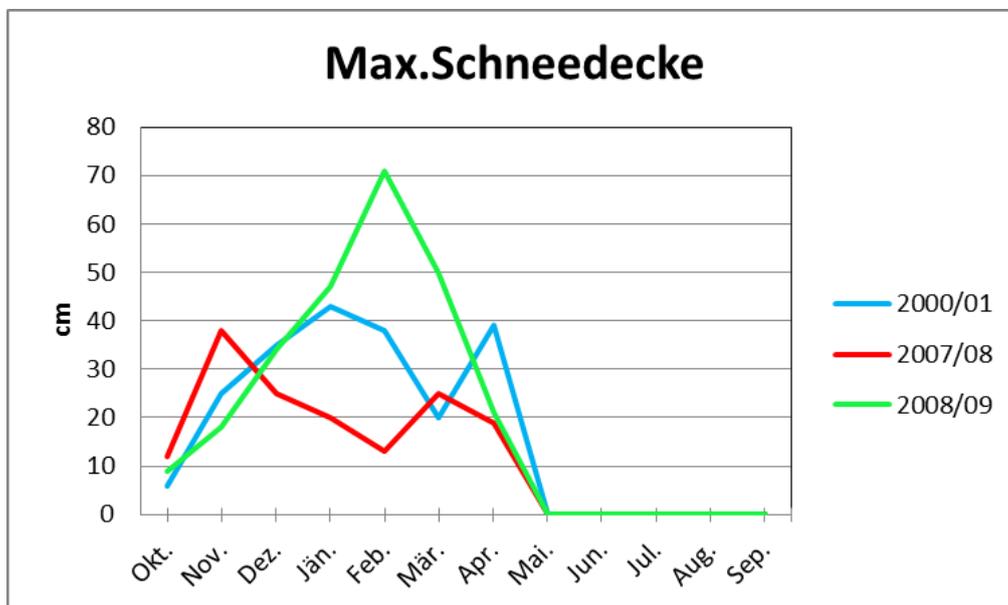


Abbildung 96: Vergleich maximale Schneedecke

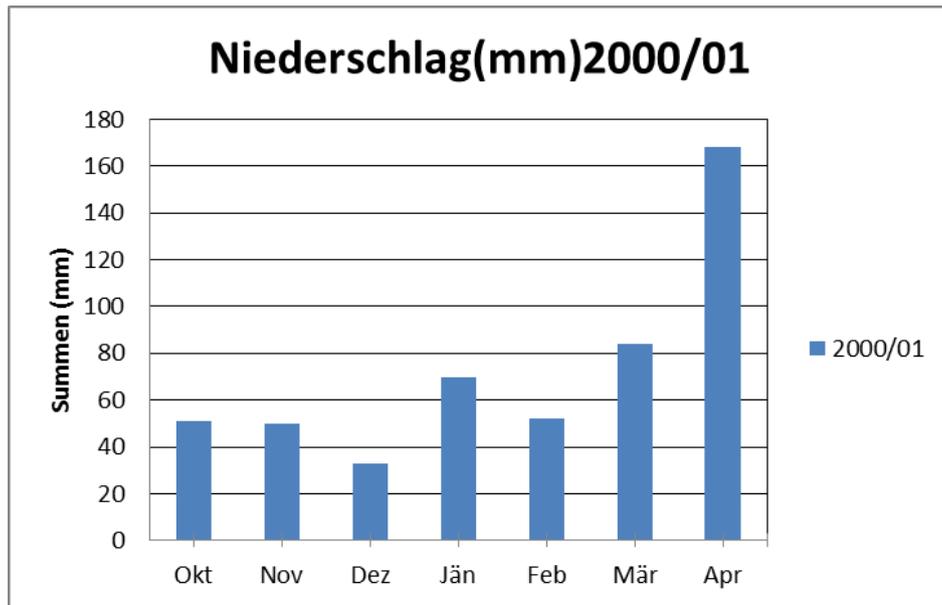


Abbildung 97: Monatssummen Okt. 2000 – Apr. 2001

Auch der Vergleich mit den Niederschlagswerten (Abb.98) der bewegungsintensiven Messperiode 2007/08 lässt den Schluss der höheren Bewegungsrate zu, da ein sehr ähnliches Bild der Wintermonate bzw. des niederschlagsreichen April gegeben ist.

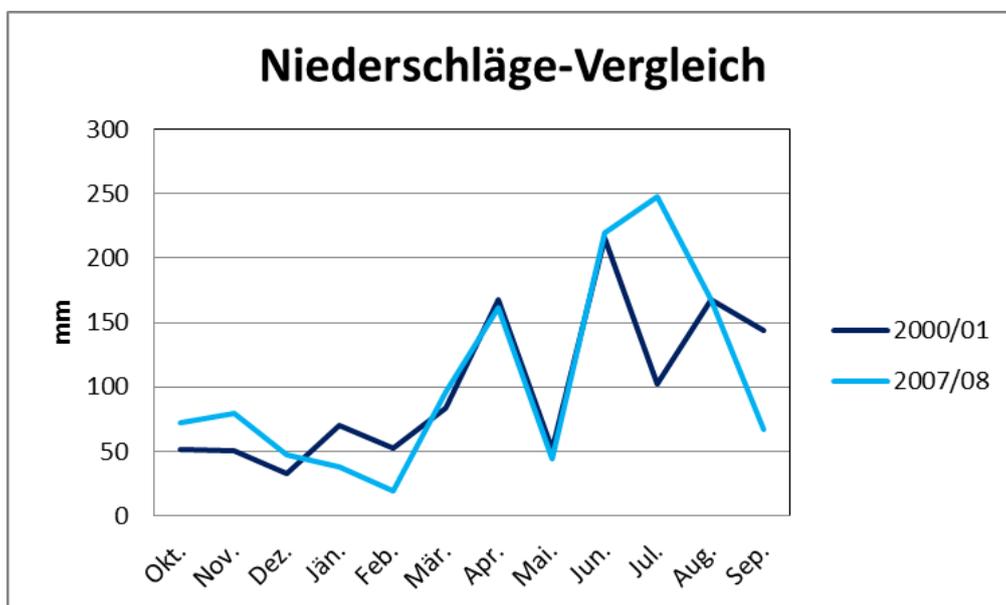


Abbildung 98: Vergleich Monatssummen (2000/01-2007/08)

Die Messperiode 2006/07 zeigt ähnliches Verhalten, wie die Messperiode 2010/11. Der extrem milde Winter 2006/07 hatte Auswirkungen auf die Höhe der Schneefallgrenze, die Anzahl der Schneetage, sowie auf die Höhe und Andauer der Schneedecke in ganz Österreich (JURCEVIC, 2008).

In der Abbildung 99, die die Bewegungsraten des Messpunktes 21 zwischen 2001 und 2012 zeigt, sind deutlich die hohen Versatzraten der Jahre 2007/08 und 2011/12 und die extrem niedrigen der Jahre 2006/07 und 2010/11 zu erkennen.

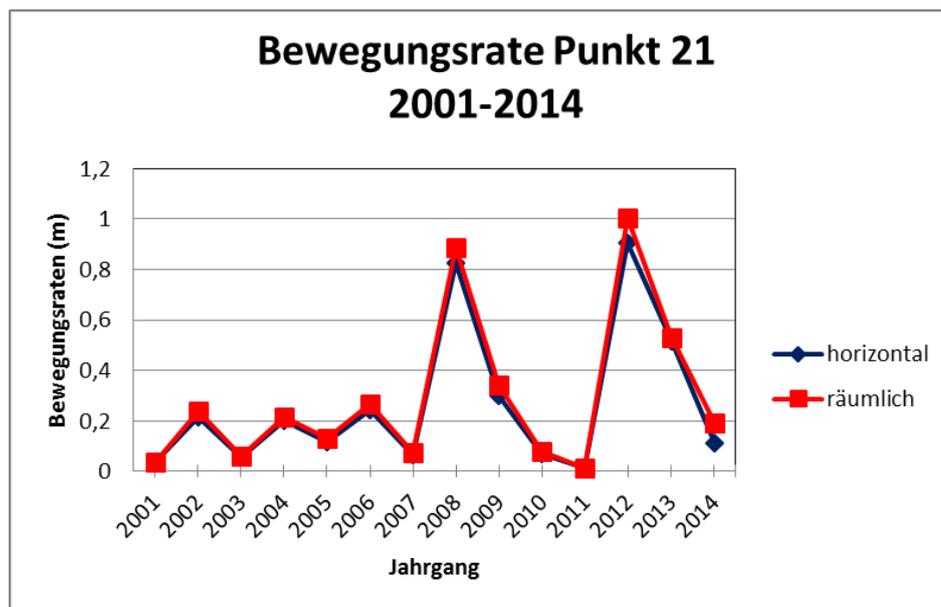


Abbildung 99: Bewegungsraten Messpunkt 21, 2001-2014

Es ist also davon auszugehen, dass in schneearmen Wintern bzw. warmen Wintern, in denen die Schneedecke nicht lange liegen bleibt, die Bewegungsraten geringer ausfallen, auch wenn ergiebige Niederschlagsereignisse, in welcher Form auch immer, in den Sommermonaten zu erkennen sind. Das Starkniederschlagsereignis im Juni 2013 wird daher nur geringe Auswirkungen auf den Gesamtversatz der Messperiode 2012/13 gehabt haben.

Auch die letzten Messungen im Jahr 2015 lassen Rückschlüsse auf den Einfluss der Schneedecke und Schneeschmelze auf die Bewegungsraten zu.

Der Zusammenhang zwischen Niederschlagswerten und Bewegungsraten wird im Jahr 2015 nur kurz anhand von ausgewählten Niederschlags- und Temperaturdaten mit der Darstellung der mittleren jährlichen horizontalen und vertikalen Verschiebung der Messpunkte analysiert. In der Abbildung 100 wird die Niederschlagsverteilung der Monate Oktober 2014 bis April 2015 gezeigt.

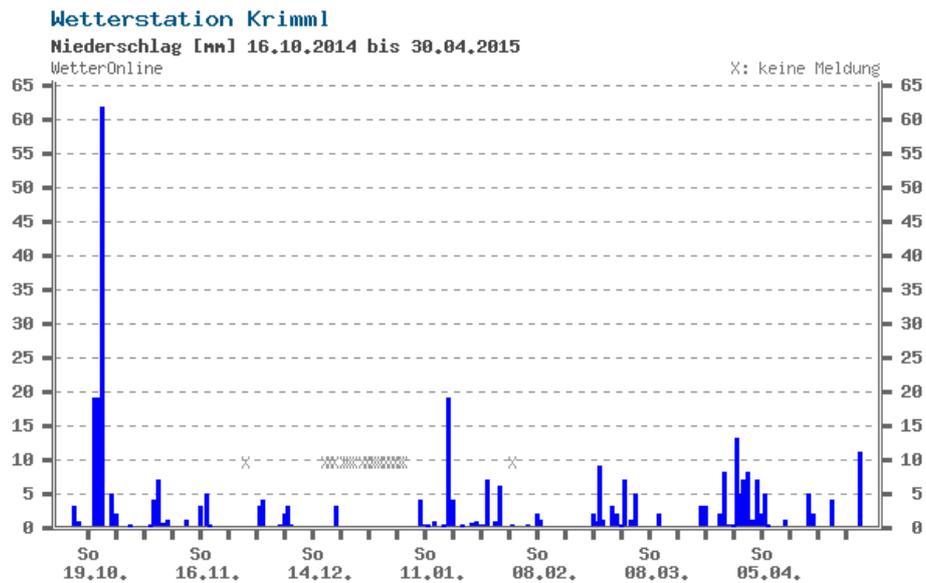


Abbildung 100:

http://www.wetteronline.at/wetterdaten/gerlos?pcid=pc_rueckblick_data&gid=11134&pid=p_rueckblick_diagram&sid=StationHistory&iid=11136¶id=RR24&period=28&month=04&year=2015 19.02.2016

Der Winter 2014/15 war ein allgemein milder (Abb.101) und schneearmer, wobei am 31.3.2015 in Krimml laut ZAMG 19,3 °C gemessen wurden.

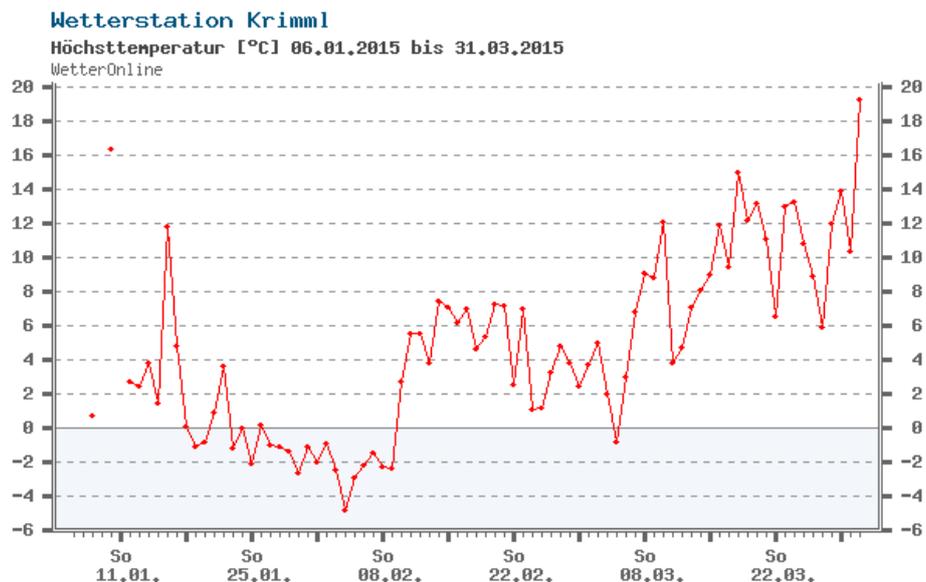


Abbildung 101:

http://www.wetteronline.at/wetterdaten/krimml?pcid=pc_rueckblick_data&gid=11136&pid=p_rueckblick_diagram&sid=StationHistory&iid=11136¶id=TXLD&period=12&month=03&year=2015 19.02.2016

Die Temperaturverteilung lässt den Schluss zu, dass durch die hohen Temperaturen im März die Schneeschmelze früh eingesetzt hat bzw., dass sich durch die geringen Niederschlagswerte der Wintermonate nur eine dünne Schneedecke gebildet hat und somit wenig Wasser gespeichert war. Die Niederschläge Anfang April 2015 (Abb.102) fielen noch in Form von Schnee, die aber laut ZAMG durch die nachfolgenden höheren Temperaturen (Abb.103) nur kurzzeitig zu einer durchgehenden Schneedecke führten.

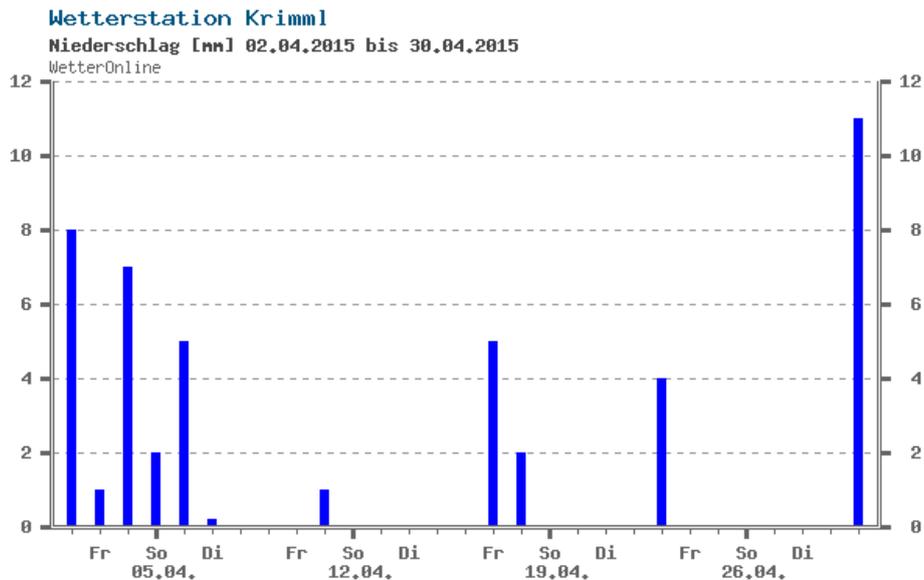


Abbildung 102:

http://www.wetteronline.at/wetterdaten/krimml?pcid=pc_rueckblick_data&gid=11136&pid=p_rueckblick_diagram&sid=StationHistory&iid=11136¶id=RR24&period=4&month=04&year=2015 19.02.2016

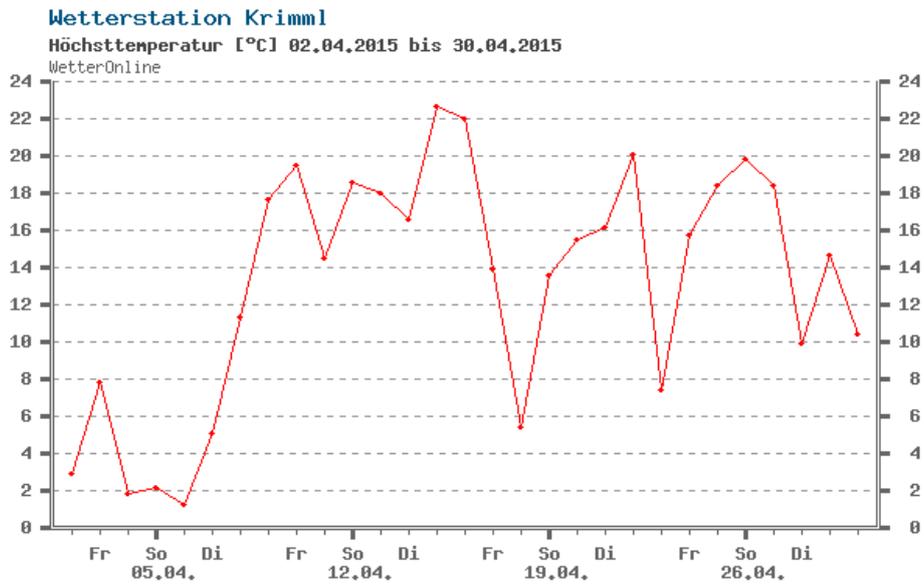


Abbildung 103:

http://www.wetteronline.at/wetterdaten/krimml?pcid=pc_rueckblick_data&gid=11136&pid=p_rueckblick_diagram&sid=StationHistory&iid=11136¶id=TXLD&period=4&month=04&year=2015 19.02.2016

Laut ZAMG brachte der Winter in Krimml 30 bis 40 Prozent weniger Schneedeckentage. Dadurch, dass sich die Bewegungsraten bzw. Versätze (Abb.104) in der Messperiode 2014/15 erkennbar geringer als in vorangegangenen schneereichen Jahren darstellen, spricht dies wiederum für eine Korrelation mit Schneedecke, -dauer und -schmelze.

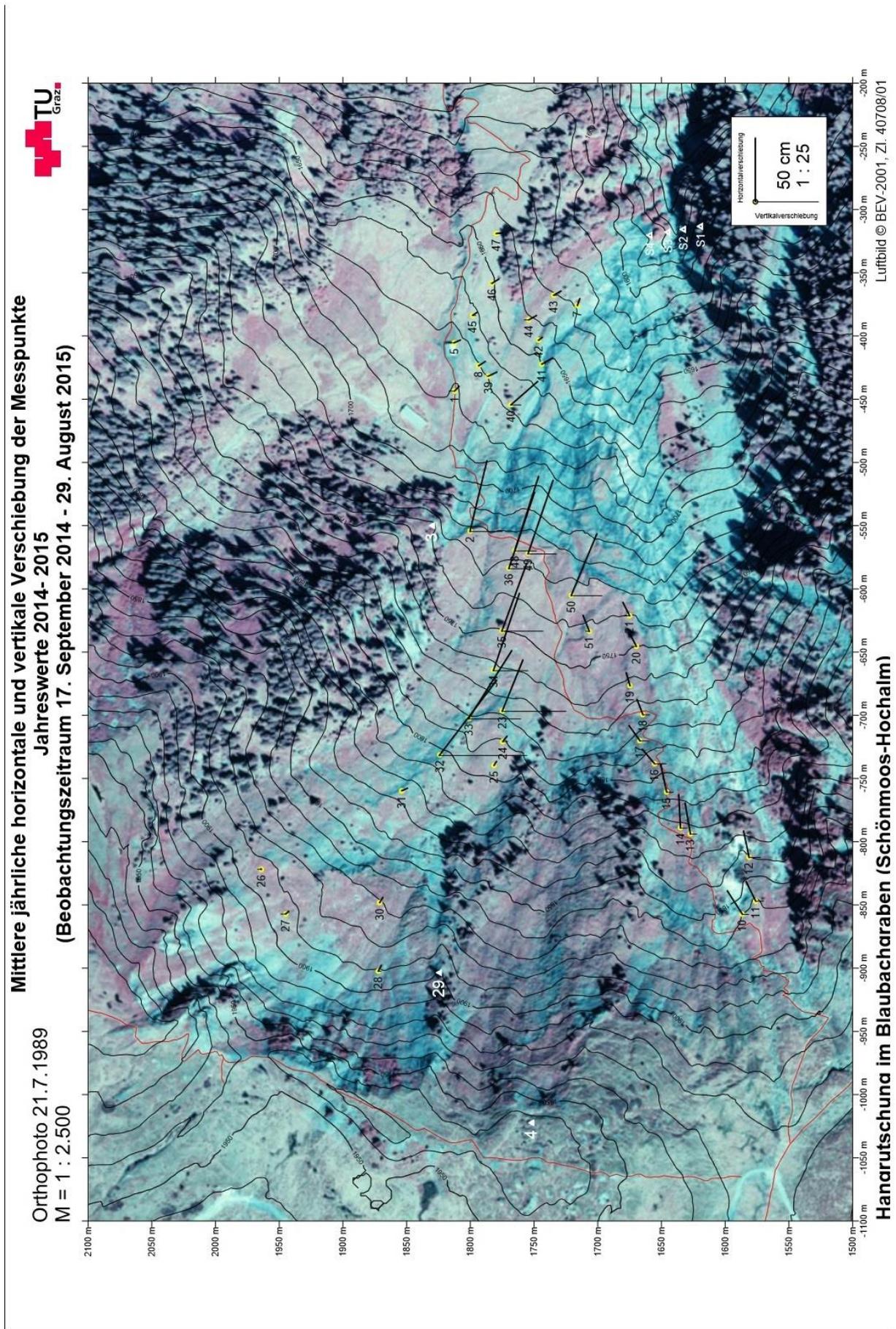


Abbildung 104: Orthophoto KAUFMANN, (2015)

3.7 Messbereichseinteilung nach Analyse

Da im Lauf der Datenanalyse die Zusammenhänge, in den zu Beginn der Arbeit zugeordneten Messbereichen, zwischen einzelnen Punkten ausgeschlossen werden konnten, werden die Messbereiche nach Auswertung der grafischen Darstellung der Bewegungsmuster erweitert und erneut eingeteilt.

Bereich 1: 10, 11 (schwarz)

Bereich 2: 12, 13, 14, 15 (rot)

Bereich 3: 16, 17, 18, 19, 20, 21 (grün)

Bereich 4: 24, 25, 31 (gelb)

Bereich 5: 26, 27, 28, 30 (violett)

Bereich 6: 2, 23, 32, 33, 34, 35, 36 (braun)

Bereich 7: 1, 5 (pink)

Bereich 8: 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47 (blau)

Anhand der Bewegungsmuster wäre eine Unterteilung des Bereiches 8 noch möglich, da die Punkte 42, 43, 44 ein ähnliches Bewegungsmuster aufweisen, sowie auch die Punkte 45 und 46. Die Zusammenfassung der Punkte in Bereich 8 erfolgte hauptsächlich durch den gegensätzlichen Trend, welchen diese Punkte bei den errechneten Korrelationskoeffizienten aufwiesen. Die erneuerte Einteilung wird in der folgenden Abbildung 105 ersichtlich gemacht.

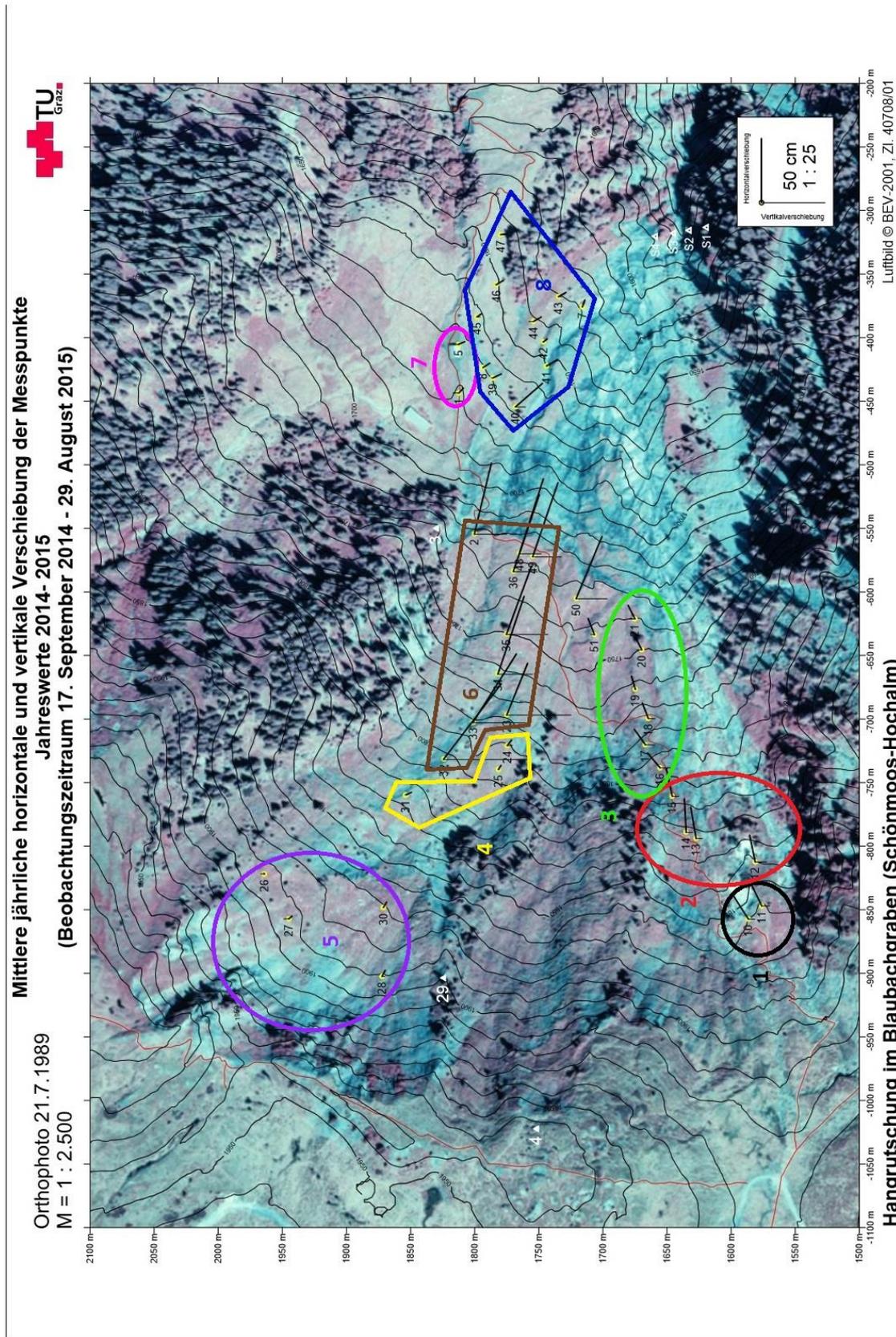


Abbildung 105: Orthophoto KAUFMANN (2015)

3.8 Abschätzung eines saisonalen Rutschverhaltens

Ein über längere Zeit stattfindendes Wasserüberangebot begünstigt Hangrutschungen. In den Gebirgsregionen müssen dabei die Temperaturen über dem Gefrierpunkt liegen, da ansonsten die Niederschläge in fester Form zu erwarten sind und Eis und Schnee gespeichert werden. Mit dem gleichzeitigen Auftreten von Schneeschmelze und starken Niederschlägen im Frühjahr und langandauernden oder heftigen Niederschlägen im Sommer und Herbst sind im instabilen Gelände Hangrutschungen bzw. Massenbewegungen verstärkt zu erwarten, da der Porenwasserdruck bei Wasserüberschuss stark ansteigt. Die Infiltrationsphase und damit die Reaktionszeit auf eindringendes Wasser, sind sicher auch von Bedeutung.

Ein wichtiger Faktor für die Gefahr von Massenbewegungen ist sicher eine Veränderung der Art des Niederschlags. Unwetter mit Starkregen ersetzen immer öfter die Dauerregen, das führt dazu, dass die Wassermassen nicht so schnell abfließen können.

Mit dem langsamen Verschwinden von Permafrostböden, die Hänge und Lockermaterial stabilisieren, ausgelöst durch die Erhöhung der globalen Durchschnittstemperaturen, wird es wahrscheinlich verstärkt zu Hangrutschungen und Felsstürzen im alpinen Raum kommen. Lockermaterial wird freigelegt und dadurch instabil werden. Die verfrühte Schneeschmelze und die Verschiebung von festen zu flüssigen Niederschlägen werden sich auch negativ auf die Hanginstabilität auswirken.

Die Zunahme an Hangbewegungen in Gebirgsregionen wird zu verstärkten Beobachtungen, Risiko- und Gefahrenanalysen und Sicherungsmaßnahmen führen müssen.

WALLNER (2012) kommt zu dem Schluss, dass hohe Niederschläge häufig zu Rutschungen führen. Er bemerkt außerdem, dass sich in kurzen Zeitspannen eine relative starke Rutschungstätigkeit erkennen lässt. Dies soll ein Indiz dafür sein, dass es beim Überschreiten von bestimmten Niederschlagswerten zu einem Anstieg von Hangrutschungen kommen kann. Des Weiteren wird angemerkt, dass sich nicht alle Rutschungen durch hohe Niederschlagsereignisse erklären lassen. Hierzu sei gesagt, dass die Untersuchungen von WALLNER (2012) in der rhenodanubischen Flyschzone Niederösterreichs nicht eins zu eins auf den alpinen Arbeitsbereich anzuwenden sind, da wesentliche Unterschiede in klimatologischen, geologischen und topographischen Parametern bestehen.

Die Grundaussage, dass sich starke Niederschläge in Form von Regen relativ schnell und negativ auf die Hangstabilität in gefährdeten Gebieten auswirken, ist nach Auswertung der Daten mit großer Wahrscheinlichkeit auf die Massenbewegung Blaubachgraben anzuwenden. Eine Saisonalität im Rutschverhalten lässt sich aufgrund der mangelnden Aufschlüsselung nicht eindeutig bestimmen, es kann aber davon ausgegangen werden, dass sich die einsetzende Schneeschmelze in Kombination mit gleichzeitig stattfindenden Niederschlägen maßgeblich auf das Bewegungsverhalten des Rutschkörpers auswirkt.

4 Diskussion

Zielsetzung dieser Arbeit stellte die Abschätzung des Rutschverhaltens der Massenbewegung Blaubachgraben bei Krimml in Abhängigkeit zu Niederschlagsereignissen dar. Als Grundlage für die Bearbeitung wurden die Messdaten der jährlichen geodätischen Wiederholungsmessungen von Professor Kaufmann herangezogen und mit den monatlichen Niederschlagswerten der ZAMG abgeglichen. Dazu wurden die geodätischen Daten der Messpunkte, die über den gesamten Beobachtungszeitraum 2001- 2014 verfolgbar waren, in Microsoft Excel in tabellarischer Form eingebracht und grafisch dargestellt. Die Daten der ZAMG waren schon als Excel Dateien verfügbar, wurden somit nur an die Messperioden der Bewegungsmessungen angeglichen und ebenfalls in grafischer Form dargestellt, damit ein direkter Vergleich möglich war.

Da die Zusammenhänge zwischen Niederschlagsmenge bzw. -intensität und den Bewegungen im Arbeitsgebiet nur anhand der gesammelten Daten angenommen werden können, ist eine genau Aussage über ein saisonales Rutschverhalten zwar anzunehmen, aber nicht eindeutig verifizierbar.

Um die Theorie eines saisonalen Rutschverhaltens genauer zu untersuchen, wäre eine zusätzliche geodätische Wiederholungsmessung nach der Schneeschmelze jedes Jahr hilfreich. Da die Messung, die mir aus der Masterarbeit RATHOFER (2012) zur Verfügung stand, zwar die Erkenntnis lieferte, dass sich die Schneeschmelze sehr wahrscheinlich stärker auf die Massenbewegung Blaubachgraben auswirkt, aber anhand von einer einzigen Messung keine qualitative Aussage getroffen werden kann.

Durch Messungen z.B. im April könnte die Auswirkung von Schmelzwasser im Frühjahr auf das Bewegungsverhalten genauer festgestellt werden und mit dem Verhalten während der niederschlagsreichen Sommermonate abgeglichen werden.

Wie genau sich Starkregen oder langanhaltende Regenfälle mit geringerer Intensität auf die Bewegungsmuster auswirken, wäre nur mit monatlichen Aufzeichnungen der Bewegung möglich, was sich aber aufgrund der Schneedecke im Winter als problematisch erweisen könnte.

Aus geologischer Sicht handelt es sich meiner Meinung nach bei dieser Massenbewegung um eine Kombination aus Translations- und Rotationsbewegungen bzw. um zwei Bewegungen, die sich in weiterer Folge als ein gemeinsamer Rutschkörper darstellen. Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, ist der Zentralbereich geprägt von Zugrissen und kleineren Abrisskanten. Der Zentralbereich kann topographisch mit dem unteren Bereich einer Massenbewegung gleichgesetzt werden, welche im Bereich der Schmalscharte ihr Einzugsgebiet hat. Diese wahrscheinlich ältere Massenbewegung wird von einer jüngeren, die im Bereich der Breitscharte ihr Einzugsgebiet hat, unterbrochen, im Gelände erkennbar durch die erwähnten Zugrisse und Abrisskanten.

Diese Merkmale am Fuß der älteren Bewegung lassen den Schluss zu, dass sie durch die Aktivität der jüngeren wieder reaktiviert wurde oder, sollte es sich um ein Sturzereignis gehandelt haben, der zum Stillstand gekommene Materialkörper wieder in Bewegung gesetzt wurde.

Inwiefern sich die Konsolidierungssperre, sowie auch die Drainageschächte, positiv auf das Rutschverhalten auswirken wird sich noch zeigen, ich denke aber, dass der stabilisierende Effekt eher geringer ausfällt, da die analysierten Versatzgrafiken einen ansteigenden Trend bei den meisten Messpunkten erkennen lassen, eine Ausnahme bilden die Messpunkte 39-47, welche auf den Niederschlag kaum bzw. gegenläufig reagieren. Dieser Trend könnte durch eine Steigerung der Stauwirkung aufgrund der fortschreitenden Konsolidierung erklärt werden. Sollte dies der Fall sein, wäre es sehr wichtig, den Niederschlag und den Abfluss vor Ort zu dokumentieren, da sich ein geändertes Speicherverhalten des Rutschkörpers, auf lange Sicht gesehen, negativ auswirken könnte. Des Weiteren wäre eine qualitative Analyse des Lockermaterials hilfreich, da dadurch das Gefahrenpotential noch besser eingeschätzt werden könnte.

Literaturverzeichnis

ANKER, F. (2008): Der Blaubach - Gemeinde Krimml. Wildbach- und Lawinenverbau, Zeitschrift für Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlagschutz, 72 Jg., Heft 158, 114-120.

BAUMGARTNER & LIEBSCHER (1996): Allgemeine Hydrologie. Quantitative Hydrologie. Gebrüder Bornträger, Berlin, Stuttgart

BECKER, L.P., HERMANN, S. (1998): Eine rezente Großrutschung im Kleinen Sölketal der zentralen Obersteiermark, Mitt. Ref. Geol. und Paläont. Landesmuseum Joanneum, SH 2, Graz

BELL, R. (2007): Lokale und regionale Gefahren- und Risikoanalyse gravitativer Massenbewegungen an der Schwäbischen Alb, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

BRAUNER, M. und HÜBL, J. (1995): Gefährdung des Speichers Wald/Krimml durch Murenabgänge aus dem Blaubach und Abschätzung der Veränderungen des Abflußverhaltens der Krimmler Ache unter bes. Berücksichtigung der Geschiebeablagerung des Blaubaches nach Ausführung des Speicherbaues. WLS Report 2, Gutachten im Auftrag der SAFE, 56 S.

BROMHEAD, E. N. (1986): The Stability of Slopes. –Surrey University Press, Glasgow, 374 S.

BRONSTERT, A. (1994): Modellierung der Abflussbildung und der Boden- & Wasserdynamik von Hängen. Mitteilung des Instituts für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Universität Karlsruhe

ELSTER, D. (2011): Hydrogeological investigation approaches for conceptual model development concerning different aquifer systems. Institut für Angewandte Geowissenschaften, TU Graz

ENGEL, J., LAUER, C. (2010) : Einführung in die Boden- und Felsmechanik, Grundlagen und Berechnungen. Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag

GUZZETTI, F., PERUCCACCI, S., ROSSI, M. & C. P. STARK (2007): The rainfall intensity–duration control of shallow landslides and debris flows: an update. Landslides, 5, 3-17.

HAUSEGGER, S. (2006) : Die Interndeformation von Großhangbewegungen am Beispiel der Massenbewegung Lärchberg-Galgenwald (Murau, Steiermark), Institut für Angewandte Geowissenschaften, Technische Universität Graz

HÖLTING, B., COLDEWEY, W. G. (2009) : Hydrogeologie, Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg

HÜBL, J. (1999): Stellungnahme: Gefährdung des Speichers Wald durch Murenabgänge aus dem Blaubach und Abschätzung der Veränderung des Abflußverhaltens der Krimmler Ache unter bes. Berücksichtigung der Geschiebeablagerung des Blaubaches nach Ausführung des Speichers. Stellungnahme, im Auftrag der Salzburger AG für Energiewirtschaft.

JURKOVIC, A.(2008): Gesamtschneehöhe. Vergleichende Zeitreihenanalyse. Universität Wien

KÄHNI, M., KLEBINDER, K., HELLER, A. und GRAF, A. (2011): Monitoring von gravitativen Massenbewegungen mittels terrestrischem Laserscanning und GIS-Technologien, Universität Innsbruck

KARL, F., SCHMIDEGG, O. (1979): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 151 Krimml, Geologische Bundesanstalt Wien

KAUFMANN, V., HEILAND,R. (1998) : Zur Morphometrie des Döserer Blockgletschers. Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Band 11, Wien 1998, S.102-114

KAUFMANN, V., KIENAST, G. und LADSTÄDTER, R. (2002): Studien zur Morphodynamik einer geologischen Störzone im Blaubachgraben bei Krimml, Salzburg. Endbericht zum Projekt (Projektleiter: V. Kaufmann) des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung, Gebietsbauleitung Oberpinzgau. Institut für Geodäsie, Technische Universität Graz, 44 Seiten mit zahlreichen Kartenbeilagen (Orthophotokarten, thematische Karten; 1:2.500, 1:4.500, 1:5.000).

KAUFMANN, V., KIENAST, G. und LADSTÄDTER, R. (2002): Dokumentation der Morphodynamik eines Rutschhanges. PANGEO Austria 2002, Salzburg, Programm & Kurzfassungen, S. 89.

KAUFMANN, V., LIEB, G.K. (2003): Mapping the kinematics of the Blaubach landslide (Austria) using digital photogrammetry. Geophysical Research Abstracts, Vol. 5, 02802, 2003, Abstracts of the contributions of the EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, 6-11 April 2003. ISSN: 1029-7006.

KAUFMANN, V. (2004): Morphometric documentation and computer-based visualization of slope deformation and slope creep of the Blaubach landslide (Salzburg, Austria). Proceedings of the 7th International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography, Bishkek, Kyrgyzstan, July 2002, Kartographische Bausteine, Band 28, Institute for Cartography, Dresden University of Technology, 99-107.

KAUFMANN, V., LADSTÄDTER, R. (2007): Photogrammetrische und geodätische Dokumentation der Hangrutschung Blaubachgraben (Gemeinde Krimml, Salzburg) für den Zeitraum 1953 bis 2006. In: Brunner, F.K. (Hrsg.): Ingenieurvermessung 07 - Beiträge zum 15. Internationalen Ingenieurvermessungskurs Graz, 2007. Herbert Wichmann Verlag, 317-322.

KAUFMANN, V. (2008): Zur Kinematik der Massenbewegung im Talschluss des Blaubaches, Gemeinde Krimml. Wildbach- und Lawinenverbau, Zeitschrift für Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlagschutz, 72 Jg., Heft 158, 122-129.

KAUFMANN, V.(2009) :Mapping and visualization of the Earth's topography and spatio-temporal change: Selected case studies of mountainous terrain, Habilitation Treatise (Habilitationsschrift), Institute of Remote Sensing and PhotogrammetryGraz University of Technology

KELLER, D.(2009): Analyse und Modellierung gravitativer Massenbewegungen in alpinen Sedimentkaskaden unter besonderer Berücksichtigung von Kriech- und Gleitbewegungen im Lockergestein (Lahnenwiesgraben, Garmisch-Partenkirchen), Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

LIU,Q.(2008): Grundlagen der Statistik für Studierende der Erdwissenschaften, Technische Universität Graz, Institut für Angewandte Geowissenschaften

LOTTER, M., HABELER, A., Geogene Naturgefahren – gravitative Massenbewegungen und ihre Ursachen, Berichte Geol. B.-A., 100, NÖ GEOTAGE – 19. & 20. 9. 2013 in Rabenstein an der Pielach

LUNZER, E. (2009) : Untersuchung des Durchlässigkeitsbeiwertes in biologisch bewirtschafteten Böden, Universität f. Bodenkultur, Wien

MARKART, G., KOHL, B., SOTIER, B., SCHAUER, T., BUNZA, G. und STERN, R. (2004) : Provisorische Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflussbeiwertes auf alpinen Boden-/Vegetationseinheiten bei konvektiven Starkregen (Version 1.0), BFW-Dokumentation; Schriftenreihe des Bundesamtes und Forschungszentrums für Wald, Wien, 2004, Nr. 3, 88 S

MARKL, G. (2008) : Minerale und Gesteine. Mineralogie-Petrologie-Geochemie, 2. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg

NACHTNEBEL, H.P. (2007) : Hydrologie und Flussgebietsmanagement, Studienblätter, LVA-Nr. 816.101, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, BOKU Wien

NIEDERSCHICK, M. (2007): Erkennen u. Beurteilen von Hangbewegungen. Diplomarbeit, Universität f. Bodenkultur, Wien

OKRUSCH, M., MATTHERR, S. (2009): Mineralogie. Eine Einführung in die spezielle Mineralogie, Petrologie und Lagerstättenkunde, 8. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg

RASCH, B., FRIESE, M., HOFMANN, W., NAUMANN, E. (2009): Quantitative Methoden 1. Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler, 3. Auflage, Springer

RATHOFER, M. (2012): Deformationsmessung am Rutschhang Blaubachgraben bei Krimml mit dem Laserscanner Riegl LMS-Z620
Salzburger Bodenschutz, Bodenschutzbericht 2001 bis 2011, Amt der Salzburger Landesregierung, Abteilung 4, Referat 4/22

RIST, A., & HEIMBERG, U. (Hrsg.) (2015): Alpine Infrastruktur & Naturgefahren. Berner Fachhochschule, Architektur, Holz und Bau

SEBASTIAN, U. (2009): Gesteinskunde. Ein Leitfaden für Einsteiger und Anwender, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg

SCHMID, S. M., FÜGENSCHUH, B., KISSLING, E., SCHUSTER, R. (2004): Tectonic map and overall architecture of the Alpine orogen, *Eclogae geol. Helv.* 97 (2004) 93–117, Birkhäuser Verlag, Basel

SCHUSTER, R., STÜWE, K. (2010): Die Geologie der Alpen im Zeitraffer, *Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereins für Steiermark*, Bd. 140, S. 5-21, Graz

THALER, M. (2004): Fehler bei der Messung und Kalibrierung von Niederschlagswippen, *Measurement's and Calibration's Errors of Tipping Bucket Rain Gauge*, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau, Technische Universität Graz

ULMER, M. (2007): Unsicherheitsanalyse und Validierung eines Modells der Hangstabilität, Geographisches Institut der Universität Zürich

VARNES, D. J. (1978): Slope movement types and processes.- In: *Landslide-Analysis and Control*, Transportation Research Board Special Report, 176, S. 11 - 33.

WALLNER, S. (2012): Niederschlagsschwellenwerte für die Auslösung von gravitativen Massenbewegungen. Eine Analyse in der rhenodanubischen Flyschzone Niederösterreichs. Universität Wien

WANNENMACHER, H., ZOBL, F., KLIMA, K. (2002): GIS-gestützte Risikoanalyse bei Massenbewegungen: Murgang Seefeld und Massenbewegung Blaubach/Krimml. PANGEO Austria 2002, Salzburg, Programm & Kurzfassungen, S. 187.

WETZEL, M. (2005): Modellierung der Hangwasserdynamik eines Untersuchungsgebietes im Nationalpark Hainich mit dem Modell HYDRUS-2D, Friedrich Schiller Universität Jena, Chemisch-Geowissenschaftliche Fakultät, Institut für Geografie

WIECZOREK, G. (1996): Landslide triggering mechanisms. In: Turner, A. K. & R. Schuster R.L.(Hrsg.): Landslides - Investigation and Mitigation. (National Academy Press) Washington, S.76-89.

ZANGERL, Chr., PRAGER, Chr., BRANDNER, R., BRÜCKL, E., EDER,S., FELLIN, W., TENTSCHERT, E., POSCHER, G., SCHÖNLAUB, H.(2008): Methodischer Leitfaden zur prozessorientierten Bearbeitung von Massenbewegungen, Geo.Alp, Vol. 5, S. 1-51

ZAUTER, H. (1989): Tektonik und Lithostratigraphie der Oberen Schiefernhülle im Raum von Krimml und Wald im Pinzgau (Oberpinzgau, Salzburg). Diplomarbeit. Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg. Inst. F. Geologie u. Mineralogie.129 pp

ZEPP, H. (2008): Geomorphologie: eine Einführung – 4. Auflage, Schöningh, Paderborn

ZOBL, F. (2001): Abschätzung der Hangstabilitätsverhältnisse im Bereich des Einzugsgebietes der Krimmler Ache/Blaubach auf Basis einer geologisch-geomorphologischen Detailkartierung und GIS-Analyse. Unpublizierte Diplomarbeit, Institut für Technische Geologie und Angewandte Mineralogie, UNI Graz und TU Graz, 164 S.

ZOBL, F. and KLIMA, K. (2002): Blaubach Landslide: slope stability analysis based on field mapping and GIS-analysis. PANGEO Austria 2002, Salzburg, Programm & Kurzfassungen, S. 191.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Geographische Karte Österreich (Krimml rote Makierung), (Google Maps).....	2	
Abbildung 2: Geographische Karte Krimml u. Umgebung (Massenbewegung Blaubachgraben, rote Umrahmung) , (Google Maps)	3	
Abbildung 3: Zentralbereich der Massenbewegung, Foto Adler 2014	3	
Abbildung 4 : Tektonische Karte SCHMID et al., 2004.....	4	
Abbildung 5: Legende Tektonische Karte SCHMID et al., 2004.....	5	
Abbildung 6: 3D Ansicht des Kartenblattes 151 Krimml, aufgenommen von KARL & SCHMIDEGG, 1979, modifiziert durch ZOBL, 2001	7	
Abbildung 7: Legende der Geologischen Karte 151 Krimml, aufgenommen von KARL & SCHMIDEGG, 1979	8	
Abbildung 8: Schematische Darstellung der Haupttypen von Massenbewegungen nach	14	
Abbildung 9: Gebiete mit möglichen Fließprozessen im Arbeitsgebiet, ZOBL, 2001	15	
Abbildung 10: Gebiete mit möglichen Sturzprozessen im Arbeitsgebiet, ZOBL, 2001	17	
Abbildung 11: Gebiete mit Rutschprozessen im Arbeitsgebiet, ZOBL, 2001	18	
Abbildung 12: Schematische Darstellung einer Rotationsgleitung (oben)und einer Translationsgleitung (unten), (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008)	19	
Abbildung 13: Unterschiedliche Arten des Gleitens, modifiziert und ergänzt nach HUDSON & HARRISON (1997).....	20	
Abbildung 14: Schema eines Bersturzes (ZEPP, 2008).....	21	
Abbildung 15: Schematische Darstellung der hydrologischen Prozesse an einem Hang nach DYCK (1980), aus BRONSTERT (1994)	25	
Abbildung 16: Die Abflussprozesse im Überblick (BAUMGARTNER & LIEBSCHER 1990)..	26	
Abbildung 17: Die wichtigsten hydrologischen Prozesse bei der Infiltration nach BAUMGARTNER & LIEBSCHER, 1996, aus WETZEL, 2005.....	28	
Abbildung 18: Gewässernetzwerk und Vernässungszonen im Arbeitsgebiet (ZOBL, 2001)..	29	
Abbildung 19: Klimadiagramm Krimml (http://tirolatlas.uibk.ac.at , 19.2.2016)	30	
Abbildung 20: Ombrometer nach Hellmann (Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2001).....	34	
Abbildung	21:	Höhenstufen
(http://gw.eduhi.at/programm/kol/oe1/schulbucher/UeberDieNatur3_2_Hoehenstufen		
19.2.2016)		37
Abbildung 22: Freilegung eines Messpunktes, Foto Kaufmann 2014.....		39
Abbildung 23: Justieren des Messgerätes, Foto Kaufmann 2014		39

Abbildung 24: Ansicht der Sperre mit beweglich gelagerten seitlichen Flügeln, ANKER (2008)	40
Abbildung 25: Sortierwerk hm 22,24, Mittellauf des Blaubaches, Foto Kaufmann 2005.....	41
Abbildung 26: Lage der Drainageschächte (rot) und der Konsolidierungssperre (gelb), (Google Maps)	41
Abbildung 27: Konsolidierungssperre mit Material- Überschiebung, Foto Kaufmann 2010 ...	42
Abbildung 28: Konsolidierungssperre 2010, Foto Kaufmann 2010.....	43
Abbildung 29: Orthophoto (KAUFMANN 2002).....	45
Abbildung 30: Versatzraten Messpunkt 10, 2001-20014.....	46
Abbildung 31: Versatzraten Messpunkt 12, 2001-2014.....	47
Abbildung 32: Versatzraten Messpunkt 13, 2001-2014.....	48
Abbildung 33: Versatzraten Messpunkt 21, 2001-2014.....	48
Abbildung 34: Versatzraten Messpunkt 24, 2001-2014.....	49
Abbildung 35: Versatzraten Messpunkt 2, 2001-2014	50
Abbildung 36: Versatzraten Messpunkt 31, 2001-2014.....	50
Abbildung 37: Versatzraten Messpunkt 26, 2001-2014.....	51
Abbildung 38: Versatzraten Messpunkt 27, 2001-2014.....	51
Abbildung 39: Versatzraten Messpunkt 28, 2001-2014.....	52
Abbildung 40: Versatzraten Messpunkt 30, 2001-2014.....	52
Abbildung 41: Versatzraten Messpunkt 1, 2001-2014	53
Abbildung 42: Versatzraten Messpunkt 5, 2001-2014	53
Abbildung 43: Versatzraten Messpunkt 40, 2001-2014.....	54
Abbildung 44: Versatzraten Messpunkt 41, 2001-2014.....	54
Abbildung 45: Versatzraten Messpunkt 43, 2001-2014.....	55
Abbildung 46: Versatzraten Messpunkt 39, 2001-2014.....	55
Abbildung 47: Versatzraten Messpunkt 45, 2001-2014.....	56
Abbildung 48: Versatzraten Messpunkt 46, 2001-2014.....	56
Abbildung 49: Versatzraten Messpunkt 47, 2001-2014.....	57
Abbildung 50: Bewegungsraten (m/a) Messpunkt 23, 2001-2014.....	58
Abbildung 51: Räumliche Bewegungsraten (m/a) Messpunkte 5 und 20, 2001-2014	58
Abbildung 52: Räumliche Bewegungsraten (m/a) Messpunkte 14 und 19, 2001-2014.....	59
Abbildung 53: Räumliche Bewegungsraten (m/a) Messpunkte 12 und 32, 2001-2014.....	59

Abbildung 54: Räumliche Bewegungsraten (m/a) Messpunkte 24 und 42, 2001-2014.....	60
Abbildung 55: Messpunkt 10 3D-Bewegung, 2001-2014	61
Abbildung 56: Messpunkt 12 3D-Bewegung, 2001-2014	61
Abbildung 57: Messpunkt 13 3D-Bewegung, 2001-2014	62
Abbildung 58: Messpunkt 20 3D-Bewegung, 2001- 2014	63
Abbildung 59: Messpunkt 2 3D-Bewegung, 2001-2014	64
Abbildung 60: Messpunkt 25 3D-Bewegung, 2001-2014	64
Abbildung 61: Messpunkt 32 3D-Bewegung, 2001-2014	65
Abbildung 62: Messpunkt 26 3D-Bewegung, 2001-2014	66
Abbildung 63: Messpunkt 31 3D-Bewegung, 2001-2014	66
Abbildung 64: Messpunkt 5 3D-Bewegung, 2001-2014	67
Abbildung 65: Messpunkt 40 3D-Bewegung, 2001-2014	68
Abbildung 66: Messpunkt 42 3D-Bewegung, 2001-2014	68
Abbildung 67 : Grafische Darstellung von Tabelle 1	71
Abbildung 68: Korrelation Bewegungsrate und Niederschläge Messpunkt 32, 2008-2014....	79
Abbildung 69: Bewegungsraten (m/a) Messpunkt 32.....	80
Abbildung 70: Korrelation Bewegungsrate und Niederschläge Messpunkt 32, 2001-2014....	80
Abbildung 71: Korrelation Bewegungsrate und Niederschläge Messpunkt 15, 2001-2014....	81
Abbildung 72: Korrelation r. Versatzraten und Niederschläge Messpunkt 10, 2001-2014....	81
Abbildung 73: Modifiziertes Niederschlagsdiagramm (Datenquelle ZAMG)	84
Abbildung 74: Modifiziertes Niederschlagsdiagramm (Datenquelle ZAMG)	85
Abbildung 75: Modifiziertes Niederschlagsdiagramm (Datenquelle ZAMG)	85
Abbildung 76: Modifiziertes Niederschlagsdiagramm (Datenquelle ZAMG)	86
Abbildung 77: Bewegungsraten (m/a) Messpunkt 33, 2001-2014.....	86
Abbildung 78: Starkregenereignis 2013, (https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/animation-regenmengen , 19.2.2016)	87
Abbildung 79: Bewegungsraten (m/a) Messpunkt 2; 2001-2014.....	88
Abbildung 80: Modifiziertes Niederschlagsdiagramm (Datenquelle ZAMG)	89
Abbildung 81: Versätze Messpunkte 26, 27, 28, 30, 31, Jul.- Okt. 2001	89
Abbildung 82: http://www.wetteronline.at/rueckblick?pcid=pc_rueckblick_data&gid=11136&pid=p_rueckblick_diagramm&sid=StationHistory&iid=11136&paraid=RR24&period=4&month=08&year=2001 , 19.02.2016	90

Abbildung 83: Niederschlagssummen (Mai- September) 2002-2014	91
Abbildung 84: Bewegungsraten (m/a) Messpunkt 13, 2001-2014.....	91
Abbildung 85: Niederschlagssummen (Okt.- April) 2001-2014.....	92
Abbildung 86: Vergleich Niederschlagssummen Mai.-Sep. und Okt.-Apr., 2001-2014	93
Abbildung 87: Maximale Schneedeckenhöhe (cm)	93
Abbildung 88: Bewegungsraten (m/a) Messpunkt 18, 2001-2014.....	94
Abbildung 89: Niederschlagssummen (Okt.- April) 2001-2014.....	95
Abbildung 90: Vergleich Monatssummen (2007/08-2011/2012)	95
Abbildung 91: Monatssummen April 2002-2014	96
Abbildung 92: Niederschlagssummen (Mai- September) 2002-2014	97
Abbildung 93: Vergleich Monatssummen (2010/11-2011/12).....	99
Abbildung 94: Vergleich Monatssummen (2006/07-2007/08).....	100
Abbildung 95: R. Versatz Punkte 21, 48, 49 Messung RATHOFER.....	100
Abbildung 96: Vergleich maximale Schneedecke	101
Abbildung 97: Monatssummen Okt. 2000 – Apr. 2001.....	102
Abbildung 98: Vergleich Monatssummen (2000/01-2007/08)	102
Abbildung 99: Bewegungsraten Messpunkt 21, 2001-2014	103
Abbildung	100:
http://www.wetteronline.at/wetterdaten/gerlos?pcid=pc_rueckblick_data&gid=11134&pid=p_rueckblick_diagram&sid=StationHistory&iid=11136&paraid=RR24&period=28&month=04&year=2015 19.02.2016	104
Abbildung	101:
http://www.wetteronline.at/wetterdaten/krimml?pcid=pc_rueckblick_data&gid=11136&pid=p_rueckblick_diagram&sid=StationHistory&iid=11136&paraid=TXLD&period=12&month=03&year=2015 19.02.2016	104
Abbildung	102:
http://www.wetteronline.at/wetterdaten/krimml?pcid=pc_rueckblick_data&gid=11136&pid=p_rueckblick_diagram&sid=StationHistory&iid=11136&paraid=RR24&period=4&month=04&year=2015 19.02.2016	105
Abbildung	103:
http://www.wetteronline.at/wetterdaten/krimml?pcid=pc_rueckblick_data&gid=11136&pid=p_rueckblick_diagram&sid=StationHistory&iid=11136&paraid=TXLD&period=4&month=04&year=2015 19.02.2016	106
Abbildung 104: Orthophoto KAUFMANN, (2015).....	107
Abbildung 105: Orthophoto KAUFMANN (2015).....	109

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Monatsniederschlagssummen der Jahre 2001-2014 (Datenquelle ZAMG)	70
Tabelle 2: Einseitige, Zweiseitige Hypothese, www.mathe2go.de 12.04.2016.....	76
Tabelle 3: Modifizierte Signifikanztabelle, Grenzwert r_α für $p(r >r_\alpha)=\alpha$ (modifiziert nach LIU, 2008).....	82
Tabelle 4: Korrelationskoeffizienten nach Pearson (grün) und Spearman (orange)	83
Tabelle 5: Korrelationskoeffizienten nach Pearson (grün) und Spearman (orange), Schneedecke in cm, Aprilniederschläge in mm.....	98

Abkürzungsverzeichnis

GNSS	Globales Navigationssatellitensystem
GPS	Global Positioning System
SEMP	Salzach-Ennstal-Mariazell-Puchberg Störung
WLV	Wildbach- und Lawienenverbauung
ZAMG	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

Anhang

Anhang 1: Microsoft Excel Tabellen der geodätischen Messpunkte.....	125
Anhang 2: Versatzraten (m) der geodätischen Messpunkte	130
Anhang 3: Bewegungsraten (m/a) der geodätischen Messpunkte	132
Anhang 4: Matlab 3D Plots	135
Anhang 6: Scatterplots	139
Anhang 6: P- Werttabelle	151
Anhang 7: Niederschlagsverteilungen.....	152

Anhang 1: Microsoft Excel Tabellen der geodätischen Messpunkte

Punkt 1				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,011	0,013	0,041	0,049
2002	0,038	0,040	0,038	0,041
2003	0,061	0,065	0,065	0,069
2004	0,037	0,044	0,036	0,043
2005	0,042	0,049	0,043	0,050
2006	0,048	0,050	0,046	0,048
2007	0,028	0,031	0,029	0,032
2008	0,045	0,051	0,044	0,050
2009	0,056	0,059	0,057	0,060
2010	0,042	0,045	0,044	0,046
2011	0,040	0,048	0,040	0,048
2012	0,059	0,110	0,057	0,107
2013	0,032	0,071	0,032	0,070
2014	0,072	0,113	0,075	0,118

Punkt 2				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,058	0,062	0,215	0,228
2002	0,480	0,520	0,489	0,529
2003	0,135	0,141	0,142	0,149
2004	0,399	0,433	0,394	0,427
2005	0,429	0,466	0,439	0,477
2006	0,735	0,788	0,704	0,755
2007	0,330	0,356	0,342	0,368
2008	1,355	1,461	1,316	1,420
2009	1,584	1,719	1,598	1,734
2010	0,562	0,615	0,579	0,633
2011	0,218	0,24	0,218	0,239
2012	1,505	1,638	1,458	1,587
2013	1,678	1,819	1,652	1,791
2014	0,983	1,065	1,026	1,112

Punkt 5				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,021	0,022	0,076	0,082
2002	0,050	0,066	0,051	0,067
2003	0,057	0,058	0,06	0,062
2004	0,047	0,066	0,046	0,065
2005	0,057	0,058	0,058	0,059
2006	0,054	0,064	0,052	0,062
2007	0,029	0,03	0,03	0,031
2008	0,052	0,073	0,05	0,071
2009	0,049	0,052	0,049	0,052
2010	0,047	0,053	0,049	0,055
2011	0,052	0,056	0,052	0,056
2012	0,045	0,047	0,044	0,046
2013	0,087	0,117	0,085	0,115
2014	0,064	0,066	0,066	0,069

Punkt 10				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,056	0,061	0,206	0,224
2002	0,161	0,176	0,164	0,179
2003	0,155	0,169	0,163	0,178
2004	0,197	0,214	0,194	0,211
2005	0,165	0,182	0,169	0,186
2006	0,216	0,230	0,207	0,22
2007	0,140	0,154	0,145	0,16
2008	0,197	0,212	0,192	0,206
2009	0,267	0,296	0,269	0,299
2010	0,172	0,184	0,177	0,19
2011	0,143	0,153	0,143	0,153
2012	0,328	0,361	0,318	0,349
2013	0,280	0,298	0,275	0,293
2014	0,238	0,245	0,248	0,255

Punkt 11				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,047	0,05	0,175	0,186
2002	0,120	0,139	0,122	0,142
2003	0,134	0,154	0,142	0,163
2004	0,153	0,172	0,153	0,172
2005	0,134	0,159	0,137	0,163
2006	0,160	0,176	0,153	0,169
2007	0,117	0,135	0,121	0,14
2008	0,149	0,17	0,145	0,165
2009	0,199	0,238	0,201	0,241
2010	0,141	0,154	0,145	0,158
2011	0,115	0,131	0,115	0,131
2012	0,249	0,272	0,241	0,263
2013	0,192	0,223	0,189	0,220
2014	0,253	0,276	0,264	0,288

Punkt 12				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,169	0,201	0,622	0,741
2002	0,529	0,649	0,538	0,661
2003	0,507	0,626	0,534	0,659
2004	0,742	0,937	0,732	0,925
2005	0,433	0,549	0,443	0,562
2006	0,862	1,116	0,827	1,07
2007	0,204	0,243	0,211	0,252
2008	0,757	0,984	0,736	0,956
2009	0,756	1	0,763	1,009
2010	0,292	0,366	0,301	0,377
2011	0,286	0,355	0,286	0,355
2012	0,622	0,754	0,603	0,731
2013	0,449	0,722	0,442	0,711
2014	0,372	0,374	0,388	0,391

Punkt 13				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,128	0,137	0,47	0,507
2002	0,471	0,515	0,479	0,524
2003	0,357	0,386	0,376	0,406
2004	0,705	0,77	0,696	0,76
2005	0,475	0,518	0,486	0,530
2006	0,913	0,993	0,875	0,952
2007	0,227	0,243	0,234	0,252
2008	1,142	1,253	1,109	1,217
2009	1,037	1,155	1,046	1,166
2010	0,379	0,405	0,39	0,416
2011	0,324	0,349	0,324	0,348
2012	1,121	1,225	1,086	1,187
2013	0,795	0,858	0,783	0,845
2014	0,413	0,48	0,431	0,501

Punkt 14				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,143	0,143	0,526	0,527
2002	0,477	0,544	0,485	0,554
2003	0,355	0,39	0,374	0,411
2004	0,742	0,814	0,732	0,804
2005	0,490	0,535	0,501	0,548
2006	0,922	1,013	0,884	0,972
2007	0,235	0,259	0,243	0,268
2008	1,162	1,28	1,128	1,243
2009	1,033	1,146	1,042	1,156
2010	0,374	0,417	0,385	0,429
2011	0,299	0,329	0,298	0,328
2012	1,132	1,234	1,097	1,196
2013	0,808	0,892	0,795	0,878
2014	0,371	0,424	0,387	0,442

Punkt 15				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,100	0,109	0,368	0,401
2002	0,428	0,487	0,436	0,496
2003	0,312	0,347	0,329	0,365
2004	0,639	0,72	0,631	0,711
2005	0,440	0,492	0,45	0,503
2006	0,814	0,909	0,78	0,871
2007	0,209	0,235	0,216	0,244
2008	1,075	1,202	1,044	1,168
2009	0,906	1,025	0,915	1,034
2010	0,320	0,361	0,329	0,372
2011	0,235	0,263	0,235	0,263
2012	1,007	1,122	0,979	1,087
2013	0,763	0,874	0,751	0,861
2014	0,301	0,349	0,314	0,364

Punkt 16				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,066	0,071	0,243	0,263
2002	0,365	0,416	0,372	0,424
2003	0,196	0,216	0,206	0,228
2004	0,490	0,56	0,484	0,553
2005	0,327	0,368	0,377	0,377
2006	0,576	0,650	0,552	0,623
2007	0,140	0,161	0,145	0,166
2008	1,104	1,314	1,073	1,276
2009	0,681	0,79	0,687	0,797
2010	0,216	0,24	0,222	0,247
2011	0,116	0,128	0,116	0,128
2012	1,378	1,677	1,335	1,624
2013	0,863	1,031	0,849	1,015
2014	0,267	0,273	0,267	0,285

Punkt 17				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,027	0,235	0,100	0,865
2002	0,329	0,364	0,334	0,370
2003	0,124	0,136	0,130	0,143
2004	0,406	0,462	0,401	0,456
2005	0,260	0,285	0,266	0,291
2006	0,440	0,483	0,422	0,463
2007	0,122	0,136	0,127	0,141
2008	1,130	1,279	1,098	1,243
2009	0,602	0,680	0,607	0,687
2010	0,149	0,170	0,154	0,170
2011	0,063	0,064	0,063	0,064
2012	1,422	1,588	1,378	1,588
2013	0,780	0,931	0,768	0,916
2014	0,181	0,196	0,189	0,204

Punkt 18				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,038	0,038	0,139	0,14
2002	0,295	0,321	0,3	0,327
2003	0,098	0,104	0,103	0,11
2004	0,344	0,373	0,339	0,368
2005	0,199	0,216	0,204	0,221
2006	0,380	0,411	0,364	0,394
2007	0,089	0,098	0,092	0,101
2008	0,996	1,11	0,967	1,078
2009	0,512	0,566	0,517	0,571
2010	0,126	0,138	0,13	0,142
2011	0,041	0,041	0,040	0,041
2012	1,213	1,375	1,175	1,332
2013	0,738	0,806	0,727	0,793
2014	0,133	0,149	0,139	0,155

Punkt 19				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,032	0,032	0,118	0,118
2002	0,230	0,256	0,234	0,261
2003	0,067	0,072	0,07	0,076
2004	0,247	0,273	0,244	0,27
2005	0,135	0,15	0,138	0,153
2006	0,289	0,315	0,277	0,302
2007	0,065	0,073	0,067	0,075
2008	0,818	0,924	0,794	0,897
2009	0,372	0,42	0,375	0,424
2010	0,086	0,092	0,088	0,095
2011	0,016	0,016	0,016	0,016
2012	1,003	1,131	0,972	1,095
2013	0,498	0,557	0,491	0,549
2014	0,132	0,149	0,138	0,156

Punkt 20				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,014	0,014	0,052	0,053
2002	0,200	0,216	0,204	0,22
2003	0,049	0,053	0,052	0,056
2004	0,203	0,221	0,201	0,218
2005	0,114	0,124	0,116	0,127
2006	0,244	0,261	0,234	0,25
2007	0,054	0,06	0,056	0,062
2008	0,766	0,824	0,744	0,800
2009	0,334	0,364	0,337	0,367
2010	0,065	0,07	0,067	0,072
2011	0,005	0,009	0,005	0,009
2012	0,933	1,006	0,904	0,975
2013	0,530	0,553	0,521	0,545
2014	0,061	0,105	0,064	0,064

Punkt 21				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,010	0,01	0,037	0,038
2002	0,214	0,233	0,218	0,237
2003	0,054	0,06	0,057	0,063
2004	0,223	0,242	0,201	0,218
2005	0,116	0,129	0,119	0,132
2006	0,255	0,277	0,245	0,266
2007	0,064	0,071	0,066	0,073
2008	0,849	0,914	0,825	0,888
2009	0,298	0,34	0,301	0,343
2010	0,070	0,078	0,072	0,08
2011	0,012	0,012	0,012	0,012
2012	0,936	1,039	0,907	1,006
2013	0,523	0,54	0,515	0,531
2014	0,106	0,184	0,111	0,192

Punkt 23				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,060	0,066	0,221	0,242
2002	0,347	0,382	0,353	0,388
2003	0,094	0,104	0,099	0,109
2004	0,267	0,366	0,263	0,336
2005	0,317	0,347	0,324	0,355
2006	0,681	0,737	0,653	0,706
2007	0,273	0,3	0,282	0,31
2008	1,409	1,551	1,368	1,507
2009	1,330	1,724	1,342	1,739
2010	0,361	0,516	0,361	0,516
2011	0,165	0,237	0,165	0,237
2012	1,240	1,751	1,201	1,696
2013	1,298	1,898	1,278	1,869
2014	0,623	0,919	0,65	0,919

Punkt 24				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,041	0,043	0,151	0,159
2002	0,271	0,288	0,275	0,293
2003	0,058	0,064	0,061	0,067
2004	0,207	0,215	0,205	0,212
2005	0,256	0,269	0,262	0,275
2006	0,539	0,561	0,516	0,537
2007	0,226	0,238	0,234	0,246
2008	1,092	1,143	1,06	1,111
2009	0,599	0,643	0,604	0,648
2010	0,069	0,073	0,071	0,075
2011	0,031	0,036	0,031	0,036
2012	0,430	0,452	0,417	0,438
2013	0,299	0,313	0,295	0,308
2014	0,017	0,03	0,018	0,031

Punkt 25				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,031	0,031	0,115	0,115
2002	0,252	0,274	0,257	0,279
2003	0,049	0,053	0,052	0,056
2004	0,192	0,205	0,189	0,202
2005	0,228	0,244	0,233	0,250
2006	0,488	0,522	0,468	0,5
2007	0,200	0,215	0,207	0,222
2008	0,938	1,002	0,911	0,973
2009	0,527	0,553	0,532	0,558
2010	0,030	0,067	0,031	0,069
2011	0,018	0,019	0,018	0,019
2012	0,398	0,418	0,385	0,405
2013	0,200	0,217	0,197	0,214
2014	0,046	0,067	0,048	0,069

Punkt 26				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,005	0,079	0,018	0,292
2002	0,063	0,065	0,065	0,066
2003	0,020	0,024	0,021	0,025
2004	0,034	0,037	0,033	0,036
2005	0,031	0,032	0,032	0,033
2006	0,044	0,044	0,042	0,042
2007	0,028	0,03	0,028	0,031
2008	0,076	0,078	0,074	0,076
2009	0,040	0,046	0,041	0,046
2010	0,027	0,028	0,027	0,028
2011	0,027	0,031	0,027	0,031
2012	0,045	0,046	0,043	0,044
2013	0,094	0,095	0,093	0,093
2014	0,035	0,098	0,037	0,102

Punkt 27				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,025	0,091	0,092	0,334
2002	0,078	0,087	0,08	0,089
2003	0,036	0,045	0,038	0,047
2004	0,051	0,052	0,05	0,051
2005	0,061	0,103	0,062	0,105
2006	0,075	0,083	0,072	0,079
2007	0,035	0,045	0,036	0,047
2008	0,137	0,166	0,133	0,161
2009	0,067	0,09	0,067	0,090
2010	0,046	0,053	0,047	0,055
2011	0,038	0,049	0,038	0,049
2012	0,073	0,086	0,071	0,083
2013	0,087	0,116	0,086	0,114
2014	0,071	0,13	0,074	0,136

Punkt 28				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,023	0,077	0,084	0,286
2002	0,089	0,102	0,09	0,103
2003	0,012	0,03	0,013	0,031
2004	0,052	0,064	0,052	0,063
2005	0,065	0,074	0,066	0,076
2006	0,082	0,092	0,078	0,088
2007	0,035	0,045	0,036	0,047
2008	0,169	0,198	0,164	0,192
2009	0,070	0,091	0,071	0,091
2010	0,042	0,051	0,043	0,051
2011	0,037	0,048	0,037	0,048
2012	0,133	0,143	0,129	0,139
2013	0,108	0,133	0,107	0,131
2014	0,016	0,061	0,017	0,064

Punkt 30				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,025	0,065	0,093	0,24
2002	0,097	0,104	0,099	0,105
2003	0,050	0,065	0,053	0,068
2004	0,077	0,081	0,076	0,08
2005	0,079	0,095	0,081	0,097
2006	0,106	0,116	0,101	0,111
2007	0,043	0,051	0,044	0,053
2008	0,209	0,231	0,203	0,225
2009	0,094	0,115	0,095	0,116
2010	0,055	0,062	0,057	0,063
2011	0,055	0,063	0,054	0,063
2012	0,144	0,160	0,14	0,155
2013	0,087	0,111	0,085	0,110
2014	0,099	0,117	0,103	0,122

Punkt 31				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,051	0,060	0,188	0,222
2002	0,291	0,339	0,296	0,345
2003	0,062	0,074	0,065	0,078
2004	0,221	0,243	0,218	0,240
2005	0,281	0,319	0,287	0,327
2006	0,535	0,597	0,513	0,573
2007	0,239	0,272	0,247	0,281
2008	1,090	1,233	1,058	1,198
2009	0,553	0,622	0,558	0,627
2010	0,060	0,084	0,062	0,087
2011	0,033	0,039	0,033	0,039
2012	0,422	0,485	0,408	0,470
2013	0,254	0,296	0,250	0,292
2014	0,068	0,068	0,070	0,071

Punkt 32				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,069	0,085	0,253	0,313
2002	0,369	0,435	0,376	0,443
2003	0,090	0,118	0,095	0,124
2004	0,288	0,336	0,284	0,332
2005	0,328	0,386	0,336	0,395
2006	0,703	0,833	0,674	0,799
2007	0,297	0,353	0,308	0,366
2008	1,448	1,726	1,407	1,677
2009	1,267	1,654	1,279	1,669
2010	0,427	0,590	0,439	0,607
2011	0,207	0,268	0,206	0,268
2012	1,754	2,276	1,700	2,205
2013	2,174	2,863	2,141	2,818
2014	1,107	1,513	1,156	1,579

Punkt 33				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,040	0,043	0,149	0,16
2002	0,303	0,332	0,309	0,338
2003	0,071	0,088	0,074	0,093
2004	0,239	0,268	0,236	0,265
2005	0,282	0,311	0,289	0,318
2006	0,612	0,657	0,587	0,63
2007	0,266	0,289	0,275	0,299
2008	1,316	1,413	1,278	1,373
2009	1,012	1,124	1,021	1,134
2010	0,331	0,377	0,34	0,387
2011	0,263	0,277	0,263	0,277
2012	1,680	1,883	1,628	1,825
2013	1,898	2,172	1,869	2,138
2014	1,006	1,141	1,05	1,191

Punkt 34				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,063	0,065	0,230	0,241
2002	0,501	0,552	0,51	0,562
2003	0,118	0,136	0,125	0,143
2004	0,408	0,448	0,406	0,448
2005	0,440	0,486	0,45	0,486
2006	0,795	0,851	0,762	0,815
2007	0,352	0,38	0,364	0,393
2008	1,514	1,601	1,471	1,555
2009	1,605	1,760	1,62	1,776
2010	0,569	0,624	0,585	0,642
2011	0,221	0,238	0,220	0,238
2012	1,712	1,823	1,658	1,766
2013	1,928	2,041	1,898	2,009
2014	0,995	1,072	1,038	1,119

Punkt 35				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,063	0,065	0,232	0,241
2002	0,500	0,556	0,509	0,566
2003	0,118	0,141	0,124	0,149
2004	0,411	0,453	0,406	0,448
2005	0,433	0,481	0,443	0,492
2006	0,762	0,853	0,731	0,818
2007	0,338	0,370	0,350	0,382
2008	1,381	1,532	1,342	1,489
2009	1,552	1,726	1,565	1,741
2010	0,547	0,616	0,563	0,633
2011	0,201	0,222	0,200	0,222
2012	1,507	1,688	1,460	1,636
2013	1,714	1,881	1,687	1,852
2014	0,902	0,995	0,941	1,038

Punkt 36				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,070	0,072	0,257	0,265
2002	0,504	0,530	0,513	0,540
2003	0,120	0,128	0,126	0,135
2004	0,433	0,454	0,427	0,448
2005	0,442	0,467	0,452	0,477
2006	0,767	0,803	0,735	0,769
2007	0,344	0,362	0,356	0,374
2008	1,412	1,481	1,372	1,439
2009	1,625	1,713	1,64	1,729
2010	0,594	0,624	0,611	0,642
2011	0,211	0,222	0,211	0,222
2012	1,586	1,680	1,537	1,628
2013	1,767	1,828	1,74	1,800
2014	0,971	1,057	1,014	1,103

Punkt 39				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,036	0,070	0,134	0,259
2002	0,120	0,137	0,122	0,140
2003	0,129	0,154	0,136	0,162
2004	0,075	0,086	0,075	0,085
2005	0,081	0,103	0,083	0,105
2006	0,098	0,116	0,094	0,111
2007	0,064	0,071	0,066	0,073
2008	0,111	0,132	0,108	0,129
2009	0,112	0,140	0,113	0,142
2010	0,121	0,149	0,125	0,154
2011	0,086	0,103	0,086	0,103
2012	0,125	0,176	0,121	0,170
2013	0,117	0,147	0,116	0,144
2014	0,072	0,163	0,075	0,170

Punkt 40				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,232	0,253	0,857	0,933
2002	0,679	0,733	0,690	0,746
2003	0,569	0,617	0,599	0,650
2004	0,199	0,215	0,197	0,212
2005	0,315	0,342	0,322	0,350
2006	0,438	0,470	0,420	0,450
2007	0,280	0,301	0,289	0,311
2008	0,681	0,729	0,661	0,708
2009	1,065	1,140	1,075	1,150
2010	0,966	1,040	0,994	1,070
2011	0,281	0,306	0,281	0,306
2012	0,407	0,445	0,394	0,431
2013	0,818	0,851	0,805	0,838
2014	1,019	1,075	1,063	1,122

Punkt 41				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,226	0,246	0,835	0,906
2002	0,632	0,702	0,643	0,715
2003	0,524	0,579	0,551	0,61
2004	0,185	0,203	0,183	0,2
2005	0,264	0,283	0,27	0,289
2006	0,394	0,451	0,378	0,432
2007	0,248	0,275	0,257	0,284
2008	0,461	0,526	0,448	0,511
2009	0,681	0,824	0,687	0,832
2010	1,083	1,464	1,114	1,507
2011	0,332	0,453	0,331	0,452
2012	0,306	0,380	0,296	0,368
2013	0,224	0,314	0,22	0,310
2014	0,183	0,187	0,19	0,195

Punkt 42				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,208	0,221	0,767	0,814
2002	0,578	0,619	0,588	0,630
2003	0,501	0,532	0,527	0,560
2004	0,153	0,168	0,151	0,166
2005	0,226	0,227	0,231	0,233
2006	0,346	0,388	0,332	0,372
2007	0,214	0,219	0,221	0,226
2008	0,378	0,417	0,367	0,405
2009	0,466	0,487	0,470	0,491
2010	0,434	0,472	0,446	0,485
2011	0,19	0,200	0,189	0,200
2012	0,199	0,218	0,192	0,211
2013	0,119	0,120	0,117	0,118
2014	0,136	0,158	0,142	0,165

Punkt 43				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,215	0,228	0,792	0,842
2002	0,624	0,666	0,635	0,677
2003	0,546	0,582	0,527	0,560
2004	0,179	0,188	0,177	0,186
2005	0,247	0,263	0,253	0,269
2006	0,358	0,380	0,343	0,364
2007	0,221	0,233	0,228	0,241
2008	0,436	0,463	0,424	0,450
2009	0,461	0,492	0,465	0,496
2010	0,456	0,484	0,469	0,498
2011	0,166	0,174	0,166	0,173
2012	0,251	0,260	0,244	0,252
2013	0,095	0,100	0,094	0,098
2014	0,129	0,130	0,134	0,135

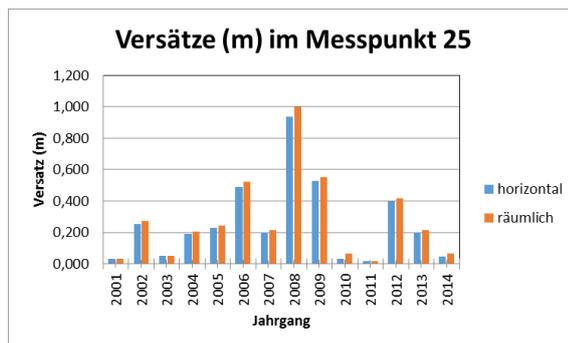
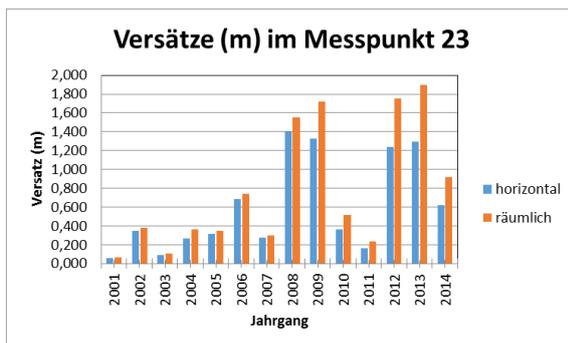
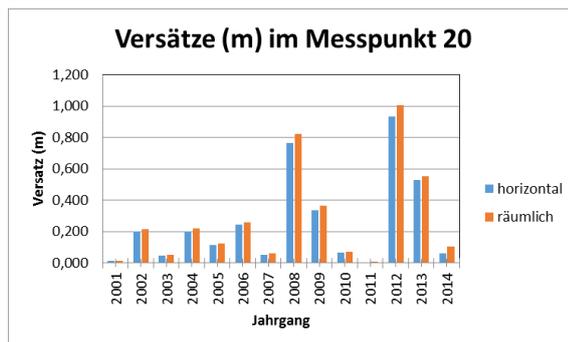
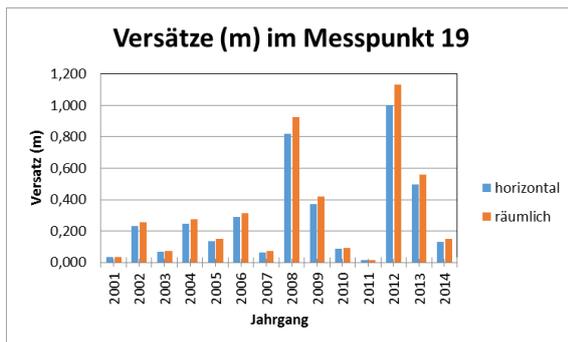
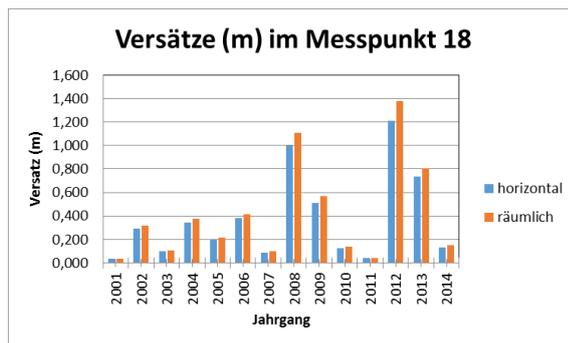
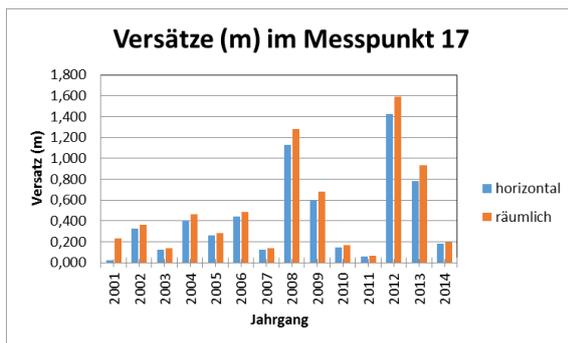
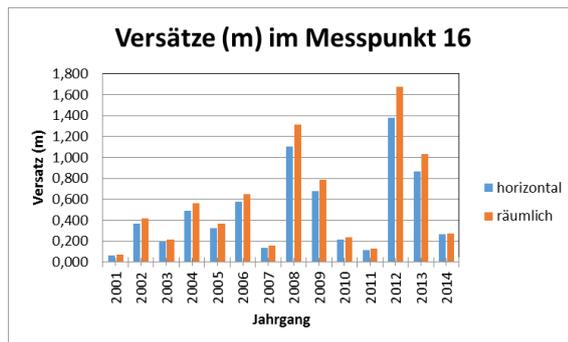
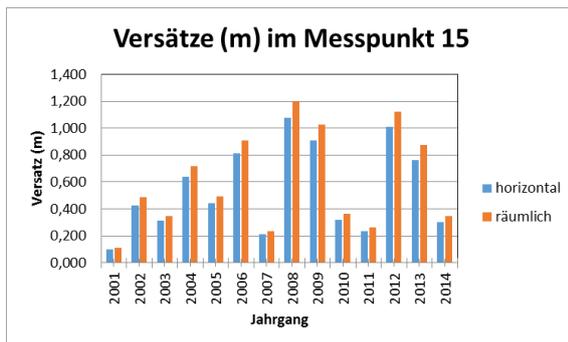
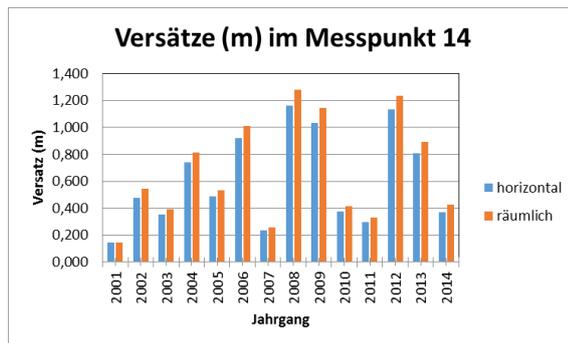
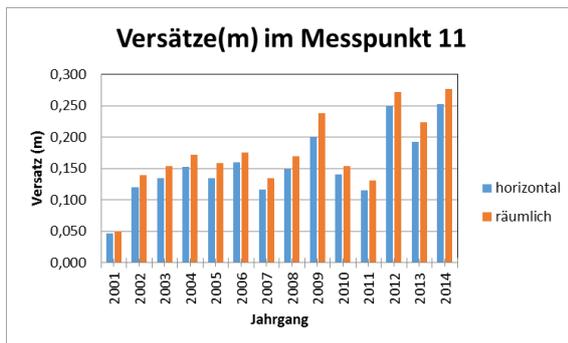
Punkt 44				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,213	0,229	0,787	0,844
2002	0,605	0,652	0,615	0,663
2003	0,512	0,555	0,539	0,584
2004	0,185	0,189	0,183	0,187
2005	0,231	0,237	0,237	0,243
2006	0,324	0,362	0,311	0,347
2007	0,256	0,263	0,265	0,272
2008	0,422	0,462	0,410	0,422
2009	0,429	0,456	0,432	0,460
2010	0,460	0,500	0,473	0,515
2011	0,166	0,175	0,166	0,175
2012	0,229	0,234	0,222	0,227
2013	0,160	0,163	0,157	0,160
2014	0,062	0,107	0,065	0,111

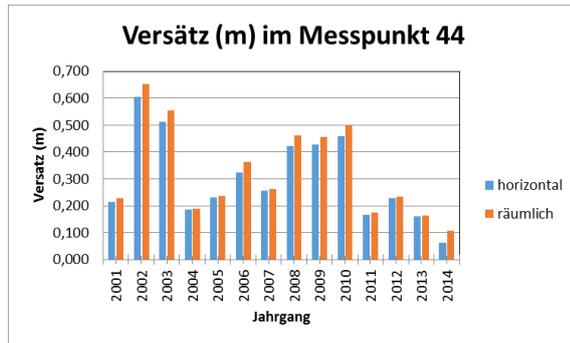
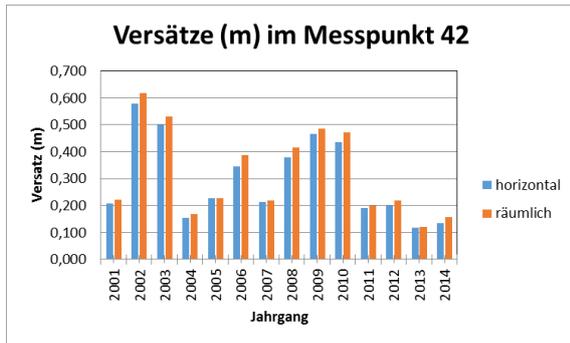
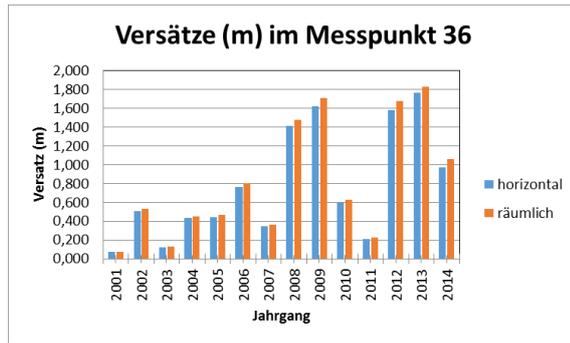
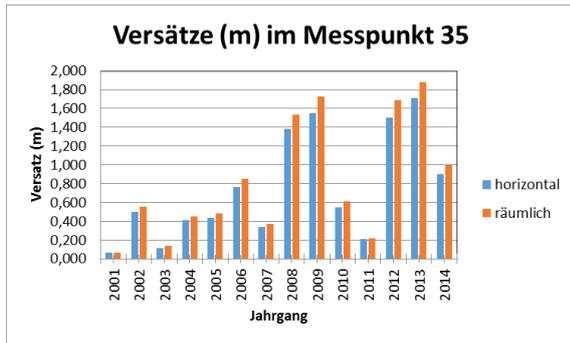
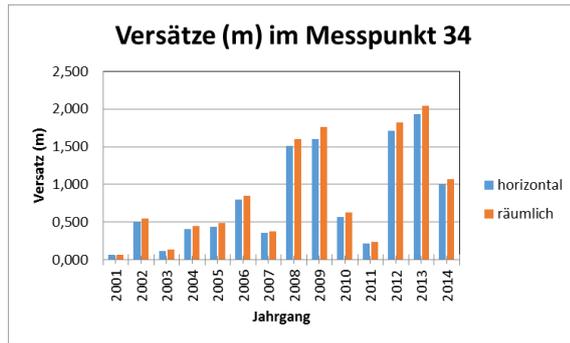
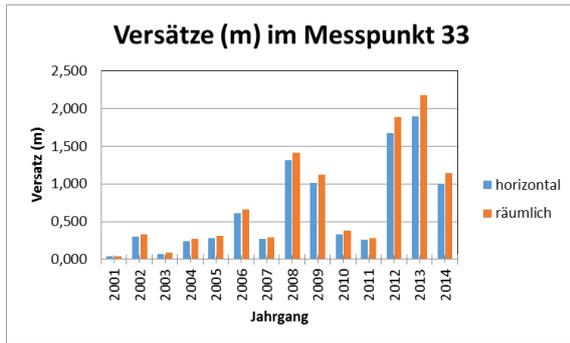
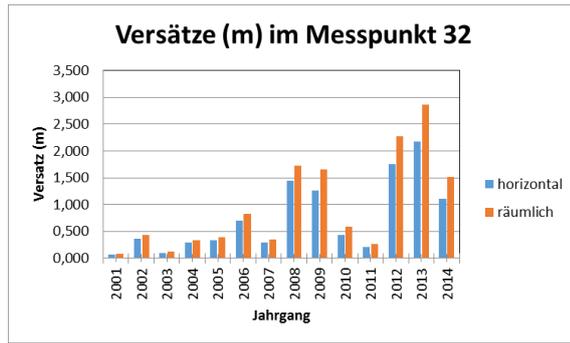
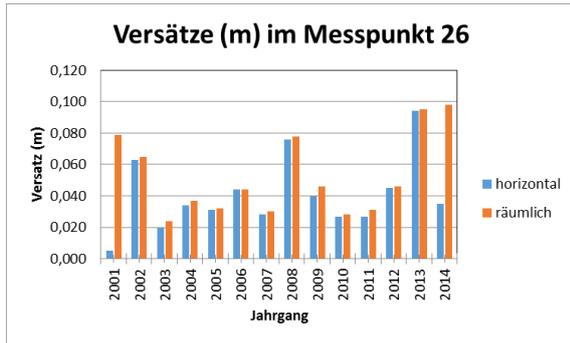
Punkt 45				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,046	0,055	0,169	0,204
2002	0,103	0,133	0,105	0,136
2003	0,108	0,139	0,114	0,147
2004	0,072	0,088	0,071	0,087
2005	0,073	0,086	0,075	0,088
2006	0,098	0,129	0,094	0,124
2007	0,052	0,059	0,054	0,061
2008	0,089	0,121	0,089	0,121
2009	0,097	0,120	0,097	0,120
2010	0,100	0,126	0,103	0,130
2011	0,078	0,096	0,078	0,096
2012	0,106	0,177	0,106	0,177
2013	0,116	0,133	0,114	0,131
2014	0,090	0,126	0,094	0,131

Punkt 46				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,062	0,064	0,230	0,237
2002	0,142	0,160	0,145	0,163
2003	0,156	0,172	0,165	0,181
2004	0,109	0,117	0,107	0,116
2005	0,090	0,099	0,092	0,102
2006	0,114	0,135	0,109	0,130
2007	0,070	0,075	0,073	0,078
2008	0,135	0,151	0,131	0,146
2009	0,115	0,130	0,116	0,131
2010	0,119	0,134	0,123	0,138
2011	0,108	0,117	0,107	0,116
2012	0,125	0,146	0,121	0,141
2013	0,139	0,139	0,131	0,137
2014	0,071	0,106	0,074	0,111

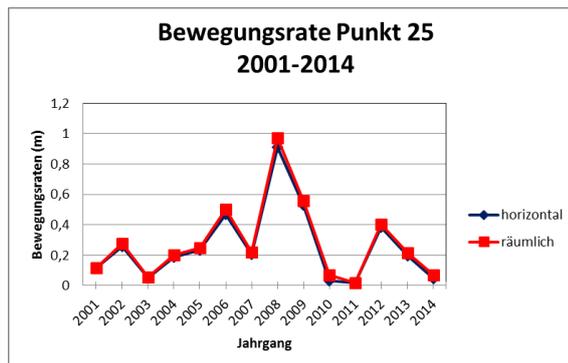
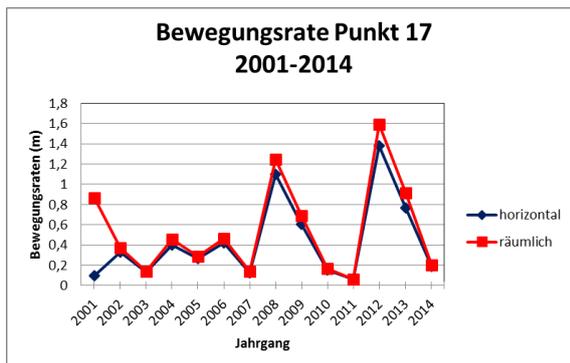
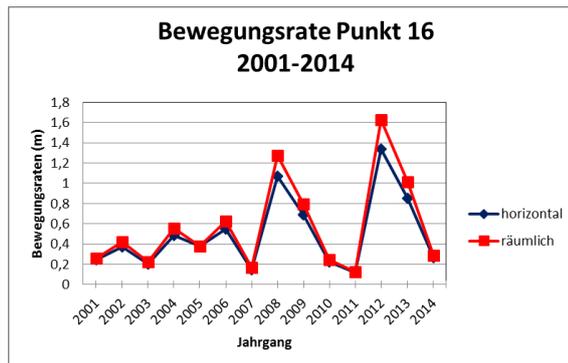
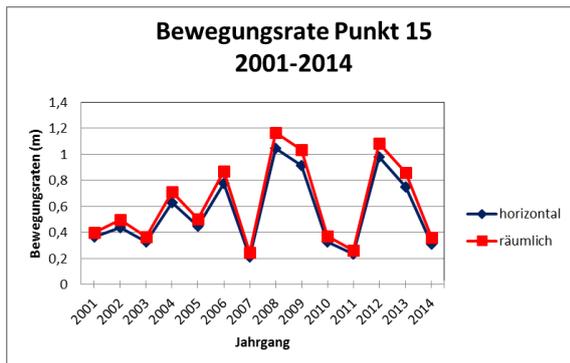
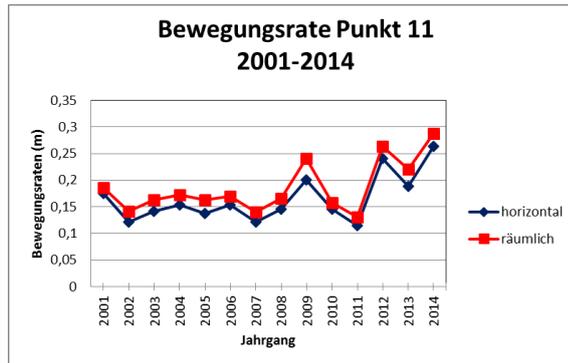
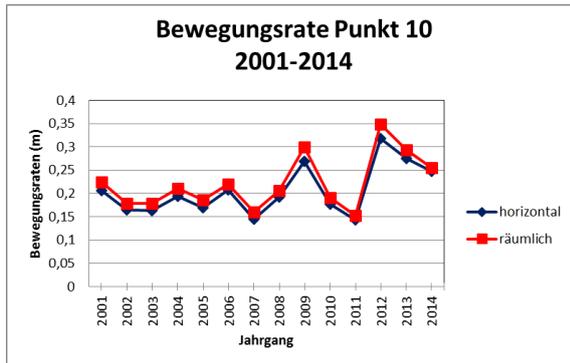
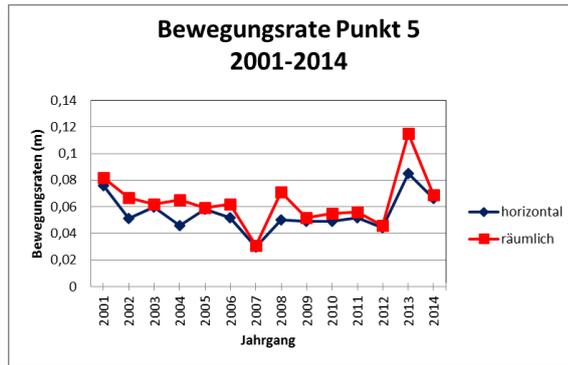
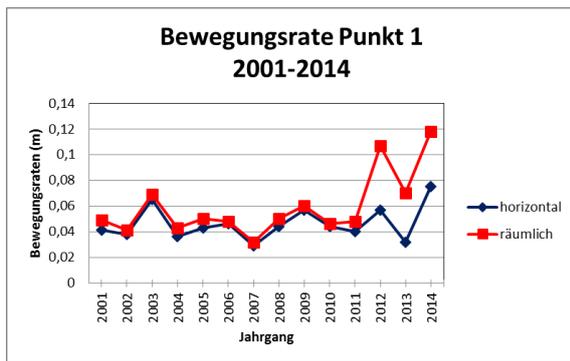
Punkt 47				
Messperiode	h/m	r/m	h/m/a	r/m/a
2001/Nullm.	0,033	0,033	0,121	0,122
2002	0,054	0,060	0,055	0,061
2003	0,071	0,076	0,075	0,080
2004	0,061	0,064	0,060	0,063
2005	0,047	0,051	0,048	0,052
2006	0,045	0,045	0,043	0,043
2007	0,070	0,076	0,073	0,079
2008	0,074	0,082	0,072	0,080
2009	0,052	0,056	0,052	0,057
2010	0,048	0,054	0,049	0,055
2011	0,083	0,086	0,083	0,086
2012	0,066	0,066	0,064	0,064
2013	0,081	0,082	0,081	0,081
2014	0,055	0,056	0,057	0,059

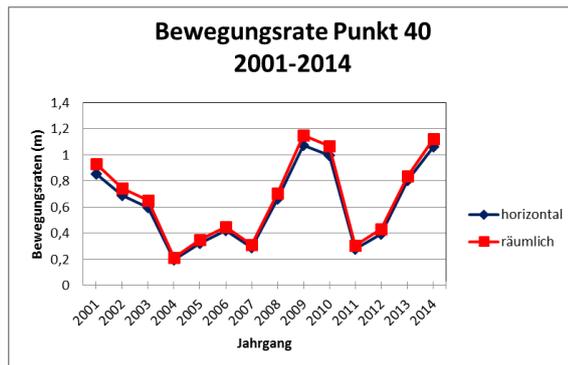
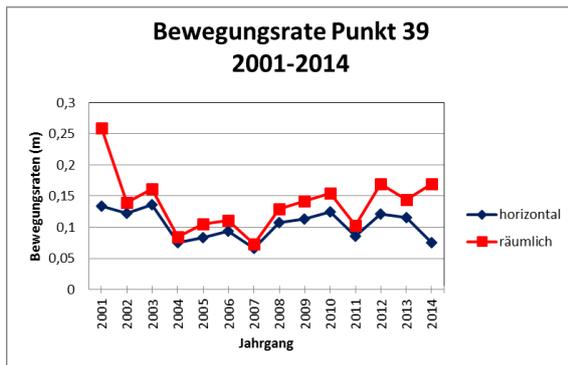
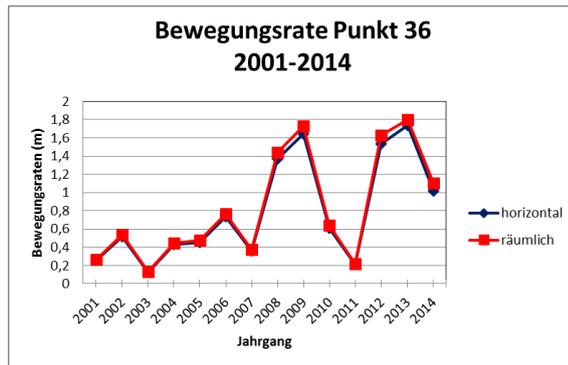
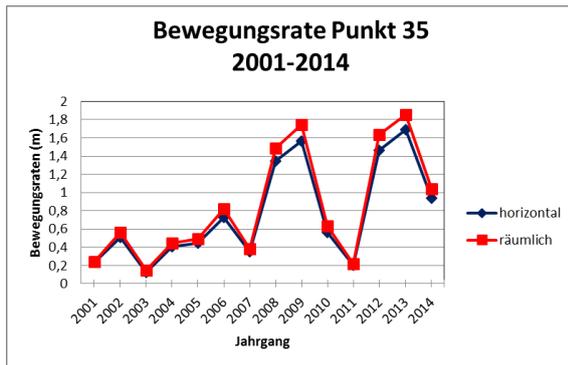
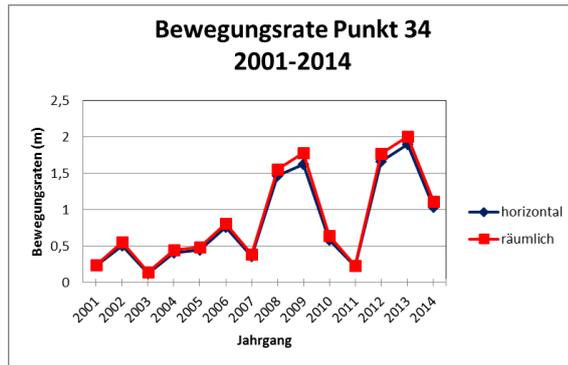
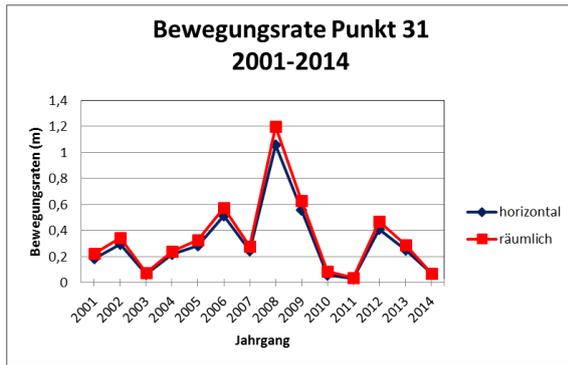
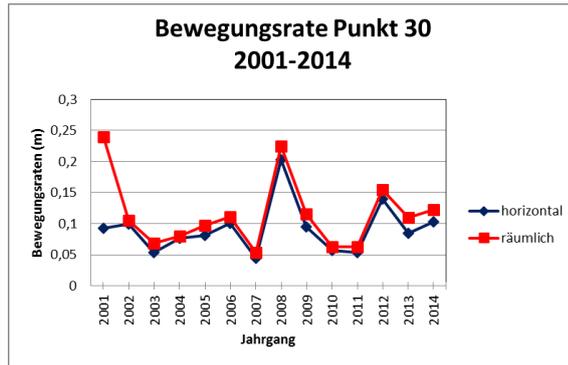
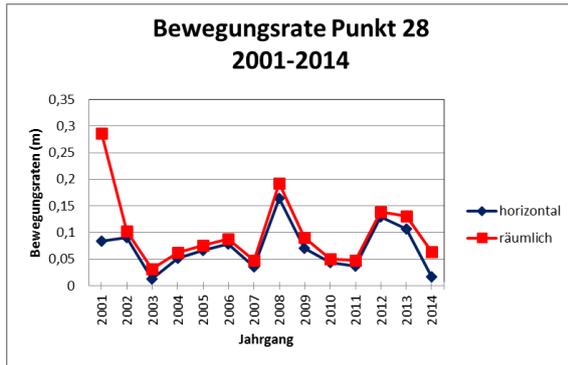
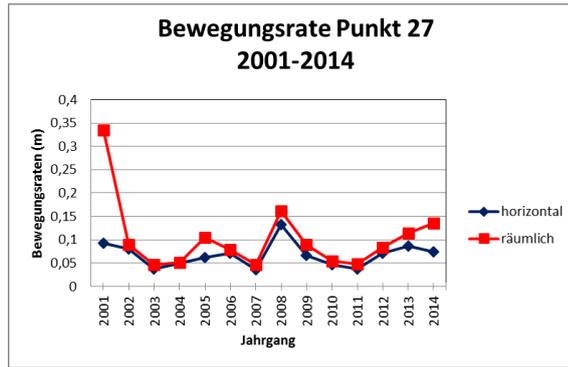
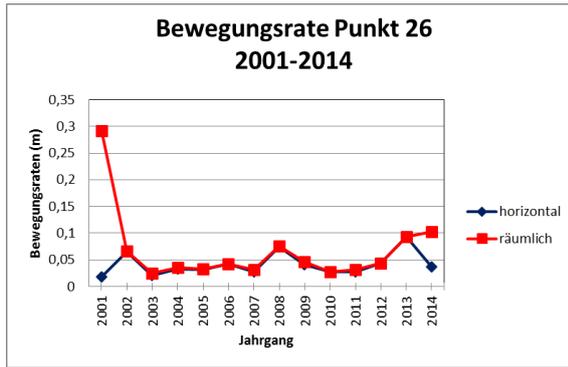
Anhang 2: Versatzraten (m) der geodätischen Messpunkte

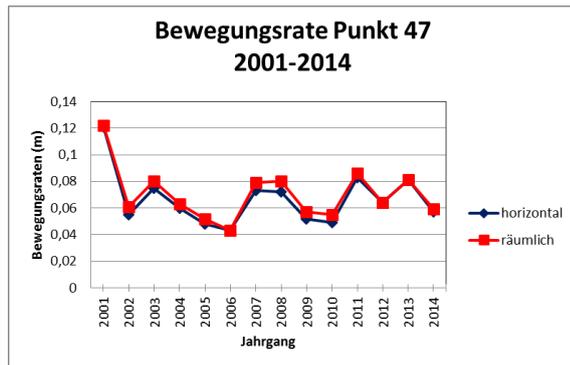
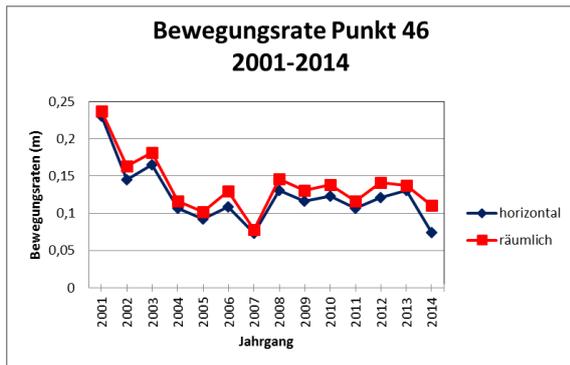
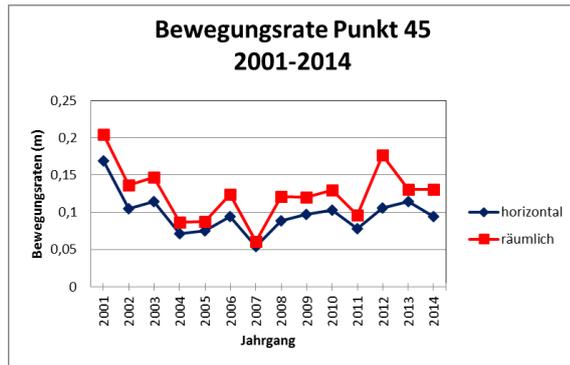
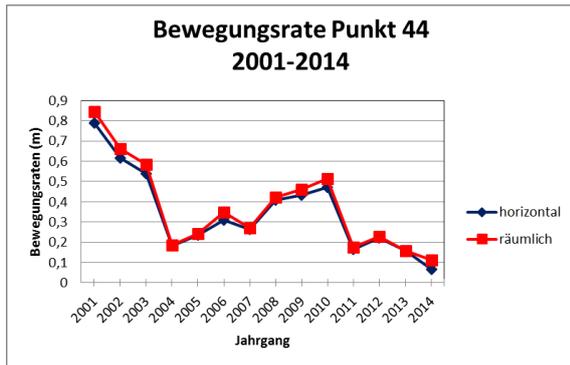
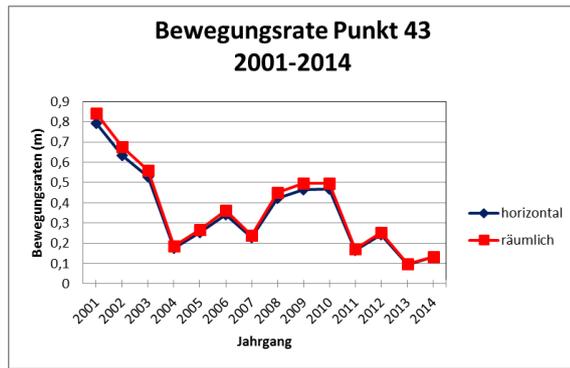
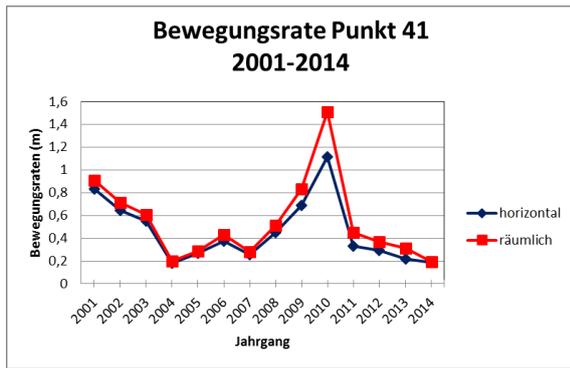




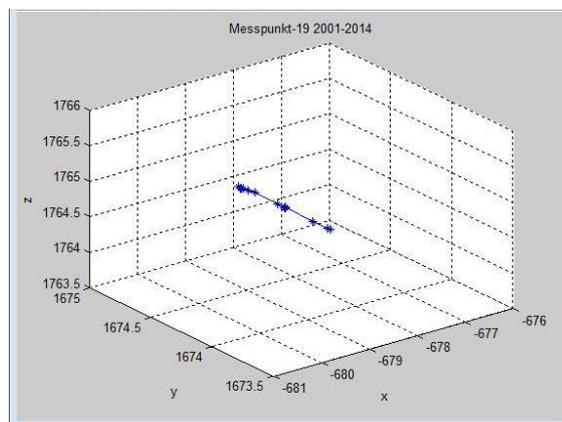
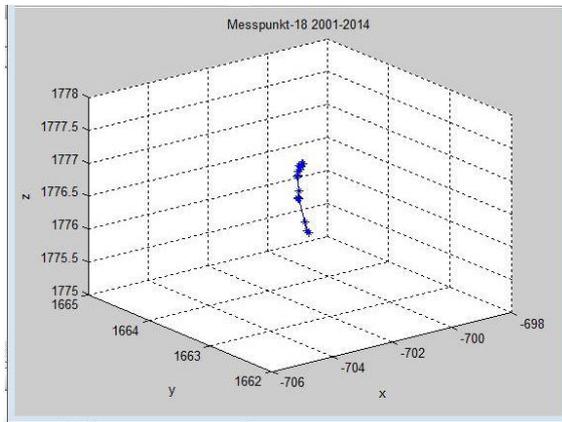
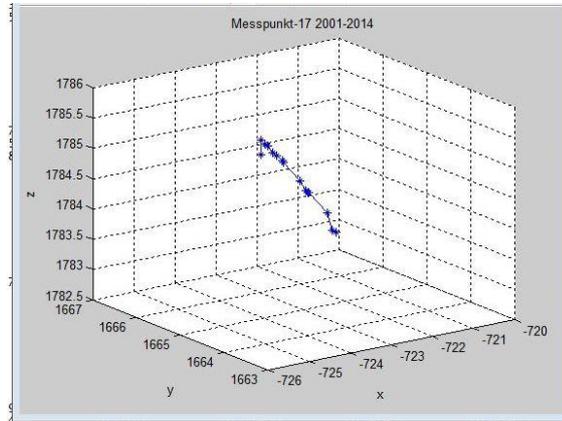
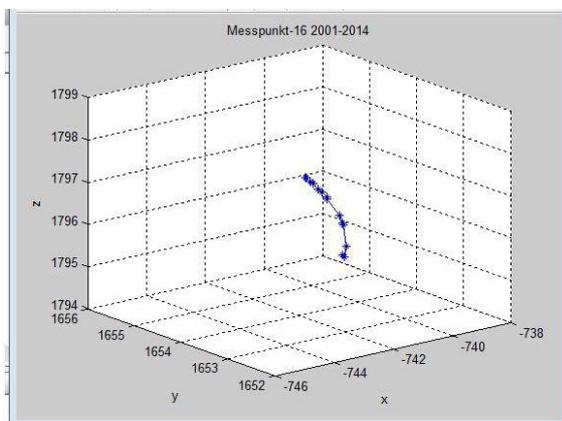
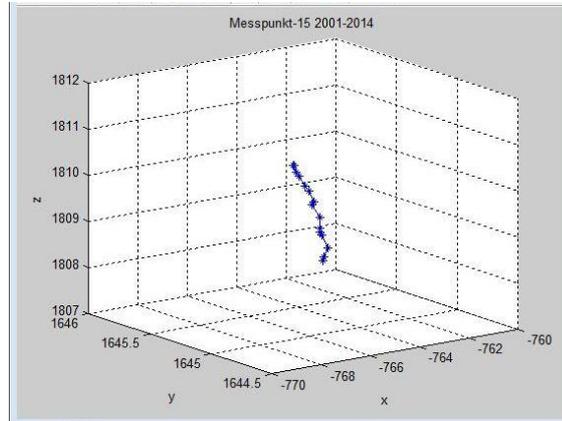
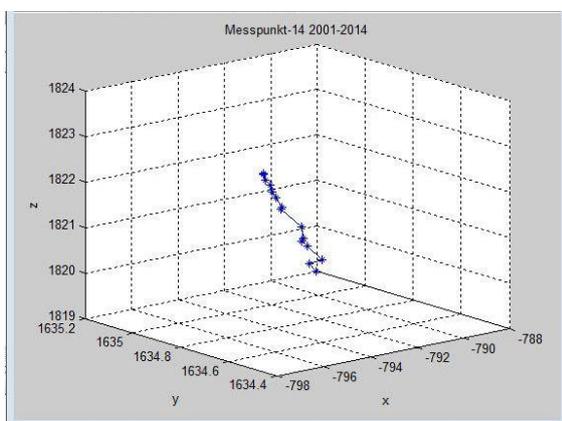
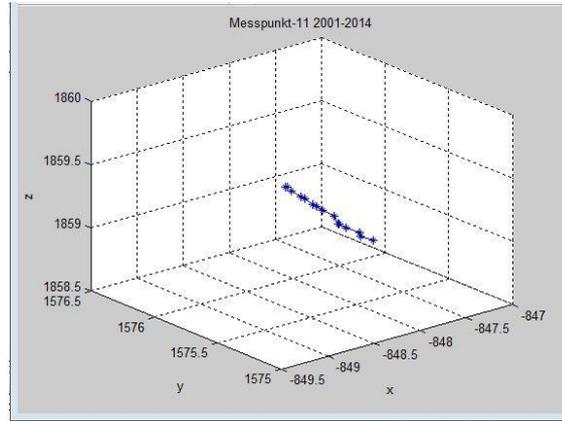
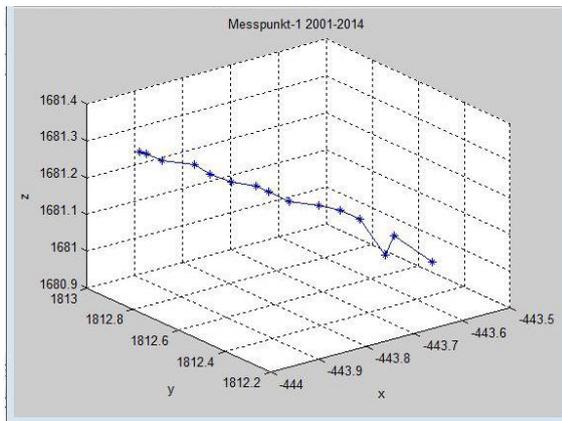
Anhang 3: Bewegungsraten (m/a) der geodätischen Messpunkte

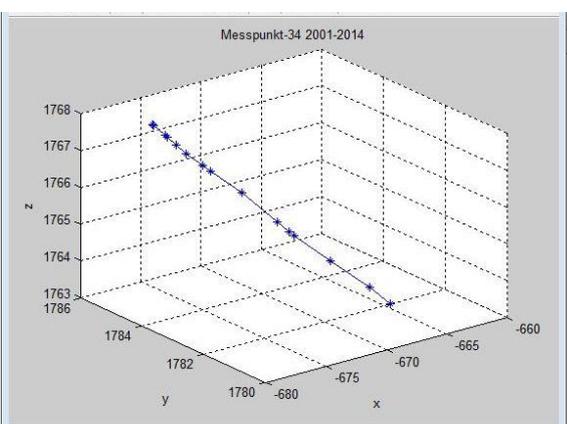
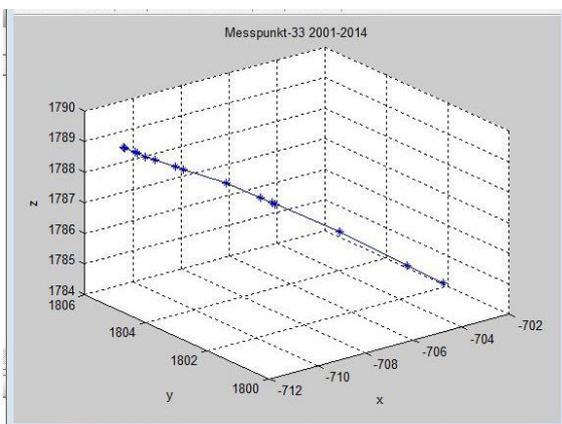
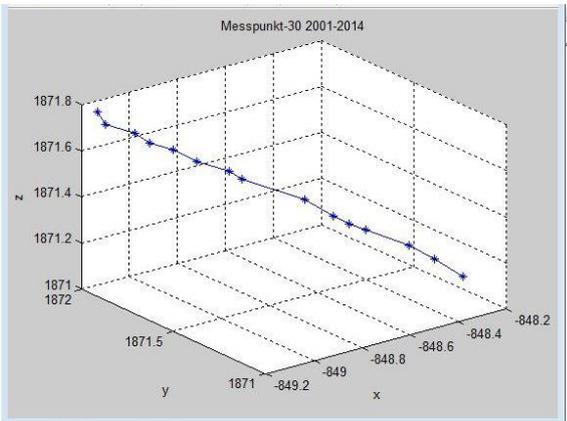
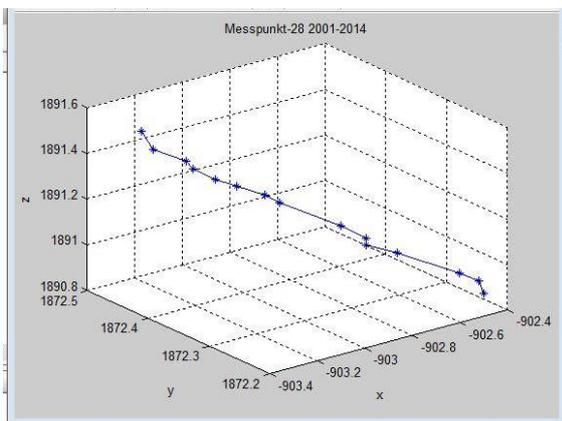
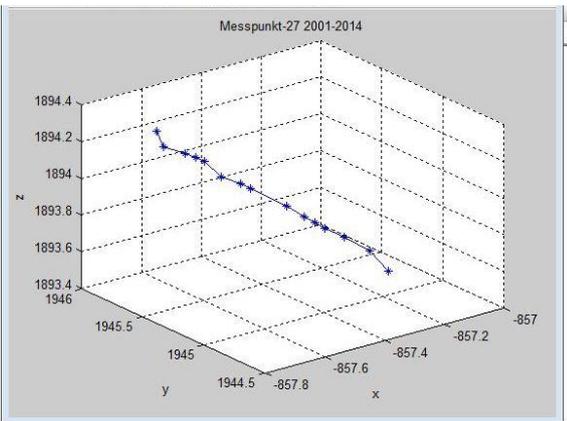
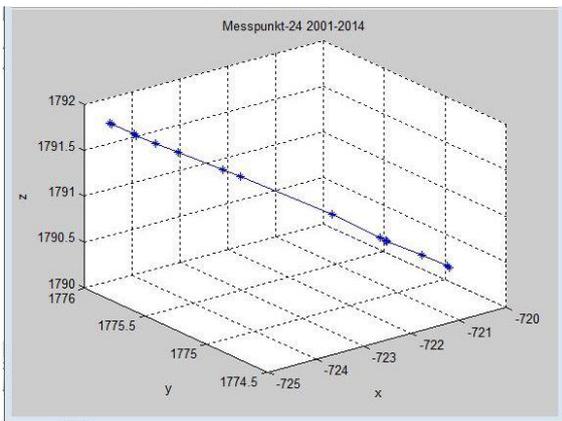
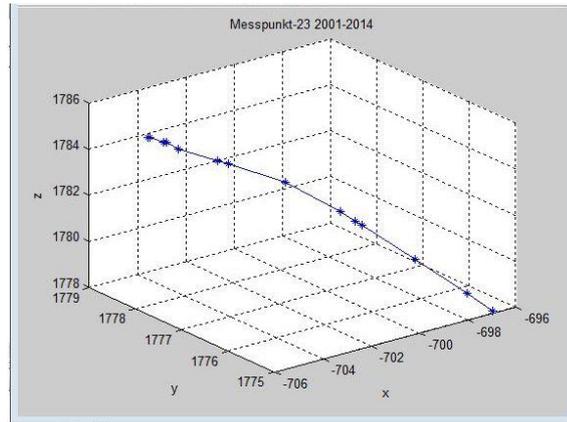
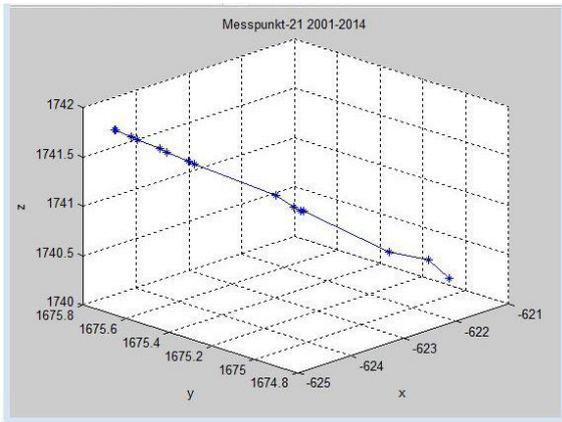


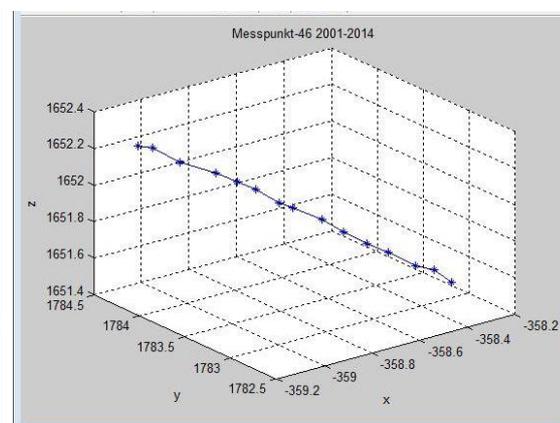
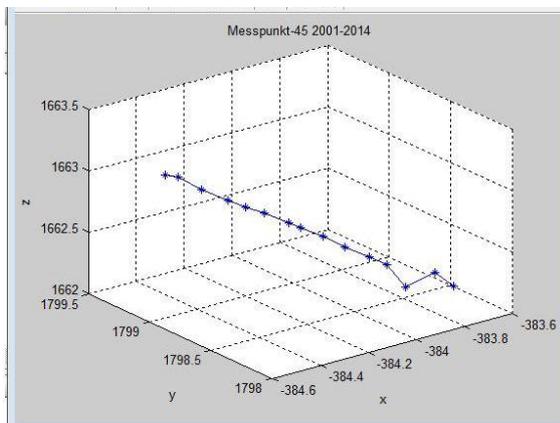
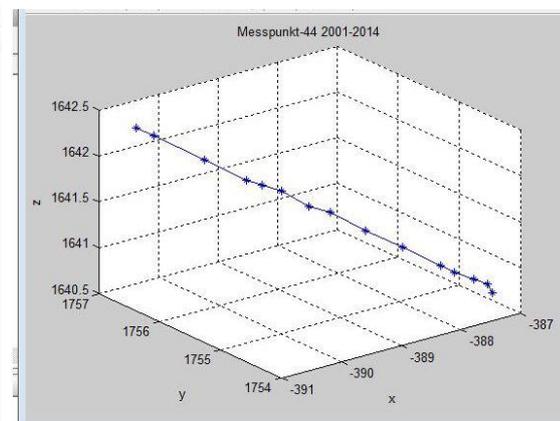
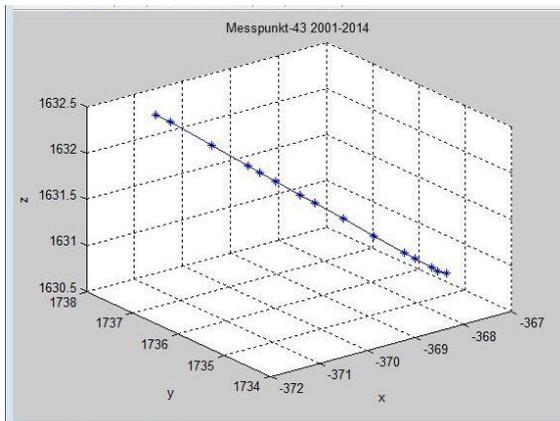
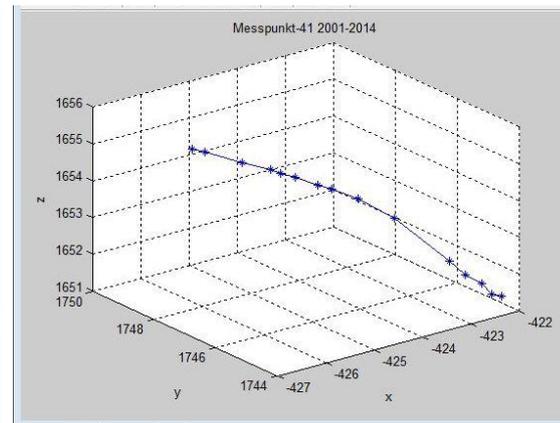
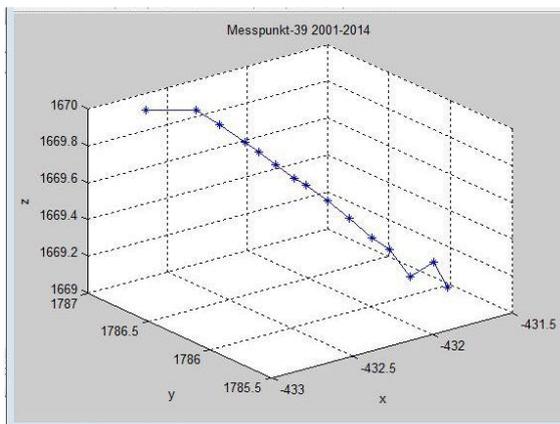
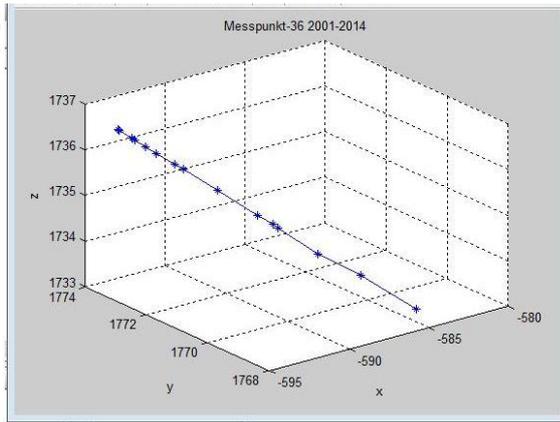
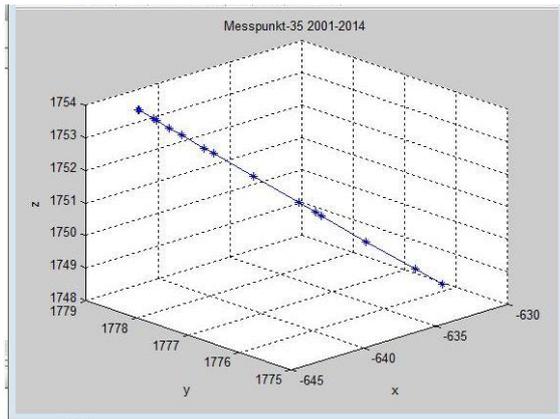


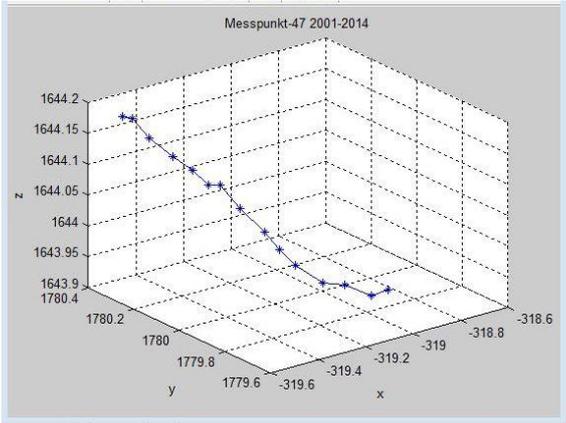


Anhang 4: Matlab 3D Plots

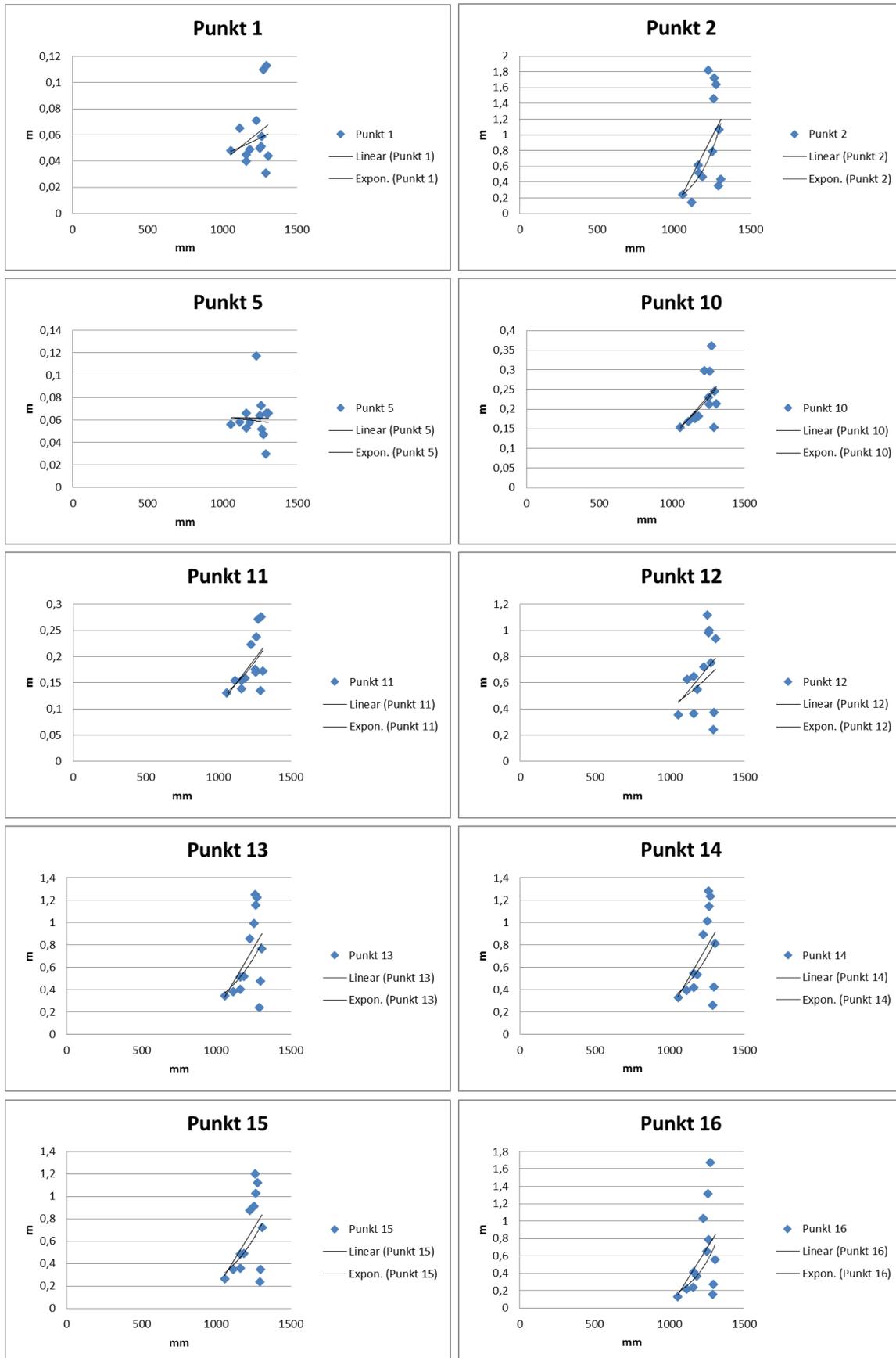


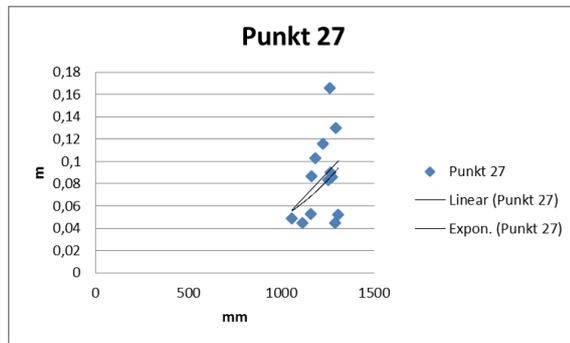
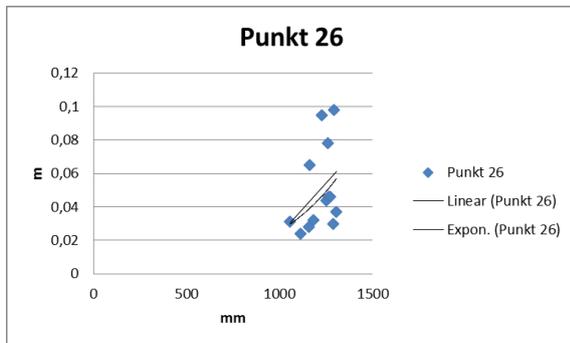
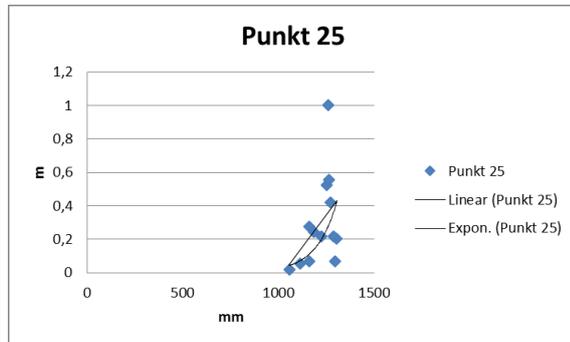
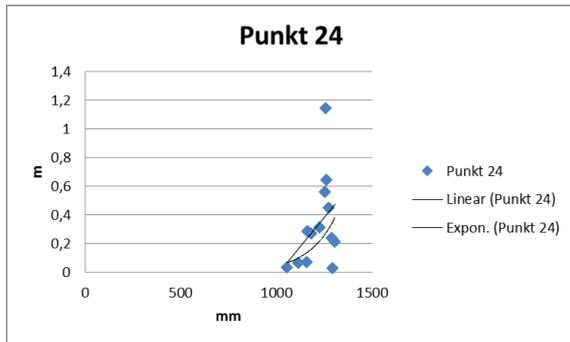
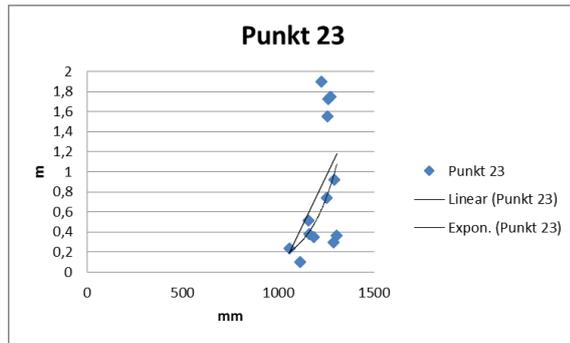
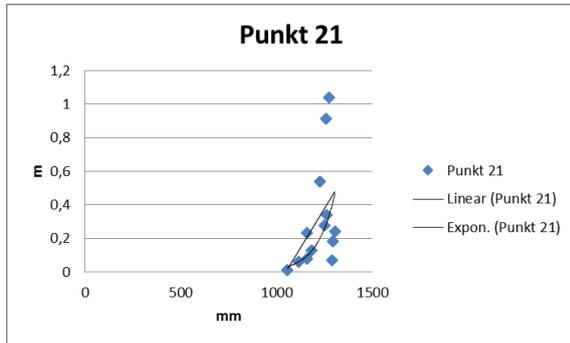
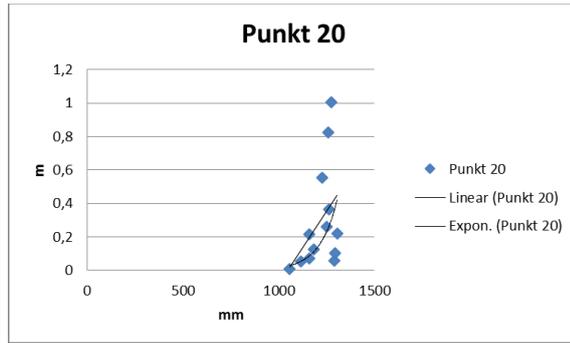
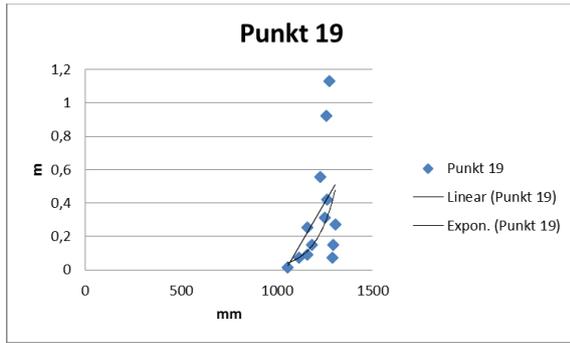
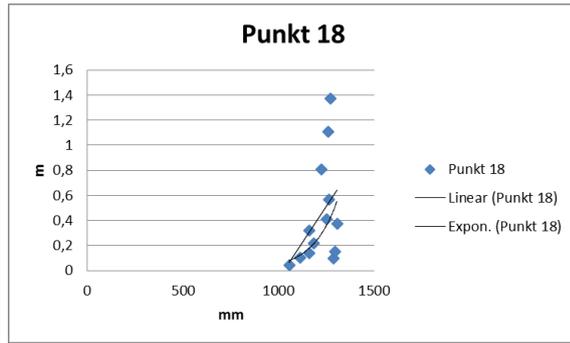
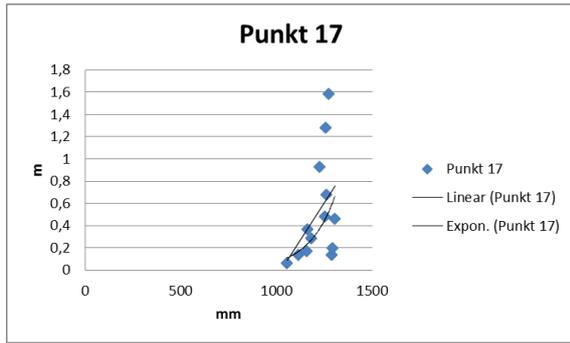


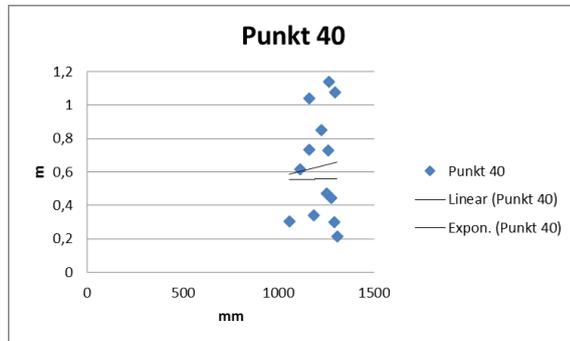
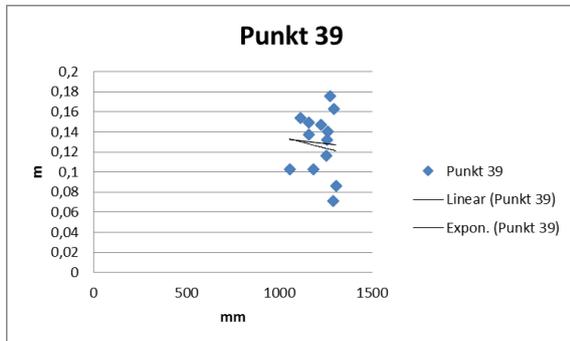
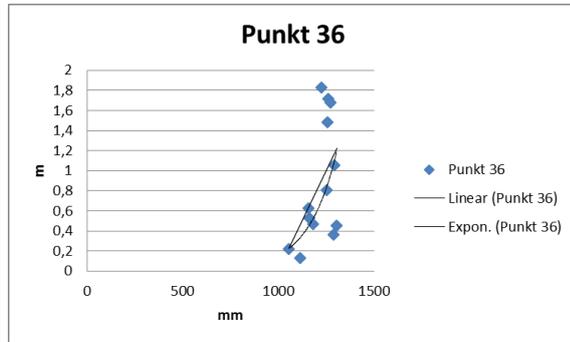
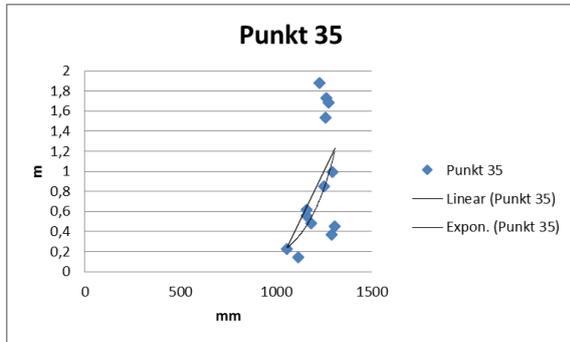
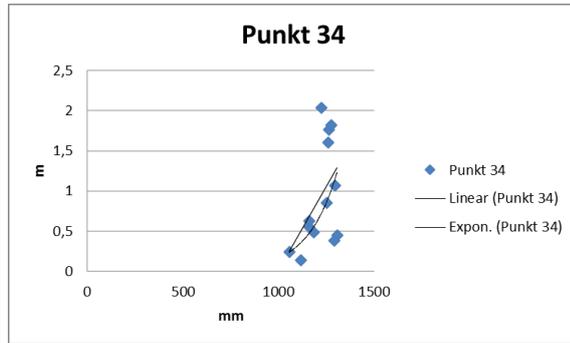
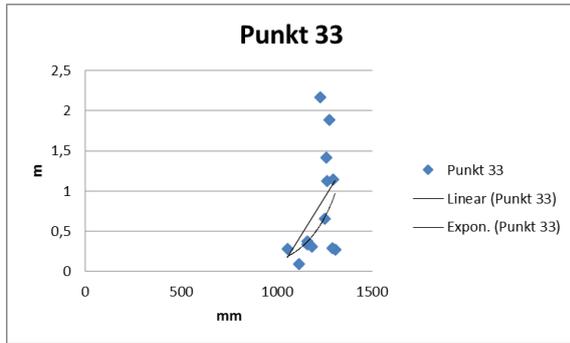
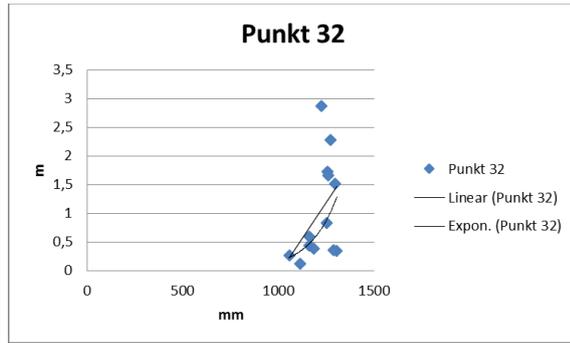
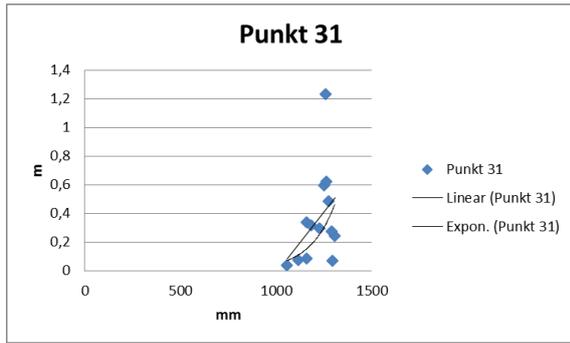
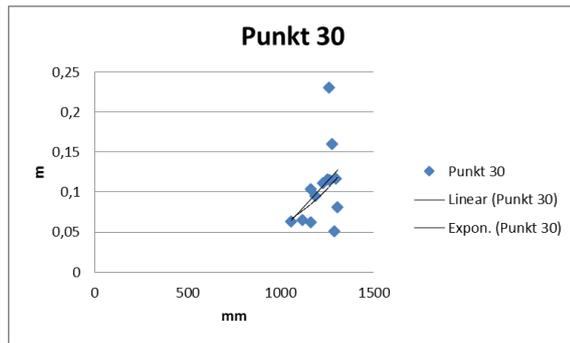
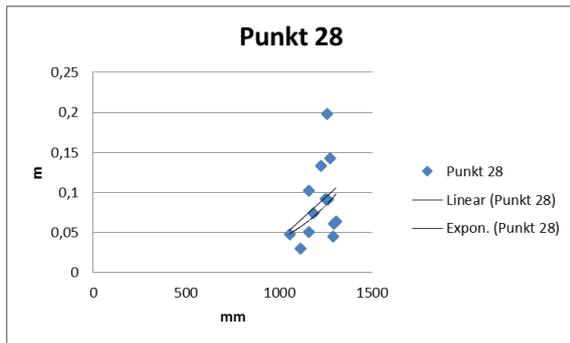


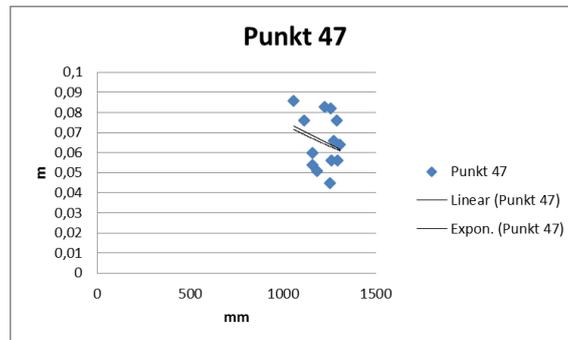
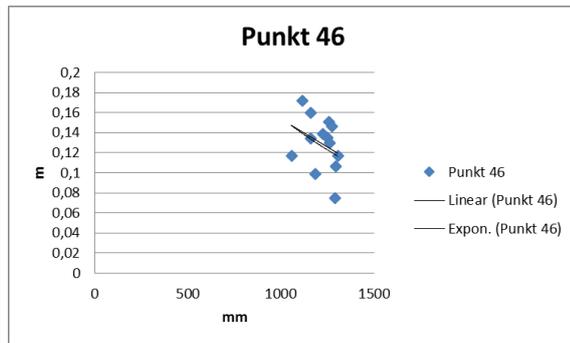
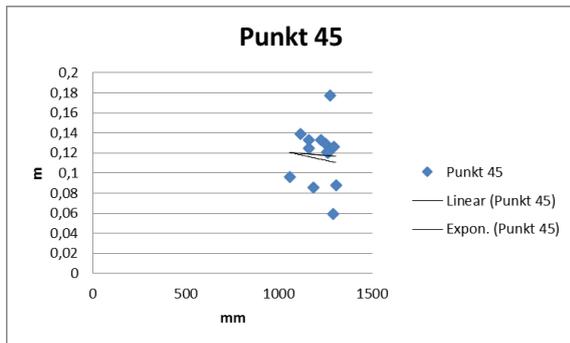
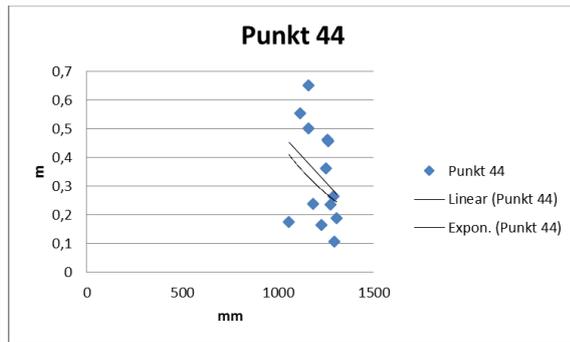
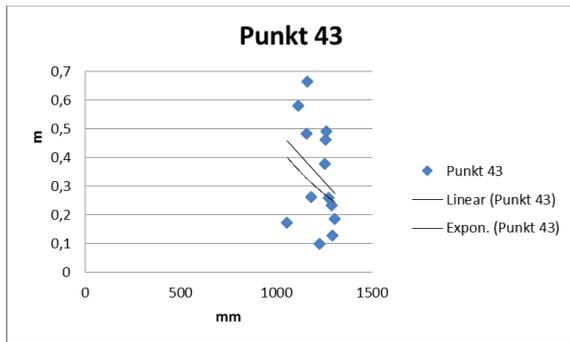
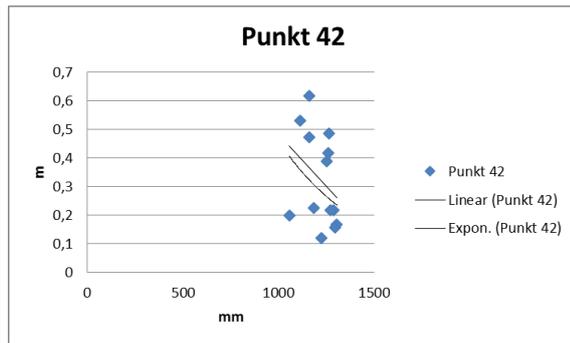
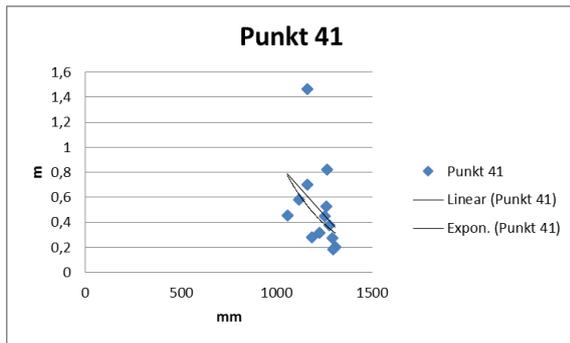


Anhang 5: Scatterplots, jährliche Niederschläge Versätze 2001/02-2014

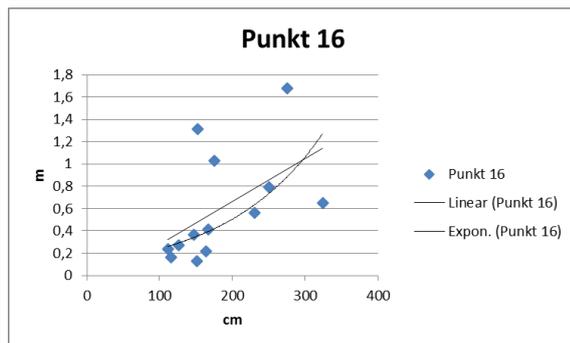
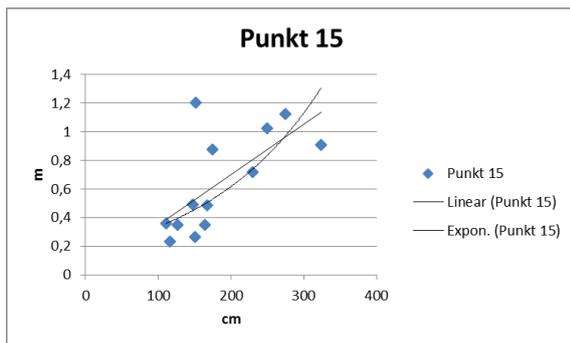
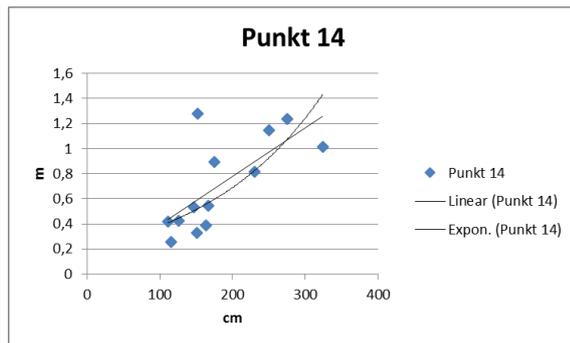
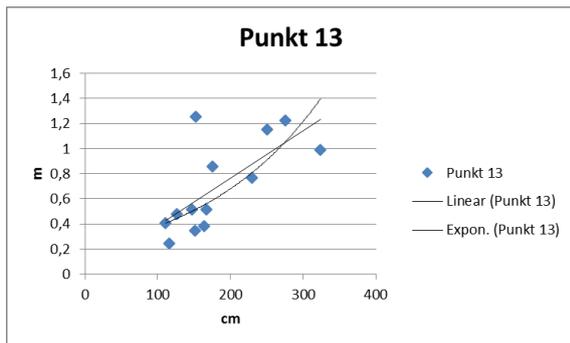
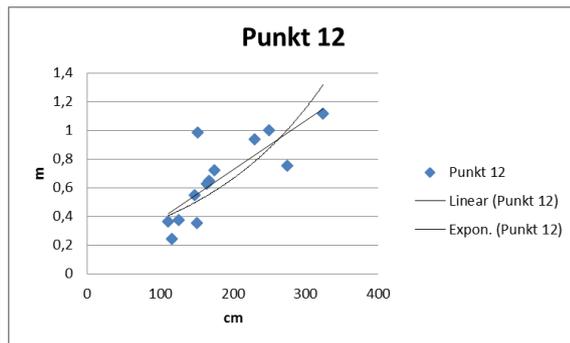
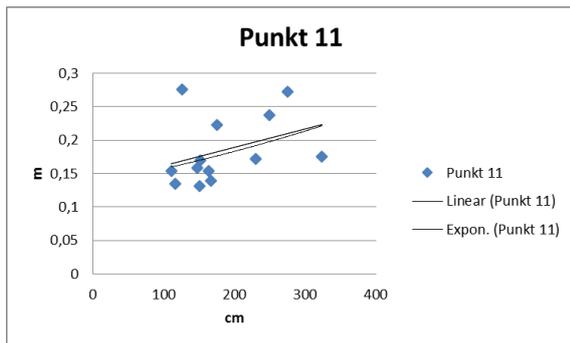
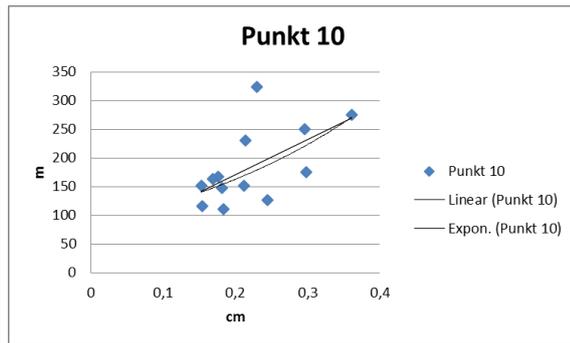
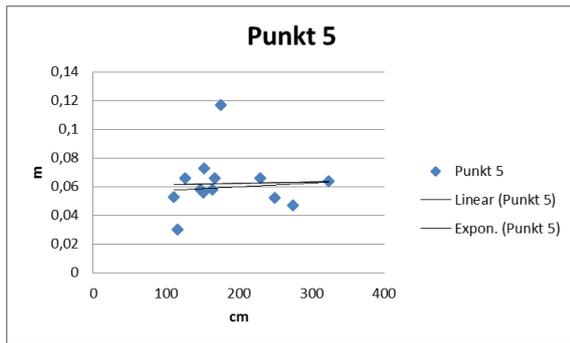
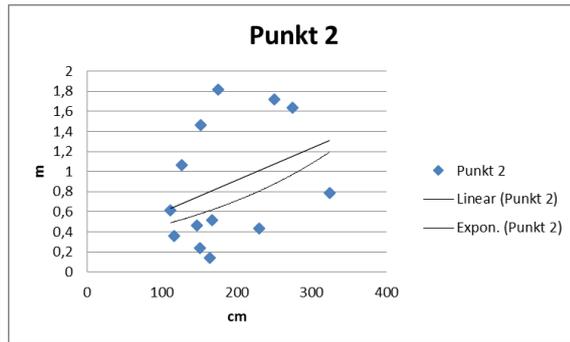
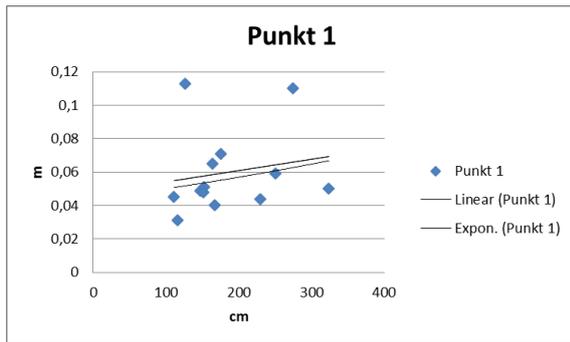


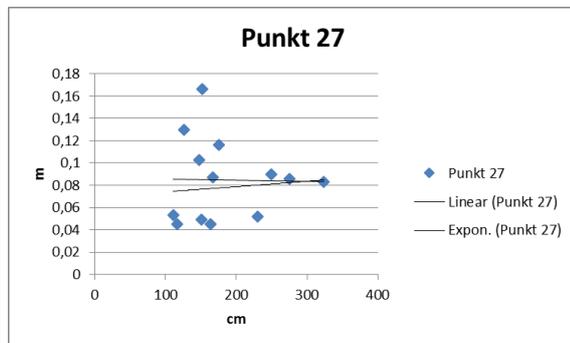
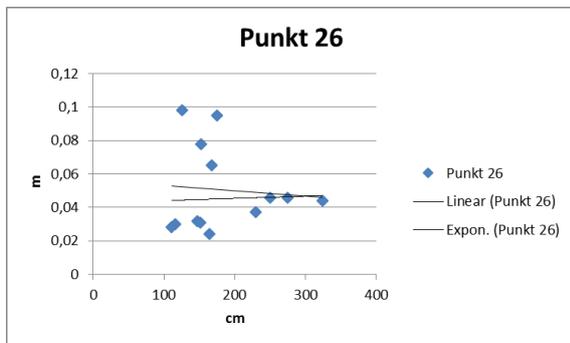
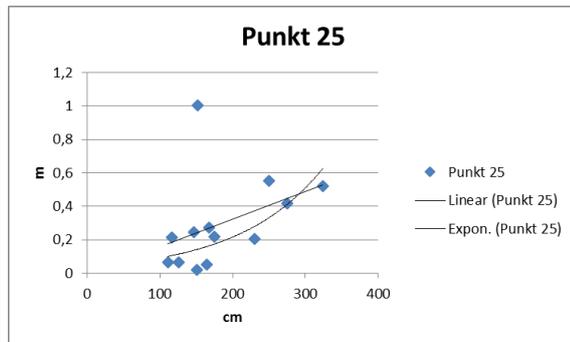
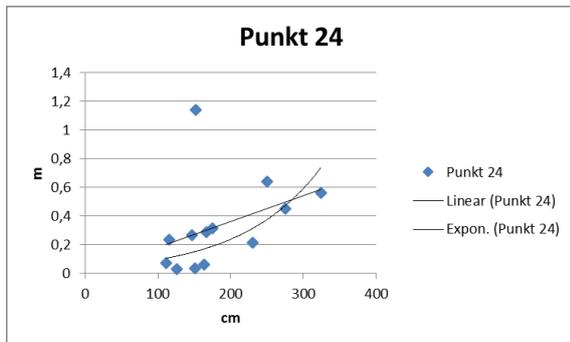
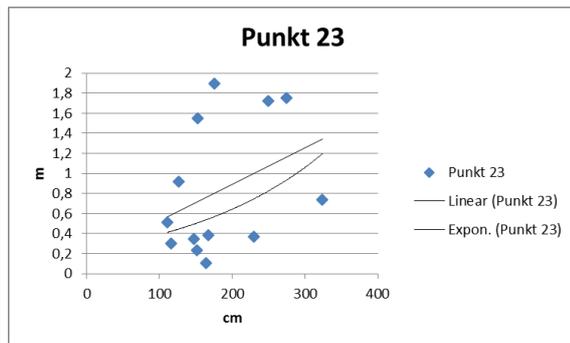
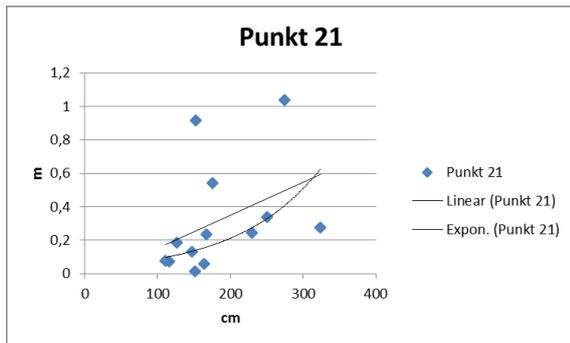
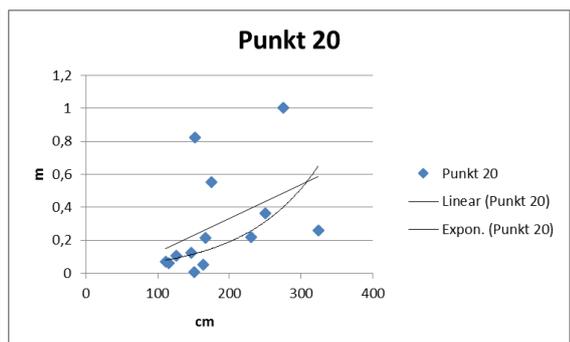
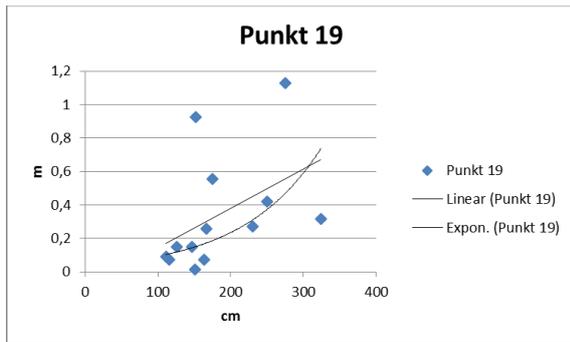
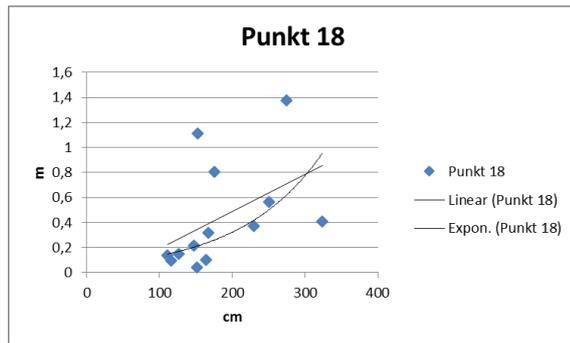
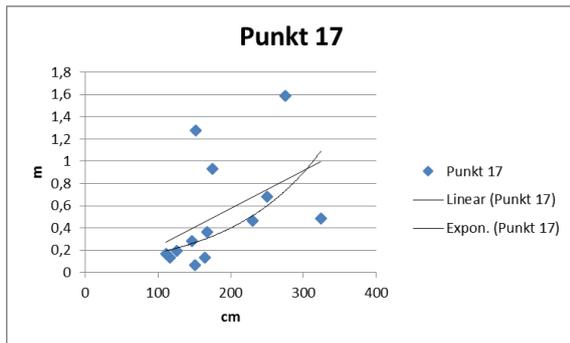


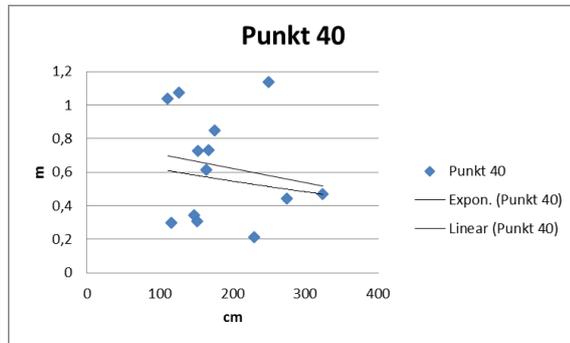
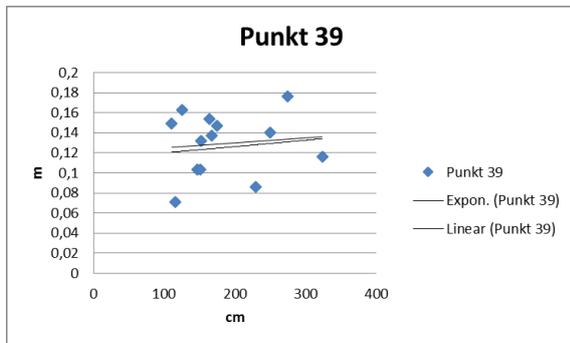
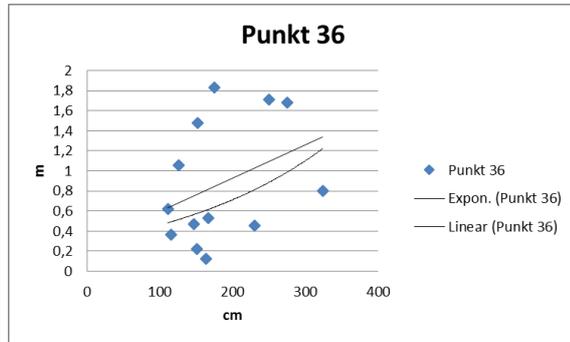
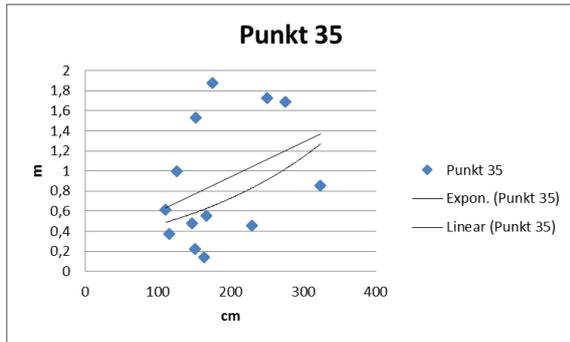
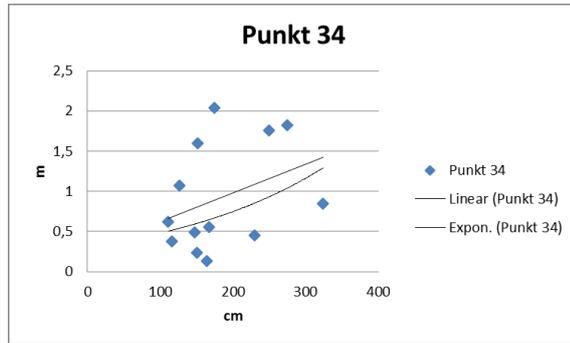
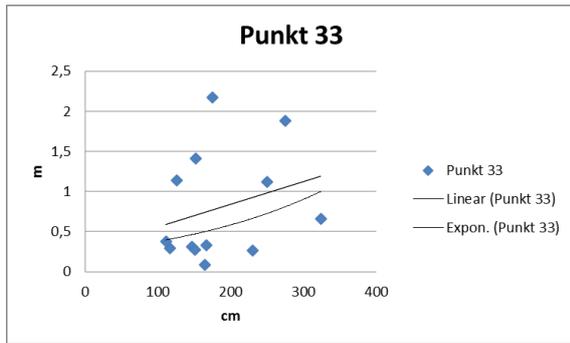
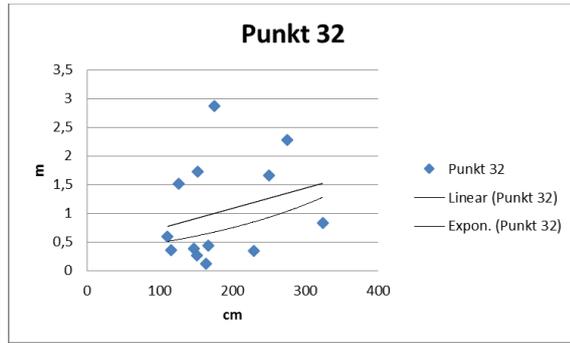
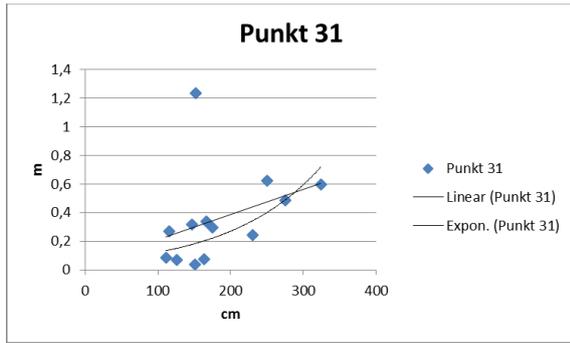
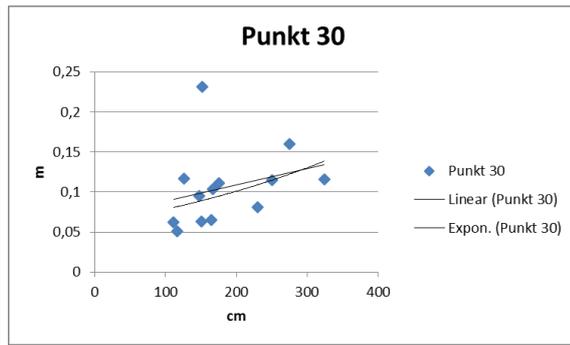
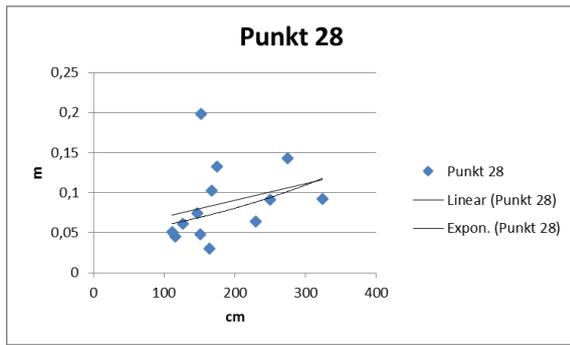


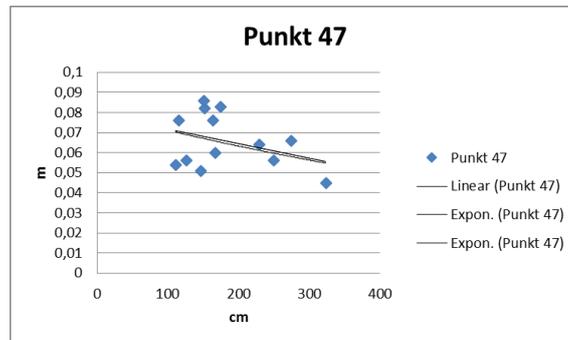
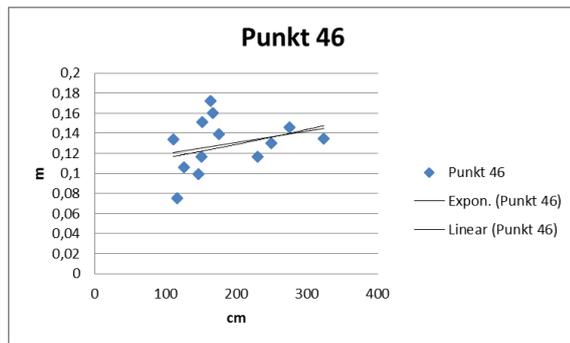
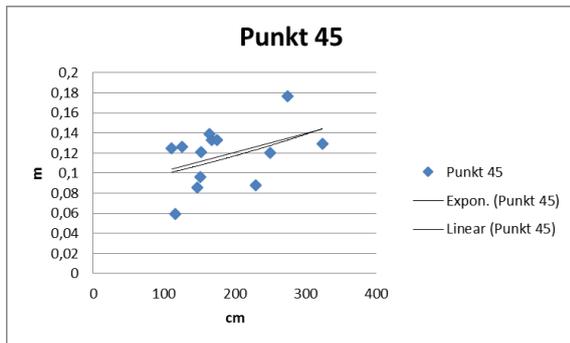
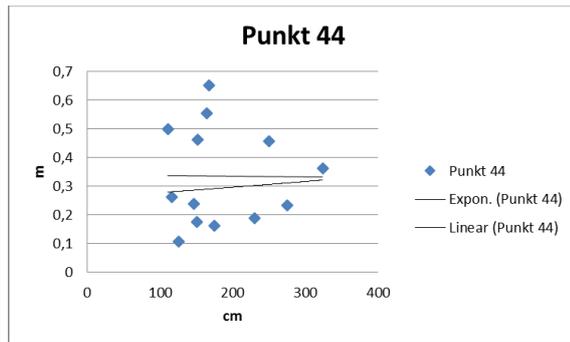
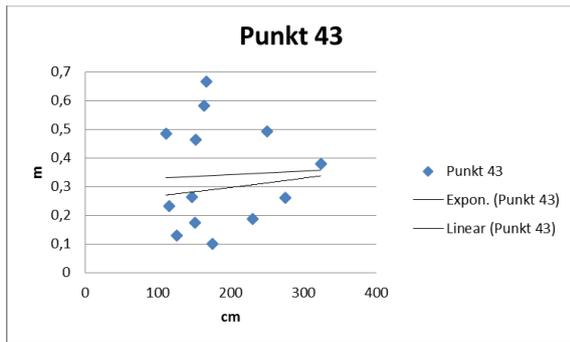
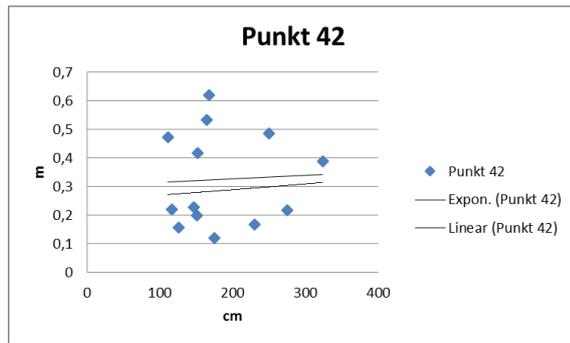
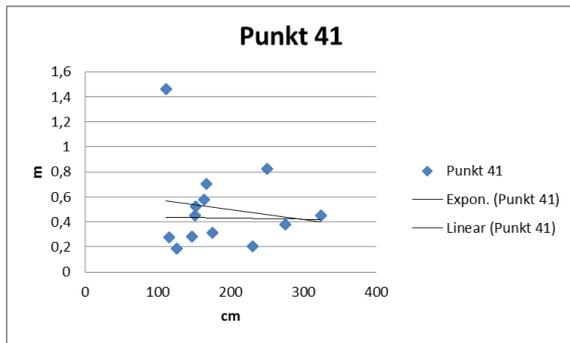


Anhang 6: Scatterplots maximale Schneedecke- Versätze 2001/02-2014

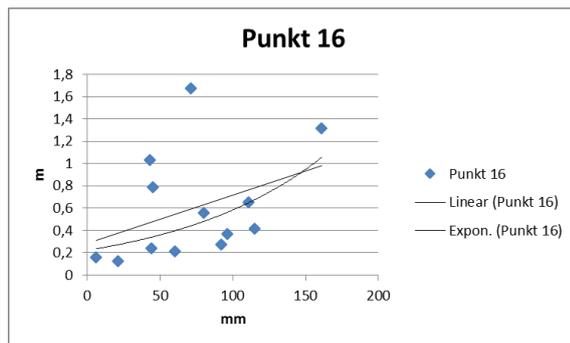
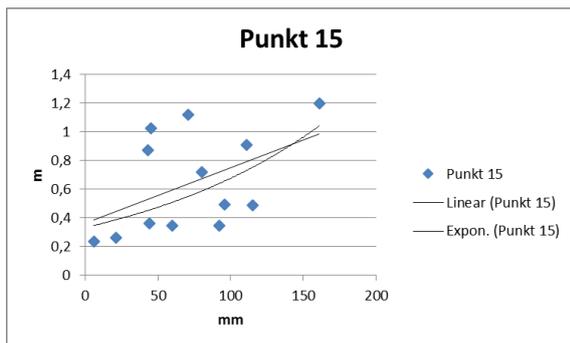
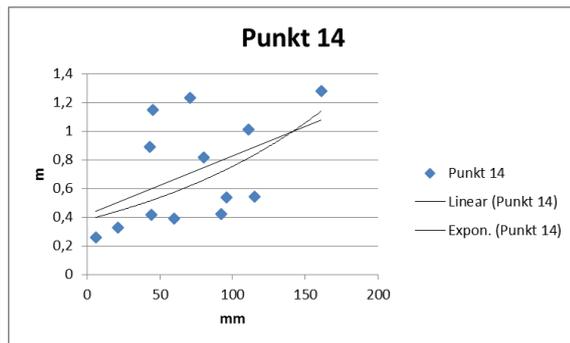
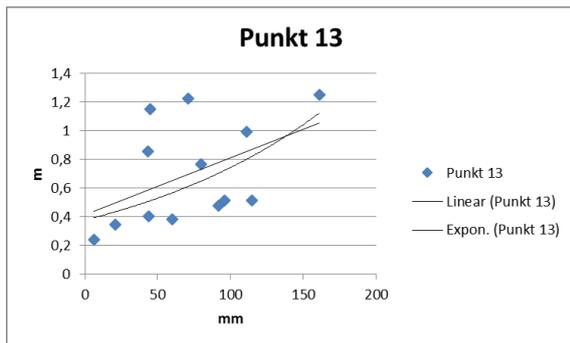
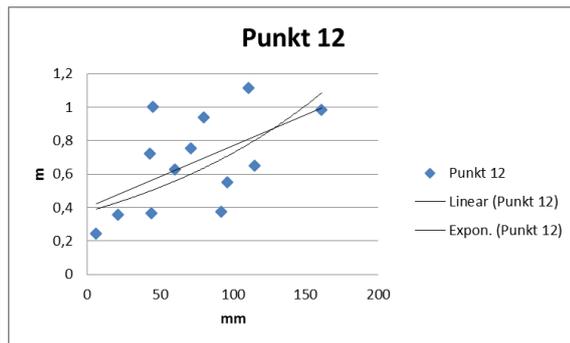
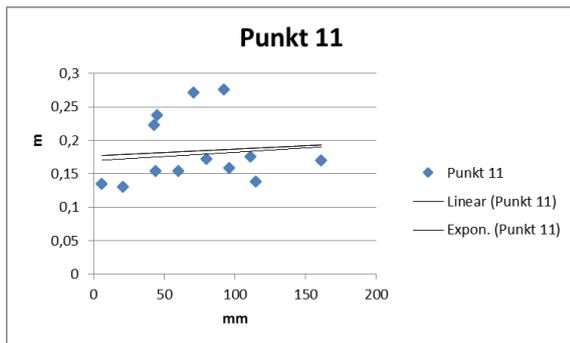
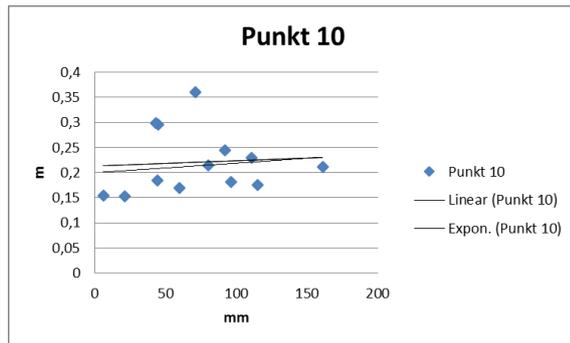
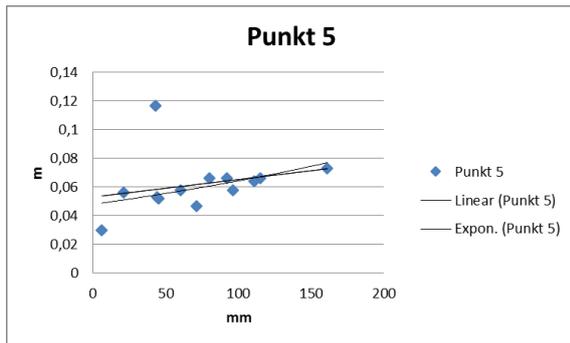
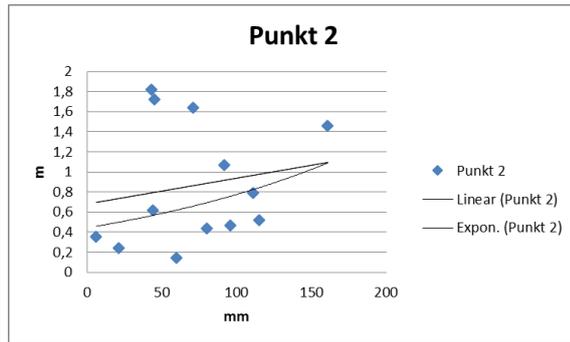
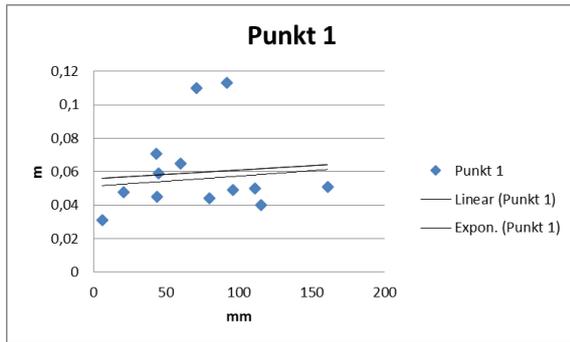


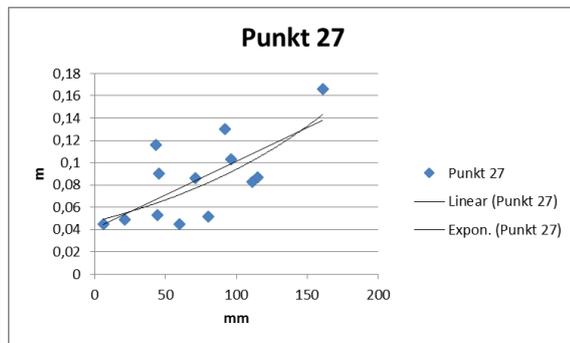
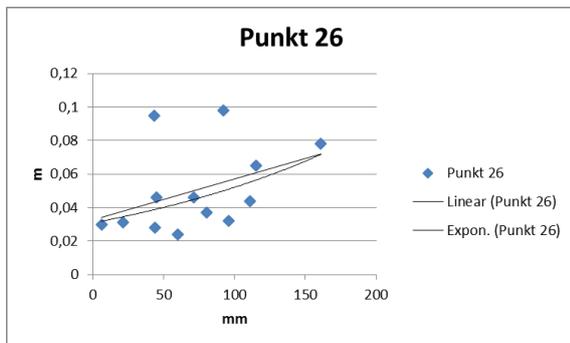
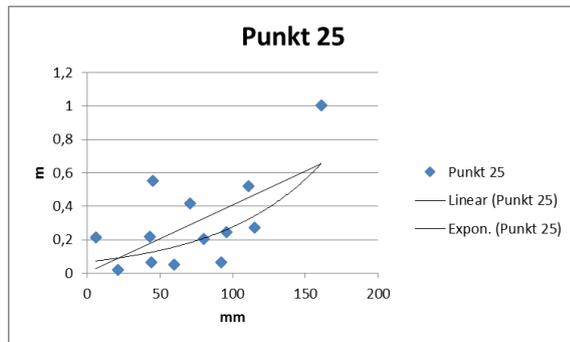
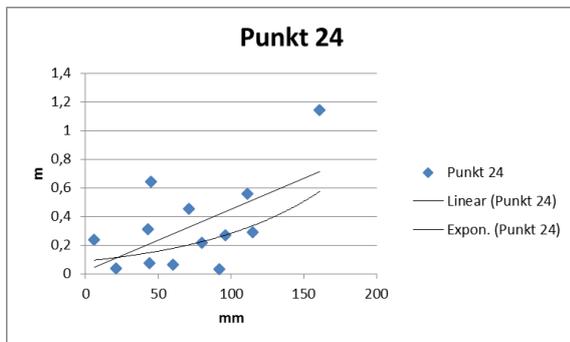
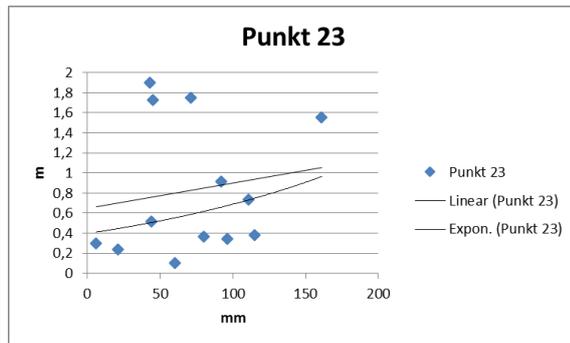
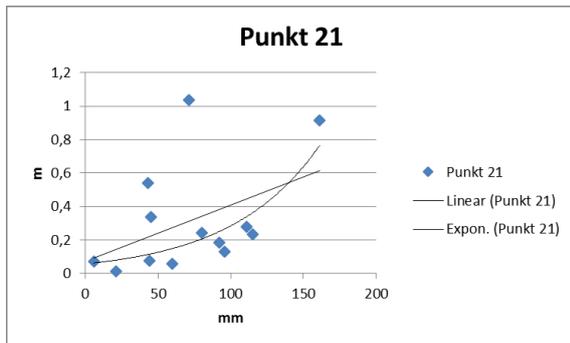
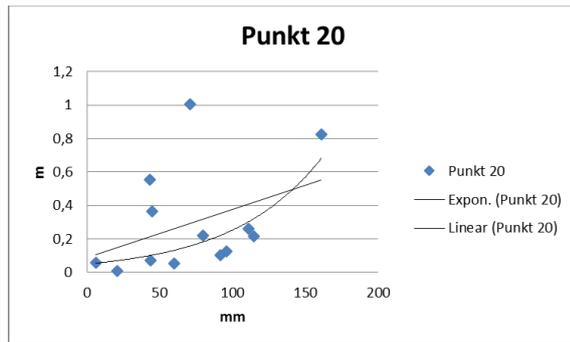
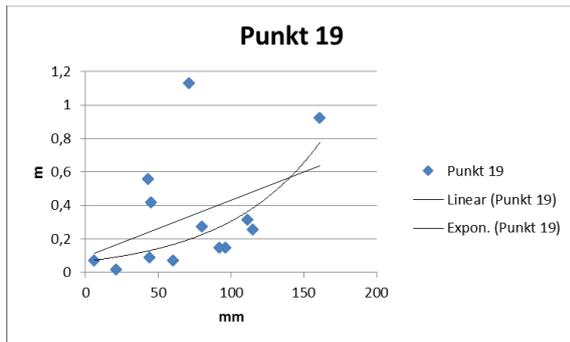
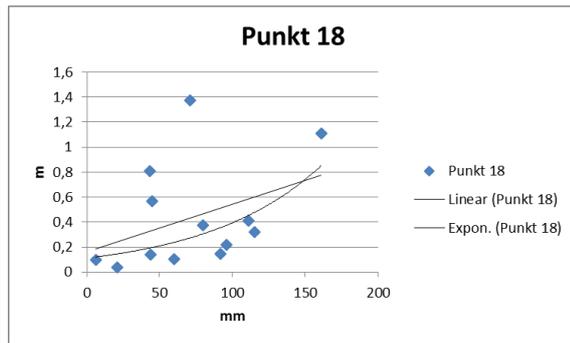
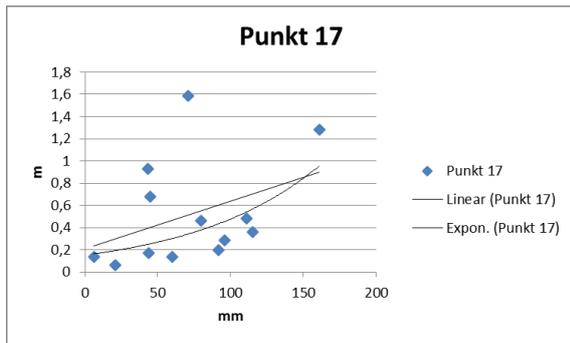


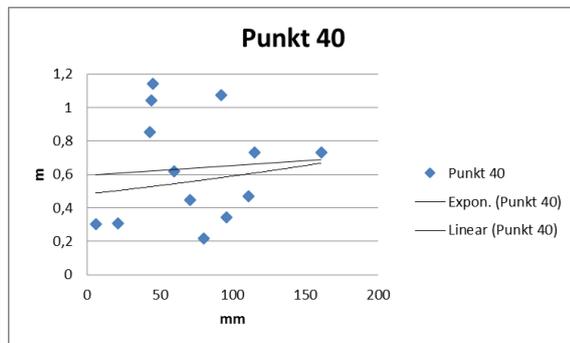
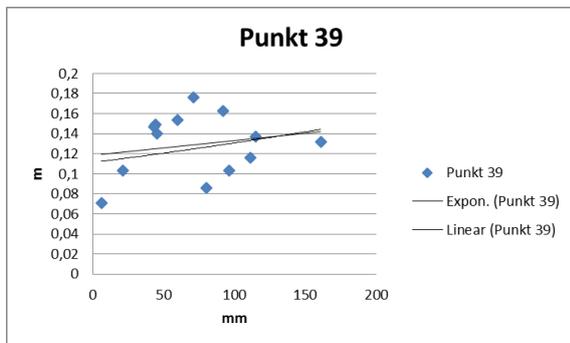
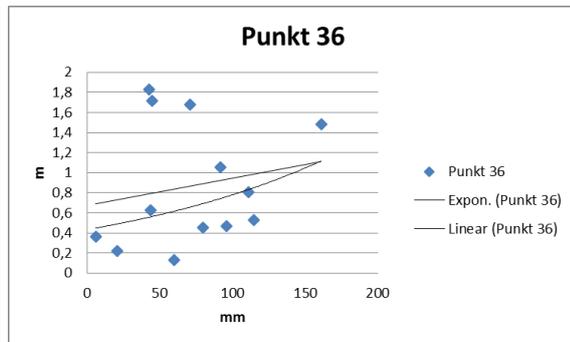
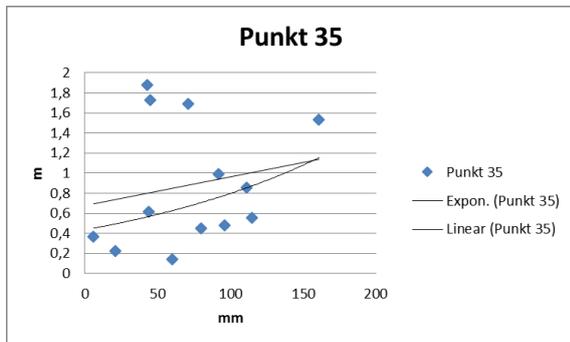
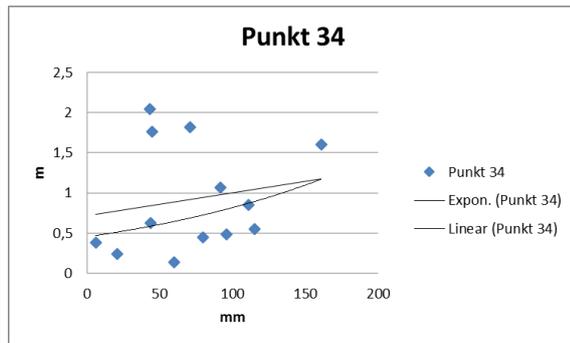
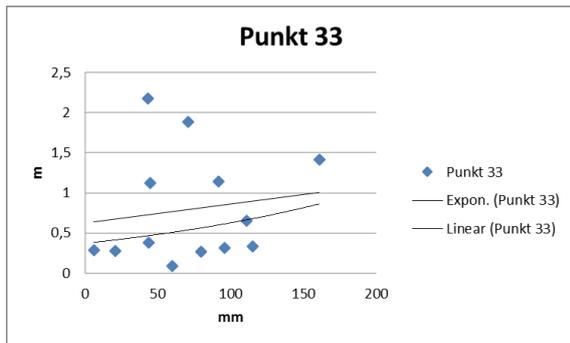
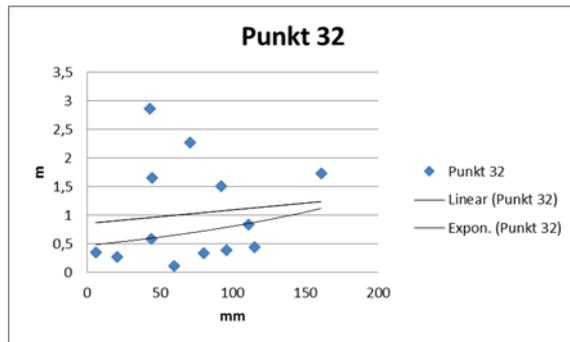
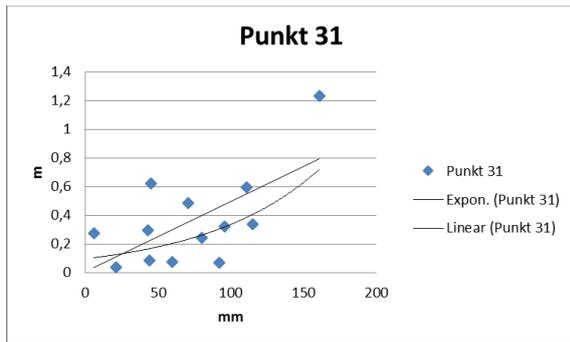
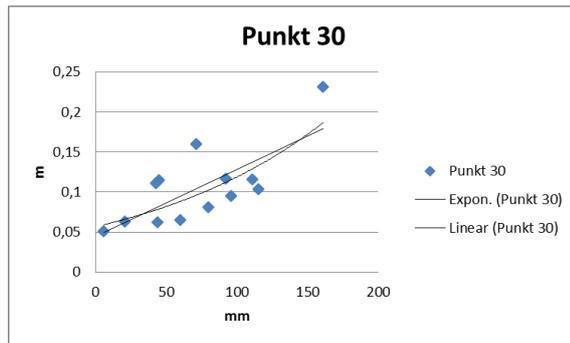
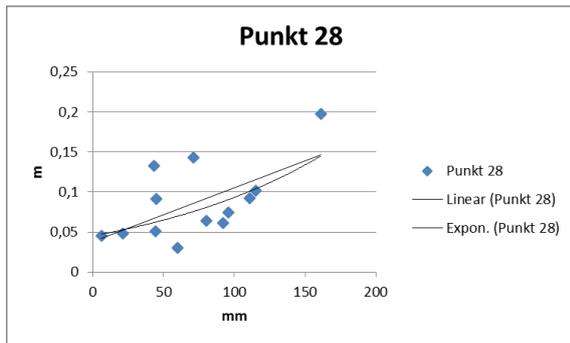


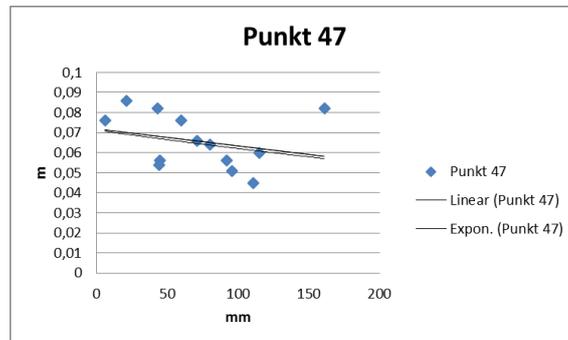
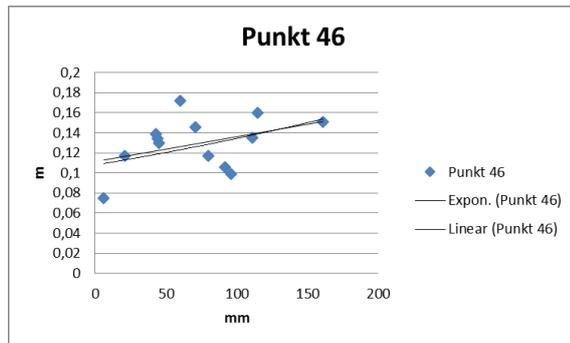
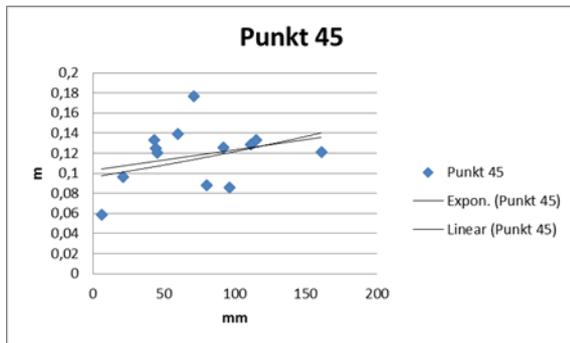
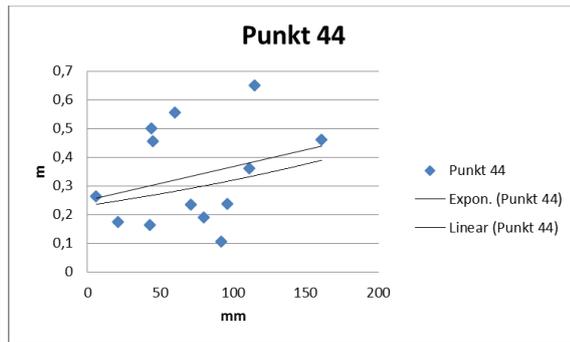
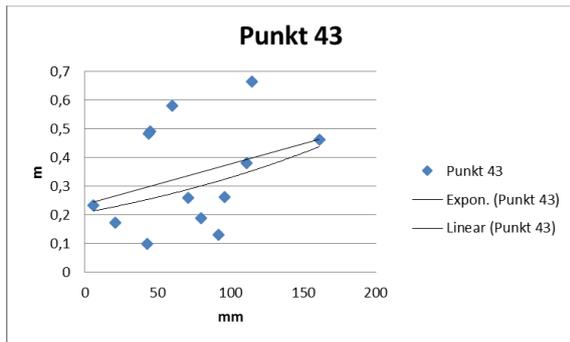
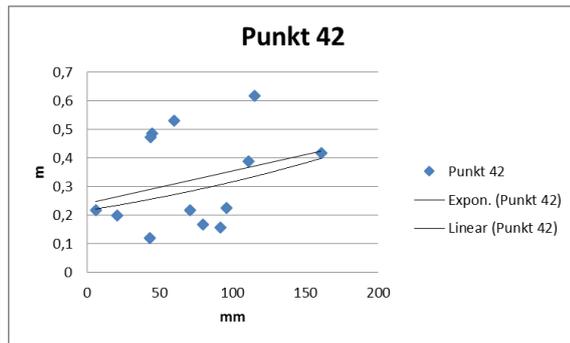
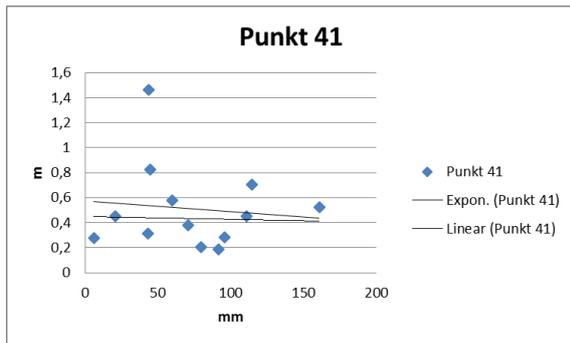


Anhang 7: Scatterplots Aprilniederschläge – Versätze 2002-2014









Anhang 8: P- Werttabelle

Messpunkte	R	p-Wert	p-Wert	R	p-Wert	p-Wert
	Pearson	einseitige H.	zweiseitige H.	Spearman	einseitige H.	zweiseitige H.
Punkt 1	0,280	0,334	0,667	0,132	0,177	0,354
Punkt 2	0,494	0,043	0,086	0,332	0,134	0,268
Punkt 5	0,000028	0,500	1,000	0,019	0,475	0,950
Punkt 10	0,518	0,035	0,070	0,521	0,034	0,068
Punkt 11	0,558	0,024	0,048	0,593	0,016	0,033
Punkt 12	0,366	0,109	0,219	0,291	0,167	0,335
Punkt 13	0,491	0,044	0,088	0,351	0,120	0,240
Punkt 14	0,489	0,045	0,090	0,313	0,149	0,298
Punkt 15	0,484	0,047	0,094	0,302	0,158	0,316
Punkt 16	0,444	0,064	0,129	0,390	0,094	0,188
Punkt 17	0,437	0,068	0,135	0,415	0,079	0,188
Punkt 18	0,426	0,073	0,147	0,390	0,094	0,188
Punkt 19	0,435	0,069	0,137	0,439	0,067	0,133
Punkt 20	0,435	0,069	0,137	0,439	0,067	0,133
Punkt 21	0,440	0,066	0,132	0,478	0,049	0,099
Punkt 23	0,466	0,054	0,108	0,390	0,094	0,188
Punkt 24	0,402	0,087	0,173	0,197	0,259	0,519
Punkt25	0,431	0,071	0,141	0,322	0,142	0,284
Punkt 26	0,372	0,105	0,211	0,426	0,073	0,147
Punkt 27	0,364	0,111	0,221	0,228	0,227	0,454
Punkt 28	0,345	0,124	0,248	0,219	0,236	0,472
Punkt 30	0,398	0,089	0,178	0,379	0,101	0,202
Punkt 31	0,407	0,084	0,168	0,241	0,214	0,428
Punkt 32	0,440	0,066	0,132	0,329	0,136	0,272
Punkt 33	0,433	0,070	0,139	0,280	0,177	0,354
Punkt 34	0,485	0,046	0,093	0,346	0,123	0,247
Punkt 35	0,492	0,044	0,088	0,341	0,127	0,254
Punkt 36	0,503	0,040	0,080	0,341	0,127	0,254
Punkt 39	-0,529	0,032	0,063	-0,088	0,387	0,775
Punkt 40	-0,070	0,410	0,820	-0,104	0,368	0,735
Punkt 41	-0,381	0,099	0,199	-0,637	0,010	0,019
Punkt 42	-0,337	0,130	0,260	-0,439	0,067	0,133
Punkt 43	-0,313	0,149	0,298	-0,379	0,101	0,202
Punkt 44	-0,325	0,139	0,279	-0,412	0,081	0,162
Punkt 45	-0,038	0,451	0,902	-0,225	0,230	0,460
Punkt 46	-0,327	0,138	0,275	-0,385	0,097	0,194
Punkt 47	-0,263	0,193	0,385	-0,137	0,328	0,655

Anhang 9: Niederschlagsverteilungen

