



Karin Rieder, BSc

# **Lokalisierung und Abgrenzung von Gebieten mit Verdacht auf Bodenbewegungen**

## **MASTERARBEIT**

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieurin

Masterstudium Geomatics Science

eingereicht an der

**Technischen Universität Graz**

Betreuer

Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Norbert Kühtreiber

Arbeitsgruppe Navigation

Institut für Geodäsie

## **EIDESSTATTLICHE 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 entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

---

Datum

---

Unterschrift

## Kurzfassung

Die vorliegende Masterarbeit befasst sich mit der, durch den zunehmenden Einsatz von GNSS in der österreichischen Katastervermessung publik gewordenen, Problematik „Bodenbewegungen“. Ausgehend von den die Thematik betreffenden Änderungen in den gesetzlichen Grundlagen und der neu geschaffenen Bodenbewegungsverordnung (BodBwV) wurde in der Arbeit ein Verfahren zur Ausweisung von Ermittlungsflächen erarbeitet. Für die praktische Umsetzung erfolgte die Implementierung der Methode in die vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen verwendete GIS-Software. Das Verfahren wurde in drei Testgemeinden angewendet und bewertet.

Es basiert auf der Kombination und gemeinsamen Auswertung verschiedener Informationen, aus welchen Rückschlüsse auf die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Bodenbewegungen gezogen werden können. Die Ausweisung von Grundstücken, für welche der Verdacht auf Bodenbewegungen besteht, erfolgt durch Verschneiden mit der Digitalen Katastralmappe. Entsprechende Informationen sind z.B. Angaben über Ursachen oder Einflussfaktoren von Bodenbewegungen sowie Untersuchungs- oder Messergebnisse. In der Arbeit wurden die permanent wirkenden Einflussfaktoren Neigung, Exposition, Geologie und Boden sowie die Übermessung des Festpunktfeldes im Zuge der Landessystemumstellung als Basisinformationen definiert und aufbereitet. Für jede Information wurde ein entsprechender Ansatz zur Klassifizierung des Betrachtungsgebietes in gefährdet und nicht gefährdet für das Auftreten von Bodenbewegungen erarbeitet und dieser auf Grundlage der Ausgangsdaten ebenfalls als Funktion der GIS-Software umgesetzt. Als Ausgangsdaten wurden österreichweit vorliegende und von verschiedenen Organisationen kostenfrei zur Verfügung gestellte Datensätze verwendet.

Im Hinblick auf die Detektion von Bodenbewegungen gemäß BodBwV wurde eine Funktion zur Visualisierung von nachweislich bewegten Grundstücken sowie zur Verifizierung des Verfahrens erstellt. Abschließend wurde das Festpunktfeld im Gemeindegebiet Fügenberg zur Erbringung des Nachweises von Bodenbewegungen mittels GNSS übermessen.

## Abstract

This master thesis deals with the phenomenon of ground motion. The problem of ground motion was observed by the increasing use of GNSS to resurvey the Austrian state cadastre. As a result of this phenomenon, legal regulations were modified and the so called 'Bodenbewegungsverordnung' was passed. In this thesis a universal method to identify areas with ground motion based on the cadastre is described. The method was implemented in a GIS-Software to enable the practical application. Exemplarily, three communes were used to test and benchmark the method.

To gather information on the possibility of ground motion, a combination and analysis of different sources of information has been conducted. Those information include details on reasons or influencing factors for ground motion, results of investigations and surveys, danger zone plans or assessments. To identify properties with a greater risk of ground motion, the information has been intersected with the digital cadastral map.

The parameters inclination, exposition, geology, soil as well as the results of the survey are used as basic information for the method. The information were then classified and corresponding approaches were developed to indicate regions with ground motions. The analysis was implemented in a commercial GIS-Software. All raw data are free of charge and available for all regions in Austria.

In respect to the detection of ground motion according to the 'Bodenbewegungsverordnung', a function was developed to visualize properties affected by ground motion as well as to verify the used method. Finally the method was tested in the community Fügenberg, surveying the point field of this community using GNSS, to provide evidence on possible ground motions in this region.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Ziel der Arbeit . . . . .	1
1.2	Aufbau der Arbeit . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1	Gravitative Massenbewegungen . . . . .	3
2.1.1	Definition . . . . .	3
2.1.2	Klassifizierung . . . . .	3
2.1.3	Ursachen, Faktoren und Auslöser von Massenbewegungen . . . . .	5
2.2	Der Österreichische Kataster . . . . .	6
2.2.1	Begriffsdefinitionen . . . . .	6
2.2.2	Rechtsgrundlagen . . . . .	6
2.2.3	Der Kataster . . . . .	7
2.2.4	Digitale Katastralmappe (DKM) . . . . .	8
2.3	System der österreichischen Landesvermessung . . . . .	8
2.3.1	Aktuelles System . . . . .	8
2.3.2	Zukünftiges System . . . . .	9
2.3.3	Festpunktfeld . . . . .	9
2.3.4	Homogenisierung . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Stand der Technik</b>	<b>14</b>
3.1	Änderung in den gesetzlichen Grundlagen hinsichtlich Bodenbewegungen 2017 . . . . .	14
3.1.1	Vermessungsgesetz (VermG) . . . . .	14
3.1.2	Vermessungsverordnung (VermV) . . . . .	14
3.1.3	Bodenbewegungsverordnung (BodBwV) . . . . .	14
3.2	Der Kataster in Gebieten mit Bodenbewegungen – Masterarbeit Vallazza . . . . .	15
3.3	Detektion von Rutschpunkten . . . . .	18
3.3.1	Triangulierungspunkte . . . . .	18
3.3.2	Einschaltpunkte . . . . .	18
<b>4</b>	<b>Bestimmung und Ausweisung von Ermittlungsflächen</b>	<b>20</b>
4.1	Methode . . . . .	20
4.2	Aufbereitung der Informationen . . . . .	22
4.2.1	Neigung . . . . .	22
4.2.2	Exposition . . . . .	25
4.2.3	Geologie . . . . .	27
4.2.4	Boden . . . . .	31
4.2.5	Festpunktfeld . . . . .	35
4.3	Bestimmung von Ermittlungsflächen . . . . .	41
4.4	Ausweisung von betroffenen Grundstücken . . . . .	43

<b>5 Anwendung der Methode</b>	<b>45</b>
5.1 Testgebiete . . . . .	45
5.2 Fügenberg . . . . .	46
5.2.1 Ergebnisse der einzelnen Informationen . . . . .	46
5.2.2 Verdachtskarte - Ermittlungsflächen . . . . .	52
5.2.3 Ausweisung von betroffenen Grundstücken . . . . .	56
5.3 Petttau . . . . .	60
5.3.1 Ergebnisse der einzelnen Informationen . . . . .	60
5.3.2 Verdachtskarte - Ermittlungsflächen . . . . .	64
5.3.3 Ausweisung von betroffenen Grundstücken . . . . .	66
5.4 Pfons . . . . .	68
5.4.1 Ergebnisse der einzelnen Informationen . . . . .	68
5.4.2 Verdachtskarte - Ermittlungsflächen . . . . .	73
5.4.3 Ausweisung von betroffenen Grundstücken . . . . .	75
<b>6 Verifizierung der Methode</b>	<b>78</b>
<b>7 Kontrollmessung</b>	<b>81</b>
7.1 Messung und Auswertung . . . . .	81
7.2 Ergebnis . . . . .	82
<b>8 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>84</b>
<b>Literatur</b>	<b>87</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>90</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>92</b>

## Abkürzungsverzeichnis

<b>ABGB</b> .....	Allgemeines Bürgerliches Gesetzbuch
<b>APOS</b> .....	Austrian Positioning Service
<b>BANU-V</b> .....	Benützungarten-Nutzungen-Verordnung
<b>BEV</b> .....	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen
<b>BFW</b> .....	Bundesforschungszentrum für Wald
<b>BMN</b> .....	Bundesmeldenetz
<b>BodBwV</b> .....	Bodenbewegungsverordnung
<b>DGM</b> .....	Digitales Geländemodell
<b>DKM</b> .....	Digitale Katastralmappe
<b>eBOD</b> .....	Digitale Bodenkarte von Österreich
<b>EP</b> .....	Einschaltpunkt
<b>ETRS89</b> .....	European Terrestrial Reference System 1989
<b>GBA</b> .....	Geologische Bundesanstalt
<b>GIS</b> .....	Geoinformationssystem
<b>GK</b> .....	Gauß Krüger
<b>GNSS</b> .....	Global Navigation Satellite System
<b>GPS</b> .....	Global Positioning System
<b>GST</b> .....	Grundstück
<b>IKV</b> .....	Ingenieurkonsulenten für Vermessung
<b>KG</b> .....	Katastralgemeinde
<b>LiegTeilG</b> .....	Liegenschaftsteilungsgesetz
<b>MGI</b> .....	Militärgeographisches Institut
<b>ÖK50</b> .....	Österreichische Karte 1:50.000
<b>PVS</b> .....	Punktverwaltungssystem
<b>REVUE</b> .....	REVision und UEbermessung der Festpunkte
<b>RTK</b> .....	Real Time Kinematic
<b>TIN</b> .....	Triangulated Irregular Network
<b>TP</b> .....	Triangulierungspunkt
<b>UTM</b> .....	Universal Transverse Mercator
<b>VA</b> .....	Vermessungsamt
<b>VermA-Spr-V</b> .....	Vermessungsamts-Sprengel-Verordnung
<b>VermG</b> .....	Vermessungsgesetz
<b>VermV</b> .....	Vermessungsverordnung

# 1 Einleitung

Im ersten Kapitel wird kurz der Hintergrund zu dem Thema, der Kataster in Gebieten mit Bodenbewegungen, die bereits umgesetzten Verfahrensschritte und das Ziel der Arbeit, ein Beitrag zur Umsetzung der Bodenbewegungsverordnung (BodBwV), definiert sowie der Aufbau der Arbeit aufgezeigt.

## 1.1 Ziel der Arbeit

In Österreich gibt es seit Mitte des 19. Jahrhunderts ein gleichförmiges, flächendeckendes und vollständiges Katastersystem. Dieses wurde vorwiegend zum Zweck der Grundsteuerbemessung geschaffen und gewann über die Jahre zunehmend an Bedeutung.

Aufbauend auf der Urmappe wurde der Kataster mit seinen Operaten sowie seine rechtlichen und technischen Grundlagen nach wirtschaftlichen und technischen Fortschritt weiterentwickelt. Dies führte zur Umbildung des Katasters auf das Metermaß und die Gauß Krüger (GK)-Abbildung, zur Digitalisierung des Katastersystems und zur Schaffung des Grenzkatasters.

Der Grenzkataster dient, im Gegensatz zum Grundsteuerkataster, zum verbindlichen Nachweis der Grundstücksgrenzen und bietet den Eigentümern somit absoluten Rechtsschutz. Die Sicherung der Grenzen erfolgt durch Festlegen der Grenzpunkte mittels Koordinaten. Diese Art der Grenzsicherung setzt jedoch die Beständigkeit des Erdreichs voraus, was in Gebieten mit Bodenbewegungen, die in Österreich vorwiegend im alpinen Raum vorkommen, nicht gegeben ist. Das Auftreten von schleichenden Bodenbewegungen war bei der Schaffung und anfänglichen Umsetzung des Grenzkatasters nicht bekannt bzw. wurde nicht beachtet und stellt nun ein aktuelles Problem dar, da es durch Festhalten der Koordinaten zu ungewollten Besitz (z. B. Haus) auf fremden Grund oder Verlust von Grundstücksflächen kommen kann.

In den Vordergrund trat das Problem mit dem Aufkommen globaler Satellitensysteme und deren zunehmender Nutzung für Vermessungszwecke. Das Vorkommen von Bodenbewegungen und die damit verbundene Problematik der Grenzsicherung wurde insbesondere im Zuge der Umstellung des zugrundeliegenden Bezugssystems vom nationalen Landeskoordinatensystem auf das europäische Referenzsystem deutlich. Die Problematik wurde aus rechtlicher Sicht in der vorangegangenen Masterarbeit von M. Vallazza [Vallazza, 2015] aufgearbeitet und der Umgang mit Grundstücken im Bereich von Bodenbewegungen durch Änderungen im VermG und der VermV verankert. Zudem wurde eine neue Verordnung bezüglich Bodenbewegungen, mit Vorschriften unter welchen Bedingungen Grenzen von Grundstücken durch Bodenbewegungen als verändert und Bodenbewegungen als nachgewiesen anzusehen sind, geschaffen. Aktuell besteht die Herausforderung darin Gebiete mit Verdacht auf Bodenbewegungen zu identifizieren und als Ermittlungsflächen auszuweisen, um entsprechend den gesetzlichen Vorschriften verfahren zu können.

Ziel der Masterarbeit ist die Lokalisierung und Abgrenzung von Gebieten mit Verdacht auf Bodenbewegungen. Es ist ein Verfahren zur Ausweisung von Ermittlungsflächen und zur Klassifizierung der DKM hinsichtlich dieser zu erarbeiten und für die praktische Anwendung im Bundesamt für Eich-



und Vermessungswesen (BEV) aufzubereiten. Für die sofortige Anwendung und die Vermeidung von zusätzlichem Kostenaufwand hat das Verfahren auf Daten des BEV bzw. bereits im Amt vorliegenden oder frei verfügbaren Daten zu basieren und ist in der vorhandenen Softwareumgebung umzusetzen. Für die Anwendung des Verfahrens im gesamten Staatsgebiet ist weiteres darauf zu achten, dass die erarbeitete Methode in ganz Österreich anwendbar ist und die in der Arbeit als Grundlage der Methode definierten Ausgangsdaten flächendeckend vorliegen.

Die Methode soll dem Benutzer die Möglichkeit geben kritische Parameter frei zu definieren und weitere Informationen hinzuzufügen, um diese laufend an den aktuellen Erkenntnisstand und vorliegenden Informationen anzupassen. Ziel des Verfahrens ist die Bestimmung und planliche Darstellung von Ermittlungsflächen und die Darstellung und Ausweisung dieser auf Basis der DKM. Weiteres ist das entwickelte Verfahren anhand von aussagekräftigen Testgebieten zu veranschaulichen und anhand der Ergebnisse zu diskutieren. Zur Verifizierung des Verfahrens und der Erbringung des Nachweises von Bodenbewegungen lt. BodBwV ist zudem eine Kontrollmessung durchzuführen.

## **1.2 Aufbau der Arbeit**

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in die vier Hauptteile: Bestimmung von Ermittlungsflächen (Kapitel 4), Anwendung der erarbeiteten Methode (Kapitel 5), Verifizierung der Methode anhand nachgewiesener Punktverschiebungen (Kapitel 6) und Übermessung des Festpunktfeldes (Kapitel 7). Das Hauptaugenmerk der Arbeit liegt auf der Erarbeitung der Methode zur Bestimmung von Ermittlungsflächen für Bodenbewegungen, der Ausweisung von betroffenen Grundstücken, der Umsetzung der Methode in einem kommerziellen Programm und der Auswertung von drei ausgewählten Testgebieten. Zu Beginn der Arbeit werden in den Kapiteln Grundlagen (Kapitel 2) und Stand der Technik (Kapitel 3) die Grundlagen für diese Arbeit aufbereitet, Begriffsdefinitionen gegeben und die aktuellen rechtlichen und technischen Grundlagen in Bezug auf Bodenbewegungen in Österreich aufgezeigt. Den Abschluss der Arbeit bildet eine kurze Zusammenfassung der Ergebnisse und ein Ausblick (Kapitel 8).

## 2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Grundlagen zu Boden- bzw. gravitativen Massenbewegungen, dem österreichischen Bezugssystem und Kataster aufgezeigt sowie Begriffsdefinitionen gegeben.

### 2.1 Gravitative Massenbewegungen

In der deutschsprachigen Fachliteratur liegt keine einheitliche Nomenklatur zur gravitativen Massenbewegungen und deren Klassifikationen vor. Viele Definition und Klassifikationen sind in den einzelnen Publikationen jedoch sehr ähnlich bzw. Ableitungen und Weiterentwicklungen der vorhergehenden Definitionen. Da hier jedoch nur ein Einblick in die problemverursachende Thematik, auftretende Bodenbewegungen, gegeben wird, wird auf eine Diskussion bezüglich der einzelnen Definitionen und Klassifikationen verzichtet.

#### 2.1.1 Definition

Ausgehend von den vorliegenden Definitionen sind unter dem Begriff „gravitative Massenbewegungen“ oder „Hangbewegungen“ sämtliche hangabwärts gerichtete Materialbewegungen zu verstehen, welche überwiegend durch Einfluss der Gravitationskraft verursacht werden [Adelmann u. a., 2000b]. Massenbewegungen treten nur in Gebieten auf, die bestimmte Voraussetzungen erfüllen und führen in diesen Bereichen zur Veränderung der Erdoberfläche [FU Berlin, 2014].

#### 2.1.2 Klassifizierung

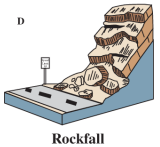
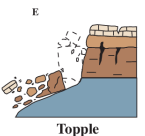
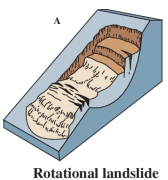
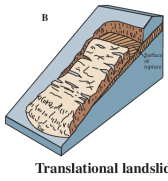
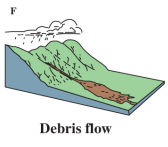
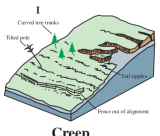
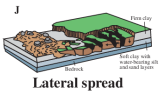
Die Klassifizierung der gravitativen Massenbewegungen kann nach verschiedensten Aspekten erfolgen, wie die Art des Materials, die Geschwindigkeit der Bewegung, die Art der Bewegung oder die Dimension der bewegten Masse [FU Berlin, 2015]. Aufgrund dieser verschiedenen Betrachtungsmöglichkeiten sind in der Literatur zahlreiche Klassifikationen zu finden. Eine dabei häufig vorkommende Einteilung ist die Klassifikation von gravitativen Massenbewegungen nach der Art der Bewegung in Fallen, Kippen, Gleiten, Driften, Fließen und nach der Art des Materials in Fest- und Lockergestein. Die Einteilung ist in Tabelle 1 aufgezeigt.

Als Fallen werden schnelle bis extrem schnelle Bewegungen von losgelöstem Fels- und/oder Lockermaterial aus steilen Hangflächen, Steilwänden oder Klippen in fallender, springender und rollender Form bezeichnet [Schachreiter u. Haring, 2003]. Charakteristisch für diese Bewegungsart ist der Verlust des Kontaktes vom Material zur Erdoberfläche [Lotter u. Haberler, 2013]. In der deutschsprachigen Literatur wird je Dimension der bewegten Masse zwischen Bergsturz, Felssturz, Blocksturz oder Steinschlag unterschieden, wobei keine einheitlichen Definitionen dieser Begriffe existieren [Steger, 2012].

Beim Kippprozess liegt der Masseschwerpunkt des kippenden Fest- und/oder Lockergesteins über der Rotationsachse, wodurch die Masse hangauswärts um die Achse rotiert. Ausgelöst werden Kippungen durch die Gravitation, durch Wasser- oder Eisdruck sowie durch plastische Verformungen unterla-

gernder Gesteine. Der Bewegungsprozess kann sehr langsam [mm/Jahr] bis extrem schnell [m/s] vor sich gehen und zu Folgeprozessen wie Fallen oder Gleiten führen [Schachreiter u. Haring, 2003].

Tabelle 1: **Klassifikation von gravitativen Massebewegungen nach [Cruden u. Varnes, 1996] (Abbildungen entnommen aus [Cruden u. Varnes, 1996])**

Bewegungstyp	Material	
	Festgestein	Lockergestein
<b>Fallen</b>  Rockfall	Bergsturz Felssturz Blocksturz Steinschlag	Schuttsturz Erdsturz
<b>Kippen</b>  Topple	Felskippung	Erdkippung Schuttkippung
<b>Gleiten</b>  Rotational landslide  Translational landslide	Felsrutschung Felsgleitung	Schuttrutschung Erdblockgleitung Schuttblockgleitung
<b>Fließen</b>  Debris flow  Creep	Sackung Talzusub Hangkriechen	Murgang Erdfließen Schuttfließen
<b>Driften</b>  Lateral spread	Felsdriften	Erddriften Schuttdriften

Hangabwärts gerichtete Bewegungen von Fest- und/oder Lockergestein ohne Kontaktverlust zum Untergrund werden als Gleitungen bzw. Rutschungen bezeichnet. Rutschungen erfolgen entlang einer oder mehrerer diskreter Gleitflächen und können ein Flächenausmaß von wenigen Metern bis zu einigen Kilometern erreichen [Adelmann u. a., 2000b]. Die Bewegung kann auf der gesamten Bruchfläche einsetzen oder sich sukzessive von einer lokalen Schwächezone aus ausbreiten [Schachreiter u. Haring, 2003]. Je nach Form der Bewegung wird zwischen Rotations- und Translationsrutschungen (siehe Abbildungen in Tabelle 1) und je nach Tiefenlage der Gleitfläche zwischen Oberflächenrutschungen, flachen, tiefen und sehr tiefen Rutschungen unterschieden [Adelmann u. a., 2000b]. Die Bewegungsrate liegt dabei zwischen einigen Metern pro Sekunde und einigen Millimetern pro Jahr [Schachreiter u. Haring, 2003].

Fließprozesse sind charakterisiert durch die freie Bewegung der einzelnen Partikel in der fließenden Masse [Adelmann u. a., 2000b] und die dicht angeordneten, kurzlebigen oder nicht vorhandenen Gleitflächen [Zangerl u. a., 2008]. Fließen des Lockergesteins wird in der deutschsprachigen Literatur als Muren, Schlammströme oder Laharen bezeichnet. Dabei handelt es sich um Mischungen aus Gestein und Wasser, die sich schnell bis extrem schnell (mehrere Meter pro Sekunde [Lotter u. Haberler, 2013]) hangabwärts bewegen. Langsame Fließvorgänge (wenige Millimeter pro Jahr [Lotter u. Haberler, 2013]) im Festgestein werden als Hangkriechen, Talzuschub oder Sackung bezeichnet und führen zu einer langsamen, kontinuierlichen Deformation des Hanges [Adelmann u. a., 2000b].

Durch Fließen von tiefer gelagerten weicheren Materialien kann ein Driftprozess entstehen. Dieser ist als laterale Bewegung von Fest- und/oder Lockergestein, bei zeitgleichem Einsinken in die untere, weichere Schicht, definiert. Es treten nur geringe bis keine Scherungen in der Gleitfläche auf [Schachreiter u. Haring, 2003].

Die einzelnen Prozesstypen können ebenfalls in Kombination auftreten. Diese Art von Massebewegung wird dann als „Komplex“ bezeichnet. Eine komplexe Bewegung kann sich z. B. aus einer Rotationsrutschung mit Erdfließen und Steinschlagschutt zusammensetzen [Steger, 2012].

### 2.1.3 Ursachen, Faktoren und Auslöser von Massenbewegungen

Wie aus der Definition hervorgeht, treten gravitative Massebewegungen dann auf, wenn die Gravitationskraft die Reibungskraft, welche das Material an Ort und Stelle hält, übersteigt. Als Ursache von Massenbewegungen kann somit die Veränderung des Kräftegleichgewichts der rückhaltenden und angreifenden Kräfte in einem Hang definiert werden [Krauter, 1996]. Bestimmend sind nach [Krauter, 1996] folgende Faktoren:

- Morphologie: Höhe, Neigung und Form des Hanges
- Geologie als Primärursache von Massenbewegungen: Gestein, Lagerung, Trennflächen, Tektonik, Erdbeben
- Hydrogeologie/Wasser: Einzugsgebiet, Wasserwegsamkeit, Grundwasserstand
- Klima/Verwitterung: Niederschlag, Temperatur, Exposition
- Biologie: Vegetation, Grabgänge von Tieren
- Zeit: Alterungsprozesse

Die Faktoren können auch in permanent wirkende, bewegungsfördernde Faktoren wie Tektonik, Erosion, Verwitterung und Schwerkraft und in episodisch wirkende, bewegungsauslösende Faktoren wie Erschütterung, Belastungsänderungen und Änderung der äußeren Form unterteilt werden [Krauter, 1996]. Bewegungsauslösende Faktoren werden, wenn diese klar aus dem Ursachenkomplex abgegrenzt und im zeitlichen Bezug zum Ereignis stehen, als auslösendes Moment für Massebewegungen bezeichnet. Hauptauslöser für Massenbewegungen ist meist das Wasser in jeder erdenklichen Form wie Niederschlag, Schmelzwasser, Bergwasser, Frost, etc. [Krauter, 1996].

Neben den natürlichen Ursachen und Faktoren trägt auch der Mensch zu dem vermehrten Vorkommen von Massebewegungen bei. Durch den steigenden Siedlungsdruck und Fremdenverkehr dringt der Mensch immer weiter in gefährdete Zonen vor und erhöht durch den Bau von Straßen, Gebäuden,

Skipisten sowie durch Rodungen, Acker- und bergmännischen Abbau das Risiko von Massenbewegungen [Schachreiter u. Haring, 2003]. So führt z. B. die Rodung von Wäldern zu mehr Sickerwasser, was langfristig eine stärkere Durchfeuchtung des Bodens auch in tieferen Lagen bewirkt und beim Vorliegen einer Gleitfläche einen einst stabilen Hang instabil werden lassen kann [Schachreiter u. Haring, 2003].

## 2.2 Der Österreichische Kataster

Der österreichische Kataster ist ein einheitlich flächendeckendes Karten-, Buch- und Zahlenwerk sämtlicher Grundstücke der Bundesrepublik. In Österreich unterscheidet man zwischen zwei Formen des Katasters, dem Grundsteuerkataster und dem Grenzkataster.

Zusammen mit dem Grundbuch bildet der Kataster das Eigentumssicherungssystem an Grund und Boden. Dabei wird der Kataster zur Festlegung der Grundbesteuerung, zur Beantwortung der Fragen „Wo?“ und „Wie viel?“ und das Grundbuch zur Feststellung der Eigentumsverhältnisse, zur Beantwortung der Fragen „Wer?“ und „Wie?“ herangezogen. Die beiden Systeme werden von verschiedenen Behörden verwaltet, jedoch in einer gemeinsamen Datenbank, der Grundstücksdatenbank, geführt [Abart u. a., 2011].

### 2.2.1 Begriffsdefinitionen

Das Grundstück ist die kleinste territoriale Verwaltungseinheit im Kataster. Es kann noch in verschiedene Benützungsabschnitte eingeteilt werden, diese unterschiedlichen Nutzungsarten sind jedoch keine selbständige Verwaltungseinheit mehr [Kaluza, 1978]. Jedes Grundstück wird mit einer eigenen Nummer, der sogenannten Grundstücksnummer, versehen und kann somit eindeutig identifiziert werden. Jede Fläche im Kataster muss einem Grundstück zugeordnet sein.

Der Begriff Katastralgemeinde (KG) wird im VermG § 7.Z1 wie folgt definiert: *„Katastralgemeinden sind diejenigen Teile der Erdoberfläche, die im Grenzkataster oder im Grundsteuerkataster als solches namentlich bezeichnet sind.“* [VermG1968, 2013]. Jede KG hat zur eindeutigen Identifikation einen Namen und eine Nummer. Sie bilden die Grundlage für die Nummerierung der Grundstücke und Grenzpunkte [Abart u. a., 2011].

Ein Gerichtsbezirk besteht aus mehreren KGs und umfasst die örtliche Zuständigkeit eines Bezirksgerichts. Mehrere Gerichtsbezirke zusammengefasst bilden einen Vermessungssprengel [Kaluza, 1978]. Die Vermessungssprengel werden in der Vermessungsamts-Sprengel-Verordnung (VermA-Spr-V) durch die Zuordnung der politischen Gemeinden zu einem Vermessungsamt (VA) definiert und entsprechen dem Zuständigkeitsbereich des jeweiligen VAs.

### 2.2.2 Rechtsgrundlagen

Die wichtigsten Gesetze und Verordnungen in Bezug auf den Kataster sind

- das Bundesgesetz vom 3. Juli 1968 über die Landesvermessung und den Grenzkataster (Vermes-

sungsgesetz (VermG)) und die dazugehörige Vermessungsverordnung (VermV), Benützungsarten-Nutzungen-Verordnung (BANU-V), Vermessungsamts-Sprengel-Verordnung (VermA-Spr-V) und Bodenbewegungsverordnung (BodBwV)

- das Bundesgesetz vom 19. Dezember 1929 über grundbücherliche Teilungen, Ab- und Zuschreibungen (Liegenschaftsteilungsgesetz (LiegTeilG)) und
- das Allgemeine Bürgerliche Gesetzbuch für die gesamten deutschen Erbländer der Österreichischen Monarchie (Allgemeines Bürgerliches Gesetzbuch (ABGB)).

### 2.2.3 Der Kataster

Der Kataster, Grenz- als auch Grundsteuerkataster, besteht aus dem technischen Operat, dem Grundstückverzeichnis und dem Adressregister [VermG1968, 2013]. Die beiden Katasterformen werden im Wesentlichen nach den gleichen Richtlinien und Bestimmungen geführt [Kaluza, 1978].

Der Grenzkataster entstand mit dem VermG 1968 und wurde mit dem Ziel eingeführt, den Grundsteuerkataster im Laufe der Jahre zu ersetzen. Er stellt eine technische Qualitätsverbesserung und rechtliche Besserstellung der Grenzkatastergrundstücke dar [Meixner, 2008].

Der Grenzkataster dient im Sinne eines „Rechtskatasters“ zum verbindlichen Nachweis der Grundstücksgrenzen und zur Vermeidung der Ersitzung von Grundstücksteilen. Im Sinne eines „Mehrzweckkatasters“ dient er zur Ersichtlichmachung der Benützungsarten, Flächenausmaße, Ertragsmesszahlen, vermessungsbehördlich bescheinigten Änderungen des Katasters sowie sonstigen Angaben zur leichteren Kenntlichmachung der Grundstücke und zur Ersichtlichmachung der geocodierten Adresse. Weiter dient er im Sinne einer „Grundlage von Bodeninformationssystemen“ als verbindliche Information hinsichtlich der Eigentümer von Grundstücken und österreichweit als Basisinformation für Flächenwidmungs- und Bebauungspläne sowie der Raumordnung [Unbekannt, 1994].

Geführt wird der Grenzkataster von den jeweils zuständigen VA als Aufbauwerk, d. h. die Grundlage des Grenzkatasters bildet der Grundsteuerkataster, der grundstücksweise durch Neuvermessungen, z. B. zum Zwecke von Teilung oder Umwandlung, in den Grenzkataster übergeführt wird [Kaluza, 1978].

Für die im Grenzkataster eingetragenen Grundstücke gilt, dass

- den Angaben über die Grenzen im Grenzkataster der gleiche Schutz des guten Glaubens zukommt, wie den Angaben des Grundbuches,
- der im Kataster eingetragene Grenzverlauf maßgeblich ist,
- die Grenzen in der Natur nur innerhalb der Fehlergrenzen Bedeutung haben (Papiergrenze vor Naturgrenze) und
- die Ersitzung von Teilflächen ausgeschlossen ist [Kaluza, 1978].

Die Sicherung der Grundstücksgrenzen wird erreicht, indem die Grenzpunkte vor Ort von allen betroffenen Parteien (angrenzenden Grundstückseigentümern) festgelegt und unterschrieben werden. Diese in der Natur von einem Ingenieurkonsulenten für Vermessung (IKV) vermarktet und koordinativ erfasst werden und vom VA und Grundbuchgericht überprüft, bescheinigt und beschlossen werden.

Grenzkatastergrenzpunkte haben Rechtscharakter und liegen als an das Festpunktfeld angeschlossene GK-Koordinaten im System der österreichischen Landesvermessung (Militärgeographisches Institut (MGI)) vor. Sie können bei Grenzstreitigkeiten jederzeit in der Natur wiederhergestellt werden [Ehrhart, 2015].

#### **2.2.4 Digitale Katastralmappe (DKM)**

Die DKM ist der grafische Datenbestand des Katasters und liegt seit 2003 in digitaler Form vor [Abart u. a., 2011]. Die DKM wurde durch Digitalisierung der analogen Katastralmappe unter Verwendung weiterer Hilfsmittel wie Teilungspläne, Luftbildaufnahmen und der Koordinatendatenbank im Koordinatensystem der österreichischen Landesvermessung erstellt. Im Grundstücksverzeichnis, Punktverwaltungssystem (PVS) und der DKM liegen konsistente Daten vor [Abart u. a., 2011].

In der DKM enthalten sind alle Grundstücke in Österreich mit ihren Grenzen und Nummern, alle Fest- und Grenzpunkte, sofern diese vorhanden sind, die Benützungabschnitte und deren Benützungsort, die Bezeichnungen von Verkehrswegen und Gewässern sowie sonstige Linien und Beschriftungen [Abart u. a., 2011]. Die DKM ist in Ebenen aufgebaut, in einer Ebene (Layer) sind immer Informationen gleicher Art zusammengefasst.

### **2.3 System der österreichischen Landesvermessung**

Durch das Aufkommen der Satellitengeodäsie und die voranschreitende Globalisierung wird in vielen Ländern von einem nationalen Bezugssystem auf ein einheitliches, globales Koordinatensystem übergegangen. So wird auch in Österreich aktuell an der Umsetzung des zukünftigen Systems und dem Übergang zwischen den Systemen gearbeitet. Die folgenden Angaben zu den Systemen und der Systemumstellung beziehen sich, wenn nicht gesondert gekennzeichnet, auf das Dokument [Otter, 2015].

#### **2.3.1 Aktuelles System**

Für das derzeitige Koordinatensystem der österreichischen Landesvermessung wurden in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts vom Militärgeographischen Institut (MGI), einer Vorgängerinstitution des BEV, die Grundlagen gelegt, weswegen dieses kurz als MGI-Bezugssystem oder als Gebrauchssystem bezeichnet wird. Zusammen mit der GK-Abbildung ist es für alle Belange des Katasters zu verwenden [Abart u. a., 2011].

Das Bessel-Ellipsoid, welches im Jahre 1841 von Friedrich Wilhelm Bessel bestimmt wurde, liegt dem österreichischen Landesvermessungssystem zugrunde. Gelagert ist das Ellipsoid auf dem Fundamentalpunkt Hermannskogel und die Orientierung erfolgte auf den Hundsheimer Berg. Der Maßstab wurde aus der 1862 gemessenen Basis bei Josefstadt in Böhmen abgeleitet.

Das Gebrauchssystem ist durch das Festpunktfeld in der Natur, das flächendeckend im gesamten Hoheitsbereich vorliegt, realisiert.

Zur Abbildung der Natur in der Ebene wird in Österreich aktuell die GK-Projektion mit dem Bezugs-

meridian Ferro verwendet. Diese ist eine konforme, transversale Mercator-Abbildung vom Ellipsoid in die Ebene. Dabei wird das Ellipsoid in 3° breite Meridianstreifen gegliedert. Der Mittelmeridian des Streifens wird als Hauptmeridian bezeichnet und längentreu abgebildet. Durch den Bezug zu Ferro kann gesamt Österreich mittels drei Meridianstreifensystemen abgebildet werden. Für eine eindeutige Lagebestimmung ist somit neben den Koordinaten auch die Angabe des Meridianstreifens (M 28, M 31, M 34), welcher gleichzeitig die geographische Länge des Mittelmeridians beschreibt, erforderlich.

Das Höhensystem der derzeitigen Landesvermessung beruht auf normalorthometrischen Höhen, bezogen auf die mittlere Adria, Pegel Triest, und wird mit „Höhe über Adria“ bezeichnet.

### 2.3.2 Zukünftiges System

Das zukünftige System der Landesvermessung ist das europäische Referenzsystem European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89), welches 1990 von der *European Reference Organisation for Quality Assured Breast Screening* als 3D-System für Europa definiert wurde.

Die Einführung und Umsetzung von ETRS89 ist ein mehrstufiges Verfahren, das zum Großteil bereits abgeschlossen ist. Realisiert wird das System über Permanent- und Epochenstationen. Diese werden als Grundnetz bezeichnet und stellen eine moderne Form des Festpunktfeldes dar. Aktuell wird an der Bestimmung sämtlicher Festpunkte im System ETRS89 für die Homogenisierung des Festpunktfeldes gearbeitet, wodurch abschließend sämtliche Katasterprodukte in das System ETRS89 übergeführt werden sollen.

Als einheitliche Abbildungsvorschrift wurde die Universal Transverse Mercator (UTM)-Projektion festgelegt, welche eine Sonderform der GK-Projektion ist. Bei der UTM-Projektion wird der Grundmeridian nicht längentreu, sondern im Maßstab ( $m=0,9996$ ) abgebildet, was die Ausdehnung der Meridianstreifenbreite von 3° auf 6° ermöglicht, wodurch Österreich durch die beiden Zonen 32 und 33 mit dem Mittelmeridianen 9° und 15° östlicher Länge abgedeckt wird. Als Bezugsmeridian wird im internationalen UTM-System der 1913 als Nullmeridian festgelegte Greenwich Meridian verwendet.

### 2.3.3 Festpunktfeld

Das Festpunktfeld ist die physische Realisierung des aktuellen Landesvermessungssystems. Mittels ca. 230 000 Festpunkten wird der Bezug des Systems MGI (GK) zur Erdoberfläche hergestellt.

#### Festpunkte

Festpunkte sind in der Natur stabilisierte Punkte, die durch Messungen in das System MGI (GK) eingebunden sind. Sie bilden die Grundlage des Landesvermessungssystems und somit auch die des Katasters.

Aufgrund der historischen Entstehung des Festpunktfeldes liegt eine strikte Trennung der Zuständigkeit der Festpunkte vor. Punkte der Ordnungen 1. bis 5. unterliegen der Abteilung „Grundlagen“ des



BEV und werden einzeln als Triangulierungspunkt (TP) bezeichnet. Ein Punkt 6. Ordnung wird als Einschaltspunkt (EP) bezeichnet und vom jeweils zuständigen VA verwaltet. Die Unterscheidung der Festpunkte zeigt sich unter anderem auch in der Art der Vermarkung, Bezeichnung und Punktlagegenauigkeit.

Die häufigste Stabilisierungsform von TPs ist ein massiver Granitstein mit einer unterirdisch sitzenden, zentrischen Klinkerplatte und einem Eisenrohr als Versicherung. Im Gegensatz dazu werden EPs, die vermehrt in bebauten Gebieten liegen, überwiegend mit einer Metall- oder Kunststoffmarke oder indirekt, mittels Gabelpunkt stabilisiert. Ein Festpunkt kann aus einer oder mehreren Stabilisierungen bestehen und stellt somit ein Punktsystem dar. TPs bestehen beispielsweise vorwiegend aus einem Bodenpunkt, einem Hochpunkt, welcher zur Signalisierung des Punktes dient, und mehreren Versicherungspunkten. Die gängigsten Signalisierungsarten sind Gipfelkreuze, Kirchenknäufe, Scheiben- oder Stangensignale.

Die Bezeichnung der Festpunkte wird folgend anhand von zwei Beispielen erläutert. Die Punktnummer der EPs setzt sich aus der fünfstelligen KG-Nummer, einer laufenden Nummer und der Abkürzung der Stabilisierungsart zusammen, siehe Abbildung 1 (a). TPs werden, wie in Abbildung 1 (b) beispielhaft gezeigt, mit einem „T“, einer laufenden Nummer, der Nummer der ÖK50 im Bundesmeldenetz (BMN)-Blattschnitt und am Ende mit der Stabilisierung bezeichnet.

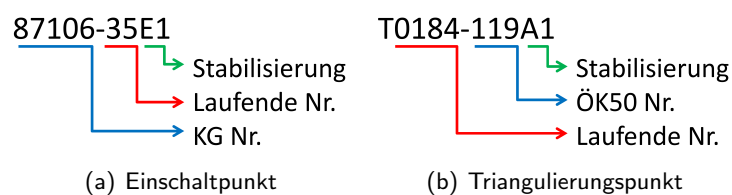


Abbildung 1: **Beispiel Festpunktnummerierung**

Die mittlere Punktlagegenauigkeit der Festpunkte ist in der VermV für EPs mit maximal 7 cm und für TPs mit maximal 5 cm, in einem lokalen, topografisch abgegrenzten Bereich festgelegt und als empirischer Wert der Lagegenauigkeit der Punkte definiert [VermV2010, 2012].

### Aufbau des Festpunktfeldes

Das heute bestehende Festpunktfeld ist historisch in so genannten Ordnungen gewachsen und hat seinen Ursprung im Gradmessungsnetz, welches zur Erforschung der Erdgestalt im achtzehnten Jahrhundert angelegt wurde. Es ist ein trigonometrisches Vermessungsnetz, das mit dem Verfahren der Triangulation erstellt und im Laufe der Jahre bis zur 6. Ordnung verdichtet wurde. Das Netz ist vorwiegend auf Winkelmessungen aufgebaut, da die Messung von Distanzen („Basen“) zur damaligen Zeit sehr schwierig war. Dies hat dazu geführt, dass das gesamte Netz von nur einer Basis, der Basis bei Josefstadt, mittels eines Basisentwicklungsnetzes abgeleitet und der Maßstab der Basis auf das Netz übertragen wurde [Unbekannt, 1987]. Alle weiteren Punkte wurden mit der Methode der Netzausbreitung, in einem möglichst regelmäßigen Netz, durch reine Richtungsbeobachtungen bestimmt. Das Netz 1. bis 5. Ordnung wurde nach Ende des 1. Weltkrieges einer kompletten Reambulierung und Neutriangulierung unterzogen [Imrek u. Höggerl, 2010].

Bei der Neuanlegung des Netzes 1. bis 5. Ordnung wurde neben einer gleichmäßigen Verteilung der Punkte auch auf gute Sichtverbindungen zwischen benachbarten Punkten geachtet, wodurch oftmals hohe exponierte Lagen (meist Berggipfel) für die Punkte gewählt wurden. Punkte ab der Ordnung 2 wurden durch Richtungsmessungen mit immer geringer werdenden Punktabständen in das übergeordnete Netz eingeschaltet, wie aus Tabelle 2 ersichtlich wird. Die Punkte 6. Ordnung wurden in der zweiten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts mit einem Punktabstand von 300 m in das bestehende Netz eingeschaltet und stellen die Grundlage des Grenzkatasters dar, für welchen im VermG ein engmaschiges Festpunktfeld gefordert ist.

In Tabelle 2 sind die Festpunkte der jeweiligen Ordnung mit ihrer mittleren Entfernung und Anzahl zusammengefasst aufgelistet.

Tabelle 2: **Festpunkte im System MGI (GK) (Stand 05/2015)**

<b>Ordnung</b>	<b>Mittl. Entfernung [km]</b>	<b>Anzahl der Punkte</b>
<b>1 (TP)</b>	35	122
<b>2 (TP)</b>	18	409
<b>3 (TP)</b>	11	1527
<b>4 (TP)</b>	4	8601
<b>5 (TP)</b>	1	46 810
<b>6 (EP)</b>	0,3	178 268

### **Inhomogenitäten im Festpunktfeld**

Durch die technische und wissenschaftliche Weiterentwicklung der Mess- und Auswertemethoden werden die im Gebrauchsnetz enthaltenen Inhomogenitäten immer deutlicher. Ursachen dieser Inhomogenitäten sind lt. [Otter, 2015] systematische Fehler aufgrund:

- Der unveränderten Übernahme von 40 Punkten aus dem Gradmessungsnetz bei der Neutrian- gulierung des Netzes 1. Ordnung.
- Der damals beschränkten Mittel der Auswertung (keine EDV), mit welchen es nicht möglich war das gesamte Netz in einem Guss auszugleichen, weswegen der Ausgleich schrittweise erfolgte, was zu großen Netzspannungen an den Nahtstellen führt.
- Der Einschaltung von Punkten niedrigerer Ordnung in größere Netzverbände, auf welche die Fehler des übergeordneten Netzes übertragen wurden.
- Des Einflusses der Topographie auf das Netzdesign 4. bis 6. Ordnung, durch fehlende Sicht- verbindungen und steile Visuren.

Desweiteren existieren Fehler aufgrund unterschiedlicher Messgenauigkeiten bei der Bestimmung der Punkte und aufgrund äußerer Einflüsse, die auf das Festpunktfeld wirken wie z. B. der Mensch, Bodenbewegungen und Naturkatastrophen.

Bei den systematischen Fehlereinflüssen unterscheidet man zwischen langwelligen und kurzwelligen Fehleranteilen in den Koordinaten. Der langwellige Trend (siehe Abbildung 2 links) resultiert vor- wiegend aus der Ungenauigkeit der Festpunkte 1. bis 3. Ordnung und weist eine Größenordnung von

bis zu 1,5 m in den Koordinatendifferenzen auf. Der kurzwellige Trend (siehe Abbildung 2 rechts) überlagert den langwelligen Trend und zeigt eine Spannung zwischen benachbarten Punkten im Dezimeterbereich. Er ist auf die Topographie und die damit verbundenen Erschwernisse im Netzdesign und den Messungen zurückzuführen.

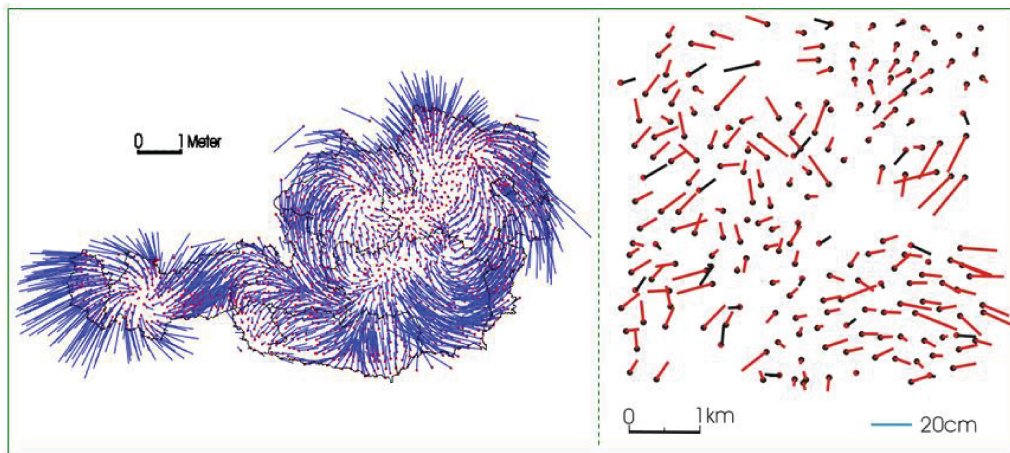


Abbildung 2: **Spannungen im Festpunktfeld (entnommen aus [Imrek u. Höggerl, 2010])**

Die Fehler des Gebrauchsnetzes wirken sich unmittelbar auf den Kataster aus, da jede Katastervermessung an das Festpunktfeld angeschlossen werden muss. Aufgrund der Inhomogenitäten im Festpunktfeld wird im VermG explizit definiert, dass die nächstgelegenen Festpunkte zu verwenden sind, um die Nachbarschaftsgenauigkeit zu gewährleisten.

#### 2.3.4 Homogenisierung

Im Zuge der Systemumstellung ist es notwendig das Festpunktfeld aufgrund der vorliegenden Inhomogenitäten und deren Folgen im Kataster zu homogenisieren. Die Homogenisierung erfolgt dabei über das System ETRS89 in drei Realisierungsstufen.

Die Schaffung des Homogenvektormodells stellt die erste Realisierungsstufe der Homogenisierung dar. Als zweite und dritte Stufe sollen die Homogenisierung des Katasters und anderer Folgeprodukte sowie die wesentliche Reduktion der Festpunktdichte in stabilen, Global Navigation Satellite System (GNSS) tauglichen Gebieten erfolgen. Ausgehend von dem Grundnetz des Systems ETRS89 werden die Festpunkte im System ETRS89 bestimmt [Imrek u. Höggerl, 2010].

Für die Koordinatenbestimmung der Punkte 1. bis 5. Ordnung werden seit 1989 statische Global Positioning System (GPS)-Messungen und seit 2003 Austrian Positioning Service (APOS)-Real Time Kinematic (RTK)-Messungen an ausgewählten Punkten durchgeführt sowie Strecken-, Richtungs- und Höhenwinkelmessungen aus den im Archiv vorliegenden Operaten digitalisiert. Die Berechnung der TPs erfolgt in einem gemeinsamen Ausgleich der GNSS-Messungen und der terrestrischen Messungen. Die Bestimmung der EPs im System ETRS89 erfolgt in dem Projekt REVision und UEbermessung der Festpunkte (REVUE) mittels APOS-Messungen, welche vom verantwortlichen VA durchgeführt werden. Mit Ende 2019 sollen alle TPs und ein Großteil der EPs in ETRS89-Koordinaten vorliegen und als Punktkarten verfügbar sein.

Die Klaffungen ( $dx$ ,  $dy$  und  $dh$ ) zwischen den aktuellen Koordinaten der Festpunkte (Gebrauchskoordinaten) und den neu bestimmten, homogenisierten Koordinaten im System der Landesvermessung werden als Homogenvektoren bezeichnet und bilden die Voraussetzung für die Homogenisierung des Festpunktfeldes und aller Folgeprodukte. Die Bestimmung des Homogenvektors kann über Ausgleichung, Messung oder Interpolation für jeden Punkt in Österreich erfolgen.

Der Übergang zwischen den Systemen MGI (GK) und ETRS89 (UTM) wird mit dem Homogenvektormodell (siehe Abbildung 3) erreicht. Es beschreibt den Zusammenhang zwischen den kartesischen Koordinaten beider Systeme mittels des bundesweiten 7-Parametersatzes und den Höhenübergang über die Geoidundulation. Mittels des funktionalen Modells können somit von einer Koordinatenform alle anderen berechnet werden. Wenn z. B. die UTM-Koordinaten im System ETRS89 bekannt sind, kann mittels des Transformationsmoduls (in Abbildung 3 der schraffiert umrandete Bereich) die homogenisierte GK-Koordinate im System MGI berechnet und über den Homogenvektor die Gebrauchskoordinate bestimmt werden.

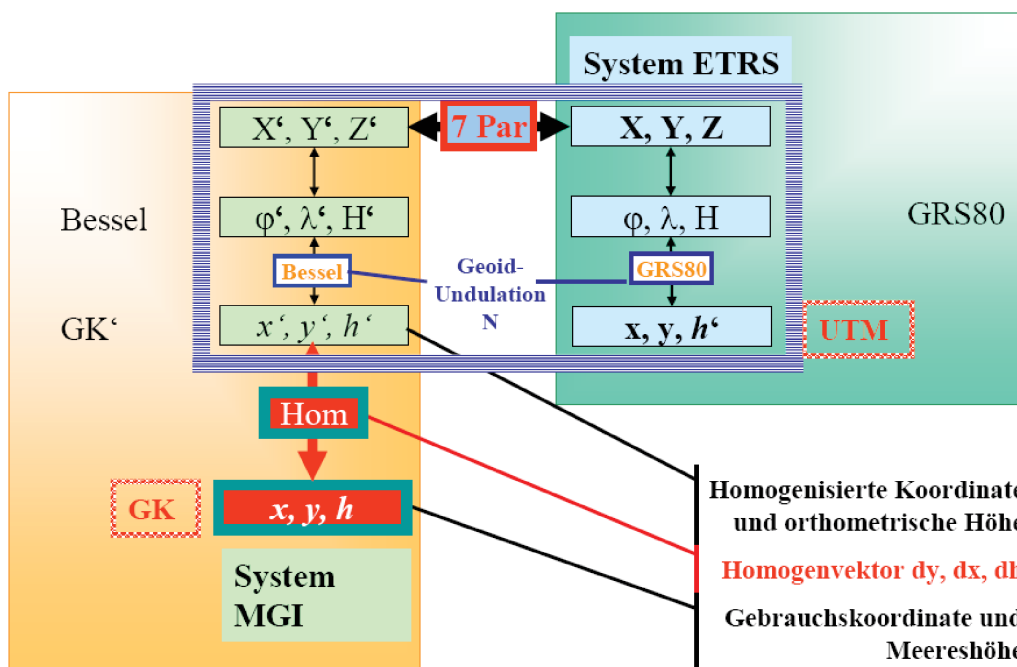


Abbildung 3: Homogenvektormodell (entnommen aus [Otter, 2015])

## 3 Stand der Technik

In diesem Kapitel wird der Umgang im Kataster mit Grundstücken, die Bodenbewegungen unterliegen, der vom BEV verwendete Ansatz zur Bestimmung von Rutschpunkten und die vorangegangene Arbeit erläutert.

### 3.1 Änderung in den gesetzlichen Grundlagen hinsichtlich Bodenbewegungen 2017

Ausgehend von der Erkenntnis der vergangenen Jahre wurde das VermG und die VermV unter anderem hinsichtlich des Verfahrens mit Grundstücken in Gebieten mit Bodenbewegungen geändert sowie eine neue Verordnung bezüglich Bodenbewegungen erlassen.

#### 3.1.1 Vermessungsgesetz (VermG)

Die wesentliche Änderung in Bezug auf Bodenbewegungen im VermG ist lt. [VermG1968, 2016] die Schaffung des § 32a. Darin wird festgelegt, dass betroffene Grundstücke auszuweisen sind und gegebenenfalls der Grenzkataster aufzuheben bzw. die Umwandlung in den Grenzkataster nicht mehr möglich ist, bis die Bodenbewegungen zum Stillstand gekommen sind. Danach sind die Grundstücke in das Verfahren zur Neuanlegung des Grenzkatasters wieder einzubeziehen und die Anmerkungen zu löschen. Zudem wird auf eine weitere Verordnung bezüglich näherer Vorschriften, unter welchen Gegebenheiten Grenzen von Grundstücken durch Bodenbewegungen als verändert gelten, verwiesen.

#### 3.1.2 Vermessungsverordnung (VermV)

Die VermV wurde in Bezug auf Bodenbewegungen dahingehend geändert, dass Sonderbestimmungen für Pläne in Gebieten mit Bodenbewegungen und der neue Grenzpunktindikator „B“, für durch Bodenbewegungen veränderte Punkte, definiert wurde [VermV2010, 2016].

#### 3.1.3 Bodenbewegungsverordnung (BodBwV)

Weiteres wurde eine neue Verordnung über Vorschriften, unter welchen Bedingungen Grenzen von Grundstücken durch Bodenbewegungen als verändert anzusehen sind, kurz die BodBwV, geschaffen. Die folgenden Angaben wurden der BodBwV und der dazugehörigen Erläuterung aus Quelle [BodBwV2017, 2017] entnommen.

In der Verordnung werden die Begriffe Bodenbewegung, Ermittlungsfläche und Verifikationsmessung definiert. Zudem werden die Bestimmungen, unter welchen Voraussetzungen Bodenbewegungen vorliegen und die Vorgangsweise zur Feststellung von Bodenbewegungen, d. h. die Ausweisung von Ermittlungsflächen, die Durchführung von Verifikationsmessungen, die Erbringung des messtechnischen Nachweises für Bodenbewegungen sowie die Folgen des Nachweises, geregelt.

Unter dem Begriff „Bodenbewegungen“ sind im Sinne dieser Arbeit und der BodBwV gleichmäßige,

hangabwärts gerichtete Bewegungen des Bodens über einen längeren Zeitraum zu verstehen. In der Erläuterung zur Verordnung werden Bodenbewegungen aufgrund ihrer Geschwindigkeit in:

- sehr langsam: bis 2 cm pro Jahr,
- langsam: 2 cm bis 10 cm pro Jahr und in
- schnell: größer 10 cm pro Jahr

unterschieden. Der Begriff ersetzt im BEV zudem den Begriff „Rutschungen“, welcher beim Aufkommen der Thematik verwendet wurde und für die Einführung des Punkthinweises „R“-Rutschpunkt zur Kennzeichnung von durch Bodenbewegungen veränderte Festpunkte eingeführt wurde.

Als Ermittlungsflächen für Bodenbewegungen werden in der Verordnung Gebiete definiert, für die aufgrund von geologischen Gutachten, Vermessungen oder Gefahrenzonenplänen die Vermutung besteht, dass Bodenbewegungen auftreten können. Zur planlichen Darstellung der Abgrenzungen von Ermittlungsflächen auf Basis des Katasters und Ausweisung von betroffenen Grundstücken sind die definierten Gebiete mit der DKM zu verschneiden, wobei die Ausweisung von Grundstücken noch keinen Nachweis für Bodenbewegungen darstellt.

Die Festlegung, ob Bodenbewegungen vorliegen, kann nur über koordinativ bekannte Punkte getroffen werden. Im Sinne der Verordnung sind Verifikationsmessungen Messungen zur Feststellung und Dokumentation von Bodenbewegungen im Bereich von Ermittlungsflächen. Verifikationsmessungen sind lt. Verordnung jedoch nur anlassbezogen für konkrete Grundstücke durchzuführen. Bodenbewegungen sind als nachgewiesen anzusehen, wenn bei gleicher Kennzeichnung eines Punktes Koordinatenverschiebungen in Fallrichtung von 15 cm, 20 cm oder 25 cm, je nach Schaffungszeitraum des Punktes, im Bezugssystem MGI auftreten und im Bezugssystem ETRS89 bei Koordinatenverschiebungen von mehr als 10 cm.

### **3.2 Der Kataster in Gebieten mit Bodenbewegungen – Masterarbeit Vallazza**

In der Masterarbeit „Der Kataster in Gebieten mit Bodenbewegungen“ von M. Vallazza wurden erste rechtliche und technische Lösungsansätze zum Umgang mit dem Kataster in Gebieten mit Bodenbewegungen erarbeitet. Dieser Abschnitt stellt die Ergebnisse aus [Vallazza, 2015] zusammengefasst dar, wodurch auf eine separate Zitierung verzichtet wird.

In der Arbeit wurde die gesetzliche Verankerung des Grenzkatasters in den Gesetzesgrundlagen wie VermG, VermV und ABGB analysiert und die zwei folgenden Vorschläge für die Aufhebung des Grenzkatasters erarbeitet sowie Überlegungen für die nächste Novelle der VermV diskutiert.

- Der erste Vorschlag stellt eine Ergänzung des § 13 VermG dar, in welchen Fällen die Aufhebung des Grenzkatasters in Gebieten mit Bodenbewegungen aufgrund eines nicht stabilen Festpunktfeldes und der dadurch fehlenden Rechtssicherheit des Grenzkatasters erfolgt soll. Desweiteren wird eine Abänderung des § 15 VermG vorgeschlagen, wodurch die Umwandlung von Grundstücken in Gebieten mit Bodenbewegungen im Grenzkataster, durch Anmerkung in der Grundstücksdatenbank, verhindert wird.
- Der zweite Lösungsansatz basiert auf einem eigenen Paragraphen (§ 8a) für die Aufhebung der

Umwandlung aus dem Grenzkataster und einer Ergänzung des § 52, welcher die Umwandlung im Grenzkataster für alle Grundsteuerkatastergrundstücke verhindert.

Auch erste technische Lösungsansätze wurden in der Arbeit aufgezeigt. Der erste erarbeitete Ansatz basiert auf der Geologie. Dabei wurde das österreichische Staatsgebiet anhand der zugrunde liegenden Geologie in Gebiete mit hoher oder niedriger Wahrscheinlichkeit für Bodenbewegungen eingeteilt und durch Überlagern mit den derzeit vermuteten bewegten Festpunkten verifiziert.

Als Grundlage der Klassifizierung diente die geologische Karte von Österreich der Geologischen Bundesanstalt (GBA). In Gesprächen mit Geologen wurden die Gesteinsarten für erste Analysen grob in, die in Tabelle 3 aufgelisteten, sieben Klassen zusammengefasst und diesen anschließend eine hohe oder niedrige Wahrscheinlichkeit für Bodenbewegungen zugewiesen. Die genaue Zuteilung der Klassen zu den Wahrscheinlichkeiten kann aus Tabelle 3 entnommen werden.

Tabelle 3: **Wahrscheinlichkeit von Bodenbewegungen der Gesteinsklassen (nach [Vallazza, 2015])**

<b>Klasse</b>	<b>Wahrscheinlichkeit von Bodenbewegungen</b>
Böhmische Masse	Gering
Tertiäre Becken	Hoch
Helvetikum	Hoch
Penninikum	Hoch
Mesozoikum der Nördlichen Kalkalpen und Äquivalente	Gering
Ostalpines Paläozoikum und Kristallin und Südalpin	Hoch
Periadritische Intrusive	Hoch

Das Ergebnis dieses Ansatzes ist in Abbildung 4 ersichtlich. Daraus zeigt sich sehr deutlich der Zusammenhang der ausgewiesenen Rutschpunkte mit der Geologie, da mehr als 95 % der Punkte in den Gesteinsklassen mit hoher Wahrscheinlichkeit von Bodenbewegungen liegen.

Als zweiter technischer Lösungsansatz wurde die Hangneigung betrachtet. Dabei zeigte die Recherche, dass sich bereits eine Vielzahl an Publikationen mit der Thematik Massenbewegungen, Hangneigung und äußere Einflüsse auseinandergesetzt hat. Die in den Veröffentlichungen erarbeiteten Ergebnisse beziehen sich jedoch jeweils auf ein zugrunde liegendes Testgebiet und wurden aufgrund der Komplexität des Themas nicht verallgemeinert, wodurch keine einheitlich gültige Klassifizierung zu finden ist.

Als Grundlage für die Analyse in der vorangehenden Arbeit wurden zwei Klassifizierungen näher betrachtet. Aus der Recherche wurde der Schluss abgeleitet, dass schleichende Bodenbewegungen überwiegend bei einer Hangneigung zwischen 10° und 40° auftreten. Diese Aussage wurde durch Verschneiden der Geländeneigung mit den als Rutschpunkten ausgewiesenen Festpunkten im Vermessungssprengel Innsbruck verifiziert, wie in Abbildung 5 dargestellt ist.

### Verschneidung der TP und EP mit der Bodenbewegungswahrscheinlichkeit

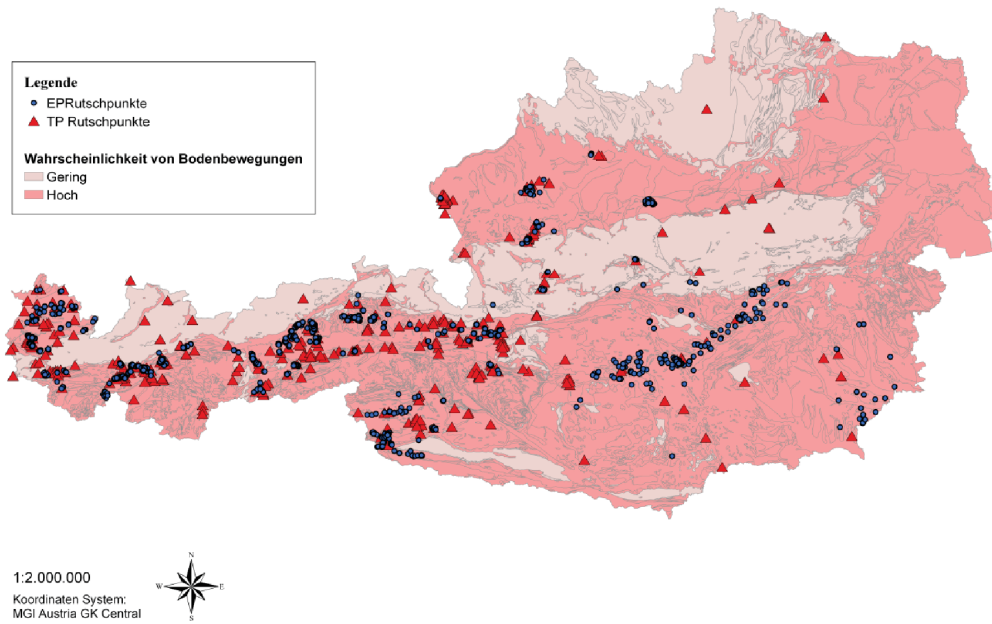


Abbildung 4: Verifizierung der Wahrscheinlichkeit von Bodenbewegungen (entnommen aus [Vallazza, 2015])

### Verschneidung der TP und EP mit den Hangneigungen

Bezirk Innsbruck Land und Schwaz

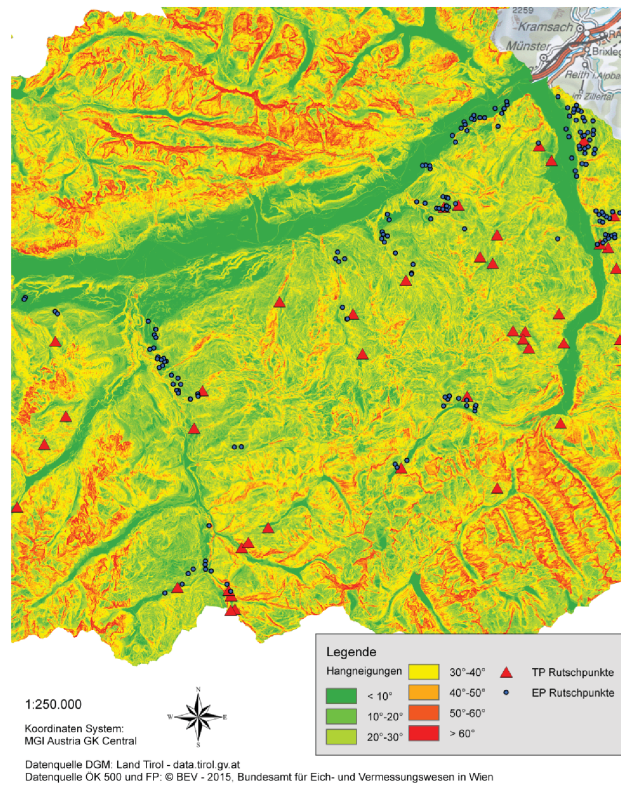


Abbildung 5: Vergleich der Festpunkte mit der Geländeneigung (entnommen aus [Vallazza, 2015])



### 3.3 Detektion von Rutschpunkten

Als Rutschpunkte werden vom BEV Festpunkte bezeichnet, die Bodenbewegungen unterliegen. Die Bestimmung von Rutschpunkten erfolgt im Zuge der Homogenisierung des Festpunktfeldes (siehe Abschnitt 2.3.4). Aufgrund der seit jeher existierenden Trennung der Zuständigkeit im Festpunktfeld erfolgt auch die Detektion von Rutschpunkten im TP und EP-Feld getrennt und auf unterschiedliche Weise.

#### 3.3.1 Triangulierungspunkte

Die Festpunkte 1. bis 5. Ordnung werden im Zuge einer Neuausgleichung im homogenen System ETRS89 im Hinblick auf Bodenbewegungen beurteilt. Liegen keine Mehrfachbeobachtungen vor, kann der Punkt hinsichtlich Bodenbewegungen zum aktuellen Zeitpunkt nicht untersucht werden.

Der Neuausgleich im System ETRS89 erfolgt in mehreren Schritten, auf welche hier im Einzelnen nicht näher eingegangen wird. In einem letzten Schritt werden, ausgehend von einem ausgeglichenem Grundnetz im System ETRS89, mit Hilfe von digital aufbereiteten terrestrischen Messungen die nicht mit GNSS übermessenene Festpunkte koordinativ bestimmt. Bei der Auswertung werden grundsätzlich die unterschiedlichen Zeitpunkte von Mehrfachbeobachtungen nicht beachtet. Treten jedoch Unstimmigkeiten in einzelnen Punkten auf, erfolgt eine detaillierte Analyse unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Messepochen und gegebenenfalls eine Kontrollmessung mittels APOS. Wird eindeutig eine Veränderung des Punktes aufgrund von Bodenbewegungen, durch das Auftreten einer negativen Höhenänderung und einer Lageänderung in Hangrichtung, erkannt, erfolgt die Ausweisung des Punktes als Rutschpunkt.

#### 3.3.2 Einschaltpunkte

Die Detektion von Rutschpunkten im EP-Feld erfolgt anhand der Ergebnisse des Projektes REVUE. Ziel des Projektes ist die Revision und Übermessung aller Festpunkte 6. Ordnung. Die Punkte werden analog zur Schaffung des EP-Feldes katastralgemeindeweise hinsichtlich ihrer Stabilität, Erreichbarkeit und GNSS-Tauglichkeit revidiert und mittels Satellitenmessungen im System ETRS89 bestimmt. Das Vorgehen zur Bestimmung von Rutschpunkten im VA Innsbruck wird folgend zusammengefasst erläutert.

Die Messung der EPs erfolgt mittels APOS-RTK in zwei Messserien mit je sechs Positionslösungen und einer Zeitdifferenz von mindestens zwei Stunden. Ist ein Festpunkt nicht direkt messbar, z. B. aufgrund von Abschattung, wird dieser mittels Exzentermessung erfasst. Die Auswertung der Daten erfolgt mittels mehrerer Programme. Zu Beginn werden die Messdaten bereinigt und die nicht den Qualitätskriterien entsprechenden Positionslösungen gelöscht. Anschließend werden die im System ETRS89 gemessenen Punkte mittels einer lokalen 7-Parameter-Helmert Transformation, welche über die im Messgebiet liegenden TPs bestimmt wird, in das Gebrauchssystem transformiert. Eine lokale Transformation ist aufgrund der Inhomogenitäten im Festpunktfeld zwingend notwendig. Die transformierten, gemessenen Koordinaten werden daraufhin mit den aktuell gültigen Gebrauchskoor-

dinaten verglichen. Das Ergebnis des Koordinatenvergleichs ist eine *Excel*-Tabelle, wie in Abbildung 6 gezeigt. Darin sind die Gebrauchskordinaten, welche in der Tabelle mit *Koordinate\_alt* bezeichnet sind, den gemessenen, ins lokale System transformierten Koordinaten (*Koordinate\_neu*) gegenübergestellt und die Differenzen in Lage und Höhe sowie der lineare Fehler ausgewiesen. Der lineare Fehler entspricht hierbei der Länge des Differenzvektors der Lage. Anhand des linearen Fehlers erfolgt eine Farbkodierung der Punkte. Punkte mit einem linearen Fehler zwischen bis 5 cm werden grün, Punkte zwischen 5 cm bis 15 cm gelb und alle Punkte mit einer Differenz größer als 15 cm orange hinterlegt.

Operat Pfnos14 Vergleich (Gesamt)								d = neu - alt			
PN	Y_alt	X_alt	H_alt	T/L Jahr	Y_neu	X_neu	H_neu	d_Y	d_X	d_H	linFehler
0008E1	85045,620	224645,790		T 1_69	85045,632	224645,823	1069,587	0,012	0,033		0,035
0015E1	84861,400	224600,210		T 2_78	84861,400	224600,240	1003,560	0,000	0,030		0,030
0020E1	84888,760	223802,500	967,250	D 2_69	84888,766	223802,492	967,212	0,006	-0,008	-0,038	0,010
0022E1	85472,470	224024,190	1150,610	D 2_69	85472,467	224024,138	1149,775	-0,003	-0,052	-0,835	0,052
0023E1	85129,660	223777,680		T 3_86	85129,680	223777,670	1003,557	0,020	-0,010		0,022
0024J1	85520,640	223378,300		S 1_69	85520,232	223377,991	1059,540	-0,408	-0,309		0,512
0025E1	85259,870	223200,880		T 2_69	85259,020	223200,740	995,788	-0,850	-0,140		0,861
0027E1	85475,620	222632,950		T 4_69	85475,390	222633,162	1054,208	-0,230	0,212		0,313
0029E1	85353,140	223093,840		T 2_69	85352,070	223093,670	1016,284	-1,070	-0,170		1,083
0033E1	85387,230	222792,420		T 4_69	85386,763	222792,578	1022,304	-0,467	0,158		0,493
0034E1	85184,350	222587,580		D 4_69	85184,185	222587,665	1044,086	-0,165	0,085		0,186
0036E1	85616,700	222426,780		T 2_69	85616,400	222426,930	1111,521	-0,300	0,150		0,335
0041E1	85123,660	222599,010		T 3_69	85123,540	222598,990	1025,001	-0,120	-0,020		0,122
0042E1	85155,430	222404,980		T 2_69	85155,040	222404,880	1025,574	-0,390	-0,100		0,403
0043E1	85198,840	222140,530		T 2_69	85198,810	222140,560	1011,227	-0,030	0,030		0,042
0044E1	85234,470	221923,940		T 2_69	85234,480	221923,970	1012,275	0,010	0,030		0,032
0046E1	85316,160	222170,300		T 2_69	85316,190	222170,310	1024,579	0,030	0,010		0,032
0048E1	85297,250	221402,960		T 2_69	85297,230	221403,010	1050,494	-0,020	0,050		0,054
0050E1	85304,580	221051,250	1090,900	D 2_69	85304,502	221051,277	1090,898	-0,078	0,027	-0,002	0,083
0051E2	85086,790	222073,950		T 1_69	85086,797	222074,008	996,131	0,007	0,058		0,058
0053J1	85835,820	223643,210	1252,730	D 2_84	85835,810	223643,178	1252,752	-0,010	-0,032	0,022	0,034
0060J1	85362,830	224529,540		T 2_96	85362,823	224529,305	1177,988	-0,007	-0,235		0,235
0061C2	84865,270	225134,640	1057,960	T 2_13	84865,333	225134,703	1058,010	0,063	0,063	0,050	0,089
0062J1	88196,381	224945,598	2174,218	D 1_07	88196,381	224945,567	2174,167	0,000	-0,031	-0,051	0,031

Abbildung 6: Tabellarisches Ergebnis des Koordinatenvergleichs der Gemeinde Pfnos

Ein Punkt wird als unverändert angesehen, wenn die Länge des Differenzvektors die Fehlersumme aus innerer Messgenauigkeit und mittlerem Punktlagefehler (siehe Schrankwert) nicht überschreitet. Der Schrankwert liegt hierbei bei 8,2 cm, da lt. VermV von einer mittleren Punktlagegenauigkeit (*mPLG*) der EPs von 7 cm und einer Messgenauigkeit von 4,5 cm, dreifachem mittleren Fehler, ausgegangen wird.

$$Schranke = \sqrt{mPLG^2 + Messgenauigkeit^2}$$

Punkte, welche den Grenzwert überschreiten, werden im VA Innsbruck in einem ersten Schritt gesperrt. In weiteren Schritten wird versucht die Ursache der Punktdifferenz zu ermitteln. Mögliche Ursachen können z. B. eine unpassende Transformation, die Verlegung des Punktes durch Unbefugte, fehlerhafte Gebrauchskordinaten, Messfehler oder Bewegungen des Erdreichs sein.

Die Ursachenbestimmung erfolgt anhand der Messunterlagen und Punktskizzen, welche die Lage und Beschaffenheit der Punkte zeigen sowie Aufschlüsse zur Messung geben. Weiteres werden die Punkte in einem Orthofoto grafisch dargestellt, die Bewegungsrichtung anhand der Koordinaten abgeschätzt und die Punkte entsprechend bewertet. Das Auftreten von Punktgruppen mit ähnlich großen Punktdifferenzen und gleicher Bewegungsrichtung wird als Indiz für eine Bodenbewegung gedeutet.

## 4 Bestimmung und Ausweisung von Ermittlungsflächen

Dieses Kapitel befasst sich mit der erarbeiteten Methode zur Bestimmung und Ausweisung von Ermittlungsflächen für Bodenbewegungen gemäß BodBwV. Folgend wird der allgemeine Ansatz der Methode, die einzelnen Arbeitsvorgänge und die Umsetzung dieser im Programm *ArcGIS* für die weiterführende, praktische Anwendung erläutert.

Die Methode basiert dabei auf der Auswertung von Neigung, Exposition, Geologie, Boden und des Festpunktfeldes. Die Aufbereitung und Auswertung der Ausgangsdaten wird beispielhaft für den Vermessungssprengel Innsbruck gezeigt.

### 4.1 Methode

Bodenbewegungen bzw. Massenbewegungen treten im Allgemeinen in verschiedener Art, Größe und Form in Erscheinung und sind in ihrer Entstehung sehr komplex. Sie beruhen nur selten auf einer einzelnen Ursache [Lateltin, 1997] und werden von mehreren Faktoren, wie der Geologie, Topologie, Vegetation und dem Wasserverhältnissen, beeinflusst [Bollinger u. a., 2004]. Sie können mittels unterschiedlichster Messmethoden, wie beispielsweise Photogrammetrie, Radarinterferometrie, terrestrische oder satellitengestützte Messungen, erfasst werden. Aufgrund der Anforderung des BEV, einer möglichst raschen und kostengünstigen Lokalisierung von Gebieten mit Bodenbewegungen im gesamten Bundesgebiet zur Gewährleistung einer fehlerfreien Katasterführung und den Anforderungen, Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten der Messmethoden ist es für ein effektives Vorgehen zur Detektion von Bodenbewegungen notwendig das Betrachtungsgebiet vorab einzuschränken. Den Anforderungen des BEV entsprechend, wurde in dieser Arbeit eine Methode zur Bestimmung und Ausweisung von Ermittlungsflächen und zur Klassifizierung von betroffenen Grundstücken anhand bestehender und kostenfrei verfügbarer bzw. von BEV interner, österreichweit vorliegender Neigung-, Exposition-, Geologie-, Boden- und Festpunktfeldinformationen erstellt.

Die erarbeitete Methode basiert auf der Kombination verschiedener Informationen und der Verschneidung dieser mit der DKM. Sie ist in Abbildung 7 dargestellt und kann allgemein in die daraus ersichtlichen drei Arbeitsvorgänge gegliedert werden.

Der erste Arbeitsvorgang der Methode ist die Aufbereitung und Auswertung der Informationen, aus welchen Rückschlüsse über mögliche Gebiete mit Bodenbewegungen gezogen werden können. Entsprechende Informationen sind Angaben über Ursachen und Einflussfaktoren von Massenbewegungen, Untersuchungs- oder Messergebnisse, Gefahrenzonenpläne und Gutachten. Wie in Abbildung 7 dargestellt, können in die Methode beliebig viele Informationen integriert werden. Als Grundlage der Methode wurden die Neigung, Exposition, Geologie, der Boden und das Festpunktfeld definiert. Die Aufbereitung, Umsetzung und beispielhafte Auswertung der betrachteten Informationen sind im folgenden Abschnitt 4.2 detailliert beschrieben.

Durch Kombination der Ergebnisse der einzelnen Informationen wird im zweiten Arbeitsvorgang eine Verdachtskarte für Bodenbewegungen erstellt. Anhand dieser können Ermittlungsflächen bestimmt und durch das BEV als solche ausgewiesen werden. Der verwendete Ansatz zur Erstellung der Ver-

dachtskarte und zur Bestimmung der Ermittlungsflächen sowie die Umsetzung der Auswerteschritte im Programm *ArcGIS* werden im Abschnitt 4.3 genauer ausgeführt.

Abschließend wird die Verdachtskarte mit der DKM verschnitten. Die in der DKM enthaltenen Grundstücke werden in bewegte und stabile Grundstücke klassifiziert und in einer Karte dargestellt. Dies entspricht lt. [BodBwV2017, 2017] § 2. (1) BodBwV der Ausweisung von Grundstücken mit Verdacht auf Bodenbewegungen und der planlichen Darstellung der Abgrenzungen von Ermittlungsflächen auf Basis der DKM. Die ausführliche Beschreibung dieses Arbeitsvorganges ist dem Abschnitt 4.4 zu entnehmen.

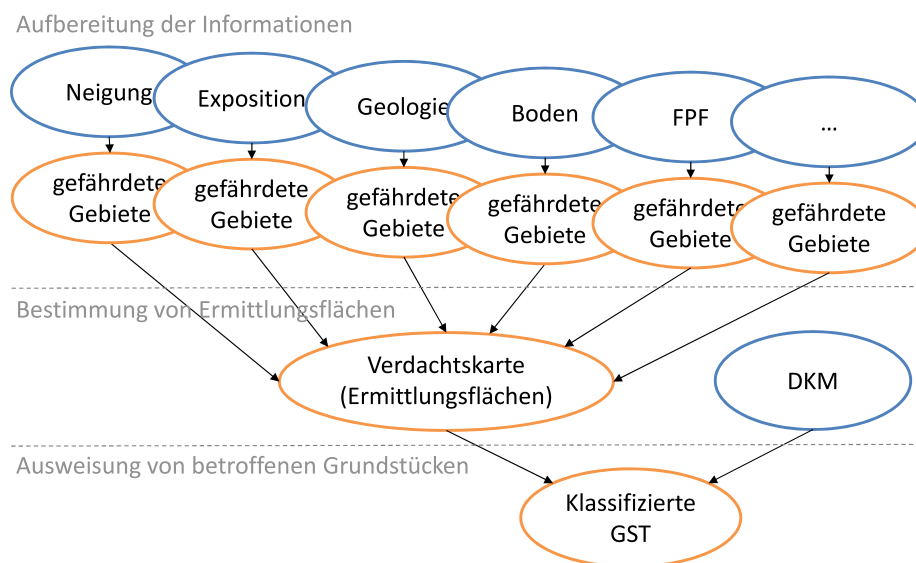


Abbildung 7: **Ansatz der Methode**

Die Umsetzung der Methode für die weiterführende, praktische Anwendung erfolgte anhand der im BEV vorliegenden Programme, speziell wurde das Programm *ArcGIS Desktop* verwendet. Die Methode wurde in Form von Geoverarbeitungsmodellen umgesetzt und als Userfunktion im *ArcGIS* implementiert. Geoverarbeitungsmodelle bieten dem Anwender im *ArcGIS* die Möglichkeit Standardfunktionen (Werkzeuge) zu verknüpfen und Arbeitsabläufe zu automatisieren. Sie können wie Standardwerkzeuge verwendet werden und gleichen bei herkömmlicher Anwendung diesen in Form und Funktion. Die erstellten Geoverarbeitungsmodelle entsprechen den einzelnen Arbeitsvorgängen der Methode und wurden in dem Werkzeugkasten *Bodenbewegungen* zusammengefasst.

Die Methode als Gesamtprozess ist in Abbildung 8 dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass für die Auswertung der betrachteten Informationen ebenfalls Geoverarbeitungsmodelle erstellt wurden, welche auf den in dieser Arbeit verwendeten Ausgangsdaten beruhen. In Abbildung 8 und den folgenden Prinzipdarstellungen der Geoverarbeitungsmodelle werden die Arbeitsschritte als grüne Quadrate, die Eingabeparameter mittels blauem und das Ergebnis als oranges Oval dargestellt, wodurch schnell und einfach die Zusammenhänge und Parameter ersichtlich werden. Der Aufbau, die Funktionsweise und Anwendung der einzelnen Geoverarbeitungsmodelle werden in den folgenden Unterkapiteln der einzelnen Arbeitsvorgänge detaillierter dargestellt und näher erläutert.

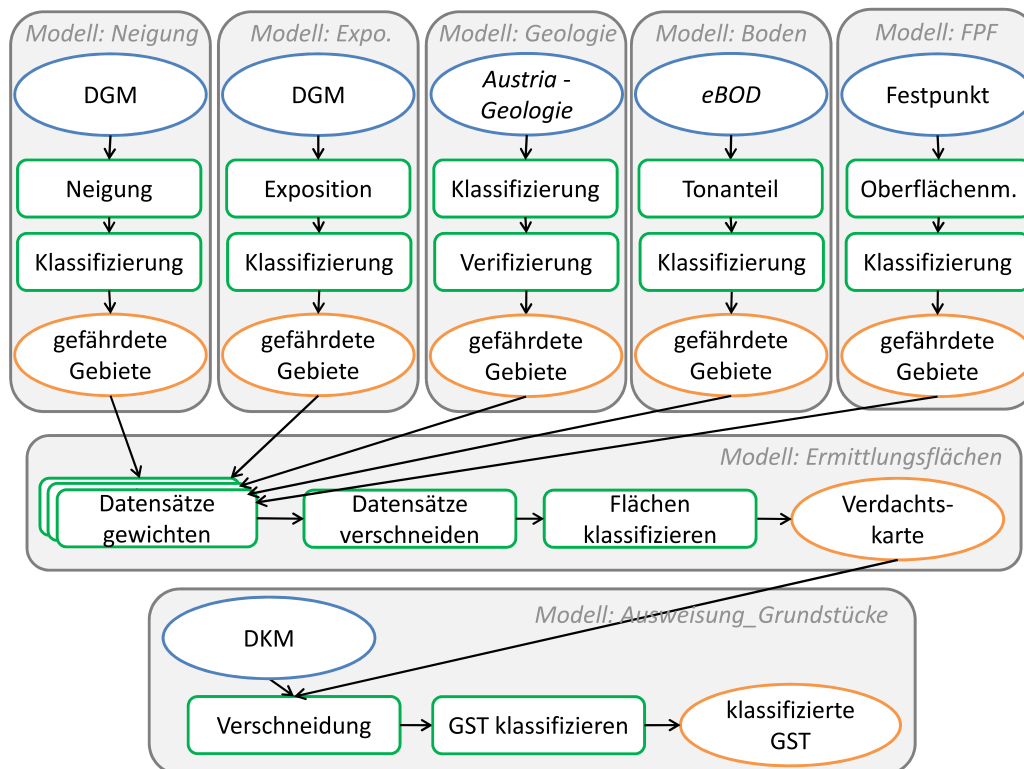


Abbildung 8: Prinzipdarstellung des Gesamtmodells

## 4.2 Aufbereitung der Informationen

Der erste Arbeitsvorgang der Methode ist die Aufbereitung der Informationen. Aus den einzelnen Informationen ist jeweils ein Ansatz zur Klassifizierung des Geländes in gefährdet und nicht gefährdet für das Auftreten von Bodenbewegungen zur erarbeiten. Der erstellte Ansatz ist anschließend auf geeignete Ausgangdaten anzuwenden, um diese entsprechend zu klassifizieren bzw. ist aus diesen ein *Shapefile* vom Objekttyp Polygon abzuleiten, in welchem die klassifizierten Flächen (Polygone) enthalten sind.

Aufbauend auf den Ergebnissen der vorangegangenen Masterarbeit von M. Vallazza [Vallazza, 2015] (siehe Abschnitt 3.2), werden in dieser Arbeit die Ansätze zur Bestimmung von gefährdeten Gebieten anhand der Geologie und Neigung weiterverfolgt und drei neue Ansätze, die Klassifizierung von Gebieten anhand des Bodens und der Exposition sowie die Abgrenzung von Gebieten mit Verdacht auf Bodenbewegungen infolge der Übermessung des Festpunktfeldes, erarbeitet. Die fünf verwendeten Ansätze wurden aufgrund der großen Bedeutung der Einflussfaktoren beim Auftreten von Bodenbewegungen, der Anforderungen des BEV und der Verfügbarkeit der Daten als Basis der Methode gewählt.

### 4.2.1 Neigung

Als Gelände- oder Hangneigung wird das Gefälle einer Oberfläche, bezogen auf eine Höhenbezugsfläche, bezeichnet [Adelmann u. a., 2000a]. Sie wird gewöhnlich in Grad oder Prozent angegeben und

ist eine wesentliche Einflussgröße beim Auftreten von Massenbewegungen [Ahnert, 1996].

### Ansatz: Neigungswinkel

Der Ansatz zur Bestimmung von gefährdeten Gebieten für das Auftreten von Bodenbewegungen anhand der Neigung wurde in der vorangehenden Masterarbeit von M. Vallazza erarbeitet. Daraus ist ersichtlich, dass schleichende Bodenbewegungen überwiegend bei einer Hangneigung zwischen  $10^\circ$  und  $40^\circ$  auftreten [Vallazza, 2015]. Ein allgemein gültiger Zusammenhang von Massenbewegungen und Hangneigungen wurde jedoch nicht gefunden [Vallazza, 2015]. Auf Grundlage dieser Ergebnisse werden für die folgende Auswertung Hangneigungen zwischen  $10^\circ$  und  $40^\circ$  als gefährdet für das Auftreten von Bodenbewegungen angesehen.

### Ausgangsdaten: Digitales Geländemodell (DGM)

Das vom Land Tirol als *Open Government Data* kostenlos zur Verfügung gestellte DGM, welches ebenfalls im BEV als Bestandteil des österreichweiten DGM vorliegt, ist als Rasterdatensatz, im Format *Arc ASCII-Grid* mit einer Bodenauflösung von  $10 \times 10$  m, bezirkswelt erhältlich und wurde aus Airborne Laserscanningdaten erstellt. Der Datensatz besitzt keine Rechtsgültigkeit und Datenlücken wurde mittels Algorithmen gefüllt. Für die Auswertung des Vermessungssprengels Innsbruck wird das in Abbildung 9 gezeigte DGM der Bezirke Schwaz, Innsbruck und Innsbruck-Land verwendet.

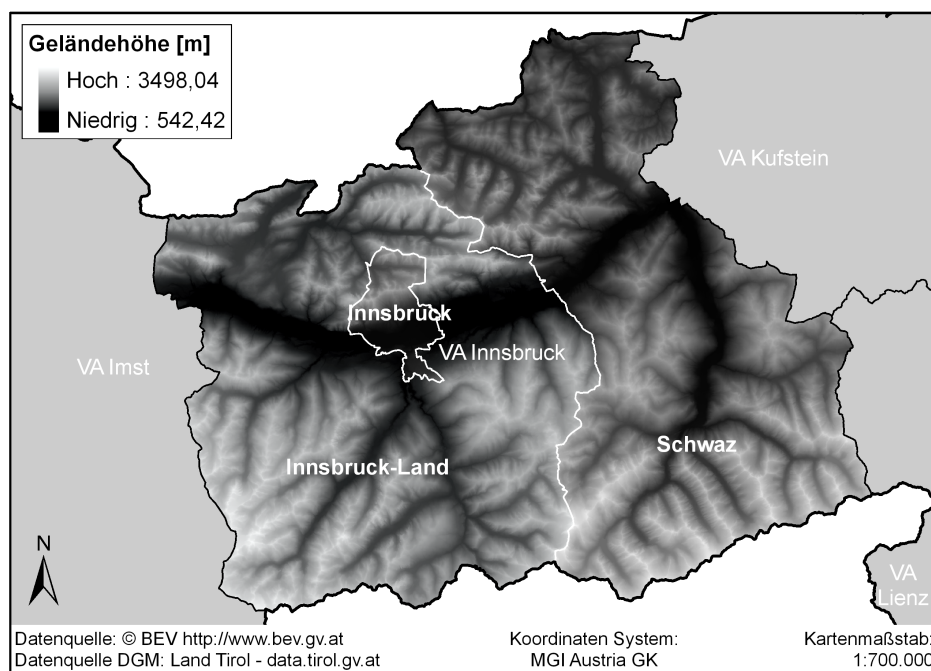


Abbildung 9: DGM der Bezirke Schwaz, Innsbruck und Innsbruck-Land vom Land Tirol

### Umsetzung im ArcGIS: Geoverarbeitungsmodell Auswertung\_Neigung

Das erarbeitete Geoverarbeitungsmodell, zur Bestimmung der Neigung und Ableitung von gefährdeten und nicht gefährdeten Gebieten in Form von Polygonen, beruht auf den verwendeten Ausgangsdaten.

Die nacheinander auszuführenden Arbeitsschritte sind die Berechnung der Neigung, die Konvertierung des Rasterdatensatzes in Vektordaten (Polygone) und die Klassifizierung der Flächen anhand der Neigung. Der Ablauf ist in Abbildung 10 dargestellt.

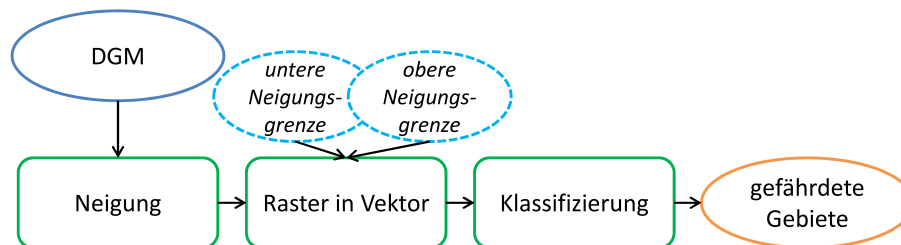


Abbildung 10: **Prinzipdarstellung des Modells Auswertung\_Neigung**

Das für die Auswertung der Neigung erstellte Modell wurde gleichnamig mit *Auswertung\_Neigung* benannt und führt die in Abbildung 10 aufgezeigten Arbeitsschritte durch Hintereinanderschalten einzelner Standardwerkzeuge aus. Mittels des Analysewerkzeuges *slope* wird in einem ersten Schritt für jede Zelle der Rasteroberfläche des DGM die Neigung bestimmt und ein Neigungsraster erstellt. Anschließend wird das Neigungsraster anhand der vom Benutzer frei wählbaren Grenzneigungen in gefährdete und nicht gefährdete Gebiete klassifiziert und das Raster in Polygone konvertiert, wobei die Vektorisierung über die Klassifizierung erfolgt, d. h. benachbarte Zellen mit gleichen Attributwerten werden zu einem Polygon zusammengefasst. Das Ergebnis ist ein *Shapefile* vom Typ Polygon, das die klassifizierten Flächen enthält. Die Klassifizierung erfolgt in nicht gefährdete Gebiete mit einer Hangneigung kleiner des unteren Grenzwertes und größer des oberen Grenzwertes und in gefährdete Gebiete mit einer Hangneigung innerhalb der Grenzwerte.

### Auswertung der Neigung im VA Innsbruck

Die Auswertung des Vermessungssprengels Innsbruck erfolgte mittels des erstellten Werkzeuges *Auswertung\_Neigung*. In der Auswertung wurde als untere Grenzneigung  $10^\circ$  und als obere Grenzneigung  $40^\circ$  verwendet. Die Grenzwerte wurden entsprechend der Ergebnisse aus [Vallazza, 2015] gewählt.

Abbildung 11 zeigt das Ergebnis der Auswertung des Vermessungssprengels Innsbruck, das klassifizierte Neigungsraster der Bezirke Schwaz, Innsbruck und Innsbruck Land. Gebiete mit einer nicht gefährdeten Hangneigung bis  $10^\circ$  sind in Grün, als gefährdet angesehene Hangneigungen zwischen  $10^\circ$  und  $40^\circ$  in Rot und Gebiete mit einem Gefälle über  $40^\circ$  in Blau dargestellt.

Wie im alpinen Raum zu erwarten, weist der überwiegende Teil des Geländes eine Neigung zwischen  $10^\circ$  und  $40^\circ$  auf und ist entsprechend dieses Ansatzes als gefährdet für das Auftreten von Bodenbewegungen anzusehen. Anhand der Klassifizierung sind sehr deutlich die Talböden, wie z. B. das breite Inntal, das von Westen nach Osten verläuft, oder das im Bezirk Schwaz liegende Zillertal, zu erkennen. Diese gelten mit einer Neigung geringer als  $10^\circ$  als nicht gefährdet. Auch die steilen Gebirgsmassive mit einem Gefälle über  $40^\circ$ , die ebenfalls als nicht gefährdete Gebiete klassifiziert wurden, wie die Zillertaler Alpen im Südosten oder das Karwendel Gebirge im Norden, treten deutlich hervor.

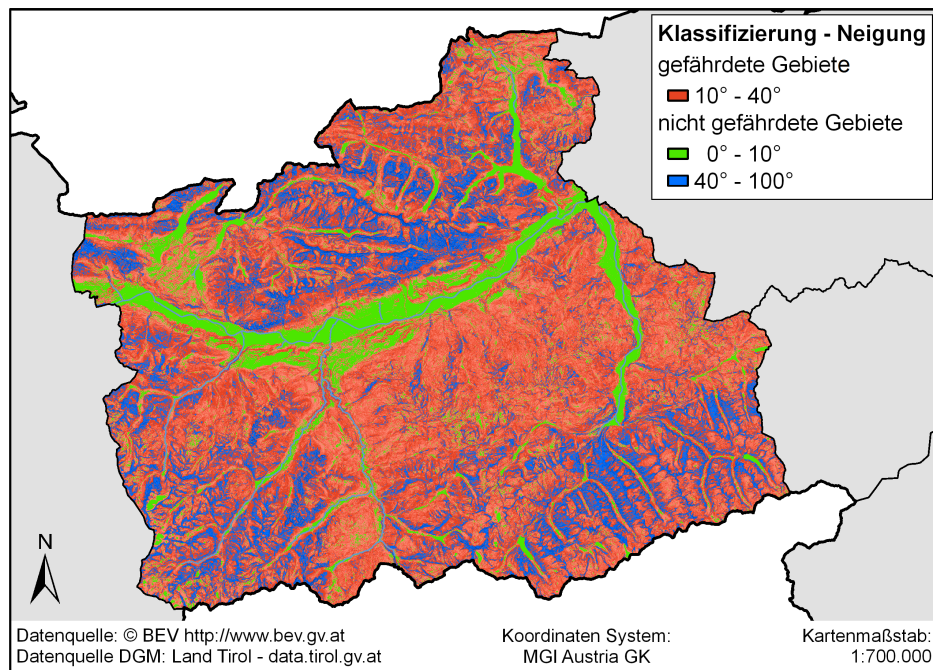


Abbildung 11: Klassifizierte Neigungsinformation - VA Innsbruck

#### 4.2.2 Exposition

Die Hangexposition entspricht der Ausrichtung des Geländes zur Himmelsrichtung [GG, 2001] und stellt einen weiteren Einflussfaktor für Massenbewegungen dar [Krauter, 1996]. Sie wird üblicherweise auf Grad, ausgehend von Norden, oder auf Himmelsrichtungen bezogen [GG, 2001]. Eine nach Norden zeigende Geländeoberfläche wird demnach mit Nordhang oder 0° bezeichnet.

##### **Ansatz: Hangausrichtung**

Die Verwitterung führt aufgrund des Klimas und des Wechsels von Temperatur und Feuchtigkeit zur Auflockerung und Entfestigung des Gebirges infolge physikalischer und chemischer Prozesse und stellt somit einem permanent wirkenden Faktor im Ursachenkomplex von Massenbewegungen dar [Krauter, 1996].

Aus [Krauter, 1996] kann entnommen werden, dass die Verwitterung auf süd- und westexponierten Hängen intensiver einwirkt als auf nord- oder ostexponierten Hängen, wodurch an diesen allgemein häufiger Massenbewegungen auftreten. Daraus ergibt sich für die in dieser Arbeit angestrebte Einteilung des Geländes in gefährdete und nicht gefährdete Gebiete für den Ansatz der Exposition, dass nach Süden, Südwesten und Westen ausgerichtete Geländeoberflächen als gefährdet angesehen und nordwest- bis südostexponierte Gebiete als nicht gefährdet angesehen werden.

##### **Ausgangsdaten: Digitales Geländemodell (DGM)**

Als Datengrundlage wird gleich wie im vorangehenden Abschnitt das DGM der Bezirke Schwaz, Innsbruck und Innsbruck Land, siehe Ausgangsdaten DGM im Abschnitt 4.2.1, verwendet.



### Umsetzung im ArcGIS: Geoverarbeitungsmodell Auswertung\_Exposition

Das Auswertemodell *Auswertung\_Exposition* ist gleich aufgebaut wie das Auswertemodell der Neigung, wie aus dem Vergleich der Prinzipdarstellung der beiden Modelle, Abbildung 10 und 12, ersichtlich ist.

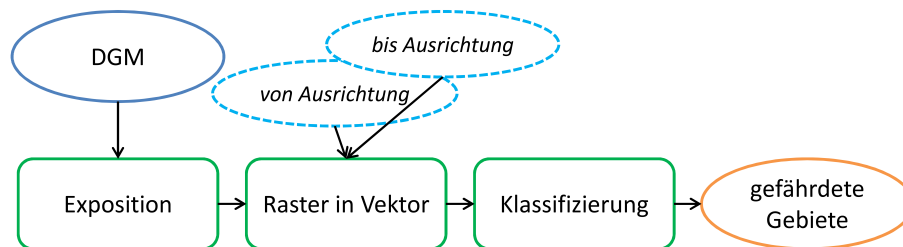


Abbildung 12: Prinzipdarstellung des Modells Auswertung\_Exposition

Die Modelle unterscheiden sich im ersten Auswerteschritt und in der Auswertung der Grenzwerte. Anstelle der Hangneigung wird die Hangexposition aus dem DGM abgeleitet und ein Expositionsraster erstellt. Die Werte der Zellen entsprechen hierbei der Kompassrichtung, in welche die Zellen geneigt sind und laufen von 0° (genau Nord) bis 360° (ebenfalls genau Nord). Das Raster wird anschließend durch die vom Benutzer angegebene Hangausrichtung *von-bis in Grad* in gefährdete und nicht gefährdete Gebiete klassifiziert und in Polygone konvertiert, wobei Gebiete mit einer Ausrichtung zwischen den Grenzangaben als gefährdet ausgewiesen werden. Abbildung 13 zeigt den Zusammenhang zwischen den Himmelsrichtungen und der Angabe der Hangausrichtung in Grad, entsprechend dem Gebrauch im *ArcGIS*.

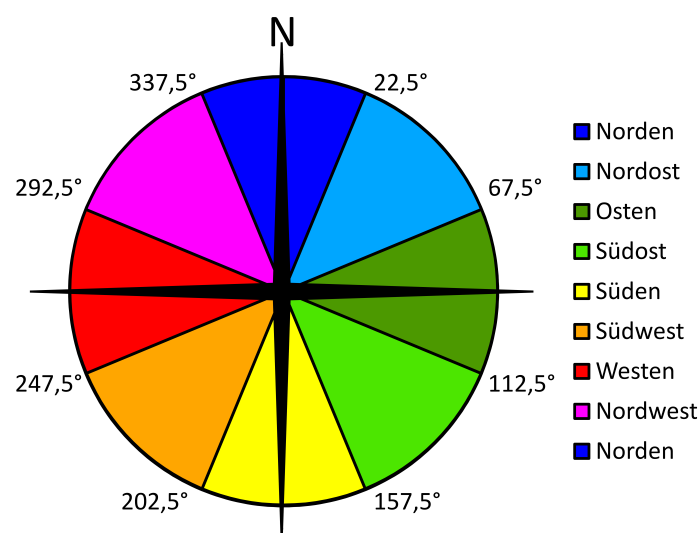


Abbildung 13: Zuordnung der Hangausrichtung in Grad zu den Himmelsrichtungen

### Auswertung der Exposition im VA Innsbruck

Aus dem DGM der Bezirke Schwaz, Innsbruck und Innsbruck Land wurde mittels dem erstellten Geoverarbeitungsmodell *Auswertung\_Exposition* der Vermessungssprengel Innsbruck anhand der Hangausrichtung in gefährdete und nicht gefährdete Gebiete unterteilt. Als gefährdet werden in der Auswertung nach [Krauter, 1996] Süd- bis Westhänge mit einer Ausrichtung zwischen 158° und 293°

angesehen und Geländeoberflächen mit einer Exposition zwischen 294° und 360° sowie von 0° bis 157° als nicht gefährdet.

Das Ergebnis der Auswertung der Exposition im VA Innsbruck ist in Abbildung 14 dargestellt. Darin ist die Hangausrichtung des Geländes farblich klassifiziert in gefährdete (rot) und nicht gefährdete Gebiete (grün).

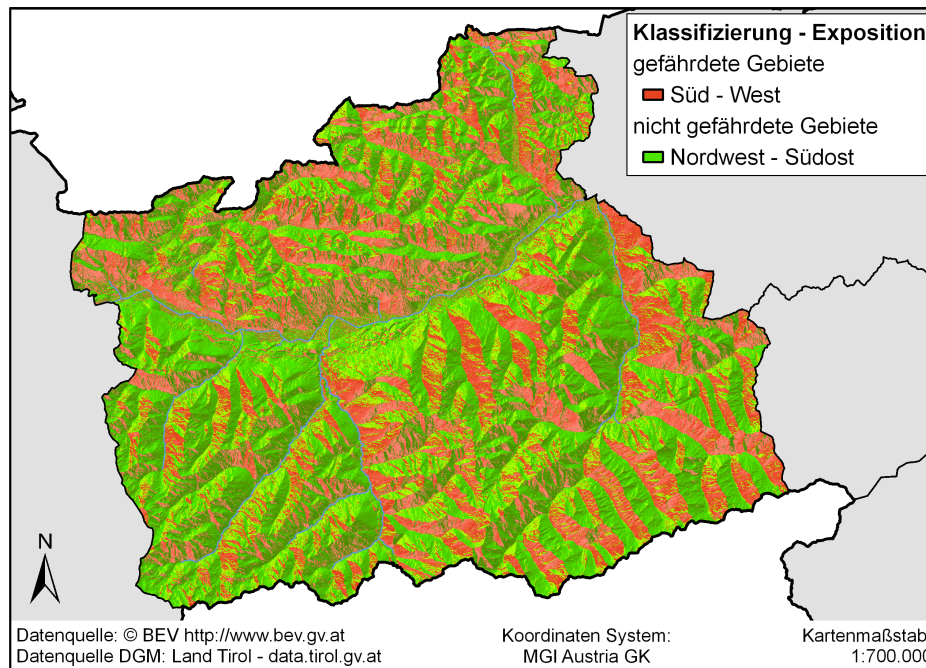


Abbildung 14: **Klassifizierte Expositionsinformation - VA Innsbruck**

Aus Abbildung 14 ist ersichtlich, dass die Täler südlich vom Inn überwiegend in Nord-Südrichtung verlaufen und dementsprechend eine Talseite immer nach Westen zeigt und als gefährdet eingestuft wird. Auch kann erkannt werden, dass nördlich vom Inn das Gebirge von Westen nach Osten verläuft und somit eine Hangausrichtung nach Süden und Norden aufweist und anhand der Exposition ebenfalls vermehrt als gefährdet für das Auftreten von Bodenbewegungen klassifiziert wird.

### 4.2.3 Geologie

Die Geologie ist die Wissenschaft der Entstehung, des Aufbaus, der Zusammensetzung und Struktur sowie der physikalischen Eigenschaften und Formungsprozesse der Erdkruste. Der Begriff Geologie wird auch für den geologischen Aufbau, hier für den geologischen Aufbau Österreichs, insbesondere der Alpen, verwendet.

Die Betrachtung und Einteilung der Geologie ist nach unterschiedlichen Gesichtspunkten möglich, wie z. B. die Zuordnung der Gesteine, Mineralien und Fossilien zu geologischen Bausteinen, nach der Tektonik und Paläogeographie oder die Unterteilung in geologische Zonen nach den vorkommenden Gesteinsarten [Schuster u. a., 2013]. Aufgrund der Vielfältigkeit dieser Thematik wurde für die weitere Bearbeitung dieses Ansatzes eine Geologin zugezogen.

### **Ansatz: Gestein**

In der vorangegangenen Masterarbeit [Vallazza, 2015] wurden die in Österreich vorherrschenden Gesteinsarten grob in sieben Klassen zusammengefasst und diese anschließend auf die Gefährdung für Bodenbewegungen hin bewertet. Abbildung 4 (Seite 17) zeigt das Ergebnis dieser Arbeit. Daraus ist ersichtlich, dass der Vermessungssprengel Innsbruck entlang des Inns in ein gefährdetes Gebiet südlich und ein nicht gefährdetes Gebiet nördlich vom Inn unterteilt wurde. Aufgrund dieser groben Einteilung wurde der Ansatz zur Einteilung von Gebiete in gefährdet und nicht gefährdet anhand der Geologie weiterverfolgt und die Geologie im Zuständigkeitsgebiet des VA Innsbrucks näher betrachtet.

Die Klassifizierung der Geologie wurde gemeinsam mit einer Geologin, auf Grundlage der folgend beschriebenen Ausgangsdaten, erarbeitet. Die Bewertung der Gesteine erfolgte hierbei anhand der Karteninformationen, wie der Lithologie und Chronostratigraphie. Es ist jedoch zu beachten, dass es sich bei der Einteilung der Gesteine in gefährdet und nicht gefährdet um eine Einschätzung der zugezogenen Geologin handelt und dass durch Steigerung der Genauigkeit der Daten, detailliertere Ausweisung der Geologie und zusätzlichen Informationen über die zugrundeliegenden Gesteine, wie Struktur, Zersetzung, Lage, sowie mit der Kenntnis über den Aufbau der Gesteinsschichten das Ergebnis bei Bedarf noch verbessert werden kann. Dies ist aus Sicht der Autorin von Seiten des BEV anzustreben, da die Geologie, der geologische Aufbau nach [Krauter, 1996] die Primärursache von Massenbewegungen ist.

### **Ausgangsdaten: KM500 Austria – Geologie**

Die Geologische Bundesanstalt (GBA) ist für die systematische, kontinuierliche und allumfassende Erforschung und Dokumentation der Geologie des Landes zuständig und stellt das Ergebnis ihrer Arbeit als Geodaten in digitaler und analoger Form zur Verfügung. Darunter befinden sich auch der als *Open Government Data* vorliegende Vektordatensatz *KM500 Austria – Geologie*, der in dieser Arbeit als Ausgangsdatensatz für die Auswertung der Geologie verwendet wird. Der Datensatz enthält die flächendeckende Beschreibung der Geologie von Österreich im Maßstab 1:500.000 und stellt ein Exzerpt der analogen *Metallogenetischen Karte von Österreich 1:500.000 (Herausgeber GBA/L. Weber, 1997)* dar [GBA, 2013]. Die geologischen Objekte, welche als *Shapefiles* geliefert werden, sind in die Ebenen Tektonik und Geologie gegliedert und entsprechen dem Stand der analogen Karte von 1997. Abbildung 15 zeigt die geologischen Ausgangsdaten im Vermessungssprengel Innsbruck.

Des Weiteren wurden aus den Geoinformationssystem (GIS)-Daten des GBA-Webdienstes *Massebewegungen*<sup>1</sup>, die im Vermessungsgebiet Innsbruck aufgetretenen Massenbewegungen in einer *Exceldatei* erfasst. Bei diesen Angaben handelt es sich jedoch um keine Expertendaten, sondern um eine Dokumentation publik gewordener Massebewegungen. Alle Angaben der Daten entsprechen den Informationen der Publikationen und werden auch bei vorhandenem Expertenwissen nicht verbessert. Dies bedeutet, dass der Datensatz rein aus recherchierten Informationen besteht und zudem stark am Interesse der Medien, Öffentlichkeit und Forschung orientiert ist.

---

<sup>1</sup><https://www.geologie.ac.at/services/webapplikationen/geofast/massenbewegungen/>



Abbildung 15: Ausschnitt aus der KM500 Austria – Geologie von der GBA

### Umsetzung im ArcGIS: Geoverarbeitungsmodell Auswertung\_Geologie

Die Umsetzung der in Abbildung 16 schematisch dargestellten Arbeitsschritte erfolgte im ArcGIS in Form des Modells *Auswertung\_Geologie*, wodurch die Auswertung für das gesamte Bundesgebiet gewährleistet wird. Durch Eingabe der beiden Datensätze erfolgt mittels des Modells die Klassifizierung der Geologie anhand der Angaben der Geologin und die Überlagerung mit den Massenbewegungen. Die Verifizierung und gegebenenfalls vorzunehmende Änderungen an der Klassifizierung sind abschließend manuell durchzuführen.

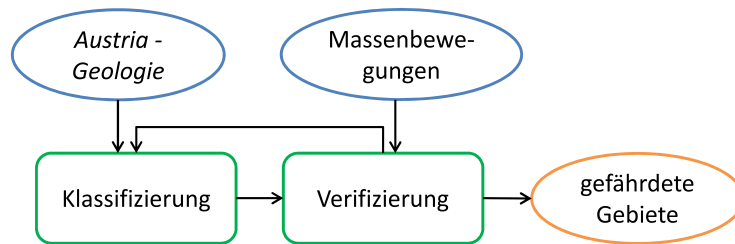


Abbildung 16: Prinzipdarstellung des Modells Auswertung\_Geologie

### Auswertung der Geologie im VA Innsbruck

Der geologische Ausgangsdatensatz wurde für den Vermessungssprengel Innsbruck im Programm *ArcGIS* mit dem dafür erstellten Modell klassifiziert, mittels den von der GBA dokumentierten Massenbewegungen verifiziert und in zwei Bereichen nachbearbeitet.

Abbildung 17 zeigt das Ergebnis der Klassifizierung der Geologie auf hohe und geringe Gefährdung für das Auftreten von schleichenden Bodenbewegungen im Vermessungssprengel Innsbruck. Gebiete, welche als gefährdet eingestuft wurden, sind in der Abbildung in Rot und Gebiete mit einer geringen Gefährdung in Grün dargestellt. Überwiegend Schiefer und Quarzphyllite (siehe Vergleich Abbildung 15) werden als gefährdet für das Vorkommen von Bodenbewegungen angesehen. Die grau hinterlegten Bereiche werden in der verwendeten Ausgangskarte als Firn, Gletscher und Gewässerzonen angegeben und enthalten keine weiteren Informationen über das zugrundeliegende Gestein, wodurch diese mittels dieses Ansatzes nicht klassifiziert werden können. Da es sich bei diesen Bereichen überwiegend um bewohnte Gebiete handelt, wurde für die Klassifizierung dieser Gebiete als zusätzliche Information der Boden in die Methode miteinbezogen.

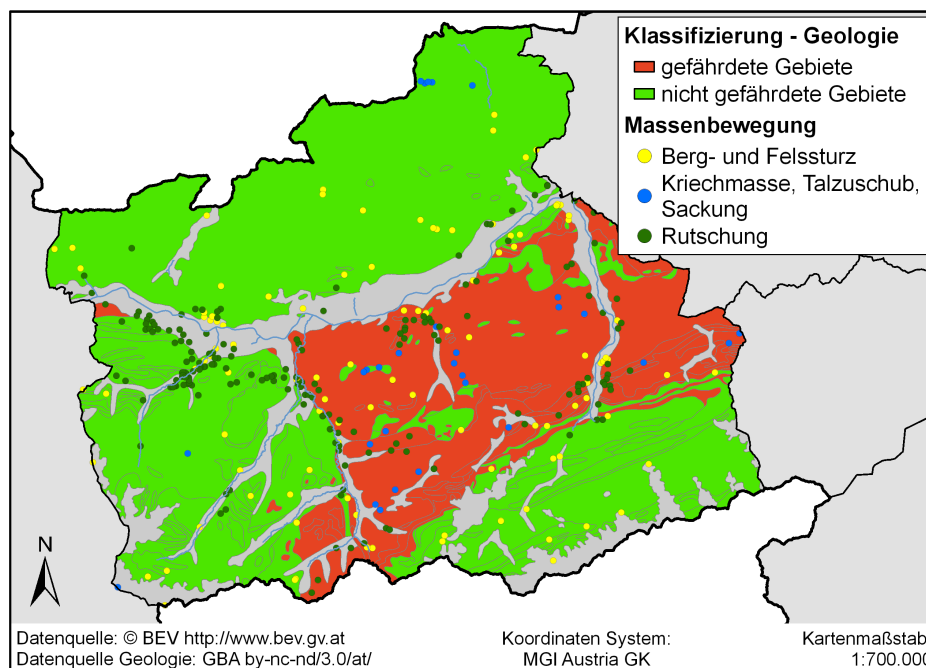


Abbildung 17: Klassifizierte Geologieinformation - VA Innsbruck

In Abbildung 17 sind weiteres die von der GBA gesammelten, publik gewordenen Massenbewegungen dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass in nicht gefährdeten Gebieten vorwiegend Fels- und Bergstürze (gelbe Punkte) lokalisiert wurden und nur vereinzelt andere Massenbewegungen verzeichnet sind. Bei diesen handelt es sich überwiegend um Uferabbrüche und Muren (grüne Punkte) sowie Bergzerreibungen (blaue Punkte), welche auf das Ergebnis der Klassifizierung keinen Einfluss haben. Die Mehrzahl der bekannten, schleichenden Bodenbewegungen tritt im gefährdeten, rot visualisierten Gebiet auf, wodurch die Einteilung der Gesteine bestätigt wird. Zudem wird aus der Verschneidung der Datensätze deutlich, dass Massenbewegungen vermehrt im Randbereich der Gesteinsschichten auftreten.

#### 4.2.4 Boden

Boden ist der mit Wasser, Luft und Lebewesen durchsetzte oberste Teil der Erdkruste, welcher durch Verwitterung, Bodenorganismen, Vegetation, den Einfluss von Lebewesen, etc. entstanden ist und weiterhin verändert wird [Ellenberg, 1979]. Durchschnittlich bestehen Böden aus Mineralstoffen, organischer Substanz (Pflanzenwurzeln, Humus), Wasser, Luft und Bodenlebewesen [Ellenberg, 1979].

Anhand der Korngrößenzusammensetzung und dem Mischungsverhältnis der Mineralstoffe, Ton (unter 0,002 mm Korndurchmesser), Schluff (0,002 mm-0,06 mm Korndurchmesser) und Sand (0,06 mm-2 mm Korndurchmesser) werden die Böden in Bodenarten unterteilt, welche unterschiedliche Eigenschaften, wie Wasserdurchlässigkeit, Durchlüftung, Wasserspeichervermögen, Nährstoffgehalt und Porenvolumen, aufweisen [Ellenberg, 1979]. Beispielsweise sind Tonböden sehr gute Wasser- und Nährstoffspeicher, im Gegensatz zu nährstoffarmen Sandböden, die stark wasserdurchlässig sind [Pock, 2010]. Böden in einem gleichen oder sehr ähnlichen Entwicklungszustand, d. h. mit ähnlichen Eigenschaften und Profilaufbau, werden zu Bodentypen zusammengefasst. Wichtige Merkmale, wie z. B. die Bodenart, der Stein-, Humus- oder Kalkgehalt, können innerhalb einzelner Typen sehr stark variieren [Pock, 2010].

#### Ansatz: Bodenkriechen

Bodenkriechen ist eine langsame bis sehr langsame Hangabwärtsbewegung von Locker- und/oder Festgestein. Je nach Material wird zwischen kontinuierlichem Kriechen, der Verformung von weichen Gestein, wie Tonstein oder Schiefernton, unter der Auflast weiterer Regolith- oder Gesteinsschichten und dem Kriechen von Lockermaterial durch Expansion und Kontraktion des Materials unterschieden [Ahnert, 1996]. Sichtbare Anzeichen für Bodenkriechen können hangabwärts geneigte oder messbar verschobene Telefonmasten, brechende Stützmauern oder Wasserleitungen, etc. sein. Auch kann Bodenkriechen am Sichelwuchs der Bäume und am Hakenschlagen der Gesteinsschichten erkannt werden [Strahler u. Strahler, 1999].

Die Verlagerung des Materials aufgrund des Wechsels von Ausdehnung und Zusammenziehen kann durch Frostwechsel im Boden oder das Quellen und Schrumpfen von tonhaltigen Bodenbestandteilen erfolgen. Bei der Versatzdenudation dehnt sich das Material im rechten Winkel zum Hang aus und zieht sich anschließend wieder zusammen. Aufgrund der Schwerkraft erfolgt das Absinken des

Materials nicht mehr rechtwinklig zum Hang, sondern der Schwerkraft folgend hangabwärts [Ahnert, 1996]. Das Prinzip der Versatzdenudation ist in Abbildung 18 veranschaulicht.

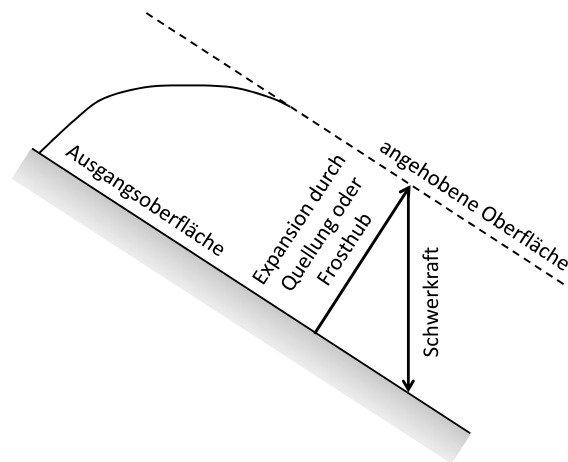


Abbildung 18: **Prinzip der Versatzdenudation durch Expansion und Kontraktion (nach [HylgeriaK, 2009])**

Die Materialverlagerung ist abhängig vom Neigungswinkel des Hanges, der stattfindenden Volumenvergrößerung und der Häufigkeit von Frostwechsel und Durchfeuchtung. Dabei gilt, dass die Bodenbewegung an der Oberfläche am größten ist und mit zunehmender Tiefe abnimmt [Ahnert, 1996].

Während Kriechen durch Gefrieren und Auftauen des Wassers im Boden (Frostwechsel) häufig nur die oberflächennahe Bodenschicht bis zur Frosttiefe betrifft, kann das Quellen und Schrumpfen von Bodenbestandteilen tiefer reichendes Kriechen bewirken, da bei Wiederaustrocknung von tonhaltigem Boden Trockenrisse verursacht werden, die bei erneuerter Wasserzufuhr ein tieferes Eindringen des Wassers in den Boden erlauben [Ahnert, 1996]. Das Ausmaß der Wasseraufnahmefähigkeit eines Bodens ist abhängig vom Wassergehalt, Tongehalt und der Art der Tonminerale [Ahnert, 1996].

Tonminerale sind Schichtsilikate, die je nach Anordnung der Schichten in Zweischicht-, Dreischicht- und Vierschichttonminerale unterschieden werden, wobei Dreischichttonminerale, wie Smectit und Vermiculit, aufgrund ihres Aufbaus Wasser aufnehmen, speichern und wieder abgeben können und somit wesentlich quellfähiger sind als zwei- oder vierschichtige Tonminerale, wie Kaolinit oder Chlorit [Stahr, 2017].

In der Arbeit „Tonminerale in Böden der Steiermark“ von Hannes Pock [Pock, 1996] erfolgt die Bestimmung von Tonmineralen in den nach pedologischen Gesichtspunkten klassifizierten Bodentypen durch Analyse der Böden mehrerer Standorte im Raum Graz, Leibnitz und Fürstenfeld. Das Ergebnis zeigt, dass Braunerde, Felsbraunerde und Pseudogley im Durchschnitt mehr als 2,5 % Vermiculit und Auböden im Durchschnitt mehr als 3,5 % Smectit enthalten [Pock, 1996]. Da die Ergebnisse der Arbeit [Pock, 1996] nur eine geringe Anzahl an Bodentypen abdecken und keine weiteren Zusammenhänge zwischen Tonmineralien und dem verwendeten Klassifizierungsschema vorliegen, kann die Bestimmung von gefährdeten Gebieten nicht anhand der Bodentypen erfolgen.

Die Einteilung des Bodens in gefährdete und nicht gefährdete Gebiete erfolgt somit anhand der Bodenarten und des Tonanteils im Boden, ohne weitere Kenntnisse über die Tonminerale. Der Tonanteil in Prozent ist in den Ausgangsdaten zusätzlich zur Bodenart enthalten. Abbildung 19 zeigt

das Dreiecksdiagramm der Bodenarten und gibt einen Überblick über deren Körnungsbereiche und Benennung.

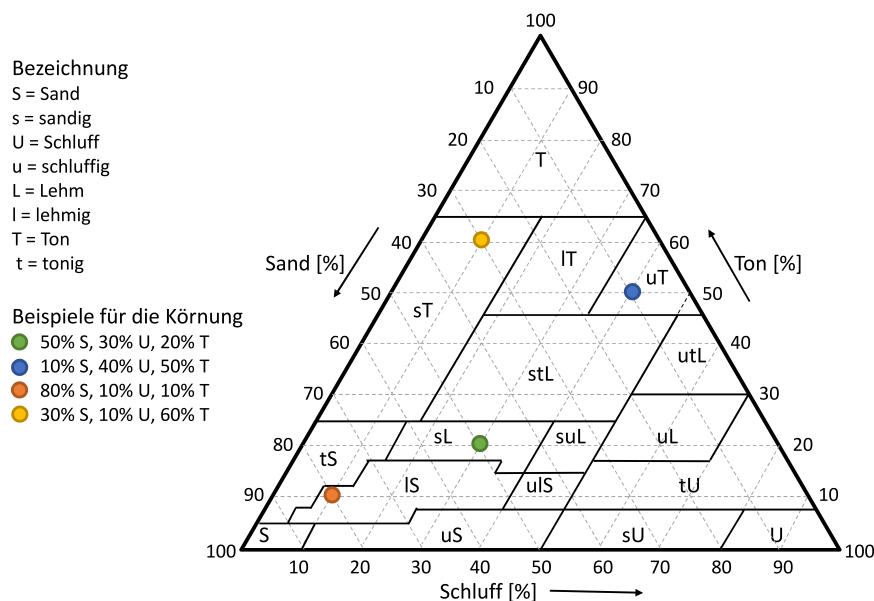


Abbildung 19: Dreiecksdiagramm der Bodenarten (nach [Scheffer u. Schachtschabel, 1998] S. 138)

Als Grenzwert für den Tonanteil wird in den folgenden Auswertungen 20% verwendet. Dies entspricht, wie aus Abbildung 19 ersichtlich ist, den Bodenarten sandiger Ton, sandiger toniger Lehm, schluffiger toniger Lehm bis zum reinen Tonboden sowie auch teilweise sandige Böden und schluffiger Lehm. Der Wert wurde aus Sicherheitsgründen niedrig gewählt, da keine vergleichbaren Angaben gefunden werden konnten. Weitere Rechercharbeiten und Gespräche mit Experten zur Erlangung einer fundierten Aussage werden von der Autorin im Rahmen einer weiteren Arbeit dringend empfohlen.

### Ausgangsdaten: Digitale Bodenkarte von Österreich (eBOD)

Die eBOD stellt die Bodenverhältnisse der landwirtschaftlichen Nutzfläche Österreichs dar und wird zur freien Nutzung vom Bundesforschungszentrum für Wald (BFW) bereitgestellt. Die Daten liegen in einer Rasterauflösung von 1×1 km, im *ESRI-Shapefile* Format, vor. Die Rasterzellen entsprechen der jeweiligen flächenmäßig größten Bodenform (Hauptbodenform) der Zelle. In der Kartierungseinheit Bodenform werden Flächen mit ähnlichen Bodentypen und Standortseigenschaften zusammengefasst. Weitere Angaben zu den Eigenschaften des Bodens, wie die Bodenart, das Mischungsverhältnis, der Bodentyp, das Ausgangsmaterial und der Humusgehalt, sind zusätzlich in der Legende enthalten. Abbildung 20 zeigt das Ergebnis der Bodenkartierung im Vermessungssprengel Innsbruck. Daraus ist ersichtlich, dass nur im Talbereichen Daten erfasst wurden, da ausschließlichen in diesen Bereichen Landwirtschaft betrieben wird. Aus dem Vergleich mit Abbildung 17 (Seite 30) ist ersichtlich, dass die eBOD die Sohlenbereiche der Täler abdeckt, die anhand der Geologie nicht klassifiziert werden konnten.



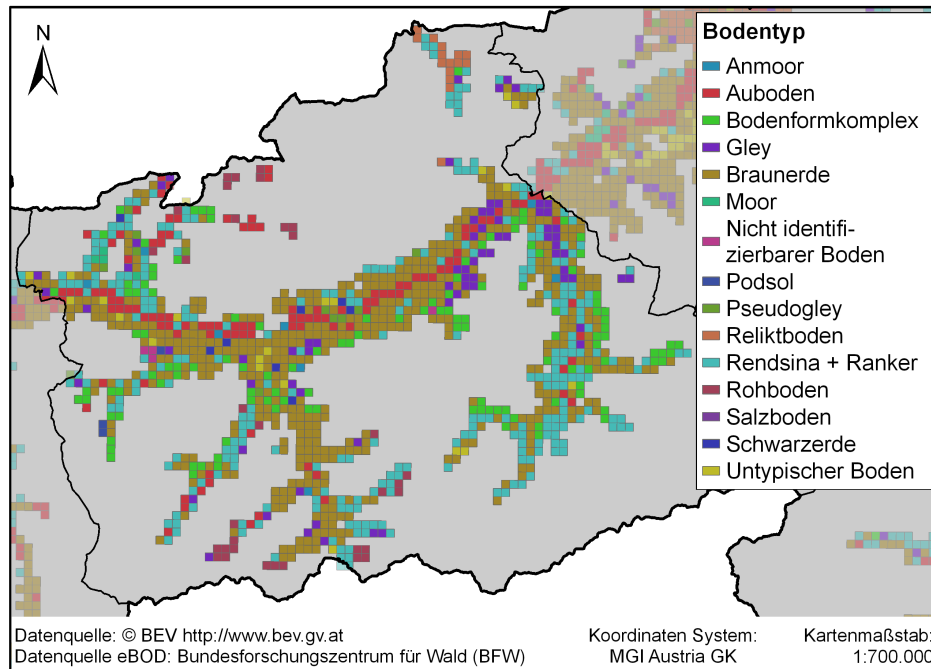


Abbildung 20: Ausschnitt aus der eBOD vom BFW

### Umsetzung im ArcGIS: Geoverarbeitungsmodell Auswertung\_Boden

Für die Klassifizierung des Bodens in gefährdete und nicht gefährdete Bodenarten für das Auftreten von Bodenbewegungen wurde, aufbauend auf die eBOD, das Modell *Auswertung\_Boden* erarbeitet. Der Modellablauf ist in Abbildung 21 dargestellt.

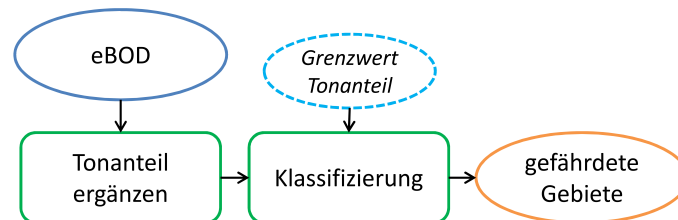


Abbildung 21: Prinzipdarstellung des Modells Auswertung\_Boden

Den ersten Schritt der Auswertung stellt das Füllen der Datenlücken dar, d. h. fehlende Angaben zur Bodenart und zum Tonanteil des Bodens werden aus den umgebenden Rasterzellen abgeleitet. Hierbei werden im Modell die benachbarten Polygone mittels *Nachbarschaftsanalyse* bestimmt, aus den Tonanteilen der Nachbarpolygone der Mittelwert berechnet und dieser auf die Rasterzelle ohne Tongehalt übertragen. Liegt in allen Polygonen der Tonanteil in Prozent vor, wird dieser anschließend mit dem vom Benutzer frei wählbaren Grenzwert für den Tonanteil abgeglichen und die Rasterzellen in gefährdete und nicht gefährdete Gebiete klassifiziert. Der vom Benutzer definierbare Grenzwert für den Tonanteil gibt an, ab wie viel Prozent Ton ein Boden als gefährdet für Bodenkriechen angesehen wird.

### Auswertung des Bodens im VA Innsbruck

Die Auswertung der Bodendaten im Zuständigkeitsbereich des VA Innsbrucks erfolgt mit dem erarbeiteten Auswertemodell und den als Grenzwert für den Tonanteil angenommenen 20 %.

Das erarbeitete Ergebnis, die Klassifizierung der Ausgangsdaten in gefährdete und nicht gefährdete Böden für das Auftreten von Bodenbewegungen, ist in Abbildung 22 gezeigt. Böden, die einen hohen Tongehalt aufweisen, werden als gefährdet eingestuft und in Rot visualisiert. Böden, von denen angenommen werden kann, dass sie nicht zum Quellen und Schrumpfen neigen, wurden als nicht gefährdete Gebiete klassifiziert und in Grün hinterlegt. Für den Vermessungssprengel Innsbruck ergibt sich somit, dass überwiegend tonarme Böden vorliegen. Nur vereinzelt können aus Abbildung 22 rot klassifizierte Rasterzellen mit einem Tonanteil größer als 20 % erkannt werden. Überwiegend sind diese im Bereich des Achentals und des Isartals in den Nördlichen Kalkalpen zu erkennen.

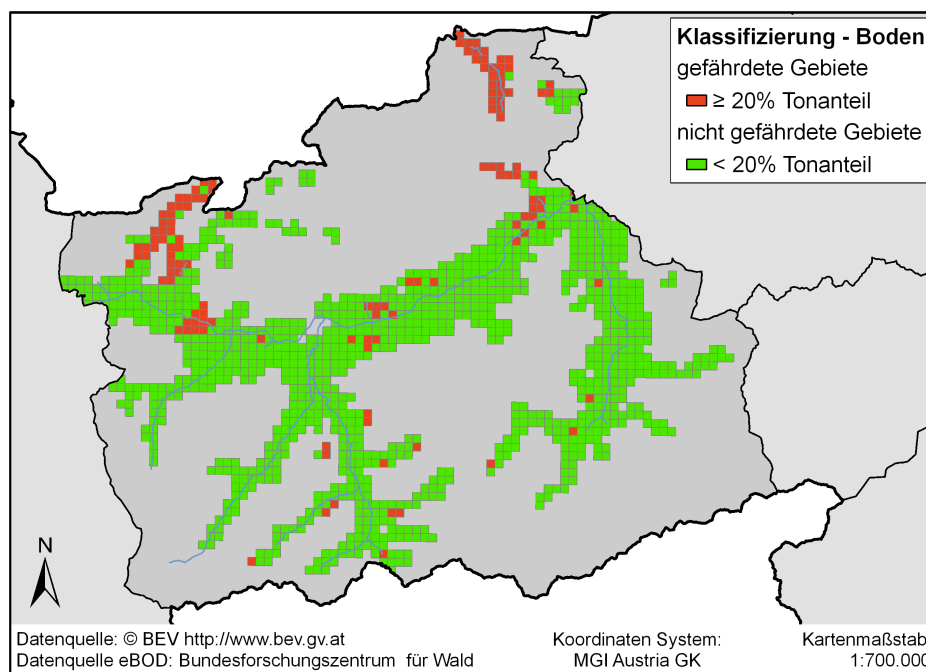


Abbildung 22: Klassifizierte Bodeninformation - VA Innsbruck

#### 4.2.5 Festpunktfeld

Das Festpunktfeld ist die Grundlage der österreichischen Landesvermessung und des Katasters. Es ist die physische Realisierung des Gebrauchssystems MGI (GK) in Form von stabilisierten Punkten in der Natur und ist in Abschnitt 2.3.3 näher beschrieben.

#### Ansatz: Punktverschiebung

Die Klassifizierung des Geländes in gefährdete und nicht gefährdete Gebiete anhand des Festpunktfeldes erfolgt mittels der im Zuge der Systemumstellung erfassten Koordinatenverschiebungen von Punkten (Lagedifferenzen).

Die Koordinatenverschiebungen der EPs stammen aus dem Projekt REVUE. Sie sind das Ergebnis

des Koordinatenvergleiches der Gebrauchskoordinaten mit den gemessenen, ins lokale System transformierten ETRS89-Koordinaten und dienen als Grundlage zur Bestimmung von Rutschpunkten. Von den TPs liegen nur von als Rutschpunkte ausgewiesenen TPs Informationen über Koordinatendifferenzen vor, da nur diese bei der Neuausgleichung durch Unstimmigkeiten aufgefallen sind, näher betrachtet und ausgewertet wurden. Alle weiteren TPs, die mehrfach bestimmt wurden, sind somit stabil und können mit einer Punktbevægung von Null angenommen werden. Über TPs, die nur einmal gemessen wurden kann keine Aussage getätigt werden. Infolgedessen werden diese in die Auswertung nicht miteinbezogen.

Die Bestimmung von möglichen Rutschgebieten anhand der Punktbevægungen erfolgt durch Erstellen eines 3D-Oberflächenmodells mit den Gebrauchskoordinaten der Punkte als Positionskoordinaten und der Länge des Differenzvektors als Wert für die Z-Achse. Da die im Projekt REVUE ermittelten Koordinatendifferenzen den Bewegungen der Punkte im Zeitraum der letzten Koordinatenänderung (letzte Auflage) bis zur REVUE-Messung entsprechen und es sich hierbei um eine Zeitspanne zwischen 1 bis 50 Jahren handeln kann, sind die ins Oberflächenmodell einzuführenden Punktbevægungen zu normieren. Hierbei wird aus der ermittelten Lagedifferenz und der Zeitspanne die Punktbevægung pro Jahr abgeleitet und diese als Höhe im Oberflächenmodell eingeführt. Weiteres ist bei der Erstellung des Oberflächenmodells die Topologie, d. h. die von der Natur vorgegebenen Grenzen für Bodenbevægungen, zu berücksichtigen. Als natürliche Begrenzungen sind, aus Sicht der Autorin, Gebirgskämme, Berggipfel, Bäche, Flüsse, etc. zu erachten.

Die Bestimmung von gefährdeten Gebieten erfolgt anschließend durch Ableiten der Isolinie (Linie gleicher Z-Werte) für die maximal zulässige Punktbevægung pro Jahr, mittels welcher der betrachtete Bereich in gefährdete und nicht gefährdete Gebiete klassifiziert werden kann. Die maximal zulässige Punktbevægung pro Jahr kann prinzipiell beliebig gewählt werden. Bei der Definition dieser ist jedoch zu beachten, dass bei der Berechnung der Differenzen und Ableitung der Punktbevægung pro Jahr die Punktlage- und Messgenauigkeiten sowie Transformationsfehler vernachlässigt werden und diese bei der Wahl des Grenzwertes zu berücksichtigen sind. Ein ähnliches Vorgehen erfolgt beispielsweise bei der Ausweisung von Rutschpunkten im EP-Feld durch Bestimmung der maximal zulässigen Koordinatenänderung aus innerer Messgenauigkeit und mittlerem Punktlagefehler.

Als maximal zulässige Punktbevægung pro Jahr wird von der Autorin ein Grenzwert von 2 mm empfohlen und in der folgenden Auswertung verwendet. Die 2 mm wurden aus der Normierung der im Projekt REVUE definierten, maximal zulässigen Koordinatenverschiebung von 8,2 cm auf 40 Jahre ermittelt. Die 40 Jahre entstammen der Annahme der Schaffung des Festpunktfeldes in den 60er und 70er Jahren und der Übermessung der Punkte seit 2008 bis heute.

### **Ausgangsdaten: Festpunkt-Koordinaten**

Das Festpunktfeld unterliegt dem amtlichen Vermessungswesen und wird in Form von Festpunkten verwaltet. Die Festpunkte werden im PVS geführt und können in analoger oder digitaler Form im *BEV-Shop* erworben werden. Die analogen Unterlagen der Schaffung und Erhaltung der Festpunkte liegen im Hauptsitz des BEV oder dem zuständigen VA auf und können kostenlos eingesehen werden. Vom BEV wird für diese Arbeit freier Zugang zu dem PVS und den Daten des Projektes REVUE ermöglicht.

Im PVS stehen neben den aktuell gültigen Punktinformationen auch Informationen über gesperrte und verlorene Punkte sowie die alten Auflagen eines Punktsystems, mittels welcher Änderungen in einem Punktsystem dokumentiert werden, zur Verfügung.

Als Ausgangsdaten für die EPs werden die Ergebnisse der im Projekt REVUE durchgeführten Koordinatenvergleiche, die ebenfalls zur Detektion von Rutschpunkten im EP-Feld herangezogen werden, verwendet. Das Ergebnis des Koordinatenvergleichs ist eine *Excel*-Tabelle, in welcher die Gebrauchskordinaten mit Angabe der Auflage und des Messjahres den gemessenen, ins lokale System transformierten Koordinaten gegenübergestellt sind. Abbildung 6 auf Seite 19 zeigt, beispielhaft für alle KGs, das Ergebnis des Koordinatenvergleichs der Gemeinde Pfons. Die Grundlage der TP-Auswertung bildet eine aus dem PVS erstellte *Exceldatei*, in welcher spaltenweise die Daten der TPs, wie Punktnummer, ÖK-Blattnummer, Koordinaten, Auflage, Punkthinweise und Punktname, beinhaltet sind. Ebenso liegt eine von der Abteilung Grundlagen erstellte *Exceldatei* mit zusätzlichen Angaben zu den als Rutschpunkte erkannten TPs im Bereich der betrachteten Testgemeinden (siehe Abschnitt 5.1) vor. Abbildung 23 zeigt alle aktiven Festpunkte im Vermessungssprengel Innsbruck. Hier wird zwischen TPs und EPs mittels Symbol und den bereits im System-ETRS89 vorliegenden Punkten und noch nicht im neuen System verfügbaren Punkten mittels Farbabstufung unterschieden. Die als Rutschpunkte klassifizierten TPs sind farblich hervorgehoben.

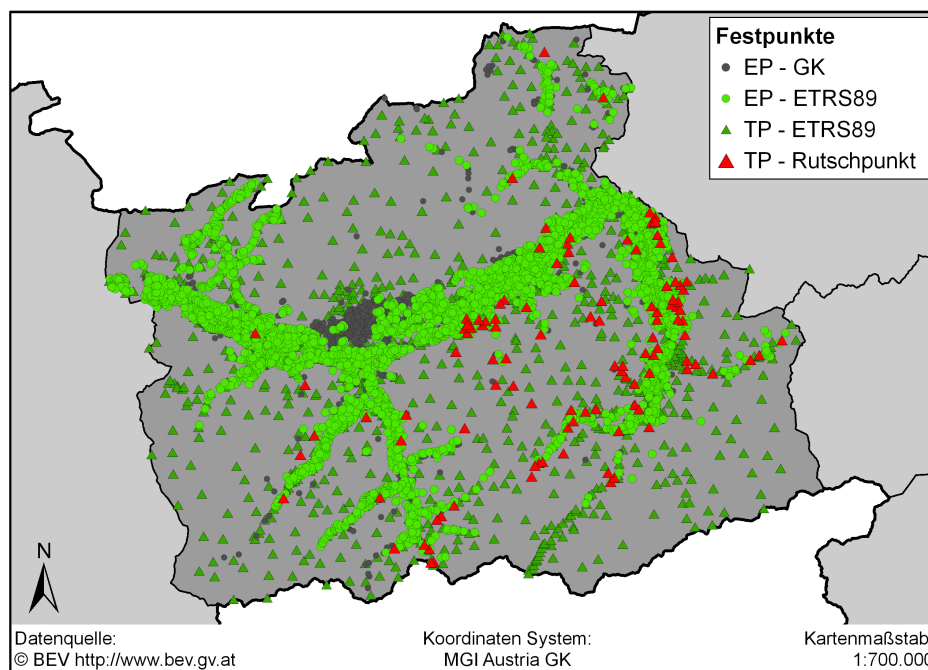


Abbildung 23: **Festpunktübersicht - Vermessungssprengel Innsbruck**

Wie aus Abbildung 23 hervorgeht, ist die Homogenisierung des Festpunktfeldes 1. bis 5. Ordnung für den Sprengel Innsbruck bereits abgeschlossen und es liegen alle TPs in ETRS89-Koordinaten vor, wobei mehr als die Hälfte der Punkte, etwa 60 %, rechnerisch bestimmt wurden. Die EPs wurden, ausgenommen vom Stadtgebiet der Landeshauptstadt selbst, in den letzten acht Jahren übermessen und besitzen größtenteils ebenfalls bereits ETRS89-Koordinaten. Hinsichtlich ihrer Nutzung als Grundlage der Katastervermessung wurden die EPs hauptsächlich in Gebieten mit viel Grundverkehr geschaffen. Dies bedeutet, dass keine EPs in Gebieten mit abgeschiedener Lage existieren, wie aus

Abbildung 23 ersichtlich wird.

### Umsetzung im ArcGIS: Geoverarbeitungsmodell Auswertung\_FPF

Die Auswertung der Festpunkte erfolgt in mehreren Schritten, wie aus Abbildung 24 hervorgeht. In dieser sind die durchzuführenden Auswerteschritte zusammengefasst dargestellt. Zu Beginn sind die EPs und natürlichen Begrenzungen für Bodenbewegungen aufzubereiten. Anschließend kann das Oberflächenmodell erstellt sowie die gefährdeten Gebiete abgegrenzt werden. Das Ergebnis der Auswertung ist, gleich wie bei den anderen Ansätzen, ein *Shapefile* vom Typ Polygon.

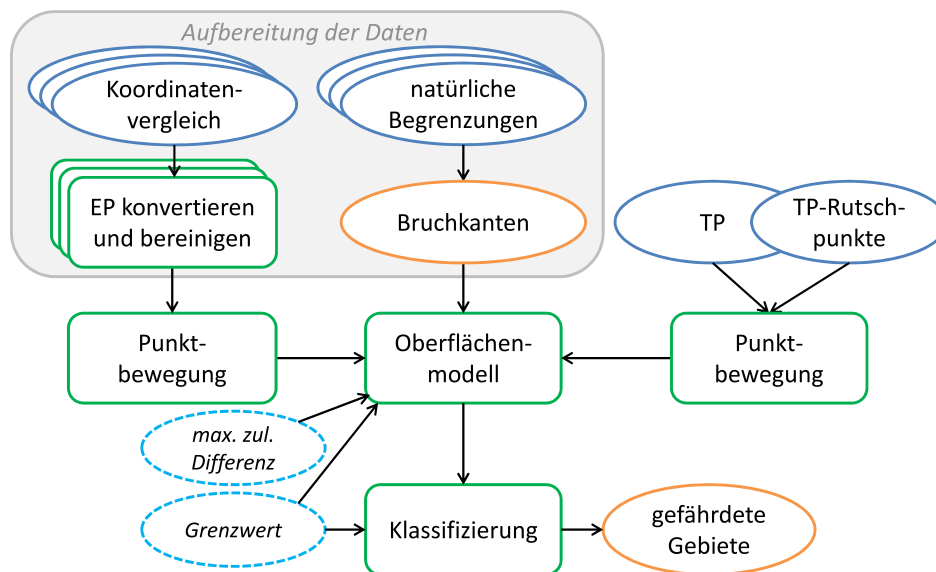


Abbildung 24: Prinzipdarstellung des Modells Auswertung\_Festpunktfeld

Für die Aufbereitung der EPs wurde das Geoverarbeitungsmodell *Aufbereitung\_REVUE* erarbeitet. Das Modell konvertiert die *Exceldateien*, der katastralgemeindeweise vorliegenden Ausgangsdateien, in *Shapefiles*, visualisiert und klassifiziert die Punkte anhand des linearen Fehlers und stellt die Größe und Richtung der Punkt-bewegungen als Vektoren dar. Weiteres werden die Daten mittels dem Modell um die Angabe des Messjahres der REVUE Messung erweitert. Abschließend sind die Daten manuell zu bereinigen, d. h. sämtliche Punkte sind zu löschen, welche aufgrund eindeutiger Ursachen, wie z. B. Verlegung des Punktes durch Unbefugte oder Verdrückung des Punktes durch den Betrieb von Landwirtschaft, Koordinatendifferenzen aufweisen. Für die Bestimmung der Punkt-bewegungsursache können die Punkte im *ArcGIS* zudem mit anderen Daten, wie Höhenschichtlinien, Straßenkarten oder Orthofotos, verschnitten werden. Der zweite vorbereitende Schritt für die Erstellung des Oberflächenmodells ist die Definition von natürlichen Begrenzungen für Gebiete mit Bodenbewegungen und die Erstellung einer entsprechenden *Shapedatei* vom Typ Linie.

Die restlichen Auswerteschritte, die Berechnung der Punkt-bewegung pro Jahr, die Erstellung des Oberflächenmodells und die Ableitung und Klassifizierung von Polygonen in gefährdete und nicht gefährdete Gebiete (siehe Abbildung 24), können anschließend einzeln oder gemeinsam ausgeführt werden. Für jeden der vier Auswerteschritte wurde ein Geoverarbeitungsmodell erstellt und diese für eine Gesamtauswertung im Modell *Auswertung\_FPF* verkettet.

Im Modell *Auswertung\_FPF-EP* werden die aufbereiteten EP-Daten in ein *Shapefile* zusammengespielt, aus den Daten die Zeitspanne zwischen den Messungen berechnet und die Punktbewegung pro Jahr in Millimeter ermittelt.

Die Punktbewegungen der TPs pro Jahr werden im Modell *Auswertung\_FPF-TP* bestimmt. Das Modell selektiert aus der Eingabedatei alle mehrfach gemessenen Punkte, konvertiert diese in ein *Shapefile* und weist ihnen eine Punktbewegung von Null zu. Liegen anhand der Neuausgleichung Informationen von tatsächlichen Punktverschiebungen vor, werden die Nullwerte durch diesen ersetzt und gleich wie im Modell *Auswertung\_FPF-EP* die Punktbewegungen normiert.

Die Erstellung des Oberflächenmodells erfolgt anschließend mittels des Modells *Auswertung\_FPF-Oberflächenmodell*. Im *ArcGIS* stehen mehrere Interpolations- und Triangulierungsmethoden zur Verfügung. In der Auswertung wird die Methode Triangulated Irregular Network (TIN) zur Modellierung der Oberfläche, aufgrund der nachfolgenden Eigenschaften, welche aus der Hilfe der Software [ESRI, 2016] entnommen wurden, verwendet. Die Basis der Methode bilden Stützpunkte, die in der TIN-Terminologie als Knoten bezeichnet werden. Die Verteilung der Punkte kann auch unregelmäßig sein, wodurch Bereiche von höherem Interesse durch Verdichten der Punkte mit einer höheren Auflösung modelliert werden können. Durch Triangulation der Knoten werden Kanten erzeugt, die ein Netz aus Dreiecken bilden und die Flächen der Dreiecke mit einer linearen Interpolation gefüllt. Als Dreiecksvermaschungsmethode wird im *ArcGIS* die Delaunay-Triangulationsmethode unterschützt und somit das Kriterium des Delaunay-Dreiecks erfüllt. Durch die Konvertierung der Eingabedaten im TIN in Stützpunkte bleiben diese erhalten, während Werte von beliebigen Punkten im Modell interpoliert werden. Zudem ist die Abbildung von lokalisierten Elementen wie Straßen, Berggipfel und Wasserläufe für mehr Kontrolle über die Form der Oberfläche gegeben und die nachträgliche Einführung und Bearbeitung von Stützpunkte möglich.

Die TIN-Oberfläche wird aus den Festpunkten mit der normierten Punktbewegung als Z-Wert, den definierten, natürlichen Begrenzungslinien als *Harte Bruchkanten* mit einem Z-Wert von Null und einem Abgrenzungspolygon, welches die Interpolationszone des TINs definiert, erstellt. In diesem Auswertungsschritt sowie auch in der Gesamtauswertung hat der Benutzer zusätzlich durch Eingabe von Grenzwerten, für die maximal zulässige Koordinatendifferenz und Punktbewegung pro Jahr, die Möglichkeit idente Punkt, die aufgrund der geringen Zeitspanne zwischen den Messungen die maximal zulässige Punktbewegung pro Jahr überschreiten, aus dem Datensatz zu eliminieren und das Oberflächenmodell ohne diese zu erstellen. Unter idente Punkte werden hier Punkte mit einer Punktbewegung kleiner der maximal zulässigen Koordinatendifferenz verstanden. Der Grenzwert für die Koordinatendifferenz kann wie im Projekt REVUE aus innerer Messgenauigkeit und mittlerem Punktlagefehler bestimmt werden, der Messgenauigkeit, Punktlagegenauigkeit oder einem beliebigen Wert entsprechen.

Aus dem Oberflächenmodell wird im letzten Arbeitsschritt, mit dem Modell *Auswertung\_FPF-Klassifizierung*, die Isolinie für den angegebenen Grenzwert, der maximal zulässigen Punktbewegung pro Jahr, abgeleitet, daraus Polygone erzeugt und diese als gefährdete Flächen klassifiziert. Anschließend werden die klassifizierten Flächen mit dem Umgebungspolygon des Oberflächenmodelles vereinigt und mittels Nachbarschaftsanalyse die neu hinzugekommenen Polygone als nicht gefährdet klassifiziert.

Der Grenzwert für die maximal zulässige Punktbeziehung pro Jahr ist vom Benutzer im Dialogfenster festzulegen.

### **Auswertung der Festpunkte im VA Innsbruck**

In die Auswertung des Festpunktfeldes werden alle aktuell übermessen KGs des Vermessungssprengels Innsbruck miteinbezogen und die EPs mit Hilfe des Modells *Aufbereitung\_REVUE* aufbereitet. Die Aufbereitung der EPs sowie die Analyse und Auswertung der Koordinatenvergleiche wird im Abschnitt 5.1 anhand von drei Beispielgemeinden detailliert beschrieben. Als Ausgangsdaten für die Bestimmung der natürlichen Begrenzungen und Erstellung der Bruchkantendatei werden die KG-Grenzen herangezogen, da diese weitestgehend entlang markanter Geländeformen verlaufen. Die KG-Grenzen werden durch Verschneiden mit anderen Datensätzen, wie Orthofotos, Höenschichtlinien, DGM, Flusdaten, bearbeitet, erweitert und als Bruchkanten definiert. Die Ausgangsdaten der TPs im VA Innsbruck entsprechen dem Stand vom April 2016 und werden um die Informationen über die Rutschpunkte im Bereich der drei ausgewählten Testgemeinden (siehe Abbildung 29 (Seite 45)) erweitert.

Die Auswertung des Vermessungssprengels Innsbruck erfolgt anschließend schrittweise mit den erstellten Modellen. Durch die manuelle Ausführung der Modelle können Zwischenergebnisse leichter überprüft, verglichen und gegebenenfalls nachbearbeitet werden. Mittels der Modelle *Auswertung\_FPF-EP* und *Auswertung\_FPF-TP* werden die übermessen Festpunkte jeweils in einer Datei zusammengefasst, die Zeitspanne zwischen den Messungen berechnet und die Punktbeziehungen pro Jahr bestimmt. Anschließend wird das Oberflächenmodell, bestehend aus den aufbereiteten EPs, TPs und der Bruchkanten-Datei sowie dem Umrisspolygon des Vermessungssprengels Innsbruck erstellt. Als Grenzwerte für die maximal zulässige Koordinatendifferenz wird, ausgehend vom Projekt REVUE, 8,2 cm verwendet und für die maximal zulässige Punktbeziehung pro Jahr 2 mm festgelegt. Dadurch werden alle Punkte, die eine Punktbeziehung pro Jahr größer als 2 mm aufweisen, jedoch eine Koordinatendifferenz kleiner als 8,2 cm besitzen, bei der Erstellung des Oberflächenmodells vernachlässigt. Überwiegend betrifft dies Punkte mit kurzem Messintervall.

Die Ableitung von Rutschgebieten aus dem Oberflächenmodell erfolgt anschließend mit dem Modell *Auswertung\_FPF-Klassifizierung* und der empfohlenen maximal zulässigen Punktbeziehung pro Jahr von 2 mm.

Abbildung 25 zeigt das erstellte Oberflächenmodell für den Vermessungssprengel Innsbruck. Dabei ist zu beachten, dass nähere Informationen zu TP-Rutschpunkten nur im Bereich der Testgebiete vorliegen und alle übrigen, als Rutschpunkte erkannten TPs, bei der Modellierung des Oberflächenmodells vernachlässigt wurden. Aus diesem Grund ist das Modell in der Umgebung der nicht miteinbezogenen Rutschpunkte, die in der Abbildung gesondert gekennzeichnet sind, noch zu erweitern.

Aus Abbildung 25 sowie aus den Abbildungen des Oberflächenmodells in den Testgemeinden (Abbildung 35 (Seite 51), 48 (Seite 64) und 60 (Seite 72)) ist ersichtlich, dass TPs vielfach auf den, als natürliche Begrenzungen für Bodenbewegungen eingeführten, Bruchkanten und somit auf festem Untergrund und Erhöhungen liegen. Dies ist auf die Entstehung und den Aufbau des Festpunktfel-

des zurückzuführen und ebenfalls aus den Punktkarten ersichtlich. Für Bereiche, in denen nur TPs vorliegen bedeutet dies, dass keine Informationen in Hanglagen für eine detailliertere Auswertung zur Verfügung stehen und diese anhand der vorliegenden Messungen als nicht gefährdete Gebiete anzusehen sind, wie dem farblich klassifizierten Oberflächenmodell zu entnehmen ist. Auf die Verdichtung des Festpunktfeldes wurde in diesen Bereichen aufgrund des geringen öffentlichen Interesses verzichtet, da es sich hierbei überwiegend um unbewohntes/unbewohnbares Gelände, wie Wald, Fels oder vegetationsarme Flächen, handelt und zum Teil seit Schaffung des Katasters keine Vermessungen mehr durchgeführt wurden.

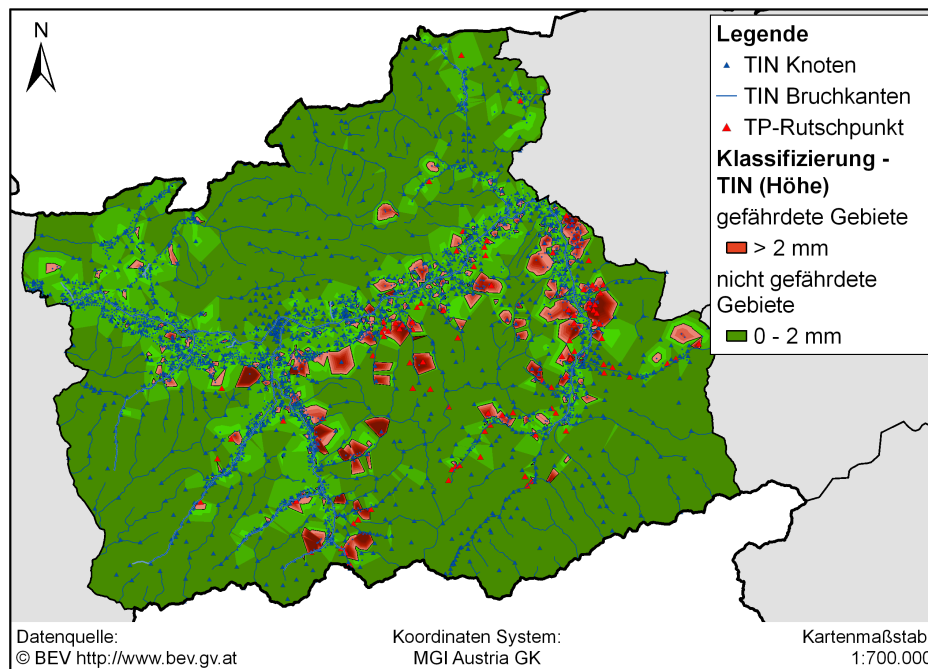


Abbildung 25: **Klassifizierte Festpunktfeldinformation - VA Innsbruck**

In Gebieten von hohem öffentlichem Interesse erfolgte mit Einführung des Grenzkatasters in den 60er Jahren die Verdichtung des TP-Feldes auf einen Punktabstand von ca. 300 m durch Einschalten der Festpunkte 6. Ordnung. Diese wurden in Tirol, wie aus Abbildung 23 ersichtlich ist, überwiegend im Tal und den anschließenden Hängen geschaffen und ermöglichen durch ihre Lage und den geringen Punktabstand eine detailliertere Auswertung des Geländes zur Bestimmung von gefährdeten Gebieten, wie Abbildung 25 zeigt. Hieraus ist ersichtlich, dass anhand der EPs im bewohnten/bewohnbaren Gebiet mehrere kleinräumige Bereiche als gefährdet klassifiziert wurden und diese, wie auch die erkannten TP-Rutschpunkte, vermehrt südlich des Inns liegen.

### 4.3 Bestimmung von Ermittlungsflächen

Der zweite Schritt der Methode ist die Erstellung einer Verdachtskarte und die Bestimmung von Ermittlungsflächen. Die Verdachtskarte wird durch Kombination, Überlagern und Verschneiden der Ergebnisse der einzelnen Informationen und die Berechnung der Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Bodenbewegungen erzeugt. Die Wahrscheinlichkeit wird hierbei aus der Klassifizierung und Gewichtung der Ausgangsflächen bestimmt. Sie entspricht dem Verhältnis der Summe der in der



neu erzeugten Fläche vorliegenden Gewichte zur Summe des maximal möglichen Gewichtes der Fläche. Zum Beispiel entspricht bei einer Gewichtung von 1 die Wahrscheinlichkeit einer Fläche, welche anhand nur einer der fünf Informationen als gefährdetes Gebiet klassifiziert wurde 20 % und die Wahrscheinlichkeit einer Fläche, welche anhand aller Informationen als gefährdet klassifiziert wurde 100 %. Aufgrund der Kombination unterschiedlichster Informationen, Ausgangsdaten und Ansätze bei der Ableitung gefährdeter Gebiete sind die Ergebnisse der einzelnen Informationen zu gewichten, wodurch aussagekräftigeren oder zuverlässigeren Informationen größerer Einfluss auf das Ergebnis verliehen werden kann.

Die Bestimmung der Ermittlungsflächen erfolgt anschließend anhand der berechneten Wahrscheinlichkeit und eines festgelegten Grenzwertes, ab welchem Gebiete als Ermittlungsflächen für Bodenbewegungen anzusehen sind.

Der Ansatz zur Bestimmung von Ermittlungsflächen anhand mehrerer Informationen wird in Abbildung 26 mittels eines einfachen Beispiels veranschaulicht. Im Beispiel werden zwei, in nicht gefährdet (S) und gefährdet (R) klassifizierte, gewichtete Informationen vereinigt. Als Ergebnis dieser Kombination wird die Verdachtskarte auf Basis der, aus den Gewichtungen der Eingabedatensätze, berechneten Wahrscheinlichkeit erstellt und diese folgend anhand des Grenzwertes von 50 % in bewegte (R) und stabile (S) Gebiete, welche Ermittlungsflächen und keinen Ermittlungsflächen entsprechen, klassifiziert.

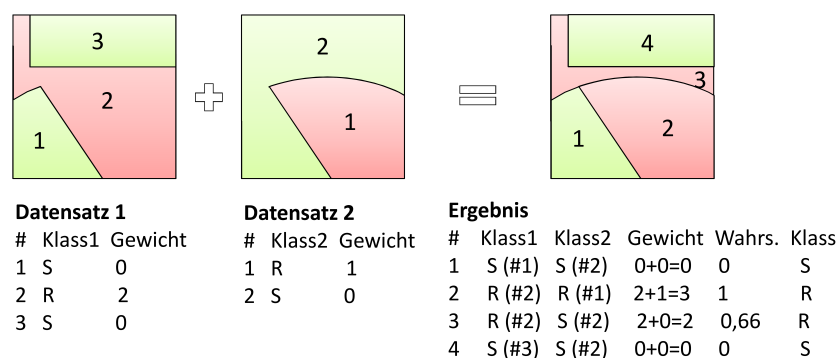


Abbildung 26: Beispiel für die Bestimmung von Ermittlungsflächen

### Umsetzung im ArcGIS: Geoverarbeitungsmodell Ausweisung\_Ermittlungsflächen

Die Bestimmung von Ermittlungsflächen wurde im ArcGIS im Modell *Ausweisung\_Ermittlungsflächen* umgesetzt. Die im Modell ausgeführten Arbeitsschritte sind zusammengefasst in Abbildung 27 gezeigt.

Der erste Bearbeitungsschritt im Geoverarbeitungsmodell *Ausweisung\_Ermittlungsflächen* ist, wie aus Abbildung 27 ersichtlich wird, die Gewichtung der Datensätze. Hierbei hat der Benutzer im Dialogfenster die Möglichkeit die Ergebnisse der einzelnen Ansätze hinsichtlich Information, Ansatz, Ausgangsdaten, etc. mit einem entsprechenden Gesamtgewicht zu bewerten. Als Standardwert der Gewichtung wird vom Modell 1 vorgegeben und gewichtet werden nur als gefährdet klassifizierte Flächen, d. h. nicht gefährdete Gebiete fließen immer mit dem Faktor 0 in die Berechnung ein.

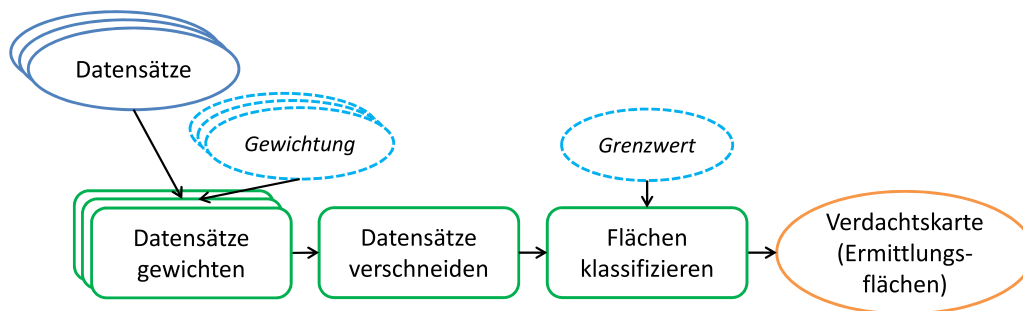


Abbildung 27: Prinzipdarstellung des Modells Ausweisung Ermittlungsflächen

Im zweiten Schritt werden die Datensätze mit dem Standardwerkzeug *Vereinigen (union)* verschnitten, die Gewichte in den neu erstandenen Polygonen aufsummiert und die Wahrscheinlichkeit, durch Division mit dem maximal vorliegenden Gewicht bestimmt. Abschließend erfolgt die Klassifizierung der Polygone im Modell anhand des vom Benutzer frei wählbaren Grenzwertes mittels einer *If-Anweisung*.

#### 4.4 Ausweisung von betroffenen Grundstücken

Zur Ausweisung von Grundstücken, die im Bereich der Ermittlungsflächen liegen, wird die Verdachtskarte mit der DKM verschnitten und die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Bodenbewegungen in den einzelnen Grundstücken bestimmt. Mittels dieser werden anschließend die Grundstücke in stabile und bewegte Grundstücke klassifiziert und in Kartenform, zur planlichen Darstellung der Abgrenzungen von Ermittlungsflächen in Form der DKM, dargestellt.

Durch Verschneiden der DKM mit der Verdachtskarte kann ein Grundstück in mehrere Flächen mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten aufgespalten werden, wodurch dem Grundstück nicht eindeutige eine Wahrscheinlichkeit zugeordnet werden kann und für das Grundstück eine Grundstückswahrscheinlichkeit zur bestimmten ist. Die Festlegung der Grundstückswahrscheinlichkeit kann nach unterschiedlichen Gesichtspunkten erfolgen. In der Methode wird zwischen den drei Ansätzen

1. **höchste Wahrscheinlichkeit:** höchste, im Grundstück vorliegende Wahrscheinlichkeit,
2. **Wahrscheinlichkeit der größten Teilfläche,**
3. **gewichteter Mittelwert:** gewichtetes arithmetisches Mittel der Wahrscheinlichkeiten, gewichtet mit dem prozentualen Anteil der Teilfläche,

Unterschieden. Die Auswirkung der Wahl der Grundstückswahrscheinlichkeit auf die Klassifizierung der Grundstücke wird am folgenden Beispiel verdeutlicht.

Unter der Annahme, dass die in Abbildung 26 gezeigte Fläche ein Grundstück ist, das durch Verschneiden der Datensätze in mehrere Teilflächen mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit zerteilt wurde, entspricht die höchste vorliegende Wahrscheinlichkeit, die in der Teilfläche 2 vorliegt, 100 %. Die Wahrscheinlichkeit, welche flächenmäßig am häufigsten vorkommt ist 0 % (Teilflächen 1 + 4) und der gewichtete Mittelwert der vorliegenden Wahrscheinlichkeiten 44 %. Die führt zur Ausweisung des Grundstückes als bewegt mittels Ansatz 1 und zur Klassifizierung des Grundstückes als stabil mittels

Ansatz 2 und 3, bei Annahme eines Grenzwertes von 50 %.

### Umsetzung im ArcGIS: Geoverarbeitungsmodell Ausweisung\_Grundstücke

Das Geoverarbeitungsmodell *Ausweisung\_Grundstücke* wurde zur Klassifizierung der in der DKM enthaltenen Grundstücke erstellt. Der prinzipielle Aufbau des Geoverarbeitungsmodells ist in Abbildung 28 dargestellt.

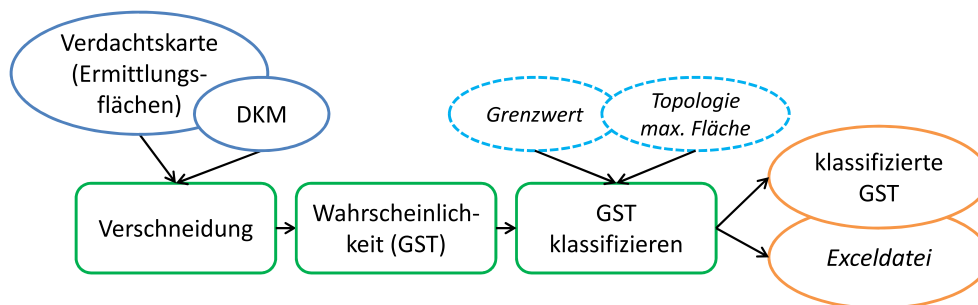


Abbildung 28: **Prinzipdarstellung des Modells Ausweisung\_Grundstücke**

Um den Bezug der DKM zu den ausgewiesenen bewegte Gebieten herzustellen, werden die beiden Datensätze im *ArcGIS* mit dem Werkzeug *Vereinigen (union)* überlagert und verschnitten, wodurch neue Polygone mit den Attributen beider Datensätze erzeugt werden. Grundstücke, die nicht durch die Verdachtskarte aufgespalten werden, erhalten immer die Wahrscheinlichkeit der zugrundeliegenden Fläche aus der Verdachtskarte. Für die Berechnung der Wahrscheinlichkeit der Grundstücke, welche nach der Verschneidung aus mehreren Teilen mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit bestehen, kann zwischen den drei Ansätzen, höchste Wahrscheinlichkeit, Wahrscheinlichkeit der größten Teilfläche und gewichteter Mittelwert gewählt werden. Die Bestimmung und Zuordnung der jeweiligen Wahrscheinlichkeiten erfolgt im *ArcGIS* mittels der Funktionen *Summenstatistik* und *Feld verbinden*.

Der letzte Arbeitsschritt des Modells ist, wie aus Abbildung 28 ersichtlich wird, die Klassifizierung der Grundstücke. Diese erfolgt gleich wie im Modell *Ausweisung\_Ermittlungsflächen*. Weiteres besitzt das Modell die Funktion *Topologie*, welche Grundstücke der Klassifizierung der Nachbargrundstücke anpasst. Ist beispielsweise ein stabiles Grundstück von bewegten Grundstücken umschlossen, wird dieses ebenfalls als bewegt klassifiziert. Die Funktion kann der Benutzer durch Eingabe einer Flächenbegrenzung steuern, da sich die Funktion auf die Grundstücksfläche bezieht. Dies bedeutet nur jene Grundstücke mit einer geringeren Fläche als der eingegebene Grenzwert werden überprüft und gegebenenfalls geändert. Bei einer Flächenbegrenzung von 0 wird die Funktion somit nicht ausgeführt.

Das Ergebnis, ein *Shapefile* vom Typ Polygon, welches dem Eingabedatensatz der DKM erweitert um das Ergebnis der Klassifizierung der Grundstücke entspricht wird als Karte im *ArcGIS* ausgegeben und als *Exceldatei* exportiert.

## 5 Anwendung der Methode

In diesem Kapitel wird die Methode am Beispiel von ausgewählten Gebieten angewendet. Es folgt die Beschreibung der Testgebiete, der Auswertungen, der Zwischenergebnisse und der Ergebnisse der einzelnen Gebiete.

### 5.1 Testgebiete

Als Testgebiete wurden die in Abbildung 29 farblich hervorgehobenen Gemeinden Pettnau, Pfons und Fügenberg ausgewählt. Hierbei handelt es sich, laut Erfahrungsberichten der Mitarbeiter des VA Innsbrucks, um eine „stabile Gemeinde“, eine Gemeinde mit Bodenbewegung und eine Gemeinde von der keine eindeutige Aussage getätigt werden kann.

Das Gebiet nördlich vom Inn, in welchem die Gemeinde Pettnau liegt, gilt im VA Innsbruck als stabil, da keine Unstimmigkeiten im Kataster aufgrund von vermuteten Bodenbewegungen bekannt sind, wodurch die KG Pettnau als Beispiel einer „stabilen Gemeinde“ ausgewählt wurde. Im Bereich der Gemeinde Pfons, welche südlich von Innsbruck, im Wipptal, liegt, ist dies nicht der Fall. Hier sind vermehrt Unstimmigkeiten aufgetreten, weshalb die KG Pfons als Beispiel für eine „bewegte Gemeinde“ ausgewählt wurde. Das Zillertal, in welchem die Gemeinde Fügenberg liegt, wird im BEV ebenfalls als gefährdet für das Vorkommen von Bodenbewegungen angesehen. Da Bodenbewegungen im Bereich von Fügenberg jedoch nicht eindeutig ersichtlich sind, sondern nur vermutet werden können, wurde die Gemeinde als drittes Testgebiet ausgewählt. Abbildung 29 zeigt die Lage der ausgewählten Testgemeinden im Vermessungssprengel Innsbruck. Daraus ist ersichtlich, dass die KGs Fügenberg und Pfons südlich vom Inn und die KG Pettnau im Westen, nördlich vom Inn liegt und dass sich diese nicht im selben politischen Bezirk befinden.

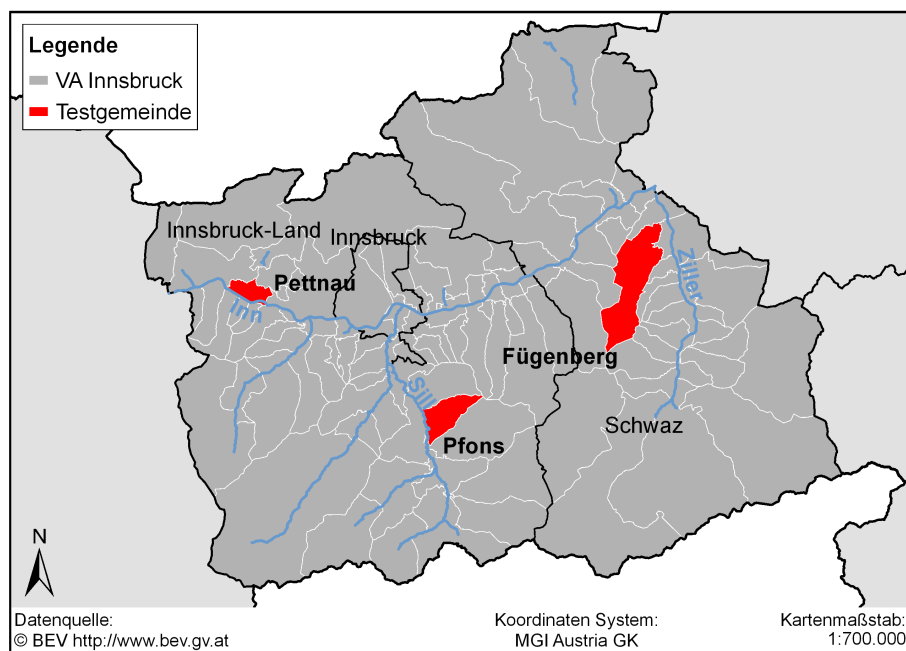


Abbildung 29: Testgebiete

## 5.2 Fügenberg

Die KG Fügenberg erstreckt sich vom Zillertal bis in die Tuxer Voralpen und gehört mit einer Fläche von ca. 59 km<sup>2</sup> zu den flächenmäßig größeren KGs im Zillertal. Die Seitentäler der KG Fügenberg sind nicht besiedelt und somit in Katasterbelangen meist von geringem Interesse, wodurch diese in den folgenden Abbildungen nur zum Teil dargestellt sind.

### 5.2.1 Ergebnisse der einzelnen Informationen

Als Grundlage der Methode wurden die Informationen Neigung, Exposition, Geologie, Boden und Festpunktfeld gewählt. Die erarbeiteten Ansätze zur Aufbereitung und Auswertung der Informationen sowie die durchgeführte Auswertung und die verwendeten Ausgangsdaten sind im Abschnitt 4.2 beschrieben. Aufgrund der Lage der KGs im Vermessungssprengel Innsbruck (siehe Abbildung 29) wurde die Auswertung für den gesamten Sprengel durchgeführt, konzentriert sich jedoch auf die Bereiche der Testgemeinden.

Tabelle 4 stellt eine Zusammenfassung der Auswertung der einzelnen Informationen dar. Sie gibt einen Überblick über die verwendeten Ansätze, Ausgangsdaten und Auswerteparameter, welche angeben ab wann Gebiete anhand der betrachteten Information als gefährdet für das Auftreten von Bodenbewegungen anzusehen sind.

Tabelle 4: **Übersicht: Auswertung der Informationen**

Information	Ansatz	Ausgangsdaten	Klassifizierung gefährdetes Gebiet
Neigung	Neigungswinkel	DGM	10° bis 40°
Exposition	Hangausrichtung	DGM	158° bis 293°
Geologie	Gestein	KM500 Austria - Geologie	Schiefer, Quarzphyllite, ...
Boden	Bodenkriechen	eBOD	Tonanteil $\geq 20\%$
Festpunktfeld	Punktverschiebung	Festpunkte	Punktverschiebung $\geq 8,2$ cm Punktbewegung/Jahr $\geq 2$ mm

### Neigung

Abbildung 30 zeigt das klassifizierte Neigungsraster im Bereich der KG Fügenberg. Hierbei werden, gleich wie in Abbildung 11 (Seite 25) und den folgenden Darstellungen der Neigung (Abbildung 43 (Seite 61) und 55 (Seite 69)), als nicht gefährdet angesehene Bereiche mit einer Neigung kleiner als 10° in Grün und größer als 40° in Blau dargestellt und als gefährdet klassifizierte Flächen mit einer Neigung zwischen 10° und 40° in Rot abgebildet.

Fügenberg liegt, wie aus Abbildung 30 ersichtlich, oberhalb von Fügen und weist überwiegend eine Neigung zwischen 10° und 40° auf und wird somit durch die Hangneigung Großteils als gefährdetes Gebiet ausgewiesen. Weiteres kann anhand des in Abbildung 30 dargestellten, farblich klassifizierten Neigungsrasters ein Eindruck über die Geländeform gewonnen werden. Durch die Klassifizierung wird deutlich, dass die KG Fügen sowie der angrenzende Teil von Fügenberg nur gering geneigt ist und

die restlichen, nicht gefährdeten Gebiete in Fügenberg überwiegend eine Geländeneigung größer als 40° besitzen.

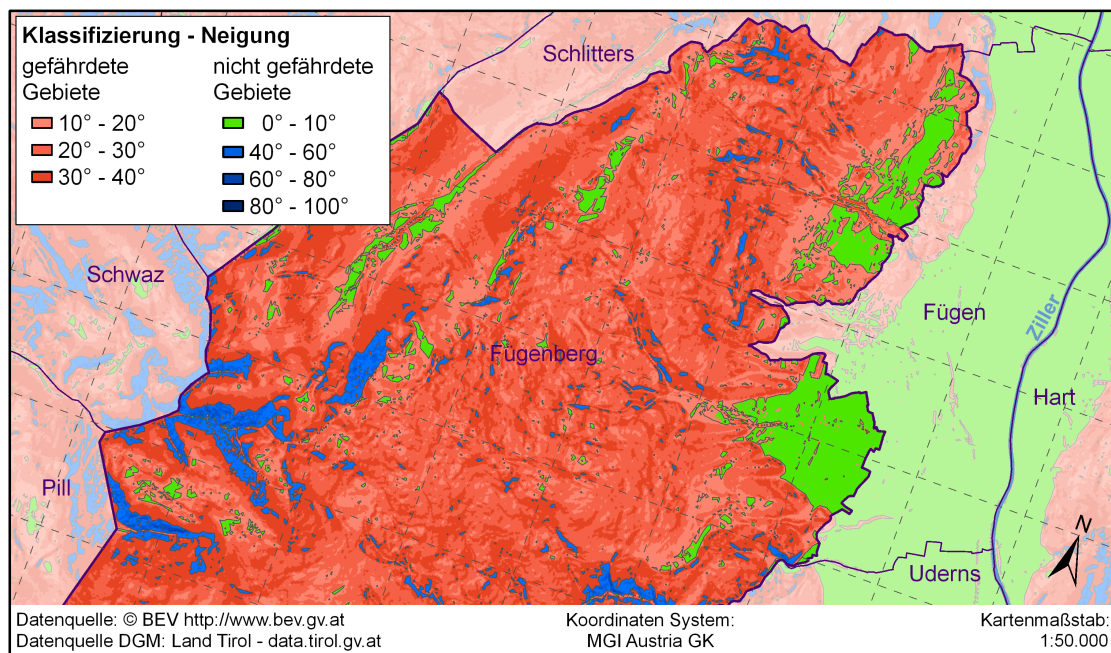


Abbildung 30: Klassifizierte Neigungsinformation – KG Fügenberg

## Exposition

Die Abbildungen 31, 44 (Seite 61) und 56 (Seite 69) zeigen die Detaildarstellungen der Auswertung der Exposition im Bereich der Testgemeinden. Gleich wie in Abbildung 14 (Seite 27) kann die Exposition anhand der Farb- und Tongebung in gefährdete und nicht gefährdete Gebiete sowie in die Himmelsrichtungen unterschieden werden. Die als gefährdet ausgewiesenen Gebiete, süd-, südwest- und westexponierte Geländeteile, werden in den Abbildungen in abgestuften Rottönen dargestellt und als nicht gefährdet angesehenes Gelände, wie Nordwest- bis Südosthänge, werden in unterschiedlichen Grüntönen visualisiert.

Aus dem Talverlauf des Zillertals, welches von Süden nach Norden verläuft, kann für die KG Fügenberg aufgrund der Exposition die Annahme einer „stabilen Gemeinde“ getroffen werden, da diese westlich der Ziller liegt, was einer Hangausrichtung nach Osten entspricht. Die Annahme kann durch die Darstellung der Exposition der Gemeinde Fügenberg in Abbildung 31 bestätigt werden. Diese zeigt, dass das Gemeindegebiet überwiegend eine Exposition von Nordost bis Südost aufweist und als nicht gefährdet klassifiziert wurde. Andeutungsweise kann an der gegenüberliegenden Talseite die Klassifizierung des Geländes als gefährdet erkannt werden, da es sich hierbei um einen westexponierten Hang handelt.

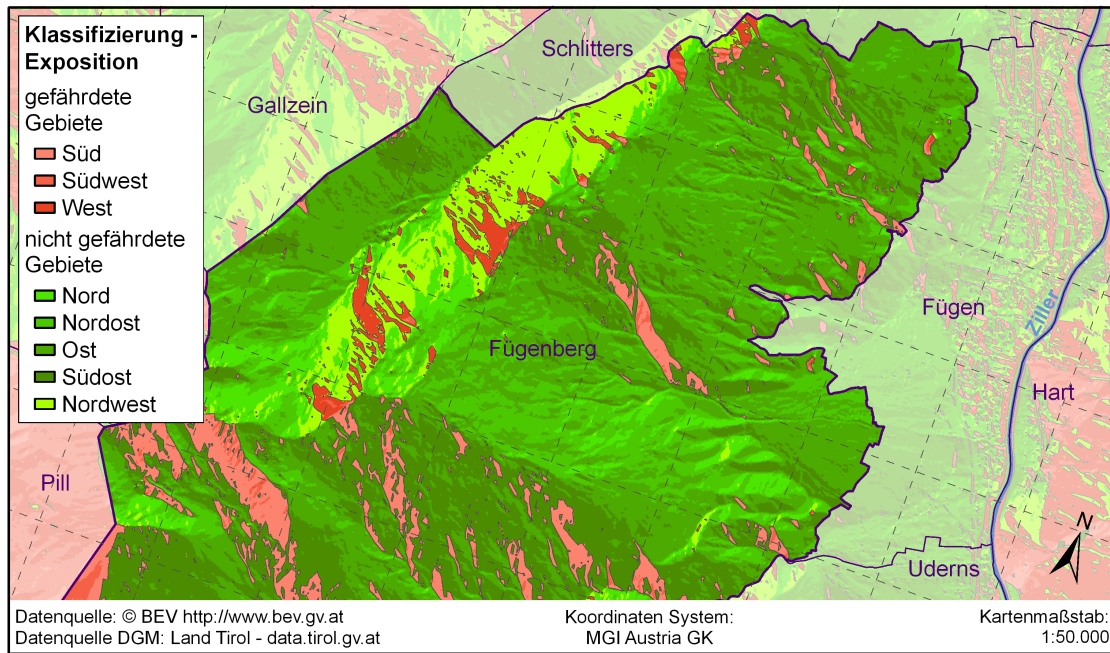


Abbildung 31: Klassifizierte Expositionsinformation – KG Fügenberg

**Geologie**

In Abbildung 32, 45 (Seite 62) und 57 (Seite 70) ist der klassifizierte Geologiedatensatz sowie die Legendeninformation der gedruckten geologischen Karte, auf welcher die digitale Karte basiert und anhand welcher die Klassifizierung erfolgte, dargestellt. Weiteres sind die publik gewordenen Massenbewegungen als Punkte mit Angabe des *Lokalnamens* gezeigt.

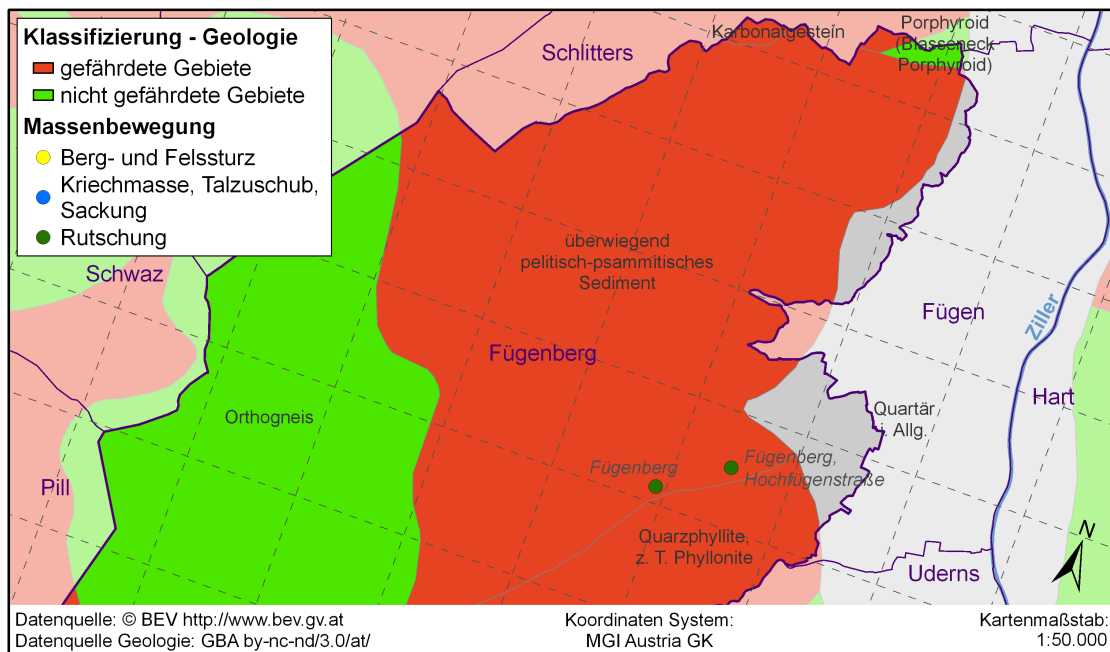


Abbildung 32: Klassifizierte Geologieinformation – KG Fügenberg

Abbildung 32 zeigt, dass in Fügenberg unterschiedliche Gesteine vorliegen und im Tal anhand des verwendeten geologischen Datensatzes keine Klassifizierung möglich ist, da im Datensatz für diesen Bereich keine Angaben über das zugrundeliegende Gestein enthalten sind. Die in diesem Bereich in

der Karte enthaltenen Informationen beziehen sich lediglich auf den Zeitabschnitt der Geologischen Zeitskala, in den angegebenen Fall auf den jüngsten Zeitabschnitt, das Quartär. Dies betrifft fast vollständig die KG Fügen sowie den angrenzenden Teil der Gemeinde Fügenberg. Weiteres ist aus der Grafik ersichtlich, dass in gefährdeten Gebieten zwei Rutschungen bei der GBA als Massenbewegungen verzeichnet sind. Laut Angaben eine Böschungsrutschung an der Hochfügenstraße und eine Rutschung auf freiem Feld.

Der Gegenüberstellung von Abbildung 30 und 32 kann entnommen werden, dass der Bereich in dem keine Gesteinsinformationen vorliegen in etwa mit dem Gebiet mit einer Hangneigung geringer als  $10^\circ$  übereinstimmt. Sehr deutlich wird dies durch die in die Gemeinde Fügenberg hineinreichende markante Nase der ebenen Fläche im südlichen Teil der KG.

## Boden

Das Ergebnis der Einteilung des Geländes anhand des Bodens in gefährdete und nicht gefährdete Gebiete ist für den Vermessungssprengel Innsbruck in Abbildung 22 (Seite 35) und detailliert für die Testgemeinden in den Abbildungen 33, 46 (Seite 63) und 58 (Seite 71) gezeigt. Die detaillierteren Darstellungen geben neben der Klassifizierung auch Auskunft über die Bodenarten und den enthaltenen Tonanteil. Da es sich bei den Daten um eine Erfassung der landwirtschaftlichen Nutzflächen handelt und in höher liegenden Regionen keine Landwirtschaft betrieben wird, bzw. aufgrund der abnehmenden Bodentiefe und zunehmender Hangneigung betrieben werden kann, liegen die Bodendaten nur im Tal und in angrenzender besiedelter Hanglage vor, wie aus den Abbildungen der Bodendaten ersichtlich wird.

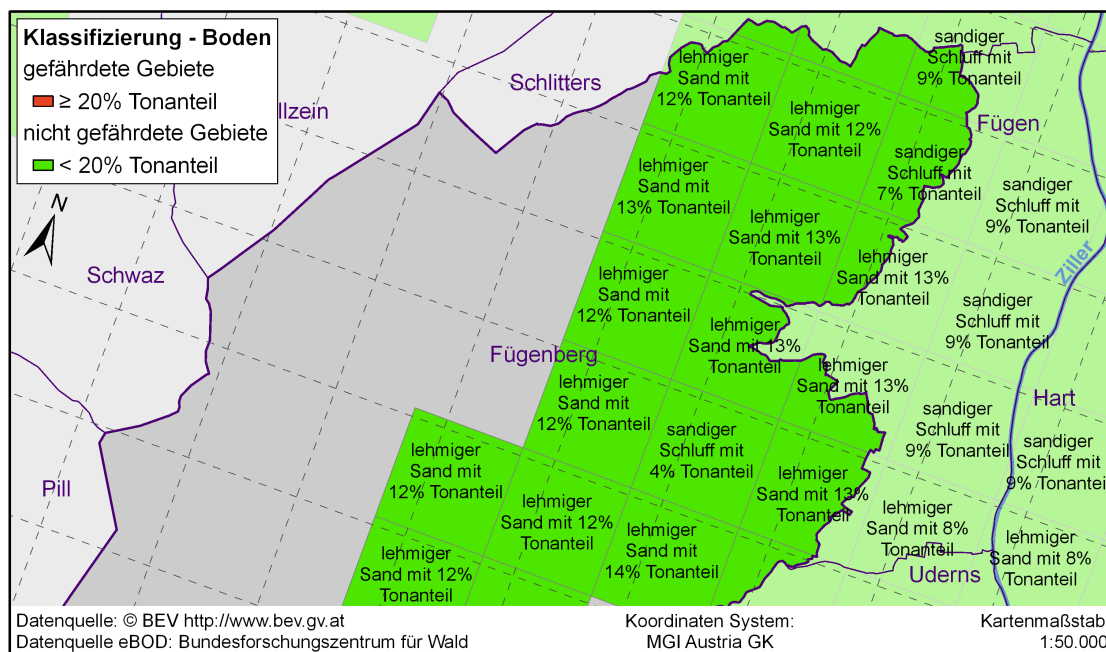


Abbildung 33: Klassifizierte Bodeninformation – KG Fügenberg

In der Gemeinde Fügenberg ist die vorherrschende Bodenart lehmiger Sand mit 12 % bis 14 % Tonanteil, die im Tal (KG Fügen) in sandigen Schluff mit einem Tonanteil von 9% übergeht, wie der Abbildung 33 zu entnehmen ist. Aufgrund des geringen Tonanteils des Bodens wird die gesamte



Gemeinde Fügenberg sowie die angrenzenden Gebiete als nicht gefährdet angesehen.

Aus dem Vergleich der Bodendaten mit Abbildung 32 kann erkannt werden, dass die fehlende Geologieinformation durch die zusätzliche Information Boden ergänzt werden kann. Der Vergleich mit den Festpunkten, welche in den folgenden Abbildungen 34 und 35 dargestellt sind, zeigt, dass die EPs aufgrund ihrer angedachten Nutzung im Bereich der Bau- und Nutzflächen liegen und sich somit überwiegend mit den Bodendaten decken.

### Festpunktfeld

Die Ergebnisse der Koordinatenvergleiche der Testgemeinden sind in Abbildung 34, 47 (Seite 63) und 59 (Seite 71) dargestellt. Sie dienen als Grundlage zur Eliminierung von Punkten, die eindeutig nicht durch Bodenbewegungen verschoben wurden, bzw. können unterstützend zur Detektion von Rutschpunkten im EP-Feld (siehe Abschnitt 3.3.2) herangezogen werden. Die Abbildungen zeigen die im Projekt REVUE übermessenen EPs im jeweiligen Testgebiet. Die Punkte wurden anhand der Länge des Differenzvektors, welcher in der Ergebnistabelle des Koordinatenvergleichs (siehe Beispiel Abbildung 6 (Seite 19)) mit linearer Fehler bezeichnet wird, in 4 cm Intervalle unterteilt und farblich klassifiziert. Die Darstellung der Punkte wurde angepasst an die Detektion von Rutschpunkten, wodurch Punkte, welche den Schrankwert von 8,2 cm nicht überschreiten, in Grün und EPs mit größeren Differenzen in Gelb bis Rot dargestellt sind. Die Punkte und die skalierten Lagedifferenzvektoren werden im aktuellen Orthofoto, das mit den Höhenschichtlinien überlagert ist, visualisiert.

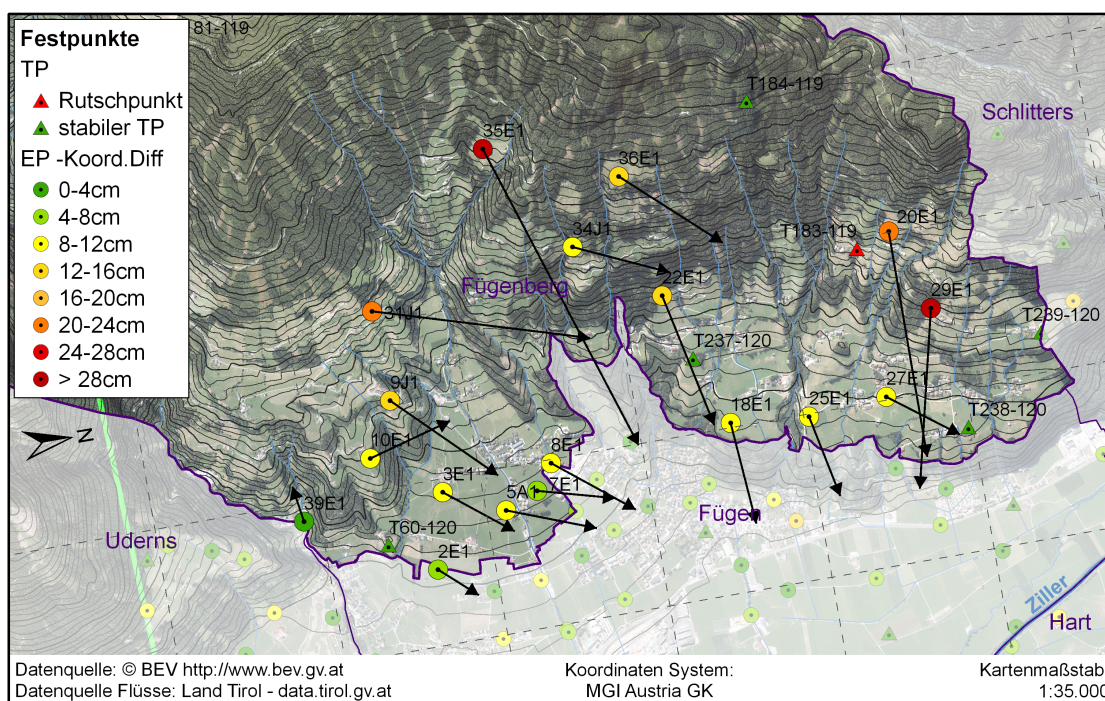


Abbildung 34: Ergebnis REVUE-Messung – KG Fügenberg

Abbildung 34 zeigt die Koordinatendifferenzen der EPs in Fügenberg aus welchen ersichtlich ist, dass 95 % der Punkte Koordinatendifferenzen über 8,2 cm aufweisen und zwei der Punkte sogar um mehr als 28 cm verschoben sind. Aus der Darstellung der aufgetretenen Lagedifferenzen als Vektoren in Bewegungsrichtung und der Höhenschichtlinien wird deutlich, dass sich die Lage der Punkte zur

Gänge in Talrichtung verändert hat, was auf eine Bewegung des gesamten Hanges hindeutet. Da keine auffälligen Punktverschiebungen entgegen der Hangneigung vorliegen, werden sämtliche Punkte der KG Fügenberg zur Erstellung des Oberflächenmodells und zur Abgrenzung gefährdeter Gebiete verwendet.

Abbildung 35 zeigt das aus den Festpunktinformationen und natürlichen Begrenzungen für Bodenbewegungen erstellte Oberflächenmodell und die daraus bestimmte Klassifizierung des Geländes in gefährdet und nicht gefährdet für das Auftreten von Bodenbewegungen. In der Abbildung, wie auch in den übrigen Darstellungen des Oberflächenmodells in den Testgemeinden (Abbildung 48 (Seite 64) und 60 (Seite 72)), werden zusätzlich zur Oberfläche auch die Knotenpunkte und Bruchkanten des TINs dargestellt. Die definierten Bruchkanten werden als blaue Linien hervorgehoben und die Knoten mit den Symbolen der Festpunkte dargestellt und der Punktbevægung pro Jahr farblich klassifiziert. Die Punkte wurden hierfür in 2 mm breite Klassen zusammengefasst und entsprechend dem Farbverlauf des Oberflächenmodells visualisiert.

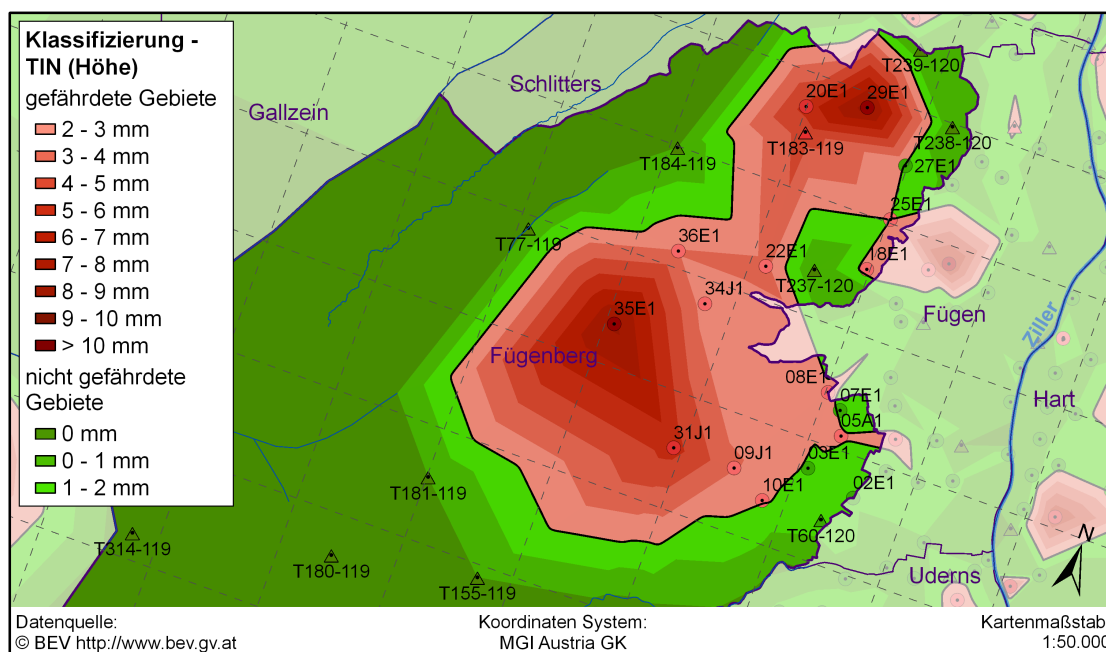


Abbildung 35: **Klassifizierte Festpunktfeldinformation – KG Fügenberg**

Wie bereits aus den erfassten Koordinatendifferenzen vermutet werden kann, wird der gesamte Hang im Bereich der EPs der Gemeinde Fügenberg als gefährdetes Gebiet klassifiziert. Begrenzt wird das Gebiet in Hangrichtung anhand der definierten Bruchkanten und umliegenden TPs und in Talrichtung durch die in Fügen liegenden stabilen Festpunkte, siehe Abbildung 35. Aus dem Vergleich der Punktbevægungen pro Jahr (Abbildung 35) mit den erfassten Koordinatendifferenzen im Projekt REVUE (Abbildung 34) wird deutlich, dass alle Punkte in Fügenberg, mit Ausnahme des Punktes 39E1, etwa im gleichen Zeitraum geschaffen bzw. neu bestimmt wurden und die Punktbevægungen pro Jahr dem skalierten Ergebnis der REVUE-Messung entsprechen. Der Punkt 39E1, an der KG-Grenze Fügenberg-Uderns, wurde nachträglich im Jahr 1999 geschaffen und weist eine Koordinatendifferenz von unter 4 cm auf (siehe Abbildung 34) und ist somit lt. Projekt REVUE als ident anzusehen. Aufgrund der kurzen Zeit zwischen den Messungen (10 Jahre) und der damit verbundenen Auswir-

kungen auf die Punktbewegung pro Jahr wird dieser Punkt bei der Erstellung des Oberflächenmodells jedoch nicht berücksichtigt und ist in der Abbildung 35 nicht mehr enthalten. Sehr deutlich wird die Vernachlässigung von übermessen Punkten, aufgrund einer zu geringen Zeitspanne zwischen den Messungen, im Oberflächenmodell der Gemeinde Fügen. Hier werden gleich vier benachbarte Punkte übergangen, wie der Vergleich der Abbildungen 34 und 35 zeigt.

Aus den Ergebnissen die einzelnen Informationen können bereits erste Rückschlüsse auf Gebiete mit hoher und geringer Gefährdung für das Auftreten von Bodenbewegungen gezogen werden. Die Ergebnisse der einzelnen Informationen zeigen, dass der untere Teil der Gemeinde Fügenberg mittels der drei Ansätze Neigung, Geologie und Festpunktfeld als gefährdet ausgewiesen wird und nur die zwei Ansätze Boden und Exposition für ein nicht gefährdetes Gebiet sprechen. Dies deutet auf ein Gebiet mit hoher Gefährdung für das Auftreten von Bodenbewegungen hin. Im Gegensatz dazu weist die Klassifizierung der KG Fügen, welche im Osten an Fügenberg angrenzt und das Gelände im Tal umfasst, diese vermehrt als nicht gefährdetes Gebiet aus, was auf eine „stabile Gemeinde“ hindeutet.

### **5.2.2 Verdachtskarte - Ermittlungsflächen**

Die Verdachtskarte stellt das Ergebnis der Kombination der einzelnen Informationen dar und bildet die Grundlage der Ausweisung von Ermittlungsflächen und von Grundstücken. Der Ansatz und das erarbeitete Geoverarbeitungsmodell zur Erstellung von Verdachtskarten und Bestimmung von Ermittlungsflächen sind im Abschnitt 4.3 beschrieben. Der folgende Abschnitt beschreibt die Auswertung der Testgemeinden Fügenberg, Pettnau und Pfons und stellt die Ergebnisse der KG Fügenberg dar. Die Ergebnisse von Pettnau und Pfons sind den Abschnitten 5.3.2 und 5.4.2 dargelegt.

#### **Auswertung: Ermittlungsflächen**

Die Erstellung der Verdachtskarte und Bestimmung von Ermittlungsflächen erfolgte mit dem dafür erstellten Geoverarbeitungsmodell *Ausweisung-Ermittlungsflächen* im Programm *ArcGIS*, auf Basis der Ergebnisse der einzelnen Informationen, welche jeweils im vorangehenden Abschnitt gezeigt sind.

Die Auswertung wurde für jedes Testgebiet mehrmals mittels unterschiedlicher Gewichtungen durchgeführt und die Ergebnisse verglichen und analysiert. Beispielhaft werden die Ergebnisse der in Tabelle 5 enthaltenen Gewichtungsvarianten in den folgenden Abbildungen 36 bis 38 für die KG Fügenberg gezeigt.

Als Grenzwert für die Klassifizierung der Gebiete in bewegt und stabil und zur Abgrenzung von Ermittlungsflächen wurde 50 % gewählt. Dies führt zur Ausweisung von Flächen mit einer Wahrscheinlichkeit kleiner gleich dem Grenzwert als stabile Gebiete und von Flächen mit einer Wahrscheinlichkeit über 50 % als bewegte Gebiete (Ermittlungsflächen), welche in weiterer Folge vom BEV als Ermittlungsflächen auszuweisen sind.

Tabelle 5: **Auswertung Ermittlungsflächen - Parameter**

<b>Information</b>	<b>Gewichtungsvariante 1</b>	<b>Gewichtungsvariante 2</b>	<b>Gewichtungsvariante 3</b>
Neigung	1	1	11
Exposition	1	1	7
Geologie	1	1	7
Boden	1	1	5
Festpunktfeld	1	2	15

Bei der Auswertung wurde mit einer Gleichgewichtung aller Informationen (siehe aus Tabelle 5, Gewichtungsvariante 1) begonnen. Im zweiten Schritt wurde die Art der Information, Einflussfaktor oder Messergebnisse, berücksichtigt und das Gewicht des Festpunktfeldes erhöht (siehe Tabelle 5, Gewichtungsvariante 2). In weiterer Folge wurden mehrere Gewichtungsvarianten erarbeitet und versucht die Art der Informationen, die Einflussgröße der Faktoren auf Bodenbewegungen und die Qualität des erstellten Auswertansatzes und der Ausgangsdaten zu berücksichtigen sowie die einzelnen Informationen in Relation zueinander zu setzen. Als die entsprechenste Gewichtung wird die in Tabelle 5 gezeigte Gewichtungsvariante 3 erachtet. Hierbei wird der Boden am geringsten gewichtet, da die Daten eine geringe Genauigkeit aufweisen und der erarbeitete Ansatz nicht verifiziert werden können. Das Festpunktfeld als messtechnischer Nachweis wird am höchsten gewichtet. Die Neigung erhält das zweite höchste Gewicht, da diese wie aus der Recherche hervorgeht ein wesentlicher Faktor beim Auftreten von Massebewegungen ist. Die Geologie, welche nach [Krauter, 1996] die Primärursache von Massebewegungen ist und nach der Einflussgröße auf Bodenbewegung gleich mit der Neigung zu sehen ist, wird aufgrund des Auswertansatzes und der Genauigkeit der Daten geringer gewichtet als die Neigung und gleichgesetzt mit der Exposition.

### **Ergebnisse: Fügenberg**

In den folgenden Darstellungen der Verdachtskarte, KG Fügenberg Abbildung 36 bis 38, KG Pettnau Abschnitt 5.3.2 Abbildung 49 bis 51 und KG Pfons Abschnitt 5.4.2 Abbildung 61 bis 63, werden die aus den einzelnen Informationen abgeleiteten Flächen anhand der Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Bodenbewegungen farblich klassifiziert dargestellt. Flächen, die den gewählten Grenzwert von 50 % überschreiten und als Ermittlungsflächen bestimmt wurden, sind in Orange und Rot und als stabil bewertete Gebiete in Hell- und Dunkelgrün dargestellt. Beispielhaft wird in den Abbildungen auch die Wahrscheinlichkeit vereinzelter Flächen angegeben.

Die Grundlage der Verdachtskarte von Fügenberg stellen die in Abschnitt 5.2.1 gezeigten Ergebnisse dar. Diese zeigen, dass die Geologie und Bodendaten nicht flächendeckend zur Verfügung stehen, sich jedoch ergänzen, wodurch die Verdachtskarte von Fügenberg aus vorwiegend vier und im Bereich der Überlappung von Geologie und Boden aus fünf Informationen erstellt wurde. Die Anzahl der verwendeten Informationen zeigt sich auch im Ergebnis, wie den folgenden Abbildungen 36 bis 38 entnommen werden kann. Sehr deutlich zu erkennen ist darin das Ende der Bodendaten, welches der geradlinigen Abgrenzung quer durch die Abbildung entspricht und die als bewegtes Gebiet ausgewiesene Fläche in Abbildung 37 und 38, in Orange und Rot unterteilt. Die Farbgebung kommt

aufgrund der berechneten Wahrscheinlichkeit in den Flächen zustande, welche in der orangen Fläche aus den Gewichten aller fünf Informationen und in der roten Fläche nur mehr aus vier Informationen abgeleitet wird und sich durch den Wegfall der als nicht gefährdet klassifizierten Bodendaten somit erhöht. Auch die fehlenden Geologieinformationen können bei genauer Betrachtung erkannt werden (siehe Abbildung 36), sie sind jedoch nicht so deutlich ersichtlich wie die Bodeninformation.

Abbildung 36 zeigt das Ergebnis der verschnittenen Datensätze bei gleicher Gewichtung und Abbildung 37 das Ergebnis der Auswertung bei Erhöhung des Gewichtes der Messdaten. Das Ergebnis der Gewichtungsvariante 3 ist in Abbildung 38 ersichtlich. Aus allen drei Abbildungen können die Einflüsse der klassifizierten Informationen auf die abgeleiteten Gebiete erkannt werden. Sehr deutlich tritt das Ergebnis des Festpunktfeldes mit seiner markanten Form sowie das Ergebnis der Exposition und der Neigung, welche die zerklüftete Struktur verursachen, in Erscheinung. Die Abgrenzungen anhand des Bodens und der Geologie sind ebenfalls ersichtlich. Besonders deutlich ist der Einfluss der Klassifizierung der Geologie in Abbildung 36 und 37 durch die wellige Linie im Westen der Gemeinde. Diese trennt das Gebiet mit einer Wahrscheinlichkeit von bis 25 % und ab 25 %.

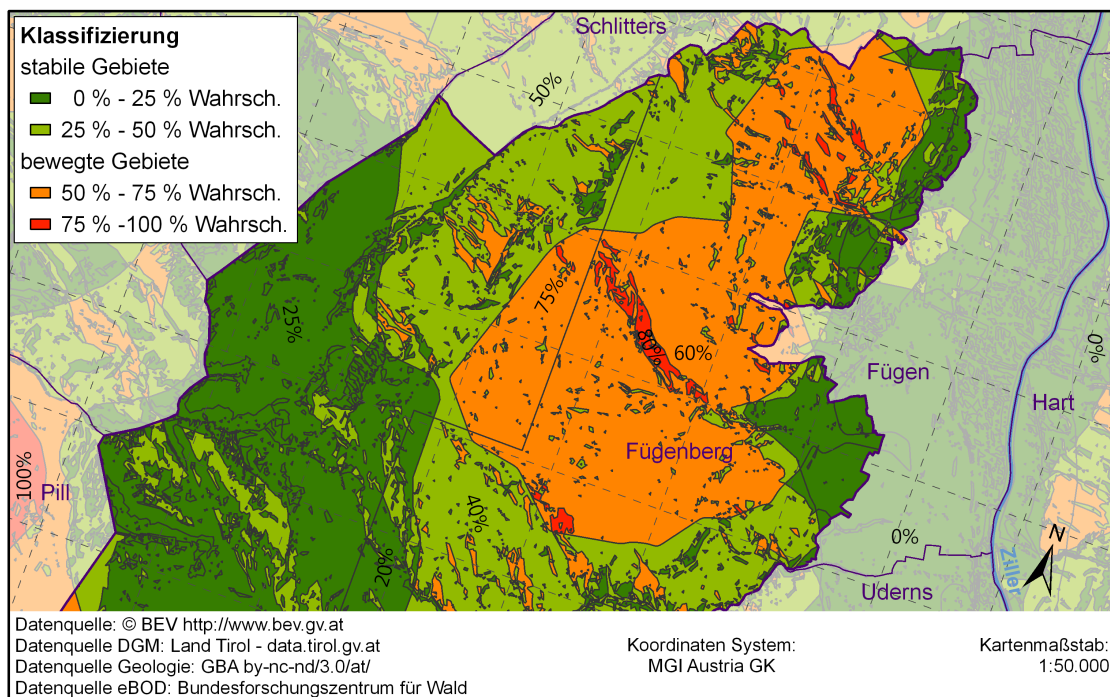


Abbildung 36: Verdachtskarte Gewichtungsvariante 1 – KG Fügenberg

Der Vergleich der drei Gewichtungsvarianten zeigt, dass die ermittelten bewegten Gebiete ähnliche Formen aufweisen und der bewohnte Hang der Gemeinde Fügenberg bei jeder Gewichtungsvariante als bewegt und die Talsohle, welche in der KG Fügen liegt, als stabil klassifiziert wird. Unterschiede in den ausgewiesenen bewegten Gebieten können nur vereinzelt erkannt werden, so z. B. aus dem Vergleich von Abbildung 36 mit Abbildung 37. Hier liegen die unterschiedlich ausgewiesenen Gebiete an der KG-Grenze Schmitterst und werden anhand der Gewichtungsvariante 1 als bewegte Gebiete mit einer Wahrscheinlichkeit zwischen 50 % und 75 %, wie der Abbildungen 36 zu entnehmen ist, ausgewiesen. Im Gegensatz dazu entsprechen diese Flächen in Abbildung 37 stabilen Gebieten, da die Wahrscheinlichkeit in den Flächen durch Erhöhen der Gewichtung des Festpunktfeldes auf 50 % sinkt.

Durch die Anpassung der Gewichte der Einflussgrößen (Gewichtungsvariante 3) werden diese Flächen in Abbildung 38 wieder als Ermittlungsflächen bestimmt und als bewegte Gebiete ausgewiesen. Der Vergleich der Ergebnisse der drei Gewichtungsvarianten zeigt, dass mittels der Gewichtungsvariante 3, der empfohlenen Gewichtung der Informationen, im betrachteten Bereich das flächenmäßig größte bewegte Gebiet bestimmt wird.

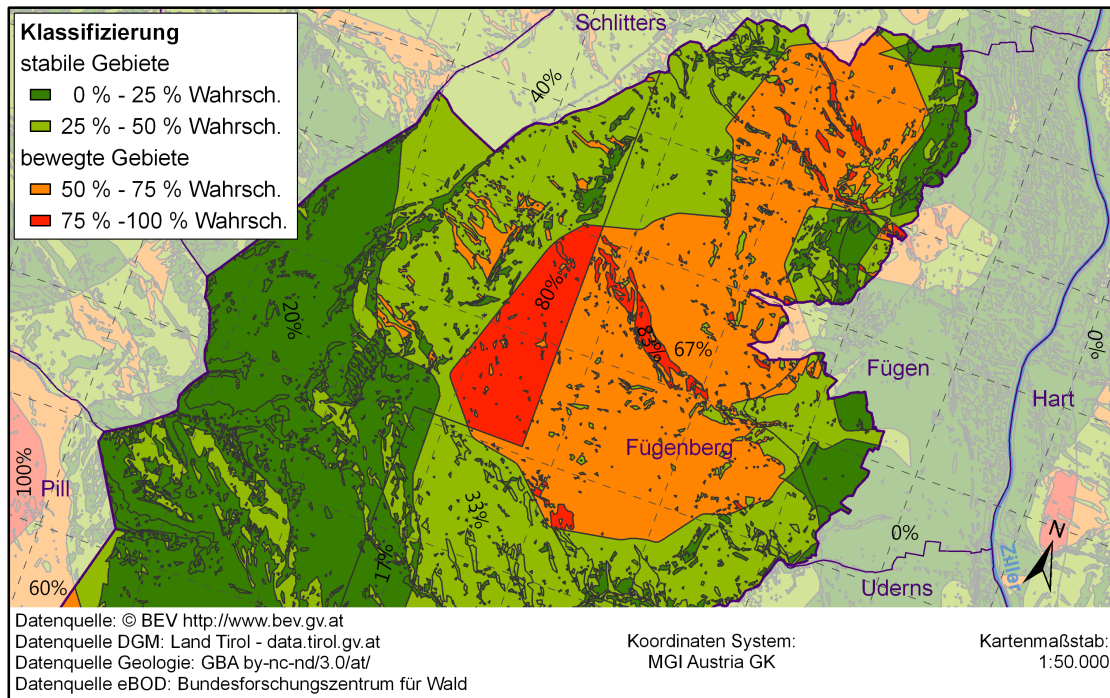


Abbildung 37: Verdachtskarte Gewichtungsvariante 2 – KG Fügenberg

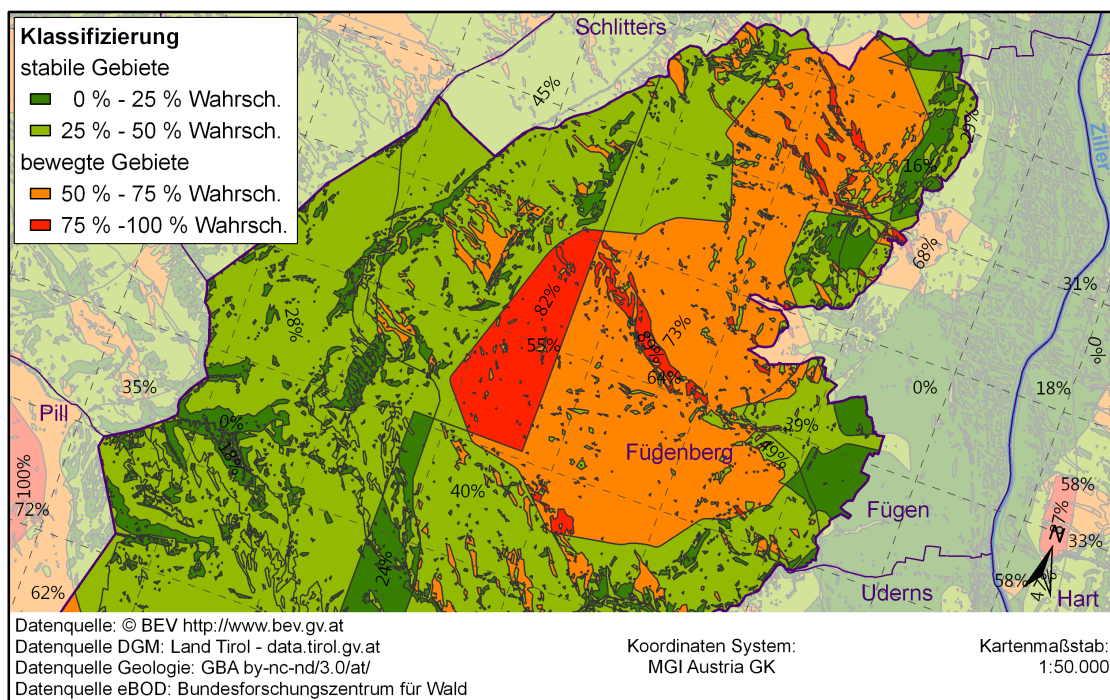


Abbildung 38: Verdachtskarte Gewichtungsvariante 3 – KG Fügenberg

Der Einfluss der Gewichtung der Informationen zeigt sich somit in der berechneten Wahrscheinlichkeit der Flächen, da diese anhand der Farbgebung in den Abbildungen nur vereinzelt erkannt werden kann, wird die Wahrscheinlichkeit ausgewählter Flächen in diesen zusätzlich angegeben. So ist beispielsweise die Zunahme der Wahrscheinlichkeit aufgrund der Erhöhung der Gewichtung des Festpunktfeldes aus dem Vergleich der Abbildungen anhand des bewegten Gebietes ersichtlich. In der Gewichtungsvariante 1, siehe Ergebnis Abbildung 36, entspricht die Wahrscheinlichkeit des bewegten Gebietes exklusive Bodendaten 75 % und inklusive Bodendaten 60 %. Diese erhöht sich durch die Erhöhung des Gewichts des Festpunktfeldes ebenfalls und entspricht bei Gewichtungsvariante 2 (Abbildung 37) einer Wahrscheinlichkeit von 80 % und 67 %. Bei weiterer Erhöhung der Gewichtung des Festpunktfeldes wie bei Gewichtungsvariante 3, siehe Abbildung 38, nimmt diese weiter zu. Für die beiden Flächen wurde eine Wahrscheinlichkeit von 82 % und 73 % berechnet.

Die Wahl der Gewichtung der Ausgangsdaten und des Grenzwertes ist folgend auch bei der Bestimmung von betroffenen Grundstücken von Bedeutung, da die Klassifizierung der Grundstücke anhand der Wahrscheinlichkeit erfolgt.

### 5.2.3 Ausweisung von betroffenen Grundstücken

Die Ausweisung von betroffenen Grundstücken entspricht der Klassifizierung der in der DKM enthaltenen Grundstücke in bewegt und stabil. Die Grundlage der Klassifizierung stellt die im vorangehenden Arbeitsschritt erarbeitete Verdachtskarte dar, von welcher die Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten von Bodenbewegungen auf die Grundstücke übertragen werden.

Folgend wird die Auswertung der drei Testgemeinde beschrieben sowie die drei Ansätze zur Festlegung der Grundstückswahrscheinlichkeit anhand der Ergebnisse der Gemeinde Fügenberg aufgezeigt und diskutiert. Die Ergebnisse der KGs Pettnau und Pfons sind in den Abschnitten 5.3.3 und 5.4.3 aufgezeigt.

#### **Auswertung: Ausweisung von betroffenen Grundstücken**

Die Ausweisung von Grundstücken, welche im Bereich von Ermittlungsflächen liegen, erfolgt für alle Testgemeinden auf Basis der Katasterstichtagsdaten von April 2016 und des Ergebnisses der dritten Gewichtungsvariante aus Tabelle 5. Die Verdachtskarte der Gewichtungsvariante 3 wurde als Grundlage zur Klassifizierung der DKM verwendet, da diese nach Ansicht der Verfasserin der angemessensten Verteilung der Gewichte entspricht.

Die Auswertung erfolgte mit den dafür erarbeiteten Geoverarbeitungsmodell *Ausweisung\_Grundstücke*, einem Grenzwert von 50 % und einer Maximalfläche von 10 000 m<sup>2</sup> für die Beachtung der Topologie. Mittels der Funktion kann zwischen den drei Ansätzen höchste Wahrscheinlichkeit, Wahrscheinlichkeit der größten Teilfläche und flächenmäßig gewichteter Mittelwert zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeiten der Grundstücke gewählt werden. In der Auswertung wurden alle drei Ansätze erarbeitet, was durch die Gestaltung der Funktion in einem Auswerteschritt durchgeführt werden konnte.

### Ergebnisse: Fügenberg

Die Ergebnisse der Auswertung sind in den folgenden Abbildungen 39 bis 41 für die KG Fügenberg und in den Abschnitten 5.3.3 und 5.4.3 für die Gemeinden Pettnau und Pfons dargestellt und zeigen die in bewegt und stabil klassifizierte DKM in den Testgemeinden. Als bewegt klassifizierte Grundstücke mit einer Grundstückswahrscheinlichkeit über 50 % werden in den Abbildungen in Rot und die restlichen, stabilen Grundstücke in Grün dargestellt. Die aufgrund der Topologie geänderten Grundstücke sind in den Abbildungen etwas dunkler gehalten und werden in der Legende nicht separat aufgelistet.

Abbildung 39 zeigt das Ergebnis der Klassifizierung der Grundstücke in Fügenberg anhand der höchsten vorliegenden Wahrscheinlichkeit im Grundstück, was bedeutet dass alle Grundstücke, welche die Ermittlungsflächen berühren als bewegt klassifiziert werden. Dies führt zur Ausweisung der größtmöglichen Anzahl von Grundstücken. Wie in Abbildung 39 zu erkennen ist, wird mittels dieses Ansatzes ein Großteil der Grundstücke als bewegt klassifiziert. Dies ist zum Teil auf die kleinen, im Ausmaß von wenigen 10 m<sup>2</sup>, als bewegt ausgewiesenen Flächen, die hauptsächlich aus der klassifizierten Neigungsinformation stammen und durch die Verschneidung mit den anderen Datensätzen noch verkleinert wurden, zurückzuführen. Auf Basis der erstellten Verdachtskarte liefert dieser Ansatz der Festlegung der Grundstückswahrscheinlichkeit kein ausreichendes Ergebnis. Eine mögliche Anwendung des Ansatzes könnte bei Abänderung der Verdachtskarte jedoch in Betracht gezogen werden. Durch Eliminieren aller Flächen kleiner als 10 000 m<sup>2</sup>, würde so auch das in der BodBwV angegebene Flächenausmaß von Ermittlungsflächen berücksichtigt werden.

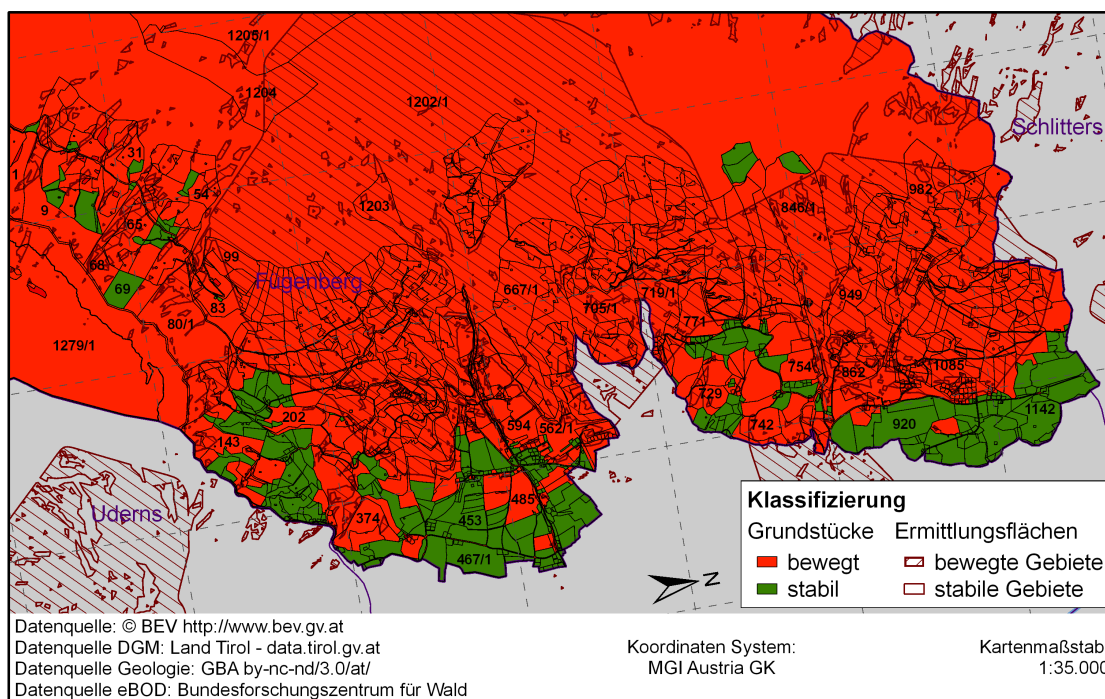


Abbildung 39: Klassifizierte Grundstücke (höchste Wahrscheinlichkeit) – KG Fügenberg

Im Vergleich zu Abbildung 39 wurde das in Abbildung 40 gezeigte Ergebnis der Grundstücksklassifizierung auf Basis der Wahrscheinlichkeit der größten Teilfläche erarbeitet. Daraus ist ersichtlich, dass sich durch die Änderung der Grundstückswahrscheinlichkeit auch die Abgrenzungen der Ermittlungsflächen ändern und die Anzahl der als bewegt klassifizierten Grundstücke erheblich abnimmt. Dies ist



auf die nicht zwingende Klassifizierung der im Randbereich der Ermittlungsflächen liegenden Grundstücke als bewegt zurückzuführen. Obwohl Teile der Grundstücke bewegten Gebieten entsprechen, ergibt die flächenbezogene Bestimmung der Wahrscheinlichkeit ein stabiles Grundstück. Mittels dieses Ansatzes können die zuvor erwähnten kleinen Ermittlungsflächen übergangen werden, wenn diese nur einem Bruchteil von der Gesamtfläche entsprechen. Im Gegensatz dazu werden jedoch auch große Grundstücke als nicht bewegt klassifiziert, wie beispielsweise das Grundstück mit der Nummer 1202/1 in welchem eine großräumige Ermittlungsflächen liegt (siehe Abbildung 40). Dies kommt zustande, da die Zuordnung der Grundstückswahrscheinlichkeit über die Wahrscheinlichkeit der größten Teilfläche erfolgt und wie Abbildung 38 zeigt, sich die bestimmte Ermittlungsfläche aus mehreren Flächen mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit von 50 % bis 100 % zusammensetzt und somit eine Fläche mit geringerer Wahrscheinlichkeit der größten Teilfläche des Grundstückes entspricht. Aus der Analyse des Grundstückes konnte ermittelt werden, dass es sich hierbei um eine Flächendifferenz zwischen den Teilflächen von wenigen Quadratmetern handelt. Aufgrund dieser Unstimmigkeit zwischen dem Ergebnis dieses Ansatzes und dem natürlichen Verständnis zur Ausweisung von betroffenen Grundstücken, wurde dieser Ansatz verworfen. Der Ansatz könnte jedoch durch Verwendung einer binären Information, wie Ermittlungsfläche oder keine Ermittlungsfläche, anstelle der Wahrscheinlichkeit zu einem besseren Ergebnis führen.

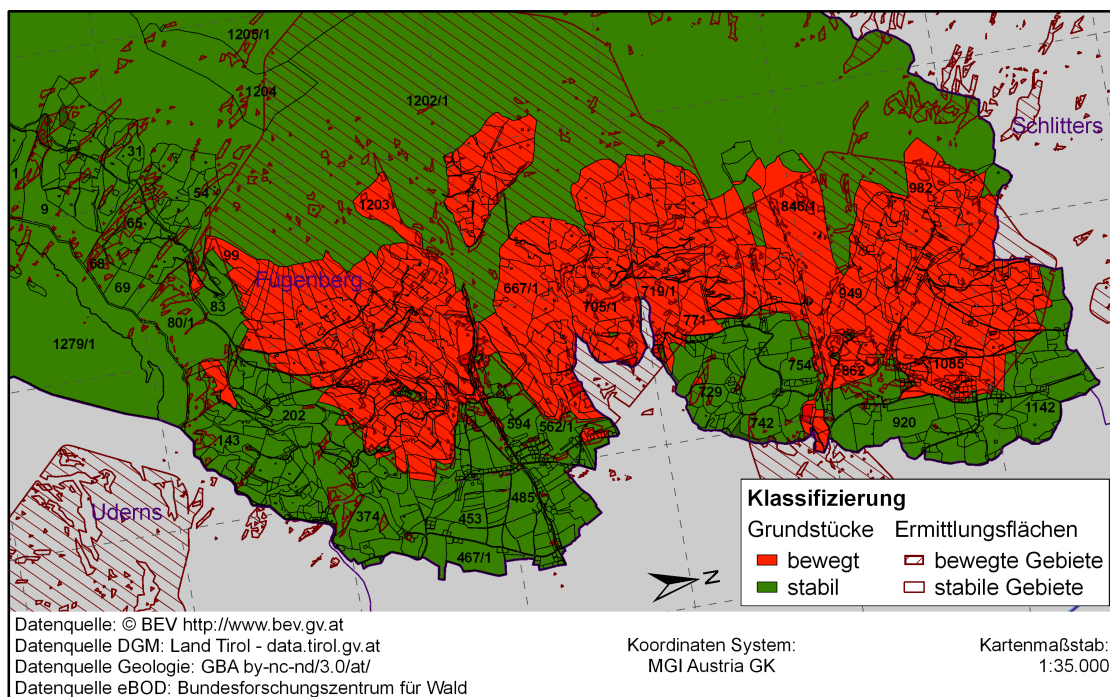


Abbildung 40: **Klassifizierte Grundstücke (Wahrscheinlichkeit der größten Teilfläche) – KG Fügenberg**

Abbildung 41 zeigt das Ergebnis der Klassifizierung der DKM unter Verwendung des aus den Wahrscheinlichkeiten der Teilflächen bestimmten gewichteten Mittel als Grundstückswahrscheinlichkeit. Bei diesem Ansatz der Bestimmung der Grundstückswahrscheinlichkeit werden, im Gegensatz zu den anderen beiden gezeigten Ansätzen, alle im Grundstück vorliegenden Wahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit der Flächen in die Berechnung miteinbezogen. Dies führt bei dem Beispielgrundstück 1202/1 zur Ausweisung des Grundstückes als bewegt, wie aufgrund der im Grundstück vorliegenden Ermittlungsfläche zu erwarten ist. Dieser Ansatz stellt aus Sicht der Autorin den besten der gezeig-

ten Ansätze zur Klassifizierung der DKM in bewegte und stabile Grundstücke dar und ist für die Ausweisung von Grundstücken auf Basis der Verdachtskarte zu verwenden.

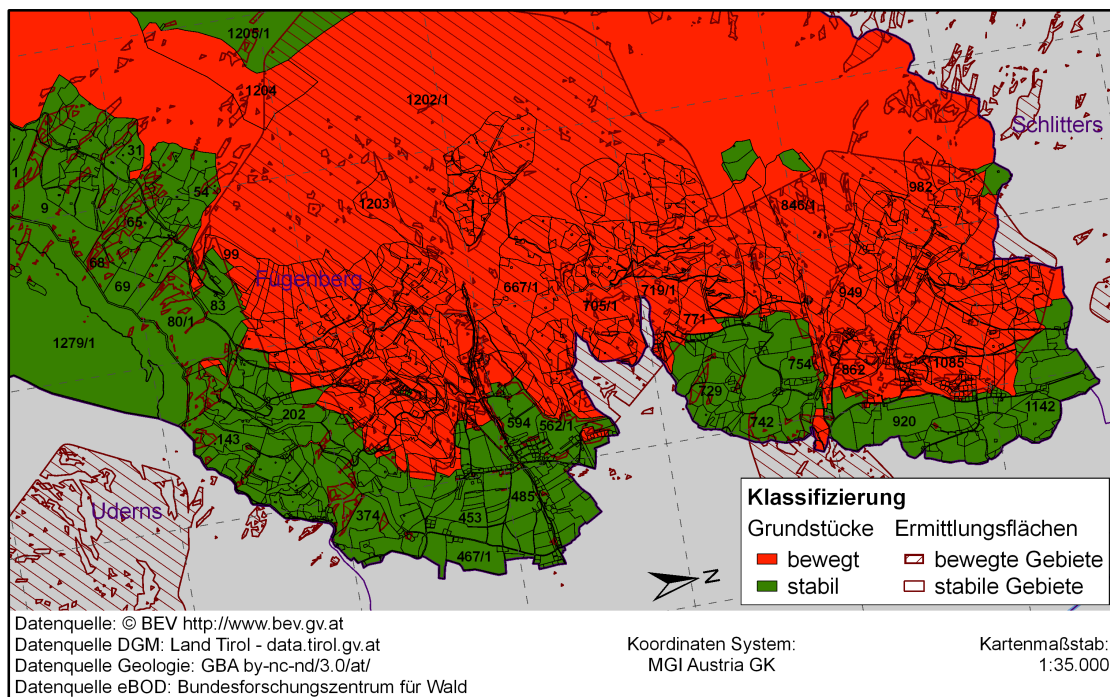


Abbildung 41: **Klassifizierte Grundstücke (gewichteter Mittelwert) – KG Fügenberg**

Vor allem bei diesem Ansatz, der Bestimmung der Grundstückswahrscheinlichkeit aus dem gewichteten Mittelwert aller vorliegenden Wahrscheinlichkeiten, kommt die Wahl der Gewichtung der einzelnen Informationen zu tragen, da diese flächenabhängig Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Bodenbewegungen und die Ausweisung der Grundstücke nehmen, wie aus dem Vergleich der Abbildungen 41 und 42 ersichtlich wird. Dieser zeigt, dass bei unterschiedlicher Gewichtung der Ausgangsdaten auch Unterschiede in der Klassifizierung der Grundstücke auftreten, obwohl im Bereich der betroffenen Grundstücke wie beispielsweise in Grundstück 1204 (am oberen Rand der Abbildung, links) idente Ermittlungsflächen vorliegen.

Durch die Klassifizierung der Grundstücke anhand der, aus den einzelnen Informationen abgeleiteten, Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Bodenbewegungen ist die Ausweisung der DKM nicht zwingend an den vorangehenden Schritt gebunden, sondern kann auch direkt erfolgen, indem die DKM-Daten bereits im zweiten Arbeitsvorgang mit den Ausgangsdaten verschnitten werden. Zudem bietet die Bestimmung der Wahrscheinlichkeit in den Grundstücken die Möglichkeit einer Einteilung der Grundstücke in mehrere Gefährdungstufen für das Auftreten von Bodenbewegungen. Dieser Ansatz zur Klassifizierung der Grundstücke wird folgend am Beispiel der KG Pfons im Abschnitt 5.4.3 gezeigt.

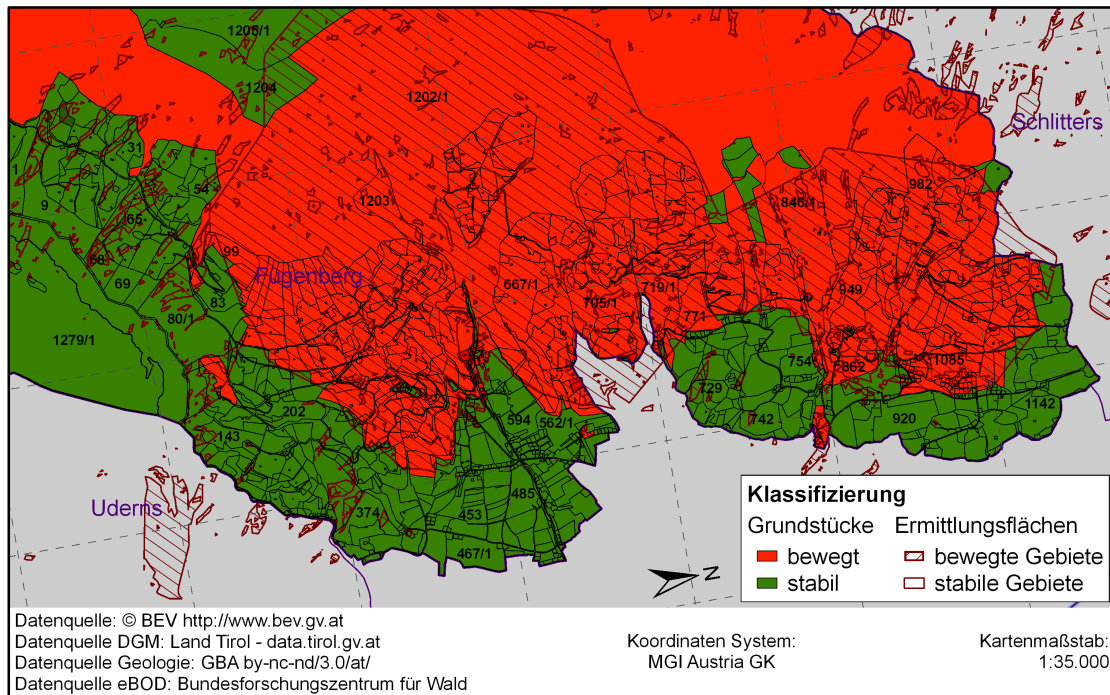


Abbildung 42: **Klassifizierte Grundstücke, Gewichtungsvariante 1 (gewichteter Mittelwert) – KG Fügenberg**

### 5.3 Pettnau

Die KG Pettnau liegt im Inntal, westlich von Innsbruck im Bezirk Innsbruck Land, wie aus Abbildung 29 (Seite 45) ersichtlich wird, und wurde, anhand der Angaben des VA Innsbrucks, als Beispiel für eine „stabile Gemeinde“ ausgewählt.

#### 5.3.1 Ergebnisse der einzelnen Informationen

Die folgenden Ergebnisse der ausgewerteten Informationen entsprechen, gleich wie die Abbildungen der aufbereiteten Informationen der KG Fügenberg, Detaildarstellungen der in Abschnitt 4.2 ausgearbeiteten Ergebnisse.

#### Neigung

Das Ergebnis der Neigungsinformation ist für die KG Pettnau in Abbildung 43 gezeigt. Anhand der farblich abgestuften Neigungsklassen kann deutlich die relativ breite, ebene Fläche am Flusslauf des Inns und der teils steil ansteigenden Hang sowie das anschließend gering geneigte Hochplateau in der Gemeinde Reith erkannt werden. Parallel zum Fluss sind auch die Böschungen der Inntalautobahn, die eine Neigung größer als  $10^\circ$  aufweisen, ersichtlich. Anhand der Neigung wird die KG somit sehr eindeutig in ein nicht gefährdetes Gebiet und in ein gefährdetes Gebiet, das Tal und den Hang, geteilt.

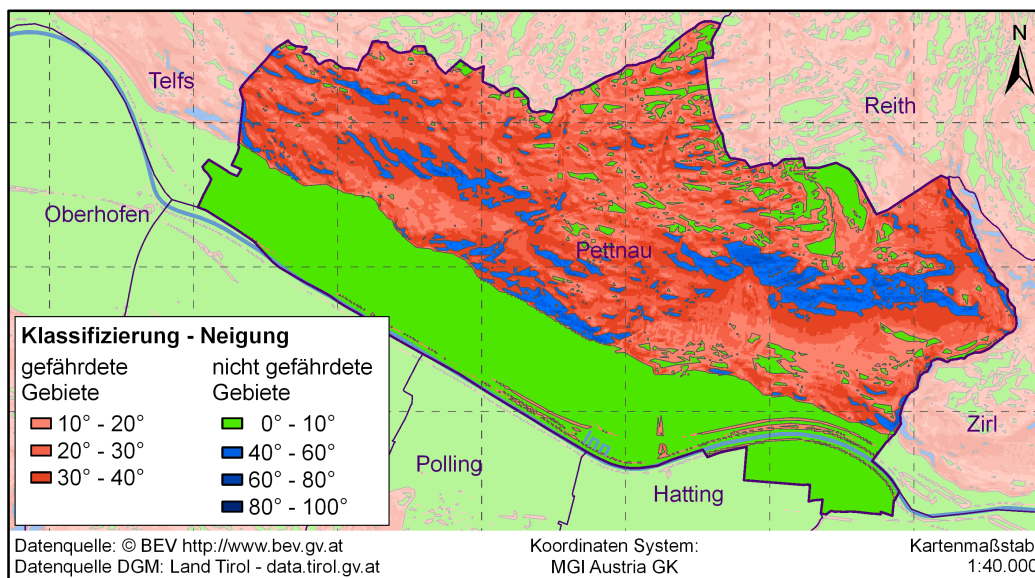


Abbildung 43: Klassifizierte Neigungsinformation – KG Pettnau

### Exposition

Wie bereits eingangs erwähnt, liegt die KG Pettnau im Inntal, nördlich des Inns, wodurch der an die Talsohle angrenzende Hang nach Süden ausgerichtet ist und anhand des verwendeten Ansatzes zur Klassifizierung des Geländes (siehe Tabelle 4) als gefährdet ausgewiesen wird, wie in Abbildung 44 ersichtlich. Die Talsohle mit einer Neigung zwischen 0° und 10° (siehe Vergleich Abbildung 43) ist, im Gegensatz zum angrenzenden Hang, überwiegend nach Nordost bis Ost ausgerichtet und wird dementsprechend als nicht gefährdet für das Auftreten von Bodenbewegungen klassifiziert.

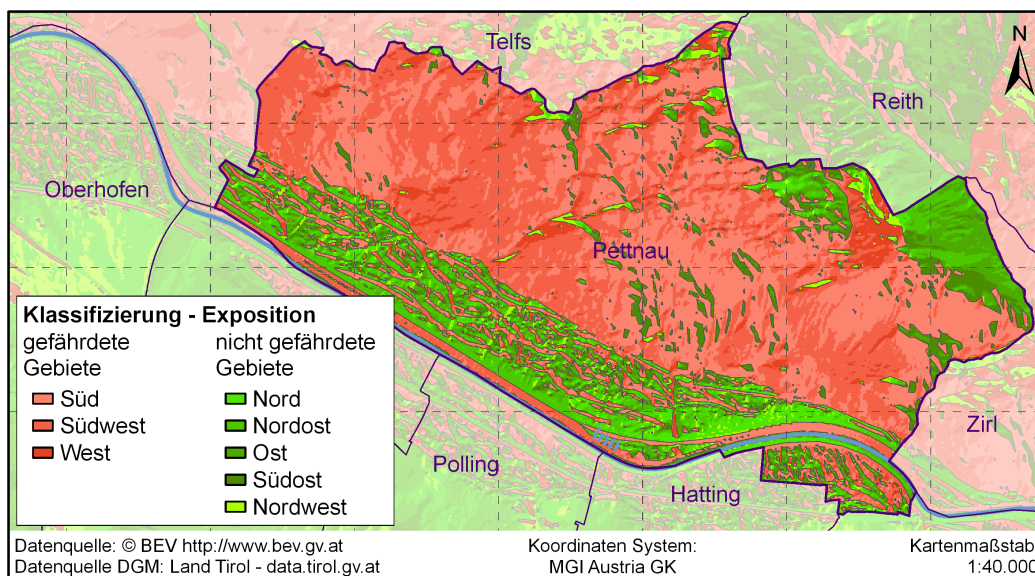


Abbildung 44: Klassifizierte Expositionsinformation – KG Pettnau

## Geologie

Abbildung 45 zeigt den klassifizierten Geologiedatensatz im Testgebiet Pettnau. Daraus ist ersichtlich, dass im Bereich des Inns keine Information über das zugrundeliegende Gestein vorliegt und dieser in Grau dargestellt wird. Der restliche Teil der Gemeinde wird als nicht gefährdet angesehen, da überwiegend Karbonatgestein vorliegt. Zudem kann erkannt werden, dass keine Massenbewegungen im Gemeindegebiet erfasst wurden, wodurch die Annahme einer „stabilen Gemeinde“ mittels dieses Ansatzes zur Bestimmung von Bodenbewegungen bestätigt wird.

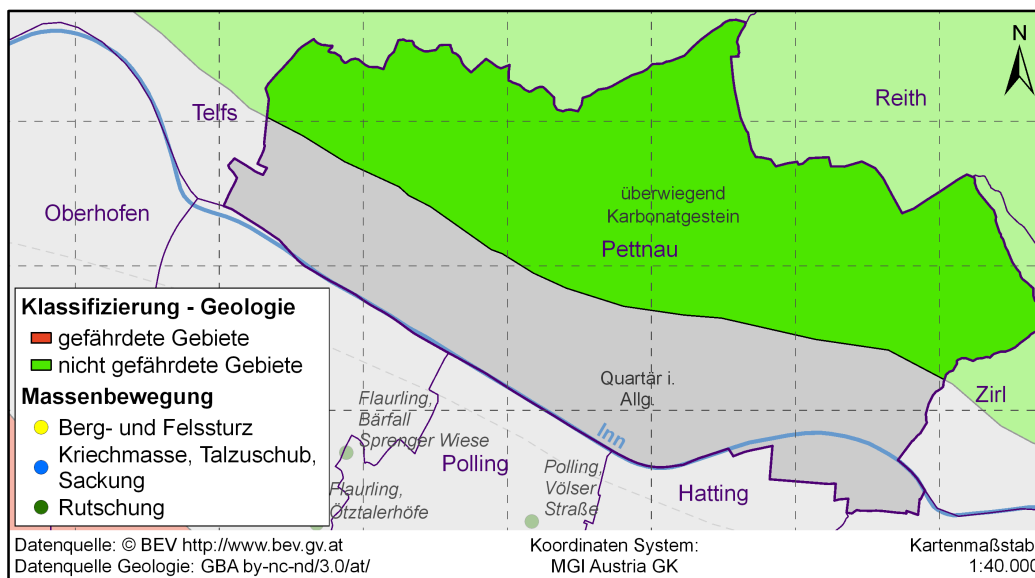


Abbildung 45: **Klassifizierte Geologieinformation – KG Pettnau**

Wie bereits im Testgebiet Fügenberg, tritt auch in der KG Pettnau die Ähnlichkeit des nicht klassifizierten Bereiches in Abbildung 45 und dem ebenen Talboden des Inntals, welcher in Abbildung 43 grün dargestellt ist, hervor. Durch Hinzuziehen der Abbildung 47 kann zudem erkannt werden, dass es sich hierbei um den bewohnten und bewirtschafteten Bereich der Gemeinde handelt, in dem ebenfalls die EPs liegen.

## Boden

Die klassifizierte eBOD im Bereich von Pettnau ist in Abbildung 46 dargestellt. In der KG liegen, aufgrund der 1 km Rasterung der Daten, flächendeckend Informationen zum Boden vor. Da im Datensatz in diesem Bereich des Inntals keine Angaben zur Bodenart oder zum Tonanteil enthalten sind, wurde der Tonanteil des Bodens aus den umgebenden Rasterzellen abgeleitet, wie anhand der fehlenden Bodenart in der Beschriftung der Zellen ersichtlich ist. Der berechnete Tonanteil in der Gemeinde Pettnau liegt eindeutig unter dem definierten Grenzwert von 20 %, wodurch die Verwendung des Ergebnisses für die weitere Auswertung als zulässig angesehen wird.

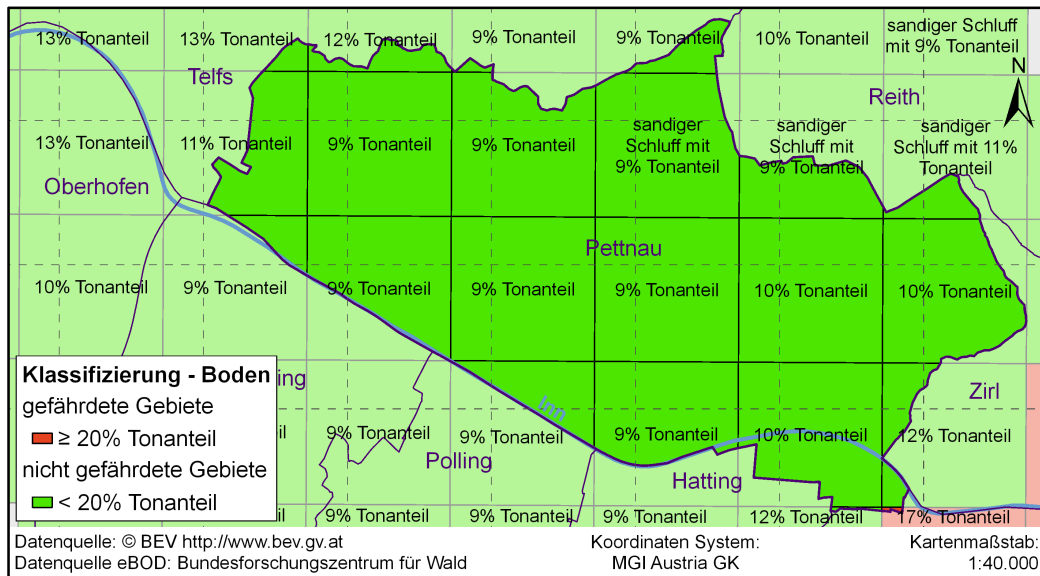


Abbildung 46: Klassifizierte Bodeninformation – KG Pettnau

### Festpunktfeld

Die KG Pettnau wurde im Oktober 2014 revidiert und übermessen. Das Ergebnis dieser Arbeit, die ermittelten Koordinatendifferenzen, sind in Abbildung 47 gezeigt. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass sich alle übermessenen Punkte der KG innerhalb der Punktlagegenauigkeit der EPs, die in der VermV mit 7 cm definiert ist, befinden und die Mehrzahl der Punkte einen linearen Fehler kleiner als 4 cm aufweist. Aus dem Projekt REVUE ergibt sich somit für die Gemeinde Pettnau, dass sich keiner der Punkte seit seiner Entstehung merklich verändert hat und ein stabiles, intaktes Festpunktfeld vorliegt sowie dass sämtliche Punkte in das Oberflächenmodell miteinzubeziehen sind.

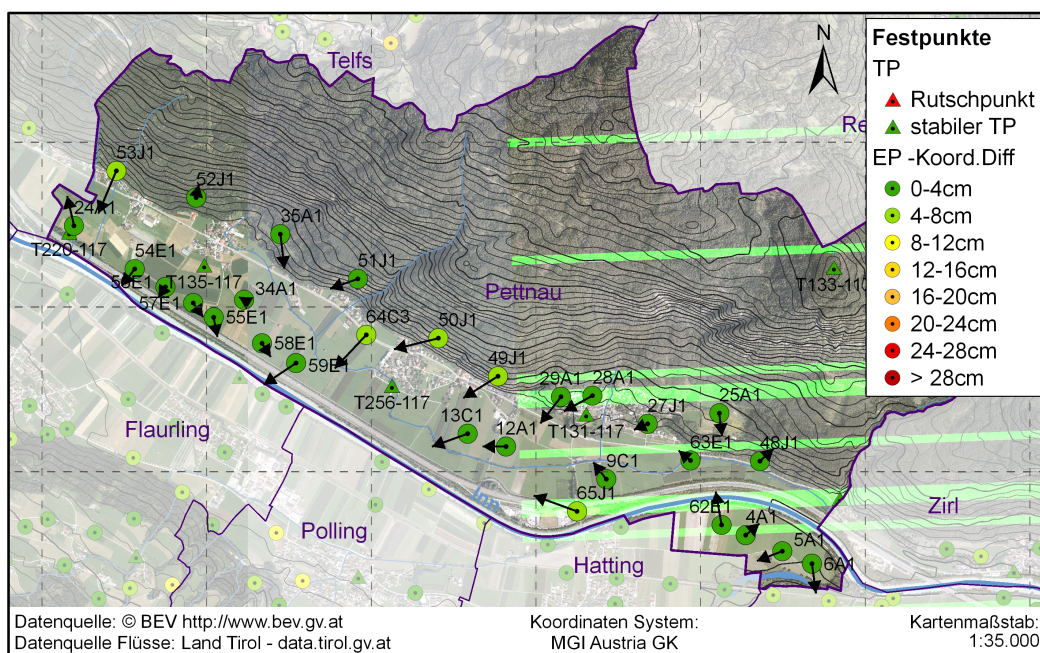


Abbildung 47: Ergebnis REVUE-Messung – KG Pettnau

Das erarbeitete Oberflächenmodell der KG Pettnau und der Nachbargemeinden ist in Abbildung 48 gezeigt. Anhand der Oberfläche und der farblich klassifizierten Knoten ist ersichtlich, dass bei allen Punkten der KG eine Punktbewegung pro Jahr zwischen 0 mm und 2 mm vorliegt und kein Verdacht auf Bodenbewegungen besteht. Da jedoch die KG-Grenze im Norden der Gemeinde nicht einer natürlichen Begrenzung für Bodenbewegungen entspricht und somit nicht als Bruchkante im Oberflächenmodell definiert ist, wird aufgrund einer erfassten Punktbewegung in Telfs ein Teil der Gemeinde Pettnau als gefährdetes Gebiet (orange) ausgewiesen.

Dem Koordinatenvergleich der Gemeinde kann entnommen werden, dass die letzte Koordinatenänderung der Punkte mit einer Punktnummer unter 36 ungefähr 50 Jahre vor der Übermessung im Projekt REVUE und von Punkten mit Punktnummern höher 37 bis 40 Jahre zurückliegt, wodurch anhand der KG Pettnau die Annahme eines durchschnittlichen Messintervalls von 40 Jahren bestätigt wird.

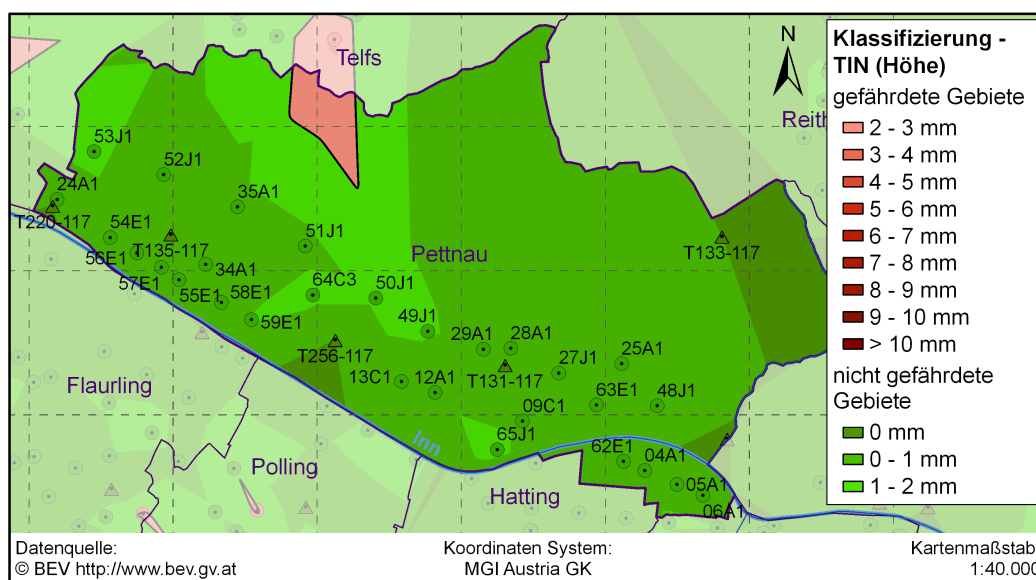


Abbildung 48: Klassifizierte Festpunktfeldinformation – KG Pettnau

Die Annahme des VA Innsbrucks einer „stabilen Gemeinde“ wird durch die Ergebnisse der einzelnen Informationen (Abbildungen 43 bis 48) bestätigt. Diese zeigen, dass die Talsohle der Gemeinde Pettnau überwiegend als nicht gefährdet anzusehen ist und der bewaldete Hang durch die Informationen Neigung und Exposition als gefährdet ausgewiesen wird, jedoch die Geologie, der Boden und das Festpunktfeld diesen Bereich ebenfalls als nicht gefährdet klassifizieren.

### 5.3.2 Verdachtskarte - Ermittlungsflächen

Das Testgebiet Pettnau wurde, gleich wie Fügenberg, mehrmals mit unterschiedlicher Gewichtung der Ausgangsdaten ausgewertet. Als Grenzwert zur Bestimmung von Flächen als Ermittlungsflächen wurde einheitlich zur KG Fügenberg eine Wahrscheinlichkeit von 50 % verwendet.

Aus dem Vergleich der Ausgangsdaten, Abbildung 43 bis 48 in Abschnitt 5.3.1, geht hervor, dass im nördlichen Teil der KG Pettnau für die Erstellung der Verdachtskarte alle fünf Informationen vorliegen und im Inntal, aufgrund der fehlenden Geologieinformation, nur vier Informationen zur

Verfügung stehen.

Die Ergebnisse der in Tabelle 5 aufgezeigten Gewichtungsvarianten für die KG Pettnau sind in Abbildung 49 bis 51 gezeigt. Aus dem Vergleich der Abbildungen ist ersichtlich, dass die bestimmten Ermittlungsflächen bzw. die als bewegt klassifizierten Flächen ident sind. Einzelne Unterschiede durch die Wahl der Gewichtung und der daraus abgeleiteten Wahrscheinlichkeit können anhand der angegebenen Wahrscheinlichkeiten in den Flächen erkannt werden. So kann auch am Beispiel Pettnau anhand der angegebenen Wahrscheinlichkeit in den bewegten Flächen der Einfluss der Gewichtung des Festpunktfeldes auf die Wahrscheinlichkeit erkannt werden.

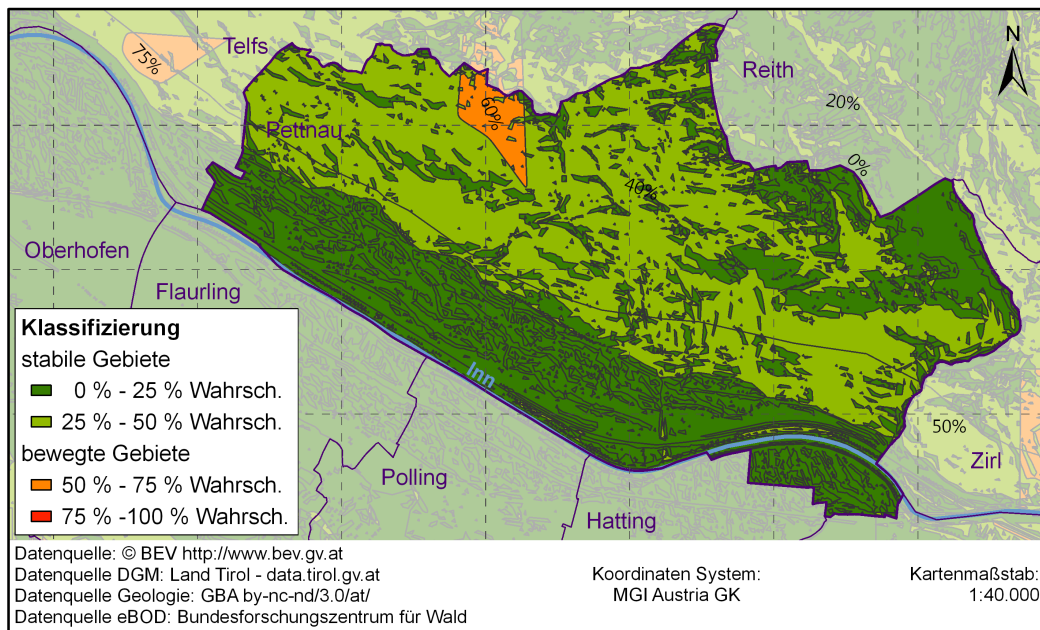


Abbildung 49: Verdachtskarte Gewichtungsvariante 1 – KG Pettnau

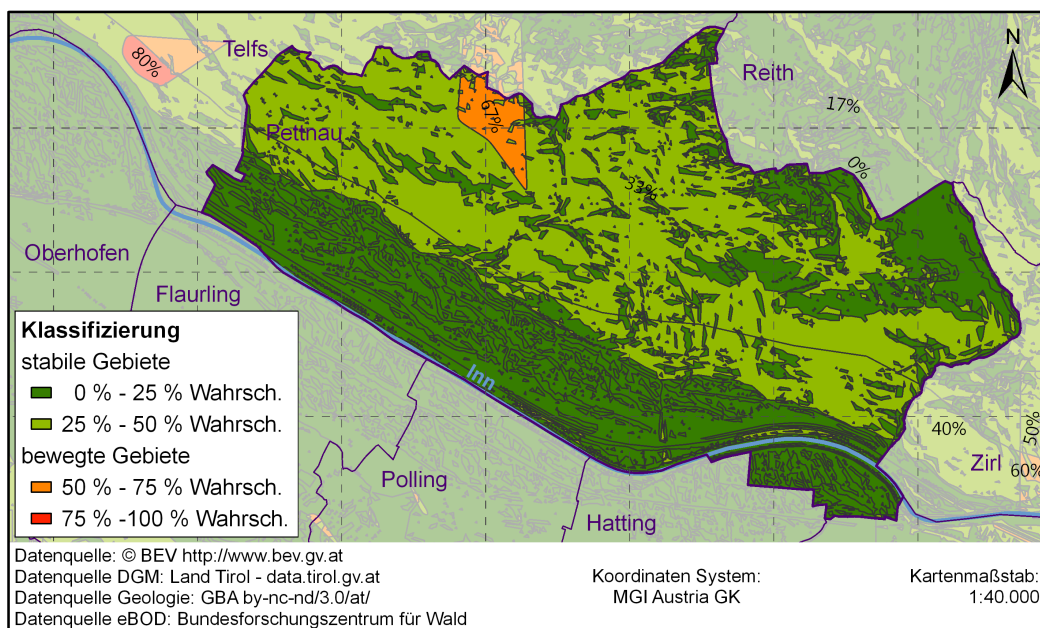


Abbildung 50: Verdachtskarte Gewichtungsvariante 2 – KG Pettnau



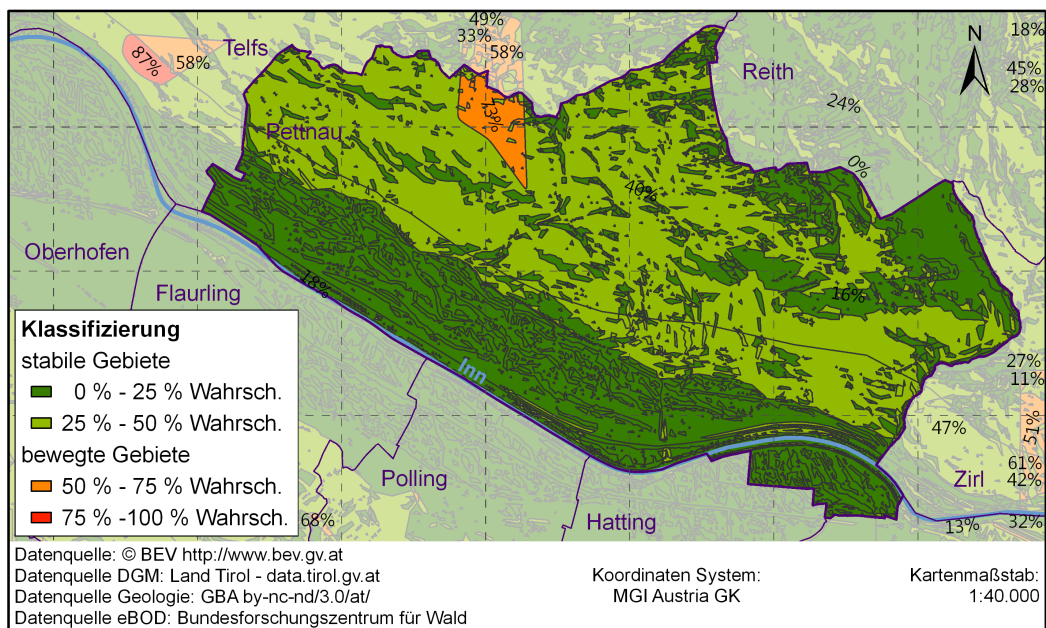


Abbildung 51: Verdachtskarte Gewichtungsvariante 3 – KG Pettnau

Aus der Farbgebung der Flächen tritt sehr deutlich der als Ermittlungsfläche für Bodenbewegungen bestimmte Bereich hervor. Dieser entspricht dem Ergebnis der Festpunktfeldinformation (siehe Vergleich Abbildung 48) mit Ausnahme der als stabil und demnach grün klassifizierten Flächen im bewegten Gebiet. Das bewegte Gebiet wird als solches ausgewiesen, da die Neigung, die Exposition und das Festpunktfeld in diesem Bereich auf eine Bodenbewegung hindeuten und diese höher gewichtet wurden als die Geologie und der Boden. Wird die Neigung jedoch ebenfalls als stabil klassifiziert, entspricht das Verhältnis der Gewichtung stabil zu bewegt bei Gewichtungsvariante 1 2:3, bei Gewichtungsvariante 2 3:3 und bei Gewichtungsvariante 3 22:23 und es erfolgt keine Ausweisung der Flächen als bewegt, wie am Beispiel der stabilen Gebiete innerhalb des bewegten Gebiets ersichtlich ist.

### 5.3.3 Ausweisung von betroffenen Grundstücken

Die in Abbildung 52 bis 54 gezeigten Ergebnisse der klassifizierten Grundstücke wurden auf Basis der in Abbildung 51 dargestellten Verdachtskarte und mittels dem Modell *Ausweisung Grundstücke* im ArcGIS erstellt. Als Grenzwert zur Klassifizierung der Grundstücke als bewegt wurde 50 % gewählt.

Anhand der gezeigten Ergebnisse der KG Pettnau wird nochmals der Unterschied zwischen den Ansätzen zur Festlegung der Grundstückswahrscheinlichkeit auf das Ergebnis der Klassifizierung deutlich. Es kann erkannt werden, dass bei der Ausweisung aller Grundstücke im Bereich der Ermittlungsflächen sich die Anzahl der als bewegt klassifizierten Grundstücke nahezu verdoppelt (siehe Vergleich Abbildung 52 mit Abbildung 53 und 54). Die Ergebnisse der beiden Ansätze Wahrscheinlichkeit der größten Teilfläche und gewichteter Mittelwert liefern das gleiche Ergebnis, wie aus den Abbildungen 53 und 54 ersichtlich ist, in welchen dieselben Grundstücke als bewegt ausgewiesen werden.

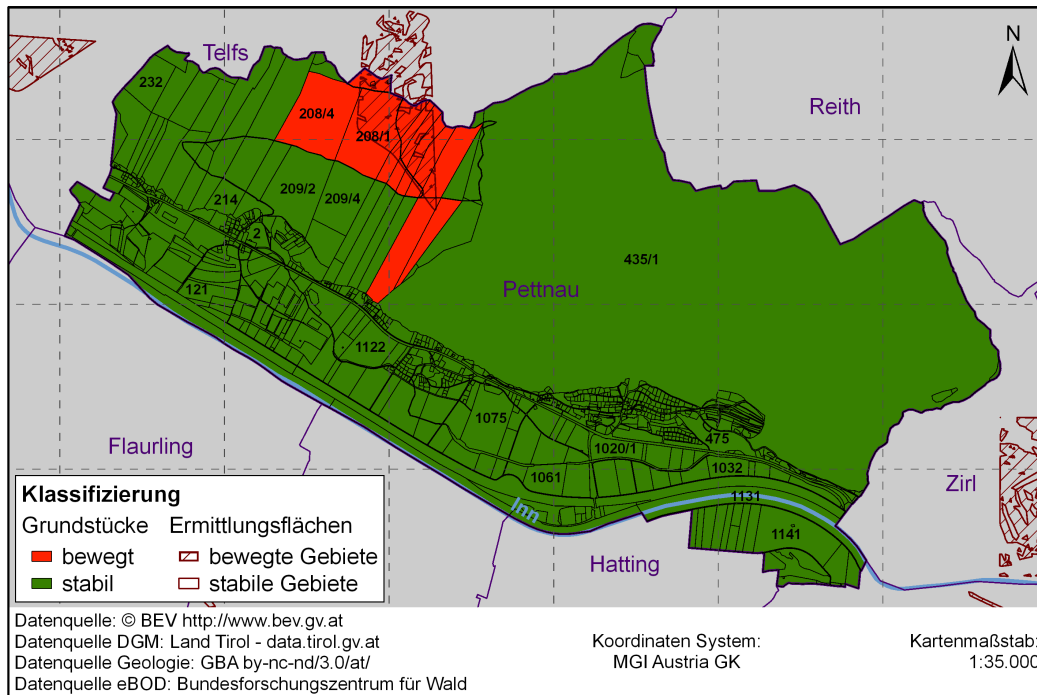


Abbildung 52: **Klassifizierte Grundstücke (höchste Wahrscheinlichkeit) – KG Pettnau**

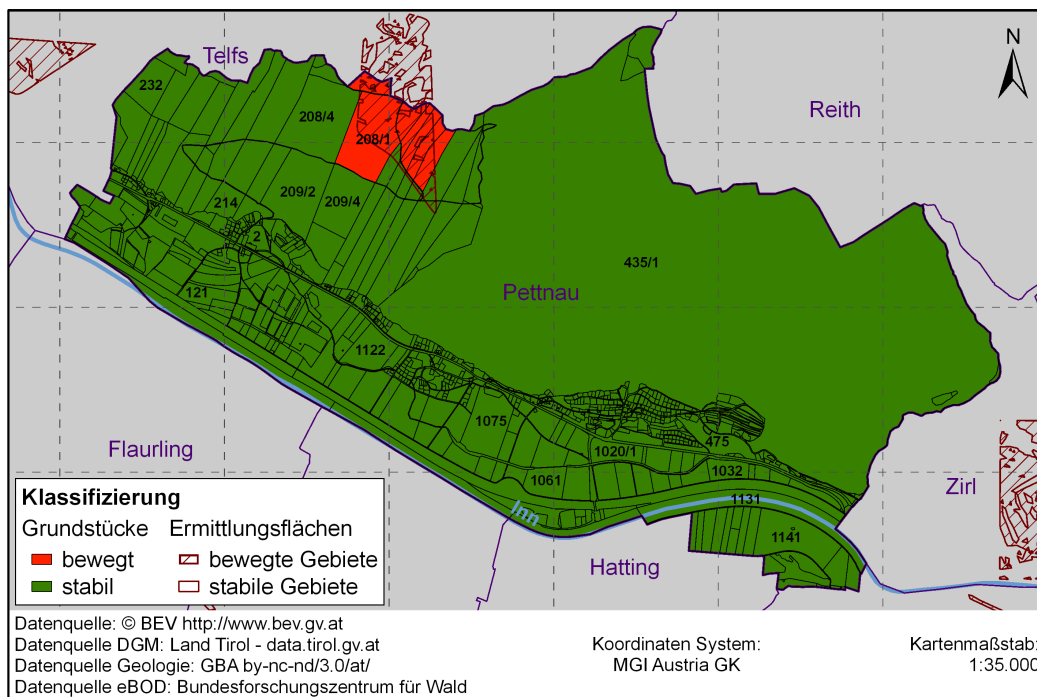


Abbildung 53: **Klassifizierte Grundstücke (Wahrscheinlichkeit der größten Teilfläche) – KG Pettnau**

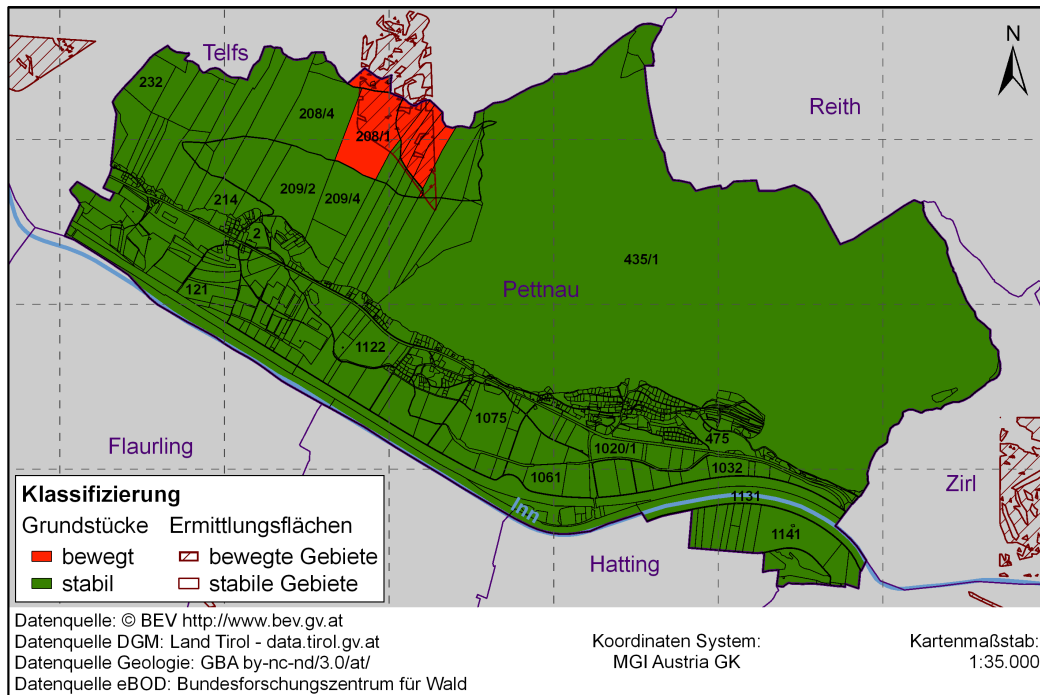


Abbildung 54: **Klassifizierte Grundstücke (gewichteter Mittelwert) – KG Pettnau**

## 5.4 Pfons

Pfons ist eine Gemeinde im Bezirk Innsbruck Land und liegt im nördlichen Wipptal. Die Gemeinde erstreckt sich vom Sill über die östliche Wipptalerrasse bis zur Grünbergspitze (2790 m). Laut Vermutungen des VA Innsbruck liegt in dem bewohnten Gebiet der KG Pfons eine Bodenbewegung vor.

### 5.4.1 Ergebnisse der einzelnen Informationen

Die folgenden Abbildungen 55 bis 60 zeigen die Ergebnisse der einzeln aufbereiteten Informationen im Bereich der KG Pfons und liefern einen ersten Eindruck über die Verhältnisse in der Gemeinde.

#### Neigung

Anhand der Darstellung des aus dem DGM abgeleiteten, farblich klassifizierten Neigungsrasters in Abbildung 55 kann erkannt werden, dass das Gemeindegebiet von Pfons überwiegend als gefährdetes Gebiet ausgewiesen wird und nur im unteren Bereich (im Tal) größere, gering geneigte und demnach als nicht gefährdete Gebiete klassifizierte Flächen vorliegen. Anhand der Farbgebung können, wie bereits in den anderen Gemeinden auch, sehr einfach die gefährdeten (rot) und nicht gefährdeten Gebiete (blau und grün) sowie die einzelnen Neigungsklassen in 10° und 20° Intervallen unterschieden werden.

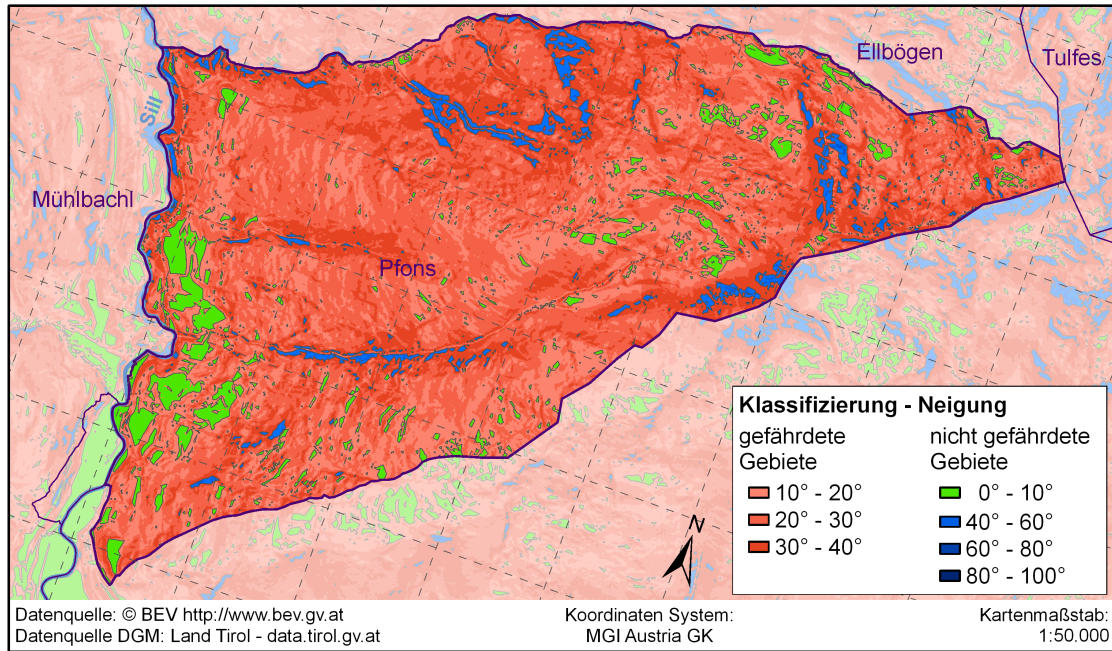


Abbildung 55: Klassifizierte Neigungsinformation – KG Pfons

### Exposition

Das Wipptal verläuft gleich wie das Zillertal (siehe Abbildung 29 (Seite 45)) von Süden nach Norden. Im Gegensatz zur KG Fügenberg liegt Pfons jedoch östlich des Flusses und weist eine südliche, südwestliche oder westliche Hangexposition auf und wird aufgrund dessen mittels dieses Ansatzes überwiegend als gefährdet ausgewiesen, wie Abbildung 56 zeigt.

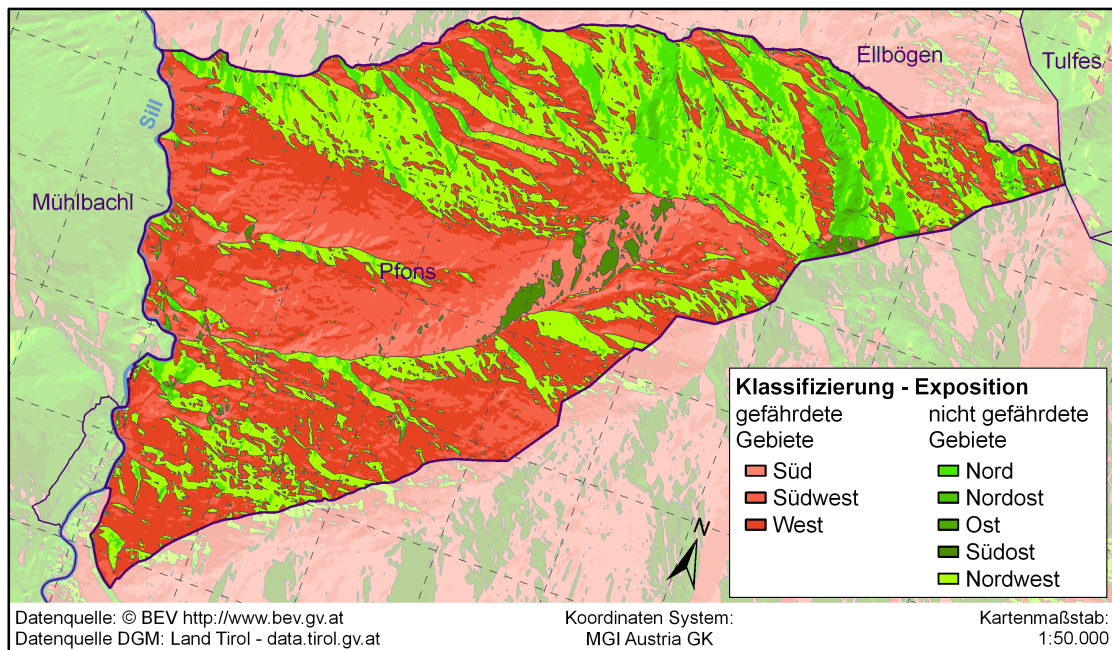


Abbildung 56: Klassifizierte Expositionsinformation – KG Pfons

Aus Abbildung 56 ist weiteres ersichtlich, dass sich im Norden der Gemeinde das Gelände nach Nordwesten zum Falggasanerbach, dem Grenzbach der Gemeinden Ellbögen und Pfons, hinneigt, wodurch dieses einem nicht gefährdeten Gebiet entspricht und in Grün dargestellt ist. Auch können

vereinzelt im Süden der Gemeinde Geländeteile mit einer Hangausrichtung nach Nordwesten und Norden erkannt werden.

## Geologie

Nicht gefährdete Gebiete werden in der Abbildung 57 in Grün, gefährdete Gebiete in Rot und nicht klassifizierte Flächen in Grau dargestellt. Dies bedeutet, dass die Gemeinde Pfnos auch anhand der Geologie mehrheitlich als gefährdetes Gebiet ausgewiesen wird, da die vorliegenden Gesteine, hauptsächlich Quarzphyllite, als gefährdet für das Auftreten von Bodenbewegungen eingestuft werden. In Pfnos wurden, wie ebenfalls aus Abbildung 57 ersichtlich ist, mehrere Massenbewegungen erfasst. Hierbei handelt es sich um Berg- und Felsstürze (gelbe Punkte) und Rutschungen (grüne Punkte), wobei drei der vier Rutschungen in dem nicht klassifizierten Gebiet liegen. Zu den verzeichneten Rutschungen stehen jedoch keine näheren Angaben bezüglich der Art, wie z. B. Böschungsrutschung, zur Verfügung, wodurch keine weiteren Schlüsse aus den Angaben gezogen werden können.

Der Vergleich des Datensatzes Massenbewegungen mit Abbildung 55, dem Ergebnis der Neigung, zeigt, dass die verzeichneten Berg- und Felsstürze in Gebieten mit einer Neigung über  $40^\circ$  liegen. Weiteres kann auch in der Gemeinde Pfnos der Zusammenhang zwischen dem nicht klassifizierten Gebiet anhand der Geologie und dem flach geneigten Gelände im Bereich des Flusses erahnt werden, dieser tritt jedoch nicht so deutlich wie in den anderen Testgemeinden hervor.

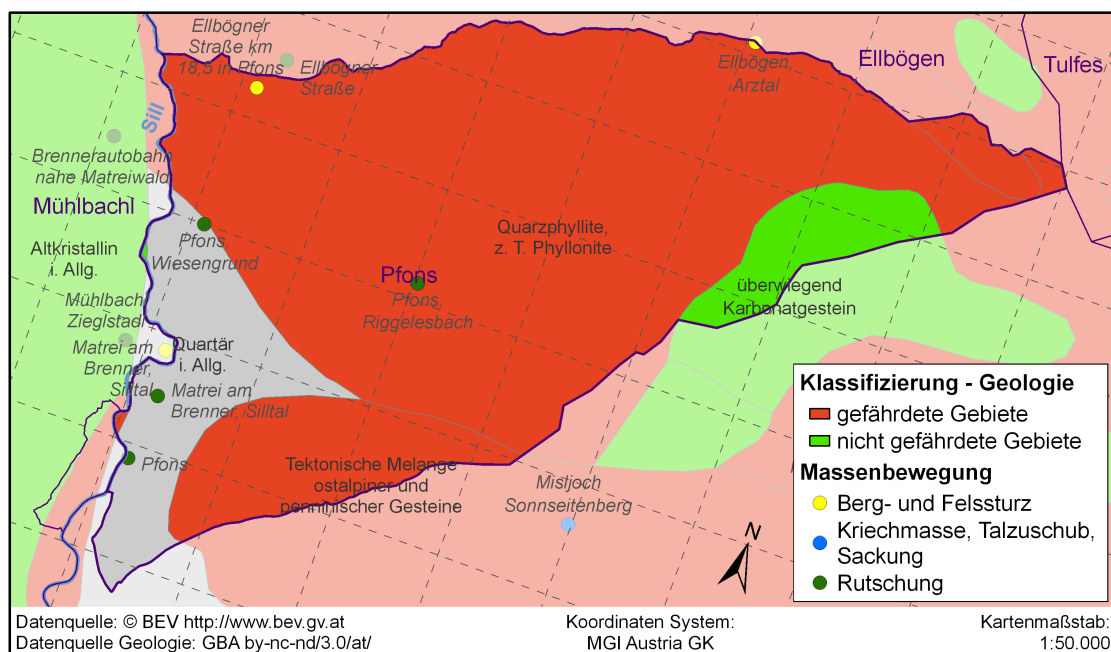


Abbildung 57: Klassifizierte Geologieinformation – KG Pfnos

## Boden

In Abbildung 58 ist das Ergebnis der Klassifizierung der Bodenarten im Testgebiet Pfnos dargestellt. Im Gegensatz zu dem relativ geringen Tonanteil des Bodens im Tal und dem unteren Hang, liegt im oberen nördlichen Teil der Gemeinde ein Tonanteil von 20 % und somit eine als gefährdet klassifizierte Rasterzelle vor. Der restliche Teil der Gemeinde gilt als nicht gefährdet und weist, gleich wie das

Testgebiet Fügenberg, die Bodenart sandiger Schluff und lehmiger Sand auf, wobei der enthaltene Tonanteil in Pfons durchschnittlich geringer ist als in Fügenberg.

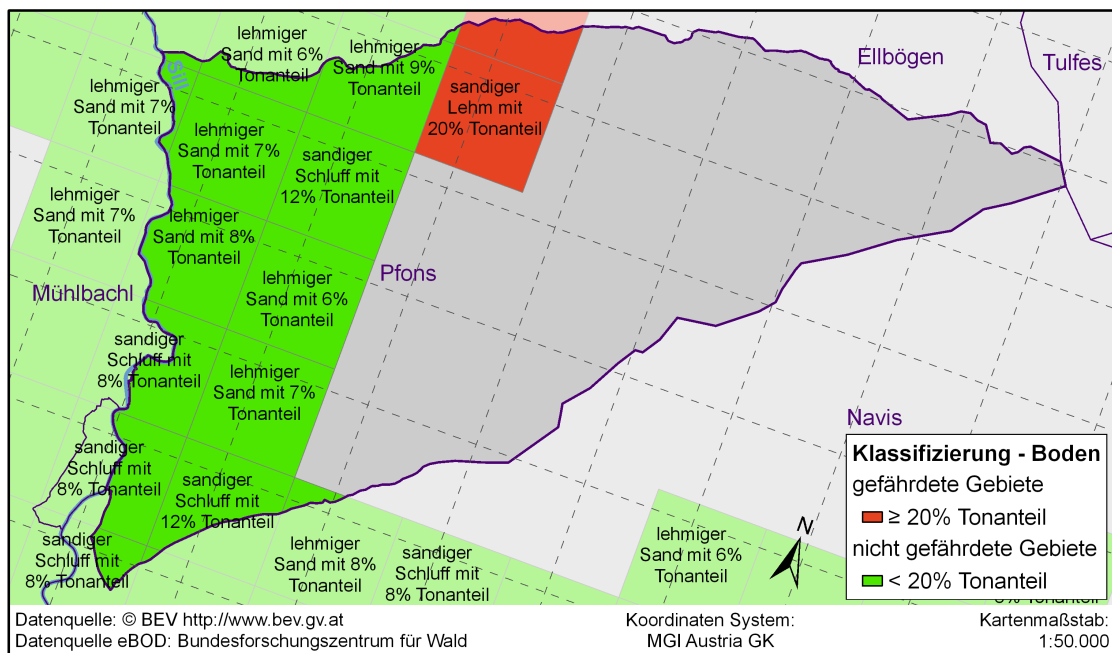


Abbildung 58: Klassifizierte Bodeninformation – KG Pfons

### Festpunktfeld

Das Ergebnis des Koordinatenvergleichs der Gemeinde Pfons ist in Abbildung 59 gezeigt.

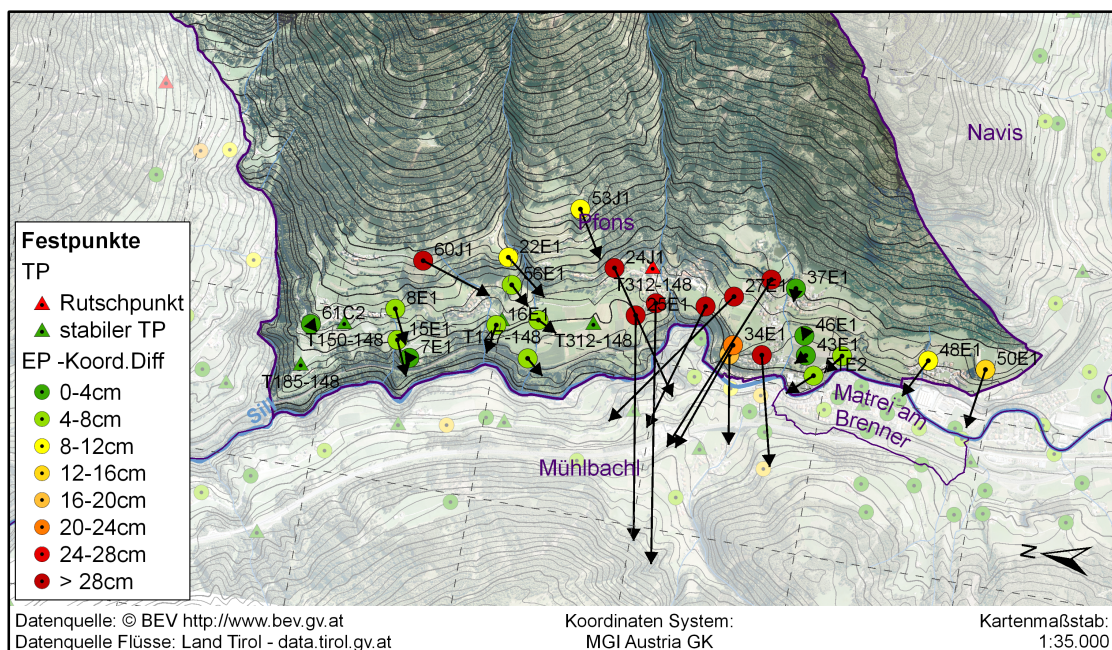


Abbildung 59: Ergebnis REVUE-Messung – KG Pfons

Aus der Abbildung geht deutlich hervor, dass die Punkte mit Koordinatendifferenzen über 12 cm, mit Ausnahme des Punktes 60J1, geballt in einem Bereich liegen. Inmitten der Punktgruppe befindet sich zudem der als Rutschpunkt erkannte TP TP148-312 mit einer Koordinatendifferenz von etwa

40 cm. Dies deutet auf eine Bodenbewegung in diesem Gebiet hin und wird durch die Betrachtung der Lageänderungen der Punkte, der Verschiebungsvektoren in Kombination mit den Höhenschichtlinien, bestärkt. Anhand der Differenzvektoren kann weiteres erkannt werden, dass sich der Festpunkt 60J1, im nördlichen Teil der Gemeinde, nicht eindeutig hangabwärts verschoben hat. Da eine Verlegung des Punktes durch Unbefugte aufgrund der Stabilisierung des Punktes, ein Scheibensignal mit Betonfundament, nahezu ausgeschlossen werden kann, die Revision des Punktes keine Auffälligkeiten ergeben hat und die GPS-Tauglichkeit des Punktes mit sehr gut verzeichnet ist, kann keine eindeutige Ursache für die Auffälligkeit des Punktes bestimmt werden, wodurch dieser mit den restlichen Punkten der KG zur Erstellung des Oberflächenmodells verwendet wird.

Am Beispiel der Gemeinde Pfons (siehe Abbildung 60) wird deutlich, dass die KG-Grenzen überwiegend entlang auffälliger Geländeformen, wie Flüsse oder Bergketten, verlaufen, die gleichzeitig natürlichen Begrenzungen für Bodenbewegungen entsprechen. Hier entspricht der Sill der Bruchkante und der KG-Grenze im Tal. Der Falggasanerbach entspricht der Abgrenzung zwischen Pfons und Ellbögen und der Kamm von der Grünbergspitze bis zum Miskopf einem Teil des Grenzverlaufes zwischen Pfons und Navis. Die Bruchkante wurde am Miskopf vom Grenzverlauf getrennt und entlang des Bergrückens weiter ins Tal geführt, wodurch eine Abgrenzung vom Navistal zum Wipptal erreicht wird. Durch die Verwendung von Bruchkanten können somit aus dem Festpunktfeld abgeleitete gefährdete Gebiete, wie in Abbildung 60 zu sehen, auf einen Hang begrenzt werden. Aus den Punktbewegungen pro Jahr kann erkannt werden, dass aufgrund des Einflusses des Punktes 60J1, neben dem vermuteten Gebiet mit Bodenbewegungen, auch der nördliche Teil der Gemeinde als gefährdetes Gebiet eingestuft wird. Der Vergleich von Abbildung 59 mit 60 zeigt, dass aufgrund der verwendeten Grenzwerte, von 2 mm maximal zulässiger Punktbewegung pro Jahr und 8,2 cm tolerierter Koordinatendifferenz, der Punkt 61C2 im Oberflächenmodell nicht als Knotenpunkt existiert, da die Messungen des Punktes nur ein Jahr auseinander liegen und die ermittelte Koordinatendifferenz von 2 cm somit direkt der Punktbewegung pro Jahr entspricht.

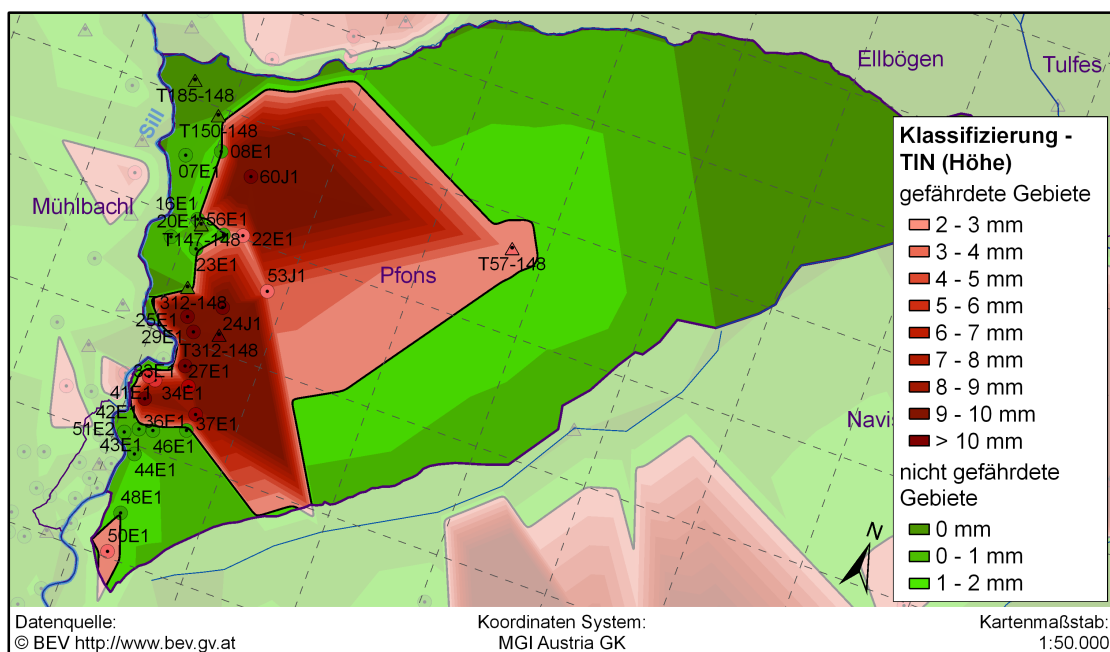


Abbildung 60: Klassifizierte Festpunktfeldinformation – KG Pfons

Zusammenfassend kann aus den Ergebnissen der einzelnen Informationen für die KG Pfnos erkannt werden, dass das gesamte Gemeindegebiet überwiegend als gefährdet anzusehen ist. Einzig der Ansatz zu Klassifizierung des Geländes anhand des Bodens weist dies als nicht gefährdet aus.

#### 5.4.2 Verdachtskarte - Ermittlungsflächen

Die Auswertung der KG Pfnos erfolgte gemeinsam mit der KG Pettnau, da diese bezirksweise durchgeführt wurde.

Die Gegenüberstellung der Ergebnisse der einzelnen Informationen (Abbildungen 55 bis 60) zeigt, dass mittels der Bodendaten der nicht klassifizierbare Bereich der Geologie nicht vollständig abgedeckt wird, wodurch die Anzahl der zur Verfügung stehenden Datensätze zur Bestimmung von Ermittlungsflächen in der KG Pfnos von drei bis fünf variiert.

Aus den Ergebnissen der Gewichtungsvarianten, welche in Abbildung 61 bis 63 dargestellt sind, kann, wie bereits in den Testgebieten Fügenberg und Pettnau aufgezeigt, der Einfluss der Gewichtung der einzelnen Ausgangsdaten auf die daraus abgeleitete Wahrscheinlichkeit und die bestimmten Ermittlungsflächen erkannt werden.

Aus dem Vergleich der Abbildungen ist ebenfalls wie bereits anhand der Ergebnisse der KG Fügenberg ersichtlich, dass aufgrund der Gewichtsverteilung mittels Gewichtungsvariante 3 (siehe Abbildung 63) eine größere Anzahl an Flächen als Ermittlungsflächen bestimmt wurde als bei den beiden anderen Varianten (Abbildung 61 und 62). Das Ergebnis in Abbildung 63 gleicht einer Kombination der Ermittlungsflächen aus Abbildung 61 und 62.

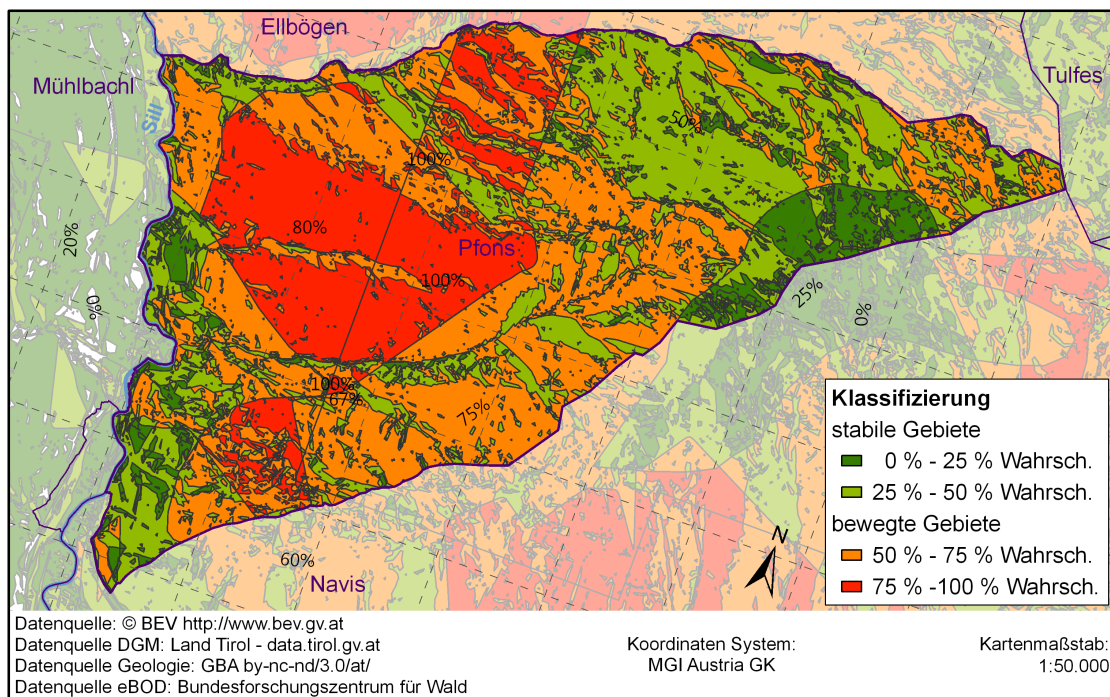


Abbildung 61: Verdachtskarte Gewichtungsvariante 1 – KG Pfnos



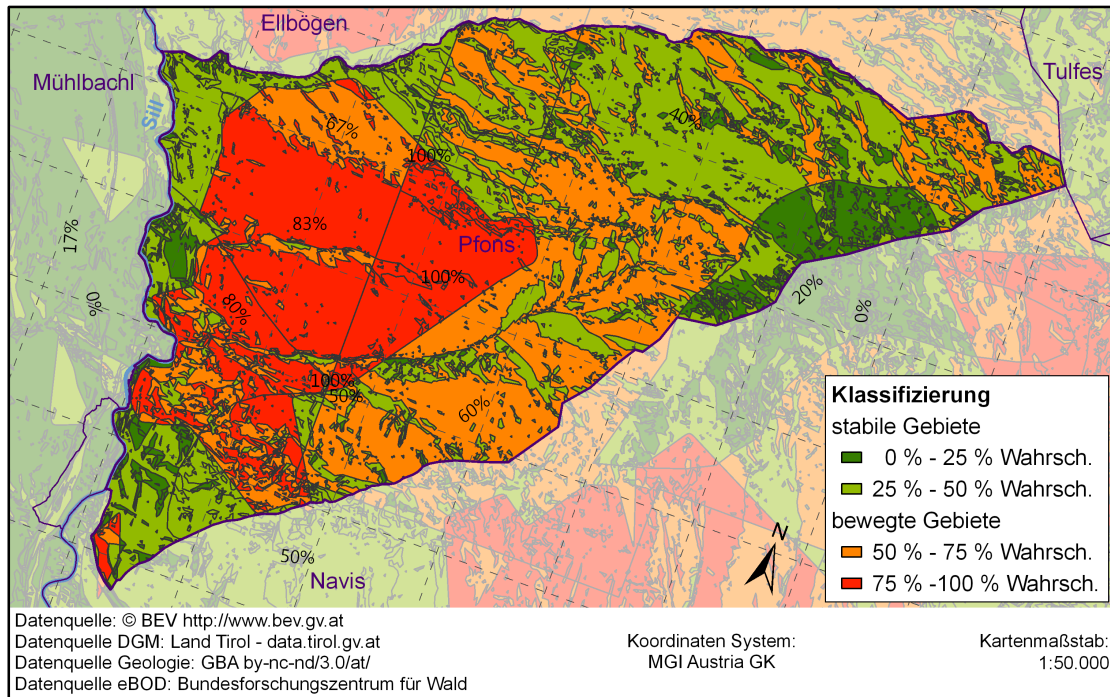


Abbildung 62: Verdachtskarte Gewichtungsvariante 2 – KG Pfons

Abbildung 63 zeigt das Ergebnis der favorisierten Gewichtungsvariante 3. Daraus ist ersichtlich, dass in der KG Pfons nahezu der gesamte Hang als bewegtes Gebiet klassifiziert wurde und im Tal nur vereinzelt Teilflächen als stabil anzusehen sind.

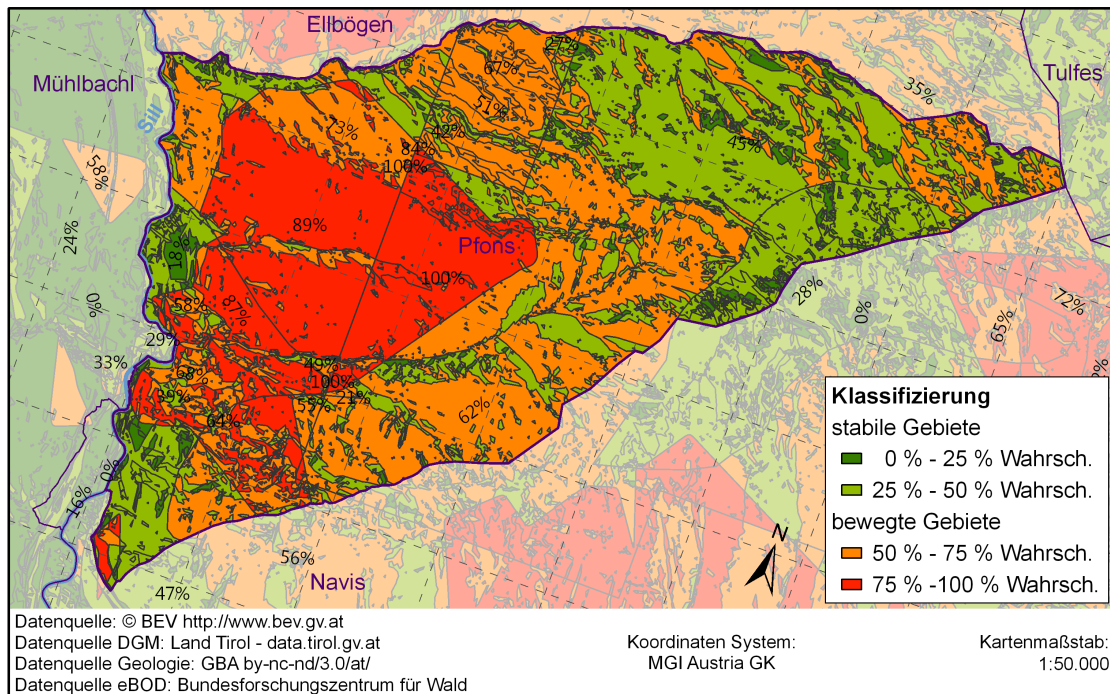


Abbildung 63: Verdachtskarte Gewichtungsvariante 3 – KG Pfons

### 5.4.3 Ausweisung von betroffenen Grundstücken

Ausgehend von den nach Variante 3 (siehe Tabelle 5) gewichteten Ausgangsdaten wurde die Auswertung der KG Pfons analog zu den anderen Testgemeinden durchgeführt.

Die Abbildungen 64 bis 66 zeigen die Ergebnisse der Grundstücksklassifikation für die Gemeinde Pfons. Im Gegensatz zu den Ergebnissen der Gemeinden Fügenberg und Pettnau in Abschnitt 5.2.3 und 5.3.3, sind die Ergebnisse von Pfons in vier Gefährdungsstufen klassifiziert. Die Zuordnung der Grundstücke zu den beispielhaft gewählten vier Gefährdungsstufen für das Auftreten von Bodenbewegungen beruht, gleich wie der Grenzwert zur Klassifizierung der Grundstücke in bewegt und stabil, auf der für die Grundstücke berechneten Wahrscheinlichkeit. Dadurch ist anhand der Wahl und Farbgebung der Klassen die Klassifizierung der DKM in bewegt und stabil ebenfalls aus den Abbildungen ersichtlich. Stabile Grundstücke sind weiterhin in Grün, jedoch weiter unterteilt in Dunkelgrün und Hellgrün, dargestellt und bewegte Grundstücke in den Farben Orange und Rot.

Aus den Abbildungen 64 bis 66 und deren Vergleich können dieselben Ergebnisse, Eigenschaften und Unterschiede der Ansätze zur Bestimmung der Grundstückswahrscheinlichkeit im Hinblick auf die bestimmten Ermittlungsflächen erkannt werden, welche bereits am Beispiel der KG Fügenberg in Abschnitt 5.2.3 erläutert wurden.

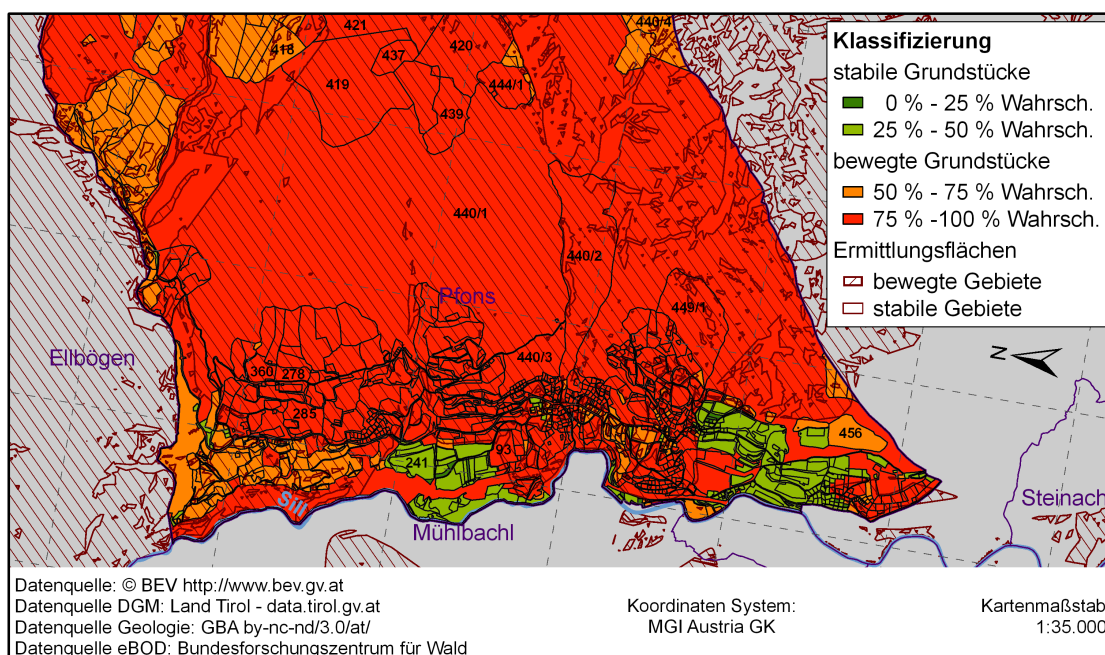


Abbildung 64: **Klassifizierung der Grundstücke in vier Gefährdungsstufen (höchste Wahrscheinlichkeit) - KG Pfons**

Anhand der Klassifizierung der Grundstücke in vier Gefahrenstufen treten nochmals deutlicher die Unterschiede der Ansätze zur Bestimmung der Grundstückswahrscheinlichkeit hervor. Gut ersichtlich ist die Wahl der Grundstücksgewichtung, hier am Beispiel des Grundstückes 440/1, welches mit einer Fläche von 6,8 km<sup>2</sup> etwa einem Drittel der Gemeindefläche entspricht. Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Bodenbewegungen in diesem Grundstück liegt, wie aus den Abbildungen 64 bis 66 ersichtlich wird, zwischen 50 % und 100 %. Bei einem Grenzwert von 50 % wird dieses somit einheitlich

als bewegtes Grundstück ausgewiesen. Aus der Gegenüberstellung der Ergebnisse mit Abbildung 63 (Seite 74) kann die Bestimmung der Gesamtgewichte für das Grundstück nachvollzogen werden. Aus Abbildung 63 kann erkannt werden, dass im Bereich des betrachteten Grundstückes mehrere Teilflächen mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit vorliegen, welche eine Wahrscheinlichkeit zwischen 25 % und 100 % zeigen. Die größte Teilfläche des Grundstückes weist eine Wahrscheinlichkeit von 89 % auf, wodurch die Grundstückswahrscheinlichkeit mittels Ansatz 2 ebenfalls dieser Wahrscheinlichkeit entspricht (siehe Abbildung 65). Bei Anwendung der höchsten Wahrscheinlichkeit wird die Grundstückswahrscheinlichkeit der Teilfläche mit 100 % gleichgesetzt und entsprechend ausgewiesen, siehe Abbildung 64. Aus Abbildung 66 ist ersichtlich, dass durch den Einfluss aller vorliegenden Wahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit der Fläche die Grundstückswahrscheinlichkeit unter 75 % sinkt.

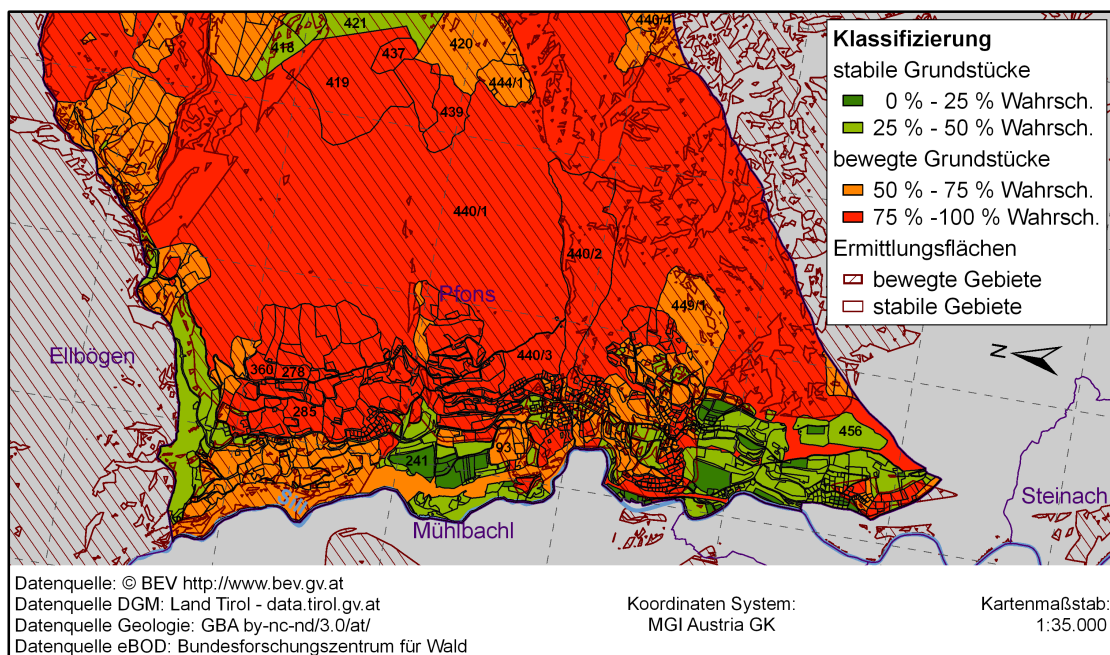


Abbildung 65: **Klassifizierung der Grundstücke in vier Gefährdungsstufen (Wahrscheinlichkeit der größten Teilfläche) – KG Pfons**

Aus Abbildung 66, dem Ergebnis der Grundstücksklassifizierung mittels Ansatz 3, dem gewichteten Mittelwert, kann entnommen werden, dass nur einzelne Grundstücke in der untersten Gefährdungsstufe und generell nur sehr wenig Grundstücke unter dem Grenzwert von 50 % liegen. Die am häufigsten vorkommende Gefährdungsstufe entspricht in dieser Auswertung der höchsten Gefährdungsstufe. Somit weist die Mehrzahl der Grundstücke eine Wahrscheinlichkeit zwischen 75 % und 100 % auf, wodurch diese zwingend bei Übermessungen zu kontrollieren sind.

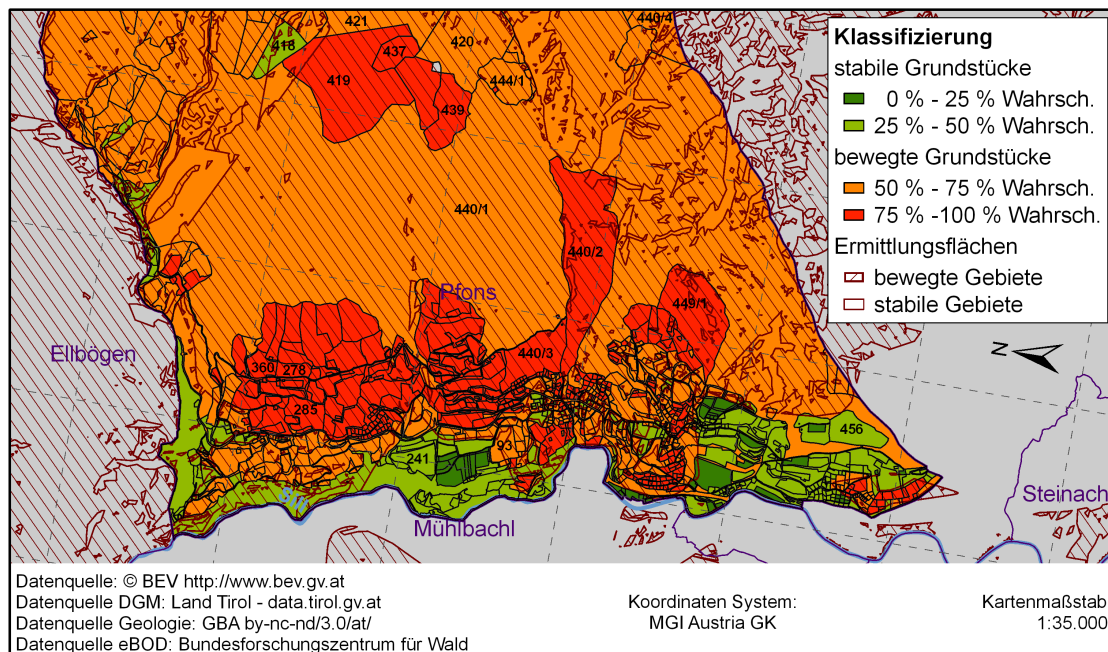


Abbildung 66: **Klassifizierung der Grundstücke in vier Gefährdungstufen (gewichteter Mittelwert) – KG Pfons**

## 6 Verifizierung der Methode

Der erarbeitete Ansatz zur Verifizierung der Methode basiert auf dem erbrachten messtechnischen Nachweis von Bodenbewegungen gemäß der BodBwV. Darin gilt der Nachweis von Bodenbewegungen als erbracht, wenn dokumentierte Messergebnisse von Verifikationsmessungen zur Lageänderung von Grundstücksgrenzen aufgrund von Bodenbewegungen vorliegen [BodBwV2017, 2017].

Die Verifizierung der bestimmten Ermittlungsflächen erfolgt hierbei durch einen Vergleich des Ergebnisses der Klassifizierung von Grundstücken mit den als von Bodenbewegungen betroffen ausgewiesenen Grundstücken. Die Ausweisung der Grundstücke und Grenzpunkte erfolgt, nach erbrachten Nachweis von Bodenbewegungen, in der DKM durch Kennzeichnung der Grundstücke und Punkte mit dem Indikator „B“, wodurch die Methode sehr einfach durch Überlagern der Datensätze verifiziert werden kann.

Zusätzlich zur Verifizierung der Methode über die Grundstückseinträge erfolgt die Verschneidung der Grundstücke mit dem Punktlayer der DKM, da die Ausweisung von Grundstücken und Punkten nicht gekoppelt ist und diese für jedes Grundstück und jeden Punkt separat erfolgt. Dies entspricht zusätzlich zur Verifizierung der klassifizierten Grundstücke einer internen Kontrolle, mittels der überprüft wird, ob die an einen ausgewiesenen Punkt angrenzenden Grundstücke ebenfalls ausgewiesen wurden und umgekehrt, ob jedes ausgewiesene Grundstück mindestens einen ausgewiesenen Grenzpunkt hat.

Die Methode kann mittels dieses Ansatzes zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht verifiziert werden, da aktuell noch keine Verifikationsmessungen zur Erbringung des Nachweises von Bodenbewegungen vorliegen und somit keine „B“-Punkte oder Grundstücke in den DKM-Daten enthalten sind.

### Umsetzung im ArcGIS: Geoverarbeitungsmodell Verifizierung

Zur Verifizierung der Methode wurde im *ArcGIS* das Geoverarbeitungsmodell *Verifizierung* erstellt. In dem Modell werden anhand der ausgewiesenen Punkte die betroffenen Grundstücke ermittelt. Die Bestimmung der Grundstücke erfolgt durch Kombination der Werkzeuge *Vereinigen (union)*, *Summenstatistik*, *Feld berechnen* und *Feld verbinden*. Mittels einer einfachen Abfrage wird anschließend das Ergebnis mit den Grundstücksanmerkungen verglichen und Unstimmigkeiten, wie eine fehlende oder überflüssige Anmerkung, vermerkt. Zur Verifizierung werden im letzten Auswerteschritt die Grundstückseinträge mit der Klassifizierung der Grundstücke aus der Methode verglichen und das Ergebnis als neues Attribut dem Datenfile hinzugefügt. Zur manuellen Verifizierung wird das Ergebnis in im Programm Form einer Kartendarstellung ausgegeben. Der prinzipielle Aufbau des Geoverarbeitungsmodells ist in Abbildung 67 gezeigt.

Um den vollen Funktionsumfang des Geoverarbeitungsmodells zu nutzen, sind die aktuellen bzw. Kopien der aktuellen DKM-Daten, Grenzpunkte und Grundstücksgrenzen zu verwenden und die Grundstücke vorab in bewegt und stabil zu klassifizieren. Dies bedeutet die Grundstücke sind vorab hinsichtlich der Ermittlungsflächen auszuwerten. Liegen keine Angaben über die Ermittlungsflächen in der Grundstücksdatei vor, werden die Daten nur auf Unstimmigkeiten in den Anmerkungen überprüft und betroffene Flächen in der Darstellung hervorgehoben.

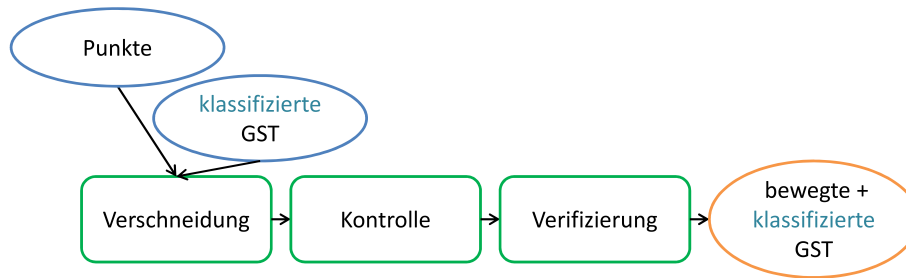


Abbildung 67: **Prinzipdarstellung des Modells Verifizierung**

Als Ausgangsdaten bieten sich die Katasterstichtagsdaten an. Bei der Überarbeitung der klassifizierten Grundstücke mit den betroffenen Grundstücken ist neben den Übermessungsarbeiten seitens des BEV (fehlende REVUE-Messungen, Kontrollmessungen) auch der Grundverkehr zu beachten. So ist z. B. eine KG mit viel Grundverkehr öfter zu aktualisieren als eine KG, wo kaum Katastervermessungen stattfinden.

**Anwendung**

Zum Veranschaulichen und Testen der Funktionsweise des Geoverarbeitungsmodells wurden in der Gemeinde Fügenberg beliebige Punkte und Grundstücke mit dem Indikator „B“ versehen und die Daten folgend ausgewertet. Das Ergebnis ist in Abbildung 68 dargestellt.

Die Karte ist analog zu den Darstellungen der klassifizierten Grundstücke aufgebaut und in bewegte (rot) und stabile (grün) Grundstücke unterteilt. Liegt der Nachweis einer Bodenbewegung vor, werden die Grundstücke zudem schwarz schraffiert. Daraus kann erkannt werden, ob die nachgewiesenen betroffenen Grundstücke in stabilen oder bewegten Gebieten liegen und ob das Ergebnis der Methode bestätigt werden kann oder nicht.

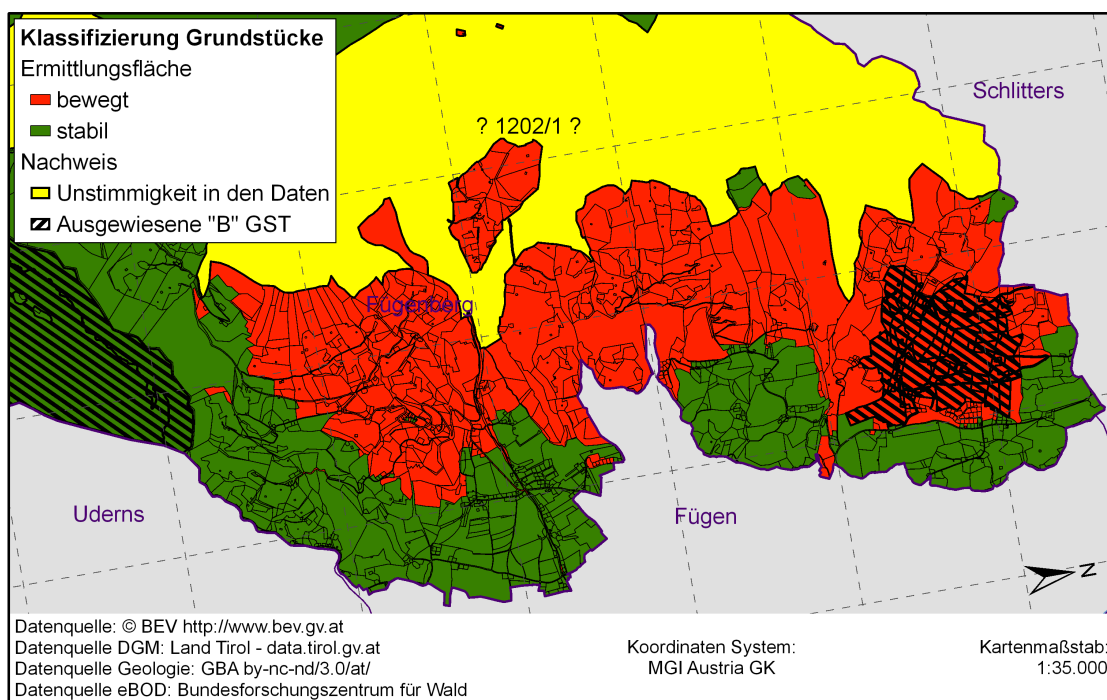


Abbildung 68: **Testbeispiel: Verifizierung der Methode – KG Fügenberg**

Grundstücke, die durch Unstimmigkeiten in der Auswertung aufgefallen und zu überprüfen sind, werden auffallend gelb dargestellt und mit dem Texthinweis *?Grundstücksnummer?* hervorgehoben, wie am Beispiel des Grundstückes mit der Nummer *1202/1* in Abbildung 68 gezeigt ist. Auch zeigt die Abbildung Beispiele für das Ergebnis der Verifizierung der Methode (rot-schraffierte Grundstücke), rechts in der Abbildung, und für die fehlerhafte Klassifizierung von Grundstücken in Form von grün-schraffierten Grundstücken am linken Rand der Abbildung.

## 7 Kontrollmessung

Der Nachweis von Bodenbewegungen ist lt. Gesetzgeber anhand dokumentierter Messergebnisse zu erbringen. Bodenbewegungen sind im Gebrauchssystem MGI als nachgewiesen anzusehen bei einer hangabwärts gerichteten Verschiebung von Grenz- und sonstigen Punkten von mehr als 15 cm bis 25 cm, abhängig von der jeweils gültigen VermV und im geodätischen Bezugssystem ETRS89 bei einer hangabwärts gerichteten Lageverschiebung der Fest-, Grenz- und sonstigen Punkte von mehr als 10 cm [BodBwV2017, 2017].

Folglich legt die BodBwV fest, dass der Nachweis von Verschiebungen im Festpunktfeld nicht im Gebrauchssystem, sondern nur durch Vergleich zweier GNSS-Messungen erbracht werden kann, wodurch für die Verifizierung der im Projekt REVUE definierten Rutschpunkte diese erneut im System ETRS89 zu bestimmen sind. Im Zuge dieser Arbeit wurde dementsprechend eine erste Kontrollmessung durchgeführt. Im folgenden Kapitel wird kurz die Messung und Auswertung beschrieben und das Ergebnis aufgezeigt.

### 7.1 Messung und Auswertung

Die Kontrollmessung wurde in der KG Fügenberg durchgeführt. Die KG wurde als eine der ersten Gemeinden im Vermessungssprengel Innsbruck im Projekt REVUE revidiert und im System ETRS89 übermessen, somit liegt die größte mögliche Zeitspanne zwischen den Messepochen vor. Zudem wurde das Gebiet als Ergebnis dieser Arbeit als Ermittlungsfläche bestimmt.

Die Übermessung der KG Fügenberg im Projekt REVUE fand im Sommer 2009 statt und wurde entsprechend der Vorgaben des Projektes, siehe dazu 3.3.2, durchgeführt und ausgewertet. Im Zuge dieser Arbeit wurde die Auswertung der Messung von 2009, analog zum Vorgehen im Projekt REVUE, wiederholt. In der Auswertung wurde bei der Transformation der Punkte ins lokale System, im Programm *Trimble Total Control*, darauf geachtet, dass diese über die umliegenden, als stabil anzusehende TPs erfolgte.

Die Kontrollmessung fand im März 2016 statt und wurde mit dem selben Instrumentarium und nach dem gleichen Schema wie die REVUE-Messungen durchgeführt. Hierbei wurden alle erreichbaren Punkte der Gemeinde erneut übermessen und revidiert. Es wurde jedoch auf die zweite Messserie verzichtet. Die Auswertung erfolgte ebenfalls analog zum Projekt REVUE, wobei für die Umrechnung der Punkte ins lokale System die Transformation aus der Auswertung der REVUE-Messung verwendet wurde.

Abschließend wurden die Koordinatendifferenzen der Punkte bestimmt und mit dem in der BodBwV definierten Grenzwert von 10 cm sowie dem in der Erläuterung der BodBwV enthaltenen rechnerischen Wert für eine signifikante Bodenbewegung von 7 cm, beim Vergleich von zweier Epochenmessungen im System ETRS89, mit einem mittleren Punktlagefehler von 5 cm pro Epoche [BodBwV2017, 2017], verglichen.



## 7.2 Ergebnis

Das Ergebnis der Kontrollmessung, die ermittelten Koordinatendifferenzen der Punkten, sind in Tabelle 6 und Abbildung 69 dargestellt. Tabelle 6 enthält in den ersten drei Spalten die Punktnummer und die gemessenen, ins lokale System transformierten ETRS89-Koordinaten von beiden Messerepochen. In der vierten Spalte sind die aus den Koordinaten bestimmten Differenzen in Lage und Höhe enthalten. Abbildung 69 zeigt die übermessen Punkte, farblich klassifiziert anhand der ermittelten Koordinatendifferenz, und die skalierten Verschiebungsvektoren.

Aus Tabelle 6 und Abbildung 69 wird ersichtlich, dass kein Punkt den Grenzwert von 10 cm überschritten und somit kein Punkt als Rutschpunkt verifiziert werden kann. Die ermittelten Koordinatenverschiebungen in der Lage liegen überwiegend im Bereich der Messgenauigkeit von APOS-RTK-Messungen, welche vom BEV mit 4,5 cm, dreifacher mittlerer Fehler, [BEV, 2016] angegeben wird. Aus Sicht der Autorin stellt dies aber noch keinen Beweis dafür dar, dass die Punkte als stabil anzusehen sind, da die Zeitspanne zwischen den Messungen mit 7 Jahren relativ gering ist und nicht zur Verifizierung von substabilen, sehr langsamen Bodenbewegungen ausreicht. Diese können aufgrund der ermittelten Punktverschiebungen pro Jahr, mit einem Höchstwert von 0,8 mm, in Fügenberg jedoch vermutet werden.

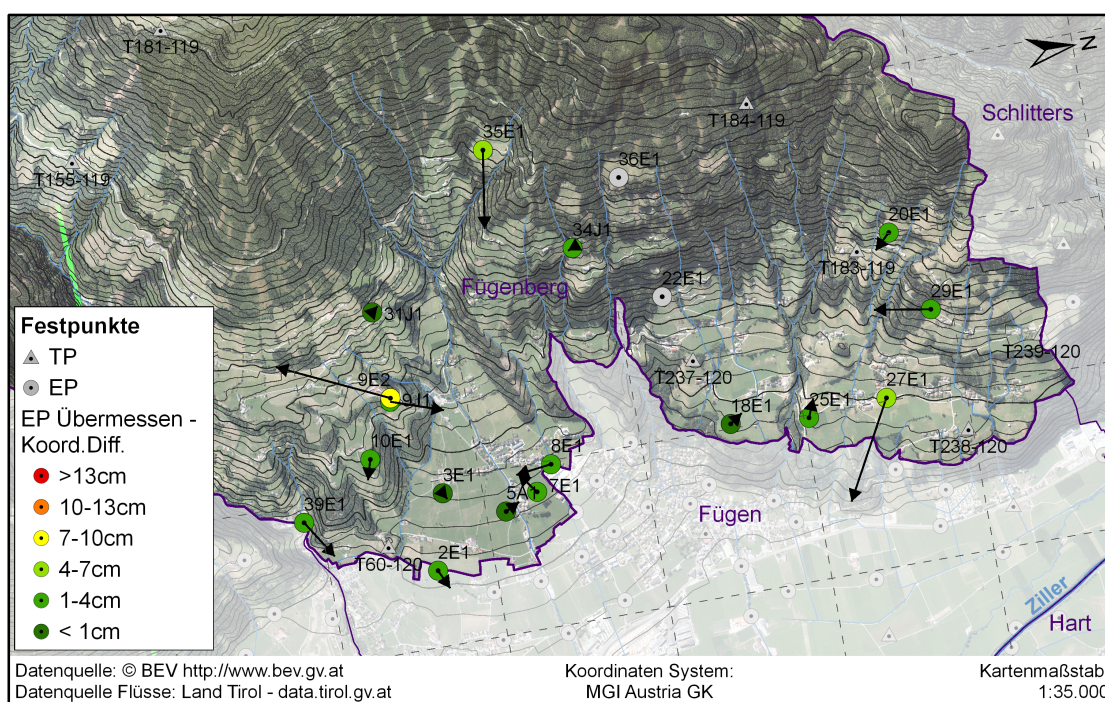


Abbildung 69: **Kontrollmessung – KG Fügenberg**

Die größten Lagedifferenzen wurden in den Punkten 9E2 mit 7,2 cm und 27E1 mit 6,6 cm erfasst. Der Punkt 9E2 überschreitet somit den aus der Erläuterung zur BodBwV zu entnehmen den signifikanten Wert von 7 cm. Aus der Darstellung des Lagedifferenzvektors in Kombination mit den Höhenschichtlinien, in Abbildung 69, kann jedoch erkannt werden, dass die Verschiebung des Punktes hangaufwärts gerichtet ist und somit auch bei Verwendung des rechnerischen Wertes als Grenzwert das Ergebnis keinen Nachweis für eine Bodenbewegung darstellt. Als Ursache der Punktverschiebung kann somit eine Bodenbewegung ausgeschlossen werden. Eine in Betracht kommende Ursache könnte z. B. der

Mensch sein, da der Punkt mittels einer Kunststoff-Marke stabilisiert ist und im Garten einer Schule liegt, wo zudem Schafe gehalten werden. Im Gegensatz dazu ist die Bewegungsrichtung des Punktes 27E1 hangabwärts und deutet auf eine Bodenbewegung hin. Diese kann aber aufgrund der geringen Differenz nur vermutet und nicht bestätigt werden.

Tabelle 6: Ergebnis der Kontrollmessung - EPs KG Fügenberg (M31)

Punkt Nr. 87106-...	GK-Koord.[m] 2009		GK-Koord. [m] 2016		Koordinaten- differenzen [cm]
	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	
<b>2E1</b>	-112185,686	244605,845	-112185,674	244605,850	1,3
	Höhe:	609,704		609,696	-0,8
<b>3E1</b>	-112638,186	244732,773	-112638,182	244732,775	0,4
	Höhe:	664,229		664,232	-0,8
<b>5A1</b>	-112449,243	245086,216	-112449,247	245086,225	1,1
	Höhe:	643,082		643,099	1,8
<b>7E1</b>	-112525,406	245294,546	-112525,419	245294,537	1,6
	Höhe:	644,914		644,915	0,0
<b>8E1</b>	-112671,916	245412,914	-112671,914	245412,892	2,2
	Höhe:	655,723		655,753	3,0
<b>9E2</b>	-113269,845	244543,639	-113269,878	244543,575	7,2
	Höhe:	840,006		839,973	-3,3
<b>9J1</b>	-113248,583	244537,681	-113248,571	244537,712	3,3
	Höhe:	835,807		835,822	1,5
<b>10E1</b>	-112931,370	244345,847	-112931,358	244345,843	1,3
	Höhe:	802,860		802,888	2,8
<b>18E1</b>	-112679,235	246530,664	-112679,240	246530,672	1,0
	Höhe:	684,864		684,850	-1,4
<b>20E1</b>	-113610,859	247714,530	-113610,850	247714,520	1,3
	Höhe:	1040,628		1040,645	1,7
<b>25E1</b>	-112615,315	247004,464	-112615,326	247004,469	1,2
	Höhe:	682,712		682,725	1,3
<b>27E1</b>	-112633,717	247488,845	-112633,660	247488,811	6,6
	Höhe:	697,478		697,479	0,2
<b>29E1</b>	-113101,628	247866,731	-113101,635	247866,697	3,5
	Höhe:	891,631		891,606	-2,5
<b>31J1</b>	-113801,217	244544,940	-113801,220	244544,944	0,5
	Höhe:	986,790		986,809	1,9
<b>34J1</b>	-113924,924	245817,331	-113924,923	245817,328	0,3
	Höhe:	1071,121		1071,206	8,5
<b>35E1</b>	-114620,674	245410,661	-114620,627	245410,652	4,8
	Höhe:	1208,289		1208,330	4,1
<b>39E1</b>	-112642,097	243871,576	-112642,073	243871,590	2,8
	Höhe:	626,395		626,362	-3,3

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

Die in der Arbeit aufgezeigte Methode stellt ein Verfahren zur Lokalisierung und Abgrenzung von Gebieten mit Verdacht auf Bodenbewegungen unter Berücksichtigung des Katasters dar. Dies entspricht lt. BodBwV der Ausweisung von Ermittlungsflächen für Bodenbewegungen auf Basis der DKM.

Die entwickelte Methode basiert auf der Kombination verschiedener Informationen und der Verschneidung der abgeleiteten Ermittlungsflächen mit der DKM. Sie kann allgemein in die drei Arbeitsvorgänge Aufbereitung der Informationen, Bestimmung von Ermittlungsflächen und Ausweisung von betroffenen Grundstücken gegliedert werden. Zur praktischen Anwendung der Methode wurde diese als Userfunktion im *ArcGIS* implementiert.

Die Grundlage der Methode bilden Informationen, aus welchen Rückschlüsse auf die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten bzw. Vorliegen von Bodenbewegungen gezogen werden können. In der Arbeit wurden die permanent wirkenden Einflussfaktoren Neigung, Exposition, Geologie und Boden sowie das Ergebnis der Übermessung des Festpunktfeldes im Zuge der Landessystemumstellung als Basisinformationen definiert.

Für jede Information wurde ein Ansatz sowie ein Auswertemodell zur Klassifizierung des Geländes in gefährdete und nicht gefährdete Gebiete anhand der betrachteten Geländeeigenschaft erarbeitet. Beispielsweise wird für die Exposition angenommen, dass Gebiete mit einer Hangausrichtung zwischen  $158^\circ$  und  $293^\circ$  für das Auftreten von Bodenbewegungen gefährdet sind. Ebenso wurde für jede andere Information eine möglichst allgemein gültige Aussage hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen dem betrachteten Faktor und dem Einfluss auf Bodenbewegungen getroffen. Da es sich hierbei jedoch um eine komplexe Thematik handelt, entsprechen die im Rahmen dieser Arbeit erstellten Ansätze nur ersten Erkenntnissen, welche in weiterführenden Arbeiten zu vertiefen sind, um die Qualität der Ansätze und somit der Ergebnisse zu steigern. Zudem wurde in dieser Arbeit nur ein Teil der auf Bodenbewegungen wirkenden Ursachen und Einflussfaktoren sowie ein erster Ansatz zur Auswertung der im BEV vorliegenden Messungen betrachtet, wodurch auch hier Raum für weitere Arbeiten bleibt. Einige Publikationen zeigen auch Zusammenhänge zwischen den Faktoren auf, welche ebenfalls anhand weiterer Betrachtungen zur Verbesserung des Ergebnisses beitragen könnten, dies ist jedoch aus Sicht der Autorin für das angestrebte Ergebnis nicht zwingend erforderlich. Zur Berücksichtigung weiterer Informationen bei der Bestimmung von Ermittlungsflächen wurde die Methode so gestaltet, dass zusätzlichen Informationen problemlos implementiert werden können.

Das Ergebnis ist neben den erarbeiteten Auswertansätzen auch stark von der Qualität der verwendeten Ausgangsdaten abhängig, da diese die Grundlage der Auswertung bilden. Als Ausgangsdaten wurden kostenfrei verfügbare und österreichweit vorliegende Daten von verschiedenen Organisationen bzw. vom BEV zur Verfügung gestellte Daten verwendet. Durch den Einsatz von gratis vorliegender Daten fallen einerseits keine zusätzlichen Kosten im BEV an, andererseits weisen diese eine geringere Qualität als die ebenfalls bei den Organisationen käuflich erwerbbaeren Datensätze auf. Um die unterschiedliche Qualität der Daten und Auswertansätze sowie die Art und Einflussgröße der Informationen in der Methode berücksichtigen zu können, besteht die Möglichkeit einer unterschiedlichen Gewichtung. So können z. B. die Ergebnisse einer Information mit einer guten Qualität der Ausgangs-

daten höher gewichtet werden als Ergebnisse einer Information mit geringer Datenqualität. Ebenfalls kann das Ergebnis von Informationen, von welchen der Einfluss des Faktors auf Bodenbewegungen nicht ausreichend durch Studien gesichert ist, geringer gewichtet werden. Somit besteht die Möglichkeit fortlaufend Forschungsergebnisse über die Einflüsse der Faktoren auf Bodenbewegungen zu berücksichtigen. Die Verwendung des DGM mit einer Rasterauflösung von 10×10 m erscheint für das angestrebte Ergebnis ausreichend, wohingegen der Erwerb von detaillierteren Geologiedaten und der eBOD zur Verbesserung des Ergebnisses, nach Überarbeitung der beiden Ansätze Geologie und Boden und Vorliegen fundierter Aussagen, in Betracht zu ziehen ist.

Durch die Verschneidung der Datensätze und der unterschiedlichen Gewichtung entstehen Flächen mit einer unterschiedlichen Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Bodenbewegungen. Die Wahrscheinlichkeit wird dabei durch die Division des auftretenden Gewichtes durch das maximal mögliche Gewicht berechnet. Im Rahmen dieser Arbeit wurden Flächen mit einer Wahrscheinlichkeit größer als 50 % als Ermittlungsflächen bestimmt. Aus der Auswertung der Testgemeinden kann erkannt werden, dass große Teile der betrachteten Gebiete mittels der erarbeiteten Auswertevariante als Ermittlungsflächen bestimmt werden und somit ein gewisser Sicherheitsfaktor für das BEV erreicht wird.

Als letzter Schritt der Methode erfolgt die Ausweisung der im Bereich von Ermittlungsflächen liegenden Grundstücke. Problematisch sind hierbei Grundstücke, die nur teilweise in einer Ermittlungsfläche liegen. Innerhalb der Methode kann der Anwender entscheiden, wie mit diesen Grundstücken verfahren wird. Es besteht die Möglichkeit die Fläche mit der höchsten Wahrscheinlichkeit, die Wahrscheinlichkeit der größten Teilfläche oder den flächenmäßig gewichteten Mittelwert auszuwerten. Die Anwendung der Methode auf drei Testgemeinden in Tirol hat ergeben, dass die Auswertung der höchsten Wahrscheinlichkeit zu den meisten betroffenen Grundstücken führt und somit dem konservativsten Ansatz entspricht. Am besten geeignet erscheint die Auswertung des flächenmäßig gewichteten Mittelwertes, da somit auch eventuelle Unsicherheiten in den Ausgangsdaten ausgeglichen werden können.

Bei den Testgemeinden wurde aufgrund von Erfahrungswerten die Gemeinde Pettnau als „stabile Gemeinde“ angenommen, Pfons als Gemeinde mit Verdacht auf eine Bodenbewegung und Fügenberg als Gemeinde mit ungewissem Zustand. Bei Pettnau konnte durch die Anwendung der Methode die Vermutung bestätigt werden, da die Gemeinde größtenteils als stabil ausgewiesen wird. Die Vermutung einer Bodenbewegung konnte in Pfons bekräftigt werden, wobei sich herausstellte, dass mittels der Methode ein größeres Gebiet als bisher angenommen als Ermittlungsfläche auszuweisen ist. Für die Gemeinde Fügenberg zeigen die Ergebnisse der Methode, dass hier ebenfalls betroffene Grundstücke ausgewiesen werden.

Am Beispiel der Gemeinde Fügenberg wurde zudem eine Kontrollmessung zur Verifizierung von bewegten Punkten durchgeführt. Da die letzte Übermessung im Zuge des Projektes REVUE im Jahr 2009 durchgeführt wurde, konnten anhand der Kontrollmessung im Jahr 2016 keine Punkte als Rutschpunkte verifiziert werden, was aus Sicht der Autorin auf die zu geringe Zeitspanne zwischen den Messungen zurückzuführen ist. Die ermittelten Koordinatendifferenzen der Punkte liegen alle in dem, in der BodBwV definierten, Zulässigkeitsbereich von 10 cm. Für den Fall, dass zukünftig Grenz-, Fest-

oder sonstige Punkte als bewegte Punkte festgestellt werden, kann mittels einer ebenfalls im *ArcGIS* zusätzlich implementierten Funktion die erarbeitete Methode verifiziert werden. Ebenso beinhaltet die Funktion eine Kontrollmöglichkeit für die BEV interne Verwaltung der Punkte und Grundstücke.

Zusammenfassend stellt die in dieser Arbeit entwickelte Methode einen ersten, wichtigen Beitrag für die Lokalisierung und Abgrenzung von Ermittlungsflächen in ganz Österreich dar. Die Methode entspricht den Anforderungen und Randbedingungen des BEV als zuständiges Organ und ist bedarfsweise erweiterbar, aktuell anwendbar und ohne zusätzliche Investitionskosten einsetzbar.

## Literatur

- [Abart u. a. 2011] Abart, Günter ; Ernst, Julius ; Twaroch, Christoph: Der Grenzkataster: Grundlagen, Verfahren und Anwendungen. Wien, Graz : NWV Verlag GmbH, 2011
- [Adelmann u.a. 2000a] Adelmann, D. ; Breitzkreuz, Ch. u.a. ; Spektrum Akademischer Verlag (Hrsg.): Geländeneigung - Lexikon der Geowissenschaften. <http://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/gelaendeneigung/5518>. Version: 2000
- [Adelmann u.a. 2000b] Adelmann, D. ; Breitzkreuz, Ch. u.a. ; Spektrum Akademischer Verlag (Hrsg.): Hangbewegungen - Lexikon der Geowissenschaften. <http://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/hangbewegungen/6673>. Version: 2000
- [Ahnert 1996] Ahnert, Fank: Einführung in die Geomorphologie. Stuttgart (Hohenheim) : UTB GmbH, 1996. – 83–98, 61 S. – ISBN 9783825281038
- [BEV 2016] BEV, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen: APOS Austrian POsitioning Service. [http://www.bev.gv.at/pls/portal/docs/PAGE/BEV\\_PORTAL\\_CONTENT\\_ALLGEMEIN/0550\\_SUPPORT/0500\\_DOWNLOADS/PRODUKTFOLDER/AUSTRIANPOSITIONINGSERVICE-FOLDER.PDF](http://www.bev.gv.at/pls/portal/docs/PAGE/BEV_PORTAL_CONTENT_ALLGEMEIN/0550_SUPPORT/0500_DOWNLOADS/PRODUKTFOLDER/AUSTRIANPOSITIONINGSERVICE-FOLDER.PDF). Version: 2016
- [BodBwV2017 2017] BodBwV2017, Bodenbewegungsverordnung: Verordnung des Bundesministers für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft über Vorschriften unter welchen Bedingungen Grenzen von Grundstücken durch Bodenbewegungen als verändert anzusehen sind. 2017
- [Bollinger u.a. 2004] Bollinger, D. ; Kreusen, H.R. u.a.: Gefahreneinstufung Rutschungen i.w.S. Version: 2004. <http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/pdf/fs2004-3072.pdf>
- [Cruden u. Varnes 1996] Cruden, David Milne ; Varnes, D. J.: Landslide Types and Processes. In: Special Report - National Research Council, Transportation Research Board (1996). <http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/pdf/fs2004-3072.pdf>
- [Ehrhart 2015] Ehrhart, Martin: Kataster- und Vermessungswesen für Immobilienmarkler und Immobilienverwalter. Version: 2015. [http://www.avd-zt.at/content/leistungen/Kataster-\\_und\\_Vermessungswesen.pdf](http://www.avd-zt.at/content/leistungen/Kataster-_und_Vermessungswesen.pdf)
- [Ellenberg 1979] Ellenberg: Unser Boden - Aufbau und Bestandteile. Version: 1979. [http://www.naturscouts.at/downloads/boden/b\\_wissenswertes.pdf](http://www.naturscouts.at/downloads/boden/b_wissenswertes.pdf)
- [ESRI 2016] ESRI ; Institute, Environmental Systems R. (Hrsg.): Was ist eine TIN-Oberfläche? <http://desktop.arcgis.com/de/arcmap/10.3/manage-data/tin/fundamentals-of-tin-surfaces.htm>. Version: 2016
- [FU Berlin 2014] FU Berlin ; Freie Universität Berlin, Fachbereich Geowissenschaften (Hrsg.): Massenbewegungen. <http://www.geo.fu-berlin.de/v/pg-net/geomorphologie/massenbewegungen/index.html>. Version: 2014
- [FU Berlin 2015] FU Berlin ; Freie Universität Berlin, Fachbereich Geowissenschaften (Hrsg.): Klassifikation von Massenbewegungen. <http://www.geo.fu-berlin.de/v/pg-net/>

- geomorphologie/massenbewegungen/klassifikation/index.html. Version: 20152014
- [GBA 2013] GBA ; Geologische Bundesanstalt (Hrsg.): Vektordaten - KM 1:500.000 Geologie. [https://www.geologie.ac.at/produkte-shop/detail/?id=1605&seo=datensatz\\_km500\\_austria\\_-\\_geologie](https://www.geologie.ac.at/produkte-shop/detail/?id=1605&seo=datensatz_km500_austria_-_geologie). Version: 2013
- [GG 2001] GG, Professur für Geodäsie und Geoinformatik ; Rostock, Universität (Hrsg.): Exposition - Lexikon Geoinformatik-Service. <http://www.geoinformatik.uni-rostock.de/einzel.asp?ID=664>. Version: 2001
- [HylgeriaK 2009] HylgeriaK, (Benutzer) ; Wikipedia Die freie Enzyklopädie (Hrsg.): Prinzip der Versatzdenudation. Version: 2009. <https://de.wikipedia.org/w/index.php?curid=4279426>
- [Imrek u. Höggerl 2010] Imrek, Erich ; Höggerl, Norbert: Modernisierung des geodätischen Bezugsrahmens in Österreich. Wien, 2010
- [Kaluza 1978] Kaluza, Hans-Walter: Rechtsgrundlagen des Vermessungswesens. Wien : Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, 1978
- [Krauter 1996] Krauter, Edmund ; Smoltczyk, Ulrich (Hrsg.): Phänomenologie natürlicher Böschungen (Hänge) und ihrer Massenbewegungen. 1996 (Grundbau-Taschenbuch Series)
- [Lateltin 1997] Lateltin, Olivier: Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Version: 1997. [https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/naturgefahren/uv-umwelt-vollzug/beruecksichtigungdermassenbewegungsgefahrenbeiraumwirksamentaeti.pdf](https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/naturgefahren/uv-umwelt-vollzug/beruecksichtigungdermassenbewegungsgefahrenbeiraumwirksamentaeti.pdf.download.pdf/beruecksichtigungdermassenbewegungsgefahrenbeiraumwirksamentaeti.pdf)
- [Lotter u. Haberler 2013] Lotter, Michael ; Haberler, Alexandra: Geogene Naturgefahren - gravitative Massenbewegungen und ihre Ursachen. In: Bericht Geol.B.A., 100, NOE GEOTAGE – 19. & 20. 9. 2013 in Rabenstein an der Pielach, 2013
- [Meixner 2008] Meixner, Philipp: ÖSTERREICHISCHER KATASTER UND GRUNDBUCH - EIN EXPORTPRODUKT CASE STUDY RUSSLAND. TU Wien, Diplomarbeit, 2008. [ftp://ftp.geoinfo.tuwien.ac.at/other/DA\\_Meixner.pdf](ftp://ftp.geoinfo.tuwien.ac.at/other/DA_Meixner.pdf)
- [Otter 2015] Otter, Jürgen: 3-D Referenzsysteme in Österreich. Wien, 2015. [http://www.bev.gv.at/pls/portal/docs/PAGE/BEV\\_PORTAL\\_CONTENT\\_ALLGEMEIN/0200\\_PRODUKTE/SCHNITTSTELLENBESCHREIBUNGEN/SYSTEME\\_LANDESVERMESSUNG\\_2015.PDF](http://www.bev.gv.at/pls/portal/docs/PAGE/BEV_PORTAL_CONTENT_ALLGEMEIN/0200_PRODUKTE/SCHNITTSTELLENBESCHREIBUNGEN/SYSTEME_LANDESVERMESSUNG_2015.PDF)
- [Pock 1996] Pock, Hannes: Tonminerale in Böden der Steiermark. TU Graz, Dissertation, 1996
- [Pock 2010] Pock, Hannes: Einführung Bodenkartierung. Wien, 2010. <https://bfw.ac.at/rz/bfwcms2.web?dok=8548>
- [Schachreiter u. Haring 2003] Schachreiter, Franziskus ; Haring, Clemens: Massenbewegungen im alpinen Raum. Version: 2003. [http://www.eduhi.at/gegenstand/geographie/data/Massenbewegungen\\_im\\_alpinen\\_Raum.pdf](http://www.eduhi.at/gegenstand/geographie/data/Massenbewegungen_im_alpinen_Raum.pdf)

- [Scheffer u. Schachtschabel 1998] Scheffer, F. ; Schachtschabel, P.: Lehrbuch der Bodenkunde. Stuttgart : Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 1998 ( 14). – 138 S.
- [Schuster u. a. 2013] Schuster, Ralf ; Dauer, Albert ; Krenmayr, Hans-Georg ; Linner, Manfred ; Mandl, Gerhard ; Pestal, Gerhard ; Reitner, Jürgen: ROCKY AUSTRIA. Wien, 2013
- [Stahr 2017] Stahr, Alexander ; Ahabc (Hrsg.): Tonminerale [online]. <http://www.ahabc.de/bodenentwicklung/stoffneubildung/tonminerale/>. Version:2017
- [Steger 2012] Steger, Stefan: Räumliche Analyse und Gefährdungsmodellierung von Rutschungen in der rhenodanubischen Flyschzone (NÖ). Universität Wien, Diplomarbeit, 2012. [http://othes.univie.ac.at/23037/1/2012-09-24\\_0508041.pdf](http://othes.univie.ac.at/23037/1/2012-09-24_0508041.pdf)
- [Strahler u. Strahler 1999] Strahler, Alan H. ; Strahler, Arthur N.: Physische Geographie. Stuttgart (Hohenheim) : UTB GmbH, 1999
- [Unbekannt 1987] Unbekannt: System der Landesvermessung. Wien : Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, 1987
- [Unbekannt 1994] Unbekannt ; Bundesamt fuer Eich- und Vermessungswesen (Hrsg.): Grenzkataster. Wien : Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, 1994
- [Vallazza 2015] Vallazza, Manuela: Der Kataster in Gebieten mit Bodenbewegungen. TU Graz, Masterarbeit, 2015
- [VermG1968 2013] VermG1968, Vermessungsgesetz: Bundesgesetz vom 3. Juli 1968 über die Landesvermessung und den Grenzkataster. 2013
- [VermG1968 2016] VermG1968, Vermessungsgesetz: Bundesgesetz vom 3. Juli 1968 über die Landesvermessung und den Grenzkataster. 2016
- [VermV2010 2012] VermV2010, Vermessungsverordnung: Verordnung des Bundesministers für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft über Vermessungen und Pläne. 2012
- [VermV2010 2016] VermV2010, Vermessungsverordnung: Verordnung des Bundesministers für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft über Vermessungen und Pläne. 2016
- [Zangerl u. a. 2008] Zangerl, Christian ; Prager, Christoph u. a.: Methodischer Leitfaden zur prozessorientierten Bearbeitung von Massenbewegungen. In: Geo. Alp 5 (2008), S. 1–51



## Abbildungsverzeichnis

1	Beispiel Festpunktnummerierung . . . . .	10
2	Spannungen im Festpunktfeld (entnommen aus [Imrek u. Höggerl, 2010]) . . . . .	12
3	Homogenvektormodell (entnommen aus [Otter, 2015]) . . . . .	13
4	Verifizierung der Wahrscheinlichkeit von Bodenbewegungen (entnommen aus [Vallazza, 2015]) . . . . .	17
5	Vergleich der Festpunkte mit der Geländeneigung (entnommen aus [Vallazza, 2015])	17
6	Tabellarisches Ergebnis des Koordinatenvergleichs der Gemeinde Pfans . . . . .	19
7	Ansatz der Methode . . . . .	21
8	Prinzipdarstellung des Gesamtmodells . . . . .	22
9	DGM der Bezirke Schwaz, Innsbruck und Innsbruck-Land vom Land Tirol . . . . .	23
10	Prinzipdarstellung des Modells <i>Auswertung_Neigung</i> . . . . .	24
11	Klassifizierte Neigungsinformation - VA Innsbruck . . . . .	25
12	Prinzipdarstellung des Modells <i>Auswertung_Exposition</i> . . . . .	26
13	Zuordnung der Hangausrichtung in Grad zu den Himmelsrichtungen . . . . .	26
14	Klassifizierte Expositionsinformation - VA Innsbruck . . . . .	27
15	Ausschnitt aus der <i>KM500 Austria – Geologie</i> von der GBA . . . . .	29
16	Prinzipdarstellung des Modells <i>Auswertung_Geologie</i> . . . . .	30
17	Klassifizierte Geologieinformation - VA Innsbruck . . . . .	30
18	Prinzip der Versatzdenudation durch Expansion und Kontraktion (nach [HylgeriaK, 2009]) . . . . .	32
19	Dreiecksdiagramm der Bodenarten (nach [Scheffer u. Schachtschabel, 1998] S. 138)	33
20	Ausschnitt aus der eBOD vom BFW . . . . .	34
21	Prinzipdarstellung des Modells <i>Auswertung_Boden</i> . . . . .	34
22	Klassifizierte Bodeninformation - VA Innsbruck . . . . .	35
23	Festpunktübersicht - Vermessungssprengel Innsbruck . . . . .	37
24	Prinzipdarstellung des Modells <i>Auswertung_Festpunktfeld</i> . . . . .	38
25	Klassifizierte Festpunktfeldinformation - VA Innsbruck . . . . .	41
26	Beispiel für die Bestimmung von Ermittlungsflächen . . . . .	42
27	Prinzipdarstellung des Modells <i>Ausweisung_Ermittlungsflächen</i> . . . . .	43
28	Prinzipdarstellung des Modells <i>Ausweisung_Grundstücke</i> . . . . .	44
29	Testgebiete . . . . .	45
30	Klassifizierte Neigungsinformation – KG Fügenberg . . . . .	47
31	Klassifizierte Expositionsinformation – KG Fügenberg . . . . .	48
32	Klassifizierte Geologieinformation – KG Fügenberg . . . . .	48
33	Klassifizierte Bodeninformation – KG Fügenberg . . . . .	49
34	Ergebnis REVUE-Messung – KG Fügenberg . . . . .	50
35	Klassifizierte Festpunktfeldinformation – KG Fügenberg . . . . .	51
36	Verdachtskarte Gewichtungsvariante 1 – KG Fügenberg . . . . .	54
37	Verdachtskarte Gewichtungsvariante 2 – KG Fügenberg . . . . .	55

38	Verdachtskarte Gewichtungsvariante 3 – KG Fügenberg . . . . .	55
39	Klassifizierte Grundstücke (höchste Wahrscheinlichkeit) – KG Fügenberg . . . . .	57
40	Klassifizierte Grundstücke (Wahrscheinlichkeit der größten Teilfläche) – KG Fügenberg	58
41	Klassifizierte Grundstücke (gewichteter Mittelwert) – KG Fügenberg . . . . .	59
42	Klassifizierte Grundstücke, Gewichtungsvariante 1 (gewichteter Mittelwert) – KG Fügenberg . . . . .	60
43	Klassifizierte Neigungsinformation – KG Petttau . . . . .	61
44	Klassifizierte Expositionsinformation – KG Petttau . . . . .	61
45	Klassifizierte Geologieinformation – KG Petttau . . . . .	62
46	Klassifizierte Bodeninformation – KG Petttau . . . . .	63
47	Ergebnis REVUE-Messung – KG Petttau . . . . .	63
48	Klassifizierte Festpunktfeldinformation – KG Petttau . . . . .	64
49	Verdachtskarte Gewichtungsvariante 1 – KG Petttau . . . . .	65
50	Verdachtskarte Gewichtungsvariante 2 – KG Petttau . . . . .	65
51	Verdachtskarte Gewichtungsvariante 3 – KG Petttau . . . . .	66
52	Klassifizierte Grundstücke (höchste Wahrscheinlichkeit) – KG Petttau . . . . .	67
53	Klassifizierte Grundstücke (Wahrscheinlichkeit der größten Teilfläche) – KG Petttau	67
54	Klassifizierte Grundstücke (gewichteter Mittelwert) – KG Petttau . . . . .	68
55	Klassifizierte Neigungsinformation – KG Pfons . . . . .	69
56	Klassifizierte Expositionsinformation – KG Pfons . . . . .	69
57	Klassifizierte Geologieinformation – KG Pfons . . . . .	70
58	Klassifizierte Bodeninformation – KG Pfons . . . . .	71
59	Ergebnis REVUE-Messung – KG Pfons . . . . .	71
60	Klassifizierte Festpunktfeldinformation – KG Pfons . . . . .	72
61	Verdachtskarte Gewichtungsvariante 1 – KG Pfons . . . . .	73
62	Verdachtskarte Gewichtungsvariante 2 – KG Pfons . . . . .	74
63	Verdachtskarte Gewichtungsvariante 3 – KG Pfons . . . . .	74
64	Klassifizierung der Grundstücke in vier Gefährdungsstufen (höchste Wahrscheinlichkeit) - KG Pfons . . . . .	75
65	Klassifizierung der Grundstücke in vier Gefährdungsstufen (Wahrscheinlichkeit der größten Teilfläche) – KG Pfons . . . . .	76
66	Klassifizierung der Grundstücke in vier Gefährdungsstufen (gewichteter Mittelwert) – KG Pfons . . . . .	77
67	Prinzipdarstellung des Modells <i>Verifizierung</i> . . . . .	79
68	Testbeispiel: Verifizierung der Methode – KG Fügenberg . . . . .	79
69	Kontrollmessung – KG Fügenberg . . . . .	82

## Tabellenverzeichnis

1	Klassifikation von gravitativen Massebewegungen nach [Cruden u. Varnes, 1996] (Abbildungen entnommen aus [Cruden u. Varnes, 1996]) . . . . .	4
2	Festpunkte im System MGI (GK) (Stand 05/2015) . . . . .	11
3	Wahrscheinlichkeit von Bodenbewegungen der Gesteinsklassen (nach [Vallazza, 2015])	16
4	Übersicht: Auswertung der Informationen . . . . .	46
5	Auswertung Ermittlungsflächen - Parameter . . . . .	53
6	Ergebnis der Kontrollmessung - EPs KG Fügenberg (M31) . . . . .	83