Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 91 (1999)
Heft: 1-2

Artikel: Gewichtsstaumauern aus Walzbeton
Autor: Boes, Robert
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-940026

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: 23.08.2025

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

Gewichtsstaumauern aus Walzbeton

Robert Boes

Die im deutschsprachigen Raum wenig bekannte Walzbetonbauweise im Talsperrenbau wird vorgestellt. Der geschichtliche Hintergrund und die Besonderheiten dieses innovativen Verfahrens werden aufgezeigt und die Vorzüge hinsichtlich technischer Ausführung und Wirtschaftlichkeit anhand von fertiggestellten Bauwerken in den USA herausgestellt.

The Roller Compacted Concrete (RCC) dam construction technique rather unknown in German speaking countries is presented. The historical background and the specifications of this innovative approach are given and the advantages regarding technical and economical features are discussed with reference to existing American RCC dams.

1. Einleitung

In Zeiten, in denen die Bereitstellung von Wasser in ausreichender Qualität und Quantität für die schnell wachsende Weltbevölkerung ein immer grösseres Problem darstellt, kommt dem Bau neuer Talsperren für die Trinkwasserversorgung sowie zu Bewässerungszwecken eine herausragende Bedeutung zu. Auch der enorme Energiebedarf in den aufstrebenden Ländern Asiens, Afrikas und Südamerikas lässt sich mit der CO_2-freien Energiequelle aus der Kraft des Wassers umweltfreundlich und nachhaltig decken. Aus Wasserkraft werden heute weltweit etwa 18 % des elektrischen Stroms erzeugt, sie ist damit die mit Abstand wichtigste regenerative Energiequelle und liegt etwa gleichauf mit der Kernenergie (Electricité de France, 1998). Um den grossen Bedarf an neuen Talsperren schnell und wirtschaftlich decken zu können, bietet sich die vor 16 Jahren in den USA erstmals angewandte Walzbetonbauweise an. Die Vereinigten Staaten sind heute eine der führenden Nationen auf dem Gebiet des Walzbetonbaus für Wasserbauwerke. Nachfolgend sollen die anlässlich einer Teilnahme des Verfassers am *International RCC Dams Seminar & Study Tour* in Denver, USA, im September 1998 erworbenen Erkenntnisse bezüglich des Baus von Walzbetontalsperren ergänzt durch Literaturangaben wiedergegeben werden.

2. Walzbeton – ein innovatives Bauverfahren im Staudammbau

Walzbeton, englisch *Roller Compacted Concrete* (RCC), wird definiert als unbewehrter Beton steifer Konsistenz, der mit Erdbaugeräten transportiert, eingebaut und mit Vibrationswalzen verdichtet wird. Eingesetzt wird Walzbeton zum Bau oder Sanieren von Staumauern und Dämmen, aber auch für Verkehrsflächen. Bereits 1941 hatte *Homer Hadley* von der amerikanischen *Portland Cement Association* die Idee, die Vorzüge von Betonstaumauern, insbesondere deren inhärente Sicherheit, mit denen von Schüttdämmen zu kombinieren. Ein schneller Baufortschritt durch die Verwendung von Erdbaugeräten und eine damit weitgehend mechanisierte Bauweise führen in der Regel zu niedrigeren Gestehungskosten als bei Massivbetonbauwerken. Walzbeton ist eher als neuartiges Bau*verfahren* denn als neuer Bau*stoff* zu bezeichnen, da sich die Bestandteile nicht wesentlich von konventionellem Massenbeton unterscheiden, sondern nur die Art der Betonverarbeitung (*Hansen,* 1996a). Bild 1 zeigt das typische Bauverfahren im Walzbetondammbau, die schichtweise Betoneinbringung über die gesamte Dammbreite mit Erdbaugeräten. Der Beton wird mittels Bandfördergeräten oder Lkw zur Einbaustelle transportiert, dort mit einer Planierraupe verteilt und von Walzen, wie sie aus dem Strassenbau bekannt sind, verdichtet. Die Schichtdicke nach der Verdichtung beträgt üblicherweise 30 cm (Bild 2). Sind Querdehnungsfugen zur kontrollierten Rissbreitenbeschränkung vorgesehen, werden diese im Anschluss an die Verdichtung hergestellt. Dies geschieht im allgemeinen durch Einrütteln von Stahlplatten an der Wasserseite der Mauer und den Einbau von dahinterliegenden Fugenbändern sowie Drainagerohren. Letztere führen gegebenenfalls anfallendes Sickerwasser dem Kontrollgang zu, wo die Wassermenge und der Ort der Undichtigkeit leicht zu ermitteln sind. Generell ist es ratsam, Querdehnungsfugen nicht in einem fixen Abstand über die gesamte Dammbreite anzuordnen, sondern vielmehr an Schwachstellen wie Geländeknicken des Untergrundes, Beginn von Schussrinnen oder Zugangsstollen zum Kontrollgang. Der Fugenabstand bei den in den USA ausgeführten Walzbetonsperren variiert deutlich von etwa 15 bis 90 m. Um eine kontrollierte Rissbildung mit der Möglichkeit der Anordnung von Drainagerohren zu erhalten und Durchsickerungen durch Temperaturrisse wie am fugenlosen *Upper Stillwater Dam* in Utah (Bild 3) zu verhindern, werden heute bei Talsperren mit ständig wasserführenden Stauräumen meist Querdehnungsfugen angeordnet. In Verbindung mit einer dichten Oberwasseraussenschale aus zementreicherem unbewehrtem Beton, Betonfertigteilen mit aufgeklebter Membranaussenhaut oder einer wasserseitig angebrachten Geomembran kann damit eine befriedigende Dichtigkeit und Ästhetik der Mauer erreicht werden (Bild 4).

Grundsätzlich lassen sich mit Walzbeton vergleichbare Endfestigkeiten erreichen wie mit konventionellem Talsperrenbeton. Die Druck-, Zug- bzw. Scherfestigkeit des Upper Stillwater Dam betragen beispielsweise etwa 34 MPa, 1,5 MPa bzw. 3 MPa nach einem Jahr (*Hansen & Reinhardt,* 1991).

3. Geschichtliche Entwicklung

Bereits beim Bau der 172 m hohen *Alpe Gera*-Gewichtsstaumauer in Norditalien zu Beginn der 60er Jahre wurden wesentliche Merkmale des Walzbetonbauverfahrens angewandt: Für den Dammkern wurde ein zementarmer Massenbeton mit Erdbaugeräten über die gesamte Dammbreite eingebracht, und es wurde auf Kühlschlangen und Blockbauweise verzichtet. Einzig aufgrund der konventionellen Verdichtung mit Innenrüttlern unterschied sich dieses Bauwerk noch von einem reinen *Walz*betondamm (*Hansen & Reinhardt,* 1991).

Die erste grössere Anwendung von Walzbeton im Wasserbau, die diesem Bauverfahren zum Durchbruch verhalf, erfolgte 1974 beim *Tarbela Dam* in Pakistan. Nach dem kavitationsbedingten Einsturz eines der vier Grundablassstollen beim ersten Einstau mussten innerhalb kürzester Zeit insgesamt 350 000 m³ Beton eingebracht werden, um den Stollen vor Beginn der Frühjahrsschneeschmelze wieder in Betrieb nehmen zu können. Der italienische Bauunternehmer entschied sich für Walzbeton, den er in 42

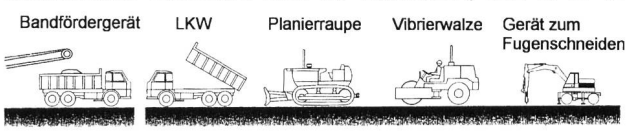
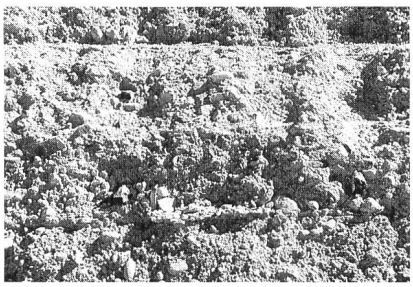


Bild 1. Bauverfahren im Walzbetondammbau.



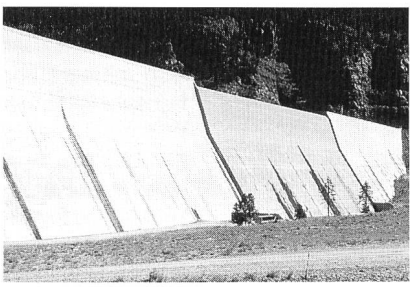


Bild 2, links. Nichtgeschalter Walzbeton auf der Luftseite des *Quail Creek South Dam* in Utah, mit einem mittleren Bindemittelgehalt von 133 kg/m³ und einer Schichtdicke von 30 cm.

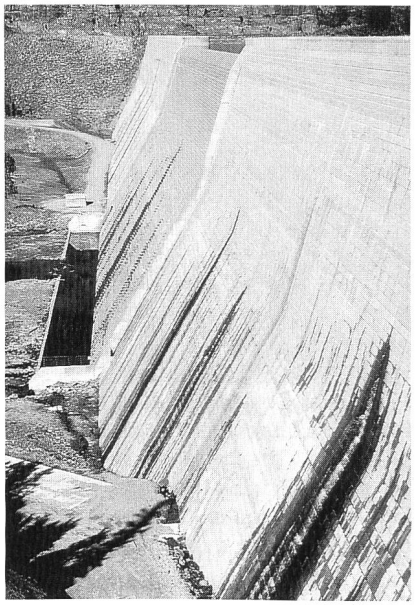


Bild 3. *Upper Stillwater Dam* in Utah:
a), Mitte, Luftseite aus mittels Gleitschalungsfertiger eingebautem konventionellem Beton mit deutlichen Durchsickerungen;
b), rechts, Luftseite und Tosbecken.

Arbeitstagen einbaute. Die maximale Tagesleistung von 18000 m³ stellte bis mindestens 1996 einen Weltrekord dar (*Hansen,* 1996a). Im *Plunge Pool*-Tosbecken wurde ausserdem erodierter Fels mit Walzbeton ersetzt. Selbst ein Hochwasserabfluss von 11300 m³/s über sechs Stunden hinterliess keine Erosionsschäden (*Chao & Johnson,* 1979). Insgesamt wurden zwischen 1974 und 1986 bei acht verschiedenen Sanierungsarbeiten am *Tarbela Dam* 2,7 Mio m³ Walzbeton verwendet.

Die Walzbetonbauweise wurde anschliessend massgeblich in den USA weiterentwickelt, wo sie 1982 bei dem vom *Corps of Engineers* weltweit erstmals völlig aus RCC hergestellten *Willow Creek Dam* zur Anwendung kam. Der eingebaute Walzbeton bestand aus einem trockenen RCC-Gemisch mit niedrigem Bindemittelgehalt von 95 kg/m³. Die zweite massgebliche Walzbeton-Schule in den USA, das *Bureau of Reclamation*, bevorzugt hingegen ein nasseres Gemisch mit entsprechend grösserem Bindemittelgehalt, z.B. von 251 kg/m³ beim 1987 fertiggestellten grössten amerikanischen Walzbetondamm, *Upper Stillwater* (*Hansen,* 1996a, Bild 3). Seit 1982 sind allein in den USA etwa 50 neue Gewichtsstaumauern aus Walzbeton erstellt worden oder zurzeit im Bau, von denen 31 mit einer Gesamthöhe von mehr als 15 m als grosse Talsperren gelten. Daneben wurden 51 Schüttdämme mit unzureichender Hochwasserentlastungskapazität mit einer überströmbaren Walzbetonauflage auf der Luftseite ertüchtigt. Diese *overtopping protection* dient als Not-Hochwasserentlastung (HWE) oder *emergency spillway,* die zumeist aufgrund einer Neuberechnung des Bemessungshochwassers, der *Probable Maximum Flood* (PMF), erforderlich wurde (*Hansen,* 1996b). Die wesentlichen Vorteile dieser RCC-Auflagen gegenüber herkömmlichen Methoden wie der Verwendung von Steinschüttungen als Rauhgerinnerampen oder von steingefüllten Drahtkörben (Gabionen) bestehen in einer höheren Abrasionsfestigkeit sowie im hohen Gewicht, das die Gefahr einer Bewegung der Auflage minimiert (*Boes,* 1999). Insgesamt wurde bisher in den USA bei etwa 150 Anwendungen im Wasserbau Walzbeton verwendet (*Hansen,* 1997).

4. Walzbetonmischungen

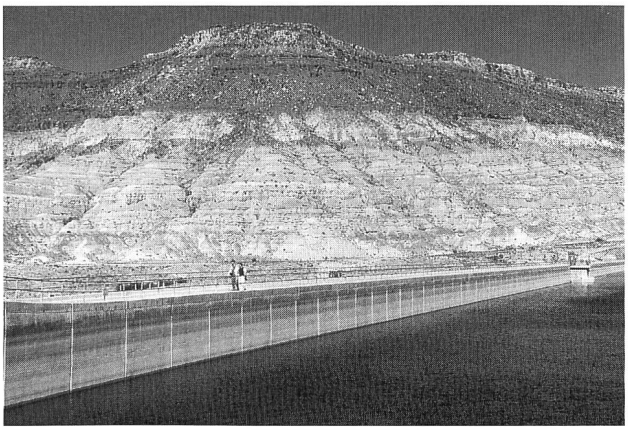
Analog zu konventionellem Massenbeton besteht Walzbeton aus den Grundbestandteilen Wasser, Zuschlag und Bindemittel. Als Zuschlag wird im Dammbau ein Grösstkorn von 50 bis 75 mm empfohlen, um die Gefahr der Entmischung zu reduzieren. Als Bindemittel werden dem Portlandzement häufig natürliche oder in Verbrennungskraftwerken entstehende Puzzolane beigemischt, z.B. Tuff oder Flugasche. Puzzolane sind inerte, d.h. reaktionsträge, siliziumhaltige Stoffe, die in Verbindung mit Kalziumhydroxid und Wasser zementähnliche Eigenschaften entwickeln. Die Vorteile der teilweisen Substitution von Zement durch Puzzolane liegen in besserer Verarbeitbarkeit des Betongemisches, grösserer Endfestigkeit bei langsamerer Erhärtung, höherer Wasserdichtigkeit sowie insbesondere in niedrigerer Hydratationswärme und geringeren Kosten (*Mass,* 1998).

Walzbetonmischungen werden in Abhängigkeit von ihrem Bindemittelgehalt eingeteilt in *lean concrete* oder *low paste RCC* bei einem Gehalt von weniger als 110 kg/m³ und *high paste RCC* bei mehr als 160 kg/m³. Beim *medium paste RCC* liegt der Gehalt entsprechend dazwischen. Bild 2 zeigt ein typisches Walzbetongemisch mit einem mittleren Bindemittelgehalt von 133 kg/m³ und einer Bemessungsdruckfestigkeit von etwa σ_d = 12,7 MPa. Das Verhältnis Portlandzement/Flugasche beträgt 1,5. Im Vergleich zu herkömmlichem Massenbeton ist das Gemisch auffallend trocken wie ein rolliger Boden. Die Schichtdicke bei diesem ungeschalten Walzbeton auf der 50° (0,85:1) geneigten Luftseite (Bild 4b) des *Quail Creek South Dam* beträgt 30 cm (Bild 2). Die grösstmögliche Neigung der Luftseite für *ungeschalten* Walzbeton beträgt bei Verwendung von gebrochenem Zuschlag 0,8:1, bei ungebrochenem, rundem Zuschlag nur 0,9:1 bis 1:1 wegen des geringeren Reibungswinkels.

Im Vergleich zu konventionellem Beton wird beim steiferen Walzbeton weniger Wasser und Zement verwendet. Das Schwindmass des Betons wird dadurch verringert und die Hydratationswärmeentwicklung herabgesetzt (*Hansen,* 1996a). Letzteres führt zu geringerer thermischer Rissbildung und damit zu einem einfacheren und preiswerteren Betoniervorgang, da keine Massnahmen zur Verminderung der Hydratationswärme, z.B. Anordnung von Kühlschlangen oder abschnittsweises Betonieren in Blöcken, erforderlich sind.

5. Vorteile der Walzbetonbauweise

Im folgenden sollen wesentliche Vorzüge der Walzbetondämme gegenüber den gängigsten alternativen Talsperren-



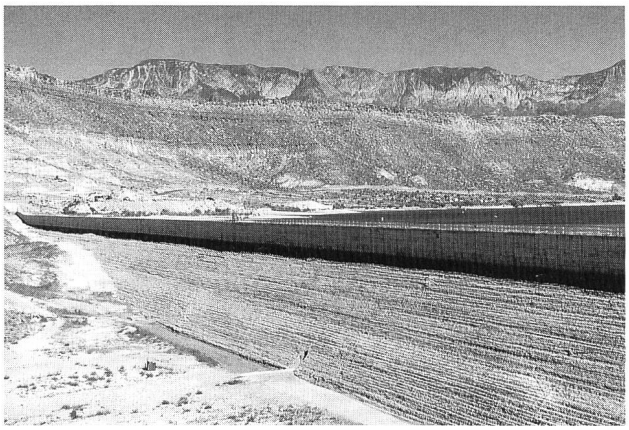


Bild 4. Ansicht des *Quail Creek South Dam:* a), links, Wasserseite aus mittels Gleitschalungsfertiger eingebautem konventionellem Beton mit Entnahmeturm (rechts); b), rechts, Luftseite aus ungeschaltem Walzbeton mit niedriger ausgebildeter Mauerkrone aus konventionellem Beton im Bereich der Not-HWE und RCC-Sohlbefestigung am Mauerfuss.

typen wie Steinschütt-Zonendamm, Erdschütt-Zonendamm und Steinschüttdamm mit Betonoberflächendichtung bzw. *Concrete Faced Rockfill Dam* (CFRD) dargelegt werden. Die Gewichtsstaumauer aus konventionellem Beton in Blockbauweise wird bereits zum heutigen Zeitpunkt im allgemeinen nicht mehr als ernsthafte Variante berücksichtigt, da beim RCC-Damm deutlich niedrigere Herstellungskosten entstehen. Die Entscheidung zwischen einer Bogen- und einer Gewichtsstaumauer schliesslich, die sich in der Regel nur bei einem Kerb- oder V-Tal mit gutem Fels in den Talflanken stellt, hängt meist von der Zugänglichkeit der Sperrenstelle, den Gründungsbedingungen und der Dammhöhe ab (*Moler*, 1998). Ein typisches Beispiel für ein Kerbtal ist die Sperrenstelle des *Stagecoach Dam* in Colorado (Bild 5). Auf dem afrikanischen Kontinent wurden mit dem *Knellpoort Dam* (Anonym, 1990) und dem *Wolwedans Dam* in Südafrika mit Dammhöhen von 50 und 70 m und Kronenlängen von 200 und 268 m bzw. der *Batoka*-Staumauer am Zambesi (*Wannick,* 1995) Bogengewichtsmauern aus RCC errichtet bzw. geplant. In China sind zwei doppelt gekrümmte Bogenstaumauern aus Walzbeton im Bau, von denen der 132 m hohe *Shapai Dam* 1999 fertiggestellt werden soll.

5.1 Talform

Bild 6 stellt die am häufigsten vorkommenden Talformen und Talsperrentypen dar. In einem U-förmigen Trogtal mit steilen Talflanken (z.B. *Upper Stillwater Dam,* Bild 3) sind sowohl RCC- als auch Schüttdämme mit oder ohne Oberflächendichtung a priori mögliche Varianten. RCC-Damm und CFRD benötigen allerdings setzungsunempfindliche Böden. Je dicker die Alluvionsschichten, desto eher wird ein Schüttdamm die wirtschaftlichere Variante sein, da der Walzbetondamm bis auf den unverwitterten Fels gegründet werden muss. Andererseits ist die Integration der HWE in den RCC-Damm ein grosser Vorzug, weil beim Schüttdamm insbesondere bei steilen Talflanken grosse Aushubvolumen oder eine aufwendige Überlauftulpe mit anschliessendem Entlastungsstollen erforderlich werden.

In einem schmalen Canyon mit abflachenden Talflanken im oberen Sperrenteil ist ein Walzbetondamm gegenüber den Schüttdämmen ebenfalls wirtschaftlich konkurrenzfähig, entweder als reiner Betondamm über die gesamte Talbreite oder als Kompositdamm mit einem RCC-Mittelteil und Schüttdämmen in den Talflanken. In beiden Fällen lässt sich die HWE in den Betondamm integrieren. Die ausschlaggebenden Faktoren bei dieser Talform sind die Dicke der Alluvionen im Flussbett, die Felsgüte an den Widerlagern, die vorhandenen Baumaterialien sowie die Möglichkeit, die HWE in den Talflanken zu plazieren.

In einem breiten, flachen Muldental ist ein Walzbetondamm aufgrund des relativ grossen Betonvolumens meist nicht die wirtschaftlichste Variante, insbesondere nicht bei dicken Alluvionen und verwittertem Fels in den Talflanken (*Moler,* 1998).

5.2 Bauumleitung, Auslassbauwerke

Niedrigere Kosten für die Bauumleitung und Auslässe sind ein gewichtiger Vorteil von Walzbetondämmen, insbesondere an Flüssen mit grossen Bemessungsabflüssen (*Hansen,* 1991). Der Kostenvorteil ist zum einen in einem kleineren Querschnitt der Bauumleitung aufgrund eines geringeren Bauhochwassers (HQ_B) begründet, zum anderen in einer deutlichen Längenreduktion. Das HQ_B kann kleiner ausfallen, weil eine Überströmbarkeit des RCC-Dammes im Gegensatz zu Schüttdämmen in Kauf genommen werden kann und die rasche Bauausführung von Walzbetondämmen eine deutlich kürzere Bauzeit bewirkt (*Moler,* 1998, Kap. 5.4). Die Jährlichkeit des HQ_B liegt daher häufig nur bei 5 bis 10 Jahren. Entsprechend können auch die Kofferdämme geringer dimensioniert werden. Häufig ist es sogar möglich, den Staudamm innerhalb der Trockenzeit bei Niedrigwasserabflüssen zu erstellen, so dass das HQ_B noch weiter sinkt (*Hansen,* 1991). Einige RCC-Dämme wurden bereits während des Baus überströmt, nach einer Reinigung der Baustelle nach Ablauf des Hochwassers konnte aber rasch mit den Arbeiten fortgefahren werden.

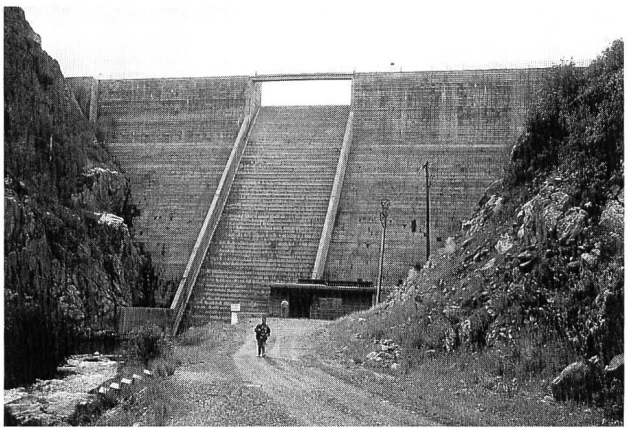


Bild 5. Ansicht des *Stagecoach Dam* in Colorado mit konventionellem Beton auf der Luftseite und Krafthaus am Mauerfuss.

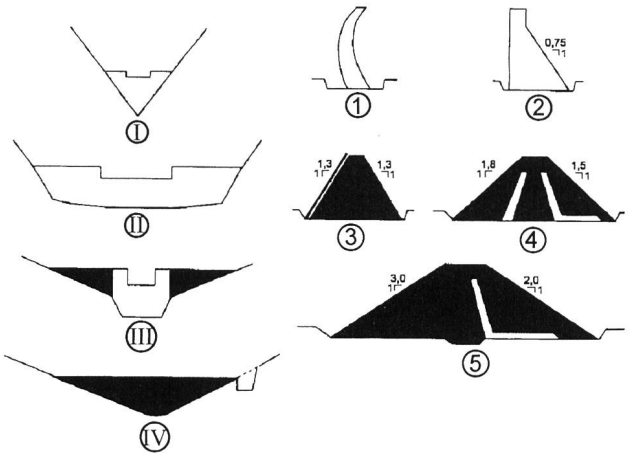


Bild 6. a) Talformen: (I) Kerbtal, (II) Trogtal, (III) Canyon plus Muldental, (IV) Muldental; b) Talsperrentypen: ① Doppelt gekrümmte Bogenmauer (Kuppelmauer), ② Gewichtsstaumauer, ③ Steinschüttdamm mit Betonoberflächendichtung, ④ Steinschütt-Zonendamm, ⑤ Erdschüttdamm mit Oberflächen- oder Innendichtung.

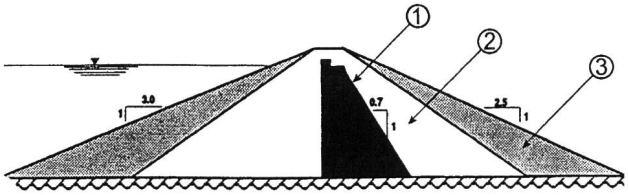


Bild 7. Typische Querschnitte verschiedener Talsperrentypen: ① RCC-Gewichtsstaumauer, ② Steinschütt-Zonendamm, ③ Erdschüttdamm.

Bild 7 dient der Veranschaulichung der unterschiedlichen Länge sowohl der Bauumleitung als auch der Auslässe. Die Querschnitte einer Gewichtsmauer, eines Steinschütt- sowie eines Erdschüttdammes mit typischen Neigungen wurden zur besseren Vergleichbarkeit superponiert. Es ist erkennbar, dass die Aufstandsfläche eines RCC-Dammes bei gleicher Staukote nur ein Drittel bis ein Fünftel derjenigen der Schüttdämme beträgt. Berücksichtigt man zusätzlich, dass die Bauumleitung, die häufig im fertigen Bauwerk als Grundablass genutzt wird, im Grundriss bei Schüttdämmen nicht auf direktem Weg durch die Sperre, sondern in einem Bogen durch die Talflanken geführt wird, so fällt die Längenreduzierung noch günstiger für den Walzbetondamm aus. Im Falle des *Quail Creek South Dam* (Bild 4) war einer der ausschlaggebenden Gründe für die Wahl eines Walzbeton- anstelle eines Erdschüttdammes die leichte Integrierbarkeit des Grundablasses in die Betonmauer (*Jackson* et al., 1990).

Analog zur Länge der Bauumleitung verhält es sich mit den Ausschachtungsarbeiten für die Gründung der verschiedenen Sperrentypen, die im Falle oberflächennah anstehenden Felses für den Walzbetondamm entsprechend den Aufstandsflächen preisgünstiger ist. Bild 7 verdeutlicht zudem, dass Schüttdämme wegen des höheren Freibordmasses, der zu erwartenden Setzungen sowie gegebenenfalls wegen eines grösseren erforderlichen Stauraumvolumens infolge geringerer HWE-Kapazität eine grössere Gesamthöhe benötigen.

Ein Kostenvorteil ergibt sich auch für Entnahmetürme, die im Falle einer Betonmauer an der vertikalen Wasserseite zu liegen kommen (Bild 4a), während sie bei Schüttdämmen freistehend ausgebildet werden müssen (*Hansen,* 1991).

5.3 Hochwasserentlastung

Ein wesentlicher Vorteil der Betonsperren ist die Integrierbarkeit der HWE in den Damm (*Moler,* 1998), was besonders bei Kerb- und Trogtälern sowie bei grossen Bemessungshochwasser (HQ_d) signifikante Kostenersparnisse im Vergleich zu Schüttdämmen ergibt. Zudem muss die Betriebs-HWE nicht auf das grösste Hochwasser (PMF) bemessen werden, da die Krone eines Walzbetondammes als Not-HWE nutzbar ist, wenn nicht Bauwerke am Mauerfuss, wie z. B. ein Krafthaus, oder die Stabilität der gesamten Anlage infolge rückschreitender Erosion gefährdet sind. Die Krone des 615 m langen *Quail Creek South Dam* ist auf 540 m Länge um 2,1 m abgesenkt, um Hochwasser mit einer Jährlichkeit grösser 100 abführen zu können. Zur Vermeidung von Erosionsschäden ist die Sohle am Mauerfuss mit einer mindestens 0,9 m starken und 6 m breiten Walzbetonlage befestigt (Bild 4b). Bei einem Schüttdamm hingegen müsste das gesamte HQ_d über die Betriebs-HWE abgeführt oder ein Teil der Flutwelle gespeichert werden, was zu einer grösseren Dammhöhe führen würde (*Moler,* 1998).

Im Walzbetondammbau kommt vermehrt ein wiederentdeckter Schussrinnentyp zur Anwendung, die Treppenschussrinne oder *stepped spillway* (Bilder 3 und 5). Sie vereinigt HWE und Energieumwandlungsanlage (EUA) durch kontinuierliche Energiedissipation entlang der Schussrinne aufgrund der Makrorauheit der Stufen, so dass die EUA am Mauerfuss entsprechend klein ausfallen kann. Bild 3b zeigt das Tosbecken am Fuss der Treppenschussrinne des 90 m hohen *Upper Stillwater Dam.* Modellversuche haben eine 85 %ige Reduktion der Tosbeckenlänge von 60 m im Falle der Verwendung einer glatten Schussrinne auf nur 9 m beim *stepped spillway* ergeben, ausserdem konnte auch die Tosbeckentiefe reduziert werden (*Hansen,* 1991). Die Kosteneinsparung ist wegen der massiven und teuren Ausführung von Tosbecken erheblich, sie kann ein massgeblicher Faktor bei der Wahl des Sperrentyps sein, insbesondere wegen des ständig zunehmenden Bemessungshochwassers. Als EUA am Mauerfuss kommt in der Regel ein konventionelles Wechselsprung-Tosbecken wie in Bild 3b zur Anwendung, es werden aber auch Walzentosbecken empfohlen (*Todaro,* 1998). Die Verwendung von Treppenschussrinnen bietet sich bei der Walzbetonbauweise besonders an, weil die Schussrinnenstufen aufgrund des schichtweisen Betoneinbaus kostengünstig auf dem Mauerrücken herstellbar sind. Der maximale spezifische Abfluss über Treppenschussrinnen wird heute zu etwa 15 $m^3/s/m$ bis 20 $m^3/s/m$ angenommen, so dass bei grösseren Bemessungsabflüssen bisher eine konventionelle glatte Schussrinne mit Tosbecken oder mit Sprungschanze und *Plunge Pool* im Unterwasser angeordnet wird.

5.4 Bauzeit, Kosten

Da Walzbeton in der Regel kontinuierlich eingebracht wird, um «kalte» Horizontalfugen bzw. *cold joints* zwischen den Schichten zu minimieren, ist die Bauzeit von RCC-Dämmen meist sehr kurz. Beim *Quail Creek South Dam* mit einer Höhe von 24 m (Bild 4b) wurde innerhalb von nur 60 Tagen ein Walzbetonvolumen von 48200 m^3 für die massive Dichtungswand im Untergrund und von 86800 m^3 für den Dammkörper eingebaut. Zwei Equipen arbeiteten im 10-Stunden-Schichtbetrieb an sieben Tagen pro Woche. Der RCC-Damm ersetzte 1990 einen Anfang 1989 infolge Suffusion bzw. *piping* im Gründungsbereich erodierten Erdschütt-Zonendamm. Der Walzbeton für den 44 m hohen *Stagecoach Dam* in Colorado mit einer Kronenlänge von 102 m und einem Betonvolumen von 34000 m^3 (Bild 5) wurde 1988 in nur 37 Arbeitstagen eingebracht (*Arnold & Johnson,* 1992). Die RCC-Variante ergab Einsparungen von 20 % gegenüber einem Erdschütt-Zonendamm.

Die kurze Bauzeit von Walzbetondämmen wirkt sich mehrfach positiv für den Bauherrn aus. Kosteneinsparungen resultieren aus einem niedrigeren Angebotspreis seitens des Bauunternehmers, niedrigerer Zwischenfinanzierung, tieferen Bauabwicklungskosten sowie insbesondere einer schnelleren Inbetriebnahme und Amortisation der Anlage (*Hansen,* 1991).

5.5 Sicherheit

Das gute Langzeitverhalten und die Sicherheit der nicht erodierbaren Betonmauern sind weitere nicht zu vernachlässigende Faktoren bei der Auswahl des RCC-Talsperrentyps. In den USA hat in den letzten etwa 70 Jahren kein Betondamm versagt. Ausserdem ist bis mindestens Ende der 70er Jahre weltweit keine einzige Betonsperre aufgrund direkter Erdbebeneinwirkungen zerstört worden (*Hansen & Roehm,* 1979). Dabei haben sich bei bisher beobachteten Erdbeben Gewichtsstaumauern beinahe so gut wie Bogenstaumauern verhalten, lediglich Pfeilerkopfmauern sind anfällig gegen dynamische Beanspruchungen parallel und senkrecht zur Mauerachse.

Bei Walzbetontalsperren sind die horizontalen Fugen zwischen den Betonschichten die kritischen Stellen im Erdbebenfall. Kernbohrungen haben jedoch gezeigt, dass die Betonscherfestigkeit bei guter Bauausführung in den Fugen nicht kleiner ist als im übrigen Bereich. Beim Einbringen des Betons sollten Entmischungsvorgänge vermieden werden. Weiterhin ist auf eine gute Nachbehandlung des Walzbetons mit ausreichender Befeuchtung und auf eine saubere, von losen Bestandteilen freie Oberfläche zu achten, um eine hohe Kohäsion mit der darüberliegenden Schicht zu erreichen. Im Falle von kalten Fugen, die bei Verzögerung beim Betoneinbau entstehen können, wird das Aufbringen eines dünnen Zementmörtels vor dem Einbau der nächsten RCC-Schicht empfohlen. Je höher der Bindemittelgehalt und je besser die Verdichtung, desto höher ist im allgemeinen auch die Scherfestigkeit des Walzbetons.

Walzbeton wurde bei insgesamt neun amerikanischen Betonstaumauern zur strukturellen Ertüchtigung hinsichtlich Erdbebensicherheit verwendet (*Hansen,* 1997), darunter zwei Bogenstaumauern in Kalifornien in unmittelbarer Nähe zum San-Andreas-Graben, bei denen sich RCC als die beste Lösung bezüglich Preis und technischer Ausführung auszeichnete (*Johnson & Wong,* 1995).

6. Zusammenfassung

Die Walzbetonbauweise im Talsperrenbau ist heute eine ernsthafte Alternative zu konventionellen Bauverfahren. Aufgrund ihrer niedrigen Material- und Arbeitskosten und der signifikant kürzeren Bauzeit können die Gestehungskosten neuer Talsperren zum Teil deutlich reduziert werden. Insbesondere in Zeiten knapper Staatsfinanzen und neuer Finanzierungskonzepte wie beim BOT-Modell ist eine schnelle Inbetriebnahme und der rasche *Return of Investment* von entscheidendem Vorteil gegenüber den langen Abschreibedauern bei herkömmlichen Bauverfahren. Die vollständige Verdrängung von konventionellen Gewichtsstaumauern durch RCC-Dämme ist heute absehbar. Allein in den USA sind zurzeit 18 neue Walzbetonsperren und 38 Sanierungsprojekte unter Verwendung von RCC in Planung, darunter der Neubau des 98 m hohen *Olivenhain Dam* in Südkalifornien. Der Schwerpunkt der Anwendung liegt weltweit jedoch in den sogenannten Tigerstaaten Asiens. In China sind momentan acht Walzbetondämme im Bau, darunter mit dem 192 m hohen *Longtan Dam* der weltweit bisher höchste.

Verdankung
Die vorliegende Publikation entstand im Anschluss an das International RCC Dams Seminar & Study Tour in Denver, USA. Vorzüglicher Dank gilt *Kenneth D. Hansen,* Schnabel Engineering Associates, 1880 Sherman Street, Suite 330, Denver, CO 80203, USA. Weiterhin danke ich Prof. Dr.-Ing. *J. Köngeter,* RWTH Aachen, für seine Anregungen sowie Prof. Dr.-Ing. *H.-E. Minor* und Prof. Dr. sc. techn. *W. H. Hager,* ETH Zürich, für die Unterstützung.

Literatur

Anonym (1990). Knellpoort Dam: The world's first rollcrete arch-gravity dam. «The Civil Engineer in South Africa» *32*(2): 47–50.

Arnold, T. E. & Johnson, D. L. (1992). RCC dam design concepts versus construction conditions for Stagecoach Dam. Proc. Roller Compacted Concrete III, ASCE, San Diego, USA (*K. Hansen* & *F. McLean,* eds.): 291–307.

Boes, R. (1999). Sanierung von Schüttdämmen mit Walzbeton. «Wasserwirtschaft» eingereicht.

Chao, P. C. & Johnson, H. A. (1979). Rollcrete usage at Tarbela Dam. «Concrete International: Design and Construction» *1*(11): 20–33.

Electricité de France (1998). Informationen auf Internet http://www.edf.fr/EDF/html/fr/decouvertes/voyage/index.html.

Hansen, K. D. (1991). Advantages of roller compacted concrete dams. «RCC Newsletter», Portland Cement Association *7*(1): 1–2.

Hansen, K. D. (1996a). Roller compacted concrete: a civil engineering innovation. «Concrete International: Design and Construction» *18*(3): 49–53.

Hansen K. D. (1996b). Diverging views on RCC. «Intl. Water Power & Dam Construction» *48*(8): 30–36.

Hansen, K. D. (1997). Current RCC dam activity in the USA. «Hydropower & Dams» *4*(5): 62–65.

Hansen, K. D. & Reinhardt, W. G. (1991). *Roller-Compacted Concrete dams*. McGraw-Hill Co, New York, USA.

Hansen, K. D. & Roehm, L. H. (1979). The response of concrete dams to earthquakes. «Intl. Water Power & Dam Construction» *31*(4): 27–31.

Jackson, H. E., Forrest, M. P., Hansen, K. D. (1990). Rebuilding Quail Creek Dike with RCC. Proc. Annual Conf. Association of State Dam Safety Officials (ASDSO), New Orleans, USA: 145–150.

Johnson, D. L. & Wong, N. C. (1995). Rehabilitation of existing dams with RCC – seismic upgrade experience on two U.S. dams. Proc. Intl. Symp. Roller Compacted Concrete Dams, Santander, Spain, II: 1159–1173.

Mass, G. R. (1998). Materials for roller-compacted concrete. Proc. Intl. RCC Dams Seminar, Denver, USA (*K. Hansen*, ed.).

Moler, W. A. (1998). RCC dam site selection. Proc. Intl. RCC Dams Seminar, Denver, USA (*K. Hansen,* ed.).

Todaro, S. A. (1998). The design process for spillways, outlet works and river diversions for RCC dams. Proc. Intl. RCC Dams Seminar, Denver, USA (*K. Hansen*, ed.).

Wannick, A. E. (1995). Die Staumauer Batoka – eine neue Dimension im Walzbeton-Talsperrenbau. «*Wasserwirtschaft*» *85*(7/8): 336–343.

Adresse des Verfassers: Dipl.-Ing. *Robert Boes,* Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.