**Zeitschrift:** Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
**Band:** 52 (1960)
**Heft:** 1-2

**Artikel:** Entwicklung der Einbaumethoden und Installationen bei Erddämmen
**Autor:** Mugglin, G.A.
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-921734

**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:** 12.07.2025

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

# Entwicklung der Einbaumethoden und Installationen bei Erddämmen

*G. A. Mugglin*, dipl. Ing., Zürich

DK 624.136.005

## *1. Einleitung*

Die Entwicklung des Erddammbaues erfolgte in der Schweiz in den letzten 50 Jahren ziemlich sprungartig. Es ist nicht möglich, dieser Entwicklung nur anhand der in der Schweiz zur Ausführung gelangten Bauwerke nachzugehen, da der hauptsächlichste Ansporn zur Errichtung größerer und höherer Dämme vom Ausland her erfolgte. Schon vor dem zweiten Weltkrieg wirkte die intensive Damm-Bautätigkeit in den USA sehr befruchtend auf Anwendung und Entwicklung der Erdbaumechanik und erforderte Neukonstruktionen auf dem Gebiete der Baumaschinen-Industrie. Diese Entwicklung beeinflußte nach dem Kriege den Erddamm-Bau in der Schweiz entscheidend und gab ihm das jetzige Gepräge. Der hohe Stand der Erdbaumechanik und das Vorhandensein großer Spezialgeräte ermöglichten es auch hohe Dämme sicher und wirtschaftlich zu erstellen.

## *2. Geschichtliche Entwicklung des Erddammbaues*

Schon in der frühesten Zeit der Zivilisation wurden, wie historische Aufzeichnungen und noch erhaltene Überreste alter Dämme beweisen, Erddämme für das Aufstauen von Wasser zu Bewässerungszwecken gebaut. Der erste, durch den Historiker Tennent beschriebene Erddamm, ist der Damm des Beckens von Padavil auf Ceylon (504 v. Chr.). Dieses Bauwerk war ca. 17 km lang, wies bei einer Höhe von 22 m eine Basisbreite von 65 m und eine Kronenbreite von ca. 10 m auf. Es war durchwegs mit Steinplatten verkleidet und stellte ein Gesamtvolumen von ca. 17 000 000 m³ dar.

Bis zur eigentlichen Entwicklung der neueren Erdbaumechanik war der Entwurf und der Bau eines Erddammes ein sich auf große Erfahrung und nicht auf Wissenschaft aufbauendes intuitives Werk. Die Hauptprinzipien, welche bei der Planung und Ausführung wegleitend sein müssen, waren jedoch in großen Zügen gut erfaßt.

«Erdbaumechanik» ist im Grunde genommen ein neuer Name für eine alte Wissenschaft. Schon Rankine, Coulomb, Darcy u. a. m. waren Erdbaumechaniker, d. h. eigentliche Erdbaustatiker, da sie die Erde als Baustoff nur äußerst vereinfacht berücksichtigten.

Vor dem Jahr 1925 waren Dämme, deren größte Höhe 30 m überstieg, ein seltenes technisches Wagnis. Von den 23 vom Bureau of Reclamation (USA) bis zu diesem Zeitpunkt gebauten Dämme überstiegen nur drei diese Höhe. Das Nichtvorhandensein von Unterlagen über das Verhalten der Böden, das Fehlen von begründeten Konstruktions-Kriterien und verschiedene Mißerfolge bei Dammbauten ließen es den Ingenieuren ratsam erscheinen, nach Möglichkeit die Konstruktionshöhe von 30 m nicht zu überschreiten.

Gerade das Studium an Erddämmen, die während des Baues Rutschungen oder Ausquetschungen aufzeigten oder nach der Vollendung brachen, hatte einen stark fördernden Einfluß auf die Entwicklungen der Erdbaumechanik. Die häufigste Ursache von Dammbrüchen an fertiggestellten Objekten war Überflutung

Bild 1 Staudamm Klöntalersee für das Elektrizitätswerk am Löntsch (Bauzustand April 1909)

Bild 2 Necaxa-Damm in Mexiko: Einschwemmen des Damm-Materials (Bauperiode 1907/12)

infolge zu kleiner Hochwasserentlastungsorgane und in einzelnen Fällen Auswaschung des feinen Materials mit eintretender regressiver Erosion. Brüche, infolge ungenüdender Scherfestigkeit des Untergrundes oder der Dammkörper selbst, traten glücklicherweise meist im Bauzustand auf, da mit zunehmendem Wachsen des Bauwerkes durch die Konsolidation die Scherfestigkeit des Untergrundes und des Dammes steigt.

1925 gab Prof. M. Terzaghi mit seinem Buch «Erdbaumechanik» den Anstoß zur eigentlichen Erdbaumechanik, indem er die Erde wirklich als Baustoff betrachtete, ihre physikalischen Eigenschaften und ihre Anwendung für Ingenieurbauwerke studierte. Diese neue Entwicklung führt zu besseren Methoden, Spannungen und Sicherheiten im Erdbau festzulegen, was den projektierenden wie den ausführenden Ingenieuren ein wirksames Instrument in die Hand gab und ihnen die Festlegung bestimmter Grundprinzipien des Dammbaues erlaubte. Diese theoretischen Erkenntnisse, mit der praktischen Erfahrung im richtigen Verhältnis zueinander angewandt, befähigten nun den Ingenieur höhere Erddämme mit größerer Sicherheit und Wirtschaftlichkeit zu planen und zu bauen.

### *3. Einteilung der Erddämme*

Zuerst sei kurz auf die Einteilung der Dämme nach Aufbau eingetreten.

Der *homogene Damm* besteht praktisch durchwegs aus einheitlichem Material. Es ist dabei wünschenswert, daß das durchlässigere Material möglichst luftseitig eingebaut wird. Dieser Dammtyp kommt hauptsächlich dort zur Anwendung, wo keine differenzierten, aber feine Materialvorkommen zur Verfügung stehen.

Viel häufiger zur Ausführung gelangen jedoch *in Zonen aufgeteilte Dammprofile*, bei denen man unterscheiden kann zwischen *zentral oder geneigt angeordnetem Dichtungskern*. An diesen Kern schließt beidseitig eine Übergangszone (Filter-, Drainage-Schicht) an, welche die Verbindung zum Stützkörper herstellt.

Für die Wahl der Dammprofile sind außer geologischen und topographischen Gründen (Materialvorkommen, Felsverlauf, Form der Sperrstelle u. a. m.) auch ausführungstechnische Überlegungen maßgebend. Eine äußerst wichtige Rolle für den Bau eines Erddammes spielt oft das Wetter, also die Niederschlagsempfindlichkeit eines Dammtypes. Am wetterunempfindlichsten

Bild 3 Hühnermatt-Damm: Einwalzen des Lehmkerns (Moräne) mit Raupentraktor 6 t; Einbau Filter mit Rollbahn in Schichten von 30 cm (Bauperiode 1934/36)

Bild 4 Damm im Staugebiet des Kraftwerkes Rupperswil—Auenstein: Einbau des Lehmschlages (Bauperiode 1942/45)

erweist sich mit Ausnahme der weiter unten beschriebenen eingespülten Dämme, die Konstruktionsart mit geneigtem Kern. Der große, luftseitige Stützkörper kann ungeachtet des Baufortschrittes in der Dichtungszone, auch während langen Schlechtwetterperioden ungehindert eingebracht werden. Schon empfindlicher ist die Ausführung mit zentralem Kern, da bei dieser Bauweise nur ein begrenzter Höhenunterschied zwischen Kern und Stützkörper toleriert werden darf. Die schwierigsten Einbauverhältnisse bezüglich Regenabhängigkeit bietet der homogene Damm, da meist das zu handhabende Material schon bei einer kleinen Erhöhung des Wassergehaltes nicht mehr verdichtet und die Einbaustellen auch nicht mehr befahren werden können. Der ganze Schüttbetrieb muß deshalb eingestellt werden, und es ist kein Ausweichen in andere, bei schlechtem Wetter schüttechnisch günstigere Zonen möglich, wie dies bei den in Zonen eingeteilten Dämmen je nach eingesetztem Gerätepark und der Lage des Kerns wenigstens beschränkt möglich ist.

Eine andere Einteilung der Dämme ist nach der Baumethode möglich.

Die *in Schichten eingebrachten und verdichteten Dämme* sind seit mehreren Jahren in allen Ländern zum Normalfall geworden. Das Material wird mit Transportgeräten von den z. T. verschiedenen Gewinnungsstellen in den Damm geführt, in Schichten ausgebreitet, wenn nötig benetzt und dann verdichtet. Diese Methode hat sich auch, dank der Einführung des gleislosen Betriebes, immer mehr durchgesetzt.

Bei *eingespülten Dämmen* (hydraulic fill dams) werden die Materialien hydraulisch in den Gewinnungsstellen abgebaut, d. h. abgespült oder gepumpt und mittels Rohrleitungen oder Kanalsystemen, in Wasser aufgeschwemmt, in den Damm transportiert. Die Rohre oder Kanäle werden längs der Außenkanten des Dammes geführt und sind dort in regelmäßigen Abständen mit Ausläufen versehen, aus denen das Wasser mit dem aufgeschwemmten Material gegen die Damm-Mitte in ein zentrales Becken strömt. Das grobe Material bleibt automatisch in den äußeren Zonen des Dammes liegen, während das feinere sich mehr gegen die Mitte ablagert, sich das feinste und undurchlässige Material im zentralen Becken absetzt und so den zentralen, undurchlässigen Kern bildet. Aus diesem Bauvorgang resultiert ein Damm mit zentralem Kern, welcher durch relativ durchlässige, von innen nach außen gröber werdende, stabilere äußere Zonen gestützt wird. Deshalb ist der gespülte Damm in gewissen Grundzügen analog dem in Schichten eingebrachten «Zonen-Damm».

Bei der *teilweisen hydraulischen Schüttmethode* erfolgt der Einbau des Materials in den Damm ebenfalls mittels Wasser. Die Hauptdifferenz zwischen dieser und der hydraulischen Methode liegt darin, daß das Material mechanisch gewonnen und in die äußeren Zonen des Dammes geführt und mittels Wasserstrahl in die endgültige Lage gespült wird.

### *4. Beispiele*

Anhand verschiedener ausgewählter Beispiele sei nun die Erddammbau-Tätigkeit vor allem in der Schweiz beleuchtet.

Zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts wurde in St. Gallen das *Elektrizitätswerk Kubel* dem Betrieb übergeben. Die beiden für den Abschluß des Ausgleichbeckens «Gübsenmoos» notwendigen Dämme (als östlicher Abschluß wurde eine Staumauer errichtet) wurden als homogene Lehmkörper hergestellt, für die das Material zum größten Teil den Talhängen entnommen werden konnte. Da der Lehm wenig Sand enthielt (Scherfestigkeit) zeigte hauptsächlich der westliche Damm schon bei kleiner Aufschütthöhe Neigung zum Ausquetschen. Das ursprünglich vorgesehene Pro-

Bild 5
Staudamm Marmorera: Verdichten des Kernmaterials mit Schaffußwalzen, Nachtaufnahme (Bauperiode 1950/55)

fil erlitt dadurch nach und nach eine gänzliche Änderung. Die Lehmmassen glitten ab und stauchten den neben dem projektierten Damm liegenden weichen Untergrund auf. Erst als durch starke Stein- und Kiesauffüllung der Dammfuß gehalten werden konnte, trat Ruhe ein, und die obersten 5 m des Dammes konnten in normaler Böschung ausgeführt werden. Vor Beginn der Dammschüttung wurde der Untergrund von allem Humus und torfhaltigem Lehm befreit, d. h. der gelbe feste Lehm freigelegt. Darauf folgte die Schüttung in Schichten von 20—25 cm Stärke, welche mit einer 3 Tonnen schweren, von Ochsen gezogenen Walze verdichtet wurden. Da jedoch bei nasser Witterung die Tiere im Material einsanken, konnte die Walze bei Regenwetter nicht mehr eingesetzt werden, und die Verdichtung erfolgte durch Stampfen mit schweren Stößeln. Bei ganz nassem Material wurde die Oberfläche zur Erhärtung jeweils mit Kalkpulver bestreut.

Schon bald darauf, in den Jahren 1904/5, wurde für das *Elektrizitätswerk Engelberg* ein «Sammelweiher» von 30 000 m³ Nutzinhalt, der zu ¾ in gewachsenem Boden liegt, ausgeführt. Als Abdichtung mußte in einer gewissen Zone ein Damm von max. 5 m Höhe gebaut werden. Als Kern wurde eine armierte Betonmauer erstellt, an die sich beidseitig Lehmschlag anschließt. Der übrige Teil des Dammes besteht aus gewöhnlichem Erdmaterial, das schichtenweise eingebracht und eingestampft wurde.

1908—1910 erfolgte dann der Bau des *Elektrizitätswerkes am Löntsch*, an dem erstmals in der Schweiz ein größerer Staudamm zur Ausführung gelangte. Das Projekt sowie die rechnerischen und zeichnerischen Unterlagen wurden durch die Aktiengesellschaft für angewandte Elektrizität «Motor» ausgearbeitet. Diese Gesellschaft führte auch die Bauarbeiten in eigener Regie aus. Ursprünglich war die Anbringung der abdichtenden Lehmschicht auf der wasserseitigen Böschung vorgesehen, doch gab eine Expertenkommission der Ausführung mit zentralem Dichtungskern den Vorzug. Die höchste Höhe des Dammes über dem natürlichen Terrain beträgt 21,5 m und das Dammvolumen ca. 110 000 m³.

In einer zeitgenössischen Publikation wird der Dammquerschnitt wie folgt beschrieben: «Der aus Lehm bestehende Dammkern, welcher der Dammachse nach verläuft reicht rund 6 m unter das Terrain und bis 0,5 m unter die Dammkrone. Um Beschädigungen des dichtenden Kerns zu verhüten, ist der Übergang vom Kern zum übrigen Dammkörper durch ausgewähltes, feines erdiges Material vermittelt. Beide Böschungen sind mit einer im Minimum 2 m starken Schicht von feinem Geröll und Kies bedeckt, um den Mäusen den Eintritt zu verwehren.»

Anhand alter Photos kann festgestellt werden, daß der Einbau des Materials mittels Geleise und Rollwagen erfolgte. Es standen jedoch keine Lokomotiven im Einsatz sondern die Kompositionen von rund 8 Wagen wurden durch Pferde gezogen. Der Kerneinbau erfolgte in Schichten von 20—30 cm während man die Stützkörper in solchen von 40—50 cm eingebracht hat. Die Verdichtung erfolgte durch Holzstößel. Das Damm-Material wurde von Hand gewonnen und in Rollwagen verladen; das Herauslesen der Steine aus dem Lehm erfolgte ohne mechanische Hilfsmittel.

Als nächstes kleineres Bauwerk sei die Ausführung des *Elektrizitätswerkes der Stadt Schaffhausen* 1908 kurz gestreift. Das «Hochreservoir» im Engewald ist in einem sumpfigen Gebiet gelegen und wurde so angeordnet, daß der ca. 2 m tiefe Aushub zur Hauptsache für die ca. 3 m hohen Abschlußdämme verwendet werden konnte. Die Abdichtung der wasserseitigen Damm-Böschung wie der Weihersohle erfolgte erstmals durch einen 50 cm starken Lehmschlag, der zum Schutze mit 40 cm Erde respektive Kies überschüttet wurde. Die erste Ausführung, bei der die ganze Lehmschicht in einem Mal aufgebracht und eingestampft

worden war, ergab nicht das gewünschte Resultat, so daß der Lehmschlag rekonstruiert werden mußte. Dieses Mal kam nur ausgesuchter Lehm zur Verwendung, der in 10-cm-Schichten eingebracht und durch festes Einstampfen bei fortwährender Feuchthaltung des Materials verdichtet wurde. Die Dicke der Lehmschicht erhöhte man bei diesem Anlaß von 50 auf 60 cm.

In den Jahren 1907—12 kam in Mexiko ein äußerst interessantes und für diese Zeit kühnes Bauvorhaben zur Verwirklichung, die Erstellung des eine maximale Höhe von 60 m aufweisenden *Necaxa-Dammes*. Zwei Schweizer Ingenieure, W. Diem und W. Hugentobler, waren bei der Ausführung dieses eingeschwemmten Dammes, der eine Gesamtkubatur von 1 640 000 m³ aufweist, tätig. Die ganze Basisfläche des Dammes wurde gereinigt und das mittlere Drittel, auf welchem der Lehmkern anschließt, noch 3—5 m tief ausgegraben. Die Abräumungsarbeiten (ca. 200 000 m³) nahmen zwei Jahre in Anspruch, wobei zwei «Dampfschaufeln» und Eisenbahnzüge im Einsatz standen. Monitoren (eine Art Hydranten) lösten das gewünschte Material. Das zur Gewinnung verwendete Wasser führte dieses durch Rohre oder Holzkanäle dem Damm zu und deponierte es am gewünschten Bestimmungsort. Zur Erzielung des für die Monitoren nötigen großen Wasserdruckes staute man den Fluß 15 km talaufwärts und führte das Wasser in einem Kanal der hohen Berglehne entlang, wodurch eine Druckhöhe bei den Monitoren von ca. 140 m entstand. Der große Druck des Wasserstrahls und dessen Geschwindigkeit (60—80 m/s) ermöglichten ein Abbrechen selbst des sehr festen Felsens, der für die beiden Stützkörper Verwendung fand. Die Gewinnung und das Einbringen des Lehm-Materials erfolgten getrennt. Das Wasser-Materialgemisch erreichte in V-förmigen Holzkanälen, die durch Holzgerüste getragen waren, den Damm (Rohre erwiesen sich als ungeeignet wegen der Verstopfungsgefahr). Die Kanalneigung betrug 6—8 Prozent. Die Wassergeschwindigkeit erreichte 6 m/s. Auf 30 m³ Wasser führten die Kanäle 1 m³ Geröll, während bei Lehm das Verhältnis 70 Prozent erreichte.

Beim Bau des Dammes wurden beide Stützkörper für sich, möglichst gleichartig in die Höhe geführt, während der Lehmkern 2—3 m zurückblieb. Um während des Baues die schon bestehende Zentrale in Betrieb halten zu können und ihr ein möglichst großes Speichervolumen zur Verfügung zu halten, erzeugte man mittels eines Dammes unterhalb der Sperrstelle einen provisorischen Stau. Der Beginn der Schüttung erfolgte somit unter Wasser, und mit fortschreitendem Bau staute sich der See weiter. An der Dammsohle betrug die Breite der Stützkörper je ca. 100 m; man führte deshalb einen Schwemm-Kanal in Mitte jedes Steindammes parallel der Dammachse. Diese Kanäle waren auf verlorenen Gerüsten bis zu 20 m Höhe verlegt. Die Regulierung der Wasserspiegelhöhe des «Absetzbeckens» beim Kerneinbau erfolgte durch einen Überlauf gegen den See hin.

Die Schwierigkeiten einer solchen «Einschwemm-Konstruktion» wurden 1912 wie folgt beschrieben:

«Die beiden äußern Böschungen des Dammes, ungefähr die äußern Drittel, müssen aus Stein, Kies und Sand erstellt werden, erstens um dem Wasser des Lehmkerns ein langsames Durchsickern zu ermöglichen, zweitens um dem Lehmkern, der für sich anfänglich nicht stehen könnte, den genügenden Halt zu geben. Das Durchsickern des Wassers aus dem Kern muß sehr langsam vor sich gehen, damit der Lehm, welcher im Wasser aufgelöst eingeschwemmt wird, genügend Zeit zum Setzen hat, und doch muß die Drainierung aufhören, bevor der Lehm zum Trocknen kommt. Das durchsickernde Wasser enthält noch Lehm genug, um die Poren im Sand und Kies langsam zu verstopfen. Die Hauptkunst beim Bau ist nun, darauf zu sehen, daß dieses Undurchlässigwerden der beiden Steinböschungen in dem Moment eintritt, wo der Lehm die richtige Kompaktheit angenommen hat, um dem Druck des Wassers im Reservoir den nötigen Widerstand entgegensetzen zu können, als Wasser absolut undurchlässige Masse.»

Das «Einschwemmen» des Necaxa-Dammes nahm drei Jahre in Anspruch. Das einzige Mißgeschick, das

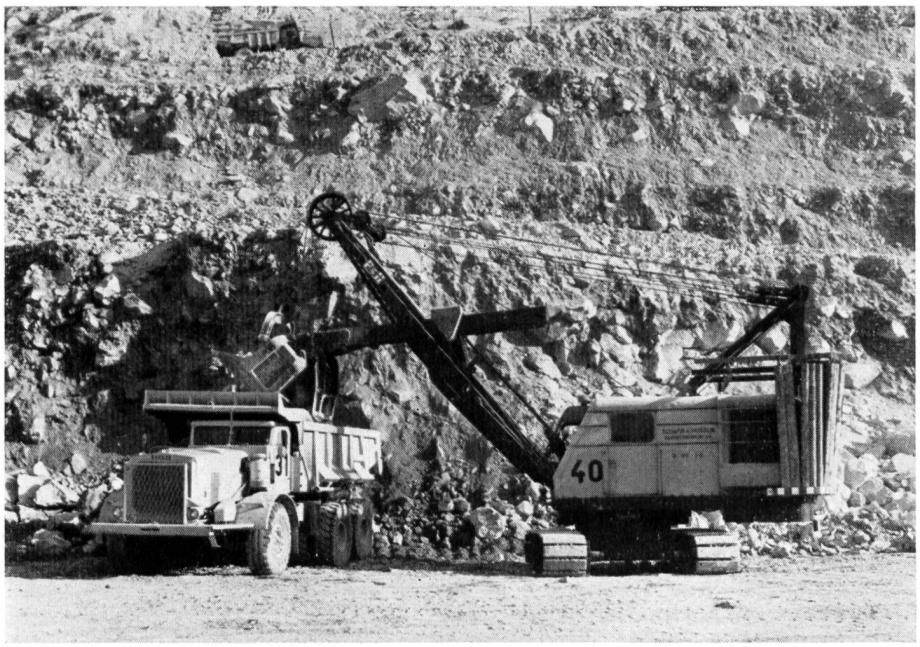


Bild 6
Staudamm Göscheneralp: Beladen eines Großfahrzeuges von 40 t Tragkraft durch einen Bagger mit 3 m³ Löffelinhalt. Zu beachten ist das äußerst schwere Baggergut (Bauperiode 1955/61)

während des Baues vorkam, der Dammbruch vom 20. Mai 1909, lehrte, daß beim Bau derartiger Dämme vorsichtig, insbesondere nicht zu schnell vorzugehen ist, um die Setzung des Materials stets zu gewährleisten. Infolge der außergewöhnlichen Trockenheit im Frühjahr 1909 war der ganze bisher aufgespeicherte Wasservorrat im Staubecken Mitte Mai durch die Zentrale aufgebraucht worden. Die rasche Absenkung des Teilstaues und der noch frisch eingespülte und wassergesättigte Kern bewirkten eine bedeutende Rutschung des Kerns und des bergseitigen Stützkörpers, wobei ein großer Teil des auf 45 m Höhe aufgeführten Staudammes ausbrach und vernichtet wurde.

In der Schweiz kamen bei dem 1917 in Betrieb genommenen *Kraftwerke Olten-Gösgen* beim Oberwasserkanal Dämme von bis zu 14 m Höhe zur Ausführung. Als Dammprofile für die Dämme von 4—14 m Höhe wählte man eine Konstruktion, ähnlich wie beim Staudamm Löntsch, mit zentralem Lehmkern, der 1—2 m tief in den Kiesgrund eingreift. Durch Entfernen des Schlammsandes auf der ganzen Breite der Dammunterlage konnten Ausquetschungen und Ausfließen dieses Materials vermieden werden. Der Lehm wurde in Schichten von 20 cm eingebracht und mit Walzen von mindestens 1,5 Tonnen Gewicht gewalzt. Dabei kamen zwei Arten von Walzen zur Verwendung, eine einrollige Walze, gezogen durch eine Lokomotive auf nebenliegendem Geleise oder durch eine Bauwinde mit endlosem Seil und eine einrollige, selbstfahrende Benzinmotorwalze. Der Einbau und die Verdichtung des eigentlichen Dammaterials geschah in 50-cm-Schichten mit einer 6-Tonnen-Walze. Außerdem begoß man die einzelnen Schichten nach dem Walzen mit Wasser. Auf der Wasserseite erfolgte eine Verkleidung des Dammes mit Betonplatten.

Bei den 1930/33 erbauten Dämmen im Staugebiet und Oberwasserkanal des *Kraftwerkes Albbruck-Dogern* kamen Dämme bis zu 14 m Höhe zur Anwendung, die keinen eigentlichen Dichtungskern aufwiesen, so daß die Böschung und die Sohle des Kanals mit Beton verkleidet und gedichtet werden mußten. Bei der Gewinnung des Schüttmaterials für den Damm-Mantel wurden Humus, Schlick und Wurzelwerk etc. entfernt. Das Einbringen des Materials erfolgte ausschließlich mit Rollbahnen, deren Transportzüge ein gutes Einrütteln des Dammaterials sicherten.

Beim Bau der Dämme im Staugebiet des *Kraftwerkes Klingnau* (1931/35) war die Schütthöhe der Stützkörper auf 1 m festgelegt und das Verdichten erfolgte durch Einrütteln infolge Befahren mit Feldbahn. Das

Bild 7
Dammbaustelle Göscheneralp, Fahrzeugpark

Dichtungsorgan der niedrigen Dämme ist ein Betonbelag, das der höheren ein Lehmschlag. Letzterer weist eine Dicke von 50 cm auf und ist in zwei zur Böschung parallelen Lagen angeschüttet, noch grubenfeucht mit 2—3 t schweren Walzen verdichtet, etwas genäßt, mit einer 0,9 t-Walze abgeglättet und sofort mit Kies zugedeckt worden. In den Zonen, wo der Dammfuß 3 bis 4 m tief ins Wasser zu liegen kam, und der Lehmschlag natürlich nicht bis auf den gewachsenen Kiesboden geführt werden konnte, schlug man als verbindendes Element eine Spundwand.

Fast gleichzeitig erfolgte in der Schweiz der Bau zweier größerer Erddämme, der Staudämme Hühnermatt und Bannalp, nachdem seit dem Bau des Löntschwerkes für solche Stauhöhen nur noch Mauern ausgeführt worden waren.

Die Erstellung des *Hühnermattdammes* geschah im Zuge des Baues des Etzelwerkes 1934/36. Hier bauten Bagger das Material ab, luden es auf Lastwagen oder Rollbahn und brachten so Kies und Lehm in 30 cm starken Schichten ein. Lehmkern und Kiesschüttung wurden durch Befahren mit Raupentraktoren, Lastwagen und zum Teil mit Delmagstampfern verdichtet. In diese Zeit entfallen in der Schweiz die ersten Anzeichen der sich nach dem Zweiten Weltkrieg stürmisch durchsetzenden Umstellung der Baumethoden auf gleislosen Betrieb.

In die Jahre 1935/38 fiel dann der Bau des damals politisch und technisch umstrittenen *Bannalpwerkes*. Auch hier sind schon die typischen Anzeichen des zu erwartenden Umschwungs in der Ausführungstechnik zu bemerken. Während der Lehm für den Dichtungskern noch von Hand gestochen und mittels Rollbahn abtransportiert wurde, geschahen Gewinnung und Transport des Stützkörpermaterials mit Bagger, resp. Lastwagen. Der für den Kern verwendete Lehm gelangte in einen eigens für die Baustelle konstruierten Mischer, welcher ihn mit Kies 20/50 mm durchmischte, um seine Scherfestigkeit zu erhöhen und das Setzungsmaß zu verringern. Dieser so aufbereitete Lehm wurde mit Rollbahn eingebracht und gleich den Stützkörpern mit einer 2,5 t schweren Stampfplatte, die an einem Raupenbagger aufgehängt war, verdichtet.

Dieser letztgenannte Damm war die indirekte Ursache der Angliederung des Erdbaulabors an die Versuchsanstalt für Wasserbau der Eidg. Techn. Hochschule, da der Bund seiner Kontrollpflicht auch bei einem Erddamm nachkommen mußte.

Die Durchführung der Dämme im Staugebiet des *Kraftwerks Rupperswil-Auenstein*, 1942/45, erfolgte nach den gleichen Konstruktionsprinzipien wie diejenige des Kraftwerks Klingnau, während beim *Kraftwerk Wildegg-Brugg*, 1949/53, an Stelle des Lehmschlages verfugte Betonböschungsplatten zur Anwendung gelangten. Die Installationen der letztgenannten Baustelle waren schon stark vom gleislosen Betrieb beeinflußt. Für Transportdistanzen unter 4 km kamen fast ausschließlich Pneufahrzeuge zum Einsatz. Daneben war gleichzeitig noch ein Gleisnetz von etwa 22 km Länge in Betrieb. Die Schüttung der Kiesdämme erfolgte in 30 cm starken Schichten, welche zur Hauptsache mittels Schaffußwalzen (10 Passen) verdichtet wurden.

Der Bau des *Staudammes Marmorera*, der erste «große» Erddamm in der Schweiz, erfolgte in den Jahren 1950/55. Betrugen die installierten Leistungen pro Arbeiter beim Hühnermatt-Damm noch ungefähr 10 PS, waren es hier schon 40 PS und auf Göscheneralp stieg diese Zahl dann auf rund 50 PS pro Mann. Mit den Baggern von total 18 m³ Löffelinhalt, Transportfahrzeugen mit einem totalen Ladevolumen von 360 m³ und 13 Bulldozern wurden total 5,5 Mio m³ Material gebaggert (Dammvolumen 2,7 Mio m³) und Tagesleistungen im zweischichtigen Betrieb von max. 13 300 m³ erreicht. Da über diesen Staudamm «Castiletto» schon viel publiziert wurde, erübrigt sich eine Beschreibung des Projekts und des Arbeitsvorganges. Aus denselben Gründen seien auch über den Bau des *Staudammes Göscheneralp*, 1955/61, nur einige interessante, den Grad der Mechanisierung und des Materialaufwandes charakterisierende Angaben gemacht.

1959 standen hier im Einsatz:

| | |
|---|---|
| 24 | Bagger mit total 47 m³ Löffelinhalt |
| 85 | Großfahrzeuge (8—22 m³) mit total 930 m³ Fassungsvermögen |
| 21 | Lastwagen und Kleinfahrzeuge |
| 22 | Bulldozer und 3 Ladeschaufeln |
| 2 | Pneukrane |
| 2 | Grader |
| | Total rund 36 000 PS Dieselantrieb. |

Diese Geräte bewältigten pro Monat 500 000 bis 700 000 m³ Material.

Bei der Aufbereitungs- und Mischanlage für das Kern- und Filtermaterial, die eher außergewöhnlich ist für eine Erddammbaustelle, zeigten sich spezielle Schwierigkeiten, da das Material in feuchtem Zustande getrennt, transportiert und entbunkert werden muß. In ihr sind Elektro-Motoren mit einer Gesamtleistung von 3800 PS und Bandstraßen von einer totalen Länge von 3 km eingesetzt.

Der Materialverbrauch ist beträchtlich. Pro Tag werden 25—35 000 Liter Dieseltreibstoff, 15—25 000 Liter Heizöl für die Materialtrocknungsanlage und 600—1000 Liter Motorenöl benötigt. Der totale zur Verfügung stehende Tankraum beträgt ca. 1 000 000 Liter. Infolge des hohen Quarzgehaltes des Baggergutes müssen die Baggerlöffel alle 5 Wochen ausgewechselt und neu gepanzert werden. Für diese Arbeiten wurden pro Jahr ca. 400 000 Elektroden (ca. 130 km) verbraucht. In der Werkstatt sind im Sommer 130—150 Mann, im Winter für die Überholung der Geräte bis 300 Mann beschäftigt. Es können alle Reparaturen und Revisionen, exkl. Überholung von Dieselmotoren, auf der Baustelle selbst durchgeführt werden. Das angegliederte Ersatzteillager enthält ca. 10 000 verschiedene Artikel und wies einen max. Wert von rund 6 000 000.— Franken auf.

### 5. *Schlußbetrachtungen.*

Die Krisenjahre und die anschließende Einkapselung der Schweiz während des 2. Weltkrieges haben das Übergreifen des sich in Amerika schon in den Dreißigerjahren abzeichnenden gleislosen Baubetriebes verzögert. Die erste modern aufgezogene Erddammbaustelle war Marmorera, wo viele Gerätetypen eingesetzt werden konnten, die ihre Bewährungsprobe bereits auf andern Baustellen, wie z. B. beim Flughafen Kloten oder in Wildegg-Brugg bestanden hatten. Gerade die Nachkriegsjahre schufen infolge höherer Löhne, kür-

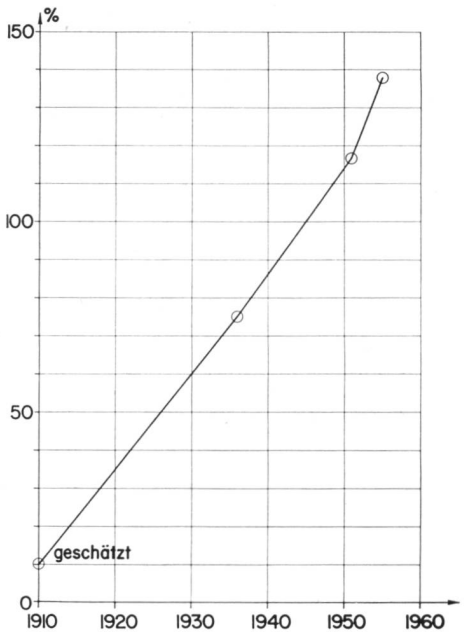


Bild 8 *Entwicklung des Gerätewertes in bezug auf den maximalen Jahresumsatz der entsprechenden Baustelle*
Die Kurve kann nur die Entwicklungstendenz aufzeigen, da über die ganze Zeitspanne zu wenig genau erfaß- und vergleichbare Werte festgelegt werden können

zerer Bautermine und größerer Bauvorhaben (die vom schienengebundenen Betrieb nur mit Mühe hätten bewältigt werden können) weitere Vorbedingungen für die Rentabilität solcher Installationen.

Eine Bauunternehmung, die sich auf Handhabung und Einsatz solcher Groß-Erdbaugeräte spezialisiert hat, sieht sich vor vier grundlegende Probleme gestellt:

a) Die *Anschaffung* solcher Maschinen fordert vom Unternehmer große Investitionen. Anhand des Beschaffungspreises und erst nach eingehender Prüfung auf Eignung für die spezielle Bauaufgabe, auf Reparaturanfälligkeit, auf das Zusammenpassen in ein abgewogenes Spiel kann die Wahl eines Gerätes getroffen werden. Auch sind die Wiederverwendungsmöglichkeiten auf weiteren Baustellen in Betracht zu ziehen. Ferner sollte der Unternehmer der Weiterentwicklung auf dem Maschinenmarkt Beachtung schenken und eventuell neue Gerätetypen in begrenztem Rahmen für die speziellen schweizerischen Verhältnisse ausprobieren.

In der graphischen Darstellung (Bild 8) ist versucht worden, die Entwicklung des Gerätewertes in Bezug auf den max. Jahresumsatz der entsprechenden Baustelle darzustellen.

b) Die technisch sehr hoch entwickelten Maschinen (Explosionsmotoren, Getriebe, teilweise Automatisierung) erfordern viel größere Aufwendungen für *Unterhalt, Reparaturen und Revisionen* als dies beim Gleisbetrieb notwendig war (Dampfmaschine, Rollwagen etc.). Darum sind eine äußerst moderne gut eingerichtete Heimwerkstatt (kleine Maschinenfabrik) für die Ausführung sämtlicher Revisionen, Ersatzteillagerhaltung und Bedienung kleinerer und mittlerer Baustellen für Reparaturen einerseits, und gut ausgerüstete Werkplätze für Reparaturen auf den großen Baustellen andererseits erforderlich. Ebenso wichtig wie die rein mechanische Betreuung der Geräte ist für deren Einsatzbereitschaft der Unterhalts- und Parkdienst, der auf heutigen, hochmechanisierten Baustellen eine umfangreiche, gut eingespielte Organisation verlangt.

c) Ein guter Maßstab für den Grad der *Mechanisierung*, speziell im Erdbau, ergibt die Bestimmung des Lohnanteils in Prozenten, bezogen auf die totale Bausumme. Die Entwicklung dieser Verhältniszahl in den letzten 50 Jahren ist in Bild 9 graphisch aufgetragen. Es sei dabei festgehalten, daß die ermittelten Werte als *approximativ* zu bezeichnen sind, da es vor allem für Bauten vor dem 2. Weltkrieg schwer hält, die Zahlen noch zu eruieren.

Anhand der oben angedeuteten Entwicklung kann auch festgestellt werden, daß bei abnehmendem Lohnanteil die Gerätebetriebskosten und vor allem die Geräte-Abschreibungskosten die Preisgestaltung bedeutend beeinflussen. Diese beiden Faktoren sind selbst bei großer Erfahrung sehr schwer im voraus zu bestimmen. Neben vielen anderen Einflüssen auf die Betriebskosten seien vor allem die Abnützung und die Reparatur-Anfälligkeit (Schwere der zu handhabenden Materialien, Quarzgehalt etc.) erwähnt, während bei der Festsetzung der Abschreibung hauptsächlich die voraussichtliche Lebensdauer, die mögliche Einsatzzeit pro Jahr und die technische Veraltung ins Gewicht fallen.

Es ist daraus ersichtlich, daß den jeweiligen Kalkulationen teilweise Schätzungen zu Grunde liegen, so daß nicht Anspruch auf absolute Genauigkeit erhoben werden kann.

d) Auch eine Erddamm-Baustelle braucht eine gut eingespielte *personelle Organisation*. Neben einem arbeitsfähigen Team von Leit- und Aufsichtspersonal sind vor allem die eigentlichen Spezialisten (Geräteführer, Werkstattleute etc.) von großer Wichtigkeit. War vor ca. 50 Jahren der Anteil Spezialisten in einer Belegschaft noch praktisch null, so erreicht er heute ca. 85 Prozent. Die momentane Lage auf dem Arbeitsmarkt schafft schwierige Bedingungen für Einstellung und Schulung der Spezialisten. Zwar wird ein Grundstock geeigneter Leute von den Baufirmen aus inländischem Stammpersonal gestellt, doch muß ein Großteil an Fremdarbeitern beigebracht werden, die man direkt auf der Baustelle anlernt und nachzieht (Göscheneralp 64 Prozent Fremdarbeiter). Da der Unter-

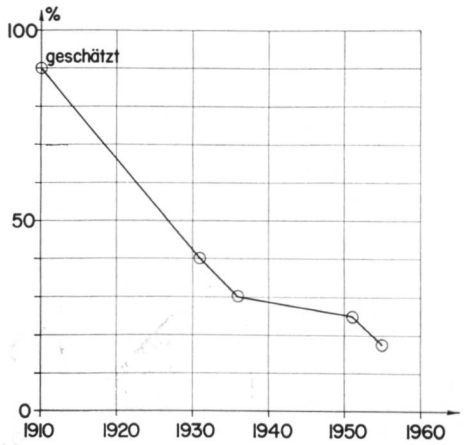


Bild 9 *Entwicklung des Lohnanteils in bezug auf die totale Bausumme*

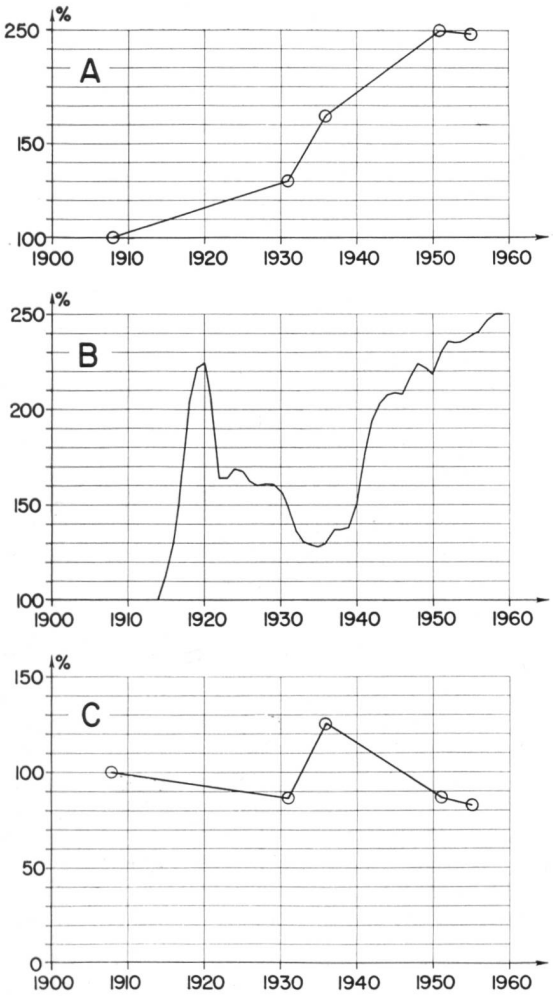


Bild 10 *Preisentwicklung im Erddamm-Bau*

A. Ohne Berücksichtigung der Geldentwertung

B. Lebenskostenindex der Schweiz laut Angabe des Eidg. Statistischen Amtes

C. Preisentwicklung unter Berücksichtigung der Geldentwertung. Auch diese Kurve kann nur die allgemeine Tendenz festlegen, da einerseits die zu Vergleichszwecken zur Verfügung stehenden Bauwerke sehr verschiedener Art sind (Punkt 1936 war z. B. eine Baustelle mit äußerst langen Transportwegen) und andererseits der für die Reduktion berücksichtigte Lebenskosten-Index nicht unbedingt schlüssig für die Preisentwicklung im Erdbau ist. (Genauere Angaben sind jedoch nicht erhältlich.)

nehmer die so ausgebildeten Leute nicht verlieren will, wird er versuchen, gerade auf Hochgebirgsbaustellen möglichst viele Spezialisten durchzuhalten und sie mit Revisions- und Reparaturarbeiten zu beschäftigen, was eine nicht zu unterschätzende Belastung des Betriebes mit sich bringt. Die Möglichkeiten, Leute für den Winter an Mittellandbaustellen abzugeben, werden immer geringer.

Zum Abschluß sei noch der Versuch unternommen, anhand der in der Schweiz gegebenen Grundlagen die Preisentwicklung im Erddammbau über die Zeitspanne der letzten 5 Dezennien zu beleuchten. Weil die Bauwerke, deren Zahlen uns zur Verfügung stehen, sehr verschiedenartig sind (lange Flußdämme im Staugebiet von Laufwerken, Erdstaudämme, verschieden lange Antransportwege des Schüttgutes etc.), kann auf der graphischen Darstellung (Bild 10) nur die allgemeine Tendenz beobachtet werden. Es ist jedoch interessant, feststellen zu können, daß trotz steigender Lebenskosten auf Grund der stetig fortschreitenden Mechanisierung des Baustellenbetriebes die Gestehungskosten eines Erddammes seit 1910 gesunken sind.

So trägt die schweizerische Bauindustrie dank ihrer Aufgeschlossenheit technischen Neuheiten gegenüber und mit Übernahme großer finanzieller Belastung und Risiken Wesentliches zur wirtschaftlichen Entwicklung und Prosperität unseres Landes bei.

**Literaturverzeichnis**

SBZ 1904 EW Gubel, Ing. L. Kürsteiner.
SBZ 1906 KW Engelberg, Ing. C. Kilchmann.
SBZ 1910 KW Löntsch, Ing. J. Ehrensperger.
SBZ 1910 EW Stadt Schaffhausen, Ing. H. Geiser.
Schweiz. Wasserwirtschaft 1908/9 und 1911/12 Der Necaxa-Damm, Ing. K. Hilgard, Ing. W. Hugentobler.
SBZ 1920 KW Olten-Gösgen, Mitteilung der Motor AG, Baden.
Niederdruck- und Hochdruckanlagen. Herausgegeben 1921 von Locher & Cie.
Standfestigkeitsberechnungen von Erddämmen. Herausgegeben 1936 von Ch. Brodovski & E. Jeuch.
SBZ 1936 Das Bannalp-Werk, Ing. A. Biveroni.
Engineering for Dams, Creager/Justin/Hinds.
Bureau of Reclamation, Volume X, Design and Construction Release Nr. 15, 1950.
SBZ 1957 Göschenenalp, Dr. Eggenberger/J. Zeller/G. A. Mugglin.

**Bildernachweis:**

1 Photo Schönwetter
4 Photo H. Wolf-Benders Erben
6 Photo E. Brügger
7 Photo R. Spycher

# Entwicklung der Mechanisierung beim schweizerischen Stollenbau

*Duri Prader*, dipl. Ing., Zumikon

DK 624.19.005

## 1. *Rückblick*

Das 50jährige Bestehen des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes lenkt die Aufmerksamkeit auf die Zeitspanne zwischen den Jahren 1910 und 1960 zurück und darf als Anlaß dienen, einige Betrachtungen zur Entwicklung des Stollenbaues während dieser Zeit nebeneinander zu stellen. Die beherrschende Entwicklungskomponente liegt zweifellos in jener Grundtendenz, welche das frühere arbeitsintensive, handwerklich betonte Gewerbe des Bergmannes und des Mineurs in der Richtung zum maschinenintensiven, industriellen Produktionsbetrieb geführt hat und weiterhin führen wird. Die heutigen Bauinstallationen und -geräte geben dieser Wandlung durch ihre Größe, ihre technische Vervollkommnung und ihre erhöhte Leistungsfähigkeit den augenfälligsten Ausdruck. Die technischen Daten solcher Anlagen und die damit verbundenen technischen Fragen sind in den Fachzeitschriften immer wieder Gegenstand interessanter Berichte und Abhandlungen; es möge daher an dieser Stelle mehr vom geschichtlichen Verlauf dieser Entwicklung, von den sie fördernden Impulsen und von ihren praktischen Auswirkungen die Rede sein.

Der Beginn der betrachteten Zeitspanne liegt im Jahre 1910. Der Kraftwerkbau war damals noch fast ganz der Zukunft vorbehalten. Hingegen stand der Bau der Eisenbahntunnel in voller Blüte und förderte