

Das Cutter-Soil-Mixing-Verfahren (CSM) zur Herstellung von Dichtwänden

Dipl.-Ing. R. Müller, Bauer Spezialtiefbau GmbH, Nordhausen
Dipl.-Ing. (FH) B. Kröber, GGU mbH, Magdeburg

Durch die Bauer Spezialtiefbau GmbH wurde als Alternativlösung zur Herstellung von Dichtwänden neben dem bekannten Mixed-In-Place-Verfahren (MIP) das Cutter-Soil-Mixing-Verfahren (CSM) entwickelt. Das CSM-Verfahren wurde europaweit bisher auf ca. 20 Baustellen erfolgreich eingesetzt. In Deutschland wurde das CSM-Verfahren erstmalig beim Vorhaben ÖGP Leuna, südliche Abstromsicherung Alte Raffinerie eingesetzt.

Nachfolgend erfolgt eine Beschreibung des Verfahrens sowie der Umsetzung aus Sicht des Bau ausführenden Unternehmens sowie der begleitenden Fremdüberwachung.

Das CSM-Verfahren

Das CSM-Verfahren basiert auf der bekannten Technologie der Schlitzwandfräse. Im Unterschied zum MIP-Verfahren drehen sich die Mischwerkzeuge um horizontale Achsen. Der anstehende Boden wird durch die Fräsräder gelockert und durch die Zugabe von Suspension und Eintrag von Mischenergie zu einem Bodenmörtel verarbeitet. Folgende Arbeitsschritte werden ausgeführt

- Herstellung eines ausreichend dimensionierten Vorlaufgrabens zur Aufnahme des erforderlichen Suspensionsüberschusses (ohne Leitwand ausführbar)
- Einfahren auf Endtiefe unter Zugabe der angepassten Suspensionsmenge unter Verflüssigung des Bodens



Die Suspension wird in einer mobilen Mischieranlage aus den Komponenten Bentonit, Zement und Wasser gemischt. Der Großteil der erforderlichen Suspension wird bei Abfahren der Fräse, d.h. beim Aufmischen und Verflüssigen zugegeben. Dabei wird die Pumpmenge in Abhängigkeit des Fräschrittes gesteuert. Die Umdrehungszahlen liegen bei 20 bis 40 Umin⁻¹. Während des Ziehvorganges wird die restliche Suspensionsmenge zugegeben. Dabei erfolgt noch einmal eine intensive Durchmischung des bereits hergestellten Wandabschnittes. Die Suspensionszugabe erfolgt unmittelbar zwischen den Mischrädern. Die drehenden Mischräder und vertikal angeordneten Platten wirken somit als Zwangsmischer.

Wandabschnitte werden im Pilgerschrittverfahren aufgeföhren. Lamellenüberschnitte werden in Abhängigkeit der geforderten Geometrien sowie Wandtiefe gewählt. Es können Wandbreiten von 0,5 bis 1,2 m sowie Lamellenlängen von 2,2 bis 2,8 m realisiert werden. Die Mischeinheit wird im Regelfall an einer Kelly-Stange geführt. Ein Einsatz als »seilgeführtes System« ist möglich. Zurzeit erreichbare Frästiefen liegen beim Stangensystem bei 25 m, beim seilgeführten System bei 55 m.



Vergleich mit anderen Verfahren

Folgende Vorteile weist das CSM-Verfahren gegenüber der herkömmlichen Schlitzgrütfertechnik auf

- Der anstehende Boden wird als Baustoff verwendet.
- Es fällt wesentlich weniger überschüssiges Schlitzgut an. Das Verfahren ist somit insbesondere bei kontaminierten Böden geeignet. (geringerer Entsorgungsaufwand)
- Wandtiefen von 25 m und Tagesleistungen von 200 m² können mit relativ leichten Trägergeräten (70-90 t) erreicht werden
- hohe Vertikalität der Wandelemente durch Kelly-Führung und gegenlaufende Drehrichtung der Fräsräder; Die Neigung der Fräse wird über Inklinometer gemessen.
- Durch Fräsbetrieb ist eine saubere Fugenausbildung möglich. Dies insbesondere auch zwischen Wandelementen mit unterschiedlichem Herstellalter.
- Härtere Bodenschichten können mit entsprechenden Fräsradsatz durchörtert bzw. aufgemischt werden.

Projekt Bauvorhaben Leuna

Seit Anfang des 20. Jh. wird Leuna als Standort der chemischen Industrie genutzt. Die Baumaßnahme ist im Abstrom der ehemaligen Alten Raffinerie lokalisiert, in deren Anlage über 70 Jahre Kraftstoffe hergestellt wurden. In Folge von Kriegsschäden, Havarien und Handhabungsverlusten wurden

erhebliche Schadstoffmengen in den Untergrund eingetragen. Die Kontaminationen bestehen im Wesentlichen aus Mineralölen, aromatischen Kohlenwasserstoffen und einem als Antiklopfmittel eingesetzten Ether »MTBE«.

Der unmittelbare Kontakt der Schadstoffe mit dem Grundwasser bildet eine »Schadstofffahne« mit einer Länge von bis zu 2 km, deren Ausläufer bis in die Nähe des Wasserwerkes Daspig reichen. Das Wasserwerk wird über den Betrieb eines Abwehrbrunnens geschützt.

Sanierungsstrategie

Da eine vollständige Beseitigung der Bodenverunreinigungen praktisch nicht ausführbar ist, wurde eine Sanierungsstrategie zur Sicherung der Altlast (Abstromsicherung) entwickelt. Kernstück der Abstromsicherung bildet die Errichtung einer wasserundurchlässigen, unterirdischen Einphasendichtwand, die das kontaminierte Grundwasser am Weiterfließen hindert. Das sich nun vor der Dichtwand stauende Grundwasser wird in Tiefendränagenleitungen gesammelt und

anschließend zu einer Grundwasserreinigungsanlage gepumpt. Nach erfolgter Abreinigung wird das Wasser über abstromseitige Versickerungsbecken hinter der Dichtwand eingeleitet. In einer 10-monatigen Pilotphase werden die Auslegungsparameter für die Grundwasserreinigung festgelegt. Der nachfolgend anstehende Dauerbetrieb ist mit 10 bis 15 Jahren veranschlagt.

Die Planung, Ausschreibung und Bauüberwachung erfolgte im Auftrag der MDVV Mitteldeutsche Vermögensverwaltungsgesellschaft mbH durch die G.U.T. Gesellschaft für Umweltsanierungstechnologie mbH in Zusammenarbeit mit der GuD Ingenieurbüro für Spezialtiefbau GmbH. Die Bauleistungen wurden an die Bauer Spezialtiefbau GmbH in Zusammenarbeit mit den Tochterunternehmen FWS Filter- und Wassertechnik GmbH sowie Bauer und Mourik Umwelt GmbH vergeben. Die Fremdüberwachung der Dichtwandarbeiten oblag einer Arbeitsgemeinschaft aus den Unternehmen GGU mbH sowie der Zander Ingenieure GmbH. Die Arbeiten zur Altlastensanierung wurden durch die Landesanstalt für Altlastenfreistellung des Landes Sachsen-Anhalt (LAF) refinanziert sowie die iwB Ingenieurgesellschaft mbH als

Projektcontroller der LAF fachlich begleitet. Die Bauleistungen wurden im Zeitraum August bis Oktober 2005 erbracht.

Geologische Standortverhältnisse

Die 446 m lange Dichtwandtrasse wird von Schichten aus dem Quartär, Tertiär und Trias beeinflusst. Im Nordbereich treten auf 35 m Länge oberflächennah Deckschichten des Buntsandsteins auf. Im mittleren und südlichen Trassenabschnitt werden die anstehenden quartären Horizonte (Sand, Kies, Geröll, Terrassenschotter) von tertiären Schichten (Schluff, Ton) unterlagert. In Südbereich stehen Braunkohlehorizonte mit einem hohen Anteil organischer Beimengungen an. Im gesamten Baubereich waren größere Gerölle nicht auszuschließen.

Bauausführung

Die Ausschreibung sah eine Dichtwand im herkömmlichen Schlitzwandgreiferverfahren vor. Durch den Ausführenden wurde als Alternativlösung das CSM-Verfahren angeboten.



Bei der herkömmlichen Schlitzwandgreifertechnik wird der anstehende Baugrund durch die Dichtwandmasse mit einem anteiligen Bodeneintrag während der Herstellung ersetzt. Der standortbedingte entstehende kontaminierte Aushub hätte auf Sondermülldeponien entsorgt werden müssen. Das CSM-Verfahren verwendet dagegen den anstehenden Baugrund als Baustoff und vermengt diesen mit Dichtwandsuspension zu einer Dichtwandmasse. Die Entsorgungskosten für anfallenden Aushub wurden somit minimiert.

Im Vorfeld der Ausschreibung wurden laborative Eignungsprüfungen mit dem anstehenden Boden sowie Grundwasser auf Einhaltung der vertraglich vorgegebenen Anforderungen durchgeführt. Hierbei konnten die gemäß Ausschreibung geforderten Qualitätsanforderungen an die Dichtwand

■ Wasserdurchlässigkeitsbeiwert

$$k_f \leq 5,0 \times 10^{-10}$$

■ Druckfestigkeit $\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$

unter den standortspezifischen Rahmenbedingungen (kontaminierter Boden, kontaminiertes Grundwasser, aufschwimmende Produktphase, organische Böden) nachgewiesen werden. Es wurden verschiedene Probenmischungen untersucht. Das Alternativangebot wurde durch den Bauherren unter Berücksichtigung der eignungsgeprüften Dichtwandmischung MIP 150, bestehend aus 410 kg Fertigungskomponenten und 860 kg Wasser je m^3 Dichtwandsuspension beauftragt.

Unmittelbar nach Beauftragung wurde durch den Ausführenden in einem Probekasten die Ausführbarkeit der Alternativlösung nachgewiesen. Nach positiver Begutachtung erfolgte der Regeleinbau, welcher zeitweise 2-schichtig erfolgte. Gerätetechnisch erfolgte der Einsatz einer durch den Ausführenden hergestellten Maschineneinheit RG 19 mit einer CSM-Fräse vom Typ BCM 10. Die Stichlängen betrugen 2,8 m (Primärschlitz) bzw. 2,4 m (Sekundärschlitz) bei einer mittleren Schlitztiefe von 17 m. Der Regeleinbau konnte in einem Zeitraum von 6 Wochen erfolgreich abgeschlossen werden.

Probleme traten beim Anfräsen von Geröllen im Baugrund sowie einer in die Dichtwandtrasse ragenden Spundwand auf. Die Gerölle mussten aufwändig geborgen werden. Die Spundwand wurde aufgrund der hohen Flexibilität des Verfahrens (keine Leitwand

erforderlich) umfahren. Durch die Frästechnik konnten nach derartigen Arbeitsunterbrechungen die bereits hergestellten Lamellen problemlos angefräst werden. Das im Dichtwandbau übliche Arbeiten »Frisch in Frisch« war somit nicht zwingend erforderlich.

Qualitätssicherung

Das Bauvorhaben unterlag einer umfangreichen Qualitätssicherung mit der im Dichtwandbau üblichen Eigen- und Fremdüberwachung. Grundlage der Überwachung war ein Qualitätssicherungsplan (QSP), welcher neben baubegleitenden Laboruntersuchungen an der Dichtwandsuspension Prüfungen an Proben aus dem fertig hergestellten Schlitz vorgab.

Die Untersuchungen an der Dichtwandsuspension wurden im Baustellenlabor durchgeführt. Im Regeleinbau wurden Proben aus dem hergestellten Schlitz entnommen, an welchen nach definierter Probenlagerung Laborprüfungen zum Nachweis der Wasserdurchlässigkeit sowie der Druckfestigkeit durchgeführt wurden. Hierbei konnte aufgrund der im Probekasten gewonnenen Erkenntnisse die im Dichtwandbau übliche Lagerungsdauer von 28 Tagen auf 14 Tage reduziert werden. Dieses war insbesondere in Hinblick auf die kurze Bauzeit sowie die früher vorliegende Qualitätsaussage vorteilhaft. Lediglich in Problembereichen mit einem hohen Anteil an organischen Beimengungen musste zum Nachweis der geforderten Wasserdurchlässigkeit eine wesentlich längere Probenlagerung von 56 Tagen erfolgen.

Problematisch aus Sicht der Fremdüberwachung war die Probenahme aus dem hergestellten Schlitz, welche eine sehr massive Vorrichtung erforderte. Bewährt hat sich ein stangengeführtes Entnahmegerät, welches mit der geräteeigenen Seilwinde bewegt wurde. Die Probenahme aus dem hergestellten Schlitz erforderte somit eine Unterbrechung des Regelbetriebes.

Neben den Laborprüfungen war vor Ort eine Vielzahl von Prüfungen in Hinblick auf die Einhaltung der geforderten Abmessungen der Dichtwand erforderlich. Herstellungsparameter, wie Einfahrzeit und -tiefe, Suspensionsverbrauch je Lamelle sowie der Verlauf der Lamelle (Abweichung von der Lotrechten) wurden durch maschinentechnisch

Der VBI-Landesverband Sachsen-Anhalt gratuliert allen Mitgliedern recht herzlich und insbesondere zu den »runden«:

Zum 65. Geburtstag

Dipl.-Ing. Wolf Albrecht am 22. April

Zum 60. Geburtstag

Ing. Wilhelm Daum am 9. April

Dipl.-Ing. Hans-Werner Schulze am 12. November

Zum 55. Geburtstag

Dr.rer.nat. Dipl.-Phys. Rainer Gellermann am 9. Februar

Dipl.-Ing. Gerd Gobell am 27. Mai

Zum 50. Geburtstag

Dr.-Ing. Konrad Ehelebe am 30. Januar

Dipl.-Ing. (FH) Joachim Mund am 7. August

Dipl.-Ing. Roland Herden am 30. Oktober

... und natürlich allen anderen Mitgliedern, die auch im Jahr 2006 Geburtstag haben.

nische Einrichtungen automatisch aufgezeichnet und für die spätere Dokumentation gespeichert. Stichpunktartig wurde aufwändig von Hand geprüft. Festgestellte Abweichungen konnten Bau begleitend korrigiert werden.

Ergebnisse Bauvorhaben Leuna

Der alternative Einsatz des CSM-Verfahrens hat sich auch in Deutschland als mindestens gleichwertiges Verfahren zur Herstellung einer Dichtwand bestätigt. Unter den gegebenen projektspezifischen Rahmenbedingungen ist das CSM-Verfahren sogar als günstiger einzuschätzen. Alle geforderten Qualitätsparameter konnten gesichert erfüllt werden. Gleiches gilt für die geforderten anspruchsvollen Bautermine. Die durchschnittliche Tagesleistung betrug 200 m^2 je Schicht. Selbst in Bereichen mit Hindernissen (Steinen, Geröllen) konnten 150 m^2 sicher erreicht werden. Aus Sicht des Ausführenden sowie der Fremdüberwachung ist festzustellen, dass mit dem CSM-Verfahren ein weiteres Verfahren zur Herstellung von Dichtwänden entwickelt und ausgeführt wurde, welches unter bestimmten Rahmenbedingungen die ökonomische Herstellung von Dichtwänden zulässt bzw. ermöglicht. ❖

Mitgliederversammlung des Landesverbandes Sachsen-Anhalt

Die diesjährige Mitgliederversammlung des Landesverbandes Sachsen-Anhalt fand am 21.04.2006 gemeinsam mit dem VUBIC, Verband Unabhängig Beratender Ingenieure und Consultants, Landesverband Nord-Ost im Plaza-Hotel statt. Damit wurde die traditionell sehr enge Zusammenarbeit beider Verbände erfolgreich fortgesetzt.

Mit Gedenken an den verstorbenen Prof. Hoppe, ehemaliges Vorstandsmitglied im VBI und Präsident der Ingenieurkammer und einem Grußwort eröffnete Herr Dr. Grubert die Landesversammlung. Anschließend erstattete er den Rechenschaftsbericht über die Zeit von 2005 bis 2006. Hierbei ging Herr Dr. Grubert näher auf die Mitgliederstatistik, aktuell beläuft sich die Zahl der Mitglieder auf 76 (vier Austritten stehen drei Neuaufnahmen gegenüber) ein. Weiterhin war auch die Öffentlichkeitsarbeit ein Thema, wobei hervorgehoben wurde, dass die Kontakte zu den Landtagsfraktionen sowie dem Landesbetrieb Bau bezüglich der Novellierung der Bauordnung, Vergaberichtlinie, Mittelstandspolitik, die Initiative zu PPP-Projekten als auch die Umsetzung von EU-Richtlinien ständig gepflegt werden. Da mittelfristig ein wesentlicher Mangel an Ingenieuren zu befürchten ist, machte Herr Dr. Grubert in seinen Ausführungen auch auf dieses Problem aufmerksam und forderte alle Mitglieder auf, sich an Veranstaltungen, mit dem Ziel die Nachwuchsgewinnung zu forcieren, verstärkt einzubringen. Neben der Arbeit von 10 VBI-Mitgliedern in der Ingenieurkammer Sachsen-Anhalt ist es ebenso wünschenswert, dass die Zusammenarbeit auch außerhalb der Kammer zwischen den einzelnen Verbänden VBI, VDI, VDE und VUBIC verstärkt wird.



Herr Brugger berichtete über die von ihm durchgeführte Kassenprüfung für den Zeitraum vom 25.11.2004 bis 20.04.2006 und stellte die Ordnungsmäßigkeit der Kassenführung fest. Der beantragten Entlastung des Vorstandes wurde einstimmig zugestimmt.

Herr Dr. Metzner berichtete zusammen mit Herrn Drüg in Vertretung des verhandelnden Vizepräsidenten der Ingenieurkammer, Herrn Jörg Hermann über das Ingenieurgesetz sowie die Bauordnung.

Grußworte des Verbandes Unabhängig Beratender Ingenieure Consultants – VUBIC – wurden durch Herrn Nitschke überbracht. Als Hauptgeschäftsführer des VUBIC lobte Herr Welter die enge Zusammenarbeit beider Verbände und machte gleichzeitig auf konkrete Ziele und Schwerpunkte der zukünftigen Arbeit aufmerksam.

Anschließend gab Herr Dr. Grubert einen Ausblick auf die Arbeit und Aktivitäten für die Jahre 2006 – 2007. Schwerpunktartig ging er hierbei auf die Auftragslage und somit die Investitionspolitik, die fachliche Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Unternehmen, die Kooperation mit anderen Verbänden, den Kontakt mit den Fraktionen des Landtages als auch zum Landesbetrieb Bau sowie die schon erwähnte zu forcierende Nachwuchsgewinnung ein.

Als Gastreferent legte Herr Ralf Preußner, Mitarbeiter der KFW Förderbank die seit 01. Februar 2006 geltenden Neuerungen der »Förderinitiative Wohnen, Umwelt, Wachstum« in Form einer interessanten Präsentation dar und ging anschaulich auf verschiedene Möglichkeiten der Refinanzierbarkeit unterschiedlichster Sanierungsmaßnahmen ein.

Eine weitere Präsentation in Bezug auf die Geothermie stellte uns Herr Lentzkow, BLZ Geotechnik GmbH, Gommern vor. Er veranschaulichte, dass technologischer Fortschritt in Verbindung mit dem Wissen um das Vorhandensein von Wärme in nicht nur tieferen Regionen der Erde das geothermische Potenzial bei der Nutzung von Erdwärme als einen höchst interessanten Energiesparfaktor für diverse Einsatzgebiete in Erscheinung treten lässt.

Von den drei neuen Mitgliedsunternehmen konnten sich die Mitglieder der Landesversammlung über die in Form einer Präsentation vorgestellten Ingenieurbüros geoundumwelt, Magdeburg, vertreten durch Herrn Richter, und BÖGER & JÄCKLE Ingenieure Dessau, vertreten durch Herrn Becker, ein Bild machen.❖