



**melchior + wittpohl**  
Ingenieurgesellschaft

# **Qualitätsmanagement-Handbuch Oberflächendichtungen aus METHA-Material für Deponien**

**Version 1.4**

Auftraggeber:

**HPA- Hamburg Port Authority**

Neuer Wandrahm 4

20457 Hamburg

Hamburg, den 13.12.2007

*Dieses Handbuch umfasst Deckblatt, Inhaltsverzeichnis und 16 Seiten Text.*

*Es darf nur ungekürzt an Dritte weitergegeben werden.*

Geschäftsführende Gesellschafter  
Dr. habil. Stefan Melchior  
Dipl.-Ing. Wolfgang Wittpohl  
Beratende Ingenieure VBI

Bankverbindung  
Hamburger Sparkasse  
BLZ: 200 505 50  
Konto: 1238 116 964

Hamburg  
Karolinenstraße 6  
20357 Hamburg  
info@mplusw.de

Wörrstadt  
Hermannstraße 65  
55286 Wörrstadt  
woerrstadt@mplusw.de



<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
1	Veranlassung und Gültigkeitsbereich..... 1
2	Unterlagen..... 1
3	Herkunft, technische Aufbereitung, Zwischenlagerung und Transport des METHA-Schlicks .....2
4	Einbauanforderungen an Dichtungen aus METHA-Schlick .....5
4.1	Allgemeines.....5
4.2	Einbaukriterien .....5
4.2.1	Materialeigenschaften bei Anlieferung auf die Baustelle.....5
4.2.2	Einbauanforderungen und Einbaugenauigkeit .....5
4.2.3	Witterungseinfluss .....7
5	Maßnahmen zur Qualitätsüberwachung und -prüfung.....8
5.1	Organisation und Zuständigkeit für Qualitätsüberwachung und -prüfung .....8
5.2	Qualitätsmanagement des Aufbereitungsprozesses in der METHA .....9
5.3	Qualitätsmanagement des Dichtungseinbaus.....10
5.3.1	Eingangskontrolle .....10
5.3.2	Transport, Zwischenlagerung und Materialumschlag auf der Baustelle .....10
5.3.3	Probefeld .....11
5.3.4	Flächenhafter Dichtungseinbau.....11
5.3.5	Hinweise zu den Prüfmethode.....14
5.3.6	Dokumentation des Qualitätsmanagements.....15
6	Freigaben und Abnahme.....16



## 1 Veranlassung und Gültigkeitsbereich

Die Hamburg Port Authority hat am 23.01.2006 bei der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) die Prüfung und Bestätigung der grundsätzlichen Eignung von mechanisch aufbereitetem Baggergut aus der Elbe („METHA-Schlick“) für den Einsatz als mineralische Dichtung in Deponieoberflächenabdichtungen der Deponieklassen I und II nach DepV beantragt. Im Laufe der Beratungen über diesen Antrag wurde der Antrag durch eine Spezifikation des Systemaufbaus konkretisiert [U3]. Als zweite Ergänzung zu diesem Antrag wird hiermit ein Qualitätsmanagement-Handbuch vorgelegt, in dem die Qualitätsanforderungen und die Maßnahmen zur Sicherstellung der Einhaltung der Qualitätsanforderungen bei der Herstellung von Oberflächendichtungen aus METHA-Schlick festgelegt werden.

Das vorliegende „QM-Handbuch Oberflächendichtungen aus METHA-Schlick“ ist anzuwenden bei Maßnahmen, in denen Dichtungen aus METHA-Schlick auf der Grundlage der grundsätzlichen Eignungsprüfung der LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnische Vollzugsfragen“ in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien der Klasse I oder II hergestellt werden. Es gilt jeweils die aktuelle Fassung, die durch die LAGA oder eine ihr in gleicher Funktion nachfolgende Institution, bestätigt wurde.

## 2 Unterlagen

Die einschlägigen rechtlichen Vorschriften sowie die gültigen Normen sind zu beachten. Im vorliegenden QM-Handbuch wird zusätzlich auf folgende Dokumente zum Antragsgegenstand Bezug genommen:

[U1]	<b>Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (1997):</b> GDA-Empfehlung E 5-1: Grundsätze des Qualitätsmanagements. Verlag Ernst & Sohn, Berlin. 3. Aufl., S. 289-292.
[U2]	<b>Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (2004):</b> GDA-Empfehlung E 5-10: Aufgaben und Qualifikation einer fremdprüfenden Stelle für mineralische Komponenten in Abdichtungssystemen. In : Bautechnik, Heft 9. (pdf-Download unter <a href="http://www.gdaonline.de">www.gdaonline.de</a> )
[U3]	<b>Hamburg Port Authority (2007):</b> Prüfung der grundsätzlichen Eignung von Dichtungen aus METHA-Schlick als mineralische Dichtung in Oberflächenabdichtungen von Deponien der Klassen I und II DepV. Konkretisierung des Antrags vom 23.01.2006 an die Länderarbeitsgemeinschaft Abfall. Spezifizierung der Anforderungen an den Schichtaufbau von Oberflächenabdichtungssystemen mit Dichtungen aus METHA-Schlick. Fachdokument F_052_071002. Erstellt durch die melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft. Hamburg, 02.10.2007, 8 S. + 1 Anlage.



### 3 Herkunft, technische Aufbereitung, Zwischenlagerung und Transport des METHA-Schlicks

Im Hamburger Hafen müssen zur Aufrechterhaltung der für die Schifffahrt benötigten Wassertiefen regelmäßig Baggerungen durchgeführt werden, um die ständigen natürlichen Sedimentablagerungen der Elbe zu entfernen. Ein umfassendes Baggergutkonzept sieht die Trennung des im Baggergut enthaltenen Sandes von dem schadstoffbelasteten Schlick und dessen Entwässerung vor. Seit 1993 werden diese Verfahrensschritte in der dafür entwickelten METHA<sup>1</sup>realisiert.

In der METHA werden ausschließlich durch Baggerung im Hamburger Hafen gewonnene Elbsedimente im Mittel in rund 50 % Sand, 15 % Feinsand und 35 % Schlick getrennt. Eine Vermischung mit anderen Stoffen findet nicht statt. Der Sand wird für Bauzwecke verwendet, der Schlick nach Möglichkeit, z.B. als mineralische Dichtung, verwertet. Seit September 1997 liefert die METHA III „Mittelschlick“ und „Membrankammerfilterpressenschlick (MKFP)“. Der Kornaufbau dieser beiden Schlickvarianten ist identisch (Fraktion 0 bis 150 µm), weshalb sie nachfolgend gemeinsam als „METHA-Schlick“ bezeichnet werden. Aufgrund der eingesetzten Entwässerungstechnik weisen sie etwas unterschiedliche Wassergehalte, Dichten und Strukturen auf.

In der METHA III werden folgende Aufbereitungsverfahren eingesetzt:

#### ***Vorbehandlung***

Das Baggergut wird hydraulisch in ein 300.000 Kubikmeter fassendes Sammelbecken gepumpt. Ein Trommelsieb sortiert alle über einen Zentimeter großen Bestandteile wie Steine etc. aus. Im Vorratsbehälter erfolgt eine Materialvergleichmäßigung.

#### ***Klassierung, Sandabtrennung***

##### Hydroklassierung

In Hydrozyklonen wird der feinkörnige Schlick (Korngröße kleiner als 0,063 mm) durch hohe Zentrifugalkräfte nach oben, der grobkörnigere Sand nach unten verwirbelt.

In der METHA gibt es zwei Baugruppen mit jeweils acht Einzelzyklonen und einem Gemischverteiler.

##### Aufstromsortierung

Der Sand mit einem Schlick-Restanteil gelangt jetzt in den Aufstromsortierer, die zweite Trennstufe. Weil Schlick leichter ist als Sand und eine geringere Masse pro Oberfläche auf-

---

<sup>1</sup> METHA = „MEchanische Trennung und Entwässerung von HAfensedimenten“



weist, löst er sich in dem von unten nach oben fließenden Aufstromwasser. Gemeinsam mit dem Schlick aus den Hydrozyklonen wird er zur Eindickung weitergeleitet.

### Entwässerungssieb

Der Sand aus dem Aufstromsortierer wird durch ein Entwässerungssieb auf rund 85 Prozent Trockenanteil entwässert und über Förderbänder zur weiteren Verwendung als Baustoff abtransportiert.

### **„Feinsand“-Abtrennung**

Die Schlicksuspension enthält einen Restanteil von bis zu 50% Sand. Deshalb wurde eine zweite Klassierstufe zur Feinsandtrennung entwickelt.

Der Schlick wird dazu erneut in kleinere Hydrozyklone (insgesamt 64) gegeben, wo der Feinschlick (< 0,02 mm) und die Korngröße 0,02 bis 0,15 mm („Feinsand“<sup>2</sup>) durch Zentrifugalkraft voneinander getrennt werden.

In einem Wendelscheider werden die restlichen organischen Bestandteile wie Kohleteilchen und Pflanzenreste aussortiert und zur Eindickung weitergeleitet. Der gereinigte Feinsand wird entwässert und verwertet.

### **Entwässerung**

#### Eindickung

Für einen wirksamen Trennprozess war es notwendig, den Schlick zusätzlich mit Wasser zu versetzen. Für die Unterbringung bzw. Verwertung muss der Schlick wieder entwässert werden. Dazu dient zunächst die Behandlung im sogenannten Eindicker, in dem der schwerere Schlickschlamm nach unten sinkt und einen Trockenanteil von 25 % erreicht.

#### Filterpressen

Der eingedickte Schlickschlamm wird in sechs Entwässerungssträngen durch Siebbandpressen mit anschließenden Hochdruck-Filterpressen geführt. Dabei wird durch immer höheren Druck das Wasser herausgepresst, bis ein Trockenanteil von etwa 55 % erreicht ist. Der so gewonnene METHA-Mittelschlick wird schließlich über Förderbänder am Abwurfplatz aus der Anlage ausgeschleust. In einem anderen Verfahrensstrang erfolgt die abschließende Entwässerung über zwei Membrankammerfilterpressen (MKFP-Schlick).

---

<sup>2</sup> Die Fraktion 0,02 bis 0,15 mm wird bei der METHA vereinfachend als „Feinsand“ bezeichnet, obwohl sie die Grobschluff- und nur einen Teil der Feinsandfraktion enthält.



### ***Materialauswurf und Zwischenlagerung***

Die in der METHA produzierten Schlicke werden über gesonderte Förderbänder ausgeworfen und dabei in Abwurfkegeln aufgehaldet. Von dort werden sie geladen und zum Einbauort transportiert.

Aufgrund der Sortierung bei seiner Sedimentation in der Elbe, der Durchmischung im Sammelbecken sowie der mechanischen Behandlung und Durchmischung bei der technischen Aufbereitung hat der METHA-Schlick eine im Vergleich zu vielen anderen mineralischen Dichtungsmaterialien, z.B. glazifluvialer Herkunft, hohe Homogenität. Aufgrund des Feinkornanteils und des auch nach der Entwässerung in der Aufbereitungsanlage noch hohen Wassergehalts treten bei der Zwischenlagerung und beim Transport des Materials keine Entmischungsprozesse auf. Bei vielen mineralischen Dichtmaterialien spielt die genaue Wassergehaltseinstellung für die Einbaubarkeit des Materials eine entscheidende Rolle. Beim Schlick ist der Wassergehalt nach der Aufbereitung noch so hoch, dass eine Austrocknung bei Zwischenlagerung, Transport und Einbau erst nach längerer Zeit relevant wird. Bei längerer Lagerung oder größeren Transportentfernungen sollte die Oberfläche gegen Witterungseinflüsse geschützt werden. Eine Vernässung des Materials durch Niederschlag oder zufließendes Oberflächenwasser muss beim Transport und bei der Zwischenlagerung durch geeignete Maßnahmen (z.B. Abplanen von Schiffsladungen oder LKW sowie Profilierung des Zwischenlagers) verhindert werden. Zwischenlager und Materialumschlagstellen müssen so gestaltet und betrieben werden, dass eine Vermischung des METHA-Schlicks mit Fremdmaterialien zuverlässig ausgeschlossen wird.

Der Aufbereitungsprozess in der METHA unterliegt einer Qualitätsüberwachung. Die maßgeblichen Eigenschaften des produzierten METHA-Schlicks werden im Rahmen der Ausgangskontrolle arbeitstäglich bestimmt. Im Regelfall wird der produzierte METHA-Schlick nicht zwischengelagert, sondern von der Abwurfstelle zur Einbaustelle transportiert. Die Prüfungen im Rahmen der Ausgangskontrolle der METHA charakterisieren in diesem Fall das zur Einbaustelle transportierte Dichtungsmaterial. Bei längerer Lagerung in einem separaten Zwischenlager, sei es im Bereich der METHA oder auf oder in der Nähe der Baustelle, auf der der Schlick als Dichtmaterial eingebaut werden soll, kann vor Aufnahme des Materials aus dem Zwischenlager eine erneute Prüfung des Materials hinsichtlich Wassergehalt und anderen veränderlichen Größen erforderlich werden.



## **4 Einbauanforderungen an Dichtungen aus METHA-Schlick**

### **4.1 Allgemeines**

Oberflächendichtungen aus METHA-Schlick werden mindestens aus zwei Lagen mit einer Lagendicke von jeweils  $\geq 0,4$  m eingebaut. Um die Funktion der METHA-Schlickdichtung zu erfüllen, müssen

- die konstruktiven Vorgaben für die METHA-Schlickdichtung und die sie überdeckenden Schichten gemäß [U3] realisiert,
- die Funktionalität durch geeignete Bauverfahren gewährleistet,
- ein ungestörter und zielgerichteter Bauablauf gesichert sowie
- die festgelegten Kriterien zur Überprüfung der Einhaltung der o.g. Punkte eingehalten werden.

Nach Einbau und Freigabe ist die METHA-Schlickdichtung unverzüglich mit den Deckschichten zu überbauen, um Schäden durch Austrocknung oder Frost zu verhindern.

### **4.2 Einbaukriterien**

#### **4.2.1 Materialeigenschaften bei Anlieferung auf die Baustelle**

Der METHA-Schlick wird zusammen mit den zugehörigen Prüfprotokollen der Ausgangskontrolle der produktionsbegleitenden Qualitätsüberwachung ausgeliefert. Er unterliegt bei Übergabe vom Produzenten des Schlicks an den Bauherrn/ausführende Baufirma einer Eingangskontrolle.

Der zum Einbau in die Oberflächendichtung angelieferte METHA-Schlick muss folgende Eigenschaften haben:

- Das Dichtungsmaterial muss nach visuellem Eindruck hinsichtlich seiner Zusammensetzung und seines Wassergehalts homogen sein. Es darf sich beim Transport in seiner Konsistenz nicht verändert haben.
- Die Oberflächen der einzelnen Schlickklumpen dürfen nicht verhärtet sein, so dass auch stückiges Material durch die Einbaugeräte homogen zusammengedrückt wird.
- Die Abschnitt 5.3.1 enthaltenen Anforderungen müssen erfüllt sein.

#### **4.2.2 Einbauanforderungen und Einbaugenauigkeit**

Der Anteil an Feinbestandteilen und der hohe Wassergehalt bedingen ein besonderes bodenmechanisches Verhalten des METHA-Materials, das sich von dem üblicher mineralischer



Dichtungsbaustoffe unterscheidet. So zeigt das Material im Proctorversuch kein ausgeprägtes Maximum und wird daher auch nicht im Bereich des optimalen Wassergehalts mit knehenden Verdichtungsgeräten eingebaut. Aus den langjährigen Erfahrungen im Umgang mit diesem Material wurde vielmehr ein an die speziellen Materialeigenschaften angepasstes Einbauverfahren abgeleitet, das eine im Vergleich zu anderen mineralischen Dichtungen erhöhte Dicke der Dichtung vorsieht.

Der Einbau von METHA-Material in den Deponieabdichtungen erfolgt in 2 Lagen à  $\geq 0,4$  m. Das Material wird am Einbaufeld abgekippt, durch mittelschwere Raupen (Anpressdruck 22 kN/m<sup>2</sup> - 35 kN/m<sup>2</sup>) in der Fläche auf die Sollhöhe der Lage verteilt und durch mindestens 2 Überfahrten mit der Raupe verdichtet. Nach 2 Überfahrten ist der Schlick so verdichtet, dass er eine homogene Struktur aufweist, die frei von bevorzugt wasserleitenden Grobporen ist, und einen Sättigungsgrad von im Mittel 0,85 aufweist. Folgendes ist zu beachten:

- Verdichtung jeder einzelnen Lage durch zweimaliges vollflächiges Überfahren im langsamen Vorwärtsgang. Die Überfahrt im Rückwärtsgang führt zu oberflächennahen Auflockerungen. Eine geeignete Kontrolle dafür, dass die Planierraupe alle Flächen überfahren hat, stellt die Befahrung in und quer zur Gefällerrichtung dar.
- Die Herstellung des Deponieabdichtungssystems muss mit der im Probefeld festgelegten Gerätetechnik erfolgen.
- Einbau in 2 Lagen, Minstdicke der Einbaulagen 40 cm (nach Verdichtung, vor Überschüttung, zulässige Überschreitung der Sollhöhenlage 10 cm), Gesamtdicke der Dichtung  $\geq 80$  cm.
- Die Oberfläche ist glatt und eben herzustellen. Sofern beim Einbau von METHA-Schlick ohne aufliegende Kunststoffdichtungsbahn von der Forderung nach einer glatten und ebenen Oberfläche der METHA-Schlickdichtung (siehe Nr. 5.1) abgewichen werden soll, ist nachzuweisen, dass damit keine wesentliche Minderung der Systemwirksamkeit (Dichtigkeit, mechanische und hydraulische Stabilität) verbunden ist.
- Ebenheit oberste Lage durch höhenmäßige Vermessung im Raster 20 x 20 m bei Gewährleistung eines Gefälles in Richtung Tiefpunkt. Die Dichtungsoberfläche darf nach Einbau kein abflusslosen Senken aufweisen. Vor Überdeckung der Dichtungsoberfläche mit der Kunststoffdichtungsbahn im System DK II müssen die Ebenheit der Dichtung und deren Plastizität gewährleisten, dass sich nach Aufbringung der Auflast durch Entwässerungs- und Rekultivierungsschicht ein vollflächiger Verbund zwischen KDB und METHA-Schlick einstellt (Nachweis im Probefeld).
- Die mineralische Dichtung ist mit elektrooptischen Geräten zu vermessen.



- Zwischen den einzelnen Dichtungslagen ist ein inniger Verbund mit einer guten Verzahnung herzustellen.
- Schürfe- und Sondieröffnungen in der mineralischen Dichtungsschicht sind so zu verschließen, dass die geforderte Freiheit von bevorzugt wasserleitenden Grobporen gewährleistet ist.
- Es dürfen keine Trocknungsrisse auftreten (schnelle Freigabe und Überschüttung der eingebauten Dichtungslage).
- Kippstellen müssen so ausgebildet werden, dass ein Durchmischen mit anderen Böden vermieden wird.
- Randbereiche von hergestellten METHA-Schlickdichtung an Baufeldgrenzen werden durch eine Abdeckung mit einer mineralischen Schutzschicht (Schlick oder anderer Boden) oder eine Kunststoffolie gegen Austrocknung oder andere schädliche Einwirkungen geschützt.
- Der Anschluss an vorhandene Dichtungsschichten erfolgt durch Entfernen der mineralischen Schutzschicht bzw. Kunststoffolie, lagenweises Anschneiden der „alten Dichtung“ bis zum vollständigen Entfernen von ggf. ausgetrockneten oder anderweitig geschädigten Bereichen und lagenweisem Einbau von frischem Material gegen das frisch angeschnittene Material der vorhandenen Dichtung.

#### **4.2.3 Witterungseinfluss**

- Die Herstellung darf nicht bei Wetterlagen erfolgen, die einer Einhaltung der geforderten Einbaubedingungen (Scherfestigkeit, Durchlässigkeitsbeiwert) entgegenstehen, wie z.B. Frostwetterlagen und ergiebige Regenfälle, da es bei Wasserzutritt in Verbindung mit dynamischer Belastung zu Aufweichungen und Festigkeitsverlusten kommen kann.
- Die bauzeitliche Wasserhaltung hat so zu erfolgen, dass der Zufluss von Oberflächenwasser aus Nachbarflächen auf noch nicht abgedeckte Dichtungslagen oder in seitliche Dichtungsanschnitte ausgeschlossen wird.
- Eingebaute Lagen sind zum Schutz vor Austrocknung, Bewuchs und Erosion unverzüglich durch die nächste Lage zu überdecken. Die fertig gestellte Gesamtschicht ist ebenfalls unverzüglich nach der Freigabe durch die Kunststoffdichtungsbahn (nur bei System DK II), die Dränschicht bzw. eine temporäre Abdeckschicht abzudecken. Bei längeren Liegezeiten ist die Mindestabdeckstärke 80 cm.
- Mit Beginn der Frostperiode sind fertiggestellte Systemkomponenten bzw. das fertiggestellte Dichtungssystem zu schützen (z.B. frostsichere Abdeckung).



## **5 Maßnahmen zur Qualitätsüberwachung und -prüfung**

### **5.1 Organisation und Zuständigkeit für Qualitätsüberwachung und -prüfung**

Die Qualitätsüberwachung des Aufbereitungs- und Produktionsprozesses des METHA-Schlicks in der METHA erfolgt durch die Qualitätsüberwachung der METHA und wird durch die Prüfprotokolle zur Ausgangskontrolle der Schlick-Lieferungen dokumentiert.

Die Qualitätsprüfung auf der Baustelle erfolgt nach den im Deponiebau üblichen Verfahren (siehe hierzu [U1]) durch eine Eigenprüfung, durch eine Fremdprüfung und eine Überwachung durch die zuständige Behörde. Der Fremdprüfer überwacht die Prüfungen des Eigenprüfers. Die personelle Qualifikation und die fachgerechte technische Ausstattung des Eigenprüfers ist der fremdprüfenden Stelle nachzuweisen und von dieser zu prüfen. Die fremdprüfende Stelle ist im Einvernehmen zwischen Bauherrn und Überwachungsbehörde zu beauftragen.

Die fremdprüfenden Stellen müssen über geschulte Fachleute mit Sachverstand und Erfahrung hinsichtlich der zu prüfenden Komponenten, der üblichen Verfahren im Qualitätsmanagement und des Deponiebaus verfügen. Die fremdprüfende Stelle muss, von wenigen sehr aufwendigen und nicht zeitnah durchzuführenden Versuchen abgesehen, über eigene Einrichtungen und Geräte zur Durchführung der Prüfungen verfügen und die Versuche nach den aktuellen Prüfvorschriften und Normen durchführen und dokumentieren. Die Hinweise in [U2] zu Aufgaben und Qualifikation der fremdprüfenden Stelle sind zu beachten.

Die Überwachungsbehörde überwacht die Arbeiten und überprüft u.a., ob der Fremdprüfer ordnungsgemäß arbeitet. Der Beginn der Herstellung des Oberflächenabdichtungssystems wird der Überwachungsbehörde rechtzeitig mitgeteilt. Sie wird weiterhin über die wesentlichen Arbeitsschritte informiert.

Zur Wahrnehmung der Eigen- und Fremdprüfung werden Laboreinrichtungen für Untersuchungen auf der Baustelle vorgehalten, um unangemessene Verzögerungen bei der Herstellung der Abdichtungssysteme zu vermeiden.

Die Maßnahmen zum Qualitätsmanagement (Qualitätsplanung, -lenkung, -überwachung und -verbesserung) werden für jedes Projekt in einem eigenen Qualitätsmanagementplan (QMP) festgelegt (zum grundsätzlichen Inhalt des QMP siehe auch [U1]). Der projektspezifische QMP legt als Teil des Bauvertrags die Qualitätsanforderungen für alle Komponenten des Oberflächenabdichtungssystems fest und gibt Maßnahmen vor, die sicherstellen, dass die qualitätsbestimmenden Eigenschaften der eingesetzten Materialien und die gewählten Ausführungstechniken ein Oberflächenabdichtungssystem ergeben, dessen Komponenten für sich genommen und in ihrem Zusammenwirken die im Bauvertrag definierten Qualitätsanforderungen nachgewiesenermaßen erfüllen und dem Stand der Technik entsprechen. Das



Qualitätsmanagement dient der Fehlervermeidung. Der dokumentierte Qualitätsnachweis ist die Voraussetzung für die Freigabe von Flächen zum Weiterbau und für die Abnahme der Gesamtmaßnahme.

Im projektspezifischen QMP werden die Verantwortlichkeiten, Anforderungen und Regelungen aus dem vorliegenden QM-Handbuch für Oberflächendichtungen aus METHA-Schlick übernommen und durch die Verantwortlichkeiten, Anforderungen und Regelungen für die anderen Komponenten des gesamten Oberflächenabdichtungssystems sowie die Vorgaben der jeweiligen abfallrechtlichen Genehmigung ergänzt. Der projektspezifische QMP enthält oder verweist auf sämtliche für die an der Qualitätsprüfung Beteiligten erforderlichen allgemeinen Angaben zum Bauvorhaben und zum Standort (Lagepläne, Systempläne, Detailpläne, Infrastruktur, Arbeitsschutzregelungen sowie relevante Genehmigungen und bauvertragliche Regelungen) und regelt mindestens folgende Belange der Qualitätssicherung: Zuständigkeiten, Verantwortlichkeiten, Maßnahmen zur Qualitätslenkung, erforderliche sachliche Mittel, technische Ausstattungen und Personalqualifikationen, Prüfumfänge, Prüfmethode, Dokumentationspflichten, Informationsfluss und Freigabeverfahren. Der QMP wird im Zuge der Baumaßnahme fortgeschrieben, sofern neue Erkenntnisse dieses erfordern.

## **5.2 Qualitätsmanagement des Aufbereitungsprozesses in der METHA**

Die Prozesse, die in der METHA zur mechanischen Trennung und Entwässerung der Hafensedimente eingesetzt werden, unterliegen einem festgelegten Qualitätsmanagement. Diese werksseitige Produktionskontrolle dient der Gewährleistung einer gleichmäßigen und bestimmungsgemäßen Qualität der produzierten METHA-Schlicke.

Das Material wird täglich beprobt und auf folgende Parameter untersucht: Korngrößenverteilung, Feststoffgehalt, Flügelscherfestigkeit, Dichte, Restfeuchte, Glühverlust, Wasserdurchlässigkeit. Die Proben für die Bestimmung der Festigkeit und der Wasserdurchlässigkeit werden nach einer von der Universität Hannover festgelegten Standardeinbaumethode (SEM, siehe Abschnitt 5.3.5) hergestellt. Die Beprobung des Materials erfolgt zweimal pro Tag vor der Aufgabe auf die Entwässerungsmaschinen sowie neunmal pro Tag im Abwurfmaterial hinter den Entwässerungspresen. An Dekaden- und Monatsmischproben werden weitere Parameter wie die z.B. die Korndichte, der Kalkgehalt oder andere chemische Inhaltsstoffe bestimmt. In Tab. 5.2 sind der Prüfumgang und die zu erreichenden Sollwerte der bei der Ausgangskontrolle zu prüfenden Parameter zusammengestellt. Die Ergebnisse dieser Prüfungen werden protokolliert und als Dokumentation der Ausgangskontrolle an die Eigen- und Fremdprüfer auf der Baustelle übergeben.



<b>Prüfkriterium</b>	<b>Prüfmethode</b>	<b>Anforderung</b>	<b>Häufigkeit</b>
Anfangsscherfestigkeit $\tau_{FS(SEM)}$	DIN 4096 mit elektrischer Laborflügelsonde (Probenherstellung nach SEM)	$26 \text{ kN/m}^2 \leq \tau_{FS(SEM)} \leq 75 \text{ kN/m}^2$	$\geq 3/\text{Tag}$
Wasserdurchlässigkeit k	nach DIN 18130 im modifizierten Doppelringpermeameter (Probenherstellung nach SEM)	$k \leq 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ (Messwert nach 24 h)	$\geq 1/\text{Tag}$
Kornverteilung Feinkornanteil	Laserdiffraktometer	Feinkornanteil ( $d \leq 0,02 \text{ mm}$ ) $\geq 20 \%$	$\geq 2/\text{Tag}$ (je 1 aus Früh- und Spätschicht, gewonnen aus jeweils 4 Einzelproben)
Wassergehalt w	DIN 18 121	$50 \leq w \leq 90 \%$	$\geq 3/\text{Tag}$
Glühverlust $V_{GL}$	DIN 18 128	$V_{GL} \leq 10 \%$	$\geq 3/\text{Tag}$

### 5.3 Qualitätsmanagement des Dichtungseinbaus

#### 5.3.1 Eingangskontrolle

Der METHA-Schlick wird zusammen mit den Protokollen der Ausgangskontrolle auf der Baustelle angeliefert. Eigenprüfung und Fremdprüfung prüfen, ob die mitgelieferten Dokumente zu den angelieferten Chargen gehören, ob die Ausgangskontrolle vollständig durchgeführt wurde und ob die Anforderungen gemäß Tab. 5.2 eingehalten wurden. Außerdem wird der angelieferte Schlick einer visuellen Prüfung auf Witterungseinflüsse beim Transport oder sonstige Besonderheiten (Fremdbestandteile o.ä.) unterzogen. Bei Bedarf werden die Prüfungen der Ausgangskontrolle (Tab. 5.2) an repräsentativen Proben wiederholt.

#### 5.3.2 Transport, Zwischenlagerung und Materialumschlag auf der Baustelle

Bei METHA-Schlick ist der Wassergehalt nach der Aufbereitung noch so hoch, dass eine Austrocknung bei Zwischenlagerung, Transport und Einbau erst nach längerer Zeit relevant wird. Bei längerer Lagerung sollte die Oberfläche gegen Witterungseinflüsse und Bewuchs geschützt werden. Eine Vernässung des Materials durch Niederschlag oder zufließendes Oberflächenwasser muss beim Transport und bei der Zwischenlagerung durch geeignete Maßnahmen (z. B. Abplanen von LKW sowie Profilierung des Zwischenlagers) verhindert werden. Zwischenlager und Materialumschlagstellen müssen so gestaltet und betrieben werden, dass eine Vermischung des METHA-Schlicks mit Fremdmaterialien zuverlässig ausgeschlossen wird.



Bei längerer Lagerung in einem separaten Zwischenlager kann vor Aufnahme des Materials aus dem Zwischenlager für den Einbau eine erneute Prüfung des Materials hinsichtlich Wassergehalt und anderen veränderlichen Größen erforderlich werden.

### **5.3.3 Probefeld**

Vor Beginn des großflächigen Einbaus der METHA-Schlickdichtung wird durch die Anlage eines Probefeldes nachgewiesen, dass der METHA-Schlick unter den projektspezifischen Randbedingungen mit geeigneten Geräten und qualifiziertem Personal so eingebaut werden kann, dass die fertig gestellte Dichtung den Anforderungen genügt, die im vorliegenden QM-Handbuch und im Ergebnis der grundsätzlichen Eignungsprüfung von METHA-Schlickdichtungen durch die LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnische Vollzugsfragen“ gestellt werden. Das Probefeld dient zudem der Optimierung der Einbautechnik. Es wird auf einer repräsentativen Teilfläche des eigentlichen Baufeldes angelegt. Die Lage ist dabei so zu wählen, dass die Auflagerfläche und der Aufbau den späteren Baustellenbedingungen entspricht. Die Neigung des Planums, auf dem das Probefeld angelegt wird, ist repräsentativ für die abzudichtende Gesamtfläche. Nach Vorliegen der Prüfergebnisse aus dem Probefeld und einer abschließenden Bewertung einschließlich der ggf. erforderlichen Fortschreibung des projektspezifischen QMP wird mit dem flächenhaften Einbau der METHA-Schlickdichtung begonnen.

Die Abmessungen des Probefeldes richten sich nach dem Entwurf des gesamten Oberflächenabdichtungssystems, den eingesetzten Erdbaugeräten und den Erfordernissen der vorgesehenen Feldversuche, Probenahmen, Messungen und Beobachtungen. Im Bedarfsfall wird auch die Herstellung von Details wie Durchdringungen und Anschlüssen erprobt. Die Größe des Versuchsfeldes beträgt ca. 500 m<sup>2</sup>.

Das Planum wird vor Beginn der Baumaßnahme durch die Eigen- und Fremdprüfer abgenommen und durch die Bauvermessung nach Lage und Höhe eingemessen. Der Zustand und die Arbeiten für die Vorbereitung des Planums werden dokumentiert.

Für die Bauausführung im Bereich des Probefeldes gelten analog die in Abschnitt 4 beschriebenen Einbauanforderungen.

Der Prüfumfang im Probefeld entspricht den Vorgaben für den flächenhaften Einbau in Tab. 5.3.4.1 (Eigenprüfer) und Tab. 5.3.4.2 (Fremdprüfer), wobei allerdings für jede Prüfung ein Prüfumfang von 5 Proben pro Dichtungslage gilt.

### **5.3.4 Flächenhafter Dichtungseinbau**

Im Zuge des flächenhaften Dichtungsbaus werden die in den Tab. 5.3.4.1 und 5.3.4.2 aufgelisteten Prüfungen durch Eigen- und Fremdprüfer durchgeführt.



<b>Tab. 5.3.4.1 Prüfumfang und Anforderungen Eigenprüfung Dichtungseinbau</b>			
<b>Prüfkriterium</b>	<b>Prüfmethode</b>	<b>Anforderung</b>	<b>Häufigkeit</b>
Scherfestigkeit $\tau_{HFS}$	Handflügelsonde (Flügel 2 x 4 cm)	$\geq 32 \text{ kN/m}^2$ (Mittelwert von 4 Einzelmessungen)	$\geq 1/1.000 \text{ m}^2$ und Lage
Lagendicke jeder Lage	tachymetrisch	$d = \geq 0,4 \text{ m}$	Raster 20 m x 20 m
Sollhöhenlage, Ebenheit der obersten Lage	tachymetrisch	zulässige Abweichung + 10 cm, Dichtungsoberfläche ohne abflusslose Senken	Raster 20 m x 20 m
Ebenheit der obersten Lage	4-m-Richtsheit	gemäß Festlegungen im Probefeld	1/500 m <sup>2</sup>
Homogenität	visuell	keine Fremdbestandteile, keine Vernässung	kontinuierlich, baubegleitend
Freiheit von bevorzugt wasserleitenden Grobporen	visuell	keine sichtbaren Hohlräume/weiten Grobporen, keine Trockenrisse, keine Frosteinwirkung	in Verbindung mit Fremdprüfung
Anschluss an vorhandene Abschnitte	visuell		kontinuierlich, baubegleitend



<b>Tab. 5.3.4.2 Prüfumfang und Anforderungen Fremdprüfung Dichtungseinbau</b>			
<b>Prüfkriterium</b>	<b>Prüfmethode</b>	<b>Anforderung</b>	<b>Häufigkeit</b>
Probenahmetechnik	Entnahmezylinder einschlagen oder einpressen	Dokumentation	je Probenahme
Wasserdurchlässigkeit 24h-Schnelltest	Triaxial-Schnelltest (4 Parallelen)	von 4 Schnelltests max. 1 Ergebnis $\geq 1,7 \times 10^{-9}$ m/s zulässig, aber kein Ergebnis $> 3,0 \times 10^{-9}$ m/s	1/1.000 m <sup>2</sup> je Lage, Probenahme im unteren Drittel der Dichtungslage, mind. 4 Proben pro abzunehmender Teilfläche von max. 4.000 m <sup>2</sup> )
Wasserdurchlässigkeit „Langläufer“	DIN 18 130 Triaxialzelle	$k_f \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s	1/10.000 m <sup>2</sup> , Probenahme im unteren Drittel jeder Lage, 1 Probe je fertiggestellter Teilfläche
Scherfestigkeit (Feldversuch)	Handflügelsonde (Flügelgröße 2 cm x 4 cm B x H)	$\geq 32$ kN/m <sup>2</sup> (Mittelwert von 4 Einzelmessungen)	$\geq 3/1.000$ m <sup>2</sup> je Lage
Scherfestigkeit (Laborversuch)	Laborflügelsonde (Flügelgröße 2 cm x 4 cm B x H)	$\geq 16$ kN/m <sup>2</sup> und $\leq 45$ kN/m <sup>2</sup>	1/10.000 m <sup>2</sup> je Lage
Kornverteilung Feinkornanteil	DIN 18 123 Sieb-/Schlamm-analyse	Feinkornanteil ( $d \leq 0,02$ mm) $\geq 20$ %	1/10.000 m <sup>2</sup> je Lage
Wassergehalt	DIN 18 121	Dokumentation Materialbeschreibung	1/10.000 m <sup>2</sup> je Lage
Korndichte	DIN 18 124	Dokumentation Materialbeschreibung	1/10.000 m <sup>2</sup> je Lage
Dichte und Trockendichte	DIN 18 125-2	Dokumentation Materialbeschreibung	1/1.000 m <sup>2</sup> je Lage, Probenahme im unteren Drittel der Dichtungslage, mind. 4 Proben pro abzunehmender Teilfläche von max. 4.000 m <sup>2</sup> )
Glühverlust	DIN 18 128	$V_{GL} \leq 10$ %	1/10.000 m <sup>2</sup> je Lage
Porenzahl	DIN 18 126	Dokumentation Materialbeschreibung	1/10.000 m <sup>2</sup> je Lage
Lagendicke jeder Lage	tachymetrisch	$d = \geq 0,4$ m	in Verbindung mit Eigenprüfung
Sollhöhenlage	tachymetrisch	zul. Abweichung + 10 cm, Dichtungsoberfläche ohne abflusslose Senken	in Verbindung mit Eigenprüfung
Ebenheit der obersten Lage	4-m-Richtscheit	gemäß Festlegungen im Probefeld	in Verbindung mit Eigenprüfung
Homogenität	Schürfe parallel zur Probenahme $k_f$	keine Fremdbestandteile, keine Vernäsung	1/1.000 m <sup>2</sup> Lage



Freiheit von bevorzugt wasserleitenden Grobporen	Schürfe parallel zur Probenahme kf	keine sichtbaren Hohlräume/weiten Grobporen, keine Trockenrisse, keine Frosteinwirkung	1/1.000 m <sup>2</sup> Lage
Anschluss an vorhandene Abschnitte	visuell		kontinuierlich, baubegleitend

### 5.3.5 Hinweise zu den Prüfmethode

Grundsätzlich erfolgt die Prüfung nach dem Stand der Technik unter Beachtung der aktuellen Normen. Zusätzlich sind bei der Untersuchung von METHA-Schlick folgende methodische Hinweise und Besonderheiten zu beachten:

#### Bestimmung der Korngrößenverteilung nach DIN 18123

Die Analyse erfolgt durch Siebung nach Sedimentation. Bei der Schlämmanalyse sind 7 cm<sup>3</sup> Natronwasserglas als Dispergierungsmittel zuzugeben (Meniskuskorrektur anpassen) und der Probenbrei mindestens 1 Stunde durchzurühren. Die Organik bildet in getrockneten Proben verklebte Oberflächen, die vor der Siebanalyse zerrieben werden müssen.

#### Bestimmung der Korndichte nach DIN 18124

Aufgrund des Gehaltes an Huminstoffen sind die METHA-Schlickproben bei der Bestimmung der Korndichte schwer benetzbar. Die relativ aufwändigen Laborbestimmungen der Korndichte sind daher fehlerbehaftet, weshalb folgendes Verfahren für die Bestimmung der Korndichte empfohlen wird.

- Schritt 1: Bestimmung der Korndichte an einer größeren Zahl von repräsentativen Proben nach Zerstörung der organischen Substanz mit Wasserstoffperoxid. Da der Mineralbestand der gebaggerten Elbsedimente bezüglich der Korndichte wenig variabel ist, können diese Daten vorlaufend einmal ermittelt werden und anschließend als Rechenwert für die Korndichte der mineralischen Bestandteile dienen (Beispielswert: 2,65 g/cm<sup>3</sup>).
- Schritt 2: Festlegung eines Rechenwerts für die Korndichte der im Schlick enthaltenen organischen Substanz (Huminstoffe) auf der Grundlage von Literaturwerten (Beispielswert: 1,3 g/cm<sup>3</sup>)
- Schritt 3: Bestimmung des Gehalts an organischer Substanz der METHA-Schlickprobe (Vorzugsweise als TOC mit anschließender Multiplikation mit dem Faktor 2) und Berechnung der Korndichte der Probe unter Zuhilfenahme der in Schritt 1 und 2 bestimmten Rechenwerte der Korndichte der mineralischen und organischen Anteile (Beispiel: TOC 4,2 %; mineralischer Anteil der Probe dann  $100 - 4,2 \times 2 = 91,6$  %. Korndichte dann  $0,916 \times 2,65 + 0,084 \times 1,3 = 2,54$  g/cm<sup>3</sup>)



### Glühverlust nach DIN 18128

Mindestglühzeit 3 Stunden (bei maximal nur zu rund 1/3 gefüllten Tiegeln)

Standardeinbaumethode (SEM) für die Herstellung von Proben zur Bestimmung der Anfangsscherfestigkeit mit der elektronischen Laborflügelsonde und zur Wasserdurchlässigkeit mit dem modifizierten Doppelringpermeameter

Einbau von gestört entnommenem Probenmaterial in einen Proctortopf mit innen liegendem Probenzylinder gemäß DIN 4021 in zwei Schichten, die mit 20 Schlägen mit dem Proctorhammer (2,5 kg, Fallhöhe 30 cm) verdichtet werden (sonstige Randbedingungen siehe DIN 18127).

### Bestimmung der Scherkraft mit dem leichten Scherfestigkeitsmesser im Feld (Handflügelsonde)

Messung mit einem Flügel 20 mm x 40 mm. Flügelsonde ca. 30 cm tief in die zu prüfende Dichtungslage drücken.

### **5.3.6 Dokumentation des Qualitätsmanagements**

Der gesamte Einbau der METHA-Schlickdichtung einschließlich der Errichtung des Probefeldes wird vollständig anhand von Fotos dokumentiert. Der Bauablauf samt Einbautechnik und besonderen Vorkommnissen, die Art und Anzahl der Prüfungen, die Prüfmethoden und ergebnisse werden im Rahmen der Qualitätssicherung vom Eigen- und Fremdprüfer dokumentiert und nach Abschluss der Baumaßnahme vom Fremdprüfer in einem abschließenden Bericht zusammengefasst. Der Abschlussbericht des Fremdprüfer enthält neben den Ergebnissen der eigenen Untersuchungen auch die Ergebnisse des Eigenprüfers. Für das Probefeld wird ein eigenständiger Bericht verfasst.

Alle Beprobungen werden vom Eigenprüfer und vom Fremdprüfer lückenlos dokumentiert. Die Ergebnisse des Eigenprüfers werden dem Fremdprüfer unverzüglich zur Verfügung gestellt. Die Proben werden fortlaufend und eindeutig nach einem vor Beginn des Einbaus festgelegten und vom Fremdprüfer bestätigten Probenbezeichnungssystem bezeichnet. Anhand der Dokumentation ist eine eindeutige Zuordnung der Prüfergebnisse zu den entsprechenden Stellen des Probefeldes und der gesamten Oberflächenabdichtung möglich.

Die vollständigen Aufzeichnungen und Berichte der Qualitätssicherung werden vom Bauherrn mindestens bis zur Entlassung der Deponie aus der Nachsorge aufbewahrt und auf Verlangen der zuständigen Behörde vorgelegt.



## 6 Freigaben und Abnahme

Nach Fertigstellung jeder verdichteten Lage muss vor der weiteren Überschüttung eine Freigabe erteilt werden. Die Freigabe ist schriftlich bei der zuständigen Behörde zu beantragen. Mit dem Antrag auf Freigabe sind sämtliche Protokolle zur geometrischen und visuellen Kontrolle sowie der Feldversuche zur Prüfung der eingebauten Dichtungslage vorzulegen. Die Freigabe erfolgt durch die zuständige Behörde gegebenenfalls durch die Fremdprüfung. Die Freigabe kann erst erteilt werden, wenn die Laborergebnisse der im 1.000 m<sup>2</sup>-Raster untersuchten Prüfparameter einschließlich der Schnellversuche zur Wasserdurchlässigkeit vorliegen (die Ergebnisse der Wassergehaltsbestimmungen bis zum stationären Zustand („Langläufer“) werden für die Freigabe einer hergestellten Dichtungslage zur Überschüttung nicht abgewartet).

Die Freigabe wird in einem Freigabeprotokoll dokumentiert, in dem alle Informationen und erforderlichen Verweise aufgeführt sind.

Die Überdeckung erfolgt unmittelbar nach Freigabe der jeweiligen Dichtungslage, um schädliche Einwirkungen aus der Witterung zu vermeiden.

Die abfallrechtliche Abnahme erfolgt nach Abschluss der gesamten Baumaßnahme zur Herstellung des Oberflächenabdichtungssystems. Voraussetzung für die Abnahme ist das Vorliegen der vollständigen und prüffähigen Dokumentationen von Eigen- und Fremdprüfung.

### melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft

Dr. habil. Stefan Melchior

Anja Tiedemann