

Qualitätssicherung bei Hebungsinjektionen zum Verformungsausgleich aus bergmännischer Unterfahrung des Kaufhofs an der Kö

P. Schäfers, S. Keßler, CDM Smith, Bochum

Zusammenfassung

Bei der Unterfahrung des denkmalgeschützten Kaufhofs an der Kö im Zuge der Erstellung der Wehrhahn-Linie Düsseldorf werden Maßnahmen zu Sicherung des Gebäudes durchgeführt. Die baubedingt unvermeidbar auftretenden Setzungen werden durch Hebungsinjektionen ausgeglichen und rückgestellt.

Nach kurzer Vorstellung des Gesamtprojektes, der Baugrundverhältnisse und Projektbeteiligten werden die für die Hebungsinjektionen, die eingesetzten qualitätssichernden Verfahren und Vorgehensweisen erläutert und exemplarisch dargestellt.

Die vorgestellte Maßnahme zeigt, dass Hebungsinjektionen auch unter den hier vorliegenden schwierigen geotechnischen und örtlichen Randbedingungen zum Ausgleich vortriebsbedingter Senkungen aus Tunnelvortrieben erfolgreich angewendet werden können und damit Tunnelvortriebe auch mit geringstem Abstand zu sensibler Bebauung möglich sind en.

1. Wehrhahn-Linie Unterfahrung Kaufhof (Los 2)

1.1 Projekt

Der Neubau der 3,4 km langen untertägigen Stadtbahnstrecke Wehrhahn-Linie dient dem weiteren Ausbau des bestehenden Stadtbahnnetzes und ersetzt mehrere oberirdisch geführte Straßenbahnlinien. Der Bahnhof Heinrich-Heine Allee ist dabei der zentrale Umsteigepunkt (s. Abb. 1).

Bauherr der Maßnahme ist das Amt für Verkehrsmanagement der Landeshauptstadt Düsseldorf. Die Gesamtmaßnahme ist in zwei Baulose getrennt. Das Los 1 umfasst im Wesentlichen die im Schildvortrieb aufzufahrenden Tunnelabschnitte im Süd- und Ostast einschl. der zugehörigen Rampen- und Haltestellenbauwerke. Das zwischen den beiden Abschnitten des Loses 1 liegende Los 2 beinhaltet die Herstellung des neuen zentral gelegenen U-Bahnhofs „Heinrich-Heine-Allee unten“.

Die Unterfahrung des Kaufhofs wird durch die Arbeitsgemeinschaft Unterfahrung Kaufhof an der Kö, bestehend aus den Firmen Max Bögl und Wayss & Freytag ausgeführt. CDM Smith führt neben der planungs- und baubegleitenden geotechnischen Beratung des Bauherrn die Fachbauüberwachung der Kompensationsinjektionen und Vereisungsmaßnahmen durch.

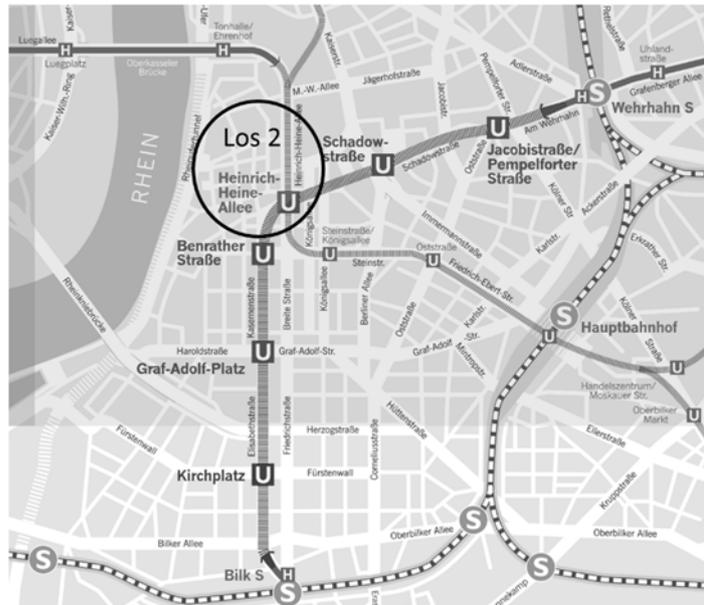
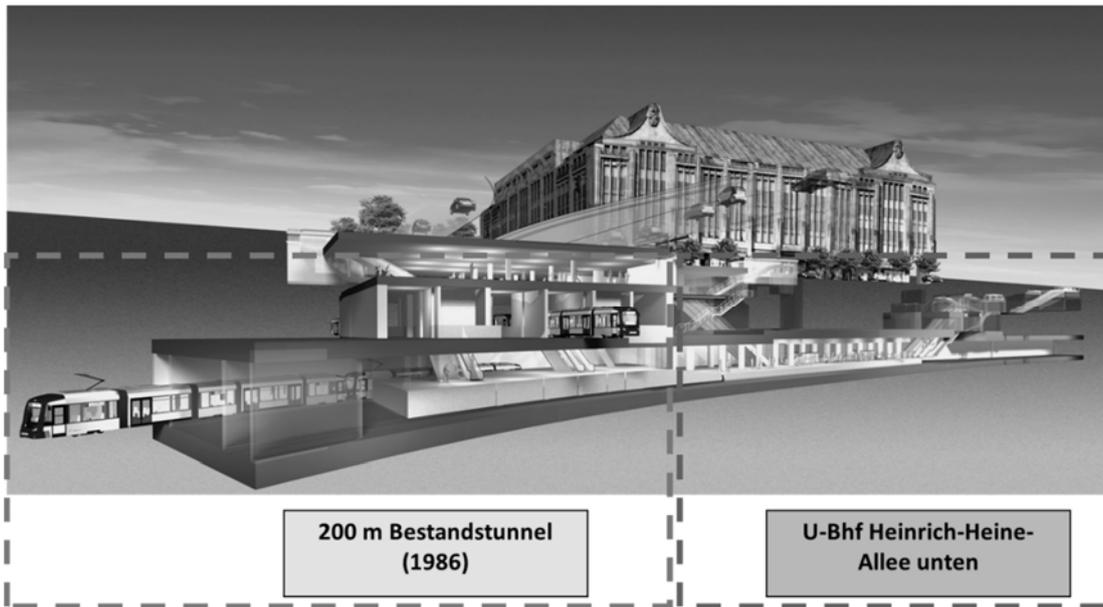


Abb. 1: Einbindung der Wehrhahn-Linie in das Düsseldorfer Streckennetz und Lage Los 2 (Quelle www.duesseldorf.de)

1.2 Bauwerk

Der neue U-Bahnhof Heinrich-Heine-Allee entsteht unterhalb des Gebäudes Kaufhof an der Kö mit direktem Zugang von dem bereits bestehenden Bahnhof Heinrich-Heine (s. Abb. 2). Westlich schließt sich ein ca. 200 m langer bereits in den 1980' er Jahren erstellter Tunnelabschnitt an.

Das denkmalgeschützte Gebäude des Kaufhofs stammt aus dem Jahr 1907 und hat eine wechselvolle Geschichte. Es wurde im Krieg teilweise zerstört, zum Beginn der 60er Jahre teilabgebrochen und neu aufgebaut sowie erweitert. Danach folgten mehrere Umbauten entsprechend den aktuellen Geschäftsbedürfnissen. Das technisch komplexe Bauwerk weist heute eine Mischgründung auf. Im Randbereich werden Stützen- und Wände über Trägerroste in die Bodenplatte und den Baugrund abgeleitet. Im mittleren Gebäudebereich werden bis zu rund 10 MN hohe Stützenlasten über Einzelfundamente in den Baugrund abgeleitet.



*Abb. 2: Kaufhof an der Kö mit U-Bhf Heinrich-Heine-Allee
(Quelle Amt für Verkehrsmanagement)*

Ausschreibungsentwurf

Der Ausschreibungsentwurf sah eine Abfangung des Gebäudes über einer Rohrschirmdecke vor. Unter dem Rohrschirm waren Düsenstrahlwände und Primärstützen vorgesehen, die im Zuge des Baugrubenaushubs freigelegt werden und die Gebäudelasten in den Baugrund weiterleiten.

Zwischen der Rohrschirmdecke und der Gebäudegründung war eine Hebungsinjektionsebene vorgesehen, um baubedingt unvermeidbare Setzungen baubegleitend kompensieren zu können. Der Baugrubenaushub sollte durch Wasserhaltung innerhalb eines das Gebäude umschließenden Dichtwandkastens im Trockenen erfolgen.

Ausführungskonzept

Das beauftragte Nebenangebot sieht anstelle dessen eine bergmännische Herstellung des Bahnhofs Heinrich-Heine-Allee-unten unterhalb des Kaufhofs im Schutz einer Vereisung vor (s. Abb. 3). Der Ausbruch sowie der Ausbau des Querschnitts wird in Teilquerschnitten vollzogen. Die Teilquerschnitte werden jeweils im Schutze eines ringförmig umlaufenden Vereisungskörpers erstellt, der gegenüber dem Grundwasser eine temporär abdichtende und tragende Funktion besitzt.

Die bereits im Ausschreibungsentwurf zum Ausgleich baubedingter Setzungen vorgesehenen Kompensationsinjektionen bleiben erhalten. Die Injektionsarbeiten sind entsprechend der zu erwartenden Setzungsmulde so zu gestalten, dass vorgegebene Grenzwerte für Setzungen und Winkelverdrehungen des Gebäudes nicht überschritten werden.

Begleitend zu den Bauarbeiten ist eine ständige Verformungskontrolle des Gebäudes erforderlich. Die notwendigen Messeinrichtungen werden im und am Gebäude installiert. Die Messungen erfolgen mittels elektronischer Schlauchwaagen, so dass die Beeinträchtigungen der Verkaufseinrichtungen bzw. des Verkaufsbetriebes auf ein Minimalmaß reduziert werden können. Die Maßnahmen zur Kaufhof-Unterfahrung werden planungs- und baubegleitend mit dem Eigentümer abgestimmt.

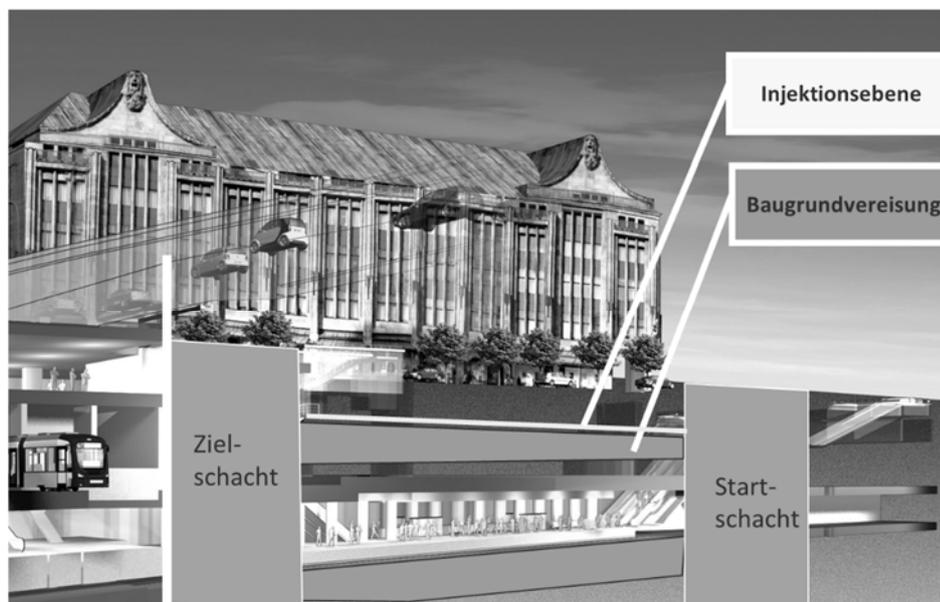


Abb. 3: Tunnelvortrieb zwischen Start- und Zielschacht im Schutz einer Baugrundvereisung

1.3 Baugrund und Grundwasser

Mit den für die Wehrhahn-Linie durchgeführten Baugrunduntersuchungen wurden die im Düsseldorf-Raum typischen Baugrundverhältnisse erkundet:

- Schicht A: Auffüllung
- Schicht B: Alluviale Hochflutbildungen
- Schicht C: Niederterrasse des Rheins
- Schicht D: Tertiär

Als Schicht A steht meist ein gemischtkörniger Boden mit anthropogenen Beimengungen an. Die Auffüllungsmächtigkeit ist meist 1 bis 2m mächtig und im Nahbereich früherer Baugrundeingriffe entsprechend tiefer reichend.

Unterhalb der Auffüllungen folgen als Schicht B größtenteils Schluffe und Tone in einer Mächtigkeit bis zu ca. 3 m, sofern nicht im Zuge früherer Baugrundeingriffe abgegraben und/oder durch Auffüllungen ersetzt.

Schicht C besteht als Flussaufschtüttung des Rheins überwiegend aus ineinander verzahnten Sand- und Kiesschichten mit eingelagerten Steinen und Böcken. Im Nahbereich ehemaliger Hafenanlagen und Verbindungsgräben des ehemaligen Festungsgürtels sowie heutiger und ehemaliger Verläufe der Düssel und deren Nebenbäche treten Bachablagerungen und Auensedimenten auf.

Als Schicht D folgen mit mehr als 50 m Mächtigkeit Schichten des Tertiärs, meist bestehend aus Feinsanden mit schluffigen Nebenanteilen. Die Oberfläche wurde entlang der Trasse in Tiefen von ca. 16 bis 29 m angetroffen.

Die hydrologischen Verhältnisse werden bestimmt durch den quartären Grundwasserleiter, die unterlagernden grundwasserführenden Schichten des Tertiärs und die Wasserführung des Rheins. Die großräumige Fließrichtung ist bei mittleren Grundwasserständen nach Nordwesten bis Westen zum Rhein als Vorfluter hin gerichtet. Im hier betrachteten Abschnitt liegen mittlere Flurabstände des Grundwasserspiegels von ca. 8 m vor, mit bauzeitlich möglichen Schwankungen in Größenordnung von ca. +/- 2 bis 3 m.

2. Injektionskonzept

2.1 Verfahren der Hebungsinjektion

Hebungsinjektionen werden heute in DIN EN 12715 als Injektionsverfahren (hydraulische Aufbrechinjektion) mit hydraulischer Rissbildung behandelt.

Bei Hebungsinjektionen wird im Einzelschritt örtlich gezielt eine meist vorgegebene Menge hydraulisch erhärtender Suspension in den Boden eingepresst. Nach Füllung injektabler Poren und Überschreitung des Umgebungsdrucks entstehen Risse im Boden, die mit Injektionsgut gefüllt werden.

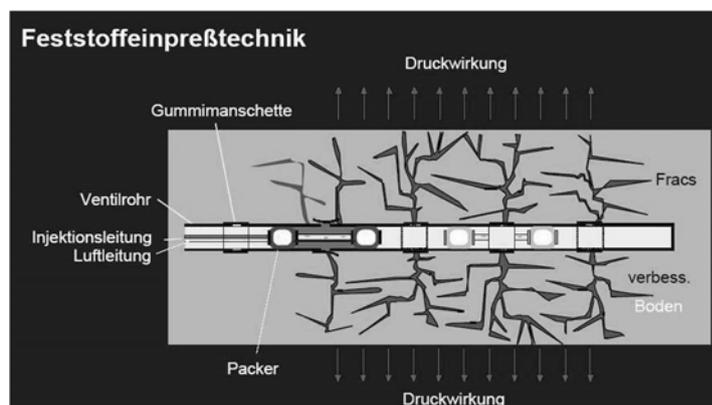


Abb. 4: Prinzipdarstellung Verdrängungsinjektion über Manschettenrohr

Durch systematische Behandlung von Bodenbereichen mit diesem wiederholbaren Volumeneintrag wird durch die Verdichtungswirkung auf den zwischen den erhärtenden Feststofflamellen eingespannten Boden und durch den eingepressten Feststoff in einer ersten Behandlungsphase (Vorinjektion) eine Verbesserung der maßgeblichen bodenmechanischen Eigenschaften (Festigkeit, Steifigkeit und Konsistenz) erzeugt und ein Kraftschluss zu dem zu hebenden Bauwerk hergestellt (Kontaktinjektion). Bei Fortsetzung der Behandlung kommt es nach weiterem Spannungsanstieg im Boden schließlich zu - steuerbaren - Hebungen.

Mit der wiederholten Injektion können kontrollierte Hebungreaktionen im Umgebungsbereich erzeugt und damit vortriebsbedingte Setzungen kompensiert werden.

Aufreißinjektionen zur Sicherung und den Erhalt der Lage und Gründungsqualität auch von hochempfindlichen Bauwerken werden bei Tunnelvortrieben seit Mitte der 80ziger Jahre erfolgreich eingesetzt und bis heute auf einen hohen Standard weiterentwickelt (RAABE; ESTERS 1986).

2.2 Schlauchwaagenmessungen im Kaufhof

Die mit den Injektionen im Einzelschritt erzielbaren Hebungen sind wesentlich von dem durch die Bauwerklasten erzeugten Spannungszustand beeinflusst und durch wechselnde Bodenzusammensetzung nicht exakt vorausbestimmbar. Entsprechend sind neben der Kontrolle der aus den Bauarbeiten resultierenden Setzungseinwirkungen auch zur Kontrolle und Steuerung der Kompensationsinjektionen hochgenaue Verformungsmessungen an einem auf die Bauwerkskonstruktion abgestimmten engen Netz von Messstellen vorzunehmen.

Zur Kontrolle wird ein automatisch messendes System (elektronische Schlauchwaage) mit über 180 Messpunkten auf der Bodenplatte und über 80 Messpunkten an Stützen und Wänden des Gebäudes installiert (s. Abb. 5). Neben den Höhenmessungen innerhalb des Kaufhofs wird die statisch entkoppelte Fassade über Prismen durch automatisch gesteuerte Tachymetermessungen überwacht. Die Messwerte werden per Datenfernübertragung in einer Datenbank archiviert, Software-gestützt ausgewertet und visualisiert. Dadurch können automatisch bereits kleinste Änderungen registriert und die Einhaltung von Grenzwerten überwacht werden. Das Messsystem besteht aufgrund der verschiedenen Ebenen des Kaufhofbasements aus insgesamt vier Messkreisen mit einer Gesamt-Systemgenauigkeit von $< 0,3$ mm.

Zusätzlich erfolgen als unabhängige Kontrollmessungen geodätische Höhenmessungen entlang der Gebäudefront.

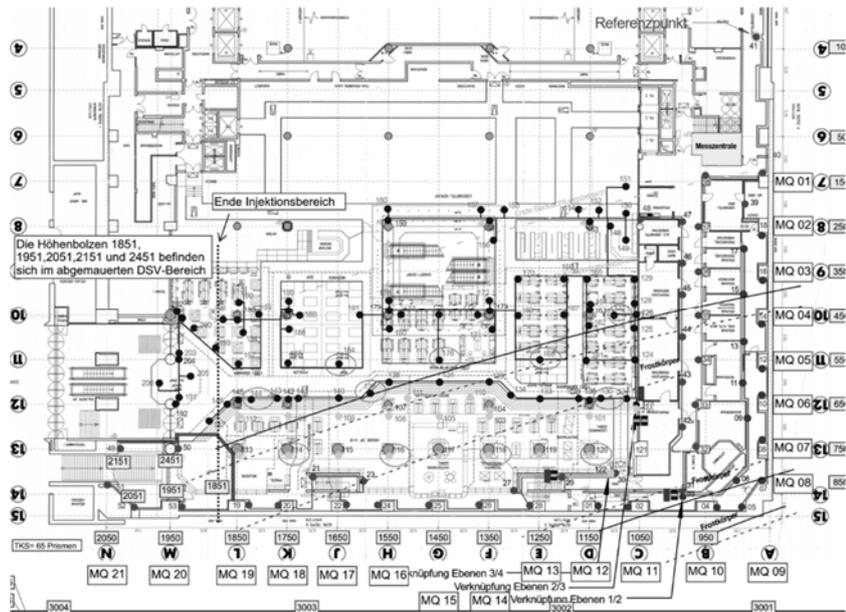


Abb. 5: Messpunkte Schlauchwaage

Für das Gebäude waren einzuhaltende Verformungsgrenzwerte vorgegeben mit:

- Maximal zulässige Hebung 15 mm
- Maximal zulässige Dauersetzung 25 mm
- Verdrehung zwischen benachbarten Stützstellen bis 1/500 bei Muldenlagerung bzw. bis 1/1000 bei Sattellagerung

Projektbezogen werden dazu unterschiedliche Kontrollwerte festgelegt.

- Aufmerksamkeitswert (50% des Grenzwertes),
- Alarmwert (70% des Gebäudegrenzwertes),
- Grenzwert (100% des Gebäudegrenzwertes).

Die Kontroll- und Grenzwerte beziehen sich auf die o.g. Verformungswerte und Verdrehungen und stellen damit hohe Anforderungen an die Verformungsüberwachung und Hebungsinjektionen.

2.3 Injektionsbohrungen

Das Injektionsfeld erstreckt sich über den Setzungseinflussbereich der Unterfahrung des Kaufhof und erfordert bis über 70 m lange Bohrungen, die mit einer hohen Lagegenauigkeit auszuführen sind. Insgesamt werden rund 50 Injektionsbohrungen im Pilotstangen-Bohrverfahren mit Längen zwischen 15 und über 70 m und einem gegenseitigen Abstand zwischen 1,0 und 1,5 m ausgeführt. Mit diesen steuerbaren Bohrverfahren ermöglicht eine bohrbegleitende Lagekontrolle und Richtungskorrektur.

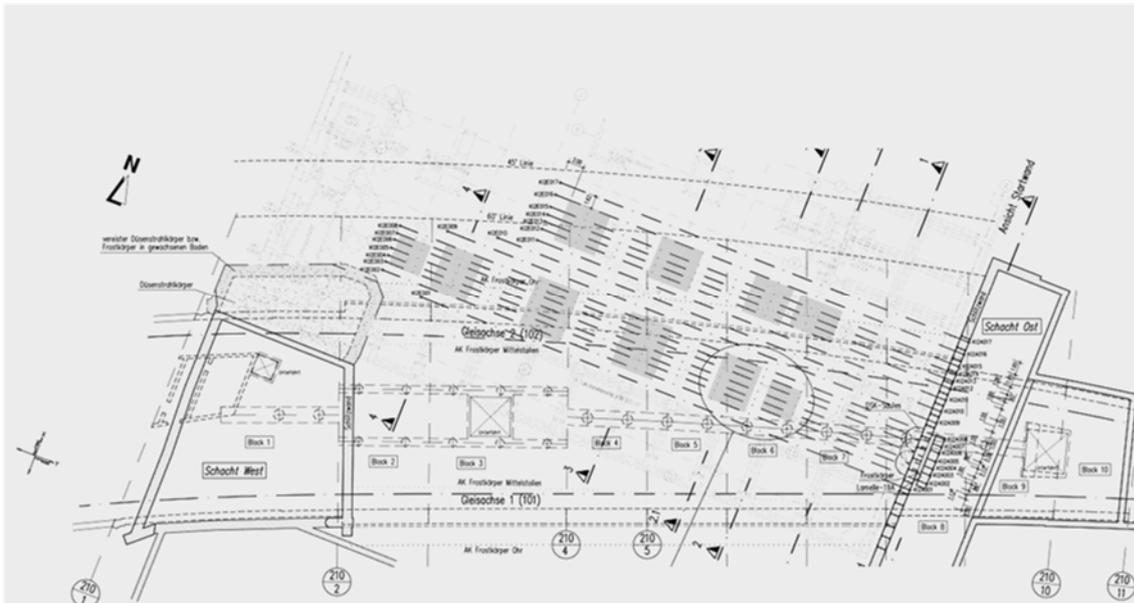


Abb. 8: 17 Bohrungen untere Injektionsebene (Bereich Einzelfundamente)

Der Bohrungsverlauf wird bohrbegleitend messtechnisch überwacht und bei Erfordernis durch den Maschinenfahrer steuernd eingegriffen. Bei entstehenden Abweichungen können die Bohrungen durch frühzeitiges und ggf. wiederholtes Gegensteuern i.d.R. mit einer sehr hohen Lagegenauigkeit erstellt werden. Einzelne Bohrungen mussten wegen angetroffener Hindernisse neu gebohrt oder wegen einer außerhalb des elektrooptischen Kontrollbereiches von ca. 5 cm liegender Auslenkungen mit der auch für die Gefrierbohrungen verfügbaren Bohrausrüstung mit größerem Durchmesser, die eine Kreiselkompassmessung ermöglicht, überbohrt werden.

Während des Bohrvorgangs werden die Parameter Bohrlänge, Drehmoment, Vorpresskraft, Menge und Druck der eingesetzten Bentonitsuspension und des Rückflusses überwacht und aufgezeichnet. Der aufeinander abgestimmten Regelung des Vorpressdrucks und der am Bohrkopf (Preventer) austretenden Spülmenge kommt dabei ein hoher Stellenwert zur Vermeidung von Hebungsrissen aus zu hohen Vorpress- oder Suspensionsdruck oder Setzungsrisiken aus zu hohem Materialaustrag zu.

Zur Bewertung evtl. ungewollter Hebungen oder Setzungen werden begleitend zum Bohrvorgang die Schlauchwaagenmessungen herangezogen und bei Erfordernis die Bohrparameter geeignet angepasst.

Übergabeprotokoll		ARBEITSGEMEINSCHAFT HORIZONTALBOHRUNGEN DÜSSELDORF		OSTERGAARD	
Bohrung Nr.:		WÜWA Bau GmbH & Co. KG - Oestergaard International A/S		KI-Bohrungen unter dem Kaufhof an der KG	
Bohrung Nr.:		WÜWA Bau GmbH & Co. KG - Oestergaard International A/S		Arge Unterführung Kaufhof an der KG	
Bohrung Nr.:		WÜWA Bau GmbH & Co. KG - Oestergaard International A/S		Max Bögl Bauunternehmung GmbH & Co. KG	
Bohrung Nr.:		WÜWA Bau GmbH & Co. KG - Oestergaard International A/S		Ways & Freytag Ingenieurbau AG	
1. Lage		Startkoordinaten		Endpunktkoordinaten	
Lin.Nr.	Bohrung Nr.	Rechtswert	Hochwert	Mitte Anzapfplatz	Rechtswert
1	101	54423.9199	77568.2760		
2	102	54423.9140	77568.2699		
3	103	54423.9199	77568.2760		
4	104	54423.9199	77568.2760		
5	105	54423.9141	77568.2694		
6	106	54423.9199	77568.2760		
7	107	54423.9199	77568.2760		
8	108	54423.9199	77568.2760		
9	109	54423.9199	77568.2760		
10	110	54423.9199	77568.2760		
11	111	54423.9199	77568.2760		
12	112	54423.9199	77568.2760		
13	113	54423.9199	77568.2760		
14	114	54423.9199	77568.2760		
15	115	54423.9199	77568.2760		
16	116	54423.9199	77568.2760		
17	117	54423.9199	77568.2760		
18	118	54423.9199	77568.2760		
19	119	54423.9199	77568.2760		
20	120	54423.9199	77568.2760		
21	121	54423.9199	77568.2760		
22	122	54423.9199	77568.2760		
23	123	54423.9199	77568.2760		
24	124	54423.9199	77568.2760		
25	125	54423.9199	77568.2760		
26	126	54423.9199	77568.2760		
27	127	54423.9199	77568.2760		
28	128	54423.9199	77568.2760		
29	129	54423.9199	77568.2760		
30	130	54423.9199	77568.2760		
31	131	54423.9199	77568.2760		

Maschinendaten Bohrung		ARBEITSGEMEINSCHAFT HORIZONTALBOHRUNGEN DÜSSELDORF		OSTERGAARD	
Bohrung Nr.:		WÜWA Bau GmbH & Co. KG - Oestergaard International A/S		KI-Bohrungen unter dem Kaufhof an der KG	
Bohrung Nr.:		WÜWA Bau GmbH & Co. KG - Oestergaard International A/S		Arge Unterführung Kaufhof an der KG	
Bohrung Nr.:		WÜWA Bau GmbH & Co. KG - Oestergaard International A/S		Max Bögl Bauunternehmung GmbH & Co. KG	
Bohrung Nr.:		WÜWA Bau GmbH & Co. KG - Oestergaard International A/S		Ways & Freytag Ingenieurbau AG	
Datum	Uhrzeit	Vorgang	Druck	Menge	Benannt
20.09.2009	16:58:02	Druck	10,12	0,00	0,00
20.09.2009	16:58:10	Druck	4,13	0,46	788,77
20.09.2009	16:58:19	Druck	26,26	2,64	13,25
20.09.2009	16:58:48	Druck	9,03	0,90	10,13
20.09.2009	17:00:00	Druck	22,74	2,27	12,73
20.09.2009	17:00:21	Druck	8,68	0,87	9,87
20.09.2009	17:01:01	Druck	8,51	0,85	9,72
20.09.2009	17:01:46	Druck	18,75	1,88	77,23
20.09.2009	17:01:26	Druck	7,81	0,78	15,13
20.09.2009	17:02:07	Druck	8,88	0,87	9,75
20.09.2009	17:02:06	Druck	29,34	2,93	10,53
20.09.2009	17:02:27	Druck	8,88	0,87	9,84
20.09.2009	17:02:47	Druck	26,74	2,67	9,92
20.09.2009	17:03:07	Druck	8,51	0,85	9,84
20.09.2009	17:03:27	Druck	18,37	1,83	13,28
20.09.2009	17:04:01	Druck	27,90	2,80	40,36
20.09.2009	17:04:41	Druck	8,51	0,85	10,71
20.09.2009	17:04:21	Druck	8,68	0,85	9,91
20.09.2009	17:04:41	Druck	8,51	0,84	10,68
20.09.2009	17:05:01	Druck	30,03	3,00	10,42
20.09.2009	17:05:21	Druck	8,30	0,84	10,53
20.09.2009	17:05:42	Druck	20,31	2,03	9,30
20.09.2009	17:06:03	Druck	8,33	0,83	9,48

Maschinendaten Verpressvorgang		ARBEITSGEMEINSCHAFT HORIZONTALBOHRUNGEN DÜSSELDORF		OSTERGAARD	
Bohrung Nr.:		WÜWA Bau GmbH & Co. KG - Oestergaard International A/S		KI-Bohrungen unter dem Kaufhof an der KG	
Bohrung Nr.:		WÜWA Bau GmbH & Co. KG - Oestergaard International A/S		Arge Unterführung Kaufhof an der KG	
Bohrung Nr.:		WÜWA Bau GmbH & Co. KG - Oestergaard International A/S		Max Bögl Bauunternehmung GmbH & Co. KG	
Bohrung Nr.:		WÜWA Bau GmbH & Co. KG - Oestergaard International A/S		Ways & Freytag Ingenieurbau AG	
Datum	Uhrzeit	Druck	Menge	Benannt	Station
05.10.2009	13:43:19	0,12	0,00	0,00	51
05.10.2009	13:43:40	0,14	0,00	0,00	51
05.10.2009	13:44:00	0,14	0,00	0,00	51
05.10.2009	13:44:20	0,14	0,00	0,00	51
05.10.2009	13:44:40	0,14	0,00	0,00	51
05.10.2009	13:45:00	0,14	0,00	0,00	51
05.10.2009	13:45:21	0,14	0,00	0,00	51
05.10.2009	13:45:41	0,17	0,00	0,00	51
05.10.2009	13:46:01	0,23	0,00	0,00	51
05.10.2009	13:46:21	0,38	21,30	0,00	51
05.10.2009	13:46:42	0,69	55,56	0,00	51
05.10.2009	13:47:02	1,70	34,38	0,00	51
05.10.2009	13:47:22	1,09	35,07	0,00	51
05.10.2009	13:47:43	0,59	34,49	0,00	51
05.10.2009	13:48:03	2,38	50,35	0,00	51
05.10.2009	13:48:23	1,01	40,28	0,00	51
05.10.2009	13:48:43	2,67	29,51	0,00	51
05.10.2009	13:49:03	2,55	51,50	0,00	51

Abb. 9: Qualitätssicherung Bohrvorgang, Ringraumverpressung, Manschettenrohr und Lage der Bohrung (Projektdatei – Qualitätssicherungsplan)



Abb. 10: Bohreinrichtung Injektionsbohrungen im Startschacht

Nach Erreichen der Endteufe werden die 2“ Manschettenrohre aus Stahl in die Bohrröhre eingebaut und der beim Zeihen der Verrohrung entstehende Ringspalt mit Verpressmörtel verpresst. Verpressdruck und -menge werden überwacht. Analog zu den Bohrarbeiten erfolgt auch hier eine Aufzeichnung aller wichtigen Parameter.

2.4 Ausführung der Injektionen und -phasen

Die Injektionen gliedern sich in mehrere Phasen:

- großflächige Grund- und Kontaktinjektion
Die Kontaktinjektion gilt projektbezogen als erreicht, wenn das eingebrachte Injektionsgut zu einer Erhöhung des Druckspannungsniveaus im Boden geführt hat und erste Hebungstendenzen als Reaktion des Bauwerks messbar werden.
- Vorhebung im Bereich der erwarteten vortriebsbedingten Setzungen
Durch Aufbringen eines der prognostizierten Setzungsmulde ähnlichen Vorhebungssattels können die am Gebäude auftretenden Verdrehungen reduziert werden.
- Baubegleitende Kompensationsinjektion, soweit zur Einhaltung der Grenzwerte erforderlich
- Nachinjektion
Nach Abschluss der Setzungserzeugenden Bauaktivitäten dienen Nachinjektionen dem abschließenden Setzungsausgleich

Die zur erfolgreichen Durchführung der Kompensationsinjektionen notwendigen Injektionsparameter werden im Baubereich maßgeblich durch die örtlich unterschiedlichen Gründungs- und Belastungssituationen sowie der Lage der Injektionspunkte zur Gründungsebene und zu benachbarten ausgeführten Injektionen beeinflusst. Daher sind eine an die gegebenen schwierigen äußeren Bedingungen angepasste Ausführung durch erfahrendes und qualifiziertes Ingenieur- und Fachpersonal sowie der auf die Aufgabe abgestimmten Maßnahmen zur Qualitätssicherung wesentlich für deren Erfolg.

Als qualitätssichernde Maßnahmen sind dabei i.W. zu nennen:

- Lagegenaue Bohrungen in aufgabenbezogen ausreichend engen Abständen
- Geeignete Injektionsstoffe und Rezepturen zur Erzeugung der gewünschten Rissbildung und Druckwirkung
- Testfelder zur Verifizierung der vorausgewählten Produktionsparameter unter den situ Bedingungen
- Aufzeichnung und Auswertung der Produktionsparameter je Manschette
- Verformungsmessungen in engem zeitlichen und räumlichen Abstand
- Bewertung der Messergebnisse zur Injektionssteuerung und zur Vermeidung unzulässiger Einwirkungen auf das zu hebende Bauwerk
- Laufende Bewertung der Ergebnisse auf eine zur Optimierung des Wirkungsgrades notwendige Anpassung

Für eine zielgerichtete Steuerung und optimale Wirksamkeit der Hebungsinjektionen ist eine gesamtheitliche Bewertung der Produktionsparameter in Zusammenhang mit den Reaktionen des Bauwerks unabdingbar (s. Abb. 11).

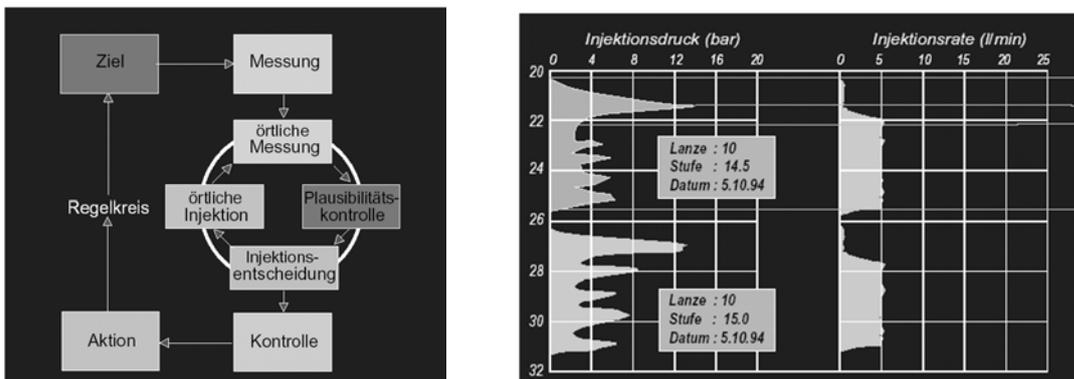


Abb. 11: Prinzipdarstellung Regelkreis und Aufzeichnung Produktionsparameter

In einer den eigentlichen Kompensationsinjektionen vorausgehenden Phase wurden daher Tests zur Justierung/Findung der optimalen Injektionsparameter durchgeführt.

Zur Qualitätssicherung der Injektionsarbeiten werden projektbezogen insbesondere durchgeführt:

- Überwachung Mischungsverhältnis, Festigkeitsentwicklung und Endfestigkeit
- Visualisierung der aufgezeichneten Produktionsparameter
- Darstellung der Zeit-Setzungsverläufe
- Dokumentation der Injektionen sowie der erzielten Hebungen und deren zeitnahe Bewertung
- Verschiedene weitere Auswertungen zur arbeitstäglichen Überprüfung und Festlegung der weiteren Injektionsabfolge, der Injektionsparameter und Abbruchkriterien für die jeweilige Injektionsphase auf Basis der vorliegenden Erkenntnisse

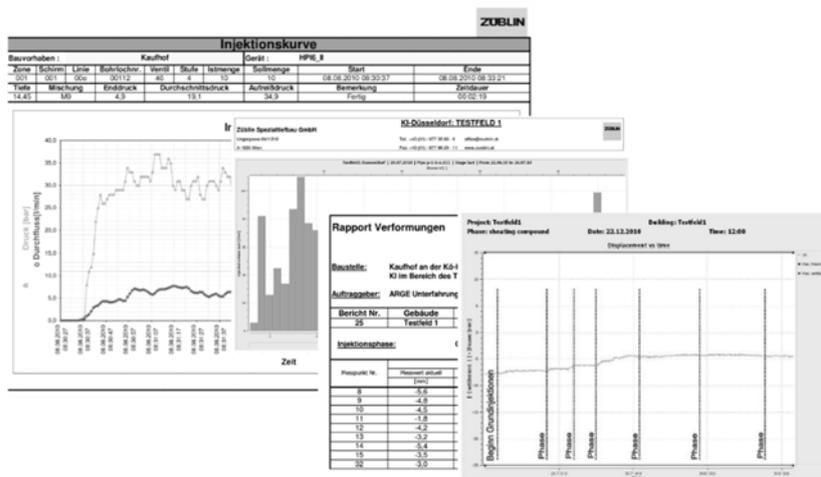


Abb. 12: Beispielhafte Darstellung der Produktionsparameter und Bauwerksverformungen

Die Druckwirkungen der Injektionen im Baugrund sowie die nicht exakt vorausbestimmbaren Reaktionen des Bauwerks wurden durch die AG- und AN-seitig fachlich Beteiligten laufend kritisch bewertet und die Erkenntnisse und abgeleiteten folgenden Arbeitsschritte im Sinne einer Optimierung der Injektionen regelmäßig erörtert.

Nachfolgend wird auf ausgewählte Phasen detaillierter eingegangen.

2.5 Testfelder

Im Testfeld 1 werden acht unmittelbar unterhalb der Bodenplatte des Kaufhof angeordnete Manschettenrohre geprüft. Die Fläche des Testfeldes beträgt 180m².

Die Injektionsmaßnahmen im Testfeld 2 erfolgen nachgeschaltet zu den zuvor benachbart und höher liegend flächig unmittelbar unterhalb der Bodenplatte des Kaufhofs an der Kö ausgeführten Injektionen. Mit dem Testfeld 2 werden unmittelbar unter und neben einem Einzelfundament angeordnete Manschettenrohre beaufschlagt. Die Injektionsfläche des Testfeldes beträgt insgesamt ca. 105 m² bei einer Fundamentgrundfläche von ca. 27 m² (ca. 4,5 x 6 m). Um die zur Hebung des hoch belasteten Fundamentes notwendigen Druckwirkungen erzeugen zu können, wurde zunächst der ringförmige Bereich um das Fundament herum und erst nach einer Erhärtungszeit des Injektionsgutes der Bereich unterhalb des Fundamentes injiziert.

Den in ersten Injektionsphasen (Testfeld 1) aufgetretenen Umläufigkeiten und Suspensionsaustritten am Bohransatz und ersten ungewollten Hebungstendenzen konnte durch Anpassung des Injektionskonzeptes (W/Z-Wert der Suspension, Injektionsrate und -menge, räumlicher und zeitlicher Abstand der Einzelinjektionen) begegnet werden.

Aus dem Testfeld 2 konnte insbesondere die den geringen Abständen zur Gründung geschuldete Notwendigkeit einer mehrfachen Beaufschlagung geringer Injektionschargen und ausreichender Zwischenerhärtungen zur Optimierung des Wirkungsgrades sowie die begleitend zu den Injektionen unter den lastabtragenden Fundamentunterzügen und Einzelfundamenten notwendigen Zwischeninjektionen im Bereich der nur gering belasteten Bodenplatte abgeleitet werden, um dort Hohllagen und ungewollten Suspensionsabfluss zu vermeiden.

Die aus den Testphasen gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse flossen in die Planung und Umsetzung der folgenden Injektionsarbeiten ein.

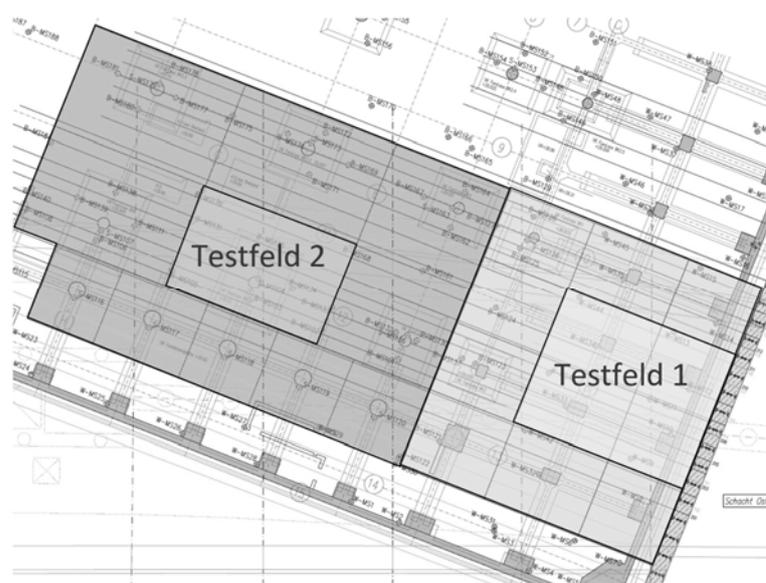


Abb. 13: Lage der Testfelder (Projektdatei - Verfahrensbeschreibung)

2.6 Vorhebungen, Vortriebsbedingte Setzungen und Nachinjektion

Auf Grundlage erdstatischer Verformungsberechnungen zum Frostkörper wurden die aus dem Tunnelvortrieb zu erwartenden Verformungen der Gründungsebene des Kaufhofs ermittelt und die Notwendigkeit von Vorhebungen abgeleitet.

Die gewählte Größe des Vorhebungsmaßes ist darauf ausgerichtet, die in den einzelnen Vortriebsphasen auftretenden Setzungszuwächse innerhalb der genannten Grenzkriterien zu halten. Die Festlegung der Vorhebungswerte erfolgt unter Berücksichtigung der aus den bisherigen Bautätigkeiten bereits entstandenen geringen Setzungen.

Die Vorhebungen werden begleitend zu den Bohrarbeiten zur Herstellung der Gefrierlochbohrungen vor Vereisungsbeginn ausgeführt. Nach Aufgefrieren des Frostkörpers erfolgt zunächst der Mittelstollenvortrieb. Aufgrund des erst unterhalb der Frostkörperfirste anstehenden Grundwassers wird der Frostkörper zunächst wannenartig aufgebaut. Anschließend wird der Grundwasserspiegel innerhalb dieser Wanne aufgestaut und der Frostkörper im Firstbereich aufgefroren. Bis zum Beginn des Mittelstollenvortriebs ist nur noch ein geringer Teilbereich des Ausbruchquerschnitts ungefroren, so dass die vortriebsbedingten Setzungen gering bleiben (s. Abb. 14). Nach Einbau der Mittelabstützung erfolgen die Seitenstollenvortriebe. Aufgrund des bis dahin vollständig durchgefrorenen Ausbruchquerschnitts konnten die Setzungen aus Seitenstollenvortrieb gegenüber den rechnerisch prognostizierten Werten deutlich reduziert werden.

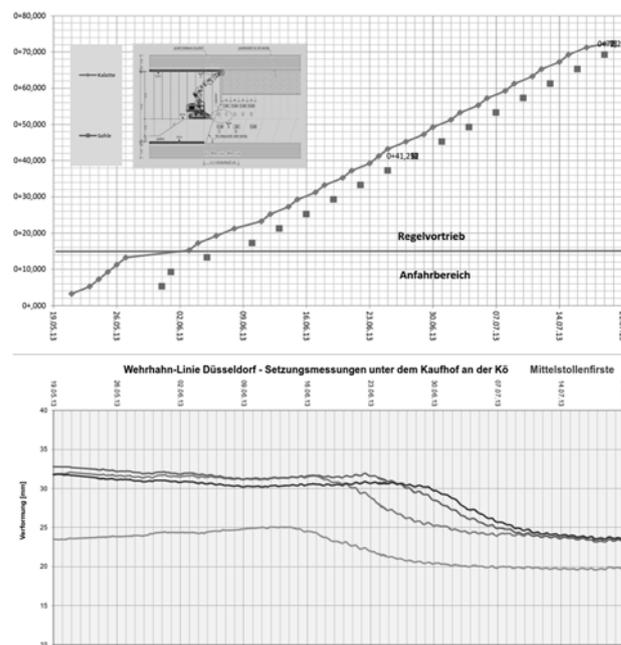


Abb. 14: Setzungen Einzelfundamente aus Mittelstollenvortrieb

Exemplarisch sind maßgebende Setzungsdaten für eine auf einem Einzelfundament gegründete Bauwerksstütze nachfolgend zusammengestellt (s. Abb. 15):

- Prognostizierte Setzung aus Vortrieb Mittelstollen / Seitenstollen: 1,0 cm / 1,5 cm
- Ist Setzung bis zum Beginn der Vorhebungen: 0,2 cm
- Geplante Vorhebung: 1,0 cm (40% der aus Vortriebsarbeiten erwarteten Setzungen)
- Ist-Vorhebung: 0,9 cm
- Ist-Setzung aus Vortrieb Mittelstollen / aus Vortrieb der Seitenstollen: 0,7 cm / 0,2 cm



Abb. 15: Lage der betrachteten Stützengründung D/13 zum Mittelstollenvortrieb

Nach Fertigstellung des Bauwerks und Abtauen des Frostkörpers erfolgten Nachinjektionen. Mit diesen Kompensationsinjektionen wurden die entstandenen Setzungsdifferenzen und Winkelverdrehungen zwischen benachbarten Stützen ausgeglichen und im Baugrund verformungsbedingt entstandene Auflockerungen bis zum nachweislichen Kraftschluss zur Gründung rückgestellt.

Literatur

CHAMBOSSE G.; OTTERBEIN R. (2001): State of the art of Compensation Grouting in Germany International Conference on soil mechanics and Geotechnical Engineering, 2001, Istanbul.

GABENER; RAABE (1989). Einsatz von Soilfracturing zur Senkungsminderung, J. Wilms, beim Tunnelvortrieb, Taschenbuch für den Tunnelbau 1989, DGEG.

RAABE; ESTERS (1986). Injektionstechniken zur Stillsetzung und zum Rückstellen von Bauwerkssetzungen, Vorträge Baugrundtagung, Nürnberg.