

Bewehrungselemente aus Kunststoffen für Oberflächenabdichtungen auf setzungsempfindlichen Deponien und Reststoffablagerungen

Hartmut Hangen, Dipl.-Ing., HUESKER Synthetic GmbH
Dimitar Alexiew, Dr.-Ing., HUESKER Synthetic GmbH

ZUSAMMENFASSUNG: Mehrlagige Abdichtungssysteme aus verschiedenen mineralischen und geosynthetischen Komponenten haben sich bei der Versiegelung von industriellen Schlammablagerungen bereits mehrfach bewährt. Wegen der Komplexität der Einflussparameter sind Planung und Bemessung solcher Systeme durchweg individuell und projektspezifisch durchzuführen. Standardisierte (analytische) Berechnungsverfahren sind dabei häufig nur bedingt aussagekräftig, andere Methoden, wie z. B. FEM unter Umständen sehr aufwändig (hoher Rechenaufwand, fehlende Kennwerte). Erkenntnisse aus vorangegangenen Felderprobungen und bereits ausgeführten Projekten sind deshalb für die Planung eines erfolgreichen Überbauungskonzeptes von großer Bedeutung. Die vorliegende Ausarbeitung soll hierzu einen Beitrag leisten.

1. Einleitung und Überblick

Bei der Überbauung und Versiegelung von Schlammablagerungen haben sich Systeme aus verschiedenen mineralischen und geosynthetischen Komponenten bereits mehrfach bewährt. Die erfolgreiche Umsetzung solcher Projekte in Großbritannien und Frankreich ist z. B. in [1] beschrieben: Die Schlammfläche wird mit einem hochzugfesten vollflächigen Geogewebe komplett überdeckt und an den Rändern verankert. Hierzu werden die sogenannten „sludge locks“ (Schlamm Sperren) hergestellt. Zusammen mit den Beckenbegrenzungen (Boden und Randdämme) kann der Schlamm so vollständig eingekapselt werden. Das hochzugfeste Geogewebe (oder Geoverbundstoff) arbeitet dabei direkt unter dem belasteten Bereich als eine Hängemembran, im noch unbelasteten Bereich hingegen als eine hochfeste Blase, die ein Ausquetschen des Schlammes nach oben und zu den Seiten verhindert.

Bei entsprechender Dimensionierung konnten mit einem derartigen Verfahren Schlammbereiche mit Scherfestigkeiten gegen Null problemlos abgedeckt werden. Personal und Gerät können auch in Notfällen nicht versinken; viele der z. B. in [2] aufgeworfenen Fragen und Problemstellungen tauchen bei diesem Konzept überhaupt nicht auf. Die Bilder 1 bis 4 zeigen einige typische Situationen aus den oben erwähnten Projekten, weitere Details finden sich in [1].



Bild 1: Installation von vorgefertigten Stabilenka® Großpanels mit Seilen



Bild 2: Einrichten des „sludge locks“ am Teichrand



Bild 3: Zungenweise Einbringung der ersten Bodenlagen



Bild 4: Aufwölben des Stabilenka® bei teilweiser Zuschüttung im Randbereich

2. Einiges zu Erkundung, Bemessung und Entwurf

Entwurf und Bemessung von Schlammteichabdeckungen erfordern aufgrund der Komplexität der Einflussparameter ein hohes Maß an Sachkenntnis und Erfahrung. Umfang und Art der Baugrunderkundung können über das übliche Maß weit hinaus gehen. Zudem sind die Oberflächen der Ablagerungen in der Regel nicht oder nur bei besonderen Verhältnissen (Frost, lang anhaltende Trockenheit) und sonst nur mit geeigneten Hilfsmitteln wie z. B. Pontons, Booten oder Hooverkraft zugänglich. Problematisch ist außerdem, dass die mechanischen und hydraulischen Kennwerte aufgrund unterschiedlicher äußerer Randbedingungen wie z. B. Tiefenverhältnisse, Entwässerungsbedingungen, geänderte Schlammkonsistenz und –zusammensetzung sowie Witterungsbedingungen, starken Schwankungen unterliegen.

Für eine grobe Beurteilung der Baugrundverhältnisse sollten aber mindestens Angaben zu Scherfestigkeit (am besten Flügelsondierungen), Wassergehalt und Kornzusammensetzung vorhanden sein. Für langfristige Maßnahmen sind weiterhin Angaben zur chemischen Zusammensetzung erforderlich, wenigstens zum pH-Wert (z. B. kein Polyester bei $\text{pH} > 9!$).

Bei rechnerischen Nachweisen ergibt sich unter Umständen das Problem, dass sich das Systemverhalten mit gängigen Bruchmechanismen nicht ausreichend genau darstellen lässt. Weiterhin

sind auch große Einflüsse durch dynamische Lasten (Kornumlagerung, Verflüssigung) und große Sensibilität gegenüber äußeren Einwirkungen wie Trockenheit, Frost und Niederschlag zu erwarten und werden bei den gängigen Stoffgesetzen nur bedingt berücksichtigt. Schwierig gestaltet sich auch die Beschreibung der nach Belastung des Schlammes eintretenden Konsolidationsvorgänge, weil z. B. die Entwässerungsbedingungen nicht oder nur unzureichend bekannt sind. Generelle Überlegungen zu räumlichen Bruchfiguren und extremen Verformungszuständen, wie sie z. B. an den jeweiligen „Schüttfronten“ auftreten - Theorie höherer Ordnung - gewinnen bei diesen Systemen besondere Bedeutung.

Als grobe Beurteilung für die erforderlichen Festigkeiten können dennoch analytische Berechnungsverfahren z. B. mit kreisförmigen und/oder polygonalen Gleitkörpern benutzt werden .

Neben den reinen Berechnungen bedeutet die Festlegung des Einbauverfahrens und der Bauabfolge einen erheblichen Teil des Planungsaufwands. Für die Ermittlung der relevanten Belastungszustände ist dies unter Umständen der erste und wichtigste Schritt.

Wichtig sind z. B. das Rollengewicht der Geokunststoffe, Verarbeitbarkeit oder Möglichkeiten einer Vorkonfektionierung. Kriterien wie Herstellungsverfahren (Weben, Rascheln, Extrudieren, Legen, etc.) oder Querschnittswerte wie Torsions- und Biegesteifigkeit in den für Geokunststoffe üblichen Größenordnungen (alle Geokunststoffe werden als Rollenware geliefert!) sind nach Ansicht der Autoren hingegen von eher untergeordneter Bedeutung, sowohl für die für die Baubarkeit als auch für das spätere Systemverhalten einer Schlammteichabdeckung, siehe auch [3].

Baupraktische Erfahrungen sind aus oben genannten Gründen von größter Bedeutung.

Anhand der Dokumentation von zwei erfolgreich ausgeführten Projekten soll im Folgenden ein Beitrag geleistet werden, um die Kenntnisse in dieser Hinsicht zu erweitern.

3. Dokumentation der Projekte

Nachfolgend werden zwei ausgeführte Schlammteichabdeckungen näher beschrieben. Beide Projekte wurden mit einfach verlegten biaxialen flexiblen hochzugfesten Geokunststoffen ausgeführt: ein Geoverbundstoff und ein Geogewebe.

3.1 Projekt Galing I, Nordenham (Norddeutschland)

Vorgeschichte und spezifische Probleme

Um beim Herstellungsprozess anfallende Reststoffe, sog. Jarositschlamme, lagern zu können, wurde zu Beginn der 70er Jahre in Nordenham die Industriedeponie Galing errichtet. Die Deponie besteht aus zwei voneinander getrennten Becken, Galing I und Galing II.

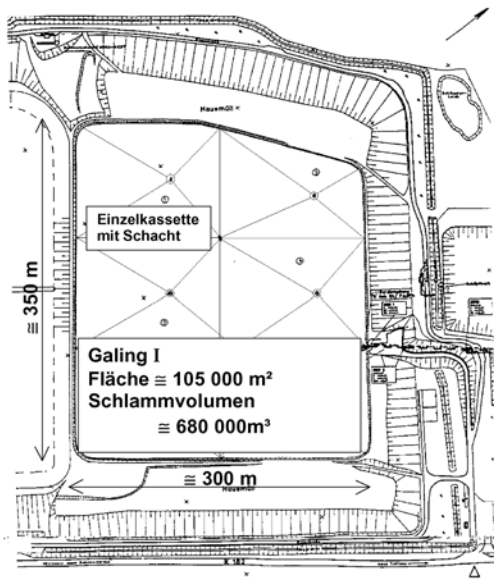


Bild 5: Die Jarosit-Schlammdeponie Galing I - Übersicht (Grafik HUESKER)

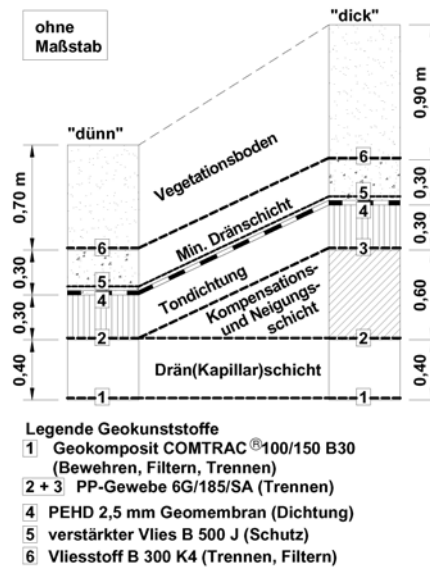


Bild 6: Die Jarosit-Schlammdeponie Galing I - Schnitt des mehrschichtigen Oberflächenabdichtungssystems aus fünf Böden und sieben Geokunststoffen (Grafik HUESKER)

Die Basisabdichtung erfolgte gemäß damaliger deutscher Richtlinie mit einer 2,5 mm dicken Geomembran aus HDPE, gekoppelt mit einem Drainage- und Kontrollsystem.

Galing I umfasst einen Bereich von 105.000 m² (≅ 300 m x 350 m) und besitzt ein Volumen von ungefähr 680.000 m³ mit einer Tiefe von 6,0 m bis 6,5 m. Mit der Befüllung wurde 1974 begonnen. Der Schlamm wurde durch Pumpen eingefüllt. Zu keinem Zeitpunkt wurde eine Überschüttung bzw. Auflast zwecks Konsolidierung aufgebracht. Überschüssiges, kontaminiertes Wasser, das nach Sedimentierung auf der Oberfläche verblieb, wurde zum Werk zurückgepumpt und wiederverwendet.

1987 war das Becken Galing I vollständig gefüllt und musste nun mit einer Oberflächenabdichtung versehen werden.

Problematisch war hierbei das bodenmechanische Verhalten des Schlammes. Aufgrund des spezifischen Einfüllprozesses, der Körnung, Plastizität, etc. und aufgrund des Zeitraums von ungefähr vier Jahren, der zwischen dem Ende der Befüllung und dem Beginn der Abdeckung lag, hatte der Schlamm kein freies Wasser mehr auf der Oberfläche und eine Kruste von ca. 0,2 m bis 0,4 m Dicke; der ca. 6 m mächtige Rest darunter war überhaupt nicht konsolidiert und besaß weiterhin einen hohen Wassergehalt, eine weiche Konsistenz und c_u -Werte < 15 kN/m². Darüber hinaus war der Schlamm (sogar die Kruste) thixotrop: die Kruste war begehbar, aber bereits das Stampfen einer einzigen Person bewirkte eine Aufweichung und damit die Gefahr einzusinken.

Mit der Ausführung dieser Oberflächenabdichtung musste also nicht nur eine klassische Wasserbarriere geschaffen werden, vielmehr musste die Lokal- und Gesamtstabilität auf einem äußerst schwierigen „Baugrund“ sichergestellt werden

Mehrlagiges Oberflächenabdichtungssystem

Hinsichtlich der Deponietechnik entsprach das entwickelte Abdichtungssystem (Dichten und Dränen) den neuen deutschen Richtlinien zu Beginn der 90er Jahre (Bild 6). Durch das zusätzliche Gewicht des Abdichtungssystems erwartete man Konsolidierungssetzungen des 6 m dicken Schlammes von bis zu 0,40 m, in Bereichen geringerer Schlammmächtigkeit, wie z. B. am Beckenrand, sollte diese erwartungsgemäß abnehmen.

Um ein ausreichendes Gefälle der Barriere- und Dränlagen von $\geq 0,5\%$ auch bei inhomogenen Setzungen zu gewährleisten, wurde eine den erwarteten Setzungen entsprechend unterschiedlich dicke Setzungsausgleichsschicht vorgesehen (Bild 6). Überschüssiges kontaminiertes Wasser sollte in der sogenannten (nicht-kohäsiven, körnigen) „Kapillarschicht“ (Bild 6) gesammelt werden. Während der Konsolidierung sollte diese als eine Art „Opfer- und Akkumulierungsschicht“ vollständig in den Schlamm versinken, die damalige Bezeichnung „Kapillarschicht“ ist deshalb nicht ganz glücklich gewählt. Weil der Schlamm biologisch passiv war, war eine qualifizierte Gasdränschicht nicht notwendig (vgl. aber Projekt „Viscofan“, Abschnitt 3.2).

Ein direkt auf dem Schlamm verlegter Geokunststoff musste gleichzeitig drei Funktionen erfüllen: Bewehrung, um die Lokal- und Gesamtstabilität während des Einbaus des Abdichtungssystems auf dem empfindlichen thixotropen Schlamm zu gewährleisten, Trennung und Filterung (überschüssiges Wasser vom Schlamm musste druckfrei und filterstabil in die oben genannte „Kapillarschicht“ bzw. „Opferschicht“ während der Konsolidierungssetzung einfließen können).

Die Berechnungen und das Zurückgreifen auf Erfahrungswerte ergaben die Notwendigkeit von ≥ 20 kN/m mobilisierbarer Zugkraft bei Dehnungen $\leq 3\%$, und dies in beiden Richtungen und mindestens für ein Jahr Belastungsdauer. Diese Anforderung musste auch für Nähte und Überlappungen gesichert sein. Die filtertechnische Bemessung ergab die Notwendigkeit einer wirksamen Öffnungsweite des Geokunststoffs $O_{w, 90} \geq 0,1$ mm.

Um alle mechanischen und hydraulischen Anforderungen zu erfüllen, wurde projektbezogen ein Geoverbundstoff, Comtrac® 100/150 B 30, hergestellt. Dieser besteht aus einer hochzugfesten, kriecharmen, netzähnlichen tragenden Komponente und Vliesstoff mit einer Flächenmasse von 300 g/m². Die Kurzzeitfestigkeit beträgt längs 100 kN/m und quer 150 kN/m, die Grenzdehnung liegt bei $< 10\%$. Benachbarte Nebenbahnen wurden an ihren Längsrändern vor Ort miteinander mit einem Spezialfaden vernäht. Die höhere Zugfestigkeit von 150 kN/m in Querrichtung glich die geringere Festigkeit und höhere Dehnung in den Nahtstellen der parallelen Rollen aus; das Ergebnis war eine nahezu homogene biaxiale Bewehrung auf der gesamten Fläche. Die fünf Boden- und sechs Geosynthetik-Komponenten sind in Bild 6 mit ihren Hauptfunktionen dargestellt und erläutert; weitere Informationen über das Projekt liefert z. B. [4].

Der Aufbauvorgang wurde 1994 begonnen und von dem Bauunternehmen Matthäi, Westerstede, in 1995 abgeschlossen. Übergangsweise wurden Dämme über dem Schlamm angelegt - für Transport, Verteilung und Einbau von Böden und Geosynthetics sowie für Drainagepumpen und

Schächte (hier nicht weiter beschrieben). Der untere Teil dieser ca. 2 m hohen „Straßendämme“ schloss alle Komponenten des endgültigen, mehrschichtigen Systems ein, so dass diese später nicht mehr vollständig entfernt werden mussten. Die Dämme hatten hier die zusätzliche Funktion, den dynamischen Einfluss der schweren Lastwagen auf dem thixotropen Schlamm zu dämpfen, der infolge Erweichung versagen könnte. Nach Fertigstellung des Abdichtungssystems wurde der überschüssige Dammboden in dem oberen Teil entfernt bzw. durch Rekultivierungsboden ersetzt. Aufgrund der Thixotropie benutzte die Baufirma leichte Skipistenraupen. Obwohl die Stabilität der noch nicht abgedeckten Schlammmasse vor dem Frontbereich des Bodeneinbaus in einigen Fällen kritisch erschien, konnte die Konstruktion ohne unkontrollierte Verformungen, fach- und zeitgerecht fertiggestellt werden.

Die Bilder 7 bis 12 zeigen Momente des Bauvorgangs und das fertige Bauwerk.



Bild 7: Galing I: Vernähen der Comtrac®-Bahnen (Foto HUESKER)



Bild 8: Galing I: Verteilung der ersten Bodenlage auf dem Comtrac®; die Trockenkruste mit Rissen täuscht Stabilität nur vor (Foto HUESKER)



Bild 9: Galing I: Einbau der ersten Bodenlage auf dem Comtrac® (Foto Matthäi, Westerstede)



Bild 10: Galing I: Sensible Momente des Bauvorgangs, System jedoch hoch belastbar (Foto Matthäi, Westerstede)



Bild 11: Galing I: Blick auf den Frontbereich des mehrschichtigen Oberflächenabdichtungssystems (Foto HUESKER)



Bild 12: Die Jarosit-Schlammdeponie Galing I nach der Abdeckung

3.2 Projekt Viscofan, Cáseda (Nordspanien)

Gegebenheiten

Bei der in Nordspanien gelegenen Schlammdeponie „Viscofan“ wurden seit Anfang der 80er kontinuierlich feinkörnige zellulosehaltige Schlämme aus der Herstellung von Lebensmittelverpackungen deponiert. Mit dem Ende der Produktion und dem damit verbundenen Ende der Deponierung, Anfang 2002, musste das ca. 4000 m² große Becken gemäß EU-Richtlinie 1999/31 überdeckt und abgedichtet werden. Die Oberfläche der Deponie sollte nach Abschluss der Bauarbeiten ohne weitere Konsolidierungsphase als renaturierte Grünfläche übergeben werden.

Eigenschaften des Schlammes

Für Standsicherheitsberechnungen des Anfangszustandes (Bauzustand) wurde die undrainierte Scherfestigkeit für die oberen 3,0 m des Beckens mit $c_u = 10 \text{ kN/m}^2$ angegeben. Für den verbleibenden leicht vorkonsolidierten und ca. 1,0 m mächtigen Bereich wurden die Berechnungen mit $c_u = 15 \text{ kN/m}^2$ durchgeführt. Für den Endzustand wurden Scherparameter $\varphi' = 6^\circ$ und $c' = 20 \text{ kN/m}^2$ angegeben. Die Wichte des Schlammes betrug ca. 14 kN/m^3 , der pH-Wert $\text{pH} = 6,5$. Somit ($\text{pH} < 9$) war hochfeste Polyesterbewehrung zulässig; sonst hätte man das hoch alkalibeständige PVA (Polyvinylalkohol) verwendet.

Zum Zeitpunkt des Baubeginns, August 2002, war die Oberfläche des Schlammteiches größtenteils abgetrocknet und begehbar, die genaue Dicke der Kruste war jedoch unbekannt (Bild 13).

Aufbau des Abdeckungssystems

Es wurde folgender Aufbau gewählt (von unten nach oben):

- Geokunststoffbewehrung aus Polyester-Geogewebe Stablenka® 200/350:
Unter Berücksichtigung verschiedener Lastkombinationen, einschließlich eines 18 t Baugerätes, wurde eine erforderliche Kurzzeitfestigkeit der Bewehrungslage von 200 kN/m in

Längsrichtung und 350 kN/m in Querrichtung ermittelt. Die erhöhte Festigkeit in Querrichtung kompensiert Festigkeitsverluste der Bewehrung durch die werkseitige Vernähung einzelner Bahnen zu Verlegepanels (vgl. Projekt Galing I, Abschnitt 3.1).

- 500 mm Trag-, Setzungsausgleichs-, Kapillar- und Gasdränschicht aus Brechkorn (6/12 mm):
Art und Dicker dieser Schicht ergaben sich sowohl aus Tragfähigkeitsanforderungen (18 t Raupe) als auch aus der Dränkapazität. Weiterhin dient diese Schicht als Ausgleichsschicht für die auf möglichst ebenem Planum zu verlegende Kunststoffdichtungsbahn.
- Schutzvliesstoff:
Als Schutz gegen mechanische Beschädigung wurde unter der Kunststoffdichtungsbahn ein im (deutschen) Deponiebau bekannter Schutzvliesstoff aus Polypropylen vom Typ HaTe® B 1200 mit einem Flächengewicht von 1200 g/m² eingebaut.
- Kunststoffdichtungsbahn PEHD 2,0 mm:
- Schutzvliesstoff:
Analog zur Unterseite wurde auch auf der Kunststoffdichtungsbahn ein Schutzvliesstoff HaTe® B 1200 eingebaut.
- 400 mm Brechkorn (6/12 mm):
Als Dränschicht für Oberflächenwasser wurde oberhalb der Kunststoffdichtungsbahn eine 400 mm dicke Schicht aus Brechkorn (6/12 mm) aufgebracht. Bei der Bestimmung der Schichtdicke wurde berücksichtigt, dass lokale Senkungen den effektiven Querschnitt der Dränschicht reduzieren und langfristig zum Versagen der Drainage führen können. Bei einer prognostizierten maximalen Setzungsdifferenz Δs von 80 mm – 100 mm konnte hierdurch die anfangs angedachte Installation einer aufwändigen Zwangsentwässerung (Pumpensystem) vermieden werden. Der Einsatz einer geosynthetischen Dränlage (Dränmatte) als alleinige Entwässerungsschicht erscheint bei derartigen Anwendungen nicht sinnvoll.
- Trenn- und Filtervliesstoff:
Trennt und sichert die Filterstabilität Rekultivierungsboden /Dränschicht.
- 500 mm Rekultivierungsboden:
Um nach Abschluss der Bauarbeiten eine Renaturierung durchführen zu können, wurde der gesamte Bereich mit einem kulturfähigen Lokalboden abgedeckt.

Bauausführung

Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten entschied sich der spanische Ausführungsplaner, Navarra de Medio Ambiente, S. L. nach Diskussionen mit den Verfassern, für den im Folgenden dargestellten Bauablauf. Einschließlich der Begrünung konnte der Einbau aller Schichten innerhalb von nur drei Monaten abgeschlossen werden.

- Phase 1: Verlegung der werkseitig konfektionierten Verlegepanels

Die werkseitig konfektionierten Stablenka®-Verlegepanels von 15 m Breite und 80 m Länge oder 35 m Breite und durchschnittlich 30 m Länge wurden an der in einem Verlegeplan exakt vorgegebenen Position verlegt (Bild 13 und 14).



Bild 13: Oberfläche des Schlammteiches Viscofan, Spätsommer 2002 (Foto HUESKER)

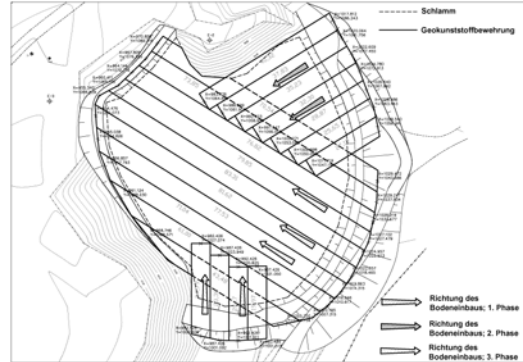


Bild 14: Projekt „Viscofan“ - Verlegeplan für die Geokunststoffbewehrung (Grafik HUESKER)

Bei einer Schlammabdeckung ist eine Verlegung mit großformatigen Panels vorteilhaft: aus Sicht der Qualitätssicherung, wegen des einfacheren Bauvorgangs und auch wegen der Sicherung von Personal und Technik. Sofern die Querrichtung der Bewehrung zur Lastabtragung herangezogen wird, ist zu berücksichtigen, dass Verbindungen jeglicher Art eine Schwächung bedeuten; sie sind durch höhere Festigkeiten in Rollenquerrichtung der Bewehrung zu kompensieren. Werden die Verbindungen der Bewehrungsbahnen nicht im Werk (wie hier bei Viscofan), sondern wie im Projekt Galing I (vgl. Abschnitt 3.1) auf der Baustelle hergestellt, so ist das Personal im Umgang mit einer Nähmaschine zu schulen und eine Qualitätssicherung vor Ort einzuführen.

Ob und wann eine Konfektionierung zu Panels sinnvoll ist oder eine einlagige Verlegung mit einfacher Überlappung machbar ist, hängt in hohem Maße von den geometrischen Randbedingungen und vom Schlammverhalten ab. Ein Durchquetschen vom Schlamm durch eine einfache Überlappung ist immer wahrscheinlich und kritisch.

- Phase 2: Verankerung der Bewehrungslage im existierenden Randbereich

Bei der geometrischen Gestaltung der Verankerungsstelle wurde zusätzlich zu den rein statischen Überlegungen berücksichtigt, dass sich das beim Einspülen des Schlammes kontinuierlich aufgebaute Gefälle in Richtung des geringfügig tiefer liegenden Randdeiches durch das Aufbringen der neuen Schichten umlagern könnte. Um ein Überlaufen der Schlammmassen zu verhindern, wurde die Überschüttungshöhe der Verankerung einschließlich eines Freibordes mit 1,5 m festgelegt. Weiterhin musste der existierende Fahrweg in die Geometrie des umgestalteten Randdeiches integriert werden (Bild 15).

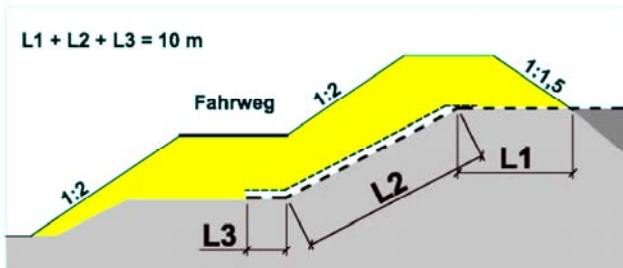


Bild 15: Projekt „Viscofan“ - Verankerung der Bewehrungslage im existierenden Randdeich (Foto HUESKER)

- Phase 3: Aufbringen der ersten Bodenschicht

Der Aufbau der 500 mm dicken Trag- und Dränschicht aus Brechkorn (6/12 mm) erfolgte nach einem genau vorgegebenen Schema in ansteigender Richtung der Beckenoberfläche. Im Gegensatz zum Projekt Galing I stand zum Bodeneinbau kein Spezialgerät (Pistenbulli, Moorraupe) zur Verfügung. Demzufolge ist die erforderliche Festigkeit der Bewehrung vergleichsweise höher als bei Galing I (vgl. Abschnitt 3.1). Die Arbeiten mussten mit einer gewöhnlichen schweren Planier-
raupe (18 t) ausgeführt werden. Generell empfiehlt es sich, beim Bodeneinbau auf sehr weichem Untergrund entsprechend Bild 16 zu verfahren. Diese „Bodenzungentechnik“ hat sich mehrfach weltweit bewährt.

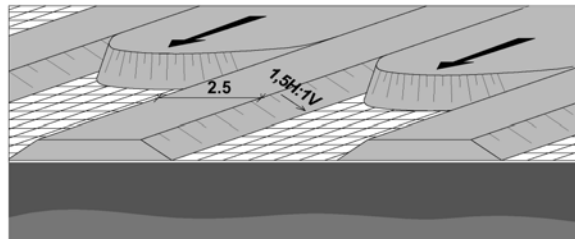
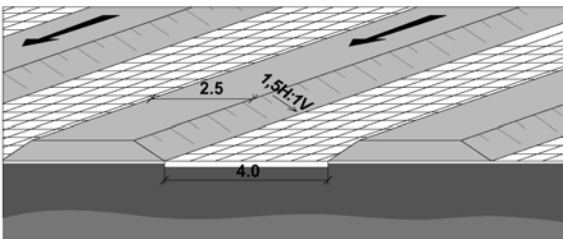


Bild 16: Vorgehensweise beim Bodeneinbau mit „Bodenzungentechnik“ (Grafik HUESKER)



Bild 17: Projekt „Viscofan“ - Aufbringen der ersten Bodenschicht (Foto HUESKER)

- Phase 4: Teilweiser Abtrag der Überschüttung auf Niveau des Randdeiches

Ein teilweiser Abtrag der Überschüttung am Randdeich war notwendig, um die Herausführung der oberhalb der Trag- und Dränschicht zu installierenden Abdichtung und Entwässerung zu ermöglichen (vgl. Bild 15 und 18).

- Phase 5: Verlegen übriger geosynthetischer und mineralischer Abdeckschichten; Begrünung der Rekultivierungsschicht

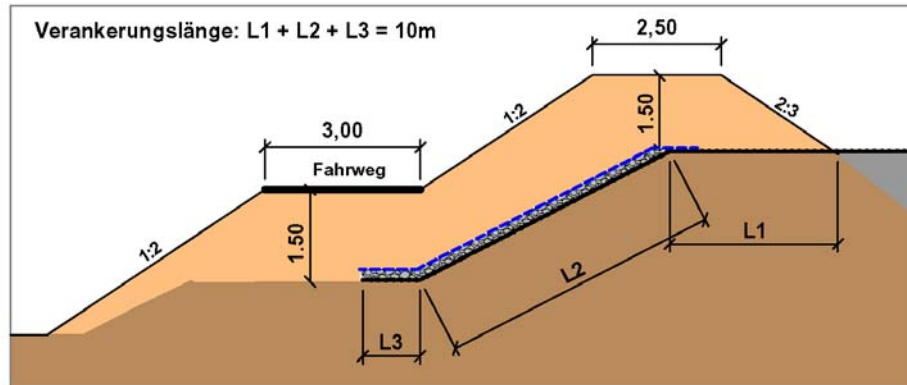


Bild 18: Endgültige Geometrie der Verankerung und Verlegung der übrigen geosynthetischen und mineralischen Abdeckschichten (Foto HUESKER)

Literatur:

- [1] Raymond, G.P., Giroud, J.P. (Hrsg.): Geosynthetic Case Histories. ISSMFE Committee TC9, März 1993. S. 52-53.
- [2] Reuter, E., et al.: Geotechnische Entwurfsbearbeitung zur Überbauung von Schlammteichen und Tailings. Bauingenieur (77) 2002, S. 413-420.
- [3] Fakher, A., Jones, C.J.F.P.: When the Bending Stiffness of Geosynthetic Reinforcement is Important. In: Geosynthetics International. Volume 8 (5) 2001. S. 445-460.
- [4] Nüske, Cl.: Oberflächendichtung einer Jarositdeponie. In: Tagungsband „Die sichere Deponie“, 16 - 17 Februar 1995, Würzburg: SKZ.