

Zeitschrift:	Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber:	Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band:	45 (1953)
Heft:	8-9
 Artikel:	Geologische Eigentümlichkeiten der Geschiebeherde des bündnerischen Rheingebietes
Autor:	Jäckli, Heinrich
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-921656

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: 24.01.2026

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

- ten auf, wie geringe Durchlässigkeit und hohen Scherwiderstand.
- Die oberen Schichten im Talboden, auf denen sich der wasserseitige Dammfuß abstützt, sind setzungsgefährlich und können ausgequetscht werden. Sie müssen bis auf die kompakteren Alluvionen ausgehoben werden.
 - Auf dem rechten Hang und in der Mitte des Damms steht der Fels an der Oberfläche oder in geringer Tiefe an, so daß sämtliches Überlegungsmaterial ausgehoben und die Dammschüttung direkt auf den Felsen erfolgen kann.
 - Auf der linken Talseite hingegen taucht der Fels hinunter bis Kote 1582, etwa 33 m unter die Talsohle, steigt gegen den linken Talhang an und verläuft dann wellenförmig zwischen Kote 1614 und Kote 1606 bis zur überhängenden Felswand.
 - Über dem Fels befinden sich teilweise stark durchlässige Alluvionen und Bachschutt, die sich aus Kies, Geröllen und häufig auftretenden Feinsandlinsen zusammensetzen. Darüber liegt eine Moränenzone und weiter stößt man auf die geneigte Trennungslinie mit dem Bergrutschmaterial, wo die Lehmkomponente stark zunimmt und in vermehrtem Maße Blöcke auftreten.

Als bauliche Maßnahme mußte am linken Talhang ein Dichtungsdiaphragma vorgesehen werden. Zur Diskussion standen eine Betonmauer in sogenannter Zellenbauweise oder ein Injektionsschirm. Die Bauherrschaft entschied sich für eine kombinierte Lösung und zwar Betondiaphragma bis auf Kote etwa 1640 und Injektionsschirm oberhalb dieser Kote. Auf diese Weise wird die gesamte Zone unterhalb des Bergrutschmaterials durch das Betondiaphragma gedichtet und nur das eigentliche Bergrutschmaterial mit Injektionen behandelt werden.

Es ist vorgesehen, als Injektionsgut Tongel zu verwenden, das mit einem im gleichen Tale vorhandenen Ton als Rohmaterial aufgebaut wird. Es ist zu erwähnen, daß es sich bei den Injektionen nicht um eine Durchdringung der Masse des Bergrutschs handelt, sondern um die Absperrung einzelner Wasserwege. Es wurden in der Folge auch verschiedene Injektionsversuche ausgeführt, auf die jedoch an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden soll.

Für die Begutachtung der drei Sperrstellen wurde die Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH mit Prof. Dr. h. c. *E. Meyer-Peter*, Prof. Dr. *R. Häfeli* und der Geologe Prof. Dr. *E. Staub* zugezogen. Bei der Sperrstelle Val Nandrò wirkten auch P.-D. Dr. *A. von Moos* und bei den Untersuchungen von Roffna und Castiletto *E. Weber* als Geologe mit. Die Leitung der Aufschlußarbeiten hatte Obering. *W. Zingg*.

Die seismischen Messungen wurden von Prof. *A. Kreis* und Dipl. Phys. *A. Süstrunk* durchgeführt. Den Sondierstollen in Castiletto führte die Bauunternehmung *AG Heinrich Hatt-Haller*, Zürich, durch, und die Sondierbohrungen wurden von der *Swissboring*, Schweizerische Tiefbohr- und Bodenforschungs-AG, Zürich, abgeteuft.

Literaturangaben

1. Die Wasserkraftanlagen der Stadt Zürich im Kanton Graubünden, von Oberingenieur *H. Berischi*, Zürich, in «Wasser- und Energiewirtschaft», Zürich, 1952, Heft 5/7.
2. Das Juliawerk Marmorera der Stadt Zürich.
 - I. Beschreibung der Anlagen von Oberingenieur *W. Zingg*, Tiefenbach,
 - II. Zur Geologie des Juliawerkes Marmorera-Tinzen, von Prof. Dr. *R. Staub*, Zürich, und *E. Weber*, Maienfeld,
 - III. Der Bau des Staudamms Castiletto, von *M. Oswald*, Dipl. Ing., Zürich, in «Wasser- und Energiewirtschaft», Zürich, 1952, Heft 5/7.
3. Künstliche Verdichtung der Böden, von *L. Bjerrum*, Dipl. Ing., in «Straße und Verkehr», 1952, Heft 2/5.

Geologische Eigentümlichkeiten der Geschiebeherde des bündnerischen Rheingebietes¹

Von Dr. Heinrich Jäckli, Zürich

DK 551.3 (494.26)

1. Einleitung

Im St. Galler Rheintal hat der Rhein die natürliche Tendenz, sein Bett zu erhöhen, als zwingende Folge der ständigen Verlängerung des Flußbettes in den Bodensee und der dadurch bedingten Gefällsverringerung. Denn nach den durch das Eidg. Amt für Wasserwirtschaft durchgeföhrten Deltavermessungen im Bodensee (Literaturnachweis 4) schüttet dort der Rhein jährlich etwas über 3 000 000 m³ Feststoffe in den See, wodurch die

Rheinmündung pro Jahr um rund 27 m, die Fläche des Deltas um rund 2,1 ha wächst.

In allen Deltas und den flußaufwärts anschließenden Alluvialebenen entstehen früher oder später prinzipiell dieselben Zustände als Folge des sich erhöhenden Flußbettes, wie z. B. in der Magadinoebene des Tessin, im untersten Maggiatal, an der Reuß bei Flüelen, an der Aare bei Brienzer oder an der Rhone oberhalb des Genfersees. Im St. Galler Rheintal sind die damit heraufbeschworenen Probleme aber am akutesten, nicht nur, weil hier die Talebene sehr dicht besiedelt und das Gefälle des Flusses geringer ist, sondern auch weil hier die

¹ Auszug aus einem Vortrag im Linth-Limmat-Verband vom 22. April 1952.

Eindämmung schon alt und die Erhöhung der Flußsohle dadurch weiter fortgeschritten ist als bei den andern eingedämmten Flüssen.

Aus der Größe der Delta-Ablagerungen lassen sich pro Jahr und pro km^2 des Einzugsgebietes folgende spezifische jährliche Ablagerungen berechnen (Lit. 4):

Rhein in den Bodensee	513 m^3/km^2
Maggia in den Langensee	388 m^3/km^2
Aare in den Brienzersee	280 m^3/km^2
Linth in den Walensee	227 m^3/km^2

Die spezifischen Ablagerungen des Rheins liegen also weit über dem Durchschnitt, obwohl die übrigen drei genannten Flüsse aus einem steileren Einzugsgebiet mit größerer Reliefenergie und fast doppelt so großer jährlicher Niederschlagsmenge stammen. Es müssen also offensichtlich geologische Faktoren sein, welche im bündnerischen Rheingebiet eine dermaßen erheblichere Ge-

schiebeabfuhr ermöglichen als in anderen Einzugsgebieten. Anderseits stellt aber gerade die Sanierung dieser Geschiebeherde die wichtigste Voraussetzung dar für eine erfolgreiche Flußverbauung nicht nur in den Tälern Graubündens, sondern insbesondere auch im bedrohten St. Galler Rheintal. Der schon 1928 erschienene Bericht von *W. Versell* und *A. Schmid* über Wildbachverbauungen im bündnerischen Rheingebiet (Lit. 16) hat auch heute noch gar nichts von seiner Aktualität eingebüßt.

2. Petrographische Charakterisierung des Einzugsgebietes

Auf der Karte Abb. 1 sind die Gesteine des bündnerischen Rheingebietes einmal nicht nach der Art ihrer Entstehung oder nach ihrem Alter, sondern einzig nach ihrem Widerstand, den sie der Verwitterung, Denudation und Erosion entgegensezten, ausgeschieden.

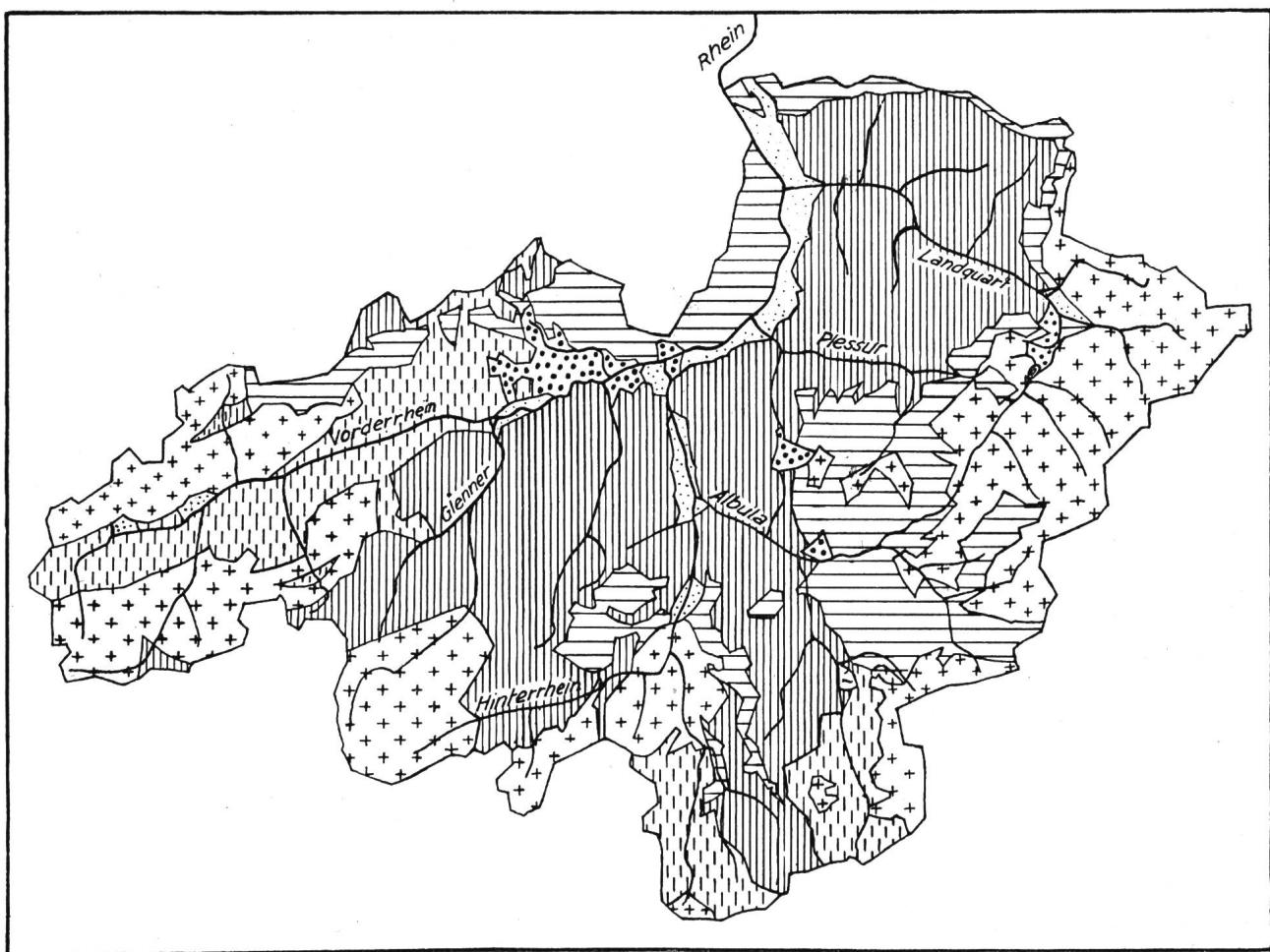


Abb. 1 Gesteinsaufbau des bündnerischen Rheingebietes.

A. Gesteine mit oberirdischem Abfluß:

	Große Erosionsresistenz
	Sehr geringe Erosionsresistenz, mit ausgesprochener Neigung zu langsamem Kriechbewegungen

B. Gesteine mit weitgehend unterirdischem Abfluß:

	Mittlere Erosionsresistenz
	Bergsturzablagerungen, geringe Erosionsresistenz

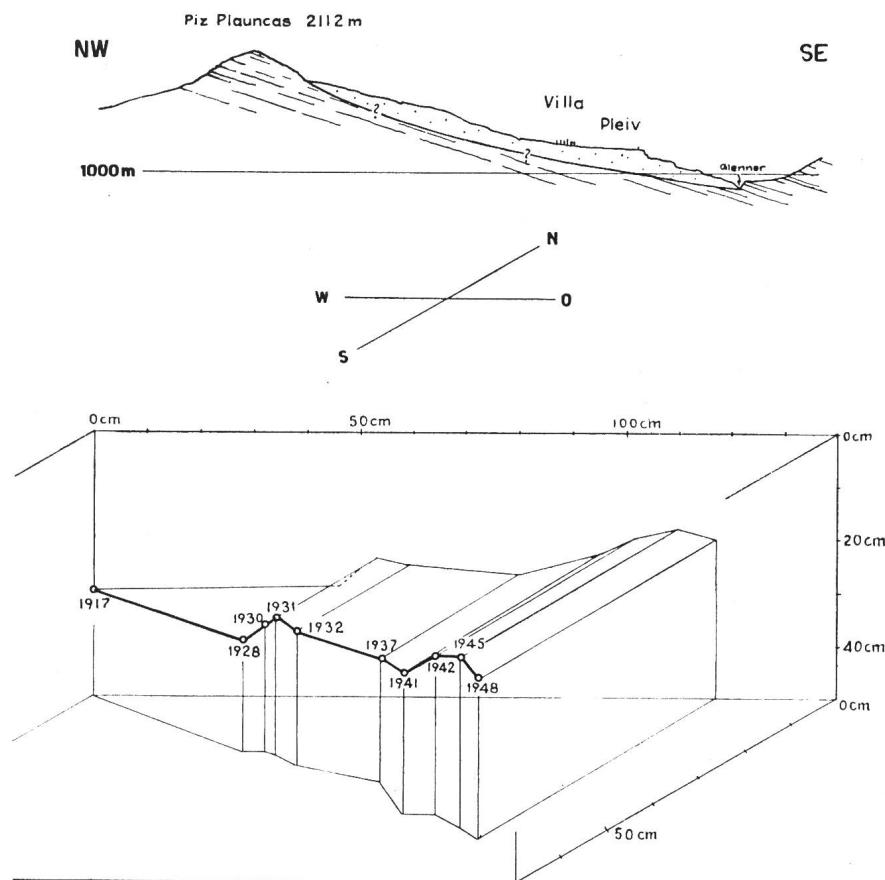


Abb. 3 Terrainbewegung im Lugnez, Beispiel: Pleiv; oben: Profil 1 : 75 000 durch Pleiv. Unten: Darstellung der Bewegung des Vermessungspunktes Pleiv von 1917 bis 1948 in schiefer Parallelprojektion.
Maßstab 1 : 15 (Nach Vermessungen der Eidg. Landestopographie)

Alle durchlässigen Gesteine, die einen unterirdischen Abfluß des Niederschlagwassers gestatten, wie Kalk, Dolomit und selbst die losen Bergsturzablagerungen, sind der Erosion deutlich weniger unterworfen als die wasserundurchlässigen tonigen Schiefer der so ausgedehnten Bündnerschiefergebiete. Darum wurden vorerst un durchlässige Gesteine mit oberirdischem Abfluß von durchlässigen mit weitgehend unterirdischem Abfluß getrennt und jede dieser beiden Abteilungen noch weiter in drei Gruppen eingeteilt, so daß schließlich folgende sechs Gruppen resultieren:

A. Gesteine mit oberirdischem Abfluß.

1. Gesteine von großer Erosionsresistenz: Granite, Diorite, Granitgneise, quarz- oder feldspatreiche Gneise, Amphibolite. Diese Gesteine bilden den «harten» Rahmen auf drei Seiten unseres Gebietes, nämlich Aarmassiv, Gotthardmassiv, Adula- gruppe, Tambo- und Suvrettagruppe, Err-Juliergruppe und schließlich die ausgedehnte Kristallinregion vom Piz Kesch über Davos und Flüela bis in die Silvrettagruppe.

II. Gesteine von geringer Erosionsresistenz: Stark verschieferete Gneise und glimmerreiche kristalline Schiefer, Grünschiefer.

III. Gesteine von sehr geringer Erosionsresistenz, mit ausgesprochener Neigung zu langsamem Kriechbewegungen: Bündnerschiefer und Flysch. Sie reichen vom Paß Diesrut über Lugnez, Safiental, Domleschg, Lenzerheide, Oberhalbstein,

Schanfigg zusammenhängend bis ins Prättigau und erscheinen damit als «weiche» Füllung inmitten der harten Umrahmung des bündnerischen Rheingebietes; sie stellen die großen Gesteinlieferanten dar.

B. Gesteine mit weitgehend unterirdischem Abfluß.

IV. Gesteine von mittlerer Erosionsresistenz: Kalk und Dolomit.

V. Oberflächlicher Blockschutt an Hängen, von geringer Erosionsresistenz: Bergsturzablagerungen.

VI. Lockermassen in der Talsohle, von geringer Erosionsresistenz: Flusschotter und Bachschuttkegel.

Nicht ausgeschieden wurden die Moränen. Moränenablagerungen von sehr wechselnder Mächtigkeit finden sich in allen Tälern, so daß ihre Darstellung das übrige Kartenbild zu stark gestört hätte. Unabhängig vom Felsuntergrund sind die Moränen stets leicht erodierbar und liefern, über das ganze Einzugsgebiet verteilt, ungezählte offene Erosionsanrisse. Die Verbauungstechnik in Moränen ist aber bekannt und hat sich gut bewährt; sie findet sich ausführlich dargestellt auch im neuen Werk von G. Strehle, «Grundriß der Wildbach- und Lawinenverbauung», Wien 1950, wo im Gegensatz dazu die Schieferforschungen nicht behandelt sind, weil sie in Österreich offenbar weitgehend fehlen.

3. Kennzeichen der Bündnerschiefergebiete

Unter den Sammelbegriff «Bündnerschiefer» fassen wir petrographisch verschiedene Gesteine zusammen, nämlich: Tonschiefer, tonige Kalkschiefer, tonige, verschieferte Sandsteine und Konglomerate, die sich aber fast stets durch deutlich schieferige Textur und einen wesentlichen Tongehalt auszeichnen. Unter dem Einfluß der Feuchtigkeit bilden sich bei der Verwitterung auf den Schicht- und Schieferungsflächen wasserreichere Tonminerale mit sehr geringer Kohäsion, welche Differentialbewegungen innerhalb des Gesteins leicht ermöglichen und damit bei schräger Schichtlage zu langsam Kriechbewegungen Anlaß geben können.

Gerade diese Schieferrutschungen, diese langsam Felsbewegungen auf schrägliegenden Schichtflächen, stellen eine Eigentümlichkeit der Bündnerschiefergebiete dar, besonders, weil sie so ungewöhnlich große Areale, im bündnerischen Rheingebiet schätzungsweise rund 280 km²,



Abb. 4 Stätzerhorngrat von S. Deutlich ist zu erkennen, wie der niedrige Grat rechts des anstehenden Hauptgrates um rund 30 m abgesunken ist, in der Richtung gegen die Lenzerheide. Ein erodierender Bach ist nicht im Spiel



Abb. 5 Nollatobel von E. Links der steile, aber standfeste und gut bewaldete Hang gegen den Piz Beverin, rechts der aufgelockerte Rutschhang des Heinzenberges. Durch Quersperren ist jede Tiefenerosion unterbunden und die Bachsohle stark erhöht und verbreitert worden. Die Seitenerosion verhindert eine geschlossene Bewaldung. Zustand am 4. 9. 1951

umfassen. Auf Abb. 2 (siehe Falzblatt Seite 197) sind für das Gebiet von Blatt Safiental der neuen Landeskarte diese Schieferrutschungen, nebst Schuttrutschungen und Bergstürzen, ausgeschieden. Soweit die Geschwindigkeiten durch Kontrollvermessungen der Eidg. Landestopographie bekannt sind, wurden sie dort ebenfalls eingetragen.

Die Geschwindigkeiten schwanken zwischen Millimetern und Dezimetern pro Jahr. Überraschenderweise sind die Bewegungen nicht immer geradlinig, sondern zeigen häufige Richtungsänderungen. Als Beispiel ist auf Abb. 3 die Bewegung des Kontrollpunktes Pleiv im Lugnez in schiefer Parallelprojektion dargestellt. Dieser Punkt gehört bereits einem unteren Gebiet des gewaltigen Rutschkomplexes an, wo die Oberfläche eine eindeutige Aufwölbung erleidet und die Bewegung damit in der Vertikalen eine nach oben gerichtete Komponente zeigt.

Welches sind die geologischen Ursachen solcher Schieferrutschungen? Durchwegs ist es die Kombination folgender vier Voraussetzungen: Hoher Tongehalt und schieferiges Gefüge des Gesteins; mäßige Schrägstellung der Schichten; ungefähre Parallelität zwischen Schichtstreichen und Talrichtung; hoher Wassergehalt in den Gesteinsporen, auf Klüften und Schichtflächen.

4. Gegenseitige Beeinflussung von Schieferrutschungen und Erosion.

Vorerst muß der häufig geäußerten Auffassung entgegengetreten werden, Flußerosion am Fuße der Hänge sei die primäre Ursache solcher ausgedehnter Schieferrutschungen. Das ist nicht der Fall, denn große Gebiete mit Schieferrutschungen grenzen überhaupt nicht an einen erodierenden Fluß, wie etwa an der Stätzerhornguppe westlich der Lenzerheide, Abb. 4; ja sie reichen unter Umständen gar nicht bis in die Talsohle hinunter, wie beispielsweise am nördlichen Heinzenberg.

Anderseits besteht kein Zweifel, daß Erosion am Fuße von Rutschhängen die Terrainbewegungen sekundär begünstigt und deren Kriechgeschwindigkeit erhöht. Wo ein erodierendes Gewässer unter einem Rutschhang durchfließt, sorgt es für den fortlaufenden Wegtransport des nachkriechenden Materials und beraubt den Hang häufig seines Fußes, auf den er sich abstützen könnte. Dazu gehört z. B. die Glennerstrecke bei Vrin und von Lumbrein bis unterhalb Cumbel, besonders ausgeprägt aber das Nollatobel, wo durch die Sohleinsicherung wohl die Tiefenerosion, in Ermangelung von Leitwerken, aber nicht auch die Seitenerosion unterbunden wird (Abb. 5).

Umgekehrt erhöhen die Schieferrutschungen aber auch die Flußerosion und damit die Geschiebeführung. Vorerst ist zu bedenken, daß sich in jedem aktiven Rutschhang, der bis an ein Gewässer hinunter reicht, kontinuierlich eine bestimmte aufgelockerte Gesteinskubatur gegen den Vorfluter vorschreibt. Ist das Gewässer nicht



Abb. 6

Heinzenberggrat von N, mit Blick gegen Piz Beverin, Carnusatobel und Bruschghorn. Durch die im Vordergrund des Bildes von rechts nach links gerichteten Sackungsbewegungen im Bündnerschiefer sind der Grat und die nach E daran anschließende, relativ flache Hangpartie völlig in treppenartig gestuften Schollen aufgelöst worden

in der Lage, diese ständig anfallenden Schiefermassen abzutransportieren, so muß zwangsläufig eine entsprechende Erhöhung der Gewässersohle eintreten. Künstlich kann dieser Vorgang eingeleitet oder gefördert werden durch Sperrenbauten. Der Rhein wird in diesem Falle nicht durch zusätzliches Geschiebe belastet. Dagegen bedeutet die ständige Erhöhung der Gewässersohle durch Ansammlung von Lockermassen, die wasser gesättigt sind, die einer einmal reaktivierten Erosion besonders leicht anheim fallen könnten und auf Kunstbauten aller Art einen ständigen Druck ausüben, für die Unterlieger eine latente Gefahr. Sie kann dann höchst akut werden, wenn eine Rückhaltesperre einbricht oder wenn der Bach bei einer extremen Hochwasserspitze plötzlich in die Lage versetzt wird, doch zu erodieren.

Verfügt aber das Gewässer über genügend Schleppkraft, um den nachkriechenden Schieferschutt wegzu führen und schließlich dem Rhein zu übergeben, dann kommt das einer dauernden Seitenerosion gleich. Der Hangfuß kann sich nicht beruhigen, eine geschlossene Pflanzendecke ist unmöglich, bei starken Niederschlägen liefern solche unbewachsenen Halden zusätzliche Geschiebemengen, die wieder eine ständige Belastung des Rheines darstellen.

Schließlich bewirkt aber auch das lockere Gefüge eines ganzen Rutschanges, mit seinen Rissen und Spalten (Abb. 6), seiner tiefgründigen Verwitterung und reduzierten Kohäsion, eine ganz bedeutende Vergrößerung der Erosionsanfälligkeit gegenüber Bächen, die solche Hänge hinunterfließen. Hat ein selbst kleiner Bach einmal die als Erosionsschutz wirkende Pflanzendecke beschädigt, dann vermag unter Umständen eine einzige große Hochwasserspitze ein neues Tobel zu schaffen. So gelang es dem unscheinbaren Lüscherbach am süd-

lichen Heinzenberg, während der Schneeschmelze im Frühsommer 1951 in 10 Tagen eine Schieferkubatur von rund 250 000 m³ aus dem Rutschhang zu erodieren und in den schwarzen Nolla zu verfrachten.

5. Schwierigkeiten der Wildbachverbauung.

In Gebieten mit oberflächlichen Schuttrutschungen (im Gegensatz zu den tiefgründigen Schieferrutschungen) bestehen große Möglichkeiten, diese durch technische Maßnahmen zu sanieren. Da als Ursache der Schuttrutschung entweder zu großer Wassergehalt des Bodens oder Erosion eines Gewässers oder schließlich eine Kombination beider Erscheinungen anzusehen ist, müssen für die Sanierung der Rutschung diese Ursachen eliminiert werden: Entwässern zur Vergrößerung der Scherfestigkeit, oder Bau von Querschwellen als Schutz gegen Tiefenerosion, von Leitwerken oder anderen Sicherungen des Hangfußes gegen Seitenerosion. Über diese Arbeiten ist von berufener Seite schon Umfassendes geschrieben worden; wir verzichten auf eine Wiederholung.

Im Gegensatz zu kleineren und üblicherweise nicht sehr tiefgründigen Schuttrutschungen, die mit technischen Maßnahmen sehr erfolgreich und rationell saniert werden können und daher für den Techniker (weniger für den Grundeigentümer und die Öffentlichkeit) dankbare Objekte darstellen, ist den tiefgründigen Felsrutschungen im Bündnerschiefer erfahrungsgemäß nur ausgesprochen schwer beizukommen.

Im Gebiete der langen kriechenden Schieferrutschungen sind unterirdische Entwässerungsanlagen häufig unzweckmäßig, weil durch die stets unregelmäßigen Terrainbewegungen Sauger und Sammler-Stränge «verstossen» werden, brechen, dann undicht werden und an un-



Abb. 7 Nollatobel. Zerdrückte Quersperre infolge des Bergdruckes vom Heinzenberghang her (im Bild von rechts). Zustand am 11. 8. 1952



Abb. 8 Nollatobel. Verkleidung der Flügeldämme einer modernen Quersperre mit dachziegelartig übereinanderliegenden Betonplatten, die dem Bergdruck ohne Schaden nachgeben können, von der Bacherosion aber sehr rasch zernagt werden. Zustand am 4. 9. 1951

kontrollierbaren Orten unterirdisch große oder totale Wasserverluste erleiden.

Auch in Rutschgebieten sind Quellfassungen stets rationelle Entwässerungsprojekte, weil sie das dem Boden entnommene Wasser für die Versorgung von Alphütten und Siedlungen verwenden lassen. Schwieriger ist es, mittels Wildbachrinnen, Halbschalen, Holzkäneln oder anderen dichten Gerinnen konsequent alle Versickerungen von Oberflächengewässern zu eliminieren, wie Überläufe von Quellfassungen, Abläufe von Brunnen, Abwasserausläufe von Häusern und Ställen, aber auch eigentliche Bäche, die gelegentlich völlig versickern und weiter unten, oft mitten in einem aktiven Anriß, als Schuttquellen wieder zum Vorschein kommen.

Aber auch für Bachverbauungen stellen die tiefgründigen Schieferrutschungen ihre besonderen Probleme. Quersperren unterliegen durch die Kriechbewegungen der Schiefermassen einem großen einseitigen Druck, dem selbst sehr schwere Steinsperren auf die Dauer nicht gewachsen sind und zerdrückt werden (Abb. 7). Im Nolla ist man darum dazu übergegangen, nur den Über-

fall aus schwerem Mauerwerk zu erstellen, an welchen beidseits Flügeldämme auf Holzkastenfundamenten und bachseitiger Betonplattenverkleidung anschließen, um den Bergdruck flexibel aufnehmen zu können (Abb. 8).

Auch Leitwerke sind unmöglich in der Lage, die langsame Kriechbewegung aufzuhalten, sondern werden von dieser über kurz oder lang entweder eingedrückt oder überflutet.

Wenn durch Quersperren versucht wird, möglichst viel Geschiebe zurückzuhalten, so bedeutet eine so verursachte Sohlenerhöhung zweifellos eine Abstützung und Konsolidierung des untersten Teils des Rutschhangs. Eine dort bisher ausstreichende Gleitfläche wird ausgeschaltet, aber an ihre Stelle tritt eine der Auflandung des Bachbettes entsprechend höher gelegene neue Gleitfläche.

Ferner wird durch die Erhöhung des Bachbettes eine Rückstauung des Grundwassers im kriechenden Schieferhang bewirkt, die durchaus unerwünscht ist. Das Ideal wäre vielmehr, wohl kriechendes Gestein und Bachgeschiebe zurückzuhalten, umgekehrt aber dem Wasser einen möglichst glatten, leichten und tief liegenden Abfluß zu gestatten, die lokale Vorflut also am ursprünglichen Fuß des Rutschhangs, an der untersten einstigen Glattfläche zu belassen.

Schon in einem früheren Abschnitt haben wir auf die Problematik der Sohlenerhöhung am Fuße von Schieferrutschungen hingewiesen. Tatsächlich kann man sich die prinzipielle Frage stellen: Soll die infolge Rutschung jährlich neu dem Bachbett zukriechende Gesteinskubatur durch den Bach kontinuierlich abtransportiert, der Rhein also damit belastet werden, oder soll umgekehrt gerade dieser Abtransport unterbunden und dementsprechend die Bachsohle fortlaufend erhöht werden? Im Hinblick auf die Probleme im St. Galler Rheintal wäre auf den ersten Blick ganz selbstverständlich die zweite Variante erwünscht, doch würden dabei in den betreffenden Wildbächen ständig neue Quersperren als Ersatz für die im Schutte ertrinkenden nötig. Das Ende, der Abschluß einer solchen Wildbachverbauung, wäre zum vornherein nicht zu erkennen.

Es entspricht wahrscheinlich eher dem natürlichen, geologischen Abtragungsvorgang des Gebirges, wenn die Höhe der Bachsohle konstant gehalten und durch Kunstbauten wohl die Tiefenerosion unterbunden, das gleichmäßig von der Seite ins Bachbett kriechende Gestein aber nicht zurückgehalten wird. Wenn es bei Nieder- und Mittelwasser infolge der Seitenerosion im Bachbett selbst nirgends zu größeren Schuttansammlungen kommt, vermögen auch extreme Hochwasserspitzen weniger leicht geschiebereich zu werden, wodurch die Katastrophengefahr sich zweifellos reduziert.

Zudem sei am Schlusse dieser resignierenden Abschnitte noch auf eine geologisch wichtige Erscheinung hingewiesen, die in gewissen Fällen doch einen Licht-

blick bedeutet: Alle Gewässer am Fuße von Schieferrutschungen fließen fast stets an der Grenze zwischen Rutschung und anstehendem, standfestem Fels. Die eine, fast immer flachere Böschung ist in Bewegung, die andere, steilere Böschung ist solid und standfest. So ist es im Nollatobel, im Safiental, im Glennergebiet und auch in den meisten Tobeln im Schanfigg und Prättigau. Dadurch besteht immerhin die Möglichkeit, Kunstbauten irgendwelcher Art wenigstens am einen Ufer auf anstehenden, festen Felsen zu gründen (Abb. 9), oder Ableitungskanäle oder -Galerien durch diesen Fels zu führen. Das von Ing. M. Passet entwickelte Projekt am Glenner (Lit. 9) nimmt auf diese Verhältnisse sehr konsequent Rücksicht.

6. Wirkung von Speicherbecken.

Speicherbecken sind einerseits Sedimentationsräume für Geschiebe ihrer Zuflüsse, anderseits verändern sie die Wasserführung des Unterwassers im Sinne größerer Ausgleichscheinheit.

Größere Speicher, die nicht gespült werden, wirken wie natürliche Seen; ihr Einzugsgebiet fällt als Geschiebebelieferant weg. Nun liegen aber die im Bau stehenden und projektierten größeren Speicher (Marmorera, Valle di Lei, Sufers, Zervreila, Lampertschalt, Greina) durchwegs in Gebieten mit nur mittelgroßer bis geringer Geschiebeführung der Gewässer, so daß ihr Ausfall für die Schuttführung des Rheins nur von kleinem Einfluß bleibt.

Kleine Ausgleichsbecken, die gespült werden, liefern mit jeder Spülung eine Geschiebewelle ins Unterwasser. Sie bewirken also keine Mengenreduktion, sondern nur eine zeitliche Verschiebung der Geschiebekonzentration im Rhein.

Solange Speicherbecken noch nicht ganz gefüllt sind, vermögen sie Hochwasserspitzen ihrer Zuflüsse zu brechen. Flußabwärts davon ist die Wasserführung ausgleichener, die Überschwemmungsgefahr wird geringer. Diese Wirkung der bisherigen Speicher ist allerdings klein, weil sie, verglichen mit dem ganzen Rheingebiet, nur über ein relativ kleines Einzugsgebiet verfügen.

Bei reduzierten Hochwasserspitzen ist zwar auch die Erosionsleistung und damit die Geschiebeführung geringer. Aber es ist ausdrücklich festzustellen, daß es ja gar nicht die Hauptflüsse sind, wie Rhein, Landquart, Albula und Julia, die erodieren und Geschiebe produzieren, sondern vielmehr ihre steilen Nebenbäche; auf diese haben aber die Speicherbecken gar keinen Einfluß. Hochwasserreserven in Stauräumen haben wohl eine gewisse Verringerung der Überschwemmungsgefahr zur Folge; auf die Geschiebeführung des Rheins sind sie aber nur in folgenden günstigen Ausnahmefällen von Bedeutung:

Könnte das bestehende kleine Becken Egelschi an der Rabiusa eine Hochwasserreserve bereitstellen, um darin



Abb. 9 Einfache Kragbalkenbrücke über den Glenner bei Surcasti. Rechts die standfesten, steilen Bündnerschieferwände, an denen die Brücke einseitig aufgehängt ist, links der flache Rutschhang des Lugnez

die Spitzen abzufangen, so würde in der unterliegenden Erosionsstrecke bis zum Vorderrhein, also auf rund 4 km Länge, die Erosionsleistung der Rabiusa in jenen weichen Bündnerschiefern und Bergsturzablagerungen tatsächlich merklich reduziert.

Die projektierten großen Speicher Lampertschalt und Zervreila vermögen in nicht gefülltem Zustand die Wasserführung des Glenners auf der 6 km langen, sehr aktiven Erosionsstrecke von Uors bis südlich Ilanz um rund 20 % zu reduzieren; eine Hochwasserreserve in diesen beiden Becken wird somit auch zu einer ganz merklichen Verminderung der Geschiebeführung des Glenners und damit des Vorderrheins führen. Die übrigen Wasserfassungen dieser Werkkombination, wie Peilerbach, Rabiusa bei Safien-Talkirch und Carnusabach, lassen aber die Hochwasserspitzen durch das natürliche Flußbett abfließen, haben also keine erosionsverringende Wirkung.

Es sind somit zwei Gründe, warum sich Kraftnutzung und Verminderung der Geschiebeführung so schlecht kombinieren lassen: Erstens, weil Kraftwerke, wegen der Verlandung ihrer Speicher, geschiebereichen Flüssen und Wildbächen sorgfältig und konsequent aus dem Wege gehen, und zweitens, weil Werke ohne sehr große Speicher an Hochwasserspitzen nicht interessiert sind, diese darum gar nicht fassen, sondern bachab schicken. Und dabei sind es ja gerade diese Hochwasserspitzen, die wir brechen müssen, wollen wir katastrophale Geschiebeführungen verunmöglichen.

Verfolgen wir diesen Gedankengang weiter, so würde das heißen: Wir benötigen zur wirkungsvollen Geschiebereduktion des Rheins Anlagen ohne Kraftnutzung, beispielsweise Hangkanäle oder Umleitstollen, um Hochwasserspitzen von den gefährlichen Erosionsabschnitten in den Rutschgebieten fernzuhalten und sie in erosionsresistenteren Gebiete abzuleiten. Sie wären aber so zu dimensionieren, daß sie Hochwasserspitzen aufnehmen könnten,

was aber sehr großer finanzieller Mittel bedürfte; Mittel- und Niederwasser dagegen gehören ins natürliche Flußbett, um in diesen ein Gleichgewicht zwischen anfallendem Rutsch- und Verwitterungsschutt einerseits und Abtransport durch den Bach anderseits zu gewährleisten.

7. Schlußfolgerungen

Die geologischen Eigentümlichkeiten im bündnerischen Rheingebiet erschweren die Sanierung der Geschiebeherde auf ungewöhnliche Weise, und der Unterhalt der unzähligen Sperren belastet die dazu gesetzlich verpflichteten Gemeinden fast unerträglich. Und doch verlangt die Situation im St. Galler Rheintal, wo von Trübbach an abwärts der Rhein weiterhin sein Bett erhöht, im Einzugsgebiet neue, vielleicht auch großzügigere Maßnahmen zu ergreifen als bisher. Unsere Überlegungen zeigen leider deutlich, daß nur in seltenen Fällen (Egschi und Zervreila) durch die Bereitstellung von Hochwasserreserven in Kraftwerkspeichern die Erosionsleistung des Unterwassers und damit die Geschiebeführung des Rheines merklich reduziert werden kann. Üblicherweise scheinen vielmehr für den Erosionsschutz besondere, von der Kraftnutzung unabhängige Bauwerke erforderlich.

Wenn auch alle menschlichen Anstrengungen nicht verhindern können, daß unser Einzugsgebiet dem unüberstehlichen geologischen Gesetz der Abtragung des Gebirges unterliegen, so wollen wir doch einerseits für uns katastrophe Formen dieser Abbauvorgänge zu verhindern suchen und anderseits sie soweit verlangsamen, daß die spezifische Geschiebeführung des Rheines bei seiner Einmündung in den Bodensee nicht mehr beinahe

doppelt so groß ist wie jene der Linth oder der Aare, sondern sich auf ähnliche mittlere Werte beschränkt.

Spezielle Literatur

1. Bartholdi, E.: Brückenreparaturen auf der Strecke Chur—Arosa. «Schweiz. Bauzeitung», 69. Jg., Nr. 41, 13. Oktober 1951.
2. Böbi, K.: Die Verschotterung des Rheines oberhalb des Bodensees; die Bündner Wildbäche, ihre Verbauung und deren Finanzierung. «Schweiz. Bauzeitung», Aug. 1943.
3. Coaz, J. W.: Die Hochwasser im September und Oktober 1868 im bündnerischen Rheingebiet vom naturwissenschaftlichen und hydrotechnisch-forstwirtschaftlichen Standpunkt betrachtet. Verlag W. Engelmann, Leipzig, 1869.
4. Eidg. Amt für Wasserwirtschaft: Deltaaufnahmen des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft. Mitteilung Nr. 34, 1939.
5. Jäckli, H.: Geröllstudien am Hinterrhein (Graubünden). «Wasser- und Energiewirtschaft», 9, 1948.
6. Jäckli, H.: Die Bodenbewegungen im Hinterrheintal und ihre bau-technischen Auswirkungen. «Schweiz. Bauzeitung», Nr. 37, 1948.
7. Krapf, Ph.: Die Schwemmstoffführung des Rheines und anderer Gewässer. Wien 1919.
8. Mohr, C.: Brückenreparaturen auf der Strecke Chur—Arosa der Rhätischen Bahn. «Schweiz. Bauzeitung», 69. Jg., Nr. 39, 29. Sept. 1951.
9. Passet, M.: Kraftwerkbau und Wildbachverbauung im Einzugsgebiet des Glemmers. «Wasser- und Energiewirtschaft», Nr. 12, 1950.
10. Rauch, G.: Die Rheinkorrektion im Domleschg und die Nollaverbauung. «Wasser- und Energiewirtschaft», 1941.
11. SVIL: Die Integralmelioration in der Talebene Domleschg, 1945.
12. Schmid, Abraham: Probleme der Wildbachverbauung im Kanton Graubünden. «Wasser- und Energiewirtschaft», Nr. 5—7, 1952.
13. Schweiz. Wasserwirtschaftsverband: Exkursion zu den Berghangentwässerungen im Prättigau. 4. — 6. Oktober 1945. «Wasser- und Energiewirtschaft», Heft 1/2 und 3/4, 1946.
14. Staub, R. und Weber, E.: Zur Geologie des Juliawerkes Marmora-Tinzen. «Wasser- und Energiewirtschaft», Nr. 5—7, 1952, Zürich.
15. Staub, H.: Wasserabfluß, Bodenbewegungen und Geschiebetransport in unseren Berglandschaften. «Wasser- und Energiewirtschaft», 1944, Zürich.
16. Versell, W. und Schmid A.: Bericht über Wildbachverbauungen im bündnerischen Rheingebiet zur Sicherung der Rheinregulierung oberhalb des Bodensees. Chur 1928.
17. Versell, W.: Speicherbecken und Hochwasserschutz in Graubünden. Chur, 10. Februar 1950. Manuskript.
18. Walkmeister, Chr.: Beobachtungen über Erosionserscheinungen im Plessurgebiet. Aus dem Jahresbericht der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft, 1906.

Abb. 2 (siehe gegenüberliegende Seite 197)

Rutschungen und Bergstürze im Gebiet zwischen Lugnez und Stätzerhorn—Curvèr-Kette (Graubünden)

Maßstab 1:100 000 (Verkleinerung 1:2 der Landeskarte der Schweiz 1:50 000, Blatt 257 Safiental. Reproduziert mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie vom 30. 5. 53.)

LEGENDE:



Durch Bacherosion bedingte Steilböschung am Fuße von Rutschhängen



Schuttrutschung, meist flachgründig, Moränenablagerungen oder losen Verwitterungsschutt umfassend



Schieferutschung auf Schichtflächen:

flachgründig

tiefgründig



Sackungstendenz in der Zerr- und Abrißzone



Felsbewegung über Schichtkopf, senkrecht oder schräg zur Schichtfläche:

Erst in Auflösung begriffene Komplexe



Felsrutschung, horizontale Bewegungskomponente vorherrschend



Sackung, vertikale Bewegungskomponente vorherrschend



Bergsturz, einmalige, abgelaufene Sturzbewegung



Abrißbrand



Klaffende Zerrspalten; «Nackentälchen» am bergseitigen Rand abgerutschter Schollen

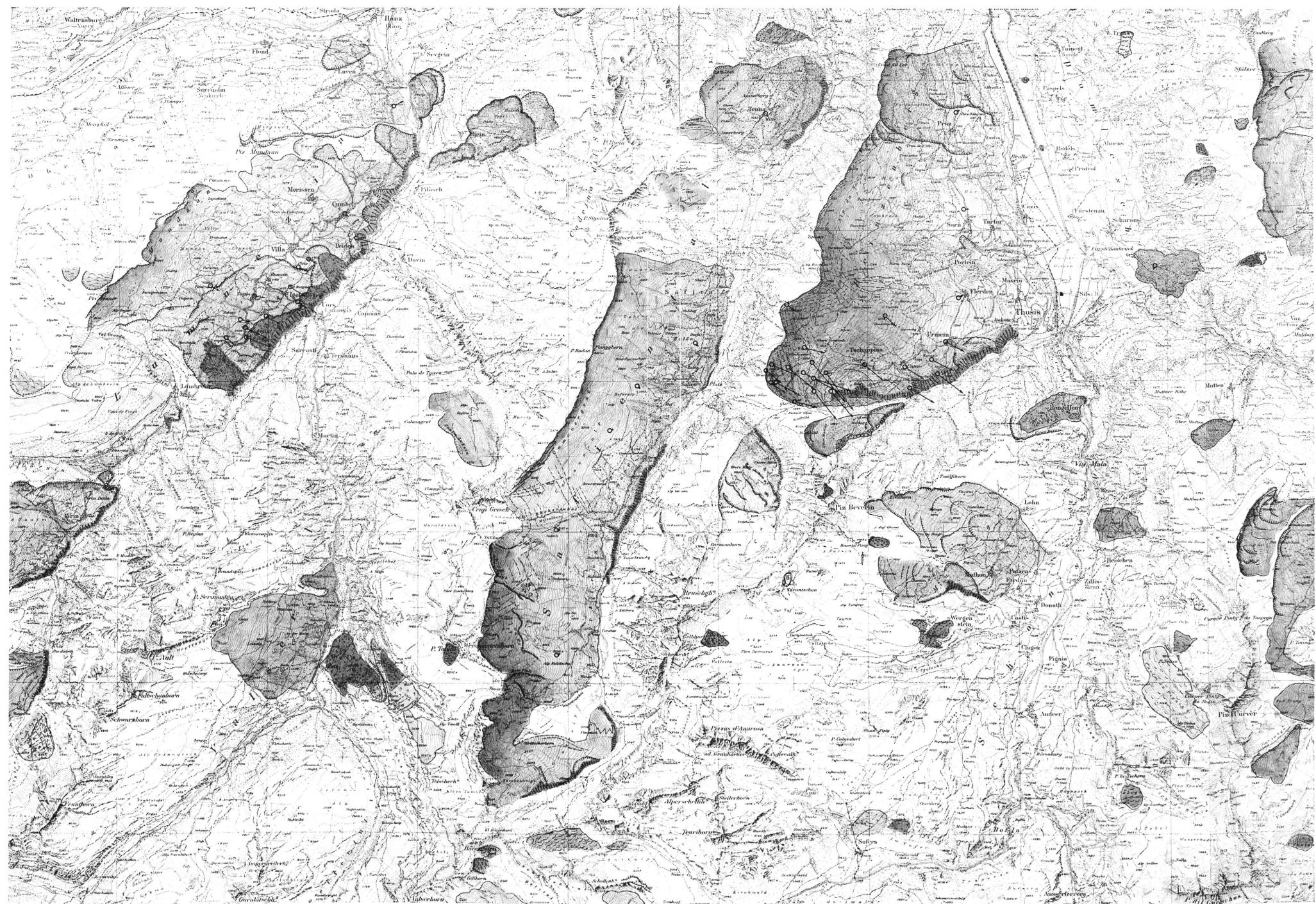


Blockstrom am Piz Tarantschun



Durch Vermessung festgestellte Horizontalkomponente der Bewegungsrichtungen und mittleren Geschwindigkeiten. 1 mm Pfeillänge = 2 cm/Jahr Terrainbewegung

(Vermessung durch Eidg. Oberbauinspektorat und Eidg. Landestopographie)



Von den Bundesbehörden überprüfte Wasserkraftprojekte, Jahre 1950 bis 1952*

(Für jedes Jahr alphabetisch nach dem Namen des Kraftwerks bzw. der Kraftwerk-Gruppe geordnet. Angaben für die projektierten Anlagen nach den eingereichten Prüfungsunterlagen, mit allfälligen nachträglichen Ergänzungen bzw. Berichtigungen. Angaben für die bestehenden Werke nach verschiedenen Statistiken.)

Kraftwerk bzw. Kraftwerk-Gruppe Konzessionsbewerber	Auszunützende Gewässer Gewässerstrecke	Kanton	Max. Nutz- wasser- menge	Max. Brutto- gefälle	Mögl. Leistung ab Generator MW = 1000 kW		Mittl. jährliche Energieerzeugung GWh = Mio kWh		Bemerkungen
			m ³ /s	m	Total	Bestehend	Total	Bestehend	
1950 (3 Projekte)									
Maigrauge Entreprises Electriques Fribourgeoises, Fribourg	Sarine Maigrauge-Ölberg	Freiburg	4	16,8	0,54	—	1,5	—	Wiederausrüstung zur Nutzung des Dotierungswa- ters in den vom KW. Ölberg trockengelegten Schleife der Saane.
Ritom, neue Staumauer Schweiz. Bundesbahnen, Bern	Fofbach Cadlimobach Garegna	Tessin	6,6	851	40	40	90	66	Stauziel um 14 m erhöht auf Kote 1849,7 m ü. M., Spei- cherinhalt bisher = 27,5 hm ³ , neu = 47 hm ³ . Gewinn von 24 GWh Winter-Speicher- energie.
Le Vanel-Rossinière Compagnie d'entreprises et de travaux publics S. A., Lausanne	Sarine Le Vanel (Rougemont)- Prise de l'usine de Mont- bovon	Waadt	15	149,15	18,5	—	68	—	Variante «B». Vorprojekt.
1951 (3 Projekte)									
Bisistal { KW. Mettlen KW. Balm EW. des Bezirks Schwyz AG	Muota Unt. Sahliboden-Balm	Schwyz	5 6	333 147 480	12,4 6,6 19,0	38 38 76 ¹			Vorprojekte 1948, Ing. A. Müller, Zürich inkl. 6,7 GWh aus Akku- mierung Glattalpsee.
Oberhasli, Überleitung des Bächlisbaches nach dem Grimsel- see KW. Oberhasli AG, Innertkirchen	Bächlisbach Fassung im Bächliboden, Überleitung in Grimselsee	Bern	bei Hochwasser max. 10	—	—	—	39,2	36	Erzeugung von Speicherener- gie im KW. Handeck I, statt Laufenergie im KW. Hand- eck II. Sommerzufluss zum Grimsel- see 14 hm ³ .
Peuffeyre, Adduction de la Gryonne dans la prise des Pars (Avançon d'Anzeindaz) Cie Vaudoise des Forces Motrices des Lacs de Joux et de l'Orbe, Lausanne	Gryonne à l'amont du Pont de la Barboleusaz	Waadt	1	665 ²	—	16,5 ²	91,9 ²	82,3 ²	² i. d. Werken Peuffeyre, Su- blin und Bévieux zusammen. Energiegewinn 9,6 GWh.
1952 (6 Projekte)									
Barberine, Erweiterung durch Stausee Le Vieux Emosson Schweiz. Bundesbahnen, Bern	Nant de Drance Veudale-Bäche	Wallis	20	1440 ³	—	112,2 ³	344 ³	320 ³	Speicherinhalt 11,5 hm ³ ³ Ausnützung in den bestehen- den Werken Barberine und Vernayaz, Gewinn von 24 GWh Winter-Speicherenergie.
Bellefontaine Bernische Kraftwerke AG, Bern	Doubs ~ 2,9 km oberh. Brücke Ocourt bis ~ 2,3 km oberh. Brücke Ocourt	Bern	25	6,4	1,2	0,48	7,7	3,2	Umbau.
Les Clées Cie Vaudoise des Forces Motrices des Lacs de Joux et de l'Orbe, Lausanne	Orbe Vallorbe-Le Day-Les Clées	Waadt	16,8	170,32	21	7,9 ⁴	93,7	48,6 ⁴	⁴ Eingehende Werke Châtel- ard, Le Day, Ballaigues und Les Clées I.
Grande Dixence, abgeändertes Hauptprojekt März 1952 Grande Dixence S. A., Sion	Mattervisp, Borgne, Dranse mit Zuflüssen Zermattal-Ferpècle- Arolla-Dixence-Fionnay-Le Guercet	Wallis	50	1904	720 ⁵		1680 ⁵		⁵ Ohne bestehendes Werk Chandoline.
Oberhasli, Kraftwerk Innert- kirchen, Zuleitung des Gad- merwassers KW. Oberhasli AG, Innertkirchen	Gadmerwasser (Wen- den-, Stein- und Trift- wasser) Oberh. Gadmen bis Unter- wasserkanal Kraftwerk Innertkirchen	Bern	15	703	—	212,5	833	633	Zuwachs: Winter 25 GWh, Sommer 175 GWh.
Oberhasli, Überleitung des Grubenbaches KW. Oberhasli AG, Innertkirchen	Grubenbach Fassung unterhalb Gruben- gletscher, Überleitung zum Bächliboden und Grimselsee	Bern	bei Hochwasser max. 3,5	—	—	—	26	24	Erzeugung v. Speicherener- gie im KW. Handeck I, statt Laufenergie im KW. Hand- eck II. Sommerzufluss zum Grimsel- see 9 hm ³ .

* Letzte Zusammenstellung siehe «Wasser- und Energiewirtschaft» 1950, S. 62—63.

Eidg. Amt für Wasserwirtschaft.