
Bericht Nr. 1418139.11

Einwohnergemeinde Kandersteg

**Kandersteg "Spitze Stei", Auswertung
historische Orthophotos**

Kurzbericht

Zollikofen, 11. September 2020

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
Christian Kienholz	Ganzer Bericht
Ursina Baselgia	Manuelles Feature Tracking
Supervision	Visierte Inhalte
Kaspar Graf	Ganzer Bericht
Hinweise	

GEOTEST AG



Kaspar Graf



Christian Kienholz

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	3
2.	Vorhandene Unterlagen	4
3.	Methodik.....	5
4.	Daten	6
5.	Resultate	7
5.1	Periode 1 (2008–2014)	8
5.2	Periode 2 (2014–2017)	9
5.3	Periode 3 (2017–2020)	12
6.	Zusammenfassung und erste Interpretationen	16
7.	Abschliessende Bemerkungen.....	17

1. Einleitung

Im Auftrag des AWN, Abteilung Naturgefahren, hat die Flotron AG bestehende Swisstopo-Luftbilder im Rutschgebiet «Spitze Stei» reprozessiert. Die Arbeiten resultierten in neu berechneten Orthofotos und Geländemodellen für die Jahre 2008, 2011, 2013, 2014, 2017 und 2018. Im Vergleich zu den Originalprodukten weisen die reprozessierten Orthophotos und Geländemodelle eine höhere Lagegenauigkeit auf, womit die historische Entwicklung der Rutschung am «Spitze Stei» besser quantifiziert werden kann.

Für den vorliegenden Bericht wurden die Bewegungsbeträge im Gebiet «Spitze Stei» (Abbildung 1) basierend auf den reprozessierten Orthophotos neu berechnet. Zunächst wurden mittels automatischer Bildanalyse (Feature Tracking) flächige Geschwindigkeitsfelder für das ganze Gebiet erstellt. Danach wurde eine Qualitätsanalyse der Geschwindigkeitsfelder durchgeführt. Schliesslich wurden die Geschwindigkeitsfelder für 14 Zonen der Rutschung sowie im Bereich ausgewählter Messpunkte (24 Reflektoren, 12 GPS) ausgewertet (Abbildung 1). Dank der historischen Bewegungsraten an den Messstandorten können die Messzeitreihen der GPS und Reflektoren in einen mehrjährigen historischen Kontext gesetzt werden.

Der vorliegende Kurzbericht fokussiert auf die Präsentation der Methodik und Messresultate. Es werden auch erste, nicht abschliessende Interpretationen der

Daten vorgenommen. Detailliertere Interpretationen sind im Synthesebericht zu erwarten.

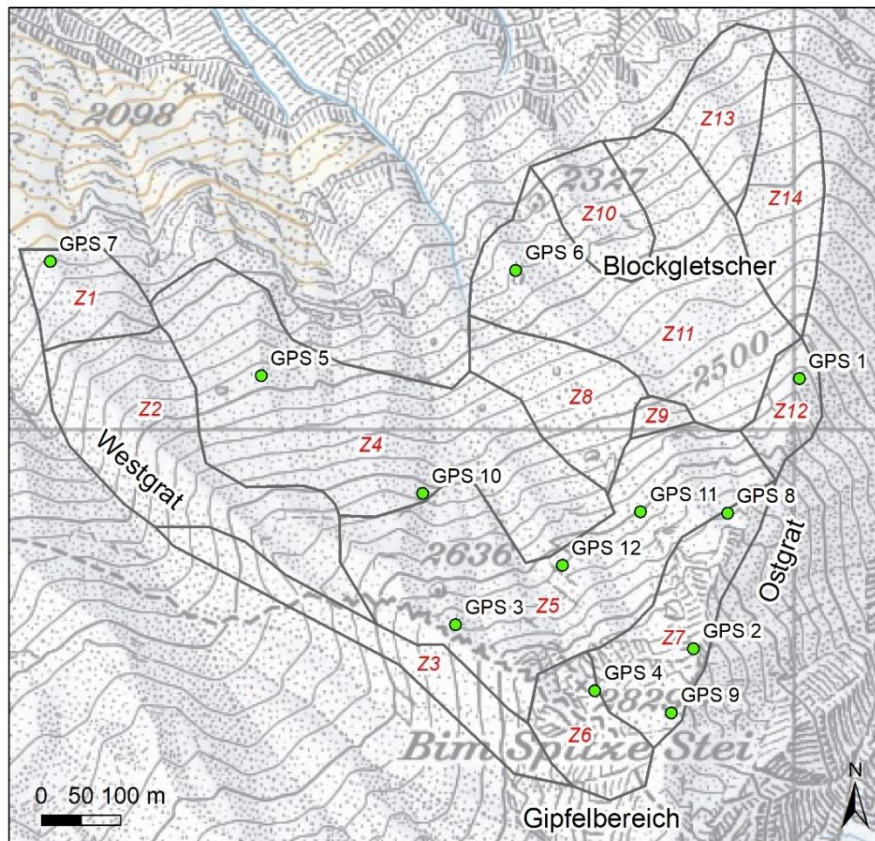


Abbildung 1: Das untersuchte Rutschgebiet beim «Spitze Stei». Die grauen Polygone grenzen 14 Zonen ab, für welche die Bewegungen separat ausgewertet wurden. Die grünen Punkte markieren die GPS-Standorte 1–12. Das nahe bei GPS 11 liegende GPS 13 wurde bei den Auswertungen nicht berücksichtigt.

2. Vorhandene Unterlagen

- [1] SLF (2020): Terrestrisches Laserscanning Spitze Stei, Kandersteg, Juli 2020, Bericht.
- [2] GEOTEST AG (2019): «Kandersteg, «Spitze Stei», Gefahrenmanagement, Ergebnisse und Auswertungen 2019», Bericht Nr. 1418139.2.
- [3] Gamma Remote Sensing (2019): Kurzdokumentation der Messkampagne „bim Spitze Stei“ mit dem GAMMA Portable Radar Interferometer (GPRI), Präsentation.
- [4] Gamma Remote Sensing (2019): InSAR Zeitserie 1991–2019 «Bim Spitze Stei», Präsentation.

3. Methodik

Beim Feature Tracking werden Bildausschnitte basierend auf den Grauwerten der einzelnen Bildpixel numerisch beschrieben. Diese Beschreibung erlaubt das automatische Detektieren von identischen Objekten in Vergleichsbildern und damit die Berechnung der Objektverschiebung. Feature Tracking kann auf Orthophotos, geschummerten Geländemodellen («Shaded Reliefs») oder 3D-Punktwolken durchgeführt werden. Tracking auf Orthophotos erzielte im vorliegenden Fall bessere Resultate als das Tracking auf den geschummerten Geländemodellen; dies, weil der Vorteil der höheren Auflösung/Detailgenauigkeit der Orthophotos über den Nachteil der variablen Belichtung überwog.

Die Fläche der für das Feature Tracking verglichenen Bildausschnitte beträgt 160 m² (40 x 40 m). Implausible Geschwindigkeitsvektoren wurden zunächst über einen Grenzwert im Signal-Rausch-Verhältnis (SRV, 1.05) gefiltert. In einem nächsten Schritt wurden die Vektorfelder visuell geprüft und noch vorhandene implausible Vektoren gelöscht. Es wurden keine Vektoren manuell erstellt.

Die automatisch erzeugten Bewegungsvektoren wurden einer Qualitätskontrolle unterzogen. Dazu wurde die Verschiebung prominenter Objekte (Blöcke, etc.) manuell aufgezeichnet und die entsprechenden Vektoren dann mit den automatisiert abgeleiteten Vektoren verglichen (Abbildung 2). Weil beim automatisierten Feature Tracking flächige Bildbereiche verglichen werden, entsprechen Richtung und Betrag des abgeleiteten Geschwindigkeitsfeldes immer einer leicht geglätteten Version des tatsächlichen Geschwindigkeitsfeldes. Trotz des Glättungseffektes liegt der Tracking-Fehler (Vektorbetrag) generell unter 0.3 m. Nicht berücksichtigt in diesem Fehler sind vermeintliche Verschiebungen aufgrund imperfekter Georeferenzierung der Orthophotos. Ohne unabhängige Kontrollpunkte kann dieser Fehler nur qualitativ abgeschätzt werden. Eine genaue Quantifizierung bzw. eine nachträgliche Korrektur ist aufgrund der räumlichen Variabilität des Fehlers nicht möglich.

Bei markanten Veränderungen der Objektoberfläche (z.B. infolge des Kollapses eines Felsturms, im Falle von grösseren Geröllablagerungen oder veränderter Schneebedeckung) wird das automatisierte Feature Tracking erschwert oder verunmöglicht, was zu Lücken in den Vektorfeldern führt. Bei solch starken Veränderungen der Geländeoberfläche ist manuelles/visuelles Tracking i.d.R. auch nicht mehr zuverlässig möglich.

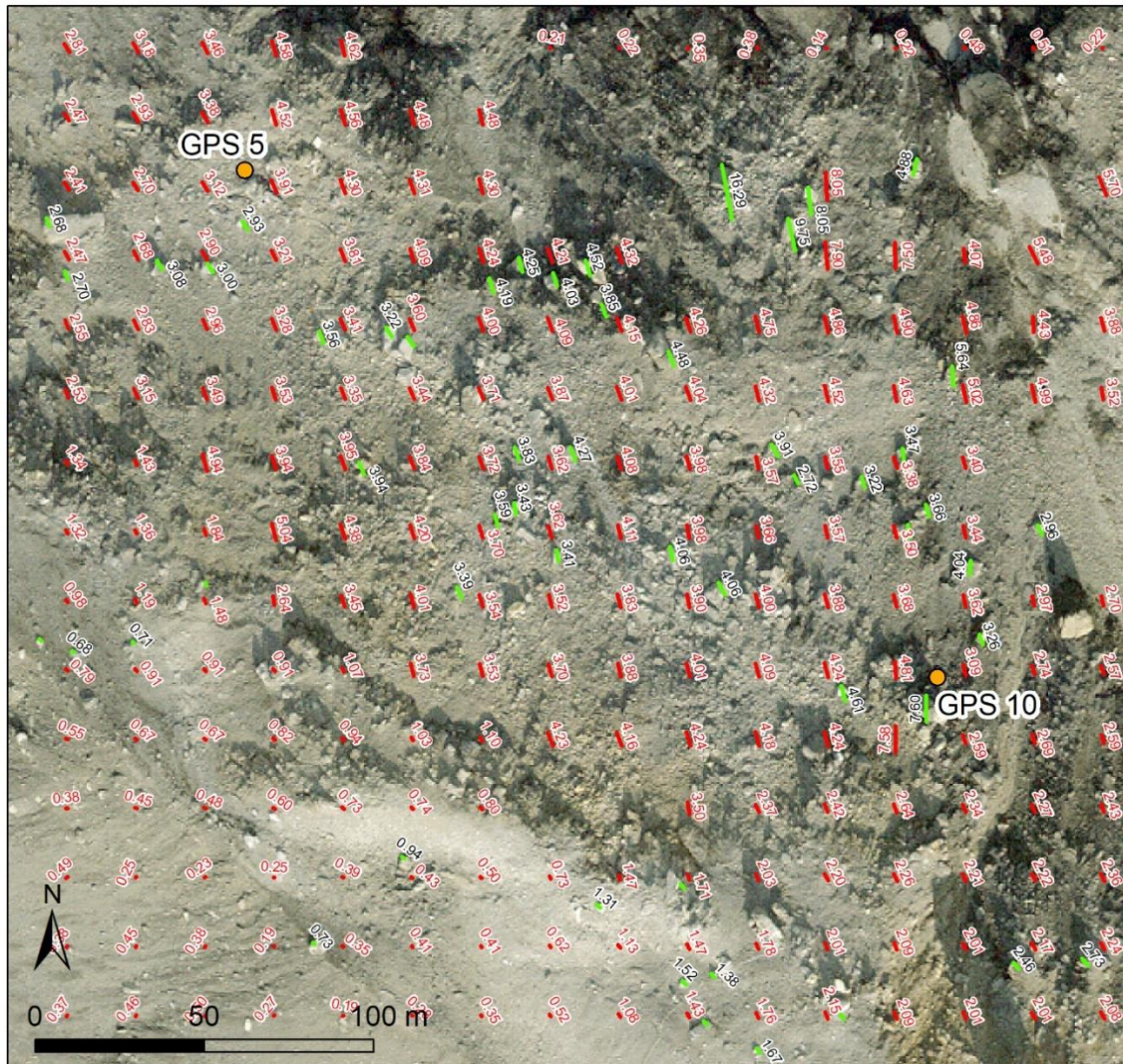


Abbildung 2: Im Bereich der Westflanke automatisch (rot) bzw. manuell (grün) bestimmte Bewegungsvektoren für die Periode 2014–2017. Die Bewegungsbeträge sind neben den Vektoren beschriftet. Das Orthophoto stammt aus dem Jahr 2017.

4. Daten

Tabelle 1 beschreibt die ausgewerteten Orthophotos. Die präsentierten Resultate fokussieren auf die Perioden 2008–2014 (1. Periode, 6 Jahre), 2014–2017 (2. Periode, 3 Jahre) und 2017–2020 (3. Periode, 3 Jahre). Aufgrund der Schneebedeckung bzw. Verzerrungen im Gipfelbereich wurden die Fotos von 2011 und 2013 nicht für die finalen Analysen eingesetzt. Beim Orthophoto des Jahres 2018 war

das Signal-Rausch-Verhältnis¹ aufgrund des Schattenwurfes und der kurzen Vergleichsperiode 2017–2018 ungünstig, weshalb die Resultate über die längere Periode 2017 bis 2020 präsentiert werden.

Tabelle 1: Übersicht Orthophotos. Die Farbcodierung in der ersten Spalte zeigt, ob das Orthophoto für die präsentierten Geschwindigkeitsfelder genutzt wurde (blau) oder nicht (rot). Das Orthophoto von 2020 wurde am 27. August mit einer Vermessungsdrohne aufgenommen.

Jahr	Datum	Räumliche Auflösung (m)	Licht- und Schneeverhältnisse, Verzerrungen
2008	24. August 2008	0.50	Gute Lichtverhältnisse, schneefrei
2011	17. Oktober 2011	0.50	Ganze Flanke schneebedeckt
2013	21. August 2013	0.50	Verzerrungen im Gipfelbereich
2014	28. August 2014	0.50	Ausgeprägte Schatten im Gipfelbereich, schneefrei
2017	08. September 2017	0.25	Gute Lichtverhältnisse, schneefrei
2018	27. September 2018	0.25	Ausgeprägter Schattenwurf, schneefrei
2020	27. August 2020	0.10	Gute Lichtverhältnisse, schneefrei

5. Resultate

Um die Beschreibung der Bewegungen zu vereinfachen, wurde der Perimeter der Rutschung in 14 Sektoren gegliedert. Innerhalb der Sektoren sind die Geschwindigkeiten und deren Entwicklung seit 2008 relativ einheitlich. Die Einteilung der Sektoren basiert auf jener vorangegangener Auswertungen (z.B. [1]), wurde aber basierend auf den vorliegenden Geschwindigkeitsfeldern feiner gegliedert.

Abbildung A1.1 in Anhang 1 zeigt die mittleren Geschwindigkeiten im Bereich der Sektoren für die drei Perioden 2008–2014, 2014–2017 und 2017–2020. Die

¹ Das Signal-Rausch-Verhältnis (SRV) beschreibt, wie gross das Signal (hier die Bewegung der Rutschung) relativ zum allgemeinen Rauschen des Geschwindigkeitsfeldes ist. Das Rauschen kann durch mehrere Faktoren verursacht werden (u.a. imperfekte Koregistrierung der Daten, Fehler beim Tracking aufgrund des Schattenwurfes, etc.). Je grösser die Zeitdifferenz zwischen den verglichenen Photopaaren, desto vorteilhafter das SRV, da die tatsächlichen (systematischen) Bewegungen zunehmen, während das (teilweise zufällige) Rauschen konstant bleibt.

Abbildungen A1.2–A1.4 zeigen die mittleren Geschwindigkeiten im Bereich der 12 GPS und der 24 Reflektoren. Bei den GPS und Reflektoren wurden die Geschwindigkeiten in einem Umkreis von 25 m gemittelt.

Die von den Orthophotos abgeleiteten Verschiebungen entsprechen den horizontalen (2D) Bewegungsbeträgen. Finden die Verschiebungen entlang einer geneigten Fläche statt, dann übersteigen die tatsächlichen Verschiebungen die gemessenen Bewegungen. Im Falle einer 35 Grad geneigten Fläche sind die tatsächlichen Geschwindigkeiten rund 22% höher als die gemessenen Geschwindigkeiten.

5.1 Periode 1 (2008–2014)

Anhang 2 enthält eine grossmassstäbliche Karte des Bewegungsfeldes für die Periode 2008–2014. Die normalisierten Bewegungsraten (m/Jahr) sind in Abbildung 3 dargestellt.

Im Bereich des Westgrates (Zonen 1–3; GPS 7; Refl. 52, 63) werden Durchschnittsgeschwindigkeiten in der Grössenordnung 0.1–0.2 m/Jahr gemessen. Im Bereich der Westflanke (Zone 4; GPS 5, 10; Refl. 21, 22, 53, 76) wird eine Durchschnittsgeschwindigkeit von über 0.6 m/Jahr erreicht; die Maximalgeschwindigkeit in der Zone liegt bei rund 1.3 m/Jahr.

Im Bereich der Zone 5 (unterer Teil Felsrutschung) sowie der Zonen 6 und 7 (oberer Teil Felsrutschung) werden mittlere Geschwindigkeiten um 0.3 (Zonen 5, 6; GPS 3, 4, 11, 12; Refl. 13, 16, 54, 72, 77, 78, 79) bzw. 0.2 m/Jahr (Zone 7; GPS 2, 8, 9; Refl. 14, 17) erreicht. In Übergangsbereich Zentrum–Ostflanke (Zone 8; Refl. 73, 75) liegen die Bewegungen im Bereich 0.6 m/Jahr; in Zone 9 unter 0.2 m/Jahr.

Beim Blockgletscher auf der Ostseite der Flanke (Zone 11; GPS 6; Refl. 74) liegen die Bewegungen in der Grössenordnung 0.5–0.6 m/Jahr. Im unteren, zentralen Bereich des Blockgletschers (Zone 10; Refl. 41) sind die Geschwindigkeiten am höchsten (durchschnittlich 1 m/Jahr), mit Maximalgeschwindigkeiten von bis zu 1.5 m/Jahr. Bewegungen von ca. 0.25–0.5 m/Jahr reichen bis in den nordöstlichen Bereich der Flanke (Zone 13). Die Zonen 12 und 14 (Refl. 31, 92) weisen geringe Bewegungen (0.1–0.2 m/Jahr) auf.

In mehreren stabilen Gebieten ausserhalb der Rutschung erreichen die Bewegungsraten Werte um 0.1 m/Jahr, typischerweise in Richtung NE (vgl. Vektorfeld in Anhang 2). Neben einer nicht perfekten Koregistrierung der verglichenen Orthophotos könnten diese vermeintlichen Verschiebungen auf den sehr unterschiedlichen Schattenwurf der verglichenen Bilder zurückzuführen sein. Wird neben diesem

Fehler noch der oben beschriebene Trackingfehler berücksichtigt, so müssen die Bewegungsraten ca. 0.15 m/Jahr betragen, um Signifikanz zu erreichen.

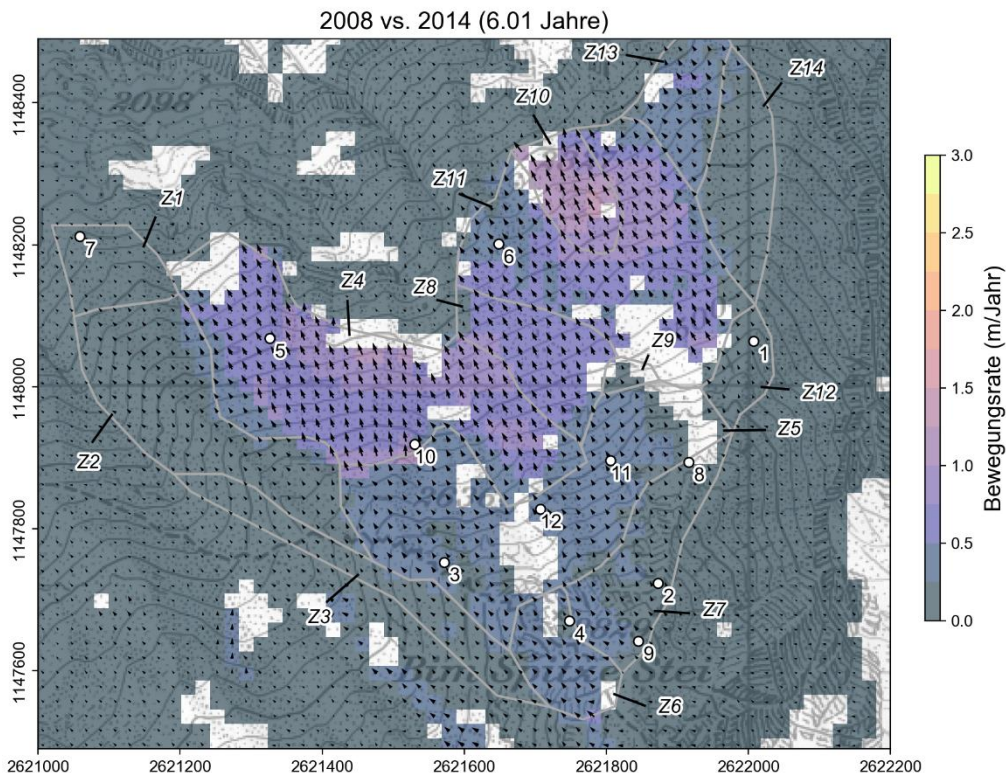


Abbildung 3: Bewegungsrichtung (Vektorfeld) und Bewegungsrate (m/Jahr, farbcodiert) für die Periode 2008–2014. Im Bereich der weissen Zellen liegen keine Messungen vor. Die 12 GPS-Standorte und die 14 Zonen der Rutschung sind mit weissen Punkten bzw. grauen Linien markiert.

5.2 Periode 2 (2014–2017)

Anhang 3 enthält eine grossmassstäbliche Karte des Bewegungsfeldes für die Periode 2014–2017. Die normalisierten Bewegungsraten (m/Jahr) sind in Abbildung 4 dargestellt. Abbildung 5 und Abbildung 6 zeigen die absoluten und relativen Geschwindigkeitsveränderungen im Vergleich zur Periode 1. Um Ausreisser zu vermeiden, wurde die relative Beschleunigung nur dort berechnet, wo beide Geschwindigkeitsfelder Werte von über 0.1 m/Jahr erreichen.

Im Bereich des Westgrates (Zonen 1–3; GPS 7; Refl. 52, 63) sind die Bewegungsraten sehr ähnlich wie in der Vorperiode. Im Bereich der Westflanke (Zone 4; GPS 5, 10; Refl. 21, 22, 53, 76) überschreiten die Geschwindigkeiten neu 1 m/Jahr, was einer Geschwindigkeitszunahme um Faktor 1.5 bis 2.0 entspricht. In der östlich

angrenzenden Zone 8 (Refl. 73, 75), bleiben die Geschwindigkeiten gleich bzw. nehmen leicht zu, aber nicht im Ausmass wie in Zone 4.

Im Felsbereich der Rutschung (Zonen 5, 6, 7; GPS 2, 3, 4, 8, 9, 11, 12; Refl. 13, 14, 16, 17, 54, 72, 77, 78, 79) ist die relative Beschleunigung mit Faktor 2.0–2.5 besonders markant. Während der Periode 2014–2017 erreichen die Geschwindigkeiten in den Zonen 5–7 verbreitet Werte von über 0.6 m/Jahr, während die Geschwindigkeiten in der Vorperiode noch um 0.2–0.3 m/Jahr lagen.

In Zone 9 ist die gemessene Geschwindigkeit in Periode 2 minimal (0.06 m/Jahr). Im Vergleich zur Vorperiode entspricht dies einer vermeintlichen Verlangsamung. Da die Geschwindigkeiten in der Vorperiode durch Koregistrierungsfehler beeinträchtigt sind, entspricht die Verlangsamung sehr wahrscheinlich einem Artefakt.

Im östlichen Bereich der Rutschung beim Blockgletscher (Zone 11; GPS 6; Refl. 74) sind die Bewegungen im Vergleich zur Vorperiode leicht (nicht signifikant) abnehmend. Im unteren Bereich des Blockgletschers (Zone 10) ist hingegen eine signifikante Beschleunigung messbar. Hier werden in Periode 2 Durchschnittsgeschwindigkeiten von mehr als 1.5 m/Jahr erreicht, was einer Beschleunigung um Faktor 1.5 bis 2.0 entspricht.

Im Bereich der Zone 13 ist eine deutliche Verlangsamung der Bewegungen feststellbar, sodass die Bewegungen in Periode 2 nur noch bei rund 0.1 m/Jahr liegen. Die gemessene Verlangsamung dürfte eine tatsächliche Verlangsamung des betreffenden peripheren Rutschkompartimentes widerspiegeln.

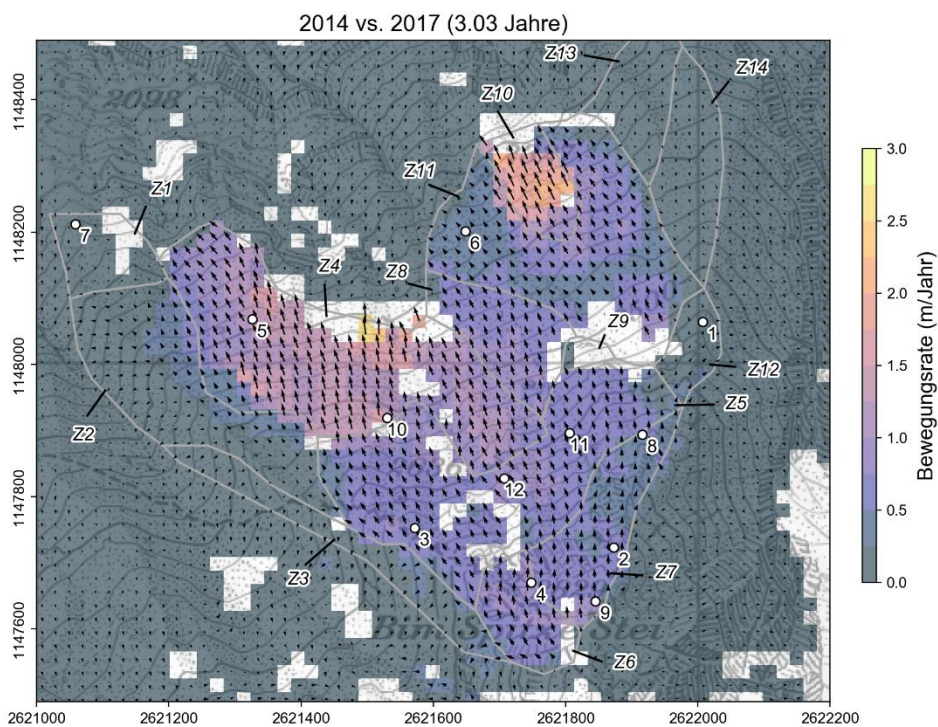


Abbildung 4: Bewegungsrichtung (Vektorfeld) und Bewegungsrate (m/Jahr, farbcodiert) für die Periode 2014–2017.

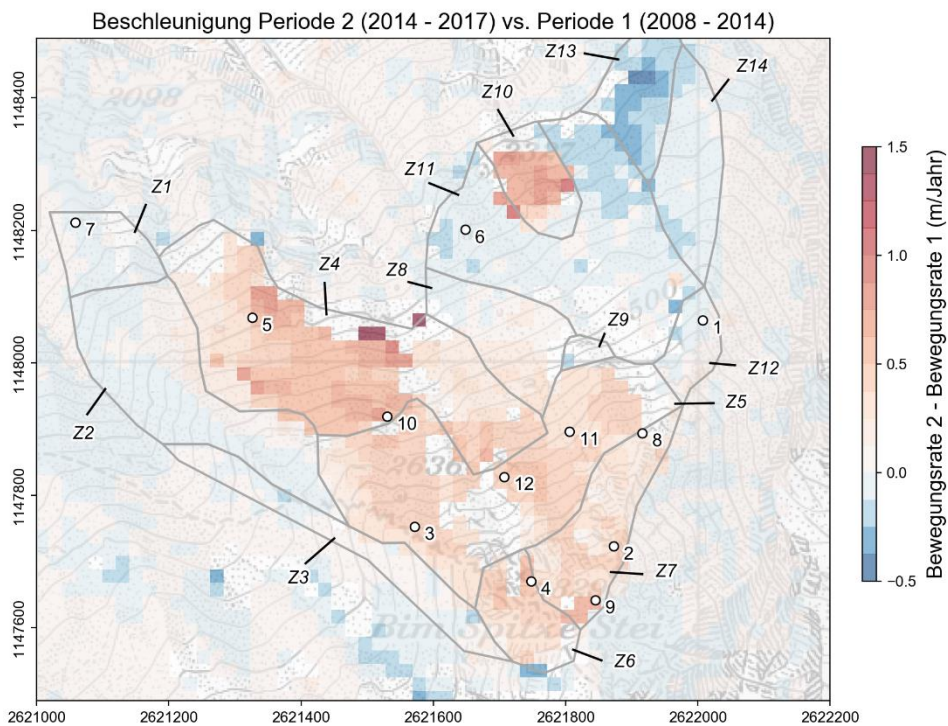


Abbildung 5: Absolute Beschleunigung Periode 2 (2014–2017) vs. Periode 1 (2008–2014).

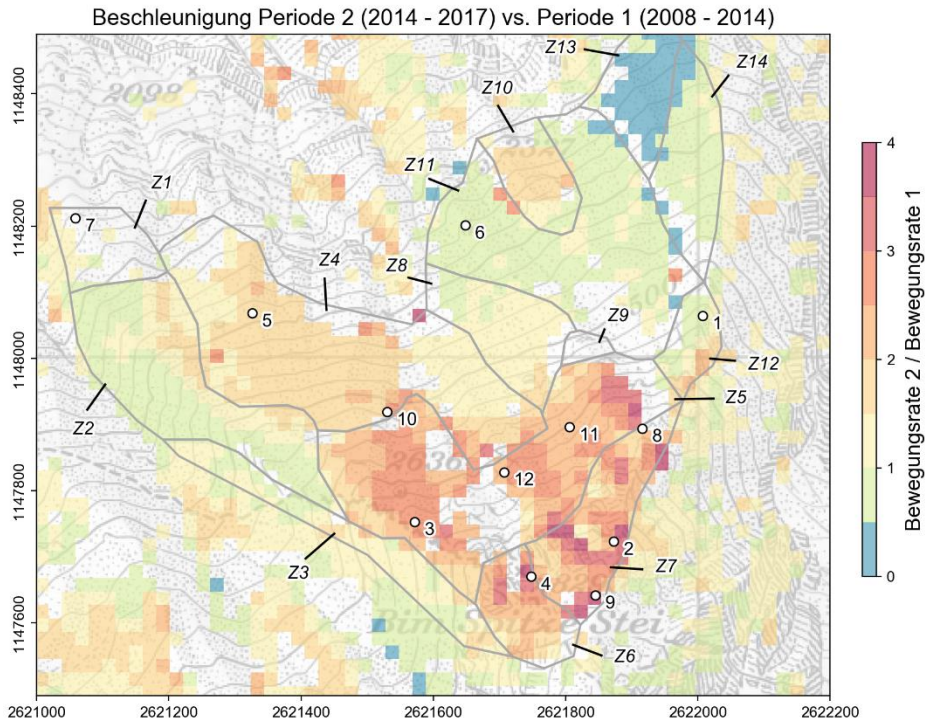


Abbildung 6: Relative Beschleunigung Periode 2 (2014–2017) vs. Periode 1 (2008–2014).

5.3 Periode 3 (2017–2020)

Anhang 4 enthält eine grossmasstäbliche Karte des Bewegungsfeldes für die Periode 2017–2020. Die normalisierten Bewegungsraten (m/Jahr) sind in Abbildung 7 dargestellt. Abbildung 8 und Abbildung 9 zeigen die absolute bzw. relative Geschwindigkeitsveränderung im Vergleich zur Periode 2.

Im Vergleich zur Periode 2 gibt es eine starke, nahezu flächendeckende Beschleunigung. Besonders starke relative Beschleunigungen (bis zu Faktor 4) finden im unteren Bereich des Westgrates (Zonen 1 und 2, auf 0.4 bzw. 0.7 m/Jahr) und des Ostgrates (Zone 12, auf 0.65 m/Jahr) statt. In beiden Bereichen waren die Geschwindigkeiten in den Vorperioden noch sehr gering. Die stärkste absolute Beschleunigung erfolgt im Bereich der Westflanke (Zone 4; GPS 5, 10; Refl. 21, 22, 53, 76). Im Bereich werden Geschwindigkeiten von bis zu 3 m/Jahr (Durchschnitt 2 m/Jahr) erreicht, was einer Verdoppelung im Vergleich zur Vorperiode entspricht.

In den Zonen 5–7 erreichen die Geschwindigkeiten 1.2–1.7 m/Jahr. Dies entspricht einer Beschleunigung um Faktor 2–2.5. Die Beschleunigung fällt im unmittelbaren Gipfelbereich (Zone 6) etwas stärker aus als in der daneben liegenden Zone 7.

In Zone 8 verdoppeln sich die Geschwindigkeiten ebenfalls, von ca. 0.7 m/Jahr auf 1.4 m/Jahr. Die Zone bildet den Übergang zwischen Zone 4 (starke Beschleunigung) und der Blockgletscherzone 11, in welcher die Beschleunigung unterdurchschnittlich (ca. Faktor 1.5) ist. Im unteren Bereich des Blockgletschers (Zone 10) bleibt die Geschwindigkeit auf hohem Niveau (durchschnittlich 1.7 m/Jahr) konstant. Keine signifikanten Bewegungen gibt es in Zone 9.

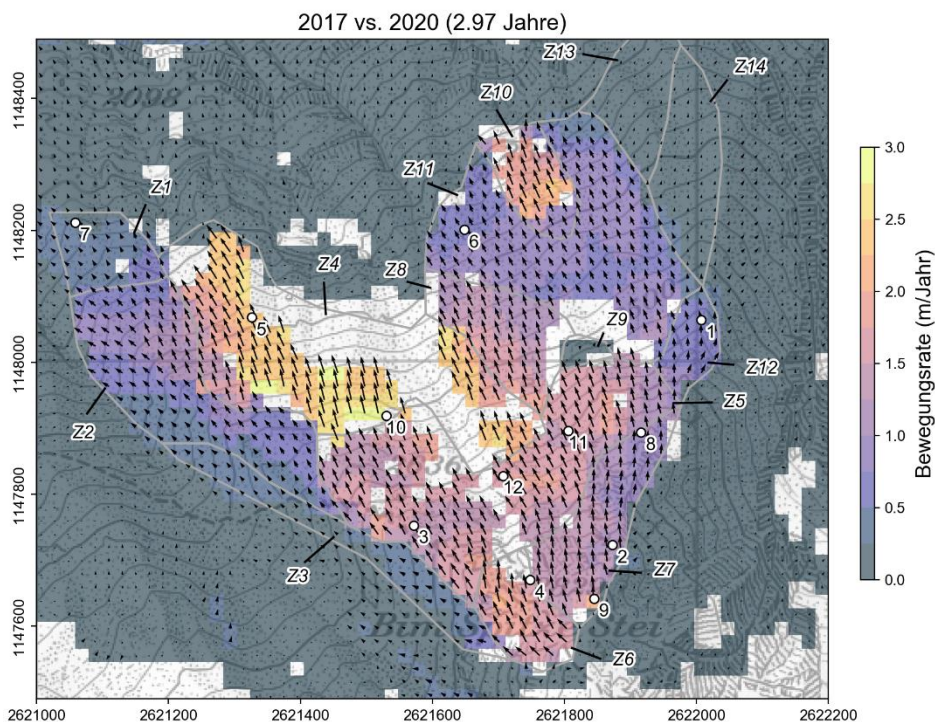


Abbildung 7: Bewegungsrichtung (Vektorfeld) und Bewegungsrate (m/Jahr, farbcodiert) für die Periode 2017–2020.

Für die Periode 2017–2020 wurde neben dem Bewegungsbetrag auch die Bewegungsrichtung des Vektorfeldes bestimmt (Abbildung 10). Die Bewegungsrichtung liegt generell im Sektor NW–NNW; in den Zonen 7 und 12 teilweise im Sektor NNE bzw. NE. Im Bereich der Zone 6 (Gipfelzone) ist eine Rotation des Vektorfeldes im Uhrzeigersinn erkennbar (von NW bis N).

Zwischen den Zonen 6 und 7 sowie der darunterliegenden Zone 5 gibt es einen relativ markanten Übergang in der Bewegungsrichtung von ca. N nach NNW. Die divergierenden Bewegungsrichtungen sind auch in den im Jahr 2020 gemessenen GPS-Trajektorien sichtbar (Abbildung 11). Generell zeigt der Vergleich der Vektorrichtungen mit den GPS-Trajektorien eine sehr gute Übereinstimmung. GPS 10 mit der Trajektorie in Richtung NNE-Richtung bildet eine Ausnahme, die auf eine lokale Blockbewegung zurückzuführen sein könnte.

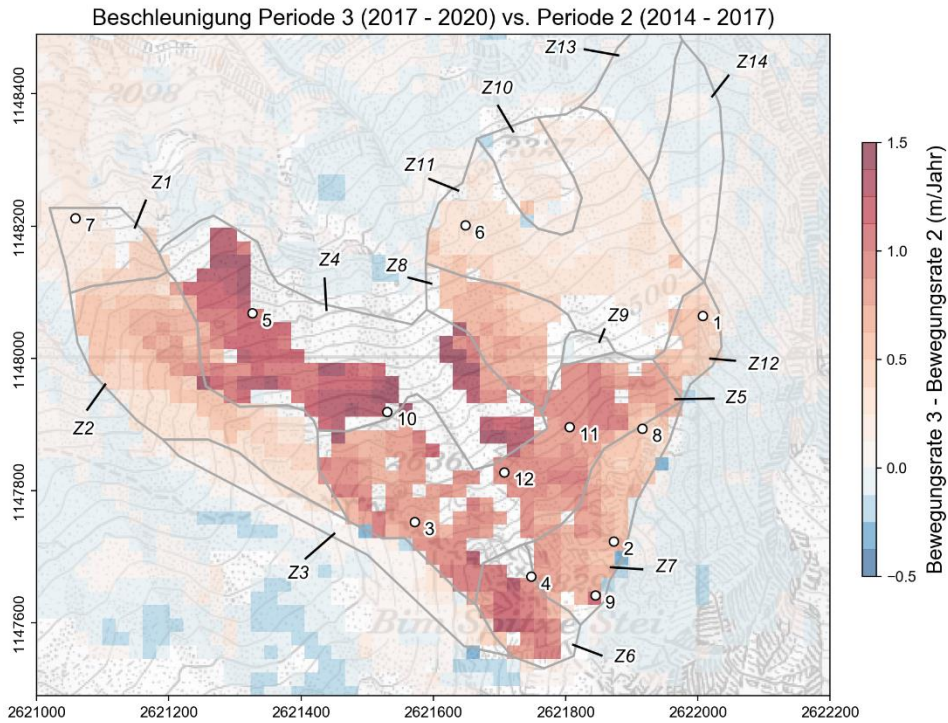


Abbildung 8: Absolute Beschleunigung Periode 3 (2017–2020) vs. Periode 2 (2014–2017).

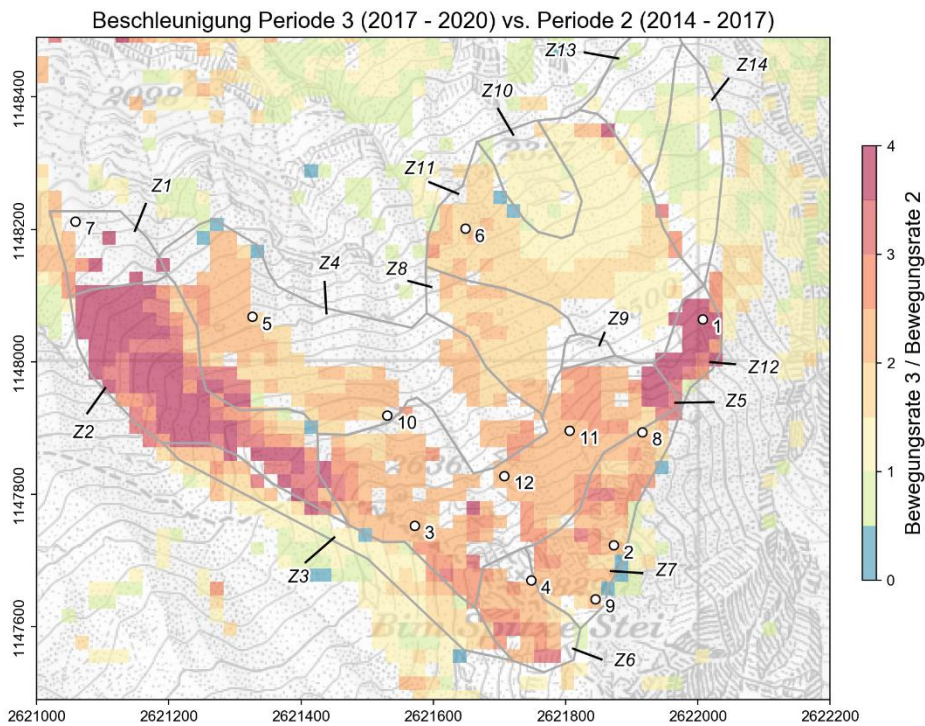


Abbildung 9: Relative Beschleunigung Periode 3 (2017–2020) vs. Periode 2 (2014–2017).

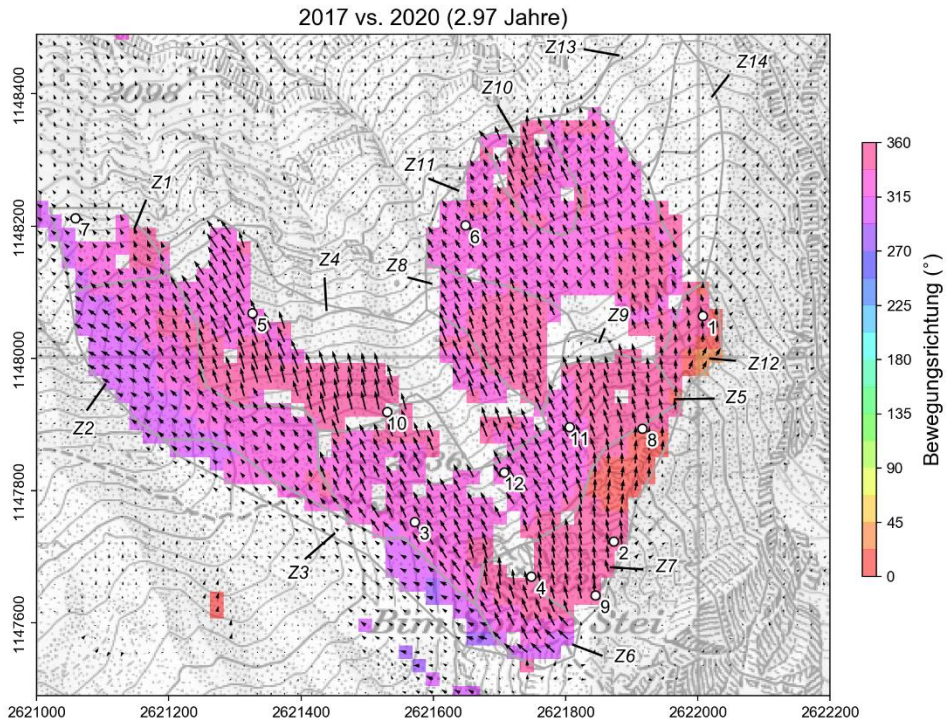


Abbildung 10: Bewegungsrichtung während der Periode 2017–2020. Die Richtung ist nur für Bewegungsraten > 0.3 m/Jahr berechnet.

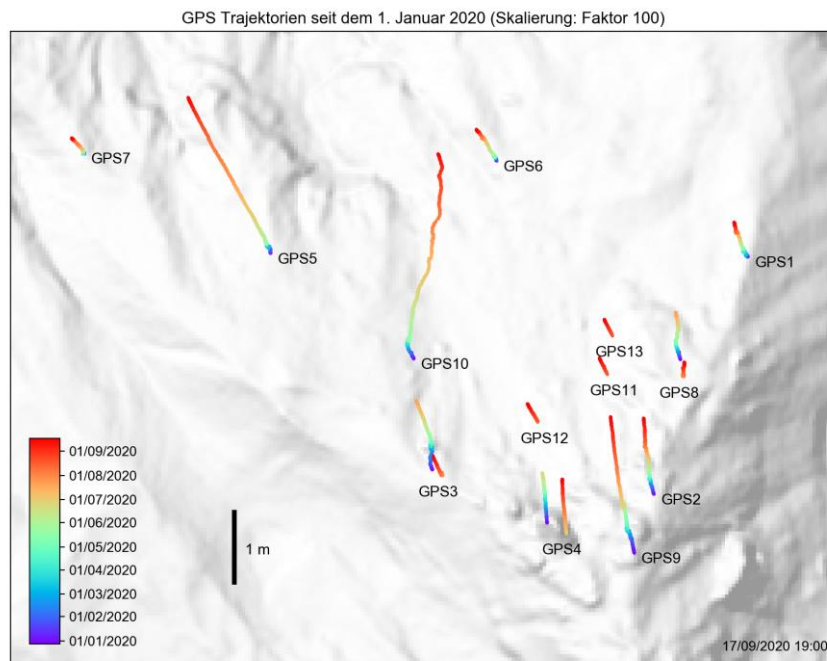


Abbildung 11: 2D-GPS Trajektorien gemessen seit dem 1. Januar 2020. Wegen Neupositionierungen sind die Trajektorien der GPS 3, 4 und 8 unterbrochen. Die GPS 11–13 wurden erst im Sommer 2020 installiert.

6. Zusammenfassung und erste Interpretationen

Mit der Auswertung der historischen Orthofotos konnte eine starke und flächendeckende Beschleunigung im Bereich des «Spitze Steis» dokumentiert werden. In Periode 1 (2008 bis 2014) liegen die 2D-Bewegungsraten im unteren Bereich der Rutschung (Zonen 4, 8, 11) noch in einem relativ «langsamen» Bereich (ca. 0.6 m/Jahr); von West nach Ost sind die Geschwindigkeiten zudem vergleichsweise einheitlich. Die in den Perioden 2 und 3 (2014–2017 bzw. 2017–2020) im unteren Rutschungsbereich stattfindenden Beschleunigungen sind in der Westflanke (Zone 4) besonders stark. Im Osten sind die Geschwindigkeiten nur leicht beschleunigend, was innerhalb der Beobachtungsperiode zu einem West-Ost-Geschwindigkeitsgradienten führt. Die zwischen den Zonen 4 und 11 liegende Zone 8 bildet den Übergangsbereich, in dem besonders hohe Scherspannungen auftreten dürften. Die bei Reflektor 75 gemessenen abrupten Beschleunigungen ([2]) könnten mit einer Umlagerung dieser Scherspannungen im Zusammenhang stehen.

Im Bereich der Felsrutschung (Zone 5–7) liegen die 2D-Bewegungsraten in Periode 1 noch in der Größenordnung 0.2–0.3 m/Jahr. In Periode 2 findet wie in der darunterliegenden Zonen 4 und 8 ebenfalls eine starke Beschleunigung statt; prozentual sind die Beschleunigungen mit Faktor 2–3 sogar stärker als in der Westflanke. In Periode 3 findet eine weitere starke Beschleunigung statt (Faktor 2–2.5), womit die Bewegungsraten in den Zonen 5–7 rund 1.2–1.7 m/Jahr erreichen. Bei den 2D-Verschiebungsbeträgen und Verschiebungsrichtungen gibt es zwischen Zone 5 und den darüberliegenden Zonen 6 und 7 ab Periode 2 einen relativ scharfen Übergang. Die Messungen dürften damit frühere Erkenntnisse bestätigen, wonach es sich bei der Felsrutschung um eine Rotationsrutschung mit einer nach oben steiler werdenden Gleitfläche handelt (z.B. [1], [2]). Das Felskompartiment in Zone 5 bewegt sich demnach vergleichsweise flach in NE-Richtung (was zu hohen 2D-Bewegungsraten führt), während das Geschwindigkeitsfeld des Felskompartimentes in Zone 6 und 7 wegen der steileren Gleitfläche eine ausgeprägte Vertikal-komponente aufweist (was zu geringeren 2D-Bewegungsraten führt). Ein provisorischer Vergleich der historischen Höhenmodelle bestätigt diese These. Die ändernden Bewegungsrichtungen in Zone 6 und 7 (von NW nach NE) könnten die komplexen internen Deformationen reflektieren, welche im Sackungsbereich zwangsläufig auftreten. Unsere Messungen bestätigen frühere Studien ([1], [2], [3]) auch dahingehend, dass die sichtbare Ausbisslinie der Felsrutschung zwischen den Zonen 5 und 9 verläuft. In Zone 9 messen wir generell keine signifikanten Bewegungen.

Die peripheren Zonen des Westgrates (Zone 1, 2) und des Ostgrates (Zone 12) weisen in Periode 1 und 2 keine oder nur knapp signifikante Bewegungen auf. Die

Zonen werden primär in Periode 3 (2017–2020) aktiviert, was den Perimeter der stark aktiven Rutschung deutlich vergrössert, auch unter Berücksichtigung der Beruhigung von Zone 13. Die Beschleunigung dieser peripheren Zonen dürfte u.a. mit den vorangegangenen starken Beschleunigungen in den benachbarten Zonen und der daraus folgenden Destabilisierung im Zusammenhang stehen.

7. Abschliessende Bemerkungen

Der angewendete automatisierte Tracking-Ansatz hat sich bewährt und kann nun mit relativ geringem Aufwand auf neu erhobene Daten angewendet werden. Dank der höheren räumlichen Auflösung und der höheren Genauigkeit modernster Daten (z.B. Drohnen-basierte DEMs/Orthos, Laserscans) werden auch die resultierenden Geschwindigkeitsfelder detaillierter und genauer.

Anhang 1

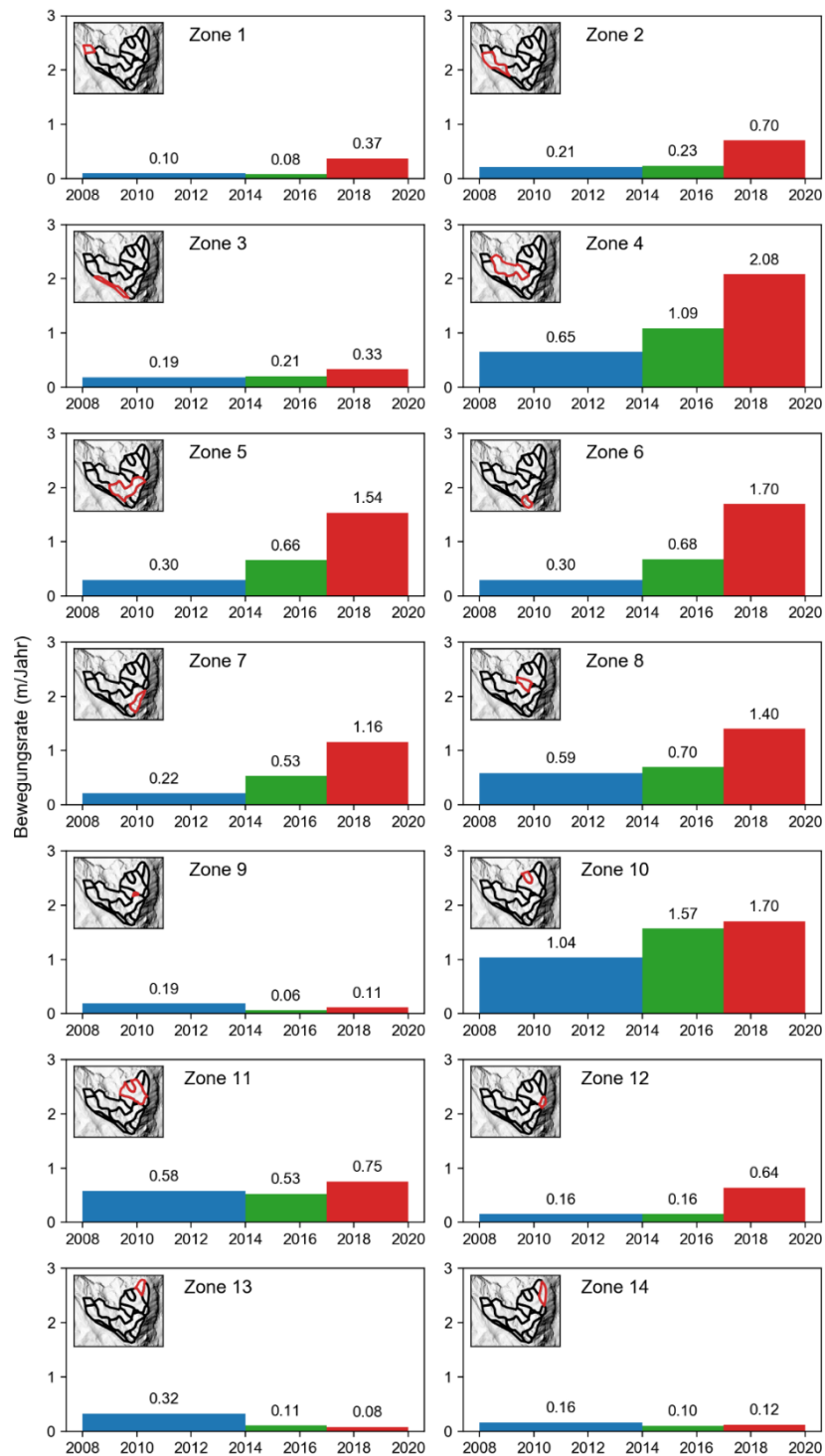


Abbildung A1-1: Geschwindigkeitsentwicklung in den 14 Zonen der Rutschung.

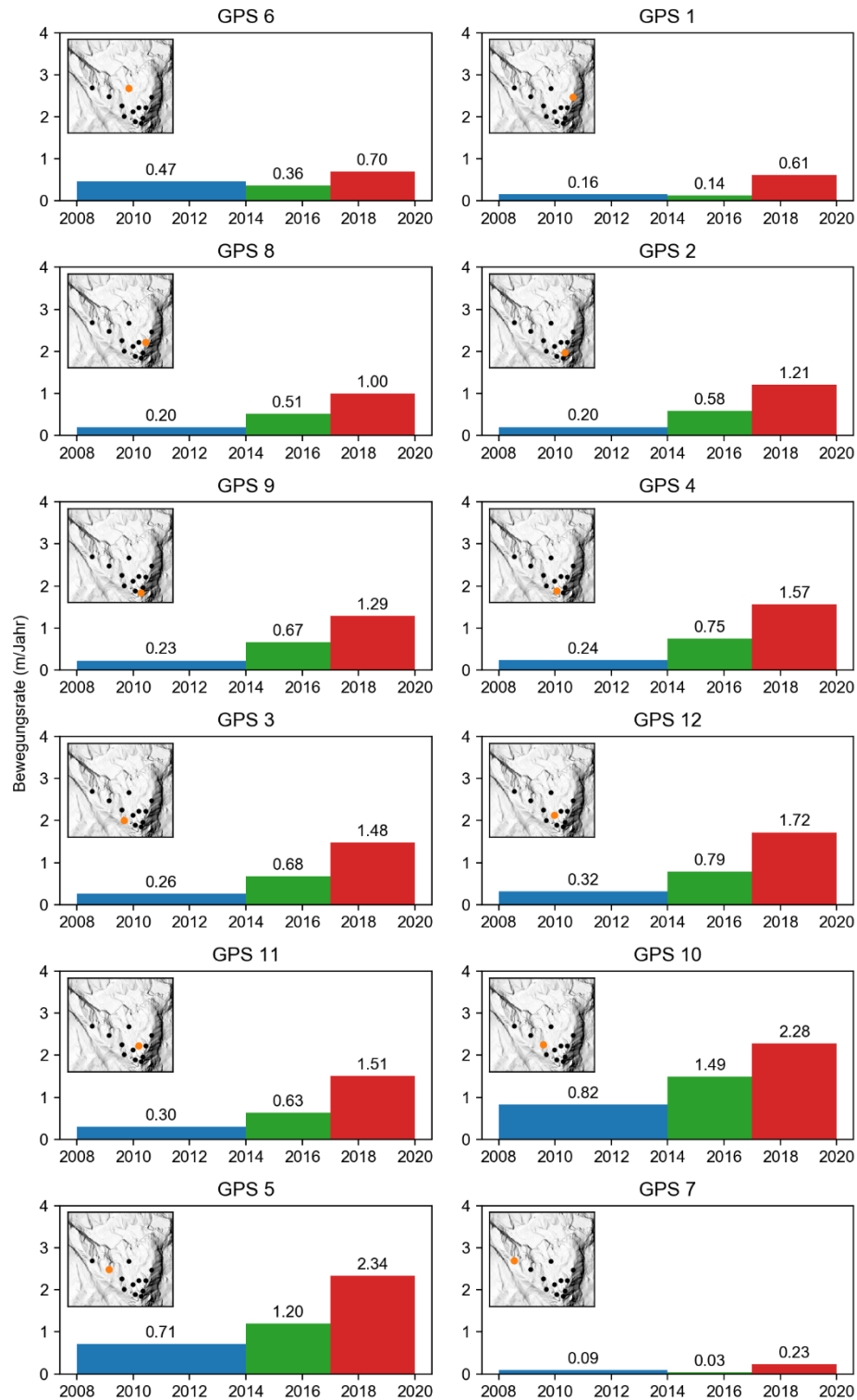


Abbildung A1-2: Geschwindigkeitsentwicklung im Bereich der 12 GPS.

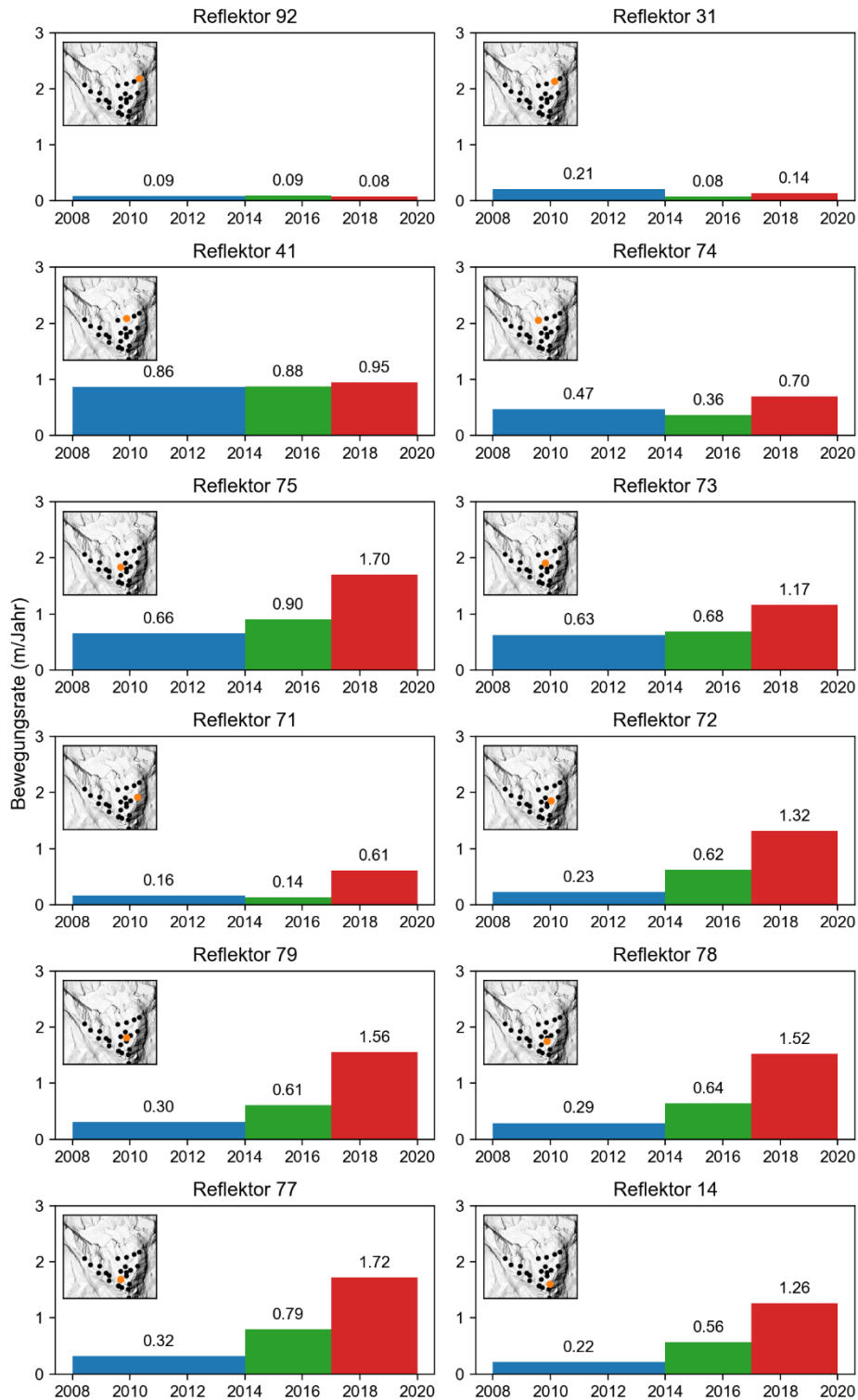


Abbildung A1-3: Geschwindigkeitsentwicklung an den Standorten der Reflektoren (1/2).

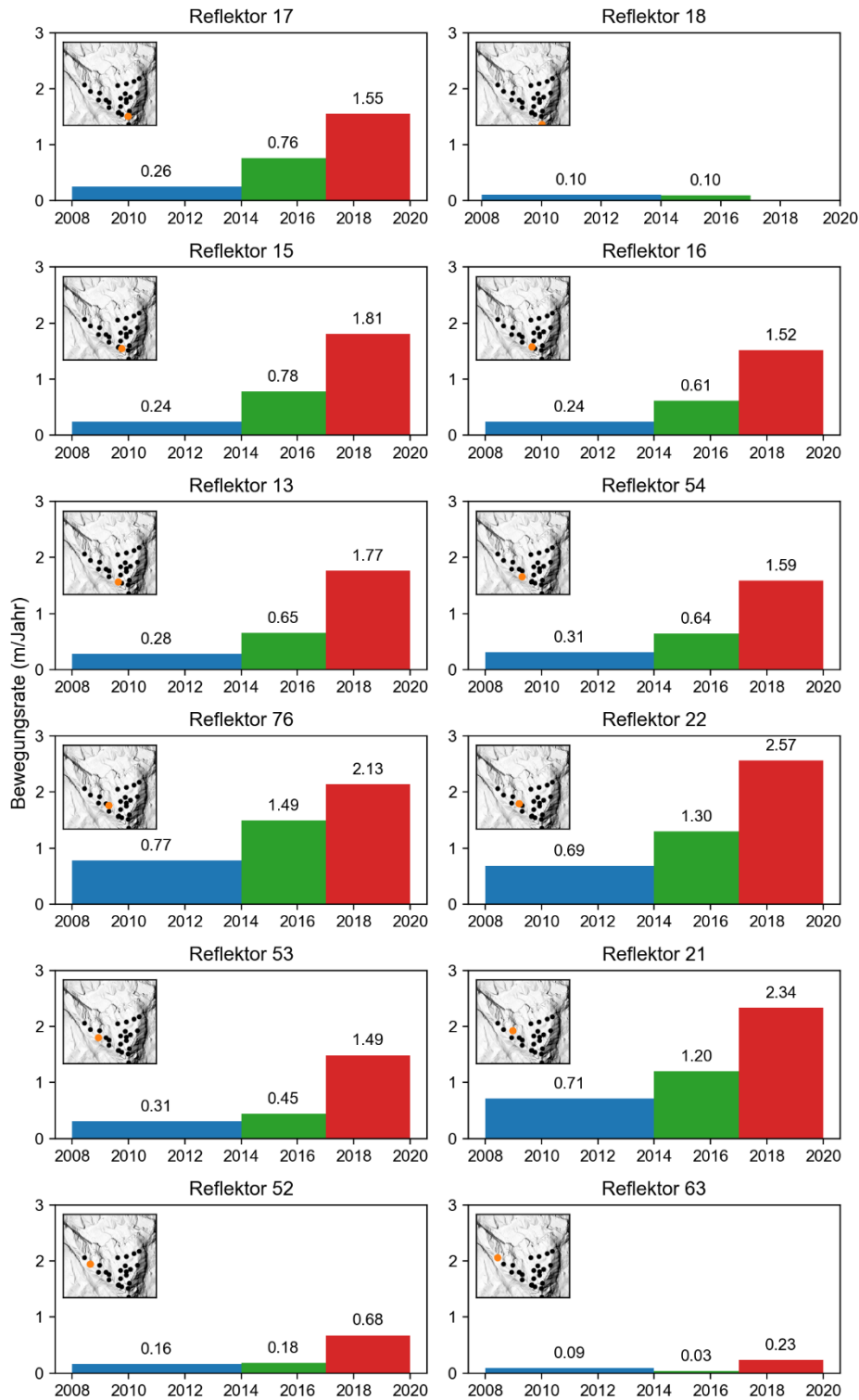
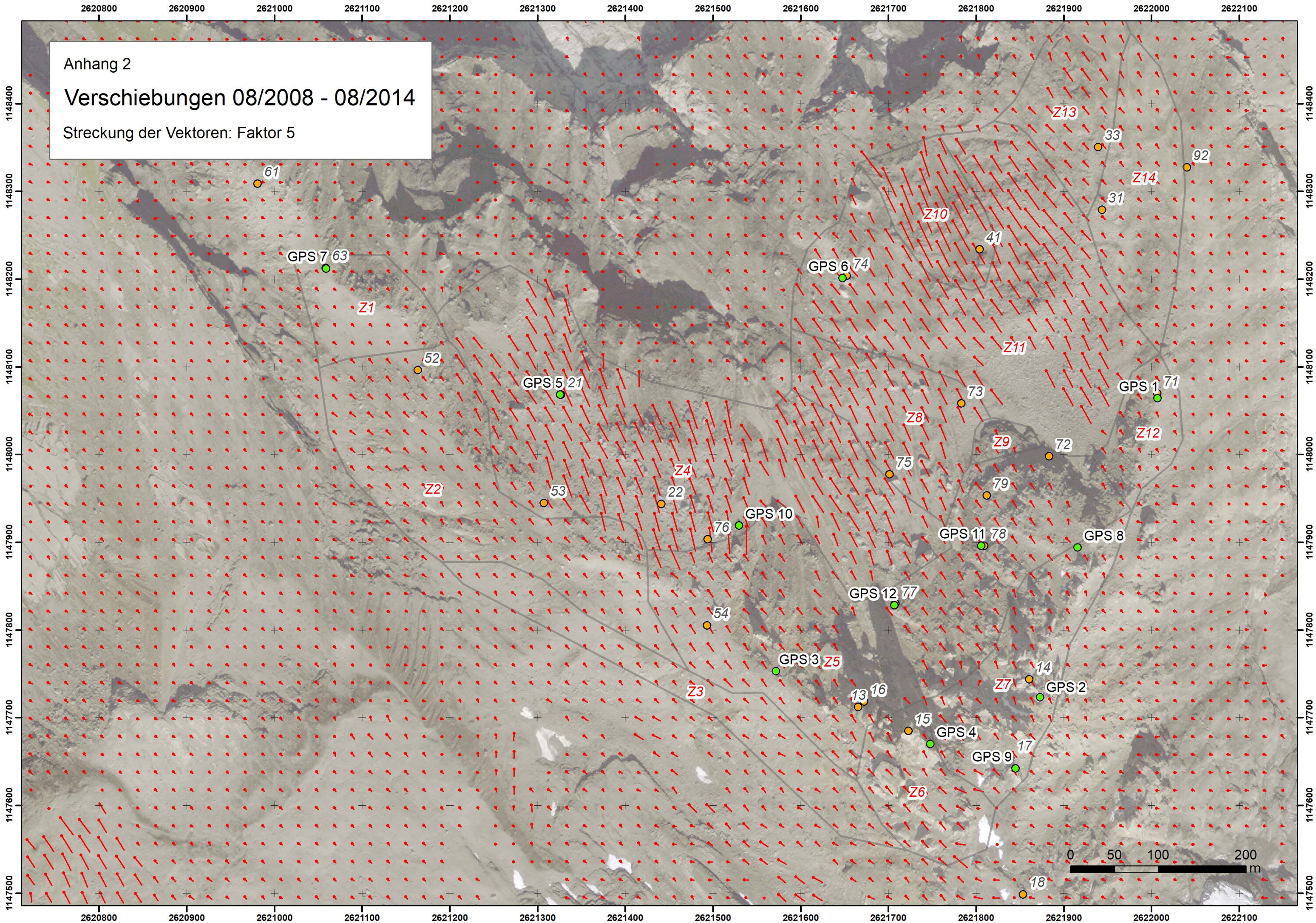


Abbildung A1-4: Geschwindigkeitsentwicklung an den Standorten der Reflektoren (2/2).

Anhang 2

Verschiebungen 08/2008 - 08/2014

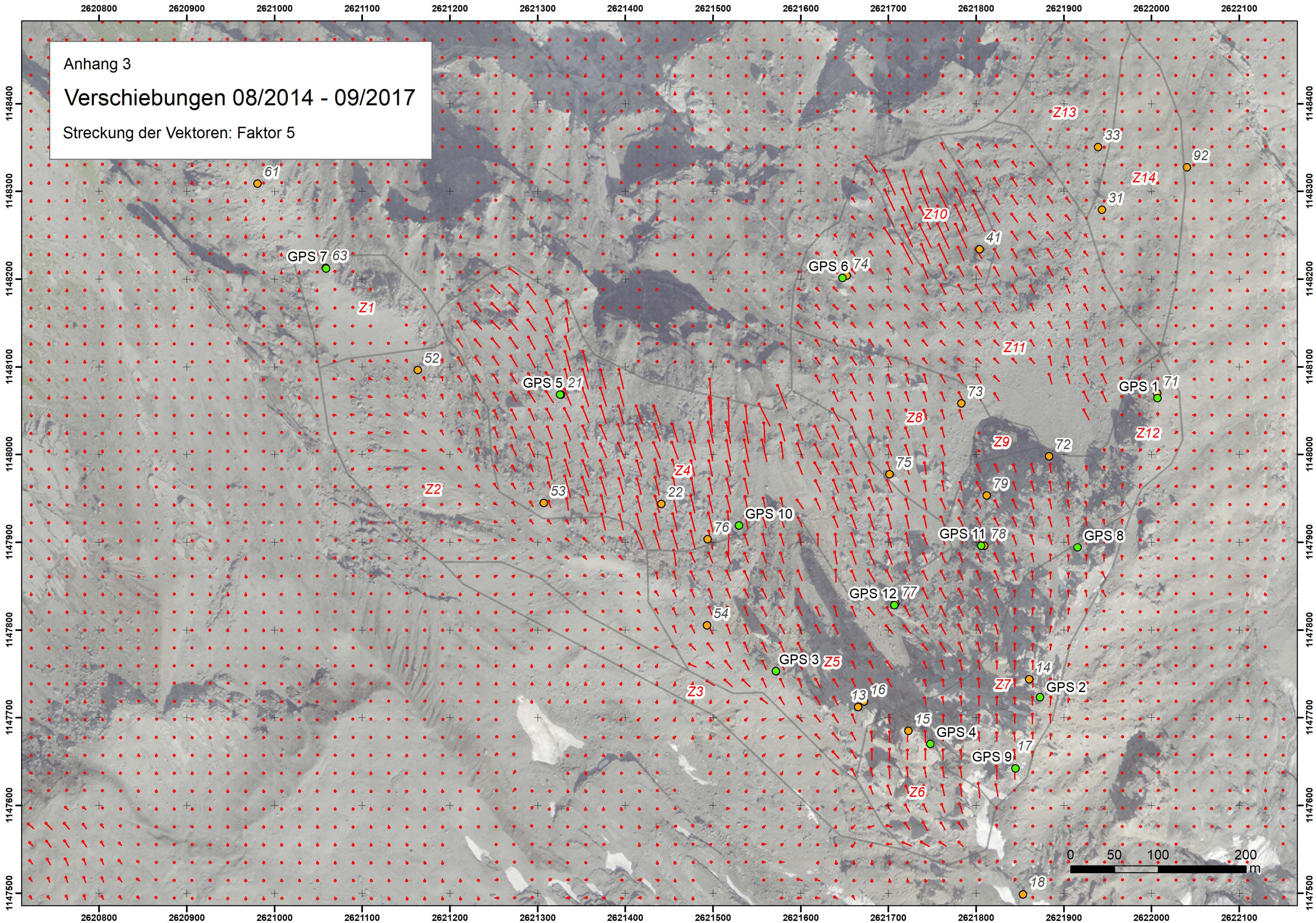
Streckung der Vektoren: Faktor 5



Anhang 3

Verschiebungen 08/2014 - 09/2017

Streckung der Vektoren: Faktor 5



Anhang 4

Verschiebungen 09/2017 - 08/2020

Streckung der Vektoren: Faktor 5

