

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Bieberstein, Andreas; Wörsching, H. Mastix-Schotter-Deckwerk für Überströmbare Dämme und Deiche

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102180>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Bieberstein, Andreas; Wörsching, H. (2004): Mastix-Schotter-Deckwerk für Überströmbare Dämme und Deiche. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Boden- und Sohl-Stabilität - Betrachtungen an der Schnittstelle zwischen Geotechnik und Wasserbau
Soil and Bed Stability - Interaction Effects between Geotechnics and Hydraulic Engineering. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



15 Mastix-Schotter-Deckwerk für Überströmbare Dämme und Deiche

Mastix-Stone Revetment for Overflow Sections of Dams and Levees

A. Bieberstein & H. Wörsching

Universität Karlsruhe, Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik, Abteilung für Erddammbau und Deponiebau, Germany

University of Karlsruhe, Institute of Soil Mechanics and Rock Mechanics, Division of Embankment Dams and Landfill Technology, Germany

KURZFASSUNG: In einem Forschungsprojekt haben das Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik sowie das Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe untersucht, wie Dämme und Deiche geringer Höhe ausgebildet werden müssen, wenn sie zum Zwecke der Hochwasserableitung einer planmäßigen Überströmung standhalten müssen. Die Nutzung dieser Technik setzt voraus, dass die luftseitige Oberfläche des Dammes gegen den Strömungsangriff des Wassers ausreichend gesichert wird. Für konstruktiv einfach zu realisierende, wirtschaftliche und technische Lösungen fehlten bisher Bemessungsregeln und Bautechniken, die es erlaubten, die erforderlichen Standsicherheitsnachweise zu führen. Im Rahmen des Projektes wurde ein statischer Ansatz zur Dimensionierung eines kohärenten, selbsttragenden Deckwerkes aus Mastix-Schotter (bituminös gebundener Kalksteinsplitt) für Überströmstrecken entwickelt. Dieser Ansatz wurde durch Versuche an großmaßstäblichen Modellen verifiziert, und die Bauweise wurde zur Ausführungsreife geführt. Die Umsetzung des Deckwerkes aus Mastix-Schotter in die Praxis wird anhand eines konkreten Anwendungsfalles beim Hochwasserrückhaltebecken Mönchzell dargestellt.

ABSTRACT: Within a research project at the University of Karlsruhe in cooperation of the Institute of Soil Mechanics and Rock Mechanics and the Institute of Water Resources Management, Hydraulic and Rural Engineering it has been examined how dams and levees of low height must be designed, to withstand a intentional overtopping for flood protection. For this purpose the landside surface of the dam must be protected against the affecting forces due to the overflow of the water. Up to now there have been no design rules, which made it possible to perform the necessary stability checks in order to obtain technical solutions which are both economical and easy to achieve. Within the scope of this project a statical approach was developed to determine the dimensions for a coherent, self-supporting revetment made of Open Stone Asphalt (crushed sandstone coated with sand mastic). This approach was verified in the Theodor-Rehbock-Laboratory by tests on large-scale models. The construction method can be regarded as being suitable for general implementation. The application of the Open Stone Asphalt in practice is shown in the example of the retention basin at Mönchzell / Germany.

15.1 Einführung

Bei der Realisierung überströmbarer Dämme stellt sich die Frage nach der hydraulischen Belastbarkeit von Dammböschungen, die mittels Sicherungselementen sogenannten Deckwerken) gegen Versagen geschützt sind (vgl. z.B. /Rathgeb 2001/ und /Dornack 2001/). Dies erfordert ein ingenieurtechnisches bzw. erdstatisches Nachweiskonzept zur Gewährleistung der Standsicherheit bei gegebener hydraulischer Belastung (vgl. LfU 1997).

Nachfolgend werden Untersuchungsergebnisse vorgestellt, die von dem Lösungsansatz ausgehen, dass eine geeignete Oberflächensicherung aus dränfähigem, selbsttragendem und kohärentem Deckwerk aus Mastix-Schotter besteht /Bieberstein et al. 2002 und 2003/.

15.2 Anforderungen an überströmbare Erddämme und an Deckwerke

Bei der Konzeption von überströmbar Dämmen und Deichen sind folgende prinzipielle Überlegungen zu Grunde zu legen:

- Es bedarf eines ingenieurtechnischen Bemessungskonzeptes für den statischen Nachweis von Überströmstrecken.
- Überlegungen zur zeitlich limitierten Standzeit von Erddämmen – auch bei vergleichsweise kurzen Hochwasserereignissen - sind gemäß dem heutigen Stand der Technik zur Prognose der „Breschenbildung von Erddämmen“ nicht sachgerecht.
- Es sind preiswerte und großflächig herstellbare Sicherungselemente aus technischen Baustoffen – sog. Deckwerke – einzusetzen.
- Gras als Sicherungselement ist als unzureichend anzusehen.

- Da die luftseitige Böschungsoberfläche das Sicherungselement für derartige Erdbauwerke ist, sind unbedingt Maßnahmen gegen zufällige Umstände - wie beispielsweise Weidewirtschaft oder Vandalismus - zu ergreifen.
- Die Bauwerke müssen landschaftsverträglich sein.
- Möglicherweise ergeben sich angepasste Sicherheitsbeiwerte in Abhängigkeit des Schadenspotentials.

Aus dammbautechnischen, hydraulischen und ökologischen Gründen lassen sich somit folgende Anforderungen für Deckwerke definieren:

- Ausreichende Dauerhaftigkeit / Langzeitstabilität
- Zuverlässig hohe Wasserdurchlässigkeit
- Erosionsstabilität
- Plastizität (wegen möglicher Setzungsdifferenzen)
- Fugenlosigkeit
- Mäßig rau (hydraulische Forderung)
- Möglichkeit zur Begrünung

Zur Ausbildung eines kohärenten Deckwerkes kommen prinzipiell verschiedene Baustoffe bzw. Bauweisen in Frage, die in Verbindung mit den zugehörigen Herstellungsverfahren jeweilige Vor- und Nachteile besitzen. Um das für den Anwendungsfall optimale Deckwerk auszuwählen, wurden verschiedene Deckwerkstypen untersucht (vgl. Tabelle 1). Hierbei stellte sich heraus, dass der hochporöse Mastix-Schotter (vgl. Bilder 1 und 2), der als ein mittels bituminösem Mörtel gebundener Einkornsplitt bezeichnet werden kann, insgesamt die besten Eigenschaften besitzt. Zudem liegen langjährige Erfahrungen aus anderen wasserbaulichen Anwendungen vor (vgl. /Kuhn 1971/ und /Schönian 1999/).

Tabelle 15.1: Bewertungsmatrix zur Auswahl des Deckwerkes

	Rasengittersteine (verbunden)	Dränbeton	Dränasphalt/Mastix-Schotter	Bodenverfestigung mit Zement oder Kalk	Einfräsen von Schaumbitumen	Geogitter- oder Drahtgittermatratzen (ggf. rückverhängt)
Langzeitstabilität	+	+	+	0	-	+
Hohe Wasserdurchlässigkeit	+	++	++	--	--	++
Erosionsstabilität	++	++	++	0	-	0
Plastizität	0	--	++	0	0	++
Fugenlosigkeit	+	++	++	++	++	++
Rauhigkeit	+	+	+	-	-	+
Fertigungstechnik	+	+	+	++	++	-
Bepflanzbarkeit	++	+	+	0	0	+
Variabilität der Dicke	--	++	++	++	++	0
Qualitätssicherung	+	+	+	+	--	0
Kosten	-	0	0	++	+	--
Bewertung	7	11	15	6	0	6

Für die Untersuchungen im Theodor-Rehbock-Laboratorium wurde eine Rezeptur mit 80 % Gestein und 20 % Mastixmörtel (bestehend aus Bitumen, Füller, Mittelsand und Faserstoffen) verwendet (vgl. Bild 1).



Bild 15.1: Rezeptur des Mastix-Schotters

Eine zentrale Forderung aus ökologischer bzw. landschaftsgestalterischer Sicht besteht in der Möglichkeit zur Begrünung derartiger Dammbauwerke. Der in Bild 2 abgebildete Bohrkern aus Mastix-Schotter zeigt die Bedeckung der Oberfläche mit einer Humusschicht, auf der Gras wächst. Die Vegetation auf dem in Bild 3 dargestellten Deckwerk aus Mastix-Schotter

dagegen siedelte sich allein aufgrund natürlichen Samenflugs an. Die ebene und homogene Oberfläche bietet zusätzlich Vorteile bezüglich der Unterhaltung und Pflege, da sie zur Mahd z.B. mit einem Balkenmäher befahren werden kann.

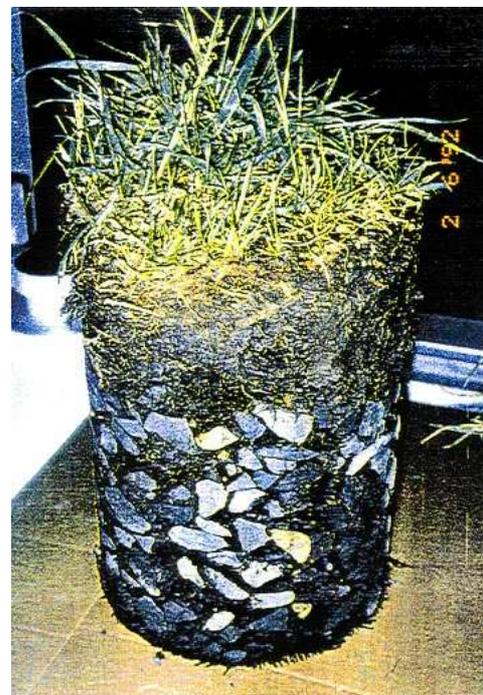


Bild 15.2: Bohrkern aus einem Deckwerk aus Mastix-Schotter mit aufgebrachtener Humusschicht und Begrünung. /Elskens 1995/



Bild 15.3: Begrünung eines Deckwerkes aus Mastix-Schotter durch natürlichen Samenflug

15.3 Nachweis des kohärenten Deckwerkes

Der Nachweis des gewählten Deckwerkkonzeptes erforderte verschiedene Untersuchungsschritte:

- Geotechnische Auslegung: Dimensionierung des Deckwerkes, Klärung der Scherparameter sowie Nachweis der hydraulischen Belastbarkeit des Deckwerkes in einer Kipprinne.
- Hydraulik: Numerische Untersuchungen zur Dimensionierung und Optimierung der Abflussverhältnisse, insbesondere zur Gewährleistung einer zuverlässigen Energieumwandlung am Böschungsfuß.
- Verifikation der Resultate mittels Untersuchungen an einem Halbdamm-Modell im technischen Maßstab. Verifikation der Resultate mittels Untersuchungen an einem Halbdamm-Modell im technischen Maßstab.

Der Nachweis der Standsicherheit des überströmten Deckwerkes kann für die gegebenen Bedingungen an einem Böschungselement erfolgen /Larsen et al. 1986/, wobei sich diese aus einem Vergleich der Einwirkungen und Widerstände ergibt (vgl. Bild 4).

Eine Auswertung der analytischen Zusammenhänge ist in Bild 5 dargestellt, in der die zulässige Grenzbelastung für ein Deckwerk aus Mastix-Schotter mit 12 cm Stärke über der Böschungsneigung aufgetragen ist; als Scharparameter wurde der Reibungswinkel in der Scherfuge gewählt.

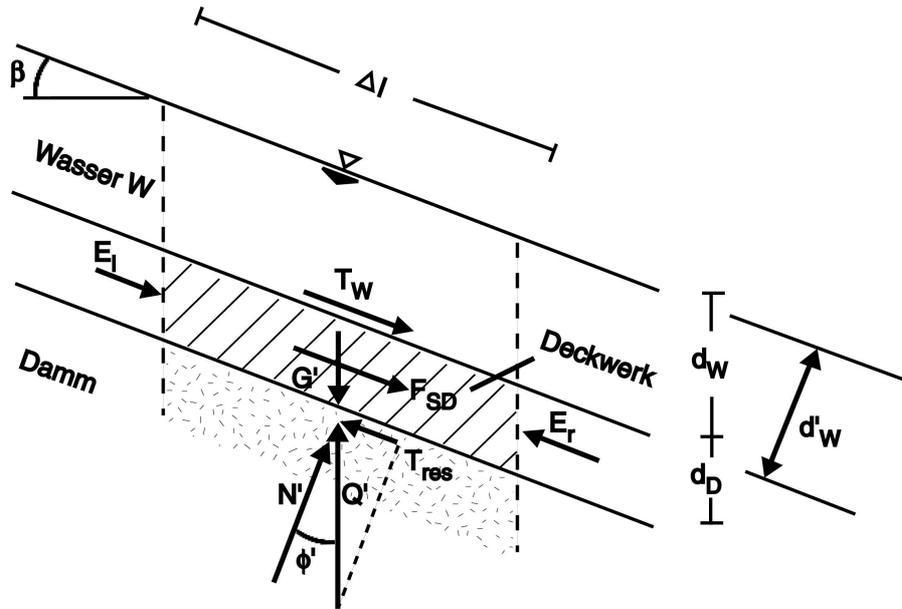
Aus den gezeigten Zusammenhängen wird für die praktische Anwendung – wie zu erwarten – Folgendes deutlich:

- Der Reibungswinkel in der Scherfuge hat einen maßgebenden Einfluss auf die zulässige Belastbarkeit der Böschung.
- Auf flachen Böschungen (kleine Böschungswinkel) sind grundsätzlich höhere hydraulische Belastungen zulässig.
- Steile Böschungsneigungen (z.B. $\beta > 15^\circ$) ermöglichen hingegen – nahezu unabhängig von der Größe des Reibungswinkels – eine nur sehr geringe hydraulische Belastung.
- Der dargestellte Zusammenhang gilt für den rechnerischen Grenzzustand ($\eta = 1,0$).

Wesentlich für die Zusammenstellung und den statischen Nachweis des gesamten selbsttragenden Deckwerksystems sind die Reibungsverhältnisse in den Scherfugen. Daher wurden die Scherparameter für derartige Systeme in der Kipprinne (vgl. Bild 6) ohne jegliche hydraulische Belastung quantifiziert – es ergab sich ein Reibungswinkel von etwa 31° .

Zur Ermittlung der hydraulischen Grenzbelastung des gewählten Deckwerkes wurden Untersuchungen an einem Böschungselement in einer in der Neigung zwischen 0° und 35° stufenlos verstellbaren Kipprinne (Länge: 4 m, Breite: 1,31 m) durchgeführt. Die Ergebnisse bestätigen den analytischen Berechnungsansatz im untersuchten Belastungsbereich; die Grenzbelastungen bei unterschiedlichen Böschungsneigungen sind in Bild 5 als Kreuze eingetragen. Auf dieser Grundlage können zukünftig Deckwerke für relevante Abflüsse bemessen werden.

Aus hydraulischer Sicht war es wesentlich, die sich bei einer Überströmung eines Dammes einstellenden Abflussbereiche genauer zu betrachten. Diese unterscheiden sich hinsichtlich der Entwicklung der Fließgeschwindigkeiten, der Wasserspiegellagen sowie der Froudezahlen charakteristisch voneinander. Dabei wurde die Dammkrone mit dem Übergang von strömendem zu schießendem Abfluss untersucht und die Böschung mit schießendem Normalabfluss bewertet. Vor allem jedoch stand der Böschungsfuß, an dem beim Übergang von schießendem zu strömendem Abfluss ein wesentlicher Teil der Energieumwandlung stattfindet, im Mittelpunkt des Interesses. Vorbereitend für die Versuche an einem physikalischen Modell wurden eindimensionale numerische Berechnungen durchgeführt, mit Hilfe derer vor allem Aussagen über die zu erwartende Lage des Wechselsprunges und die Qualität der Energieumwandlung getroffen werden konnten.



N'	} Reaktionskräfte in der Gleitfuge		
T_{res}			
Q'			
Φ'	Reibungswinkel im Deckwerkaufleger	T_w	Schubspannungsergebnende bei Überströmung
G'	Deckwerkgewicht unter Auftrieb	d_w	Mittlere Dicke der Wasserschicht
$E_l \cong E_r$	Erddruckkräfte	d_D	Dicke des Deckwerkes
F_{SD}	Strömungskraft	β	Böschungswinkel

Bild 15.4: Einzelement einer hangparallel durch- und überströmten Böschung /Larsen et al. 1986/

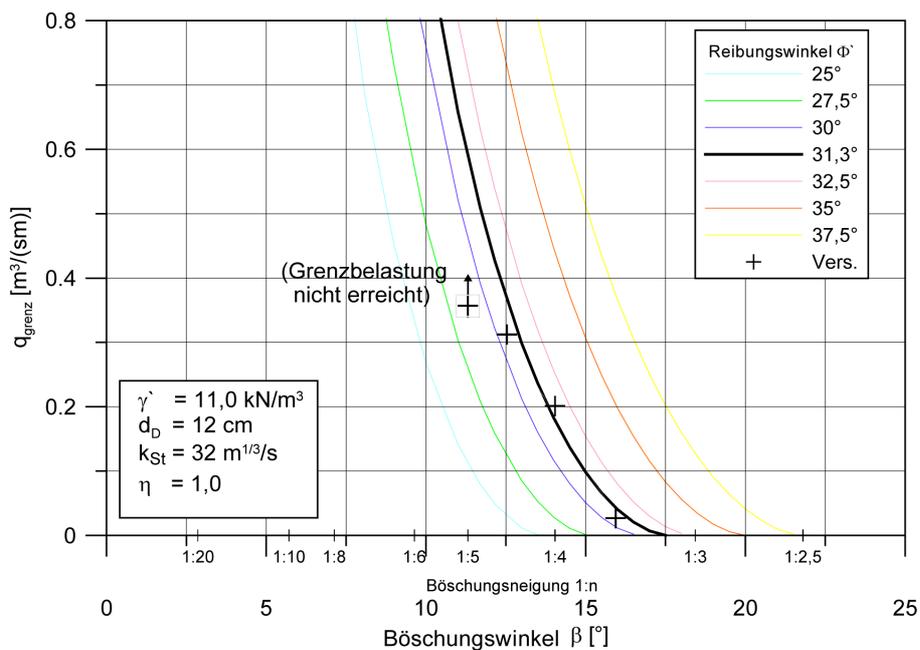


Bild 15.5: Selbsttragendes, kohärentes und dränfähiges Mastix-Schotter-Deckwerk – theoretische Grenzbelastungen q in Abhängigkeit des Böschungswinkels β und des Reibungswinkels Φ' (Linien) sowie Versuchsergebnisse aus der Kiprinne bei $\Phi' = 31^\circ$ (Kreuze)

Alle Erkenntnisse flossen schließlich in ein Halbdamm-Modell im technischen Maßstab ein (vgl. Bild 7), in dem die tatsächliche Belastungssituation realistisch nachgestellt werden konnte. Dies erfolgte bis zu einer hydraulischen Belastung von $q = 300 \text{ l/(sm)}$, zusätzlich wurden die Strömungsverhältnisse im Dammkörper (Sand) beobachtet und analysiert.



Bild 15.6: Kipprinne – Selbsttragendes Deckwerk aus Mastix-Schotter bei einer Belastung von $q = 360 \text{ l/(sm)}$ bei einer Böschungsneigung von 1: 5



Bild 15.7: Halbdamm-Modell zur Durchführung von Überströmungsversuchen mit einer Böschungsneigung von 1 : 6 während des Betriebes

Wesentlicher Aspekt der Untersuchungen war, die gezielte Energieumwandlung am Übergang der Böschung zum horizontalen Gelände zu optimieren, um das unterstromige Gelände weitgehend vor Erosion zu schützen. Das gelang durch die Anordnung einer mit Mastix-Schotter befestigten Mulde als Kolkschutz im Übergangsbereich von der Böschung zum horizontalen Gelände. Die bei der Energieumwandlung auftretenden Kräfte und Belastungen werden durch das Sicherungselement aufgenommen und in den Untergrund abgeleitet. Ein Abwandern des Wechselsprunges in das unbefestigte Unterwasser wird durch die Muldenform unterbunden (vgl. Bild 8).



Bild 15.8: Energieumwandlung am Böschungsfuß – Blick von oberstrom /Bieberstein et al. 2002/

15.4 Umsetzung in die Praxis

Auf Grundlage des hier vorgestellten statischen Nachweiskonzeptes ist es möglich, Überströmstrecken bis zu einem maximalen spezifischen Abfluss von etwa $q = 1000 \text{ l/(sm)}$ zu bemessen. Die luftseitigen Böschungen sind in Abhängigkeit der Eingangsgrößen in der Regel flach auszubilden. Dies ist auch aus landschaftsgestalterischen Gründen sinnvoll und erstrebenswert.

Als Ergebnis aller Untersuchungsschritte konnte der in Bild 9 dargestellte alternative Ausführungsvorschlag für das Hochwasserrückhaltebecken Mönchzell (Bauherr: Zweckverband Einzugsbereich Hochwasserschutz Elsenz-Schwarzbach) konstruktiv abgeleitet werden. Der Dammkörper wird an der mit 1 : 8 geneigten Luftseite mit einer Lage aus Geotextil belegt, auf der das Deckwerk aus Mastix-Schotter mit einer Schichtstärke von 20 cm heiß ein-

gebaut wird. Durch die Anordnung des befestigten Kolkkes am Böschungsfuß erfolgt eine gezielte Energieumwandlung in diesem Bereich zum Schutz des unterstromigen Geländes.

Das Deckwerk aus Mastix-Schotter wird anschließend vollflächig mit Mutterboden überdeckt und begrünt. Der Grasbewuchs geht in die statische

Betrachtung jedoch nicht ein. Im Falle einer Überströmung ist dessen Beschädigung – unter Umständen bis hin zum Totalverlust – nicht auszuschließen, da der Mutterboden mit Grasbewuchs für sich unter Umständen nicht standsicher ist. Das darunter liegende Deckwerk übernimmt dann planmäßig die dauerhafte Sicherung des Damm- bzw. Deichkörpers während der Überströmung.

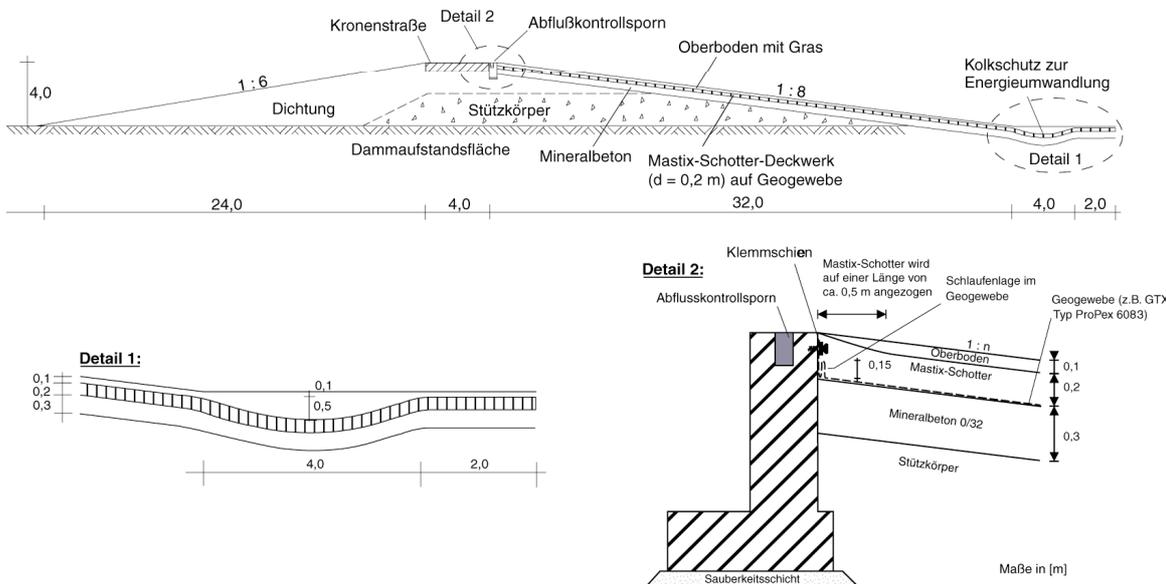


Bild 15.9: Alternativentwurf für das Hochwasserrückhaltebecken Mönchzell mit Deckwerk aus Mastix-Schotter (spez. hydr. Belastung $q = 405 \text{ l/(sm)}$)

Die Anforderungen an die bautechnische Umsetzung sowie insbesondere an die Eignungsprüfung und Qualitätssicherung liegen vor. Einige Details der Ausführung des Deckwerkes beim HRB Mönchzell sowie Aspekte der Qualitätssicherung werden abschließend mittels einiger Abbildungen verdeutlicht (vgl. Bilder 10 bis 20):



Bild 15.10: Einstellung des Mischwerkes mittels Probemischungen nach erfolgter Eignungsprüfung



Bild 15.11: Beladung der LKWs im Mischwerk und Abdecken des Mischgutes zur Gewährleistung der Einbautemperatur von 110 bis 140°C



Bild 15.12: Verlegung des filterfesten Geogewebes mit Mindestüberlappung auf dem ausreichend tragfähigen Planum



Bild 15.14: Abladen des Mischgutes ohne direkte Befahrung des Geogewebes



Bild 15.15: Verteilen und Andrücken des Mischgutes



Bild 15.13: Erosionssicherer Anschluß des Geogewebes an der Überlaufschwelle mittels Klemmschiene



Bild 15.16: Kontrolle der Deckwerksstärke



Bild 15.17: Ausformung des Kolkbereiches am luftseitigen Böschungfuß sowie Durchführung eines Schachtanschlusses



Bild 15.19: Deckwerk nach Abschluß des Einbaus des Mastix-Schotters



Bild 15.18: Herstellung einer Arbeitsfuge in Falllinie mittels Kantholz



Bild 15.20: Überströmstrecke nach Auftrag des Oberbodens und Einsaat

Weitere Einzelheiten zur Bemessung, der konstruktiven Durchbildung sowie zur Qualitätssicherung derartiger Deckwerke sind im zur Zeit in Überarbeitung befindlichen Leitfaden „Überströmbare Dämme, Dammscharten und Flussdeiche“ /LfU 2004/ enthalten.

15.5 Literatur

Bieberstein, A., Brauns, J. & Kast, K. (1997)

Überströmbare Hochwasserschutzdämme in Sonderbauweise. Geotechnik-Sonderheft 1997, DGGT.

Bieberstein, A., Brauns, J., Queisser, J., Bernhart, H. 2002

Überströmbare Dämme – Landschaftsverträgliche Ausführungsvarianten für den dezentralen Hochwasserschutz in Baden-Württemberg. Zwischenbericht: BW Plus.

Bieberstein, A., Brauns, J., Queisser, J., Bernhart, H. 2003

Überströmbare Dämme – Landschaftsverträgliche Ausführungsvarianten für den dezentralen Hochwasserschutz in Baden-Württemberg. Zwischenbericht: BW Plus

Dornack, S. 2001

Überströmbare Dämme – Beitrag zur Bemessung von Deckwerken aus Bruchsteinen. Dissertation, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik, Universität Dresden.

Elskens, F. 1995

Protecting Overflow Dikes for Controlled Flood Areas in Belgium. PIANC Conference on Inland Waterways and Flood Control, Brussels, Belgium.

Kuhn, R. 1971

Erprobung von Deckwerken durch Schiffsversuche. Wasserwirtschaft 3.

Larsen, P., Blinde, A., Brauns, J. 1986

Überströmbare Dämme - Hochwasserentlastung über Dammscharten. Versuchsbericht der Versuchsanstalt für Wasserbau und Kulturtechnik und der Abteilung Erddammbau und Deponiebau am Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik, Universität Karlsruhe, unveröffentlicht.

LfU - Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg 1997

Dammscharten in Lockerbauweise bei Hochwasserrückhaltebecken. Handbuch Wasser 2.

LfU - Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg 2004

Überströmbare Dämme, Dammscharten und Flussscharten. Handbuch Wasser 2 (in Vorbereitung).

Rathgeb, A. 2001

Hydrodynamische Bemessungsgrundlagen für Lockerdeckwerke an überströmbaren Erddämmen. Dissertation, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart.

SCHÖNIAN, E. 1999

The Shell Bitumen Hydraulic Engineering Handbook. ISBN 0953588505.