

Professor Dr.-Ing. Rudolf Floss
Ordinarius für Grundbau und Bodenmechanik
an der Technischen Universität München

GUTACHTEN

Projekt Nr. 8887/6 ---

Das Gutachten umfaßt 18 Textseiten, 3 Anlagen, — Lichtbilder. Die Veröffentlichung
— auch gekürzt oder auszugsweise — bedarf der vorherigen Genehmigung des Verfassers.

Professor Dr.-Ing. Rudolf Floss

Ordinarius für Grundbau und Bodenmechanik
an der Technischen Universität München

Gemeinde Marklkofen

8311 Marklkofen

4.3.1982

Privat:
Franz-Lehar-Str. 33
8011 Baldham

Büro:
Baumbachstr. 7
8000 München 60
Tel: (089) 8895-200

Proj.Nr. 8887/6

La/Ad/Wy/B

2. F E R T I G U N G

Betr.: Erschließung Warth / Klinggraben, Hangrutschung

Hier: Beurteilung der Rutschungsursachen, Hinweise zur
Sanierung und Bebaubarkeit

1. Allgemeines

Während der Bauarbeiten im Bereich des Kanalschachtes 52b traten oberhalb der Kanaltrasse 1 auf eine Länge von ca. 55 m Hangrutschungen auf. Daraufhin hat die Ing.Gemeinschaft für Baustatik und Tiefbau in Landshut, die für die Straßenprojektion, nicht aber für den Kanalbau zuständig ist, von einer Weiterführung irgendwie gearteter Bauarbeiten abgeraten und die Einschaltung des Prüfamtes für entsprechende Untersuchungen vorgeschlagen.

Am 22.10.1981 erhielt das Prüfamts über die genannte Ingenieur-gemeinschaft einen mündlichen Auftrag für eine erste Ortsbesich-tigung, die am 28.10.1981 stattfand. Die dabei gewonnenen Informationen und Erkenntnisse sowie die daraus abgeleiteten ersten Empfehlungen bezüglich einer Eindämmung des Rutschvor-ganges sind in meinem an die Gemeinde gerichteten Brief 8887/1 vom 3.11.1981 enthalten. Gleichzeitig wurde in diesem Schreiben ein Mindestprogramm für die Untersuchungen sowie eine gutacht-liche Auswertung angeboten. Entsprechend meinen seinerzeitigen Empfehlungen wurde eine Bohrfirma (Firma Anetsberger, Landshut-Ergolding) mit der Durchführung von 4 Aufschlußbohrungen beauf-tragt, die in der Zeit vom 3.11. bis 6.11.1981 zur Ausführung kamen. Die Bohrarbeiten wurden am 5.11.1981 durch einen Mit-arbeiter des Prüfamtes fachtechnisch betreut. Zugleich wurden seinerzeit auch ergänzende Rammsondierungen ausgeführt. Die Fotos auf Anlage 1 zum Gutachten stammen vom 28.10. und 5.11.1981 und zeigen den damaligen Zustand des Rutschgebietes.

Zur selben Zeit richtete die Ingenieurgesellschaft für Baustatik und Tiefbau, Landshut, einen Vermessungsraster in Form von 3 senk-recht zur Rutschung liegenden Schnitten ein. - Die während der Bohrungen entnommenen Proben wurden von der Firma Anetsberger am 10.11.1981 im Prüfamts eingeliefert und einer genauen visuellen Beurteilung und Kurzansprache unterzogen. Unter Beachtung eines möglichst geringen Kostenaufwandes wurde dann eine Probe für genauere Laboruntersuchungen ausgewählt.

Der schriftliche Auftrag für die angebotenen Feld- und Labor-untersuchungen des Prüfamtes sowie für die Abgabe meiner persönlichen gutachtlichen Stellungnahme ging am 14.1.1982 ein.

2. Geländebeziehungen

An jener Stelle, an der die Rutschungen bei den Kanalbauarbeiten ausgelöst wurden, fällt das Gelände relativ flach von Nordost nach Südwest ab (siehe Fotos auf Blatt 1 - 4 der Anlage 1 zu diesem Gutachten). Aus der Vermessung der Rasterpunkte für die Kontrolle der Oberflächenbewegungen sowie aus dem Aufmaß der Bohransatzpunkte ergibt sich in diesem Bereich eine durchschnittliche Hangneigung von ca. 11° bis 13° gegen die Horizontale. Auf einem Teil der Rutschzone, besonders dem nordwestlichen, wurde Humusabtrag und Kanalaushubmaterial gelagert. Weiter bergaufwärts wird oberhalb des östlichen Bereiches der Rutschung der Hang zwischen einer kleinen Geländestufe und der oberhalb des Baugeländes liegenden Straße etwas steiler (siehe Bild 1 und 2). In der Nähe des Rutschungszentrums ist in nördlicher Richtung bergaufwärts eine kurze steile Böschung vorhanden, die zu einem Plateau des Grundstückes Fl.Nr. 631/2 gehört (siehe Bild 3). Man kann vermuten, daß das Plateau zumindest zum Teil durch eine künstliche Anschüttung geschaffen wurde, zumal auch an der östlichen Grenze des genannten Grundstückes eine Abböschung vorhanden ist, die entgegengesetzt zur allgemeinen Hangneigung verläuft. Es ist aber auch nicht auszuschließen, daß es sich hier im steileren Böschungsbereich, insbesondere bei der auf Bild 2 erkennbaren Geländestufe, um den Abbruchrand einer früheren Rutschung handelt.

Der Säbelwuchs einiger Bäume gibt den Hinweis, daß auch noch in jüngerer Zeit Kriechbewegungen im Hangbereich auftraten.

Entlang der südwestlichen Grenze des Grundstückes Fl.Nr. 631/2 windet sich ein kleiner Entwässerungsgraben, der sowohl bei der ersten Ortsbesichtigung am 28.10.1981 als auch bei den Aufschlußarbeiten am 5.11.1981 eine geringe Wasserführung zeigte. Mehr oder weniger intensiv wasserführend waren auch einige alte Dränagen, die bei der Erstellung des Kanales zwischen den Schächten 52b und 52c in Tiefen von etwa 0,6 m unter Gelände freigelegt wurden. In diesem Geländeabschnitt trat auch an mehreren anderen Stellen Schichtwasser aus. Während der Hang im Bereich der Rutschung durchwegs eine grasbewachsene Oberfläche aufweist, zeigt sich unweit des südöstlichen Rutschzonenrandes ein schmaler Streifen, in dem oberflächlich kiesiges Material ansteht (s. Bild 1 und 2). Eine nordöstlich der oberen alten Straße vorhandene kleine Kiesgrube läßt darauf schließen, daß der höhere Teil des Bergrückens aus einer mächtigen Überlagerung von sandig-kiesigem Material tertiären Ursprungs besteht (s. Bild 1).

3. Ausbildung und Form der Rutschung

Die Rutschung zeigt in ihrer ganzen Ausdehnung eine schollenartige Ausbildung mit den größten Bewegungen im nordwestlichen Bereich (s. Bilder 4 - 16). Hier erreichen die Abbruchstufen Höhen von bis zu 0,6 m, wobei sich auch zugleich breite Risse und Spalten öffneten (s. Bilder 4, 12 und 14). Die durchwegs höhenlinienparallel verlaufenden Risse werden zum südöstlichen Rand der Rutschzone hin allmählich kleiner (s. Bilder 1, 6, 7 und 8). Die Rutschung ist progressiver Natur, d.h. vom Ursprung aus bergaufwärts fortschreitend. Auf diese Weise haben die Bewegungen bereits das Nachbargrundstück mit der Fl.Nr.631/2

erfaßt, wo beträchtliche Abrisse im Bereich der südlichen Böschung des Plateaus auftraten (s. Bilder 15 und 16). Die verhältnismäßig tiefen Spalten im flacher geneigten Teil des Rutschgebietes sind durchwegs mit Wasser gefüllt. Außer einigen noch intakten, jedoch seicht liegenden alten Dränageleitungen sorgten lediglich noch je eine hangaufwärts führende kurze seichte Grabenmulde am nordwestlichen Rutschzonenrand sowie in der Rutschzone kurz nach Schacht 52b für eine geringfügige Abführung des Wassers (s. Bilder 4 und 5).

4. Untergrundverhältnisse

4.1 Aufschlußbohrungen

Die 4 Aufschlußbohrungen dienten der Erkundung der anstehenden Bodenschichten und ihrer Beschaffenheit sowie der Wasserführungen im Untergrund. Sie sind mittels eines leichten, im Rutschungsbereich gut beweglichen Gerätes als Maschinendrehbohrungen mit Schnecke und Verrohrung im Trockenbohrverfahren niedergebracht worden. Von der ausführenden Firma Anetsberger wurden die Bohrpunkte nach Lage und Höhe eingemessen und die Bohrergebnisse in Schichtenverzeichnissen zusammengestellt. Im Prüfamts wurden dann die Bohrergebnisse auf der Anlage 2 des Prüfberichtes 8887/5 zeichnerisch als Bohrprofile aufgetragen, wobei die einzelnen Schichten nach den Untersuchungsergebnissen des Prüfamtes bezeichnet wurden, die im wesentlichen mit den Angaben des Bohrmeisters übereinstimmten. Bei unterschiedlichen Bezeichnungen wurden diejenigen des Bohrmeisters in Klammern gesetzt. Neben der üblichen Bodenbenennung wurde auf dieser Anlage auch die geologische Zuordnung der einzelnen Schichten mit angegeben.

Nach den Bohrerergebnissen stehen bei allen 4 Untersuchungsstellen unter einer 0,2 bis 0,4 m dicken kiesig durchsetzten Humusschicht (bei Bohrung 2 unter einer 1,3 m dicken Wechschichtung von kiesigem Humus und humösem, sandigem Kies bzw. stark kiesigem Ton) bis zu sehr unterschiedlichen Tiefen von 1,6 bis 5,4 m unter GOK Kiese mit wechselnden Sand-, Schluff- und Tonanteilen an. Diese Kiese sind tertiären Ursprungs und weisen nach den Bohraufzeichnungen im Durchschnitt eine mitteldichte Lagerung auf, wie sie für Hangdecklagen üblich ist. In Bohrung 1 ist in der Kiesschicht zwischen 2,15 und 2,13 m unter GOK eine dünne Schicht aus kiesigem Ton in weicher Beschaffenheit eingelagert. Die größte Mächtigkeit der Kiese mit 4,1 m Dicke wurde bei der oberhalb der Rutschung ausgeführten Bohrung 2 festgestellt. Die Schichtunterkante auf Kote 429,9 m ü.NN liegt damit nur wenig höher als bei den seitlich der Rutschung ausgeführten Bohrungen 3 und 4 mit Kiesschichtunterkanten auf Kote 429,7 bzw. 429,4 m ü.NN. Die kiesigen Decklagen waren bei allen Bohrungen stark wasserführend. Das in wechselnder Tiefe angetroffene Hangwasser stieg bei den beiden seitlich der Rutschung gelegenen Bohrungen 3 und 4 bis 0,25 bzw. 0,35 m, bei der unterhalb der Rutschung liegenden Bohrung 1 bis 1,6 m unter Gelände auf.

Unter den Kiesen folgen bis zur Endtiefe der Bohrungen von 6 bzw. 7,5 m unter GOK überwiegend tonige und schluffige Bodenarten in recht wechselhafter Schichtung, Zusammensetzung und Mächtigkeit. Lediglich in den Bohrungen 1 und 2 wurden in diesen bindigen Ablagerungen auch noch sandige und kiesige Zwischenschichten angetroffen. Geologisch gesehen handelt es sich bei dem bindigen Untergrund um frühere Hanglehme und

umgelagertes Tertiärmaterial, in dem mit zunehmender Tiefe zunächst alte Seekreide vorkommt und dann autochthone Schichten des Tertiärs folgen. Mit Ausnahme von Bohrung 2 weisen die oberen Horizonte der Tone und Schluffe unter den kiesigen Decklagen (bei Bohrung 1 bis 3,9 m, bei Bohrung 3 und 4 bis 2,1 bzw. 2,35 m unter GOK) eine weiche bzw. weiche bis steife Konsistenz auf. In Bohrung 3 wurden in dieser weichen Zwischenzone noch einige Ast- und Rindenstücke vorgefunden. Gemäß den vorliegenden Bohrerergebnissen betragen die Mächtigkeiten der weichen bis allenfalls steifen oberen bindigen Schichten in den seitlich der Rutschung liegenden Bohrungen 0,2 m bei B 3, 0,75 m bei B 4 und 1,25 m in der unterhalb der Rutschung liegenden Bohrung 1. Die tiefer liegenden bindigen Ablagerungen sind bis zur erreichten Endtiefe der Bohrungen als steif bis halbfest zu bezeichnen bzw. weisen, soweit es sich um sandig-kiesige Zwischenlagen handelt, eine mitteldichte bis dichte Lagerung auf. Bei Bohrung 2 wurden unterhalb der Kiesschicht unmittelbar steife, bindige Bodenarten erreicht.

4.2 Rammsondierungen

Ergänzend zu den Bohrungen wurden zur besseren Abgrenzung des von der Rutschung betroffenen Tiefenbereiches bzw. zur Ermittlung der festeren Schichten des Untergrundes sowie zur vergleichenden Erkundung der Dichte der Kanalgrabenauffüllung insgesamt 7 leichte Rammsondierungen ausgeführt. Die Lage der Sondierstellen sowie die Rammdiagramme sind aus Anlage 1 und 2 des Prüfberichtes 8887/5 ersichtlich.

Gemäß den neben den Bohrungen 3 und 4 abgeteuften Sondierungen 1 und 5 treten mit Erreichen der Bodenschichten steifer bis halbfester Konsistenz (also ab 2,1 bzw. 2,35 m unter GOK) Rammwiderstände von über 10 bis 15 Schlägen je 10 cm Eindringtiefe bei stetig zunehmender Tendenz auf. Das Anwachsen der Rammwiderstände mit der Tiefe ist in den überwiegend tonigen Schichten zum Teil auf Mantelreibungseinflüsse am Sondengestänge zurückzuführen, entspricht jedoch auch einer anhand der Bohrproben nachgewiesenen tatsächlichen Zunahme der Festigkeit der tieferen Schichten des Untergrundes. Vergleichbare Verhältnisse wurden gemäß dem Verlauf der Rammdiagramme auch bei den dazwischen liegenden Sondierungen 2 bis 4 ab Tiefen von 2,5 bis 3,0 m unter GOK angetroffen. Die Sondierungen wurden nach Erreichen von Schlagzahlen um ca. 30 in Endtiefen von 3,2 bis 3,8 m unter GOK bei zunehmender Tendenz der Eindringwiderstände abgebrochen.

Im Bereich der Decklagen sind die Sondierwiderstände stark wechselnd und vielfach, insbesondere bei den Sondierungen 3 bis 5, sehr niedrig, was auf eine zum Teil lockere bis sehr lockere Lagerung bzw. weiche Beschaffenheit schließen läßt.

Die im Bereich der Kanalgrabenauffüllung niedergebrachten Sondierungen 6 und 7 weisen unterschiedliche Ergebnisse auf. Sondierung 6 läßt darauf schließen, daß die Auffüllung gerade ausreichend verdichtet wurde. Dagegen zeigt die Sondierung 7 bis zu einer Tiefe von 1 m eine sehr gute Verdichtung, darunter jedoch nur eine lockere bis allenfalls mitteldichte Lagerung an.

4.3 Laboruntersuchungen

Anhand der im Labor durchgeführten und auf Anlage 3 des Prüfberichtes 8887/5 wiedergegebenen Bodenbeurteilung wurden die Angaben des Bohrmeisters bis auf einzelne geringfügige Abweichungen bestätigt bzw. ergänzt. Die festgestellten Bodenarten und Angaben über die Beschaffenheit sind in die Darstellung der Bohrprofile auf Anlage 2 des Prüfberichtes einbezogen und wurden bei der Beschreibung der Bohrergebnisse gemäß Absatz 4.1 bereits berücksichtigt. Die ergänzend zur Beurteilung der Bodenproben ermittelten Eindringwerte des Taschenpenetrometers lagen in den Schichten weicher bis steifer Konsistenz bei Werten von 0,8 bis 1,5. Bei steifen bis halbfesten Proben aus größeren Tiefenbereichen ergaben sich Penetrometerwerte von zum Teil mehr als 4,5.

Aus der als weich zu bezeichnenden oberen Schicht der Seekreideablagerungen der Bohrung 4 wurde die Probe Nr. 96 432 im Labor näher untersucht. Die Bestimmung der Wassergehalte an der Fließ- und Ausrollgrenze erbrachte Werte von $w_L = 53\%$ und $w_p = 18,9\%$, woraus sich die Bildsamkeitszahl zu $I_p = 34,1\%$ errechnet. Unter Berücksichtigung des natürlichen Wassergehalts von 29,9% ergab sich aus diesen Werten eine Konsistenzzahl von $I_c = 0,6$ entsprechend einer weichen Zustandsform. Zu beachten ist, daß die Sondierung 5 in diesem Tiefenbereich bereits steigende Rammwiderstände brachte, was auf erhöhte Mantelreibungseinflüsse sowie Porenwasserüberdruck beim Rammvorgang zurückzuführen ist. Insgesamt ist dieses Material als ausgeprägt plastischer Ton einzuordnen.

Die bei einer progressiven Decklagenrutschung speziell interessierende Restscherfestigkeit weicher Schichten wurde an derselben Probe durch den sogenannten Wieder Routine-Scher-versuch ermittelt. Es ergab sich ein Wert von $\phi_r = 12,5^\circ$. Insgesamt ist zu beachten, daß die Bohrung 4 dem Rutschungszentrum am nächsten ist. Der ermittelte Winkel der Restscherfestigkeit entspricht auch dem mittleren Winkel der Hangneigung.

4.4 Geodätische Messungen

Durch die Ingenieurgemeinschaft für Baustatik und Tiefbau, Landshut, wurden bis zum 11.2.1982 drei Kontrollmessungen durchgeführt. Nach den mir zugegangenen Meßergebnissen ist festzustellen, daß die Bewegungen bis zur zweiten Kontrollmessung am 22.12.1981 besonders im Zentrum der Rutschung (s. vor allem nordöstlicher Bereich bei den Meßpunkten 9, 4 und 3) noch erheblich war und der progressive Bruchvorgang insbesondere auch im Nachbargrundstück 631/2 spürbar wurde. In diesem Gebiet waren ausgehend von den Kanalaufgrabungen zwischen Schacht 52b und 52c von Anfang an auch die größten Bewegungen aufgetreten. Zwischen dem 22.12.1981 und dem 11. 2.1982 nahm die Verformungsgeschwindigkeit wieder merklich ab, was unter Umständen auf die langfristig strenge Frostperiode zurückzuführen ist. Die bis jetzt bei den einzelnen Meßpunkten aufgetretenen Lageveränderungen wurden auf Anlage 2 zu diesem Gutachten in das Vermessungsraster eingetragen und als Verschiebungsvektoren dargestellt.

Es wird empfohlen, die Messungen fortzusetzen, wobei insbesondere Beobachtungen nach Tau- und Niederschlagsperioden des Frühjahres von besonderer Bedeutung sind. Zugleich sollten die Bewegungskontrollen zur Beurteilung des Konsolidierungszeitpunktes aber auch noch über jene Phase fortgeführt werden, nach der die von mir schon im Schreiben vom 3.11.1981 empfohlenen (nach bisherigen Informationen jedoch noch nicht durchgeführten) Entwässerungsmaßnahmen vorgenommen worden sind.

Zu den geodätischen Messungen selbst ist zu bemerken, daß sie nach Art des Meßprinzipes an bestimmte Genauigkeitsgrenzen gebunden bleiben. Dies gilt nicht zuletzt auch im Hinblick auf die unter dem Aspekt der Beeilung auf verhältnismäßig einfache Weise hergestellten Meßpunkte. Einwirkungen von Frosthebungen sind beispielsweise nicht ganz ausgeschlossen. Trotzdem läßt sich erkennen, daß derzeit die Bewegung der Rutschmassen zu einer Stauchung im talseitigen Bereich führen, die mit einer Geländeaufhöhung verbunden sind. Bergseitig ist vor allem in Richtung auf das Nachbargrundstück eine noch immer merkliche Lageverschiebung zur Talseite hin mit gleichzeitigem Absinken der Geländeoberfläche zu beobachten. Die Hangbewegungen haben hauptsächlich eine südwestliche Richtung, wobei auch die Bereiche unterhalb der neu angelegten Kanaltrasse und späteren Stichstraße insoweit mit einbezogen sind, als sich hier die schon erwähnte Stauchung der Erdmassen durch Geländeanhebung erkennen läßt.

5. Zusammenfassende Beurteilung

Wie schon in meinem Bericht 8887/1 vom 3.11.1981 nach der ersten Ortsbesichtigung angedeutet und durch die Untersuchungen jetzt bestätigt wurde, handelt es sich bei der aufgetretenen ausgedehnten Rutschung um die Folge eines Hangabtriebes der Deckschichten auf einer durch das Zusammenwirken von verschiedenen ungünstigen Faktoren entstandenen Gleitschicht. Von Natur aus waren negative Voraussetzungen gegeben, die über lange Zeit zu einem Grenzgleichgewichtszustand mit Kriechbewegungen geführt hatten. Der Kanalbau störte diesen Zustand empfindlich, wobei sich die Abfolge der Rutschung wie folgt darstellen läßt:

Das betroffene, im mittleren Teil des Hanges liegende Grundstück besitzt stark wasserführende, kiesige Decklagen. Das aus dem oberen Drittel des Hanges drückende Schichtwasser tritt im bergseitigen Bereich der jetzigen Rutschzone stellenweise sogar an der Geländeoberfläche aus, weshalb man wohl dort schon früher jenen kleinen, nach Nordwesten entlang der Grundstücksgrenze verlaufenden Graben sowie die verhältnismäßig seicht liegenden Dräns erstellte. Die intensive Schichtwasserführung in den kiesigen Decklagen bewirkte eine mehr oder weniger tiefreichende Aufweichung des bindigen, meist ausgeprägt plastischen tonigen Untergrundes. Es entstanden hierbei gering scherfeste Übergangszonen, insbesondere in den durch ihre helle Farbe erkennbaren Seetonschichten, die in der dortigen Gegend verhältnismäßig selten auftreten. Hinzu kommt noch, daß stellenweise im bindigen Untergrund sandige oder kiesige Einlagerungen vorhanden sind, in denen ebenfalls Wasserführungen mit verhältnismäßig hohem Standrohrspiegel vorhanden

sind. Vereinzelt handelt es sich bei den aufgeweichten Übergangsschichten um Hang- und Decklehmlagen geologisch älterer Rutschungen, worauf auch eingelagerte Holzreste hinweisen. Die Schichten sind teilweise "verwürgt". Der Boden der aufgeweichten Schicht in der Rutschzone ist gemäß den durchgeführten Untersuchungen ausgeprägt plastisch und von sehr geringer Restscherfestigkeit.

Die genaue Tiefenlage der Gleitflächen hätte man nur mit Hilfe aufwendiger und langfristiger Kontrollen in mehreren entsprechend ausgebauten Bohrlöchern meßtechnisch bestimmen können. Der hohe finanzielle Aufwand stand jedoch einer Verwirklichung eines derartigen Programmes entgegen. Die Gleitflächen liegen vor allem im westlichen, mittleren und nördlichen Bereich des Rutschungszentrums in den aufgeweichten Übergangszonen der oberen tertiären bindigen Schichten bzw. insbesondere in den hochplastischen Seetonen. In den übrigen Gebieten sind die Schwachstellen der Scherfestigkeit hauptsächlich in der Grenzfläche zwischen den kiesigen Decklagen und dem bindigen Untergrund bzw. knapp unter der Oberfläche der tonigen Schichten zu vermuten.

Der gerade im Grenzgleichgewicht befindliche Hang wurde durch den Kanalbau, dessen Trasse weitgehend höhenlinienparallel verlief und Einschnitttiefen von ca. 2,9 bis 3,7 m unter GOK bedingt, empfindlich gestört. Dabei wurde zum Teil auch das Schichtwasser durch den erforderlichen Grabenverbau zumindest kurzfristig aufgestaut, was zu einer Vergrößerung der abtreibenden Kräfte führte. Ein weiter auslösendes Moment ist auch in der zusätzlichen Belastung des Rutschungszentrums durch Aushubmaterial und schweres Baugerät zu sehen. Im weiteren wurden die intensiven Hangwasserführungen nicht ausreichend gefaßt

und abgeleitet, wobei sich vor allem in den aufgetretenen Rissen und Spalten zusätzlich hoher Wasserdruck aufbauen konnte. Wie aus der Oberflächenform der Rutschung ersichtlich, gingen die Stützwirkungen im Boden nach und nach verloren und führten zu einer progressiven Rutschung, bei der rückschreitend immer neue Rutschschollen von der Bergseite abglitten.

Dieser Vorgang setzt sich bergwärts bis zum Erreichen von Schichten mit höherer Scherfestigkeit fort und kann durch Erhöhung der Schubkräfte auch Rutschungen auf der Talseite auslösen (s. z.B. beginnende Geländeaufhöhung), wenn nicht der eigentlichen Ursache durch systematische Hangentwässerung entgegengewirkt wird. Nach dem Ergebnis der Bohrung 2 kann angenommen werden, daß durch scherfestere Schichten wenigstens in diesem Bereich nach Osten und Südosten hin eine raschere Beruhigung eintritt. Etwa auf der Höhe der Bohrung 2 verläuft auch die auf Foto 2 erkennbare kleine Geländestufe, die möglicherweise die Abbruchkante einer geologisch älteren Rutschung darstellt. Fast auf gleicher Höhe verläuft aber auch im Grundstück Fl.Nr. 631/2 der Böschungsfuß des Geländesplateaus, bei dem jedoch die Rutschungen vermutlich infolge ungünstigerer Untergrundverhältnisse anhalten. Ein Aufschluß im Fremdgrund war seinerzeit nicht vorgesehen. Bis jetzt sind die Hangbewegungen im nordöstlichen und nördlichen Bereich der Rutschzone am größten, während sie im östlichen und südöstlichen Bereich abnehmende Tendenz zeigen. Diese Tatsache stimmt auch mit den Bohrergebnissen überein, nach denen z.B. in der südöstlich liegenden Bohrung 3 im Vergleich zu Bohrung 4 die Gleitschicht nicht mehr so mächtig und ausgeprägt ist.

Insgesamt wechseln die Untergrundverhältnisse im Hangbereich vor allem bezüglich der Mächtigkeit der Decklagen und der Beschaffenheit sowie Neigung des wasserstauenden bindigen Untergrundes, auf oder in dem die Gleitbewegungen stattfinden, stark. Gemeinsam ist allen Bereichen die intensive Wasserführung in den kiesigen Deckschichten. Sie stellt die eigentliche Ursache für den progressiven Hangabtrieb dar, der sich ohne störende Einflüsse im natürlichen Zustand über lange Zeiten hin gerade im Gleichgewicht hält bzw. nur zu langsamen Kriechbewegungen führt. Das Gelände ist deshalb, wie auch der Schadensverlauf gezeigt hat, für eine Bebauung von vornherein schlecht geeignet. Schon scheinbar geringfügige Eingriffe lösen ausgedehnte Rutschbewegungen aus. Eine Sanierung gestaltet sich im Hinblick auf die große Ausdehnung der in Bewegung befindlichen und damit auch aufgelockerten Schichten schwierig und vor allem kostenaufwendig. Es wäre im Sinne der Empfehlungen meines ersten Schreibens mit beigelegter Skizze erforderlich, das Wasser durch zum Teil sehr tiefreichende Dräns bergseitig abzufangen und in einem Vorfluter im Tiefpunkt des Geländes abzuleiten. Dabei ist nur ein abschnittsweises Vorgehen möglich, wobei insbesondere das Einbinden der Dränagen in die aufgeweichten bindigen Schichten zum Teil erhebliche Grabtiefen erfordert. Dabei besteht selbstverständlich die Gefahr, daß wiederum vorübergehend zusätzliche Bewegungen ausgelöst werden, die insbesondere im Hinblick auf das Nachbargrundstück Fl.Nr. 631/2 nicht unbedenklich sind. Der Einsatz geeigneter Stützkonstruktionen, wie beispielsweise einer permeablen Bohrpfahlwand erscheint im Hinblick auf die Bebauung mit Einfamilienhäusern wirtschaftlich kaum vertretbar. Wirksam wäre vor allem eine Abfangung des Hangwassers schon weiter bergaufwärts. Für eine

Beurteilung einer derartigen Entwässerungsmaßnahme fehlen jedoch umgreifende Bodenaufschlüsse auch in den anliegenden Fremdgrundstücken. Wenn man von vornherein nicht die nördliche Hälfte des Bebauungsbereiches aussparen will, so sind zusätzliche Erkundungen nicht zu umgehen. Man kann unter Hinnahme eines gewissen Risikos allerdings versuchen, auch den nördlichen und nordöstlichen Teil des Bebauungsgebietes zu entwässern, wobei sich hier entsprechend einer Skizze auf Anlage 3 bei vorsichtigem langsamem Vortasten noch der Einbau zusätzlicher Stichdränagen empfiehlt.

Die Ausführung der Entwässerung muß unter Beachtung vieler technischer Gesichtspunkte nicht unbedingt nur mit Hilfe von Rohrleitungen erfolgen, sondern kann auch mittels Sickerrigolen bewerkstelligt werden, wobei man unter Verwendung eines ummantelnden Kunststoffvlieses nach abschnittsweisem Aushub sofort Kiesmaterial einbringt, so daß gleichzeitig eine Stützrippenwirkung erreicht wird. Sämtliche Entwässerungsmaßnahmen sind von der Tal- zur Bergseite hin vorzunehmen. Die entsprechende Vorflut muß von vornherein geschaffen sein. Eine offene Ableitung des Dränwassers in den unterhalb der Rutschung befindlichen Hangzeilen ist wegen der dort ebenfalls vorhandenen ungünstigen Untergrundverhältnisse keinesfalls möglich.

Eine systematische Entwässerung des Hanges wird nur langsam zu einer Stabilisierung führen können, wobei insbesondere jene Bereiche kritisch sind, in denen die oberen weichen Übergangshorizonte des tonigen Untergrundes die gering scherfesten Gleitschichten darstellen. Sie entwässern mit dem Ergebnis einer Scherfestigkeitserhöhung nur außerordentlich langsam.

An die Errichtung von Bauwerken kann man deshalb in Anbetracht der dort günstigeren Untergrundverhältnisse sowie unter Berücksichtigung einer entsprechenden Wartezeit mit verstärkten Meßkontrollen nur von der Ostseite her denken. Die Gründung der Gebäude müßte auf jeden Fall die aufgelockerten Rutschschichten durchfahren und kann nur mit Hilfe von zusätzlichen Baugrunduntersuchungen im Einzelfall beraten werden. Grundsätzlich können nur verhältnismäßig gedrungene, in sich sorgfältig ausgesteifte Baukörper errichtet werden, wobei das Untergeschoß in jedem Fall aus bewehrtem Beton bestehen muß. Zusätzliche Bodenaustauschmaßnahmen (Einbringung eines verdichteten entwässerten Kieskoffers) sind in den meisten Fällen zu erwarten. Die Gebäude müßten deshalb vor allem hohe Steifigkeiten bekommen, weil auch im Laufe der Zeit noch Kriechbewegungen des Hanges zu erwarten sind.

Besondere Probleme ergeben sich hierbei auch im Hinblick auf die Außenanlagen (Straßen etc.) sowie Ver- und Entsorgungsleitungen, die ebenfalls Bewegungen unterworfen sind. Insbesondere die Leitungen müssen deshalb flexibel ausgeführt und mit beweglichen Anschlüssen an den Bauwerken versehen werden. Ein bleibendes Risiko von Nachbesserungsarbeiten sowie von eventuellen Schäden an Nebenbauwerken (Garagen, Schächten etc.) ist auf Dauer nie auszuschließen.

Aufgrund der gegebenen Verhältnisse und der bereits eingetretenen Rutschung wird eine sorgfältige Abwägung dahingehend empfohlen, ob man die geplante Baumaßnahme auch im Hinblick auf die zusätzlich hohen Aufwendungen und nicht exakt abgrenzbaren Risiken fortführen soll, wobei auch noch zusätzliche Erkundungen des Baugrundes anzuraten wären.

Insbesondere ist der Gesichtspunkt der langen Wartezeiten (an den ungünstigsten Stellen im nördlichen und nordwestlichen Bereich handelt es sich u.U. um Jahresfristen) zu prüfen und ggfs. an eine Aussetzung des Projektes zumindest für die schwierigeren Geländebereiche zu denken. Hierzu gehört auch der Bereich bei B 1 unterhalb der neuen Kanaltrasse.

Ober das weitere Vorgehen ist am zweckmäßigsten zusammen im Benehmen mit den für die Erschließung des Geländes eingeschalteten Entwurfsverfasser zu entscheiden. Zahlreiche Detailfragen können hier auf technischem Sektor nur mit den zuständigen Fachleuten beurteilt werden. Für die Gemeinde dürfte vor allem von Interesse sein, daß eine Freigabe der Bebauung von Einzelgrundstücken unzweckmäßig und gefährlich ist. Vielmehr muß das gesamte Bebauungsprogramm mit der globalen Sanierung und Sicherung des Hangbereiches verbunden bleiben, da sonst durch unkontrollierte Eingriffe Schäden nicht nur für das Neubauvorhaben, sondern vor allem auch für die Umgebung durch Auslösung weiterer Rutschungen zu befürchten sind.



Dr.-Ing. R. Floss
o.Prof.