Die Verladung der Staubecken und Stauhaltungen von Kraftwerken [Fortsetzung und Schluss]

Autor(en): **Bircher, H. / Meyer-Peter, E.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie**

Band (Jahr): **30 (1938)**

Heft 11

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-922172

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

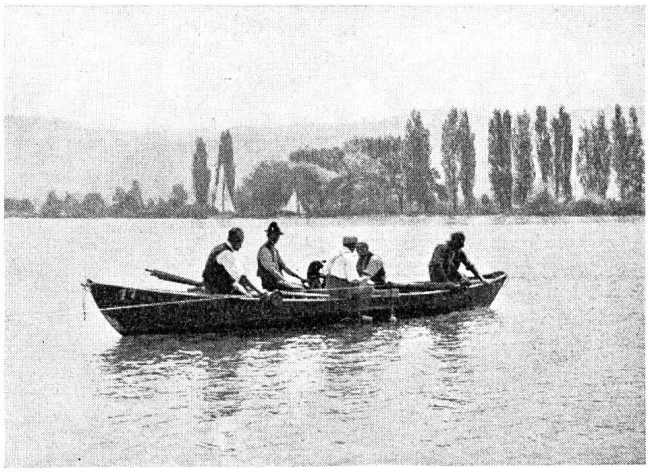


Abb. 103 Peilboot am Alten Rhein.

Die Verlandung der Staubecken und Stauhaltungen von Kraftwerken

Korreferat von Dipl. Ing. H. Bircher, Sektionschef beim eidg. Amt für Wasserwirtschaft, an dem vom S. W. V. und V. S. E. veranstalteten Vortragszyklus vom 2./3. Juni 1938 in Zürich.

Nachdem Professor Dr. Meyer-Peter besonders die grundsätzlichen und wissenschaftlichen Fragen der Geschiebeführung und Stauraumverlandung behandelt hat, ist mir die Aufgabe geworden, im Hinblick auf die Tätigkeit des eidgenössischen Amtes für Wasserwirtschaft einige ergänzende Ausführungen zu machen.

Auf Grund der Botschaft des Bundesrates an die Bundesversammlung vom Februar 1908 und des Bundesgesetzes vom 23. Dezember 1908 über die Organisation des Departements des Innern ist das Studium der Geschiebeführung (soweit die Verwaltung sich damit zu befassen hat) der damaligen Abteilung für Landeshydrographie, somit dem heutigen Amte für Wasserwirtschaft übertragen worden.

In dem im Jahre 1916 veröffentlichten Band II der Annalen der Schweizerischen Landeshydrographie sind im ersten Teil, betitelt: «Le Charriage des Alluvions dans certains cours d'eau de la Suisse», die Ergebnisse der bis dahin ausgeführten Sinkstoffbestimmungen an einigen Flussläufen mitgeteilt. Diese Publikation enthält auch Betrachtungen über die Verlandung von Stauhaltungen und Mitteilungen über *Seegrundaufnahmen* und *Deltaaufnahmen.*

Unter der heutigen Direktion des Amtes hat sich dann die Ueberzeugung herausgebildet, dass auf dem äusserst schwierigen Gebiete der Geschiebeführung *Erhebungen an natürlichen Flussläufen* allein zu keinen klaren, praktisch wertvollen Ergebnissen führen können, wenn nicht gleichzeitig in einer *Versuchsanstalt für Wasserbau* systematische Untersuchungen in einer Weise durchgeführt werden, wie dies in der Natur nicht möglich ist.

Infolgedessen hat dann das Amt seine Aufmerksamkeit in der Hauptsache den *Deltaaufnahmen* zugewendet. Diese werden nach einem aufgestellten Programm systematisch durchgeführt. Gerade die Deltaaufnahmen sind es, welche uns die sichersten Werte über die Grösse der gesamten Geschiebe- und Schlammfracht innerhalb eines längeren Zeitabschnittes liefern. Die Erkenntnisse, welche aus diesen Aufnahmen gezogen werden können, dienen natürlich auch dem Problem der Stauraumverlandung.

Direkte Aufnahmen über die *Auflandung der Stauhaltungen* konnte das Amt indessen trotz ihrer grossen Bedeutung, abgesehen von zwei Ausnahmefällen (Staugebiete des Kraftwerkes Mühleberg und des Kraftwerkes Kembs), schon aus finanziellen Gründen nicht durchführen. An diesen Feststellungen sind die Elektrizitätsunternehmungen in so hohem Masse interessiert, dass wir glaubten annehmen zu dürfen, es werden die nötigen Vorkehren durch diese Unternehmungen getroffen.

Nachdem im Jahre 1930 die Versuchsanstalt für Wasserbau an der Eidgenössischen Technischen Hochschule eröffnet worden war, war es möglich im gemeinsamen Einvernehmen das Geschiebeproblem weiter zu verfolgen.

Eine erste Gelegenheit der Zusammenarbeit bot sich, als dem Amte die Aufgabe gestellt wurde, die Schlammablagerung des Alten Rheins festzustellen und die Bedingungen für die Schlammabführung dieses Flusses zu studieren. Nach den interessanten Ergebnissen war es für das Amt gegeben, sich an den in den folgenden Jahren durch die Versuchsanstalt durchgeführten systematischen Geschiebe-

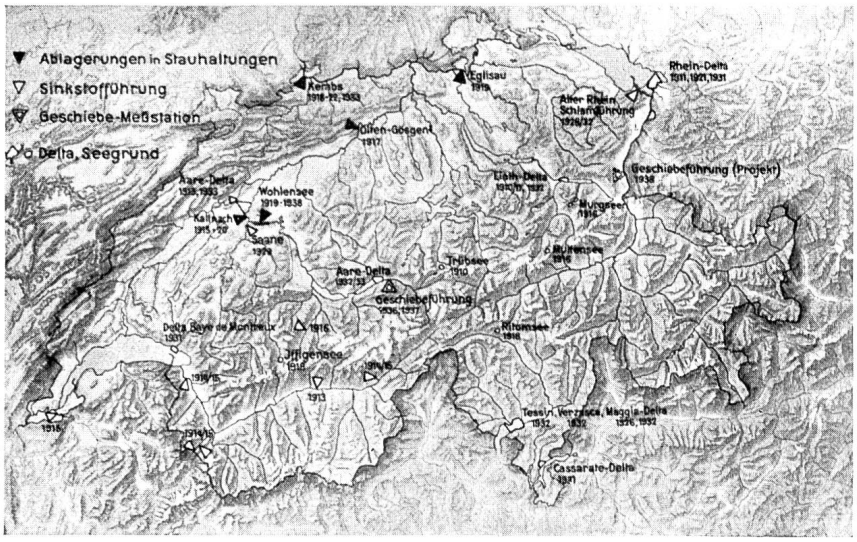


Abb. 104 Aufnahmen des Amtes für Wasserwirtschaft mit Bezug auf Geschiebe- und Sinkstofführung.

triebversuchen zu beteiligen. Da die natürlichen Flüsse Verhältnisse aufweisen, welche sich zum Teil im Versuch nicht darstellen lassen, so bestand die Meinung, dass das Amt die von der Versuchsanstalt gefundenen Ergebnisse durch unabhängige ergänzende Aufnahmen in der Natur nachprüfen solle. Besonders wird auch untersucht werden müssen, was für eine Geschiebefunktion die verschiedenen Flüsse besitzen.

Das Amt errichtete im Herbst 1935 an der Aare in Brienzwiler eine Geschiebemeßstation, über deren Ergebnisse ich kurz berichten kann, obschon im kommenden Sommer noch einige wenige ergänzende Aufnahmen notwendig sind.

Da in Brienzwiler der zweidimensionale Zustand herrscht und Kiesbänke nicht vorhanden sind, beabsichtigt das Amt, im kommenden Herbst am Rhein bei Buchs eine Geschiebemeßstation zu errichten, an welcher auch das Verhalten der wandernden Kiesbänke studiert werden soll.

Delta- und Querprofil-Aufnahmen

Wir bestimmen bis heute die Delta durch Profilaufnahmen. Die Methode ist trotz verschiedener Nachteile ihrer unübertroffenen Genauigkeit wegen beibehalten worden.

Die Profile werden entweder radial um einen Drehpunkt oder ungefähr parallel über den See gelegt. Der in der Seemitte liegende Drehpunkt wurde so erstellt, dass man einen etwa 1000 kg schweren Betonkörper auf den Grund versenkte; an diesem Körper war mittelst Drahtseil eine Boje befestigt, welche als Endpunkt des Profildrahtes diente.

Die Profilendpunkte werden am Land versichert. Dies geschieht z. B. durch Zementrohre, welche in den Boden einbetoniert und mit Beton ausgefüllt werden. Die Endpunkte werden heute allgemein durch einen Koordinatenzug verbunden und dieser an trigonometrische Signale angeschlossen, so dass die Aufnahme in ein Koordinatennetz eingetragen werden kann.

Die Profile werden durch einen eingeteilten Messdraht festgelegt. Dieser ist alle 20 m an 2—3 m langen dünnen Drähten an einen Schwimmer aufgehängt. Durch diese Anordnung ist der Schiffsverkehr unbehindert, dagegen ergeben sich gelegentlich Anstände mit den Fischern.

Die bisher grösste Länge eines solchen Drahtes, 5040 m, kam bei der Aufnahme des Rheindeltas im Bodensee vor. Als Nachteil der Verwendung des Messdrahtes ist der gelegentliche Drahtbruch zu nennen, sowie die seitliche Abtrift, welche jedoch heute mit einem Theodoliten gemessen wird.

Die Peilungen geschehen von einem Boote aus mit einem etwa 10 kg schweren Gewicht, das an einem geteilten Kabel hängt. Beim Auftreffen der Fussplatte des Gewichtes auf dem Grund ertönt ein elektrisches Klingelzeichen im Schiff.

Bei Querprofilaufnahmen an Flüssen braucht bei Spannweiten bis etwa 220 m nicht der oben beschriebene schwimmende Draht verwendet zu werden, sondern es kann das bei Wassermessungen verwendete Meßseil frei hängend über den Fluss gespannt werden. Bei grösseren Spannweiten, wie z. B. in der Stauhaltung des Kraftwerkes Mühleberg, dem Wohlensee, muss wie bei den Deltaaufnahmen der schwimmende Draht verwendet werden. Bis zu 9 m Wassertiefe kann mit der Peilstange im Flügelbock gepeilt werden. Die Stange hat vor dem Gewicht am Kabel den Vorteil, bei Strömungen

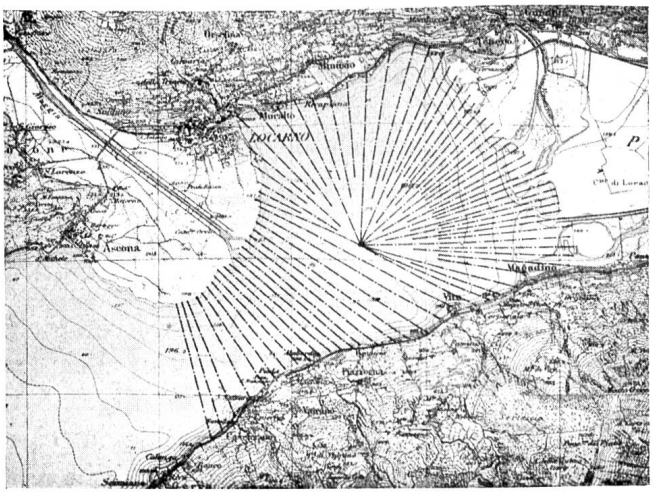


Abb. 105 Anordnung der Profile anlässlich der Aufnahme des oberen Beckens des Langensees im Jahre 1932. Anzahl der aufgenommenen Profile = 69.

Delta-Aufnahmen

Flusslauf See	Letzte Beobachtungs-Periode	Dauer Jahre	Einzugs-gebiet km²	Durchschnittliche Auflandung pro Jahr m³	Durchschnittliche Auflandung pro Jahr m³/km² E. geb.	Abtrag pro Jahr im E. geb. mm	Seefläche aufgenommen km²	Kosten gesamt Fr.	Kosten pro km² Seefl. Fr.	Frühere Aufnahmen (* = Amt	Neu-Aufnahme vorgesehen
Rhein + Ach-Delta *Bodensee*	1921—1931	10	6961[1])	3 566 000	513	0,51	21,2	24 000	1131	1885, 1911*	1941
Aare-Delta *Brienzersee*	1898-1932/33	34	590	121 000	205	0,21	6,14	14 600	2378	1898	1953
Aare-Delta *Bielersee*	1913—1933	20	2662[2])	384 000	144	0,14	6,92	13 200	1907	1878, 1897/98	1953
Linth-Delta *Walensee*	1910/11-1931	21	554[3])	114 300	206	0,21	2,85	11 400	4000	1849, 1860, 1867	1951
Baye d. Montreux-D. *Genfersee*	1931 = 1. Aufn.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1941
Casserate-Delta *Luganersee*	1930/31 = 1. Aufn	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1950
Tessin-, Verzasca-, Maggia-Delta *Langensee*	1890—1932	41	2897	1 116 500	388	0,39	17,0	19 300	1135	1890, 1926* (Maggia)	1952

[1]) inkl. Einzugsgebiet der Bregenzer Aach von 838 km² [3]) Linth ohne Löntsch bis Ausfluss Klöntalersee + Flibach + ½ Muslenbach + ½ Filzbach
[2]) Aare Bielersee minus Aare Thunersee

Zusammenstellung der Ergebnisse von Delta-Aufnahmen

nicht abgetrieben zu werden. Bei Tiefen von 10 m an ist im allgemeinen die Strömung dann so gering, dass das Peilgewicht unbedenklich Anwendung finden kann.

Die in der Stauhaltung des Kraftwerkes Kembs in den Jahren 1918—22 und 1933 durchgeführten Querprofilaufnahmen konnten noch nicht im Sinne einer Bestimmung der Verlandung ausgearbeitet werden.

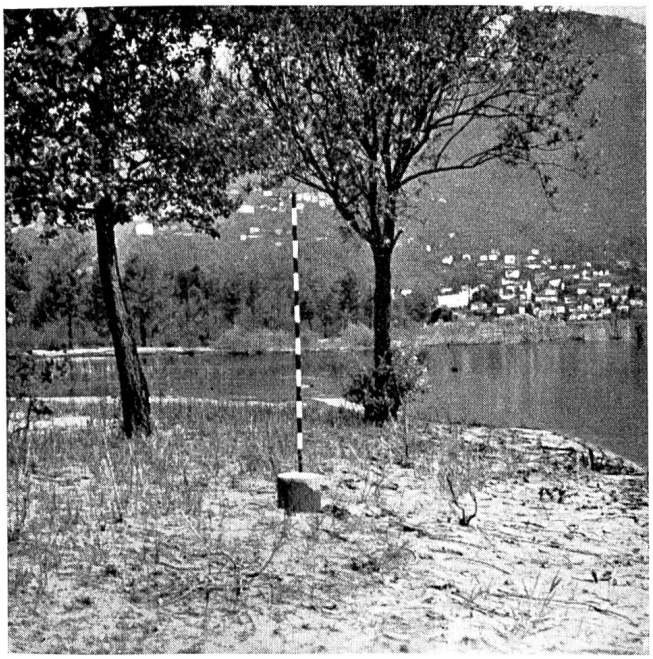


Abb. 106 Beispiel der Versicherung eines Profilendpunktes.

Abb. 107 An Schwimmern aufgehängter Messdraht. (Maggia-Delta-Aufnahme).

Im Wohlensee hat das Amt in den Jahren 1919 und 1921 Querprofilaufnahmen durchgeführt und diese im Jahre 1933 wiederholt.

Die Auffüllung ist in der Grössenordnung von 150 000 m³ pro Jahr. Ein zuverlässiger Wert wird sich erst anlässlich einer Neuaufnahme ergeben. Es wurde bisher nicht gespült. Eine Verlandung des untern, nicht direkt benötigten Stauraumes von ca. 20 Millionen m³ würde ohne Spülung in etwa 130 Jahren erfolgen, diejenige des gesamten Stauraumes in ca. 200 Jahren. Diese Zahlen werden in Wirklichkeit bedeutend überschritten werden, da mit zunehmender Verlandung eine Zunahme der Fliessgeschwindigkeit eintritt und somit wieder ein vermehrter Abtransport. Es zeigt sich dies in der Ab-

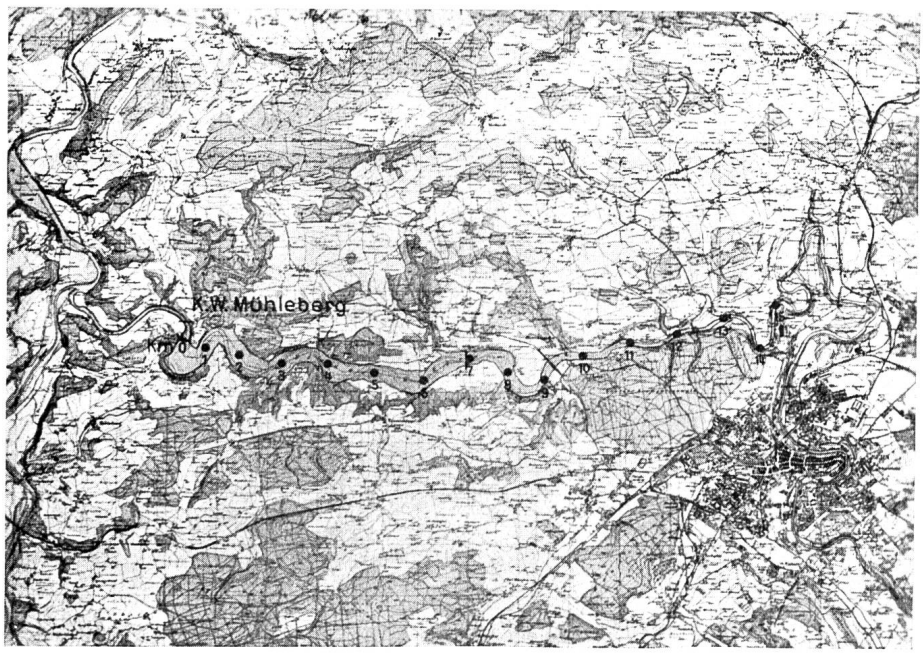


Abb. 108 Der Wohlensee mit Angabe der Kilometrierung.

bildung 109 deutlich; bei der Wohleibrücke sinkt die Ablagerung infolge Verengung des Profils auf weniger als die Hälfte herunter.

Während die Profilaufnahmen in grösseren Zeitabständen die Gesamtablagerung der Zwischenzeit angeben, wurde versucht, durch Versenken von Schlammkasten einen Einblick zu gewinnen in die Variation der Ablagerung der Zwischenzeit. Diese Schlammkasten sind indessen allerhand Störungen ausgesetzt, so dass bisher keine schlüssigen Ergebnisse erzielt werden konnten. Bei den Untersuchungen am Alten Rhein musste auf die Verlegung von Schlammkasten nach einigen Versuchen verzichtet werden. Zum Teil wurden die Kasten durch die Schiffahrt gestört, zum Teil durch die Fischer, zum Teil böswillig zerstört oder entfernt.

Querprofilaufnahmen im Rheintal oberhalb des Bodensees, die allerdings nicht für Zwecke der Sinkstoffuntersuchung durchgeführt wurden, kosteten mit Einschluss des Anschlussnivellements und der Ausarbeitung im Bureau, pro Profil Fr. 85.—.

Querprofilaufnahmen im Wohlensee, einschliesslich Erstellen der Profilversicherungen, pro Profil Fr. 186.—.

Die Querprofilaufnahmen im Staugebiet von Kembs sind infolge der Schiffahrt mit Schwierigkeiten verbunden. Diese werden bei einer nächsten Wiederholung noch bedeutender sein. Im Jahre 1933 beliefen sich die Kosten pro Profil auf ca. Fr. 200.—.

Man sieht hieraus, dass die Kosten je nach den örtlichen Verhältnissen erheblich schwanken können.

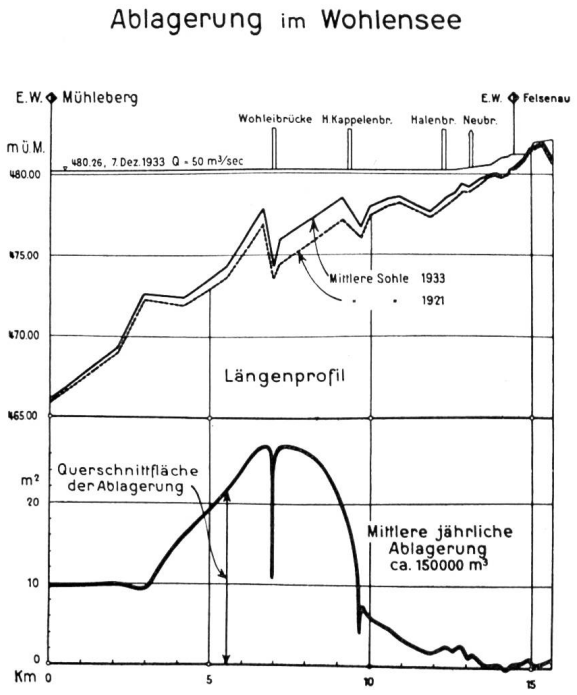


Abb. 109 Mittlere jährliche Auffüllung im Wohlensee.

Sinkstoffführung

Ausgedehnte Versuche über Sinkstoffführung wurden vom Amte im Zusammenhange mit den durch die Verschlammung des alten Rheinlaufes sich stellenden Problemen durchgeführt.

Im Mai 1900 erfolgte die Eröffnung des Fussacher Durchstiches, d. h. die Ableitung des Rheins bei St. Margrethen auf kürzestem Wege in den Bodensee. Das nunmehr als Alter Rhein bezeichnete frühere Rheinbett von St. Margrethen über Rheineck - Altenrhein nach dem Bodensee wurde indessen nicht vollständig trocken gelegt. Es dient den Binnengewässern als Rinnsal bis zum Bodensee. In der Folgezeit hat eine bedeutende Verschlammung der Rinne vom Eselschwanz bis zum Bodensee stattgefunden. Es war die Aufgabe gestellt, das Ausmass dieser Verschlammung festzustellen, womöglich Anhaltspunkte über die Schlammführung des Wassers zu gewinnen und Vorschläge für die Schlammabführung zu machen.

Die Auflandung wurde bestimmt durch die Aufnahme von insgesamt 462 Querprofilen und deren Vergleich mit früheren Aufnahmen der Rheinbauleitung.

Die gesamte Ablagerung pro Jahr vom Eselschwanz bis zum Bodensee beträgt 27 500 m³, bei einer mittleren Wasserführung von 17,4 m³/sec.

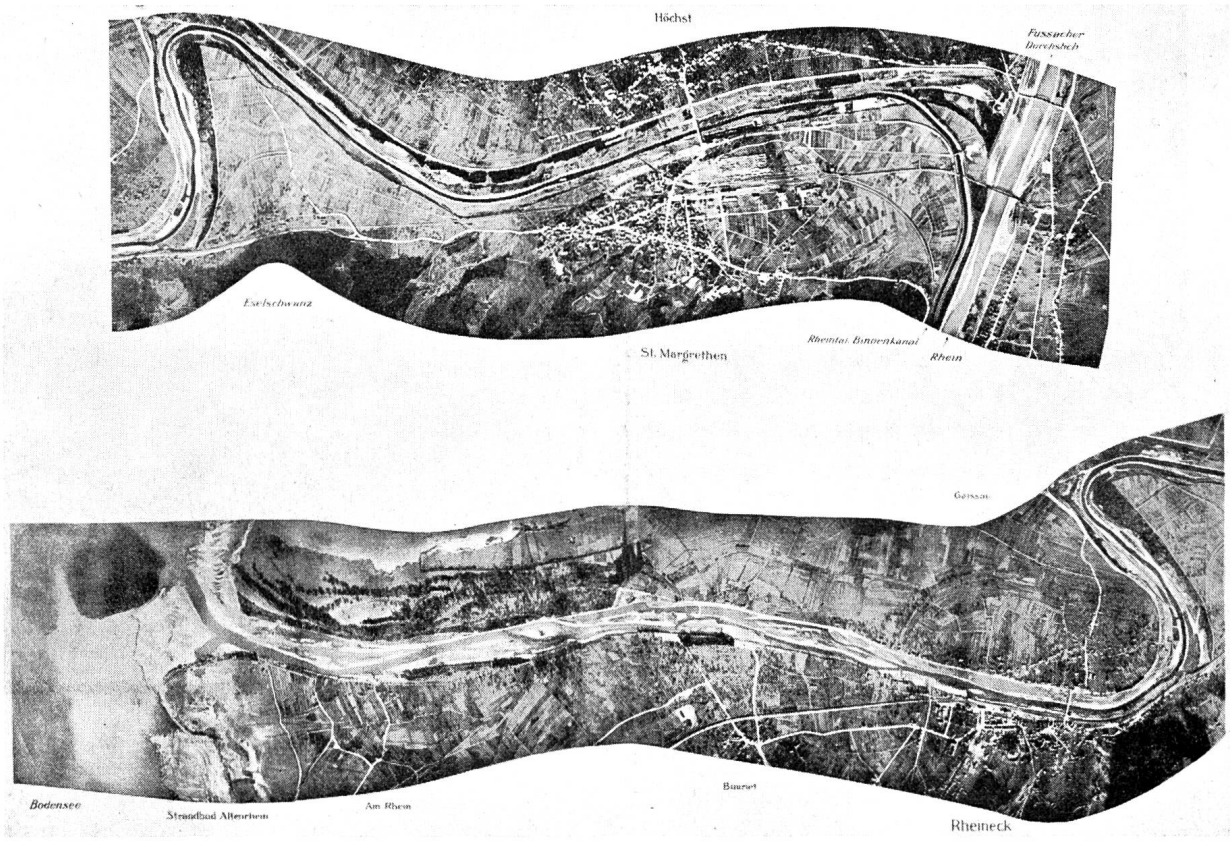


Abb. 110 Der alte Rheinlauf von St. Margrethen bis zum Bodensee.

Das Gefälle ist bei St. Margrethen ca. 1 ‰. Von Rheineck abwärts ist das Gefälle im Sommer praktisch = 0, im Winter ca. 0,1 ‰.

Im Verlaufe der Erhebungen hatte es sich gezeigt, dass die Beobachtungen in der Natur allein nicht erlaubten, die erforderlichen Koeffizienten für die Schlammführung zu gewinnen. Das Amt hat daher gemeinsam mit der schweizerischen Rheinbauleitung Versuche in der Versuchsanstalt für Wasserbau an der E. T. H durchführen lassen, über welche Professor Meyer-Peter in seinem Referat berichtet hat.

Es kann hier nicht auf Details eingetreten werden; Interessenten finden diese in der Mitteilung Nr. 31 des Amtes für Wasserwirtschaft, betitelt: Wasserführung, Sinkstofführung und Schlammablagerung des Alten Rheins. Der zweite Teil der Veröffentlichung enthält die Darstellung der unter Leitung von Professor Dr. Meyer-Peter durchgeführten Laboratoriumsversuche und deren Ergebnisse.

Geschiebetriebversuche

Die im Jahre 1932 begonnenen systematischen Geschiebetriebversuche in der Versuchsanstalt für Wasserbau sind aus einer Anzahl Publikationen der Versuchsanstalt bekannt. Es wurden eingangs die Gründe angegeben, welche das Amt dazu führten, diese Versuche in den Jahren 1932 bis 1935 mit einer Gesamtsumme von Fr. 65 000 zu subventionieren.

Für die praktische Durchführung von Geschiebemessungen des Amtes in der Natur wurde der vom Amt verwendete Geschiebefänger der Versuchsanstalt zur Eichung in Auftrag gegeben.

Zum Zwecke einer ersten Nachprüfung der im Laboratorium gefundenen Gesetze des Geschiebetransportes wurde, wie erwähnt, in Brienzwiler eine Station errichtet für die

Untersuchung der Geschiebe- und Schwemmstofführung der Hasli-Aare.

Die Aufnahmen erfolgten in den Jahren 1936 und

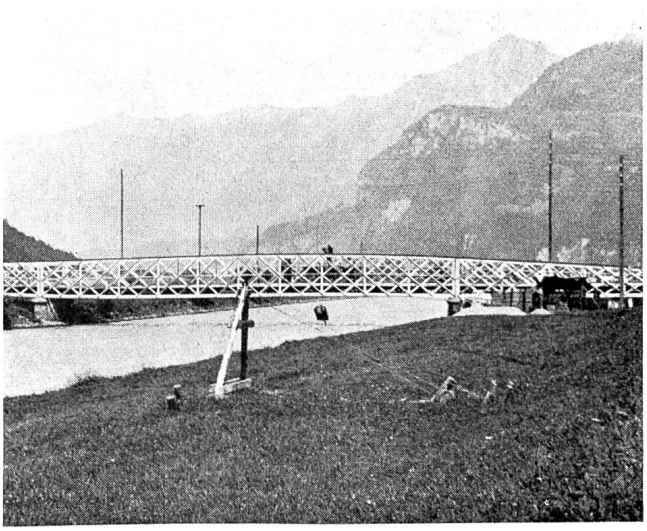


Abb. 111 Meßstelle bei Meiringen.

1937; in diesem Sommer werden noch einige Ergänzungen vorgenommen. Die Publikation der Ergebnisse steht bevor, und ich kann mich daher darauf beschränken, wenige Angaben über den Gegenstand zu machen.

Die *ursprüngliche Zielsetzung* war

1. Untersuchung, ob für diesen Fluss mit zweidimensionalem Abfluss, welcher sich auf der betrachteten Strecke in eigener Alluvion im Gleichgewichtszustand befindet, eine *Geschiebefunktion* besteht. Die Hasli-Aare wurde von der Aareschlucht bis zum Brienzersee in den Jahren 1866—1880 korrigiert. Bei der Strassenbrücke von Brienzwiler, welche den Fluss ohne Zwischenpfeiler überspannt, wurde eine günstige Meßstelle gefunden.[1]

2. Die gefundene Geschiebefunktion sollte mit den bestehenden Geschiebetriebformeln verglichen werden, insbesondere mit derjenigen der Versuchsanstalt für Wasserbau.

3. Es war die gesamte Geschiebe- und Schwemmstoffracht in ihrer Abhängigkeit von der Wasserführung zu ermitteln und mit der Ablagerung im Delta zu vergleichen.

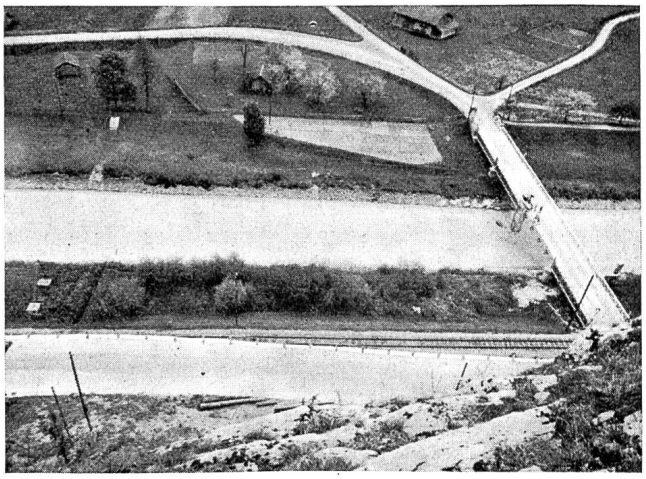


Abb. 112 Meßstelle Brienzwiler: Limnigraphenstation, Wassermesswagen, Geschiebemesswagen, Geschiebefänger. Fährseil mit Laufkatze für Verspannung.

Im Laufe der Arbeit zeigte sich die Wünschbarkeit und Möglichkeit, die Ziele etwas weiter zu stecken, da dies mit verhältnismässig geringen Mehrkosten möglich war.

Bei der Meßstelle Brienzwiler besteht seit 1905 eine Wassermeßstation. Als Grundlage für die weitern Arbeiten diente eine 2—3mal wiederholte topographische Aufnahme des gesamten Flussbettes durch

[1] Aehnlich günstige Verhältnisse traf die österreichische Rheinbauleitung bei Brugg im Fussacher Durchstich an. Wenn nicht eine bestehende Brücke für Messzwecke verwendet werden kann, gestalten sich die Installationen ausserordentlich kostspielig.

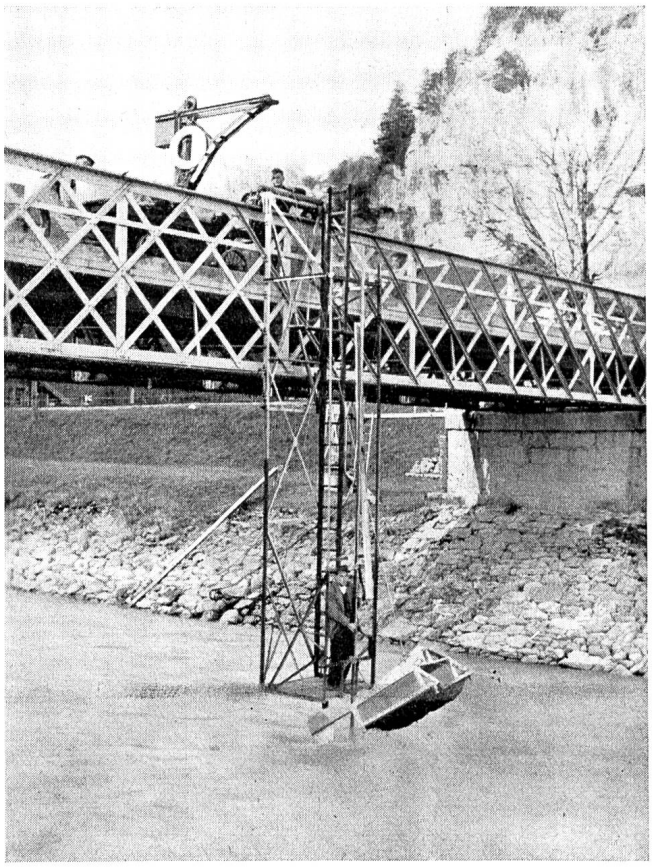


Abb. 113 Absenken des Geschiebefängers.

73 Querprofile. Durch wiederholte Wasserspiegelaufnahmen wurden die Gefällsverhältnisse bestimmt.

Die *morphologischen Untersuchungen* erstreckten sich auf die Bestimmung der Kornzusammensetzung und des Raumgewichts des Sohlenkieses auf der ganzen Strecke. Es wurden insgesamt 100 Tonnen, bzw. rund 53 m³ Kies genau ausgesiebt (Raumgewicht ca. 1,9). Das Material wurde zudem im Rahmen einer petrographisch-geologischen Untersuchung, mit welcher die Erdbauabteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau betraut war, petrographisch ausgewertet.

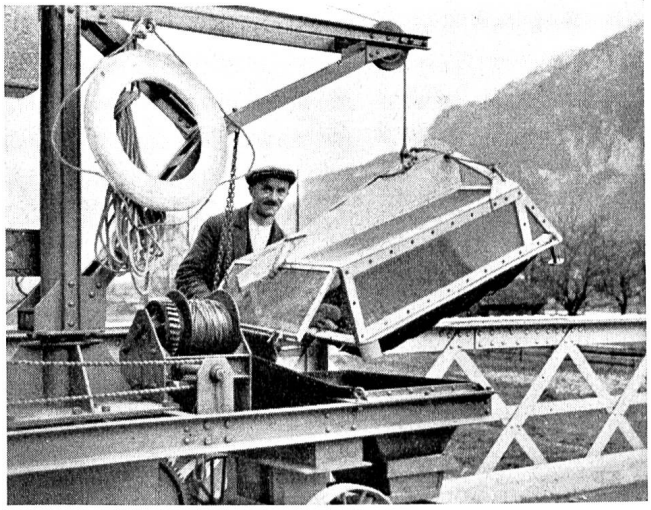


Abb. 114 Entleeren des Geschiebefängers.

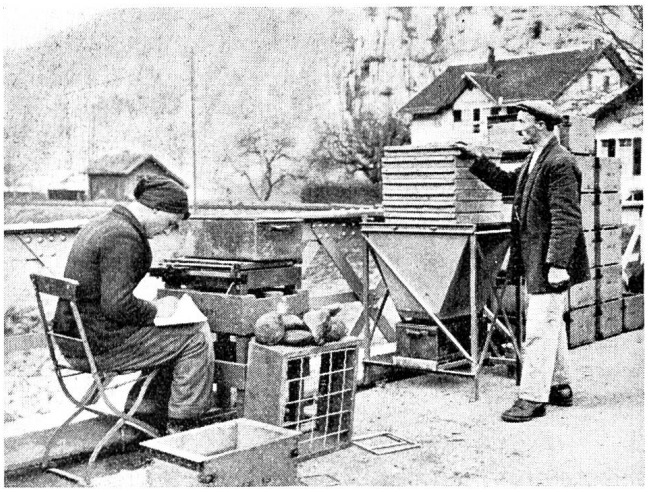


Abb. 115 Sieben und Wägen.

Eine Beleuchtungseinrichtung mit elektrischen Scheinwerfern ermöglichte die Durchmessung auch während der Nacht.

Der Geschiebefänger wurde von der Versuchsanstalt für Wasserbau geeicht.

Insgesamt wurden für die Aufstellung der Geschiebefunktion in Brienzwiler allein in 49 Messungen und durch rd. 4000 Einzelentnahmen 80 Tonnen Geschiebe mit dem Fänger aufgefangen und ausgesiebt. In Meiringen wurden für die dortige Geschiebefunktion sechs Messungen ausgeführt.

Das Bild 116 zeigt die für Brienzwiler aufgefundene Geschiebefunktion, welche praktisch diejenige der Versuchsanstalt für Wasserbau bestätigt.

Die Funktion für Meiringen ist noch nicht ausgewertet.

Das Filtrieren, Trocknen im elektrischen Ofen, Wägen, Aussieben mit dem Feinsiebsatz von Schaffernak geschah in einem eigens zu diesem Zwecke in einer Baracke eingerichteten kleinen Laboratorium (Abb. 118).

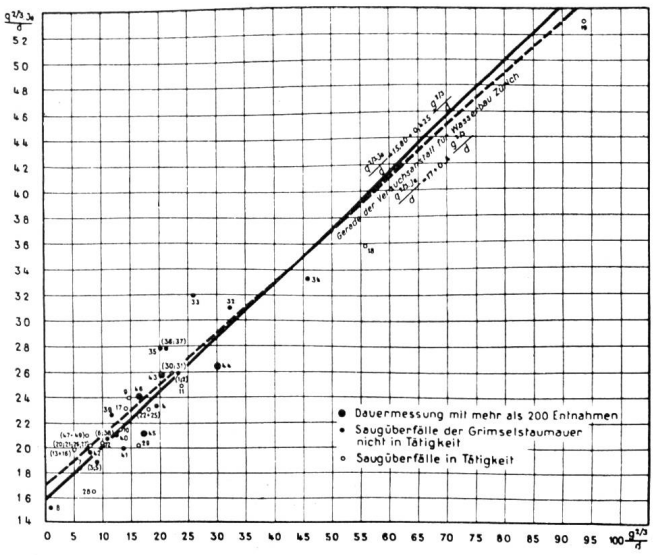


Abb. 116 Für Brienzwiler aufgefundene Geschiebefunktion.

Die Gesamtkosten der Einrichtungen und Aufnahmen an der Hasli-Aare werden sich, inbegriffen die noch in Ausführung begriffenen Arbeiten, auf rd. Fr. 48 000.— belaufen.

Schlussfolgerungen

Das Problem der Stauraumverlandung ist ein solches der Geschiebe- und Sinkstofführung. Wir haben gezeigt, dass die Forschung, sowie die Aufnahmetätigkeit auf diesem Gebiet mit allerhand Schwierigkeiten und mit erheblichen Kosten verbunden sind. Das Amt für Wasserwirtschaft ist bereit, an der Lösung der Aufgaben, welche die Probleme der Geschiebe- und Sinkstofführung stellen, nach Massgabe seiner Kräfte und der verfügbaren Mittel weiter mitzuwirken. Wir möchten der Hoffnung Ausdruck geben, dass auch die Elektrizitätsunternehmungen die Notwendigkeit einer vermehrten, systematischen Tätigkeit einsehen.

Wir sind bereit, bei Aufnahmen im Zusammenhange mit Untersuchungen über Stauraumverlandungen bei der Programmgestaltung mitzuwirken und besonders auch hinsichtlich der Aufnahmetätigkeit unsere Erfahrungen den beteiligten Behörden und Unternehmungen zur Verfügung zu stellen. Wie bisher werden wir gern gegen eine angemessene Gebühr Instrumente und Messgeräte für die Durchführung von Aufnahmen ausleihen.

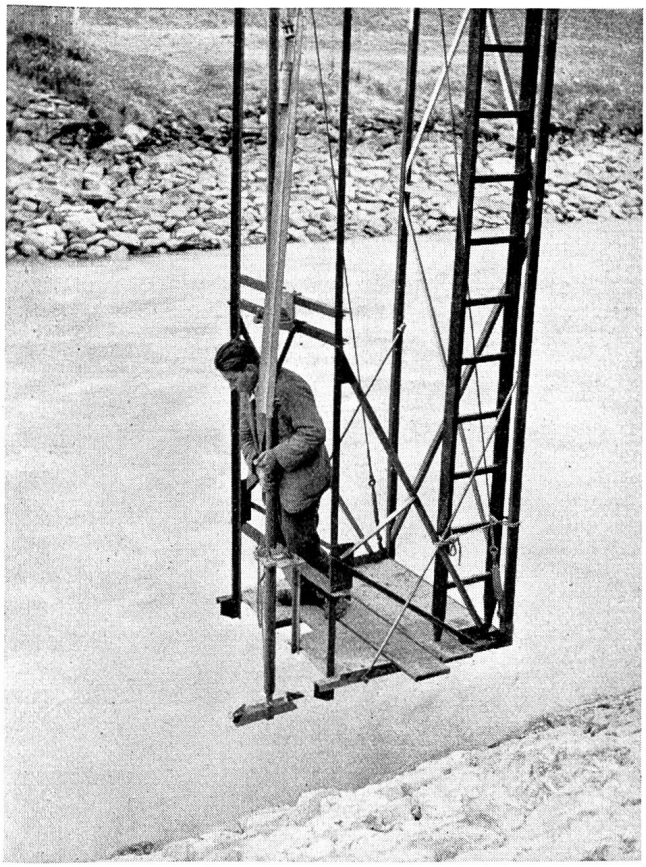


Abb. 117 Klappenschöpfgefäss vom Wassermesswagen aus benützt.

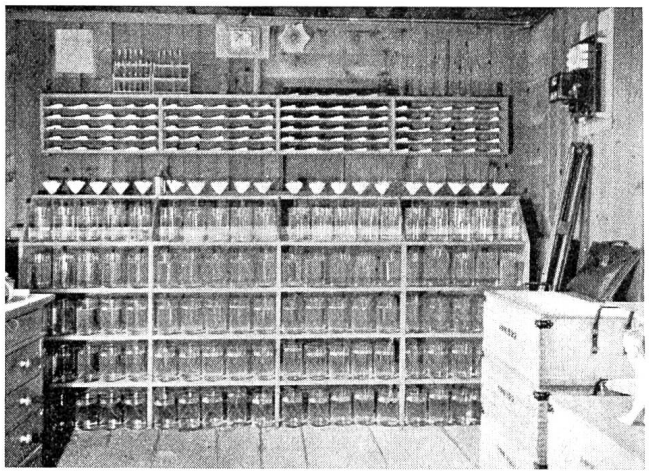


Abb. 118 Behelfsmässiges Laboratorium in einer Baracke.

Bei der *Programmaufstellung* für die Aufnahmen in der Natur ist zu unterscheiden zwischen solchen für *zukünftige* und für *bestehende* Anlagen.

Für *zukünftige Anlagen* können die Aufnahmen beschränkt werden auf die Bestandesaufnahme: Quer- und Längenprofile, Mischungslinien, Rauhigkeitskoeffizienten, Wasser-, Schwebestoff- und Geschiebezufuhr, Raumgewicht. Mit Hilfe dieser Grundlagen sind dann die zu erwartenden Erscheinungen und ihre Bekämpfung rechnerisch oder durch den Laboratoriumsversuch zu erfassen.

Bei *bestehenden Anlagen* hängt der Umfang der Naturbeobachtung von der Beantwortung verschiedener Fragen ab, wie z. B.

1. Können die zukünftig noch zu erwartenden Erscheinungen bei einer bestehenden Anlage bei bekannter Wasser-, Schwebestoff- und Geschiebezufuhr zuverlässig genug rechnerisch bestimmt werden?

2. Oder können die Erscheinungen zuverlässig genug, auch in quantitativer Hinsicht, durch Modellversuche erfasst werden, und sind diese Modellversuche wirtschaftlicher als umfassende Naturaufnahmen?

Als Vorteil der Modellversuche kann deren kürzere Dauer angeführt werden. Es ist aber eine Frage, ob diese Versuche sofort vorgenommen werden können, oder ob nicht doch das Ende einer Beobachtungsperiode der Bestimmung der Schwebestoff- und Geschiebezufuhr abgewartet werden muss. Aus Querprofil- und topographischen Aufnahmen allein kann nämlich nicht die ganze Zufuhr bestimmt werden, und es stellt sich die Frage

3. Genügt als Grundlage für die Rechnung oder den Modellversuch die Bestimmung der Menge der bisher in der Stauhaltung zur *Ablagerung* gelangten Stoffe, ohne Kenntnis derjenigen Menge, welche die Stauhaltung wieder verlassen hat?

Es hängt von den Umständen ab, ob die Erhebungen in der Natur sich auf die Bestimmung der bisherigen Ablagerungen beschränken können, oder ob direkte Messungen der Schwebestoff- und Geschiebezufuhr notwendig sind. Wenn eine Nachprüfung von Modellversuchen in der Natur als notwendig erachtet wird, so dürften Aufnahmen in etwa folgendem Umfange angezeigt sein:

1. Messung der Schwebestoff- und Geschiebeführung im Fluss oberhalb des Einflusses der Stauhaltung.

2. Messung der aus der Stauhaltung austretenden Stoffe.

3. Messung der Schwebestoffmenge an verschiedenen Stellen längs der Stauhaltung, und der Verteilung über den Querschnitt zwecks Verfolgung des Sedimentiervorganges.

4. Bestimmung der in der Haltung verbleibenden Stoffe und ihrer Verteilung nach *Menge* und *Zusammensetzung* längs der Stauhaltung.

5. Bestimmung der Raumgewichte.

6. Einfluss von Spülungen und Baggerungen.

Mit diesen Unterlagen kann dann kontrolliert werden, ob Berechnungen auf Grund einer Geschiebetriebformel, z. B. derjenigen von Professor Dr. Meyer-Peter, zulässig und sicher sind.

Durch die auf das gleiche Ziel gerichteten Bemühungen der Versuchsanstalt, des Amtes für Wasserwirtschaft und anderer Verwaltungsabteilungen, sowie der interessierten Elektrizitätsunternehmungen wird es gelingen, die durch die Stauraumverlandung gestellten Probleme, die nicht nur technisch, sondern auch wirtschaftlich von weittragender Bedeutung sind, befriedigend abzuklären.

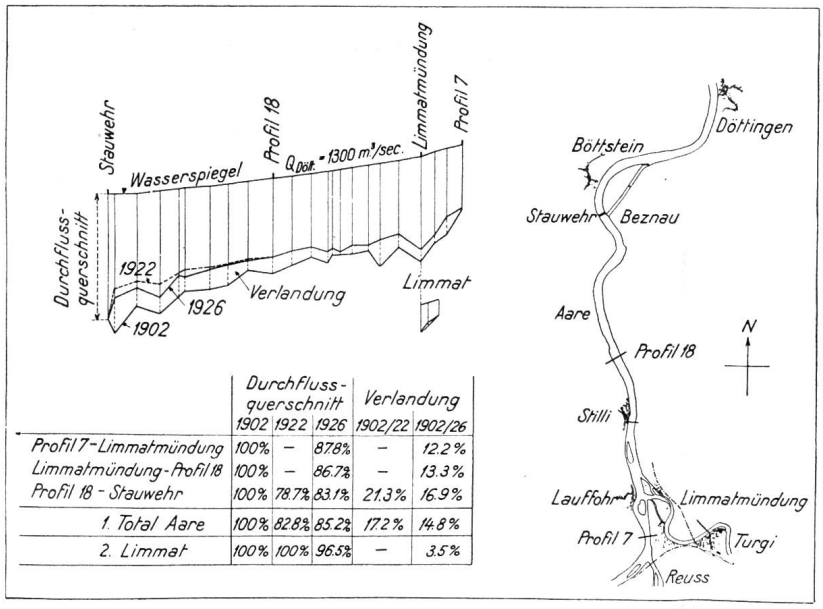
Verlandung der Staubecken und Stauhaltungen von Kraftwerken

Von *Prof. Dr. E. Meyer-Peter*, Zürich (Fortsetzung und Schluss)

Eine Betrachtung der in Abb. 102[1] dargestellten Kurven führt zu folgenden Schlüssen:

Die ursprüngliche Sohle von 1891 ist ausser dem Querschnitt direkt beim Wehr durch die aussergewöhnlich grosse Spülwassermenge von 1937 nur auf eine kurze Strecke wieder erreicht worden, nämlich auf jenem Abschnitt, in welchem die Flussbreite auf der Höhe des ungestauten Wasserspiegels nur rd. 60 m beträgt. Die stärksten Verlandungen sind bei den ca. 80 m breiten Profilen verblieben. Im allgemeineen ist die Sohle sonst nir-

[1] Siehe Nr. 10 vom Oktober 1938



	Durchfluss-querschnitt			Verlandung	
	1902	1922	1926	1902/22	1902/26
Profil 7–Limmatmündung	100%	–	87.8%	–	12.2%
Limmatmündung–Profil 18	100%	–	86.7%	–	13.3%
Profil 18 – Stauwehr	100%	78.7%	83.1%	21.3%	16.9%
1. Total Aare	100%	82.8%	85.2%	17.2%	14.8%
2. Limmat	100%	100%	96.5%	–	3.5%

Abb. 119 Kraftwerk Beznau. Verlandung des Stauraumes.

gends wieder tiefer erodiert worden, als sie 1903 lag, genauer wahrscheinlich 1900. In diesen Jahren wurde das alte Wehrreglement im Sinne eines Höherstaues bei Hochwasser abgeändert. Anderseits ist der Kieskeil im obern Teil des Staugebietes im Wachsen begriffen, trotz der Spülungen.

Es scheint also, dass im wesentlichen durch die Spülungen Schlamm aus der Stauhaltung herausbefördert wird. Diese Ansicht stützt sich auch darauf, dass die Mischungslinie der Ablagerungen von der Staugrenze an immer feiner wird, soviel dies aus den vorhandenen Unterlagen zu ersehen ist. Die gröbsten in der Stauhaltung vorhandenen Steine wiegen bei der Arvemündung ca. 25 kg und nehmen bis zum Wehr Chèvres auf 1 kg ab.

Uebrigens ist von vornherein auch nicht anzunehmen, dass die ausgespülte Kiesmenge während einer Spülzeit von 1 bis mehreren Tagen dem ganzen Jahrestransporte gleichkommt. Dazu kommt nun der bereits erwähnte Umstand, dass, wie beim natürlichen Erosionszustand, auch beim Spülvorgang sich in der Kiessohle bald eine Abpflästerung durch liegen bleibende grobe Bestandteile ergeben muss. Dies hindert den Fluss daran, in kurzer Zeit namhafte Quantitäten des kiesigen Materials abzuspülen.

Der scheinbare Widerspruch zwischen dem in all den Jahren erfolgten verhältnismässig geringen Anwachsen des Kieskeils und der erheblichen Geschiebeführung der Arve wird dadurch aufgeklärt, dass in der Arve direkt oberhalb ihrer Mündung und auch in der Rhone eine sehr erhebliche Kiesbaggerung stattfindet. Diese nimmt nach den vorhandenen Schätzungen ein Ausmass an, das ungefähr der Geschiebeführung der Arve gleichkommt. Das geht daraus hervor, dass in wasserarmen Jahren nur mit Mühe das gewünschte Baggerquantum gefunden werden kann.

Ein anderes Beispiel der Wirkung von Spülungen liefert das Kraftwerk Beznau an der Aare; sie ist in Abb. 119 dargestellt. Leider sind direkt vor der einzigen, aber zwei Monate dauernden Spülung vom Jahre 1926 keine Querprofile aufgenommen worden, so dass das abgespülte Volumen nur geschätzt werden kann.

Die Verlandung betrug	830 000 m³
oder ca. 40 000 m³ pro Jahr also schätzungsweise von 1922—1926	200 000 m³
Total 1902—1936	1 030 000 m³
Nach der Spülung vom August/Sept. betrug die Auflandung noch	723 000 m³
so dass mit einem mutmasslichen Spülergebnis gerechnet werden kann von rd.	300 000 m³

Die Spülung war nur in den untersten 3 km fühlbar, betrifft also nur den feineren Kies, der auch bei Normalbetrieb bis über das Wehr hinaustransportiert wurde, was durch die im Jahr 1926 entstandene Notwendigkeit der Baggerung des Oberwasserkanals erwiesen ist.

Aus diesen und andern Beispielen ist folgender Schluss zu ziehen:

Bei hohen Stauhaltungen von über 8 m gelangt der Kies nicht bis zum Stauwehr. Die Ablagerung ist dann im ganzen Gebiet, das über dieses Mass angestaut wird, ausschliesslich Schlamm. Dieser Schlamm kann durch vollständige Absenkung des Stauspiegels, die jedes Jahr zu erfolgen hätte, weggespült werden, während eine Zwischenlösung mit teilweise abgesenktem Spiegel keinen Erfolg verspricht.

Die am Stauende, oder wenig unterhalb entstehende Kieszunge kann durch jährliche mehrtägige Spülungen nicht entfernt werden. Das einzige Mittel gegen unzulässige Kiesansammlungen ist deshalb die Baggerung.

Von ganz besonderem Interesse wird die Frage der Ausräumung der verlandeten Staubecken, wenn sich im Fluss ein oder mehrere Kraftwerke Stufe an Stufe aneinanderreihen. Es bedarf wohl keines besonderen Beweises, dass Spülungen, soweit sie erforderlich sind, in diesem Falle die Wirkung haben, dass der Unterlieger mit der gleichen Kalamität zu rechnen hat, deren sich der Oberlieger durch die

Spülung mehr oder weniger entledigt. Vom Rechtsstandpunkt aus gesehen, wird man sagen dürfen, dass der Oberlieger das Recht hat, zu spülen, denn wenn sein Werk nicht bestehen würde, kämen die Schwemmstoffe ungehindert ins Staugebiet des Unterliegers. Nun ist der Unterlieger haftbar für die Einhaltung des Wasserspiegels an seiner Staugrenze, was ihm aber aus dem bisher Gesagten nicht gelingen wird, falls der Oberlieger Kies durchspült. Der eventuelle Einwand des Unterliegers, dass durch die Spülungen ein stossweiser Geschiebetrieb in sein Staubecken kommt, dürfte nicht als schwerwiegend betrachtet werden, denn so oder so wird sich der Kies ablagern, solange der Unterlieger staut. Er könnte diese Ablagerung nur dann vermeiden, wenn er überhaupt nicht stauen würde, oder dann aber gleichzeitig spült wie der Oberlieger. Dies hätte zweifellos Erfolg, ist aber energiewirtschaftlich nicht wünschbar und fällt ganz ausser Betracht, wenn viele Staustufen aufeinanderfolgen.

Aus diesem Dilemma gibt es nur den Ausweg, der in gemeinsamer Baggerung des abgelagerten Geschiebes an denjenigen Stellen besteht, wo es sich zuerst bemerkbar macht, in der obersten Stufe oder an den Mündungen der geschiebeführenden Nebenflüsse. Die Kostenteilung ist ein Problem, das in jedem Einzelfalle auf Grund der vorliegenden Verhältnisse zu studieren ist, wozu aber der Sinn und der gute Wille für Erreichung der volkswirtschaftlich richtigsten Gesamtlösung erforderlich ist.

b) Vorkehrungen zur Verhütung der Verlandung von Tages- und Wochenausgleichsweihern.

Es wurde gezeigt, dass bei Saisonspeichern, deren Stauraum 45 bis 95 % der Jahreswasserfracht beträgt, eine Verlandung erst nach Jahrhunderten zu erwarten ist. Ganz anders verhält es sich bei Tages- und Wochenspeichern, deren Volumen nur einen Bruchteil der Monatswasserfracht oder wenig mehr als die Tagesfracht bei kleinen Wasserführungen beträgt. Solche Speicher müssten in äusserst kurzer Zeit vollständig mit Schwemmstoffen angefüllt sein. Die Vorkehrungen, die dagegen getroffen werden können, sind verschiedener Art. An nachfolgenden Beispielen seien sie erläutert.

Am Albulawerke, dessen Stauwehr samt Wasserfassung in Abb. 120 dargestellt ist, sind zwei Grundablässe und eine Schütze mit hoher Schwelle eingebaut. Diese gestatten, das Sommerhochwasser um 5 m gegenüber dem Winterstau abzusenken, wodurch die Ablagerungen an der Staugrenze zwar nicht vermieden, aber doch vermindert werden. Gleichzeitig gelangt viel Geschiebe bis zum Wehr und wird dort vom Betriebswasser in die Geschiebesammler gerissen, wo es sich aber ablagert. Die doppelte Geschiebesammleranlage gestattet die periodische Ausspülung des Geschiebes in das Unterwasser. Durch jährliche Spülungen im Sommer wird sodann der Stauraum ausgespült, wobei zwar nicht eine völlige Entleerung erfolgt, aber die Sohle doch so tief ausgespült wird, dass der nur für den Winter erforderliche Stauraum intakt bleibt.

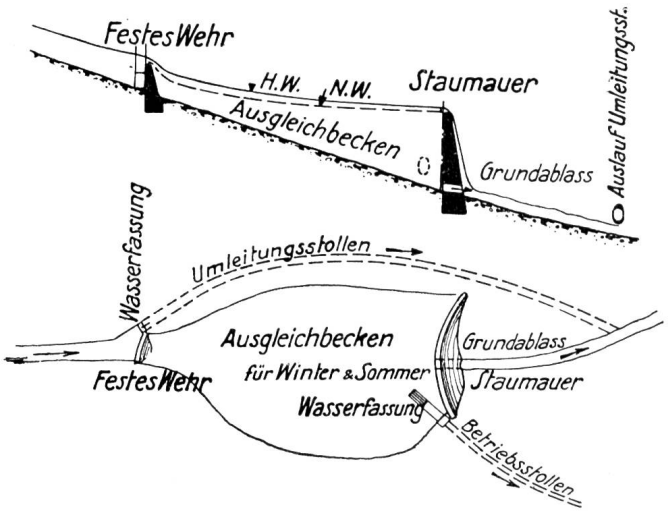


Abb. 121 Anordnung mit Umleitungsstollen.

Das Kraftwerk Amsteg (Abb. 121) besitzt im Gegensatze zum Albulawerk eine Staumauer und seitwärts nur einen bescheidenen Grundablass, der nicht imstande ist, das Hochwasser der Reuss ohne grossen Stau durchzulassen. Dafür ist ein sogen. Umlaufstollen angeordnet, der die Aufgabe zu übernehmen hat, das Sommerhochwasser (abzüglich Betriebswassermenge des Werks) samt dem Geschiebe um den Stauweiher herum zu leiten und unterhalb der Staumauer wieder der Reuss zuzuführen. Zur Einführung des Hochwassers in den Umlaufstollen besteht an der Staugrenze ein gemauertes, schräg in einer Kurve die Reuss durchquerendes Hilfswehr.

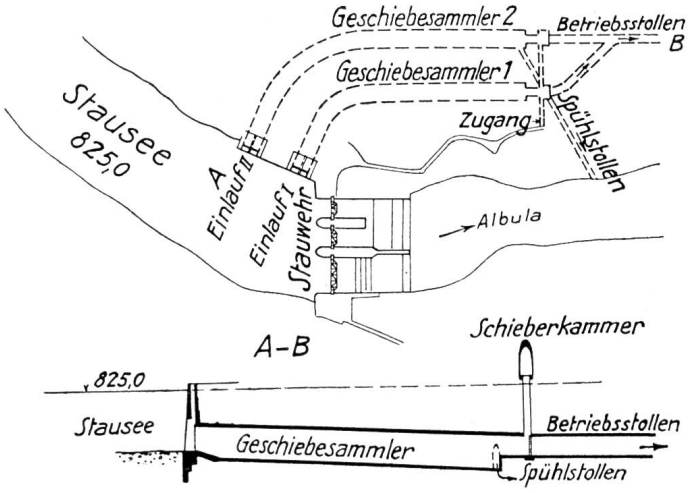


Abb. 120 Kraftwerk Albula.

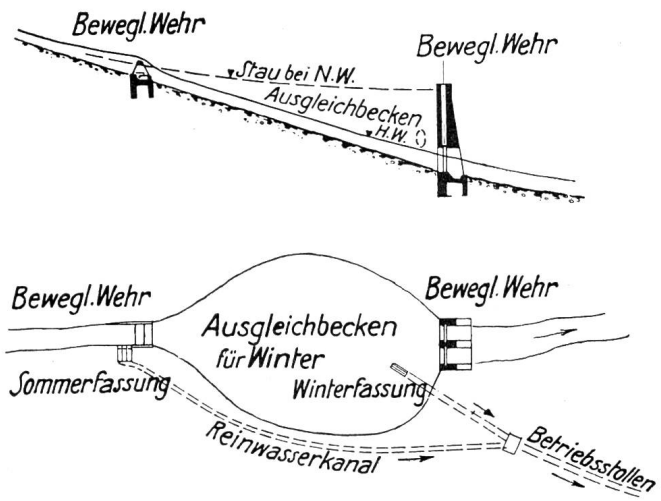


Abb. 122 Anordnung mit Sommer- und Winterfassung.

Der Stollen kann im Winter durch Schützen abgeschlossen und im Sommer in seinem Abfluss reguliert werden. Das Betriebswasser gelangt als Ueberfall über die Krone des Hilfswehrs in den Stauweiher.

Das im Sommer suspendiertes Material mitschleppende Wasser bringt selbstverständlich Schlamm in den Stauraum, dessen Verlandung durch besondere Spülungen verhindert werden muss. In verhältnismässig breiten Stauräumen ist die Spülwirkung an den Ufern und in Profilerweiterungen nur wirksam, wenn der Weiher mehrmals gefüllt und entleert wird, wobei in den Profilerweiterungen immer noch kleine, aber unschädliche Reste verbleiben.

Der Umlaufstollen, der über den ganzen Sommer durch laufendes Geschiebe belastet wird, ist ausserdem trotz seiner Granitpflästerung einer starken Abnützung ausgesetzt, deren Kosten sich aber in erträglichen Grenzen halten.

Ing. Dr. Büchi in Zürich hat vor einigen Jahren einen Vorschlag gemacht, der durch Abb. 122 dargestellt ist. Der Grundgedanke ist der, dass im Sommer der Ausgleichsweiher nicht benötigt wird, da immer mehr Wasser im Fluss vorhanden ist, als die Zentrale im Maximum zu verarbeiten hat. Demgemäss kann der Stauspiegel im Sommer ganz abgesenkt werden, wozu aber statt einer Staumauer ein bewegliches Wehr einzubauen ist, ähnlich wie an der Albula. Während des Sommers wird dann der Stauweiher vom geschiebeführenden Fluss mit natürlicher Spiegelhöhe durchflossen, weshalb kein Anlass zu Ablagerungen besteht. Auch entstehen keine Schlammsäcke in Buchten und an den Böschungen. Es ist keine granitgepflästerte Sohle nötig, wie im Umlaufstollen von Amsteg, denn die aus Geschiebe bestehende Sohle ergänzt sich von selbst.

Für die Wasserfassung im Sommer ist bei der Winterstaugrenze ein Hilfswehr erforderlich, das, um Ablagerungen in seinem Staugebiet möglichst zu vermeiden, am besten mit beweglichen Abschlussorganen versehen wird. Ferner ist neben diesem Hilfswehr eine Sommerfassung anzuordnen. Diese wird das Eintreten von Schlamm und Sand, die vom Flusse suspendiert mitgeschleppt werden, eventuell auch vom Geschiebe, nicht hindern können. Das Betriebswasser ist also zu entsanden, was durch Anlage einer der bekannten Entsandungsanlagen geschehen kann (als moderner Ersatz für die Geschiebesammler des Albulawerkes).

Die Fassung des Betriebswassers im Winter erfolgt durch eine sogenannte Winterfassung, die so tief im Staubecken liegt, dass ein Absenken des Speichers ohne weiteres möglich ist. Von der Sommerfassung führt ein Verbindungsstollen in den mit der Winterfassung verbundenen Druckstollen des Werks. Die Abmessungen dieses Stollens sind nur für das Betriebswasser zu berechnen, nicht für die Hochwassermenge. Eine besondere Abnützung der Stollensohle tritt nicht auf, weil das Wasser sofort nach der Fassung entsandet wird. Der Vorschlag nähert sich also dem Projekt des Albulawerkes. Letzteres kommt deshalb mit einer einzigen kombinierten Sommer- und Winterfassung aus, weil die für den Wochenausgleich erforderliche Absenkungstiefe verhältnismässig klein ist, so dass es durch die Spülungen gelingt, unter Verzicht auf Entleerung des nicht zum Ausgleich nötigen Stauvolumens den eigentlichen Speicherraum intakt zu halten.

Zum Schlusse sei all den Gesellschaften und Aemtern, die den Autor mit Unterlagen für diesen Vortrag versehen haben, der beste Dank ausgesprochen.

Wasser- und Elektrizitätsrecht, Wasserkraftnutzung, Binnenschiffahrt

Nordostschweiz. Verband für Schiffahrt Rhein-Bodensee in St. Gallen.

Am 24. September 1938 versammelte sich der Nordostschweiz. Verband für Schiffahrt Rhein-Bodensee zu seiner 30. Hauptversammlung in St. Gallen. Vor der Versammlung hielt der Zentralausschuss eine Sitzung ab, an der Direktor Mutzner vom Eidg. Amt für Wasserwirtschaft einen sehr interessanten Vortrag über die Arbeiten des Amtes zur Frage der *Ausbaugrösse für die Schiffahrt Basel-Bodensee* hielt. An der Hauptversammlung bot der Sekretär des Verbandes, Dr. H. Krucker, einen mit grossem Interesse angehörten Vortrag über die *«Erwartungen der Ostschweiz* und des Auslandes auf *baldigen Ausbau der Rheinschiffahrt Basel-Bodensee».*