Internationales Symposion
INTERPRAEVENT 1988 — GRAZ
Tagungspublikation, Band 1, Seite 321—331

AUSBILDUNG UND HANGSTABILITÄT VON VERWITTERUNGS- UND HANGSCHUTTDECKEN IM MITTLEREN SCHWARZWALD / BRD

Characteristics and slope stability of residual soils and of slope debris in middle Black Forest / FRG

R. Geerken & M. Moser

ZUSAMMENFASSUNG

Ingenieurgeologische Untersuchungen, von Verwitterungsprofilen auf verschiedenen Gneisen, ergaben eine starke Abhängigkeit der Ausbildung der Verwitterungs- und Hangschuttdecken und ihrer Anbruchgefährdung von dem jeweiligen Festgestein. Die bodenmechanischen Eigenschaften der Lockerüberlagerung sind bereits durch festgesteinsspezifische Parameter wie Mineralisation, Gesteinsgefüge und das Trennflächeninventar vorgegeben. Sekundären Einfluß auf die Hangstabilität haben Prozesse, die durch Hangwässer eingeleitet werden. Die dabei auftretenden Veränderungen im Verwitterungsprofil wie Suffosion oder Kolmation, sind charakteristisch für die jeweilige Lockergesteinsdecke.

SUMMARY

Engineering geological investigations of weathering profiles of various gneisses, show a strong interrelation between characteristics of the residual soil, their slope stability and the original rock mass. Soilmechanical properties are already prescribed by parameters of the unweathered rock such as mineralization, structure, jointing and foliation. Secondary, slope stability is affected by the agitation of the ground water. Processes of water like suffosion or kolmation are characteristic for the various weathering profiles.

1. EINFÜHRUNG

Große Niederschlagsereignisse sind der häufigste Auslöser von Rutschungen in Lockergesteinen. Die Ursache liegt jedoch nicht allein bei der intensiven Durchfeuchtung des Bodenkörpers, und damit verknüpften Veränderungen der bodenphysikalischen Eigenschaften; eine wichtige Rolle spielen unter anderem auch Gefügemerkmale der Verwitterungsprofile, die die Anfälligkeit eines Lockergesteins für Rutschungen und deren Form und Ablauf bestimmen. Die Gefügemerkmale und die Mächtigkeit der Verwitterungsprofile werden wiederum entscheidend vom Ausgangsgestein geprägt.

Ingenieurgeologische Untersuchungen an polymetamorphen Gneisen des Mittleren Schwarzwaldes / BRD demonstrieren die Zusammenhänge zwischen festgesteinsspezifischen Eigenschaften der Gneise und der Ausbildung ihrer Lockerüberlagerungen, Zusammenhänge die für die Beurteilung der Hangstabilität eine wichtige Voraussetzung bilden.

Die Untersuchungen erfolgten im Raum zwischen Kinzig und Elz (Abb.1), einem Gebiet, das überwiegend von Gneisen aufgebaut wird. Untergeordnet sind variszische Intrusivgesteine und Sedimente des Rotliegenden und des Buntsandstein verbreitet.

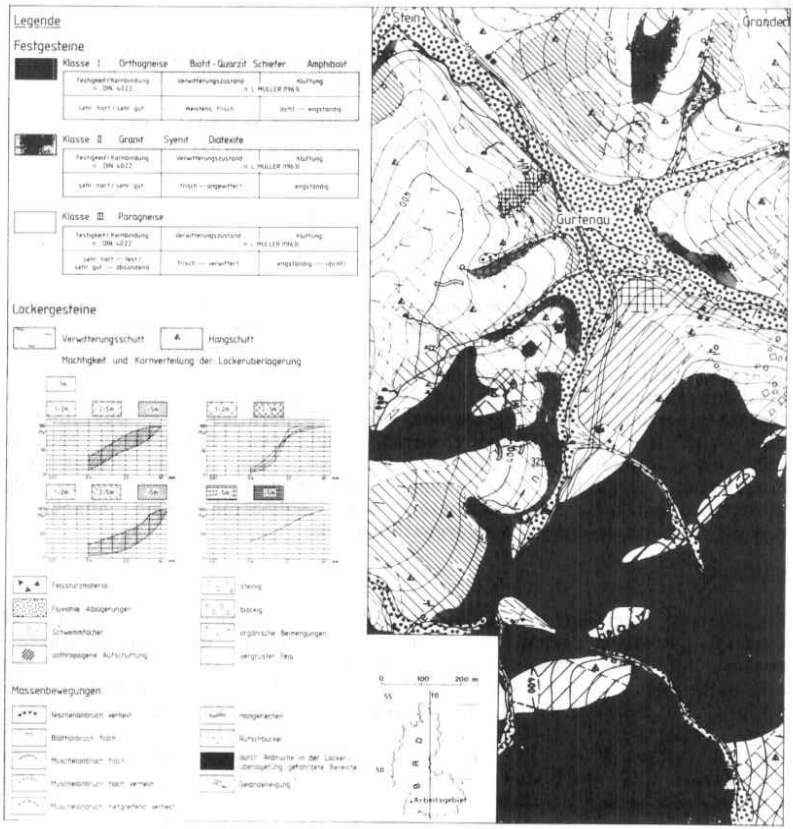

Abb.1: Klassifikation der Verwitterungs- und Hangschuttdecken.
Classification of residual soils and slope debris.

2. PETROGRAPHISCHE BESCHREIBUNG DER METAMORPHITE

Mineralogische Unterschiede bei den Gneisen beschränken sich auf einzelne sillimanitführende Varietäten und auf unterschiedliche Prozentanteile der Minerale Plagioklas, Quarz und Biotit. Dieser, für Hoch P/Niedrig T - Metamorphite typische Mineralbestand, ist charakteristisch für alle Gneise des Arbeitsgebietes. Texturelle Unterschiede sind die Folge einer unterschiedlich starken Aufschmelzung während der kaledonischen Orogenese (WIMMENAUER, 1980), die neben den typischen Gneistexturen, migmatitische und diatektische Gesteinstexturen erzeugte. Mineralbestand und Textur ermöglichen eine Unterteilung in Paragneise (+/-Sillimanit, viel Biotit, langflaserige bis migmatitische Texturen) und Orthogneise

(biotitarm, grobflaserige Textur). Postmetamorphe tektonische Bewegungen wirkten sich bevorzugt auf höher teilbewegliche, langflaserige Gneise und stromatolithische Migmatite (Paragneise) aus, in Form von Verschiebungen entlang der Schieferungsflächen, dagegen sind Diatexite und typische Gneise (Orthogneise) nahezu unbeeinflußt.

3. AUSBILDUNG VON VERWITTERUNGSPROFILEN UND IHRE BEDEUTUNG FÜR DIE BEURTEILUNG DER HANGSTABILITÄT

Charakteristisch für alle Verwitterungsprofile ist die kontinuierliche Änderung ihrer Eigenschaften mit der Tiefe. Aufgrund der fließenden Übergänge sind diese Änderungen als Grenzen schwer zu fixieren. Daß diese Grenzflächen vorhanden sind zeigen Rutschungen, die sich innerhalb der Lockerüberlagerung ereignen.

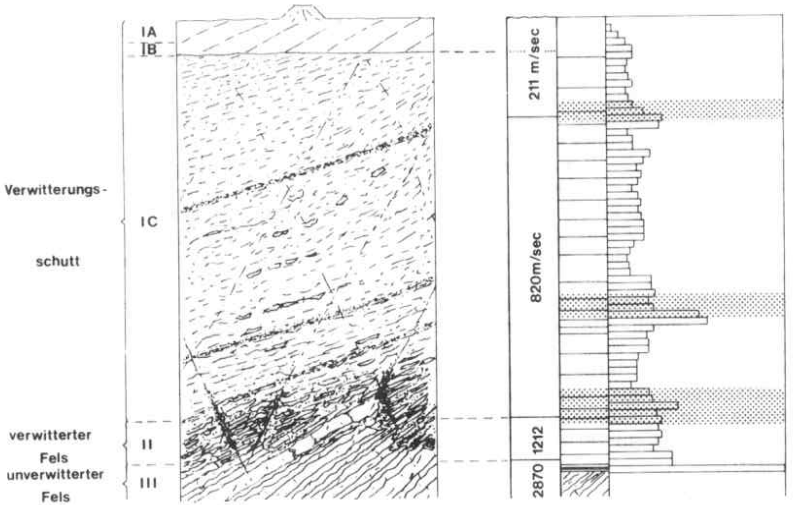

Abb.2: a)Typisches Verwitterungsprofil in metamorphen Gesteinen (Paragneise). Im Verwitterungsschutt sind Klüfte und Schieferflächen als Reliktstrukturen erhalten.
Typical weathering profile in metamorphic rocks (paragneisses). Joint pattern and cleavage planes are preserved as relict structures.
b)Bei mächtigeren Lockerüberlagerungen entstehen unter anderem durch die zunehmende Kompaktion und Kornvergröberung mit der Tiefe sowie durch Änderungen in der Kornverteilung zusätzliche Grenzflächen (grau unterlegt).
At thicker regoliths additional interfaces occur due to rising compaction and rising grain size with depth and furthermore through abrupt changes in grain size distribution.
1 P-Wellengeschwindigkeit
P-wave velocity
2 Verwitterungsprofil
Weathering profile
3 Summenlinien der Schlagzahlen einer leichten Rammsonde (LRS 10)
Added strokes of light dynamic sound (LRS 10)
4 Schlagzahl/10cm Eindringtiefe (LRS 10), Max.=100 Schläge
Strokes/10cm penetration (LRS 10), max.=100 strokes

Eine häufig benutzte Unterteilung von Verwitterungsprofilen in: Verwitterungsboden - Verwittertes Festgestein - Unverwittertes Festgestein, reicht zur Beschreibung mächtigerer Lockerüberlage-

rungen jedoch nicht aus. Bei mächtigeren Verwitterungsprofilen gibt es, innerhalb des als "Verwitterungsboden" bezeichneten Bereichs, weitere Grenzflächen, die für die Stabilität derartiger Lockerüberlagerungen eine wichtige Rolle spielen (Abb.2).

4. VERGLEICH VON VERWITTERUNGSPROFILEN ÜBER VERSCHIEDENEN GNEISEN UND IHRE INGENIEURGEOLOGISCHEN EIGENSCHAFTEN

Die texturelle Ausbildung der Metamorphite und ihre tektonische Beanspruchung bestimmen die Festgesteinseigenschaften, die Verwitterbarkeit und den Verwitterungsgrad. Die dadurch gesteuerten Mächtigkeiten und Kornverteilungen der Lockerüberlagerungen sind charakteristisch für die verschiedenen Gneise.

4.1. RELIKTSTRUKTUREN ALS POTENTIELLE GLEITFLÄCHEN IM VERWITTERUNGSSCHUTT DER PARAGNEISE

Stark ausgeprägte, dünnlagige Wechsel von melanokraten (biotitreich) mit leukokraten (Quarz, Plagioklas) Lagen in den stromatolithischen Migmatiten, begünstigen die Auflösung des Gesteinsverbandes entlang der leicht verwitterbaren Biotitminerale. Der hohe Auflockerungs- und Durchtrennungsgrad ist neben chemisch-physikalischen Verwitterungsprozessen und gravitativen Entlastungsvorgängen, tektonischen Ereignissen zuzuschreiben, die die Verbandsfestigkeit der Paragneise bereits primär geschwächt haben. Die Gefügeanistropie der Paragneise bewirkt eine starke Abhängigkeit der Verbandsfestgkeit, und damit auch der Lockerüberlagerung, von der Hangexposition. Schieferflächenparallel einfallende Hänge bieten ideale Voraussetzungen für eine Auflokkerung. Durch die senkrecht zur Schieferung angreifenden Entspannungskräfte wird die Scherfestigkeit herabgesetzt, was eine tiefgreifende Gefügelockerung und eine hohe Teilbeweglichkeit der Kluftkörper mit sich bringt. Die Folge sind mächtige Verwitterungs- und Hangschuttdecken und Auflockerungszonen im Übergangsbereich zum unverwitterten Paragneis (bis zu 16 m Gesamtmächtigkeit).

Der Verwitterungsschutt der Paragneise (aus dem IC-Horizont) ist als überwiegend schwach schluffiger, sandiger Kies einzustufen (Abb.3). Aus der weitgestuften Kornverteilung (Ungleichförmigkeitsgrade U = 68 - 841), mit relativ niedrigen Schluffanteilen (meist < 10%), ist eine gute Standfestigkeit abzuleiten, wie auch die Eindringwiderstände der Rammsondierungen und die daraus abgeleiteten Reibungswinkeln(nach SCHOBER & HOHENSINN, 1980) belegen. Doch trotz der augenscheinlichen Stabilität der Lockerüberlagerung treten, vor allem nach langandauernden Niederschlägen, vermehrt Rutschungen in der Lockerüberlagerung auf.

Der Aufbau des Verwitterungsprofils wurde mit Hilfe von refraktionsseismischen Messungen und parallel dazu durchgeführten Sondierungen (Leichte Rammsonde, LRS 10) erkundet. Die Ergebnisse lassen eine 3-Gliederung des Verwitterungsprofils zu (Abb.2), entsprechend dem Vorschlag von DEERE & PATTON (1971). Eine detailliertere Unterteilung ist vor allem mit seismischen Methoden nicht möglich. Der in Abb.2 mit IA,IB bezeichnete Bodenhorizont konnte, aufgrund seiner geringen Mächtigkeit, seismisch

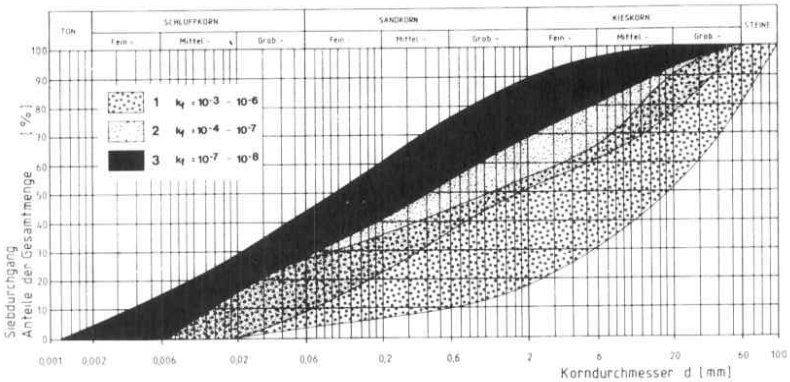

Abb.3: Kornverteilungskurven von Verwitterungsschuttmaterial aus dem IC-Horizont (Durchlässigkeitsbeiwert k_f in m/sec):
1 auf Paragneisen 2 auf Orthogneisen
3 gering wasserdurchlässigen Reliktstrukturen.
Grain size distribution of regolith derived from the IC-horizon (permeability index k_f in m/sec)):
1 from paragneisses 2 from orthogneisses
3 less permeable relict structures

nicht nachgewiesen werden. Dagegen wurde in allen Messauslagen, in einer Tiefe zwischen ~1.00 m und ~2.50 m, ein markanter Geschwindigkeitsanstieg innerhalb der mit IC bezeichneten Verwitterungsschicht registriert. Ramm- und Bohrsondierungen bestätigten die Ergebnisse der Seismik und ermöglichten darüber hinaus eine exaktere Feingliederung vor allem des IC Horizontes. Dabei konnte ein Abfallen der Schlagzahlen, innerhalb des IC-Horizontes, in vielen Fällen mit Änderungen in der Kornverteilung (Bohrsondierungen) parallelisiert werden. Unterhalb dieser bis zu 20cm mächtigen Schichten, stiegen die Schlagzahlen wieder deutlich an (Abb.2,4).

Das Lockermaterial dieser Schichten zeichnet sich durch hohe Sand- und Schluffanteile und etwas Ton aus (Abb.3). Sie sind das Relikt von leicht verwitterbaren, stark glimmerhaltigen (Biotit) und/oder feldspatreichen Gesteinslagen. Seltener handelt es sich um Illuvialhorizonte über Lockergesteinen mit höherer Lagerungsdichte, entstanden durch die zunehmende Kompaktion bzw. abnehmende Wasserdurchlässigkeit mit der Tiefe. Durch diesen Wechsel in der Kornverteilung werden weitere Vorgänge induziert, die zur Schwächung des Hanggleichgewichtes beitragen. Die beschriebenen Strukturen bilden Stauhorizonte im Verwitterungsprofil, an denen es nach ergiebigen Niederschlägen zu einem konzentrierten Abfließen der Hangwässer kommt (Sondierungen). Die Kohäsionskraft der prozentual geringen Tonanteile reicht dabei aus, um Suffosionsvorgänge in den feinkörnigen Lagen zu verhindern. Eine zusätzliche Abdichtung erfolgt durch die Ablagerung bzw. Ausfällung von gelartigem $Fe(OH)_3$, das später in die Form des Oxidhydrates übergeht (MATTHESS, 1973). Es handelt sich um Eisen, das vor allem bei der Verwitterung der Biotite frei wird und durch Erosion und chemische Prozesse umgelagert wird. Das bevorzugte Abfließen der Hangwässer entlang dieser Lagen, und der Wechsel von wassererfüllt und trockenfallen (Änderung des Redoxpoten-

tials), begünstigen die Ablagerungs- und Ausfällungsprozesse. Derartige Reliktstrukturen in der Verwitterungsschicht bilden potentielle Gleitflächen, die von der Geländeoberfläche ohne zusätzliche Hilfsmittel nicht erkannt bzw. dort auch nicht vermutet werden.

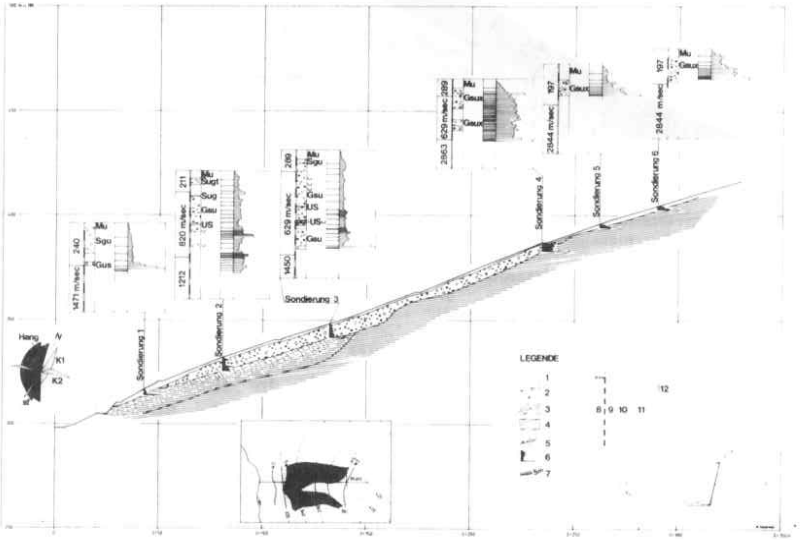

Abb.4: Hangprofil in leicht verwitterbaren Paragneisen. Das hangparallele Einfallen der Schieferung begünstigt die Entfestigung des Festgesteins und die Bildung mächtiger Lockerüberlagerungen. Die Lockergesteinsmächtigkeiten wurden mit hammerschlagseismischen Messungen und Sondierungen aufgenommen.

Slope profile in less weathering resistant paragneisses. The inclination of cleavage planes parallel to the slope favours loosening of the rock material and the formation of thick regolith covers. Regolith thickness had been measured with refraction seismic and dynamic soundings.

1 IA,IB-Horizont z.T. IC-Horizont; Bereich der durch Wurzelröhren und den Einsatz landwirtschaftlicher Maschinen stark aufgelockert ist.
Upper weathering horizon 173 - 289 m/sec
2 IC-Horizont, Verwitterungsschutt
IC-horizon, regolith 629 - 820 m/sec
3 II-Horizont, verwittertes Festgestein
II-horizon, weathered rock 1212 -1471 m/sec
4 III-Horizont, unverwittertes Festgestein
III-horizon, unweathered rock 2844 -3496 m/sec
5 Refraktionshorizont
refraction horizon
6 Rammsondierung (LRS 10)
dynamic sounding (LRS 10)
7 Lockergesteinsmächtigkeit
thickness of regolith
8 P-Wellengeschwindigkeit
P-wave velocity
9 Bohrprofil (Schlitzsonde)
well log from soundings
10 Summenlinien (Schlagzahl)
added strokes
11 Schlagzahl/10cm Eindringtiefe, Max.=100 Schläge
strokes/10cm penetration, max=100 strokes
12 Bereich mit einer Änderung in der Lagerungsdichte. Change in density index.

4.2. RUTSCHUNGEN IN LOCKERGESTEINEN ENTLANG VON RELIKTSTRUKTUREN UND ANDEREN GRENZFLÄCHEN

Abgesehen von den anthropogen verursachten Rutschungen, treten Massenbewegungen in der Lockerüberlagerung ausschließlich in den unteren, steilen Hanglagen (24°-38°)auf. Die Steilheit der Hangfußbereiche dokumentiert eine Eintiefungsphase des lokalen Vorfluters (Dietenbach), die rezent von einer Akkumulationsphase abgelöst wurde. Die sehr langsam fortschreitende Auffüllung des Talniveaus erfolgt zu einem großen Teil durch Rutschmassen. Neben der Steilheit ist der höhere Schluffanteil in diesen Hanglagen ausschlaggebend für ihre Anbruchgefährdung. Der höhere Anteil der Schluffkornfraktion ist eine Folge des hangabwärts gerichteten Schwebfrachttransportes durch das Hangwasser. In Verbindung mit den als Stauhorizonten wirksamen Reliktstrukturen oder anderen Grenzflächen (Grenzfläche Mutterboden, IA,IB / Verwitterungsschutt, IC) ergeben sich daraus, nach Form und Ablauf, unterschiedliche Rutschungstypen.

Die gering durchlässigen Reliktstrukturen können entweder als Stauhorizont wirken, die das Eindringen der Sickerwässer in tiefere Bereiche verzögern oder als Barrieren, die von unten aufdringendes Wasser (Anstieg des Hangwasserspiegels) aus den gut durchlässigen verwitterten Festgesteinen verhindern.
In beiden Fällen werden die treibenden Kräfte erhöht: durch die Zusatzlasten aus der Wasseraufnahme, den Strömungsdruck und die Wirkung des Porenwasserdruckes. Zu einer weiteren Verschlechterung der Hangstabilität trägt die Abnahme der Scherfestigkeit infolge von Konsistenzänderungen im Bereich der potentiellen Gleitflächen bei.

In Abbildung 5a,b sind die Auswirkungen von wasserstauenden Reliktstrukturen in der Lockerüberlagerung dargestellt. Welche dieser Möglichkeiten (Abb. 5a oder 5b) bei den auftretenden Massenbewegungen der Auslöser war läßt sich nicht in jedem Fall eindeutig nachweisen. In vielen Fällen hat das Zusammenwirken verschiedener Faktoren zur Erhöhung der treibenden Kräfte geführt.

Abbildung 5a zeigt, wie sich nach einem Niederschlagsereignis, durch infiltrierendes Sickerwasser, über dem Stauhorizont sehr viel früher ein bis zur Geländeoberkante gesättigter Lockergesteinskörper einstellt, früher als es die Gesamtmächtigkeit des Verwitterungsprofils erwarten läßt. Mit Bohrsondierungen, konnten während und nach Niederschlagsereignissen, an Reliktstrukturen angestaute Hangwasserkörper, nachgewiesen werden (Abb.4, Sondierung 2 und 3) z.T auch in mehrfacher Wiederholung. Direkt darunter liegende Lockergesteine waren vollkommen trocken. Unter diesen Voraussetzungen werden sich translationsförmige Rutschungen ereignen, wobei die Reliktstrukturen als Gleitbahn dienen. Der Rutschkörper wird entweder als aufgelöstes Schollenmosaik oder als zusammenhängende Masse abtransportiert.

Eine zweite Ursache, die zur Auslösung der Rutschungen führte, ist der hydrostatische Druck, bedingt durch den Anstieg des Hangwasserspiegels (Abb.5b). Der Hangwasserspiegel liegt in den Metamorphiten zu Zeiten "normaler Witterung" im Bereich der verwitterten Festgesteine (II-Horizont). Während der Hauptnie-

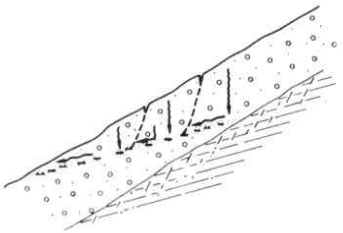

Abb.5a: Rutschung im Verwitterungsschutt (IC-Horizont) entlang einer wasserstauenden Reliktstruktur. Die wasserstauende Reliktstruktur "reduziert" die Wasseraufnahmekapazität der Lockerüberlagerung, so daß das Verwitterungsmaterial sehr viel früher wassergesättigt ist und unter Auftrieb steht als es seine Gesamtmächtigkeit erwarten läßt. Durch die niedrige Scherfestigkeit zwischen schluffig-sandiger Lage und grobkörnigerer Überlagerung wird das Anbruchrisiko zusätzlich erhöht.

Slide in debris material (IC-horizon) along a less permeable relict structure. The less permeable layer "reduces the water capacity" of the regolith and it will be saturated much earlier than it is to be expected from the total regolith thickness. The low shear strength between fine grained layer and hanging coarse grained material is a further component increasing the risk for sliding.

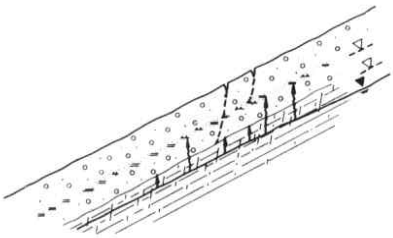

Abb.5b: Rutschung im Verwitterungsschutt (IC-Horizont) entlang einer wasserstauenden Reliktstruktur, bzw. am Übergang Verwitterungsschutt zu verwittertem Festgestein (IC-/IIA-Horizont), ausgelöst durch den Anstieg des Hangwasserspiegels. Durch den hydrostatischen Druck, der sich unter den weniger durchlässigen Schichten (IC-Horizont, Reliktstrutur) aufbaut, werden die treibenden Kräfte erhöht.

Slide in debris material (IC-horizon) along a less permeable relict structure, resp. between residual soil and weathered rock (IC-/IIA-horizon), released through the rising of the ground water table. The hydrostatic pressure that forms below less permeable layers, leads to an increase in moving powers.

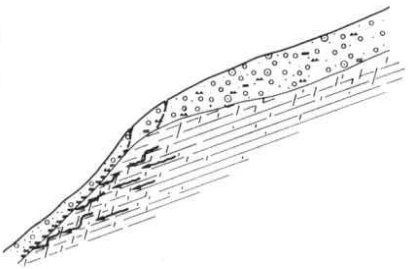

Abb.5c: Grasnarbenrutschung (IA-,IB-Horizont) im Hangfußbereich. Die bereits primär niedrige Durchlässigkeit der Humusdecke wird durch Schwebstoffablagerungen aus den Hangwässern zusätzlich erniedrigt (Ablagerung als Folge der Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit beim Übertritt in geringer durchlässige Schichten). Entlang gut wasserwegiger, hangauswärts fallender Schieferflächen anströmendes Hangwasser wird am Austritt an die Geländeoberkante gehindert und übt dadurch einen hydrostatischen Druck auf die überlagernde Humusdecke aus.

Slide in the sod (IA-,IB-horizon) at the foot of the slope. The lower permeability of this horizon (in comparison to the weathered rock) is additionally increased through sedimentation of suspended load out of the ground water (sedimentation is caused by the decrease of stream velocity). Ground water out of the weathered rock is dammed up and exerts a hydrostatic pressure on the overlying sod.

derschlagsperioden im Frühjahr und Herbst, kann der Hangwasserspiegel bis in den IC-Horizont ansteigen und durch den Überdruck, der sich an geringer wasserdurchlässigen Horizonten (Grenzfläche II/IC, Reliktstrukturen im IC-Horizont) aufbaut, zur Destabilisierung des Hanggleichgewichtes beitragen.

Das hangparallele Einfallen der Schieferungsflächen an süd- bis südwestexponierten Hängen unterstützt die hangparallele Durchströmung der Paragneise entlang gut wasserwegiger Schieferflächen. Der Auflockerungsgrad der Festgesteine und damit ihre Wasserdurchlässigkeit ist durch die besondere Konstellation von Trennflächen und Geländeneigung (Bildung von Gleitkeilen) in den unteren, steilen Hangbereichen besonders hoch (Abb.3). Dafür

sprechen auch die niedrigen P-Wellengeschwindigkeiten (1212-1471 m/sec). An den Geländeversteilungen der unteren Hanglagen wird das Wasser entweder zum Austritt in die Lockerüberlagerung gezwungen oder, aufgrund der geringeren Durchlässigkeit des Lockermaterials, angestaut (Abb.5c). Durch den hydrostatischen Druck, der auf die überlagernden Lockergesteine ausgeübt wird, werden seichtschalige Rutschungen in der Grasnarbe (IA,IB-Horizont) ausgelöst. Hangbewegungen dieser Art bilden sich bevorzugt in Hangmulden, wo Sammeleffekte für oberirdisch und unterirdisch abfließendes Wasser besonders groß sind.

4.3. HANGSTABILITÄTSBETRACHTUNGEN AN VERWITTERUNGSSCHUTTDECKEN AUF ORTHOGNEISEN

Orthogneise weisen im Unterschied zu den Paragneisen kein ausgeprägtes Lineargefüge auf und zeigen insgesamt eine größere petrographische Homogenität und Persistenz in ihren ingenieurgeologischen Eigenschaften.
Durch die niedrigeren Biotitgehalte (2-28%) und die flaserige Textur, ist der Einfluß der Schieferungsflächen auf die Verbandsfestigkeit ingenieurgeologisch unbedeutend.
Steil einfallende Kluftflächen (73°-82°) und eine schwach ausgeprägte Schieferung, sind die Ursache für das richtungsunabhängige Verwitterungsverhalten der Orthogneise und die gleichmäßig ausgebildeten Lockerüberlagerungen an unterschiedlich exponierten Hängen.
Die weitständige Klüftung und die hohe Verwitterungsresistenz der Orthogneise äußert sich in steileren Hangneigungen und geringmächtigeren Lockerüberlagerungen.
Das überwiegend schluffig-sandige Verwitterungsmaterial (Abb.3) ist vergleichbar mit dem von Intrusivgesteinen; die Kornverteilung wird weitgehend von der Mineralkorngröße der Festgesteine bestimmt. Kluftkörper der Kies- und Steinfraktion schwimmen in der sandig-schluffigen Matrix, ohne ein stabilisierendes Gerüst aufzubauen. Gemessene Wassergehalte an der Fließgrenze liegen zwischen 19% und 32.5% und machen die Empfindlichkeit dieser Lockergesteine gegenüber Wassergehaltsänderungen deutlich.

Die Steilheit der Hänge und das leicht verflüssigbare Verwitterungsmaterial unterbindet die Entwicklung mächtigerer Verwitterungsprofile. Der Abtrag erfolgt durch ein permanentes Ausspülen der leicht erodierbaren Feinanteile sowohl oberirdisch als auch unterirdisch (Suffosion).
Die Mächtigkeiten der Lockerüberlagerungen liegen deshalb meist unter 1 Meter, bei Hangneigungen zwischen 25°-32°. Charakteristisch für die Verwitterungsprofile ist der geringmächtige oder fehlende IIA-Horizont (verwittertes Festgestein), der sich bei den raschen Abtragungsraten und der großen Verwitterungsresistenz des Festgesteins nicht in dem Maße entwickelt, wie es bei den Paragneisen der Fall ist.

Die geringe Verzahnung zwischen Lockerüberlagerung und unverwittertem Festgestein sind die häufigste Ursache von murenartigen Hangbewegungen.
Gleithorizonte innerhalb der Lockerüberlagerung sind im Verwitterungsschutt der Orthogneise nicht verbreitet. Dies liegt zum Einen an dem annähernd isotropen Gefüge der Orthogneise, das

keine das Hanggleichgewicht gefährdenden, lagigen Reliktgefüge im Verwitterungsprofil hinterläßt und an der geringen Lockergesteinsmächtigkeit.

Ein mehrschichtiger Aufbau in der Lockerüberlagerungen (IC-Horizont), entstanden durch zunehmende Kompaktierung mit der Tiefe und ein damit verbundener Stau von Hang- und Sickerwässern, konnte erst ab einer Lockergesteinsmächtigkeit von ~ >4.00 Metern nachgewiesen werden. Eine Mächtigkeit, die von den Verwitterungsprofilen auf Orthogneisen zumindest in steileren Hanglagen nicht erreicht wird. Dies soll kein allgemein gültiger Wert sein, da die Kompaktierung unter anderem auch eine Funktion der Zeit ist, so daß sich in älteren Verwitterungsprofilen bereits bei geringeren Mächtigkeiten Grenzflächen und damit potentielle Gleitflächen bilden können.

SCHLUSSFOLGERUNG

Bei der Verwitterung von Gesteinen mit ausgeprägtem Lagengefüge, wie z.B. bei Paragneisen des Mittleren Schwarzwaldes, können aus leicht verwitterbaren Gesteinslagen (feinkörnige, feldspatreiche oder biotitreiche Lagen) potentielle Gleitflächen entstehen, die im Verwitterungsschutt latent angelegt werden. Ihre destabilisierende Wirkung wird sekundär durch Ausfällungs- und Ablagerungsprozesse erhöht. Ihre abdichtende Wirkung führt zu einem steigenden Wasserangebot entlang dieser Lagen und zu einer erhöhten Rutschgefährdung. Auf die Existenz von gleitfähigen Reliktstrukturen im Verwitterungsprofil kann nur über die Ausbildung der Festgesteine geschlossen werden. Für ihren Nachweis sind weitere Untersuchungen erforderlich, wobei Ramm- und Bohrsondierungen besonders erfolgreich einzustufen sind. Der zeitliche Aufwand für Bohrsondierungen ist zwar erheblich, besonders in schweren Böden, doch ohne die daraus gewonnenen Profile ist eine Interpretation fragwürdig. Das Auflösungsvermögen von refraktionsseismischen Messungen reicht in der Regel für einen Nachweis der geringmächtigen Lagen nicht aus.

Festgesteine mit annähernd isotropem Gefüge (Orthogneise) bilden einen Verwitterungs- und Hangschutt, der derartige Schwächezonen nicht aufweist. Ihre Rutschgefährdung entsteht aus der niedrigen Fließgrenze ihres schluffig-sandigen Verwitterungsmaterials und der unzureichenden Haftreibung zwischen Lockerüberlagerung und verwitterungsresistentem Orthogneis.

LITERATUR:

Deere, D.U. & Patton, F.D., 1971: Slope stability in residual soils.- Panam. Conf. Soil Mech. Found. Eng., 4th, Puerto Rico, 1, 87-170.

Geerken, R., 1986: Ingenieurgeologische Untersuchung verschiedener Grundgebirgsserien und ihrer Lockerüberlagerung südlich Mühlenbach/Mittlerer Schwarzwald.- Diploma Thesis, 208S., Universität Karlsruhe.

Hohensinn, F.,1979: Bodenmechanische Analyse von Geländebrüchen in kristallinen Verwitterungsböden.- Mitt. Inst. für Bodenmech.-Felsmech. und Grundbau, Univ. Innsbruck, 2, 1-96.

Lempp, Ch., 1981: Mechanische und mineralogisch-geochemische Eigenschaften von Granit in verschiedenen Verwitterungszuständen.- Bericht 3. Nat. Tagung Ing. Geol., 191-200, Ansbach
Matthess, G., 1973: Die Beschaffenheit des Grundwassers.- 324S., Stuttgart.
Morgenstern, N.R. & de Matos, M.M., 1975: Stability of slopes in residual soils.- Panam. Conf. Soil Mech. Found. Eng., 5th, Argentina, 3, 367-383.
Moser, M. & Hohensinn, F., 1982/83: Geotechnical aspects of soil slips in alpine regions.- Eng. Geol., 19, No.3, 185-211.
Moser, M., 1980: Zur Analyse von Hangbewegungen in schwach bindigen bis rolligen Lockergesteinen im alpinen Raum anläßlich von Starkniederschlägen.- Interpraevent, 1, 121-148.
Nowy, W., 1984: Sperre Zillergründl - Beeinflussung des Sperrenaushubes durch tiefgreifende Hangauflockerung.- Felsbau, 2, 4, 200-207, Salzburg.
Schober, & Hohensinn, F., 1980: Bodenmechanische Analyse von Geländebrüchen bei Murenbildung in kristallinen Verwitterungsböden.- Interpraevent, 1, 107-120, Bad Ischl.
Skempton, A.W. & Hutchinson, J., 1969: Stability of natural slopes and embankment foundations.- 7th Int. Conf. Soil. Mech. Found. Eng.,1, 291-340, Mexico.
Sower, G., 1963: Engineering Properties of residual soils derived from igneous and metamorphic rocks.- Panam. Conf. Soil Mech. Found. Eng., 1, 39-62.

Dipl.-Geol. Roland Geerken, Institut für Regionale Geologie der Universität Karlsruhe, Kaiserstr.12, 7500 Karlsruhe
Prof. Dr. Michael Moser, Geologisches Institut der Universität Erlangen, Im Schloßgarten 5, 8520 Erlangen