



## **Identifizierung und Kartierung tiefgründiger Massenbewegungen im Einzugsgebiet des Steingrabens (Osterhorngruppe, Nördliche Kalkalpen, Salzburg)**

HANS JÖRG LAIMER<sup>1</sup> & RAINER BRAUNSTINGL<sup>2</sup>

16 Abbildungen

Österreichische Karte 1:50.000  
BMN / UTM  
95 Sankt Wolfgang im Salzkammergut / NL 33-01-11 Bad Ischl

Nördliche Kalkalpen  
Osterhorngruppe  
Kössen-Formation  
Massenbewegungen  
Geomorphologie

### **Inhalt**

|  |    |
|--|----|
| Zusammenfassung                                  | 69 |
| Abstract   | 69 |
| Einleitung                                       | 70 |
| Material und Methoden                            | 70 |
| Geologischer Überblick                           | 70 |
| Tektonik   | 70 |
| Stratigraphie                                    | 71 |
| Quartär  | 71 |
| Ergebnisse                                       | 71 |
| Geomorphologie und Geologie der Massenbewegungen | 71 |
| Klassifikation der Massenbewegungen              | 77 |
| Diskussion                                       | 78 |
| Literatur  | 79 |

### **Zusammenfassung**

Eine aktive Großrutschung im Steingraben (St. Gilgen, Salzburg) wurde zum Anlass genommen, das gesamte Einzugsgebiet des Wildbaches auf die Existenz von tiefgründigen Massenbewegungen zu untersuchen. Die Lagerungsverhältnisse (rigide Jurakalke über Mergeln und Kalkmergeln der Kössen-Formation) ließen Hangversagen im System „Hart auf Weich“ erwarten. Die geomorphologische Kartierung auf Basis hochauflösender Airborne Laserscanning-Daten (ALS) führte zur Erfassung von fünf bislang nicht bekannten Massenbewegungen. Zwei weitere wurden neu abgegrenzt. Damit kann die nördliche Osterhorngruppe als ein weiteres für Massenbewegungen im System „Hart auf Weich“ anfälliges Gebiet eingestuft werden. Der Genauigkeitsgrad der Erhebung reicht für eine Aufnahme der Massenbewegungen in eine Gefahrenhinweiskarte aus.

### **Identification and mapping of deep-seated landslides in the Steingraben drainage basin (Osterhorn Mountains, Northern Calcareous Alps, Salzburg)**

#### **Abstract**

A large scale landslide in the Steingraben Valley (St. Gilgen, Salzburg) was taken as an occasion to examine the whole drainage basin of the torrent for the existence of deep-seated mass movements. Slope failure mechanisms within the geotechnical system 'hard on soft' could be expected from the bedding conditions (rigid Jurassic limestones over marls and marly limestones of the Kössen Formation). Geomorphological mapping based on high resolution Airborne Laserscanning data (ALS) led to the recording of five previously unknown landslides. The boundaries of two further ones were redrawn. Thus, the Northern Osterhorn Mountains can be classified as another area prone to landslides within a 'hard on soft rock' setting. The degree of accuracy of the survey is sufficient for an inclusion of the gained landslide data in hazard index maps.

<sup>1</sup> HANS JÖRG LAIMER: Weinbach 15, 5360 St. Wolfgang im Salzkammergut. hans-joerg.laimer@oebb.at

<sup>2</sup> RAINER BRAUNSTINGL: Seebadstraße 30, 5201 Seekirchen am Wallersee.

## Einleitung

Im April 2023 erreichte eine Großrutschung im Steingraben bei Abersee (Gemeinde St. Gilgen, Salzburg) mediale Aufmerksamkeit. Südöstlich des Zwölferhorns (1.521 m), nahe der Hochebenalm, gerieten rund eine Million m<sup>3</sup> Gestein in Bewegung, was zur Zerstörung von 6,7 ha Wald und zweier Forststraßen bzw. zur Verlegung eines Wildbaches auf Höhe der Steingrabenalm führte (Abb. 1). Durch das Vorhandensein eines Murrückhaltebauwerks im Unterlauf des Steingrabenbaches bestand keine Gefahr für den Siedlungsraum, doch wurde dieses Ereignis zum Anlass genommen, das gesamte Einzugsgebiet des Steingrabens (14,54 km<sup>2</sup>) überblicksmäßig auf größere Massenbewegungen zu untersuchen.

Bislang waren nur die Hangbewegungen am NE-Hang des Illingerberges (PLÖCHINGER, 1973a; vgl. Abb. 1) eindeutig als Rutschung und jene am W- bzw. N-Hang des Aberseer Breitenberges mit einer Rutschmassen-Übersignatur (PLÖCHINGER, 1982a) kartiert. Die relativ weite Verbreitung der Kössen-Formation, deren Mergellagen nach NICKMANN & THURO (2013) das Auftreten von Hangbewegungen stark begünstigen können, ließ aber auf die Existenz weiterer Massenbewegungen schließen. Diese Annahme wurde noch durch Kartierungsergebnisse im benachbarten Schafberg-Tirolikum bestärkt, wo im Plattenkalk bzw. in der Kössen-Formation des St. Wolfgang Breitenberges tiefgründige Hangdeformationen erfasst worden waren (LAIMER, 2021). Sowohl die bekannten als auch jene bei der Untersuchung neu ausgeschiedenen Massenbewegungen sollen mit dieser Arbeit dokumentiert, kartenmäßig erfasst und klassifiziert werden.

## Material und Methoden

Auf Basis des geschummerten digitalen Geländemodells (ALS-DGM, räumliche Auflösung: 0,5 m, Befliegung 2018) des Landes Salzburg wurden Bereiche mit potenziel-

len Massenbewegungen vorerfasst und im Gelände mittels einer geomorphologischen Überblickskartierung (preliminary ground investigation) überprüft. Wie bereits bei der Bearbeitung der Hangbewegungen am St. Wolfgang Breitenberg war keine geomorphologische Detailaufnahme bzw. geologisch-geotechnische Erkundung geplant, sondern lediglich die Kartierung charakteristischer Abtrags- und Ablagerungsformen (Abb. 2), um das Vorhandensein einer Massenbewegung nachweisen bzw. diese räumlich abgrenzen zu können.

Da aus der geomorphologischen Kartierung oft nicht auf die geologische bzw. kinematische Situation geschlossen werden kann, wurden zusätzlich Gefügemessungen an den Schichtflächen durchgeführt. Diese dienen zur Interpretation des Bewegungsmechanismus und zur Erstellung der schematischen Profilschnitte (Abb. 4, 8, 12, 16). Für letztere standen neben den Karten und Erläuterungen PLÖCHINGERS (1973a, b, 1982a, b) keine weiteren geologischen Daten zur Verfügung.

In einem ingenieurgeo(morpho)logischen Kontext entspricht diese Bearbeitungstiefe damit jener einer initialen Befundung des Projektgebietes (initial site appraisal, im Sinne von FOKES et al., 2001). Diese dient zur Identifizierung und Ersteinschätzung potenzieller Problembereiche, um die weiterführenden Erkundungs- und Planungsmaßnahmen festlegen zu können.

## Geologischer Überblick

### Tektonik

Das durch die Hauptdolomitfazies charakterisierte Untersuchungsgebiet befindet sich in der nördlichen Osterhorngruppe, welche die Hauptmasse der Salzburger Kalkvor-alpen bildet. Der Steingraben ist ein westlicher Zubringer zum Zinkenbach, dessen orographisches Einzugsgebiet von der Linie Troiferberg–Zwölferhorn–Pillstein–Illingerberg–Königsbergwald–Breitenberg begrenzt wird (Abb. 1)

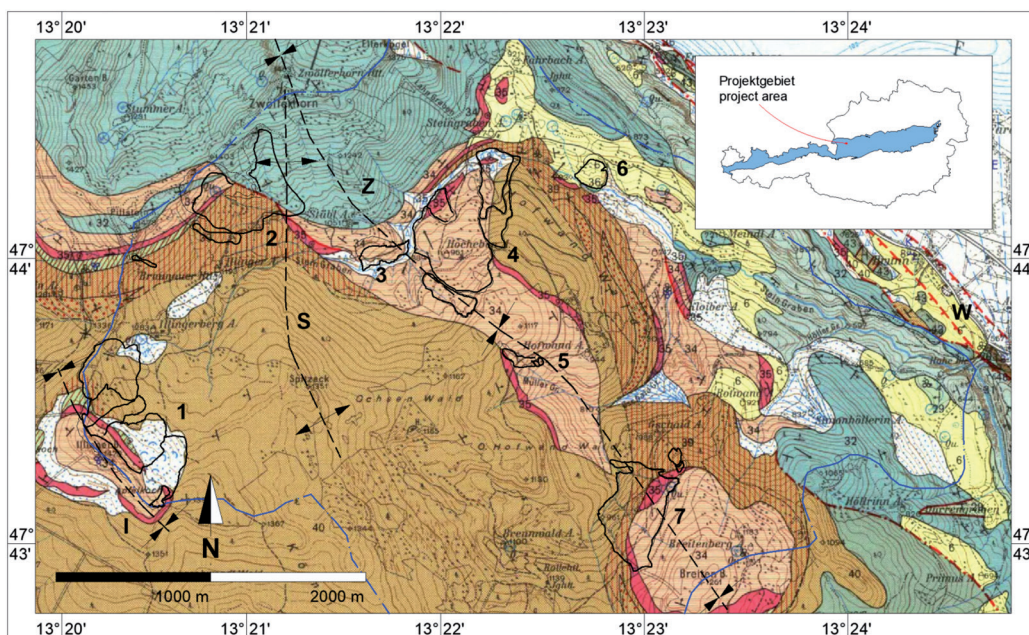


Abb. 1. Geologische Karte des Untersuchungsgebietes (Ausschnitt aus PLÖCHINGER, 1973a): 6: Moräne, 32: Oberalmer Schichten, 34: Bunte Kiesel- und Radiolarit-schichten, 35: Bunte Liaskalke, 36: Allgäuschichten, 39: Kössener Schichten, 40: Plattenkalk, 43: Hauptdolomit. Das Einzugsgebiet des Steingrabens ist blau umrahmt. Die Massenbewegungen (1–7) und wichtige tektonische Strukturen sind mit einer schwarzen Übersignatur dargestellt: 1: Illingerberg, 2: Zwölferhorn SE-Flanke, 3: Stüblalm, 4: Hochebenalm, 5: Hofwandalm, 6: Eckalbel, 7: Breitenberg W-Flanke, I: Illingerberg-Synklinale, S: Spitzack-Antiklinale, W: Wolfgangsee-Störung, Z: Zwölferhorn-Synklinale. Das Insetkartchen zeigt die Lage des Projektgebietes innerhalb der Nördlichen Kalkalpen.

und somit gänzlich innerhalb der Osterhorn-Scholle der tirolischen Staufen-Höllengebirge-Decke liegt. TOLLMANN (1969: 128) spricht von der „ruhig gelagerte[n] Osterhorngruppe mit Vorherrschen von Bruchtektonik und untergeordneten Übergleitungen“. Sie wird durch die dextrale Wolfgangsee-Blattverschiebung vom Schafberg-Tirolikum getrennt.

Nach einer überblicksmäßigen Kartierung durch LEISCHNER (1960) wurde der N-Teil des Untersuchungsgebiets im Rahmen der Bearbeitung der Flyschfenster von Strobl und St. Gilgen durch PLÖCHINGER (1964) neu aufgenommen. Der S-Teil wurde für eine Gebietskarte der Geologischen Bundesanstalt (PLÖCHINGER, 1973a) detailliert kartiert, wobei das Ergebnis für Blatt 95 der Geologischen Karte der Republik Österreich 1:50.000 (PLÖCHINGER, 1982a) übernommen wurde.

Annähernd parallel zur Wolfgangsee-Störung verlaufen durch das Untersuchungsgebiet nach PLÖCHINGER (1973b) zwei NNW–SSE streichende Synklinale, die von der N–S streichenden Spitzzeck-Antiklinale getrennt werden (Abb. 1). In der Illingerberg-Synklinale ist eine durchgehende Schichtfolge vom karnisch-norischen Hauptdolomit bis zu den oberjurassischen Kiesel- und Radiolaritschichten aufgeschlossen. In der flach gegen S bis SE ansteigenden Zwölferhorn-Synklinale folgen im Hangenden noch Oberalmer Kalke. Die Muldenstruktur ist hier im Bereich Hochebenalm–Hofwandalm gut ersichtlich, wo die jurassischen Schichtglieder zur Synklinalachse hin einfallen.

### Stratigraphie

Die Bezeichnung der Schichtglieder folgt in Abbildung 1 noch der Legende der dargestellten Karte. Im Weiteren werden, soweit es möglich ist, die Begriffe der stratigraphischen Tabelle von Österreich (PILLER et al., 2004) verwendet.

Während der den Gebirgssockel bildende Hauptdolomit im unmittelbaren Untersuchungsgebiet nicht aufgeschlossen ist, nimmt der dezimeter- bis metergebante, graue Plattenkalk (Norium–Rhätium) weite Flächen ein. Da die Plattenkalke mit ihren häufigen Mergelschieferzwischenlagen von kalkreichen Anteilen der Kössen-Formation sehr schwer zu unterscheiden sind, wurde bei PLÖCHINGER (1973a) die Schichtgrenze in einigen Bereichen strichliert. Die für die Massenbewegungen im Steingraben ursächlichen Gesteine der Kössen-Formation beschreibt PLÖCHINGER (1973b: 26) für das Osterhorn-Tirolikum als „dunkelgraue, gebante Mergelkalke mit bis über metermächtigen, dunkelgrauen bis schwarzen, weichen Mergelschieferzwischenlagen.“ In die Mergelkalke können mehrere Zehnermeter mächtige, undeutlich gebante Riffkalk-Linsen (Lithodendronkalk) eingeschaltet sein. Diese finden sich in den untersuchten Bereichen als 5–10 m mächtige Bänke am Illingerberg, Zwölferhorn und Breitenberg.

Überlagert wird die Kössen-Formation von einer jurassischen Schichtfolge, die Allgäu-Formation (Liasfleckenmergel), bunte Liaskalke (maximal 30 m mächtige Knollenkalke der Adnet-Formation und Enzesfelder Kalk) und Kieselkalk bzw. Radiolarit (100–150 m mächtige, pelitische, glattflächige, kieselige Mergel und Kalke des Oberjura) umfasst. Bei Letzteren wird von einer Zuordnung zum Ruhpoldinger Radiolarit bzw. zur Tauglboden-Formation

aufgrund der unklaren Altersstellung abgesehen. Die am Zwölferhorn im Hangenden folgenden grauen, dünnbankigen Kalke der Oberalm-Formation (Oberjura/Tithonium) sind bei PLÖCHINGER (1973a, b) der als „tonige Oberalmer Kalke“ beschriebenen Variante mit dünnen Tonzwischenlagen zugeschrieben.

### Quartär

Von der Steingrabenalm talauswärts ist der nördliche Grabeneinhang über weite Strecken mit glazialen Ablagerungen (Würm-Grundmoräne) bedeckt. Bislang nicht kartierte Moränenareale wurden zudem durch die aktuelle Rutschung bei der Hochebenalm aufgeschlossen. Das Geschiebe setzt sich aus den für die Ischl-Wolfgangsee-Furche typischen kalkalpinen Komponenten zusammen. Bei VAN HUSEN & EGGER (2014: Tafel 1) wird die Eishöhe des würmzeitlichen Eisstromnetzes hier bei rund 1.200 m (Seehöhe) angesetzt, sodass ein Eindringen des nach WNW abfließenden Zweiges des Traungletschers in den Steingraben angenommen werden kann.

## Ergebnisse

### Geomorphologie und Geologie der Massenbewegungen

#### Massenbewegungen am Illingerberg

Die NNW–SSE streichende Jurakalk-Scholle des Illingerberges weist sowohl an der W- als auch an der E-Flanke tiefgründige Massenbewegungen auf, die jeweils die jurassischen Formationen, am N-Rücken auch noch die Kössen-Formation umfassen. Im Gipfelbereich haben die beidseitig in die flach lagernden Kieselkalke eingreifenden Hauptanbruchkanten auf etwa 70 m Länge zur Ausbildung eines schmalen Grates mit Nackentälchen geführt.

Die gesamte E-Flanke wird von einer ca. 1.330 m langen Anbruchkante begrenzt, an der mehrere Massenbewegungen stattgefunden haben. Die markanteste Anbruchfläche bildet der 720 m lange Mittelteil, bei dem sich die zugehörige, 11,37 ha umfassende Rutschmasse bereits im digitalen Geländemodell (DGM) sehr gut abgrenzen lässt. Ihr Volumen wurde an Hand zweier Profile auf ca. 730.000 m<sup>3</sup> geschätzt. Im Kopfbereich weisen Gefügemessungen an Verebnungsflächen auf en bloc abgeglittene, rückwärts rotierte Schollen der Adnet-Formation hin (Abb. 3, 4). Talwärts folgen zwei von Stirnwülsten begrenzte Rutschungen, die sich durch ihr unruhiges, von Längsrissen, Stauchwülsten und Levees geprägtes Relief von den umgebenden Plattenkalk-Arealen abheben. An der gesamten Oberfläche der Rutschmasse finden sich dm-mächtige Kalkplatten der Adnet-Formation und kleinstückig zerfallende Kieselkalke.

Letztere lassen auch im S-Teil der E-Flanke die Existenz einer Massenbewegung vermuten. Deren Anbruchfläche ist zwar nicht so deutlich ausgebildet wie im Mittelteil, doch die Kieselkalk-Schuttablagerungen, die aktuell in einer Schottergrube mit ca. 7 m Mächtigkeit aufgeschlossen sind, haben vermutlich bereits PLÖCHINGER (1973a) zur



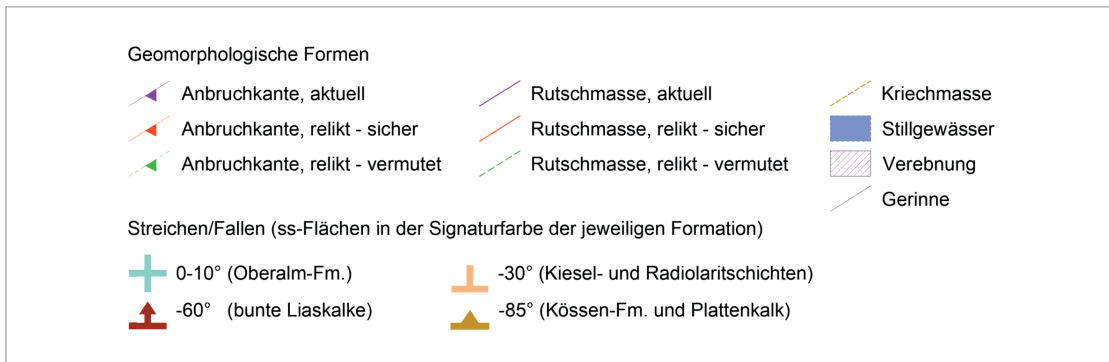


Abb. 2.  
Legende der Karten der Massenbewegungen (Abb. 3, 5-7, 13-15).

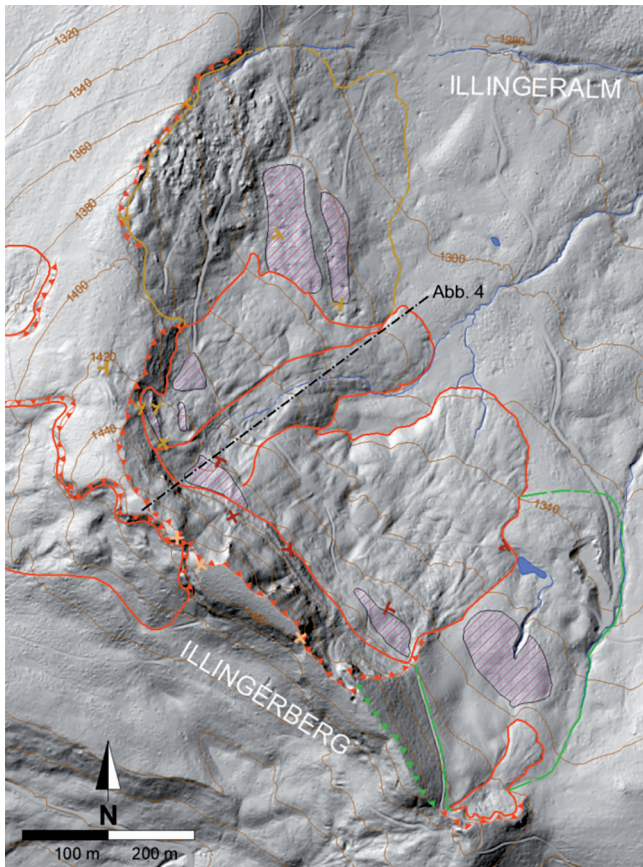


Abb. 3.  
Geomorphologische Übersichtskarte der Massenbewegungen am Illingerberg. Als topographische Grundlage dient ein digitales Geländemodell (© basemap.at).

Ausweisung einer Rutschmasse veranlasst. Westlich oberhalb liegt innerhalb der vermuteten Rutschmasse eine von einem kleinen Tümpel eingenommene abflusslose Senke.

Am N-Rücken driften zwischen 1.340 und 1.395 m Seehöhe bis zu 8 m mächtige Kalkblöcke (? Riffkalk der Kössen-Formation, Plattenkalk) nach Osten zur Illingeralm ab. Der Wanderweg führt hier auf kurzer Strecke durch die Gräben und Spalten des Ablösebereichs. Die Kalkblöcke verkippen beim Einsinken in die mergelige Unterlage und werden dabei weiter zerlegt. Ab etwa 1.320 m zeigt weit verbreiteter Säbelwuchs an Bäumen noch fortlaufendes Hangkriechen bis zur Hangverflachung der Illingeralm an.

#### Massenbewegungen in der Zwölferhorn SE-Flanke

Auf das Vorhandensein einer Massenbewegung in der SE-Flanke des Zwölferhorns weist vor allem eine 350 m breite, konkave Eintiefung im Kammverlauf zur Pillsteinhöhe hin. Der halbkreisförmige Anbruch endet im Süden auf 1.250 m an einer markanten Hangverflachung, auf der in Weganschnitten mehrere Meter mächtiges Lockergestein (vorwiegend Kieselkalk) einer Rutschmasse aufgeschlossen ist. Bergseitig endet diese Rutschmasse in ca. 1.330 m, wo in mehreren Lawenschurfbahnen mächtiges Lockergestein in gestaffelt angeordneten Schollen aufgedeckt ist. Die Verflachung auf 1.250 m reicht bis unter den zentralen Bereich des Anbruchs und wird wahrscheinlich durch die Existenz einer mächtigen Riffkalkbank innerhalb der Kössen-Formation verursacht, die hier gegen NE ausläuft. Unterhalb und östlich der wandbildenden Kalkbank wurde wieder eine tiefgründige, z.T. stark vernässte Lockergesteinsüberlagerung kartiert, in der mehrere sekundäre Rutschungsanbrüche angelegt sind (Abb. 5).

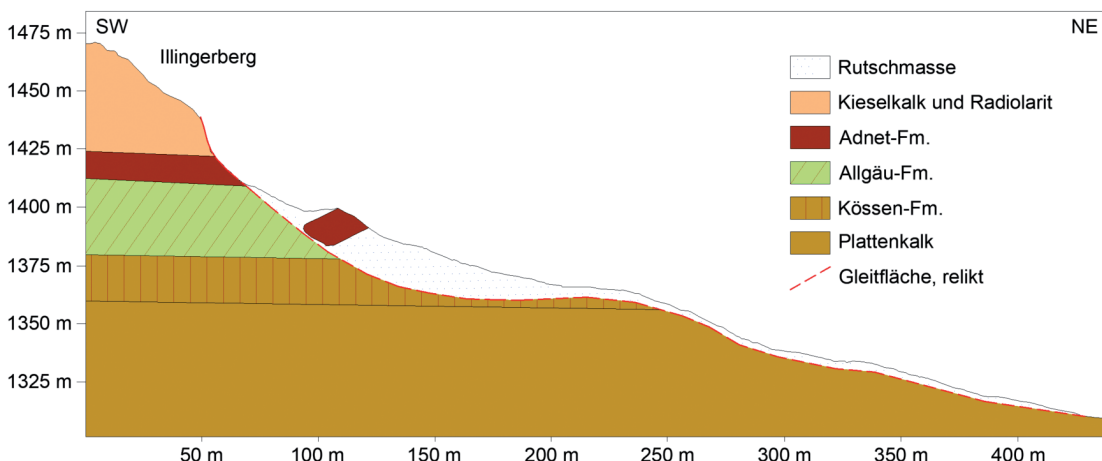


Abb. 4.  
Schematisches Profil durch die Massenbewegung am Illingerberg. Die Lage des Profils ist in Abbildung 3 ersichtlich.



Südwestlich des Hauptanbruches liegt an der Schichtgrenze Kössen-Formation/Adnet-Formation ein kleinerer, 50 m breiter Nischenanbruch, aus dem sich eine bis zur Braunauer Hütte hinabreichende, schuttstromartige Rutschzunge entwickelt hat. Ihre Oberfläche wird z.T. von Kalkplatten der Adnet-Formation gebildet.

Als Gleithorizont kommt für beide Anbrüche der hangendste Teil der Kössen-Formation in Betracht, den PLÖCHINGER (1975) im bekannten Profil des nur 1,6 km WNW gelegenen Saubachgrabens (Zwölferhorn W-Flanke) beschrieben hat: unter 3 m mächtigen Enzesfelder Kalken und einer 0,8 m mächtigen Sandmergel-Zwischenlage folgen 3,9 m mächtige hell- bis grünlich-graue, vorwiegend weiche Mergel (? Rhaetium-Hettangium) und darunter 5,6 m mächtige graue Kössener Mergelkalke, die im Liegenden von einer ca. 10 m mächtigen Lithodendronkalkbank begrenzt werden. Eine gut vergleichbare Schichtfolge findet sich an den beiden Anbrüchen zwischen 1.240 und 1.280 m, wobei die weichen Mergellagen durch die Rutschmassen verdeckt bzw. ausgequetscht sein dürften. Auch die lediglich in Abbildung 1 verzeichnete Massenbewegung südlich des Pillsteins ist an diese geologische Position gebunden.

Der an den Hauptanbruch östlich anschließende Flankenbereich, in dem lediglich morphologische Hinweise auf Hangbewegungen vorhanden sind, wurde als vermutete Massenbewegung kartiert. Die untere Grenze der zugehörigen Rutschmasse wurde bei 1.100–1.120 m gezogen, da hier in den Gräben die Kössen-Formation ohne mächtige Lockergesteinsüberlagerung ansteht. Eine kleine Rotationsrutschung bei der Straßenkehre in 1.080 m ist wieder an der Schichtgrenze zur Adnet-Formation situiert und damit nicht als Sekundärrutschung zu betrachten (Abb. 5).

### Massenbewegung bei der Stüblalm

Den Fußbereich der Zwölferhorn SE-Flanke bildet die Hangverflachung der Stüblalm bei 1.060–1.020 m Seehöhe. Gemäß LEISCHNER (1960) und PLÖCHINGER (1973a, 1982a) wird das Gebiet von Kieselkalk und Radiolarit auf-

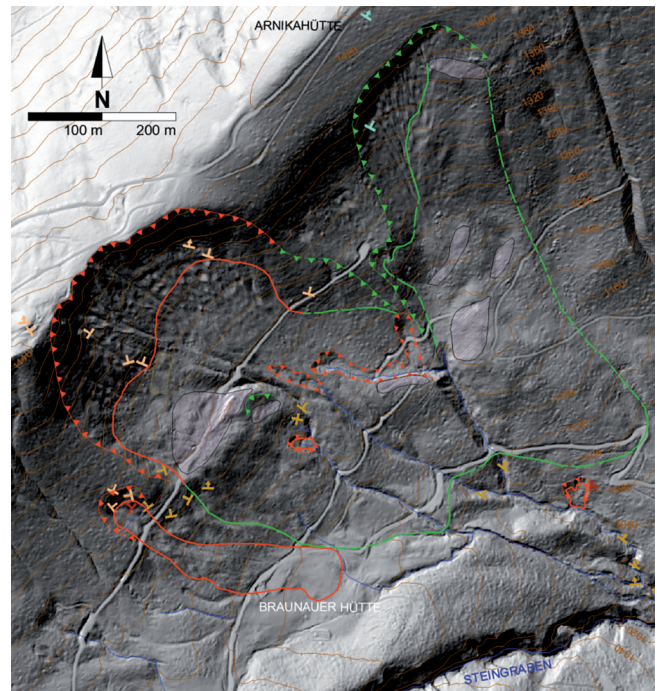


Abb. 5. Geomorphologische Übersichtskarte der Massenbewegungen an der Zwölferhorn SE-Flanke. Als topographische Grundlage dient ein digitales Geländemodell (© basemap.at).

gebaut, die jedoch nur in der Talsohle des Steingrabens aufgeschlossen sind. Der Grabeneinhang ist überall von mächtigem Lockergestein überlagert. In ihm liegt eine rund 230 m breite Rotationsrutschung, über deren Rutschungskopf die Straße zur Illingerbergalm verläuft (Abb. 6). Ob die Gleitfläche im Lockergestein liegt, oder ob auch hier Kössener Mergel vorhanden sind, konnte bislang nicht beurteilt werden. Zwar sind unter dem zentralen Bereich der Rutschung im Steingraben auf 930 m Höhe Kössener Kalke mit bis zu 0,5 m mächtigen Mergellagen aufgeschlossen, doch fallen diese steil nach ENE ein.

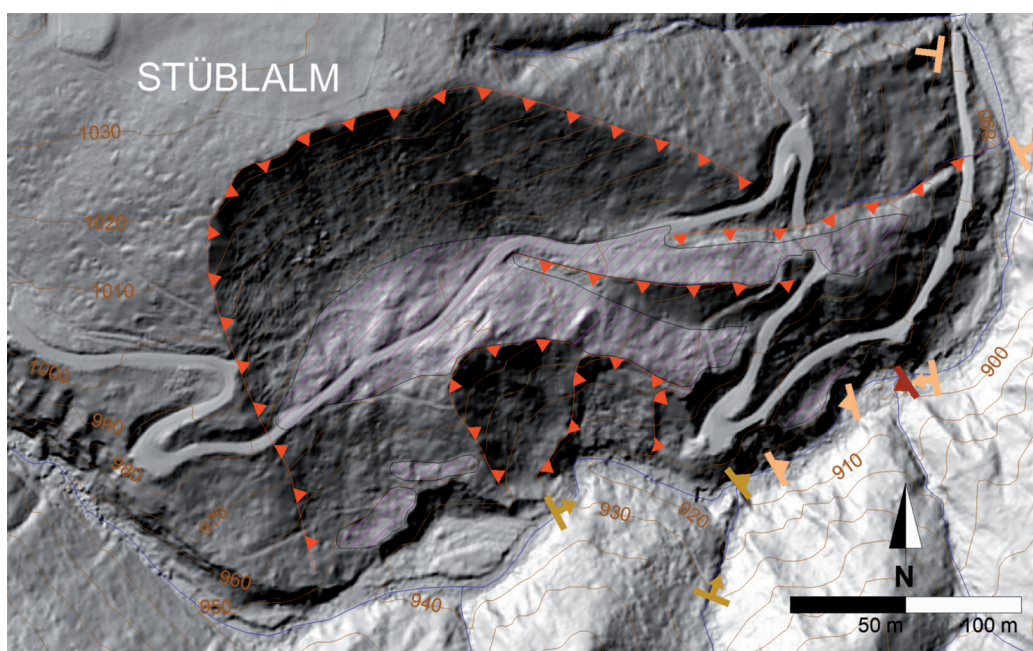


Abb. 6. Geomorphologische Übersichtskarte der Stüblalm-Massenbewegung. Als topographische Grundlage dient ein digitales Geländemodell (© basemap.at).



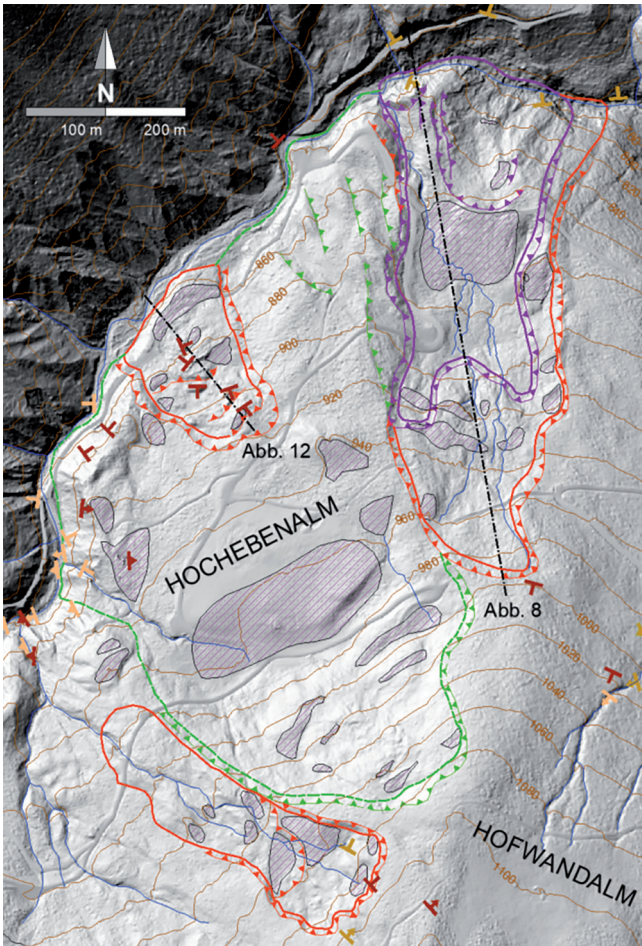


Abb. 7. Geomorphologische Übersichtskarte der Hochebenalm-Massenbewegungen. Als topographische Grundlage dient ein digitales Geländemodell (© basemap.at).

### Massenbewegungen um die Hochebenalm

Um die Hochebenalm (Abb. 7) war bisher lediglich die im Frühjahr 2023 reaktivierte Rutschung bekannt, die BRAUNSTINGL (2023) detailliert beschrieben hat. Diese stellt wahrscheinlich aber nur den E-Rand einer 45 ha umfassenden Großhangbewegung dar, die sich aus mehreren Massenbewegungen zusammensetzt. Ihre Anlage geht vermutlich auf den Anschnitt einer in südliche Richtungen ansteigenden Kössener Mergel-Schicht durch den Steingrabenbach zurück (Abb. 8). Während die Kössen-Formation bei PLÖCHINGER (1973a, 1982a) im Bereich der Steingrabenalm nur als schmaler Streifen im nördlichen Grabeneinhang kartiert ist (Abb. 1), nimmt sie bei LEISCHNER (1960) hier etwas brei-

teren Raum ein und erstreckt sich im Graben bis ca. 850 m auch noch am südlichen Einhang. Damit läge ein Großteil des Fußbereiches der Hochebenalm-Massenbewegung in Kössener Mergelkalken. Gut aufgeschlossen sind N-fallende Mergellagen auf der Illingerbergalm-Mautstraße in 840 m, unmittelbar gegenüber der aktuellen Rutschung (Abb. 8).

Diese multiple Rotationsrutschung ist rund 185 m breit und erstreckt sich über 455 m Länge vom Steingraben in 780 bis 925 m Seehöhe. Bewegungsraten von bis zu 12,8 m/Tag führten innerhalb von zwei Wochen zu einer Schubweite von 75 m (BRAUNSTINGL, 2023). Aus der Differenz zweier Geländemodelle, dem ALS-DOM von 2018 (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen) und einer nach der Rutschung durchgeführten photogrammetrischen Drohnenaufnahme (UAV-DOM), wurde vom Land Salzburg das Volumen der Rutschmasse mit 999.000 m<sup>3</sup> berechnet (Abb. 9). Während der Blick auf die geologische Karte (Abb. 1) eine Anlage innerhalb der Platten- und Kieselkalke suggeriert, sind in den bis zu 6 m hohen Anbruchkanten durchwegs glaziale Ablagerungen aufgeschlossen. Aus den Bewegungen an der westlichen Rutschungsstirn, die zu einer lokalen Einengung des Steingrabens geführt haben, kann auf einen Tiefgang von 15–20 m geschlossen werden (Abb. 8). Beim letzten Ereignis sind auch mehrere N-S streichende sekundäre Anbruchkanten im Lockergestein reaktiviert worden, die zu einem staffelförmigen, talauswärts gerichteten Abgleiten des Stirnbereichs führen. In der E-Hälfte der Rutschung beißt die Gleitfläche 60–90 m über der Grabensohle aus, was das Abgleiten der Lockergesteinsdecke über den steilen Grabeneinhang und die Auffüllung bzw. Höherlegung des Bachbettes bedingt. Dadurch wurden einige Wochen nach dem Ereignis auch die grauen Verwitterungsprodukte der Kössen-Formation großflächig freigelegt (Abb. 10). Die bei PLÖCHINGER (1973a, 1982a) innerhalb der westlichen Rutschmasse ausgewiesenen Kieselkalke und Radiolarite konnten ebenso wenig vorgefunden werden wie die von LEISCHNER (1960) kartierten Plattenkalke.

Die eigentliche Hochebenalm liegt westlich der aktiven Rutschung auf einer Hangverebnung in 940–970 m Seehöhe, die durch ein in 960–970 m verlaufendes Nackentalchen vom bergseitig anschließenden Steilhang getrennt ist. Dieser ist durch mehrere kleine, höhenmäßig gestaffelte Verebnungen stark gegliedert und an seinen Rändern von bis zu 40° steilen Flächen begrenzt. Der an seiner Basis ca. 360 m breite Hang wird als Anbruchfläche einer großen Kriech- oder Rutschmasse interpretiert, deren Kopf die Verebnung der Almfläche darstellt (Abb. 11). Möglicherweise wird diese Hangverflachung von einer großen Gleit-

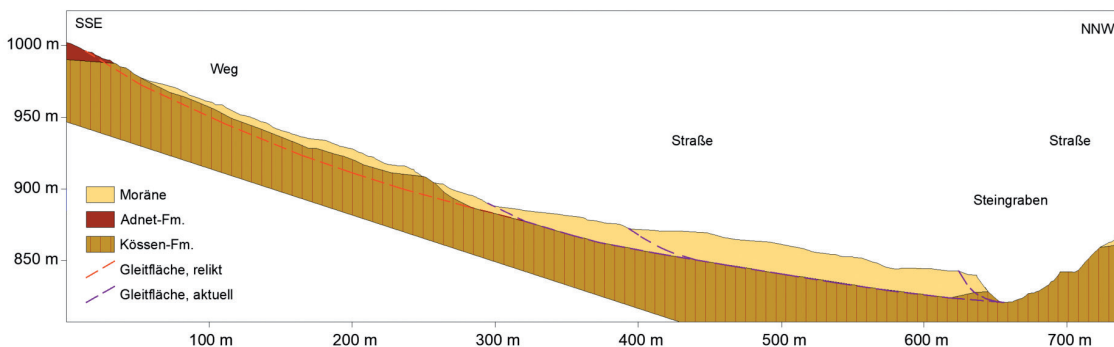


Abb. 8. Schematisches Profil durch den Westteil der Hochebenalm-Massenbewegung. Die Lage des Profils ist in Abbildung 7 ersichtlich.



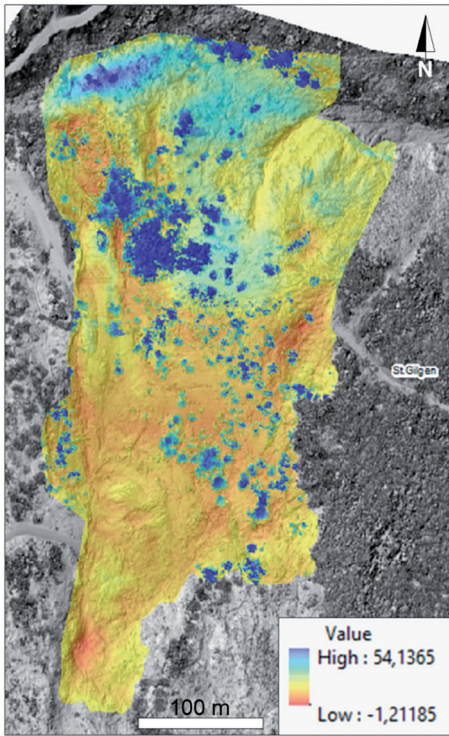


Abb. 9. Differenz [m] der Hochebenalm-Massenbewegung aus den Geländemodellen ALS-DOM (2018) und UAV-DOM (2023); Quelle: Land Salzburg.

scholle aus Adnet-er-Kalk gebildet. Darauf lassen undeutliche Aufschlüsse nahe dem östlichen Rand der vermuteten Anbruchkante in 1.000 m Seehöhe schließen. In der NW-Ecke der Almwiese sind in Baggerschürfen auf 930 m fast saiger stehende, mechanisch stark beanspruchte Kalke und Mergel der Adnet-Formation gut aufgeschlossen.

Unterhalb der Hochebenalm, d.h. im Fußbereich der vermuteten Großhangbewegung wurde in 910–915 m Seehöhe eine deutliche Anbruchkante in den Rotkalken der Ad-

net-Formation kartiert. Diese sind unterhalb des Anbruchs auf rund 130 m Breite in mehrere Schollen zerbrochen und durch das Abgleiten auf einer weichen Unterlage teilweise rückwärts rotiert und stark zerlegt. Die Anbruchkanten sind lateral bis in den Einhang des Steingrabens verfolgbar (Abb. 7, 12).

Im Südwesten schließt an die vermutete Großhangbewegung wieder eine geomorphologisch sehr deutlich ausgeprägte Massenbewegung an (Abb. 7). Ihre Hauptanbruchfläche liegt auf etwa 1.090 m in hier NW-fallenden Adnet-er Kalken und Kössener Riffkalken. Unterhalb weisen stark vernässte Verebnungen mit einer sekundären Anbruchfläche wieder auf eine Mergellage hin. Gemäß PLÖCHINGER (1973a) ist diese Massenbewegung gänzlich innerhalb der Kiesel- und Radiolaritschichten situiert (Abb. 1), doch nach den Beobachtungen im Gelände bildet sie den SW-Rand der Juramulde der Zwölferhorn-Synklinale. Knapp südwestlich der Hauptanbruchkante, am Plateau der Hofwandalm in 1.100 m, wird die Grenze zu den unterlagernden Plattenkalken auch morphologisch sichtbar: im Hangenden der verkarsteten Plattenkalke folgt eine feuchte, von tiefgründigem Boden bedeckte Mulde (? Kössener Mergel) ehe die wiederum verkarsteten Rotkalke der Adnet-Formation einsetzen.

### Massenbewegung Hofwandalm

Den weiteren NW–SE streichenden Verlauf der Trias-Jura-Grenze am SE-Abfall des Hofwandalm-Plateaus markiert erneut eine Massenbewegung, deren Anbruchgebiet dem zuletzt beschriebenen sehr ähnlich ist (Abb. 13): in dem von Adnet- bzw. Kössen-Formation eingenommenen Muschelanbruch bildet eine markante, sehr flach geneigte Vernässungszone in 1.080–1.090 m Seehöhe den Kopf einer Gleitmasse. In deren Fußbereich haben sich jüngere Sekundärrutschungen entwickelt.



Abb. 10. Hochebenalm-Rutschung am 17.04.2023: östliche Rutschungstirn mit „betrunkenem Wald“ und der Kontaktzone zwischen Kössen-Formation und Grundmoräne. Oberhalb der aktiven Rutschung deuten weitere Hangverflachungen innerhalb einer in 1.000 m Seehöhe auslaufenden Hangkonkavität die inaktive Fortsetzung der Hangbewegung an. Am oberen Ende der Anbruchkante markiert ein Quellaustritt den Übergang zu den verkarsteten Adnet-er Kalken (Abb. 8), die hier punktuell aufgeschlossen sind.





Abb. 11. Nackentälchen im Bereich der rechten Almhütte und Kopfbereich der vermuteten Hochebenalm-Massenbewegung.

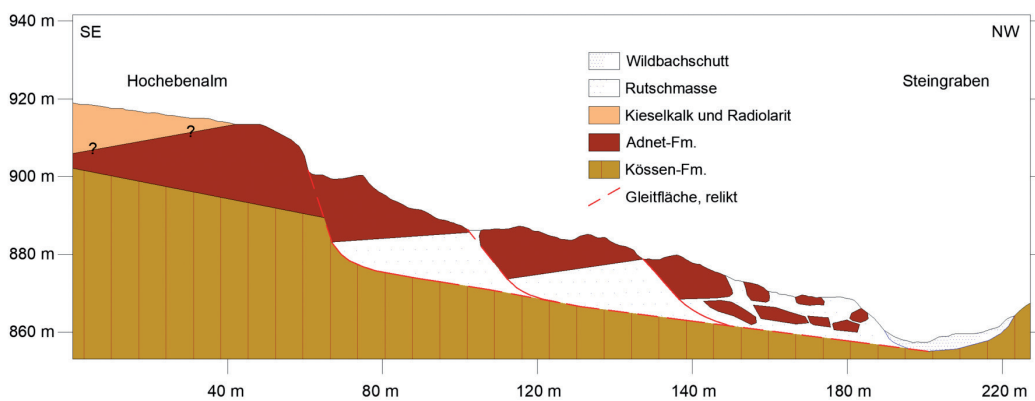


Abb. 12. Schematisches Profil durch den zentralen nördlichen Teil der Hochebenalm-Massenbewegung. Die Lage des Profils ist in Abbildung 7 ersichtlich.

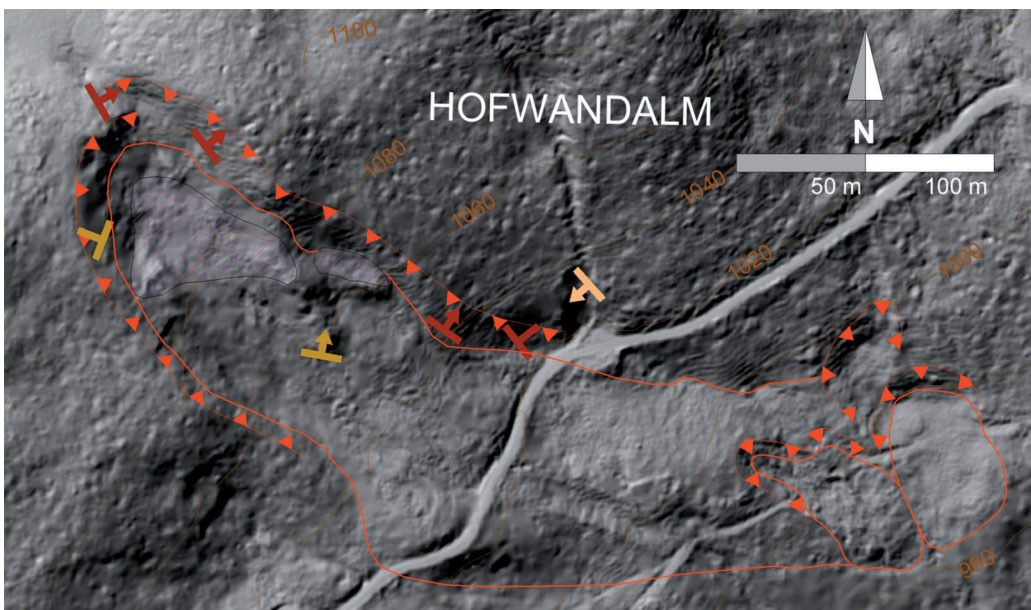


Abb. 13. Geomorphologische Übersichtskarte der Hofwandalm-Massenbewegung (5). Als topographische Grundlage dient ein digitales Geländemodell (© basemap.at).

### Massenbewegung Eckalbel

In 800 m Seehöhe quert die Mautstraße auf die Illingerbergalm eine 110 m breite Anbruchfläche einer alten Rotationsrutschung, deren Rutschmasse bis in den Talboden des Steingrabens reicht (Abb. 14).

Mehrere Verebnungen zeigen die interne Zerlegung in Teilschollen an. Der Fuß der Rutschmasse wird lateral von jüngeren, im Moränenmaterial eingetieften Erosionsrinnen überprägt. Gekritzte Geschiebe, die an sämtlichen Wegan-

schnitten innerhalb der Rutschung aufgeschlossen sind, legen eine vollständige Anlage im Lockergestein nahe.

### Massenbewegungen in der Breitenberg W-Flanke

Am Aberseer Breitenberg sind bei PLÖCHINGER (1982a) sowohl in der Kössen-Formation des N-Hanges, als auch in den Kieselkalk- und Radiolaritschichten des W-Hanges Rutschmassen kartiert. Bei der Nachkartierung konnten am N-Hang keine geomorphologischen Anzeichen für tief-



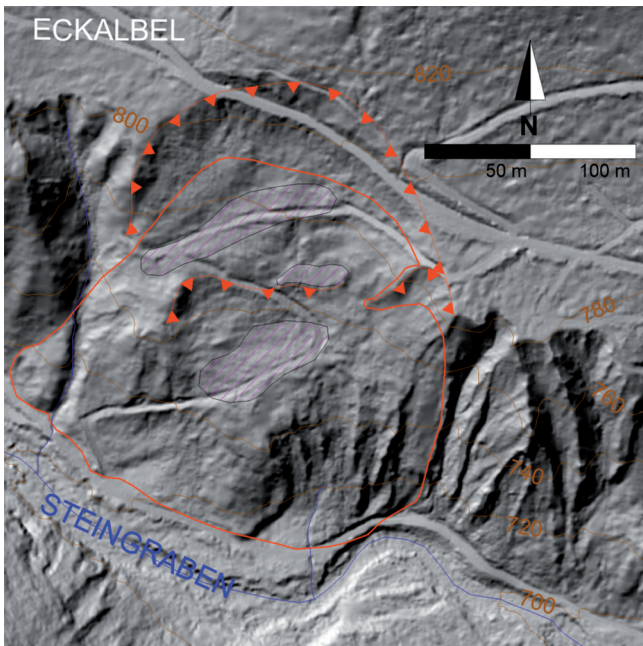


Abb. 14. Geomorphologische Übersichtskarte der Eckalbel-Massenbewegung. Als topographische Grundlage dient ein digitales Geländemodell (© basemap.at).

gründige Massenbewegungen gefunden werden; in den Grabeneinhängen tritt lokal Hangkriechen in der Verwitterungsdecke auf.

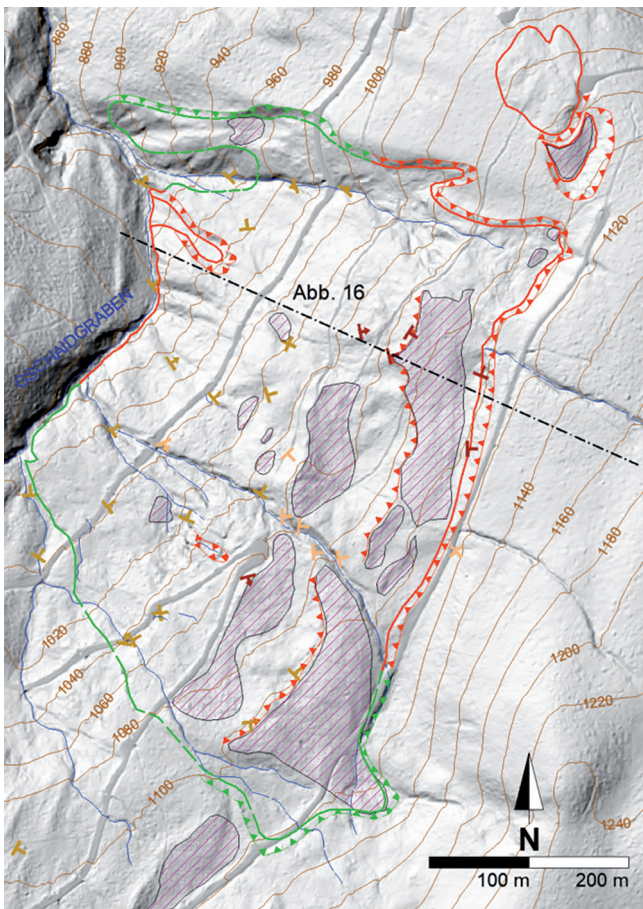


Abb. 15. Geomorphologische Übersichtskarte der Massenbewegung am Breitenberg W-Hang. Als topographische Grundlage dient ein digitales Geländemodell (© basemap.at).

Der W-Hang ist hingegen von einer rund 600 m breiten Massenbewegung betroffen, welche aber nicht, wie bei PLÖCHINGER (1982a) dargestellt, am Gipfelplateau, sondern erst in 1.100 m Seehöhe einsetzt (Abb. 15, 16). Zumindest im nördlichen und zentralen Teil liegt die Hauptbruchkante in ungefähr 20 m mächtigen Adneter Kalken. Die unterhalb der steilen Anbruchfläche gelegene, bis zu 75 m breite Hangverebnung wird ebenfalls von rückwärts rotierten Kalkschollen der Adnet-Formation gebildet. Von diesen Schollen brechen talseitig weitere Blöcke ab, die hangabwärts abgleiten. Im Gscheidgraben finden sich an mehreren Stellen Schuttablagerungen, die einen hohen Anteil an Adneter Kalken aufweisen. Aus der obersten Anbruchfläche abgeglittene Kieselkalk-Schollen sind im Zentralbereich noch in 1.000 m Seehöhe aufgeschlossen (Abb. 15).

Die tiefgründigen Hangbewegungen enden vermutlich an einer mächtigen Riffkalkstufe in 1.040–1.050 m Seehöhe. Da jedoch aus dem Anbruchbereich seichtgründige Rutschungen bis in den Gscheidgraben reichen, wurde in dessen Tiefenlinie die Grenze der Massenbewegung gezogen. Die südliche Begrenzung wurde als vermutet eingezeichnet, da hier der Verlauf im Übergangsbereich zu den unterlagernden Plattenkalken nicht klar ersichtlich ist.

### Klassifikation der Massenbewegungen

In der Systematik der Massenbewegungen lassen sich jene am Illingerberg, Zwölferhorn bzw. Breitenberg und jene auf der Hocheben- und Hofwandalm am besten als komplexe Typen einstufen, bei denen mehrere Prozesse nach- oder nebeneinander auftreten. Gemeinsames Merkmal ist die Anlage im geomechanischen System „Hart auf Weich“ (POISEL & EPPENSTEINER, 1988, 1989), wobei jeweils die geringmächtigen Rotkalken der Adnet-Formation und die im Hangenden folgenden Kieselkalke/Radiolarite auf den Mergellagen der Kössen-Formation abgleiten.

Am Illingerberg und lokal auch am Pillstein-Zwölferhorn-Kamm bzw. am Breitenberg haben sich unterhalb der initialen Rotationsrutschungen im Festgestein schuttstromartige Rutschungen entwickelt, die durch einen hohen Anteil an Rotkalken der Adnet-Formation charakterisiert sind. Am Illinger- und Breitenberg finden sich im Kopfbereich dieser Rutschmassen jeweils en bloc abgeglittene und rückwärts rotierte Adneter Kalk-Schollen (Abb. 4, 16). Dieser Typ ist in der Blockbild-Tabelle der Massenbewegungstypen, die vom BRITISH GEOLOGICAL SURVEY (2023) basierend auf VARNES (1978) und CRUDEN & VARNES (1996) erstellt wurde, als komplexes Beispiel „(rock) slump-earthflow“ dargestellt.

In der Hochebenalm-Großhangbewegung, einer vermuteten Hangdeformation im Festgestein (sensu HUNGR et al., 2014), treten rotierte Kalkschollen der Adnet-Formation zumindest im Fußbereich auf, wobei hier aber auch ein Driften im Festgestein ohne Ausbildung der in Abbildung 12 dargestellten, basalen Gleitfläche möglich wäre (vgl. CRUDEN & VARNES, 1996: Fig. 3-29 (b)). „Rock spreading“ trifft auch auf das Abgleiten der Kalkblöcke am N-Rücken des Illingerberges zu.

Die Massenbewegungen bei der Stüblalm und beim Eckalbel bzw. auch der aktive E-Teil der Hochebenalm-Mas-

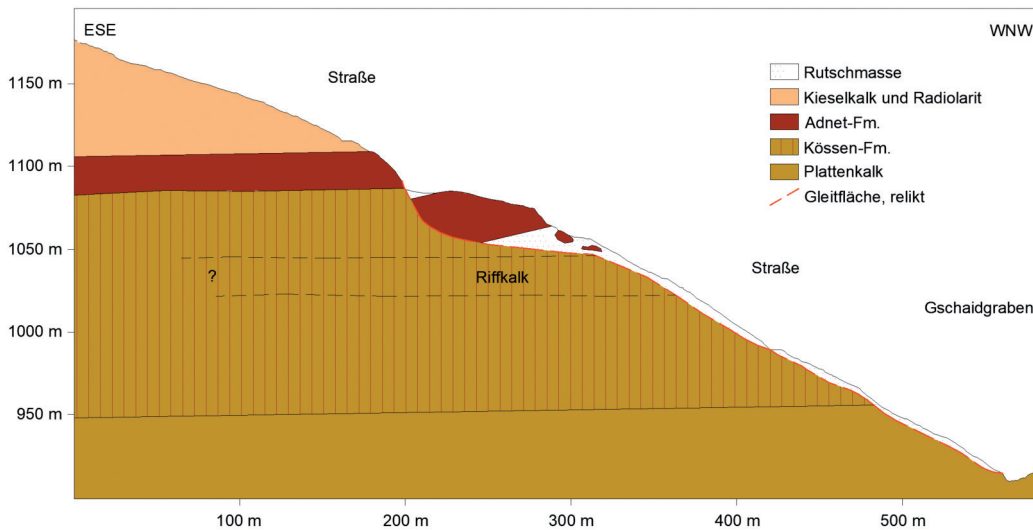


Abb. 16. Schematisches Profil durch die Massenbewegung am Breitenberg W-Hang. Die Lage des Profils ist in Abbildung 15 ersichtlich.

senbewegung können als multiple Rotationsrutschungen im Locker- bzw. stark verwitterten Festgestein klassifiziert werden.

Bei einer Klassifikation nach der Aktivität gemäß CRUDEN & VARNES (1996) sind die erfassten Massenbewegungen, mit Ausnahme der aktiven Hochebenalm-Rutschung, augenscheinlich als relikt einzustufen. Weder an den Hauptbruchkanten, noch in den Rutschmassen finden sich geomorphologische Anzeichen für andauernde Bewegungen. Nur am Illingerberg zeigt starker Säbelwuchs am N-Rücken und z.T. an den Rutschungen aktive Kriechbewegungen an.

## Diskussion

Mit den angewandten Methoden können Ausdehnung und Bewegungsmechanismus einer Massenbewegung nur grob skizziert werden. Die für eine geotechnische Bearbeitung erforderlichen Standardinformationen (Geschwindigkeit und Volumen der bewegten Masse, Tiefgang und Materialeigenschaften) bleiben ohne ingenieurgeologische Erkundung bzw. geotechnisches Monitoring weitgehend unbekannt. Aus zwei Gründen erscheint ihre geomorphologische Erfassung dennoch relevant.

1) Auf Blatt 95 Sankt Wolfgang im Salzkammergut (PLÖCHINGER, 1982a, b) der österreichischen geologischen Karte 1:50.000 sind bisher, wie auch für die angrenzenden Blätter 65 Mondsee (VAN HUSEN, 1989), 66 Gmunden (EGGER, 1996) und 96 Bad Ischl (SCHÄFFER, 1982) typisch große Massenbewegungen fast ausschließlich im Ultrahelvetikum/Rhenodanubikum bzw. im Juvavikum verzeichnet und beschrieben. Zusammen mit den im Einzugsgebiet des Königsbaches bereits kartierten Massenbewegungen zeigen die aktuellen Ergebnisse auch im Osterhorn-Tirolikum auf Blatt 95 eine lokale Häufung auf. Nachdem am westlich angrenzenden Blatt 94 Hallein (PLÖCHINGER, 1987) im Einzugsgebiet des Taugls in der gleichen stratigraphischen Position (Schichtgrenze Kössen-Formation/Adnet-Formation bzw. Kiesel- und Radiolaritschichten) ebenfalls große Massenbewegungen kartiert wurden, kann der N-Teil des Osterhorn-Tirolikums als weiteres Verbreitungsgebiet für das System „Hart auf Weich“ betrachtet werden.

2) Mit einer Fläche von 1,3 km<sup>2</sup> sind mindestens 8,9 % des Einzugsgebietes des Steingrabens von Massenbewegungen betroffen. Wenn diese auch großteils als relikt eingestuft werden, ist eine teilweise Reaktivierung der Rutschmassen nicht auszuschließen. Jüngere Sekundär-rutschungen, wie sie im Stirnbereich der Stübl- und der Hofwandalm-Rutschmassen kartiert wurden, könnten vor allem durch jene anthropogenen Gelände-Eingriffe initiiert werden, denen bisher oftmals nur unzureichende geologisch-geomorphologische Untersuchungen vorausgehen. Im Untersuchungsgebiet käme hierfür in erster Linie der Alm- und Forstwegebau in Frage, in höhergelegenen Gebieten auch der Pistenbau. Zukünftig wird in Österreich auch die Errichtung dieser untergeordneten Infrastruktureinrichtungen strengerer Planungsleitlinien (z.B. Richtlinie Forstwegebau) unterliegen.

Gefahrenhinweiskarten für Massenbewegungen können hier sowohl den Planer bei der Trassierung als auch die Behörden im Genehmigungsverfahren unterstützen. ELSNER et al. (2015) haben in einem Testgebiet südlich von Innsbruck Großmassenbewegungen ausschließlich mittels Fernerkundungsmethodik (visuelle Auswertung von ALS-Daten) erfasst und ein Konzept zu deren Integration in den Wildbach- und Lawinenkataster erstellt. Auf die Ausweisung der Prozessart, der Gründigkeit des Materials und auslösender Faktoren hat man aufgrund fehlender Geländeuntersuchungen verzichtet.

Mit dem für diese Arbeit gewählten Ansatz einer kombinierten Aufnahmemethode (ALS-Analyse und Kartierung im Gelände) kann der für Gefahrenhinweiskarten erforderliche Detaillierungsgrad erreicht werden, sodass die Ergebnisse für Gefahrenzonen- und Raumplanungszwecke herangezogen werden können.



## Literatur

- BRAUNSTINGL, R. (2023): Einige ungewöhnliche Rutschungen in Salzburg – mit und ohne Klimawandel. – 25. Geoforum Umhausen, Tagungsband, 93–97, Umhausen.
- BRITISH GEOLOGICAL SOCIETY (2023): Report a landslide to the BGS landslides team. – <https://www2.bgs.ac.uk/reportalandslide/reportForm.html> (abgerufen am 14.07.2023).
- CRUDEN, D.M. & VARNES, D.J. (1996): Landslide types and processes. – In: TURNER, A.K. & SCHUSTER, R.L. (Eds.): Landslides: Investigation and Mitigation. – Transportation Research Board, Special Report, **247**, 36–75, Washington, D.C.
- EGGER, H. (1996): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 66 Gmunden. – 1 Bl., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- ELSNER, B., MÖLK, M., JENNER, A. & KÜFMANN, C. (2015): Erfassung und Bewertung großdimensionaler Massenbewegungen aus hochauflösenden digitalen Geländemodellen – Entwurf zur Integration in den Wildbach- und Lawinenkataster (WLK). – Wildbach- und Lawinenverbau, **175**, 48–63, Wien.
- FOOKES, P.G., BAYNES, F.J. & HUTCHINSON, J.N. (2001): Total geological history: a model approach to understanding site conditions. – Ground Engineering, **34/3**, 42–47, London.
- HUNGR, O., LEROUEIL, S. & PICARELLI, L. (2014): The Varnes classification of landslide types, an update. – Landslides, **11**, 167–194, Berlin. <https://doi.org/10.1007/s10346-013-0436-y>
- HUSEN VAN, D. (1989): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 65 Mondsee. – 1 Bl., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- HUSEN VAN, D. & EGGER, H. (2014): Erläuterungen zur Geologischen Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 65 Mondsee. – 143 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- LAIMER, H.J. (2021): Geomorphologische Aufnahme tiefgreifender gravitativer Hangdeformationen am Breitenberg (Schafberggruppe, Nördliche Kalkalpen, Oberösterreich). – Geo.Alp, **18**, 5–16, Bozen.
- LEISCHNER, W. (1960): Stratigraphie und Tektonik des Wolfgangseegebietes (Schafberg, Sparber und nördliche Osterhorngruppe) in den Salzburger Kalkalpen. – Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien, **53**, 177–207, Wien.
- NICKMANN, M. & THURO, K. (2013): Die veränderlich festen Mergelsteine der Kössen-Formation als Schlüsselhorizonte für Hangbewegungen im Spitzingseegebiet (Nördliche Kalkalpen). – In: THURO, K. (Hrsg.): 19. Tagung für Ingenieurgeologie und des Forums für junge Ingenieurgeologen, 229–234, München.
- PILLER, W.E., EGGER, H., ERHART, C.W., GROSS, M., HARZHAUSER, M., HUBMANN, B., VAN HUSEN, D., KRENMAYR, H.G., KRZYSTYN, L., LEIN, R., LUKENEDER, A., MANDL, G.W., RÖGL, F., ROETZEL, R., RUPP C., SCHNABEL, W., SCHÖNLAUB, H.P., SUMMESBERGER, H., WAGREICH, M. & WESSELY, G. (2004): Stratigraphische Tabelle von Österreich 2004 (sedimentäre Schichtfolgen). – 1 Bl., Österreichische Stratigraphische Kommission, Wien.
- PLÖCHINGER, B. (1964): Die tektonischen Fenster von St. Gilgen und Strobl am Wolfgangsee (Salzburg, Österreich). – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **107**, 11–69, Wien.
- PLÖCHINGER, B. (1973a): Geologische Karte des Wolfgangseegebietes 1:25.000. – 1 Bl., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- PLÖCHINGER, B. (1973b): Erläuterungen zur Geologischen Karte des Wolfgangseegebietes 1:25.000. – 92 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- PLÖCHINGER, B. (1975): Das Juraprofil an der Zwölferhorn-Westflanke (Nördliche Osterhorngruppe, Salzburg). – Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, **1975/2–3**, 27–33, Wien.
- PLÖCHINGER, B. (1982a): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 95 Sankt Wolfgang im Salzkammergut. – 1 Bl., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- PLÖCHINGER, B. (1982b): Erläuterungen zur Geologischen Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 95 Sankt Wolfgang im Salzkammergut. – 74 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- PLÖCHINGER, B. (1987): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 94 Hallein. – 1 Bl., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- POISEL, R. & EPPENSTEINER, W. (1988): Gang und Gehwerk einer Massenbewegung: Teil 1. Geomechanik des Systems „Hart auf Weich“. – Felsbau, **6**, 189–194, Berlin.
- POISEL, R. & EPPENSTEINER, W. (1989): Gang und Gehwerk einer Massenbewegung: Teil 2. Massenbewegungen am Rand des Systems „Hart auf Weich“. – Felsbau, **7**, 16–20, Berlin.
- SCHÄFFER, G. (1982): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 96 Bad Ischl. – 1 Bl., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- TOLLMANN, A. (1969): Tektonische Karte der Nördlichen Kalkalpen. 2. Teil: Der Mittelabschnitt. – Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien, **61** (1968), 124–181, Wien.
- VARNES, D.J. (1978): Slope movement types and processes. – In: SCHUSTER, R.L. & KRIZEK, R.J. (Eds.): Landslides, analysis and control. – Transportation Research Board, Special Report, **176**, 11–33, Washington, D.C.

Eingelangt: 19. Jänner 2024, angenommen: 9. April 2024