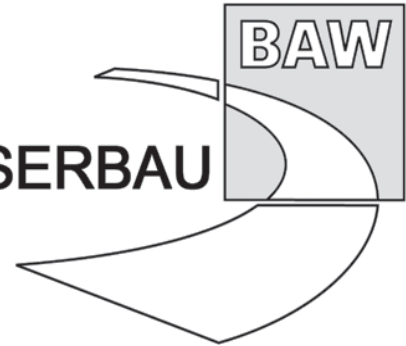




BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU

Karlsruhe · Hamburg · Ilmenau



BAW-Brief Nr. 2 - Mai 2004

576 – IT / B

WSVPruf - IT-Unterstützung für die Bauwerksinspektion

Die WSV ist Eigentümer von ungefähr 338 Schleusenanlagen, 280 Wehranlagen, 1300 Brücken, 1600 festen Leuchtfeueranlagen, 400 Dükern und Durchlässen, einer Vielzahl von Kabeldükern und sonstiger Anlagen (siehe auch <http://www.wsv.de>). Dies entspricht einem Bruttoanlagenvermögen von ca. 38,2 Mrd € (Stand 1998). Auf Grund der Alterstruktur der Bauwerke steigen die Kosten für Unterhaltung, Instandsetzung und Erneuerung kontinuierlich an. Eine adäquate Unterstützung durch Informationstechnik ist damit erforderlich, um eine effiziente und technisch sinnvolle Unterhaltung zu gewährleisten.

Ende des Jahres 2002 wurde eine Projektgruppe WSV Pruf einberufen, die auf der Basis der VV-WSV 2101 eine Software entwickeln soll, die die erforderlichen Abläufe abbildet. Zur Gewährleistung der Akzeptanz ist in der Projektgruppe aus jeder WSD mindestens ein WSA-Mitarbeiter vertreten. Im Lenkungsausschuss ist aus vier WSDn der Koordinator für die Bauwerksinspektion vertreten. Die Leiter aller WSÄ sind Auftraggeber des Projekts. Die BAW begleitet das Projekt sowohl fachtechnisch (B1) als auch it-technisch in der Teilprojektgruppe IT (F-IT, IT-3). Der HPR ist von Beginn an beteiligt.

Gemäß Projektauftrag sind folgende Ziele besonders zu beachten:

- Vereinfachte und einheitliche Dokumentation der Ergebnisse der Bauwerksinspektion nach VV-WSV 2101
- Ermittlung einer Prüfnote pro Bericht auf der Basis eines von der BAW entwickelten Algorithmus
- Beachtung von bestehenden Programmen wie z. B. WADABA, WaGIS, ALWIN
- Möglichkeiten der Weiterentwicklung (Bauwerks-Managementsystem).

Nach der Formulierung der Anforderungen und der Analyse von bestehenden Programmen wurde von der Projektgruppe beschlossen, das System ALWIN II,

mit dem aktuell die Planmäßige Unterhaltung (PU) geplant und durchgeführt wird, als Basis für ein neues Programm WSVPruf zu nehmen. Die Anpassung der Software an die Belange der Bauwerksinspektion wurde von der F-IT selbst nach Vorgabe durch die Projektgruppe durchgeführt. Seit Herbst 2003 läuft eine Pilotphase in ausgewählten Dienststellen, um die von der Projektgruppe konzipierte Version im Alltagsbetrieb zu testen.

Die Software gliedert sich in drei Bereiche, die in Bild 1 dargestellt sind.

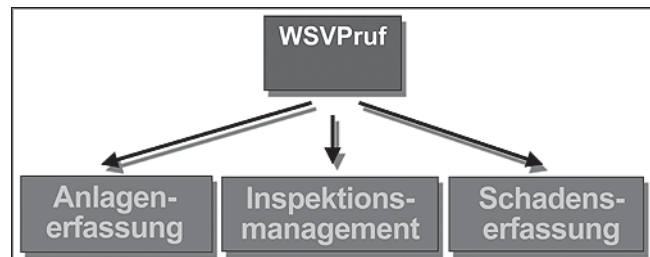


Bild 1: Schaubild WSVPruf

In der Anlagenerfassung werden anlagenspezifische Daten eingegeben und die Anlagenstruktur der Bauwerke individuell auf der Grundlage eines vorgegebenen Bauteilkataloges erfasst. Strukturen ähnlicher Anlagen können kopiert und angepasst werden. Prinzipiell ist es möglich, alle Objektarten zu integrieren, zurzeit sind Bauteilbegriffe für die bedeutendsten Verkehrswasserbauwerke hinterlegt (Schleusen, Wehre, Düker, Kanalbrücken, Leuchtfeueranlagen, Sperrtore, Schöpfwerke, Pumpwerke, u. a.).

Im Bereich des Inspektionsmanagements (Bild 2) können die Arbeitsschritte im Rahmen der Bauwerksinspektion terminiert und koordiniert werden. Hier werden Zuständigkeiten, Inspektionsintervalle, Inspektionsart, Aufgabenblätter, Veranlassungen und andere wichtige Informationen, die der Abwicklung der Bauwerksinspektion dienen, eingegeben und verwaltet.

Besonders die Terminverwaltung wird durch die übersichtliche Darstellung der durchzuführenden Inspektionen sowie die Anzeige überfälliger Inspektionen wesentlich erleichtert.



Bild 2: Inspektionsmanagement

In der Schadenserfassung (Bild 3) werden die im Rahmen der Bauwerksinspektion festgestellten Schäden dem betroffenen Bauteil zugeordnet erfasst. Die Schäden werden Schadensgruppen, Schadensarten und unterschiedlichen Materialien zugeordnet. Darüber hinaus wird der Schaden bewertet. Von großem Vorteil ist die Möglichkeit, den Schaden mit Hilfe von bis zu zwei Bildern zu visualisieren.

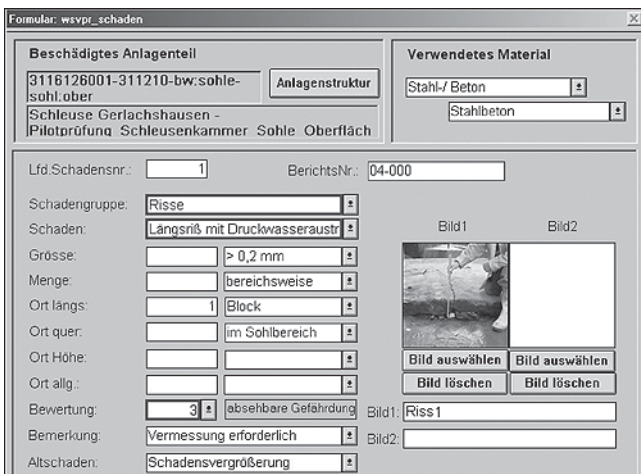


Bild 3: Eingabe von Schäden

Die Prüfnote eines Bauwerkes ergibt sich aus der Einteilung der Schäden in Schadensklassen von 1 bis 4 und unter Berücksichtigung des Schadensumfangs, der Anzahl der Schäden und der Anzahl der geschädigten Kategorien. Die Bauteile sind dazu unterschiedlichen Kategorien wie Massivbau, Stahlwasserbau, Fugen, Einrichtungen des Schiffsverkehrs usw. zugeordnet. Bild 4 zeigt das Deckblatt des Prüfberichtes.

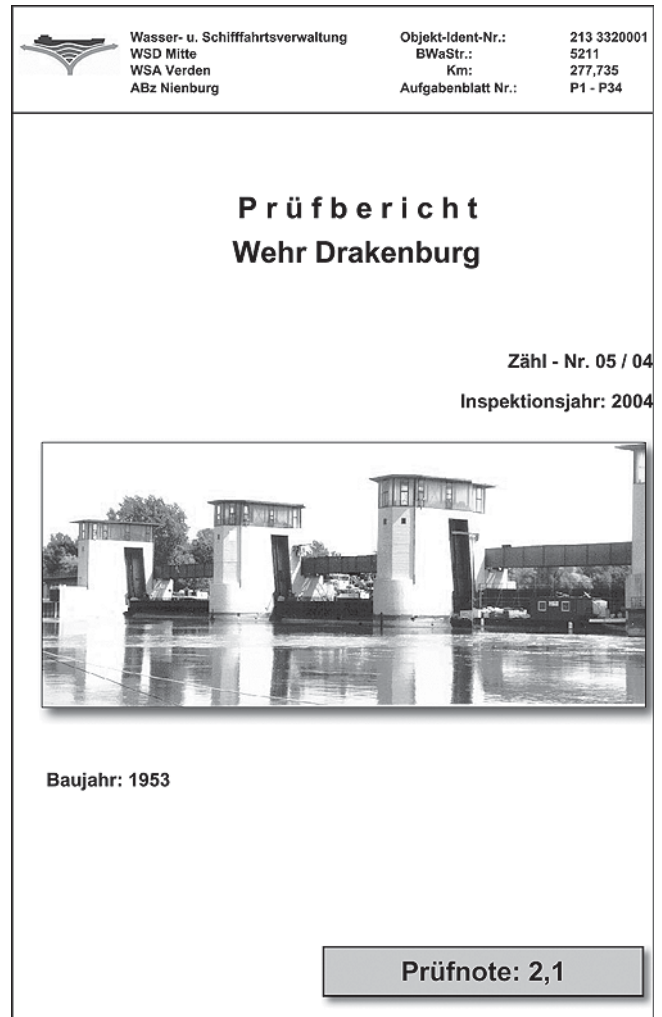


Bild 4: Deckblatt des Prüfberichtes

ALWIN II wird mittlerweile auf ein modernes, 32bit Datenbanksystem (Software IMS) portiert und anschließend als zentrale Datenbank mit einer JAVA-Client-Applikation und web-basierter Kommunikation laufen. Die Steuerung der Zugriffsrechte erfolgt über die Definition von Zugriffsrollen. Für IMS übernimmt die F-IT die zentrale Betreuung des Servers, die Koordinierung der Entwicklung, die künftige Weiterentwicklung und die Vorbereitung der Schulungen. Nach Implementierung der Ergebnisse der Pilotphase wird die Software für die Bauwerksinspektion WSV-weit eingeführt. Zurzeit ist dieser Schritt für Ende 2004 vorgesehen.

ORR Rainer Willig
 Fachstelle der WSV für Informationstechnik
 Referat IT3 –
 IT-Einsatz im administrativen Bereich der WSV
 Tel. 03677/669-2301
 e-mail: rainer.willig@baw.de

BR Jörg Bödefeld
 Abteilung Bautechnik
 Referat B1 – Massivbau
 Tel. 0721/9726-3140
 e-mail: joerg.boedefeld@baw.de

577 - G

Aspekte zum Einbau von Ton für Dichtung an Binnenwasserstraßen

1 Veranlassung

Tonböden werden bereits seit Jahrhunderten für Dichtungen im Wasserbau eingesetzt. Das primäre Kriterium für den Einsatz von Ton ist dessen geringe Durchlässigkeit, die an dem geringen Durchlässigkeitsbeiwert k von üblicherweise $k = 10^{-12} - 10^{-10}$ m/s erkennbar ist. In alten Wasserstraßen wurde der Ton ohne gesonderte Aufbereitung in Dicken von mehreren dm bis 1 m im Trockenen eingebaut. Durch die große Schichtstärke wurden Inhomogenitäten, Ungenauigkeiten bei der Bauausführung und auch Verformungen, z. B. infolge Setzung und Sackung im Untergrund oder durch Bewegungen angeschlossener Bauwerke, kompensiert. Auf Grund des hohen Mechanisierungsgrades im Erdbau ist es heutzutage möglich, Tondichtungen einlagig in der Stärke von 20 cm und bei größerem Schadenspotenzial, wie z. B. in hohe Dammstrecken, auch mit 30 cm einzubauen. Dies setzt jedoch insbesondere beim Einbau im Nassen eine intensive Aufbereitung des Materials zur Homogenisierung voraus. Durch gezielte Wasserzugabe kann die Konsistenz des Tons sehr genau eingestellt werden. Ebenso sind die Tondichtungen durch eine Böschungs- bzw. Sohlsicherung vor äußeren hydraulischen und mechanischen Angriffen zu schützen. Dies geschieht üblicherweise durch einen 40 – 100 cm dicken Schichtaufbau aus geotextiler oder mineralischer Schutzschicht und aufliegenden Wasserbausteinen.

Nicht geschützt werden kann die Tondichtung vor mechanischer Belastung aus Setzungen und Sackungen im Untergrund oder aus Bewegung angeschlossener Bauwerke. Eine Überbelastung führt hier zu Rissen und damit zum Verlust der Dichtungsfunktion. Bereits geringe Leckraten können zum Versagen der Dichtung und somit zu ungewünschten Sickerwasserströmungen aus der Wasserstraße heraus führen. So können unter ungünstigen hydrogeologischen Bedingungen bereits geringe Leckagen den Grundwasserhaushalt wesentlich beeinflussen.

Auf Grund der heutzutage relativ geringen Schichtstärken der Tondichtungen ist es erforderlich, hohe Anforderungen an das Material bezüglich der Durchlässigkeit und der Flexibilität zu stellen.

Die Durchlässigkeit des Tons ist u. a. abhängig von dessen Wassergehalt w und Trockendichte ρ_d . Dieser Zusammenhang ist in Bild 1 prinzipiell in den Funktionen der vom Wassergehalt erreichbaren Trockendichte ρ_d (Proctorkurve, obere Bildhälfte) und der bei der entsprechenden Dichte vorhandenen Durchlässigkeit (untere Bildhälfte) dargestellt.

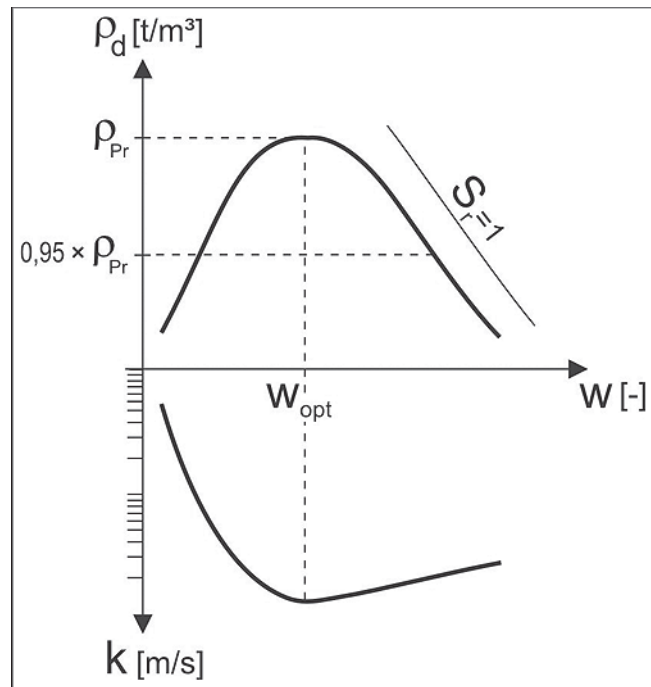


Bild 1: Zusammenhang Trockendichte-Wassergehalt-Durchlässigkeit bei Tonböden

Die geringste Durchlässigkeit erreicht ein Boden oberhalb des optimalen Wassergehaltes w_{opt} , wobei sie mit steigendem Wassergehalt und damit auch fallender Trockendichte geringfügig wieder ansteigt. Dies führt bei der allgemeinen Forderung, dass Tondichtungen auf dem „nassen Ast“ der Proctorkurve, d. h. mit Wassergehalten oberhalb von w_{opt} , einzubauen sind.

Eine hohe Flexibilität des Tons wird durch einen möglichst hohen Wassergehalt erreicht. Damit verbunden ist allerdings auch eine geringe Festigkeit des Tons. Als Kriterium für Tondichtungen im Verkehrswasserbau gilt, dass eine Verformung mit einer Flankenneigung von 1 : 10 schadlos aufzunehmen ist. Dieses Kriterium kann z. B. im Balkenversuch überprüft werden. Hierbei darf ein Biegebalken der Länge L , dem eine Verformung in Balkenmitte von $L/20$ aufgeprägt wird, bis zu $1/3$ der Balkenhöhe einreißen [1].

Beim Einbau von Ton in Wasserstraßen ist grundsätzlich zu unterscheiden zwischen dem Einbau im Trockenen und unter Wasser (Nasseinbau). Beide Verfahren kommen heutzutage zum Einsatz.

Der Einbau im Trockenen hat den Vorteil der durchgängigen visuellen Kontrolle und der relativ einfachen Überprüfung der Dichtung im eingebauten Zustand. Allerdings muss die Dichtung mit Erdbaugerät befahren werden, sodass die Festigkeit relativ hoch sein muss. Hier ergibt sich der Zielkonflikt zwischen der für den Trockeneinbau erforderlichen Festigkeit und der für die Dichtungsfunktion notwendigen Flexibilität. Die negative Erfahrung aus einigen Bauvorhaben zeigt die Relevanz dieses Zielkonfliktes.

Die Einbautiefe unter Wasser beträgt üblicherweise bis 5 m. Hierfür sind spezielle Verfahren entwickelt worden, bei denen die Tondichtung vom schwimmenden Gerät aus eingebaut wird. Die Tondichtung muss daher nicht mit Geräten befahren werden, sodass die erforderliche Festigkeit nur durch die Standsicherheit der Kanalböschung, die zu beschränkende Eindringung anschließend aufzuschüttender Wasserbausteine und durch die spätere Aufnahme von Lasten (z. B. Stelzenpontons) beschränkt wird. Daher sind relativ hohe Wassergehalte möglich, was eine hohe Flexibilität der Dichtung zulässt.

2 Beurteilung von Ton hinsichtlich der Einbaubarkeit im Trockenen

Der Ton muss für den Einbau im Trockenen befahrbar für Erdbaugeräte zum Verteilen (i. d. R. kettengebundene Bulldozer) und ggf. zum Verdichten sein (i. d. R. Stampfuß- und Glattmantelwalzen). Die Befahrbarkeit eines bindigen Bodens richtet sich nach seiner Konsistenz. Die Konsistenz wird durch die Konsistenzzahl I_C beschrieben, mit der der vorhandene natürliche Wassergehalt w_n auf die Wassergehalte an der Fließgrenze w_L (Übergang von breiiger zu flüssiger Konsistenz) und Ausrollgrenze w_p (Übergang von halbfester zu steifer Konsistenz) bezogen wird.

$$I_C = \frac{w_L - w_n}{w_L - w_p}$$

Die Konsistenzzahl I_C korreliert mit der undrainierten Scherfestigkeit c_u . Die Korrelation ist von der jeweiligen Korn- und Mineralzusammensetzung des Bodens abhängig. Es kann generell von den in der Tabelle 1 dargestellten Zusammenhängen ausgegangen werden [2]. Ähnliche Werte sind auch aus DIN 1055, Entwurf 2003 [7] ableitbar.

Tabelle 1: Zusammenhang zwischen der Konsistenz und der c_u -Festigkeit bindiger Böden

Konsistenz	Konsistenzzahl I_C	undrainierte Scherfestigkeit c_u
Flüssig	< 0	< 2 kN/m ²
Breiig	0 – 0,5	2 – 20 kN/m ²
Weich	0,5 – 0,75	20 – 60 kN/m ²
Steif	0,75 – 1,0	60 – 200 kN/m ²

Zur Befahrbarkeit bindiger Böden liegen die in Tabelle 2 aufgeführten, relativ alte Angaben vor.

Tabelle 2: Untersuchungen zur Befahrbarkeit bindiger Böden

Autor	Grenzen der Befahrbarkeit
Knaupe, W. [3]	Für Raupenfahrzeuge: $I_C \geq 0,6$
Leussink [4]	Kettenfahrzeuge kritisch unter $I_C = 0,6 - 0,8$ (Sohl drücke $p = 60 - 300$ kN/m ²)
Striegler Quellmalz [5]	bei $c_u < 44$ kN/m ² mit Rädern nicht mehr befahrbar

Unter Berücksichtigung des Zusammenhangs zwischen Konsistenz und undrainierter Scherfestigkeit entsprechend Tabelle 1 entspricht die geforderte Konsistenz $I_C = 0,6$ einer undrainierten Scherfestigkeit ca. $c_u = 36$ kN/m².

Die neuesten Untersuchungen zur Befahrbarkeit weicher Tonböden mit modernem Erdbaugerät wurden von Bartels-Langweige durchgeführt [6]. Zum einen wird festgestellt, dass die undrainierte Scherfestigkeit c_u der entscheidende Bodenparameter für die Beurteilung der Befahrbarkeit eines weichen Tonbodens ist. Die Parameter der bodenmechanischen Klassifikation (Kornzusammensetzung, Plastizität) haben keinen direkten Einfluss. Hinsichtlich der Befahrbarkeit werden die Geräte in 5 Klassen mit jeweiligen Einsatzgrenzen eingeteilt. Diese Klassifizierung ist in Tabelle 3 dargestellt. Die Klassen sind so definiert, dass die Erdbaugeräte ohne Leistungsverlust fahren, transportieren, planieren und verdichten in den Einbautoleranzen können.

Tabelle 3: Einsatzgrenzen für Geräteklassen kettengebundener Erdbaugeräte, nach [6]

Geräteklasse	Bodendruck [kN/m ²]	c_u an der Einsatzgrenze [kN/m ²]
I	6 – 22	7,5
II	22 – 40	14
III	40 – 58	18
IV	> 58	22

Diese Werte zeigen, dass selbst bei großen Bodendrücken von 50 kN/m² und mehr der Einsatz von Erdbaugeräten bei c_u-Werten von ca. 20 kN/m² gewährleistet ist. Ein solcher Bodendruck wird z. B. durch einen leistungsfähigen 38 t-Raupenbagger mit breiter Kette erzeugt. Diese Angaben beziehen sich auf i. w. horizontale Flächen, sodass an Böschungen ggf. Zusatzmaßnahmen wie z. B. Zuggeräte an der Böschungsoberkante erforderlich werden.

Unter Berücksichtigung dieser Zahlenwerte scheint es zulässig, die undrainierte Scherfestigkeit des Tons im Trockenem auf c_u = 50 kN/m² zu begrenzen. Der Ton hat dann mit seiner weichen Konsistenz eine gute Verformbarkeit, ist aber noch einbaufähig. Die untere Grenze für die Festigkeit ergibt sich durch die Einbaubarkeit des Tons, es ist jedoch aus Gründen der Standsicherheit auf Böschungen und zur Aufnahme von Belastungen aus Unterhaltungsarbeiten (z. B. Stempeldruck von Pontons) auf c_u > 15 kN/m² zu beschränken.

Häufig wird für mineralische Dichtungen ein Mindestverdichtungsgrad D_{pr} bezogen auf die Proctordichte ρ_{pr} gefordert, u. a. für Trockeneinbau in der ZTV-W LB 210 [8] mit D_{pr} ≥ 0,97 auf der nassen Seite der Proctorkurve. Da sowohl die undrainierte Scherfestigkeit als auch der erreichbare Verdichtungsgrad vom Wassergehalt des Bodens abhängen, besteht ein gewisser Zusammenhang zwischen beiden Größen. Diese ist jedoch für jeden Boden unterschiedlich und hängt von dessen Korn- und Mineralzusammensetzung ab. Für vier verschiedene Tone, die die Kriterien der ZTV-W LB 210 erfüllen und im Kanalbau eingesetzt wurden, ist der Zusammenhang zwischen dem Verdichtungsgrad und der Festigkeit in Bild 2 dargestellt. Die angegebenen Verdichtungsgrade beziehen sich auf die nasse Seite der Proctorkurve.

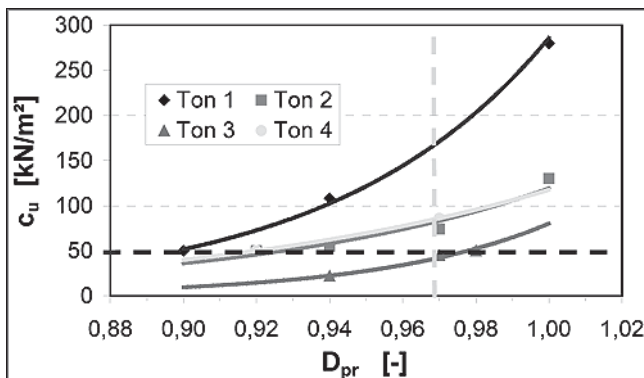


Bild 2: Zusammenhang Verdichtungsgrad D_{pr} und c_u-Festigkeit

Es ist erkennbar, dass die Grenzfestigkeit c_u = 50 kN/m² bei Verdichtungsgraden zwischen D_{pr} = 0,90 – 0,98 erreicht wird. Bei dem kleinsten derzeit nach ZTV-W geforderten Verdichtungsgrad D_{pr} = ,97 liegen die Festigkeiten zwischen c_u = 45 – 170 kN/m², zulässig ist aber auch D_{pr} > 0,97 und somit auch erheblich größere Festigkeiten. Der aus Gründen der Flexibilität gefor-

derte obere Grenzwert c_u = 50 kN/m² wird nur von Ton 3 eingehalten. Somit ist festzustellen, dass die sich Forderungen c_u ≤ 50 kN/m² und D_{pr} ≥ 0,97 i. d. R. widersprechen. Aus Gründen der dauerhaften Dichtigkeit sollte, wie in [1] bereits empfohlen, das Grenzkriterium c_u ≤ 50 kN/m² insbesondere beim Anschluss an Bauwerke maßgebend sein.

3 Verhalten unter Wasser

Nicht nur beim Einbau sondern auch nach dem Einbau unter Wasser muss der Ton aus Standsicherheitsgründen eine ausreichende Festigkeit aufweisen. Selbst bei einem bereits weitestgehend wassergesättigten Ton ist allerdings bekannt, dass er nach dem Unterwassereinbau in Abhängigkeit von seiner Mineralzusammensetzung, insbesondere vom Anteil quellfähiger Tonminerale, Wasser einlagert und somit aufweicht. Dieser Prozess darf nicht dazu führen, dass seine Festigkeit unter den Grenzwert c_u = 15 kPa abfällt.

An einem im Kanalbett eingebauten Ton musste bei Kontrollprüfungen festgestellt werden, dass der wenige Tage frei im Wasser liegende Ton z. T. erheblich bis auf Festigkeiten c_u = 8 kN/m² aufweichte. Zur Untersuchung dieses Phänomens wurde dieser Ton auf seinen Einbauwassergehalt aufbereitet, 4 – 5 cm hohe Proben hergestellt und diese bis zu 56 Tage unter Wasser gelagert. Auf Grund der Versuchsanordnung ist die tatsächlich im Kanal wirkende Durchströmung des Tons nicht berücksichtigt, wodurch die sich Effekte einer Wasserlagerung tendenziell geringer als im Kanalbett bei bis zu 5 m Wasserübrück einstellen. Die Ergebnisse der Versuche sind in Bild 3 dargestellt.

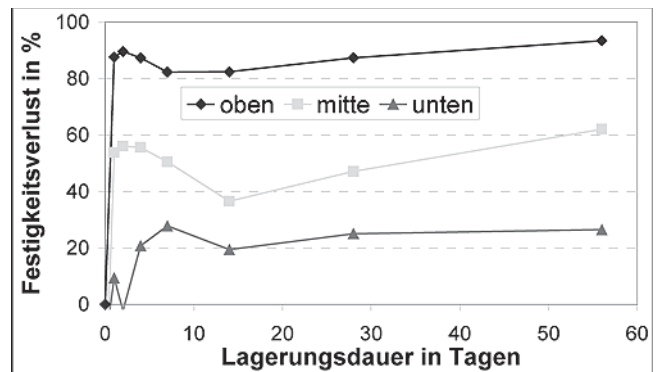


Bild 3: Versuchsergebnisse Probenlagerung unter Wasser

Es ist erkennbar, dass der Ton bereits nach einem Tag Lagerung unter Wasser oberflächennah auf den ersten 10 – 20 mm aufweicht und ca. 90 % seiner Festigkeit verliert. Auch bis an die Unterseite der ca. 4 cm hohen Probe sind Aufweichungen festzustellen, wenn auch deutlich geringer. Langfristig ist auch über die hier eingehaltene Lagerungsdauer von 56 Tagen ein Fortschreiten dieses Prozesses insbesondere zur Probenunterseite hin nicht ganz auszuschließen.

Zum Vergleich zur ungeschützten Wasserlagerung wurden gleichartige Referenzproben während der Lagerung unter Wasser mit einer Auflast belastet, die der Last aus einer 60 cm dicken Deckschicht aus Wasserbausteinen entspricht. Für den direkten Vergleich bei den Lagerungsbedingungen sind die Änderungen des Wassergehaltes in den Proben für die Lagerung mit und ohne Auflast in Bild 4 dargestellt.

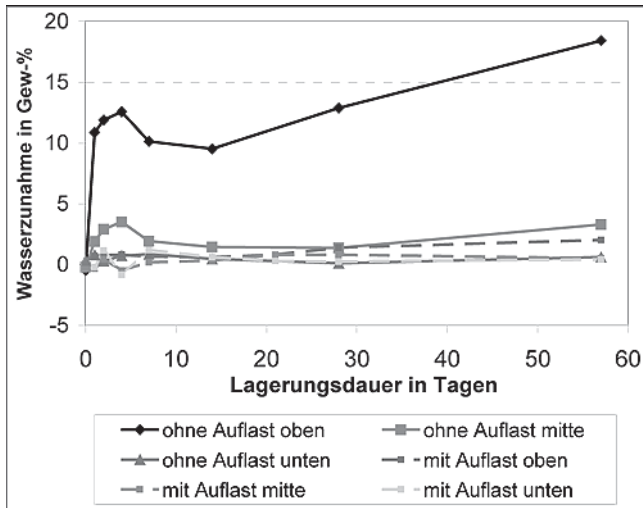


Bild 4: Änderung Wassergehalt bei Probenlagerung unter Wasser mit und ohne Auflast

Die Versuchsergebnisse zeigen zum einen, dass der hohe Festigkeitsverlust im oberen und mittleren Teil der ohne Auflast gelagerten Proben auf einen deutlichen Anstieg des Wassergehaltes zurückzuführen ist. Auch nach 56 Tagen ist die Wasseraufnahme noch nicht beendet. Hingegen bleibt der Wassergehalt bei Lagerung unter Auflast nahezu konstant, lediglich im oberen Teil der unter Auflast gelagerten Probe ist ein geringer Anstieg des Wassergehaltes zu verzeichnen. Offensichtlich reicht die dem Deckwerksgewicht entsprechende relativ geringe Auflast auf dem Ton aus, um eine weitere Wasseraufnahme und damit ein Quellen des bereits wassergesättigten Tons zu verhindern.

4 Schlussfolgerungen

Für den Einbau von Ton im Wasserbau sind aus den Untersuchungen für künftige Bauvorhaben der WSV folgende Schlüsse zu ziehen:

Einbau im Trockenem

- Die Einbaukriterien $c_u \leq 50 \text{ kN/m}^2$ und $D_{pr} \geq 0,97$ widersprechen sich.
- Die Konsistenz ist so weich einzustellen, dass das Festigkeitskriterium $c_u \leq 50 \text{ kN/m}^2$ erreicht wird.
- Tonböden mit $c_u \leq 50 \text{ kN/m}^2$ sind zu eine Tondichtung verarbeitbar, die c_u -Festigkeit ist nach unten hin durch den Einsatz der Erdbaugeräte limitiert.
- Die ZTV-W LB 210 sollte bezüglich des Einbaukriteriums im Trockenem angepasst werden.

Einbau im Nassen

- Nach dem Einbau unter Wasser kann der Ton ohne Abdeckung bis unter die erforderliche Mindestfestigkeit $c_u = 15 \text{ kN/m}^2$ aufweichen.
- Nach dem Einbau ist der Ton möglichst schnell mit den Deckwerksteinen abzudecken, um eine Aufweichung zu minimieren und damit ein Verlust der Standsicherheit der Böschung zu verhindern.

Literatur

- [1] Oberflächenabdichtung an Sohle und Böschung von Wasserstraßen. Mitteilungsblatt Nr. 85 der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe 2002
- [2] Kiebusch: Beziehung zwischen Konsistenzzahl und undrainierter Scherfestigkeit, Bautechnik, Heft 9, 1999
- [3] Knaupe, W.: Erbau, 2, Auflage, Bertelsmann Fachverlag Düsseldorf, 1975
- [4] Leussink, H.: Versuche mit geländegängigen Erdbaugeräten unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses der Bodenart, Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen, Band 30, Verlag Volk und reich Berlin, 1941
- [5] Striegler, W., Quellmalz, B.: Befahrbarkeitskriterien für Erdstraßen aus bindigen Erdstoffen, Zeitschrift „Die Straße“ S. 239 ff, 1983
- [6] Bartels-Langweige, J.: Zur Befahrbarkeit bindiger Böden mit Raupenfahrzeug, Dissertation an der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, TU Braunschweig 1987
- [7] DIN 1055-2, (Norm-Entwurf) Ausgabe:2003-02, Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 2: Bodenkenngrößen
- [8] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau (ZTV-W) für Böschungs- und Sohlensicherungen (Leistungsbereich 210) Ausgabe 2000

BDir Dr.-Ing. Jan Kayser
Abteilung Geotechnik
Referatsleiter Erdbau und Uferschutz
Tel. 0721/9726-3100
e-mail: jan.kayser@baw.de

Dipl.-Ing. (FH) Achim Schneider
Abteilung Geotechnik
Referat Erdbau und Uferschutz
Tel. 0721/9726-3910
e-mail: achim.schneider@baw.de