

Quantifizierung eines Erdstroms in Hinterwildalpen im September 2024 aufgrund eines extremen Niederschlagsereignisses

Harald Zandler*, Andreas Kellerer-Pirklbauer, Christian Bauer, Hermann Kain, Gerhard Karl Lieb

Zusammenfassung: Ausgelöst durch das außerordentliche Niederschlagsereignis zwischen 12. und 16. September 2024 ereignete sich am 18. September 2024 am Rande des Ortsgebietes von Hinterwildalpen eine als Erdstrom zu klassifizierende gravitative Massenbewegung. Diese wird beschrieben, in ihrem Zustandekommen diskutiert und dreidimensional quantitativ erfasst. Methodisch geschah dies durch eine Geländebegehung, eine drohnengestützte Befliegung mit Auswertung der Höhendifferenzen gegenüber einem ALS-basierten Digitalen Geländemodell (von 2011) und eine Detailanalyse der Daten von vier benachbarten Wetterstationen. Demnach betraf der Erdstrom eine Fläche von 7.600 m² und lagerte etwa 5.500 m³ Material um. Der Prozess ereignete sich nach Niederschlagsmengen von 258 mm in nur fünf Tagen, was an der Messstation des Hydrographischen Dienstes in Wildalpen einen Rekordwert seit Messbeginn im Jahr 1901 darstellt. Dieses Niederschlagsereignis führte zur Wassersättigung des aus Lockersedimenten bestehenden Untergrundes und zur Auslösung des Erdstroms. Die gute Qualität der Ergebnisse resultiert einerseits aus der hochgenauen Aufnahme-Technik und andererseits auf den hochaufgelösten Klimadaten.

Abstract: Quantification of a landslide in Hinterwildalpen in September 2024 after an extreme precipitation event. – On September 18, 2024, a landslide occurred in Hinterwildalpen, which was triggered by extreme precipitation from the 12th to the 16th of September. This paper describes and quantitatively captures the landslide and discusses respective origin. Methodologically, a field survey, an unoccupied aerial survey and an analysis of the height differences compared to an ALS-based elevation model from 2011 in addition to meteorological data of four meteorological stations are used. The landslide affected an area of 7,600 m² and moved 5,500 m³ of material. The process was triggered after 258 mm of precipitation fell within five days, a record breaking event at the station Wildalpen with precipitation measurements since 1901. The precipitation event led to oversaturation of fine sediment and started the landslide. The high precision survey connected with meteorological data of high temporal resolution led to good quality of the results.

Schlüsselwörter: Gravitative Massenbewegung, Extremniederschlag, Naturgefahr, Drohnen, UAV, Structure from Motion.

Keywords: gravitational mass movement, extreme precipitation, natural hazard, drones, UAV, Structure from Motion.

*Corresponding Author: harald.zandler@uni-graz.at

Zandler H., Kellerer-Pirklbauer A., Bauer C., Kain H. & Lieb G.K. 2025: Quantifizierung eines Erdstroms in Hinterwildalpen im September 2024 aufgrund eines extremen Niederschlagsereignisses. – *Natura Styriaca* 1: 101–111. (Angenommen am 18.02.2025)

1. Einleitung

Im September 2024 ereignete sich im nordöstlichen Teil Österreichs das mengenmäßig herausragendste Niederschlagsereignis seit Messbeginn. Die Ursache dieser Situation war eine kräftig ausgebildete Vb-Lage mit der Bezeichnung „Boris“ (vom Deutschen Wetterdienst „Anett“ genannt), wobei kalte Polarluft und sehr feuchte Mittelmeerluft zusammentrafen. Letztere ist auch mit den Oberflächentemperaturen des Mittelmeeres in Verbindung zu setzen, welche um mehr als 4 °C über dem langjährigen Mittel lagen (Altnau 2024; Übel 2024). Schwerpunkt der Niederschläge waren in Österreich vor allem Niederösterreich, Wien und das niederösterreichisch-steirische Grenzgebiet, wobei feucht-warme Luftmassen auf kalte Polarluftmassen aufglitten, welche am Westrand des Tiefs bodennah von Nord nach Süd herangeführt wurden. Die kalten Luftmassen führten dabei vor allem zu Beginn der Wetterlage auch zu kräftigen Schneefällen (Greilinger et al. 2024). Dieses Tief-

drucksystem war vom 12. bis zum 16. September 2024 für das östliche Mitteleuropa wetterbestimmend. Insgesamt führte das Ereignis österreichweit zum niederschlagsreichsten September der Messgeschichte und in vielen Regionen im östlichen Teil Österreichs zu den höchsten je gemessenen 5-Tages-Niederschlagssummen (Greilinger et al. 2024). Im Zuge dieses Ereignisses war auch die Gemeinde Wildalpen, im Norden der Steiermark, von extremen Niederschlagssummen betroffen.

Bedingt durch dieses Niederschlagsereignis kam es auch zur extremen Durchfeuchtung des Bodens und zur Auslösung von Massenbewegungen unterschiedlichster Art wie geschiefbeführenden Hochwässern, Muren oder Rutschungen (MeinBezirk Oberösterreich 2024). Im Gemeindegebiet von Wildalpen ereignete sich eine Hangmure am Talausgang des Brunntales oberhalb des Jagdhauses Brunnjäger, ein kleinerer Hangrutsch

im Nahbereich des Campingplatzes im Ortszentrum von Wildalpen sowie eine große Massenbewegung im Becken von Hinterwildalpen. Konkret kam es am nordwestlichen Rand des Siedlungsgebietes von Hinterwildalpen zu einem Erdstrom, der sich laut diversen Beschreibungen zwischen Mitternacht und den früheren Morgenstunden des 18.09.2024 ereignete. Diese Massenbewegung als „Erdstrom“ zu bezeichnen, ergibt sich aus der im Kapitel 4.1 beschriebenen Charakterisierung des Ereignisses. Dabei wird als Erdstrom nach Bunza (1978) eine gravitative Massenbewegung verstanden, die eine stromartige Form aufweist. Erdströme entstehen laut Bunza aus Rutschungen in Verwitterungszonen aus veränderlich festen tonreichen Gesteinen oder in Bereichen mächtiger quartärer Schuttablagerungen, deren Gleitbewegung in tieferen Bereichen der Massenbewegung von plastischen Verformungen abgelöst werden. Fischer (1967) differenziert dabei zwischen einem Anrissgebiet und einem tiefer liegenden Teil, dem Ablagerungsgebiet, an dessen unterstem Ende es vielfach zur Bildung eines Stirnwulstes kommt.

Der Erdstrom von Hinterwildalpen am 18.09.2024 nahm – wie sich später herausstellte – eine Fläche von ungefähr 7.600 m² ein. Das Auftreten dieses Erdstromes in Kombination mit der außergewöhnlichen Witterungssituation vor und während des Ereignisses macht dieses Phänomen zu einem interessanten Objekt der Analyse gravitativer Massenbewegungen in Zusammenhang mit extremen Niederschlagsereignissen und weiterer geographischer Steuerungsgrößen. Ziele dieser Studie waren somit, (i) eine detaillierte Beschreibung der eingetretenen Reliefveränderungen zu geben, (ii) das auslösende Ereignis als auch den möglichen Prozessablauf dieser Massenbewegung zu diskutieren und (iii) das Ereignis im dreidimensionalen Raum zu erfassen und zu quantifizieren.

2. Arbeitsgebiet

Die untersuchte Massenbewegung ereignete sich am nordwestlichen Rand der fast kreisrunden Talweitung von Hinterwildalpen, am nordwestlichen Fuß des Hochschwab-Massivs (Abb. 1). Der flache Talgrund dieser Talweitung in einer Seehöhe von rund 780 m im zentralen Bereich hat einen Durchmesser von etwa einem Kilometer. Auf Grund der überregionalen Bedeutung der Region als Quellgebiet von Trinkwasser für die Stadt Wien (Drennig 1988), gibt es im Gemeindegebiet von Wildalpen mehrere automatische meteorologische Stationen der Abteilung Wiener Wasser (MA 31) der Stadt Wien, welche eine langjährige Messreihe aufweisen (Wiener Wasser 2024). Die Station am Teufelssee im südlichen Gemeindegebiet liefert beispielsweise Temperatur- und Niederschlagsdaten seit 08.12.2005. Eine weitere dieser Stationen liegt mit einer Distanz von ca. 700 m in unmittelbarer Nähe der Massenbewegung (Abb. 1c). Darüber hinaus gibt es aus dem Gemeindegebiet von Wildalpen auch Langzeitdaten der Station Wildalpen des Hydrographischen Dienstes (HZB-Nummer: 106252), wobei eine umfassende Zeitreihe von 1901 bis 2024, mit Fehlwerten im Zeitraum 1921 bis 1938, zur Verfügung steht (Land Steiermark 2024b; Verortung der Station siehe Abb. 1b).

Das Hochschwab-Massiv gibt der Talweitung eine ausgeprägte Hochgebirgskulisse im Süden, mit Gipfeln bis zu 1.723 m (Geiger), während die übrige Umrahmung von bewaldetem, jedoch steilem Mittelgebirge mit Gipfelhöhen bis knapp über

1.300 m gebildet wird. Die Talweitung liegt zur Gänze innerhalb der Nördlichen Kalkalpen und zeichnet sich durch eine vielfältige Lithologie aus, was durch die Zugehörigkeit zu zwei verschiedenen Deckensystemen (im Norden tirolisch-norisch, im Süden juvavisch, Bryda et al. 2013), die intern noch in eigenständige Schuppen gegliedert werden, bedingt ist. Für Details zu Gesteinsbestand und Tektonik wird auf die Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 101 Eisenerz (Bryda & van Husen 2010) verwiesen.

Aus geomorphologischer Perspektive lässt sich die Talweitung aus zwei Faktoren erklären:

(1) An ihrem Südrand zieht in WSW-ENE-Richtung mit der SEMP (Salzach-Enns-Mariazell-Puchberg-Linie) eine der großen Störungslinien der Alpen durch. Dem Hauptbruchsystem ist ein untergeordnetes, steil-stehendes W-E-streichendes Bruchsystem zugeordnet, das an der Südseite von Ameismauer (1.115 m) – Eibl (1.335 m) – Lärchkogel (1.427 m) nach Westen verläuft (Moser 2003). Diese tektonisch komplizierte Zone wird an verschiedenen Stellen durch unterschiedliche, teilweise verschuppte Gesteinsschichten markiert. Das Ergebnis ist eine heterogene Lithologie unterschiedlicher Serien auf engstem Raum. Einige der vorhandenen Gesteine neigen dabei vermehrt zu gravitativen Prozessen. Dazu zählen Werfener Schichten, Reingrabener Schiefer, Sedimente der Gosaugruppe, sowie die quartären Sedimente am Hangfuß. Entlang der Störungen machte die tektonische Zerrüttung der Gesteine diese leicht abtragbar, weshalb die Störungen im Gelände als Tiefenlinien zu verfolgen sind.

(2) Das hierdurch aufgelockerte Gestein wurde fluviatil, aber auch glazial ausgeräumt. Zum Höhepunkt der Würm-Kaltzeit reichten vom Hochschwab-Plateau im Süden und Westen Gletscherzungen herab, die das (bereits in den älteren Kaltzeiten geweitete) Tal zu einem glazialen Zungenbecken umformten (Rekonstruktion der Vergletscherung in Bryda et al. (2013); Abb. 1b). Die auffälligsten Zeugen hiervon sind die die Talweitung im Westen begrenzenden Moränenwälle (Kartierung in Fritsch 1993) die auch in Abbildung 1 erkennbar sind.

3. Methodik

3.1. Hintergründe und Rahmenbedingungen

Die Massenbewegung in Hinterwildalpen wurde im Zuge einer Forschungskampagne für das Projekt „MOVEMONT – The moving mountains“ (Mergili 2023) am 08.11.2024 durch eine Geländebegehung sowie eine drohnenbasierte Erfassung der betroffenen Fläche dokumentiert. Es handelt es sich dabei um einen „wissenschaftlichen Zufallsfund“, denn der entscheidende Hinweis erfolgte durch Ortsansässige aus Hinterwildalpen selbst. Das deutlich ausgeprägte, konkave Anrissgebiet liegt auf ca. 820 m ü.A., unmittelbar an zwei, im Zuge der Massenbewegung stark zerstörten, Wegen (Abb. 2a-b). Dies ist einerseits eine einspurige Asphaltstraße zu einem westlich der Massenbewegung gelegenen, als Freizeitwohnsitz genutzten Gehöft und andererseits ein Karrenweg, der zu einer Quelfassung 200 m nordöstlich und 50 m über der Anrisskante führt. Beide Wege wurden im Zuge des Ereignisses für jeweils kurze Streckenabschnitte stark beschädigt, die Kehre der Asphaltstraße und das dortige Karrenwegende völlig zerstört (Abb. 2b).

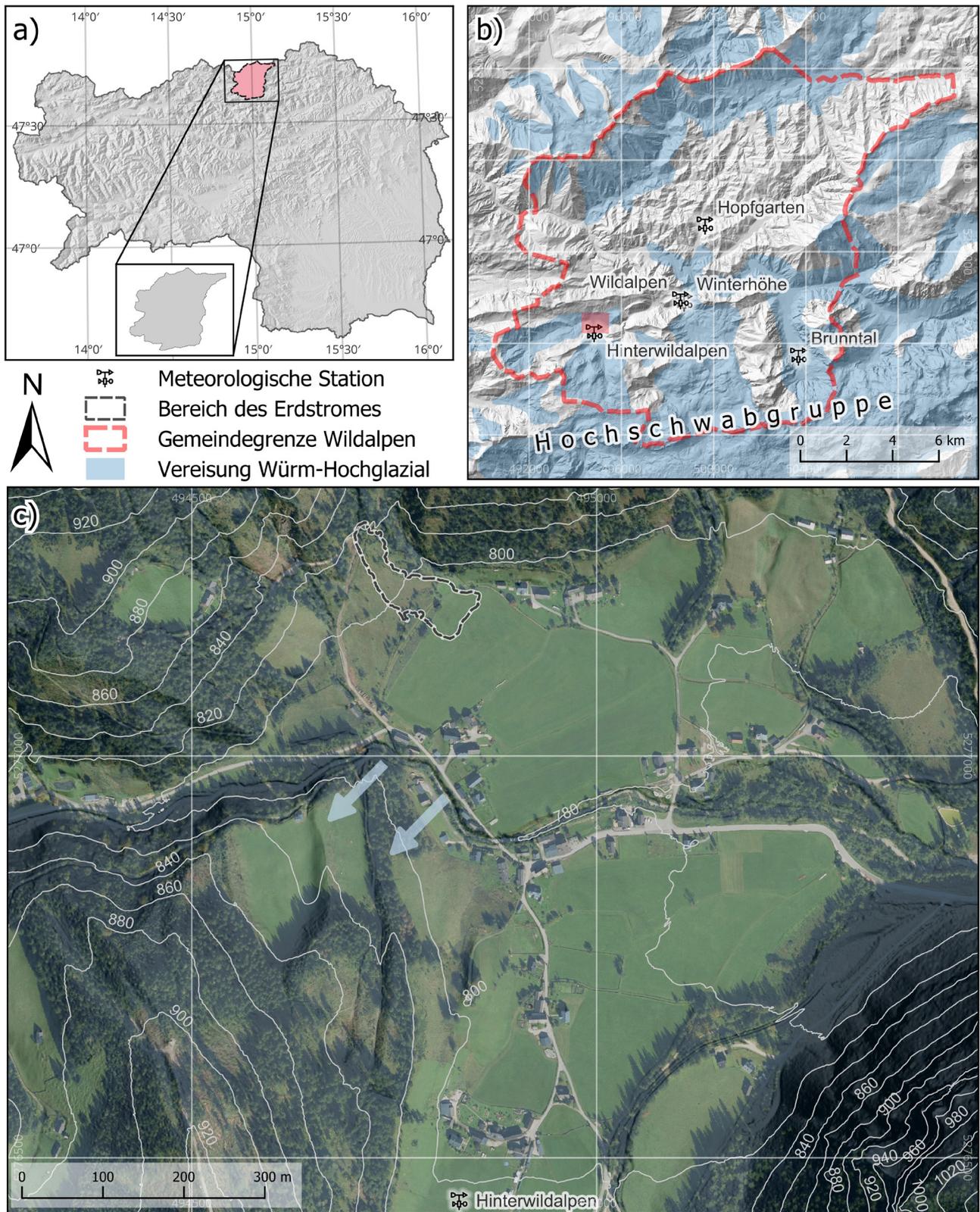


Abb. 1: a) Lage der Gemeinde Wildalpen in der Steiermark; b) das Gemeindegebiet mit Höhenschummerung (Land Kärnten 2019), den lokalen meteorologischen Stationen (Wiener Wasser 2024; Land Steiermark 2024b) sowie der Ausdehnung der maximalen Vereisung im Würm-Hochglazial (Ehlers et al. 2011); und c) Detailausschnitt der Talweitung von Hinterwildalpen mit dem Erdstrom im Orthofoto vom September 2022. Die beiden Pfeile markieren markante Ufermoränen, die dem Würm-Hochglazial zuzuordnen sind. (Land Steiermark 2024c) und Höhenlinien für das Jahr 2011 (Land Steiermark 2024a). Referenzsysteme: a) EPSG 3416; b) und c) EPSG 25833.

Fig. 1: a) Location of the municipality of Wildalpen in Styria; b) municipality area with hillshade (Land Kärnten 2019) local meteorological stations (Wiener Wasser 2024; Land Steiermark 2024b) and the glacial extent during the Last Glacial Maximum (Ehlers et al. 2011); and c) detail of the gravitational mass movement site with orthoimage. The two arrows indicate two distinct lateral moraine ridges related to the Last Glacial Maximum (Land Steiermark 2024c) and contours of the year 2011 (Land Steiermark 2024a). reference systems: a) EPSG 3416; b) und c) EPSG 25833.

3.2. Stationsdaten

Für diese Studie wurden Lufttemperatur- und Niederschlagsdaten mehrerer meteorologischer Stationen verwendet. Für die historische Einordnung dient die längste verfügbare Zeitreihe an der Station Wildalpen des Hydrographischen Dienstes (Land Steiermark 2024b) mit einer Datenreihe von 1901 bis heute, worin jedoch eine Datenlücke vom 01.11.1920 bis 31.12.1938 besteht. Für die zeitlich höher aufgelöste Analyse im September 2024 werden die automatischen Stationen der Abteilung Wiener Wasser verwendet (Kap. 2). Die vier Stationen liegen alle in Talbereichen und in ähnlicher Höhenlage wie das Untersuchungsgebiet. Konkret befinden sich diese im Brunntal, in Hopfgarten, auf der Winterhöh sowie im Bereich von Hinterwildalpen (Abb. 1b,c). Die Verwendung der Daten mehrerer Stationen erfolgte, um die flächenhafte Homogenität bzw. Inhomogenität der Niederschlagsintensität sowie der Temperaturverhältnisse im Arbeitsgebiet zu überprüfen. Lufttemperaturdaten lagen in 5-minütiger zeitlicher Auflösung vor (288 Werte/Tag). Die zeitliche Auflösung der Niederschlagsdaten variierte von wenigen Messwerten pro Tag bis zu nahezu minütlicher Auflösung (z.B. Station Hinterwildalpen: 1 Wert am 01.09.2024 versus 1.398 Werte am 14.09.2024). Die Werte aller verwendeten Wiener Wasser-Stationen sind uneingeschränkt vergleichbar, weil sie die gleichen Sensoren für die Temperatur und Niederschlagsaufzeichnung verwenden: Für die Temperatur ist dies der OTT TRH-Temperatur- und Feuchtesensor, ein digitaler Feuchte- und Temperaturfühler mit Schutzgehäuse (Strahlungsschutz). Als Niederschlagssensor wird der OTT Pluvio² L, ein Niederschlagssensor nach dem Wägeprinzip mit einer Auflösung von 0,001 mm Niederschlagsmenge (= Rohwert), verwendet. Datenanalysen hierzu wurden in Excel sowie R durchgeführt.

3.3. UAV-Befliegung der Massenbewegung

Die Erfassung der Massenbewegung erfolgte mittels drohnengestützter Structure-from-Motion (SfM)-Auswertung (Westoby et al. 2012), wobei am 08.11.2024 eine Befliegung mit unbemanntem Luftfahrzeug (Unoccupied Aerial Vehicle, UAV) durchgeführt wurde. Dabei wurde das Fluggerät Matrice 300-RTK der Firma DJI mit der optischen Kamera Zenmuse P1 (DJI 2025a; DJI 2025b) für eine systematische Befliegung mit 80 % Überlappung in einer Flughöhe von ca. 120 m eingesetzt. Die Aufnahme erfolgte mittels Echtzeit-Korrekturen durch ein Real-Time Kinematic Global Navigation Satellite System (RTK-GNSS) unter Nutzung des Emlid REACH RS3 (Emlid 2025). Dabei sendet eine stationäre Basis mit vermessenen Koordinaten im Zentimeter-Genauigkeitsbereich Korrekturen an die Drohne, welche dadurch Fotos mit zentimetergenauer Positionierung aufnimmt. Insgesamt wurden für die Auswertung 126 Bilder aufgenommen.

Bisher durchgeführte Ansätze zeigen, dass sich die zu erwartende Genauigkeit der Bilder mit der genutzten Drohne im niedrigen cm-Bereich bewegen sollte (Czyża et al. 2023). Für die zusätzliche Kontrolle bzw. Einpassung mit noch höherer Genauigkeit wurden sechs Punkte (GCPs, Ground Control Points) im Gelände aufgenommen. Drei dieser Punkte dienten als Anpassungspunkte für das resultierende 3D-Modell, die drei verbleibenden Punkte als Kontrollpunkte zur unabhängigen Fehlerberechnung (Abb. 5). Nach Anpassung des Modells in der Software Agisoft Metashape

(Agisoft 2024) wurde ein Orthofoto mit 2 cm Auflösung und ein Digitales Geländemodell mit 3,5 cm Auflösung berechnet und im Koordinatensystem ETRS89/UTM 33N (EPSG: 25833) exportiert. Diese Datensätze dienen der Oberflächenbeschreibung und Quantifizierung der Veränderungen nach der Massenbewegung. Auf Grund des photogrammetrischen Ansatzes mittels optischer Fotos entsprechen die Höhen dieses Ansatzes einem Digitalen Oberflächenmodell (DOM), bei welchem alle Oberflächen enthalten sind. Der Höhenbezug ist die ellipsoidische Höhe.

Für die Referenzfläche vor der Massenbewegung wurden die Ergebnisse der Airborne Laserscanning (ALS)-Befliegung aus dem Jahr 2011 in einer Auflösung von 0,5 m genutzt (Land Steiermark 2024a). Dabei stand ein Digitales Höhenmodell (DHM) zur Verfügung. Darüber hinaus wäre ein DOM in 1 m Auflösung verfügbar. In diesem Ansatz wird allerdings vorrangig das 0,5 DHM verwendet, um das höher aufgelöste Produkt zu nutzen, den Einfluss unterschiedlicher Vegetationsbedeckung auf die Höhendifferenz zwischen den beiden Zeitpunkten klarer erkennbar und das Ergebnis leichter interpretierbar zu machen (der Vegetationsstatus hat somit keinen Einfluss auf die Oberfläche für die Referenzdaten im Jahr 2011). Die Referenzdaten 2011 wurden anschließend auf die Rasterdaten der Drohnenbefliegung mit einem Cubic Resampling-Ansatz (Campbell & Wynne 2011) sowie unter Berücksichtigung der Geoidundulation (BEV 2023) für die Analyse angepasst. Als letzter Schritt wurde die Differenz der beiden Zeitpunkte für die Visualisierung der Massenbewegung gebildet. Dabei wurde von der Höhe zum Zeitpunkt nach dem Erdstrom die Höhe zum Zeitpunkt vor dem Ereignis subtrahiert. Negative Werte entsprechen somit einem Verlust an Masse, positive einer Ablagerung bzw. einem Zuwachs an Masse.

4. Ergebnis

4.1. Geländeaufnahme und geomorphologische Charakteristik

Die gegenständliche Massenbewegung ereignete sich vorwiegend in Lockersedimenten des Hangfußbereiches, der im Wesentlichen die gesamte Talweitung umgibt. Dabei handelt es sich teilweise um glaziale Sedimente (Fritsch 1993; Bryda et al. 2013), vornehmlich Grundmoräne, und Materialien, die von den Hängen als Sturz- oder Murschutt abgetragen und am Rand des flachen Talbodens, häufig in Form flacher Kegel, akkumuliert wurden. Unter Berücksichtigung der einstigen Geometrie der lokalen Gletscherzunge bei maximaler (würmzeitlicher) Gletscherausdehnung wurde dieses Hangsediment eventuell teilweise auch als Kamesterasse, in Form eines fluvioglazialen Sedimentkörpers, der zwischen Gletscherrand und Talhang geschüttet wurde, gebildet. Diese Annahme erscheint durch die deutlich ausgeprägten Lateralmoränenwälle am westlichen Beckenrand in ähnlicher Höhe plausibel. Nach dem Abschmelzen des Eises bildete sich eine Terrasse, die dann in diesem hoch dynamischen Raum weiter überprägt wurde. Da bei den Geländeaufnahmearbeiten am 08.11.2024 die Anrissflächen der Massenbewegung bereits deutlich überprägt waren, können nur eingeschränkte Aussagen über die Materialherkunft getätigt werden. Die klar erkennbare Dominanz einer feinkörnigen, in Teilbereichen humusreichen Matrix mit eingelagerten Dolomitblöcken unterschiedlicher Größe



Abb. 2: Erdstrom Hinterwildalpen. a) Blick in die Anrisskante; b) Blick von der Anrisskante. Deutlich erkennbar ist die zerstörte Straßenkehre der Asphaltstraße; c) Blick in den Transitbereich des Erdstroms. Die orangen Pfeile markieren Reste der Asphaltstraße; d) Akkumulationsbereich des Erdstroms mit deutlich erkennbarem Stirnwulst. Der orange Pfeil markiert den Austritt des Gerinnes aus der Massenbewegung, das nun über die Wiese abfließt (Fotos: Autoren).

Fig. 2: Landslide Hinterwildalpen. a) View into the scarp; b) View from the scarp. The destroyed turn on the sealed road is clearly visible; c) View into the transit area of the gravitational mass movement. The orange arrows mark remains of the sealed road; d) Accumulation area with clearly recognisable frontal bulge. The orange arrow marks the outlet of the spring from the mass movement, which is now flowing across the meadow (photos: authors).

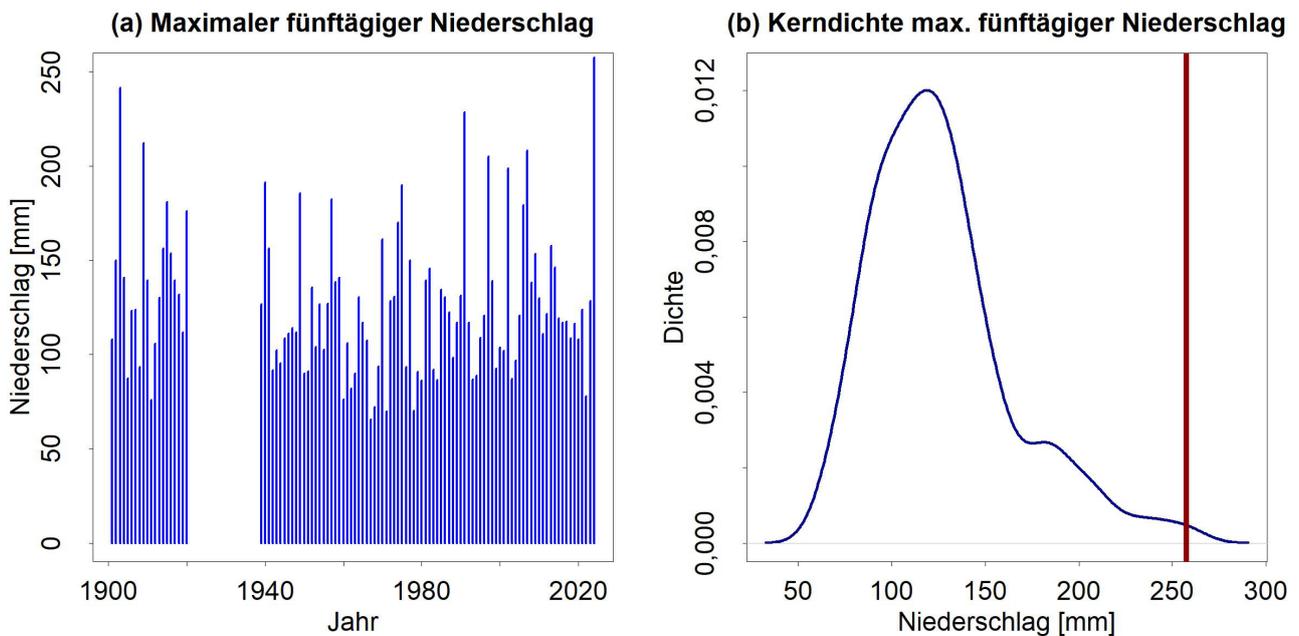


Abb. 3: a) Maximaler fünftägiger Niederschlag pro Jahr im Zeitraum 1901 bis 2024 (Datenlücke 01.11.1920 bis 31.12.1938) als Summe in mm an der meteorologischen Station Wildalpen des Hydrographischen Dienstes (Land Steiermark 2024b); und b) Kerndichteschätzung des selben Parameters mit der Kennzeichnung des September-Ereignisses 2024 mittels rotem Balken.

Fig. 3: a) Five day maximum precipitation per year during 1901–2024 (missing data from 01.11.1920 until 31.12.1938) as sum in mm at the meteorological station Wildalpen of the hydrographical service (Land Steiermark 2024b); and b) probability density plot of the same parameter whereby the September event 2024 is marked with a red column.

mit gering ausgeprägter Rundung (jedoch ohne erkennbaren Kritzungen) lässt es zu, den Großteil der bewegten Masse als Diamikt anzusprechen, der einerseits aus umgelagertem Moränenmaterial und andererseits aus Hangschutt-sedimenten entstanden sein könnte. Des Weiteren wurden in den Ablagerungen auch bänderschluffartige Sedimente unbekannter Genese und unbekanntes Alters gefunden, die auf eine Kamesterrassen-bezogene Genese hindeuten könnten.

Der Erdstrom von Hinterwildalpen lässt sich in drei verschiedene Prozessbereiche gliedern: (a) Anrissbereich – primäre Zone des Massenverlustes; (b) oberer Bereich des Ablagerungsgebietes – Transitzone mit Bereichen von Massenverlust sowie Massenzuwachs; (c) unterer Bereich des Ablagerungsgebietes – Zone der Massenakkumulation.

Der Anriss hat sich auf Basis der Geländebefunde primär als Gleitung in Lockersedimenten mit scharfer Abrisskante ereignet (Abb. 2a-b). Die initiale Rutschmasse ist als Diamikt feinkorn-dominiert, zumeist ungeschichtet und enthält wenige größere Komponenten. Aus den links und rechts der Massenbewegung aufgeschlossenen Bodenhorizonten ist zu sehen, dass der organische Anteil in der Deckschicht der bewegten Masse hangabwärts in der Transitzone zugenommen hat (ev. Hangmoor; eine Vernässung in diesem Bereich ist auch in der Kartierung von Fritsch 1993 erfasst). Im weiteren Prozessverlauf kam es durch die hohe Wassersättigung des Materials zu einer fließenden

Bewegung. In diesem Übergangsbereich zwischen Anrissgebiet und Ablagerungsgebiet nahm der Erdstrom Bodenmaterial mit relativ hohem organischem Anteil mit, sodass im unteren Bereich der Massenbewegung ein breiartiger Habitus (Abb. 2c), teilweise mit markanten Schollen, dominierte. Dabei wurde u.a. auch eine 10 m hohe Fichte mittleren Alters umströmt, ohne merkbaren Schaden am Baum zu hinterlassen. Ein weiterer Hinweis auf eine wassergesättigte Sedimentmasse ist das Fehlen von Erosionsspuren an vom Erdstrom überflossenen Wiesenflächen. Dabei kam es beidseitig zur Bildung von Levee-artigen Seitenwällen mit lateraler Abscherung. Die unterste Zone der Ablagerung bildet eine zungenartige, nicht weiter gegliederte Struktur mit Anzeichen von Materialkompression mit den größten Schollen der gesamten bewegten Masse (bis zu 5 m im Durchmesser). Ein markant ausgebildeter Stirnwulst mit einer Höhe von 1 bis ca. 2 m, bildet die deutliche Grenze zwischen bewegtem Material und nicht überschütteter Wiese (Abb. 2d). Im zentralen Bereich dieser Stirn in einer Tiefenlinie hat sich nach dem Ereignis ein Quellaustritt gebildet. Das abfließende Wasser floss auch zum Zeitpunkt der Geländeaufnahme über die zuvor abflusslose Wiese.

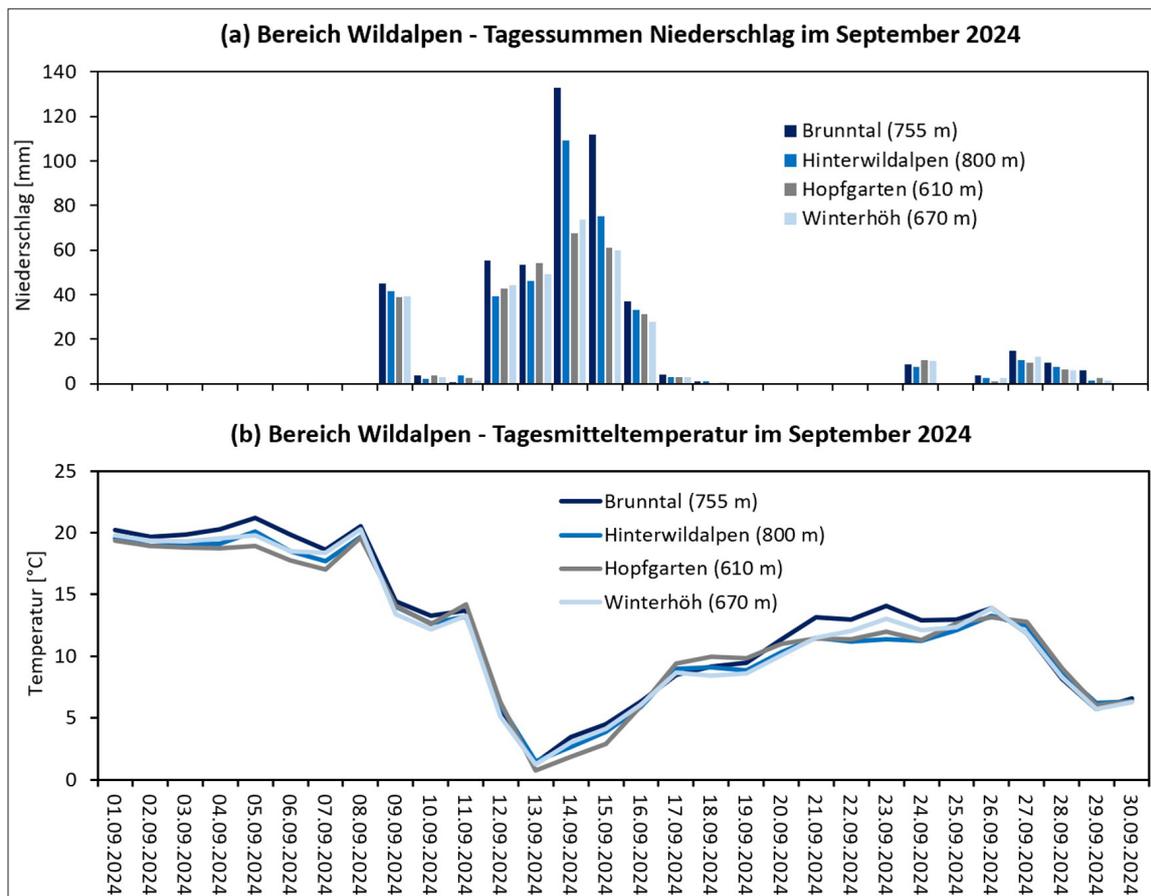


Abb. 4: Tagessummen des Niederschlages (a) sowie Tagesmitteltemperatur (b) im September 2024 an vier hier relevanten meteorologischen Stationen im Bereich von Wildalpen (Wiener Wasser 2024). Details siehe Text.

Fig. 4: Daily totals of precipitation (a) and daily average temperature (b) in September 2024 at four relevant meteorological stations in the Wildalpen area (Wiener Wasser 2024). See text for details.

4.2. Das auslösende Ereignis: Niederschläge in der Gemeinde Wildalpen

Die Auswertung regionaler Niederschlagsdaten am Beispiel der Station Wildalpen (Lage siehe Abb. 1) des Hydrographischen Dienstes (Land Steiermark 2024b) zeigt, dass auch dort ein neuer Niederschlagsrekord erreicht wurde. Dabei wurde mit einer maximalen 5-Tages-Niederschlagssumme von 257,6 mm vom 12. September bis zum 16. September die bisher größte 5-Tages-Niederschlagsmenge seit dem Messbeginn im Jahr 1901 erfasst (Abb. 3a). Darüber hinaus übertrifft dieses Ereignis bei einem Mittelwert der maximalen 5-Tages-Niederschlagssummen von 126,6 mm im Zeitraum 1901 bis 2024 und einer Standardabweichung von 38,3 mm auch die Drei-Sigma Schwelle, ein Schwellenwert zur Charakterisierung von schweren Extremereignissen (Coumou & Robinson 2013) und verdeutlicht somit die Intensität des Ereignisses (Greilinger et al. 2024). Auch bei der Kerndichteschätzung, einem statistischen Ansatz zur graphischen Abschätzung der Verteilung einer Variablen mit einer Gesamtfläche unter der Kurve von eins (Parzen 1962; Illowsky & Dean 2013), zeigt sich, dass das Ereignis weit außerhalb der normalen Datenverteilung zu verorten ist (Abb. 3b). Wenn nur Septembermonate der Zeitreihe betrachtet werden, dann liegt das Ereignis sogar über der Fünf-Sigma Schwelle.

Die Auswertung der September-Daten der vier meteorologischen Stationen Brunntal, Hinterwildalpen, Hopfgarten und Winterhöh im Nahbereich der Massenbewegung lässt ein genaueres Bild der Witterungsbedingungen in den Tagen vor dem Ereignis erkennen. Abbildung 4 zeigt die Tagessummen des Niederschlages sowie die Tagesmitteltemperatur für den September 2024 für die vier Stationen Brunntal, Hinterwildalpen, Hopfgarten sowie Winterhöh. Wie dieser Abbildung zu entnehmen ist, war der September bis einschließlich 08.09.2024 im gesamten Bereich niederschlagsfrei und mit Temperaturen von 18–20 °C recht mild. Erst am 09.09. begann eine erste eintägige Niederschlagsphase mit Werten von ca. 40 mm in den Tallagen, verbunden mit einer Abkühlung um rund 5° C. Nach zwei Tagen mit geringen Niederschlägen und gleichbleibenden Temperaturen, begann am 12.09. eine Phase von deutlich erhöhten Niederschlägen. In Summe waren der 09.09. sowie die 4 Tage vom 12. bis zum 15.09. sehr niederschlagsreich, der 16.09. schon etwas weniger und der 17.09. fast niederschlagsfrei. Tabelle 1 listet die an den vier Stationen gemessenen Niederschläge für den September 2024, für die zuvor genannten niederschlagsreichen Tage 09.+12.09.-16.09.2024, sowie der beiden Tage 14. und 15.09. auf. Klar erkennbar sind die allgemein hohen Niederschläge im September, welche die Angaben in der Einleitung für Wildalpen bestätigen, die 6 Tage mit Gesamtniederschlägen von 294 bis 436 mm, sowie die beiden Extremtage 14. und 15.09., die alleine zwischen 129 mm und 245 mm an Niederschlag brachten.

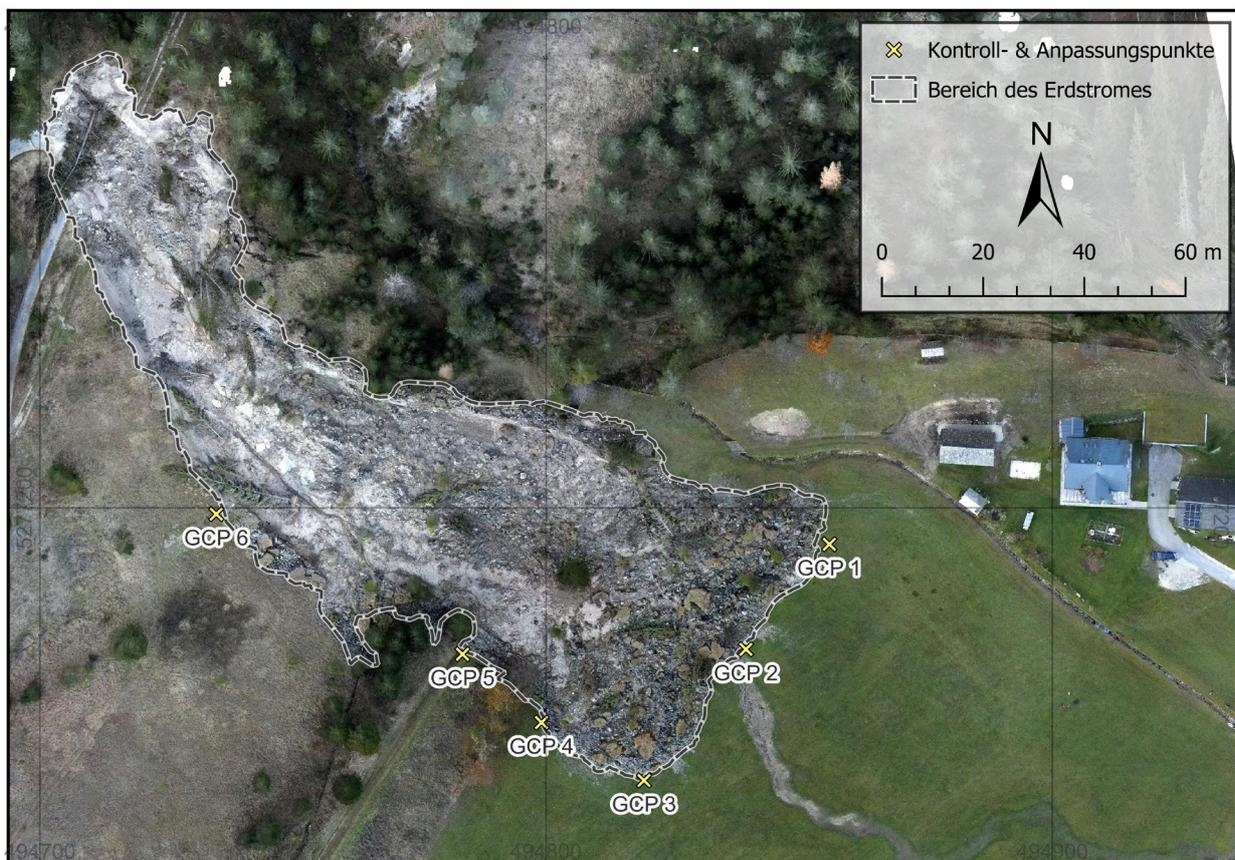


Abb. 5: Orthofoto des Erdstroms erstellt aus der UAV Befliegung vom 08.11.2024. Klar unterscheidbar das Anrissgebiet mit der zerstörten Wegeinfrastruktur sowie die Übersättigung der landwirtschaftlichen Nutzfläche im Ablagerungsgebiet. Die Ground Control Points (GCPs) 1, 3 und 6 waren Anpassungspunkte des Modells, die Punkte 2, 4 und 5 Kontrollpunkte. Referenzsystem: EPSG 25833.

Fig. 5: Orthoimage of the gravitational mass movement from the UAV survey on November 8, 2024. The starting zone with the destroyed road infrastructure and the deposition zone on top of the agricultural area are clearly visible. The Ground Control Points (GCPs) 1, 3 and 6 were used as control points for the model and points 2, 4 and 5 were used as check points. Reference system: EPSG: 25833.

Bedingt durch die tiefen Temperaturen mit nahe 0 °C in den Tallagen fiel in den Hang- und Bergbereichen um Wildalpen der Niederschlag zum beträchtlichen Teil in Form von Schnee, welcher auch den Talboden von Wildalpen bedeckte. Nach ein paar Tagen mit Kälte und Schnee wurde es am 17.09. erstmals wieder deutlich wärmer mit Temperaturmaxima von über 15° C am Nachmittag bei nur mehr wenig Niederschlag (3–4 mm). Die starke Durchfeuchtung des Bodens und die weitere Wasserzufuhr durch die Schneeschmelze waren die Ursache bzw. das auslösende Ereignis für den Erdstrom, der sich auf Basis von Berichten der ortsansässigen Bevölkerung am 18.09.2024 zwischen Mitternacht und 5h früh ereignete.

4.3. Ergebnisse der UAV Befliegung und Folgen des Ereignisses

Die Massenbewegung ist im Orthofoto gut abgrenzbar und zeigt eine Gesamtfläche von ca. 7.600 m² (Abb. 5). Erkennbar ist auch die Unterbrechung der Straße und die Bildung eines neuen Oberflächenabflusses im Grünlandbereich. An konkreten sozioökonomischen Schäden verursachte die Rutschung (a) die Zerstörung der Zufahrtsstraße zu einem Anwesen, (b) die Zerstörung eines Karrenweges, (c) die Überdeckung eines Teils der als Grünland genutzten Flächen am nördlichen Rand der

Talweitung, (d) die Entwurzelung und Kippung einiger Fichten geringen und mittleren Alters sowie (e) die Zerstörung von Wasserleitungsinfrastruktur, die im Bereich der Massenbewegungen installiert war, wie beispielsweise die Wasserversorgung eines nahe gelegenen Hofes.

4.4. Genauigkeit des Oberflächenmodelles 2024 und Differenz der Oberflächen 2024-2011

Die Analyse der Kontrollpunkte resultierte in einem Fehler der UAV Befliegung von ca. einem Zentimeter horizontal und vertikal, was sich in einem dreidimensionalen Gesamtfehler von ca. 1,5 cm niederschlägt (Tab. 2).

Die visuelle Analyse zeigt auf Flächen mit wenig erwartbarer Veränderung, z.B. gerade Asphaltflächen wie Straßen oder zu beiden Zeitpunkten kurz gehaltene Wiesen oder Rasen, eine hohe Übereinstimmung mit einem Unterschied der Oberflächen 2011 und 2024 im Bereich von maximal fünf Zentimetern (Abb. 6). Mittlere Unterschiede von 10 cm bis 20 cm ergeben sich auf Wiesen, wobei der starke Unterschied zweier angrenzender Felder im äußersten Südosten der Karte nahelegt, dass es sich hierbei um einen starken Einfluss der Wiesenhöhe – und damit des unterschiedlichen Bewuchses bei den beiden

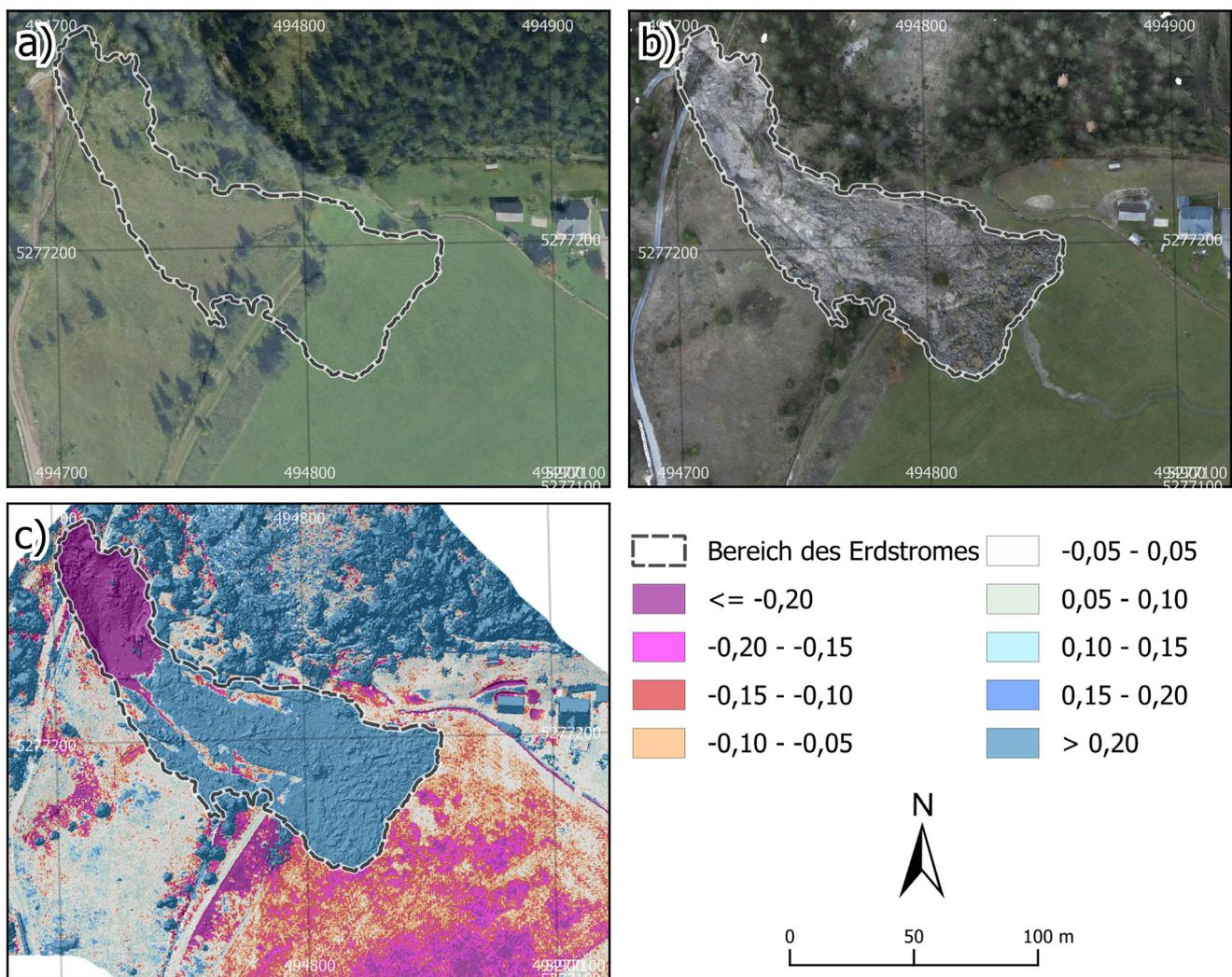


Abb. 6: a) Orthofoto aus dem Jahr 2022 (Land Steiermark 2024c); b) der UAV Befliegung 2024 und; c) die Differenz der Höhenmodelle 2024 und 2011 in Metern (Land Steiermark 2024a). Referenzsystem: EPSG 25833.

Fig. 6: a) Orthoimage from the year 2022 (Land Steiermark 2024c); b) from the UAV flight 2024 and; c) the difference between the digital elevation model 2024 and 2011 in meters (Land Steiermark 2024a). Reference system: EPSG 25833.

Datenaufnahmekampagnen – auf das DHM des Jahres 2011 handelt. Erwartbar hohe Unterschiede befinden sich auf Waldflächen, dem Bereich der Massenbewegung und bei Gebäuden.

4.5. Höhendifferenzen des Erdstroms und geschätzte Volumina

Die Massenbewegung führte im Anrissgebiet, mit einer Ausdehnung von maximal ca. 61 m x ca. 30 m und einer Fläche von ca. 1.741 m², zu einer Materialverlagerung bis zu einer Tiefe von ca. 5 m (Abb. 7). Das Ablagerungsgebiet hat eine maximale Seitenlänge von ca. 122 m x 69 m und eine Gesamtfläche von 5.902 m². Volumsberechnungen auf diesen Flächen führen zu einem Massenverlust von 5.513 m³ im Anrissgebiet (d.h. Abtrag, Transport und tw. Sedimentation in diesem Bereich, wie z.B. im unteren Bereich der Anrisszone) und einem Massengewinn mit einem Volumen von 5.155 m³ im primären Ablagerungsgebiet. Diese Differenz erklärt sich einerseits durch die Einflüsse der Vegetation auf die Höhendifferenz, aber auch durch erosiven Austrag über den neugebildeten Bach.

5. Diskussion

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie können – nicht zuletzt angesichts des dargelegten Charakters des gegenständlichen Ereignisses als wissenschaftlicher Zufallsfund – als sehr zufriedenstellend betrachtet werden, da alle eingangs definierten Ziele nicht nur erreicht, sondern dabei auch eine hohe Genauigkeit erzielt werden konnte. Dies war durch die gewählten Methoden möglich und beruht letztlich auf der Kombination einer hochgenauen Aufnahmetechnik und der ausgezeichneten Datenlage in Bezug auf die Witterung, die dem dichten regionalen Stationsnetz von Wiener Wasser zu verdanken ist. Dennoch bleiben einige Fragen offen.

Die außergewöhnliche Intensität dieses Niederschlagsereignisses hatte sowohl meteorologische als auch geomorphologische Relevanz. Der Erdstrom von Hinterwildalpen wurde durch das Zusammenwirken zweier Faktoren gesteuert: Erstens durch die geologische Disposition, insbesondere die Anfälligkeit der quartären Lockersedimente für gravitative Massenbewegungen. Zweitens fungierten die extremen Niederschlagsmengen – die zu einem erheblichen Teil als Schnee fielen – als unmittelbarer Auslöser. Durch die Schneeschmelze führte das infiltrierende Schmelzwasser zu einer fortschreitenden Wasser-

sättigung des Materials, wodurch dessen bodenmechanische Stabilität soweit herabgesetzt wurde, dass es letztlich zur Mobilisierung und zum Abgleiten der Masse kam.

Die durch die UAV Befliegung errechneten Volumina der mobilisierten Massen zeigten eine Diskrepanz von ca. 360 m³ zwischen Anriss- und Ablagerungsgebiet. Diese Unsicherheiten sind vergleichsweise gering, und können durch Kombination verschiedener Unsicherheiten erklärt werden. Eine naheliegende Erklärung ist der Einfluss der Vegetation. So zeigt die landwirtschaftliche Grünfläche außerhalb des Ablagerungsgebietes eine Höhenänderung von -10 cm bis -20 cm vom Zeitpunkt 2011 bis 2024 (Abb. 6c), welche auf Grund ihrer deutlich parzellenförmigen Ausprägung der vermutlich ungemähten Wiese im Jahr 2011 zuzuschreiben ist, was im Vergleich zum gemähten Zustand 2024 zu diesem Höhenverlust im Differenzmodell führt. Unter der Annahme, dass diese vegetationsbedingte Erhöhung der Basis 2011 auch im Ablagerungsgebiet vorkommt, würde dies einen großen Teil der Diskrepanzen erklären (z.B. nimmt das Ablagerungsgebiet auf der Wiese eine Fläche von ca. 2.300 m³ ein, bei einer 15 cm höheren Basis 2011 durch hochstehendes Gras wären das daher 345 m³ fehlendes Volumen der Ablagerung). Darüber hinaus könnte es auch zu einer Reihe weiterer Modifikationen des Geländes in diesem 13-jährigen Zeitraum kommen. Schließlich könnten auch Erosion durch den neu gebildeten Abfluss, Volumsänderungen der organischen Substanz durch geänderte Wassersättigung und andere nicht quantifizierbare Änderungen zu den Diskrepanzen der beiden Volumina beitragen. Unter Berücksichtigung dieser Punkte stimmen die Volumina des Anriss- und Ablagerungsgebietes insgesamt relativ gut überein.

6. Fazit

Die Studie konnte die Reliefveränderungen durch den Erdstrom nicht nur beschreiben, sondern auch mit nur geringen Unsicherheiten quantifizieren, wofür exakte Daten und kartographische Darstellungen angeboten werden. Das auslösende Ereignis waren extreme Niederschlagsmengen, die auf der statistischen Ebene des 5-Tages-Niederschlags neue Maxima seit Messbeginn erbrachten. Die Kombination von hoher Niederschlagsintensität und nachfolgender Schneeschmelze – ein beträchtlicher Teil der Niederschläge war in Form von Schnee gefallen – bot besondere Rahmenbedingungen, wobei der Wassereintrag durch die Schneeschmelze wahrscheinlich der unmittelbare Auslöser des Erdstroms war.

Tab. 1: Niederschlagsdaten an ausgewählten Stationen (Wiener Wasser 2024) im September 2024.

Tab. 1: Precipitation data from selected stations (Wiener Wasser 2024) in September 2024.

Station	Summe Niederschlag (mm)		
	Sep-24	09.+12.09-16.09.2024	14.+15.09.2024
Brunntal	488,98	435,68	244,85
Hinterwildalpen	384,73	344,81	184,65
Hopfgarten	335,91	295,13	128,62
Winterhöh	334,99	294,01	133,46

Tab. 2: Fehler der UAV-Befliegung vom 8.11.2024 im Bereich von Hinterwildalpen in m.

Tab. 2: Error of the UAV flight on November 8, 2024 in the Hinterwildalpen area in m.

Punktart	n	X	Y	Z	Total XYZ
Anpassungspunkte	3	0.006	0.001	0.001	0.006
Kontrollpunkte	3	0.009	0.007	0.012	0.016

Dank

Unser herzlicher Dank gilt der lokalen Bevölkerung für ihre wertvollen Auskünfte und Informationen zum Erdstrom. Herrn Josef Quinz ist für die zur Verfügungstellung meteorologischer Daten von der Station Wildalpen des hydrographischen Dienstes gedankt. Darüber hinaus danken wir der Magistratsabteilung 31 - Wiener Wasser für die zur Verfügung gestellten Rohdaten der meteorologischen Stationen Brunntal, Hinterwildalpen, Hopfgarten und Winterhöh.

Finanzierung

Diese Studie ist Teil des Projektes „Moving mountains - landslides as geosystem services in Austrian geoparks“ (ESS22-24 - MOVEMONT), welches im Rahmen des Forschungsprogramms Earth System Sciences (ESS) von der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW) finanziert wird.

Literatur

- Agisoft. 2024: Agisoft Metashape Professional V 2.1.3. – <https://www.agisoft.com/downloads/installer/> [aufgerufen am 28.05.2025].
- Altnau S. 2024: Wetter und Klima - Deutscher Wetterdienst - Thema des Tages - Mittelmeerluft und Tief ANETT - Extremniederschläge im östlichen Mitteleuropa. – https://www.dwd.de/DE/wetter/thema_des_tages/2024/9/11.html [aufgerufen am 20.01.2025].
- BEV. 2023: Höhen-Grid plus Geoid Stichtag 08.11.2013. Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen. – <https://data.bev.gv.at/geonetwork/srv/api/records/9ae63b19-62f0-4f59-95cf-509c5bfad33> [aufgerufen am 11.02.2025].
- Bryda G. & van Husen D. 2010: Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 101 Eisenerz. – Wien: Geologische Bundesanstalt.
- Bryda G., van Husen D., Kreuss O., Koukal V., Moser M., Pavlik W., Schönlaub H.P. & Wagreich M. 2013: Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000. Erläuterungen zu Blatt 101 Eisenerz. – Wien: Geologische Bundesanstalt. – https://opac.geologie.ac.at/ais312/dokumente/101_Eisenerz.pdf [aufgerufen am 28.05.2025].
- Bunza G. 1978: Bewegungsablauf und Sanierungsmöglichkeiten von Erdströmen. – Geologisch-Paläontologische Mitteilungen Innsbruck 8 (Festschrift Heißel): 209–225.
- Campbell J.B. & Wynne R.H. 2011: Introduction to Remote Sensing, Fifth Edition. Guilford Publications. – https://natural-resources.canada.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_e.pdf [aufgerufen am 28.05.2025].
- Coumou D. & Robinson A. 2013: Historic and future increase in the global land area affected by monthly heat extremes. – *Environmental Research Letters* 8(3): 034018.
- Czyza S., Szuniewicz K., Kowalczyk K., Dumalski A., Ogrodniczak M. & Zieleniewicz Ł. 2023: Assessment of Accuracy in Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Pose Estimation with the REAL-Time Kinematic (RTK) Method on the Example of DJI Matrice 300 RTK. – *Sensors* 23(4): 2092.

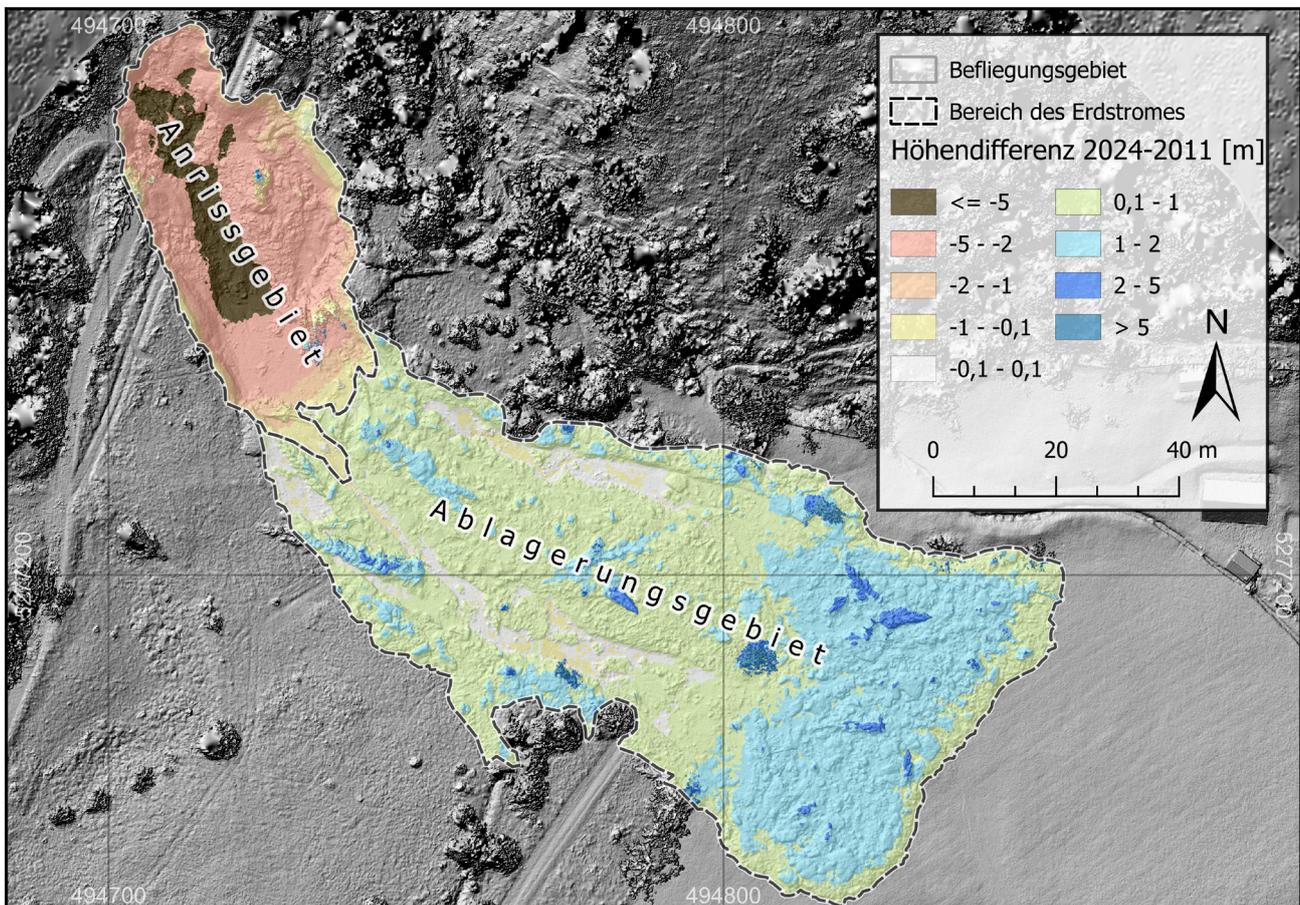


Abb. 7: Differenz des Höhenmodells aus der UAV Befliegung vom 8. November 2024 und dem DHM aus dem Jahr 2011 (Land Steiermark 2024a). Referenzsystem: EPSG 25833.

Fig. 7: Difference of the digital surface model from the UAV campaign on November 8, 2024 and the digital elevation model from 2011 (Land Steiermark 2024a). Reference system: EPSG 25833.

- DJI. 2025a: Support for Matrice 300 RTK. DJI. – <https://www.dji.com/at/support/product/matrice-300> [aufgerufen am 22.01.2025].
- DJI. 2025b: Technische Daten - Zenmuse P1 - DJI Enterprise. – <https://enterprise.dji.com/de/zenmuse-p1/photo> [aufgerufen am 22.01.2025].
- Drennig A. 1988: Die II. Wiener Hochquellenwasserleitung. Wiener Wasserwerke. Wien, Österreich: Compress-Verlag. – <https://www.digital.wienbibliothek.at/download/pdf/1797555.pdf> [aufgerufen am 22.01.2025].
- Ehlers J., Gibbard P.L. & Hughes P.D. 2011: Chapter 1 - Introduction. In: Ehlers J., Gibbard P.L., & Hughes P.D. (eds.): *Developments in Quaternary Sciences. Quaternary Glaciations - Extent and Chronology*, 1–14. Elsevier. – <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444534477000015> [aufgerufen am 11.02.2025].
- Emlid. 2025: Reach RS3. Emlid. – <https://emlid.com/reachrs3/> [aufgerufen am 22.01.2025].
- Fischer K. 1967: Erdströme in den Alpen. – *Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft München* 52: p. 231–246.
- Fritsch A. 1993: Das Quartär der westlichen Hochschwab-Nordabdachung unter Berücksichtigung des Bergsturzes von Wildalpen. Unpublizierte Diplomarbeit. – Wien: Universität Wien.
- Greilinger M., Orlik A., Tilg A., Schellander H., Pistotnik G., Lehner S., Schlögl M. & Koch R. 2024: Niederschlagsereignis vom 12. bis 16. September 2024 in Österreich. Wien, Österreich: GeoSphere Austria. – https://www.zamg.ac.at/cms/de/dokumente/klima/dok_news/2024/klimatologische-analyse-niederschlagsereignis-12.-16.9.2024 [aufgerufen am 22.01.2025].
- Illowsky B. & Dean S. 2013: *Introductory Statistics*. Houston, Texas, USA: OpenStax. – https://assets.openstax.org/oscms-prodcms/media/documents/IntroductoryStatistics-OP_i6tAI7e.pdf.
- Land Kärnten. 2019: Digitales 10m - Geländemodell aus Airborne Laserscan Daten der Österreichischen Länder. – https://www.data.gv.at/katalog/en/dataset/land-ktn_digitales-gelandemodell-dgm-osterreich#resources [aufgerufen am 15.01.2025].
- Land Steiermark. 2024a: ALS Höhendaten in der Auflösung 0,5 m. – <https://gis.stmk.gv.at/wgportal/atlasmobile/map/Basiskarten/Datendownload> [aufgerufen am 15.01.2025].
- Land Steiermark. 2024b: Niederschlagsdaten Hydrographischer Dienst. – Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Abteilung 14 - Wasserwirtschaft, Ressourcen und Nachhaltigkeit, Kontakt Josef Quinz.
- Land Steiermark. 2024c: Orthophotos. Bereitgestellt über GIS-Steiermark. – <https://gis.stmk.gv.at/wgportal/atlasmobile/map/Basiskarten/Datendownload>.
- MeinBezirk Oberösterreich. 2024: Hochwasser OÖ 2024: Haus nach Mure in Sulzbach evakuiert. MeinBezirk.at. – https://www.meinbezirk.at/steyr-land/c-lokales/haus-nach-mure-in-sulzbach-evakuiert_a6902457.
- Mergili M. 2023: The moving mountains. Landslides as geosystem services in Austrian geoparks. – <http://www.movemont.at/> [aufgerufen am 11.02.2025].
- Moser M. 2003: Bericht 2000 über geologische Aufnahmen in den Nördlichen Kalkalpen auf Blatt 101 Eisenerz. – *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt* 143: 358–360.
- Parzen E. 1962: On Estimation of a Probability Density Function and Mode. – *The Annals of Mathematical Statistics* 33(3): 1065–1076.
- Übel M. 2024: Wetter und Klima - Deutscher Wetterdienst - Thema des Tages - Unwettertief ANETT – Zwischenbilanz und Ausblick. – https://www.dwd.de/DE/wetter/thema_des_tages/2024/9/15.html [aufgerufen am 20.01.2025].
- Westoby M.J., Brasington J., Glasser N.F., Hambrey M.J. & Reynolds J.M. 2012: 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. – *Geomorphology* 179: 300–314.
- Wiener Wasser. 2024: Wetter- und Klimadaten der Wiener Wasserwerke (MA 31).

Anschriften der Autoren

Harald Zandler, Institut für Geographie und Raumforschung,
Universität Graz, Heinrichstr. 36, A-8010 Graz, harald.zandler@uni-graz.at

Andreas Kellerer-Pirklbauer, Institut für Geographie und Raumforschung,
Universität Graz, Heinrichstr. 36, A-8010 Graz,
andreas.kellerer@uni-graz.at

Christian Bauer, Institut für Geographie und Raumforschung,
Universität Graz, Heinrichstr. 36, A-8010 Graz,
christian.bauer@uni-graz.at

Hermann Kain, Magistratsabteilung 31 - Wiener Wasser, Grabnergasse 4-6,
A-1060 Wien, hermann-kain@wien.gv.at

Gerhard Karl Lieb, Institut für Geographie und Raumforschung,
Universität Graz, Heinrichstr. 36, A-8010 Graz, gerhard.lieb@uni-graz.at