

Erfahrungen mit der Intensivverdichtung auf der Deponie Ulm Eggingen

Vorbereitung – Praktische Ausführung – Ergebnisse

Dipl.-Ing. (FH) E. Haubrich ; UW Umweltwirtschaft GmbH, Stuttgart

1 EINLEITUNG

2 STANDORTBESCHREIBUNG UND KENNDATEN DER DEPONIEABDICHTUNG

3 SETZUNGSVERRHALTEN DER DEPONIE UND DARAUS RESULTIERENDE PROBLEMATIKEN FÜR DAS DICHTUNGSSYSTEM

4 DYNAMISCHE INTENSIVVERDICHTUNG

4.1 Grundlagen und Technische Verfahrensbeschreibung

4.2 Geplante standortbezogene Ausführung

5 UMSETZUNG UND PROJEKTERFAHRUNGEN

5.1 Vorkehrungen und Zustandserfassung

5.2 Beweissicherung und Kontrollmessungen im Umfeld

5.3 Geräteeinsatz und verwendetes Fallgewicht

5.4 Verdichtungsraster, Wahl von Eindringtiefe und Fallhöhe

5.5 Arbeitsschutz, Baustellen- und Umfeldsicherung

5.6 Herstellung von Arbeitsplanum und Aufstandsfläche

5.7 Ausführung der dynamischen Intensivverdichtung

5.8 Messwerterfassung und Erfolgskontrolle der Verdichtung

5.9 Zeitlicher Ablauf der Intensivverdichtung

1 EINLEITUNG

Die im Zeitraum 1966 bis 1986 verfüllte Deponie „Ulm – Eggingen“ soll durch die Aufbringung einer Oberflächenabdichtung (Kombinationsdichtung) ertüchtigt werden.

Die Deponie wurde seinerzeit als Grubendeponie innerhalb aufgelassener Sandgruben angelegt, es liegen somit steile Böschungskanten (60 - 70°) und Müllmächtigkeiten bis zu 18,5 m vor. Im Zuge der Planung stellte es sich heraus, dass die zu erwartenden Setzungen in den Randbereichen (ehemalige Böschungskante) der Deponie eine langfristige Beschädigung der Dichtungskomponenten hervorrufen können.

Somit waren Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Vorwegnahme der Setzungen in den Randbereichen der Deponie zu treffen. Im Zuge der Verfahrensauswahl entschieden sich die Beteiligten für die Ausführung einer Dynamischen Intensivverdichtung (DY-NIV). Mittels Fallgewichten wurde ein 25 m breiter Randstreifen entlang der Deponie verdichtet. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen sind Gegenstand der nachfolgenden Ausführungen.

Aufgrund der Besonderheiten der Ausführung wurde die Maßnahme durch das Land Baden – Württemberg mit Mitteln des kommunalen Investitionsfonds (KIF) gefördert.

2 STANDORTBESCHREIBUNG UND KENNDATEN DER DEPONIEABDICHUNG

Die Deponie Eggingen liegt ca. 10 km südwestlich von Ulm. Sie wird über die Straße Ringingen-Eggingen (K 9916) und eine davon abzweigende Deponiezufahrt erschlossen.

Die Deponie ist als Grubendeponie angelegt und wurde als Hausmüll- und Bau-schuttdeponie zur Verfüllung ehemaliger Sandgruben betrieben. Die Deponie wurde

im Anschluss an die Verfüllung mit Erdmaterial abgedeckt und ist teilweise mit Gehölzen bewachsen.

In einem Teilbereich der Deponie wurde bereits seit 1985 eine Oberflächenabdichtung mittels einer 2,0 mm starken PE-HD-Dichtungsbahn ausgeführt.

Im Rahmen der Stilllegung der Deponie Eggingen, die durch die Entsorgungsbetriebe der Stadt Ulm (**EBU**) betrieben wird, soll auf einer Gesamtfläche von ca. 15,5 ha eine Oberflächenabdichtung aufgebracht werden. Die **UW** Umweltwirtschaft GmbH wurde mit der Planung und Bauüberwachung der Gesamtmaßnahme beauftragt.

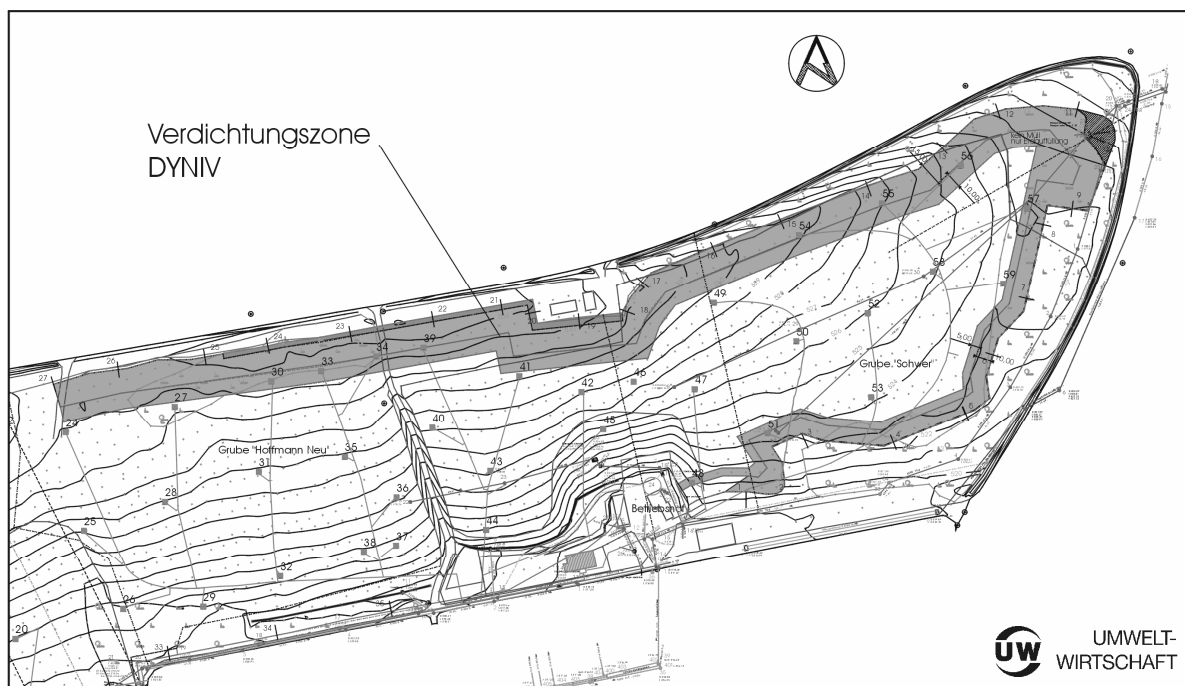


Abb. 1: Lageplan mit Darstellung der Verdichtungszone

In Zuge der Stilllegungsanzeige wurde durch das Regierungspräsidium Tübingen das Aufbringen eines Kombinationsabdichtungssystems genehmigt.

Die Böschungsneigung sowohl der bestehenden Deponieoberfläche als auch der im Verlauf der Baumaßnahme durch Profilierung herzustellenden Neigung der Oberflächenabdichtung liegt überwiegend im Bereich $< 1 : 10$. Lediglich kleine Randbereiche und eine Teilfläche oberhalb der Betriebsgebäude mit einer Fläche von ca. 0,5 ha besitzen Neigungen im Bereich von ca. $1 : 3$, auf einer Fläche von wenigen m² bis

maximal 1 : 2. Die Maximalneigung des Dichtungssystems wird durch Profilierung auf 1 : 3 begrenzt.

Im Zuge der Oberflächenabdichtungsmaßnahme sind im wesentlichen folgende Arbeiten durchzuführen.

- Asphaltabdichtung für Betriebsflächen
- Abtrag der Erdaddeckung zu Rekultivierungszwecken
- Profilierungsmaterial zur Herstellung der geforderten Gefälleverhältnisse
- Ausgleichsschicht (50 cm)
- Dickenreduzierte mineralische Dichtung (1 x 25 cm, $k_f < 5 \cdot 10^{-9}$ m/s)
- Dichtungskontrollsystem Typ Geologger auf Gesamtfläche
- Kunststoffdichtungsbahn PE-HD (2,5 mm)
- Geotextile Dränmatte mit Schutzwirkungsnachweis
- Mineralische Entwässerungsschicht (0,2 m)
- Rekultivierungsschicht (ca. 1,0 bis 1,6 m) und humoser Oberboden (40 cm) mit Rasenansaat
- Entgasungsarbeiten mit Anpassung des vorhandenen Systems

3 SETZUNGSVERHALTEN DER DEPONIE UND DARAUS RESULTIERENDE PROBLEMATIKEN FÜR DAS DICHTUNGSSYSTEM

Resultierend aus der Anlage der Hausmülldeponie Eggingen als Grubenverfüllung ehemaliger Sandgruben bestehen an den ehemaligen Abbaukanten scharfe und kleinräumige Übergänge zwischen anstehendem Gelände und Müllkörper.

Die maximale Verfüllhöhe beträgt im Bereich der nördlichen Abbaukante ca. 19 m, im Bereich der südlichen Abbaukante ca. 9 m.

Somit entstehen im schmalen Übergangsbereich zwischen ehemaliger Abbaukante und Müllkörper erhöhte Setzungsdifferenzen. Die Gründe für die Setzungen des Müllkörpers liegen überwiegend in der Heterogenität der Abfälle, des biologischen Abbaus organischer Substanzen und zunehmender Entwässerung durch steigende Auflast (Volumenminderung und Nachsackungen).

Anhand für die Deponie Eggingen vorliegender Setzungsbeobachtungen (August 1989 bis September 1994; Mai 2002 bis November 2003) wurden für die Bereiche der höchsten Auffüllmächtigkeiten langfristige Setzungen, nur aus der Eigenkonsolidation des Deponiekörpers, von bis zu 1 m ermittelt.

Unter Berücksichtigung der zusätzlichen Auflast durch das Aufbringen von Profilierungsschicht und Oberflächenabdichtung verstärken sich diese Setzungen noch zusätzlich.

Unter der Annahme, dass ca. 30 % der auflastbedingten Setzungen schon während der Bauzeit abklingen, werden resultierend aus Eigenkonsolidation und Aufbringen des Dichtungssystems, ohne eine vorherige Untergrundverbesserung Setzungsbeiträge zwischen 1,4 und 1,95 m gegenüber dem aktuellen Zustand im Bereich der nördlichen ehem. Abbaukante auftreten.

Aus diesen Setzungen, resultieren auf die Kunststoffdichtungsbahn einwirkende Normalkräfte, die über der Reißfestigkeit einer BAM geprüften Dichtungsbahnen mit $d = 2,5$ mm liegen. Das geotechnische Berechnungsmodell ergab innerhalb der Kunststoffdichtungsbahn rechnerische Normalkräfte entlang der Abbaukante von bis zu 78 kN/m. Insbesondere die für die Abdichtung wesentliche Kunststoffdichtungsbahn soll aber nach Möglichkeit keinen Zugkräften ausgesetzt sein.

Somit musste mittels einem geeigneten Verfahren eine Verstetigung und Vorwegnahme der ansonsten abrupt eintretenden Setzungen im Übergangsbereich Auffüllkörper/gewachsener Boden erzielt werden.

4 DYNAMISCHE INTENSIVVERDICHTUNG

4.1 Grundlagen und technische Verfahrensbeschreibung

Die Fallplattenverdichtung zur Baugrundverbesserung wurde in ihrer heutigen Form seit Ende der 60-er Jahre von Louis Menard wesentlich entwickelt.

Die dynamische Intensivverdichtung (DYNIV) besteht vom Grundprinzip her in der Übertragung großer Fallenergien (Raupenkräne mit Fallgewichten von mehreren 10-ner Tonnen Gewicht in Kombination mit Fallhöhen bis über 20 m) auf die Oberfläche eines porenreichen und wenig tragfähigen Untergrundes mittels einem definierten Raster. Ziel ist die Verbesserung der bodenmechanischen Eigenschaften des Untergrundes in Hinblick auf Standsicherheit und Minimierung von Setzungen.

Der gesamte Leistungsumfang der dynamischen Tiefenverdichtung lässt sich somit in folgende Verfahrensabschnitte untergliedern (Dokumentation und vermessungstechnische Aufnahmen erfolgen jeweils verfahrensbegleitend):

- Erarbeitung Konzeption mit Angabe Fallgewicht, Verdichtungs raster, Fallhöhe, Anzahl Übergänge etc.
- Beweissicherung am Bestand
- Vorabtrag und Ermittlung der früheren Abbaukante der Sandgruben
- Herstellung Arbeitsplanum
- Ausführung dynamische Intensivverdichtung, Materiallieferung und Verfüllung / Verdichtung der Einschlagskrater mit Erfolgskontrolle
- Schlussverdichtung des jeweiligen Verdichtungsabschnittes.

Die erreichbare Tiefenwirkung (t) der Verdichtung kann hierbei überschlägig z.B. nach folgender Formel ermittelt werden:

$$t = \alpha \times (G \times h)^{0,5} \text{ m}$$

G: Masse Fallgewicht (to) ; h: Fallhöhe Gewicht (m); t: Wirtiefe der Verdichtung (m);
 α : Menard'scher Rheologiefaktor : ca. 1 für Kies, ca. 0,6 für schluffigen Sand, ca. 0,5 bis 1,5 für Hausmüll (älter 10 Jahre, wechselnde Zusammensetzung)

Durch Variation von Fallhöhe und Fallgewicht lassen sich, je nach Zustand des Untergrundes, teils erhebliche Einflusstiefen erzielen, Die gängigen Ausführungsvarianten mittels Raupenkran weisen meist Wirtiefen bis ca. 9 m auf. Spezialgeräte (Tripode, Giga-Maschine) erzielen Wirtiefen bis über 25 m.

Die Anwendung des Verfahrens auf einer Deponie beabsichtigt hierbei die Vorwegnahme von ansonsten lange andauernden Konsolidationssetzungen und die Herstellung eines möglichst gleichmäßigen Verformungsverhaltens des Untergrundes. Die DYNIV geht hierbei mit einer unmittelbaren Reduzierung des Porenvolumens unter dem Aufschlagpunkt einher.

Die hierbei entstehenden Einschlagskrater werden mittels grobem Schottermaterial aufgefüllt, das im Zuge weiterer Fallschläge in den Untergrund eingestampft wird. Somit entstehen, neben der reinen Verdichtung des Untergrundes auch noch Schotterssäulen die die Stabilitätseigenschaften des Untergrundes weiter erheblich verbessern.

Zur Aufnahme des Raupenkranes muß zuvor eine ausreichend verdichtete und starke Arbeitsebene aus grobkörnigem Material angelegt werden. Ihre Hauptaufgabe besteht, neben der Gewährleistung der Standsicherheit darin, lokales Versagen des Baugrundes an der Oberfläche zu behindern und somit eine effektive Tiefenwirkung mit sicherzustellen.

Kommt es zu Aufwölbungen und lokalem Versagen an der Oberfläche ist mit folgenden Schlägen keine weitere Tiefenwirkung mehr zu erwarten und dann der nächste Verdichtungspunkt zu beaufschlagen.

4.2 Geplante standortbezogene Ausführung

Die dynamische Intensivverdichtung wurde im Randbereich der Deponie auf der Nord-, Ost- und Südostseite bis zum Betriebshof im Bereich der ehemaligen Abbaukante ausgeführt um das Risiko setzungsbedingter Schäden am Dichtungssystem zu reduzieren. Im Bereich von Deponieeinbauten wie z.B. Gasbrunnen, Sickerwasserschächten, sollte ein Mindestabstand von 10 m eingehalten werden.

Zu schützende Leitungen bestanden im Norden der Deponie nicht. Im Süden der Deponie verläuft eine Abwasserleitung (Betriebsgebäude der Deponie). Hier wird durch Variation der Wirkungstiefe der DYNIV ein Schutz der Leitung gewährleistet (Keine Tiefenwirkung bis zur Grubenbasis).

Der zu verdichtende Bereich verläuft müllseitig entlang der ehemaligen, steil geböschten Abbaukante der früheren Sandgrube. Die Auffüllung erfolgte in Mächtigkeiten von bis zu 20 m mit sehr heterogen zusammengesetzten Abfällen (Siedlungsabfälle, Klärschlämme, Erdaushub, Bauschutt). Entlang der Abbaukante ist eine zwischen 1976 und 1983 eingebrachte vertikale mineralische Dichtung vorhanden.

Vor Beginn der Arbeiten wurde die genaue Lage der früheren Abbaukante und der vertikalen mineralischen Dichtung mittels Suchschlitzen erkundet.

Die Dichtung wurde durch entsprechenden Sicherheitsabstand und Variation der Wirtiefen der DYNIV vor Beschädigungen geschützt. Ein Eindringen des grobkörnigen Verfüllmaterials der Einschlagkrater in die Dichtung war somit nicht zu besorgen.

Den Setzungsberechnungen zur Ermittlung der Setzungsdifferenzen zwischen Abbaukante und Müllkörper lagen Steifemoduli des Müllkörpers wie folgt zu Grunde.

$$\text{cal } E_S = 1 \text{ bis } 2 + 0,05 \text{ pro meter Tiefe } [\text{MN/m}^2]$$

Der Steifemodul des Müllkörpers war somit in der Randzone (15 m Breite auf der Nord- und Nordostseite, 10 m auf der Süd- und Südostseite) mindestens auf das 3-fache zu erhöhen. An diesen Bereich war eine Übergangszone anzuschließen (10 m Breite auf der Nord- und Nordostseite, 5 m auf der Süd- und Südostseite), in welcher der Steifemodul zur Verminderung von Setzungen mindestens um das 2-fache zu erhöhen war.

Die Verbesserung des Steifemoduls des Müllkörpers sollte mittels Pressiometertests (oder gleichwertigen Verfahren mit Eignungsnachweis) im Einvernehmen mit einem geotechnischen Gutachter nachgewiesen und dokumentiert werden.

Vor Ausführung der dynamischen Intensivverdichtung erfolgte ein Vorabtrag der bestehenden, mehrere Meter mächtigen Erdabdeckung im betroffenen Bereich. Ein Teil der abgetragenen Erdmasse wurde am Südrand der Deponie als statische Auflast zur Vorkonsolidierung durch Überschüttung aufgebracht. Hier war wegen des Verlaufes einer Hochspannungsleitung keine dynamische Intensivverdichtung möglich. Die statische Auflast wird nach entsprechender Liegezeit vor Ausführung der Oberflächenabdichtung im betreffenden Bereich wieder abgetragen und in der Rekultivierungsschicht bereits fertiggestellter Bauabschnitte eingebaut.

Aufgrund der Nähe der Deponie zu Wohn- und Nutzgebäuden (Wohnhaus nur ca. 60 m vom Deponierand entfernt, landwirtschaftliches Nutzgebäude unmittelbar angrenzend) sowie der vorhandenen deponietechnischen Einrichtungen (Gasdome, Pumpenschächte und Sickerwasserleitungen, Betriebsgebäude) war im Vorfeld der Verdichtungsarbeiten eine bautechnische Beweisaufnahme vorgesehen. Zudem waren begleitende Erschütterungsmessungen vorgesehen. Als Grundlage für die Ermittlung und Beurteilung der durch Erschütterungen verursachten Einwirkungen auf bauliche Anlagen sollte DIN 5130 Teil 3 dienen.

5 UMSETZUNG UND PROJEKTERFAHRUNGEN

5.1 Vorkehrungen und Zustandserfassung

Als erster Schritt zur Vorerkundung des Einflussbereiches der DYNIV erfolgte eine Luftbildauswertung auf ggf. vorhandene Verdachtsmomente von Sprengbombenblindgängern aus der Zeit des II. Weltkrieges. Stereoskopisch ausgewertet wurden insgesamt 19 Luftbilder aus dem Zeitraum Februar 1944 bis Juni 1945. Die Luftbildauswertung ergab keinerlei Verdachtsmomente auf das Vorhandensein von Bombenblindgängern. Im gegenteiligen Fall hätte sich die Erfordernis zur Einschaltung des Kampfmittelbeseitigungsdienstes Baden-Württemberg ergeben.

Um Beschädigungen der mineralischen Randdichtung der Deponie durch die DYNIV zu vermeiden wurde deren Lage und Ausbildung durch zahlreiche Suchschlitze erkundet. Hierbei zeigte sich in einigen Fällen keine Übereinstimmung mit den der Planung zugrundegelegten Unterlagen. Lage und Ausdehnung der DYNIV-Fläche wurden daraufhin den festgestellten tatsächlichen Zuständen der mineralischen Randdichtung angepasst.

Zur Erfassung der Steifigkeiten des Müllkörpers und späteren Kontrolle des Verdichtungserfolges wurden im geplanten DYNIV-Bereich insgesamt 18 schwere Rammsondierungen (DPH nach DIN 4094) und 14 Pressiometertests durchgeführt:



Abb. 2 Durchführung der Pressiometertests

Die DPH erreichten Tiefen zwischen 1 (Sondierhindernisse) und 15 m und wiesen im Mittel meist Schlagzahlen n_{10} zwischen 5 und 10 auf. Einzelne Lagen innerhalb des Müllkörpers wiesen abweichend hiervon un stetig deutlich höhere oder niedrigere Schlagzahlen nach.

Pressiometertests wurden in Tiefen bis 14 m unter Ansatzpunkt durchgeführt, Messungen erfolgten hierbei meist in Abständen von 1,5 bis 2 m.

Die Pressiometerversuche wiesen hierbei, analog zu den Ergebnissen der Rammsondierungen, stark schwankende Steifigkeiten des Müllkörpers nach (Menard-Module E_M zwischen ca. 4 und > 40 MPa). Im Mittel wurden meist Menard-Module E_M um ca. 10 – 15 MPa nachgewiesen.

Sowohl die Durchführung der Pressiometertests als auch der Rammsondierungen erwies sich als zeitintensiv, da aufgrund der Inhomogenitäten im Müllkörper zahlreiche Bohrpunkte neu angesetzt werden mussten bzw. trotz Schutzummantelung des Pressiometerkörpers immer wieder Schäden an der Pressiometersonde auftraten.

5.2 Beweissicherung und Kontrollmessungen im Umfeld

Vor Ausführungsbeginn erfolgte im Zeitraum 17.08.2004 bis 10.09.2004 eine bautechnische Beweissicherung und Bestandsaufnahme des Ist-Zustandes von benachbarten Gebäuden und baulichen Einrichtungen. Festgestellte Bauwerksschäden wurden aufgenommen und dokumentiert.

Die Dokumentation umfasste 12 Gebäude, 1 Sickerwasserspeicher, 1 Rohrspeicher und 2 Strommasten sowie 3 angrenzende Straßenbereiche in Entfernungen zwischen < 10 und ca. 120 m vom geplanten Verdichtungsbereich.

Nach Beendigung der Verdichtungsarbeiten erfolgte am 20.12.2004 eine erneute Begehung und Kontrolle der Bauteile. Wesentliche Veränderungen hinsichtlich eines relevanten Schadensbildes konnten nicht ermittelt werden.

Im Zuge von Anwohnereinsprüchen gegen die Ausführung der DYNIV wurde eine Prognose hinsichtlich der zu erwartenden Erschütterungen erstellt. Demnach war an einem ca. 120 m entfernten Wohnhaus mit einer Schwinggeschwindigkeit von ca. 0,42 mm/s zu rechnen. Dies sind weniger als 10% des gem. DIN 4150 Teil 3 angegebenen Grenzwertes. Dennoch ließ die Erschütterungsprognose eine Spürbarkeit der Erschütterungsimmissionen erwarten.

Nach den Anhaltswerten der DIN 4150 Teil 2 waren jedoch lediglich Erschütterungen der Stufe I (keine erhebliche Belästigung) zu erwarten.

Die ausführungsbegleitenden Erschütterungsmessungen erfolgten vor Ort mittels 3-Komponentengeophonen und einer Aufzeichnung der Messwerte mittels Seismogrammen:



Abb. 3 Ausführungsbegleitende Erschütterungsmessungen

Ermittelt wurden am benachbarten Gebäudebestand Schwinggeschwindigkeiten zwischen 0,3 mm/s und 1 mm/s. Diese Werte entsprachen den im Zuge der Erschütterungsprognose ermittelten Schwinggeschwindigkeiten und machten somit keine Veränderungen am geplanten Ausführungskonzept erforderlich.

Lediglich an einem Pumpenschacht im Nordosten der Deponie wurden bei 20 m Abstand mit Schwinggeschwindigkeiten von bis zu 20 mm/s Werte erreicht die hier vorsorglich eine Reduzierung der Fallhöhe auf 7 m erforderlich machten.

Generell ist festzustellen, dass die gemessenen Schwingungen mit der Zahl der Übergänge an einem Verdichtungspunkt eine eher zunehmende Tendenz aufweisen. Der Grund hierfür ist in der besseren Verdichtung des Untergrundes und somit einer Verringerung der Dämpfung zu sehen.

Schallpegelmessungen in Entfernungen von ca. 100 m vom Arbeitsbereich ergaben eine Einhaltung der gem. TA-Lärm angeordneten Immissionsrichtwerte. Die Messung des Geräuschpegels über eine halbe Stunde am Vormittag an einem Werktag ergab einen Beurteilungspegel von 54 dB(A).

5.3 Geräteinsatz und verwendetes Fallgewicht

Die Dynamische Intensivverdichtung wurde mittels eines Raupenbaggers Liebherr Typ 883 mit einem Einsatzgewicht von 120 to ausgeführt. Als Schlaggewicht wurde eine quadratische, 28,5 to schwere Metallplatte mit 2,4 m Seitenlänge verwendet.



Abb. 4 Schlaggewicht 28,5 to

5.4 Verdichtungsraaster, Wahl von Eindringtiefe und Fallhöhe

In der Erstkonzeption wurden für den mittels DYVIV zu bearbeitenden Deponieteil zunächst nur die Bereiche „Randzone“ und „Übergangszone“ abgegrenzt. Gemäß geotechnischer Vorgabe sollte in der außen gelegenen, 5 – 10 m breiten Randzone eine Verdreifachung, in der innen gelegenen, 15 – 25 m breiten Übergangszone eine Verdoppelung des vorhandenen Steifemoduls erfolgen. Somit waren unterschiedliche Energieeinträge in den beiden Zonen zu erzielen.

Über beide Zonen wurde ein gleichmäßiges Verdichtungsraaster gelegt, die Flächen sollten hierbei in bis zu 4 Übergängen bearbeitet werden. Die Einflussfläche pro Schlagpunkt ergab sich bei einer Rasterweite von 7 m zu jeweils 24,5 m².

Aufgrund der stark unterschiedlichen Müllmächtigkeiten (zwischen 7 und > 18 m) und der im Standartvorgehen erzielbaren Tiefenwirkung von 14,5 m (bei Fallgewicht 28,5 to und 15 m Fallhöhe) wurde eine weitere Unterteilung des Verdichtungsgebietes mit differenzierten Schlagzahlen und Fallhöhen umgesetzt:

	Nummer Übergang	Bereich 1(14 – 18,5 m Müllmächtigkeit)	Bereich 2(10 – 14 m Müllmächtigkeit)	Bereich 3 (7 – 10 m Müllmächtigkeit)
Randzone	1 und 2	4 x 20 m	1 x 15 m	1 x 10 m
Randzone	3 und 4		2 x 15 m	2 x 10 m
Übergangszone	1 und 2	3 x 20 m	1 x 15 m	1 x 10 m
Übergangszone	3 und 4		2 x 15 m	2 x 10 m

Tab. 1 Unterteilung des Verdichtungsgebietes mit differenzierten Schlagzahlen und Fallhöhen

5.5 Arbeitsschutz, Baustellen- und Umfeldsicherung

Die gesamte Bauausführung und die Arbeiten zur Dynamische Intensivverdichtung unterlagen den Bestimmungen und Anforderungen lt. SIGE-Plan gemäß Baustellenverordnung.

Regelmäßige Baustellenbesuche des eingeschalteten SIGE-Koordinators begleiteten die Maßnahme organisatorisch und inhaltlich.

Nachdem sich unmittelbar angrenzend an den Verdichtungsbereich öffentliche Straßen (Kreis- und Landesstraße) und Wege sowie Wohn- und Nutzgebäude befanden, mussten Maßnahmen gegen den zu erwartenden Streuflug getroffen werden. Dies geschah vorbereitend durch die Aufschüttung eines ca. 3 m hohen Erdwalls entlang der äußeren Grenze des Verdichtungsbereiches.

Hin zum Baufeld erfolgte eine Absperrung des Arbeitsbereiches durch Warnschilder und entsprechende Führung des Baustellenverkehrs um den Arbeitsbereich herum.

Während der Arbeiten bestand für das anwesende Personal und Besucher grundsätzlich Tragepflicht für Helm, Schutzbrille, Warnweste und Sicherheitsschuhe. Ein unmittelbarer Aufenthalt am arbeitenden Gerät war untersagt. Für das Mess- und Bedienungspersonal wurde eine Schutzhütte vorgehalten. Seitens der ausführenden Firma war zudem vor Beginn der Arbeiten eine Arbeitsanweisung zu erstellen.



Abb. 5: Streuflug während der Verdichtungsarbeiten

Im Zuge der Arbeiten stellte sich heraus, dass einzelner Streuflug in den öffentlichen Straßenraum trotz des geschütteten Erdwalls nicht sicher vermieden werden konnte.

Daraufhin wurde versucht, dies mittels sukzessive mitgeführten Bauzaunelementen und vorgehängten Planen zu vermeiden. Da jedoch ein ständiges Mitführen der

Bauzaunelemente hohen personellen und zeitlichen Aufwand erforderte und zudem starke Windeinwirkung erfolgte, stellte sich dieser Lösungsansatz schnell als wenig praktikabel heraus.

Stattdessen wurden nun auf der Krone des Erdwalls jeweils in der Länge eines kompletten Verdichtungsabschnittes Stahlträger mit 3 m Überstand eingebracht und diese mit engmaschigen Gerüstbaunetzen abgehängt. Mittels dieser Maßnahme konnte ein Streuflug aus dem Baufeld heraus sicher abgefangen werden, es ergab sich keine Verkehrsbeeinträchtigung und keine Gefährdung auf den angrenzenden Straßen.

Streuflug trat zudem meist nur bei den jeweils ersten Schlägen am Verdichtungs- punkt auf. Nach Verfüllung der Einschlagkrater mit trockenem, körnigem Bodenmaterial bzw. Bauschutt fand nahezu keine Streuwirkung mehr statt.

Für den Fall dass technische Schutzmaßnahmen zu keiner ausreichenden Sicherheit für den öffentlichen Straßenverkehr geführt hätten, wurde im Vorfeld der Arbeiten, in Abstimmung mit den zuständigen Behörden, vorsorglich eine Umleitung bzw. temporäre Teilsperre mittels Ampelregelung vorbereitet.

5.6 Herstellung von Arbeitsplanum und Aufstandsfläche

Größte Sorgfalt musste auf die Herstellung des Arbeitsplanums für den Raupenbagger verwendet werden. Bei einer Ausliegerlänge von 40 m und Fallhöhen des Gewichtes bis zu 20 m waren an die Ebenheit der Arbeitsfläche hohe Anforderungen zu stellen. Das Gewicht des Großgerätes von ca. 120 to machte zudem die Herstellung einer befahrbaren Arbeitsfläche erforderlich.

Vor Beginn der Arbeiten wurde daher der über dem Müll lagernde Rekultivierungsboden im Regelfall bis auf 0,5 m über dem Müllhorizont abgetragen. In Bereichen mit geringerer Überdeckung des Müllhorizontes wurde teilweise der Altmüll freigelegt. Anschließend erfolgte im gesamten späteren Arbeitsbereich der Intensivverdichtung der verdichtete Einbau einer mindestens 0,5 m starken Lage aus Bauschutt.

Lokale Abweichungen der Oberkante des Müllhorizontes und die Erfordernis nach möglichst geringem Längs- und Quergefälle der Arbeitsfläche ergaben vereinzelt die Erfordernis nach einem stärkeren Arbeitsplanum mit bis zu 1 m Stärke.

Das Volumen der hergestellten Arbeitsfläche wurde vermessungstechnisch aufgenommen und mittels eines digitalen Geländemodells errechnet. Für die Herstellung der Arbeitsfläche wurden ca. 21.000 m³ Material angeliefert und eingebaut. Zur Verwendung kamen bevorzugt gemischtkörniger Bauschutt, Ziegelbruch, kiesiges Bodenmaterial, etc. Analog zum sonstigen Profilierungsmaterial hatte das Material den Zuordnungswerten der Deponieklasse II zu entsprechen.

Während der Arbeiten war eine permanente Nachbesserung des Arbeitsplanums erforderlich um unzulässige Schiefstellungen des Großgerätes zu vermeiden (Unterfüttern der Raupenkettens mittels Radlader und kiesigem Bodenaushub).

5.7 Ausführung der dynamischen Intensivverdichtung

Nach Fertigstellung des Arbeitsplanums wurden zunächst außerhalb des späteren Verdichtungsbereiches einzelne Testschläge mit variablen Fallhöhen ausgeführt. Diese dienten zur orientierenden Abschätzung des zu erwartenden Streufluges, der Eindringtiefen, der entstehenden Erschütterungen sowie zur Kontrolle der automatischen Messwerverfassungen am Gerät selbst. Auf die Erstellung eines Testfeldes im engeren Sinne wurde hierbei bewusst verzichtet, da die stark inhomogenen Verhältnisse im Müllkörper nur eine sehr bedingte Übertragbarkeit der in einem Testfeld gewonnenen Ergebnisse auf die Gesamtfläche ermöglicht hätten. Stattdessen hatte man sich für eine ausführungsabhängige Anpassung des vorgegebenen Grundkonzeptes entschieden.

Nach endgültiger Aufstellung des Baggers am Startpunkt wurde der 1. Übergang jeweils über die komplette Breite des Verdichtungsfeldes in einem Zug ausgeführt, anschließend erfolgte der 2. Übergang mit den mittig zwischen den Punkten des 1. Überganges gelegenen Schlagpunkten.



Abb. 6: Verdichtungsbereich mit Darstellung der Schlagtrichter

Nach Abarbeitung des arbeitstäglichen Verdichtungsfeldes erfolgte das Aufmaß der entstandenen Schlagtrichter und die Wiederverfüllung der entstandenen Schlagtrichter mit vorgehaltenem Bauschutt bzw. kiesigem Bodenmaterial. Anschließend wurde die Arbeitsfläche wieder als ebene Aufstandsfläche für das Gerät hergestellt.

Die Ausführung des 3. und 4. Überganges erfolgte analog zum Vorgehen bei den ersten beiden Übergängen (Fallhöhe und Anzahl Schläge gem. den Angaben in Kap. 6.4).

Nach erneuter Verfüllung der Einschlagtrichter des 3. und 4. Übergangs erfolgte zum Abschluss jedes Verdichtungsabschnittes das sog. „Plätten“ des Arbeitsbereiches. Hierbei ebnet das Fallgewicht aus einer Fallhöhe von 3, 5 m den Arbeitsbereich abschließend ein.

5.8 Messwerterfassung und Erfolgskontrolle der Verdichtung

Im ursprünglichen Ausführungskonzept war vorgesehen, die Bewertung des Verdichtungserfolges primär mittels Vergleichsmessungen durch Rammsondierungen und Pressiometerversuche vorzunehmen.

Die Messungen sollten an den gleichen Punkten stattfinden wie die Messungen vor Beginn der Ausführung. In der Praxis zeigte es sich jedoch, dass sowohl durch die Rammsondierungen als auch durch die Pressiometertests keine hinreichend gesicherten Vergleichswerte zu erzielen waren. Im Extremfall zeigten einzelne Ergebnisse sogar eine angebliche Verringerung der Lagerungsdichte bzw. Steifigkeit im Müllkörper nach Ausführung der DYNIV an. Über die entstandenen Einschlagtrichter ließ sich jedoch eine eindeutige Materialkompression an diesen Punkten nachweisen, Aufwölbungen an der Oberfläche konnten nicht festgestellt werden.

Der Grund für diese Messwertdiskrepanzen ist in den erheblichen lokalen Inhomogenitäten im Müllkörper zu sehen. Die Erfolgskontrolle mittels Rammsondierungen und Pressiometrie wurde daher vor Ort nicht weiter verfolgt und die Versuche eingestellt.

Als Ergebnis dieser Feldversuche (insbesondere der Vorerkundungen) ist jedoch abzuleiten, dass im Müllkörper offenbar deutlich höhere Steifigkeiten vorliegen als wie in den ursprünglichen Setzungsberechnungen angenommen.

Somit waren andere Methoden zur Erfolgsbewertung der DYNIV anzuwenden. Verfahren der Wahl sind hierbei die Betrachtung von

- Erzielte Schlagtiefe und Verfüllvolumen der Schlagtrichter
- Gesamtsetzung der Arbeitsfläche
- Energieeintrag

Die Tiefenmessung der Einschlagtrichter erfolgt automatisch bei Ausführung am Gerät. Vor dem Schlag wird hierbei das Fallgewicht mit gestrafftem Seil auf der Geländeoberfläche aufgestellt, nach dem Schlag wird der Nachlauf des Seils gemessen. Um diesen cm-Betrag ist das Gewicht dann in den Boden eingedrungen.

Das Volumen der Einschlagtrichter wurde als Kegelstumpf berechnet (Untere Seitenlänge 2,4 m, Tiefe gem. Messung, Seitenwinkel 30°). Kontrollmessungen fanden laufend mittels GPS-gestützter Vermessungsaufnahme statt.

Es ergaben sich Einschlagtiefen von bis zu 1,5 m, im Mittel wurden jedoch meist Schlagtiefen von deutlich unter 1 m realisiert.



Abb. 7: Einschlagtrichter, $t = 1,5$ m

Die erzielte mittlere Setzung des mittels Tiefenverdichtung bearbeiteten Deponiebereiches beträgt in einzelnen Teilbereichen bis zu 1 m, die stärksten mittleren Setzungen sind hierbei meist in den unmittelbaren Randbereichen der Deponie am Übergang zum anstehenden Gelände zu verzeichnen.

Allerdings sind auch Bereiche zu verzeichnen, in denen, trotz dem im Vergleich hohen Energieeintrag, nur geringe mittlere Setzungen zwischen 10 und 20 cm erzielt werden konnten.

Offensichtlich besteht der Müllkörper hier zu hohen Anteilen aus nur wenig kompressiblem Ablagerungsgut (hoher Bauschuttanteil) oder bestehen alte Baustraßen und Fahrwege aus dem früheren Deponiebetrieb.

Gerechnet im Mittel über die gesamte bearbeitete Fläche wurde eine mittlere Setzung in Höhe von 31 cm erzielt.

Der Energieeintrag pro Schlagpunkt (to x m/m^2) ermittelt sich aus der Anzahl der Schläge, dem Fallgewicht und der Fallhöhe. Erzielt wurden Eintragsenergien zwischen 36,6 und 98 to x m/m^2 .

Anhand dieser Ausführungsergebnisse und den offenbar, im Vergleich zu den ursprünglichen Annahmen deutlich höheren mittleren Ausgangssteifigkeiten im Müllkörper, konnte somit seitens der geotechnischen Fremdüberwachung ein Erreichen der Zielvorgaben festgestellt werden.

5.9 Zeitlicher Ablauf der Intensivverdichtung

Die 900 Schlagpunkte des vorgegebenen Verdichtungsrasters auf der ca. 25.000 m^2 umfassenden Verdichtungsfläche wurden im Zeitraum 23.11.2004 - 13.12.2004 mit bis zu 4 Übergängen, maximal 4 Schlägen pro Schlagpunkt und anschließendem Platten bearbeitet. Die Ausführung erfolgte an sechs Arbeitstagen pro Woche bei Einsatzzeiten von bis zu 14 Stunden je Arbeitstag.

Der Fortgang der Verdichtung erfolgte hierbei von Süden nach Norden. Somit wurden zum einen die Fahrwege des Raupenbaggers minimiert, zum anderen konnte das Großgerät nach Beendigung der Arbeiten unmittelbar in der Nähe der Deponieausfahrt wieder demontiert und zum Abtransport vorbereitet werden.

Da im Deponiekörper nicht mit dem Auftreten hoher Porenwasserüberdrücke zu rechnen war, konnten die einzelnen Übergänge in einem Verdichtungsabschnitt oft innerhalb eines Arbeitstages erfolgen.

Nachdem die Zufahrt des Raupenbaggers zum ersten Schlagpunkt über den kompletten späteren Verdichtungsbereich erfolgen musste, war es erforderlich vor Beginn der Arbeiten das Planum für die Zufahrt des Gerätes zu schaffen. Dies erfolgte im Zuge der ohnehin auszuführenden Profilierungsarbeiten. Lediglich die Herstellung der sehr ebenen Aufstandsfläche in den einzelnen Verdichtungsabschnitten erfolgte jeweils kurzfristig vor Verdichtung der einzelnen Abschnitte. Die Aufstandsfläche musste jeweils nach Verfüllung der Einschlagtrichter eines Überganges sorgfältig wieder hergestellt werden.

Die erforderlichen vermessungstechnischen Arbeiten (Höhenaufnahme Planum und Aufstandsfläche, Volumenermittlung Einschlagkrater mittels GPS-gestütztem System) sowie die geotechnischen Kontrollmessungen konnten unmittelbar im Zuge der Verdichtungsarbeiten erfolgen und hatten keine zeitliche Auswirkung auf den Ablauf der DYNIV.