

Bodenmechanische Untersuchungen an einem Rutschhang in Rheinhessen Soil mechanical Investigation of a Landslide Area in Rheinhessen

Jörg Bürkle, Konrad Kuntsche¹

Zusammenfassung

Im Zuge eines interdisziplinären Forschungsprojektes wurden bodenmechanische Untersuchungen am Jakobsberg bei Ockenheim (Rheinhessen) durchgeführt. Hierzu wurden sowohl im Hangbereich als auch im Hinterland bei bis zu 80 m tiefen Kernbohrungen möglichst ungestörte Proben aus den anstehenden tertiären Tonen entnommen und bodenmechanischen Laborversuchen unterzogen. Anhand einer Zuordnung von Bohrkernen aufgrund bodenmechanischer, mineralogischer und auch feinstratigraphischer Untersuchungen wurden die mechanischen Eigenschaften der Böden aus dem Rutschhang mit stratigraphisch identischen Schichten im bislang von der Hangbildung unbeeinflussten Hinterland verglichen. Aus diesem Vergleich werden Schlüsse gezogen, welche die Ausbildung von immer neuen Rutschungen an Rheinhessens Hängen erklären können. Es ist nach den Ergebnissen dieser Untersuchungen zu erwarten, dass das Risiko künftiger Rutschungen genauer eingeschätzt werden kann.

Keywords: Rheinhessen, Rutschungen, Massenbewegungen, Materialuntersuchungen an tertiären Tonen

Abstract

As part of an interdisciplinary research project, soilmechanical examinations were done in the site of Jakobsberg close to Ockenheim (Rheinhessen). For that purpose borings in the slope area as well as in the plateau were carried out. Through these borings undisturbed samples of Tertiary clay were taken. These samples were subjected to soil mechanical laboratory tests. Due to the assign of samples on the basis of soilmechanical, mineralogical and refined stratigraphically examinations, the mechanical characteristics of the soils from the slope and the stratigraphic identical layers from the plateau (until now undisturbed by the development of the slope) were compared. Based on these comparisons conclusions are drawn which can explain the formation of new landslides on Rheinhessen's slopes. As a result of these examinations a prediction with higher accuracy of the risk of future landslides is possible.

Keywords: Rheinhessen, landslides, mass movements, soil mechanical investigation of Tertiary clay

1 Einführung

Rheinhessen - zwischen Mainz, Worms, Alzey und Bingen gelegen - ist nicht nur das älteste, sondern mit einer Anbaufläche von über 26.000 Hektar auch das größte deutsche Weinbaugebiet.

Ein Großteil der Fläche nimmt das Rheinhessische Tafel- und Hügelland ein, das im Norden und Osten von der Rheinebene begrenzt wird und im Süden bis zur Pfrimm reicht. Im Westen wird der Naturraum von Nahe und Alsenz begrenzt (Fig. 1). Die Landschaft wird durch sanfte Hügel und im nördlichen Bereich durch ebene Hochplateaus geprägt, die von weiten Tälern durchzogen sind.

Hier werden häufig größere Hangbewegungen - selbst bei nur geringen Neigungen - beobachtet. Auf diese Massenbewegungen wird die Hangbildung in dieser Schichtstufenlandschaft zurückgeführt [1].

In Rheinhessen sind insgesamt 57,6 km² Rutschgebiete nachgewiesen [2]. Beinahe ebenso groß ist die Fläche, auf der Massenbewegungen vermutet werden. Insgesamt sind somit 8 % der Gesamtfläche und etwa 40 %

der Weinanbauflächen durch Massenbewegungen gefährdet.

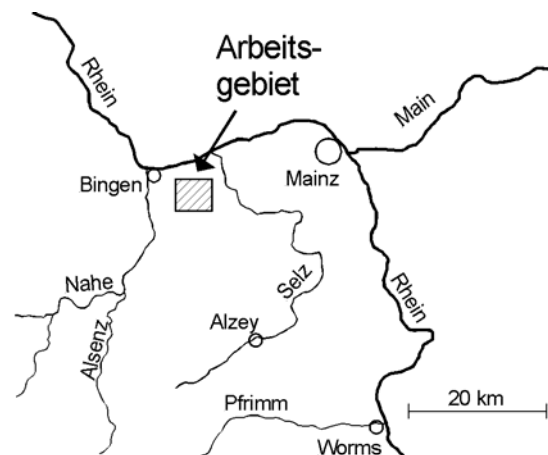


Fig. 1: Rheinhessen und Arbeitsgebiet

Fig. 1: Rheinhessen and area of field investigations

Neben landwirtschaftlich genutzten Flächen sind auch Verkehrswege und Ver- und Entsorgungsleitungen dieser Gefährdung ausgesetzt. Wegen der zunehmenden Besiedelung der attraktiven Hanglagen nimmt die

¹ Dipl.-Ing. Jörg Bürkle, Prof. Dr.-Ing. Konrad Kuntsche, GEO-SERVICE, Lindberghstraße 12, 64625 Bensheim

volkswirtschaftliche Bedeutung der Hangbewegungen weiter zu.

Im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsvorhabens wurden Ursachen und Auslöser von Rutschungen in Rheinhessen genauer untersucht [1, 3]. Die Arbeiten wurden unterstützt durch Wissenschaftler der Universität Mainz und des Geologischen Landesamtes Rheinland-Pfalz.

Nachfolgend wird über die *bodenmechanischen* Untersuchungen berichtet, welche im Zuge des Forschungsvorhabens für den Jakobsberg bei Ockenheim durchgeführt wurden.

2 Arbeitsgebiet

Der aufgrund vieler Rutschereignisse bekannte Jakobsberg bildet den Nordwestabfall des Rhein Hessischen Plateaus und liegt etwa 7 km südöstlich von Bingen bei Ockenheim (Arbeitsgebiet, Fig. 1). Das Rutschungsgebiet erstreckt sich auf etwa 4 km Länge zwischen den Ortschaften Gau-Algesheim und Dromersheim. Die Hänge des Untersuchungsgebietes führen von dem hier jeweils etwa 3 km breiten, auf etwa 80 bis 90 m NN gelegenen Rhein- bzw. Nahetals bis auf das Hochplateau auf etwa 270 m NN. Das Gelände steigt zunächst im Unterhang mit etwa 3° sanft an, im Mittelhang nimmt die Hangneigung bis auf maximal 15° zu und im Oberhang werden etwa 30° erreicht.

Unmittelbar am Rand des Plateaus liegt das Kloster Jakobsberg, dessen Ursprünge auf eine 1720 erbaute Wallfahrtskapelle mit Eremitage zurückgehen. Aus der Chronik des heutigen Missionsbenediktinerklosters kann entnommen werden, dass es durch Rutschungen immer wieder zu Schäden kam. In neuerer Zeit wurden die Klostergebäude in den Jahren 1860, 1949 und 1981 in Mitleidenschaft gezogen. Weitere große Rutschungen sind in den Jahren 1880 und 1941 aufgetreten. Über eine besonders große Rutschung, bei der im Januar 1924 eine Fläche von etwa 6,25 ha betroffen war, wird in [4] berichtet.

3 Geologie

Rheinhessen bildet den linksrheinischen Teil des Mainzer Beckens, einem etwa 5.000 km² großen tertiären Senkungsgebiet zwischen Odenwald, Taunus, Hunsrück und Pfälzer Bergland.

Während des Tertiärs brach hier das Meer wiederholt von Süden und von Norden in die Senke ein und erstreckte sich über das gesamte Mainzer Becken. Zeitweise bildeten sich auch große Brackwasserlagunen und Süßwasserseen.

In dem Senkungsgebiet lagerten sich Tone, Mergel und Kalke ab. Jeweils beim Rückzug der Wasserflächen wurden von Flüssen dünne Sand- und Kiesschichten aus

den umliegenden Gebirgen eingespült. In den ehemaligen Küstenbereichen entstanden mächtige Sand- und Kieslagen.

Mit dem Ende des Tertiärs setzte eine anhaltende Hebung des Mainzer Beckens ein. Dabei wurde durch den Ur-Rhein ein Teil der tertiären Ablagerungen wieder abgetragen.

Die Gesamtmächtigkeit der tertiären Schichten betrug nach [5] etwa 500 m. Im nordwestlichen Rheinhessen ist eine Schichtdicke des Tertiärs von etwa 370 m verblieben. Hieraus ergibt sich ein Abtragsbetrag von etwa 130 m, was bei einer mittleren Wichte des Bodens von etwa 20 kN/m³ einer Entlastung der verbliebenen Schichten um 2.600 kN/m² entspricht.

In [6] und [7] werden die maximalen Vorbelastungen der tertiären Schichten mit 4.500 kN/m² bis 9.000 kN/m² angegeben (entsprechend ehemaliger Überlagerungshöhen von etwa 225 bis 450 m).

Später hob sich das Gelände so schnell, dass der Ur-Rhein nicht mehr die gesamte Fläche erodieren konnte. Der Rhein nahm seinen heutigen Verlauf ein und es bildeten sich Täler, die tief in die tertiären Ablagerungen einschneiden. Auf dem Hochplateau blieb eine Kappe aus Sanden und Kiesen zurück.

Als jüngste Ablagerungen finden sich auf den Hängen des Arbeitsgebietes holozäne Hangdecken aus umgelagertem Bodenmaterial (Kolluvium).

4 Ursachen und Auslöser von Rutschungen

Die Rutschneigung der rheinhessischen Hänge ist auf die geringe Scherfestigkeit der hier anstehenden überkonsolidierten tertiären Tone zurückzuführen. Dort, wo diese Schichten angeschnitten sind, kommen immer wieder bereits angelegte Rutschungen erneut in Bewegung. Bei etwa 90 % der beobachteten Hangbewegungen handelt es sich um reaktivierte Rutschungen [8].

Neben diesen bilden sich aber auch neue Rutschungen, deren Gleitflächen im bisher unbewegten Gebirge verlaufen und bis über 25 m tief liegen können [9].

Häufig werden neue Rutschungen durch anthropogene Eingriffe in das Hanggleichgewicht, wie z. B. durch Baumaßnahmen oder Einleitung von Wasser ausgelöst. Es gibt aber auch Rutschungen, welche ohne menschliches Zutun auftreten. Zumeist können diese Rutschereignisse mit länger anhaltenden bzw. stärkeren Niederschlägen in Verbindung gebracht werden.

Überall dort, wo unter den gleichen Niederschlägen keine neuen Rutschungen ausgelöst wurden, müssen die hier gegebenen Scherwiderstände im Boden größer gewesen sein.

Wenn angenommen wird, dass die Scherfestigkeit der überkonsolidierten Tone gleich bleibt, dürften bei kleineren oder vergleichbaren Einwirkungen keine weiteren neuen Rutschungen mehr eintreten. In diesem Fall würde nur eine Zunahme der Einwirkungen zu neuen Rutschungen führen. Zur Beurteilung der Standsicherheit könnten also „Grenzereignisse“ festgelegt werden, die neue Rutschungen auslösen.

Tatsächlich kommt es aber immer wieder zu neuen Rutschungen, obwohl das jeweils auslösende Wetterereignis kein Maximum darstellt. Aus dieser Beobachtung folgt, dass die Scherfestigkeit der Tone mit der Zeit abnehmen muss.

In den oberflächennahen Bodenschichten kann diese Festigkeitsabnahme insbesondere auf Frost-Tauwechsel sowie auf witterungsbedingtes Austrocknen mit Trockenrissbildung und anschließendem Aufweichen zurückgeführt werden.

Die aufgrund der Hangbildung entlasteten Tone nehmen auch noch in größerer Tiefe das durch Sandlagen und Klüfte zusickernde Wasser auf. Dieser *Quellvorgang* führt zu einer anhaltenden Abnahme der Scherfestigkeit.

Eine Einschätzung der momentanen Standsicherheit bzw. eine Prognose ihrer zeitlichen Entwicklung ist nur dann möglich, wenn das Ausmaß und der Verlauf dieser Festigkeitsabnahme abgeschätzt werden kann.

5 Untersuchungskonzept

Um die vermutete Abnahme der Scherfestigkeit durch die Entlastung der im Hangbereich anstehenden Böden nachzuweisen, wurden Proben aus dem Rutschhang mit solchen verglichen, die aus dem von der Hangbildung noch unbeeinflussten Plateaubereich gewonnen wurden (Fig. 2).

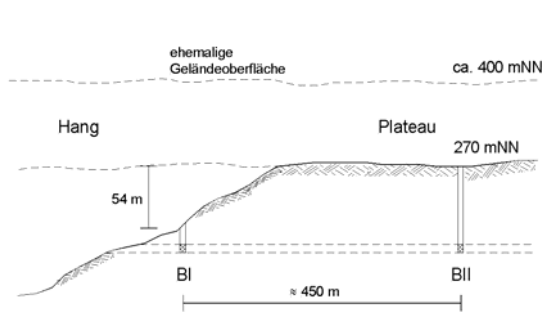


Fig. 2: Prinzip der Probenentnahme
Fig. 2: Principle of sampling

Zunächst war zu zeigen, dass die Proben jeweils aus stratigrafisch identischen Schichten stammen und sich somit unter vergleichbaren Ablagerungsbedingungen gebildet haben und auch identische Mineralbestände aufweisen. Nur dann ist davon auszugehen, dass auch die Belastungsgeschichte des Probenmaterials - bis zum

Beginn der Hangbildung - jeweils identisch verlaufen ist.

Vergleichende Scherversuche bzw. ein Vergleich von Bodenkonstruktionsgrößen, die mit der Scherfestigkeit korrelieren, müssen nun zeigen, dass die Scherfestigkeit der im Hang anstehenden Böden abgenommen hat.

Ferner ist durch Quellversuche der mögliche Umfang und der zeitliche Verlauf der Wasseraufnahme - und des damit verbundenen Scherfestigkeitsrückgangs - zu untersuchen.

6 Bohrungen

Zur Entnahme möglichst ungestörter Proben wurde innerhalb des Rutschhangs die 30 m tiefe Untersuchungsbohrung BI und etwa 450 m weiter südlich auf dem Hochplateau die 81 m tiefe Bohrung BII niedergebracht (Fig. 2).

Zunächst wurden die gewonnenen Bohrkerne feinstratigrafisch aufgenommen.

Bei BII - im *Plateaubereich* - wurden unter pliozänen, fluvial abgelagerten Sanden und Kiesen zunächst miozäne Wechsellagerungen, bestehend aus Tonen, Mergeln und Kalken aufgeschlossen. Unter diesen folgten dann bis zur Erkundungstiefe die oberoligozänen Süßwasserschichten.

Bodenmechanisch handelt es sich bei den Süßwasserschichten vornehmlich um feinsandige Tone und Schluffe. Diese Böden werden nach DIN 18 196 als mittelplastische bis ausgeprägt plastische Tone klassifiziert. In die Tone und Schluffe sind Lagen von Fein- bis Mittelsanden und klüftige Kalksteinbänke eingeschaltet.

Im *Hangbereich* bei BI werden die tertiären Ablagerungen von einer Schicht aus umgelagerten Böden bedeckt. Hierbei handelt es sich hauptsächlich um Tone und Schluffe mit weicher Konsistenz, in die Quarzkiese und -sande sowie Kalke in unterschiedlicher Korngröße eingelagert sind. Die Dicke dieser Deckschicht beträgt bei BI etwa 3 m. Hierunter folgen bis zur Erkundungstiefe ebenfalls die Süßwasserschichten.

Zum Vergleich der aufgeschlossenen Böden wurden bodenmechanische Klassifikationsversuche durchgeführt. Neben der Bestimmung der Konsistenzgrenzen wurde die Körnungslinie durch Sedimentation bzw. Siebung und Sedimentation ermittelt. Weiterhin wurden das Wasseraufnahmevermögen der bindigen Böden, der Kalkgehalt und die Korndichte bestimmt.

Zum Vergleich der stofflichen Zusammensetzung wurden an ausgewählten Proben mit Hilfe der Röntgenfluoreszenzanalyse die Gemengeanteile der Haupt- und Nebenelemente ermittelt. Weiterhin wurden mittels Röntgendiffraktometrie die vorhandenen Tonminerale analysiert.

Die Ergebnisse der bodenmechanischen und der mineralogischen Untersuchungen bestätigen die Vergleichbarkeit der Proben.

Der vom Geologischen Landesamt durchgeführte Vergleich des Mikro-Fossilbestandes eines jeweils 6 m langen Teilabschnittes der Bohrungen hat dann letztendlich ergeben, dass die Kernstrecken beider Bohrungen eindeutig einander zugeordnet werden können (Fig. 3) [10].

Wegen der vergleichbaren Schichtenfolgen folgt ferner, dass auch die oberhalb gelegenen Kernstrecken der Bohrungen BI und BII einander zuzuordnen sind.

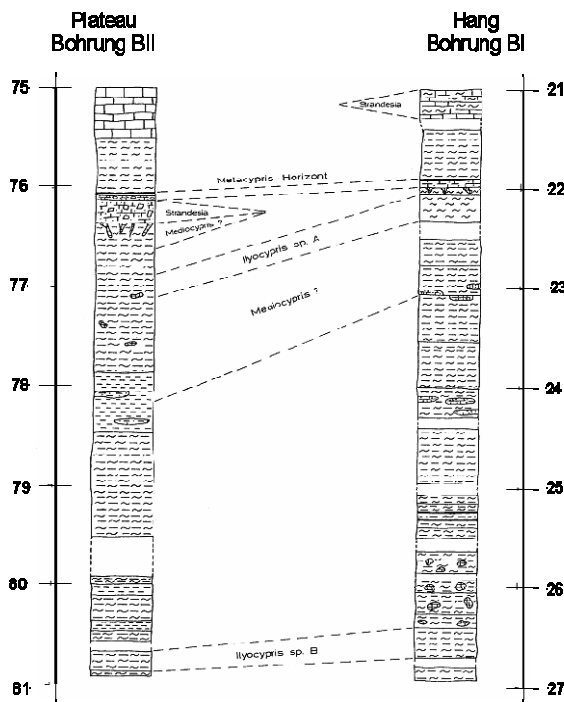


Fig. 3: Mikropaläontologische Untersuchungen
Fig. 3: Micropalaeontological analysis

7 Zustandsgrößen

Die effektive Kohäsion als spannungsunabhängige Komponente der Scherfestigkeit kann mit der Trockendichte - bzw. der mit dieser äquivalenten und über die Korndichte verknüpften Porenzahl - korreliert werden.

Außer an den oberflächennah aus der Deckschicht entnommenen Proben wurden an allen Tonen Sättigungsgrade von $S_r \approx 1$ ermittelt. Deswegen sind somit die Bodenkenngrößen Porenzahl, Dichte, Trockendichte, Wassergehalt und Konsistenz für stofflich identische Proben äquivalent.

Noch am Tag der Probenentnahme wurde der Wassergehalt der Proben durch Ofentrocknung und deren Dichte mit Hilfe eines neu entwickelten Ausstechwerkzeuges bestimmt. Zum Vergleich wurde zusätzlich die Dichte eines Teiles der gewonnenen Proben durch Tauchwägung ermittelt.

Es zeigt sich, dass die sich aus der Dichte und dem Wassergehalt ergebende Trockendichte der in der Hangbohrung aufgeschlossenen, umgelagerten Deckschicht deutlich geringer ist als die Trockendichte der darunter anstehenden Böden (Fig. 4).

Unterhalb der Deckschicht folgt eine etwa 7 m dicke Lage, in der die mittlere Trockendichte signifikant unter den in größerer Tiefe ermittelten Trockendichten liegt.

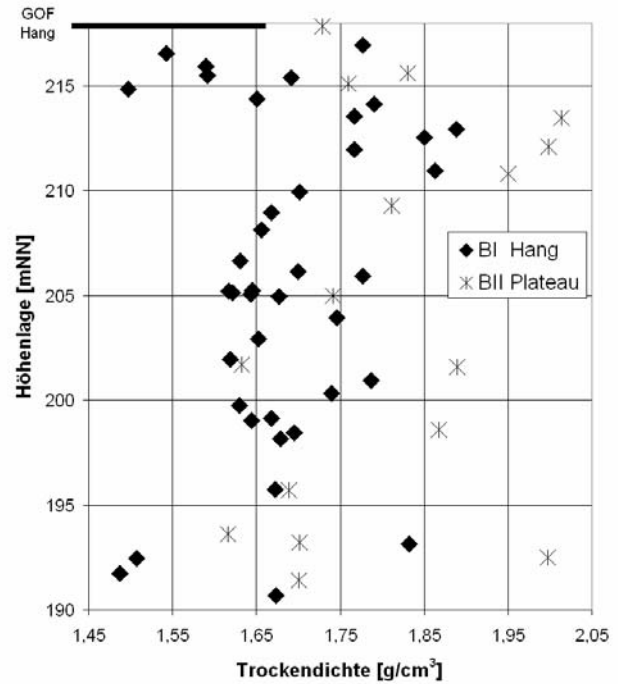


Fig. 4: Vergleich der ermittelten Trockendichte
Fig. 4: Comparison of determined dry density

Die Proben aus dem Hangbereich weisen geringere Trockendichten auf als vergleichbare Proben aus dem Plateau. Diese geringeren Trockendichten sind mindestens bis in eine Tiefe von 22 m unter den Ansatzpunkt der Bohrung BI nachweisbar.

Der Unterschied der Trockendichten, der an stratigraphisch und stofflich identischen Proben ermittelt wurde, belegt somit, dass die effektive Kohäsion im Hangbereich geringer ist als in identischen Schichten unter dem Hochplateau.

8 Vorspannung

In Fig. 5 ist das Ergebnis eines Ödometersversuchs an einer aufbereiteten bindigen Probe dargestellt. Die sich bei der Erstbelastung ergebende Spannungs-Porenzahl-Beziehung hängt hierbei nur vom Bodenmaterial ab.

Bei einer Entlastung schwillt die Probe. Wird die Probe wieder belastet, folgt die Spannungs-Porenzahl-Beziehung in etwa dem Verlauf bei der Entlastung. Bei einer Belastung bis über die Spannung hinaus, welche vor der Entlastung vorhanden war, schwenkt die Kurve in den Erstbelastungsast ein. Die Spannung am Übergangsknick wird hier als Vorspannung σ_v bezeichnet.

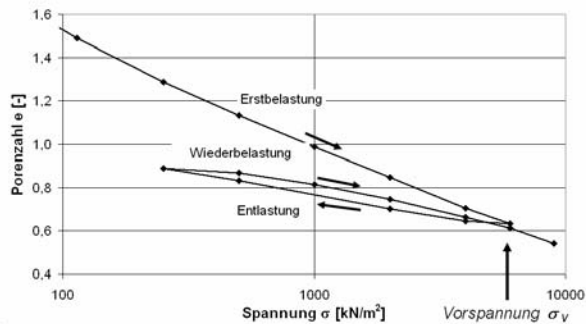


Fig. 5: Ergebnis eines Kompressionsversuchs
Fig. 5: Result of a Compression Test

Die Vorspannung einer Probe kann der ehemaligen maximalen Überlagerungsspannung entsprechen, unter welcher der Boden konsolidiert ist.

Falls die ermittelte Vorspannung kleiner ist als diese, muss dies auf ein Quellen des Bodens während der Entlastung zurückgeführt werden. Die Probe hat die ehemalige Belastung teilweise „vergessen“. (Anmerkung: Größere Vorspannungen sind auch möglich und lassen sich auf eine Alterung oder auf Schrumpfen zurückführen.)

Auch die Vorspannung ist mit der effektiven Kohäsion korreliert, so dass ein entsprechender Vergleich der Scherfestigkeiten zwischen Hang- und Plateaubereich möglich ist.

Zur Ermittlung der Vorspannung wurden an den gewonnenen *Sonderproben* ebenfalls Kompressionsversuche durchgeführt. Die Belastung der Proben erfolgte über parallel geführte, starre Endplatten. Das hierbei eingesetzte Versuchsgerät wurde speziell für die Aufgabenstellung neu entwickelt [11].

Neben den Versuchen mit stufenweiser konstanter Belastung wurden auch solche mit konstanter Zusammendrückungsgeschwindigkeit durchgeführt.

Bei einem Teil der Kompressionsversuche wurde zusätzlich der Porenwasserüberdruck an der Probenunterseite ermittelt.

Die Ergebnisse der Kompressionsversuche, welche an den im *Plateau* in BII gewonnenen Proben durchgeführt wurden, zeigen Vorspannungen, die auf eine ehemalige Überlagerung der heutigen Plateauoberfläche von etwa 30 m (entsprechend 300 m NN) schließen lassen.

Da tatsächlich etwa 130 m abgetragen worden sind [5], hat der Ton im Plateaubereich durch das Quellen etwa 100 m Überlagerung „vergessen“.

Für die im *Hang* gewonnenen Proben ergab sich im Mittel eine frühere Überlagerung, welche nicht einmal bis auf das Niveau des Plateaus reicht. Diese Böden haben somit insgesamt etwa 140 m Überlagerung „vergessen“.

9 Scherversuche

Durch direkte Scherversuche an aufbereiteten Tonen vom Jakobsberg wurden als Grundlage für Standsicherheitsberechnungen effektive Reibungswinkel φ' und Winkel der Gesamtscherfestigkeit φ_s ermittelt. Anhand dieser Bodenkenngrößen ergibt sich nach DIN 18 137-3 jeweils auch die Proportionalitätskonstante λ_{cs} , welche die Vorspannung σ_v mit der effektiven Kohäsion c' verknüpft.

Die an den Proben aus dem Hangbereich ermittelten Scherparameter sind mit denen vergleichbar, welche an stratigrafisch identischen Proben aus dem Hochplateau gewonnen wurden.

Weiterhin wurden auch direkte Scherversuche an Sonderproben durchgeführt. Dabei wurden an den Proben aus dem Hangbereich bei gleichen Normalspannungen tendenziell geringere Scherfestigkeiten ermittelt, als an stratigrafisch identischen Proben aus dem Plateau.

Aufgrund der vergleichsweise großen Streuung der Versuchsergebnisse, welche insbesondere auf Kalkkonkretionen in den Tonen zurückzuführen ist, gelang allerdings kein direkter Vergleich der effektiven Scherparameter.

An gedrunenen, zylindrischen Proben wurden schließlich auch einaxiale Druckversuche durchgeführt. Die Proben aus dem Hang wiesen geringere Druckfestigkeiten als die vom Plateau auf.

10 Quellversuche

Um die zeitlichen Entwicklung der Wasseraufnahme zu bestimmen, wurden im Ödometer Quellversuche durchgeführt. An einigen Proben wurde das Quellverhalten über einen Zeitraum von mehreren Monaten beobachtet (Fig. 6). Bei einem Teil der Versuche wurden auch die Porenwasserdrücke gemessen.

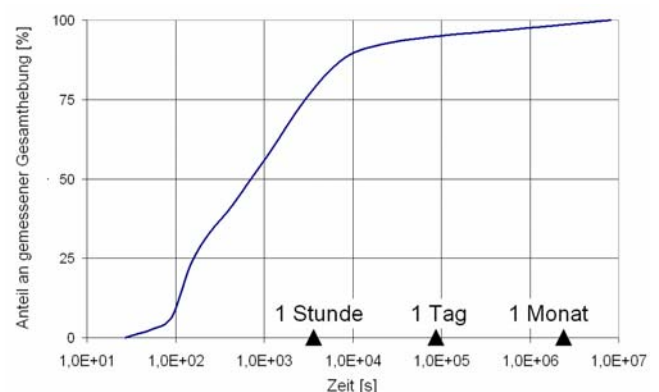


Fig. 6: Ergebnis eines Quellversuchs
Fig. 6: Result of a swell test

Die untersuchten überkonsolidierten Tonproben zeigten bei den Quellversuchen anhaltende Hebungen, die über

den gesamten Beobachtungszeitraum nicht abgeklungen sind. Das Quellen setzt unmittelbar nach der Entlastung ein, wobei die Rate mit der Zeit abnimmt. Der zeitliche Verlauf der Quellhebungen lässt sich durch eine logarithmische Funktion beschreiben.

Mit den Quellversuchen ist gezeigt, dass die Trockenichte und damit die effektive Kohäsion der untersuchten Tone tatsächlich *mit der Zeit* abnehmen.

11 Zusammenfassung

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass aus stratigrafisch äquivalenten Tiefen gewonnenen Proben zwar einen vergleichbaren Stoffbestand, aber unterschiedliche Zustandsgrößen, Vorspannungen und somit auch effektive Kohäsionen aufweisen.

Da die anstehenden Tone bis zur Ausbildung des Hanges eine identische Belastungsgeschichte erfahren haben, sind die unterschiedlichen Eigenschaften der Proben auf die *Hangbildung* zurückzuführen.

In den oberflächennahen Bodenschichten im Hangbereich führt eine Verwitterung oder ein witterungsbedingtes Aufweichen zu der ermittelten geringeren Scherfestigkeit.

Obwohl die tieferen Schichten vor Witterungseinflüssen geschützt sind, wurden im Hang jedoch auch bis in eine Tiefe von 22 m geringere Scherfestigkeiten nachgewiesen.

Dieser Unterschied ist auf ein Quellen der anstehenden Tone zurückzuführen, welches nach der Entlastung durch die Hangbildung einsetzt und zu einer allmählichen Abnahme der Scherfestigkeit führt.

Dieser Effekt erklärt - auch bei unveränderten klimatischen Bedingungen - die Ausbildung immer neuer, tiefliegender Gleitfugen.

Als Grundlage einer Beurteilung der momentanen Standsicherheit eines Rutschhanges und ihrer zeitlichen Entwicklung ist somit nicht nur die aktuelle Scherfestigkeit, sondern auch der zeitliche Verlauf der Festigkeitsabnahme zu ermitteln.

Das Kompressions- bzw. Quellverhalten der anstehenden Tone ist mit der Scherfestigkeit bzw. deren zeitlicher Entwicklung korreliert. Anhand von bodenmechanischen Untersuchungen können entsprechende Bodenkennwerte ermittelt werden, die diese Zusammenhänge quantifizieren. So kann es wegen der Wassersättigung der tiefer liegenden Tone genügen, für weitergehende Berechnungen entsprechende Wassergehaltsprofile zu ermitteln.

Das vorgestellte Arbeitskonzept ermöglicht eine genauere Einschätzung des Risikos künftiger Rutschungen.

12 Literatur

- [1] DIKAU, R., KUNTSCHKE, K., BÜRKLE, J., GLADE, T., MÖLLER, R. (2000): Untersuchungen von Massenbewegungen in Rheinhessen und ihre Bedeutung für die Naturgefahrenmodellierung und Hangentwicklung, unver. Bericht zu einem Forschungsvorhaben im DFG-Projekt „Massenbewegungen in Süd- und Westdeutschland“
- [2] KRAUTER, E. & STEINGÖTTER, K. (1983): Die Hangstabilitätskarte des linksrheinischen Mainzer Beckens. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Reihe C 32, 31
- [3] DIKAU, R., KUNTSCHKE, K., BÜRKLE, J., GLADE, T. (2002): Hangstabilitätsmodellierung auf Grundlage von geomorphologischen und bodenmechanischen Untersuchungen von Rutschungen in Rheinhessen, unver. Abschlussbericht zu einem Forschungsvorhaben im DFG-Projekt „Massenbewegungen in Süd- und Westdeutschland“
- [4] LAUBER, H. L. (1941): Untersuchungen über die Rutschungen im Tertiär des Mainzer Beckens, speziell die vom Jakobsberg bei Ockenheim (Bingen). In: Geologie und Bauwesen Jahrg. 13, Heft 2, S. 27 - 59
- [5] SONNE, V. (1974): Einführung in die Geologie des Mainzer Beckens. In: Oberrheinischer Geologischer Verein (ed.): Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereins, 1974, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
- [6] KRAUTER, E.; STEINGÖTTER, K.; HÄFNER, F. (1983): Vergleich des Festigkeitsverhaltens von permischen und tertiären Peliten. In: Berichte von der 4. Nationalen Tagung für Ingenieurgeologie, Goslar
- [7] STEINGÖTTER, K. (1984): Hangstabilität im linksrheinischen Mainzer Becken - Ingenieurgeologische Untersuchungen und kartenmäßige Darstellung. Dissertation Johannes Gutenberg Universität Mainz
- [8] KRAUTER, E., VON PLATEN, H., QUEISSER, A., STEINGÖTTER, K. (1985): Hangstabilitäten im Mainzer Becken. In: Heitfeld, K.-H. (ed.): Ingenieurgeologische Probleme im Grenzbereich zwischen Locker- und Festgesteinen, Springer Verlag
- [9] ROTHAUSEN, K.-H., SONNE, V. (1992): Der Jakobsberg - geologisch. In: Der Jakobsberg, hrsg. von den Benediktinermissionaren Jakobsberg. St. Ottilien: EOS Verlag
- [10] SCHÄFER, P. (1999): Ergebnisse mikropaläontologischer Untersuchungen an Bohrkernen vom Jakobsberg bei Ockenheim in Rheinhessen, Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz (noch unveröffentlicht)
- [11] BÜRKLE, J., KUNTSCHKE, K. (1998): Ein neuartiges Kompressions- und Schergerät. In: Der Präsident (ed.): Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung 1997; Veröffentlichungen aus Lehre, angewandter Forschung und Weiterbildung 33, Fachhochschule Wiesbaden