Zeitschrift: Tätigkeitsbericht der Naturforschenden Gesellschaft Baselland
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Baselland
Band: 19 (1950-1952)

Artikel: Die Rutschung am Südwestabhang des Wartenbergs
Autor: Schmassmann, Hansjörg
Kapitel: Die Ursachen der Rutschung am Südwesthang des Wartenbergs
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-676461

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

besonders häufig und – so weit bekannt – fanden alle im Jura in den letzten zwei Jahrzehnten vorgekommenen grossen, tiefgehenden Rutschungen in einem der genannten Jahre statt.

Ende März 1937 ging die grosse Rutschung in der Klus von Court nieder, im gleichen Jahre setzten die ersten Bewegungen am Horn bei Büren (Solothurn) ein, im Mai 1939 war die bereits im Vorjahre begonnene grosse Rutschung am Schinberg bei Kaisten (Aargau), im Sommer 1939 ereignete sich die schon früher eingeleitete Rutschung von Füllinsdorf und 1941 fand bei der vorbereiteten, aber bis heute noch nicht als Ganzes niedergegangene Felsrutschung am Bürenhorn ein kleiner erster Absturz statt. In alle diese Jahre fielen auch zahlreiche kleinere Rutschungen. Solche kleine Rutschungen fehlten zwar auch in den zwischen den beiden nassen Jahresreihen liegenden Jahren 1942–1949 nicht vollständig; ihre Häufigkeit war aber geringer und vor allem waren es keine tiefgehenden Bewegungen. Bei den seit Inkrafttreten der obligatorischen Elementarschadenversicherung der Basellandschaftlichen Gebäudeversicherungsanstalt von 1941 bis 1951 gemeldeten 56 Erdrutsch-Schadenfällen an Kulturland und Kulturen mit einer Bruttoschaden-Summe von Fr. 24 019.85 handelt es sich durchwegs um kleinere Rutschungen. Erdrutschschäden an Gebäuden liegen in der genannten Periode überhaupt nur aus dem noch zur nassen Periode zu zählenden Jahr 1941 vor.

Kleinere Rutschungen können sich erfahrungsgemäss auch in einzelnen nassen Monaten oder nach einzelnen starken Niederschlägen ereignen. Den grossen, tiefgehenden Rutschungen geht dagegen in der Regel eine mehrmonatige oder sogar mehrjährige Periode mit Niederschlagsüberschüssen voraus. Zu ihrer Auslösung bedarf es indessen ausser der allgemeinen, durch reichliche Niederschläge der Vormonate oder Vorjahre bedingten Durchnässung noch eines der Bewegung unmittelbar vorangehenden aussergewöhnlichen Wasserzuschusses. Die meteorologischen Begleitumstände der Rutschungen von Court vom März 1937 und des Schinberges vom Mai 1939 sind Beispiele dieses Sachverhaltes.

IV. Die Ursachen der Rutschung am Südwestabhang des Wartenbergs

A. Allgemeines

Wie die Beobachtungen im Rutschgebiet gezeigt haben, vollzog sich die Bewegung der einzelnen Teilrutschungen annähernd auf kreiszylindrischen Gleitflächen. Im Augenblick des Abrutschens halten sich

auf einer solchen Gleitfläche die in der Bewegungsrichtung wirkenden und die der Bewegungsrichtung entgegengesetzt wirkenden Kräfte bzw. Drehmomente das Gleichgewicht. Betrachten wir eine 1 m breite Kreiszylinderfläche, so werden die Gleichgewichts-Bedingungen durch die Zeichnung auf Abb. 42 veranschaulicht.

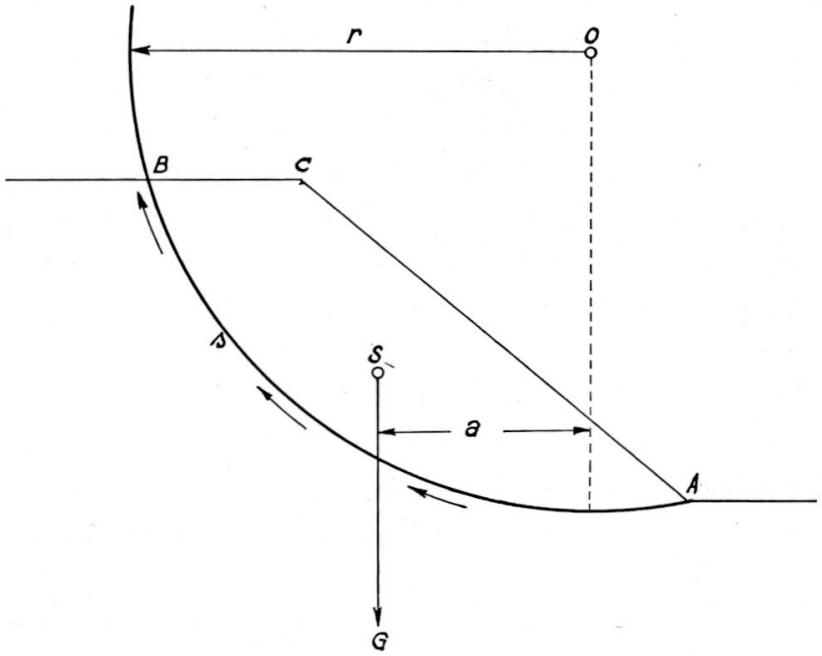

Abbildung 42. **Schematischer Schnitt durch eine kreiszylindrische Gleitfläche.**

G = Gewicht des Gesteinsmaterials und des Wassers über der Gleitfläche
l = Länge des Kreisbogens A–B
s = Durchschnittlicher Schwerwiderstand per Flächeneinheit der Gleitfläche
S = Schwerpunkt des Schnittes A–B–C
O = Mittelpunkt der Gleitlinie
r = Radius der Gleitlinie

Drehmomente (Kreiszylinderfläche von 1 m Breite):

Kraftbilanz $M_G = G.a$

Widerstandsbilanz $M_W = s.l.r$

Das am Hebelarm a wirkende Gewicht G drängt zur Abrutschung. Sein Drehmoment ist: $M_G = G . a$.

Bewegt sich ein Körper mit Druck auf einem anderen, so macht sich ein Widerstand geltend, welchen man als Reibung bezeichnet. Die Reibung ist proportional dem Druck, mit welchem die Körper gegeneinander gepresst werden. Wenn bei einem Lockergestein die Einzelkomponenten gegeneinander verschoben werden sollen, muss die Reibung zwischen ihnen überwunden werden. Die Summe dieser Wider-

stände bezeichnet man als den Widerstand der inneren Reibung. In einem Lockergestein ist jedoch in der Regel unabhängig von der Belastung ein durch die Verzahnung der Teilchen hervorgerufener Gefügewiderstand vorhanden. Dazu kann ein durch physikalisch-chemische Bindungen zwischen den Oberflächen der Teilchen bedingter Haftwiderstand treten. Haftwiderstand und Gefügewiderstand bilden zusammen den im Erdbau als Kohäsion bezeichneten Teil der Scherfestigkeit. Mit zunehmender Feinheit der Bodenteilchen nimmt im grossen und ganzen die Kohäsion zu und die innere Reibung ab.

Reibung und Kohäsion wirken als rückhaltende Kräfte. Nehmen wir eine gleichmässige Verteilung dieser Scherwiderstände s über der Gleitfläche an, so ist ihre Summe im betrachteten 1 m breiten Streifen der Kreiszylinderfläche gleich $s \cdot l$ und ihr Drehmoment: $M_W = s \cdot l \cdot r$. Gleichgewicht erfordert: $M_G = M_W$

$S = \frac{M_W}{M_G}$ wird als Sicherheitsfaktor bezeichnet.

Rutschungen können entweder durch eine Änderung der Kraftbilanz (M_G) bei ungeänderter Widerstandsbilanz (M_W) oder durch eine Änderung der Widerstandsbilanz bei ungeändertem Spiel der angreifenden Kräfte verursacht werden (Terzaghi 1929, S. 415).

Bei der Wartenberg-Rutschung fallen die Gleitflächen teils mit der Grenze zwischen Schuttdecke und anstehendem Untergrund zusammen, teils verlaufen sie innerhalb des Gehängeschuttes. Der anstehende Untergrund des Rutschgebietes wird von mindestens drei verschiedenen Schichtgliedern gebildet. Die Zusammensetzung der Schuttdecke kann ebenfalls nicht als einheitlich angenommen werden. Da sich die Rutschung somit nicht innerhalb eines homogen zusammengesetzten Bodens vollzogen hat, stellen sich einer quantitativen Beurteilung der genannten Kräfte Schwierigkeiten entgegen. Die nachfolgenden Ausführungen können deshalb vorläufig lediglich darzulegen versuchen, in welcher Weise die als mögliche Rutschursachen zur Diskussion gestellten Faktoren rein qualitativ in das Gleichgewicht der Kräfte einzugreifen vermochten.

B. Die geologischen Voraussetzungen

Eine mächtige, vor vielen Jahrhunderten schon einmal abgerutschte Gehängeschutt-Decke lag auf dem geneigten Felsuntergrunde des Abhanges. Dieser Felsuntergrund wird mit Ausnahme einer schmalen Zone von tonig-mergeligen Gesteinen gebildet. Das durch die Schutt-

decke versickernde Wasser sammelt sich auf der Oberfläche des wasserundurchlässigen Felsuntergrundes. Die oberflächennahen Partien des Tones nehmen Wasser auf. Auf der an der Grenze zwischen Schuttdecke und Ton potentiell vorhandenen Gleitfläche wird dadurch der der Bewegungsrichtung entgegengesetzt wirkende Scherwiderstand vermindert.

Die seitlichen Begrenzungen des Rutschgebietes zeigen deutlich, dass die für die Auslösung der Bewegung entscheidenden Voraussetzungen einerseits durch die Mächtigkeit und damit das Gewicht der Schuttdecke und andererseits durch das Vorhandensein eines tonig-mergeligen Untergrundes bedingt waren. Die nordwestliche Begrenzung der Rutschung war dadurch gegeben, dass die im Bereiche der abgerutschten Masse mehrere Meter betragende Schuttmächtigkeit hier auf 1 bis 2 m reduziert ist. Obwohl der Felsuntergrund von denselben Gesteinen wie im Rutschgebiet gebildet wird, fand keine Bewegung statt, weil das Gewicht der Schuttdecke nicht ausreichte, um ein die Widerstandskräfte übersteigendes Drehmoment der in der Bewegungsrichtung wirkenden Kräfte zu erzeugen.

Im Gegensatz zur nordwestlichen Begrenzung der Rutschung ist die südöstliche Grenze durch den Wechsel des Felsuntergrundes gegeben. Durch die südsüdwest-nordnordwest verlaufende Verwerfung finden hier die Tone als Felsuntergrund des Hanges ihre südöstliche Begrenzung. Südöstlich der Verwerfung wird der Felsuntergrund vorwiegend von Kalken und Mergelkalken gebildet, bei welchen die Wirkung des Wassers keine oder eine erheblich geringere Abnahme der Widerstandskräfte hervorrufen kann. Obwohl die Mächtigkeit der Schuttdecke eine ähnliche wie im Rutschgebiet ist, fand hier keine Bewegung statt, weil der an der Grenze zwischen Gehängeschutt und Felsuntergrund wirksame Widerstand grösser als das abdrängende Moment ist.

Während also die nordwestliche Grenze der Rutschung durch eine Änderung der Kraftbilanz bedingt ist, fällt die südwestliche Grenze im grossen und ganzen mit der eine Änderung der Widerstandsbilanz hervorrufenden Verwerfungslinie zusammen. Bestimmte geologische Verhältnisse boten somit die Voraussetzungen für den Niedergang der Rutschung. Derselbe geologische Aufbau des Abhanges war jedoch seit der letzten, vor vielen Jahrhunderten niedergegangenen grossen Rutschung vorhanden. Welches Ereignis hat dazu geführt, dass die schon lange vorgebildete, aber – abgesehen von kleinen Bewegungen – ruhig gebliebene zweite grosse Rutschung im April 1952 zur Auslösung gelangte?

C. Wasser als auslösender Faktor

1. Die Wirkung des Wassers bei der Auslösung der Rutschung

Auf Grund der Beobachtungen im Rutschgebiet muss angenommen werden, dass sich die Wassersättigung auf eine mehr oder weniger an die Nähe des tonigen Felsuntergrundes gebundene Zone beschränkte. Diese Beobachtungen liefern keine Anhaltspunkte, dass innerhalb des wasserdurchlässigen Gehängeschuttes irgendwo ein wesentlich über der Felsoberfläche liegender freier oder gespannter Grundwasserspiegel vorhanden war. Daraus ergibt sich, dass weder einer Herabsetzung der inneren Reibung durch Erhöhung des piezometrischen Niveaus noch einer durch das Wasser bedingten Gewichtsvermehrung der Rutschmasse als auslösende Faktoren erhebliche Bedeutung zukommen kann.

Die Wirkung des Wassers bestand deshalb in erster Linie in einer Verminderung der Widerstandskräfte auf der durch die Grenze zwischen Gehängeschutt und Ton gegebenen potentiellen Gleitfläche. An allen Stellen, wo diese während der Rutschung zugänglich war, befand sich eine oberste, dünne Lage in einem plastischen Zustande, so dass sich die Fläche wie Seife anfühlte.

2. Die Niederschlagsverhältnisse

a) Die Zeit bis zum Juni 1951

Die bei den anderen grösseren Rutschungen des östlichen Juragebietes erkannten meteorologischen Voraussetzungen treffen sowohl für die früheren Bewegungen als auch für die grosse Rutschung am Südwestabhang des Wartenbergs zu. Wenn wir die älteren, zeitlich nicht festgelegten Bewegungen ausser Betracht lassen, so fallen die ersten überlieferten lokalen Rutschungen in die niederschlagsreiche Jahresreihe 1936–1941. Insbesondere traten die Bewegungen gegen Ende dieser durch überdurchschnittliche Niederschläge gekennzeichneten Periode deutlich in Erscheinung. Vermutlich hätte sich schon damals die grosse Rutschung aus den einsetzenden Bewegungen entwickelt, wenn nicht unmittelbar darauf eine lange Reihe trockener Jahre gefolgt wäre. Während dieser ganzen niederschlagsarmen Periode von Ende 1941 bis 1950 sind keine Bewegungen bekannt.

Eine durch die Jahressummen der Niederschläge (Abb. 41) angezeigte Tendenz zu starker Durchnässung war erst wieder von Ende 1950

an vorhanden und durch die mit 220 mm (Binningen) 386% des langjährigen Durchschnittswertes betragenden Niederschläge des November 1950 massgeblich bedingt.

b) Der Juli 1951

Die in der Folge einsetzenden Bewegungen sind erstmals etwa vom 21. Juli 1951 an durch die Verluste in der Wasserleitung am Hallenweg nachgewiesen. Sie fanden im Anschluss an die vom 8. bis 16. Juli gefallenen Niederschläge (Abb. 43) statt. Allein in den vier Tagen vom 13. bis 16. Juli betrug die Niederschlagshöhe in Muttenz[5]) 102 mm und in Binningen 108 mm, was 121% der im Durchschnitt während des ganzen Monats Juli fallenden Niederschläge entspricht. Weitere starke

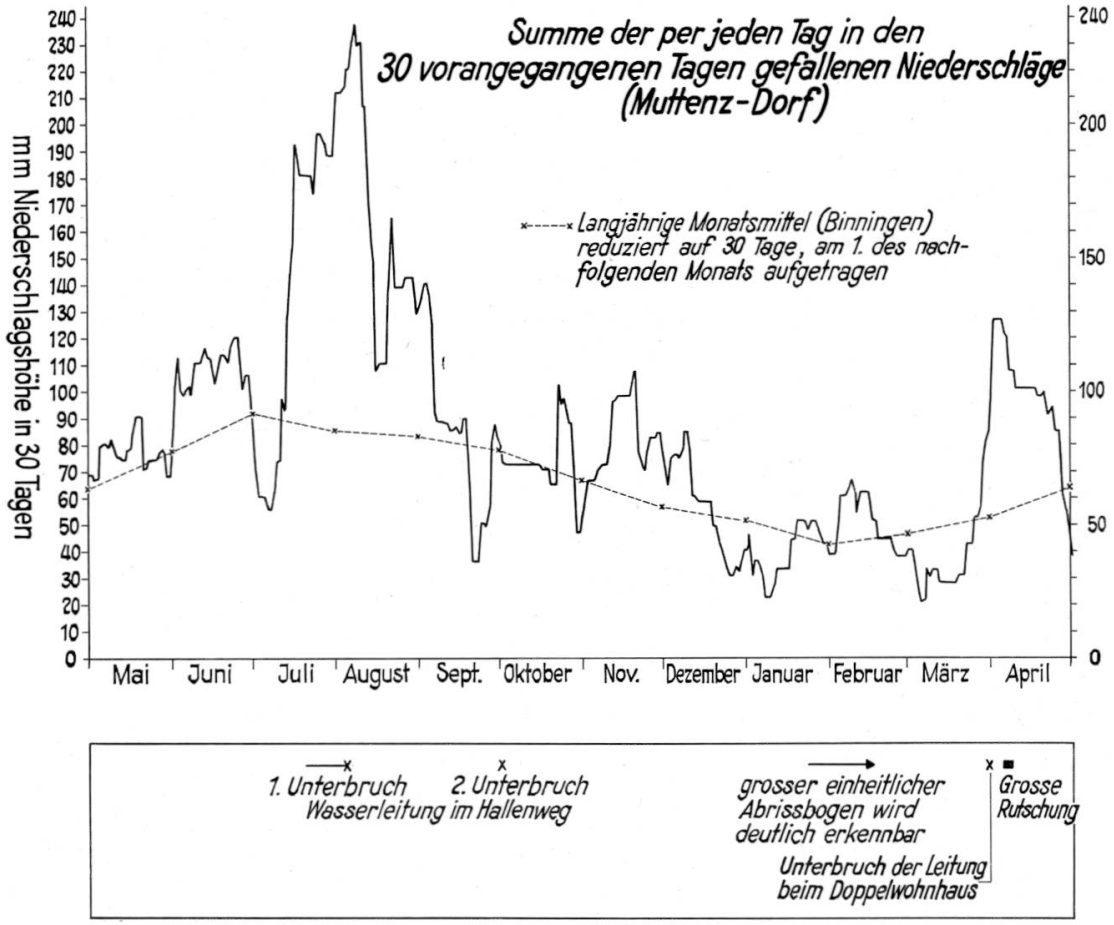

Abbildung 43. **Niederschlagsverhältnisse Mai 1951–April 1952 und Rutschungen am Südwestabhang des Wartenbergs**

---

[5]) Nach den durch Herrn Brunnmeister MÜLLER an der Geispelgasse durchgeführten Messungen.

Niederschläge brachten der 23. Juli mit 26 mm und der 31. Juli mit 24 mm. Einige Tage später, am 5. August 1951 kam es dann zum vollständigen Unterbruch der Leitung. Die gesamte Niederschlagshöhe des Juli betrug in Muttenz 212 mm und in Binningen 205 mm. Dieser Monat war der niederschlagsreichste Juli seit Beginn der Messungen im Jahre 1864. Seine Niederschlagshöhe entsprach 230% des langjährigen Durchschnittswertes.

Von ebenso grosser Bedeutung wie die ungewöhnliche Niederschlagshöhe ist für die Beurteilung der Rutschung jedoch auch der Umstand, dass diese Regenmenge nur zu einem kleinen Teil auf Dauerregen, sondern zum grössten Teil auf Gewitterregen von teils wolkenbruchartiger Natur zurückzuführen ist. Insgesamt gab es acht Platzregen, «d. h. Regengüsse, die mindestens fünf Minuten andauern und eine Regenintensität von 60 mm in der Stunde aufweisen». «Die während allen diesen Platzregen gefallene Regenmenge beträgt 91 mm, also ungefähr so viel wie die normale Monatsmenge; die Gesamtdauer beträgt nur 1 Stunde 20 Minuten (normale Regendauer im Juli 48 Stunden)! Die aussergewöhnlichen meteorologischen Umstände kommen auch darin zum Ausdruck, dass der Juli im Durchschnitt 15, im Jahre 1951 aber trotz der grossen Niederschlagshöhe nur 9 Regentage aufwies.» (Bider 1951). Dadurch, dass die Niederschläge zu einem grossen Teil wolkenbruchartig niedergingen, waren bei den am Südwestabhang des Wartenbergs vorhandenen gut durchlässigen Böden besonders günstige Voraussetzungen für die Versickerung und damit für die Durchnässung des Bodens vorhanden.

c) Die Monate August bis November 1951

Namentlich in Muttenz waren auch im August beträchtliche Niederschlagsüberschüsse zu verzeichnen. Die gesamte Niederschlagshöhe betrug 133 mm oder 153% des auch hier annähernd gültigen Binninger Normalwertes. Im September war dann die Niederschlagshöhe mit 83 mm (Muttenz) etwa normal. Infolge der aus den Vormonaten stammenden starken Durchnässung kam indessen die eingeleitete langsame Bewegung der Rutschmasse noch nicht zum Stillstand. Die starken Regenfälle vom 28. und 29. September mit zusammen 41 mm (Muttenz), das heisst der halben monatlichen Niederschlagshöhe mögen dazu beigetragen haben, dass es am 2. Oktober im Hallenweg zu einem zweiten Unterbruch der Wasserleitung kam.

War der Sommer – insbesondere der Juli – 1951 durch die ergiebigen Regenfälle gekennzeichnet, so brachte der Oktober des gleichen Jahres eine ungewöhnlich lange Trockenperiode, die in Binningen vom 30. September bis zum 19. Oktober, nach den Aufzeichnungen in Muttenz sogar bis zum 21. Oktober, also insgesamt 22 Tage dauerte. Diese Trockenperiode trug offenbar wesentlich zur vorübergehenden Stabilisierung der Rutschmasse bei. Der die Trockenperiode ablösende 34½stündige Dauerregen (Binningen) vom 22./23. Oktober mit insgesamt 48 mm (Binningen) bzw. 45 mm (Muttenz) Niederschlagshöhe (Summe des ganzen Monats = 58 bzw. 54 mm!) vermochte deshalb keine weiteren erkennbaren Rutschbewegungen auszulösen. Auch die in Muttenz zwar etwas geringeren als in Binningen, aber mit 77 mm oder 137% des Binninger Normalwertes doch sehr reichlichen November-Niederschläge führten noch zu keinen neuen Bewegungen.

d) Die Auswirkung der Bewegungen des Sommers 1951 auf den weiteren Ablauf der Rutschung

Eine erste Gesamtbewegung der im wesentlichen der späteren Rutschmasse entsprechenden Schuttdecke ist durch die beiden Leitungsunterbrüche im Hallenweg nachgewiesen. Die Lage der Unterbruchstellen zeigt, dass bereits damals eine Abscherung der grossen Rutschmasse stattgefunden hatte. Diese Bewegungen stehen in engem Zusammenhang mit den Niederschlagsverhältnissen.

Die entstandene Verschiebung betrug nur wenige Dezimeter. Die einmal stattgefundene Bewegung musste jedoch an der Gleitfläche auch nach ihrem Stillstand eine Verminderung des Scherwiderstandes zur Folge haben. Wenn in Baugruben oder Sondiergräben Gleitflächen alter Rutschungen angeschnitten werden, lässt sich diese Verminderung des Scherwiderstandes anschaulich feststellen. Bodenproben, die sowohl das Liegende als auch das Hangende der Gleitfläche umfassen, lassen sich immer an der sich als Rutschspiegel darbietenden alten Gleitfläche leicht trennen. Die Kohäsion ist also nicht oder nur noch in äusserst geringem Masse wirksam. Diese oft zu beobachtende Erscheinung zeigte zum Beispiel auch die im August 1952 in der Gehängeschuttgrube angeschnittene Gleitfläche.

Nach der einmal eingesetzten Bewegung konnte somit die Rutschmasse infolge des an der vorgebildeten Gleitfläche verminderten Widerstandes bereits bei einer geringeren Durchnässung als der für die erste Auslösung notwendig gewesenen erneut in Bewegung kommen.

e) Der Winter 1951/52

Die Niederschlagsmengen der drei Wintermonate Dezember, Januar und Februar erreichten in Muttenz mit 41 mm, 43 mm bzw. 41 mm nur 76%, 98% bzw. 93% des langjährigen Normalwertes von Binningen. Diese geringen Niederschlagswerte der als Vergleichsperiode gewählten Kalendermonate sind zum Teil auf zwei längere Trockenperioden zurückzuführen, von welchen die eine in Muttenz vom 9. bis 24. Dezember (16 Tage) und die andere vom 12. bis 28. Februar (17 Tage) dauerte. Zwischen diesen Trockenperioden waren Perioden mit reichlicheren Niederschlägen vorhanden. So fielen zum Beispiel innerhalb der 30-tägigen Periode vom 10. Januar bis zum 8. Februar in Muttenz ingesamt 67 mm Niederschlag, was je 152% des Januar- und des Februar-Mittels entspricht.

Da die Verdunstung im Winter gering ist und die Versickerung jedenfalls durch den Ablauf der Schneeschmelzen begünstigt wurde, reichte dieser Niederschlagsüberschuss aus, um die bereits in einem labilen Gleichgewicht befindliche Rutschmasse erneut in Bewegung zu bringen. Als in der Folge der eine grosse Fläche umspannende einheitliche Abrissbogen auftrat, war bereits zu erkennen, dass es nur noch eines zusätzlichen, die Widerstandskräfte weiter vermindernden Ereignisses bedurfte, um die losgelöste Schuttmasse in beschleunigte Bewegung zu bringen.

f) Der Monat März 1952

Dieses Ereignis traf verhältnismässig bald nach der ersten Beobachtung des einheitlichen Abrissbogens ein. Unter dem Einfluss der in der zweiten Hälfte Februar vorgekommenen Trockenperiode wurde die weitere Bewegung zunächst noch aufgehalten. Während in den 30 Tagen vom 10. Januar bis 8. Februar eine Niederschlagshöhe von 67 mm erreicht wurde, betrug diese in der anschliessenden 30tägigen Periode vom 9. Februar bis 9. März nur 30 mm, in der gleich langen Periode vom 5. Februar bis 5. März sogar nur 21 mm.

Aussergewöhnliche Niederschläge brachte jedoch dann das letzte Drittel des Monats März und der 1. April. Gesamthaft hatte der März eine Niederschlagshöhe von 97 mm (Muttenz und Binningen) oder 178% des Normalwertes. Im laufenden Jahrhundert gab es nur zwei März-Monate, die eine noch grössere Niederschlagsmenge aufweisen.

Ausser der hohen Gesamt-Niederschlagsmenge war für den März 1952 vor allem der Umstand bezeichnend, dass die Niederschläge zur Hauptsache in einer relativ kurzen Zeit gefallen waren. Der grösste Teil

der Niederschläge fiel im letzten Monatsdrittel, nämlich 77 mm in Binningen und 68 mm in Muttenz. Wenn man die niederschlagsreichsten Märztage und den zur selben Niederschlagsperiode gehörenden 1. April zusammenfasst, so erhält man für die 8 Tage vom 25. März bis 1. April in Binningen eine Niederschlagshöhe von 111 mm und in Muttenz eine solche von 87 mm. Allein in diesen 8 Tagen waren 202% bzw. 158% derjenigen Niederschlagsmenge gefallen, die normalerweise im ganzen Monat März fällt. Die Differenz zwischen Binningen und Muttenz rührt vor allem von der verschiedenen Niederschlagshöhe anlässlich des Schneefalls vom 1. April her, der in Binningen 49 mm, in Muttenz dagegen «nur» 30 mm ergab. Diese 30 mm an einem einzigen Tag gefallenen Niederschläge entsprechen indessen ungefähr der Hälfte des normalerweise im ganzen Monat März fallenden Niederschlages. Solch hohe Niederschläge sind im Frühjahr besonders gefährlich, da das Wasser nicht mehr durch gefrorenen Boden am Versickern gehindert wird und der Wasserverbrauch der Vegetation sowie die Verdunstung noch relativ gering sind. Unter diesen für die Versickerung eines grossen Anteils des Regen- und Schneeschmelzwassers günstigen Voraussetzungen hatten die Ende März und am 1. April gefallenen Niederschläge zweifellos eine nur selten eintretende Durchnässung des Bodens zur Folge. Zwei Tage nachdem der letzte Schnee abgeschmolzen war, gab sich die beschleunigte Bewegung der Rutschmasse am 5. April durch die seit dem Oktober 1951 ersten Verluste in der Wasserleitung des Hallenweges zu erkennen.

g) Der Sommer 1952

Auf die das letzte Monatsdrittel des März und den 1. April umfassende nasse Periode folgte vom 2. bis zum 19. April eine 18tägige Trockenperiode ohne jeden messbaren Niederschlag. Am 20. April – in Binningen schon am 19. April – begann dann eine Reihe regnerischer Tage, die in Muttenz bis zum 23. April, in Binningen bis zum 24. April, andauerte. Sie ergab in Binningen insgesamt eine Niederschlagshöhe von 61 mm, in Muttenz dagegen nur eine solche von 8 mm. Der weitere Witterungsverlauf ist durch eine zweite Trockenperiode gekennzeichnet, die bis über das Monatsende hinaus andauerte. Die während der Rutschung und in den nachfolgenden Wochen herrschende ungewöhnlich trockene Witterung trug jedenfalls wesentlich zum Stillstand der Bewegung bei.

Die Stabilisierung der Rutschmasse wurde im weiteren auch durch die trockene Witterung der folgenden Monate begünstigt. So ergab in Binningen der Mai nur 60%, der Juni nur 66% und der Juli sogar nur

29% der langjährigen mittleren Niederschlagshöhen. Erst an den beiden letzten August-Tagen setzte wieder eine regnerische Witterung ein, die in allen folgenden Monaten des Jahres erhebliche Niederschlags-Überschüsse lieferte. Im Verlaufe dieser erneuten Durchnässung des Bodens gingen die verschiedenen bei der Beschreibung des Ereignisses erwähnten Nachrutschungen nieder.

h) Schlussfolgerungen

Sowohl der Zeitpunkt der ersten Bewegungen im Sommer 1951 als auch derjenige der Auslösung einer beschleunigten Bewegung finden durch die ungewöhnlichen meteorologischen Verhältnisse eine hinreichende Erklärung. Auf Grund des meteorologischen Beobachtungsmaterials ist es sogar wahrscheinlich, dass eine entsprechende Kombination rutschfördernder Ereignisse seit mindestens vielen Jahrzehnten nicht vorhanden war. Dass jedoch der Abhang in seiner jahrhundertealten Geschichte seit der letzten grossen Rutschung nicht schon einmal ähnlichen ungünstigen meteorologischen Bedingungen ausgesetzt war, muss als unwahrscheinlich betrachtet werden. Die Annahme eines weiteren, die Stabilität des Hanges vermindernden Vorganges oder Ereignisses ist deshalb unumgänglich.

3. Veränderungen der Entwässerungsverhältnisse

a) Der Einfluss der Vegetation auf die Wasserführung des Untergrundes

Bei der Bekämpfung oberflächlicher Rutschungen hat sich die Aufforstung als ein bewährtes Mittel erwiesen. Einerseits verfestigt das Wurzelwerk der Bäume den Boden und wirkt sich im Sinne einer Vermehrung der einer Abrutschung entgegengesetzt wirkenden Kräfte aus. Andererseits vermögen die bis zur potentiellen Gleitfläche vordringenden Wurzeln der gesamten zum Abrutschen drängenden Bodenschicht Wasser zu entziehen und erhöhen damit ebenfalls die Widerstandskräfte in erheblichem Masse. Dieser günstige Einfluss der Bewaldung geht zum Beispiel daraus hervor, dass Engler (1919, S. 16 und 583) bei seinen Untersuchungen emmentalischer Waldgebiete im schlechtbewaldeten Rappengraben 23, im bewaldeten Sperbelgraben dagegen nur 3 frische vernarbte Abrisse oberflächlicher, höchstens 2 m tiefgehender Rutschungen feststellen konnte. Eine grosse tiefgehende Bodenbewegung wurde dagegen gerade im bewaldeten Sperbelgraben beobachtet.

Die günstigen Erfahrungen mit der Bewaldung bei der Bekämpfung oberflächlicher Rutschungen können nicht ohne weiteres auch auf tiefgehende Rutschungen übertragen werden. Da das Wurzelwerk bei diesen nicht bis zur potentiellen Gleitfläche vordringt, vermag es in der kritischen Tiefe den zur Abrutschung treibenden Kräften keinen Widerstand entgegenzusetzen, und das einmal unter die Reichweite der Wurzeln versickerte Wasser kann nicht mehr durch die Transpirationswirkung be-

seitigt werden. Um die Abhängigkeit der Rutschgefährlichkeit eines Hanges von der Vegetationsdecke zu beurteilen, ist deshalb vor allem die Kenntnis desjenigen Niederschlagsanteils von Bedeutung, der unter die von den Wurzeln erreichbaren Bodenschichten einzudringen vermag.

Wenn wir die Wasserbilanz eines geneigten Hanges betrachten, so fliesst ein Teil des gefallenen Niederschlages oberflächlich ab, ein anderer Teil verdunstet und ein weiterer Teil versickert in den Untergrund. Durch die von der Kapilarität des Bodens unterstützte direkte Verdunstung und durch die Transpiration der Pflanzen entweicht ein Teil dieser versickerten Wassermenge wieder als Wasserdampf. Der verbleibende Rest bildet dagegen den unterirdischen Abfluss, welcher uns im vorliegenden Zusammenhang in erster Linie interessiert. In der Gesamtbilanz verteilt sich demnach der gefallene Niederschlag auf (1) Oberflächlichen Abfluss, (2) Verdunstung und Transpiration und (3) Unterirdischer Abfluss.

Welchen Einfluss die Vegetationsdecke auf den Anteil von Verdunstung und Transpiration besitzt, zeigen z. B. die in Eberswalde durchgeführten Lysimeter-Untersuchungen. Im dreijährigen Mittel verdunstete bei 673 mm Niederschlagshöhe vom unbewachsenen Erdboden (Sand) 178 mm, vom mit Gras bewachsenen Erdboden dagegen 366 mm, also mehr als doppelt so viel. Noch grösser ist die Verdunstung in einem jungen Kiefernbestand, der im Mittel einer anderen Jahresreihe bei 582 mm Niederschlag eine Verdunstung von 461 mm ergab, während die Verdunstung des mit Gras bewachsenen Erdbodens nur 337 mm betrug (Friedrich 1950). Auch die von Engler und von Burger im Emmental ausgeführten Untersuchungen über die Wasserbilanz von zwei Flussgebieten bestätigen, dass die Verdunstung durch die Bewaldung gefördert wird. So betrug der Gesamtabfluss im 15jährigen Mittel beim schlechtbewaldeten Rappengraben 62%, beim vollbewaldeten Sperbelgraben dagegen nur 50% des Niederschlages.

Neben der erhöhten Verdunstung übt jedoch der Wald noch einen anderen erheblichen Einfluss auf den Wasserhaushalt aus. Bei den lockeren, porösen Waldböden kann das Niederschlagswasser unterirdisch abfliessen; auf Freilandböden erfolgt der Abfluss dagegen besonders bei intensiven Regen und raschen Schneeschmelzen zu einem grossen Teil auf der Oberfläche. «An steilen berasten Hängen ist der oberflächliche Abfluss am grössten» (Engler 1919, S. 612). Da der Abfluss des in den Boden versickerten Wassers viel langsamer erfolgt als auf dem Boden, ergibt sich durch die Bewaldung eine erhebliche Abflussverzögerung, wodurch konstantere Grundwasserstände und Quellergüsse entstehen, gefährliche Hochwasserspitzen gebrochen werden, in den Gewässern ausreichende Trockenwetterabflüsse verbleiben und die Erosion vermindert wird. Zur Bekämpfung von Rutschungen mit tiefliegenden Gleitflächen ist indessen diese für die Wasserwirtschaft günstige Abflussverzögerung unerwünscht. Die durch sie in dem zur Abrutschung drängenden Boden gespeicherten Wassermengen vermindern die der Bewegung entgegengesetzt wirkenden Kräfte. Bewaldung könnte sich demnach bei der Bekämpfung tiefgehender Rutschungen nur dann vorteilhaft auswirken, wenn die ungünstige Abflussverzögerung durch die erhöhte Summe von Verdunstung und Transpiration kompensiert würde. Ausser in extrem niederschlagsarmen Gebieten ist dies jedoch nicht der Fall. Daraus erklärt sich ja gerade die Tatsache, dass die Niederwasserstände von Bächen und die minimalen Quellergüsse in bewaldeten Gebieten trotz des geringeren Gesamtabfluss-Mittels weniger tief sinken als in schlecht oder nicht bewaldeten Gebieten (vgl. z. B. Burger 1945, S. 61).

Einige Zahlenwerte über den Anteil von Oberflächenabfluss, Verdunstung + Transpiration und unterirdischem Abfluss bei wechselnder Vegetation haben in den USA durchgeführte Versuche geliefert.[6]) Bei einem einheitlichen Niederschlag von

---

[6]) Report of the President's Water Resources Policy Commission 1950, Vol. 1, p. 128, 129.

105 mm ergaben sich z. B. für bewaldeten und unbewachsenen Erdboden folgende Wasserbilanzen (Werte in mm):

	Versickerung	Oberflächenabfluss	Verdunstung und Transpiration	Unterirdischer Abfluss	Rücklagen-Vermehrung
bewaldet[7])	100	0	41	64	0
unbewachsen	76	29	32	43	1

Andere Untersuchungen in den USA haben unter sonst gleichen Bedingungen als Resultierende von Verdunstung und Transpiration einerseits und Oberflächenabfluss andererseits bei brachliegendem Land einen unterirdischen Abfluss von 114 mm, bei Korn einen solchen von 41 mm und bei Weidland (Blaugras) einen solchen von 50 mm ergeben.

Aus den erwähnten und anderen (z. B. Burger 1945, S. 58–59, Burger 1949, S. 137 ff.) Untersuchungen ergeben sich im grossen und ganzen folgende Einflüsse der Vegetationsdecke auf die Durchnässung der tieferen Bodenschichten geneigter Hänge: Den grössten Anteil unterirdischen Abflusses liefert der Wald; er vermindert sich bei unbewachsenem Erdboden und noch weiter bei üblicher landwirtschaftlicher Nutzung (z. B. Wiesen oder Getreide); am geringsten ist er bei Weidland. Besonders fördernd auf den unterirdischen Abfluss und damit auf die Durchnässung des Bodens ist jedenfalls eine Übernutzung von Wäldern, da dann die versickerungsfördernde Struktur des Bodens zumindest vorläufig erhalten bleibt, die Wirkung der Transpiration aber vermindert wird. Der geringe Anteil des unterirdischen Abflusses von unbewachsenem Erdboden gegenüber von Wald besteht ferner naturgemäss auch nur dann, wenn der Oberflächenabfluss ungehindert erfolgen kann. Wenn der gesammelte Oberflächenabfluss unbewachsener Erdböden infolge lokaler Besonderheiten doch noch zur Versickerung gelangt, so wird der gesamte unterirdische Abfluss infolge der fehlenden Transpiration zweifellos noch grösser als beim Wald sein.

Zur Beurteilung der Rutschung des Wartenbergs wäre es nun vor allem interessant, die Wasserbilanz bei einer Bepflanzung mit Reben zu kennen. Leider sind mir darüber keine Untersuchungen bekannt, so dass wir auf Analogieschlüsse angewiesen sind. Die Bodenoberfläche ist in einem Rebberg zu einem grossen Teil unbewachsen und der Wasserbedarf der Reben im Vergleich zu anderen Kulturpflanzen gering. Gegenüber den üblichen landwirtschaftlichen Kulturen, wie Wiesland oder Getreideäcker, wird dadurch die Möglichkeit des unterirdischen Abflusses vergrössert. Die einer Rutschung Widerstand entgegensetzenden Kräfte sind deshalb bei einer Bepflanzung mit Reben geringer zu bewerten als z. B. bei Wiesland. Daraus erklärt sich auch, dass – wenn die geologischen Voraussetzungen dazu gegeben sind – Rutschungen in Rebgelände relativ häufig sind. Es sei z. B. an die etwa zur gleichen Zeit wie die Wartenbergrutschung 1952 an der französischen Riviera niedergegangenen grossen Rutschungen, an die Rutschung in den Rebbergen zwischen Ligerz und Twann vom März 1937, an die Rutschung von Cornallaz bei Puidoux vom November 1950 oder auch an die Rutschung von Lausen des Jahres 1749 erinnert.

b) Die Vegetationsdecke des Rutschgebietes und ihre Veränderungen

Wie überall in unseren Gegenden bestand die ursprüngliche, natürliche Vegetationsdecke auch am Wartenberg aus Wald. Erst der Mensch

[7]) «Chaparral». Nach Rübel, Pflanzengesellschaften der Erde, 1930, handelt es sich um ein kalifornisches Hartlaubgebüsch.

hat diesen gerodet und damit sein landwirtschaftliches Kulturland gewonnen. Seit Menschengedenken wurde das Gebiet der späteren Rutschung als Rebberg genutzt. Gewöhnlich nimmt man an, dass der Anbau der Weinrebe in unseren Gegenden seit dem 9. oder 10. Jahrhundert gepflegt wurde und im 17. Jahrhundert seine grösste Ausdehnung erreichte (Suter 1926, S. 134–135). Ob und in welcher Weise die Überführung des Waldlandes in Weinberge die Versickerungsmöglichkeit des Niederschlagswassers und damit die Rutschgefahr verändert hat, ist nach den oben genannten Grundlagen schwierig zu beurteilen. Sicher ist, dass sie nur dann als Ursache der Rutschung in Frage käme, wenn seit jener Zeit keine derjenigen der Jahre 1951 und 1952 ähnliche Kombination ungewöhnlicher meteorologischer Ereignisse vorhanden gewesen wäre.

Noch auf der topographischen Grundlage zur geologischen Karte von Gutzwiller und Greppin (1915) sind, mit Ausnahme einer kleinen Fläche zwischen Weinhag- und Weiherstrasse nördlich des Weihers, im ganzen Gebiet Reben eingezeichnet. Erst im Laufe der letzten Jahrzehnte wurden einige Rebgrundstücke in teils mit Obstbäumen bepflanztes Wiesland übergeführt. Nach unseren einleitenden Erwägungen über den Einfluss der Vegetation auf die Wasserführung des Untergrundes kann nicht angenommen werden, dass sich diese Veränderung auf die Stabilität des Hanges ausgewirkt hätte. Im Gegenteil hätte sie bei alleiniger Wirkung eine Verringerung der Rutschgefahr zur Folge gehabt.

Den stärksten Eingriff in die Vegetationsdecke brachte der Abbau des Gehängeschuttes. Die von der Grube eingenommene Fläche betrug vor der Rutschung rund 3700 m², was etwa 9% der Oberfläche der abgerutschten Schuttdecke entspricht. Diese Fläche war fast vollständig sowohl von der Vegetation als auch von der Humus-Schicht entblösst, so dass die Versickerung der Niederschläge vergrössert war. Die geringe Neigung der Grubensohle verzögerte den Oberflächenabfluss und begünstigte damit ebenfalls die Versickerung, und was an Oberflächenwasser noch abfloss, versickerte schliesslich in der bergseits des Neusetzweges vorhandenen Vertiefung. Wenn man als rohe Schätzung annimmt, die mittlere Versickerung betrage im Rebland wegen der grösseren Mengen von Oberflächenabfluss, Verdunstung und Transpiration etwa die Hälfte derjenigen des Grubenareals, so wäre die auf das ganze von der Rutschung betroffene Areal bezogene Versickerung durch den Grubenbetrieb um die dem Flächenanteil entsprechenden 9% erhöht worden. Man erkennt aus dieser grössenordnungsmässigen Schätzung, dass das durch die Grube veränderte Wasserregime tatsächlich von einem gewissen

Einfluss auf die Stabilität des Hanges gewesen sein kann, der bei der Beurteilung der Rutschursachen nicht ausser Betracht gelassen werden darf.

c) Veränderungen der Strassen-Entwässerung

Das auf den geneigten Grundstücken bei starken Niederschlägen und Schneeschmelzen abfliessende Oberflächenwasser wurde durch die den Hang querenden Wege abgefangen. Die meisten dieser Wege gehen auf alten Bestand zurück. An dem in Frage stehenden Abhang waren lediglich die Burghaldenstrasse und der Neusetzweg durch die Feldregulierung von 1931/1935 vollständig neu erstellt worden. Geschlossene Ableitungen des anfallenden Strassenwassers bestanden im ganzen Rutschgebiet nicht. Zur Hauptsache flossen jedoch die anfallenden Wassermengen auf den abfallenden Strassen aus dem Rutschgebiet weg. Die in der Bevölkerung nach der Rutschung herumgebotene Meinung, das Oberflächenwasser der Neusetzstrasse und der Schauenburgerstrasse sei in der Gehängeschuttgrube versickert, konnte nicht bestätigt werden. Eine die Rutschgefahr erhöhende Veränderung der Strassenentwässerung ist somit nicht nachzuweisen.

4. Wasserverluste aus Leitungen

a) Abwasserbeseitigung von Brunnen und Liegenschaften

Innerhalb des Rutschgebietes waren zwei Feldbrunnen, das Doppelwohnhaus und das Gartenhaus an die öffentliche Wasserversorgung angeschlossen. Das von den Feldbrunnen ablaufende Wasser floss unschädlich aus dem Areal des späteren Rutsches weg. Beim Gartenhaus wurde das Wasser nur in trockenen Zeiten zum Besprengen der Pflanzen benutzt. Die Abwässer des Doppelwohnhauses wurden in abflusslosen Gruben gesammelt und auf das Kulturland ausgeführt. Eine durch die Abwasserbeseitigung der Brunnen und Liegenschaften erfolgte zusätzliche Durchnässung des Bodens lässt sich somit nicht feststellen.

b) Die Wasserleitungsverluste im Hallenweg

Die im Hallenweg durch das Rutschgebiet führende Wasserleitung der Hochzonenversorgung war am 5. August 1951, am 2. Oktober 1951, am 6. April 1952 und am 7. April 1952 unterbrochen worden. Die Übereinstimmung der Unterbruchstellen mit Haupt-Verschiebungsspalten der Rutschmasse lässt erkennen, dass die Leitung bei allen Unterbrüchen durch die einsetzende grosse Rutschbewegung zerstört worden ist. Die Untersuchung der meteorologischen Verhältnisse zeigt ferner, dass sämtliche zum Unterbruch der Leitung führenden Bewegungen ursächlich mit der Menge der in den Boden versickerten Niederschläge zusammenhangen. Die Unterbrüche der Leitung sind somit zweifellos durch die einsetzenden Rutschbewegungen erfolgt. Die Möglichkeit, dass zuerst

die Leitung unterbrochen worden und die Bewegung durch die dabei austretenden Wassermengen ausgelöst worden sei, kann mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

Diese Feststellung schliesst jedoch nicht aus, dass die aus der Leitung austretenden Wassermengen zu einer stärkeren und beschleunigteren Bewegung beigetragen haben. Um sich über die Grösse dieser Wassermengen und damit ihren Einfluss auf das Ereignis Rechenschaft geben zu können, wurde der Betrieb der Hochzonenwasserversorgung für die Zeit von anfangs 1951 bis zur grossen Rutschung einer eingehenden Kontrolle unterzogen. Die Auswertung der automatisch registrierten Wasserstandsdiagramme des Hochzonenreservoirs sowie der wöchentlichen Aufzeichnungen über die Wasserförderung des Hochzonenpumpwerks gestattete die Verlustmengen mit befriedigender Genauigkeit zu bestimmen.

Aus den Untersuchungen ergibt sich, dass bis zum 21. Juli 1951 keinerlei Verluste stattfanden. Etwa von diesem Tage bis zum Unterbruch vom 5. August 1951 sind dagegen dauernd zunehmende Verluste festzustellen. Nach erfolgter Reparatur war die Leitung bis zum 2. Oktober 1951 intakt, an welchem Tage der vollständige Unterbruch unvermittelt, ohne vorangehende Verluste, erfolgte. Bis zum 5. April 1952 war die Leitung wieder verlustfrei. Dann traten während etwa 11 Stunden zunehmende Verluste auf, bis es am 6. April 1952 um 3 Uhr früh zum vollständigen Unterbruch kam. Nachdem der Schaden behoben worden war, blieb die Leitung wieder bis zum 7. April 1952 um 3½ Uhr früh ohne Verlust. Wie am 2. Oktober 1951 kam es in diesem Zeitpunkt wieder zu einem unvermittelten Unterbruch der Leitung.

Wie gross derjenige Anteil der gesamten Gleitfläche oder der gesamten Rutschmasse war, der anlässlich der vier Schadenfälle vom ausströmenden Wasser betroffen wurde, lässt sich nicht genau ermitteln. Nach den am 7. April 1952 in der Grube beobachteten Wasseraustritten zu schliessen, dürfte sie relativ gross gewesen sein, so dass wir als rohe Vergleichs-Grundlage die Fläche von 1 ha annehmen können. Ausserdem soll noch gezeigt werden, wie sich die Verluste bei einer Verteilung auf das gesamte Rutschgebiet, das heisst auf eine Fläche von rund 4,3 ha, ausgewirkt hätte. Bei der Beurteilung dieser Werte muss noch berücksichtigt werden, dass nur die am südöstlichen Rand entstandenen Verluste vollständig innerhalb des Rutschgebietes zur Versickerung kamen, während das am nordwestlichen Rutschrand zur Strassenoberfläche aufsteigende Wasser aus dem Rutschgebiet wegfloss und nur der direkt versickernde Anteil zur zusätzlichen Durchnässung beitragen konnte.

Folgende Tabelle enthält die bei jedem der vier Schadenereignisse erfolgten Gesamtverluste sowie – unter Vernachlässigung des unschädlichen Oberflächenabflusses – die mit den Niederschlagshöhen vergleichbaren Verlusthöhen:

Zeit		Verlust m^3	Verlusthöhen bei einer Fläche von 1 ha	4,3 ha
21. Juli	1951 bis Unterbruch am 5. August 1951	451	45,1 mm	10,5 mm
5. August	1951 nach Unterbruch	47	4,7 mm	1,1 mm
2. Oktober	1951 nach Unterbruch	71	7,1 mm	1,6 mm
5. April	1952 bis Unterbruch am 6. April 1952	30	3,0 mm	0,7 mm
6. April	1952 nach Unterbruch	96	9,6 mm	2,2 mm
7. April	1952 nach Unterbruch	49	4,9 mm	1,1 mm

Die grösste zusätzliche Durchnässung des Bodens fand demnach durch die vom 21. Juli bis 5. August 1951 eingetretenen Verluste statt. Im Vergleich zur gesamten Niederschlagshöhe des Juli 1951 von 212 mm erscheint die auf 4,3 ha bezogene Verlusthöhe von etwa 10 mm (=5% der Juli-Niederschläge) bescheiden. Die unterhalb der Verluststelle entstandene zusätzliche Durchnässung des Bodens war naturgemäss erheblich grösser als dies durch die erwähnten 10 mm Verlusthöhe ausgedrückt werden kann. Trotz dieser gegenüber den übrigen Teilen des Rutschgebietes stärkeren Durchnässung fand jedoch nach erfolgter Reparatur im betroffenen Gebiet während mehreren Monaten keine merkbare Bewegung mehr statt. Vielmehr erfolgte die nächste nachgewiesene Bewegung gerade am anderen seitlichen Ende der Rutschmasse, also ausserhalb des direkten Einflussbereiches der starken Durchnässung. Dies weist darauf hin, dass die Verluste nicht von entscheidender Bedeutung für den weiteren Verlauf der Rutschung sein konnten.

Auch beim Unterbruch vom 2. Oktober 1951, der gesamthaft noch geringere Verluste als die vom 21. Juli 1951 bis 5. August 1951 vorhandenen Undichtigkeiten nach sich gezogen hatte, können keine Nachwirkungen der zusätzlichen Durchnässung festgestellt werden. Da die Leitung nach erfolgter Reparatur intakt blieb, hatte die Bewegung ganz oder zumindest vorwiegend vor bzw. während des Unterbruches stattgefunden.

Die Bewegungen, welche im Januar oder Februar 1952 die Rutschung erneut einleiteten und zur Ausbildung des grossen sichtbaren Abrissbogens geführt hatten, verliefen schliesslich gänzlich ohne das Mitwirken von infolge Leitungsverlusten entstandenen zusätzlichen Durchnässungen.

Die am 6. und 7. April entstandenen Verluste mögen lokal zur Überwindung von die beschleunigte Bewegung noch aufhaltenden Wider-

standskräften geführt haben. Sicher befand sich jedoch die Rutschmasse schon in jenem Zeitpunkt an der Grenze des Gleichgewichts, so dass die durch die Leitungsverluste hervorgerufene zusätzliche Durchnässung höchstens als Umstand von sekundärer Bedeutung bei der Auslösung der beschleunigten Bewegung mitwirken konnte.

Zusammenfassend ergibt sich, dass die Leitungsverluste als eigentliche Ursache der Rutschung nicht in Betracht fallen; sie waren vielmehr eine Folge der bereits eingesetzten Rutschbewegungen.

D. Künstliche Änderungen der Stabilitätsverhältnisse

1. Die Ausbeutung von Gehängeschutt

Die Lage der Gehängeschutt-Grube inmitten des Rutschgebietes erweckte bei vielen Augenzeugen des Ereignisses spontan den Eindruck, dass allein der durch die Grube erzeugte Einschnitt in den Hang die Rutschung verursacht und deren Begrenzung bestimmt habe. Wenn wir jedoch den geologischen Aufbau des Abhanges betrachten, so erkennen wir, dass sämtliche Begrenzungen der Rutschung durch Änderungen der Untergrundverhältnisse vorgezeichnet waren. Die Begrenzung des Rutschgebietes kann deshalb nicht durch die Lage der Grube bestimmt sein. Die räumliche Beziehung zwischen Rutschbegrenzung und Grube ist nicht ursächlicher, sondern zufälliger Natur.

Allerdings schliesst diese Feststellung nicht zum vornherein aus, dass die in ihrem Umfange durch geologische Voraussetzungen vorgezeichnete Rutschung nicht doch durch den Abbau des Gehängeschuttes ausgelöst worden ist. Darauf, dass die mit der Anlage und Erweiterung der Grube zusammenhängende Änderung der Entwässerungsverhältnisse eine Verminderung der Widerstandskräfte zur Folge haben musste, wurde bereits verwiesen. In bezug auf die unterhalb der Grube gelegenen Hangpartien könnte man sich zunächst auch vorstellen, dass der im lehmigen Gehängeschutt erfolgte Einschnitt als solcher eine Verminderung der Kohäsion und damit ebenfalls eine Verminderung der gesamten Widerstandskräfte zur Folge gehabt hätte. Abgesehen davon, dass die Lage der Hauptabrisse der in Frage kommenden mittleren Teilrutschung hiefür keine Anhaltspunkte liefert, ist der mit dem fortschreitenden Abbau gleichzeitig für diese Teilrutschung verbundenen Verminderung des zur Abrutschung drängenden Momentes entscheidendere Bedeutung beizumessen.

Wie die Profile durch das Rutschgebiet sowie der Ablauf des Ereignisses zeigen, wurde durch den Abbau des Gehängeschuttes einerseits der Kopf der mittleren Teilrutschung entlastet und andererseits der Fuss der oberen Teilrutschung angeschnitten. Im Falle der Gleichung des Drehmomentes $M_G = G.a$ wurde der Hebelarm a der mittleren Teilrutschung verkleinert, derjenige der oberen Teilrutschung dagegen vergrössert. Eine zur Bewegungsauslösung führende Änderung der Stabilitätsverhältnisse wäre deshalb für einen über der Grube gelegenen Streifen der oberen Teilrutschung denkbar. Währenddem jedoch im unteren Teile des Rutschgebietes westlich der Grube schon Rutschungen eingesetzt hatten, konnten im direkten Einflussbereich des Grubeneinschnittes noch keine Bewegungen festgestellt werden. Trotz des sehr steilen, im Mittel etwa 63° Neigung aufweisenden Einschnittes fanden insbesondere auch in den der grossen Rutschung vorangehenden Monaten und Tagen keinerlei Nachstürze statt. Die Art und Lage der einleitenden Bewegungen lässt sich somit nicht mit den Vorstellungen in Einklang bringen, die man sich von einer ausschliesslich durch die Grube ausgelösten Rutschung zu machen hätte. Wie aus der Beschreibung der Rutschung hervorgeht, vermag auch die Lage der wichtigsten Rutsch-Elemente eine solche Vorstellung nicht zu bestätigen.

Nachdem die am unteren Teile des Hanges begonnenen und von dort oben übertragenen Kriechbewegungen im Abrissgebiet der späteren oberen Teilrutschung zur Bruchbildung geführt hatten, mag allerdings die am Fusse der oberen Teilrutschung durch den Abbau entstandene Gewichtsverminderung zum Übergang der langsamen in eine rasche Bewegung beigetragen haben. Ob die Bewegung dauernd an ihrer Geschwindigkeitszunahme verhindert gewesen wäre, wenn die abgebauten Gehängeschuttmassen noch vorhanden gewesen wären, lässt sich indessen wegen der mannigfaltigen Bewegungsvorgänge nicht entscheiden.

2. Andere Änderungen der Stabilitätsverhältnisse

Ausser dem Gehängeschutt-Abbau fanden im Laufe der Zeit auch einige lokale Änderungen des Gewichts der Schuttdecke statt, z. B. beim Bau von Wegen oder bei der Erstellung des Bunkers. Keiner dieser Eingriffe vermag die Entstehung der grossen Rutschung zu erklären; die lokalen Verminderungen der Stabilität können aber doch als Umstand von sekundärer Bedeutung mitgeholfen haben, die Voraussetzungen dazu zu schaffen.

Schliesslich wurde auch geprüft, ob Verkehrserschütterungen bei der Auslösung der Rutschung mitgewirkt haben. Das vorliegende Beobachtungsmaterial enthält keine Hinweise für eine solche Annahme. Erschütterungen spielen erfahrungsgemäss bei der Auslösung einer Rutschung nur dann eine Rolle, wenn sich die Rutsch-

masse schon vor dem Abgehen an der Grenze des Gleichgewichtes befindet. Sie können deshalb bei der abschliessenden Beurteilung der Rutsch-Ursachen ausser Betracht gelassen werden. Dasselbe gilt auch für Erdbeben, die als bei der Auslösung der Wartenberg-Rutschung mitwirkender Faktor auszuschliessen sind.

E. Bewertung der einzelnen Vorgänge und Ereignisse

Der geologische Aufbau des Wartenberg-Südwestabhanges bildete schon früher die Voraussetzungen für die Abgleitung umfangreicher Gehängeschuttmassen auf den vorwiegend tonig-mergeligen Gesteinen des anstehenden Untergrundes. Durch jene Rutschungen war ein Gleichgewichtszustand entstanden, der weitere grössere Rutschungen während Jahrhunderten verhinderte. Da jedoch die Gehängeschuttmassen damals den Fuss des Abhanges nicht erreicht hatten, waren die zu einer Abrutschung drängenden Kräfte immer noch beträchtlich und deren schädliche Auswirkung wurde nur durch entsprechende Widerstandskräfte verhindert. Da ferner die frühere Rutschung naturgemäss gerade etwa den der damaligen Kraft- und Widerstandsbilanz entsprechenden Gleichgewichtszustand erreicht hatte, musste auch eine im Vergleich zu den Gesamtkräften verhältnismässig geringe Änderung einer dieser beiden Bilanzen zu einer erneuten Störung des Gleichgewichtes führen.

Bei der Auslösung aller grossen, nicht in unmittelbarer zeitlicher Folge von künstlichen Eingriffen niedergehenden Rutschungen spielen immer die durch Niederschläge entstehenden aussergewöhnlichen Durchnässungen des Bodens den entscheidenden Faktor. Da sich jedoch bestimmte für die Überwindung der Widerstandskräfte günstige meteorologische Konstellationen – wenn auch manchmal erst nach vielen Jahrzehnten – wiederholen, müssten alle ausschliesslich auf aussergewöhnliche Durchnässungen zurückzuführende Rutschungen längst niedergegangen sein. Wenn also heute eine neue Rutschung sich ereignet oder eine alte Rutschung reaktiviert wird, so ist dies immer darauf zurückzuführen, dass mindestens seit der letzten entsprechenden Kombination meteorologischer Bedingungen eine natürliche oder eine künstliche Änderung anderer Komponenten der Kraft- oder der Widerstandsbilanz erfolgt ist. Eine solche Änderung verminderte zwar den Mittelwert des mit den wechselnden Durchnässungsverhältnissen schwankenden Sicherheitsfaktors; aber erst durch die zusätzliche Wirkung einer ausserordentlichen Niederschlagsperiode konnte dieser auf einen unter der kritischen Grenze liegenden Minimalwert sinken.

Dass auch bei der Wartenberg-Rutschung eine rutschfördernde Kombination meteorologischer Bedingungen das für die Auslösung ent-

scheidende Ereignis darstellte, konnte eindeutig nachgewiesen werden. Da es jedoch in hohem Grade unwahrscheinlich erscheint, dass seit dem Niedergang der alten Rutschung nicht schon einmal ähnliche meteorologische Bedingungen geherrscht hatten, stellt sich bei der Beurteilung der Rutsch-Ursachen vor allem die Frage, welche von den meteorologischen Periodizitäten unabhängigen, den Sicherheitsfaktor mitbestimmenden Änderungen inzwischen stattgefunden hatten.

Diese Frage muss selbstverständlich auch bei allen jenen Rutschungen gestellt werden, die andernorts niedergingen, ohne dass irgendwelche künstliche Änderungen der Kraft- oder der Widerstandsbilanz stattgefunden hätten. Dieser Umstand weist deutlich darauf hin, dass ausser den durch die menschlichen Eingriffe entstehenden Änderungen auch solche in Betracht gezogen werden müssen, die durch meist kontinuierliche natürliche Vorgänge erfolgten. Unter diesen ist bei der Wartenberg-Rutschung namentlich die chemische Verwitterung des die Unterlage der Gehängeschuttdecke bildenden Tones in Betracht zu ziehen, die unter dem Einfluss des auf ihr sich stauenden Wassers erfolgen und zu einer progressiven Verminderung der Widerstandskräfte führen konnte.

In bezug auf künstliche, im Sinne einer Erniedrigung des Sicherheitsfaktors wirksame Änderungen ist zunächst in Erwägung zu ziehen, dass durch den Gehängeschuttabbau in einem grösseren Teil des Rutschgebietes die Humus- und Vegetationsdecke beseitigt worden war, das Niederschlagswasser dadurch in gesteigertem Masse versickern und zu einer vermehrten Durchnässung des Untergrundes führen konnte. Diese Änderung trug an den tieferen Hangpartien zu einer Verminderung der Stabilität der Gehängeschuttdecke bei. Wenn man berücksichtigt, dass sich die später niedergegangene Rutschmasse an der Grenze des Gleichgewichtes befand, so sind natürlich auch Umstände von sekundärer Bedeutung, wie zum Beispiel die durch den Bunker entstandene zusätzliche Belastung, nicht gänzlich als bei der Auslösung mitwirkende Faktoren ausser Betracht zu lassen. Bei der einmal eingeleiteten Bewegung mag schliesslich auch der durch die Gehängeschutt-Grube am oberen Teil des Hanges geschaffene künstliche Einschnitt zu deren Beschleunigung beigetragen haben. Als Folge der einsetzenden Rutschungen waren schliesslich die Verluste der im Hallenweg verlegten Wasserleitung entstanden, deren teilweise Versickerung die der beschleunigten Abrutschung entgegenwirkenden Kräfte noch weiter zu vermindern vermochte. Ausser den bei vielen Rutschungen allein zur Auslösung führenden natürlichen, mehr oder weniger kontinuierlich vor sich gehenden

Änderungen können somit am Wartenberg einige künstliche Eingriffe zur Verminderung der Stabilität beigetragen haben. Der uneinheitliche geologische Bau des Hanges und die komplizierten Bewegungsvorgänge lassen es jedoch als unmöglich erscheinen, zu beurteilen, durch welche der einzelnen Vorgänge und Eingriffe das Kräftegleichgewicht die ausgiebigste Änderung erfahren hat.

Zusammenfassend ergibt sich, dass mehrere Faktoren teils primär, teils erst als Folge der Wirkung der anderen im Sinne einer Verminderung der Stabilität wirken konnten. Erst die summierte Wirkung mehrerer, vielleicht sogar aller dieser Faktoren vermochte jedoch den Sicherheitsfaktor so weit zu erniedrigen, dass es einerseits überhaupt zur Auslösung und andererseits zum erfolgten Ausmasse der grossen Rutschung kam.

Literatur-Verzeichnis

Baltzer, A., Der Erdschlipf von Böttstein, 1877.

Bernatzik, W., Baugrund und Physik, Zürich 1947.

Bider, M. (id.), Monatliche Witterungsberichte in den Basler Nachrichten 1951, 1952.

Burger, H., Der Einfluss des Waldes auf den Wasserhaushalt. – in: Über die Bedeutung des Schweizerwaldes, Schweizerische Naturschutzbücherei, Bd. 1, 1945.

— Die Vegetation, der Boden und der Wasserhaushalt in der obersten Bodenschicht des Einzugsgebietes der Baye de Montreux. – in: Lütschg, Zum Wasserhaushalt des Schweizer Hochgebirges, Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Serie, Hydrologie, 4. Liefg. I. Bd., I. Teil, 3. Abt., 1949.

Buxtorf, A., Geologie der Umgebung von Gelterkinden. – Beitr. geol. Karte der Schweiz N. F. 11, 1901.

— Das Gebiet der Rheintalflexur. – Ecl. geol. Helv. 21, 1928.

Disler, C., Geologie des Bezirks Rheinfelden, 1931.

Engler, A., Untersuchungen über den Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer. – Mitt. Schweiz. Zentralanst. f. forstl. Versuchswesen, Bd. 12, 1919.

Friedrich, W., Über die Verdunstung vom Erdboden. – Gas- und Wasserfach 91, H. 24, 1950.

Gutzwiller, A. und Greppin, Ed., Geologische Karte von Basel, Erster Teil. – Geol. Spezialkarte Nr. 77, 1915.

— und Greppin, Ed., Erläuterungen zur Geologischen Karte von Basel, I. Teil: Gempenplateau und unteres Birstal, 1916.

Heim, Albert, Bergsturz und Menschenleben, 1932.

Lanz, H., und Rommel, C., Elementarschäden und Versickerung, Bd. 2, Bern 1936.

Leuthardt, F., Der Erdschlipf am Murenberg bei Bubendorf in den Jahren 1909 und 1910. – Verh. Schweiz. Natf. Ges. 1910.

— Der Erdschlipf am Murenberg bei Bubendorf in den Jahren 1909 und 1910. – Tätigkeitsber. Natf. Ges. Bld. 1907–1911, 1911.

— Über Erdschlipfe und Felsstürze im Basler Jura. – Basellandschaftliche Zeitung Nr. 81, 8. April 1926.

Mohler, W., Beiträge zur Landschaftsgeschichte der Umgebung von Gelterkinden. – Tätigkeitsber. Natf. Ges. Bld. Bd. 9, 1933.