

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 77 (1959)
Heft: 41

Artikel: Aus der Projektierung für die Kraftwerksgruppe Hinterrhein: Stabilität der Ufer des Stausees Sufers
Autor: Schnitter, Niklaus
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-84334>

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: 03.04.2026

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

nische Verbindung zwischen den einzelnen Antrieben, wobei ersichtlich ist, dass die Drehzahlen durchaus nicht gleich sein müssen, sondern infolge Streckung des Arbeitsgutes mit fortschreitendem Arbeitsprozess zunehmen. Wichtig ist jedoch, dass das Arbeitsgut einen gewissen Streckwiderstand hat. Bei Papier- oder Textilmaschinen, bei denen das Arbeitsgut ebenfalls durch einzelne hintereinander geschaltete Walzen fliesst, ist der Parallelantrieb nicht geeignet, weil sich die Drehzahlen an den Oelmotoren beim Parallelbetrieb nicht zwangsläufig, sondern je nach dem momentanen Widerstand einstellen.

Beim Parallelbetrieb steht für jeden Oelmotor die gesamte Druckdifferenz zwischen Saug- und Druckseite der Pumpe zur Verfügung. Die Fördermenge der Pumpe muss die Summe aller Schluckmengen der einzelnen Oelmotoren decken:

$$V_1 n_1 = \sum V_{2i} n_{2i} \quad p_i = p_D$$

Durch Regulierung an der Pumpe wird die Gesamtleistung aller Einzelantriebe beeinflusst bzw. die Arbeitsgeschwindigkeit gesamthaft erhöht oder herabgesetzt. Die Hubverstellung an den einzelnen Oelmotoren beeinflusst an den betreffenden Antrieben das Drehmoment, während sich die Drehzahl entsprechend der Belastung einstellt.

Eine wichtige Anwendung der Parallelschaltung sind die Netze konstanten Druckes (Bild 13). Bei diesen wird die Pumpe automatisch durch einen Druckregler gesteuert. Dieser verstellt die Fördermenge in Abhängigkeit des Druckes selbständig so lange, bis der Druck, der bei Aenderung der Leistung eines Verbrauchers steigen oder sinken will, wieder den Sollwert erreicht hat. Im Drucknetz herrscht deshalb immer ein konstanter Druck, während sich die Fördermenge dem jeweiligen Verbrauch anpasst. Die Verbraucher werden über Abschaltventile oder Mengenregler an das Drucknetz angeschlossen. Die Mengenregler lassen nur die eingestellte Menge durchfliessen und verhindern ein Durchbrennen der einzelnen Oelmotoren. Innerhalb des Regelbereichs des Mengenreglers lässt sich die Durchflussmenge zum einzelnen Oelmotor und damit die Drehzahl stufenlos einstellen. Das

Schluckvolumen des Oelmotors kann deshalb fest gewählt werden. Anstelle von festen Oelmotoren mit Mengenreglern können aber mit gleichem Erfolg regelbare Oelmotoren ohne Mengenregler vorgesehen werden. Die Regulierung erfolgt dann verlustfrei. Bei dieser Lösung ist es vorteilhaft, wenn jedem Oelmotor eine eigene Ueberdrehzahlsicherung, die automatisch wirkt, zugeordnet ist, um ein mögliches Durchbrennen zu verhüten. Ein typisches Beispiel eines solchen Mehrmotorantriebes mit einem Netz konstanten Druckes sind die Rührwerk- und Zentrifugenantriebe in der chemischen Industrie.

2. Serieschaltung

Diese wird angewendet, wenn zwischen verschiedenen Antrieben feste Drehzahlverhältnisse eingehalten werden müssen. Die Verstellung des Pumpenhubes verändert, immer bei gleichbleibenden Sekundärdrehzahlverhältnissen, die Arbeitsgeschwindigkeit, während durch Verstellen der Sekundärhübe die Drehzahlverhältnisse zwischen den einzelnen Antrieben geändert werden können. Jeder Oelmotor muss dabei die ganze Fördermenge der Pumpe umsetzen, was zur Folge hat, dass die Oelmotoren, ohne Rücksicht auf die abzugebende Leistung, ungefähr gleich gross wie die Pumpe sein müssen. Das Druckgefälle Δp_i in jedem Oelmotor ist proportional zu seiner Leistung. Die Summe aller Druckabfälle Δp_i soll dabei die gesamte zulässige Druckdifferenz zwischen Saug- und Druckseite der Pumpe nicht überschreiten.

Beim Serienantrieb bewirkt eine Schluckvolumenänderung eine Drehzahländerung, während sich das Drehmoment nach der momentanen Belastung einstellt, also einen grösseren oder kleineren Druckabfall hervorruft. Beim Parallelantrieb bewirkt die Schluckvolumenänderung eine Aenderung des Drehmomentes, während sich die Drehzahl nach der momentanen Belastung einstellt, also eine grössere oder kleinere Schluckmenge benötigt. Sanftes Anfahren kann, mit sämtlichen Oelmotoren gleichzeitig, vom Stillstand aus erfolgen. Anwendungsbeispiele für Serienschaltungen sind Druckmaschinen sowie Papier-, Cellophan- und Textilmaschinen. (Schluss folgt)

Aus der Projektierung für die Kraftwerkgruppe Hinterrhein

DK 621.29.002.1
Fortsetzung von S. 546

Motor-Columbus A. G., Baden

Stabilität der Ufer des Stausees Sufers

Von Niklaus Schnitter, dipl. Ing. ETH

1. Einleitung

Das Talbecken von Sufers ist charakterisiert durch die seinen nördlichen Abhängen vorgelagerte Hochterrasse, auf welcher auch das Dorf Sufers liegt (Bild 1). Bei dieser Hochterrasse handelt es sich um Wildbachschuttkegel, deren vordere Fronten durch den einst erodierenden Hinterrhein steil angeschnitten wurden. Die Anrissflächen weisen bis zu 80 % Gefälle auf, und ihr oberer Rand erhebt sich bis zu 40 m über die Talsohle. Dies ist auch die Höhe, bis zu welcher der Stau des Speichers Sufers reichen wird, welcher als Ausgleichbecken zwischen den Kraftwerkstufen Valle di Lei-Ferrera und Sufers-Bärenburg wirkt und einen Nutzinhalt von 18 Mio m³ aufweist.

Die hohe Ausbauwassermenge der Kraftwerkstufe Sufers-Bärenburg von 80 m³/s wird nun eine relativ rasche Stauspiegelabsenkung erlauben, ein Umstand, der durch das im Hinblick auf eine vorsorgliche Entleerung im Kriegsfall hohe Schluckvermögen des Grundablasses (250 m³/s bei Maximalstau) noch verschärft wird. Dadurch rücken Ufer-rutschungen an den ungewöhnlich steil abfallenden Schotterterrassen in den Bereich der Möglichkeiten. Im vorliegenden Falle dürfen solche Störungen, abgesehen von landschaftsschützlerischen Gründen, keinesfalls vorkommen, weil die aus dem Talboden verlegte Kantonsstrasse (St. Bernhardin-Route) relativ nah an den Terrassenrändern entlang

führt. Ferner besteht ein grosses Interesse an der Erhaltung des landwirtschaftlich nutzbaren Bodens, dessen Fläche schon durch die Einstauung des Talbodens geschmälert wird.

Nachdem die geologischen Experten, Prof. Dr. R. Staub [1] und E. Weber, sowie früher auch Prof. J. Cadisch, eine Rutschgefahr verneint hatten, erschien es angesichts der Folgeschwere des Problems im vorliegenden Fall gegeben, zu versuchen, diesen günstigen Schluss auch auf Grund erdbautechnischer Untersuchungen zu erhärten. Die dabei vorgenommenen und nachstehend kurz umschriebenen Sondierungen, Feld- und Modellversuche, sowie Berechnungen dürften allgemein interessieren.

2. Grundsätzliches und Erfahrungsbeispiele

Die grundlegende Darstellung der an Stauseen am meisten zu befürchtenden Rutschart gibt Prof. K. Terzaghi in seiner umfassenden Schrift «Mechanism of Landslides» [2]. In Frage kommt primär die auch für wasserseitige Böschungen von Erddämmen massgebende Instabilität infolge einer raschen Stauabsenkung. Unter einem länger anhaltenden Stau wird das Material in einer Böschung gesättigt und infolge des Auftriebes leichter, wodurch sich die einem Absturz entgegenwirkenden Reibungskräfte den möglichen Gleitflächen entlang vermindern. Bei einer Stauabsenkung entwässert sich die Böschung je nach Durchlässigkeit und Porosität des Materials wohl wieder mehr oder weniger rasch, doch wird ihr gleichzeitig der stützende Gegendruck des Stauwassers entzogen. Erfolgt das Sinken des Stauspiegels

verhältnismässig rascher als die Entwässerung des Hanges, so kann es bei zu steiler Böschungsneigung oder ungenügender Scherfestigkeit des Materials zum Einsturz kommen. Durch diese Erscheinung sind Böschungen gefährdet, welche sonst, sei es im trockenen Zustand oder wie bei natürlichen Seen unter Vollstau, absolut standicher sind.

Uferrutschungen an Seen und Meeren sind eine relativ häufige Erscheinung und wurden auch wiederholt genau untersucht und beschrieben [3]. Etwas seltener behandelt wurden gut ausgeprägte Rutsche infolge rascher Wasserspiegelabsenkungen. In der Schweiz bekannt und in der Fachpresse eingehender dargestellt sind diejenigen am Lungernsee, Ritomsee und Davosersee. Deren wichtigste Merkmale können wie folgt kurz zusammengefasst werden:

Lungernsee. Zur Gewinnung von Kulturland wurde der Lungernsee mittels eines 1790 in Angriff genommenen Stollens im Januar 1836 angestochen und um 40 m abgesenkt. Die Spiegelabsenkung erfolgte relativ rasch mit durchschnittlich 10^{-3} cm/s (0,9 m/Tag). In der Folge rutschte die steil ins Seebecken abfallende Stirnpartie des Eibachschuttkegels ab. Der Abriss erfolgte etwa 100 m vom Seeufer, doch reichte ein zweiter Riss noch 50 m weiter landeinwärts. Der Rutsch vollzog sich offenbar als Basisbruch [4]. In den 30er-Jahren entnommene Bodenproben aus dem Eibachschuttkegel zeigten [5], dass dieser aus kalkigem Material mit tonig-organischen Beimischungen besteht. Die Porosität wurde zu 44 bis 49 % ermittelt, die Durchlässigkeitsziffer zu $5 \cdot 10^{-7}$ cm/s.

Ritomsee. Beim Bau des Ritomwerkes der Schweizerischen Bundesbahnen wurde der Ritomsee im Winter 1916/1917 rund 26 m unter dem natürlichen Seespiegel angestochen [6] und abgesenkt. Die Absenkgeschwindigkeit betrug durchschnittlich etwa $6 \cdot 10^{-4}$ cm/s (0,5 m/Tag). In der Folge traten an verschiedenen der stirnseitig 30 bis 40 % geneigten tonig-sandigen Bachschuttkegel entlang den Seeufern lokale Rutsche auf [7]. Trotzdem diese Erscheinungen zu einer eingehenden Diskussion in der Fachpresse



Bild 1. Das Talbecken von Sufers mit den charakteristischen Hochterrassen entlang welchen die neue Kantonsstrasse verläuft. Die alte Strasse ist im Vordergrund sichtbar.

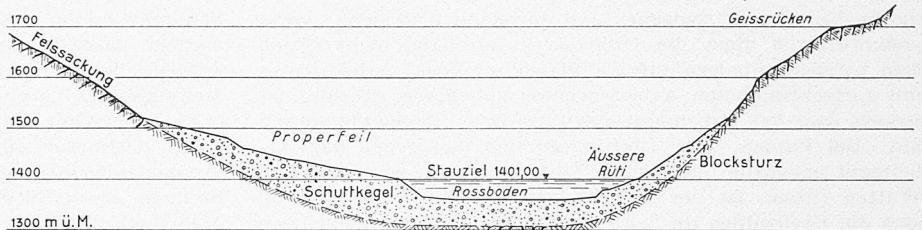


Bild 2. Querprofil Nord-Süd durch das Talbecken von Sufers bei der sog. Aeusseren Rütli; Masstab 1:15 000

führten [8], scheinen nähere konkrete Angaben, namentlich auch in erdbaumechanischer Hinsicht, leider zu fehlen.

Davosersee. Zum Bau der Wasserfassung des Kraftwerkes Davos-Klosters der AG. Bündner Kraftwerke wurde im Winter 1922/23 der Davosersee ausgepumpt. Die Absenkgeschwindigkeit betrug durchschnittlich 10^{-4} cm/s (0,1 m/Tag). Schon nach einer Spiegelsenkung von rund 11 m, d. h. einem Drittel der vorgesehenen 34 m, ereignete sich im Tottalpbachdelta ein umfangreicher Uferrutsch [9]. Der Abriss lag rund 90 m landeinwärts des mit etwa 60 % abfallenden Seeufers. Der Rutsch erfolgte als Basisbruch, und die in Bewegung geratene Masse wurde auf 900 000 m³ geschätzt. Materialmässig handelt es sich um feinen bis schluffigen Serpentin sand, dessen Porosität zu etwa 33 % bestimmt wurde. Scherversuche ergaben eine scheinbare Kohäsion von 0,3 kg/cm² und einen Reibungsbeiwert $\tan \phi$ von 0,60 bis 0,75.

Ferner sind Uferrutschungen infolge Staubetrieb auch vom Poschiavosee [10], welcher seit 1906 durch die Kraftwerke Brusio AG. ausgenutzt wird, dem 1920 in Betrieb genommenen Stausee Broc der Entreprises Electriques Fribourgeoises [11], sowie dem 1924 erstmals eingestauten Speicher Innertal der AG. Kraftwerk Wäggitel bekannt.

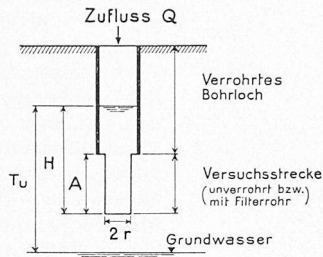
3. Sondierungen und Feldversuche

Bild 2 gibt einen Gesamtquerschnitt durch das Talbecken von Sufers im Bereich, wo die rutschgefährdete Hochterrasse am höchsten und steilsten ist. Gesamthaft gesehen zeigt sich das typische Bild eines tiefen, nachträglich wieder teilweise aufgefüllten Gletschertroges. Die Auffüllung besteht überwiegend aus Flussgeschiebe (GW-GP und ML) [12] mit einer relativ nur dünnen Grundmoränenschicht unmittelbar an der Trogsohle. Darüber schieben sich linksufrig die hier interessierenden Schuttkegel der Seitenbäche. Bei den beidseitigen felsigen Talflanken handelt es sich, zumindest im dargestellten Profil, ihrerseits bereits um bekannte Rutsch- und Sackungszonen [13], linksufrig des Sufner Dorfwaldes und der Südwestflanke des Piz Caschleras, rechtsufrig des Geissrückens.

Die Trogsohle wurde bereits früher, anlässlich der Prüfung der Beckendichtigkeit in Hinblick auf den zu erstellenden Stausee, durch zwei Tiefbohrungen erschlossen. Demnach weist die allu-

Die Trogsohle wurde bereits früher, anlässlich der Prüfung der Beckendichtigkeit in Hinblick auf den zu erstellenden Stausee, durch zwei Tiefbohrungen erschlossen. Demnach weist die allu-

Versuchsanordnung

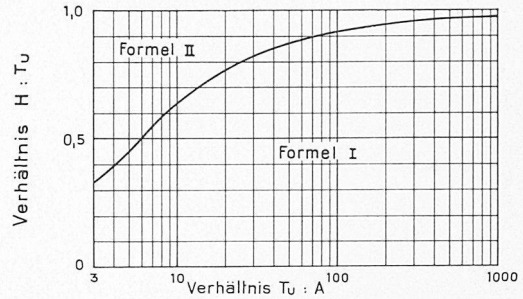


Formeln

$$(I) \quad k = \frac{Q}{C_u \cdot r \cdot H}$$

$$(II) \quad k = \frac{2Q}{(C_s + 4) r (T_u + H - A)}$$

Anwendungsbereiche der Formeln



Koeffizienten

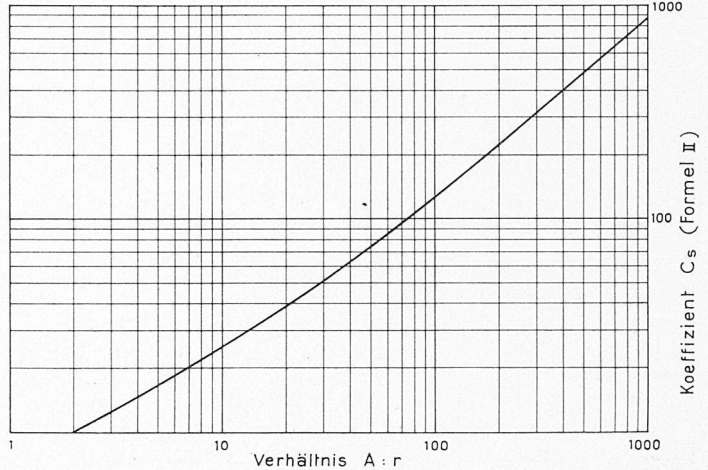
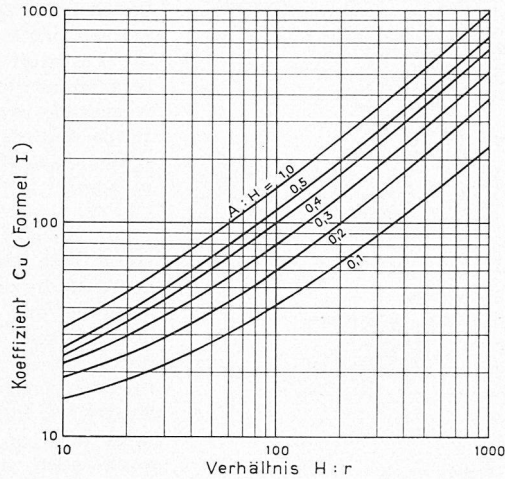


Bild 3. Diagramme zur Auswertung von Infiltrationsversuchen in Bohrlöchern über dem Grundwasserspiegel (Methode des Bureau of Reclamation, Denver). Bei verrohrter Versuchsstrecke Radius r entsprechend Verhältnis von effektiver Austrittsfläche zu Mantelfläche reduzieren.

viale Beckenfüllung eine Mächtigkeit von 44 bzw. 59 m auf. Einfache Wasserabsenkversuche in den verrohrten Bohrlöchern ergaben Durchlässigkeitsziffern von 10^{-2} bis 10^{-3} cm/s. Weitere vier Bohrungen im Zusammenhang mit der Untersuchung der Kiessandgewinnungsmöglichkeiten ergänzten das Bild über die Feinstruktur der obersten Zone der Beckenfüllung.

Mit spezieller Ausrichtung auf die Untersuchung der Böschungsstabilität wurden sodann noch zwei Schlagbohrungen durch die ganze Höhe der Hochterrasse abgeteuft. Hauptzweck derselben war die Bestimmung der Durchlässigkeitsziffern an Ort und Stelle, was etwa alle 10 m geschah. Die meisten Versuche erfolgten gemäss nachstehend beschriebener Methode über dem Grundwasserspiegel. Nach Einbau einer Lehmschlagdichtung im Bohrschuh wurde eine Versuchsstrecke kleineren Durchmessers rd. 2 m über diesen vorgetrieben und unter gleichzeitigem Rohrrückzug mit Filterkies aufgefüllt. Darnach wurde unter Einhaltung eines möglichst geringen Ueberdruckes mehrere Tage lang Wasser in das Bohrloch eingeleitet, bis sich stationäre Abflussverhältnisse einstellten. Die Auswertung der Versuche erfolgte mit den hierfür aufgestellten, in Bild 3 wiedergegebenen Formeln des United States Bureau of Reclamation [14]. Als Ergänzung erfolgten solche Versickerungsversuche auch in 1,0 m tiefen, eine Bodenfläche von 1,5 auf 1,5 m aufweisenden Löchern an der Bodenoberfläche. Diese wurden gemäss der von der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH auf Grund von Modellversuchen entwickelten, in Bild 4 dargestellten Formel [15] ausgewertet und ergaben eine überraschend gute Uebereinstimmung mit den in den Bohrungen gewonnenen Resultaten. Bis auf etwa halbe Terrassenhöhe hinunter zeigten die angetroffenen Kiessande (GP bis GM) Durchlässigkeitsziffern von $2 \div 5 \cdot 10^{-3}$ cm/s. Darunter war ein zunehmendes Dichterwerden des Untergrundes festzustellen, in Uebereinstimmung mit der durch den Bohraufschluss nachgewiesenen Häufung von verkiteten Zwischenlagen in der Tiefe. Diese Verkittung wird durch eine wasserunlösliche Kalkversinterung bewirkt und konnte z. B. in vermindertem Masse auch in der zur zentralen Kies-

sandgewinnung für die Kraftwerke Hinterrhein zugezogenen Schotterterrasse Rung südlich Andeer festgestellt werden. Drei dort entnommene und sorgfältig zu Würfeln von 20 cm Kantenlänge zugeschnittene Proben wiesen eine mittlere Druckfestigkeit von rd. 100 kg/cm² auf.

5. Stabilitätsanalysen

Die rechnerische Ueberprüfung der Stabilität der gefährdeten Böschungen fusste auf der Untersuchung des zweidimensionalen Gleichgewichtszustandes entlang kreisförmig angenommenen Gleitflächen, wobei das Verhältnis der Scherfestigkeit des Materials zu den Schubspannungen als Sicher-

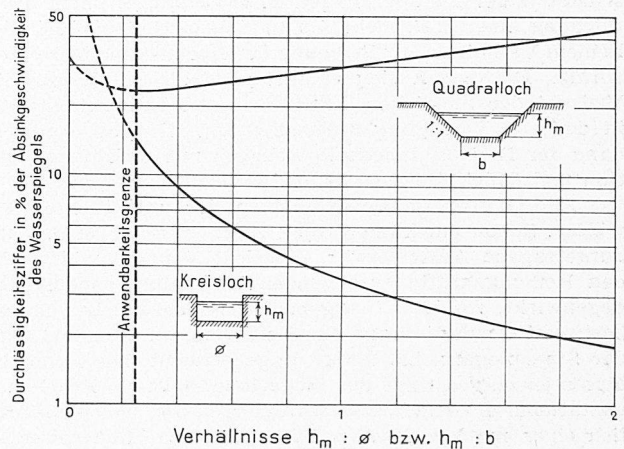


Bild 4. Diagramm zur Auswertung von Absenkversuchen in oberflächlichen Sickerlöchern über dem Grundwasserspiegel. Tiefe des Grundwasserspiegels unter Lochboden mindestens $7 h_m$. Bei Durchführung als Infiltrationsversuch mit konstantem Wasserspiegel ist die Absinkgeschwindigkeit = Wasserzufuhr in cm³/s : Wasserspiegelfläche in cm². (Methode der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH).

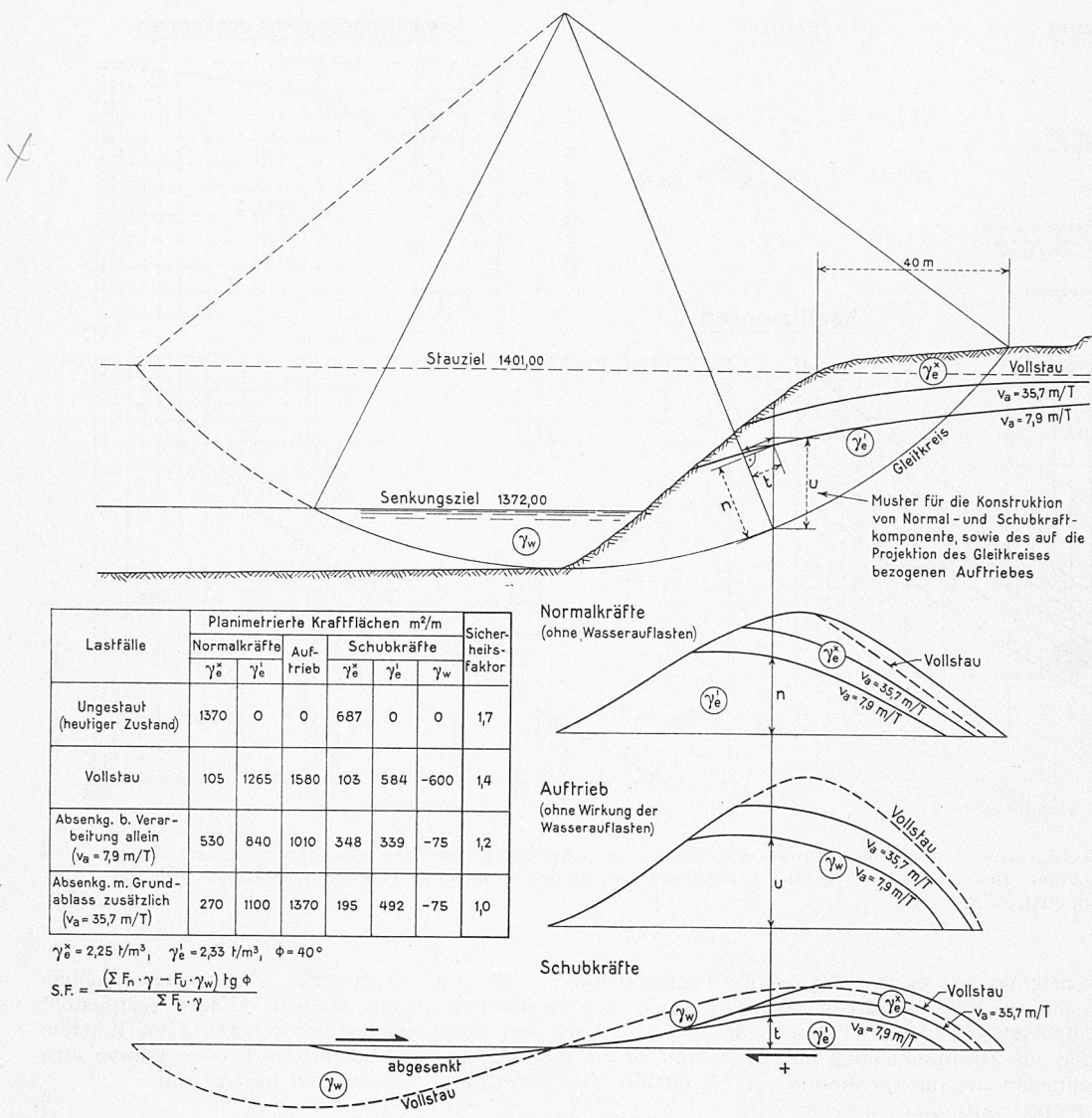


Bild 5. Beispiel einer Stabilitätsanalyse nach der graphischen Methode von D. R. May.

heitsfaktor gegen Abgleiten definiert ist. Die Methode ist zu gut bekannt, als dass sie hier weiter erörtert werden müsste. Zur Anwendung gelangte sie nach dem von D.R. May [16] entwickelten graphischen Verfahren, welches ein sehr speditives, übersichtliches Arbeiten gestattet. Wesentlich erscheint ja bei allen derartigen Untersuchungen nicht die Erreichung einer z. B. mehr als 10 %-igen Genauigkeit, die in keinem Verhältnis zur Streuung der Bodenkennziffern stehen würde. Es handelt sich vielmehr um die Abklärung einer Vielzahl der möglichen Annahmen und Lastkombinationen in der zur Verfügung stehenden Zeit. Daraus ergibt sich dann der Bereich, innerhalb welchem mit Erfahrung, Intuition und Glück die richtige Antwort zu suchen ist.

Bild 5 gibt als Beispiel einen der untersuchten Fälle wieder. Schon ein kurzer Blick zeigt, dass die in der Mitte aufgetragene Auftriebsfläche, welche den die widerstehenden Reibungskräfte erzeugenden Normalkomponenten entgegenwirkt, von ausschlaggebender Bedeutung ist. Sie wird bestimmt durch die Lage der Sickerlinie im Moment, in dem der Stauspiegel seine tiefste Lage erreicht. Die Ermittlung dieser jeweiligen Lage der Sickerlinie stellt ein Problem der unstationären Grundwasserbewegungen dar, welche bekanntlich einer mathematischen Lösung grosse Hindernisse entgegenstellen [17]. Deshalb wurde in Anlehnung an die kürzlich hier beschriebenen Untersuchungen für den Göschenenalp-Damm [18] eine versuchsmässige Abklärung unternommen, ebenfalls an einem Spaltmodell mit Nachbildung der Sickerströmung durch Oel zwischen zwei planparallelen Plexiglasplatten. Die Versuche erfolgten im Auftrage der Kraftwerke Hinterrhein AG. an der Versuchsanstalt für

Wasserbau und Erdbau an der ETH. Der Modellmasstab betrug 1:200, wobei die natürlichen Verhältnisse zweckdienlich schematisiert wurden. In Bild 6 sind die Versuchsergebnisse in allgemein gültiger Form dargestellt. Sie können für alle geometrisch ähnlichen Fälle angewendet werden. Als Parameter treten die Durchlässigkeitsziffern k (cm/s) und die Porosität n des Untergrundes, der sich entwässernde Anteil α der Poren und die Absenkgeschwindigkeit des Staues v_a (cm/s) auf.

Im vorliegenden Falle stellt sich die Absenkgeschwindigkeit, je nachdem, ob die Entleerung des Stausees Sufers nur durch Verarbeitung des Speicherwassers im Kraftwerk Bärenburg erfolgt oder ob zusätzlich auch noch der Grundablass geöffnet wird, auf $9 \cdot 10^{-3}$ bzw. $4 \cdot 10^{-2}$ cm/s ($7,9$ bzw. $35,7$ m/Tag). Die Grösse des natürlichen Zuflusses zum Stausee spielt dabei, abgesehen von ausgesprochenen Hochwasserperioden, eine untergeordnete Rolle, doch wurde selbstverständlich vorausgesetzt, dass das Betriebswasser der Zentrale Ferrera nicht mehr durch den Ueberleitungs-

stellen Ferrera-Sufers, sondern direkt in den Averserrhein geleitet würde. In Uebereinstimmung mit den Feldversuchen wurde die Durchlässigkeitsziffer zu $5 \cdot 10^{-3}$ cm/s gesetzt, während auf Grund ungestörter Probeentnahmen die Porosität des Untergrundes zu 23 % und dessen spezifisches Gewicht zu $2,72 \text{ t/m}^3$ angenommen werden konnte. Der α -Wert wurde auf 60 % geschätzt. Der Parameter $k : (\alpha \cdot n \cdot v_a)$ stellt sich auf 4,0 bzw. 0,9. Die Entwässerungswirkung ist gemäss Bild 6 somit eine schlechte und geringer, als die relativ hohe Durchlässigkeit des Böschungsmaterials gefühlsmässig erwarten liesse. Was sich ungünstig auswirkt, sind einerseits die hohe Absenkgeschwindigkeit und andererseits das verhältnismässig grosse Grundwasserreservoir in den hinter der Böschungsoberkante liegenden Alluvionen.

Grössere Schwierigkeiten als die durch Modellversuche überwundenen theoretischen Unzulänglichkeiten bot die Festlegung der in die Rechnung einzuführenden Scherfestigkeit der teilweise versinterten Terrassenschotter. Vorerst wurde, als schlimmster Fall, von jeglicher Berücksichtigung einer Kohäsion abgesehen und lediglich mit einem Winkel der effektiven inneren Reibung von 40° gerechnet. Unter diesen Verhältnissen wäre eine etwa 40 m landeinwärts eingreifende Gleitfläche gerade im labilen Gleichgewicht, d. h. die in dieser Entfernung dem Böschungsrand folgende neue Kantonsstrasse liegt knapp ausserhalb des unmittelbaren Gefahrenbereichs. Sobald mit Kohäsion gerechnet wird, stellen sich die Verhältnisse günstiger. Verzichtet man nun umgekehrt auf die Berücksichtigung der Reibung, so wäre im vorgenannten Fall eine Kohäsion von etwa $1,4 \text{ kg/cm}^2$ erforderlich, um wiederum gerade eine einfache Sicherheit zu

gewährleisten. Theoretisch könnte aber mit bis zur Hälfte der Würfeldruckfestigkeit der versinterten Schotter gerechnet werden. Der Sicherheitsfaktor wäre in diesem günstigsten Fall dann reichlich.

5. Beurteilung der Resultate

Es mag nun scheinen, als ob die ganze aufwendige Untersuchung lediglich zu einer Verlagerung der Spekulation von der rein oberflächlichen, aus der Erfahrung schöpfenden Beurteilung der Standsicherheit weg ins Innere, den Mechanismus der Scherfestigkeit, geführt habe. Für den Ingenieur bedeutet dies jedoch bereits einen unschätzbaren Gewinn, wird das Problem doch auf Begriffe reduziert, in denen er zu denken gewohnt ist. Und diese Reduktion ist zudem beachtenswert, bleibt doch eine definierte, vor allem nach unten begrenzte Variable. Im vorliegenden Falle wurde das Risiko des Zutreffens der schlimmsten Möglichkeit, d. h. des Fehlens jeglicher Kohäsion, nicht als gross genug erachtet, um vorsorglich korrektive Massnahmen zu rechtfertigen, von denen eine Abflachung der Böschung die sicherste und wirtschaftlichste wäre. Im Hinblick auf die eingangs erwähnte möglichste Erhaltung landwirtschaftlich nutzbaren Bodens ist eine solche auch unerwünscht. Als Sicherung gegen allfällige Zeiteffekte, wie z. B. eine (im Labor allerdings nicht möglich gewesene) Aufweichung der Versinterung durch das in die Böschung eindringende Stauwasser, wird man das Problem jedoch weiterhin durch periodische Messungen und Beobachtungen im Auge behalten müssen.

6. Weitere Untersuchungen

Neben der eben beschriebenen Hochterrasse, welche vor allem östlich des Dorfes Sufers am ausgeprägtesten ist und dort die Aufmerksamkeit zuerst auf sich lenkte, musste auch noch das Gebiet von Gul westlich Sufers analog untersucht werden. Zwar sind in diesem Bereich die Böschungen nicht besonders ausgeprägt, doch zeigte sich, dass sie von einer bis 12 m mächtigen Schicht eines loessartigen, nicht bindigen Schluffes (ML) bedeckt sind. Trotzdem unter ihm wieder die teilweise versinterten Terrassenschotter anstehen, ist dieser Schluff praktisch 100 %ig gesättigt und neigt somit unbesehen seines Winkels der inneren Reibung von 30° sehr stark zur Instabilität. Jede Mehrbelastung wird momentan voll in Auftrieb (Porenwasserdruck) umgesetzt ohne jedwelche Vergrösserung der Scherfestigkeit. Das Material ist ferner wasserundurchlässig (k -Werte um 10^{-6} cm/s) und als hochgradig frostempfindlich bekannt. Da es in solch reiner Form in der Schweiz relativ selten angetroffen wird, diente es als eines der Grundmaterialien für die Frostforschungen an der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau [19].

Literaturverzeichnis

- [1] Zur Gesamtdarstellung der geologischen Verhältnisse bei der Kraftwerkgruppe Hinterrhein siehe: *R. Staub*, zur Geologie der Hinterrheinwerke, «Wasser- und Energiewirtschaft» 1957, Seite 64.
- [2] *K. Terzaghi*, Mechanism of Landslides. Geological Society of America, Engineering Geology (Berkey) Volume, November 1950, Seiten 97 bis 100; siehe auch Sonderdruck in Harvard Soil Mechanics Series No. 36, January 1951.
- [3] Highway Research Board, Landslides and Engineering Practice, Washington D. C. 1958.
- [4] Zum Vollausbau des Lungernsee-Kraftwerkes, «Schweiz. Bauzeitung», Bd. 114 (1939), Seite 243.
- [5] *L. Bendel*, Uferbewegungen und Staubetrieb am Lungernsee. «Schweiz. Bauzeitung», Bd. 114 (1939), Seite 246.
- [6] Der Anstich des Ritomsees. «Schweiz. Bauzeitung», Bd. 69 (1917), Seite 238.
- [7] *L. W. Collet*, *R. Mellet* e *C. Ghezzi*, Il lago Ritom, Mitt. No. 13 des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft, Bern 1918, Seiten 49 bis 51. — *H. Roth*, Rutsch-Erscheinungen beim Absenken des Ritomsees, «Schweiz. Bauzeitung», Bd. 74 (1919), Seite 51.
- [8] *G. Lüscher*, Ueber Rutschungs-Erscheinungen bei Stauseen, «Schweiz. Bauzeitung», Bd. 74 (1919), Seite 181 und Bd. 75 (1920), Seite 129 und 289. — *E. Meyer-Peter*, Ueber die Ursachen von Bodensetzungen bei Grundwasserabsenkungen und von Uferabbrüchen bei der Absenkung von Seespiegeln, «Schweiz. Bauzeitung», Bd. 82 (1923), Seite 147.

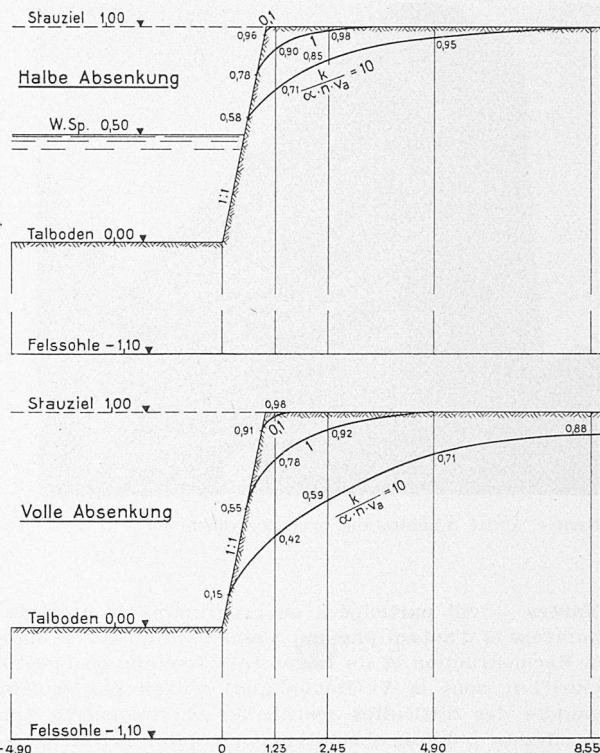


Bild 6. Lage der Sickerlinie in der Böschung nach vollzogener Stauabsenkung in Funktion des Parameters $k : (a \cdot n \cdot v_a)$. Nach Versuchen am Spaltmodell 1:200, Fünffach überhöhte Darstellung.

- [9] *R. Moor*, Der Uferabbruch am Davosersee, «Schweiz. Bauzeitung», Bd. 82 (1923), Seite 55.
- [10] Kurzer Hinweis durch *G. Lüscher*, Einige Erfahrungen über Rutschungserscheinungen bei Stauseen, «Schweiz. Bauzeitung», Bd. 75 (1920), Seite 131.
- [11] Kurzer Hinweis in einer Mitteilung über das Kraftwerk Broc an der Jogne, «Schweiz. Bauzeitung», Bd. 77 (1921), Seite 296.
- [12] Bodenklasse gemäss «Unified Soil Classification System». Siehe z. B. Norm SNV 40 325 der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachmänner.
- [13] *H. Jäckli*, Die Bodenbewegungen im Hinterrhein-Tal und ihre bautechnischen Auswirkungen, «Schweiz. Bauzeitung», 66. Jahrgang (1948), Seite 503.
- [14] United States Bureau of Reclamation, Earth Manual, Denver 1952, page 229.
- [15] Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH, Feldversuche zur Bestimmung der Durchlässigkeit rolliger Böden, Interner Bericht Nr. 143 vom 1. Nov. 1956.
- [16] *D. R. May*, Application of the Planimeter to the Swedish Method of Analyzing the Stability of Earth Slopes, «Transactions 2nd Congress on Large Dams», Washington D. C. 1936, Vol. IV, Seite 540.
- [17] Unser früherer Mitarbeiter *T. Dracos* hat eine solche Lösung nun als Ziel einer in Arbeit befindlichen Dissertation gewählt.
- [18] *G. Schnitter* und *J. Zeller*, Sickerströmungen als Folge von Stauspiegelschwankungen in Erdämmen, «Schweiz. Bauzeitung», 75. Jahrgang (1957), Seite 808.
- [19] *F. Balduzzi*, Experimentelle Untersuchungen über den Bodenfrost, Promotionsarbeit ETH 1959.

La reconstruction des villes françaises détruites pendant la guerre

DK 711.4.004.6

L'œuvre de reconstruction effectuée dans une France dévastée n'a pas besoin d'être mise en relief sous ses aspects techniques. Les meilleurs architectes du pays — Beaudoin à Strasbourg, Zehrfuss à St-Etienne, A. Perret (†) à Amiens et au Havre, sans parler de la contribution de Le Corbusier qui a érigé deux «cités radieuses» à Marseille et à