

Zeitschrift:	Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber:	Schweizerischer Forstverein
Band:	135 (1984)
Heft:	6
Artikel:	Rutschungsentwässerungen
Autor:	Zeller, Jürg
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-766777

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: 14.01.2026

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

Rutschungsentwässerungen

Von *Jürg Zeller*

(Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, CH-8903 Birmensdorf) Oxf.: 385.1:384.1

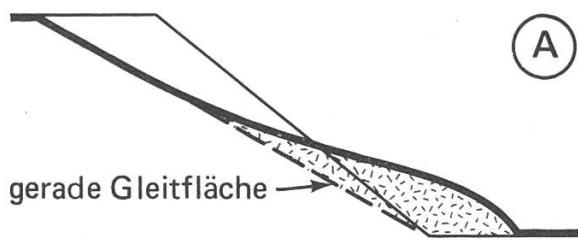
Eine beliebte Methode zur Stabilisierung von Rutschungen ist die Entwässerung. Sie wird gewählt, wenn Wasser eine wesentliche Ursache der Bodenbewegungen ist. Die Rutschungsentwässerung hat zum Ziel:

- das Zufließen des Oberflächenwassers, eventuell auch des Sickerwassers ins Rutschgebiet zu verhindern,
- das Oberflächen- und Sickerwasser möglichst rasch und gründlich aus dem Rutschgebiet abzuleiten, um die Rutschmasse zu festigen,
- den eigentlichen Gleitflächenbereich zu entwässern, um die Scherfestigkeit des Bodens zu erhöhen
- und allenfalls Oberflächenerosion zu verhindern.

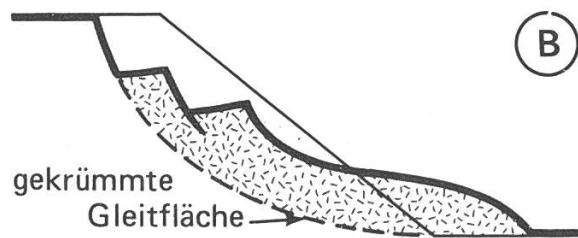
In Kombination mit diesen Entwässerungszielen kann der Wunsch nach einer Verbesserung der biologischen Bodenqualität einhergehen, um verbesserte Wuchsbedingungen zu schaffen. Erstere Entwässerungsart wird nachfolgend mit «Rutschungsentwässerung» und letztere Art mit «forstlicher Meliorationsentwässerung» bezeichnet. Bevor auf die Rutschungsentwässerungen eingetreten werden kann, sollen vorerst in Kurzform einige Rutschungsformen vorgestellt und der Rutschungsmechanismus erläutert werden.

1. Rutschungsarten und Rutschungsmechanismus

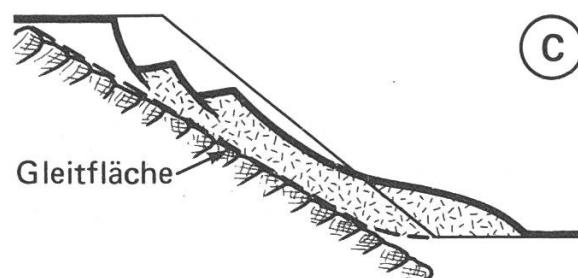
In Natur kommen eine Vielfalt von Rutschungsformen vor. Je nach Topographie, Geologie, Bodenart, Wasserverhältnissen, Vegetation und Nutzung sowie unter Umständen der Schneeverhältnisse (Schneekriechen, Schneegleiten, Frühjahresschneeschmelze), das heißt je nach den standörtlichen Gegebenheiten, sind die Erscheinungsformen unterschiedlich (*Abbildung 1*). Allen gemeinsam ist die grundsätzliche Unterscheidung nach kohärenten und nichtkohärenten Materialien, wobei die Typen A und B der *Abbildung 1* den kohärenten Materialien entsprechen.



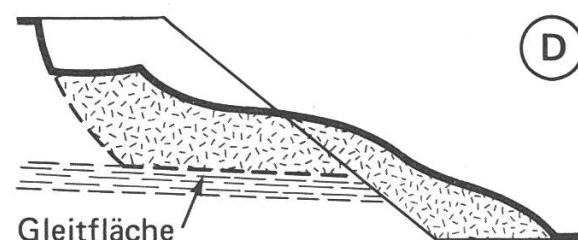
Einfache Rutschung in nicht kohärentem Material
Untergrund homogen



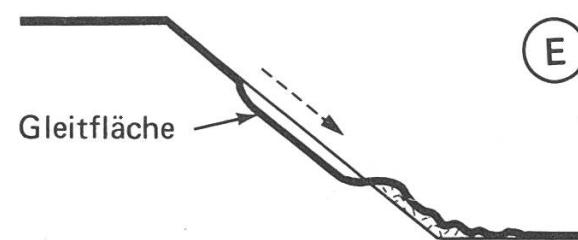
Einfache Rutschung in kohärentem Material
Untergrund homogen



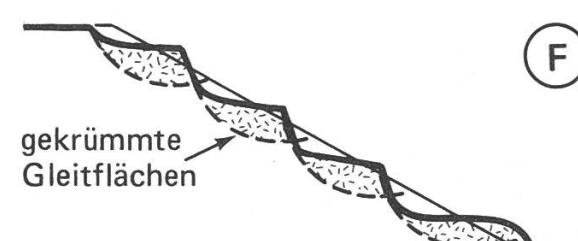
Rutschung auf fester Unterlage
(kohärent od. nichtkohärent)



Rutschung auf wenig fester Unterlage (z.B. vernässte Lehmschicht)



Durch äussere, handparallele Kräfte verursachtes Abgleiten der Vegetationsschicht (Schneekriechen, Schneegleiten)

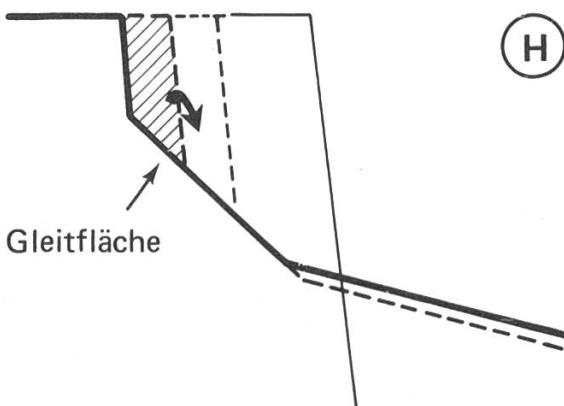


Folge (oberflächennaher), lokaler Rutschungen, ausgelöst durch eine Initialrutschung mit Nachrutschungen hangauf- und hangabwärts



nur sporadisch vorhandene Gleitflächen od. eine Vielzahl sich überschneidender neuer u. alter Gleitflächen

Kriechhang, bestehend aus lokalen Rutsch- u. Fliessbewegungen mit sehr unterschiedlichen Bewegungsgeschwindigkeiten bezüglich Ort und Zeit.



Abbruch von stark verfestigtem Material wie z.B. stark konsolidierte od. verkittete Moräne, versinternde Kiessande, evtl. stark gegliederter Fels

(Solche Formen werden in diesem Aufsatz nicht berücksichtigt)

Abbildung 1. Einige typische Rutschungsformen.

dung 1 als Grundformen betrachtet werden können. Unter nichtkohärenten Materialien sind hierbei solche zu verstehen, die aus den Kornkomponenten Steine-Kies-Sand eventuell Silt aufgebaut und gut durchlässig sind. Schwach bis stark kohärente Materialien enthalten demgegenüber einen mehr oder weniger ausgeprägten Anteil von Ton und Silt, eventuell vermischt mit gröberem Material, und sind meist wenig bis kaum durchlässig.

Betrachtet man einen Rutschkörper aus der Sicht der auftretenden Kräfte, so gleitet ein solcher Körper dann ab, wenn zum Beispiel durch die Eigengewichtskräfte des Rutschkörpers die Materialbeanspruchung zu gross wird. Die Materialfestigkeit wird also überschritten, und es tritt Materialbruch ein. Diese Materialfestigkeit wird in der Bodenmechanik mit *Scherfestigkeit* bezeichnet. Sie ist eine Funktion der Kornzusammensetzung, der Lagerungsdichte, der wirksamen Kräfte und des Druckes des Porenwassers, der sogenannten Porenwasserspannung. Letztere ist von entscheidender Bedeutung für die Grösse der Scherfestigkeit und damit für die Rutschungsstabilität. Je grösser nämlich diese Porenwasserspannung ist, umso kleiner wird unter sonst gleichen Randbedingungen die Scherfestigkeit. Ja, die Reduktion kann derart gross werden, dass die verbleibende Scherfestigkeit nur noch ein Bruchteil derjenigen beim Fehlen von Porenwasserspannungen ist.¹ Diese Porenwasserspannung ist sehr oft ein auslösender Faktor für eine Rutschung. Gelingt es, diese Porenwasserspannung klein zu halten oder gar dauernd zu

reduzieren, so wird die Gefahr für das Losbrechen eines Hanges wesentlich vermindert. Es ist deshalb nicht ohne Grund, dass man bei Rutschungssanierungen versucht, die Bodenwasserverhältnisse zu verbessern. Da die Porenwasserspannung unter anderem vom Wasserhaushalt des Hanges abhängt, also von den hydrologischen Verhältnissen mitbestimmt und so zum Beispiel vom Wetter beeinflusst wird, ist die Scherfestigkeit entsprechenden Schwankungen unterworfen. Dies hat zur Folge, dass die Hangstabilität im Laufe der Zeit variiert und in Trockenperioden grösser ist als in Nassperioden (Abbildung 2). Es ist in diesem Zusammenhang allgemein bekannt, dass

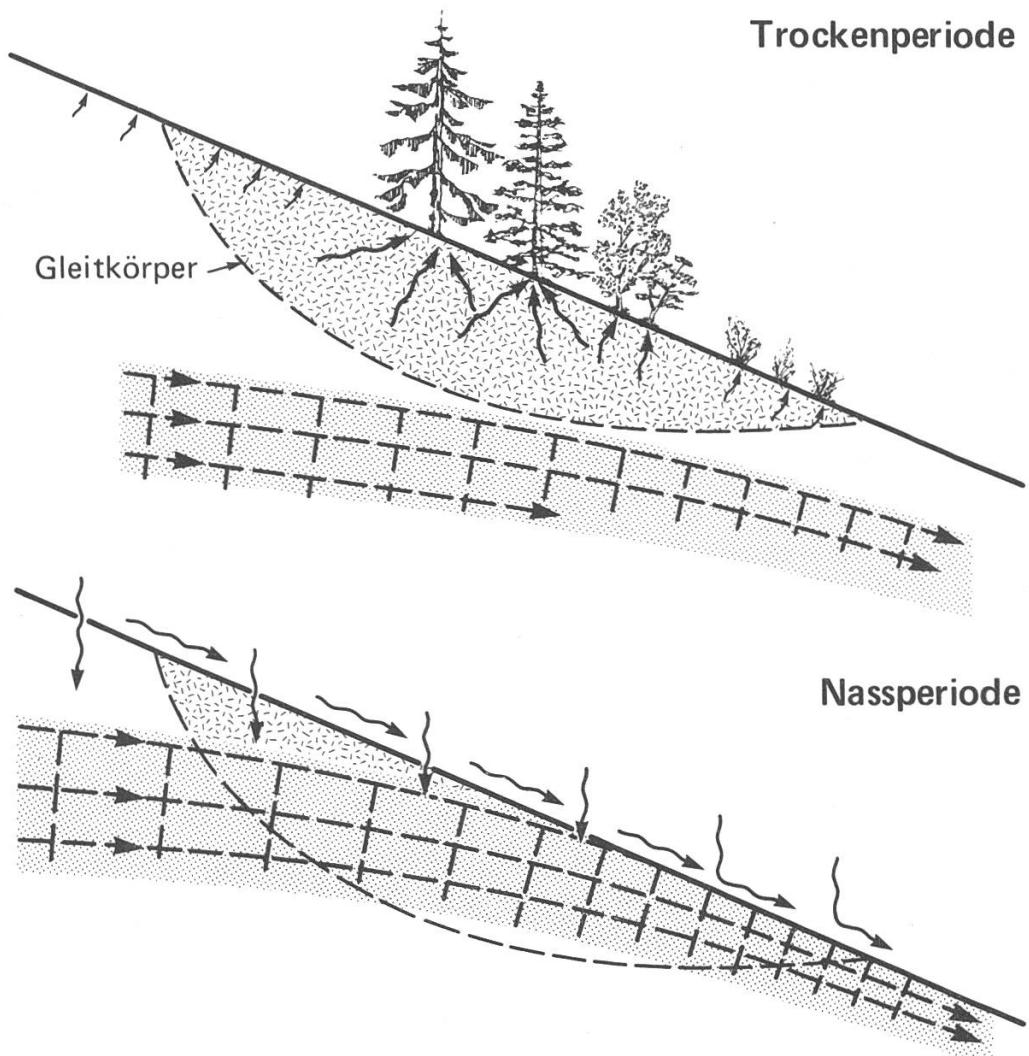


Abbildung 2. Bodenwasserverhältnisse während einer Trocken- und einer Nassperiode. Eingezeichnet sind derselbe potentielle Gleitkörper und die Fließrichtung infiltrierten Wassers kombiniert mit der «Grundwasserströmung» (schematisch).

¹ Die Scherfestigkeit kann mit folgender Gleichung beschrieben werden:

$$\tau_f = \underbrace{c' + (\sigma_{\text{tot}} - u) \cdot \text{tg} \Phi'}_{(1)} \quad \text{mit} \quad \tau_f = \text{Scherfestigkeit}, c' = \text{Kohäsion},$$

$$\underbrace{\sigma_{\text{tot}}}_{(2)} = \text{Normalspannung auf die Gleitfläche}$$

$$u = \text{Porenwasserspannung}, \Phi' = \text{Reibungswinkel}$$

(1) = Kohäsionsanteil, (2) = Reibungsanteil der Scherfestigkeit. Wird u im Verhältnis zu σ_{tot} gross, so wird der Reibungsanteil klein und damit auch die Scherfestigkeit.

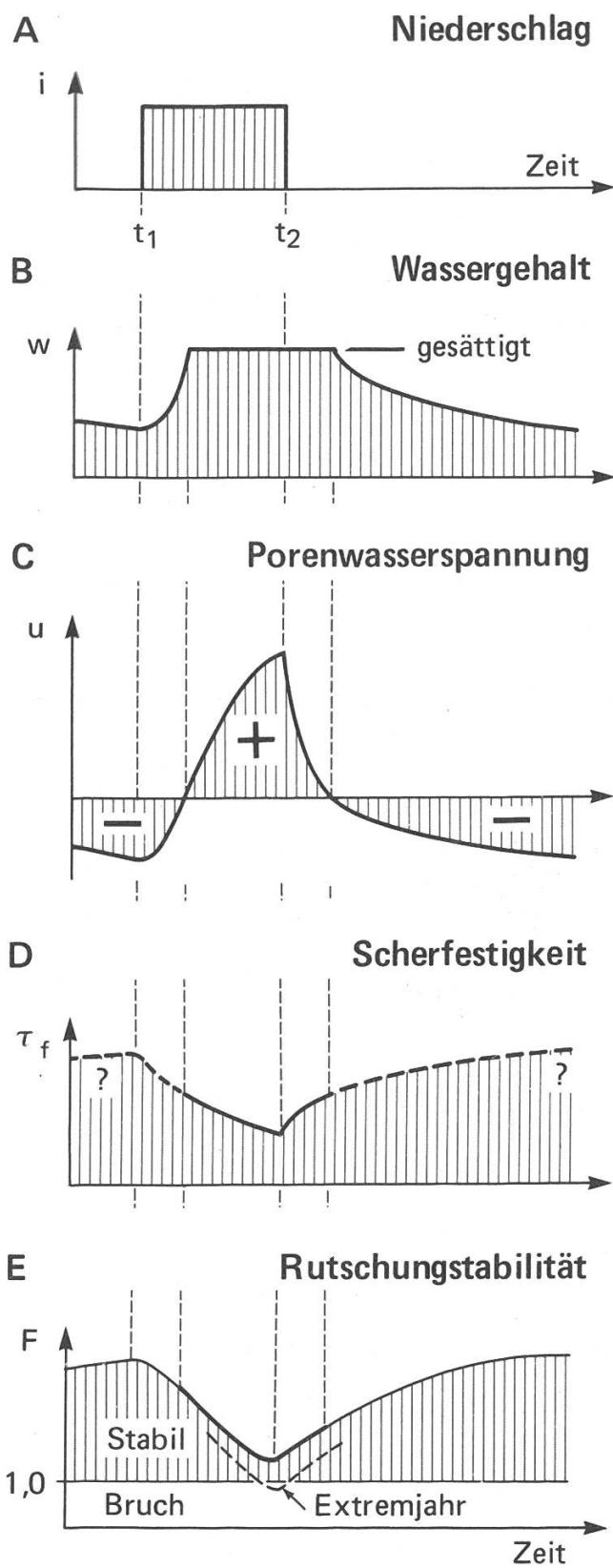


Abbildung 3. Stark schematisierte Darstellung der Auswirkungen eines Regens auf Scherfestigkeit und Rutschungsstabilität für den Fall einer oberflächennahen Bodenschicht.

A Gegeben sei ein Regen der Intensität i , beginnend zur Zeit t_1 und endend zur Zeit t_2 .

B Der Boden hat einen Wassergehalt, der als Folge von Wasserverlusten (Evapotranspiration, Abfluss, Tiefensickerung) langsam abnimmt. Der Regen infiltriert, sättigt den Boden und nach Abschluss des Regens nimmt der Wassergehalt erneut ab.

C Die Porenwasserspannungen sind anfänglich negativ (der Boden ist ungesättigt, es herrschen Saugspannungsverhältnisse). Durch die Zunahme des Wassergehaltes nehmen die negativen Porenwasserspannungen ab und bei Sättigung werden die Porenwasserspannungen positiv. Da sich die Sättigungszone weiter anhebt (es regnet weiter), wachsen die Porenwasserspannungen bis zu einem Maximalwert an, der etwa bei Regenende eintritt. Hierauf nimmt die Porenwasserspannung wieder ab.

D Entsprechend der Zunahme der Porenwasserspannung nimmt die Scherfestigkeit bis zu einem Minimum bei u_{\max} ab und nimmt hierauf wieder sukzessive zu.

E Entsprechend dem Scherfestigkeitsverlauf verhält sich auch die Rutschungsstabilität. Diese nimmt bis zu einem Minimum ab und erholt sich hierauf wieder. In Normaljahren bleibt der Sicherheitsgrad F grösser als 1,0. Bei einem sehr extremen Niederschlagsereignis kann F nahe 1,0 kommen, d.h. Kriechbewegungen setzen ein. Bei noch kleinerem F rutscht der Hang ab.

mit steigender Regendauer und -intensität die Rutschgefahr zunimmt oder Rutschungen als Folge extremer Frühjahresschneeschmelze plus Regen auftreten oder die Fliessbewegung von Kriechhängen sich in Trockenperioden verlangsamen und in Nassperioden beschleunigen. Ja, sie können über Jahre praktisch ruhig sein, um dann in extremen Nassjahren erneut aktiv zu werden.

In stark vereinfachter Form versucht *Abbildung 3* den Mechanismus für den Fall einer oberflächennahen Bodenpartie modellhaft darzustellen (siehe Erläuterungen zu *Abbildung 3*).

In tiefgelegenen Bodenpartien ist der Boden meist dauernd gesättigt, so dass dort keine «negativen» Porenwasserspannungen vorkommen. Trotz dieses Unterschiedes bleibt die Aussage bestehen, dass nämlich durch die Wasseranreicherung (Anstieg des Grundwasserspiegels) die Porenwasserspannungen zunehmen und die Scherfestigkeit und damit die Rutschungsstabilität abnehmen. Es ist möglich, dass sich der Vorgang in grösserer Tiefe zeitlich erstreckt und die Bedeutung der Porenwasserspannung abnimmt.

2. Möglichkeiten zur Beeinflussung des Bodenwassers in Rutschgebieten

Nach erfolgter Rutschung sieht das Gebiet wie in *Abbildung 4* aus. Dieses Rutschgebiet wird wie folgt vernässt respektive mit Wasser gespiesen:

- Regen im eigentlichen Rutschgebiet,
- Oberflächenzufluss und oberflächennaher Zufluss von oberhalb und eventuell seitlich der Rutschung,
- weiter oben infiltriertes Wasser, das unterirdisch als Sickerwasser die Rutschung erreicht,
- eigentliches Grundwasser.

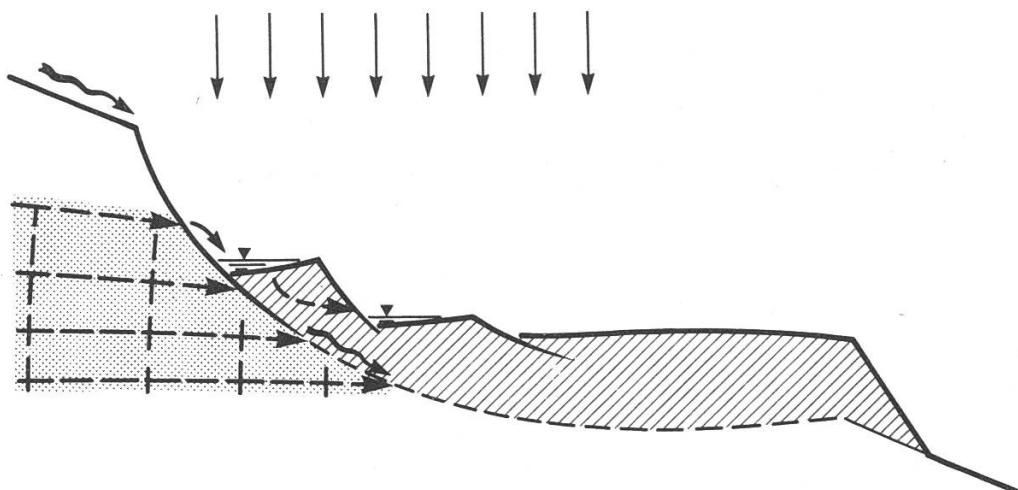


Abbildung 4. Zur Ruhe gekommene Rutschung analog *Abbildung 2* (Rutschung in Nassperiode) mit schematisch eingetragenen Wasserverhältnissen.

All dieses Wasser vernässt den Rutschungskörper und erreicht direkt oder auf Umwegen die Gleitfläche, welche dadurch «bewässert» wird. Dieses viele Wasser hält die Scherfestigkeit niedrig. Welche Möglichkeiten zur Beeinflussung des Bodenwasserhaushaltes stehen zur Verfügung? Es sind dies

- die auf der ersten Seite dargelegten technischen Mittel der Entwässerung,
- die Wirkung der Vegetation, insbesondere des Waldes,
- nur kurzfristig einsetzbare Hilfen, eventuell Sofortmassnahmen, wie Abdecken der Rutschung mit Kunststoffbahnen, Verstopfen der Risse, Egalisieren der Bodenunebenheiten usw.

Zur Vegetation: Sie hält bis zu einem gewissen Grad Wasser und vor allem Schnee zurück (Interzeption). Sie verbraucht zum Teil erhebliche Wassermengen (Transpiration). Bedenkt man, dass zum Beispiel der Wald im Mittelland während der Vegetationsperiode etwa 3 bis 4 mm Wasser pro Tag verbraucht, was aufsummiert über ein Jahr etwa der Hälfte eines mittleren Jahresniederschlages entspricht, so resultiert daraus ein ganz erheblicher Wasserentzug. Ja, man hat aus dieser Sicht das grösste Interesse, im und um das Rutschgebiet eine möglichst leistungsfähige Bestockung zu erhalten oder neu zu schaffen. Das Kahlschlagen von Rutschflächen ist deshalb nur zu oft eine fragwürdige Massnahme und kann eine durchaus negative Wirkung auf die Rutschung haben. Es ist in diesem Zusammenhange sorgfältig zu prüfen, ob die durch die Wegnahme der Bäume entstandene Gewichtsverminderung nicht gegen eine wesentliche Verschlechterung des Bodenwasserhaushaltes eingetauscht wird.

Leider wirkt die Vegetation praktisch nur während der Vegetationsperiode, also je nach Standort (Höhenlage, Exposition usw.) vom Frühling bis Herbst. Dies sind nördlich der Alpen auf 500 m ü.M. etwa 7 bis 8 Monate, auf 1000 m ü.M. etwa 6 bis 7 Monate und auf 2000 m ü.M. etwa 4 bis 5 Monate. Dies heisst, je höher gelegen der Standort ist, umso kürzer, ja eventuell verschwindend klein wird der Wasserentzug sein. Die Frühjahrschneeschmelze und die Regen, die ausserhalb dieser Periode fallen, werden deshalb nicht oder doch kaum beeinflusst. Ausserdem wird der Wasseranfall infolge Starkregens in der Vegetationsperiode wohl etwas reduziert und mit der Zeit zum Teil abgebaut, doch fliesst das Überschusswasser in irgendeiner Form ins Rutschgebiet. Mit Hilfe der Entwässerungen gilt es, diese Zuflüsse abzuleiten.

Grundsätzlich sollte das einmal an die Oberfläche getretene Wasser nicht wieder versickern. Die Entwässerungen haben deshalb die Aufgabe, nicht nur die Tümpelbildung in Mulden, Senken und «Nackentälchen» zu verhindern und das Hangwasser abzuleiten, sondern auch das an die Rutschungs-oberfläche austretende Wasser aufzufangen. Ausserdem haben sie die Gleitfläche zu entwässern. Dies ist allerdings nur dann mit einfachen Mitteln möglich, wenn die Gleitfläche auffindbar ist und in erreichbarer Tiefe liegt.

Oft befindet sich diese Gleitfläche viele Meter tief und ist ohne grossen Aufwand nicht zu erreichen. Dies ist eine höchst unerwünschte Situation, weil eine Grundregel aussagt, dass die Entwässerungen bis unter die Gleitfläche reichen sollen. Diese Forderung ist im forstlichen Bereich nur zu oft aus Kosten- oder technischen Gründen nicht realisierbar. Sehr häufig ist dieses nicht Erreichen der Gleitfläche eine der Ursachen, warum eine Rutschungs-sanierung nur einen Teilerfolg zeitigt oder gar misslingt.

3. Planung von Rutschungsentwässerungen

Aus der Sicht der Sanierungsplanung können zwei Fälle unterschieden werden, nämlich:

- eine bereits abgerutschte, meist örtlich begrenzte Rutschfläche ist zu entwässern,
- ein Kriech- und Rutschgebiet, oft erheblicher Ausdehnung, ist zu sanieren.

Im ersten Falle ist mit Sofortmassnahmen zu versuchen, eine rasch mögliche Beruhigung der Bodenbewegungen zu erzielen. Man will damit die unmittelbaren Gefahren reduzieren und/oder das Schadenausmass in Grenzen halten. In einer späteren Phase, nach erfolgter Beruhigung der Rutschbewegungen, werden dann die definitiven Entwässerungen eingebaut.

Im zweiten Falle ist ein seit langer Zeit in Bewegung befindliches Kriechgebiet unter Kontrolle zu bringen. Das heisst, man versucht die Bodenbewegungen zu reduzieren, ja zu beruhigen, um ein weiteres Ausdehnen des Kriechgebietes zu vermeiden. Der Prozess der Beruhigung nimmt meist viele Jahre in Anspruch. Ein sofortiger Erfolg ist nicht zu erwarten, sehr häufig wird auch nur ein Teilerfolg erreicht.

Während man bei *kleinen* zu entwässernden Gebieten in der Regel an Ort und Stelle die Anordnung und Art der Entwässerungsgräben festlegt und diese in das nächstgelegene Gewässer einleitet, erfordern demgegenüber *mittlgrosse bis grosse* Entwässerungsgebiete von einigen bis vielen Hektaren Ausdehnung eine sorgfältige Planung. Insbesondere bei grossen Rutsch- und Kriechgebieten kommt man nicht ohne Rutschungskartierung (Angabe von Rutschungsmerkmalen, Rutschungsmechanismus, Hauptbewegungsrichtungen, Grösse der Bewegungsgeschwindigkeiten, Gewässernetz, ver-nässte und trockene Gebiete usw.) aus. Ebenfalls ist eine gute geologische Karte zu konsultieren. Weiter sind die hydrologischen Verhältnisse zu studieren (Niederschläge, Frühjahresschneeschmelze, Niederschlag-Abfluss, Herkunft des Wassers usw.). Auch sind die Zielsetzungen der Entwässerungen (Wünsche des Bauherrn) eindeutig zu formulieren. Sind diese Vorbe-

reitungen getroffen, so legt man als Resultat dieser Vorstudien das grundsätzliche Vorgehen in Form eines Sanierungskonzeptes fest. Anschliessend beginnt die Detailprojektierung.

Das Sanierungskonzept enthält die Zielsetzung, Angaben über die Haupt- und Nebenentwässerungsgebiete, die Dringlichkeit und Reihenfolge der Arbeiten (Zeitplan), die Linienführung der Hauptgräben und deren Einmündung in den Vorfluter sowie eine generelle Angabe über Bauzeit und Baukosten. Es enthält weiter Hinweise für begleitende Massnahmen, wie zusätzliche Sicherung von Vorflutbächen gegen Erosion (durch Entwässerung verstärkter Abfluss), die Erschliessung, die zukünftige Waldbehandlung, eventuell Wald-Weide-Ausscheidung usw. Sehr häufig ist dieses Entwässerungskonzept Bestandteil einer Gesamtsanierung eines Bacheinzugsgebietes oder, seltener, Bestandteil einer Regionalplanung.

Nachdem das Konzept vorliegt, erarbeitet man das eigentliche Entwässerungsprojekt. Darin sind die Abmessungen von Haupt- und Nebengräben sowie allfällige Spezialbauwerke festzulegen (Durchlässe, Energievernichter, Grabenzusammenführungen, Steilstrecken, Kurvenstrecken, Uferschutzkonstruktionen, Einmündungsbauwerke in den Vorfluter usw.). Diese Abmessungen sind zum Beispiel von der Grösse der zu bewältigenden Abflüsse, dem Gelände, den bodenmechanischen Eigenschaften und der Vegetation abhängig. Sie sind nach hydraulischen und bodenmechanischen Gesichtspunkten festzulegen, nötigenfalls zu berechnen. (In [1] werden die erforderlichen Projektierungshilfen vermittelt.)

Wie aus diesen Ausführungen hervorgeht, kann die Projektierung einer Rutschungsentwässerung eine sehr anforderungsreiche Aufgabe sein. Als Grundlage aller Projekte ist die Kenntnis der Rutschungsursachen und des Rutschungsvorganges erforderlich. Ohne diese Kenntnisse ist das Risiko eines Sanierungsmisserfolges gross, ja zu gross.

4. Hydraulische und bodenmechanische Probleme

Es scheint die einfachste Sache zu sein, Entwässerungsgräben in ein Rutschgebiet einzubauen. Es besteht die weitverbreitete Vorstellung, dass die Abflussmengen meistens klein seien, die Geschiebeführung vernachlässigbar klein sei und häufig ohne Känel auszukommen sei. Diese Vorstellungen müssen aufgrund der letzten sehr gewitterreichen Jahre revidiert werden. Wie sich zeigte, ist der Bau von Entwässerungsgräben, und nicht nur deren zweckmässigste Anordnung zur Erzielung einer möglichst guten Entwässerungswirkung, eine anspruchsvolle Aufgabe. Es geht unter anderem um folgende Probleme:

- Entwässerungsgräben müssen, um zu «überleben», Hochwasser aufnehmen können. Analog zum Bachverbau sind zumindest die Hauptgräben auf ein Dimensionierungs-Hochwasser (DHQ) zu bemessen.
- Weil die Gräben meist steil sind, entstehen schnellfliessende Abflüsse (schiessender Abflussbereich).
- Bei schiessendem Abfluss ergeben sich wegen der grossen Fliessgeschwindigkeiten hydraulische Probleme (Rollwellen, Stosswellen, Wellen infolge Richtungsänderungen, infolge Querschnittsveränderungen, dann auch Schwallwellen sowie starke Luftaufnahme). Der Durchflussquerschnitt muss deshalb wesentlich grösser gewählt werden, als dem Reinwasser-Normalabfluss entspräche. Die Kurvenaussenseiten sind zu überhöhen, eventuell zu verstärken und zu schützen.
- Die hydraulische Beanspruchung von Gerinnesohle und -böschung ist gross. Dies verlangt als Schutz vor Erosion (und als Schutz vor Versickerungen) den Einbau von Känneln. Sehr oft können aus wirtschaftlichen Gründen die Kännel nicht beliebig gross gewählt werden, so dass bei extremen Hochwasser-Abflüssen die über dem Kännelrand befindliche Naturböschung erreicht wird. Diese ist aber gegen Erosion viel weniger widerstandsfähig als der Kännel. Wohl mildert die Vegetation die Erosionsgefahr, dennoch brechen besonders Schwachstellen nur zu oft aus, was den Beginn der Grabenzerstörung bedeutet. Es sind deshalb gegebenenfalls entsprechende Schutzvorkehrungen zu treffen.
- Die Grabenböschungen werden aus Kostengründen (möglichst kleiner Aushub) meist steil ausgebildet. Da es sich mehrheitlich um bindige Böden (Lehme) handelt, halten solche Böschungen zu Beginn recht gut. Verwitterung, häufig aber auch Abnahme der Kohäsion und hydraulische Beanspruchung bei Hochwasser verlangen jedoch verhältnismässig flache Böschungen. Diese können mit Hilfe der Vegetation nur begrenzt «übersteil» ausgeführt werden («Lebendverbau»). Sehr häufig ist es deshalb notwendig, die Rutschungsstabilität von Böschungen zu untersuchen, insbesondere die hangseitige Böschung, die eventuell starker Sikkerströmung aus dem Hange ausgesetzt ist.
- Das Rutsch- und Kriechgebiet bewegt sich. Es verändert sich je nach Ort und Zeit. Der Boden dehnt sich, wird zusammengedrückt, hebt oder senkt sich. Entwässerungen und deren Kännel haben diese Bewegungen mitzumachen. Sie haben so konstruiert zu sein, dass sie sich auseinanderziehen oder zusammenstossen lassen, dass sie Hebungen und Senkungen überstehen, ohne sich aus dem Verband zu lösen, ohne sich zu verdrehen und, als Wichtigstes, ohne Wasser zu verlieren. Leider sind solche Forderungen nur begrenzt erfüllbar, besonders dann, wenn es sich um grosse Bewegungen handelt.
- Die Gräben haben leicht kontrollierbar zu sein. Die Unterhaltsarbeiten

sollen ohne grossen Aufwand ausgeführt werden können, dies insbesondere in stark bewegtem Gelände. Diesem Unterhalt kommt übrigens grösste Bedeutung zu.

Diese Hinweise zeigen, dass Projektierung und Bau von Rutschungsentwässerungen tatsächlich anspruchsvolle Aufgaben sind.

5. Detailprojektierung und Bauausführung

Offene oder verrohrte Entwässerungen?

In bewegtem Gelände, das heisst in eigentlichen Rutschungen und in Kriechgebieten, die durch ständige oder auch nur hin und wieder auftretende Bodenbewegungen charakterisiert sind, sollten nur offene Gräben verwendet werden. Einschränkungen zu dieser Forderung sind:

- sehr tief liegende Entwässerungen, die als offene Entwässerung einen nicht bewältigbaren Aushub ergäben,
- Hangtraversen, welche, als offene Gräben ausgeführt, zusätzliche Rutschungen verursachen würden, oder der Einbau von bergseitigen Stützwerken, welcher nicht zu verantworten ist,
- Landbewirtschaftung, wie starke Einschränkung der maschinellen Bewirtschaftung oder der Beweidung (die Holzernte ist dagegen in der Regel kein Grund),
- das Ableiten von Entwässerungswasser durch äusserst steiles Gelände.

Insbesondere in steilem Gelände ist speziell darauf hinzuweisen, dass auch Rohrleitungen ihre hydraulischen Probleme haben, die zu bewältigen sind (grosse Fliessgeschwindigkeiten, starke Lufteinmischung, bei grossem Füllungsgrad der Leitung, Pulsationen, grosse hydraulische Kräfte, Energievernichtung usw. [2]. Ausserdem ist ihr Schluckvermögen eng begrenzt. Die Gestaltung des Überganges von offener zur geschlossenen Entwässerung stellt konstruktive und betriebliche Probleme. Allfällige Bodenbewegungen führen sehr rasch zu Schwierigkeiten, denn die Schäden sind nur schwer zu erkennen, schwer zu lokalisieren und die Reparaturen sind teuer (Öffnen eines Grabenstückes).

Welche Linienführung der Hauptgräben ist zu wählen?

Das Wasser soll auf kürzestem Wege in den Vorfluter abgeleitet werden. Meist wird der Hauptgraben zentral zu den Nassstellen angeordnet, damit die Gesamtlänge der Nebengräben möglichst klein wird. Um die Dauerhaftigkeit sicherzustellen, ist der Graben durch möglichst standfestes Gebiet zu

führen. Das Grabenprofil sollte nicht allzu steil sein, weshalb man möglichst den flacheren Geländeteile folgt. Die Linienführung ist «gestreckt» zu halten und geschmeidig ins Gelände einzufügen. Scharfe Richtungs- und Gefällsänderungen sind aus hydraulischen Gründen unerwünscht [1]. Sehr steile Strecken sollten möglichst gerade durchfahren und die Kurven in flachere Strecken verlegt werden. Andererseits sollten Flachstrecken keinesfalls 5 % Gefälle unterschreiten, da sonst ein Fliesswechsel (Wassersprung) entstehen könnte, sich leicht Geschiebe ablagert und die Selbstreinigung der Kämmel ungenügend wird. Weiter ist je nach Kämmeltyp an den Kämmelstössen mit erhöhten Leckverlusten zu rechnen, und im Falle von Bodenbewegungen, Setzungen usw. kann sich unter Umständen das Grabenprofil derart reduzieren, dass ein «Negativgefälle» entsteht. Leider kann dem Wunsche, sich mit dem Hauptgraben dem Gelände voll anzupassen, aus hydraulischen Gründen nicht immer nachgelebt werden [1].

Welche Kämmeltypen sind zu wählen?

Der Einbau von Kämmeln ist heute bei Rutschungsentwässerungen meist die Regel. Auf dem Markt werden die verschiedensten Typen angeboten, solche aus verzinktem Blech, Aluminium, Kunststoff oder vorfabriziertem Beton. Selbsthergestellte Holzkämmel werden sehr oft vorgezogen. Welcher Materialart der Vorzug zu geben ist, hängt von den Anforderungen, den bau-technischen Möglichkeiten, den Kosten usw. und nicht zuletzt von den persönlichen Vorstellungen und Erfahrungen des Projektverfassers ab. Im forstlichen Bereich werden oft Holzkämmel eingebaut. Gründe hiefür können sein: Material aus den eigenen Waldungen, leichte Bearbeitbarkeit, gibt Winterarbeit für die Herstellung, leicht reparierbar, gute Eigenfestigkeit. Dagegen spricht eigentlich nur die beschränkte Lebensdauer. Holzkämmel werden für kleine bis mittelgrosse Gräben verwendet. Für grosse Gräben, das heisst Gräben, die einen grossen Durchflussquerschnitt aufweisen, reichen Holzkämmel meist nicht aus, ausserdem vermorschen die wenig häufig benetzten Kämmelwände rasch. Man hat deshalb einen anderen Kämmeltyp zu wählen. Falls grosse Kämmel zum Einsatz kommen sollen, kann zum Beispiel der Wellblechkämmel eingesetzt werden. Er wird in einem weiten Abmessungsbe-reich geliefert, eignet sich für steile, jedoch weniger für flache Gerinne und hat oft eine angemessene Lebensdauer. Falls keine Versinterung eintritt, wird die Verzinkung mit der Zeit durch das Geschiebe durchgerieben, worauf das Durchrostzen beginnt. Es empfiehlt sich, die Kämmelstössen speziell abzudichten. Als Nachteile können gelten: landschaftlich häufig störend, nicht immer leicht im Gelände einpassbar, benötigt spezielle Dehnungsele-mente, erzeugt Spritzwasser und starke Luftaufnahme, der Unterhalt ist schwieriger als bei Holz, ersetzte Elemente sollten abtransportiert werden.

Für Seitengräben eignen sich auch Aluminium- oder Kunststoffkänel. Sie sind glatt, weisen gute Selbstreinigung auf, haben geringes Gewicht, vertragen aber Bodenbewegungen und insbesondere Seitendrücke und damit auch Holzerntearbeiten eher schlecht. Auch ist das Problem des Auseinanderziehens oder Zusammenschiebens nur teilweise gelöst.

Vorfabrizierte Betonkänel, zum Beispiel Rohrhalbschalen oder Trapezprofile, werden oft im Zusammenhang mit Strassenbauten verwendet. Sie sind geeignet für einigermassen standfesten Boden, sind schwer und verlangen in Steilgelände eine spezielle Fundation. Rohrhalbschalen erlauben nur ein minimales Überlappen bei den Känelstössen und sind deshalb für Rutschungsentwässerungen wenig geeignet. Die Trapezkänel, sogenannte «Bachschalen», sind dagegen im Gelände leicht einzufügen und ertragen begrenzt auch Bodenverformungen. Wegen der vielen Känelstösse, das heisst der dadurch verursachten vielen Kleinabstürze, ist der Abfluss unruhig, mit viel Gischt und starker Luftaufnahme. Das Fassungsvermögen dieser Schalen ist deshalb verhältnismässig klein. Die Känel sind so steif, dass sie erhebliche Hangdrücke aufnehmen können. Falls Feststoffe transportiert werden, können im Laufe der Jahre Abriebschäden entstehen, ebenso ist hin und wieder eine gewisse Empfindlichkeit gegen Frost und Temperaturspannungen festzustellen. Wegen des grossen Gewichts der Känelelemente (meist über 100 kg), kommt über weitere Transportstrecken meist nur ein Transportmittel in Frage. Der Unterhalt hält sich in normalem Rahmen. Eigentliche Entwässerungsschalen, welche wegen ihrer Form und Grösse an Ort und Stelle betoniert werden, sind dagegen seltener im Einsatz, kommen aber als Ersatz für einen Vorfluter in Frage. Die Baukosten sind gross.

Insbesondere bei breiten und steilen Entwässerungskäneln ergeben sich Probleme für das Wild. Solche Entwässerungen vermag es nicht mehr zu queren. Man behilft sich in derartigen Fällen mit sogenannten «Wildbrücken».

Ist flächenhaft oder selektiv zu entwässern?

Rutschungsentwässerungen werden ihrer Aufgabe entsprechend meist als selektive Entwässerung ausgeführt. Das heisst, man zapft individuelle Wasseraustritte und einzelne Nassstellen an und zieht Einzelgräben, die dem Auffangen von Oberflächen- und Sickerwasser dienen. Im Gegensatz dazu ist die forstliche Meliorationsentwässerung sehr häufig eine Flächenentwässerung mit sehr nahe beieinanderliegenden Gräben. Oft haben diese Grabensysteme Fischgratform. Wie früher erwähnt, ist es durchaus möglich, dass beide Entwässerungsarten kombiniert eingesetzt werden. Dies kann zum Beispiel der Fall sein, wenn eine grosse, stark vernässte Fläche zu entwässern ist, welche im Zusammenhang mit einer Rutschung steht. Ist diese

Fläche zu bestocken, um zum Beispiel zusätzlich eine gute Evapotranspirationsleistung zu erzielen, kann eine derartige Flächenentwässerung angezeigt sein (Abbildung 5).

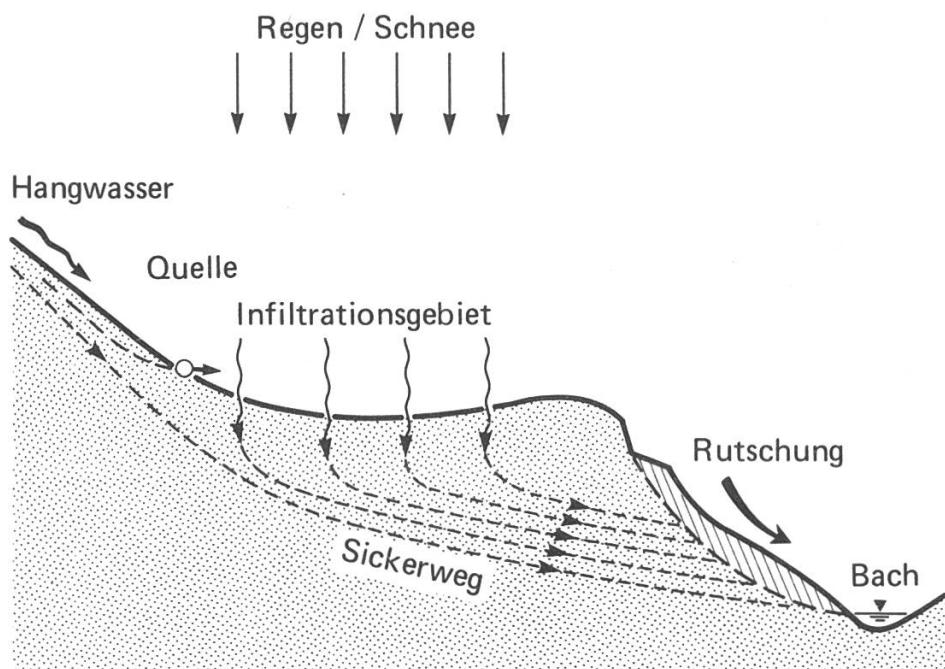


Abbildung 5. Infiltrationen in einer Bodensenke und ihre Folgen für ein Rutschgebiet.

Wie sind die Seitengräben auszubilden?

Die Seitengräben sind die eigentlichen Wasserzubringer. Sie sind meist kurz und passen sich bestens dem Gelände an. Häufig wird ein Kleinkänel (V-Känel) eingebaut. Ihr Schluckvermögen ist beschränkt. Auf genügende Gefälle und ausreichende Selbstreinigung ist zu achten. Die Einmündung in den Hauptgraben ist besonders sorgfältig auszubilden. Die Zuflussrichtung ist spitzwinklig zum Hauptgraben. Der Nebenkänel wird über dem Hauptkänel eingeführt, ragt nicht ins Grabenprofil hinein, und auf der Gegenseite wird ein Böschungsschutz angebracht.

Wie sind die Hauptgräben zu bemessen?

Bis heute bestehen keine Richtlinien, nach welchen Entwässerungsgräben bemessen werden sollten. Es ist deshalb dem einzelnen überlassen, wie er die verschiedenen Bedürfnisse bestmöglich berücksichtigt. Die Schadenerfahrungen der letzten Jahre haben jedoch gezeigt, dass gewisse Regeln berücksichtigt werden sollten. Es sind dies:

- Dimensionierungs-Hochwasser: Die Hauptgräben sollten auf ein 30jähr-

liches Hochwasser bemessen werden. Je nach der Grösse des Entwässerungsgebietes ist dies das Hochwasser eines 30jährlichen Starkregens einer Dauer von 5 bis 15 Minuten.

- Erosionsfestigkeit: Die Gräben sollten ein 10jährliches Hochwasser schadlos überstehen. In Steilgerinnen sollte deshalb der eingebaute Känel dieses Hochwasser voll schlucken können, ansonst die Ufer erodiert werden. Bei wenig steilen Gräben kann dagegen der Känel kleiner gewählt und den Böschungen eine verstärkte Beanspruchung zugemutet werden.
- Dichtigkeit der Känel: Zur Vermeidung von zu starken Wasserverlusten sollten kleine bis mittlere Hochwasser verlustlos abgeführt werden können. Falls nicht andere Wünsche als nur die Dichtigkeit verlangt werden, empfiehlt es sich, die Dichtigkeit für ein 2, 3jährliches, maximal aber für ein 5jährliches Hochwasser anzustreben.

Auf die hydraulischen Belange, wie Wellen, Luftaufnahme, Kurvenwirkung, die in irgendeiner Form, zum Beispiel in einem Sicherheitszuschlag, zu berücksichtigen sind, wurde bereits früher hingewiesen. In [1] wird gezeigt, wie diese Abmessungen im Detail bestimmt werden können, einschliesslich des jährlichkeitsabhängigen Hochwasserabflusses. Weiter sind dort auch ausführungstechnische Hinweise und Konstruktionsideen angegeben.

6. Schlussbemerkungen

Rutschungen unter Kontrolle zu bringen, Rutschungen zu sanieren, stellen echte Probleme dar. Zwar kennt man einigermassen den Mechanismus einer Hangrutschung und vermag die bodenmechanischen Eigenschaften zu beurteilen. Jedoch ist es oft sehr schwierig, die wirklichen Ursachen, die zur Rutschung führten, zu erkennen, insbesondere dann, wenn es sich um Rutschungen handelt, die nicht auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen sind. Ohne Kenntnis der tatsächlichen Ursachen ist aber eine wirkungsvolle Sanierung kaum möglich. Nur schon der erste Entscheid: muss saniert werden oder nicht, kann recht brisant sein. Die Beantwortung der nächsten Frage nach den zweckmässigsten Sanierungsmassnahmen bleibt nur zu oft eine reine Schätzung! Deshalb ist es notwendig, die Rutschung eingehend zu studieren, zu beobachten und die Zusammenhänge zu klären. Es ist zu überlegen, wo mit Schwergewicht zu entwässern und wie die Anlage bestmöglich zu konzipieren ist. Leider braucht es einige bodenmechanische, hydrologische und hydraulische Zusatzkenntnisse, die zu berücksichtigen sind, um rationell und dauerhaft bauen zu können, und leider brauchen Entwässerungen auch regelmässigen Unterhalt und dauernde Pflege, damit sie funktions-

tüchtig bleiben. Es ist zu hoffen, dass mit Hilfe der EAFV-Publikation «Rutschungsentwässerungen, Hinweise zur Bemessung steiler Entwässerungsgräben» die Entwässerungsprobleme leichter zu lösen sein werden.

Résumé

Drainage des zones de glissement

L'élaboration de projets de drainage de zones de glissement et leur réalisation semblent être très souvent une entreprise simple. Toutefois, une étude plus approfondie montre que de sérieux problèmes peuvent surgir lorsqu'il s'agit de travaux de grande envergure. Nous tentons de présenter la problématique de tels drainages. Il est question, en premier lieu, des types de glissements et de leur mécanique, ainsi que, tout spécialement, de l'importance de l'eau intersticielle pour la résistance au cisaillement et pour la stabilité d'une pente par rapport au glissement. La stabilité d'une pente varie selon les conditions météorologiques. Pour des travaux importants de drainage, une conception d'assainissement est premièrement nécessaire, ensuite de quoi le projet peut être élaboré. Il est spécialement fait mention des problèmes d'hydraulique et de mécanique du sol à résoudre lors du drainage de pentes rapides. Sont ensuite des indications concernant le tracé et les types de fossés et de rigoles d'une part, et le dimensionnement d'autre part, compte tenu de la capacité d'évacuation, de la résistance à l'érosion et de l'étanchéité des rigoles. L'efficacité des drainages dépend non seulement d'une planification et d'une réalisation soignées, mais également d'un entretien périodique judicieusement organisé et bien effectué.

Traduction: *R. Amiet*

Literatur

- [1] Zeller, J. und Trümpler, J. (1984): Rutschungsentwässerungen, Hinweise zur Bemessung steiler Entwässerungsgräben. Birmensdorf, Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen (erscheint demnächst).
- [2] Volkart, P. (1978): Hydraulische Bemessung teilgefüllter Steilleitungen. Gas-Wasser-Abwasser, 58. Jahrg. Nr. 11, S. 658–667.