GEOTEST

GEOLOGEN / INGENIEURE / GEOPHYSIKER / UMWELTFACHLEUTE

Bericht Nr. 1420109.1

Präventionsstiftung der Kantonalen Gebäudeversicherungen

GEOL_BIM – Anwendungsfall permanente Rutschung

Kurzbericht zur Prozesskarte und zu den Datengrundlagen für das Testmodell

Zollikofen, 1. Juni 2021

GEOTEST AG

BERNSTRASSE 165
CH-3052 ZOLLIKOFEN

T +41 (0)31 910 01 01
F +41 (0)31 910 01 00

zollikofen@geotest.ch
www.geotest.ch

Autor(en)	Bearbeitete Themen / Fachbereiche
Stefanie Wirth	Einleitende Kapitel, Kapitel 6
Reto Hänni	Kapitel 7
Supervision	**Visierte Inhalte**
Kaspar Graf	Gesamter Bericht
Hinweise	

GEOTEST AG

Kaspar Graf

Stefanie Wirth

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung ... 4
2. Projekt ... 4
3. Untersuchungsperimeter: Chratzera Rutschung ... 5
4. Vorhandene Unterlagen ... 6
5. Ausgeführte Arbeiten ... 7
6. Beschreibung der Prozesskarte ... 7
   6.1 Konzeption und Planung ... 8
   6.2 Dimensionierung ... 9
   6.3 Realisierung ... 9
   6.4 Bewirtschaftung ... 10
7. Analyse der Datengrundlagen ... 10
   7.1 Karten ... 11
   7.1.1 Gefahrenkarten ... 11
   7.1.2 Karten der Phänomene ... 12
   7.1.3 Kartendarstellung von Verschiebungsmessungen ... 13
   7.1.4 InSAR-Daten ... 14
   7.2 Messdaten ... 15
   7.2.1 Geländemodell ... 15
   7.2.2 Vermessungsdaten ... 15
   7.2.3 Inklinometermessungen ... 17
   7.3 Interpretierte Daten ... 18
   7.3.1 Profilschnitte ... 18
   7.3.2 3D-Flächen ... 19
   7.4 Gebäudebezogene Daten ... 20
   7.4.1 Gefährdungsbilder ... 21
   7.4.2 Ereignisbezogene Messungen ... 22
   7.4.3 Schadensbilder ... 22
   7.4.4 Massnahmen ... 22
8. Schlussbemerkungen ... 23

Anhang:

Prozesskarte 1

1. Einleitung

2020 wurde das Innovationsprojekt GEOL_BIM[1] unter der Leitung des CHGEOL gestartet. Ziel des Projektes ist es die BIM-Methode mit der angewandten Geologie über den gesamten Lebenszyklus von Bauwerken zu verknüpfen. Im Projekt werden insgesamt drei geologische Anwendungsfälle erarbeitet: Geologie, Geotechnik, Naturgefahren. Parallel zu GEOL_BIM realisiert die Präventionsstiftung der Kantonalen Gebäudeversicherungen ausserdem das Projekt «Optimierter Gebäudeschutz vor Naturgefahren mit BIM» (OGN) zur Verbesserung der Naturgefahrenprävention auf Basis digitaler Bauwerksmodelle (DBM). Die Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW begleitet die verschiedenen Projekte bezüglich Implementierung ins BIM.

Vor diesem Hintergrund hat die Präventionsstiftung die GEOTEST AG beauftragt, in der Rolle der Fachexperten die Grundlagen für den Anwendungsfall «Naturgefahren – permanente Rutschung» zu erarbeiten und deren Implementation ins GEOL_BIM fachlich zu begleiten. Die zu erarbeitende Methodik soll auf den Vorgängerprojekten von GEOL_BIM und OGN aufbauen.

2. Projekt

Permanente Rutschungen führen zu Schäden an Gebäuden sowie auch an Infrastruktur wie Strassen, Bahnlinien und Leitungen. Das Siedlungsgebiet von Grindelwald ist geprägt von grossflächigen tiefgründigen Rutschungen schwacher und mittlerer Intensität (Bewegungsraten von < 2 bis 10 cm/Jahr). Zudem bestehen mehrere Bereiche, wo übergelagerte flach- bis mittelgründige Rutschungen sich mit bis zu 20 cm/Jahr zu Tal bewegen [1][2] (z. B. Teile der Chratzera Rutschung). Die Rutschungen sind geprägt durch Perioden relativer Ruhe, welche von Phasen beschleunigter Aktivität abgelöst werden. Jährlich müssen aufgrund der Rutschbewegungen verkippte und beschädigte Gebäude aufwändig saniert werden. Gleichwohl werden auch Neubauten erfolgreich geplant und realisiert (z. B. [3]). Infolge einer Reaktivierung der Rutschungen 2013 wurde ein durch den Kanton subventioniertes Monitoringprojekt initiiert mit dem Ziel das Systemverständnis und die Rutschmodelle zu verbessern [4][2],[4]-[8].

[1] BIM = Building Information Modeling

Für die Rutschung Grindelwald Dorf und für die Chratzera Rutschung (s. Projektperimeter Abbildung 1) besteht dementsprechend ein umfangreicher Datensatz. Das Beispiel Grindelwald eignet sich deshalb gut für die Zusammenstellung vorhandener Daten und für die kritische Beurteilung des Nutzens und der Implementierbarkeit dieser Daten in einem DBM. Aus dem gleichen Grund gilt es bei der Evaluation der Datensätze jedoch auch zu berücksichtigen, dass in anderen Rutschgebieten häufig eine weniger umfangreiche Datengrundlage zur Verfügung steht. Zudem soll eine Prozesskarte erarbeitet werden, welche das optimale Vorgehen bei der Planung, Realisierung und Bewirtschaftung eines Bauprojektes, welches mit BIM ausgeführt wird, im Perimeter einer permanenten Rutschung beschreibt.

Der vorliegende Bericht beschreibt die Prozesskarte und diskutiert die vorhandenen Daten.

3. Untersuchungsperimeter: Chratzera Rutschung

Das sehr aktive Rutschgebiet Chratzera erstreckt sich über eine Länge von rund 1.5 km und über eine Breite von ca. 200 - 300 m. Es handelt sich um eine flach- bis mittelgründige, zungenförmige Rutschung mit Bewegungsraten von bis zu 20 cm/Jahr. Die Anrisskante der Rutschung liegt im Gebiet «Bim oberen Hüs» unterhalb der Felsstufe auf ca. Kote 1‘370 m ü. M. Die östliche Begrenzung der Rutschung folgt der stabilen N-S-gerichteten Geländerippe östlich von «Chratzera» nach «Mosägerta» bis zum «Chilchbiel». Die westliche Begrenzung reicht über «Bruniweid/Gorni» über das Siedlungsgebiet bei «Schoneggrain/Fülesee» bis zum «Gydisdorf» (ca. Kote 1‘060 m ü. M.).

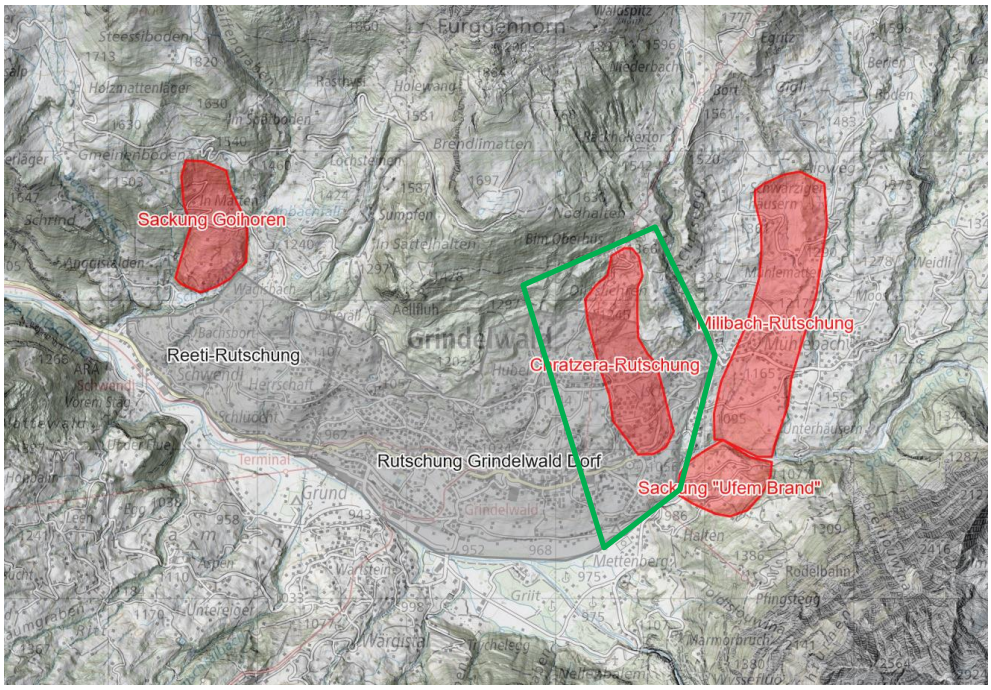


Abbildung 1: Die Chratzera-Rutschung in Grindelwald als Teil des grossräumigen Rutschgebietes Grindelwald Dorf (aus [1]). Der Untersuchungsperimeter ist grün markiert.

4. Vorhandene Unterlagen

[1] ARGE GEOTEST AG, geo7 AG, KiNaRis (2012) Grindelwald, Naturgefahren, Revision Gefahrenkarte. Technischer Bericht Nr. 1411057.1. Zollikofen, 20.12.2012.

[2] GEOTEST AG (2020) Grindelwald, Monitoring Rutschungen. Syntheseberichte zum Monitoring 2015 – 2019 und zur Neuvermessung 2017. Bericht Nr. 1413080.5, Zollikofen, 17.11.20220.

[3] GEOTEST AG (2017a). Grindelwald Terminal / Parkhaus Grund, Bericht Nr. 1412153.25. Zollikofen.

[4] GEOTEST AG (2014): Grindelwald, Monitoring Rutschungen, Reaktivierung 2013; Bericht Nr. 1413080.1, Zollikofen, 24.08.2014.

[5] Boulaz, D. (2016): Hydrogeologische Modellierung von Rutschungen, Chratzera Rutschung Grindelwald. Interner Bericht GEOTEST AG vom 28.10.2016.

[6] Hug, B. (2018): Chratzera Rutschung (Grindelwald). Vorbereitende Kartierung, Konzeption und Durchführung eines Tracerversuchs und hydrochemische Analyse der Quellen. Masterarbeit Univ. Zürich.

[7] Frischknecht, E., Geiser, A. und Licinar, N. (2016): Geophysische Untersuchung der «Chratzera» Rutschung in Grindelwald. Unpubl. Arbeit im Rahmen der Veranstaltung «TP Einführung in die Geophysik», Univ. Fribourg.

[8] Wyss und Früh AG (2019) Gemeinde Grindelwald, Dauernde Bodenverschiebung/Monitoring Oktober 2019. Guggen-Chilchbiel-Steinbilla-Chratzera-Milibach. 31.10.2019.

[9] SIA (2020) Einwirkungen auf Tragwerke – Ergänzende Festlegungen. SIA 261/1:2020.

[10] Gamma Remote Sensing (2019) Bericht zur «S1 Desc. Radarauswertung im Bereich der Talstation der V-Bahn in Grindelwald». Bericht vom 24. Okt. 2019.

[11] GEOTEST AG, KB 11/5 Grindelwald, Messbericht Inklinometer. Prüfbericht Geotest 1411155.6021.

[12] GEOTEST AG (2016) Grindelwald, Hotel Gletschertal, Baugrundgutachten und Empfehlungen. Geotest Bericht Nr. 1412024.3, Zollikofen 20.06.2021.

[13] Egli, T. (2005): Wegleitung Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen VKF, Bern.

5. Ausgeführte Arbeiten

- Aufbereiten der Daten für das Arbeitsbeispiel «Rutschung Chratzera», Grindelwald
- Erstellen 3D-Modell der Gleitfläche mit Sondier- und Messdaten
- Erstellen Prozesskarte
- Diverse interne und externe Projektbesprechungen und Workshops
- Vorliegende Berichterstattung

6. Beschreibung der Prozesskarte

Die Prozesskarte dokumentiert einen idealen Ablauf und die entsprechende Kommunikation zwischen den verschiedenen Akteuren (Bauherr/-in, Planer-/in, Behörden) während der Konzeption, Planung, Realisierung und Bewirtschaftung eines Bauprojektes. Das generelle Schutzziel soll sein, Schäden an Gebäuden und Leitungen durch permanente Rutschbewegungen, welche zu Setzungen, Verschiebungen, Verkippungen und Verformungen führen können, zu vermeiden.

Ausschlaggebend für die Konkretisierung der effektiven Schutzziele ist die Art der Nutzung sowie das gewünschte Level der Funktionstüchtigkeit, des Aussehens und des Komforts [9]. Dementsprechend muss am gewünschten Standort eine Evaluation der Rutschsituation erfolgen, die Ausarbeitung von geeigneten Massnahmen zur Schadenverhinderung vorgenommen und der Unterhalt während der Bewirtschaftungsphase frühzeitig geplant werden.

Wir erläutern im Folgenden die verschiedenen Phasen der Prozesskarte, welche im Anhang 1 dargestellt ist.

6.1 Konzeption und Planung

Die Bauherrschaft hat bei der Grobplanung und Definition des Projektes bereits Zugriff auf die Bau- und Zonenordnung der Gemeinde sowie auf spezielle Auflagen basierend auf der Gefahrenkarte. Damit verfügt sie frühzeitig über die notwendigen Entscheidungsgrundlagen für die Auswahl des Standortes und des Projektes (BWK, Umbau/Neubau). Sie beauftragt anschliessend im Rahmen der ersten Phase der Konzeption die Planungsunternehmung mit einer Erstabklärung der Gefährdung durch permanente Rutschungen. Diese ruft die Grundlagendaten zur Rutschsituation ab und erhält damit erste Informationen zum Grad der Gefährdung (Ampelsystem: grün / orange / rot). Aus dem Kontakt mit der kantonalen Behörde ergibt sich, ob ein Naturgefahrengutachten notwendig ist.

Die abrufbaren Informationen beinhalten idealerweise folgende Daten:

- Gefahrenkarte
- Eigenschaften der Rutschung und der Gleitfläche (Attribute): flach-/mittel-/tiefgründig, Intensität, Reaktivierungspotential, Geologie (welche Schichten sind betroffen)
- Hydrogeologische Verhältnisse: Lage des Hangwasserpegel, vorhandene Drainagen, Vernässungen
- Karte der Verschiebungen
- Terrainmodell
- Parzellenplan

Zusätzlich bietet die kürzlich veröffentlichte SIA Norm 261/1 [9] allgemeingültige Richtlinien betreffend Konzeption und Massnahmen, welche beim Bauen in permanenten Rutschgebieten zu berücksichtigen sind.

Im Falle einer Gefährdung erteilt die Bauherrschaft den Auftrag für die Erarbeitung eines Schutzkonzeptes durch einen Naturgefahrenexperten. Dieser erstellt ein

Objektschutzgutachten (OSG), spezifisch ausgelegt auf den gewählten Standort und die bestehenden Baupläne. Der Planer sichtet die verschiedenen Massnahmenvorschläge, welche im Objektschutzgutachten unterbreitet werden, und macht eine Empfehlung bezüglich der Realisierung an die Bauherrschaft. Diese konkretisiert die Schutzziele und beauftragt den Planer mit der Erarbeitung der planerischen Lösungen. Sind die an das Objektschutzgutachten angepassten Baupläne erstellt, geht das Projekt in die Vernehmlassung beim Kanton. Das fertiggestellte Schutzkonzept soll nicht nur die planerischen Massnahmen und die Beschreibung des Gefährdungsbildes beinhalten, sondern auch den Unterhalt und die Überwachung während der Bewirtschaftung. Das fertig gestellte Schutzkonzept fliesst mit dem OSG in das DBM ein.

Der Einbezug der Bewirtschaftungsphase in die Planung ist ein wesentlicher Unterschied zur heute üblichen Vorgehensweise, welche Unterhalt und Überwachung kaum berücksichtigt. Die Einspeisung von Daten aus der Bewirtschaftungsphase (z. B. Schäden wie Risse und Zwängungen; Einsatz von Sensoren, welche die Lage des Gebäudes automatisch erfassen) in eine Datenbank mit gebäudebezogenen Daten kann für die Planung von weiteren Um-/Neubauten jedoch eine wichtige Informationsquelle darstellen.

6.2 Dimensionierung

Die Planungsunternehmung beauftragt die Projektingenieurin mit der detaillierten Dimensionierung (z. B. Definition der Dicke der Stahlbetonmauern). Die Baupläne inklusive der detaillierten Dimensionierung werden in das DBM eingepflegt mit nachfolgender Prüfung, ob die Pläne und das Schutzkonzept konform sind mit den bereits vorhandenen Informationen und Daten (Ampelsystem). Sobald die Prüfung des DBM erfolgreich abgeschlossen ist, ist mit dem Abschluss der Planungsphase ein Zwischenziel erreicht.

6.3 Realisierung

Zu Beginn der Realisierungsphase wird durch den Planer wiederum eine Aktualisierung und Prüfung des DBM vollzogen, welche eventuelle Änderungen seit der Fertigstellung der Planung berücksichtigt. Zusätzlich zur Erstellung des Bauwerkes umfasst diese Phase mit der konkreten Planung und Organisation des Unterhaltes und der Überwachung während der Bewirtschaftungsphase eine weitere wichtige Aufgabe. Diese soll während der Bauarbeiten ausgeführt werden, da für den Planer nach der Bauphase in den meisten Fällen das Projekt als abgeschlossen gilt.

Es ist also grundlegend wichtig, die Zuständigkeiten und wenn nötig die Verträge für Unterhalt und Überwachung vorgängig zu regeln.

6.4 Bewirtschaftung

Nach Fertigstellung des Bauwerkes aktualisiert der Planer das DBM und reduziert die enthaltene Information auf die relevantesten Daten. Daraus ergibt sich das DBM_B (DBM Betrieb).

Während der Bewirtschaftungsphase sollen die Daten, welche entweder mittels periodischer Prüfung oder mittels kontinuierlich messender Sensoren (z. B. für das Monitoring einer möglichen Verkippung) erfasst werden, regelmässig an die Behörden (Gemeinde oder Kanton) übermittelt werden. Auslöser für Unterhaltsarbeiten sind die periodisch geplanten Prüfungen oder neue Schäden. Somit werden hier vor allem gebäudebezogene Daten produziert, mit denen idealerweise das DBM_B aktualisiert wird, und welche in die Datengrundlage der Behörde einfliessen. Mithilfe dieser neuen gebäudebezogenen Daten von verschiedenen Bauwerken können die Behörden die Situation periodisch oder bei akuten Ereignissen neu evaluieren und die Daten, welche als Grundlage für neue Bauprojekte dienen, aktualisieren (vgl. Kapitel 7.4).

7. Analyse der Datengrundlagen

Aktive Rutschungen erschliessen sich dem Beobachter in Form sichtbarer Phänomene wie z. B. Verformungen in Gebäuden oder Geländeabsenkungen. Erst wenn solche Phänomene vorhanden und relevant sind, werden gezielte Messungen und Kartierungen ausgeführt. Diese Grundlagen sind wertvoll, müssen aber aufwändig erhoben werden. Auf ihrer Basis werden Interpretationen erstellt und beispielsweise in Profilschnitten oder 3D-Modellierungen dargestellt. Diese Interpretationen beruhen also jeweils auf dem aktuellen Wissensstand und passen sich periodisch dem Stand der Erkenntnis an. Dadurch wird der Rutschprozess und dessen mögliche Auswirkungen sichtbar gemacht und das Verständnis dazu verbessert.

Ein BIM-Modell eines Rutschgebietes sollte somit sehr unterschiedliche Datentypen und -qualitäten erfassen und darstellen können. Dabei muss berücksichtigt werden, dass je nach Gebiet in Art und Menge sehr unterschiedliche Grundlagen vorhanden sind. In den folgenden Kapiteln wird versucht, die möglichen vorhandenen Datengrundlagen zu beschreiben und hinsichtlich einheitlicher Strukturen zu charakterisieren.

7.1 Karten

7.1.1 Gefahrenkarten

Gefahrenkarten wurden durch die Gemeinden innerhalb definierter Perimeter erstellt und sind bezüglich Naturgefahren ein wichtiges, behördenverbindliches Instrument. Für Bauzonen sind Gefahrenkarten heute für die Siedlungsgebiete der gesamten Schweiz mit wenigen Ausnahmen (Kt. AG) praktisch flächendeckend verfügbar. Sie werden periodisch aktualisiert.

Die Gefahrenkarten sind als Polygon- und Punktshapes als GIS-Daten verfügbar.

Bezüglich permanenter Rutschungen gibt die Gefahrenkarte direkt Auskunft über die Intensität des Prozesses anhand der jährlichen Verschiebungsrate v_f:

Gelb: $v_f \leq 2$ cm/Jahr

Blau: 2 cm/Jahr $\leq v_f \leq 10$ cm/Jahr

Rot: 10 cm/Jahr $\leq v_f$ oder starke differentielle Bewegungen.

Die ebenfalls in der Gefahrenkarte (im GIS Attribut PROZ_CODE) enthaltenen Indizes enthalten weitere Angaben über die Art des Rutschprozesses (RO: flachgründig, RM mittelgründig, RT tiefgründig) sowie Verschärfung der Gefahrenstufe durch Reaktivierung (R bzw. RR) oder differenzielle Bewegung (D bzw. DD) oder Entschärfung durch Tiefgründigkeit (T).

Zusätzlich zu den vorhandenen Attributen wäre ein Textfeld sinnvoll, wo sofern bekannt, zusätzliche Angaben zur Rutschung gemacht werden können. Dies können beispielsweise eine Beschreibung des Rutschverhaltens im Jahresgang, das mittelfristige Rutschverhalten oder weitere Zusammenhänge mit Niederschlägen und Sekundärprozessen, laufenden oder geplanten Monitorings oder auch Verweise auf wissenschaftliche Detailuntersuchungen oder geologische Berichte sein.

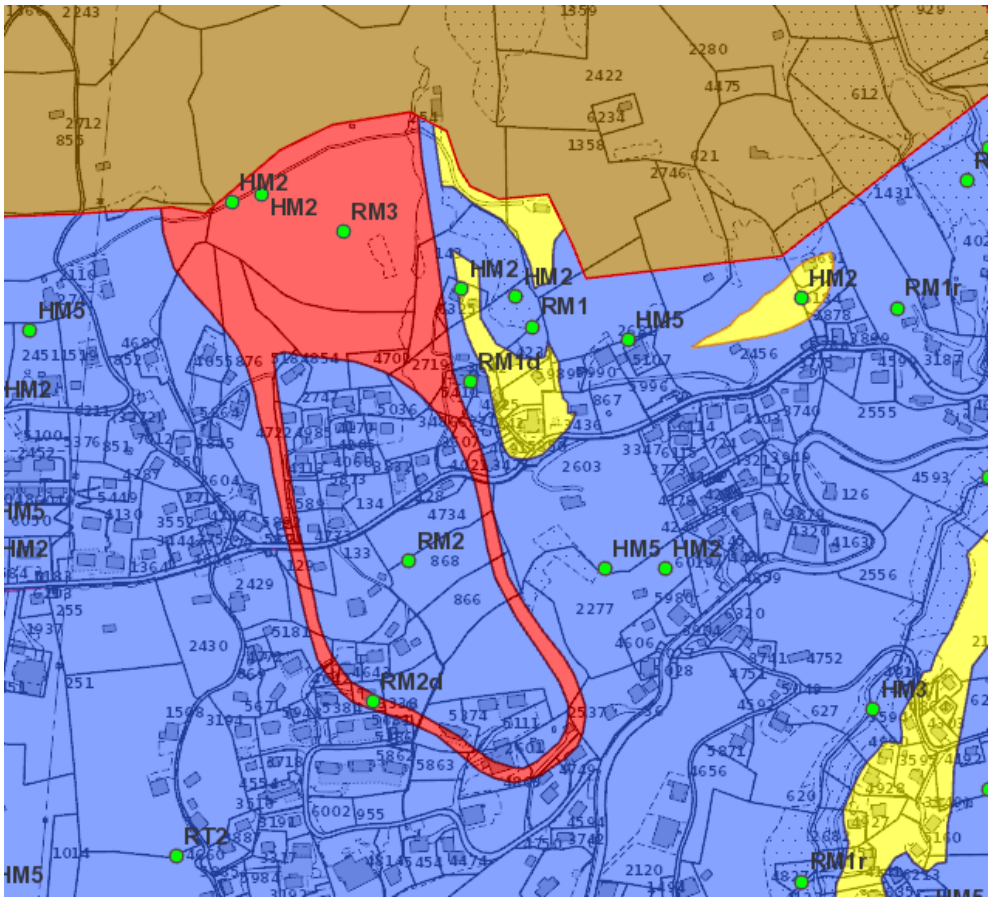


Abbildung 2: Ausschnitt aus der Gefahrenkarte «Chratzera» mit farblich dargestellten Intensitäten und Gefahrenindices.

7.1.2 Karten der Phänomene

Die Kartierung der Phänomene stellt eine Grundlage für die Erstellung der Gefahrenkarte dar. Karten der Phänomene sind im Naturgefahrenbericht enthalten. Sie sind ein Arbeitsinstrument ohne behördliche Verbindlichkeit und auch nicht flächendeckend verfügbar. Sie liegen in der Regel als Rasterdaten vor, die mit unterschiedlichen Zeichenprogrammen angefertigt wurden.

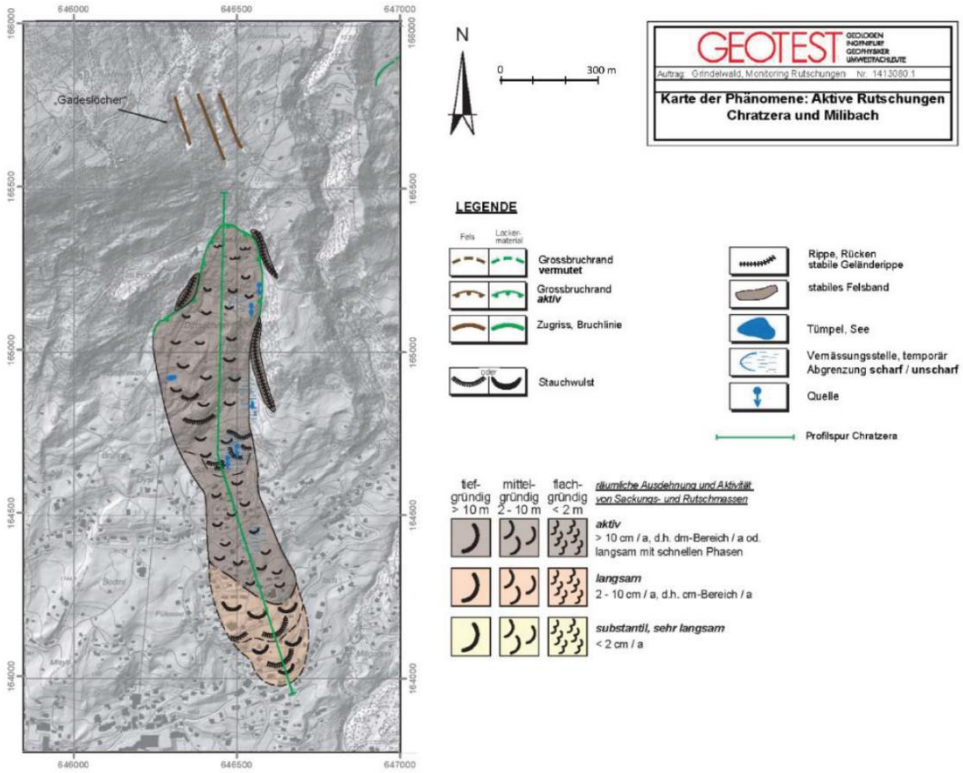


Abbildung 3: Karte der Phänomene der Chratzera-Rutschung [4].

7.1.3 Kartendarstellung von Verschiebungsmessungen

Für Rutschgebiete, die mit geodätischen Messungen überwacht werden, werden in der Regel durch die beauftragten Geometerbüros Auswertungen in Form von Kartendarstellungen erstellt. Die Grundlage für die Auswertung bilden die Messwerte der entsprechenden Messpunkte (vgl. Kapitel 7.2.2). Die Vektoren können als Linienshapes oder in einem CAD-Format vorliegen.

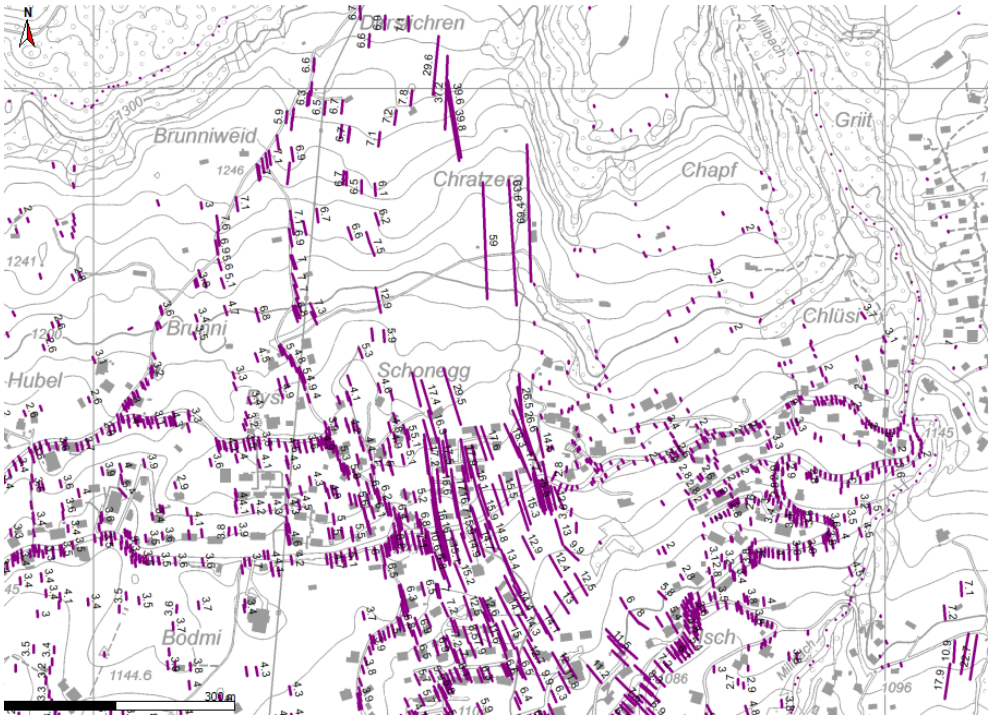


Abbildung 4: Rutschung Chratzera, Geometerplan mit den als Vektoren und Zahlenwerten dargestellten Horizontalverschiebungen 2017.

7.1.4 InSAR-Daten

In Zukunft darf man davon ausgehen, dass bessere und preisgünstigere Satellitendaten zur Verfügung stehen. Für die Rutschproblematik ist die Radarinterferometrie (Interferometric Synthetic Aperture Radar) dabei von grosser Bedeutung. Während die regelmässige Aktualisierung der Grundlagendaten (vgl. Kapitel 6.1) eines Rutschgebietes mit konventionellen Vermessungsdaten (Tachymeter, GPS) aufgrund des hohen Aufwandes seitens einer Gemeinde oder eines Kantons kaum realistisch ist, könnte in Zukunft eine teilweise automatisierte Analyse von Satellitendaten eben diese Möglichkeit bieten.

Sofern für ein Gebiet brauchbare Daten vorhanden sind, liegen diese als GIS-Raster vor, das für jeden Rasterpunkt die Bewegungsrate in der ‘line of sight’ des Satelliten in mm/Jahr angibt. Die räumliche Exposition des Rutschgebietes bezüglich der Satellitenbahn ist unter anderem entscheidend für die Datenqualität. Im Beispiel Chratzera ist diese eher ungünstig. In jedem Fall erfordert die Interpretation der InSAR-Daten Expertenwissen. Eine Implementierung in ein BIM-Modell erscheint daher heute nicht zielführend.

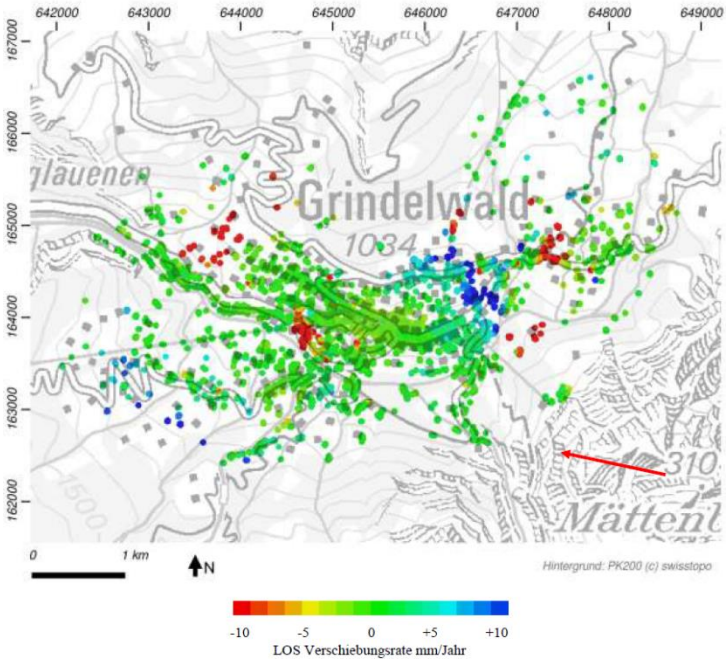


Abbildung 5: Auswertung von InSAR-Daten im Gebiet Grindelwald [10].

7.2 Messdaten

7.2.1 Geländemodell

Digitale Geländemodelle sind in hoher Auflösung als GIS-Rasterdaten flächendeckend verfügbar. Sie können als 3D-meshes in ein CAD-Format umgerechnet werden. Hier können in Zukunft mit periodischen automatisierten Befliegungen durch Drohnen Geländedeformationen quantitativ und zeitnah mit hoher Auflösung erfasst werden.

7.2.2 Vermessungsdaten

Durch Geometerbüros erhobene Vermessungsdaten werden in der Regel in Tabellenform abgegeben [8]. Für einzelne Messpunkte können weitere Daten in Form von Bildern und Texten vorliegen, die die Messstelle beschreiben und das Auffinden erleichtern. Ein einzelner Messpunkt wird meistens als Integer, bisweilen aber auch im Textformat identifiziert.

Null- und Folgemessungen liegen in Tabellenform vor:

Tabelle 1: Tabellarische Darstellung geodätischer Messdaten

Punkt Nr.	E-Koordinate	N-Koordinate	orth. Höhe	Datum Erhebung
40017	2646418.514	1164099.064	1086.184	15.05.2005
40045	2646666.000	1164052.617	1070.942	15.05.2005
40052	2646678.754	1164116.968	1076.704	15.05.2005

Für einzelne Messkampagnen können weitere Angaben zur Messmethode, Genauigkeit, Wetter, ausführende Person etc. vorhanden sein.

Aus den Differenzen zweier Messungen können Horizontal(v_h)- und Vertikalverschiebungsgeschwindigkeiten (v_v) bzw. Gesamtverschiebungs-Geschwindigkeiten (v_f) in [mm/Jahr] für bestimmte Intervalle ermittelt werden. Eine andere Möglichkeit ist die Berechnung der absoluten Verschiebungsbeträge, die als Verschiebungsvektoren bzw. 3D-Polygone dargestellt werden können.

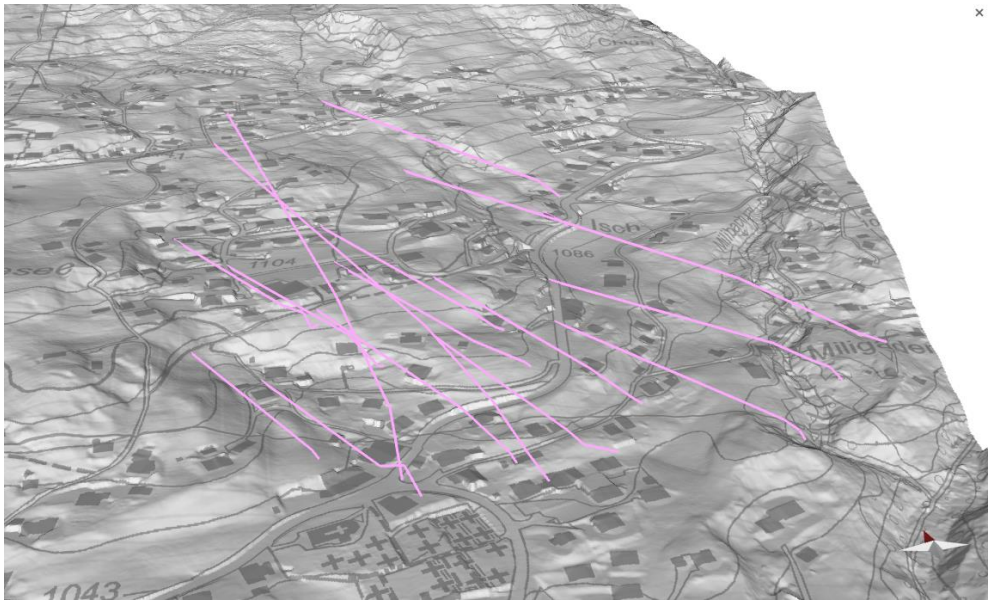


Abbildung 6: Darstellung von Verschiebungsmessungen als 3D-Polygone mit 100-facher Vergrösserung.

7.2.3 Inklinometermessungen

Bei Inklinometermessungen wird die Neigung eines in einer Bohrung eingebauten Inklinometer-Messrohres in 0.5 m Inkrementen eingemessen. Auf der Messstrecke lassen sich damit aktive Rutschhorizonte sehr genau lokalisieren. Die Auswertung beruht auf der Annahme, dass sich der Fusspunkt des Messrohres immer an derselben Stelle befindet. Rutschhorizonte, die unter dem Messrohr in grösserer Tiefe verlaufen, werden mit dieser Methode nicht identifiziert.

Eine Inklinometermesstelle ist meistens mit einem Bohrprofil, X-, Y-, Z-Koordinaten, Datum, Fotos und Text in Berichtform dokumentiert.

Die konventionelle Datenauswertung erfolgt in zwei vertikalen Ebenen, für die jeweils ein Polygon errechnet wird.

Ebenfalls standardmässig wird mit den Messdaten die Kopfverschiebung des Inklinometerrohres, gemessen 0.5 m unter Terrain, ermittelt und in einer Karte dargestellt (unten rechts in Abbildung 7). Der Vergleich der Kopfverschiebung mit geodätischen Verschiebungsmessungen erlaubt Rückschlüsse auf das Vorhandensein tieferliegender Rutschhorizonte.

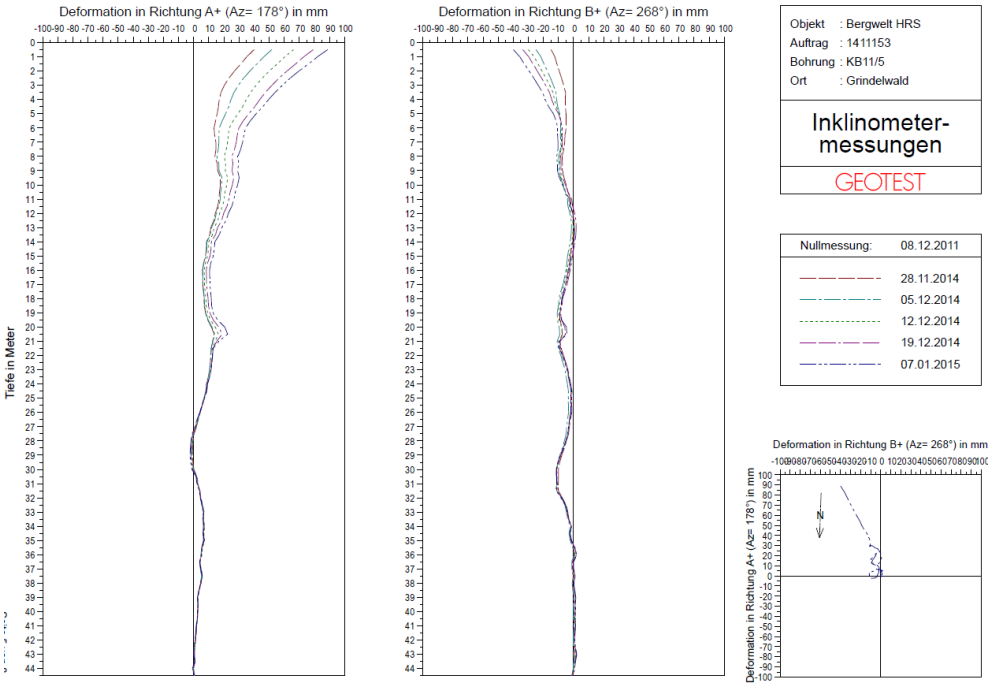


Abbildung 7: Auswertung Inklinometermessung im Messbericht [11].

Für eine Implementierung in ein BIM-Modell sehen wir die Möglichkeit, Inklinometer-Messdaten direkt als 3D-Polygone auszuwerten und abzulegen. Diese könnten dann mit geeigneter Skalierung 3D dargestellt werden:

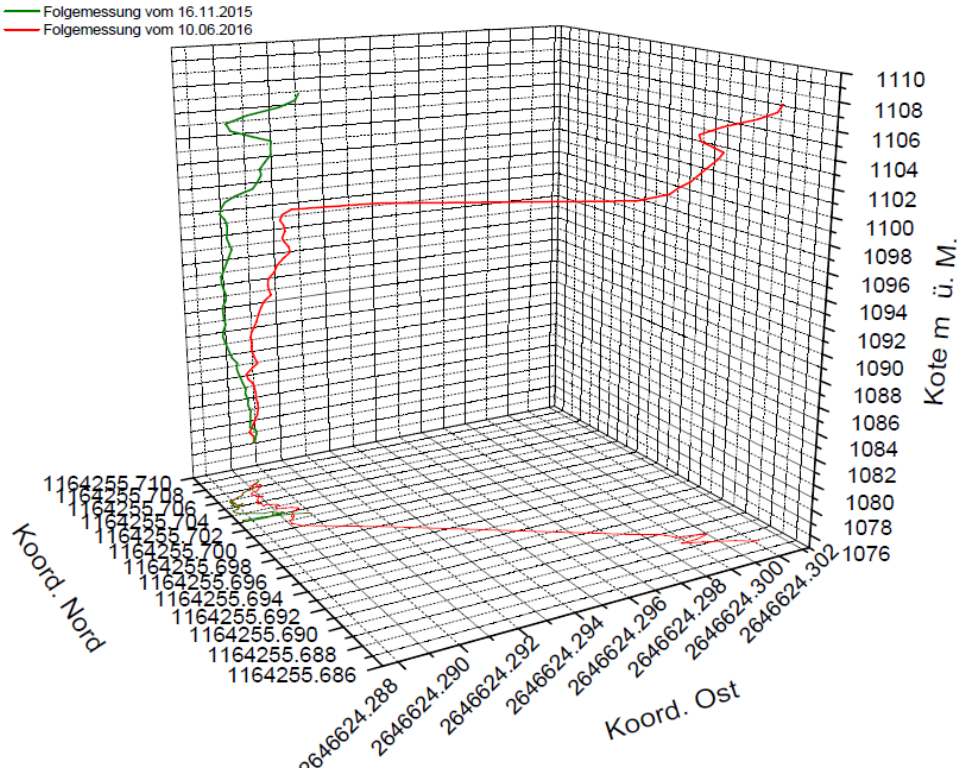


Abbildung 8: 3D-Darstellung von Verschiebungen in einem bestimmten Zeitintervall. Daten aus [12].

7.3 Interpretierte Daten

Nebst den bereits beschriebenen Kartendarstellungen, die ebenfalls interpretierte Daten enthalten können, sind Profilschnitte und geologische 3D-Modelle wichtige Elemente für das Prozessverständnis und weitergehende Interpretationen.

7.3.1 Profilschnitte

Profilschnitte sind modellhafte Darstellungen des Untergrundes in einer oder mehreren, meist vertikalen Schnittebenen. Sie können aus unterschiedlichsten Quellen stammen wie geologischen Grundlagen, Baugrunduntersuchungen oder spezifischen Sondier- und Geophysikkampagnen (Seismik, Geoelektrik, Georadar etc.). In den meisten Fällen sind diese als Bilddateien vorhanden. Zu einem Profilschnitt

gehört die Angabe der Datenquelle und die Profilspur in der Kartenebene, entlang der das Profil verläuft. Diese kann entweder eine Gerade oder ein Polygon sein.

Profilschnitte bilden die Basis für weitergehende 3D-Modellierungen. Zu diesem Zweck werden gewisse Elemente (im Beispiel Abbildung 9 etwa der Verlauf der Felsoberfläche) als 3D-Polygone digitalisiert. Dennoch ist das Originalbild von Wert, da es weitere Informationen (wie z. B. Fragezeichen) enthalten kann, die bei der Digitalisierung verloren gehen.

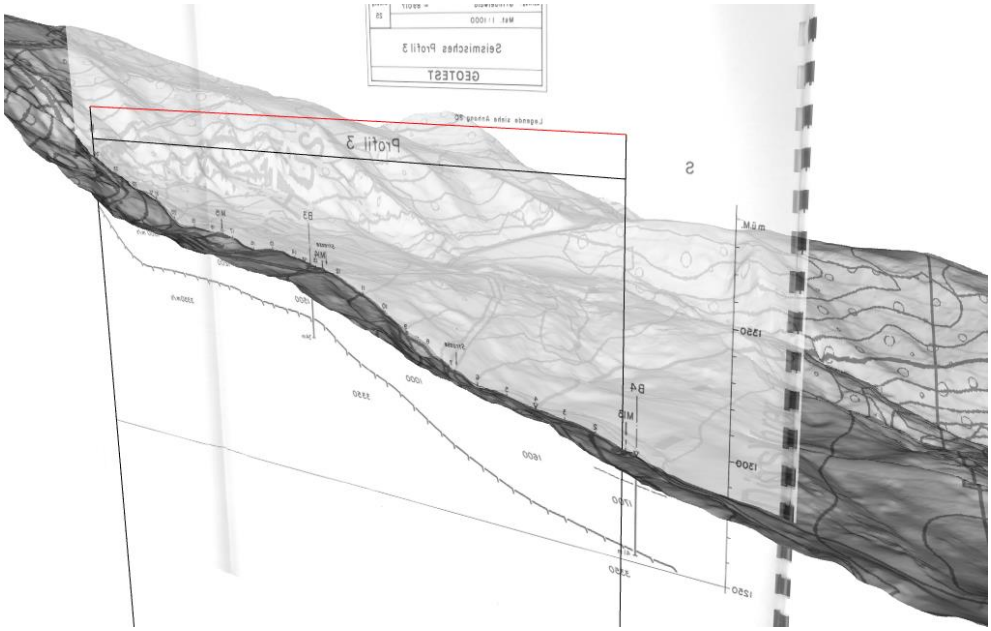


Abbildung 9: Profilschnitt aus einer seismischen Untersuchung mit interpretiertem Verlauf der Felsoberfläche.

7.3.2 3D-Flächen

Eine 3D-Modellierung stellt den letzten Schritt in der räumlichen Interpretation einer Rutschung dar. Von primärem Interesse ist dabei der Verlauf der Rutschfläche. Eine 3D-Modellierung erlaubt weitergehende kinematische Analysen und Abschätzungen von Kubaturen. Es können nebst der basalen Rutschfläche auch sekundäre Rutschflächen vorhanden sein. Für eine belastbare räumliche Modellierung muss die Rutschung ausreichend gut untersucht und bekannt sein, was in Rutschgebieten häufig nur lokal, bzw. lückenhaft der Fall ist.

3D-Oberflächen sind meshes in einem CAD-Format. Auch bei diesem Datentyp sollten die Quelle und das Datum als Mindestinformation ersichtlich sein.

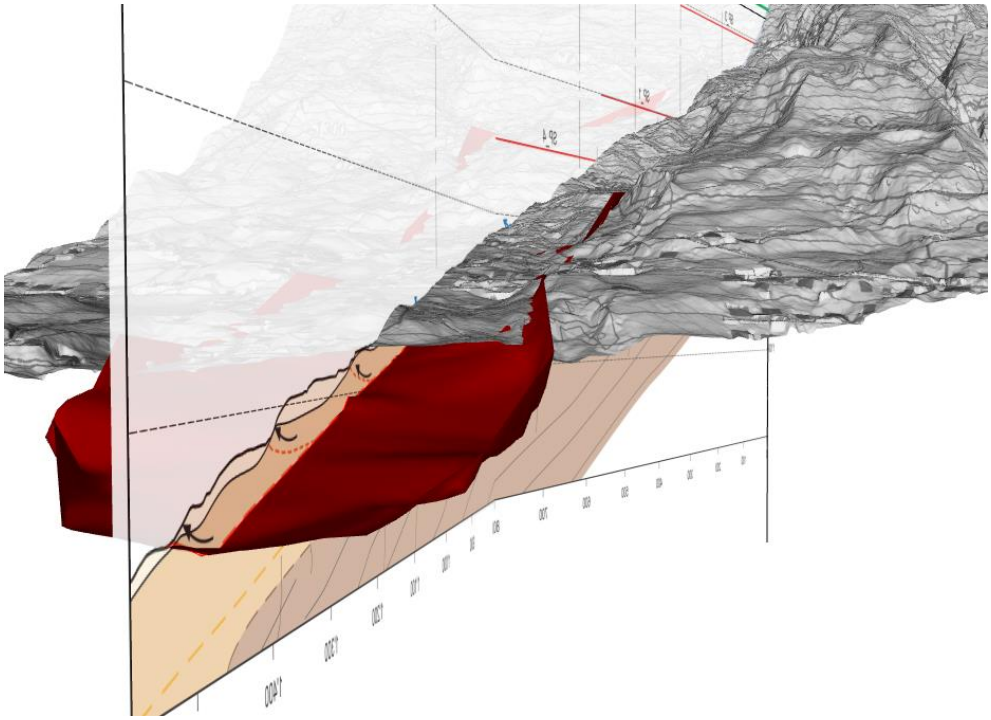


Abbildung 10: 3D-Modell der Rutschfläche der Chratzera-Rutschung (rot), hinterlegt mit einem geologischen Profil, das auf zwei Profilebenen verläuft. Die Darstellung ist um den Faktor 1.5 überhöht.

7.4 Gebäudebezogene Daten

Nebst den in den vorangehenden Kapiteln erörterten Daten, die sich primär auf den geologischen Untergrund, bzw. den Rutschkörper beziehen, könnte die Erhebung weiterer Daten mit direktem Bezug auf einzelne Gebäude sinnvoll sein. Damit wird eine chronologische Dokumentation von Schadensereignissen und Massnahmen während der Betriebs- und Unterhaltsphase eines Gebäudes möglich. Bis anhin werden solche Daten unseres Wissens bisher kaum je systematisch erfasst. Als Betreiber einer entsprechenden Datenbank könnte die kantonale Gebäudeversicherung agieren oder Daten zu Schäden werden ähnlich wie Naturgefahrenereignisse im StorMe Naturereigniskataster des Bundes abgelegt. Für Letzteres könnte ein auf gebäudebezogene Daten adaptiertes Formular entwickelt werden. Aus unserer Sicht könnte dies bei permanenten Rutschungen ein sinnvolles Vorgehen sein, da Reaktivierungen, welche häufig Gebäudeschäden nach sich ziehen, entsprechend dokumentiert würden. Für permanente Rutschungen werden ansonsten

aufgrund des kontinuierlichen Charakters des Prozesses kaum Ereignisse im StorMe Naturereigniskataster erfasst.

Im Folgenden werden einige aus geologischer Sicht sinnvolle Ideen für die Erhebung von gebäudebezogenen Daten ohne Anspruch auf Vollständigkeit beschrieben.

7.4.1 Gefährdungsbilder

Ein Gebäude kann auf unterschiedliche Arten von Rutschprozessen betroffen sein. In der «Wegleitung Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren» [13] wurde dies in acht Gefährdungsbildern konkretisiert.

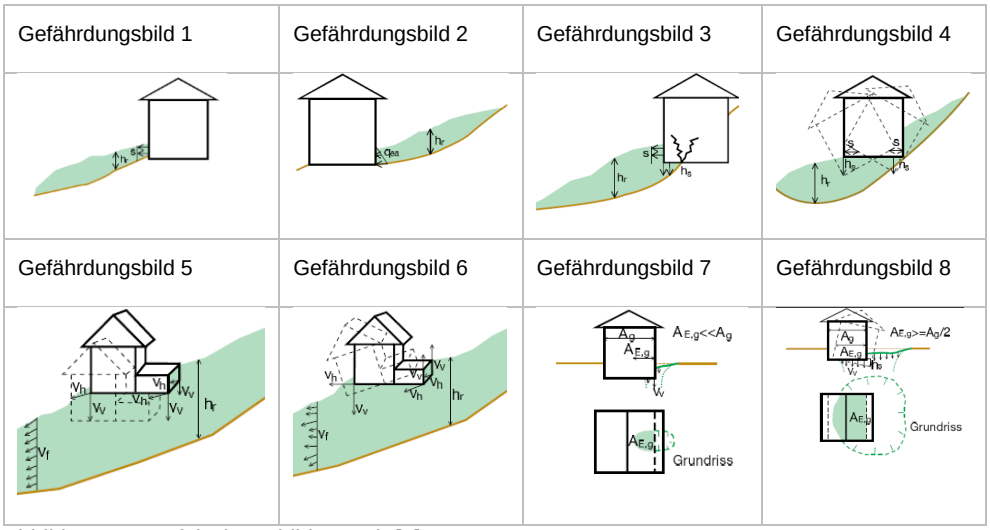


Abbildung 11: Gefährdungsbilder nach [1]

Abbildung 12: Beispiel Gefährdungsbild 6 «bim oberen Hüs», Rutschung Chratzera. Der rote Pfeil gibt die generelle

7.4.2 Ereignisbezogene Messungen

In den Gefährdungsbildern (Abbildung 11) sind jeweils massgebende Parameter definiert, die mit Angabe von Datum und Messwert erfasst werden können. Dazu sollte ergänzt werden, wo die Parameter räumlich erfasst wurden (z.B. «Gebäudeecke SE»).

7.4.3 Schadensbilder

Ein Ereignis sollte möglichst präzise, d.h. mit Angabe von Datum und Messwerten, dokumentiert werden können. Dazu gehören auch Fotodokumentationen und Rissaufnahmen.

7.4.4 Massnahmen

Ausgeführte Massnahmen zur Schadensbehebung oder -minderung mit möglichst genauer Beschreibung der ausgeführten Arbeiten (Bilder, wer, wann, wo, wieviel) und der Kosten. Hier sollte auch eine Beurteilung des Massnahmenerfolges enthalten sein.

8. Schlussbemerkungen

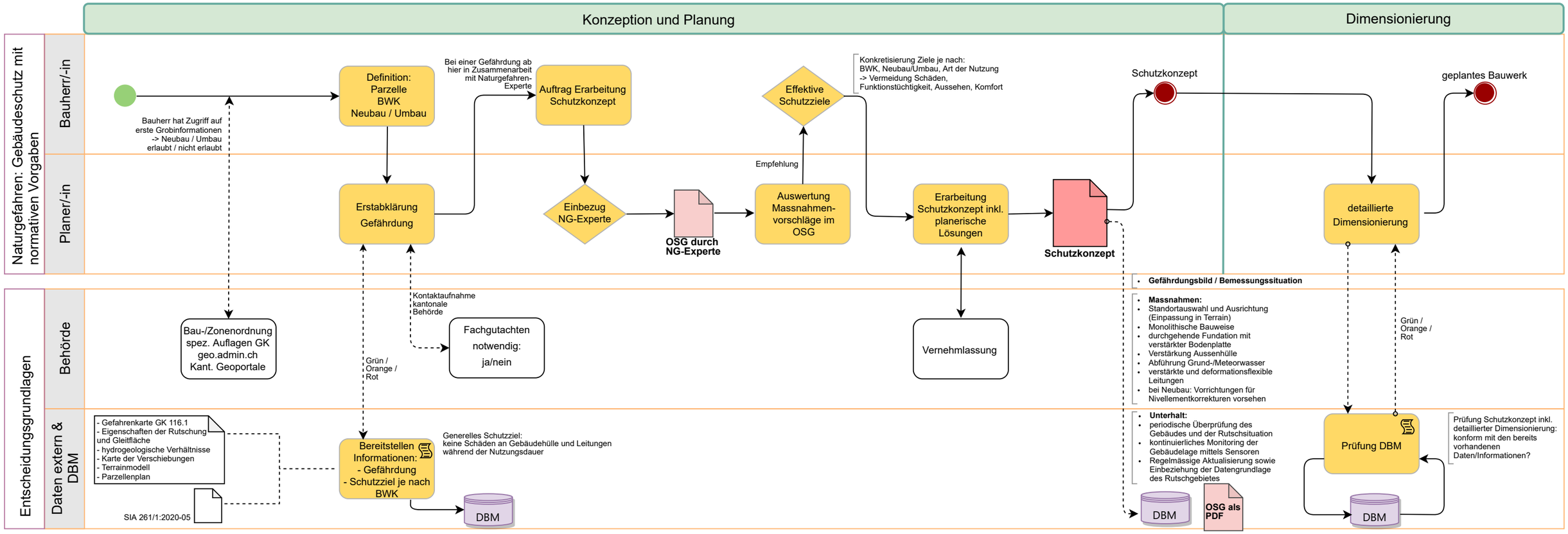
Die jährlichen Bewegungen von permanenten Rutschungen führen zu bedeutenden Schäden an Gebäuden und Infrastruktur. Mit dem digitalen Bauen werden die Möglichkeiten, bereits bei der Planung von Bauwerken die Rutschbewegung und die Gefährdung miteinzubeziehen, wesentlich verbessert. Damit kann das Ausmass an Schäden durch permanente Rutschungen minimiert werden.

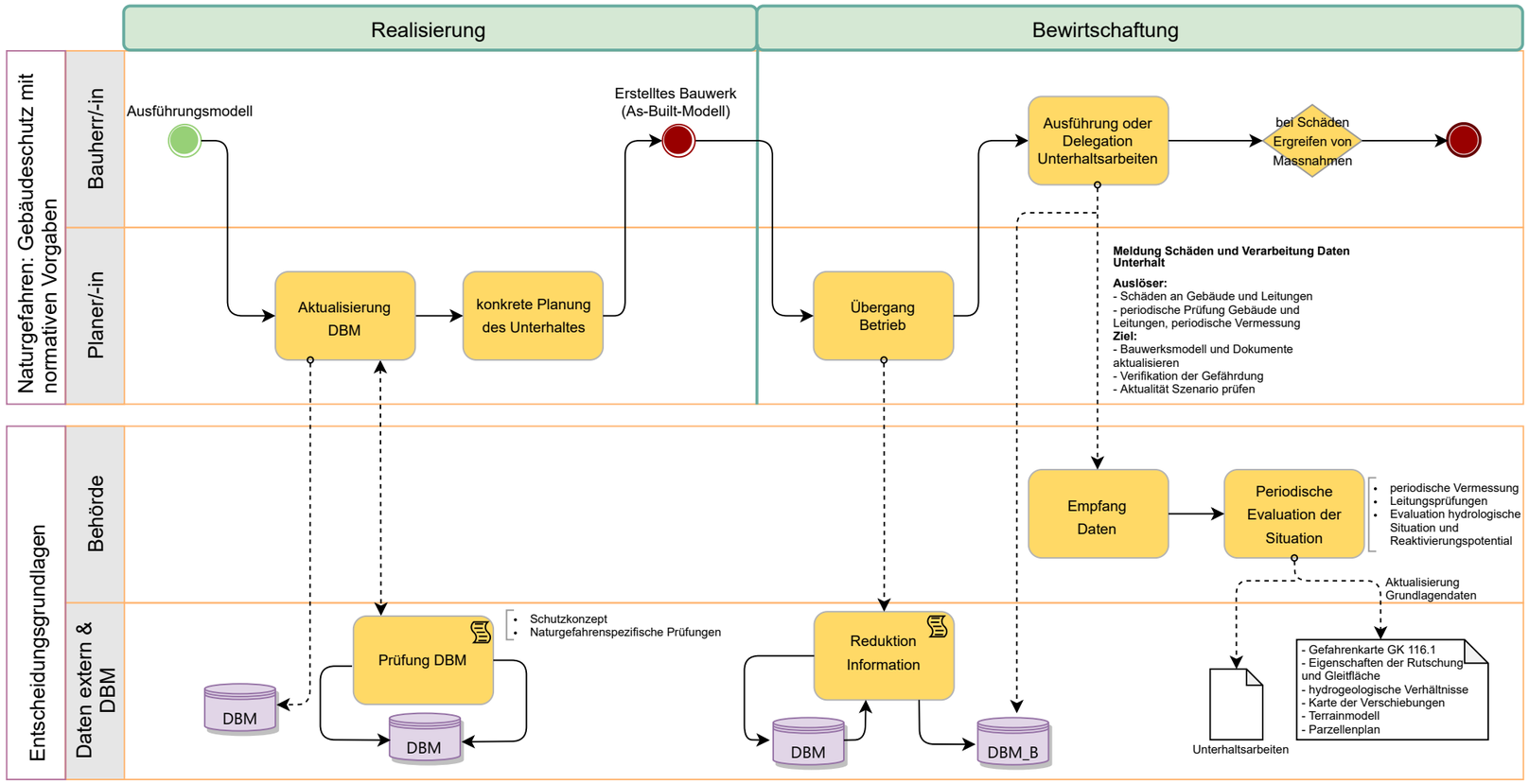
In diesem GEOL_BIM Projekt zum Anwendungsfall «Permanente Rutschung» haben wir eine Prozesskarte erstellt, welche den idealen Ablauf und die Kommunikation zwischen Bauherrschaft, Planer und Behörden während Konzeption, Realisierung und Bewirtschaftung aufzeigt. Das digitale Baumodell (DBM) wird beim Erreichen verschiedener Zwischenziele aktualisiert und auch die Grundlagendaten der Behörde sollen fortlaufend aktuellen Ereignissen und neuen Erkenntnissen angepasst werden. Für den Testfall/das Beispiel Grindelwald, haben wir zudem die Daten zusammengestellt, welche hier für die permanenten Rutschungen vorhanden sind und welche die Prozesse und die Gefährdung am besten wiedergeben. Wir haben die Form, in der sie vorliegen diskutiert und deren Nutzen evaluiert.

Als nächster Schritt soll nun das hier für das Beispiel Grindelwald erarbeitete Testmodell (vorhandene Daten, 3D-Modellierung Gleitfläche) in BIM implementiert werden.

Anhang 1:

Prozesskarte permanente Rutschung





Permanente Rutschung

Legende

- Start- / Zwischen- / Endziel
- Aufgabe
- Aufgabe automatisiert
- Gateway / Entscheidung
- Sequenzfluss
- Nachrichtenfluss

BWK: Bauwerksklasse / OSG: Objektschutzgutachten / DBM: Digitales Baumodell