

# Die veränderlich festen Mergelsteine der Kössen-Formation als Schlüsselhorizonte für Hangbewegungen im Spitzingseegebiet (Nördliche Kalkalpen)

The weak marlstones of the Kössen Formation as key horizons for landslides in the Spitzingsee Area (Northern Calcareous Alps)

Marion Nickmann<sup>1</sup>, Kurosch Thuro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dr. Marion Nickmann & Prof. Dr. Kurosch Thuro, Lehrstuhl für Ingenieurgeologie, Technische Universität München, Deutschland; nickmann@tum.de

## Zusammenfassung

Im Spitzingseegebiet steht weit verbreitet die Kössen-Formation der alpinen Trias an, wobei besonders die Kössener Mergel als veränderlich feste Gesteine sehr verwitterungs- und rutschanfällig sind. In Oberflächennähe dominieren Kriechbewegungen (Driften) der kalkigen Partien auf den angewitterten Mergelsteinlagen sowie Oberflächenkriechen der stark verwitterten Mergel- und Tonsteine. Lokal werden große Mengen an Lockermaterial bereitgestellt, das in katastrophalen Einzelereignissen mobilisiert werden kann, wie z.B. in der „Krottenthaler Rutschung“ im Jahr 1996. Mechanismus und Intensität der Hangbewegungen sind eng mit der Veränderlichkeit der verschiedenen Kössener Mergel- und Tonsteine verknüpft, die von Zusammensetzung und Gefüge des jeweiligen Gesteins abhängt. Bereits die primäre Scherfestigkeit der unverwitterten Gesteine ist sehr variabel und wird im Zuge der Verwitterung in den verschiedenen Gesteinstypen in unterschiedlichem Maße reduziert. Besonders begünstigend für Hangbewegungen erwiesen sich feingeschichtete Tonsteine der Veränderlichkeitsklasse VK3, in denen der Reibungswinkel in den Verwitterungsstufen W2 und W3 bis unter 10° sinken kann und die Kohäsion ebenfalls sehr niedrig ist. Dies führt bereits bei geringer Hang- bzw. Schichtneigung zu einem Versagen des Hanges, was an mehreren Beispielen im Arbeitsgebiet dargestellt wird.

**Schlüsselworte:** Kössen-Formation, Kössener Mergel, veränderlich feste Gesteine, Veränderlichkeitsklasse, Driften, Oberflächenkriechen, Scherfestigkeit, Verwitterung

## Abstract

In the Spitzingsee Area, the Kössen Formation of the Alpine Triassic is frequently exposed. Especially the “Kössener Mergel” – marlstones, siltstones and claystones – are weak, non-durable rocks and, therefore, very sensitive to weathering and sliding. The change of various limestones, marlstones and claystones within the Kössen Formation causes very different sliding types. In the project area both types, drifting of the calcareous layers overlaying weathered marlstones and surface sliding of the weathered marlstones and claystones dominate slope instability. Locally, large masses of debris accumulate and mobilise in catastrophic events e.g. the “Krottenthaler Rutschung” in 1996. Mechanism and intensity of the landslides are directly linked with the durability of the variable marlstones and claystones of the Kössen Formation as the result of composition and fabric of the rocks. According to the rock type, already the primary shear strength of the fresh rock is very variable. During weathering, the friction angle and the cohesion decrease in various grades. Actual investigations pointed out the thin bedded claystones of the class of durability VK3 are the most sensitive rocktype within the Kössen Formation because of their very smooth bedding layers. During weathering of these rocks, the friction angle could decrease below 10° in weathering stages W2 and W3 and, correspondingly, the cohesion is very low. Therefore, the slope gets unstable yet at low angles. Excellent examples in the Spitzingsee Area are the drifting of limestones on the south slope of Hochmiesing and the sliding mass between Aiplspitz and Kleinmiesing.

**Keywords:** Kössen Formation, Kössen marlstones, weak rocks, durability, class of durability, drifting, surface sliding, shear strength, weathering

## 1 Einleitung

Das Gebiet um den Spitzingsee ist nicht nur ein beliebtes Wander- und Skigebiet vor den Toren Münchens (Abb. 1), sondern bietet auch in geologischer Hinsicht auf kleinem Raum hervorragende Einblicke in den Bau der Bayerischen Kalkalpen. Wohl in kaum einem anderen Gebiet lässt sich die unmittelbare Verknüpfung von geologischem Aufbau, Oberflächennutzung, touristischer Erschließung und Hang-

bewegungen so deutlich nachvollziehen. Im Spitzingseegebiet tritt die Festgesteins-Schichtfolge der kalkalpinen Trias bis Unterkreide auf. Einen nennenswerten Teil der oberflächennah anstehenden Gesteine bildet die Kössen-Formation. In deren Mergel- und Tonsteinsfolgen („Kössener Mergel“) liegen die sanften Wiesen, in denen auch vornehmlich die Wanderwege und Skipisten des touristisch stark erschlossenen Gebietes angelegt sind.



Abb. 1: Lage des Projektgebiets Spitzingsee (rot markiert).

Fig. 1: Geographic position of the Spitzingsee Area (red mark).

Eng mit der Verteilung der Kössener Mergel ist auch das Auftreten von Hangbewegungen verknüpft. Im Folgenden wird dargestellt, wie unterschiedliche Hangbewegungen im Projektgebiet mit der jeweiligen Ausbildung der Kössen-Formation und deren geotechnischen Kennwerten in Beziehung stehen.

## 2 Geologischer Aufbau des Gebietes

Das Spitzingseegebiet liegt im Bereich des Bayrischen Synklinoriums, eines Doppelmuldensystems der Lechtaldecke, in dem die kalkalpine Festgesteins-Schichtfolge von der Trias bis in die Unterkreide in unterschiedlichen faziellen Ausbildungen aufgeschlossen ist.

### 2.1 Schichtfolge der Kössen-Formation

Die Gesteine der Kössen-Formation entstanden in der oberen Trias in einer relativ seichten Beckenzone im Schelfbereich der Tethys (NICKMANN & THURO in Druck). Aufgrund eines submarinen Reliefs aus Senken und Schwellen bildeten sich verschiedene Gesteinstypen, die sowohl vertikal ineinander übergehen, als auch sich horizontal verzahnen: In sauerstoffarmen Stillwasserbecken mit terrigenem Eintrag entstanden die Kössener Mergel, in flacheren Untiefen mit besserer Durchlüftung wurden die Kössener Kalke gebildet, die sowohl in Bank- als auch in Massen- und Rifffazies auftreten. Im Spitzingseegebiet dominieren im unteren Teil der Kössen-Formation Tonsteine, Mergelsteine und Mergelkalksteine, nach oben hin schalten sich vermehrt Bank- und Riffkalke ein (Abb. 2). Die Liegendgrenze zum unterlagernden Plattenkalk ist fließend, in diesem sind in die obersten Partien bereits Mergelsteinlagen eingeschaltet, die denen der Kössener Mergel weitestgehend entsprechen (NICKMANN & THURO in Druck). Das Hangende der Kössen-Formation bildet der Oberrhätkalk.

Im Gelände sind die unterschiedlichen Gesteinstypen gut zu unterscheiden: Die Kalke ragen als schroffe, unbewachsene Felswände und Gipfel hervor. Demgegenüber bilden sich auf den weichen, verwitterungsanfälligen Mergeln sanfte, fruchtbare, aber sehr nasse Wiesen. Aufschlüsse sind hier meist auf künstliche Anschnitte begrenzt (Abb. 3).

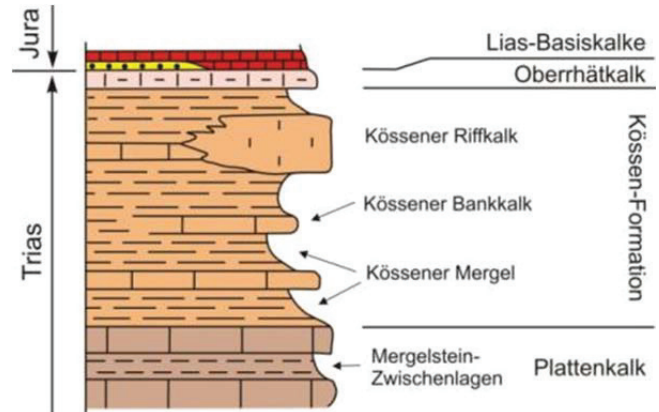


Abb. 2: Schematische Schichtsäule der Kössen-Formation im Projektgebiet (nach NICKMANN & THURO, in Druck).

Fig. 2: Schematic profile through the Kössen Formation of the project area (after NICKMANN & THURO, in press).



Abb. 3: Unterschiedliche Ausbildung der Kössen-Formation bei der Oberen Maxlrainer Alm: In der Böschung sind verfaltete Mergelsteine aufgeschlossen, im Hintergrund erhebt sich der massive Riffkalk des Taubenstein (Foto: A. Gilg 2011).

Fig. 3: Kössen Formation in different facies types: In the frontside folded marlstones are embanked, in the backstage raises the reef limestone complex of the Taubenstein (Foto: A. Gilg 2011).

### 2.2 Tektonik

Durch Faltung und Verschuppung streicht die Kössen-Formation im Projektgebiet an der Oberfläche breit aus. Die Faltung führt auch zu einem wechselnden, oft mittelsteilen Einfallen der Schichten, wobei häufig Schichtlagerung und Hangneigung gleichgerichtet sind. Die mergelbetonten Abschnitte zeichnen sich zudem durch eine intensive Spezialfaltung und Zerschering aus, die den Gebirgs- und Gesteinsverband stark auflockern (Abb. 3).

## 3 Ursachen der Hangbewegungen

Entscheidend für das Auftreten von Hangbewegungen innerhalb der Kössen-Formation sind die Wechsellagerung der Ton-, Mergel- und Kalksteine sowie die unterschiedliche Zusammensetzung dieser Gesteine. Hiervon hängen sowohl die Veränderlichkeit als auch die Verwitterungseigenschaften und die geotechnischen Kennwerte ab.

### 3.1 Veränderlichkeit der Kössener Gesteine

Die Kössen-Formation enthält eine große Bandbreite von unterschiedlichen Gesteinsarten (s. o.), die in Abhängigkeit von Zusammensetzung (u.a. Karbonatgehalt, Korngrößenverteilung) und Gefüge im unverwitterten Zustand in unterschiedliche Veränderlichkeitsklassen nach NICKMANN (2009) eingeordnet werden können (Tab. 1).

Tab. 1: Zuordnung der Gesteine der Kössen-Formation zu den Veränderlichkeitsklassen (VK) nach NICKMANN (2009).

Tab. 1: Allocation of the rock types of Kössen Formation to the classes of durability (VK) after NICKMANN (2009).

VK	Schichtname	Gestein
0	Kössener Kalk	reine Kalksteine, massig oder gebankt
1	Kössener Mergel	Kalkmergelsteine, Kalkanteil > 70 %
2		Mergelsteine, dünngebankt, Kalkanteil ca. 60–70 %
3		Feinstgeschichtete Tonmergel- bis Tonschluffsteine
4		Tonschluffsteine mit Sandanteil
5		Tonschluffsteine mit Sandanteil, Störungsmaterial

In Tab. 1 ist ersichtlich, dass die sog. „Kössener Mergel“ verschiedene Gesteinsarten mit sehr unterschiedlicher Veränderlichkeit umfassen. Während die Kalke als dauerhaft feste Gesteine der Veränderlichkeitsklasse VK0 klassifiziert werden können, zeigen die (Kalk-)Mergelsteine je nach Karbonat-/Ton-Verhältnis eine geringe bis mäßige Veränderlichkeit (VK1–2). Die feingeschichteten, karbonatarmen Tonschluffsteine, die sich durch sehr glatte, ebene Schichtflächen auszeichnen, stellen ein typisches Gestein der VK3 dar. Tritt ein stärkerer Grobschluff- bis Sandanteil auf, fällt der Tonschluffstein in VK4–5, zeigt also bei Wasserzutritt bereits im frischen Zustand einen deutlichen Zerfall.

### 3.2 Verwitterung der Kössener Mergel

Die Veränderlichkeit der verschiedenen Gesteine innerhalb der Kössener Mergel ist eng verknüpft mit dem Ablauf, der Intensität und dem Produkt der Verwitterung. Abb. 4 zeigt schematisch ein Verwitterungsprofil in Ton- und Mergelsteinen vom bergfrischen Gestein bis zur Bodenbildung, die Verwitterungsstufen (W) sind nach REIBMÜLLER (1997) näher charakterisiert. Ausgehend vom frischen Gestein (W0) setzt bereits in W1/W2 eine sukzessive Entkalkung und Gefügauflockerung ein, wobei das Gebirge noch Festgesteinscharakter aufweist. Ab Verwitterungsstufe W3 ist das Gestein zu mehr als 50% entfestigt und nimmt Lockergesteinscharakter an, wobei aber erst ab W4 eine deutliche Plastifizierung der Aggregate einsetzt.

Die unterschiedlichen Gesteinstypen der Kössener Mergel unterscheiden sich zum einen in der Mächtigkeit bzw. dem Tiefgang der Verwitterung und in der Geschwindigkeit, mit der frisch freigelegte Partien dem Zerfallsprozess unterliegen. Zudem unterscheiden sich aber auch die Produkte in den verschiedenen Verwitterungsstufen deutlich voneinander. Abb. 5 zeigt den Zerfallsverlauf von „Kössener Mergeln“ der verschiedenen Veränderlichkeitsklassen anhand der Klufkörper-/ Aggregatgrößen.

- (Kalk-)mergelsteine der VK1–2 (grüne Kurve) bilden relativ große Klufkörper, die bis W3 durch sukzessive Entkalkung nur langsam randlich gelöst werden. Somit reichert sich der Tonanteil nur langsam an. Erst ab W4 nimmt er nennenswerte Anteile des Gebirges ein, allerdings ist der Kalkanteil in den ungelösten Aggregatkernen bis W4 hoch. In W5 bleibt der Tonanteil als Residualboden zurück.
- Tonschluffsteine der VK3 (gelbe Kurve), die nur geringe Anteile eines karbonatischen Bindemittels enthalten, zeigen bereits in W1–W2 einen deutlichen Zerfall. In W3–4 liegen meist nur noch kleine, ausgeprägt plättchenförmige Aggregate in Sandkorngröße vor.

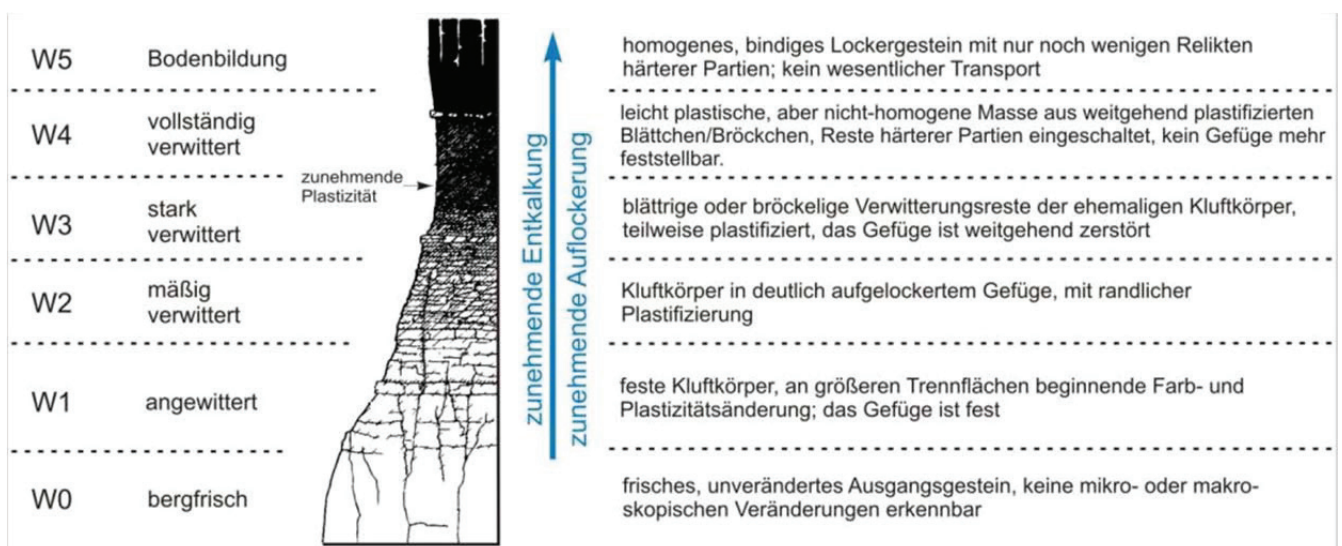
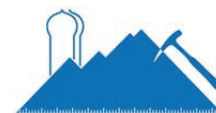


Abb. 4: Verwitterungsprofil in Ton- und Mergelsteinen (nach EINSELE et al. 1985) mit Beschreibung der jeweiligen Verwitterungsstufen nach REIBMÜLLER (1997).

Fig. 4: Weathering profile of claystones and marlstones (after EINSELE et al. 1985) with the explanation of the weathering classes according to REIBMÜLLER (1997).



Eine Auflösung in Einzelkörner, erkennbar an einem Anstieg des Tonanteils, ist aber erst in W5 festzustellen.

- Tonschluffsteine der VK4 (orange Kurve) zeigen den schnellsten Zerfall aller Kössener Mergel, der an der Bildung relativ feinkörniger Aggregate bereits in W2 erkennbar ist. In W3/W4 beginnt der Zerfall in Einzelkörner, von denen ein nennenswerter Anteil in Sand- und Grobschluff-Korngröße liegt.

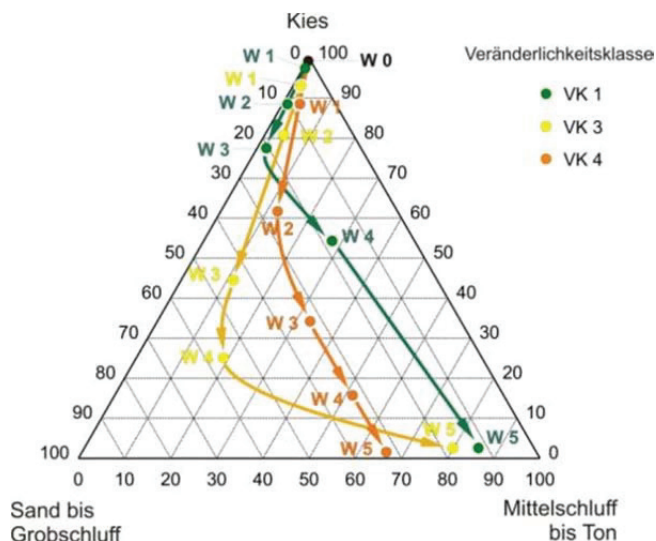


Abb. 5: Verwitterungsverlauf von Kössener Mergeln unterschiedlicher Veränderlichkeitsklassen. Der Zerfallsverlauf zeigt sich in der abnehmenden Größe der Aggregate (nach NICKMANN 2009).

Fig. 5: Weathering of "Kössener Mergel" of different classes of durability. The desintegration is evident in the descending size of the aggregates (after NICKMANN 2009).

### 3.3 Abhängigkeit der Scherparameter von Veränderlichkeit und Verwitterung

Im Zuge der Verwitterung verändern sich mit dem Gesteinscharakter auch die mechanischen Eigenschaften, insbesondere die Scherparameter der verschiedenen Kössener Mergel, in unterschiedlichem Maße (Abb. 6). Für die verschiedenen Gesteinsarten gelten folgende Zusammenhänge:

#### 3.3.1 Kalkmergel- und Mergelsteine

Die Kalkmergel- und Mergelsteine der Kössen-Formation stellen typische Gesteine der Veränderlichkeitsklassen VK1–2 dar. Es handelt sich im frischen Zustand (W0/W1) um mittel- bis dickbankige Festgesteine, deren Tonanteil mit zunehmender Veränderlichkeitsklasse zwar steigt, aber im Gestein eingeschlossen und somit nicht als Schwächezone wirksam ist. In diesen Gesteinen ist von Reibungswinkeln  $\geq 40^\circ$  auszugehen.

Im Zuge der Verwitterung wird bei allen Mergelsteinen der Feinanteil durch sukzessive Karbonatlösung freigesetzt und bildet um die Klufkörper einen „Schmierfilm“, der ein Abgleiten begünstigen kann. Somit reduziert sich der Reibungswinkel.

Die **Kalkmergelsteine der VK1** neigen hierbei nur geringfügig zu Rutschungen, da nur ein geringer Tonanteil freige-

setzt werden kann und die Reibung v.a. zwischen den eckigen, kieskorngroßen Klufkörpern bzw. Aggregaten bis in W4 weitgehend aufrecht erhalten wird.

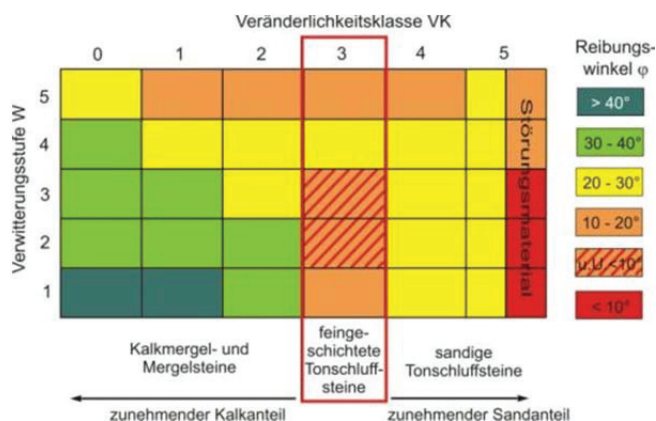


Abb. 6: Zusammenhang zwischen Veränderlichkeitsklasse (VK), Verwitterungsstufe (W) und Reibungswinkel  $\phi$  für die verschiedenen Gesteinsarten der Kössener Mergel.

Fig. 6: Relationship between class of durability (VK), stage of weathering (W) and friction angle  $\phi$  for the different rock types of Kössen marls.

Bei den Mergelsteinen der **Veränderlichkeitsklasse VK2** können sich hingegen auf vereinzelt Trennflächen tonige Beläge in größerem Ausmaß bilden. Es lässt sich nachweisen (REIBMÜLLER 1997: S. 99, Abb. 44), dass der Reibungsabfall nicht linear, sondern in zwei Stufen erfolgt: Der erste Sprung vollzieht sich zwischen den Verwitterungsstufen W0 und W2, indem die Klufkörper randlich plastifiziert und abgerundet werden und somit die Gleitreibung sinkt. Zwischen W2 und W4 bleibt der Reibungswinkel annähernd konstant bei ca. 20–25°, da die Aggregate zwar kleiner werden, sich am Charakter eines grobkörnigen Gesteins mit plastifizierter Hülle aber nichts ändert. Das rutschanfälligste Stadium stellt sich für alle Mergelsteine in Verwitterungsklasse W5 ein, in der nur noch ein stark bindiger Residualboden mit einem Reibungswinkel von ca. 15–20° vorliegt.

#### 3.3.2 Tonschluffsteine

Die Tonschluffsteine bilden ohne Zweifel das sensibelste Glied innerhalb der Kössen-Formation. V.a. die feinkörnig-homogenen, parallel geschichteten Tonschluffsteine der **Veränderlichkeitsklasse VK3** weisen bereits in frischem Zustand aufgrund ihrer sehr glatten Flächen eine geringere Reibungsfestigkeit auf, die bereits bei beginnender Verwitterung (W1) durch das Wirksamwerden der Schichtflächen durch die Auflockerung auf unter 20° sinken kann. Die Verwitterung wirkt sich weiter destabilisierend aus, da durch und randliche Plastifizierung der parallel angeordneten, blättchenförmigen Aggregate in W2 und W3 der Reibungswiderstand stark absinkt. Nach HOLZHAUSER (2011) wurden an vergleichbaren Gesteinen des Opalinustons Reibungswinkel von 15° bestimmt, eine zusätzliche Anwesenheit von organischem Material und eine starke Durchfeuchtung können u.U. zu Reibungswinkeln  $< 10^\circ$  führen (Abb. 7). Gleichzeitig bildet sich aber bis W2 nur eine geringe Kohäsion aus, da der tatsächlich gelöste Tonanteil nur ge-

ring ist. Bei stärkerer Verwitterung (W3–W5) kommt es durch eine sukzessive Auflösung der Aggregate in Einzelkörner zu einer leichten Stabilisierung, indem sich ein zunehmend bindiger Boden mit Reibungswinkeln von 15–20° und nennenswerter Kohäsion bildet.

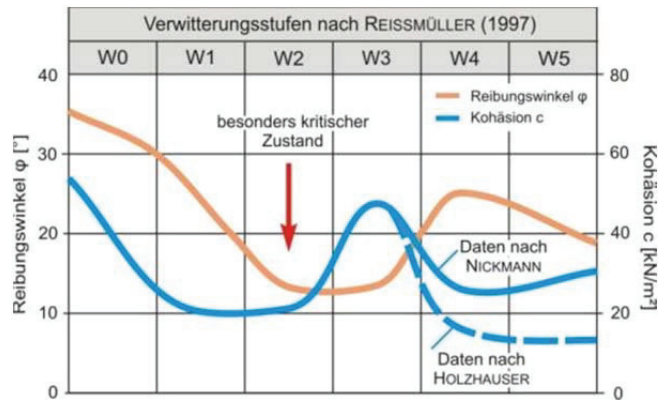


Abb. 7: Änderung von Reibungswinkel und Kohäsion bei Tonschluffsteinen während der Verwitterung. Das kritischste Stadium stellt die Verwitterungsstufe W2 dar (nach Holzhauser 2011, mit Daten von Reissmüller 1997).

Fig. 7: Changes in friction angle and cohesion of claystones during weathering. The critical state is weathering stage W2 (after Holzhauser 2011 with datas from Reissmüller 1997).

Der höhere Sandgehalt in Tonschluffsteinen der **Veränderlichkeitsklassen VK4–5** dürfte dagegen eine vergleichsweise Stabilisierung des unverwitterten Gesteins bewirken, da in dem meist unregelmäßig gemischtkörnigen Gefüge einem Abgleiten quasi „Sand ins Getriebe gestreut wird“ und somit der Reibungswinkel erhöht wird ( $\varphi = 20\text{--}30^\circ$ ). Auch bei der Verwitterung wirkt sich der Sandgehalt stabilisierend aus. Da er durch den schnellen Zerfall des Gesteins schnell freigesetzt wird (ab W3, s. Kap. 3.2) und sich durch den gelösten Tonanteil gleichzeitig bereits eine nennenswerte Kohäsion ausbildet, sinkt die Scherfestigkeit nicht weiter ab. Auch im völlig verwitterten Zustand dürfte der Reibungswinkel nicht wesentlich unter 20° abfallen.

Einen Sonderfall innerhalb der Tonschluffsteine stellen stark gestörte Gesteine dar. Hier können sich im relativ frischen Material (W1–W3) äußerst glatte Harnischflächen mit Reibungswinkeln  $<10^\circ$  ausbilden. Im Zuge der weiteren Verwitterung erfahren diese Bereiche, ähnlich wie die Tonschluffsteine der VK3, durch die Plastifizierung dieser Flächen eine Stabilisierung.

#### 4 Interpretation ausgewählter Hangbewegungsphänomene im Spitzingseegebiet

Die Hangbewegungen im Projektgebiet resultieren aus der für den alpinen Raum typischen pleistozänen Übersteilung der Hänge. Aktuelle Kartierungen zeigen, dass ein großer Teil der Hangbewegungsphänomene an die Kössener Mergel bzw. angrenzende Horizonte geknüpft sind.

##### 4.1 Driften in der Hochmiesing-Südflanke

Ein besonders eindrucksvolles Beispiel einer Kriechbewegung zeigt sich an der Südflanke des Hochmiesing, in der die höchsten Partien des Plattenkalks hangparallel mit ca.

45° nach Süden einfallen. Im Mittelhang kommt es hier zu einem deutlichen Ausbiegen der ursprünglich gleichmäßig steil einfallenden obersten Schichtpakete (Abb. 8). Bereichsweise ist bereits die bruchlose Verformung überschritten und einzelne Bänke sind durchgeschert und übereinander geschoben. Am Hochmiesing-Grat zeichnen mehrere, weit in E–W-Richtung durchziehende Nackentälchen die Abrisskanten nach und zeigen Bewegungsbeträge von mehreren Metern an. Ursache dieser Bewegungen sind die im obersten Plattenkalk eingeschalteten Mergel- und Tonsteinzwischenlagen (VK2–3), die aufgrund ihrer Exposition in angewittertem Zustand vorliegen (W2–3). Somit ist bei einer Schichtneigung von 45° die Scherfestigkeit dieser Lagen deutlich überschritten, die Kalkbänke kriechen auf ihnen gravitativ zu Tal. Da die Bänke im Fußbereich des Hochmiesing eingespannt sind, erfolgt das Ausknicken im Mittelhang.

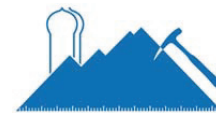


Abb. 8: Ausbauchen der Schichten in der Hochmiesing-Südflanke. Im Gratbereich bilden sich Nackentälchen (kleines Bild).

Fig. 8: Bulging of layers in the southern hillside of Hochmiesing. Antiscarp depressions develop along the ridge (small picture).

##### 4.2 Komplexe Gleitmasse Kleinmiesing

Zwischen Aiplspitz und Kleinmiesing befindet sich ein ca. 600 x 300 m großer, sich nach unten verbreiternder Gleitkörper (Abb. 9: ①), der vom Sattelpunkt nach Süden kriecht. Während im Oberhang und im Stirnbereich die Schichtlagerung noch teilweise erhalten ist, ist der Gebirgsverband v.a. im Mittelteil des Rutschkörpers völlig aufgelöst und die Kalkbänke zeigen aufgrund von Rotation einzelner Schollen eine konfuse Lagerung. Innerhalb der Rutschmasse befinden sich weitere Anrisse und abgesetzte Bereiche, die auf Sekundärrutschungen hindeuten. Die Obergrenze des Gleitkörpers wird auf 1630 m ü. NN durch ein Nackentälchen gekennzeichnet, dessen frischer Bewuchs auf rezent anhaltende Bewegungen hindeutet. Weitere Nackentälchen zeigen ein Rückgreifen der Kriechbewegungen nach Norden hin an. Die Rutschung ist als Bewegung entlang einer kombinierten Gleitfläche zu deuten. Im Oberhang dürften die Verschiebungen entlang verschiedener Tonmergel- und Tonschluffsteinlagen (VK2–3) im Grenzbereich Plattenkalk/Kössen-Formation verlaufen. Da das Schichteinfällen hier bei ca. 45° liegt, wird der Reibungswinkel der Gesteine bereits im relativ frischen Gestein



überschritten. Im Unterhang biegt die Gleitbahn aus dem Hang aus, wodurch die rotierende Komponente zu erklären ist. Hier dürfte sich eine komplexe Scherzone aus Kluftrkörpern der Kalkbänke und harnisch-belegten Scherlingen der Mergel- und Tonschluffsteine gebildet haben, in der die Reibung nur noch minimal ist.

Beiderseits der Hauptscholle entwickeln sich in dem stark aufgelockerten Material im Anrissbereich sekundäre Rutschungszungen (Abb. 9: ②+③), die durch eine unruhige Morphologie mit Stauchwülsten, Fließloben und Vernäsungszonen charakterisiert sind. Es handelt sich hierbei um fast vollständig verwitterte Kössener Mergel, die eine bindige Lockergesteinsmasse mit Resten der Kalkbänke bilden. Der Reibungswinkel ist in diesem Material gering (ca. 15°), die Kohäsion wird durch Aufweichen infolge von Niederschlägen teilweise stark erniedrigt.

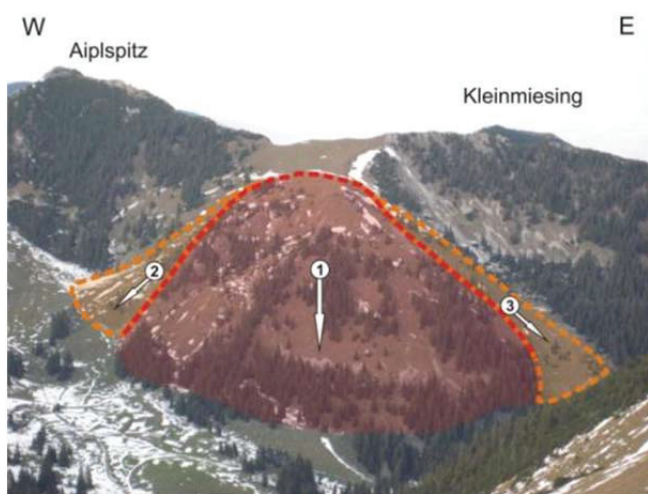


Abb. 9: Gleitkörper Aiplspitz – Kleinmiesing. Beiderseits der Hauptscholle ① bilden sich sekundäre Rutschungszungen ②+③.

Fig. 9: Sliding mass Aiplspitz – Kleinmiesing. On both sides of the main slide ① secondary slides ②+③ develop.

### 4.3 Krottenthaler Rutschung

Bei der Krottenthaler Rutschung von 1996, die in den Medien auch als „Mure von Geitau“ bezeichnet wurde, handelt es sich um eine Lockergesteinsrutschung, bei der über 1 Mio m<sup>3</sup> Gestein umgelagert wurde (ENDRES 2000). Die Abrissnische liegt in einem mächtigen Schuttkegel im Einschnitt zwischen Hoch- und Dürrmiesing (Abb. 10). Das abgegangene Material sammelte sich im Krottenthaler Graben, wo es unter Einfluss von Wasser als Schuttstrom weitertransportiert wurde. Als Ursache sind zunächst die starke Schuttbildung in steilem Gelände sowie die Unterschneidung durch den Bach zu sehen. Hinzu kommt jedoch, dass der Schuttkegel, der aus Plattenkalk des Miesingmassivs besteht, vermutlich auf Kössener Mergeln liegt (NICKMANN & THURO in Druck). Da diese in der Rutschmasse in nennenswertem Anteil enthalten sind, verläuft der Abscherhorizont offensichtlich innerhalb deren Verwitterungsschicht, die eine weitaus geringere Scherfestigkeit aufweist als das blockige Kalkmaterial. Ihr Versagen bewirkte somit eine Destabilisierung des gesamten aufliegenden Schuttfächers.

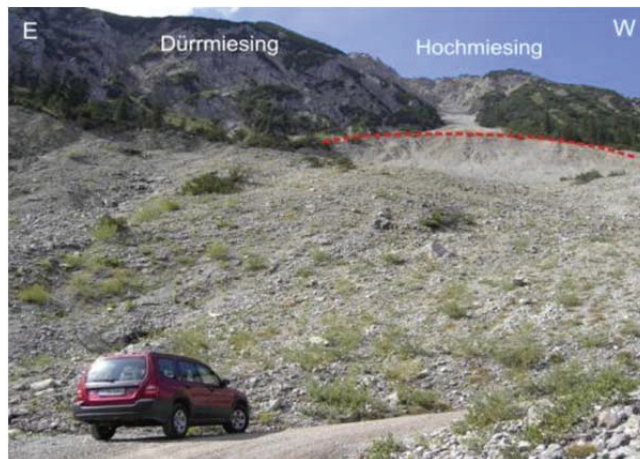


Abb. 10: Abrissnische (rote Linie) und transportiertes Material der Krottenthaler Rutschung. Foto: U. Haas.

Fig. 10: Main scarp (red line) and accumulated material of the „Krottenthaler Rutschung“. Foto: U. Haas.

## 5 Zusammenfassung

Die Untersuchungen an Kössener Mergeln zeigen, dass sich die unterschiedlichen Gesteinstypen, die sich hinter dieser Schichtbezeichnung verbergen, sowohl in ihrer Veränderlichkeit, als auch in ihrem Verwitterungs- und Scherverhalten gravierend unterscheiden. Besonders in den feingeschichteten Tonschluffsteinen kann die Scherfestigkeit äußerst gering sein, wobei der kritischste Zustand bei mäßiger Verwitterung erreicht wird. Dass diese Gesteine eine bevorzugte „Schwachstelle“ in der Schichtfolge der kalkalpinen Trias darstellen, lässt sich im Spitzingseegebiet hervorragend an den dargestellten Hangbewegungen belegen.

## Literatur

- EINSELE, G., HEITFELD, K.-H., LEMPP, CH. & SCHEDELIG, K. (1985): Auflockerung und Verwitterung in der Ingenieurgeologie: Übersicht, Feldansprache, Klassifikation – Einleitender Beitrag. - In: HEITFELD, K.-H. (Hrsg.) (1985): Ingenieurgeologische Probleme im Grenzbereich zwischen Locker- und Festgestein, 2-23, Berlin (Springer).
- ENDRES, H. (2000): Die Geologie im Bereich des Krottenthaler Grabens zwischen Kleinmiesing–Aiplspitz–Hochmiesing–Steilenberg und des angrenzenden Seeberges. – 78 S., Unveröff. Dipl.-Kartierung TU München.
- HOLZHAUSER, P. (2011): Bestimmung der Scherfestigkeit an veränderlich festen Gesteinen in Hinblick auf Hangbewegungsphänomene – Geotechnische, geologische und ingenieurgeologische Aspekte. – 122 S., München (Pfeil).
- NICKMANN, M. (2009): Abgrenzung und Klassifizierung veränderlich fester Gesteine unter ingenieurgeologischen Aspekten. – 148 S., München (Pfeil).
- NICKMANN, M. & THURO, K. (IN DRUCK): Erläuterungen zur Geologischen Karte Blatt 8337/8437 Josefthal. – Bayerisches Landesamt für Umwelt.
- REIBMÜLLER, M. (1997): Die Geologie des Oberen Rottachtales zwischen Bodenschneid, Stolzenberg und Siebligrat sowie geomechanische Eigenschaften verwitterter Kössener Mergel. – 128 S., Unveröff. Dipl.-Arbeit TU München.