

**ANALYSE DER BEWEGUNG  
GROSSER, TONREICHER RUTSCHGEBIETE  
AM BEISPIEL DES GEBIETES  
ENGELSTOCK - SATTEL - STEINEN (SZ)**

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN

der EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

**E. Vural Yavuz**

Dipl.-Bergbauing., TU Istanbul,  
geboren am 24. Februar 1957  
von Istanbul / TÜRKEI



Angenommen im Antrag von:

Prof. Dr. C. Schindler, Referent  
PD Dr. W. Balderer, Korreferent  
Prof. Dr. M. Vardar, TU Istanbul, Korreferent

1996

## ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wird versucht, die komplexen Zusammenhänge beim Ablauf einer Hangbewegung aufzuzeigen und ihre Bedeutung für die Standsicherheitsbeurteilung und für die Planung wirksamer Sanierungsmassnahmen herauszustellen. Dabei ist die Wahl der geeigneten Untersuchungsmethoden von grosser Wichtigkeit.

Während dieser Arbeit wurden, neben den eigenen Untersuchungen, die im Rahmen des Strassensanierungsprojektes T-8 durchgeführte Baugrund- und Laboruntersuchungen und die sich über einen Zeitraum von insgesamt 3 Jahren erstreckenden Geländebeobachtungen, Kartierungen und Verschiebungsmessungen in die Auswertung einbezogen, um ein möglichst umfassendes Bild über die speziellen geologischen und ingenieurgeologischen Verhältnisse des Arbeitsgebietes zu erhalten.

In der ersten Phase der Arbeit wurden die Ergebnisse zur ingenieurgeologischen Modellierung des Untersuchungsgebietes ausgewertet. Neben einer stratigraphischen Gliederung der Schichtfolge werden dabei auch Kriterien zur Abgrenzung lithologisch ähnlicher Sedimente festgelegt. Aus geotechnischer Sicht ist die Untersuchung dieser Sedimente von grosser Bedeutung speziell im Hinblick auf die Unterscheidung und Abgrenzung stabiler und instabiler Bodenschichten. Dadurch wird Ausmass und Grösse der stabilen und instabilen Bodenschichten bestimmt.

Neben der messtechnischen Überwachung versuchte man durch geodätische und photogrammetrische Aufnahmen absolute Verschiebungen festzustellen. Mit Anwendung geodätischer und photogrammetrischer Messverfahren erfolgte eine lage- und höhenmässige Kontrolle von Messpunkten an der Geländeoberfläche. Nach der Wiederholung der entsprechenden Aufnahmen wurden die Richtungen der Verschiebungsvektoren, die Verschiebungsbeträge und die einjährigen Veränderungen ermittelt.

Die zweite Phase analysierte die ingenieurgeologischen und hydrogeologischen Daten im Hinblick auf die geotechnische Beurteilung der Lockergesteinsfolge. Dabei sollten die Art und Ausbildung der Gleitzonen genau erkundet werden.

Durch eine statistische Auswertung bodenphysikalischer Kennwerte wurden in Abhängigkeit vom Aufbau der Lockermassen charakteristischen Merkmale ermittelt. Durch die hydrogeologischen Untersuchungen wurden die Fliesswege des Grundwassers im Hangbereich ermittelt. Die Einflüsse des Grundwassers auf die Hangbewegungen wurden durch die Bestimmung der physikalischen und chemischen Eigenschaften untersucht. Durch die Auswertung und den Vergleich von alten Luftaufnahmen aus drei Epochen wurden die Veränderungen der Oberfläche an der Haupttrutschung des Gebietes bestimmt. Die in drei Profilen gemessenen Oberflächenänderungen zeigen die örtlichen Bewegungskomponenten.

In der dritten Phase der Arbeit wurden Schlussfolgerungen aus den durchgeführten Untersuchungen für die Analyse der aufgetretenen Rutschungen gezogen. Neben der Abhängigkeit der Gleitflächenausbildung von den geologischen und geomorphologischen Vorbedingungen wurde der spezielle Einfluss der ingenieurgeologischen und hydrogeologischen Faktoren untersucht.

Durch die kombinierte Anwendung von verschiedenen Untersuchungsmethoden und durch die Herstellung unterschiedlicher Modelle, konnten Grundlagen im Hinblick auf die Klärung der massgebenden Bewegungsursachen und der Rekonstruktion der Bewegungskinetik erarbeitet werden.

Demzufolge sind in diesem Untersuchungsgebiet die Bewegungen sowohl im Molasse-, als auch im Flyschgebiet vom Alter her als spät- bis postglazial einzustufen. Vor ca. 15000 Jahren haben die Bewegungen progressiv von oben nach unten die Hänge angegriffen. Sie haben nachher eine allmähliche Beruhigung erreicht, sind aber nie zum Stillstand gekommen.

Die Hauptrutschung Sattel ist eine flach- bis mitteltief greifende, sich langsam bewegende Rutschung mit flacher Gleitfläche und mehreren aktiven Teilrutschungen. Es handelt sich um eine grossflächig zusammengesetzte Rutschung bzw. eine Aufeinanderfolge von mehr oder weniger rotierenden Teilbereichen und kombinierten Rutschungen.

Das Rutschmaterial besteht zur Hauptsache aus Gehängelehm und bewegt sich über Moräne, an manchen Stellen auch auf angewitterten Molassemergeln. Hauptsächlich handelt es sich beim Gehängelehm um verwitterten, verrutschten Schutt einer mergelreichen Molasse mit Moränenanteil und besteht aus einem sehr weichen, plastischeren oberen und einem festeren unteren Teil.

Die Ursachen der Bewegungen können sehr verschieden sein oder viele verschiedene Ursachen können für eine Bewegungstyp verantwortlich sein.

Die örtlich vorhandene Schwächezonen ermöglichen die Überschreitung der Bruchscherfestigkeit, wobei besonders im oberen Teil der Rutschung progressive Brüche entstehen. Im unteren Teil der Rutschung betrachtet man Kriech- und Gleitbewegungen als wichtigste Deformationen.

**ABSTRACT**

In the present study, we attempt to demonstrate the complex relationships during the course of slope movement and the significance of these relationships for the assessment of site stability as well as for the efficient planning of measures towards restabilisation. The choice of suitable investigation methods is of great importance in this respect.

Aside from our own studies, on-site (building plot) and laboratory investigations were carried out under the auspices of the road stabilisation project T-8 over a total period of 3 years. The resulting field observations, mapping and slip measurements were incorporated into the evaluation in order to obtain as comprehensive a picture as possible of the particular geological and engineering geological relationships of the area under study.

In the first phase of the study, the results were employed for engineering geological modelling of the area under investigation. Alongside stratigraphic division of the sediment layers, criteria were established for the definition of lithologically similar sediments. From the geotechnical viewpoint, such investigation of these sediments is of great significance for the differentiation between stable and unstable soil layers and their relative extents and thicknesses.

We attempted also to establish absolute amounts of slip using geodetic and photogrammetric techniques. By the application of these techniques, it proved possible to obtain a control on both the layer and height of measuring sites over the site surface area. After annual repetition of these measurements, the directions and amounts of slip could be registered as well as the absolute annual changes.

The second phase of the project analysed the engineering geological and hydrogeological data with regard to a geotechnical assessment of the unconsolidated sediment sequence. This analysis should deliver information regarding the type of slip surfaces and their respective courses of development. The direction of the groundwater flow could be established by hydrogeological studies. The influence of groundwater on slope movement was investigated. Changes in the surface topography of the main mass movement of the region could be determined by comparing aerial photos from three different times in the past. Changes manifested in these three profiles indicate local components of movement.

In the third phase of the study, conclusions were drawn from these investigations for the analysis of the mass movements that have already occurred. Alongside the dependence of slip surface development on the geological and geomorphological conditions, the particular influence of engineering geological and hydrogeological factors was investigated.

The recognition of significant events, which lead up to mass movement and the reconstruction of movement kinematics were made possible by the application of various methods of investigation and diverse models.

The mass movements in this area are from the 'Molasse' as well as the 'Flysch' units and can be assigned an age of late to post-glaciation. About 15000 years ago, mass movements began to work their way progressively down the slope. These movements gradually reached a stage of relative quiet but never achieved total cessation of movement.

The main landslide Sattel is a shallow to moderately deep reaching, although slowly moving, slide with a shallow surface of slip and a number of active, partial slides. It consists of one composite slide of large areal extent that comprises a sequence of areas of rotating partial slips to a greater or lesser extent and combined landslides.

The material involved in the slip consists largely of slope mud and moves over moraines and, at some locations, over weathered moraine marl. This surface mud consists primarily of weathered debris, which has derived from a marl rich molasse with some moraine content. It has a very soft, plastic upper part and a solid lower part.

The reasons for the movements may be very different. Also there may be many different reasons behind one particular type of mass movement. The local zones of weakness make overstepping the limit of shear strength possible. Progressive breaks begin to appear in the upper part of the slide especially. At the lower part of the slide, one considers that the creep- and slide-movements are the most important forms of deformation.