

Besondere Herausforderungen beim Bau eines Logistik-Zentrums auf einer Bergehalde in der Emscher-Zone

Dipl.-Ing. Peter Priggert, CDM Consult GmbH, Bochum
Dipl.-Ing. Adriano Rizza, IKEA Verwaltungs-GmbH, Hofheim-Wallau

Zusammenfassung

Auf einer 12 bis 15 m hohen Bergehalde im Norden von Dortmund, die bis 2002 als Lagerfläche für die nationale Kohle- und Koksreserve diente, errichtete IKEA im mehreren Bauabschnitten ein Logistikzentrum, das Kunden und Einrichtungshäuser in Europa auf dem Straßen- und dem Schienenweg bedient. Nach Baubeginn auf einer Teilfläche im Jahre 2001 (7,1 ha Gebäudefläche) wurden bei geringer, jedoch ausgedehnter Flächenlast Setzungen bis zu 15 cm innerhalb weniger Monate beobachtet. Nach weitergehenden Erkundungen und Luftbildauswertungen ergab sich als Ursache der festgestellten Setzungsmulde die ehemals nur zeitweise und nicht flächendeckend gelagerten Kohlehalden, die bereichsweise zu einer Verdichtung des Untergrundes und somit zu einer Vorwegnahme von Setzungen geführt hatten. Im Bereich der nachgewiesenen Setzungsmulde zeigten die vorhandenen Luftbilder keine Kohlehalden und somit keine bereits entsprechend wirksamen Vorbelastungen. Der Baugrund im Bereich der Setzungsmulde wurde daraufhin durch rasterförmig angeordnete Verdichtungsinjektionen verbessert. In den im Jahre 2006 begonnenen weiteren Bauabschnitten, in denen u.a. drei zusätzliche Logistik-Gebäude auf einer Fläche von 32,7 ha errichtet wurden, erfolgten im Bereich der konventionellen Hallen im Vorfeld Fallplatten- und Rüttelstopfverdichtungen. Die Hochregallager wurden mit rasterförmig angeordneten Ortbetonrammpfählen gegründet, so dass insgesamt eine flexible Anpassung an die vorhandenen Gründungsverhältnisse und an die besonderen bautechnischen Anforderungen erzielt werden konnte.

1. Einleitung

Die Emscher und die dort durch den Bergbau verursachten Senkungen haben über einen Zeitraum von mehr als einem Jahrhundert eine ganze Region nachhaltig geprägt. Neben den unterschiedlichen Einflüssen aus dem Abbau der Steinkohle galt es jedoch darüber hinaus auch, die im Steinkohlebergbau bei der Herstellung unterirdischer Hohlräume sowie die beim Ab-

Besondere Herausforderungen beim Bau eines Logistik-Zentrums auf einer Bergehalde in der Emscher-Zone

bau der Kohle anfallenden so genannten „Bergematerialien“ einer geordneten Verbringung zuzuführen. Während vor 1920 dieses Material meist noch als Bergeversatz wieder zurück in die Grube verbracht wurde, musste das Material einhergehend mit den zunehmend flacheren Kohleflözen später in großen Bergehalden – möglichst in der Nähe der Abbauorte – aufgehaldet werden. So entstand z.B. in Dortmund Ellinghausen in einem ehemals landwirtschaftlich genutzten Bereich seit den 1950er Jahren eine ca. 12 bis 15 m hohe Bergehalde auf einer Fläche von knapp 135 Hektar. Diese Haldenfläche wurde durch die Ruhrkohle AG bis 2002 als Lagerstätte der nationalen Kohlen- und Koksreserve genutzt, so dass sich auf dieser Bergehalde neben Wegen und Bahngleisen noch einmal teils deutlich höhere Erhebungen infolge der Kohlehalden weithin sichtbar zeigten.

2. Standort

Der hier betrachtete Standort befindet sich im Norden von Dortmund, ca. 6 km nordwestlich des Stadtzentrums bzw. ca. 2 km südlich der Autobahn A 2. Die Bergehalde wird umgrenzt von dem Dortmund-Ems-Kanal im Osten, der Emscher im Westen und dem Holthausener Bach im Norden (siehe Abb. 1). Die Zufahrt zu diesem Plateau erfolgt von Süden über zwei Straßen, ausgehend von der Ellinghauser Straße.

Die Bergehalde stellt die Fläche des heutigen Güterverkehrszentrums (GVZ) Ellinghausen dar. Das Grundstück wurde in mehreren Schritten zwischen 2001 und 2007 vollständig durch IKEA erworben. Im Februar 2010 hatten mehr als 1.700 Menschen ihren regelmäßigen Arbeitsplatz im GVZ Ellinghausen, davon gut 1.300 direkt bei IKEA und etwa weitere 400 bei von IKEA am Standort beauftragten Dienstleistern.

Das Distributionszentrum Dortmund-Ellinghausen besitzt eine große Bedeutung innerhalb der Distribution von IKEA. Im nordwestlichen Bereich des GVZ Ellinghausen errichtete IKEA in den Jahren 2001 und 2002 das Kundenorderdistributionszentrum („CDC“), das 2003 seinen Betrieb aufgenommen hat. Von hier aus werden alle Kunden in Deutschland, Belgien und den Niederlanden beliefert, die ihre Ware über IKEA Homeshopping oder im Einrichtungshaus bestellt haben.

In den Jahren 2006 und 2007 wurden direkt östlich und südlich des Kundenorderdistributionszentrums zwei weitere Abschnitte („ELF 1“ und „ADO 1“) errichtet, die beide der Belieferung aller europäischen IKEA-Einrichtungshäuser mit bestimmten Sortimenten dienen, insbesondere kleinvolumigen Artikeln und Aktivitätswaren.

Die derzeit letzte Erweiterung um einen vierten Bauabschnitt („ELF 2“) ganz im Süden des GVZ Ellinghausen erfolgte in den Jahren 2008 und 2009. Dieser Bauabschnitt dient ebenfalls der Belieferung aller europäischen Einrichtungshäuser.

Das Luftbild der Abbildung 1 zeigt einen Überblick (Blickrichtung Nordwest) über die bauliche Situation im Jahre 2009.

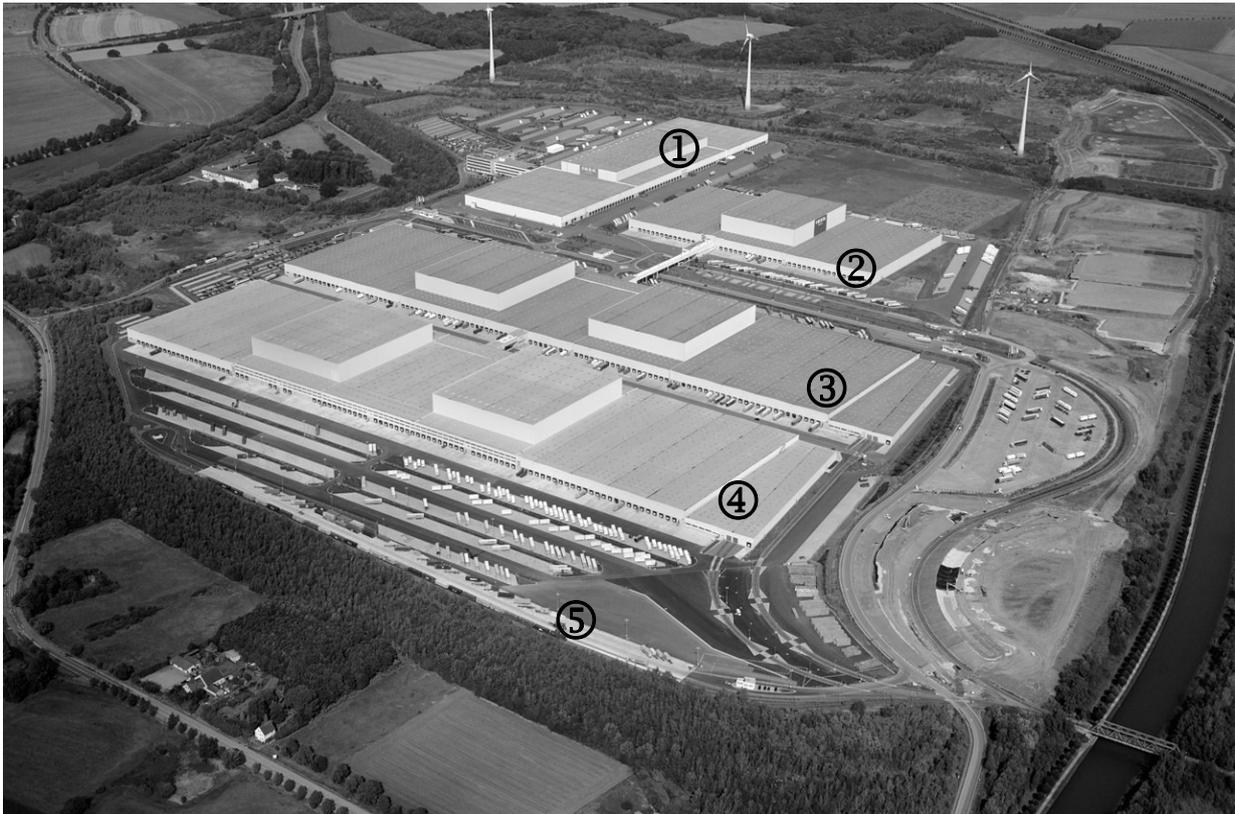


Abbildung 1: Überblick über die Gebäude ① = CDC (2001/2002), ② = ADO 1 (2006/2007), ③ = ELF 1 (2006/2007), ④ = ELF 2 (2008/2009), ⑤ = Containerumschlag. An den Bildrändern sind die Emscher (links oben) und der Dortmund-Ems-Kanal (rechts) zu erkennen. Links unten verläuft die Ellinghauser Straße.

Neben der Distributionsfunktion ist Dortmund-Ellinghausen auch Standort der IKEA-Einheiten „IKEA IT“ als Bestandteil der weltweiten IT-Organisation und „IKEA Trading“. IKEA-Trading stellt die Einkaufsorganisation dar und betreut vorwiegend Lieferanten in Deutschland, den Niederlanden, Schweden, der Slowakei, Litauen, Estland, Lettland und Dänemark.

Die Waren werden von Dortmund aus an Kunden in Deutschland, Belgien und den Niederlanden sowie in mehr als 200 Einrichtungshäuser zwischen Haparanda im Norden, Sevilla im Süden, Dublin im Westen und Novosibirsk im Osten verteilt. Der Warenein- und

Besondere Herausforderungen beim Bau eines Logistik-Zentrums auf einer Bergehalde in der Emscher-Zone

Ausgang verläuft über Straße und Schiene, wobei 2009 auch eine große Container-Umschlaganlage zur Verlagerung des Transports auf die Schiene errichtet wurde.

Der Tabelle 1 sind die Daten zu den einzelnen Distributionszentren zu entnehmen.

Tabelle 1: Übersicht über die Distributionszentren

	CDC	ELF 1	ADO 1	ELF 2	Summe
Bauzeit	2001 - 2002	2006 - 2007	2006 - 2007	2008 - 2009	
Abmessungen (m):	475 x 150	750 x 180	325 x 170	730 x 180	
Grundfläche (m ²):	71.000	140.000	58.000	129.000	398.000
Höhe (m)	10 / 25	12 / 33	12 / 34	12 / 33	
Lagerplätze (Stk.):	66.000	300.000	130.000	295.000	791.000
Hochregallager:	1 (12 Ebenen)	2 (17 Ebenen)	1 (18 Ebenen)	2 (17 Ebenen)	6
Lkw-Tore (Stk.):	125	200	90	185	600
Anzahl Lkw-Parkplätze (Stk.)					1.100
Anzahl Flurförderfahrzeuge (Stk.)					600
Arbeitsplätze (Stk.):					1.700
Platzangebot Arbeitsplätze Office (Stk.):					450
Gesamtinvestition bislang (EUR):					370 Mio

3. Baugrundverhältnisse

Die Oberfläche der Bergehalde ist relativ eben und fällt in den Randbereichen der Aufschüttung teilweise steil ab.

Der Baugrundaufbau wird zunächst geprägt von den künstlichen Aufschüttungen, die überwiegend aus Bergematerial mit untergeordnet verschiedenen Fremdkomponenten wie Schlacke, Bauschutt (Beton, Ziegel, Stahl und sonstige Bauabfälle) und Schotter bestehen. Die Mächtigkeit dieses anthropogenen Materials mit meist kiesigen Hauptbodenarten beträgt bis zu ca. 17 m. Die Materialien wurden seinerzeit ohne Verdichtung am Haldenrand lediglich abgekippt, so dass der Anteil größerer Materialien (Steine, Blöcke) zur Tiefe hin zunimmt.

Das darunter anstehende quartäre Lockergestein setzt sich überwiegend aus Schluffen mit wechselndem Feinsand- und Tongehalt zusammen. Diese Auenlehme und untergeordnet Au-

ensande erreichen Mächtigkeiten von ca. 10 m bis ca. 14 m. Bereichsweise können schwach humose bis stark humose (torfige) Einlagerungen vorhanden sein. Die Hochflutablagerungen liegen teilweise direkt den unterlagernden Kreide-Festgesteinen auf. In anderen Bereichen sind noch bis zu ca. 3 m mächtige, sandige Niederterrassenablagerungen zwischengeschaltet.

Der tiefere Untergrund des Untersuchungsgebietes wird von ca. 250 m mächtigen mergeligen Gesteinen der Oberkreide gebildet, die von tektonisch überprägten Ton-, Schluff- und Sandsteinen des steinkohlenflözführenden Oberkarbons unterlagert werden.

Die Grundwasserfließrichtung ist auf die Emscher hin gerichtet, die Flurabstände liegen zwischen ca. 10 m und 12 m. Der Grundwasserspiegel liegt somit insgesamt im Bereich der Basis des Bergematerials.

Abbildung 2 gibt einen schematischen Überblick über den vorhandenen Baugrundaufbau.

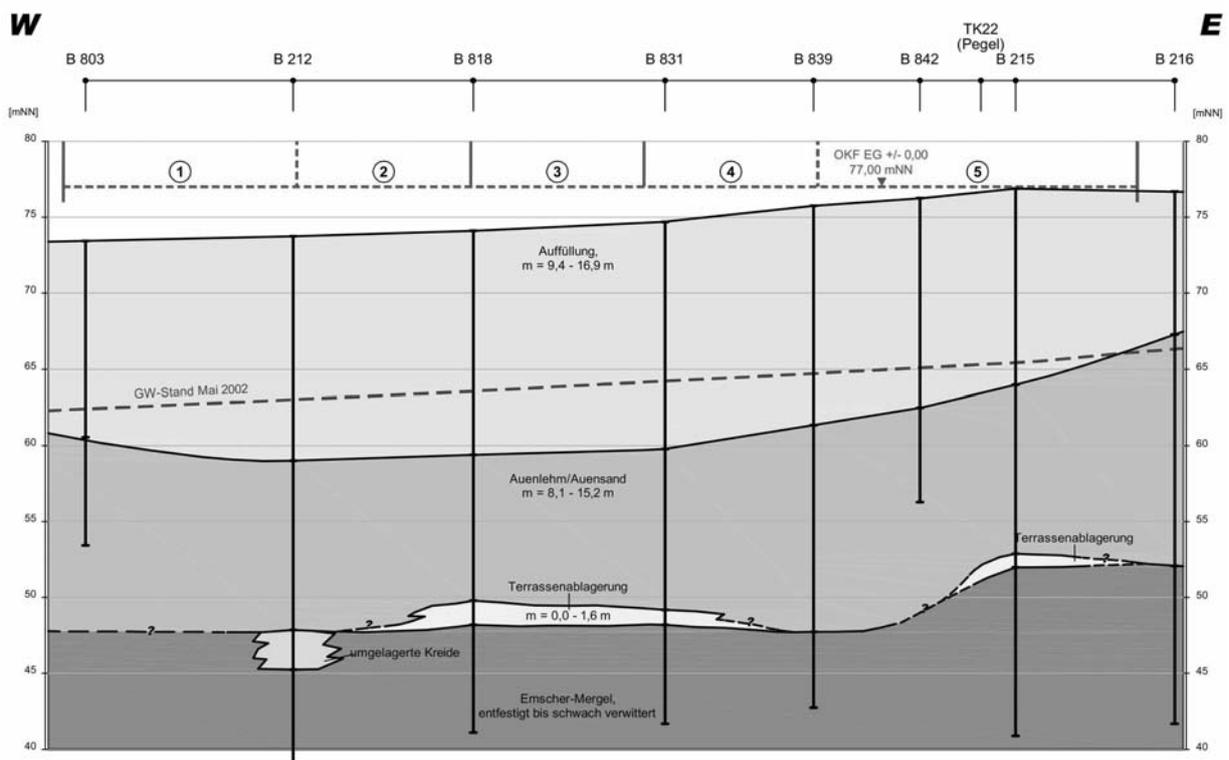


Abbildung 2: Schematisierter Baugrundaufbau (West-Ost) im Bereich ELF 2

4. Bau des Kundenorderdistributionszentrums (CDC) im Jahre 2001 / 2002

4.1 Randbedingungen

Im Nordwesten der Bergehalde befindet sich das im Jahre 2002 fertiggestellte Distributionszentrum „CDC“, das sich aus einem rechteckigen Hallengebäude mit Grundrissabmessungen von ca. 476 m x 149,5 m sowie einem 25 m x 61 m großen angegliederten Bürotrakt zusammensetzt. Den Kern bildet ein 25 m hohes Hochregallager (HRL) mit einer Fläche von 85 m x 211 m. Die übrigen „konventionellen“ Hallen bestehen aus einer Fertigteilkonstruktion mit Stahlbetonstützen und -bindern sowie Einzelfundamenten und erreichen Höhen von ca. 10 m.

Im Rahmen der Bauarbeiten wurde durch Auftrag eines Bodenpolsters und einer Stahlbetonbodenplatte $d = 0,4$ m im HRL bis zum November 2001 eine großräumige Flächenlast von ca. $\sigma = 40 \text{ kN/m}^2$ aufgebracht, die zu einer Beanspruchung des Untergrundes bis in große Tiefen führte. Begleitende Verformungsmessungen belegten im Tiefenbereich von ca. 3,5 m bis 14,5 m (Bergematerial) bereichsweise erhebliche Stauchungen (Setzungen) mit einer Größenordnung der muldenförmig ausgedehnten Gesamtsetzungen an der Geländeoberfläche bis zu 15 cm (Mai 2002).

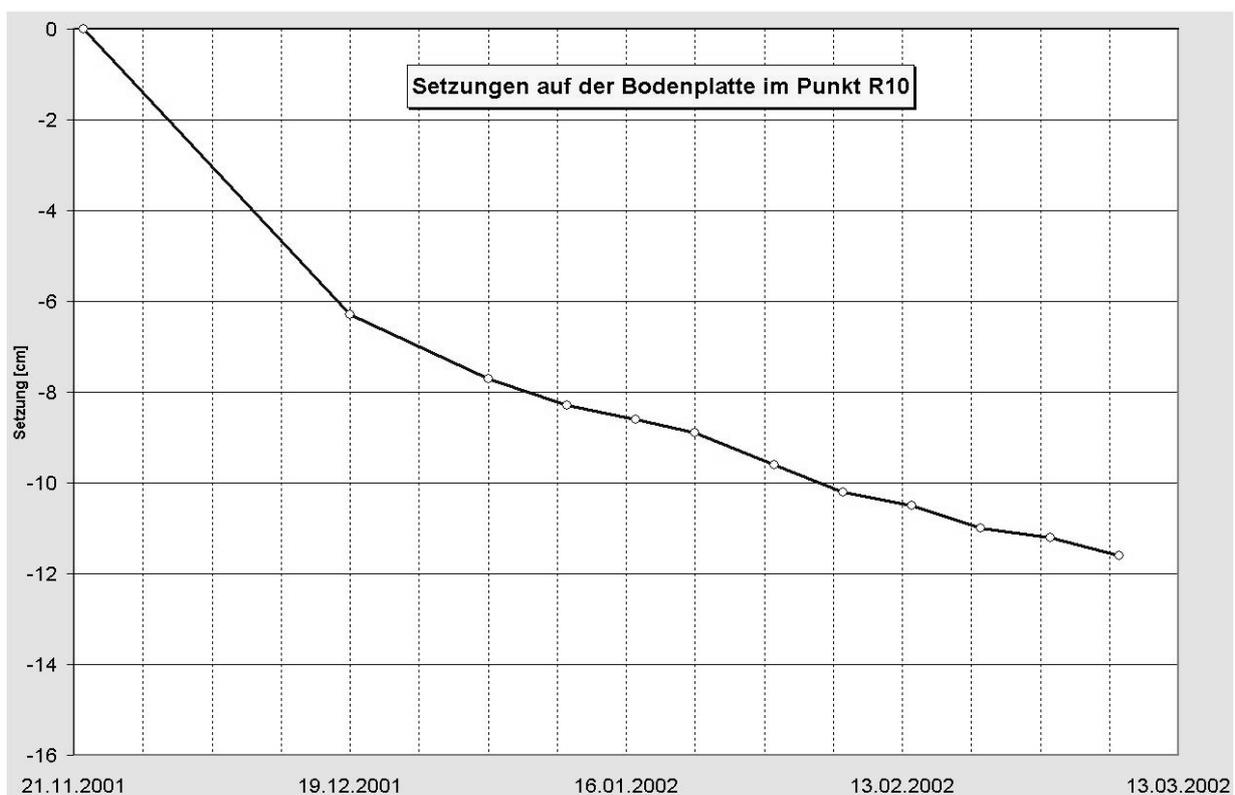


Abbildung 3: Beispielhafte Setzungsentwicklung eines Messpunktes im Hochregallager nach ca. 4 Monaten mit einer Last von ca. 40 bis 50 % der Endlast

Die bis zu diesem Zeitpunkt aufgebrauchte Flächenlast lag bei $< 50\%$ der später erwarteten Last. Die durch erhöhte Setzungen beeinflusste Fläche im HRL lag bei ca. 10.000 m^2 . Abbildung 3 zeigt die Setzungsentwicklung eines Messpunktes im Hochregallager bis März 2002.

Die insbesondere im Hochregallager bereits bei eher geringer Laststufe aufgetretenen Setzungen übertrafen deutlich die Erwartungen. Für den Endzustand und den verformungsempfindlichen Betrieb der automatischen Regalbeschickung – die Regalaufstellung hatte teilweise bereits begonnen – war unter der Randbedingung des erst im Betrieb anfallenden hohen Verkehrslastanteils keine Gebrauchstauglichkeit gegeben. Die Bodenplatte wies eine starke Durchbiegung auf, war jedoch an der Oberfläche visuell noch intakt und zeigte keine Rissbildungen. An einzelnen Wandstützen des Hochregallagers wurden Schiefstellungen gemessen, die Auflagerbereiche der Binder auf den Stützenkonsolen mussten aufgrund festgestellter Verformungen ebenfalls kontinuierlich beobachtet werden.

4.2 Baugrundeigenschaften

Nach Hinzuziehung von CDM und Durchführung von ergänzenden Baugrundaufschlüssen (Bohrungen, Schürfe, Drucksondierungen), geotechnischen Laborversuchen, Höhenmessungen an der Geländeoberfläche und Inklinometermessungen zeigten sich für den Bereich der die Gründungssituation prägenden Bergematerialien folgende Eigenschaften:

- Das Bergematerial bestand erwartungsgemäß aus verwittertem Ton-/Schluff- und Sandstein mit einem jedoch vergleichsweise geringen Wassergehalt von i.M. $5,0\%$; der Kiesanteil lag zwischen 5 und 77% , i.M. um 58% (siehe Abb. 4)

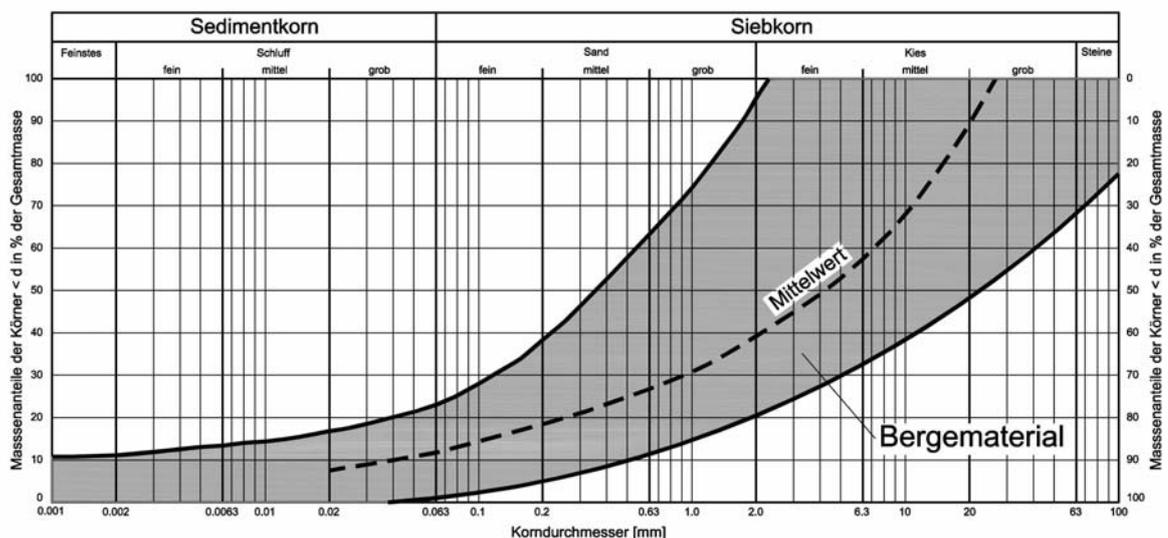
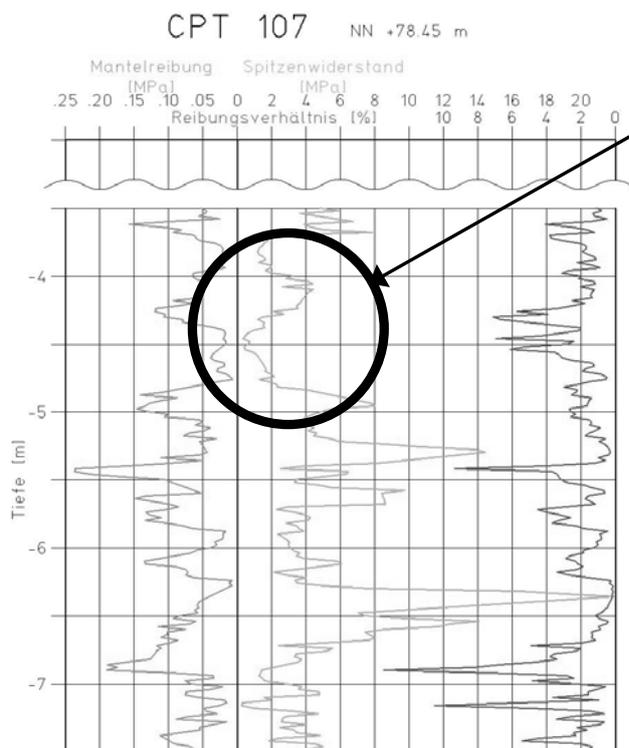


Abbildung 4: Körnungsband des Bergematerials

Besondere Herausforderungen beim Bau eines Logistik-Zentrums auf einer Bergehalde in der Emscher-Zone

- Die Kohleanteile lagen bei ca. 11,0 %
- Die Lagerung war als locker bis sehr locker zu bezeichnen (der Anteil an sehr lockerer Lagerung $q_c \leq 2,5 \text{ MN/m}^2$ lag zwischen 4,0 und 27,5 % je Sondieransatzpunkt); s. Abb. 5.
- Teilweise waren in Schürfen Grobanteile mit großen Porenräumen erkennbar, die Haufwerke zeigten Anteile an Steinen und Blöcken (siehe Abb. 6).
- Im Laborversuch bei Einbau mit lockerster Lagerung ergaben sich Steifemoduln von $E_s = 1$ bis 3 MN/m^2 .
- Eine Rückrechnung über die gemessenen Setzungen führte zu Steifemoduln im Bergematerial von 3 bis 6 MN/m^2 im Bereich der größten Setzungen.



ca. 0,5 m sehr lockere Lagerung,
ca. 0,2 m mit $q_c \leq 0,5 \text{ MN/m}^2$



Abbildung 5: Drucksondiererergebnisse (Auswahl)

Abbildung 6: Haufwerk Bergematerial

4.3 Ursachen der aufgetretenen Setzungen

Zusätzlich zu den geotechnischen Baugrunduntersuchungen wurde eine historische Luftbildrecherche durchgeführt. Hiermit konnte anhand der verfügbaren Luftbilder für bestimmte Zeitpunkte (zeitlicher Abstand ca. 2 bis 6 Jahre) festgestellt werden, wo seinerzeit Kohlehalden gelagert worden sind. Eine weitergehende Dokumentation aus dem Haldenbetrieb lag nicht vor. Es zeigte sich deutlich, dass sich für den hier maßgebenden Bereich des Hochregallagers signifikante Zusammenhänge zwischen den durch Kohlehalden ehemals überschütteten Bereichen und den durch erhöhte Setzungen bzw. durch erhöhte Setzungsraten auffälligen

Messbolzen ergeben (siehe Abb. 8). Nennenswerte Setzungen bzw. Setzungsraten traten nahezu ausschließlich in Bereichen auf, in denen auf den Luftbildern keine Kohlehalden festgestellt werden konnten (siehe Abb. 7). Gleichzeitig lagen die in den erkanntermaßen überschütteten Bereichen gemessenen Setzungen generell auf geringem Niveau.

Nach Auswertung der insgesamt vorliegenden Ergebnisse waren die tiefreichenden Spannungen infolge der aufgetragenen ausgedehnten Flächenlasten in Zusammenhang mit den auch in großen Tiefen noch signifikant zusammendrückbaren Materialien ursächlich für die bereichsweise aufgetretenen sehr hohen Setzungen.

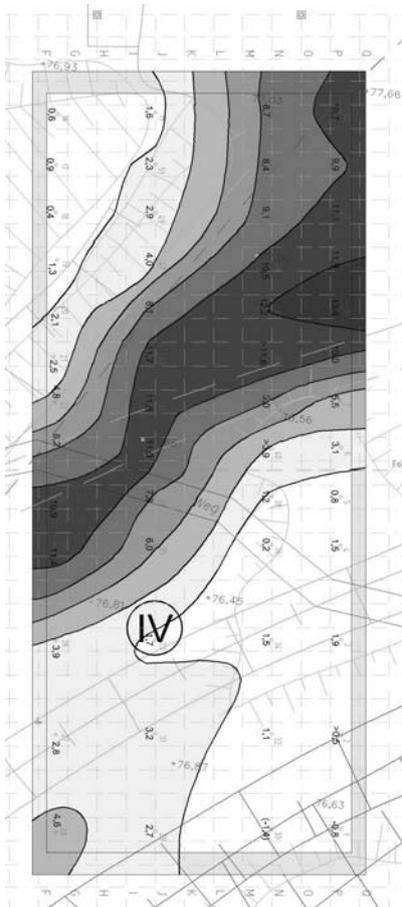


Abb. 7: Ausbildung der Setzungsmulde im Hochregallager



Abb.8: „Haldenfreie Zone“ anhand Luftbild

Die festgestellte „Setzungsmulde“ resultierte nach Auswertung der für verschiedene Zeitpunkte vorliegenden Luftbilder aus den nur temporär und nicht flächendeckend vorhandenen Kohlehalden, die bereichsweise zu einer Verdichtung des Untergrundes und somit zu einer Vorwegnahme von Setzungen geführt hatten. Im Bereich der nachgewiesenen Setzungsmulde

zeigten die vorhandenen Luftbilder keine Kohlehalden und somit keine bereits entsprechend wirksamen Vorbelastungen.

4.4 Sanierung

Auf Grundlage der dargelegten Situation war davon auszugehen, dass nach Aufbringen der weiteren Lasten (weitere 40 bis 50 kN/m² aus Regalen, Lagermaterialien etc.) resultierend aus den bereichsweise lockeren bis sehr lockeren Lagerungsdichten der Bergematerialien in Tiefen ab ca. 3,5 m unter Oberkante der Bodenplatte in jedem Fall nennenswerte zusätzliche, unterschiedliche Setzungen auftreten werden. Vor diesem Hintergrund sollten im bauzeitlichen Bestand Baugrundverbesserungen innerhalb der locker bis sehr locker gelagerten Bergematerialien durchgeführt werden, um künftige Schäden an der Bodenplatte bzw. an der Tragwerkskonstruktion zu vermeiden und um die Gebrauchstauglichkeit der Hallen zu gewährleisten. Da sich hinsichtlich der Höhenlage von Schichten mit geringer Lagerungsdichte keine bestimmten Bereiche oder Horizonte definieren ließen, wurde die Baugrundverbesserung im gesamten Tiefenbereich von 3,5 bis 14,5 m vorgesehen.

Mit der Sanierungsmaßnahme sollten die für die bisher eingetretenen außergewöhnlichen Setzungen maßgeblichen Bodeneigenschaften (Lagerungsdichte/Porenanteil, mittlere Steifigkeit) so verbessert werden, dass zukünftig erheblich geringere und gleichmäßigere Setzungen auftreten. Die Bodenverbesserung zielte ab auf die Unterschreitung eines Restsetzungsmaßes von < 5 cm und auf eine nach Regaljustierung noch auftretende maximale Winkelverdrehung von 1 / 750 innerhalb der verbesserten Bereiche (Bodenplatte und randliche Stützen).

Vor Beginn der Sanierungsmaßnahmen wurden jeweils Großversuche für folgende mögliche Verfahren in einem engen Zeitfenster durchgeführt:

- Rüttelstopfverdichtung
- Feststoffinjektion als flächige Auffüllung der Groblagen mittels Poreinjektion
- Compaction Grouting (Verdichtungsinjektion)

Eine nachträgliche Pfahlgründung oder sonstige Gründungsverbesserungen kamen aus diversen Gründen nicht in Frage. Die im Rahmen der Testfelder erzielten Ergebnisse sowie die bei den hier vorliegenden Randbedingungen maßgebenden Verfahrenseigenschaften und -kosten werden in der nachfolgenden Tabelle 2 gegenübergestellt.

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Testfeldergebnisse und der maßgebenden Verfahrenskriterien

	Rüttelstopfverdichtung	Poreninjektion	Compaction Grouting
Herausnahme der Bodenplatte erforderlich	ja	nein	nein
Anwendbar im Bereich der Stützenfundamente	nein	ja	ja
Erwartete Zugabemenge	ca. 8 % Volumenzugabe ca. 2 % Eigenverd. (1,7 – 2,0 m Raster)	ca. 20 % drucklos ca. >7 % druckhaft	ca. 12,5 % druckhaft
Eigengewicht der Baugr.-verbesserung	ca. 2,0 bis 2,5 t/m ²	ca. 4,0 bis 5,5 t/m ²	ca. 2,0 bis 2,5 t/m ²
Nachhebung möglich	nein Sondermaßnahmen notwendig	ja bei Einbau von Stahlventilrohren	nein Sondermaßnahmen notwendig
Erwartetes Nachsetzungsverhalten	Belastungsversuch erforderlich	Belastungsversuch erforderlich	Belastungsversuch erforderlich
Übergang in Randbereich mit geringeren Setzungen	Rasteraufweitung	Mengenreduzierung und/oder Rasteraufweitung	Mengenreduzierung und/oder Rasteraufweitung
Geschätzte Ausführungsdauer	RSV: 60 d Ausbau B.-platte: 25 d <u>Einbau B.-platte: 25 d</u> Gesamt (ca.): 110 d Sondermaßnahmen für Stützenbereiche (65d) parallel zu übrigen Arbeiten möglich	ca. > 175 d (für 7 % druckhafte Injektion)	ca. > 100 d (für 12,5 % druckhafte Injektion)
Geschätzte Kosten (ohne betriebsausfallbedingte Kosten)	4,5 bis 5,0 Mio. € netto	4,9 bis 5,5 Mio. € netto	5,4 Mio. € netto

Nach Abwägung der Vor- und Nachteile der o.g. Verfahren wurde seitens des Bauherrn entschieden, den Baugrund im Bereich des CDC mittels des Verfahrens „Compaction Grouting“ (Verdichtungsinjektion) zu verbessern. Ausschlaggebend dafür war insbesondere auch die geringere Zeitspanne für die Sanierungsdurchführung und die frühzeitige Möglichkeit der Freigabe von Teilbereichen für die weiteren Hochbauarbeiten. Aufgrund der eingetretenen Setzungen im Bereich der Bodenplatte und der Stützen waren bereits Arbeiten einzelner Ge-

Besondere Herausforderungen beim Bau eines Logistik-Zentrums auf einer Bergehalde in der Emscher-Zone

werke vorübergehend gestoppt worden, der Endtermin für die Fertigstellung der Hallenkomplexes sollte jedoch eingehalten werden.

Bei der Baugrundverbesserung mittels Compaction Grouting wird ein Injektionsrohr durch Einrütteln oder, wie im vorliegenden Fall, über eine Bohrung in den Untergrund bis auf Endtiefe abgeteuft. Als Injektionsmittel wird ein Sand-Zement-Mörtel verwendet. Zunächst wird das Injektionsrohr bis auf die geplante Endtiefe abgeteuft und dann i.d.R. um 0,5 m stufenweise gezogen (siehe Abb. 9). Das jeweilige Einpressen des Mörtels erfolgt über das Bohrgestänge bzw. über das Injektionsrohr mit Austritt an der unteren Spitze, wobei Drücke bis zu 70 bar aufgebracht werden können. Gleichzeitig verdichten die eingebrachten Mörtelkubaturen den angrenzenden Bodenraum und verbessern somit dessen Tragfähigkeit (Lagerungsdichte, Steifigkeit).

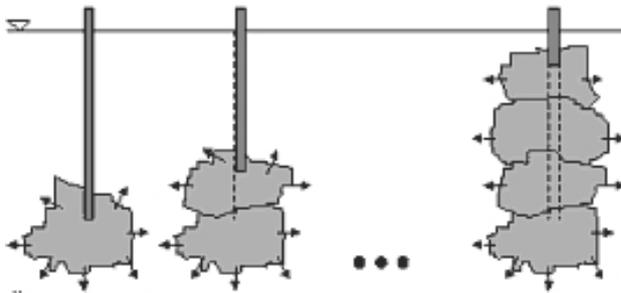


Abbildung 9: schematische Darstellung „Compaction Grouting“

4.5 Ergebnis

Im Rahmen der Sanierungsmaßnahme mittels Compaction Grouting wurden in der Zeit von Mai 2002 bis August 2002 insgesamt 3.310 lfdm. Säulen überwiegend in einem Raster von 2 m x 2 m bis in 14,5 m Tiefe hergestellt. Insgesamt wurden fast 27.000 t Spezialmörtel trocken auf der Baustelle angeliefert, vor Ort in Mischanlagen unter Zugabe von Wasser zu ca. 16.500 m³ Verpressmörtel verarbeitet und injektionsfertig angemischt. Der maximale Injektionsdruck lag bei 26 bis 40 bar. Die durchschnittlich injizierte Mörtelmenge je Ansatzpunkt ergab sich zu ca. 5,0 m³. Dies entsprach einem mittleren hergestellten idealisierten Durchmesser von 0,76 m bzw. einer Volumenzugabe von ca. 11,4 %. Die Verpressung in den Baugrund erfolgte mit insgesamt bis zu 9 Injektionseinheiten in 24h-Schichten. Die zusätzlich durch die Mörtelmassen eingebrachte mittlere Last im Rahmen der Sanierungsarbeiten betrug ca. 24,7 kN/m².

Die seit Oktober 2002 bis August 2009 gemessenen Setzungen an 80 Bolzen auf der Bodenplatte liegen zwischen 0,9 und 5,5 cm. Mit lediglich einer lokalen Ausnahme wurde das Sanierungsziel hinsichtlich der angestrebten Winkelverdrehung von $< 1:750$ überall erreicht.

5. Bau des Europäischen Zentrallagers in den Jahren 2006 bis 2009

5.1 Randbedingungen

Nach den Erfahrungen mit der Gründung des CDC wurde der Untersuchungsumfang für die angrenzenden Flächen zum Bau des Europäischen Zentrallagers (Distributionszentren für die Einrichtungshäuser) erweitert. Neben einer großen Anzahl an direkten und indirekten Aufschlüssen (Schlauchkernbohrungen, Rammsondierungen, Drucksondierungen) wurden umfangreiche bodenmechanische Laborversuche und historische Luftbildrecherchen durchgeführt. Die Untersuchungen dienten insbesondere dem Zweck, gering tragfähige bzw. nicht durch ehemalige Kohlehalden vorbelastete Bereiche zu identifizieren, um die erforderlichen Baugrund- und Gründungsverbesserungen technisch und wirtschaftlich zu optimieren.

Im Gegensatz zur Situation beim Bau des Kundenorderdistributionszentrums CDC konnte hier nunmehr eine Gründung unter neuen Randbedingungen entwickelt werden, da keine Einschränkungen durch vorhandenen Bestand zu berücksichtigen waren. Die Anforderungen an die Winkelverdrehung (Setzungsdifferenzen) der Bodenplatten in den Hochregallagern wurden im Hinblick auf die vollautomatischen Beschickungsanlagen mit 1:2.000 (1 cm Setzungsdifferenz auf 20 m Länge) festgelegt. In den übrigen Hallen wurde das Kriterium mit 1:500 angesetzt.

Die Flächenlasten lagen – ohne Berücksichtigung der Bodenaufschüttungen – in Größenordnungen von ca. 90 kN/m^2 (Hochregallager) bzw. 30 kN/m^2 (konventionelle Hallen).

5.2 Baugrundverhältnisse

Die Baugrundverhältnisse im Osten und Süden des CDC zeigten sich erwartungsgemäß hinsichtlich Zusammensetzung und Mächtigkeiten der einzelnen Schichten gut vergleichbar mit der Baugrundsituation im Nordwesten der Bergehalde am CDC. Darüber hinaus wurde Folgendes festgestellt.

Besondere Herausforderungen beim Bau eines Logistik-Zentrums auf einer Bergehalde in der Emscher-Zone

- Der Wassergehalt des Bergematerials war mit i.M. 7,6 % etwas höher.
- Im Osten wurden größere Felder an Kohlenschlamm (Hauptbodenart Schluff) in Tiefen bis 10,0 m erkundet.
- Die Kohleanteile lagen im Durchschnitt bei ca. 12,5 %, lokal bis über 20 %.
- Die vorliegenden Luftbilder weisen meist eine starke ehemalige Nutzung durch Kohlehaldden und Gleisanlagen aus. Größtenteils ist die Vorwegnahme von Setzungen aufgrund der sehr unterschiedlich ausgeprägten Haldenausdehnungen und -höhen sowie der mangels Dokumentation unbestimmten Lagerungszeiträume sehr differierend. Großflächige Zonen mit ausgedehnten Halden und langen Lagerdauern sind – anders als beim CDC – eher untergeordnet. Aufgrund der überwiegend fehlenden oder nicht sicher quantifizierbaren Vorwegnahme von Setzungen war überwiegend mit erhöhten bis stark erhöhten Zusammendrückbarkeiten zu rechnen.
- Nach Auswertung der verfügbaren Erkenntnisse – u.a. auch in Verbindung mit den Ergebnissen zum CDC – wurden Kriterien aufgestellt, die anhand der Ramm- und Drucksondiererergebnisse eine qualitative Bewertung der lokalen Zusammendrückbarkeiten ermöglichten. Anzustrebende Lagerungen der Bergematerialien im Bereich der konventionellen Hallen konnten beispielsweise etwa bei Eindringwiderständen $N_{10} \geq 6$ (DPH) festgelegt werden.

5.3 Gründungskonzepte

Auf Grundlage der vorliegenden Randbedingungen und der baulichen Anforderungen wurden für die einzelnen Gebäude und Gebäudeteile folgende Gründungen vorgesehen:

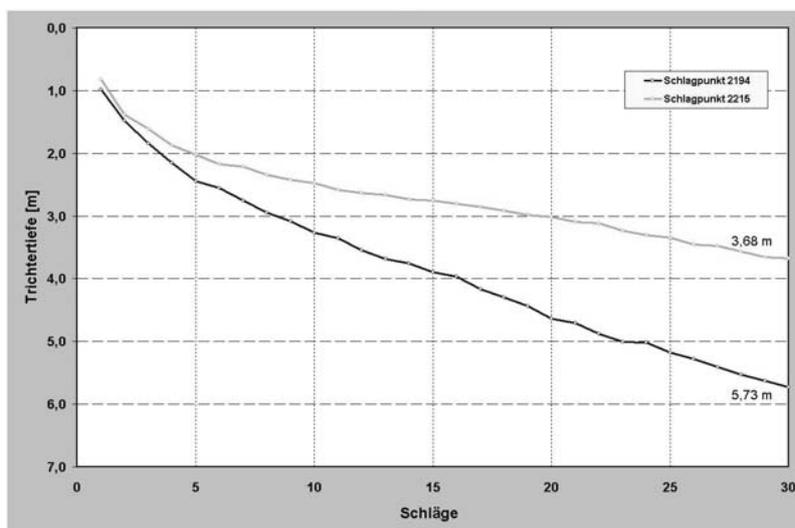
- Alle fünf Hochregallager der drei neuen Distributionszentren: Gründung mit Ortbetonrammpfählen bis in Tiefen von 17,5 m (ADO 1 und ELF 1) bzw. 23 m bis 28 m (ELF 2) und einer Gebrauchslast bis 2.000 kN, so dass die Gründung in den schluffig-sandigen Hochflutablagerungen oder den unterlagernden Terrassensanden erfolgte.
- Konventionelle Hallen ELF 1, ELF 2 und ADO 1 (nur Ost): Durchführungen von Fallplattenverdichtungen mit bis zu 3 Schlagphasen und einer Abschlussverdichtung mit maximalen Energieeinträgen von 30 t aus 30 m Höhe mit 30 Schlägen je Punkt
- Konventionelle Halle ADO 1 (nur West, im Nahbereich zum CDC): Durchführungen von Rüttelstopfverdichtungen im Raster von 3,5 m x 3,5 m bis 5,0 m x 5,0 m (je nach Baugrundsituation) bei dort insgesamt günstigeren Bedingungen infolge von Vorbelastungen

- Konventionelle Hallen im Bereich von Kohleschlämmen (ELF 1 und ELF 2, Ost): Durchführungen von Rüttelstopfverdichtungen
- Übergangsgebäude und Sozialgebäude: Durchführungen von Rüttelstopfverdichtungen im Bereich der Gründungskörper
- Office-Gebäude (unmittelbar westlich des CDC): Pfahlgründung mit Teilverdrängungspfählen mit Einbindung in den Mergel, ca. 28 m tief

Nachfolgend wird auf die Fallplattenverdichtungen und auf die Pfahlgründung der Hochregallager näher eingegangen.

5.4 Fallplattenverdichtung

Die Fallplattenverdichtung wurde in einem festgelegten Raster mit mehreren Übergängen durchgeführt. Das im Vorfeld konzipierte Verdichtungs raster sah die flächenhafte Tiefenverdichtung der konventionellen Hallenbereiche in drei Durchgängen (Schlagphasen) der Hauptverdichtung vor. Die Schlagphase 1 (Grobraster / Primärpunkte) diente zunächst neben den bereits vorliegenden Baugrunduntersuchungen einer zusätzlichen flächendeckenden Erkundung des Untergrundes, um die Lockerzonen großer bis sehr großer Zusammendrückbarkeit des Bergematerials weitergehend eingrenzen zu können. Das gewählte Grobraster wies im Regelfall Abmessungen von 18,90 m x 15,12 m auf und wurde großflächig über einen definierten Hallenbereich mit der gleichen Schlagintensität ausgeführt. In dieser Schlagphase 1 wurden pro Punkt 30 Schläge mit je 900 tm (Fallhöhe = 30 m, Fallgewicht = 30 t) realisiert. Anhand der gemessenen Schlagtrichtertiefen nach 30 Schlägen (siehe Abb. 10) und der Tie-



fenentwicklung erfolgte eine Bewertung und die Festlegung des Energieeintrags der nachfolgenden Schlagphasen, um den unterschiedlichen Vorverdichtungen bzw. Auflockerungen des Untergrundes Rechnung zu tragen.

Abbildung 10: Dokumentation der Schlagtrichtertiefen

Besondere Herausforderungen beim Bau eines Logistik-Zentrums auf einer Bergehalde in der Emscher-Zone

Die Schlagphase 2 wurde jeweils unter den Stützen der konventionellen Hallen angeordnet und wies in Feldmitte im Regelfall untereinander einen Abstand von 18,90 m x 7,56 m auf. Die Schlagphase 3 (Feinraster) wurde im Regelfall mit einem Abstand von 4,73 m (Y-Rtg) bzw. 3,78 m (X-Rtg) zu dem jeweiligen nächsten Schlagpunkt ausgeführt. Im Anschluss an die Tiefenverdichtung der Phasen 1 bis 3 erfolgte die Abschlussverdichtung der Oberfläche (Verdichtungstiefe bis ca. 2 m) mit 210 tm (Fallhöhe = 7 m, Fallgewicht = 30 t). Zum Abschluss wurde eine Oberflächenverdichtung mittels Vibrationswalze vorgenommen. Abbildung 11 zeigt eine Übersicht über die vor Ort verwendeten Geräte.



Abbildung 11: Pfahlarbeiten auf der Baufäche „ELF 1“ (links), Fallplattenverdichtungen im Baufeld „ELF 2“ (rechts)



In der Phase 1 wurden Trichtertiefen bis > 7 m gemessen (siehe Abb. 12). Je nach den gemessenen Trichtertiefen wurde die Anzahl der Schläge der Phase 2 auf 15, 20 oder 25 Schläge angepasst.

Abbildung 12: Schlagtrichter der Fallplattenverdichtung

Die unterschiedlichen Auflockerungen des Haldenkörpers gemäß den Ergebnissen der Fallplattenverdichtungen wurden detailliert dokumentiert. Entsprechend den Erkenntnissen aus den Ramm- und Drucksondierungen konnte auch baubegleitend belegt werden, dass die Zusammendrückbarkeit im südlichen Distributionszentrum ELF 2 ungünstiger war als in den nördlichen Grundstücksbereichen.

In der nachfolgenden Tabelle 3 erfolgt eine Zusammenstellung der Anzahl der Schlagpunkte und durchgeführten Schläge für die 3 verschiedenen Schlagphasen beispielhaft für das südliche Distributionszentrum „ELF 2“. Bei dieser Betrachtung werden nur die Schläge für die Verdichtungsphasen 1 bis 3 der Hauptverdichtung berücksichtigt.

Tabelle 3: Zusammenstellung der Anzahl der Schlagpunkte und Schläge im ELF 2

	Anzahl Punkte	Anzahl Schläge	Schläge je Punkt
Schlagphase 1	343	10.290	30,0
Schlagphase 2	689	15.785	22,9
Schlagphase 3	1.780	29.800	16,7
Gesamt	2.812	55.875	19,9

Im ELF 2 wurden insgesamt 2.812 Schlagpunkte mit 55.875 Schlägen und einem Energieeintrag von je ca. 900 tm verdichtet. Das ergibt eine durchschnittliche Anzahl Schläge je Schlagpunkt von 19,9. Im Vergleich zu den Ergebnissen des nördlich angrenzenden Distributionszentrums „ELF 1“ mit ein Gesamtschlagzahl von 51.060 Schlägen bei annähernd gleicher Anzahl an Schlagpunkten (2.805) und einer durchschnittlichen Anzahl Schläge je Schlagpunkt von 18,2 ist von einer ehemals höheren Zusammendrückbarkeit im Baufeld des ELF 2 auszugehen.

Die eingesetzten Geräte verfügen über eine automatische Windenbremse, die verhindert, dass das Seil bei Aufschlägen des Gewichtes lose schlägt. Der durch die Winde auftretende Energieverlust wird mit ca. 80 % abgeschätzt (Annahme). Unter Berücksichtigung dieser Abminderung lässt sich für die Fallplattenverdichtungsarbeiten im ELF 2 ein Gesamtenergieeintrag von ca. 4.030 kNm/m² annehmen. Die Abschlussverdichtung ist hierbei nicht berücksichtigt.

Auf Grundlage der Vorversuche und der Testfelder konnten die Abmessungen der Schlagtrichter überschlägig abgeschätzt werden und somit Rückschlüsse auf die einzubringende Menge für die Rückverfüllung gewonnen werden. In Abhängigkeit von den Trichtertiefen kann somit das Volumen des einzelnen Schlagtrichters bestimmt werden und für eine be-

Besondere Herausforderungen beim Bau eines Logistik-Zentrums auf einer Bergehalde in der Emscher-Zone

stimmte Fläche unter Berücksichtigung einer Wichtung der einzelnen Messpunkte die mittlere Absenkung des Geländes abgeschätzt werden.

Auf Grundlage der gemessenen Schlagtrichtertiefen und der abgeschätzten Ausbildung wurde exemplarisch für zwei Teilflächen von ca. 900 m² die mittlere Absenkung ermittelt. Dabei lagen die mittlere Absenkung der Geländeoberkante für die Fläche mit hoher Zusammendrückbarkeit zwischen ca. 1,05 m und 1,45 m und für die Fläche mit geringerer Zusammendrückbarkeit zwischen ca. 0,50 m und 0,75 m.

Unter Annahme einer mittleren Einwirktiefe der Fallplattenverdichtung von ca. 8 m wurde das vorhandene Poren- bzw. Hohlraumvolumen des Haldenkörpers im Bereich des ELF 2 im Mittel um ca. 12 % reduziert.

5.5 Pfahlgründung der Hochregallager

Auf Grundlage der vorhandenen Baugrundverhältnisse sowie unter Berücksichtigung der vorliegenden Anforderungen wurden für die Hochregallagerbereiche und teilweise für die angrenzenden Andienungshallen Tiefgründungen mittels Ortbetonrammpfählen einschl. Fußverbreiterung und Kiesvorverdichtung (KVV) durchgeführt. Durch die Festlegung von Rammkriterien führte die individuelle Fußausbildung und KVV zu einer Vergleichmäßigung der Tragfähigkeitseigenschaften. Das an die Anordnung der Regale angepasste Pfahlraster betrug – mit Ausnahme der Stützenbereiche – ca. 3,9 m x 5,5 m.



Abbildung 13: Errichtung eines Hochregallagers

Im Vorfeld der unterschiedlichen Bauabschnitte wurden insgesamt sechs Probelastungen in Bereichen unterschiedlicher Baugrundverhältnisse mit Pfahldurchmessern von jeweils $D = 56$ cm ausgeführt. Die Belastungsversuche basierten auf einer geplanten Gebrauchslast von 2.000 kN und wurden mit einer maximalen Last von 5.000 kN durchgeführt.

Für die Gründung der Bodenplatten unter den Hochregallagern wurden 1 x 539 sowie 4 x 660 = 3.179 Pfähle mit Pfahllängen zwischen ca. 17,5 m (ELF 1, ADO 1) und 23,0 m bis 28,0 m (ELF 2) eingebracht. Zusätzliche Pfähle wurden im Hinblick auf eine Minimierung der Setzungsdifferenzen unter den Stützen der angrenzenden zweigeschossigen Andienungshallen angeordnet.

Die Pfahlarbeiten erfolgten überwiegend mit vorlaufender Kopframmung, um das Einbringverfahren zu beschleunigen. Erst für die Rammung der letzten Meter wurde die Fußramme eingesetzt.

Die Bodenplatte wurde überall in den Hochregallagern in einer konstanten Dicke von 0,65 m ausgeführt.



Abbildung 14: Herstellung der Pfähle mit Kopf- und Fußrammen (Einsatz Kopframmgeräte nur zur Vorrammung); im Vordergrund fertiggestellte Pfahlköpfe

5.6 Ergebnis / Fazit

Die durchgeführten Baugrund- und Gründungsverbesserungen führten bei extrem ungünstigen Baugrundverhältnissen und teilweise sehr hohen Gründungsanforderungen zu einem reibungslosen Bauablauf ohne weitergehende Auffälligkeiten. Da eine ausreichend scharfe Abgrenzung hoher und geringer Zusammendrückbarkeiten des Bergematerials nicht möglich war, wurden die Verfahren der Baugrundverbesserungen so gewählt, dass eine technische und wirtschaftliche Anpassung im Rahmen des Bauablaufs möglich war. Auch die Pfahlgründungen der Hochregallager wurden anhand von Probelastungen sowie statischen Fallstudien im Vorfeld hinsichtlich Pfahlraster und Dicke der Bodenplatte optimiert. In der Bauphase gewährleistete der gewählte Pfahltyp eines Ortbetonrammpfahls mit Kiesvorverdichtung und Fußverbreiterung eine sehr gute Anpassung an die örtlichen Verhältnisse, so dass die hohen Anforderungen an die Winkelverdrehung sichergestellt werden konnten. Bei der Pfahldimensionierung wurden die zulässigen Pfahltragfähigkeiten im Hinblick auf eine Minimierung der Setzungsunterschiede deutlich unterschritten.

Die seit Baubeginn durchgeführten regelmäßigen Setzungsmessungen in den Hochregallagern des ELF 1 und ADO 1 führen zu mittleren Setzungen um 1,1 bis 2,2 cm (je nach HRL). Die Winkelverdrehungen liegen bei Betrachtung der Setzungsdifferenzen benachbarter Messbolzen im unteren Millimeterbereich und deutlich unterhalb der geforderten 1:2.000.

Vor dem Hintergrund der Bebauung eines aufgrund der Gründungsverhältnisse schwierigen Standortes konnten die bautechnischen und wirtschaftlichen Herausforderungen dank eines durch den Bauherrn gewünschten hohen Grades an planerischer und baubegleitender Qualitätssicherung im Rahmen der Baugrund- und Gründungsverbesserungen bewältigt werden. Dies führte dazu, dass ein den Randbedingungen angemessenes Kosten-Nutzen-Verhältnis für ein Logistikzentrum der besonderen Größenordnung geplant und umgesetzt werden konnte. Die jederzeit außergewöhnlich gute Zusammenarbeit zwischen den am Bau Beteiligten und das große Engagement trugen maßgeblich zum Erfolg bei.