
Instandsetzung Landwehrkanal

Teststrecke am Paul-Lincke-Ufer (Crush-Piler)

Beweis- und Qualitätssicherung

Auswertung

Beweis- und Qualitätssicherung

Auswertung

Gliederung

	Seite	
1	Projekt	2
1.1	Vorhaben	2
1.2	Aufgabenstellung	2
1.3	Wesentliche Inhalte der Auswertungen	3
1.4	Grundlagen	3
1.5	Unterlagen	5

Unterlagenverzeichnis

- Unterlage 1: Auswertung der Beweis- und Qualitätssicherung an der Teststrecke
Unterlage 2: Auswertung der Einbringverfahren an acht Abschnitten

1 Projekt

1.1 Vorhaben

Bisherige Standsicherheitsuntersuchungen an der Uferbefestigung des Landwehrkanal (LWK) im Auftrag des Wasser- und Schifffahrtsamt Berlin (WSA) ergaben, dass für die vorhandene Stützkonstruktion in der ausgeführten Regelbauweise keine rechnerische Standsicherheit nachgewiesen werden konnte. Es sind deshalb Sanierungsarbeiten an den Stützkonstruktionen des LWK notwendig.

Vorhabensträger für die Sanierung der Ufermauern am LWK ist das WSA Berlin, Mehringdamm 129, 10965 Berlin. Die Sanierung des LWK erfolgt unter Beteiligung eines Mediationsforums (MF), bestehend aus verschiedenen Institutionen und einer Bürgerbeteiligung. Auf der 17. Sitzung des MF wurde beschlossen, dass die für die Sanierung notwendige Spundwandeinbringung mittels dem Einbringssystem Pressen mit integrierter Bohrhilfe auf einer ca. 50 m langen Strecke getestet wird. Dieses Verfahren wurde auf dem „Einpress-Prinzip“ entwickelt. Während bei konventionellen Bauverfahren die Spundbohlen in den Boden eingeschlagen bzw. einvibriert werden, presst beim Crush-Piler-Verfahren ein Hydraulikzylinder mit integrierter Bohrhilfe die Spundbohlen in den Boden ein.

Als Teststrecke wurde das Paul-Lincke-Ufer, LWK km 8,9 rechtes Ufer, ausgewählt. Hier soll das Einbringverfahren für Spundwände mittels dem Crush-Piler-Verfahren der Firma Giken Europe B.V. auf seine Eignung getestet werden. Die Ausführung der Teststrecke wird durch umfangreiche Beweis- und Qualitätssicherungsmaßnahmen begleitet.

Im Vorfeld bzw. zeitgleich wurden an sechs anderen Abschnitten des LWK Sicherungsmaßnahmen ausgeführt. In diesen Abschnitten wurde unter den jeweiligen örtlichen Randbedingungen, mittels verschiedener Einbringverfahren und in Begleitung unterschiedlicher Beweis- und Qualitätssicherungsmaßnahmen gearbeitet.

1.2 Aufgabenstellung

An der Teststrecke am LWK km 8,9 erfolgte auf einer Länge von ca. 50 m das Einbringen der Spundwand mittels Crush-Piler-Verfahren der Firma Giken Europe B.V. Zum Einsatz kam der Z-Piler-Modell SCZ-675WM. Es handelt sich um eine neue Entwicklung zum Einpressen von Doppelbohlen.

Die Teststrecke wurde aufgrund folgender Merkmale gewählt:

- Keine unmittelbar angrenzenden Gebäude, Baumbestand etc, damit keine Auswirkungen auf umliegende Schutzgüter zu erwarten
- Schwierige Baugrundverhältnisse (Lockergesteine großer bis sehr großer Festigkeit, Sand-Kies-Gemische mit Steinen)

Beweissicherung und Qualitätsmanagement beinhalten die bauvorbereitenden, baubegleitenden sowie im Nachgang fortgeführten Maßnahmen im unmittelbaren Baustellenbereich und für das Umfeld der Teststrecke. Um die Auswirkungen auf das Umfeld sowie auf die Schutzgüter zu erfassen und zu dokumentieren, sowie um ggf. Gefährdungspotentiale frühzeitig zu erkennen, wurden nachfolgend erläuterte Maßnahmen zur Beweissicherung, zu Überwachungsmessungen und zur Qualitätssicherung durchgeführt:

- Bautechnische Beweissicherung,
- Messtechnische Beweissicherung der Erschütterungen,

- Geodätische Beweissicherung, konventionell und permanent,
- Immissionsmessungen, Schall und Abgase,
- Aufzeichnung Qualitätsparameter der Ausführung,
- ergänzende Baugrunduntersuchungen.

Die Aufzeichnungen beim Einbringen der Spundwand in der Teststrecke dienen einerseits der vorsorglichen Überwachung sowie zur vertieften Testung der Eignung des Crush-Piler-Verfahrens und andererseits dem Erhalt von Vergleichswerten zur Gegenüberstellung der verschiedenen Einbringverfahren.

Dem entsprechend ist die Auswertung in zwei wesentliche Teile gegliedert:

- Auswertung der Beweis- und Qualitätssicherung an der Teststrecke,
- Auswertung der Einbringverfahren an acht Abschnitten.

1.3 Wesentliche Inhalte der Auswertungen

Die Auswertung der Beweis- und Qualitätssicherung an der Teststrecke beinhaltet Aussagen zu den:

- an der Presse gemessenen Parametern (Pressendruck, Toleranzen, Schlossdetektion usw.) und deren Abgleich mit den Ergebnissen der Beweissicherungen (bautechnisch, messtechnisch, geodätisch),
- den Vergleich der konventionellen und der permanenten Vermessung
- im Umfeld gemessenen Parametern (Schall, Erschütterung),
- im Baugrund erkundeten Kennwerte.

Die Auswertung der Einbringverfahren an acht Abschnitten beinhaltet Aussagen zu:

- Verfahren, Einflussfaktoren, Auswirkungen, Beweissicherungen,
- Bodenkennwerten, hinsichtlich Verdichtung/ Auflockerung,
- Kosten, Zeitaufwand, Effizienz,
- logistische Erfordernisse,
- Ableitung einer Handlungsempfehlung.

1.4 Grundlagen

Für die Auswertung wurden folgende Unterlagen verwendet bzw. eingesehen:

- /1/ OBERMEYER Planen + Beraten GmbH: Ausführungsplanung Teststrecke am Paul-Lincke-Ufer, LWK km 8,9 rechtes Ufer, Beweissicherung und Qualitätsmanagement
- /2/ GIKEN EUROPE BV: Pressprotokolle 1 – 40, Teststrecke
- /3/ SPECHT, KALLEJA + PARTNER GmbH (10.05.2010): Beweissicherung im Rahmen des Bauvorhabens Teststrecke Crush Piler im Landwehrkanal in 10999 Berlin-Kreuzberg, bautechnische Beweissicherung, Gutachten I-033.-10-G bis I-033.3-10-G, Teststrecke
- /4/ BeSB GMBH BERLIN SCHALLTECHNISCHES BÜRO 06.05.2010: Erschütterungsmessungen im Verlauf der Einbringung einer Spundwand mit einem Crush-Piler am Landwehrkanal in Berlin-Kreuzberg, Gutachten NR. 5164.1-10, Teststrecke
- /5/ CPV Checkpoint Vermessung GmbH (11.05.2010): Landwehrkanal Paul Linke Ufer, Messprogramm Crush Piler, vermessungstechnische Beweissicherung Teststrecke

- /6/ FURGRO CONSULT GMBH (29.04.2010): Erweiterte Baugrunduntersuchung Landwehrkanal km 8,9 RU Teststrecke Crusher im Rahmen der Beweis- und Qualitätssicherung Teststrecke
- /7/ Eurofins GfA GmbH (27.05.2010): Emissionsmessungen im Abgas von 3 verschiedenen Baumaschinen – Paul-Lincke-Ufer – Wasser- und Schifffahrtsamt Berlin, Bericht Teststrecke
- /8/ ALB Akustik-Labor Berlin (21.04.2010): Instandsetzung Landwehrkanal: Teststrecke Crush-Piler km 8,9 RU, Schallmessungen mit Auswertung und gutachterlicher Stellungnahme, Bericht Nr. LWK 020210 G, Teststrecke
- /9/ GIKEN EUROPE BV: Verbrauchsdokumentation für den Dieselkraftstoff
- /10/ EGI Erd- und Grundbauinstitut Brandenburg (16.04.2010), Prüfbericht, Verdichtungsprüfung
- /11/ WSA Berlin: Beweissicherung Ufersicherung LWK, Abschnitt 1 (Corneliusstraße)
- /12/ Mette Wasserbau GmbH u. Co. KG: Rammprotokoll Nr. 1 - 2, Pressprotokoll Nr. 1 – 22, Abschnitt 1 (Corneliusstraße)
- /13/ Ing.-Büro Thiel (28.04.2009): Messung, Analyse und Prognose von Lärmparametern, Rammtechnik "Bär-D12", Abschnitt 1 (Corneliusstraße)
- /14/ Mette Wasserbau GmbH u. Co. KG: Rammprotokoll Nr. 1 - 16, Pressprotokoll Nr. 1 –7, Abschnitt 2 (Herkuselufer)
- /15/ WSA Berlin: Beweissicherung Ufersicherung LWK, Abschnitt 2 (Herkuselufer)
- /16/ Bautaucherei und Bergungsbetrieb Barth GmbH: Bautagebuch: Bohlenaufstockung, Abschnitt 2 (Herkuselufer)
- /17/ WSA Berlin: Beweissicherung Ufersicherung LWK, Abschnitt 3 (Tempelhofer Ufer)
- /18/ Weitlandt-Thiel KG (27.02.2009): Prüfbericht Schwingungsmessung, Abschnitt 3 (Tempelhofer Ufer)
- /19/ Bautaucherei und Bergungsbetrieb Barth GmbH: Bautagebuch: Bohlenaufstockung, Abschnitt 3 (Tempelhofer Ufer)
- /20/ Mette Wasserbau GmbH u. Co. KG: Rammprotokoll Nr. 1 - 7, Pressprotokoll Nr. 1 – 5, Abschnitt 3 (Tempelhofer Ufer)
- /21/ Bundesanstalt für Wasserbau Ilmenau – BD (11/2009): Erschütterungen bei Pressarbeiten – Möckernbrücke, Erschütterungsmessungen, Abschnitt 4 (Tempelhofer Ufer/Möckernbrücke)
- /22/ WSA Berlin: Beweissicherung Ufersicherung LWK, Abschnitt 4 (Tempelhofer Ufer/Möckernbrücke)
- /23/ Mette Wasserbau GmbH u. Co. KG: Pressprotokoll Nr. 1 – 4, Abschnitt 4 (Tempelhofer Ufer/Möckernbrücke)
- /24/ GuD Geotechnik und Dynamik GmbH (30.03.2010): Bericht zu Überwachung baubedingter Erschütterungen am U-Bahnhof Möckernbrücke (U7) bei Spundwandrammungen zur Ufersicherung des Landwehrkanals (LWK) im Abschnitt 5 (11.-19.03.2009), Abschnitt 5 (U-Bhf Möckernbrücke)
- /25/ WSA Berlin: Beweissicherung Ufersicherung LWK, Abschnitt 5 (U-Bhf Möckernbrücke)
- /26/ Bautaucherei und Bergungsbetrieb Barth GmbH: Bautagebuch: Bohlenaufstockung, Abschnitt 5 (U-Bhf Möckernbrücke)
- /27/ Mette Wasserbau GmbH u. Co. KG: Rammprotokoll Nr. 1 - 19, Pressprotokoll Nr. 1 – 8, Abschnitt 5 (U-Bhf Möckernbrücke)
- /28/ Weitlandt-Thiel KG (12.03.2009): Prüfbericht Schwingungsmessung, Abschnitt 5 (U-Bhf Möckernbrücke)

- /29/ WSA Berlin: Beweissicherung Ufersicherung LWK, Abschnitt 6 (Tempelhofer Ufer oberhalb U-Bahn Fußgängerbrücke)
- /30/ GuD Geotechnik und Dynamik GmbH: Erschütterungsüberwachung während der Rammarbeiten, Abschnitt 6 (Tempelhofer Ufer oberhalb U-Bahn Fußgängerbrücke)
- /31/ Mette Wasserbau GmbH u. Co. KG: Rammprotokoll Nr. 1 - 3, Pressprotokoll Nr. 1 – 8, Abschnitt 6 (Tempelhofer Ufer oberhalb U-Bahn Fußgängerbrücke)
- /32/ Eurofins GfA GmbH (27.05.2010): Emissionsmessungen im Abgas von 3 verschiedenen Baumaschinen – Maybachufer – Wasser- und Schifffahrtsamt Berlin, Bericht

1.5 Unterlagen

- Unterlage 1: Auswertung der Beweis- und Qualitätssicherung an der Teststrecke
Unterlage 2: Auswertung der Einbringverfahren an acht Abschnitten

Berlin, xx.xx.2010

i. V. Dipl.-Ing. T. Ludwig

i.V. Dipl.-Hydr. J. Lehnert

Beweis- und Qualitätssicherung, Auswertung

Unterlage 1 Auswertung der Beweis- und Qualitätssicherung an der Teststrecke

	Seite	
1	Grundlagen	4
2	Allgemeine Baudokumentation, Bauablauf	5
2.1	Bauverfahren	5
2.2	Bauablauf	6
3	Bautechnische Beweissicherung	9
3.1	Beschreibung des Untersuchungsbereich	9
3.2	Arbeiten vor Beginn der Baumaßnahme	10
3.3	Arbeiten während und nach dem Bau	10
3.4	Zusammenfassung der bautechnischen Beweissicherung	11
3.5	Auszüge aus der Fotodokumentation	11
4	Messtechnische Beweissicherung	14
4.1	Anordnung der Messpunkte	14
4.2	Ablauf der Erschütterungsmessung	15
4.3	Auswertung der Messungen	15
5	Geodätische Beweissicherung	17
5.1	Konventionelle Vermessung	17
5.2	Permanente Messüberwachung	19
5.3	Vergleich konventionelle und permanente Messüberwachung	20
6	Ergänzende Baugrunduntersuchung	22
6.1	Ablauf der Drucksondierung	22
6.2	Auswertung der Drucksondierung	24
7	Qualitätssicherung Bauverfahren	25
7.1	Schloßdetektion	25
7.2	Verbrauchsdocumentation	25
7.3	Lagerungsdichte Hinterfüllung	26
8	Abgasemission	28
8.1	Graphische Darstellung der CO-, NO ₂ - und der Gesamt-C-Emission sowie der Rußzahl	28
8.2	Zusammenfassung der Messwerte	30
9	Schallemission	31
9.1	Anordnung der Messpunkte	31
9.2	Schallquellen der Betriebszustände	32
9.3	Ergebnisse der Schallmessung	32
9.4	Einschätzung und Schlussfolgerung	34
10	Interpretation der Daten der Beweissicherung	36
10.1	Interpretationsansatz	36
10.2	Wahl geeigneter Vergleichswerte	36
10.3	Darstellung der Pressdrücke	36
10.4	Darstellung der Setzungen	37
10.5	Schlussfolgerungen	38

Anlagenverzeichnis

- Anlage 1 : Spundbohlenverlegeplan
- Anlage 2 : Übersicht aller fotodokumentarisch beweisgesicherten Abschnitte
- Anlage 3 : Tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse der bautechnischen und geodätischen Beweissicherung
- Anlage 4 : Lageplan Punktübersicht der Messpunkte M 1 : 1.000
- Anlage 5 : Lageplan der Drucksondierungen M 1 : 50

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Crush Piler mit integrierter Bohrhilfe
- Abbildung 2: Schematische Darstellung des Einbringvorgangs der Spundbohlen
- Abbildung 3: Pressplan
- Abbildung 4: Spundwandeinbringung pro Tag
- Abbildung 5: Übersichtsplan der zu beweisichernden baulichen Anlagen /3/
- Abbildung 6: Begehungszeiträume und Bauabläufe /3/
- Abbildung 7: Rissmonitor B an Brüstung I /3/
- Abbildung 8: Rissmonitor B am 07.04.2010 /3/
- Abbildung 9: Abschnitt PLU-39: Draufsicht bei Erstbegehung /3/
- Abbildung 10: Abschnitt PLU-39: Draufsicht bei 1. Folgebegehung /3/
- Abbildung 11: Lage der Messpunkte /4/
- Abbildung 12: Mittelwerte der Messpunkte MP 1 – MP 4 zu den Betriebszeiten
- Abbildung 13: Schwingschnellen in x-Richtung gemessen an Messpunkt MP 2
- Abbildung 14: Lage der Messpunkte der geodätischen Beweissicherung /5/
- Abbildung 15: Graphische Darstellung der konventionellen Vermessung der Messpunkte MP 5-7 und MP 13-15
- Abbildung 16: Ausschnitte aus der permanenten Messüberwachung (Hebungen und Senkungen durch Temperatureinfluss)
- Abbildung 17: Spitzendruck qc der Drucksondierungen vor Spundwandeinbringung
- Abbildung 18: Spitzendruck qc der Drucksondierungen nach Spundwandeinbringung
- Abbildung 19: Verbrauchdokumentation der eingesetzten Maschinen
- Abbildung 20: Lage der Untersuchungspunkte der Rammsondierung
- Abbildung 21: Stufendiagramm der Rammsondierung
- Abbildung 22: CO-Emissionen der Maschinen (Richtwert: 0,3 g/m³)

- Abbildung 23: NO₂ - Emission der Maschinen (Richtwert 0,35 g/m³)
- Abbildung 24: Gesamt – C – Emission der Maschinen (Richtwert 50 mg/m³)
- Abbildung 25: Rußzahl der Maschinen (Richtwert 10)
- Abbildung 26: Standorte der Mess- und Berechnungspunkte
- Abbildung 27: Ergebnisse der Messungen ohne Bautätigkeit
- Abbildung 28: Ergebnisse der Messungen für das Einbringen der Spundwand
- Abbildung 29: Ergebnisse der Messungen für das Verfüllen mit Kiessand
- Abbildung 30: Ergebnisse der Messungen für das Verfüllen mit Wasserbausteinen
- Abbildung 31: Detailergebnisse der Messungen für das Einbringen der Spundwand
- Abbildung 32: Rechnerisch ermittelte Schalleistungspegel, Ergebnisse der Berechnung und Vergleich mit den Messwerten
- Abbildung 33: Ergebnisse der Berechnungen für die Immissionsorte
- Abbildung 34: Immissionsrichtwerte nach Nummer 3 der AVV Baulärm
- Abbildung 35: Spundbohlenpositionsplan mit Darstellung der Messpunkte
- Abbildung 36: Darstellung der Pressdrücke der Doppelbohlen Nr. 12 und Nr.20
- Abbildung 37: Auszug aus permanenter Messüberwachung /5/ mit Darstellung der Spundbohlen Nr. 12 und Nr. 20
- Abbildung 38: Skizzenhafte Darstellung des Effektes der Mitnahmesetzung an Bestandsbauwerken

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: Tabellarische Darstellung der Spundwandarbeiten
- Tabelle 2: Mittelwerte der Drucksondierung
- Tabelle 3: Dieseldieselkraftstoff vom 29.03. – 16.04.2010 je Maschine

1 Grundlagen

Für die Auswertung wurden folgende Unterlagen verwendet bzw. eingesehen:

- /1/ OBERMEYER Planen + Beraten GmbH: Ausführungsplanung Teststrecke am Paul-Lincke-Ufer, LWK km 8,9 rechtes Ufer, Beweissicherung und Qualitätsmanagement
- /2/ GIKEN EUROPE BV: Pressprotokolle 1 – 40, Teststrecke
- /3/ SPECHT, KALLEJA + PARTNER GmbH (10.05.2010): Beweissicherung im Rahmen des Bauvorhabens Teststrecke Crush Piler im Landwehrkanal in 10999 Berlin-Kreuzberg, bautechnische Beweissicherung, Gutachten I-033.-10-G bis I-033.3-10-G, Teststrecke
- /4/ BeSB GMBH BERLIN SCHALLTECHNISCHES BÜRO 06.05.2010: Erschütterungsmessungen im Verlauf der Einbringung einer Spundwand mit einem Crush-Piler am Landwehrkanal in Berlin-Kreuzberg, Gutachten NR. 5164.1-10, Teststrecke
- /5/ CPV Checkpoint Vermessung GmbH (11.05.2010): Landwehrkanal Paul Linke Ufer, Messprogramm Crush Piler, vermessungstechnische Beweissicherung Teststrecke
- /6/ FURGRO CONSULT GMBH (29.04.2010): Erweiterte Baugrunduntersuchung Landwehrkanal km 8,9 RU Teststrecke Crusher im Rahmen der Beweis- und Qualitätssicherung Teststrecke
- /7/ Eurofins GfA GmbH (27.05.2010): Emissionsmessungen im Abgas von 3 verschiedenen Baumaschinen – Paul-Lincke-Ufer – Wasser- und Schifffahrtsamt Berlin, Bericht Teststrecke
- /8/ ALB Akustik-Labor Berlin (21.04.2010): Instandsetzung Landwehrkanal: Teststrecke Crush-Piler km 8,9 RU, Schallmessungen mit Auswertung und gutachterlicher Stellungnahme, Bericht Nr. LWK 020210 G, Teststrecke
- /9/ GIKEN EUROPE BV: Verbrauchsdokumentation für den Dieselkraftstoff
- /10/ EGI Erd- und Grundbauinstitut Brandenburg (16.04.2010), Prüfbericht, Verdichtungsprüfung

2 Allgemeine Baudokumentation, Bauablauf

2.1 Bauverfahren

Für die Teststrecke am Landwehrkanal, LWK-km 8+875,0 bis km 8+925,0, auf einer Länge von ca. 50 m ist für das Einbringen der Spundwand das Super-Crush-System der Firma Giken Europe B.V. gewählt worden. Dieses Verfahren wurde auf dem „Einpress-Prinzip“ entwickelt. Während bei konventionellen Bauverfahren die Spundbohlen in den Boden eingeschlagen, einvibriert bzw. eingepresst werden, presst beim Super-Crush-System ein Hydraulikzylinder (s.g. Crush Piler) mit integrierter Bohrhilfe die Spundbohlen in den Boden ein. Hierfür wird der Crush Piler auf bereits installierte Startspundbohlen mit hydraulischen Klemmbacken aufgesetzt (Abb.: 1). Beim Einpressvorgang stemmt sich der Hydraulikzylinder gegen die Startbohlen und presst die Spundbohle auf ihre geforderte Tiefe, wobei gleichzeitig ein Bohrer am Spundbohlenfuß den Boden lockert. Dabei bohrt der Bohrer zunächst vor. Anschließend wird der Bohrer ausgezogen und parallel die Spundbohle eingepresst (Abb.: 2). Somit können die Bohlen bei nahezu allen Bodenverhältnissen (Böden mit sehr hohen Festigkeiten) eingepresst werden. Mit fortschreitendem Bauvortrieb wandert die Hydraulikpresse Bohle für Bohle auf der fertiggestellten Spundwand mit.

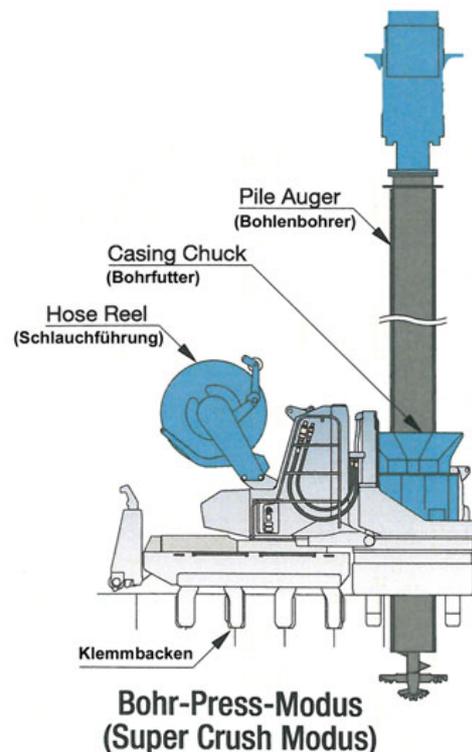


Abbildung 1: Crush Piler mit integrierter Bohrhilfe

Da aus statisch-konstruktiven Aspekten ein AZ-Profil für die Spundbohlen gewählt wurde, ist der Crush Piler Z-Piler-Modell SCZ-675WM für die Einbringarbeiten zum Einsatz gekommen. Ein ursprünglich vorgesehener Crush Piler ECO 1400 stand aufgrund witterungsbedingter Bauzeitverzögerung (geplanter Baubeginn: Februar 2010) nicht mehr zur Verfügung. Es wurde

daher auf eine adäquate Maschine zurückgegriffen. Der Einsatz des Crush Piler ECO 1400 hätte vor allem ökologische Vorteile zur Folge gehabt. Der Kran und ein Bagger (für das spätere Hinterfüllen der Stützwand) wurden parallel zur Spundwand auf einem Ponton mitgeführt. Somit musste der Landwehrkanal für den Zeitraum der Bauarbeiten voll gesperrt werden. Weitere Maschinen wie ein Klemmkran oder ein Spundbohlentransporter, welche ebenso wie die Hydraulikpresse auf der Spundwand hätten mitwandern können, kamen auf Grund der Kürze des Bauabschnittes nicht zum Einsatz.

Integriertes Bohrverfahren (gleichzeitige Anwendung)

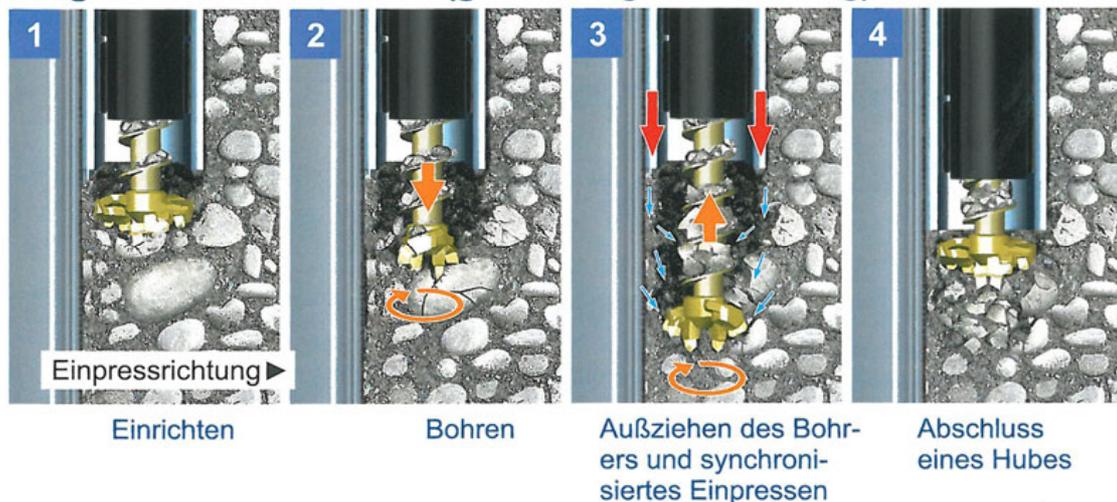


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Einbringvorgangs der Spundbohlen

2.2 Bauablauf

Der gesamte Bau der Spundwand erstreckt sich vom 30.03.2010 bis 16.04.2010. Hierbei befand sich der Crush-Z-Piler an 5 Tagen (30.03. - 31.03.2010 und 06.04. - 08.04.2010) in Betrieb. Die Arbeiten wurden auf Grund einer Bauunterbrechung zu den Osterfeiertagen eingestellt. Nach den Spundwandarbeiten erfolgte die Kieshinterfüllung und Einbringung der Wasserbausteine zwischen der neu hergestellten Spundwand und der alten Uferwand.

Die erste Doppelbohle (Nr.5) wurde am 30.03.2010 um kurz vor 09:00 Uhr eingebracht. Anschließend erfolgte der Einbau der Doppelbohlen Nr.4 – Nr.1 in umgekehrter Reihenfolge, da im vorderen anschließenden Bereich zu Baubeginn noch keine Kampfmittelfreiheit nachgewiesen wurde. Am nächsten Tag wurden die Bohlen Nr.6 – 8 gesetzt. Nach der Schifffahrtsgabe über die Osterferien folgten am 06.04.2010 die Bohlen Nr. 9 – 15, am 07.04.2010 die Bohlen Nr. 16 – 30 und am 08.04.2010 wurden die letzten Bohlen Nr. 31 – 40 eingepresst.

Arbeitstag	Bohlennummer (Doppelbohlen)	Doppelbohlen/Tag
30.03.	Nr.5 – Nr.1 (Startbohlen)	5
31.03.	Nr.6 – Nr.8	3 (halbtags)
06.04.	Nr.9 – Nr.15	7 (halbtags)
07.04.	Nr.16 – Nr.30	15
08.04.	Nr.31– Nr.40	10

Tabelle 1: Tabellarische Darstellung der Spundwandarbeiten

Dem Pressplan (Abb.:3/Anlage 1) können die Standorte der Bohlen entnommen werden. Entsprechend der Nummerierung sind die Spundbohlen eingebracht worden. Die Startbohlen (Nr.1 – 5) wurden in umgekehrter Reihenfolge (gemäß Tabelle 1) eingepresst.

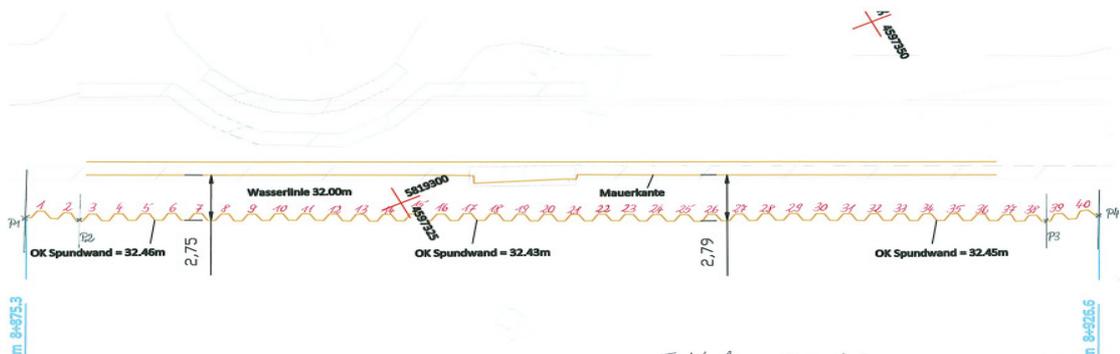


Abbildung 3: Pressplan

Für die Betrachtung der Einbringgeschwindigkeit sollte die Einbringdauer der Startbohlen nicht mit berücksichtigt werden, da der Crush Piler beim Einpressen der Startbohlen noch nicht auf den Bohlen steht und sich an ihnen abstützen kann. Das Einbringen der Startbohlen erfolgte mittels Hilfskonstruktion. Als Gegengewicht des Einpresswiderstandes wurde die Maschine auf einen Stahlrahmen montiert, welcher wiederum an Betongewichten befestigt war, die zuvor auf der Kanalsohle abgesetzt wurden. Somit konnten die Bohlen Nr. 5 – Nr.1 in den Boden gepresst werden. Der weitere Bau der Spundbohlen erfolgte im Regelprinzip, welches in Abschnitt 2.1 erläutert wurde.

Fertiggestellte Spundwand pro Tag [m/d]

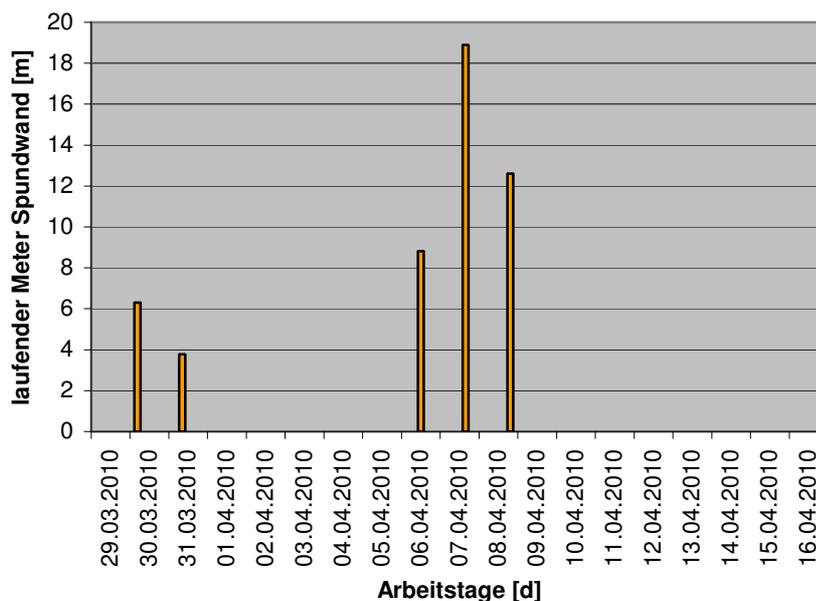


Abbildung 4: Spundwandeinbringung pro Arbeitstag

Beim Einpressvorgang stemmt sich das Rohrpressgerät gegen die Startbohlen und presst die Spundbohle auf ihre geforderte Tiefe, wobei gleichzeitig ein Bohrgerät am Spundbohlenfuß den Boden lockert. Somit können die Bohlen bei nahezu allen Bodenverhältnissen (Böden mit sehr hohen Festigkeiten) eingepresst werden. Mit fortschreitendem Bauvortrieb wandert die Hydraulikpresse Bohle für Bohle auf der fertiggestellten Spundwand mit.

In der Abbildung 4 sind die Daten der Tabelle 1 noch einmal graphisch dargestellt. Hierbei ist der Baufortschritt an den einzelnen Arbeitstagen gut abzulesen. Wenn man die Einbringung der Startbohlen für die spätere Herstellung größerer Ufersicherungsabschnitte als einmaligen Vorgang betrachtet und die halbtägigen Arbeitseinsätze an den Tagen 31.03. und 06.04.2010 nicht in die Einbringrate einrechnet, kann man von einer mittleren Einbringgeschwindigkeit pro Tag von 10 bis 15 Doppelbohlen ausgehen.

Die Doppelbohlen konnten ohne Probleme eingepresst werden, was mit Sicherheit auf den permanenten Einsatz der Bohrschnecke (Vorbohren) zurückzuführen ist. So wurden auch im Mittel ein Pressdruck von 35 t erreicht, welcher weit unter dem möglichen Parameter (max. Einpresskraft 122 t) des Gerätes liegt. Da das eingesetzte Gerät nur mit permanentem Vorbohren betrieben werden kann, lässt sich die Frage nach dem Erfordernis des Vorbohrens nicht detaillierter betrachten.

Im Ergebnis der Einpressarbeiten ist eine lagerichtige Spundwand errichtet worden. Entsprechend des Einpressplans wurden die Bohlen in der Rammflucht eingebracht. Auch die Neigung der Bohlen zur Kanalachse ist gleich null. Lediglich die Spundwandköpfe weisen unterschiedliche Höhen auf. Diese Versprünge sind jedoch bereits bei der Fertigung der Doppelbohlen im Werk entstanden und sind nicht auf das Einbringen der Spundbohlen zurückzuführen. Beim Einpressen der Bohlen haben die Schlosdetektoren keine Warnmeldungen gegeben. Ebenso wurde die Kieshinterfüllung und die Wasserbausteinlage projektkonform hergestellt.

3 Bautechnische Beweissicherung

3.1 Beschreibung des Untersuchungsbereich

Die bautechnische Beweissicherung /3/ am Landwehrkanal Berlin wurde durch das Ingenieurbüro Specht, Kalleja + Partner GmbH durchgeführt. Der Untersuchungsbereich erstreckt sich zwischen den Stationen LWK-km 8+850,0 bis km 8+950,0 und ist somit beidseitig um 25 m länger als die Spundwand. Senkrecht zur Spundwandachse erstreckt sich der Bereich zu beiden Seiten auf 60 m. In der folgenden Abbildung (Abb.: 5) ist der Untersuchungsbereich mit allen beweistechnisch zu sichernden Bauwerken dargestellt.

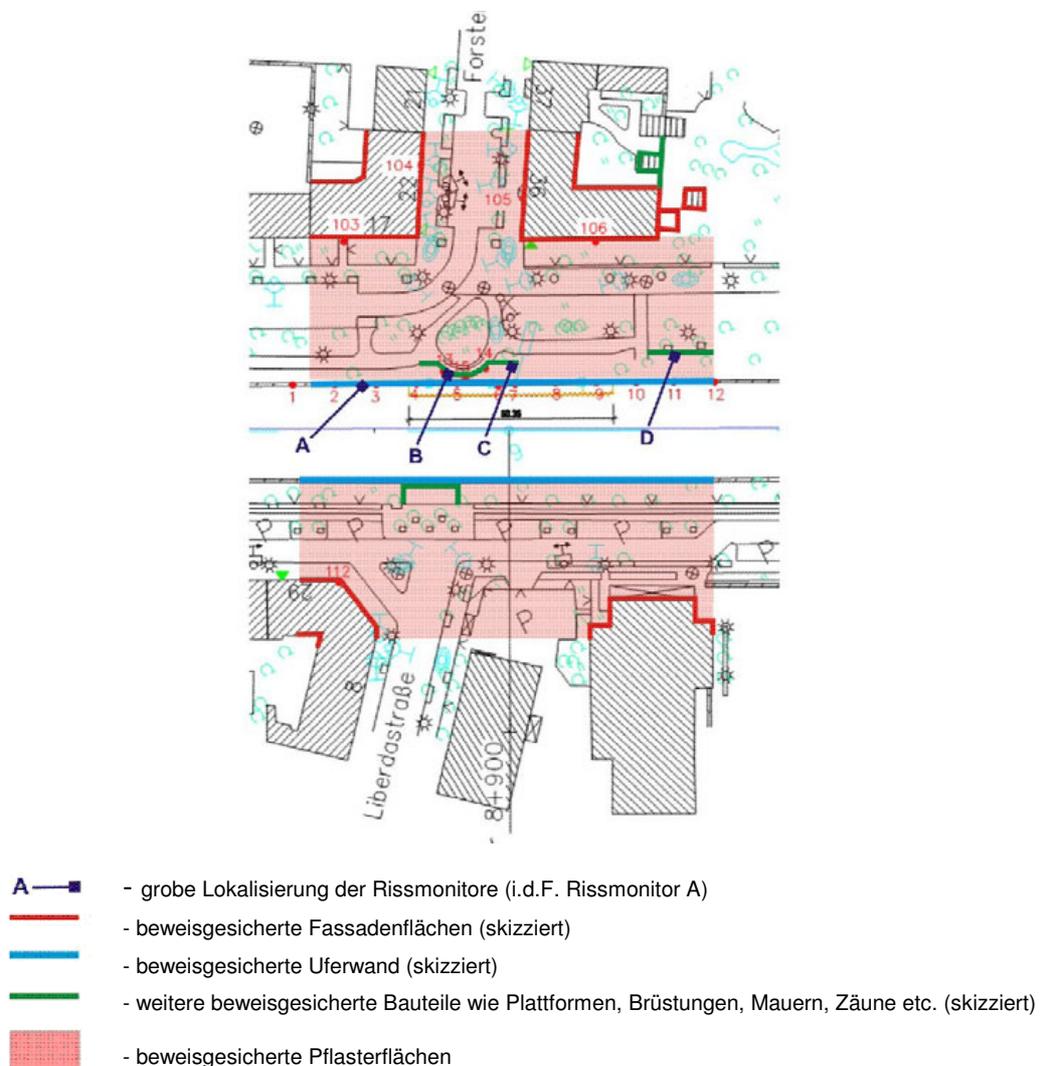


Abbildung 5: Übersichtsplan der zu beweisichernden baulichen Anlagen /3/

Die im Untersuchungsbereich befindlichen baulichen Anlagen wurden gemäß Lageplan aufgenommen. Hierzu zählen die beiden Uferwände des Landwehrkanals von LWK-km 8+850,0 bis km 8+950,0 mit einer Länge von je 100 m, die angrenzende Bebauung (insbesondere die Gebäude Paul-Lincke-Ufer 17 / Forsterstraße 22, Forsterstraße 36, Maybachufer 29, Spielplatz am Paul-Lincke-Ufer, der Lidl-Supermarkt am Maybachufer 32 sowie der Aldi-Supermarkt in der Liberdastraße 5) und die Brüstungen I und II am rechten Ufer.

3.2 Arbeiten vor Beginn der Baumaßnahme

Entsprechend der Forderungen erfolgte vor Beginn der Spundwandarbeiten die Beweissicherung unter folgenden Aspekten: die Uferwände wurden photographisch als Frontfoto aufgenommen (an besonderen Stellen wie z.B. Ufertreppen erfolgen weitere Aufnahmen), vorhandene Risse wurden mit Rissmonitoren versehen, alle Gebäude, Nebengebäude und Hinterhöfe wurden photographisch dokumentiert und vorhandene Schäden / Risse mittels Risslineal aufgenommen. Des weitern erfolgte die Aufnahme der befestigten Flächen inklusive Bordeinfassung am Paul-Lincke-Ufer und am Maybachufer. Eine Übersicht aller fotodokumentarisch beweisgesicherten Abschnitt ist in Anlage2 hinterlegt.

3.3 Arbeiten während und nach dem Bau

Die Begehungszeiträume und Bauabläufe sind in Abbildung 6 dargestellt. Hieraus ist zu erkennen, dass nach der ersten Beweissicherung am 22./23.03.2010 drei weitere Beweissicherungen folgten. In der Folgebeweissicherung am 07.04.2010 und den Schlussbeweissicherungen I und II am 16. bzw. 21.04.2010 wurden alle augenscheinlich feststellbaren Veränderungen lokalisiert und dokumentiert.

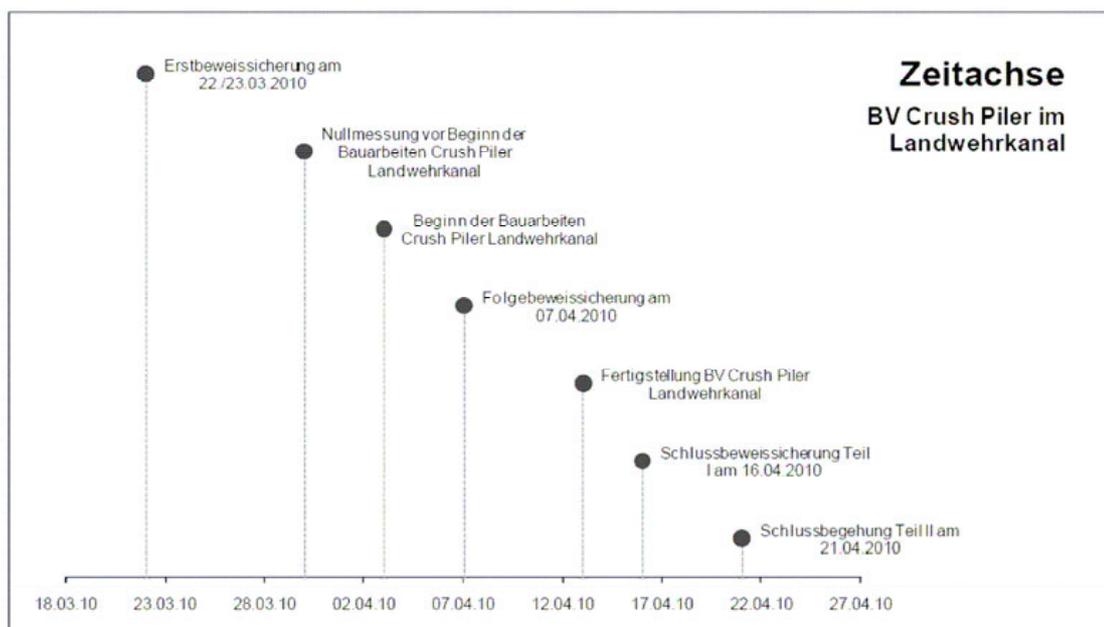


Abbildung 6: Begehungszeiträume und Bauabläufe /3/

3.4 Zusammenfassung der bautechnischen Beweissicherung

Im Anschluss zu den Beweissicherungsbegehungen wurden die festgestellten Ergebnisse bzw. Veränderungen zusammen gefasst und tabellarisch mit den Ergebnissen der geodätischen Messungen verglichen (Tabelle ist in Anlage 3 hinterlegt). Aus diesem Vergleich heraus konnten nur in unmittelbarer Nähe zu den Bauarbeiten augenscheinliche Veränderungen festgestellt werden. Genauer gesagt konnten Bewegungen bzw. Rissöffnungen an der Brüstung I und der Kaiwand am rechten Ufer des Landwehrkanals dokumentiert werden. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass sich lediglich vorhandene Risse weiter geöffnet haben und keine neuen Risse entstanden sind. Des Weiteren ist festzustellen, dass trotz geodätischer Verschiebungen (geodätischen Beweissicherung siehe Kapitel 5) an der Uferwand keine bis minimale Veränderungen aufgetreten sind. An allen weiteren beweisgesicherten Gebäuden außerhalb der eigentlichen Baustelle sind keine Veränderungen in Zusammenhang mit den Bauarbeiten zu bringen. Größere Verformungen am Handlauf der Brüstung II sind auf thermische Einflüsse zurückzuführen.

3.5 Auszüge aus der Fotodokumentation

Für die o.g. Veränderungen an den baulichen Anlagen sind im Folgenden der Rissmonitor B und die fotografische Beweissicherung, Bild PLU.134 und Bild U1.1, für die Brüstung I (siehe Übersichtsplan Abbildung 5:) und die Uferwand am Paul-Lincke-Ufer dargestellt.

Der Rissmonitor B befand sich an der vorderen linken Ecke des Rondells (Brüstung I, Übersichtsplan in Abschnitt 3.1). Er wurde über einer gerissenen Fuge zwischen zwei Blöcken montiert.



Abbildung 7: Rissmonitor B an Brüstung I /3/

Nach der ersten Folgemessung am 07.04.2010 wurden folgende Verschiebungen des Monitors abgelesen:

- Horizontale Skala oben: + 1,0 mm
- Horizontale Skala unten: + 0,9 mm
- Vertikale Skala links: + 0,3 mm
- Vertikale Skala rechts: + 0,2 mm

Das heißt es fand, neben den horizontalen und vertikalen Verschiebungen, auch eine Verdrehung statt. Die Werte der horizontalen Skala oben und unten geben dabei die Horizontalverschiebung und die lotrechte Verdrehung an. Die Werte der vertikalen Skala links und rechts zeigen die Vertikalverschiebung und die Verdrehung um die Horizontale.

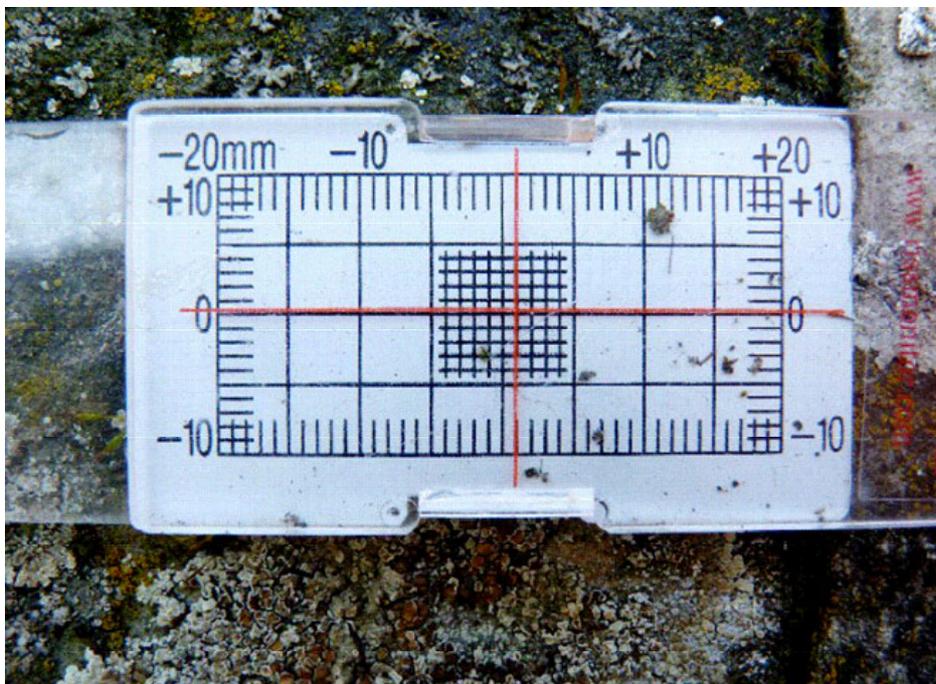


Abbildung 8: Rissmonitor B am 07.04.2010 /3/

Die größten augenscheinlichen Veränderungen an den baulichen Anlagen traten im Abschnitt PLU-39 (Abschnitt in Anlage 2: Übersicht nachzuvollziehen) an der Ufermauer des Paul-Lincke-Ufers auf. An dieser Stelle der Uferbefestigung befindet sich eine Treppe, welche parallel zur Kanalachse verläuft. Die zu verzeichnenden Änderung umfassen vor allem die Aufweitung der Fugen der obersten Trittstufe. Hierbei ist eine Vergrößerung der bereits gerissenen Fuge zwischen dem Stufenblock der Treppe und der Abschlussplatte der Uferwand sowie zwischen den Stufenblöcken untereinander zu erkennen. Deutlich wird dies im Vergleich der Dokumentation der Erstbegehung mit den Aufnahmen der 1. Folgebegehung.

In den folgenden Abbildungen (Abb.: Nr. 9 und Nr. 10) sind die Veränderungen an den Fugen mit Pfeilen lokalisiert worden. Wie in der Abbildung 8 der 1. Folgebegehung gut zu erkennen ist (linke obere Ecke), war zu diesem Zeitpunkt die Spundwand in diesem Abschnitt bereits fertig gestellt.

Im Ergebnis der bautechnischen Beweissicherung ist festzustellen, dass bei den Arbeiten der Teststrecke keine kritischen Veränderungen aufgetreten sind. Nur in unmittelbarer Nähe zu den

Bauarbeiten konnten augenscheinlich Veränderungen festgestellt werden. An der Brüstung I und an der Kaiwand entlang des Paul-Lincke-Ufers wurden Veränderungen festgestellt. Mehrere bereits zum Zeitpunkt der Erstbegehung bestehende Risse in der Brüstung I haben sich geweitet. Neue Risse an der bereits vor Beginn der Bauarbeiten stark vorgeschädigten Brüstung, sind nicht entstanden. Im Vergleich zu den gemessenen geodätischen Verschiebungen der Brüstung (Setzungen bis zu 13 mm; Querverschiebungen bis zu 14 mm in Richtung des Wassers), haben sich die vorhandenen Risse nur verhältnismäßig gering geweitet (bis zu 1,2 mm).



Abbildung 9: Abschnitt PLU-39: Draufsicht bei Erstbegehung /3/



Abbildung 10: Abschnitt PLU-39: Draufsicht bei 1. Folgebegehung /3/

4 Messtechnische Beweissicherung

Die Erschütterungsmessungen /4/ zur messtechnischen Beweissicherung im Verlauf der Einbringung der Spundwand am Landwehrkanal Berlin wurden durch das schalltechnische Büro BeSB GMBH BERLIN vorgenommen. Demnach wurden an 4 vorgegebenen Messpunkten Dauermessungen und an einem weiteren Punkten temporäre Messungen durchgeführt. Die Anordnung der Messpunkte sind in Abbildung 11 dargestellt. Hierbei sind die roten Bezeichnungen die im folgenden Text verwendeten Abkürzungen für die Messpunkte.

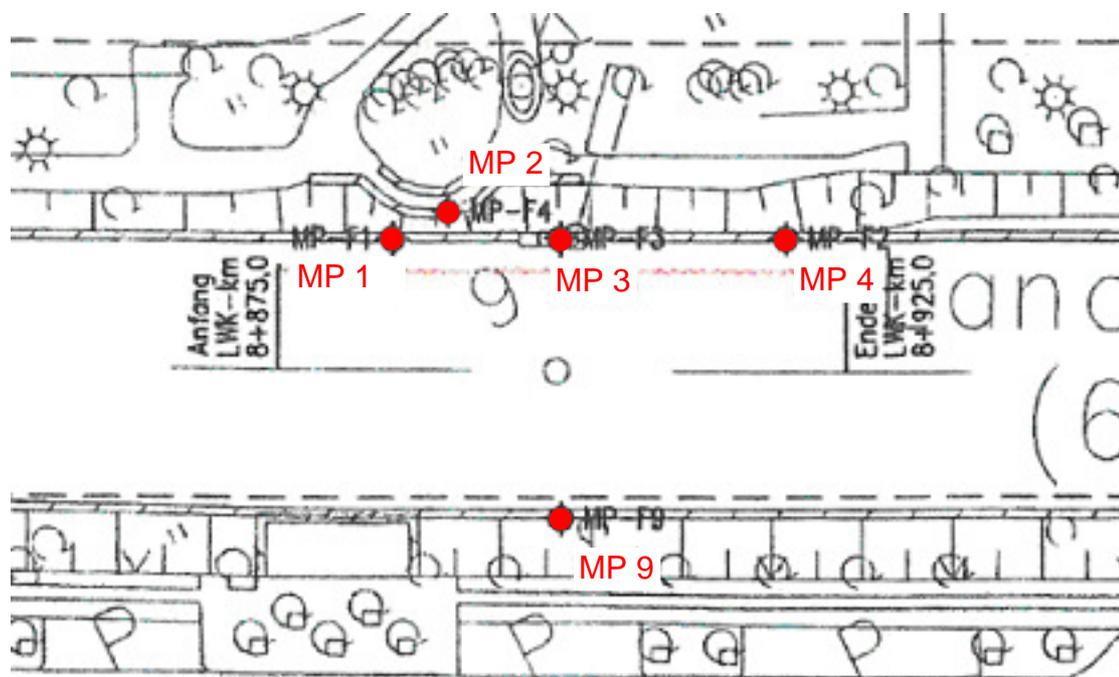


Abbildung 11: Lage der Messpunkte /4/

4.1 Anordnung der Messpunkte

Die Anordnung der Messpunkte ist an den möglichen Ausbreitungen der eingetragenen Schwingungen und der Lage der Schutzgüter im Beweissicherungsbereich orientiert. Demnach wurden die Dauermesspunkte in unmittelbarer Nähe der Erregerquelle aufgebaut. Zur Erfassung möglicher relevanter Erschütterungen an Schutzgütern waren an den 4 nahegelegenen Gebäuden und der gegenüberliegenden Ufermauer ergänzende Messpunkte angeordnet. Exemplarisch erfolgte hier nur eine Messung an Messpunkt MP-F9, da die Ergebnisse der Messungen an den Dauermesspunkten keine Erfordernis für ergänzende Messungen aufzeigten

4.2 Ablauf der Erschütterungsmessung

Die Messungen wurden am 30.03.2010 ca. 07:30 Uhr gestartet und am 08.04.2010 am frühen Nachmittag beendet. Gemäß dem Beweissicherungskonzept erfolgte am 07.04.2010 zur Mittagspause (zw. 12:00 Uhr und 12:30 Uhr) der Umbau des Messaufnehmers von Messpunkt MP 1 an den Messpunkt MP 4. Zu diesem Zeitpunkt waren etwa die Hälfte der Spundwandarbeiten absolviert. Somit wurden an den Messpunkten MP 1 und MP 4 jeweils eine Hälfte der Bauphase aufgezeichnet. Das gesamte Messsystem wurde 24 h/Tag betrieben und hat somit auch Ruheaufzeichnungen gemessen, die Erschütterungen bspw. von alltäglichem Verkehr auf den umliegenden Straßen berücksichtigen.

Die Messdurchführung erfolgte nach den Anforderungen der DIN 45669. Die Messsysteme haben im Sekundentakt zeitgleich die Messwerte der Schwingungsschnellen [cm/s] in den drei Raumrichtungen x, y und z gemessen. Hierbei steht die x-Richtung senkrecht zur Fließrichtung des Kanals, die y-Richtung parallel zu Fließrichtung und die z-Achse bezeichnet die vertikalen Erschütterungen. Die Aufzeichnung erfolgte mit 3 Mess-PC und wurde permanent kontrolliert und ferngesteuert. Dies wurde unter der Verwendung einer permanenten Internetverbindung zum Messlabor in Berlin realisiert. Die aufgenommenen Daten wurden dann halbtäglich zusammen gefasst und in Diagrammen dokumentiert und beurteilt.

4.3 Auswertung der Messungen

Im nachfolgenden Diagramm (Abb.: 12) sind die Mittelwerte aller Dauermesspunkte graphisch zusammen gefasst. Am 07.04. erfolgte wie oben bereits beschrieben der Umbau des Messaufnehmers von Messpunkt MP 1 zu MP 4. Somit wurden an dem Messpunkt MP 1 die Daten bis zum 07.04. und am Messpunkt MP 4 ab dem 07.04. aufgenommen und dargestellt.

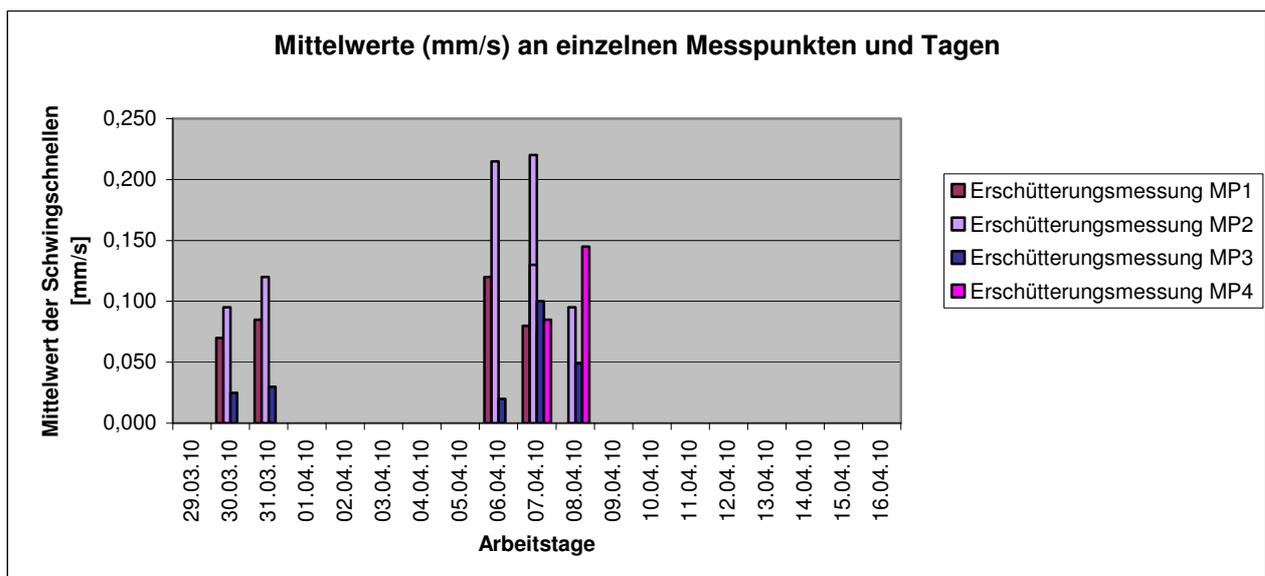


Abbildung 12: Mittelwerte der Messpunkte MP 1 – MP 4 zu den Betriebszeiten

Anhand der ansteigenden und wieder fallenden Werte am Messpunkt MP 2 ist das räumliche Wandern der Baustelle sehr gut zu erkennen. Hier befand sich der Messaufnehmer relativ zentral hinter der Spundwandtrasse auf der Brüstung der Uferanlage. Aus den Werten ist weiterhin gut zu erkennen, dass der Grenzwert von 20 mm/s weit unterschritten wurde. Lokale Maxima während der Einbringung einer einzelnen Bohle sind in Abbildung 13 dargestellt. Hier wird temporär ein Maximum der Schwingschnelle von 4 mm/s erreicht.

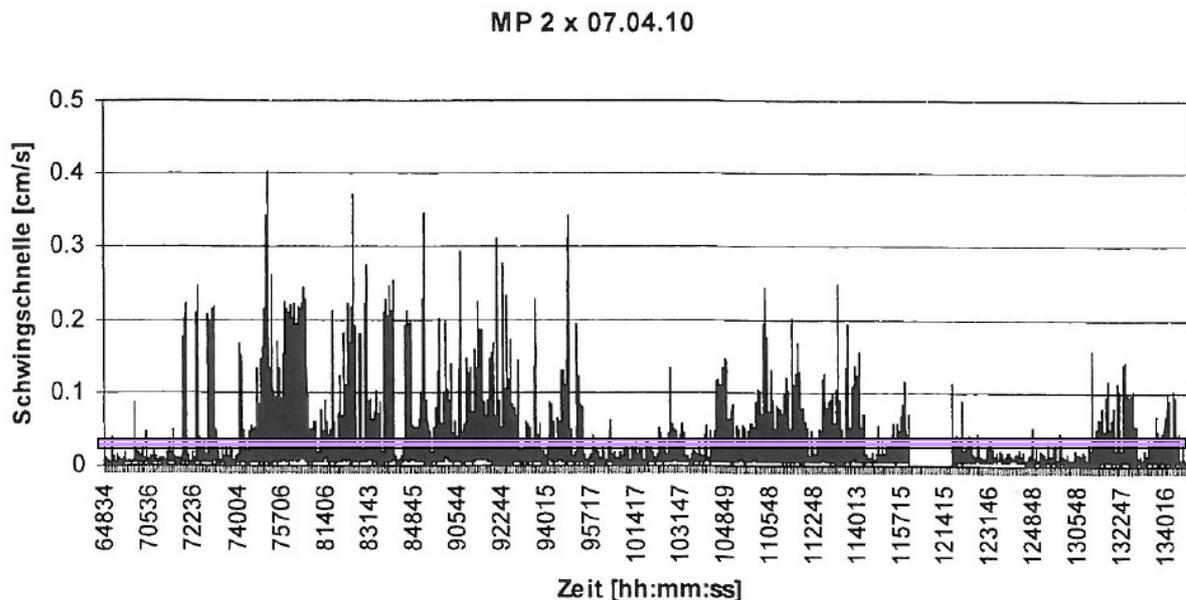


Abbildung 13: Schwingschnellen in x-Richtung gemessen an Messpunkt MP 2 /4/

Der Graph in Abbildung 11 zeigt die Einbringphasen der einzelnen Bohlen. Am 07.04.2010 begannen die Einbringarbeiten mit dem Einbringen der ersten Bohle um 07:39 Uhr. Die Ausschläge im Diagramm gegen 07:22 Uhr können dem Einrichten der Baustelle zugeordnet werden. Am Auf und Ab des Graphen danach lassen sich die Spundbohleneinbringungen gut erkennen. Die violette Linie im Diagramm zeigt die Ausschläge zu den umbaubedingten Ruhepausen. Auch hier wurden aufgrund von Verkehr permanent Erschütterungen gemessen.

Der empfohlene Grenzwert von 20 mm/s, welcher in Anlehnung an die DIN 4150-3 vor der Baumaßnahme festgesetzt wurde, ist zu keinem Zeitpunkt überschritten worden. Die maximalen Messwerte der Schwingschnellen auf der Ufermauer betragen 4 – 5 mm/s. Auch an der angrenzenden Bebauung wurden fast ausschließlich Werte außerhalb der Fühlschwelle (0,1 mm/s) gemessen. Hier traten nur einzelne Spitzenwerte auf. Nach der Beurteilung des Gutachters ist eine Gebäudegefährdung aufgrund des niedrigen Erschütterungsniveaus nicht vorhanden.

5 Geodätische Beweissicherung

Eine baubegleitende konventionelle und permanente geodätische Beweissicherung wurde durch das Büro CPV Checkpoint Vermessung GmbH /5/ vorgenommen. Für die konventionelle Vermessung wurden Höhenmessgeräte (s.g. Nivelliere) und Lagemessgeräte (s.g. Tachymeter) verwendet und an 13 Messungen die Lageverschiebungen manuell aufgenommen. Bei der permanenten Messung wurde ein automatisches Monitoringsystem aufgebaut, welches in einem Intervall von 20 Minuten Messungen durchgeführt hat.

Die genaue Lage und Nummerierung der Messpunkte kann der folgenden Punkteübersicht (Abb.: 14/Anlage 4) entnommen werden:

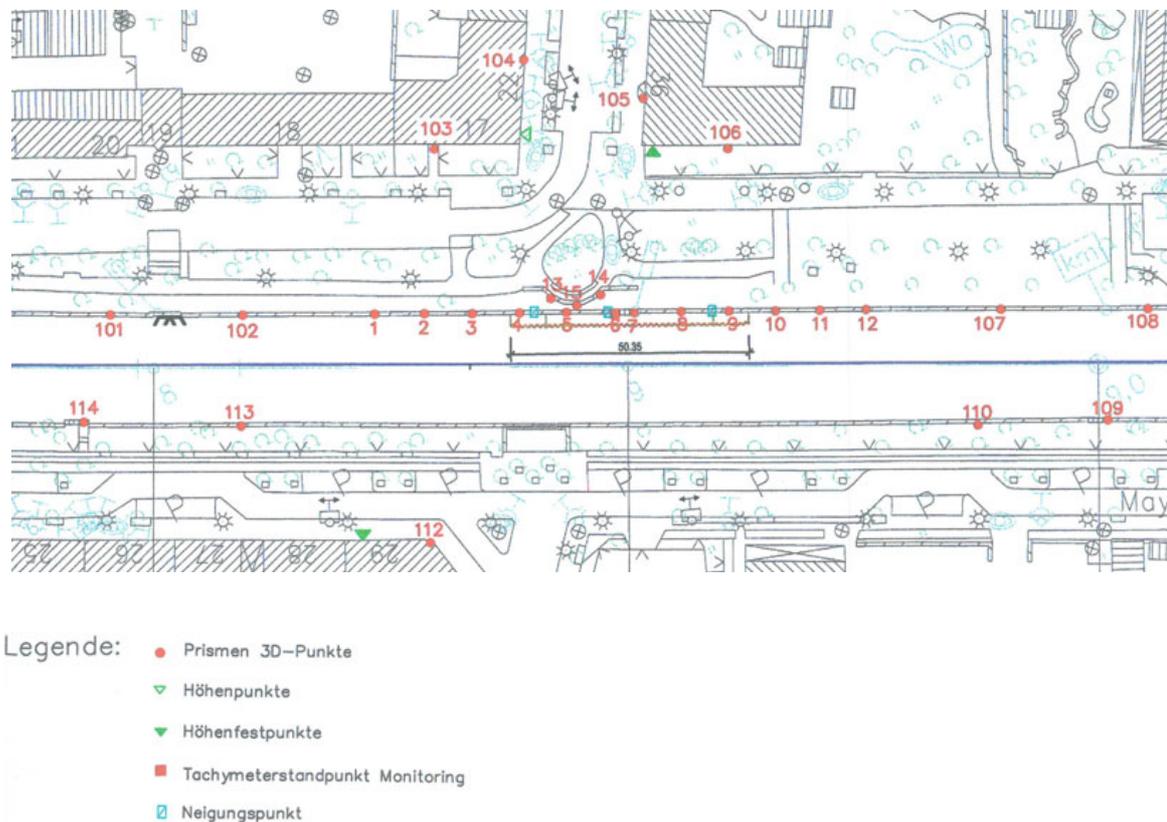


Abbildung 14: Lage der Messpunkte der geodätischen Beweissicherung /5/

5.1 Konventionelle Vermessung

Die konventionelle Vermessung erfolgte vor, während und nach der Spundwandeinbringung. Hierbei wurden die Nullmessung, baubegleitende Messungen und eine Schlussvermessung mit Hilfe von Nivellement und Tachymeter durchgeführt. Die vorgeschriebenen zulässigen Standardabweichungen (Zielgröße $\sigma_z \sim 4 \text{ mm}$ / einzelne Messung $\sigma_n \sim 2,8 \text{ mm}$) wurden dabei deutlich unterschritten. Die Abschlussfehler der Nivellementmessung lagen unter 0,5 mm und die einfache Genauigkeit der Tachymetermessung lag zwischen 0,3 und 1 mm in allen drei

Richtungen. Zum Einsatz kam für das Nivellement ein Digitalnivellier DiNi03 von Trimble mit einer 2 m Invarlatte und für die Tachymetermessung wurden ein beziehungsweise zwei Tachymeter von Leica TCA 2003 und TS30 eingesetzt.

Entsprechend der Anforderungen fanden die Messungen an folgenden Terminen statt:

- Nullmessung / 1. Folgemessung: 11.03., 13.03. und 22.03.2010 (vor Baubeginn)
- 2. Folgemessung: 29.03.2010 (vor Einbringen der Startbohlen)
- 3. Folgemessung: 31.03.2010 (nach Einbringen Startbohlen)
- 4. Folgemessung: 02.04.2010 (2-Tage-Turnus)
- 5. Folgemessung: 04.04.2010 (2-Tage-Turnus)
- 6. Folgemessung: 06.04.2010 (2-Tage-Turnus)
- 7. Folgemessung: 07.04.2010 (75% der Doppelbohlen eingebracht)
- 8. Folgemessung: 08.04.2010 (100% der Doppelbohlen eingebracht)
- 9. Folgemessung: 09.04.2010
- 10. Folgemessung: 12.04.2010
- 11. Folgemessung: 14.04.2010 (nach Kieshinterfüllung)
- 12. Folgemessung: 16.04.2010 (nach Wasserbausteinverfüllung)
- 13. Folgemessung: 22.04.2010 (Abschlussmessung nach Fertigstellung)

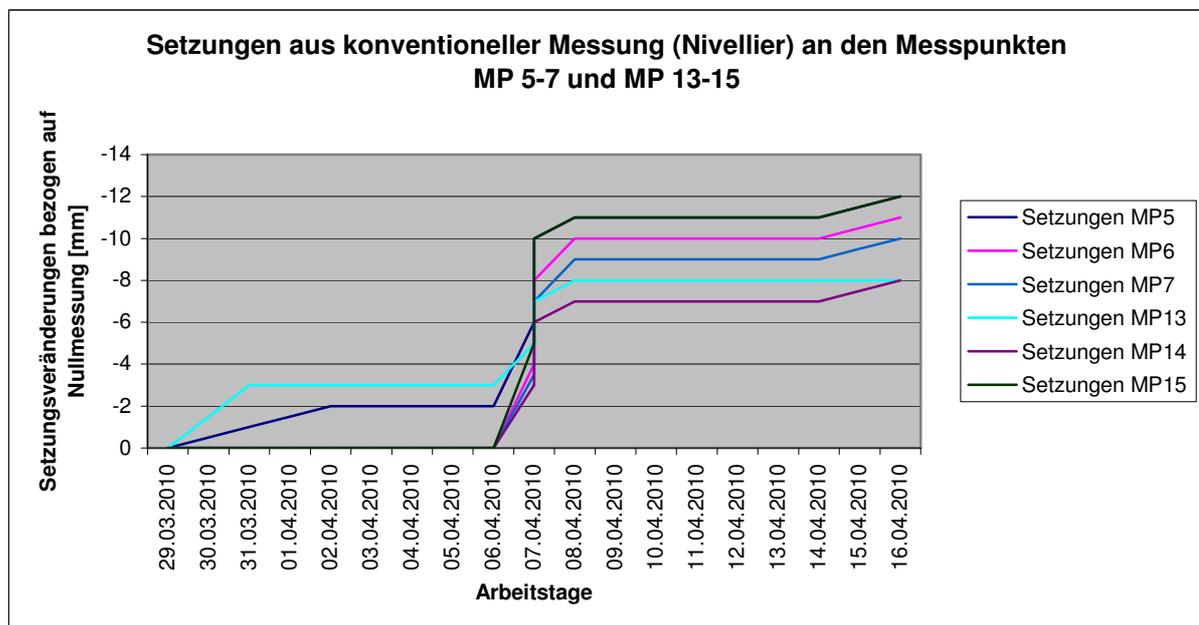


Abbildung 15: Graphische Darstellung der konventionellen Vermessung der Messpunkte MP 5-7 und MP 13-15

Beispielhaft für das Verformungsverhalten der überwachten Messpunkte sind im vorstehenden Diagramm (Abb.: 15) die Setzungen aus der konventionellen Vermessung für die Messpunkte MP 5 – 7 und MP 13 – 15 graphisch dargestellt. An diesen Messstellen traten die verhältnismäßig größten Setzungen auf. Die Messpunkte MP 6 und MP 7 befanden sich unmittelbar auf der Hälfte der Teststrecke auf der Ufermauer. Der Punkt MP 5 lag in etwa auf dem ersten Viertel der Spundwandtrasse. Zur Überwachung der Brüstungen (Rondell) hinter

der Ufermauer wurden die Messpunkte MP 13-15 angeordnet. Auch hier sind etwas größere Setzungen als an anderen Punkten aufgezeichnet worden.

Wie man der Abbildung 15 sehr gut entnehmen kann, traten die Setzungen entsprechend der Einbringarbeiten der Spundbohlen auf. Mit Beginn der Arbeiten am 30.03.2010 konnten an den Messpunkten MP 13 und MP 5 (Position der Messpunkte siehe Abb. 13) die ersten Setzungen gemessen werden. Im Verlauf der Schifffahrtsfreigabe (01.04. – 05.04.2010), bedingt durch die Osterferien, wurden keine weiteren Verformungen gemessen. Mit der Wiederaufnahme der Einpressarbeiten sind dann zwischen dem 06.04. und 08.04.2010 deutliche Setzungen im Bereich der o.g. Messpunkte dokumentiert worden. Erneute Setzungen wurden dann wieder zum Zeitpunkt der Kies- und Wasserbaustein hinterfüllung (14.04 – 16.04.2010) gemessen.

5.2 Permanente Messüberwachung

Das Nivellement ist ein 1D Verfahren und ist durch ständiges Umsetzen des Messgerätes schnell, flexibel und sehr genau. Der Tachymeter hingegen ist ein 3D Verfahren, welches zusätzlich die Lageverschiebungen erfasst. Hierbei wird die Qualität der Messergebnisse durch die Entfernung zum Messobjekt stark beeinflusst.

Für die permanente Messüberwachung wurde ein automatisches Monitoringsystem installiert. Das gesamte System hat Neigungs-, Setzungs-, Quer- und Längsverschiebungen aufgezeichnet. Bei der Erfassung der Neigung wurde ein einachsiger Sensor der Firma HL-Planartechnik GmbH verwendet. Für alle anderen automatischen Messungen kam ein Tachymeter von Leica Typ TM30, welcher speziell für Monitoringaufgaben entwickelt wurde zum Einsatz. Die Datenerfassung der Neigungsmessungen erfolgte im Minutentakt. Bei der Messung der Setzungs-, Quer- und Längsverschiebungen wurden die Daten im 20-Minutenrhythmus aufgezeichnet. Da dies für alle Messungen sehr große Datenmengen bedeutet wurde diese jeweils nur graphisch dargestellt.

Im Gegensatz zu den manuellen Messungen konnte die automatische Messung von nur einem Standpunkt aus durchgeführt werden. Die Standpunktkoordinate wurde hierfür durch 14 Anschlusspunkte kontrolliert. Die Genauigkeit der Stationierungsberechnung liegt hierbei unter 1 mm für jeden Messzyklus.

Die Ergebnisse der permanenten Messüberwachung unterscheiden sich zu denen der konventionellen lediglich um 0 – 1 mm. Jedoch kann man aufgrund der Dichte der Messergebnisse (Aufzeichnung im 20-Minuten-Rhythmus) Lageveränderungen genauer den äußeren Einwirkungen zu ordnen. So sind beispielsweise an den Messpunkten bzw. an der Ufermauer ein ständiges Heben und Senken im Bereich von ± 1 mm gemessen worden. Das Verformungsverhalten ist auf den Einfluss der Temperatur zurückzuführen. Man spricht hier auch vom sogenannten Normalverhalten des Bauwerks unter Temperatureinfluss. In Abbildung 16 ist dieses Verhalten graphisch dargestellt. Die eingetragenen roten Linien zeigen die Höhendifferenzen zwischen den Tages- und Nachttemperaturen des Messpunktes.

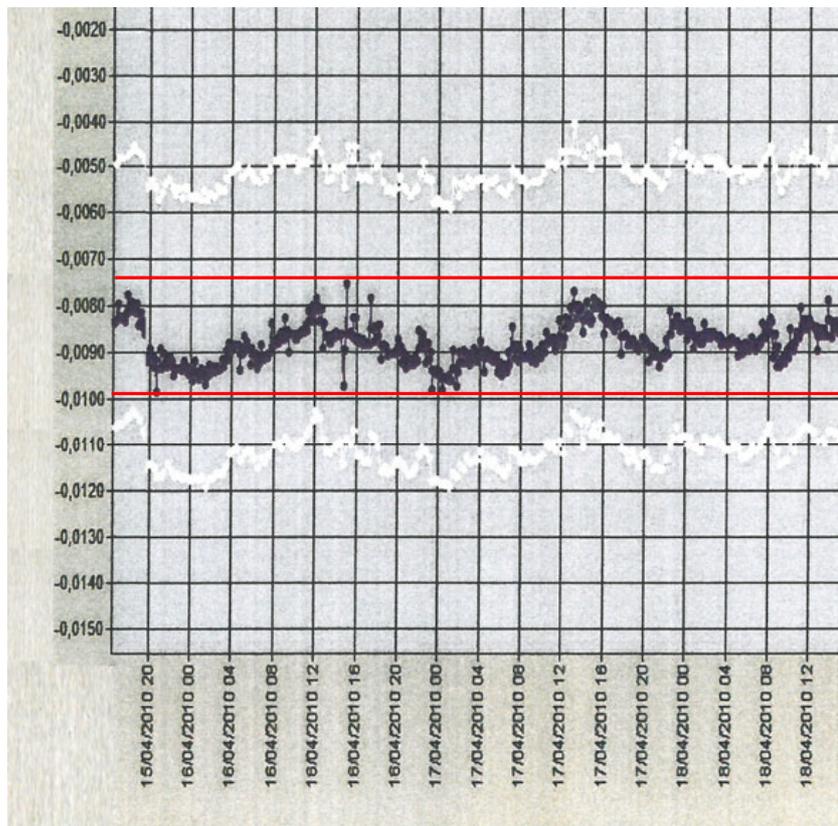


Abbildung 16: Ausschnitte aus der permanenten Messüberwachung (Hebungen und Senkungen durch Temperatureinfluss)

5.3 Vergleich konventionelle und permanente Messüberwachung

Zwischen den manuellen und den automatischen Messverfahren gibt es wesentliche Unterschiede. Das Nivellement und die Tachymetermessung sind optische Messverfahren, bei denen die Genauigkeit der Messergebnisse sehr stark von den äußeren Bedingungen bzw. Sichtverhältnissen abhängt. Im Gegensatz zu den manuellen Messungen konnte die automatische Messung von nur einem Standpunkt aus durchgeführt werden.

Bei der manuellen Tachymetermessung wurde durch das Messen von 12 Standpunkten aus ein hohes Maß an Überbestimmung erzielt. Das heißt die Messergebnisse wurden in sich kontrolliert. Hierfür wurden jedoch ein hoher Mess- und Auswertungsaufwand sowie nur eine Messung pro Tag betrieben. Bei der automatischen Messung hingegen wurden alle 20 Minuten Daten erhoben, anhand derer etwaige Fehlmessungen schnell hätten aufgedeckt werden und plausibel gefiltert werden können. Allerdings wurden alle Objektpunkte nur einmal pro Messzyklus erfasst und haben keine Überbestimmung, womit eine unabhängige Kontrolle ausbleibt.

Da es zu keinem Zeitpunkt alarmierende Setzungen (Grenzwert 20 mm) gab zeigt, dass die örtliche Situation bzw. die Erschütterungsauswirkungen des Crush Pilers richtig eingeschätzt wurde. Das Messintervall der konventionellen Messung musste nie verdichtet werden und das Monitoringsystem hat zu keiner Zeit einen Alarm gemeldet.

Durch die Kombination der konventionellen und permanenten Messverfahren konnte eine hohe Genauigkeit der Messergebnisse sichergestellt werden. Dies zeigt der Vergleich der Ergebnisse. Bei ähnlichen Projekten bietet sich diese Art der geodätischen Beweissicherung sicherlich ebenfalls an. Hier sollte von Projekt zu Projekt bzw. von Situation zu Situation über den Einsatz der Verfahren entschieden werden. Bei Projekten, bei denen sich plötzliche Verformungen einstellen können, ist eine permanente Überwachung, gekoppelt mit einem entsprechenden Alarmiersystem durchaus sinnvoll und angemessen.

6 Ergänzende Baugrunduntersuchung

Um Kenntnisse über den Einfluss des Vorbohrens auf den Untergrund und speziell die Lagerung der Spundwand zu gewinnen, wurde das Büro FURGO CONSULT GMBH /6/ damit beauftragt, Drucksondierungen am Landwehrkanal im Bereich der Teststrecke vor und nach Einbringen der Spundwand durchzuführen. Vor Beginn der Einbringarbeiten wurden im Abstand von 15 m an 4 Untersuchungspunkten (CPT 1 – 4) Drucksondierungen vorgenommen. Nach Fertigstellung der Spundwand fanden in unmittelbarer Nähe dieser Punkte und direkt an der letzten Doppelbohle (Spundbohle Nr. 40) erneute Drucksondierungen statt. Die Arbeiten wurden am 24.03. und am 16.04.2010 ausgeführt. Die genaue Position der Sondierungen ist der Anlage 5 zu entnehmen.

6.1 Ablauf der Drucksondierung

Für die elektrische Drucksondierung wurden mobile Drucksondiereinheiten eingesetzt. Das Sondiergerät besteht aus einer elektrischen Sonde, Registriereinheiten und einer Einbringvorrichtung. Zum Einsatz kam eine Sonderspitze mit 15 cm² Querschnittsfläche sowie 60 Grad Spitzenöffnungswinkel. Während der Sondierung wird die Sonde über ein Gestänge (Ø 36 mm) kontinuierlich in den Boden gedrückt. Die Verfahrensschritte können wie folgt beschrieben werden:

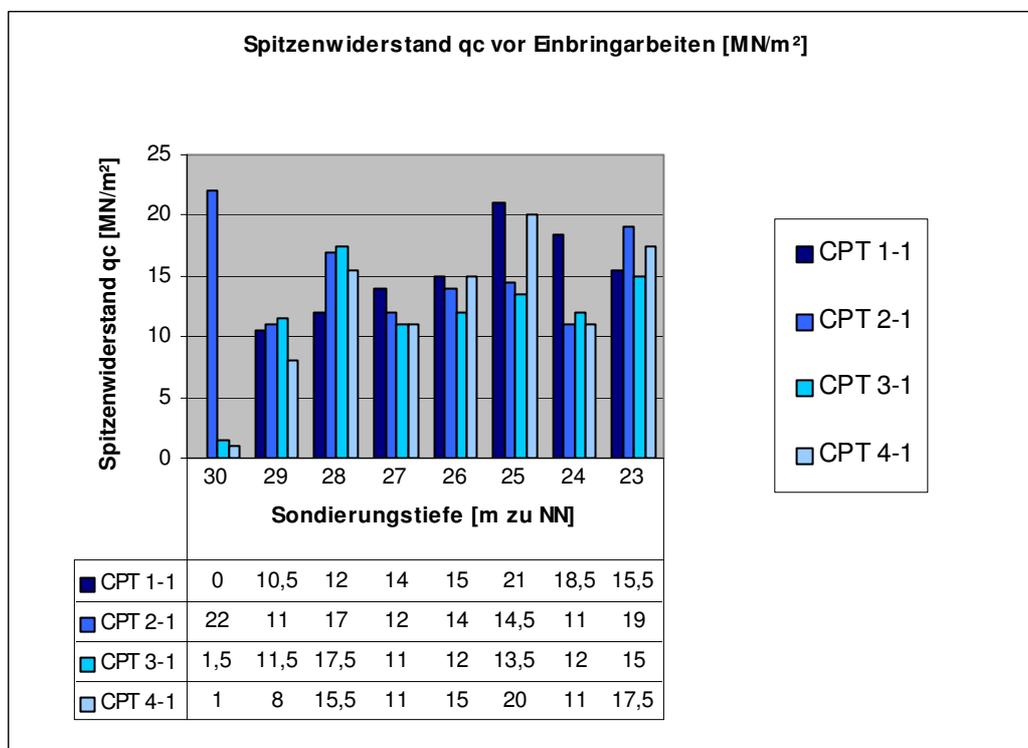


Abbildung 17: Spitzendruck q_c der Drucksondierungen vor Spundwandeinbringung

- Positionierung der Drucksonden
- Eindrücken der Sonde in den Untergrund
- Ziehen der Gestänge und Sonde
- Verarbeitung der gewonnenen Daten vor Ort

Bei den Messungen wurde der Spitzendruck q_c und die Mantelreibung f_s dokumentiert. Die Daten wurden digital aufgezeichnet, vor Ort geprüft, verarbeitet und später im Büro prozessiert. Aus dem Verhältnis von Mantelreibung zu Spitzdruck wurde das Reibungsverhältnis R_f bestimmt. Für den geotechnischen Bericht wurden die Daten jeder Sondierung graphisch dargestellt.

In den Abbildungen Nr. 17 und Nr. 18 sind die Ergebnisse des Spitzendrucks q_c der Drucksondierungen als Balkendiagramm dargestellt. Um den Vergleich der Bodenverhältnisse vor und nach dem Einbringen der Spundwand zu verdeutlichen, sind die Messungen die jeweils unmittelbar am gleichen Standort durchgeführt wurden, mit der gleichen Farbe hinterlegt.

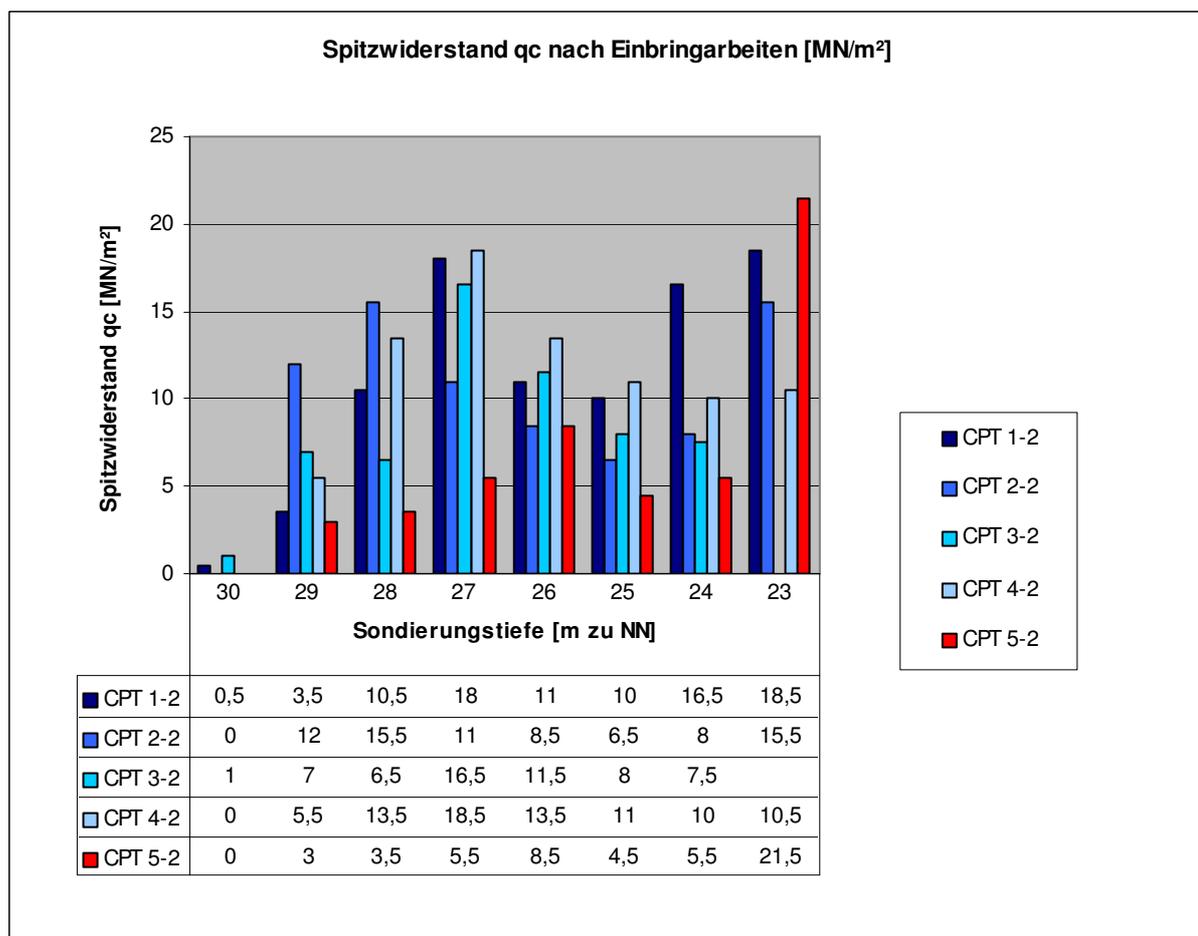


Abbildung 18: Spitzendruck q_c der Drucksondierungen nach Spundwandeinbringung

Bei der Nacherkundung des Bodens wurde zusätzlich zu den 4 Untersuchungspunkten an der Stelle CPT 5-2 eine Drucksondierung vorgenommen. Dieser Untersuchungspunkt liegt unmittelbar an der letzten Spundbohle. Im Gegensatz zu den anderen Bohlen wurde hier die Verdichtung bewusst geändert. Hingegen der vorherigen Vorgehensweise die Bohrschnecke beim Herausziehen mit doppelter Geschwindigkeit zu drehen, um somit Bodenverdichtung zu

erzeugen, wurde der Bohrkopf bei der letzten Bohle mit der gleichen Geschwindigkeit aus dem Boden gedreht. Außerdem wurde nicht wie bei den anderen Bohlen das ausgehobene Material wieder mit verpresst. Mit der Sondierung an dieser Stelle sollte untersucht werden, inwiefern die Drehgeschwindigkeit der Bohrschnecke die Bodenkennwerte beeinflusst. Die Darstellung dieser Drucksondierung in Abbildung 16 wurde daher bewusst in rot gewählt, um sich von den anderen Ergebnissen abzusetzen.

6.2 Auswertung der Drucksondierung

Mit den durchgeführten Drucksondierungen vor und nach Einbringen der Spundbohlen, sollte der Einfluss des integrierten Vorbohrens auf den Untergrund untersucht werden. Grundsätzlich ist festzustellen, dass sich durch die Einpressarbeiten der Boden in unmittelbarer Nähe gelockert hat. In der nachstehenden Tabelle sind die Mittelwerte der Spitzenwiderstände der einzelnen Sondierungspunkte gegenübergestellt. In der letzten Zeile sind die Unterschiede zwischen den Ergebnissen vor und nach der Einbringarbeiten dargestellt. Hieraus ergibt sich wiederum ein Mittelwert der Differenz von 3,30 MN/m².

Drucksondierung	CPT 1 [MN/m ²]	CPT 2 [MN/m ²]	CPT 3 [MN/m ²]	CPT 4 [MN/m ²]	Mittel aus allen Messungen
Mittelwerte Spitzendruck q _c (vor Einbringung)	13,31	15,06	11,75	12,38	13,13
Mittelwerte Spitzendruck q _c (nach Einbringung)	11,06	9,63	8,29	10,31	9,82
Differenz der Messergebnisse	2,25	5,44	3,46	2,06	3,30

Tabelle 2: Mittelwerte der Drucksondierung

Die Messergebnisse der Sondierung CPT 5-2 (Abbildung 18) weisen für jeden Tiefenmeter geringere Spitzenwiderstände q_c als die anderen Ergebnisse auf. Hier wurden im Mittel nur 6,50 MN/m² aufgezeichnet. Vernachlässigt man hierbei zusätzlich den Wert bei Tiefenmeter 23 m ü NN mit 21,5 MN/m², da das Einbringen der Bohlen und somit eine Änderung der Bodenkennwerte nur bis ca 24 m ü NN stattgefunden hat, so liegt das Mittel bei 4,36 MN/m². Im Vergleich zum Mittelwert der Sondierungen CPT 1-2 – CPT 4-2 mit 9,82 MN/m², liegt der Spitzenwiderstand des Bodens bei CPT 5-2 unter der Hälfte dieses Wertes. Es kann daher festgestellt werden, dass durch das beschleunigte Ausdrehen der Bohrschnecke und die Nachverfüllung des Bohrlochs eine Bodenverdichtung stattfindet. Jedoch liegt diese unterhalb der Bodenkennwerte vor dem Bau.

Die gemessenen Änderungen der Bodeneigenschaften unmittelbar an den Spundbohlen haben keine Auswirkungen auf die Standsicherheit der Spundwand.

7 Qualitätssicherung Bauverfahren

7.1 Schloßdetektion

Der Nachweis über den zerstörungsfreien Einbau der Doppelbohlen am Bohlenschloss erfolgte über sogenannte Schlossdetektoren. An jeder Doppelbohle sind Detektoren am Schloss befestigt worden, welche an einen Stromkreislauf angeschlossen waren. Zur Kontrolle des ungestörten Verbundes zwischen den Bohlen diente dann ein Lichtsignal, welches ebenfalls in diesem Kreislauf integriert wurde. Zu Beginn und im ungestörten Zustand leuchtet ein grünes Licht. Bei etwaigem Öffnen des Spundbohlenschlusses wechselt das Signal in ein rotes Licht.

Während des gesamten Baus hat bei keiner Bohle ein rotes Licht aufgeleuchtet. Dies wurde im Bautagebuch dokumentiert. Es kann somit festgehalten werden, dass die Doppelbohlen ordnungsgemäß eingebracht wurden.

7.2 Verbrauchsdokumentation

Die Verbrauchsdokumentation erfolgte durch die Firma Giken Europe B.V. Hierfür wurden der getankten Dieselkraftstoff [in l] je Maschine und Tag tabellarisch aufgeführt. In der folgenden Abbildung 19 sind die Verbrauchswerte im Zeitraum vom 29.03. – 16.04.2010 dargestellt. Ein Stromaggregat der Fa. Mette wurde an den Tagen 22. – 24.03.2010 täglich mit 40 l Diesel betankt. Während des im Diagramm dargestellten Zeitraumes wurde das Gerät nicht mehr verwendet, da es eine zu hohe Lärmbelastung erzeugte.

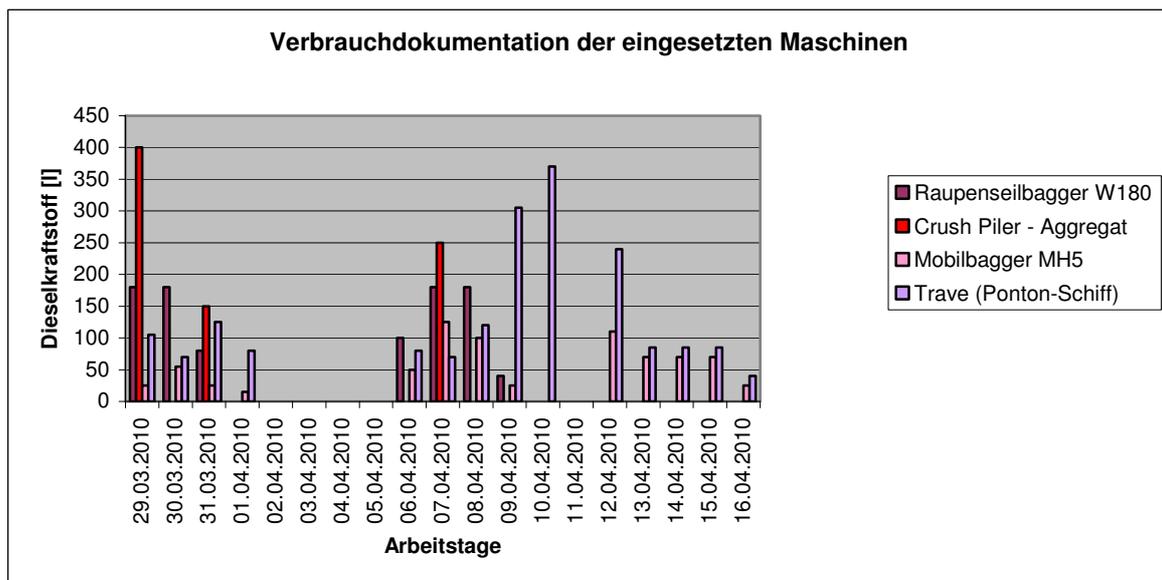


Abbildung 19: Verbrauchsdokumentation der eingesetzten Maschinen

Bereits aus der Abbildung 19 geht hervor, dass der größte Verbrauch der Maschinen die Trave (Ponton-Schiff) aufweist. Das Crush Piler - Aggregat wurde im Vorfeld der Baumaßnahmen mit 400 l Diesel betankt und dann jeweils zu Beginn der Arbeiten und etwa nach Fertigung der halben Spundwand erneut mit 150 l (31.03.2010) bzw. 250 l (07.04.2010) betankt. In der nachfolgenden Tabelle 3 sind die Summen des Dieserverbrauchs der einzelnen Maschinen für den Zeitraum vom 29.03. – 16.04.2010 zusammengefasst.

Maschine	Raupenseilbagger W180	Crush Piler - Aggregat	Mobilbagger MH5	Trave (Ponton)
Diesekraftstoff [l]	940	800	765	1860

Tabelle 3: Diesekraftstoff vom 29.03. – 16.04.2010 je Maschine

7.3 Lagerungsdichte Hinterfüllung

Für die Überprüfung der Lagerungsdichte der Hinterfüllung zwischen alter und neuer Ufersicherung wurde das Büro EGI Erd- und Grundbauinstitut Brandenburg /10/ mit der Verdichtungsprüfung an der Teststrecke am LWK Paul-Lincke-Ufer beauftragt. Hierfür erfolgten am 14.04.2010 an den zwei, in Abbildung 20 dargestellten, Untersuchungspunkten entsprechende Rammsondierungen mittels Rammsonde 5.

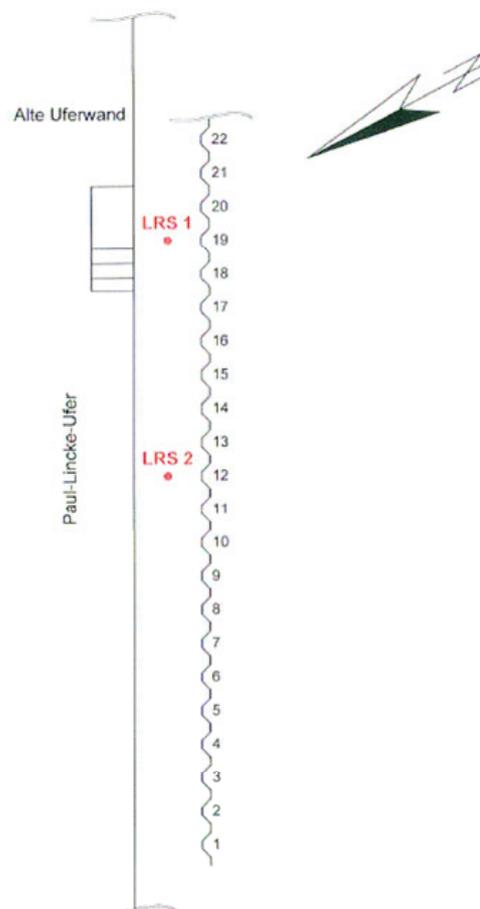


Abbildung 20: Lage der Untersuchungspunkte der Rammsondierung

Wie in Abbildung 21 gut zuerkennen, konnten für den Bereich bis 1,60 m u. GOK lockere bis mitteldichte Lagerungsverhältnisse festgestellt werden. Unterhalb dieses Bereiches gehen die Lagerungsverhältnisse von mitteldicht bis dicht über. Es kann für den Bereich bis 1,60 m u. GOK eine Proctordichte von $D_{PR} \geq 90\%$ angesetzt werden. Somit können die Lagerungsverhältnisse als ausreichend angenommen werden.

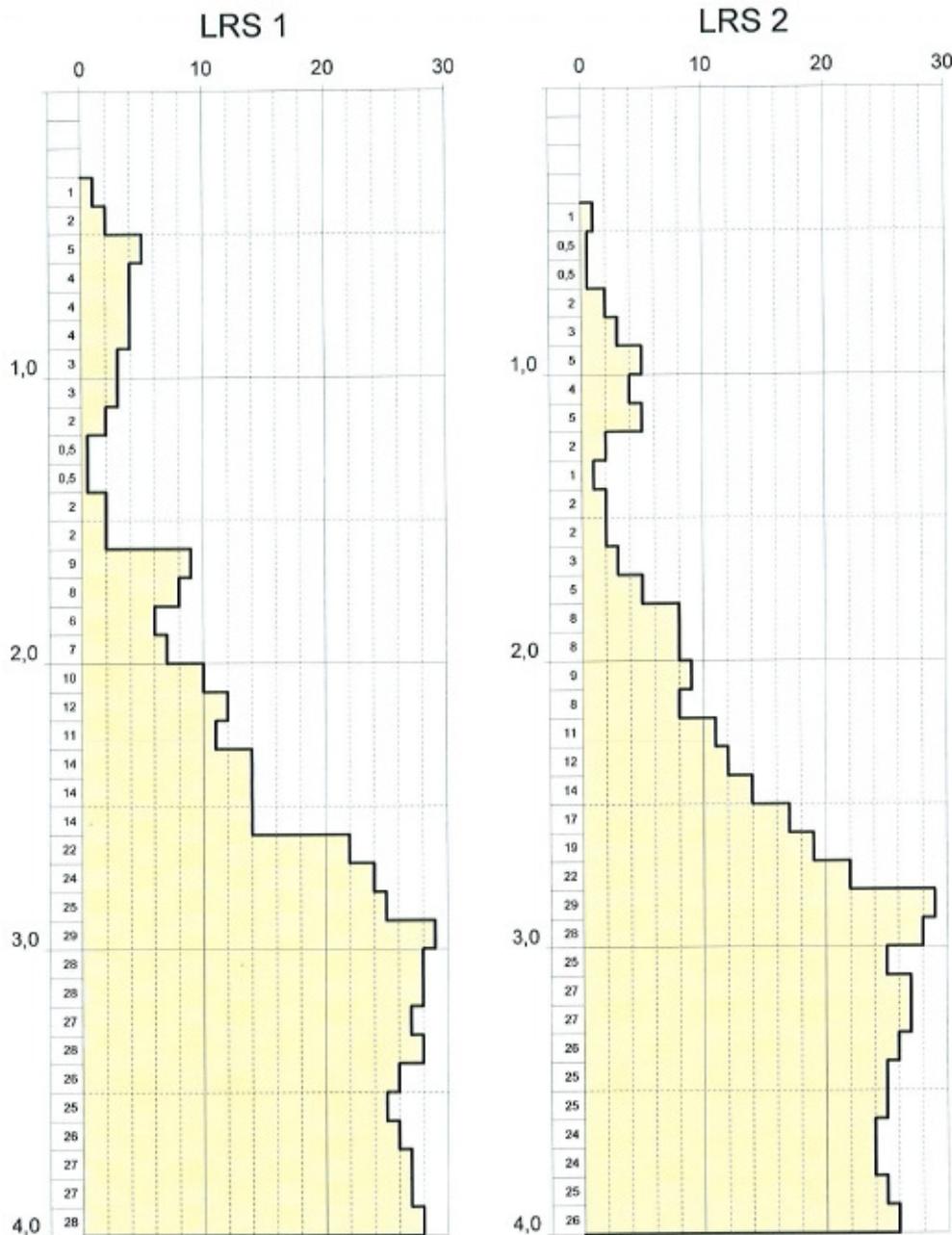


Abbildung 21: Stufendiagramm der Rammsondierung

8 Abgasemission

Die Emissionsmessungen am Landwehrkanal Berlin wurden durch das Büro Eurofins GfA GmbH /7/ durchgeführt. Hierfür wurden an den drei eingesetzten Maschinen (Hydraulikaggregat, Kran und Hydraulikbagger mit Raupenfahrzeug) die Konzentrationen von Gesamt-C, Kohlenstoffmonoxid, Stickstoffoxiden als NO_2 , Kohlenstoffdioxid, und die Rußzahl im Abgas bestimmt.

8.1 Graphische Darstellung der CO-, NO_2 - und der Gesamt-C-Emission sowie der Rußzahl

In den folgenden Diagrammen sind die maximalen Messwerte der Konzentrationen von Kohlenstoffmonoxid, Stickstoffoxid, Gesamt-C und die Rußzahl mit den entsprechenden Richtwerten (dicke schwarze Linie) aus der TA Luft (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) dargestellt.

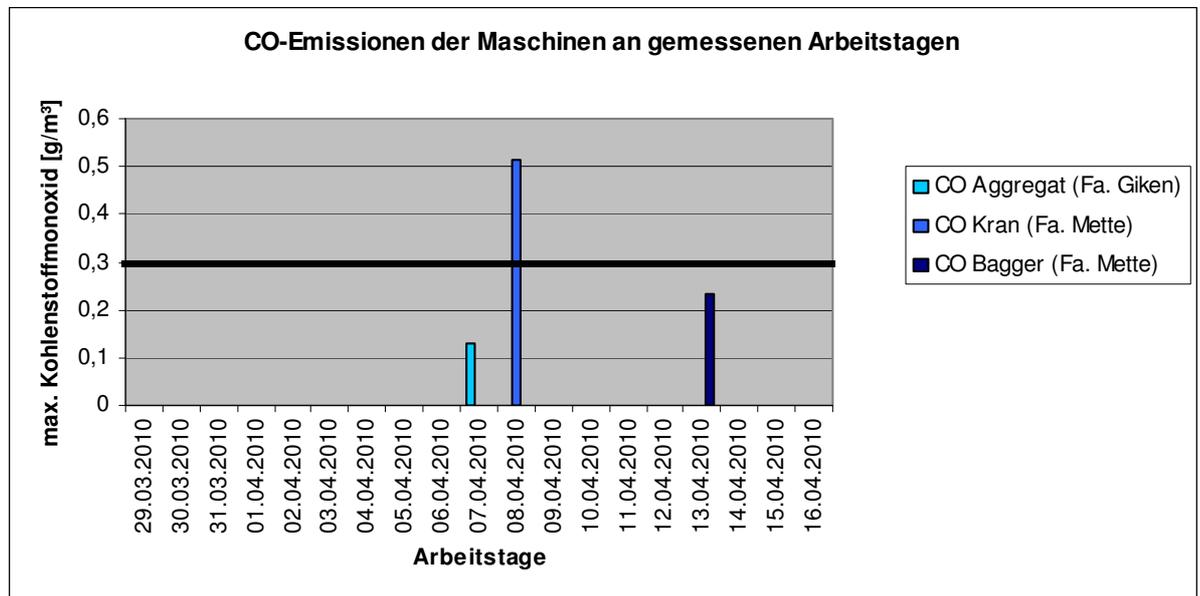


Abbildung 22: CO-Emissionen der Maschinen (Richtwert: $0,3 \text{ g/m}^3$)

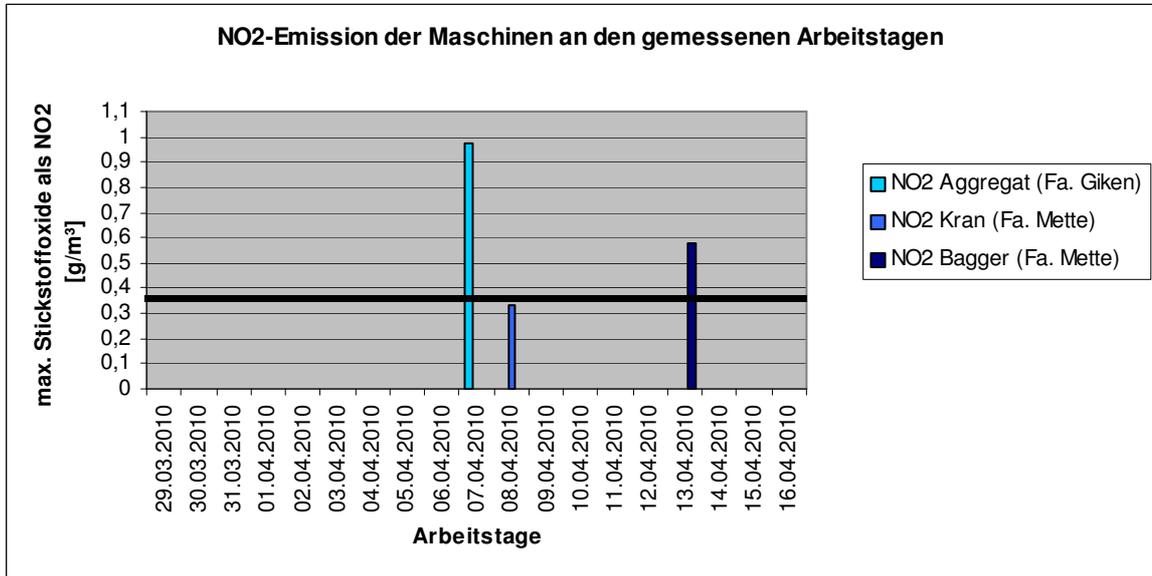


Abbildung 23: NO₂ - Emission der Maschinen (Richtwert 0,35 g/m³)

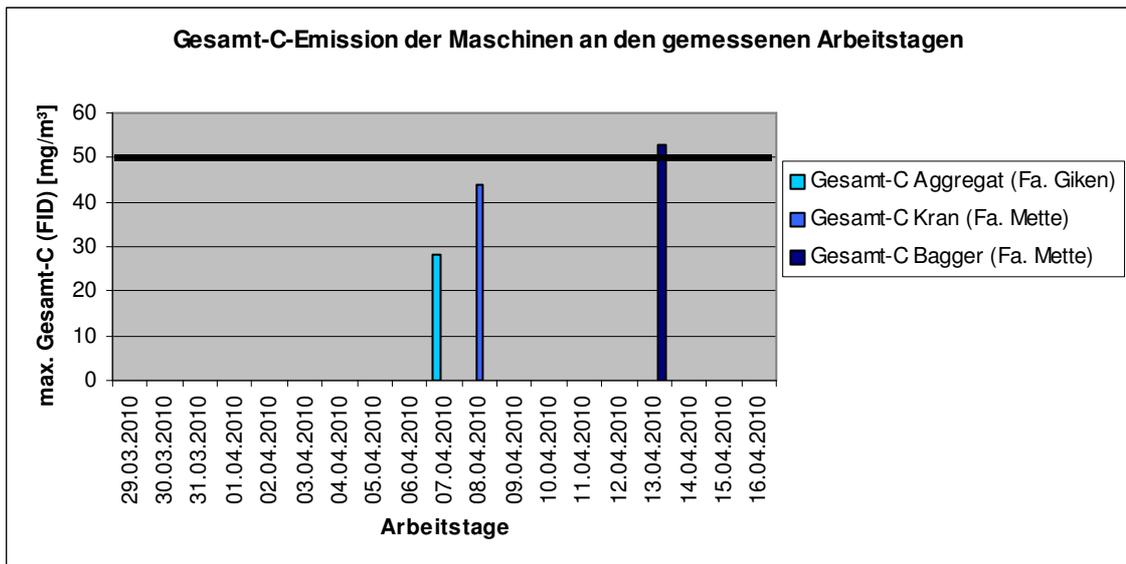


Abbildung 24: Gesamt – C – Emission der Maschinen (Richtwert 50 mg/m³)

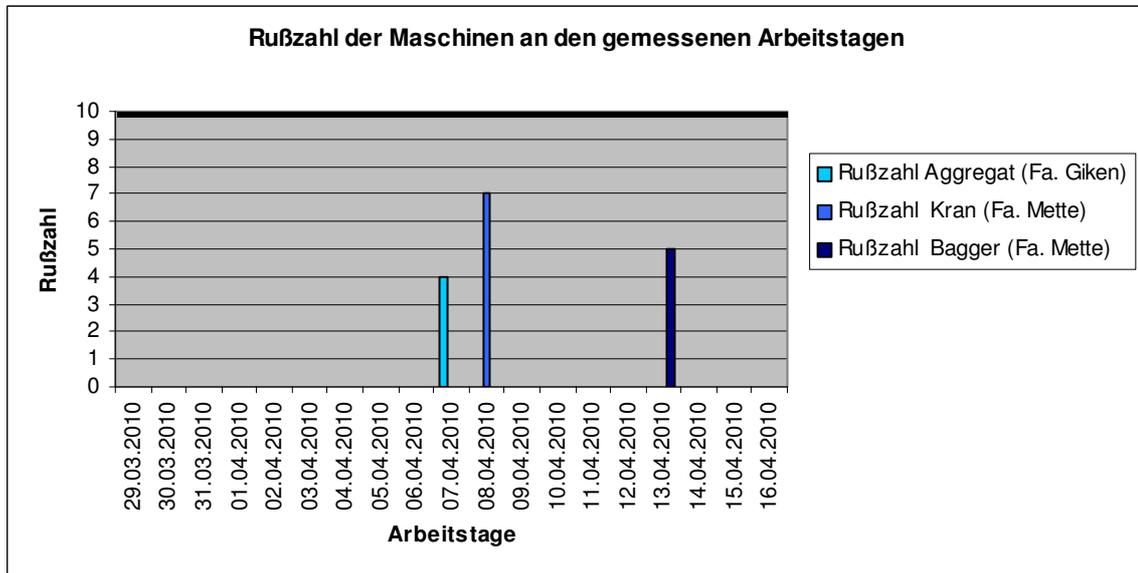


Abbildung 25: Rußzahl der Maschinen (Richtwert 10)

8.2 Zusammenfassung der Messwerte

Aus allen Messungen geht hervor, dass die Werte der Stickstoffoxide am Aggregat und am Bagger die Richtwerte der TA Luft (technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) überschreiten. Ebenso liegen die CO-Werte des Krans und die Gesamt-C-Werte des Baggers oberhalb der Richtwerte der Anleitung. Nach dem Bericht von Eurofins GfA GmbH liegen alle anderen Messwerte unterhalb der Richtwerte.

Bei Überschreitung der Richtwerte der TA Luft werden verschiedene Maßnahmen vorgeschlagen. Zunächst ist die Einhaltung des Standes der Technik der Maschinen sicherzustellen. Reichen diese Maßnahmen nicht aus, so müssen die Ableitbedingungen verbessert werden.

9 Schallemission

Zur Bestimmung der Schallimmissionen durch den Crush Piler an der Teststrecke Landwehrkanal wurden folgende Leistungen durch das ALB Akustik-Labor Berlin /8/ erfüllt:

- Durchführung von Schallimmissionsmessungen an drei verschiedenen Messpunkten zu vier verschiedenen Zuständen:
 - Ruhezustand
 - Spundwandeinbringung
 - Einbringen der Kiesverfüllung
 - Einbringen der Wasserbausteine
- Dokumentation und Auswertung der Messungen, Bildung von Mittelungspegeln und Perzentilpegeln (L_5 , L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{95}), Rückrechnung auf Schalleistungspegel
- Integration der Ergebnisse in ein einfaches Berechnungsmodell nach DIN ISO 9313 - 2, „Kalibrierung“ der Schalleistung anhand der gemessenen Pegel
- Immissionsberechnung an einem tatsächlichen oder fiktiven Immissionsort unter Berücksichtigung der Wirkzeiten
- Beurteilung der Ergebnisse nach AVwV Baulärm

9.1 Anordnung der Messpunkte

Die Schallmessungen erfolgten an den Messpunkten MP 1 – MP 3. Die Immissionsberechnung wurde an den Standorten IO 1-Paul-Lincke-Ufer 17 (Südwestfassade) und IO 2-Maybachufer 29 (Ostfassade) durchgeführt. In der nachfolgenden Abbildung sind die genauen Standorte aller Mess- und Berechnungsstandorte dargestellt.

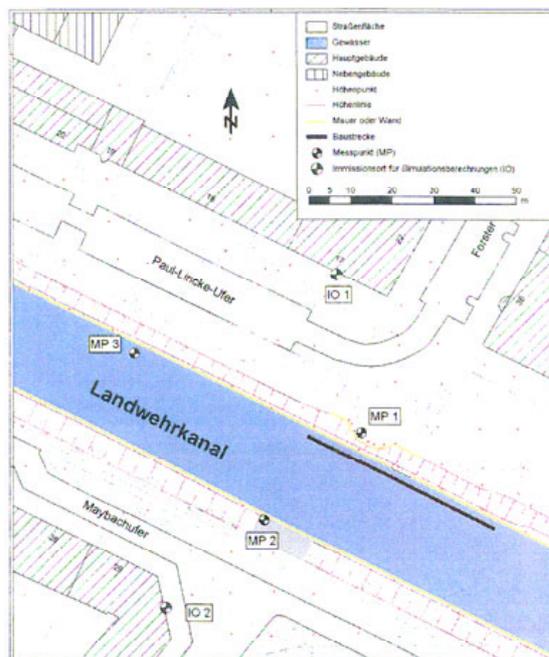


Abbildung 26: Standorte der Mess- und Berechnungspunkte /8/

9.2 Schallquellen der Betriebszustände

Den vier zu untersuchenden Zuständen Ruhezustand, Spundwandeinbringung, Einbringen der Kiesverfüllung und Einbringen der Wasserbausteine wurden entsprechende Schallquellen zugewiesen. So gelten für den Ruhezustand alle Geräusche im Umfeld ohne der Baustellentätigkeit. Für den Zustand Spundwandeinbringung sind alle relevanten Teilprozesse des Arbeitsablaufes an einem Tag wie das Aufsetzen des Crush Pilers, das Einfädeln der Bohlen, das Einbringen der Bohlen durch Pressen und Crushen oder das Umsetzen des Crush Pilers aufgeführt. Als Schallquellen für die Betriebszustände Verfüllung mit Kiessand und Verfüllung mit Wasserbausteinen gelten die Geräte Bagger, Stromaggregat und Schubschiff.

9.3 Ergebnisse der Schallmessung

Die Ergebnisse aus den Messungen sind in den nachfolgenden Tabellen für jeden Betriebszustand zusammengefasst. Für den Zustand Spundwandeinbringung wurden zusätzlich die Messpegel für die einzelnen Baumaschinen, gemessen am Messpunkt MP 1, tabellarisch aufgestellt. Dargestellt sind in allen Tabellen der Mittelungspegel L_{Aeq} , der Taktmaximal-Mittelungspegel L_{AFTeq} und die Perzentilpegel (L_5 , L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{95}).

Messpunkt	Mittelungspegel L_{Aeq}	Taktmaximal-Mittelungspegel L_{AFTeq}	Perzentile					Bemerkungen
			L_5	L_{10}	L_{50}	L_{90}	L_{95}	
in dB(A)								
MP 1	56,3	57,2	60,1	58,6	55,0	51,6	50,2	Vogelzwitschern, Hundebellen, Gespräche, Kfz-Verkehr
MP 2	58,7	62,0	61,8	60,9	57,7	55,1	54,5	
MP 3	56,2	62,7	56,0	54,9	51,7	49,2	48,5	

Abbildung 27: Ergebnisse der Messungen ohne Bautätigkeit /8/

Messpunkt	Mittelungspegel L_{Aeq}	Taktmaximal-Mittelungspegel L_{AFTeq}	Perzentile					Bemerkungen
			L_5	L_{10}	L_{50}	L_{90}	L_{95}	
in dB(A)								
MP 1	67,0	72,0	69,8	69,0	65,8	63,9	63,6	gesamter Vorgang der Spundwandeinbringung
MP 2	64,7	68,5	66,3	63,7	58,2	56,7	56,3	1. Teilmessung
	64,2	67,3	66,8	66,1	63,9	61,4	58,9	2. Teilmessung
	71,7	75,2	75,8	75,1	68,0	64,0	60,8	3. Teilmessung
	67,5	75,0	69,2	68,5	66,2	64,1	63,7	4. Teilmessung
MP 3	67,5	72,9	71,4	70,6	65,8	62,4	60,7	gesamter Vorgang der Spundwandeinbringung
MP 3	58,9	64,6	61,2	60,2	56,8	53,4	52,9	Teilvorgänge der Spundwandeinbringung

Abbildung 28: Ergebnisse der Messungen für das Einbringen der Spundwand /8/

Messpunkt	Mittelungspegel L_{Aeq}	Taktmaximal-Mittelungspegel L_{AFTeq}	Perzentile						Bemerkungen
			L_5	L_{10}	L_{50}	L_{90}	L_{95}		
MP 1	64,8	69,4	67,3	66,8	64,2	60,8	60,1	Bagger während der gesamten Messzeit in Betrieb	
MP 2	64,0	69,7	66,5	65,7	63,3	59,7	58,9		
MP 3	57,8	62,7	59,7	59,1	57,3	55,4	54,7		

Abbildung 29: Ergebnisse der Messungen für das Verfüllen mit Kiessand /8/

Messpunkt	Mittelungspegel L_{Aeq}	Taktmaximal-Mittelungspegel L_{AFTeq}	Perzentile						Bemerkungen
			L_5	L_{10}	L_{50}	L_{90}	L_{95}		
MP 1	66,0	73,7	69,7	68,5	64,6	61,8	61,3	Bagger während der gesamten Messzeit in Betrieb	
MP 2	64,3	71,6	68,4	67,0	62,7	60,2	59,5		
MP 3	keine Auswertung möglich, da Fremdgeräuschpegel zu hoch								

Abbildung 30: Ergebnisse der Messungen für das Verfüllen mit Wasserbausteinen /8/

Messpunkt	Mittelungspegel L_{Aeq}	Taktmaximal-Mittelungspegel L_{AFTeq}	Perzentile						Bemerkungen
			L_5	L_{10}	L_{50}	L_{90}	L_{95}		
MP 1	71,2	76,0	74,9	73,8	70,1	65,9	65,1	Bagger in Betrieb (Entfernung ca. 21 m)	
	69,4	72,0	71,9	71,1	68,8	67,8	67,6	Kran in Betrieb (Entfernung ca. 16 m)	
	70,1	76,3	73,7	72,1	68,3	67,1	66,8	Stromaggregat/Crushen+Pilen (Entfernungen ca. 17/10 m)	
	73,3	74,9	74,8	74,6	73,6	70,3	69,0	Kran dreht	
	69,4	75,7	70,9	70,4	68,6	66,2	65,8	Kran Leerlauf	

Abbildung 31: Detailergebnisse der Messungen für das Einbringen der Spundwand /8/

Vorgang bzw. Aggregat	Messpunkt	Schallleistungspegel L_{WA} dB(A)	Mittelungspegel L_{Aeq} ohne K_1 -Zuschlag dB(A)		Differenz Berechnung minus Messung dB(A)	Impulshaltigkeitszuschlag K_1 dB(A)	Bemerkungen	
			Messung	Berechnung				
Spundwand-einbringung	MP 1	102,0	67,0	69,0	2,0	5,0	Schallquellen Stromaggregat, Crushen und Pilen, Bagger und Kran zu einer idealisierten Schallquelle zusammen-gefasst, Zuschlag K_1 abgeschätzt	
			70,8	69,0	-1,8			
	MP 2		67,6	69,8	2,2			
	MP 3		58,9	58,7	-0,2			
Kiessand-verfüllung	MP 2	96,0	64,6	64,3	-0,3	3,0	nur Stromaggregat	
			MP 1	64,8	66,1	1,3	5,1	Schallquelle Bagger
			MP 3	64,0	61,6	-2,4		
Wasserbau-steinverfüllung	MP 2	105,0	57,8	55,4	-2,4	7,5	Bagger, höherer K_1 -Wert durch Schlaggeräusche des Greifens gegen Steine	
			MP 1	66,0	67,6			1,6
			64,3	62,5	-1,8			

Abbildung 32: Rechnerisch ermittelte Schallleistungspegel, Ergebnisse der Berechnung und Vergleich mit den Messwerten /8/

Auf Grundlage der Immissionsberechnung nach DIN ISO 9613-2 wurden mittels eines Simulationsmodells Berechnungen für die Messpunkte und die Immissionsorte durchgeführt (Abb.: 32 und 33). Hierbei wurde der, aus den Messungen abgeschätzte, Schallleistungspegel L_{WA} und der Vergleich zwischen den gemessenen und berechneten Mittelungspegel L_{Aeq} dargestellt. Zusätzlich sind die jeweiligen Zuschläge für Impulshaltigkeit K_1 im Sinne der TA Lärm als Differenz der gemessenen Taktmaximal-Mittelungspegel L_{AFTeq} und der Mittelungspegel L_{Aeq} aufgeführt.

Vorgang	IO-Nr. Bezeichnung	Geschoss	Fassade	Mittelungspegel L_{Aeq}		IRW Tag gemäß AVwV Baulärm für bauliche Nutzung		Überschreitungen der IRW Tag AVwV Baulärm für bauliche Nutzung	
				ohne Impulshaltigkeitszuschlag	mit Impulshaltigkeitszuschlag	WA	MI	WA	MI
dB(A)									
Spundwandeinbringung	IO 1 Paul-Lincke-Ufer 17	EG	SW	58,2	63,2	55	60	8,2	3,2
		1. OG		59,0	64,0			9,0	4,0
		2. OG		59,9	64,9			9,9	4,9
		3. OG		60,4	65,4			10,4	5,4
		4. OG		60,3	65,3			10,3	5,3
	IO 2 Maybachufer 29	EG	O	58,2	63,2			8,2	3,2
		1. OG		59,0	64,0			9,0	4,0
		2. OG		59,8	64,8			9,8	4,8
		3. OG		60,5	65,5			10,5	5,5
		4. OG		60,4	65,4			10,4	5,4
Kiessandverfüllung	IO 1 Paul-Lincke-Ufer 17	EG	SW	57,0	62,0	55	60	7,0	2,0
		1. OG		57,5	62,5			7,5	2,5
		2. OG		58,1	63,1			8,1	3,1
		3. OG		58,6	63,6			8,6	3,6
		4. OG		59,1	64,1			9,1	4,1
	IO 2 Maybachufer 29	EG	O	56,0	61,0			6,0	1,0
		1. OG		56,5	61,5			6,5	1,5
		2. OG		56,9	61,9			6,9	1,9
		3. OG		57,4	62,4			7,4	2,4
		4. OG		57,9	62,9			7,9	2,9
Wasserbausteinverfüllung	IO 1 Paul-Lincke-Ufer 17	EG	SW	57,7	65,2	55	60	10,2	5,2
		1. OG		58,3	65,8			10,8	5,8
		2. OG		58,9	66,4			11,4	6,4
		3. OG		59,4	66,9			11,9	6,9
		4. OG		60,0	67,5			12,5	7,5
	IO 2 Maybachufer 29	EG	O	56,3	63,8			8,8	3,8
		1. OG		56,8	64,3			9,3	4,3
		2. OG		57,3	64,8			9,8	4,8
		3. OG		57,8	65,3			10,3	5,3
		4. OG		58,3	65,8			10,8	5,8
5. OG	58,7	66,2	11,2	6,2					

Abbildung 33: Ergebnisse der Berechnungen für die Immissionsorte /8/

9.4 Einschätzung und Schlussfolgerung

Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Geräuschimmissionen – (AvwV) enthält Immissionsrichtwerte, welche, in Abhängigkeit von der baulichen Nutzung, zulässige Höhen der Schallimmission festlegt. Des weiteren gibt sie Vorschläge bzw. Maßnahmen zur Minderung der Geräusche bei etwaigen Überschreitungen der genannten Richtwerte um mehr als 5 dB(A) an. Diese Maßnahmen können sowohl die Einrichtung der

Baustelle, die Baumaschinen, das gewählte Bauverfahren oder die Betriebszeit der Baumaschinen betreffen.

Bei der Gegenüberstellung der nachstehenden Richtwerte mit den gemessenen und berechneten Werten sind Überschreitungen um mehr als 5 dB(A) festzustellen und als Maßnahme zur Minderung der Geräusche eine Einschränkung der Betriebszeiten von ALB Akustik-Labor Berlin vorgeschlagen worden.

Art der Gebiete	IRW Tag in dB(A)	IRW Nacht in dB(A)
a) Gebiete in denen nur gewerbliche oder industrielle Anlagen und Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonal untergebracht sind	70	70
b) Gebiete in denen vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind	65	50
c) Gebiete mit gewerblichen Anlagen und Wohnungen, in denen weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind	60	45
d) Gebiete, in denen vorwiegend Wohnungen untergebracht sind	55	40
e) Gebiete, in denen ausschließlich Wohnungen untergebracht sind	50	35
f) Kurgelände, Krankenhäuser und Pflegeanstalten	45	35

Abbildung 34: Immissionsrichtwerte nach Nummer 3 der AVV Baulärm /8/

Im Vergleich mit der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm können jedoch die Messpegel am Paul-Lincke-Ufer um 5 dB(A) reduziert werden. Für die Bestimmung des Beurteilungspegels nach der AVV Baulärm gilt, dass bei Betriebszeiten zwischen 2,5 und 8h/Tag eine Zeitkorrektur von 5 dB(A) abzuziehen ist.

Zusätzlich kann ein Zuschlag von 10 dB für außerordentliche Belastungen für den Grenzwert der Lärmimmission nach TA Lärm (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm) für innerstädtische Baustellen angesetzt werden. Somit liegen die Grenzwerte zwischen 65 – 70 dB (A).

Demnach sind die Bauarbeiten am Paul-Lincke-Ufer (Teststrecke) ordnungsgemäß durchgeführt worden. Eine Reduzierung der Betriebszeiten ist nicht zu veranschlagen.

10 Interpretation der Daten der Beweissicherung

10.1 Interpretationsansatz

Aus allen gewonnenen Daten der Beweissicherung wird an dieser Stelle versucht einen kausalen Zusammenhang herzustellen. Es sollen demnach Ursache und Wirkung verglichen und ausgewertet werden. Dabei wird gezeigt, inwiefern durch das Einbringen der Bohlen und die dabei verursachten Erschütterungen mögliche Setzungs- und Lageveränderungen an baulichen Anlagen in der näheren Umgebung zum Baufeld verursacht werden und wie groß hierbei die Auswirkungen auf diese sind.

10.2 Wahl geeigneter Vergleichswerte

Für die Darstellung der Auswirkungen des Pressvorgangs mit integrierter Bohrhilfe auf die Setzungen benachbarter Bebauung wird an dieser Stelle das Verformungsverhalten der Messpunkte MP 5 und 6 beispielhaft mit den Werten der Pressprotokolle der Doppelbohlen Nr.12 und Nr.20 verglichen. Die zum Zeitpunkt des Einpressens der Bohlen gemessenen Setzungen sind vergleichsweise groß und wurden daher für den Vergleich herangezogen.

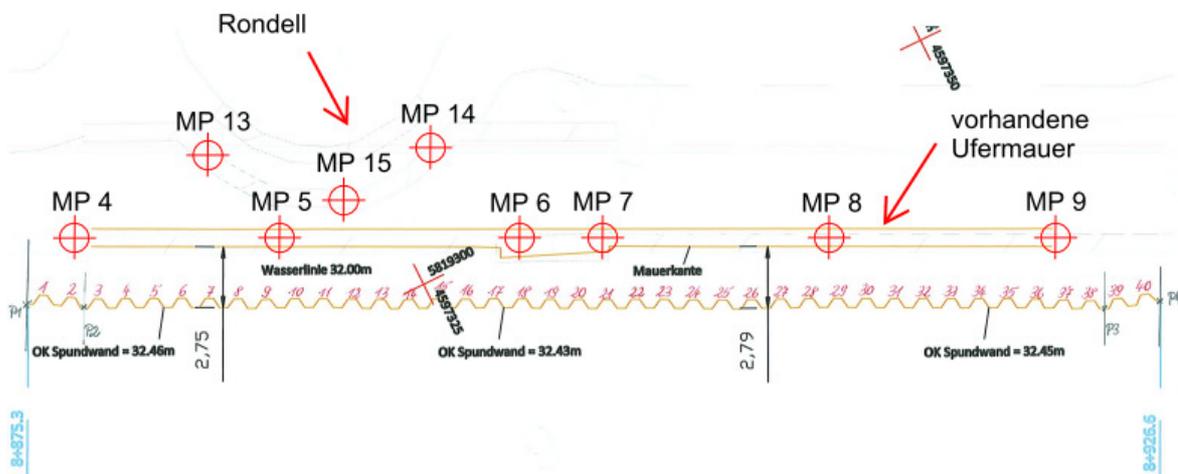


Abbildung 35: Spundbohlenpositionsplan mit Darstellung der Messpunkte

Ein unmittelbarer Zusammenhang kann durch die Lage der Messpunkte und die Positionen der Bohlen hergestellt werden. Wie in Abbildung 35 deutlich gemacht ist, liegen die o.g. Messpunkte und Bohlenpositionsnummern sehr eng aneinander.

10.3 Darstellung der Pressdrücke

Im nachfolgenden Diagramm sind die Pressdrücke für die Doppelbohlen Nr.12 und Nr.20 je Tiefenmeter dargestellt. Wie man dem Diagramm entnehmen kann liegen die Mittelwerte der Bohlen ab einer Einpresstiefe von 4 m in etwa bei 55 t. Der Mittelwert der Einpresstiefe von 4 m

bis 7 m aller Bohlen liegt bei ca. 35t. Die Pressdruckwerte der gewählten Bohlen können demnach als vergleichsweise hoch angesehen werden.

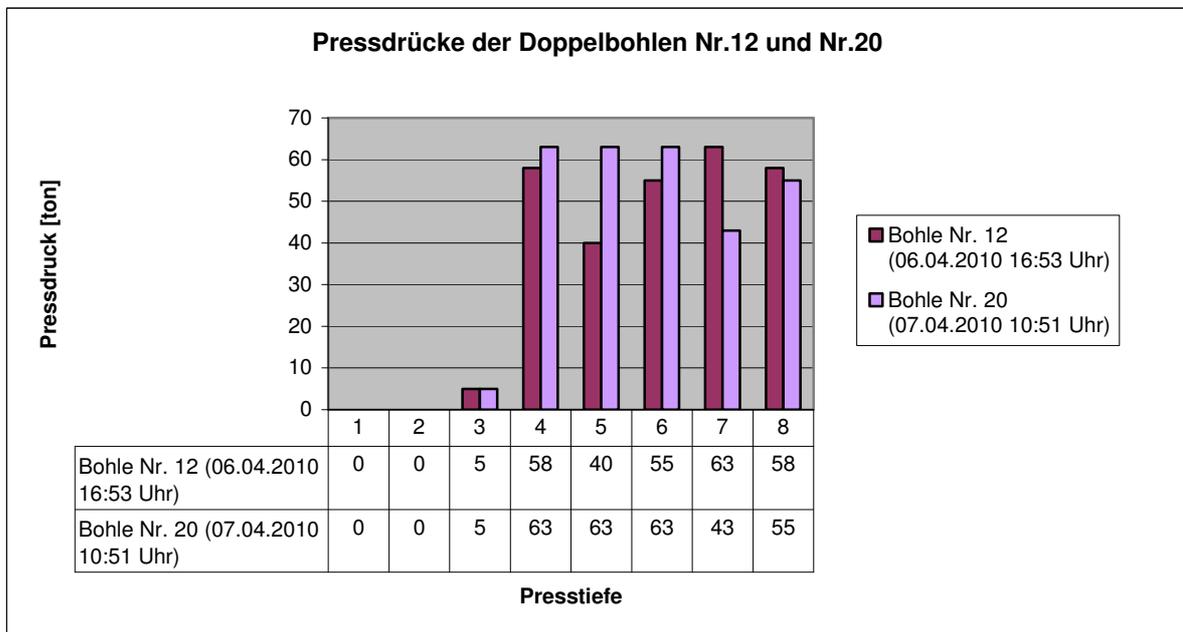


Abbildung 36: Darstellung der Pressdrücke der Doppelbohlen Nr. 12 und Nr.20

10.4 Darstellung der Setzungen

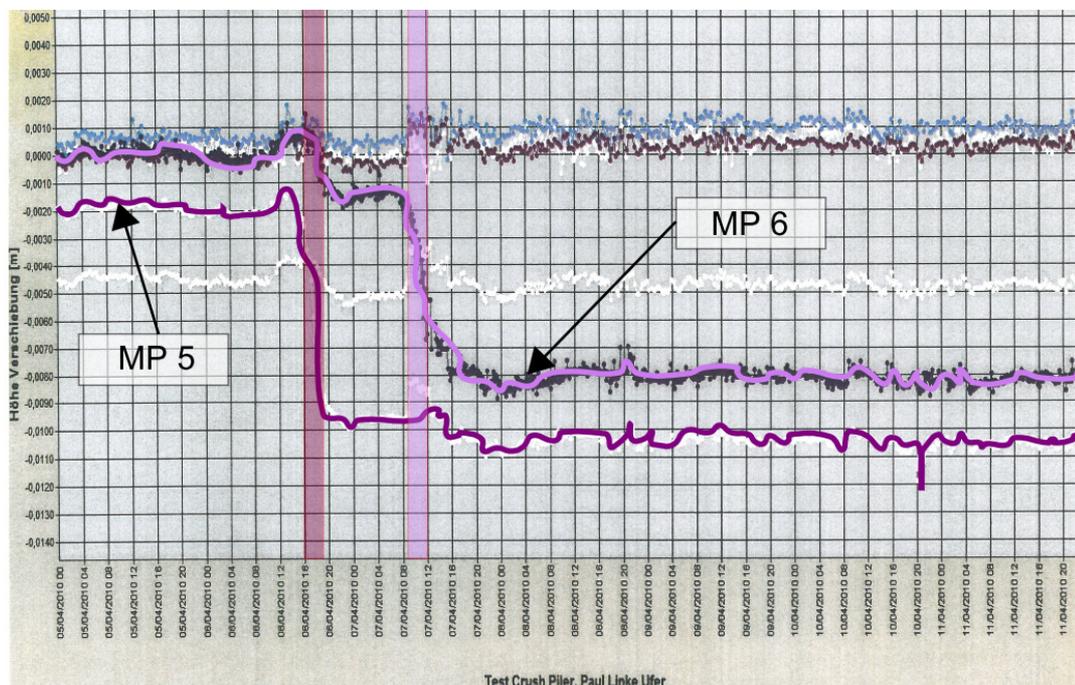


Abbildung 37: Auszug aus permanenter Messüberwachung /5/ mit Darstellung der Spundbohlen Nr. 12 und Nr. 20

Die Verformungen bzw. Setzungen der Messpunkte MP 5 und MP 6 sind in Abbildung 37 dargestellt. Bezugnehmend auf die Einpresszeiten/-tage der Doppelbohlen lässt sich gut der Zusammenhang zwischen Einpressvorgang und Setzungen ablesen. Der Verlauf der Setzungen von Messpunkt MP 5 ist hier dunkel-violett und der Verlauf der Setzungen von Messpunkt MP 6 hell-violett dargestellt.

Der Auszug aus der permanenten Messüberwachung (Abb.: 37) zeigt die Setzungsverformungen der untersuchten Messpunkte. Um den Zusammenhang zwischen dem Spundbohleneinbringen und den daraus hervorgehenden Verformungen deutlich zu machen, sind entsprechend des Farbschemas aus Abbildung 36 die Bohlen Nr. 12 und Nr. 20 als dicke Linie zu deren Einpresszeiten abgebildet. Es handelt sich hierbei um so genannte Mitnahmesetzungen (Abb. 38). Diese Setzungen entstehen durch das homogene Verhalten des Bodens beim Einbringen der Spundbohlen. Durch das Einpressen der Bohlen und der daraus hervorgehenden Bodensetzungen stellen sich auch in näherer Umgebung Setzungen ein. Dies lässt sich auf die Homogenität des Bodens zurückführen.

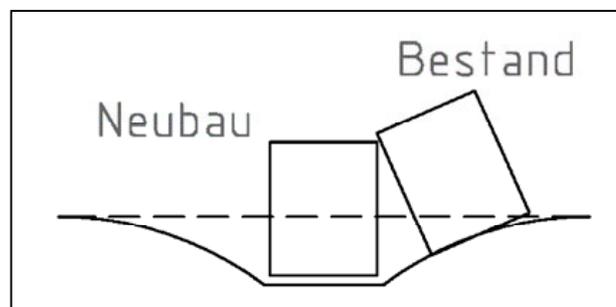


Abbildung 38: Skizzenhafte Darstellung des Effektes der Mitnahmesetzung an Bestandsbauwerken

10.5 Schlussfolgerungen

Die Arbeiten an der Teststrecke am Landwehrkanal wurden ordnungsgemäß und entsprechend des Spundbohlenpressplans durchgeführt. An insgesamt fünf Arbeitstagen wurde die Spundwand zwischen LWK-km 8+875,0 bis km 8+925,0 mit dem Super-Crush-System der Fa. Giken errichtet. Dabei wurden die Doppelbohlen mit integrierter Bohrhilfe in den Boden eingepresst.

Die bei der Herstellung der Spundwand aufgetretenen Erschütterungen und Setzungen im Boden sind vergleichsweise sehr niedrig ausgefallen. Trotz der schwierigen Bodenverhältnisse mit großen bis sehr großen Festigkeiten des anstehenden Gesteins konnten beim Einbringen der Spundbohlen kaum Erschütterungen aufgezeichnet werden. Die aufgetretenen Setzungen sind somit nicht auf das gewählte Bauverfahren zurückzuführen, sondern resultieren aufgrund des geologischen Mitnahmeeffektes des Bodens beim Einbringen der Doppelbohlen.

Auch die Auswirkungen auf die Umwelt bzw. die Umgebung sind als eher gering einzustufen. Zwar überschreiten die Werte der Schall- und Schadstoffemission teilweise vorgeschriebene Richtwerte, jedoch können diese Überschreitungen nicht mit dem Super-Crush-System selbst in Verbindung gebracht werden. So sind die zulässigen Lärmpegelüberschreitungen größtenteils auf die Kiessand- und Wasserbausteinverfüllarbeiten mittels Bagger und Kran zurückzuführen. Einzig die NO₂ – Emission des Hydraulikaggregates des Crush Pilers überschreiten die zulässigen Richtwerte aus der TA Luft. Hier müssen nachträglich Überwachungen am Aggregat durchgeführt werden bzw. die Ableitbedingungen des Gerätes verbessert werden.

Die Änderungen der Bodeneigenschaften unmittelbar an jeder Spundbohle haben ebenfalls keine Auswirkungen auf die Standsicherheit der Spundwand.

Beweis- und Qualitätssicherung, Auswertung

Unterlage 2 Auswertung der Einbringverfahren an acht Abschnitten

	Seite
1	Grundlagen 4
2	Beschreibung der acht Bauabschnitte 6
2.1	Lage der Bauabschnitte 6
2.2	Bauablauf 10
2.3	Bauverfahren / Auswertung 11
3	Messtechnische Beweissicherung 14
3.1	Darstellung der Messergebnisse 14
3.2	Vergleich der Ergebnisse der unterschiedlichen Bauverfahren 14
4	Geodätische Beweissicherung 16
4.1	Graphische Darstellung der Setzungsmessungen aller Abschnitte 16
4.1.1	Abschnitt 1: Corneliusstraße zwischen LWK km 2,700 und 2,850 (206 m) 16
4.1.2	Abschnitt 2: Herkulesufer zw. LWK km 3,100 und 3,150 (36 m) 17
4.1.3	Abschnitt 3: Tempelhofer Ufer zw. LWK km 4,900 und 5,000 (23 m) 18
4.1.4	Abschnitt 4: Tempelhofer Ufer / Möckernbrücke zw. LWK km 5,250 und 5,270 (19 m) 19
4.1.5	Abschnitt 5: U-Bhf Möckernbrücke zw. LWK km 5,400 und 5,450 (36 m) 20
4.1.6	Abschnitt 6: Tempelhoferufer oberhalb U-Bahn Fußgängerbrücke zw. LWK km 5,450 und 5,500 (49 m) 21
4.1.7	Abschnitt 7: Maybachufer zw. LWK km 8,110 und 8,200 (90 m) 22
4.1.8	Abschnitt 8: Paul-Lincke-Ufer LWK km 8,875 bis km 8,925 (50 m) 23
4.2	Zusammenfassung der Messergebnisse 24
5	Schallmessungen 25
5.1	Rammtechnik „Bär-D-12“ 25
5.2	Rammtechnik „Bär-SB180“ 26
5.3	Super-Crush-System (Teststrecke) 26
5.4	Auswertung der einzelnen Messergebnisse 27
5.5	Fazit der Ergebnisse 27
5.5.1	Rammverfahren 27
5.5.2	Super-Crush-System 27
5.5.3	Vergleich der Schallemissionen zwischen Rammtechnik und Super-Crush-System 28
6	Abgasemission 29
6.1	Graphische Darstellung der CO-, NO ₂ - und der Gesamt-C-Emission sowie der Rußzahl (Abschnitte 1 – 7) 29
6.2	Graphische Darstellung der CO-, NO ₂ - und der Gesamt-C-Emission sowie der Rußzahl (Teststrecke) 31
6.3	Zusammenfassung der Messwerte 33
7	Auswertung der Beweis- und Qualitätssicherung 34

Anlagenverzeichnis

Anlage 1 :	Lageplan Abschnitt 1
Anlage 2 :	Lageplan Abschnitt 2
Anlage 3 :	Lageplan Abschnitt 3
Anlage 4 :	Lageplan Abschnitt 4
Anlage 5 :	Lageplan Abschnitt 5
Anlage 6 :	Lageplan Abschnitt 6
Anlage 7 :	Lageplan Abschnitt 7
Anlage 8 :	Lageplan Abschnitt 8

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Lageplan Abschnitt 1
Abbildung 2:	Lageplan Abschnitt 2
Abbildung 3:	Lageplan Abschnitt 3
Abbildung 4:	Lageplan Abschnitt 4
Abbildung 5:	Lageplan Abschnitt 5
Abbildung 6:	Lageplan Abschnitt 6
Abbildung 7:	Lageplan Abschnitt 7
Abbildung 8:	Lageplan Abschnitt 8 (Testrecke)
Abbildung 9:	Durchschnittliche Länge der Bohlen im Boden [m]
Abbildung 10:	Mittlerer und maximaler Baufortschritt - Pressen [m/d]
Abbildung 11:	Mittlerer und maximaler Baufortschritt - Rammen [m/d]
Abbildung 12:	Mittlere Pressdrücke und Schlagzahlen der einzelnen Bauabschnitte
Abbildung 13:	Maximale Schwingschnellen der einzelnen Abschnitte
Abbildung 14:	Diagramm der Setzungsmessungen an Abschnitt 1
Abbildung 15:	Diagramm der Setzungsmessungen an Abschnitt 2
Abbildung 16:	Diagramm der Setzungsmessungen an Abschnitt 3
Abbildung 17:	Diagramm der Setzungsmessungen an Abschnitt 4
Abbildung 18:	Diagramm der Setzungsmessungen an Abschnitt 5
Abbildung 19:	Diagramm der Setzungsmessungen an Abschnitt 6
Abbildung 20:	Diagramm der Setzungsmessungen an Abschnitt 7
Abbildung 21:	Diagramm der Setzungsmessungen an Abschnitt 8
Abbildung 22:	Mittlere Schallemission der technischen Anlage „Bär-D12
Abbildung 23:	Immissionsrichtwerte nach Nummer 3 der AVV Baulärm

- Abbildung 24: CO-Emissionen der Maschinen BA 1 - 7 (Richtwert: 0,3 g/m³)
Abbildung 25: NO₂ - Emission der Maschinen BA 1 - 7 (Richtwert 0,35 g/m³)
Abbildung 26: Gesamt – C – Emission der Maschinen BA 1 - 7 (Richtwert 50 mg/m³)
Abbildung 27: Rußzahl der Maschinen BA 1 - 7 (Richtwert 10)
Abbildung 28: CO-Emissionen der Maschinen BA 8 (Richtwert: 0,3 g/m³)
Abbildung 29: NO₂ - Emission der Maschinen BA 8 (Richtwert 0,35 g/m³)
Abbildung 30: Gesamt – C – Emission der Maschinen BA 8 (Richtwert 50 mg/m³)
Abbildung 31: Rußzahl der Maschinen BA 8 (Richtwert 10)

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: Spundbohlen Länge im Boden [m]
Tabelle 2: Baufortschritt lfdm. Spundwand pro Arbeitstag
Tabelle 3: Mittlere Pressdrücke und Schlagzahlen der einzelnen Bauabschnitte
Tabelle 4: Maximale Setzungen der einzelnen Bauabschnitte
Tabelle 5: Mittelwerte der Schallpegel [dB [A]]
Tabelle 6: Detailergebnisse der Messungen für das Einbringen der Spundwand
Tabelle 7: Zusammenfassung aller wichtigen Daten der einzelnen Bauabschnitte

1 Grundlagen

Für die Auswertung wurden folgende Unterlagen verwendet bzw. eingesehen:

- /1/ OBERMEYER Planen + Beraten GmbH: Ausführungsplanung Teststrecke am Paul-Linke-Ufer, LWK km 8,9 rechtes Ufer, Beweissicherung und Qualitätsmanagement
- /2/ GIKEN EUROPE BV: Pressprotokolle 1 – 40, Teststrecke
- /3/ SPECHT, KALLEJA + PARTNER GmbH (10.05.2010): Beweissicherung im Rahmen des Bauvorhabens Teststrecke Crush Piler im Landwehrkanal in 10999 Berlin-Kreuzberg, bautechnische Beweissicherung, Gutachten I-033.-10-G bis I-033.3-10-G, Teststrecke
- /4/ BeSB GMBH BERLIN SCHALLTECHNISCHES BÜRO 06.05.2010: Erschütterungsmessungen im Verlauf der Einbringung einer Spundwand mit einem Crush-Piler am Landwehrkanal in Berlin-Kreuzberg, Gutachten NR. 5164.1-10, Teststrecke
- /5/ CPV Checkpoint Vermessung GmbH (11.05.2010): Landwehrkanal Paul Linke Ufer, Messprogramm Crush Piler, vermessungstechnische Beweissicherung Teststrecke
- /6/ FURGRO CONSULT GMBH (29.04.2010): Erweiterte Baugrunduntersuchung Landwehrkanal km 8,9 RU Teststrecke Crusher im Rahmen der Beweis- und Qualitätssicherung Teststrecke
- /7/ Eurofins GfA GmbH (27.05.2010): Emissionsmessungen im Abgas von 3 verschiedenen Baumaschinen – Paul-Linke-Ufer – Wasser- und Schifffahrtsamt Berlin, Bericht Teststrecke
- /8/ ALB Akustik-Labor Berlin (21.04.2010): Instandsetzung Landwehrkanal: Teststrecke Crush-Piler km 8,9 RU, Schallmessungen mit Auswertung und gutachterlicher Stellungnahme, Bericht Nr. LWK 020210 G, Teststrecke
- /9/ GIKEN EUROPE BV: Verbrauchsdokumentation für den Dieselkraftstoff
- /10/ EGI Erd- und Grundbauinstitut Brandenburg (16.04.2010), Prüfbericht, Verdichtungsprüfung
- /11/ WSA Berlin: Beweissicherung Ufersicherung LWK, Abschnitt 1 (Corneliusstraße)
- /12/ Mette Wasserbau GmbH u. Co. KG: Rammprotokoll Nr. 1 - 2, Pressprotokoll Nr. 1 – 22, Abschnitt 1 (Corneliusstraße)
- /13/ Ing.-Büro Thiel (28.04.2009): Messung, Analyse und Prognose von Lärmparametern, Rammtechnik "Bär-D12", Abschnitt 1 (Corneliusstraße)
- /14/ Mette Wasserbau GmbH u. Co. KG: Rammprotokoll Nr. 1 - 16, Pressprotokoll Nr. 1 –7, Abschnitt 2 (Herkuselufer)
- /15/ WSA Berlin: Beweissicherung Ufersicherung LWK, Abschnitt 2 (Herkuselufer)
- /16/ Bautaucherei und Bergungsbetrieb Barth GmbH: Bautagebuch: Bohlenaufstockung, Abschnitt 2 (Herkuselufer)
- /17/ WSA Berlin: Beweissicherung Ufersicherung LWK, Abschnitt 3 (Tempelhofer Ufer)
- /18/ Weitlandt-Thiel KG (27.02.2009): Prüfbericht Schwingungsmessung, Abschnitt 3 (Tempelhofer Ufer)
- /19/ Bautaucherei und Bergungsbetrieb Barth GmbH: Bautagebuch: Bohlenaufstockung, Abschnitt 3 (Tempelhofer Ufer)
- /20/ Mette Wasserbau GmbH u. Co. KG: Rammprotokoll Nr. 1 - 7, Pressprotokoll Nr. 1 – 5, Abschnitt 3 (Tempelhofer Ufer)

- /21/ Bundesanstalt für Wasserbau Ilmenau – BD (11/2009): Erschütterungen bei Pressarbeiten – Möckernbrücke, Erschütterungsmessungen, Abschnitt 4 (Tempelhofer Ufer/Möckernbrücke)
- /22/ WSA Berlin: Beweissicherung Ufersicherung LWK, Abschnitt 4 (Tempelhofer Ufer/Möckernbrücke)
- /23/ Mette Wasserbau GmbH u. Co. KG: Pressprotokoll Nr. 1 – 4, Abschnitt 4 (Tempelhofer Ufer/Möckernbrücke)
- /24/ GuD Geotechnik und Dynamik GmbH (30.03.2010): Bericht zu Überwachung baubedingter Erschütterungen am U-Bahnhof Möckernbrücke (U7) bei Spundwandrammungen zur Ufersicherung des Landwehrkanals (LWK) im Abschnitt 5 (11.-19.03.2009), Abschnitt 5 (U-Bhf Möckernbrücke)
- /25/ WSA Berlin: Beweissicherung Ufersicherung LWK, Abschnitt 5 (U-Bhf Möckernbrücke)
- /26/ Bautaucherei und Bergungsbetrieb Barth GmbH: Bautagebuch: Bohlenaufstockung, Abschnitt 5 (U-Bhf Möckernbrücke)
- /27/ Mette Wasserbau GmbH u. Co. KG: Rammprotokoll Nr. 1 - 19, Pressprotokoll Nr. 1 – 8, Abschnitt 5 (U-Bhf Möckernbrücke)
- /28/ Weitlandt-Thiel KG (12.03.2009): Prüfbericht Schwingungsmessung, Abschnitt 5 (U-Bhf Möckernbrücke)
- /29/ WSA Berlin: Beweissicherung Ufersicherung LWK, Abschnitt 6 (Tempelhofer Ufer oberhalb U-Bahn Fußgängerbrücke)
- /30/ GuD Geotechnik und Dynamik GmbH: Erschütterungsüberwachung während der Rammarbeiten, Abschnitt 6 (Tempelhofer Ufer oberhalb U-Bahn Fußgängerbrücke)
- /31/ Mette Wasserbau GmbH u. Co. KG: Rammprotokoll Nr. 1 - 3, Pressprotokoll Nr. 1 – 8, Abschnitt 6 (Tempelhofer Ufer oberhalb U-Bahn Fußgängerbrücke)
- /32/ Eurofins GfA GmbH (27.05.2010): Emissionsmessungen im Abgas von 3 verschiedenen Baumaschinen – Maybachufer – Wasser- und Schifffahrtsamt Berlin, Bericht

2 Beschreibung der acht Bauabschnitte

2.1 Lage der Bauabschnitte

Im Folgenden werden die acht Bauabschnitte entsprechend ihrer Lage und ihrer Ausdehnung beschrieben. Es handelt sich hierbei um die Abschnitte:

- Abschnitt 1: Corneliusstraße zwischen LWK km 2,700 und 2,850 (206 m)
- Abschnitt 2: Herkulesufer zw. LWK km 3,100 und 3,150 (36 m)
- Abschnitt 3: Tempelhofer Ufer – Schönebergerstr. zw. LWK km 4,900 und 5,000 (23 m)
- Abschnitt 4: Tempelhofer Ufer / Möckernbrücke zw. LWK km 5,250 und 5,270 (19 m)
- Abschnitt 5: U-Bhf Möckernbrücke zw. LWK km 5,400 und 5,450 (36 m)
- Abschnitt 6: Tempelhofer Ufer oberhalb U-Bahn Fußgängerbrücke ca. zw. LWK km 5,450 und 5,500 (49 m)
- Abschnitt 7: Maybachufer zw. LWK km 8,110 und 8,200 (90 m)
- Abschnitt 8: Paul-Lincke-Ufer LWK km 8,875 bis km 8,925 (50 m)

Die Längen und Anzahl der Spundbohlen sind für jeden Abschnitt in den folgenden Abbildungen dargestellt. Für eine detailliertere und übersichtlichere Darstellung sind die Abbildungen 1 - 8 in Originalgröße in den Anlagen 1- 8 beigefügt.

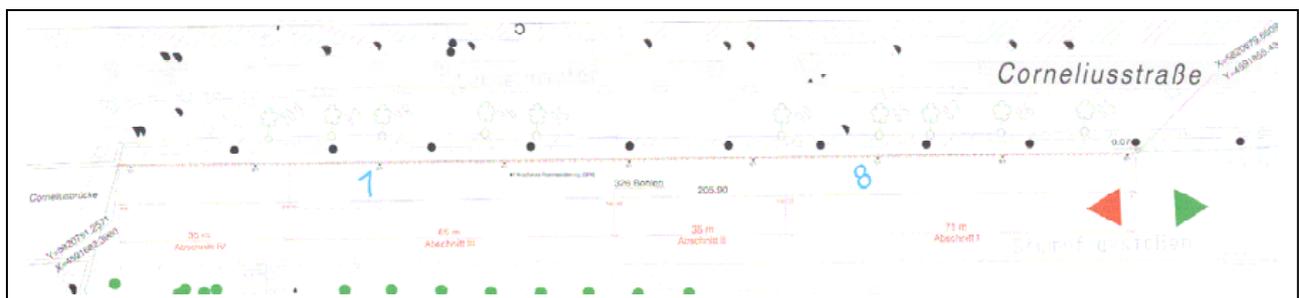


Abbildung 1: Lageplan Abschnitt 1

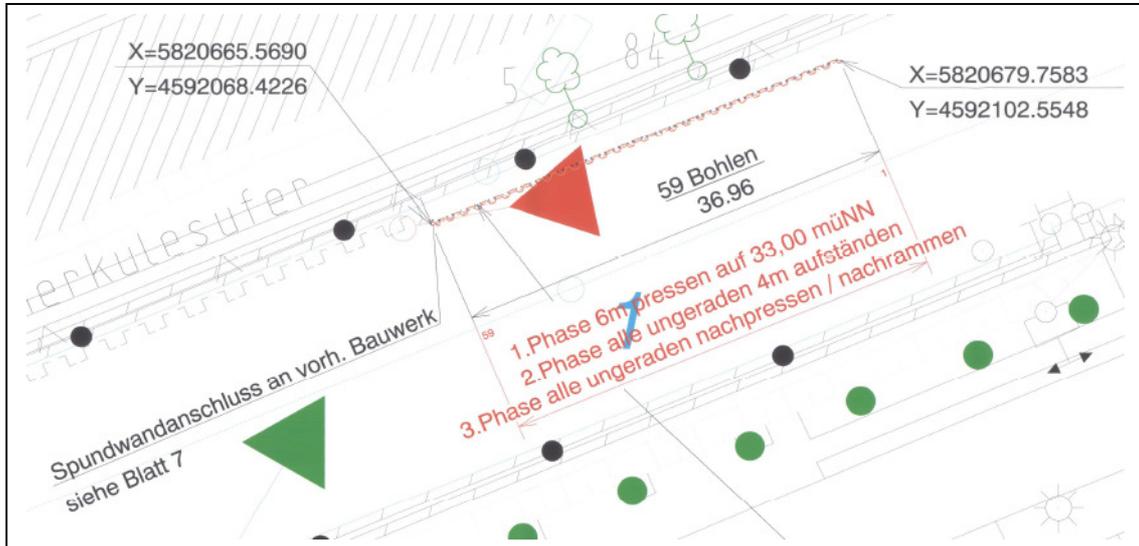


Abbildung 2: Lageplan Abschnitt 2

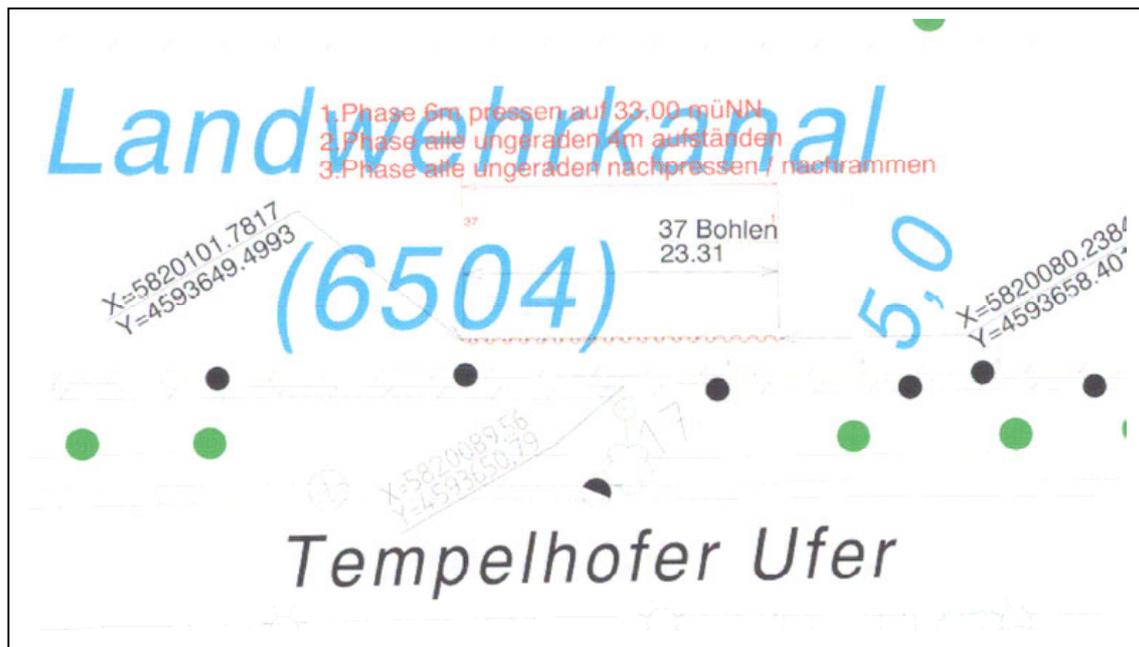


Abbildung 3: Lageplan Abschnitt 3

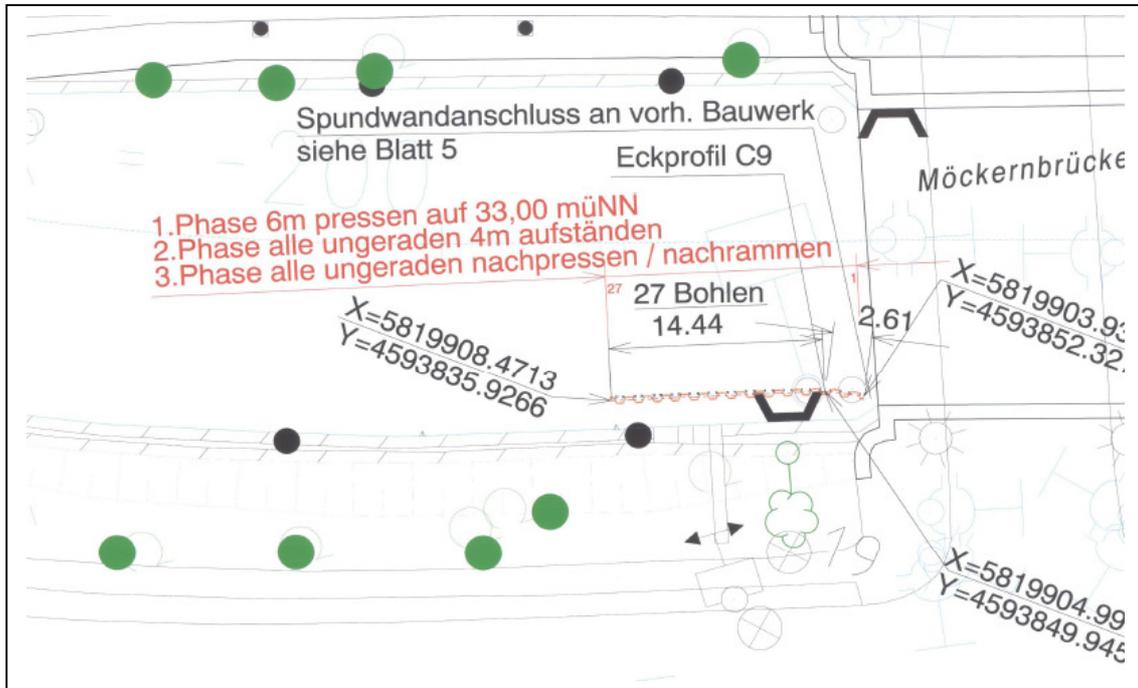


Abbildung 4: Lageplan Abschnitt 4

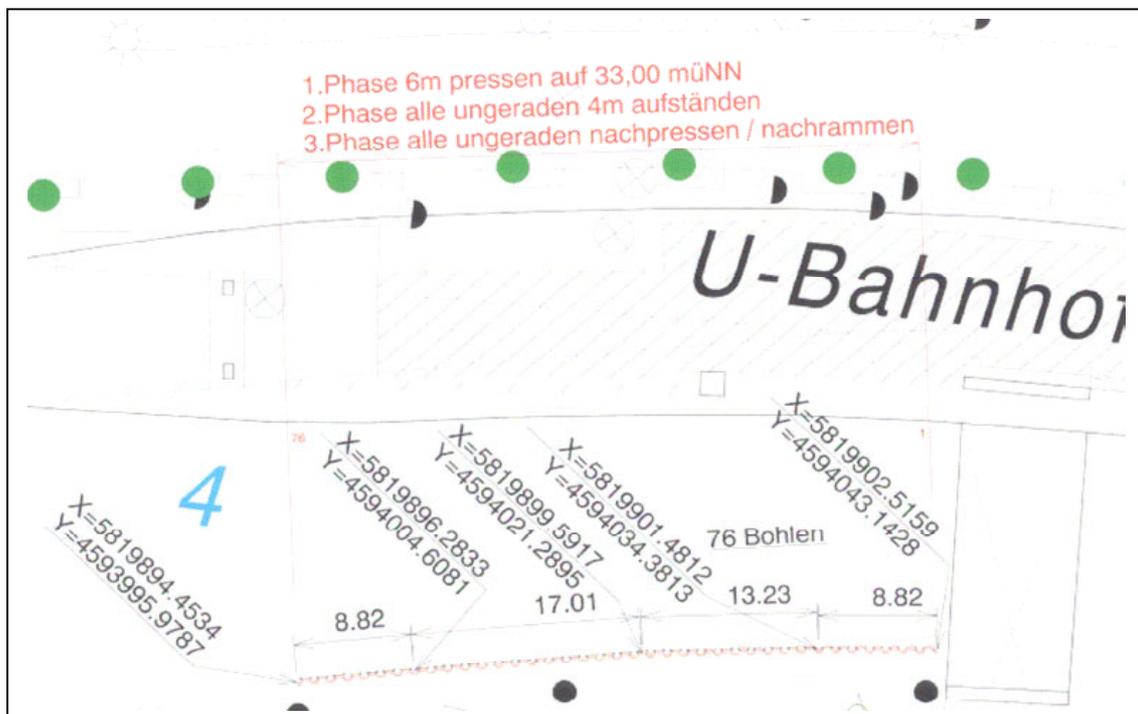
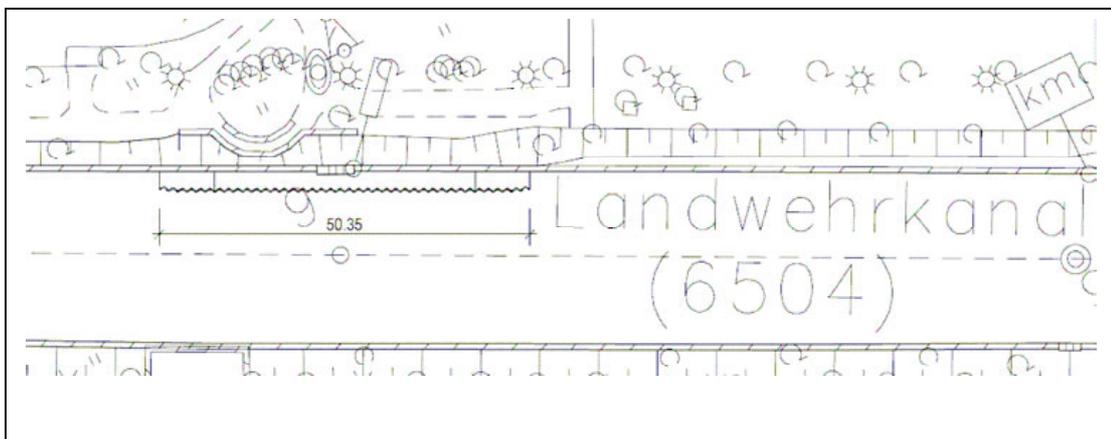
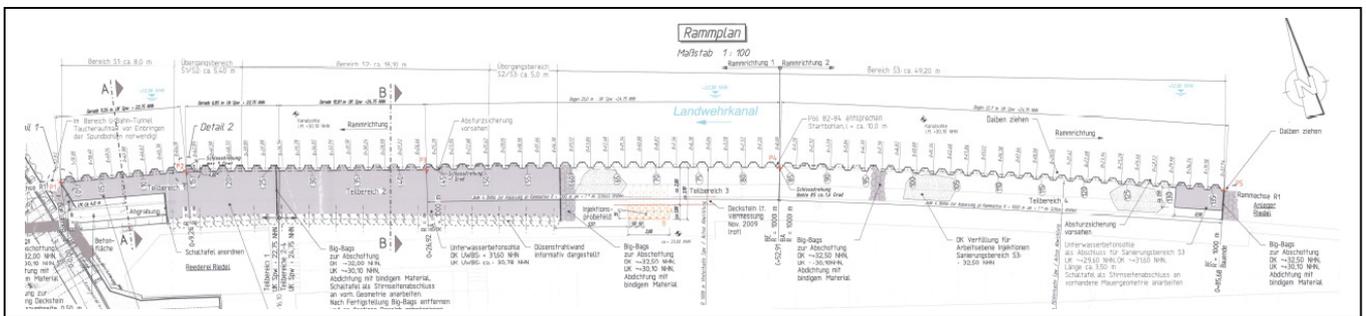
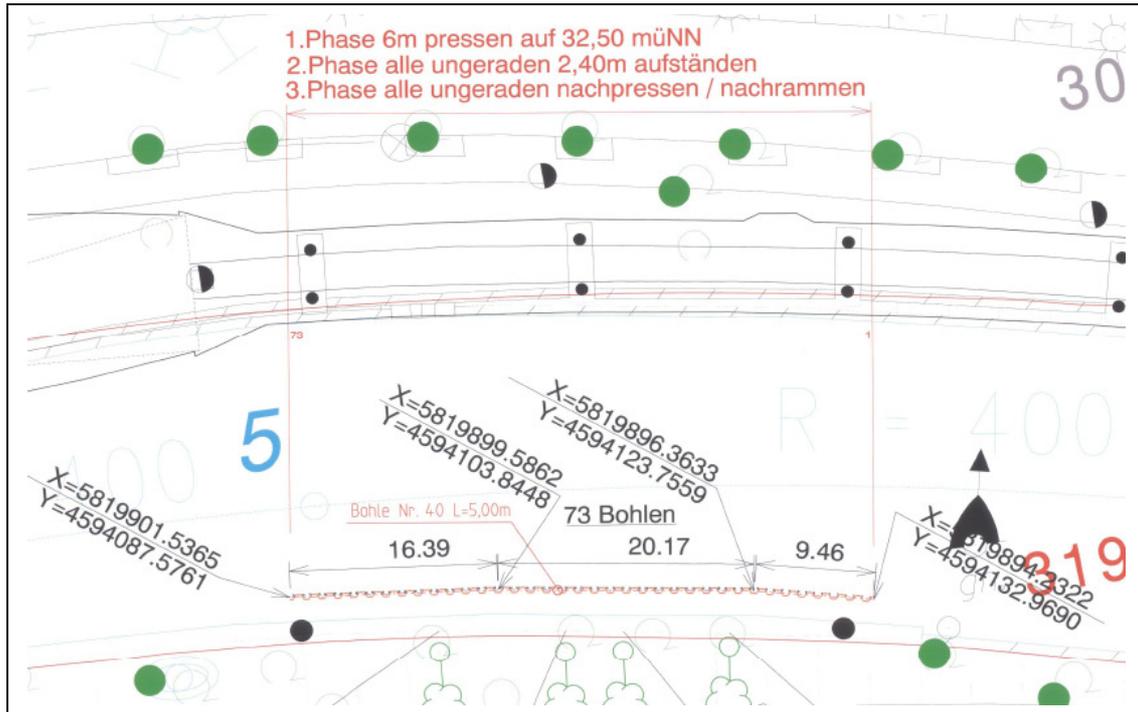


Abbildung 5: Lageplan Abschnitt 5



2.2 Bauablauf

Die Durchführung der Baumaßnahmen an den Abschnitten 1 - 7 erfolgte nahezu parallel. Mit Beginn der Sicherungsmaßnahmen im November 2008 wurden die Arbeiten im September 2010 beendet. Die letzten Rammarbeiten erfolgten am Bauabschnitt 2 im Mai 2009. Abwechselnd wurden je Abschnitt zunächst die Bohlen eingepresst, aufgeständert und anschließend auf ihre Solltiefe eingerammt.

Der Bau der Spundwand an der Teststrecke (Abschnitt 8) erfolgte im Zeitraum vom 30.03.2010 bis 16.04.2010. Die Spundwandarbeiten an diesem Bauabschnitt erfolgten mit dem Super-Crush-System der Firma Giken Europe B.V. Hierbei werden die Spundbohlen in den Boden gepresst, wobei parallel vorgebohrt wird.

In den Abschnitten 1 – 6 und 8 wurden Spundwandprofile AZ25 eingebaut. Am Maybachufer (Absch. 7) wurden AZ26-Profile verwendet. Diese wurden in den Abschnitten 1 – 7 als Einzelbohlen und im Abschnitt 8 (Teststrecke) als Doppelbohlen eingebracht. Dabei variiert die Einbringtiefe der Bohlen sowohl abschnittsweise als auch innerhalb der einzelnen Abschnitte. Die nachfolgende Abbildung (Abb.: 9) zeigt die durchschnittlich erreichten Längen der Spundbohlen im Boden. In der anschließenden Tabelle (Tab.: 1) sind die Zahlenwerte für die mittleren und maximalen Einbringtiefen dargestellt.

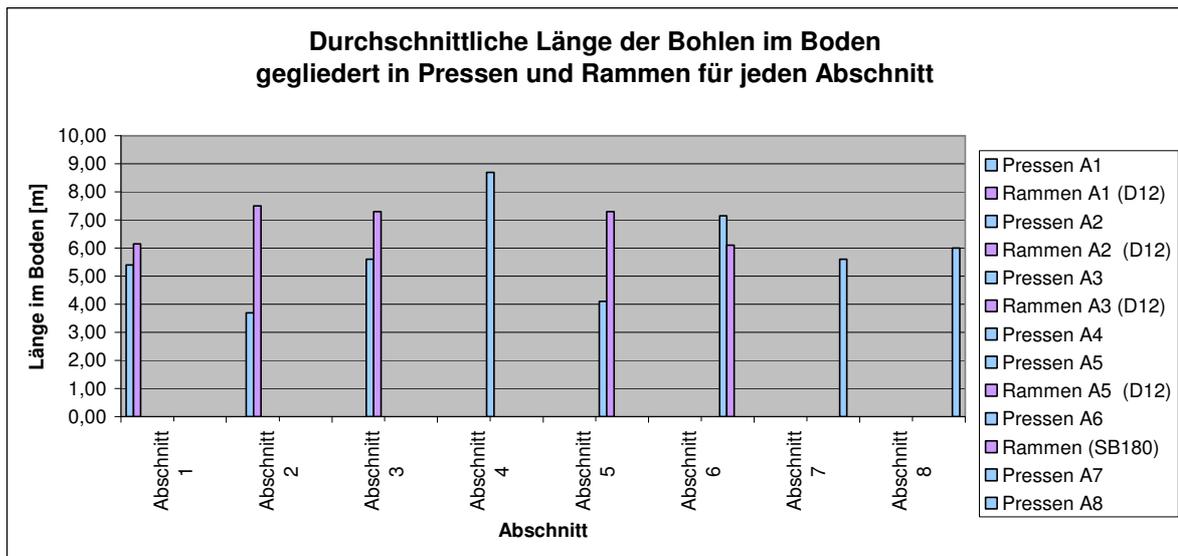


Abbildung 9: Durchschnittliche Länge der Bohlen im Boden [m]

	BA 1	BA 2	BA 3	BA 4	BA 5	BA 6	BA 7	BA 8
Spundbohlen Länge im Boden [m]								
Pressen								
Mittelwert	5,40	3,70	5,60	8,70	4,10	7,15	5,60	6,00
Maximum	7,00	7,25	6,60	9,00	8,65	8,50	7,25	6,00
Rammen								-
Mittelwert	6,15	7,50	7,30	-	7,30	6,10	-	-
Maximum	6,80	8,80	7,50	-	7,30	6,10	-	-

Tabelle 1: Spundbohlen Länge im Boden [m]

Den durchschnittlichen und die maximalen Baufortschritt an den einzelnen Abschnitten pro Arbeitstag zeigt die nachfolgende Tabelle (Tab.: 2). Die Tabelle ist nach den Arbeitsvorgängen Pressen und Rammen eingeteilt.

	BA 1	BA 2	BA 3	BA 4	BA 5	BA 6	BA 7	BA 8
	lfdm. Spundwand pro Arbeitstag [m/d]							
Pressen								
Mittelwert	4,76	5,04	4,79	4,25	4,93	7,35	12,60	13,86
Maximum	13,86	9,45	8,82	8,82	11,34	12,60	25,20	18,90
	Mittelwert der BA 1 - 7							
	6,33							
Rammen								
Mittelwert	1,26	3,78	3,15	-	4,66	3,15	-	-
Maximum	1,26	10,08	5,67	-	9,45	3,15	-	-

Tabelle 2: Baufortschritt lfdm. Spundwand pro Arbeitstag

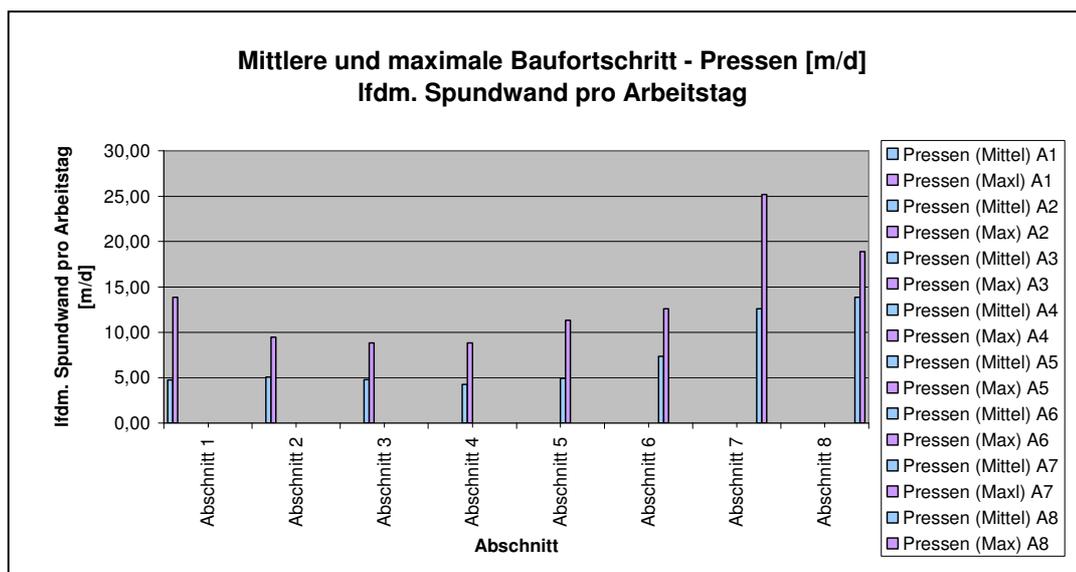
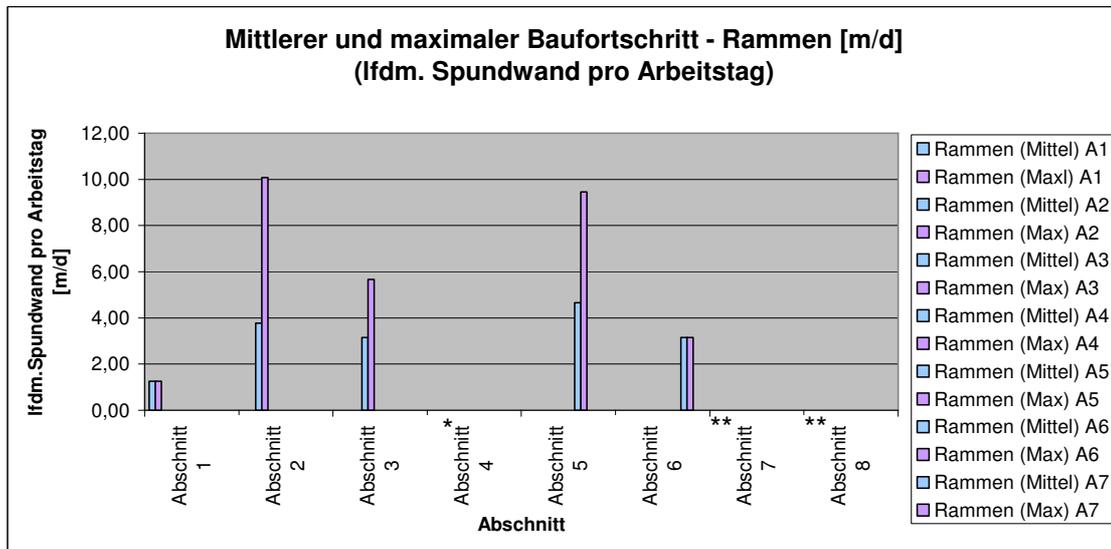


Abbildung 10: Mittlerer und maximaler Baufortschritt - Pressen [m/d]

Vergleicht man den mittleren Baufortschritt an den Bauabschnitten 1 – 7 mit dem der Testrecke (Abschnitt 8), so ist festzustellen, dass mit dem Crush Piler-Verfahren durchschnittlich 7,53 m Spundwand mehr pro Arbeitstag fertiggestellt wurde (siehe hierzu Tabelle 2 und Abb.: 10).

Die Abbildung 11 zeigt einen relativ gleichmäßigen durchschnittlichen Arbeitsfortschritt der Rammarbeiten an den Abschnitten 2, 3, 5 und 6. Da am Abschnitt 1 lediglich 2 Spundbohlen gerammt wurden, sind die Werte hierbei nicht zu berücksichtigen.



* Zur Erstellung der Auswertung der Qualitäts- und Beweissicherung lagen keine Rammprotokolle zum Abschnitt 4 (Tempelhofer Ufer / Möckernbrücke) vor

** An den Abschnitten 7 und 8 wurden keine Rammarbeiten durchgeführt.

Abbildung 11: Mittlerer und maximaler Baufortschritt - Rammen [m/d]

2.3 Bauverfahren / Auswertung

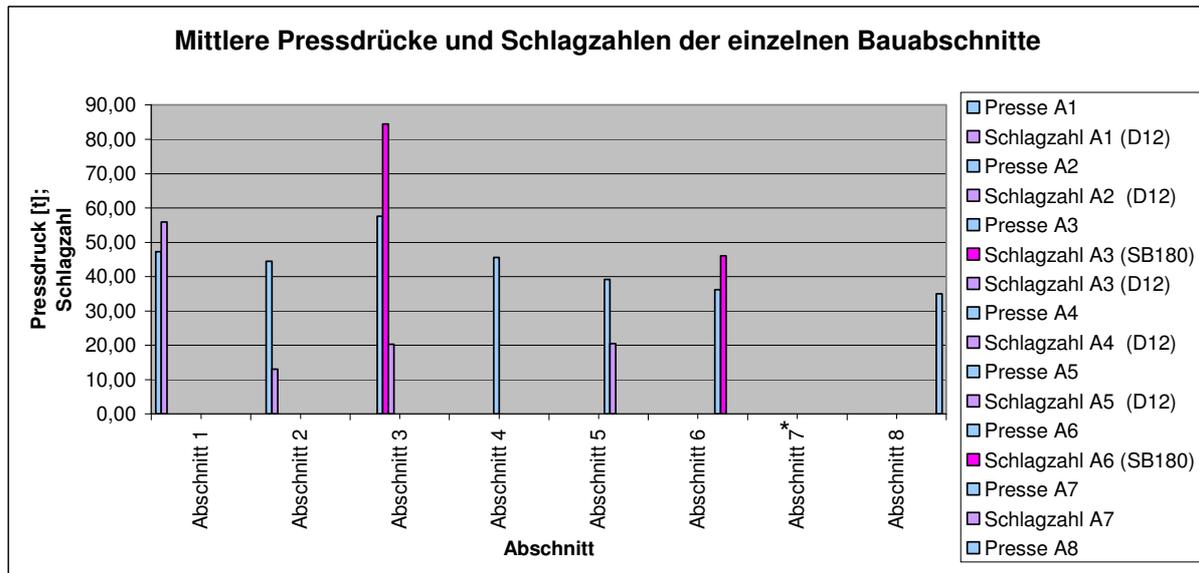
Als Einbring-Verfahren kamen bei allen Bohlen bzw. Spundwänden der Bauabschnitte 1 - 6 zunächst das Einpressen (mit anschließendem Aufständern) und danach das Rammen mittels Rammtechnik vom Typ „Bär-D12“ bzw. „SB 180“ zum Einsatz. Hierbei werden die Bohlen auf eine entsprechende Anfangstiefe gepresst und dann auf die Endhöhe eingerammt. Mit einem Rammbar werden die Spundbohlen durch Rammen in den Boden getrieben. Beim Typ „Bär-D12“ (Dieselbär) kommt zu dem rein mechanischen Schlag des fallenden Schlagkolbens noch eine zusätzliche Schlagwirkung durch die explosionsartige Kraftstoffverbrennung hinzu. Bei gleichgroßer Fallmasse ist die Schlagwirkung der Dieselbären etwa fünfzig Prozent größer als bei Zylinder- oder Freifallbären. Beim Schnellschlagbär SB 180 wird der hydraulisch oder durch Dampf aufgebaute Gasdruck nicht nur zum Heben des Kolbens benutzt, sondern auch zur Beschleunigung bei der Abwärtsbewegung (wechselseitige Beaufschlagung des Kolbens). Dadurch erzielt der Rammhammer eine doppelte Wirkung beim Schlagaustausch und eine hohe Schlagzahl.

Die Spundwandarbeiten am Abschnitt 7 (Maybachufer) sind ausschließlich mittels Einpresstechnik durchgeführt worden. Ein zusätzliches Rammen war hier nicht notwendig.

Das Super-Crush-System, welches an der Teststrecke zum Einsatz kam, ist ein Verfahren dass auf dem „Einpress-Prinzip“ entwickelt wurde. Während bei konventionellen Bauverfahren die Spundbohlen in den Boden eingeschlagen, einvibriert bzw. eingepresst werden, presst beim Super-Crush-System ein Hydraulikzylinder mit integrierter Bohrhilfe (ein s.g. Crush Piler) die Spundbohlen in den Boden ein. Hierfür wird der Crush Piler auf bereits installierte Startspundbohlen mit hydraulischen Klemmbacken aufgesetzt. Beim Einpressvorgang stemmt sich der Hydraulikzylinder gegen die Startbohlen und presst die Spundbohle auf ihre geforderte Tiefe, wobei gleichzeitig ein Bohrgerät am Spundbohlenfuß den Boden lockert. Dabei bohrt der Bohrer zunächst vor. Anschließend wird der Bohrer ausgezogen und parallel die Spundbohle eingepresst. Somit können die Bohlen bei nahezu allen Bodenverhältnissen (Böden mit sehr

hohen Festigkeiten) eingepresst werden. Mit fortschreitendem Bauvortrieb wandert die Hydraulikpresse Bohle für Bohle auf der fertiggestellten Spundwand mit.

Im nachstehenden Diagramm (Abb.: 12) sind die Mittelwerte der Pressdrücke und der Schlagzahlen zusammen gefasst.



Zur Erstellung der Auswertung der Qualitäts- und Beweissicherung lagen keine Pressprotokolle zum Abschnitt 7 (Maybachufer) vor

Abbildung 12: Mittlere Pressdrücke und Schlagzahlen der einzelnen Bauabschnitte

Es zeigt sich, dass bei den Einpressarbeiten keine besonderen Vorkommnisse aufgetreten sind. Die Pressdrücke liegen im Durchschnitt bei 43,6 t. Die mittleren Werte des Super-Crush-Systems (Abschnitt 8) und des Bauabschnittes 6 liegen hierbei mit 35 bzw. 36 t im Schnitt 7 – 9 t unterhalb des Gesamtdurchschnittes (siehe Tabelle 3). Als maximaler Mittelwert wurden im Abschnitt 4 an einer Bohle 80 t aufgebracht. Weitere Ausnahmen sind bei den Pressvorgängen jedoch nicht festzustellen.

Die Werte der Schlagzahlen hingegen variieren hier deutlicher. Von durchschnittlich 13 Schlägen im 2. Bauabschnitt (Herkulesufer) bis zu 56 Schlägen im 1. Bauabschnitt (Corneliusstraße). Hierbei ist jedoch anzumerken, dass im Abschnitt 1 lediglich 2 Bohlen gerammt wurden. Die größte mittlere Schlagzahl wurde im Abschnitt 3 gemessen mit einem Mittel von 175,5 Schlägen. Dies kann auf die o.g. höheren Schlagzahlen durch das Rammsystem mit dem Schnellschlagbär zurückgeführt werden. Mit Ausnahme von Abschnitt 1 liegen die mittleren Schlagzahlen der Abschnitt 3 und 6 (Schnellschlagbär) im Schnitt 38 Schläge über den Werten der anderen Bauabschnitte (siehe hierzu Tabelle 2).

Bauabschnitte	mittlerer Pressdruck [t]	mittlere Schlagzahl [n]
Abschnitt 1 (D12)	47,3	56,0
Abschnitt 2 (D12)	44,5	13,0
Abschnitt 3 (D12 / SB180)	57,6	20,0 (D12) 84,5 (SB180)

Bauabschnitte	mittlerer Pressdruck [t]	mittlere Schlagzahl [n]
Abschnitt 4	45,6	-
Abschnitt 5 (D12)	39,2	20,5
Abschnitt 6 (SB 180)	36,0	46,0
Abschnitt 7		
Abschnitt 8 (Crush-Piler)	35,0	-
Durchschnitt (D12)	-	27,5
Durchschnitt (SB180)	-	65,25
Durchschnitt (gesamt)	43,6	40

Tabelle 3: Mittlere Pressdrücke und Schlagzahlen
der einzelnen Bauabschnitte

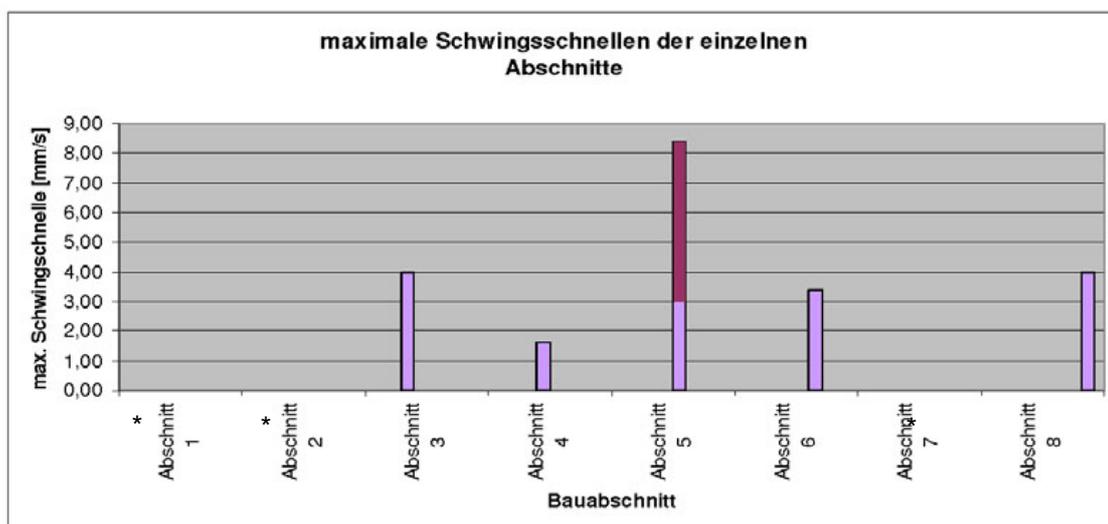
Den Protokollen zufolge gab es bei den Einbringarbeiten keine weiteren Vorkommnisse. Lediglich im 1. Bauabschnitt mussten die Pressarbeiten an Bohle Nr. 166 abgebrochen werden und der weitere Vortrieb mittels Rammen fortgesetzt werden. Dies kann auf die schwierigen Bodenverhältnisse (anstehender Geschiebemergel) in diesem Bereich des Abschnittes zurück geführt werden. Die Spundbohlen konnten alle planmäßig eingebaut werden. Ein Herausziehen der Bohlen ist nicht dokumentiert.

3 Messtechnische Beweissicherung

3.1 Darstellung der Messergebnisse

Die Erschütterungsuntersuchungen wurden von drei unterschiedlichen Messbüros durchgeführt. Für die Bauabschnitte 3, 5 und 6 hat das Büro GuD Geotechnik und Dynamik GmbH /24/, /30/ die Schwingungsmessungen aufgestellt. Am Abschnitt 4 hat die Bundesanstalt für Wasserbau Ilmenau – BD die Messungen durchgeführt. Die messtechnische Beweissicherung an der Teststrecke (Abschnitt 8) wurde durch das schalltechnische Büro BeSB GMBH BERLIN /4/ vorgenommen

Die in Abbildung 13 dargestellten Schwingschnellen sind Messwerte unmittelbar in der Nähe der Spundwandarbeiten. Bereits wenige Meter vom Ufer entfernt sind die Maximalwerte meist deutlich abgeklungen. Bis auf das Maximum, gemessen am Abschnitt 5, mit 8,4 mm/s sind zu keinem Zeitpunkt die Grenzwerte der Schwingstärken lt. DIN 4150 für Wohngebäude (5,0 mm/s) bzw. für gewerblich genutzte Bauten (20 mm/s) überschritten worden. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass der hohe Anfangswert von Abschnitt 5 auf dem kanalseitigen Gehweg nur noch 2,9 mm/s betrug. Das starke Abklingen der Schwingschnellen durch den Boden kann anhand dieser Werte sehr deutlich dargestellt werden.



* An den Abschnitten 1, 2 und 7 wurden keine Erschütterungsmessungen durchgeführt.

Abbildung 13: Maximale Schwingschnellen der einzelnen Abschnitte

3.2 Vergleich der Ergebnisse der unterschiedlichen Bauverfahren

Im Vergleich der maximalen Schwingschnellen der einzelnen Bauabschnitte (BA 3, 4, 5,6 und 8) zeigt sich, dass bis auf den oben beschriebenen Ausnahmewert die Erschütterungen durch den Spundwandbau deutlich unter den festgesetzten Grenzen (Grenzwert:: 20 mm/s nach DIN 4150-3) lagen. Mit 1,6 mm/s Schwingschnelle, gemessen an Bauabschnitt 4, sind die Erschütterungen die geringsten aller Bauabschnitte. Das Mittel liegt hier bei 3,06 mm/s.

4 Geodätische Beweissicherung

4.1 Graphische Darstellung der Setzungsmessungen aller Abschnitte

Im folgenden Abschnitt sind die Setzungskurven an ausgewählten Messpunkten für alle Bauabschnitte dargestellt. Die Auswahl der Punkte erfolgte dabei nach der Größe der aufgetretenen Setzungen und der Position der Messpunkte. Aufgrund der geringen Setzungen in näherer Umgebung der Sicherungsmaßnahmen wurden vor allem Messpunkte in ufernähe ausgewählt. In den Tabellen unter jedem Diagramm sind die jeweiligen Zahlenwerte aufgeführt. Die in rot eingerahmten Werte entsprechen den Maximalwerten. Die Messungen wurden vom WSA Berlin durchgeführt. /11/, /15/, /17/, /22/, /25/, /29/.

4.1.1 Abschnitt 1: Corneliusstraße zwischen LWK km 2,700 und 2,850 (206 m)

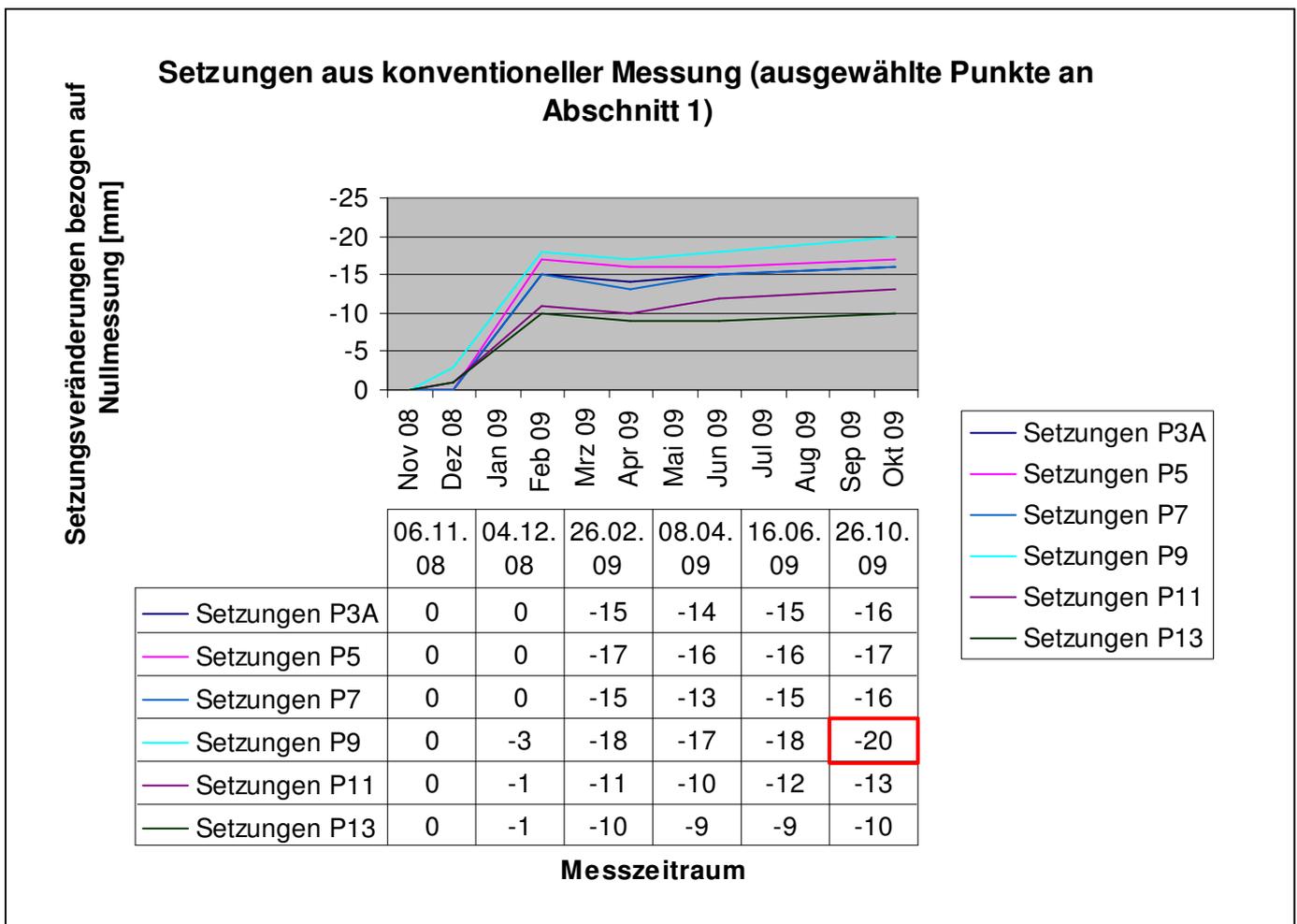


Abbildung 13: Diagramm der Setzungsmessungen an Abschnitt 1

Die größten Setzungen an Abschnitt 1 wurden am Objektpunkt P 9 gemessen und betragen -20 mm.

4.1.2 Abschnitt 2: Herkulesufer zw. LWK km 3,100 und 3,150 (36 m)

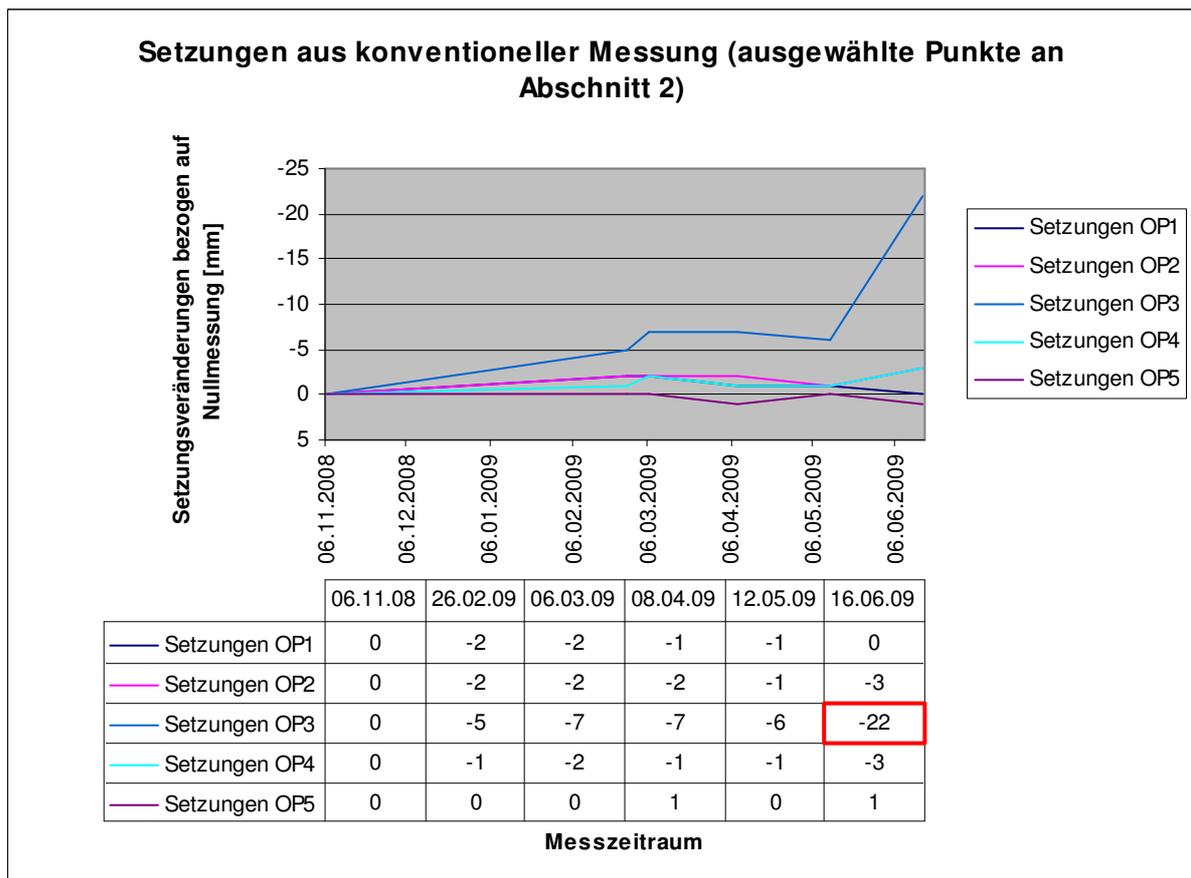


Abbildung 14: Diagramm der Setzungsmessungen an Abschnitt 2

Die größten Setzungen an Abschnitt 2 wurden am Objektpunkt 3 gemessen und betrugen – 22 mm.

4.1.3 Abschnitt 3: Tempelhofer Ufer zw. LWK km 4,900 und 5,000 (23 m)

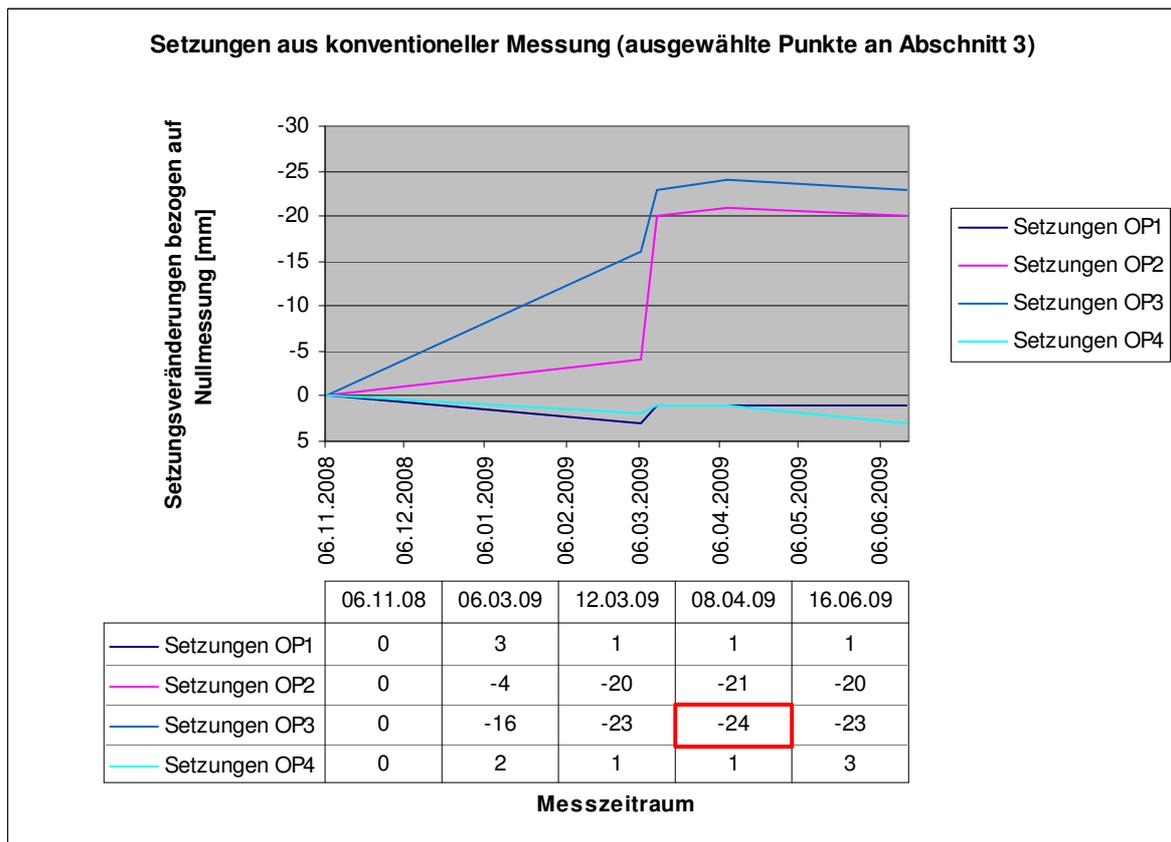


Abbildung 15: Diagramm der Setzungsmessungen an Abschnitt 3

Die größten Setzungen an Abschnitt 3 wurden am Objektpunkt 3 gemessen und betragen – 24 mm.

4.1.4 Abschnitt 4: Tempelhofer Ufer / Möckernbrücke zw. LWK km 5,250 und 5,270 (19 m)

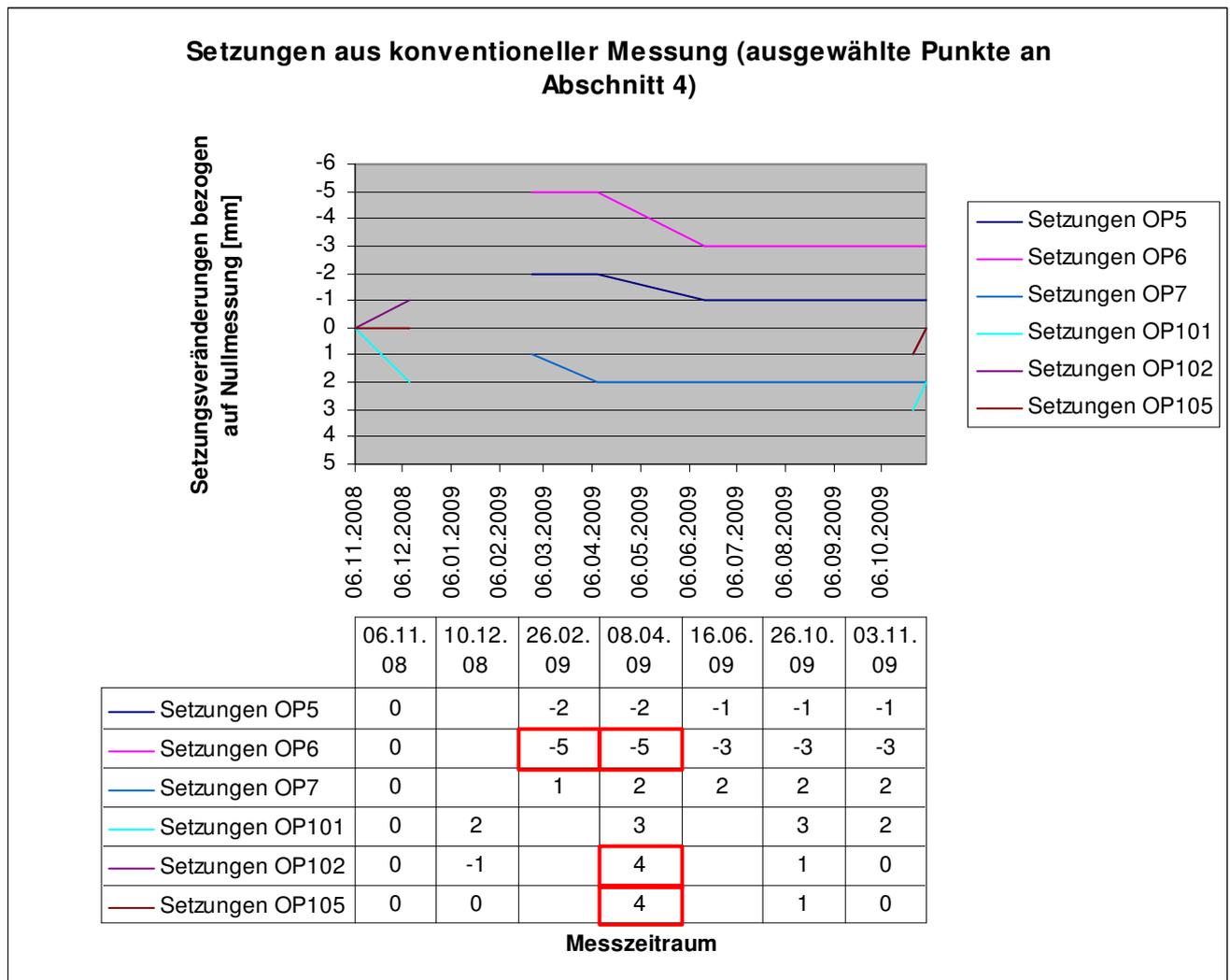


Abbildung 16: Diagramm der Setzungsmessungen an Abschnitt 4

Die größten Setzungen an Abschnitt 4 wurden an den Objektpunkten 6, 102 und 105 gemessen und betrugen – 5 mm und + 4 mm. Zu den leeren Zellen standen keine Messdaten zur Verfügung.

4.1.5 Abschnitt 5: U-Bhf Möckernbrücke zw. LWK km 5,400 und 5,450 (36 m)

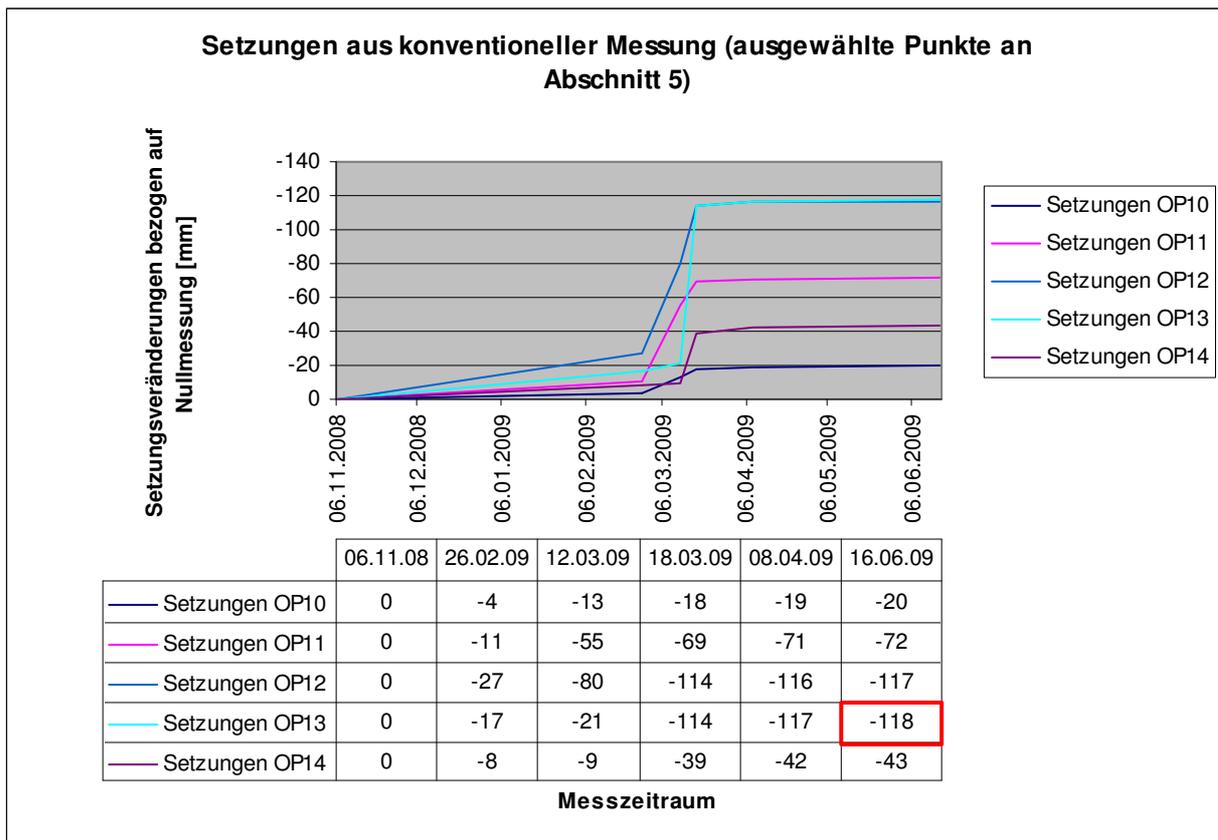


Abbildung 17: Diagramm der Setzungsmessungen an Abschnitt 5

Die größten Setzungen an Abschnitt 5 wurden am Objektpunkt 13 gemessen und betragen -118 mm.

4.1.6 Abschnitt 6: Tempelhoferufer oberhalb U-Bahn Fußgängerbrücke zw. LWK km 5,450 und 5,500 (49 m)

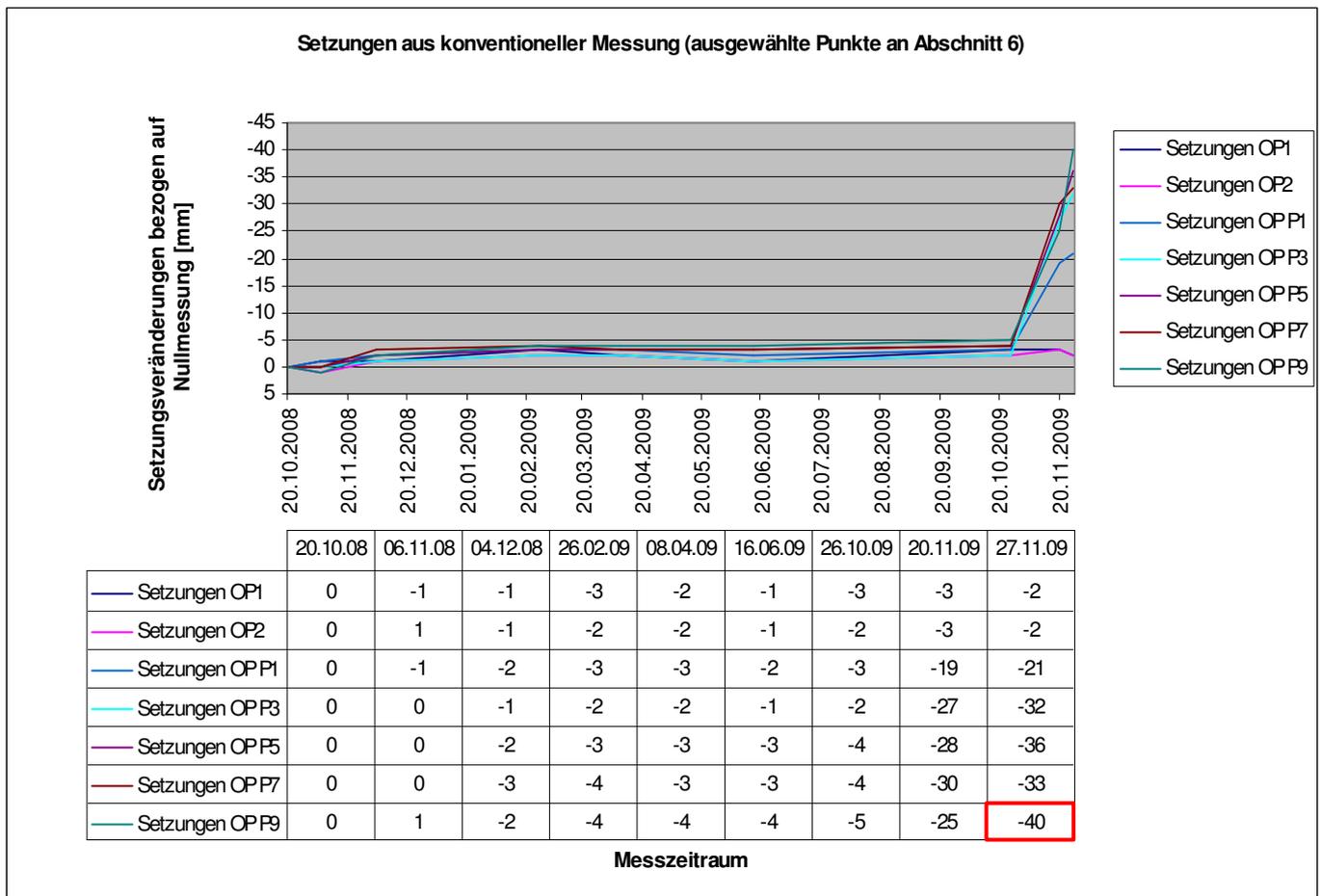


Abbildung 18: Diagramm der Setzungsmessungen an Abschnitt 6

Die größten Setzungen an Abschnitt 6 wurden am Objektpunkt 13 gemessen und betragen -40 mm.

4.1.7 Abschnitt 7: Maybachufer zw. LWK km 8,110 und 8,200 (90 m)

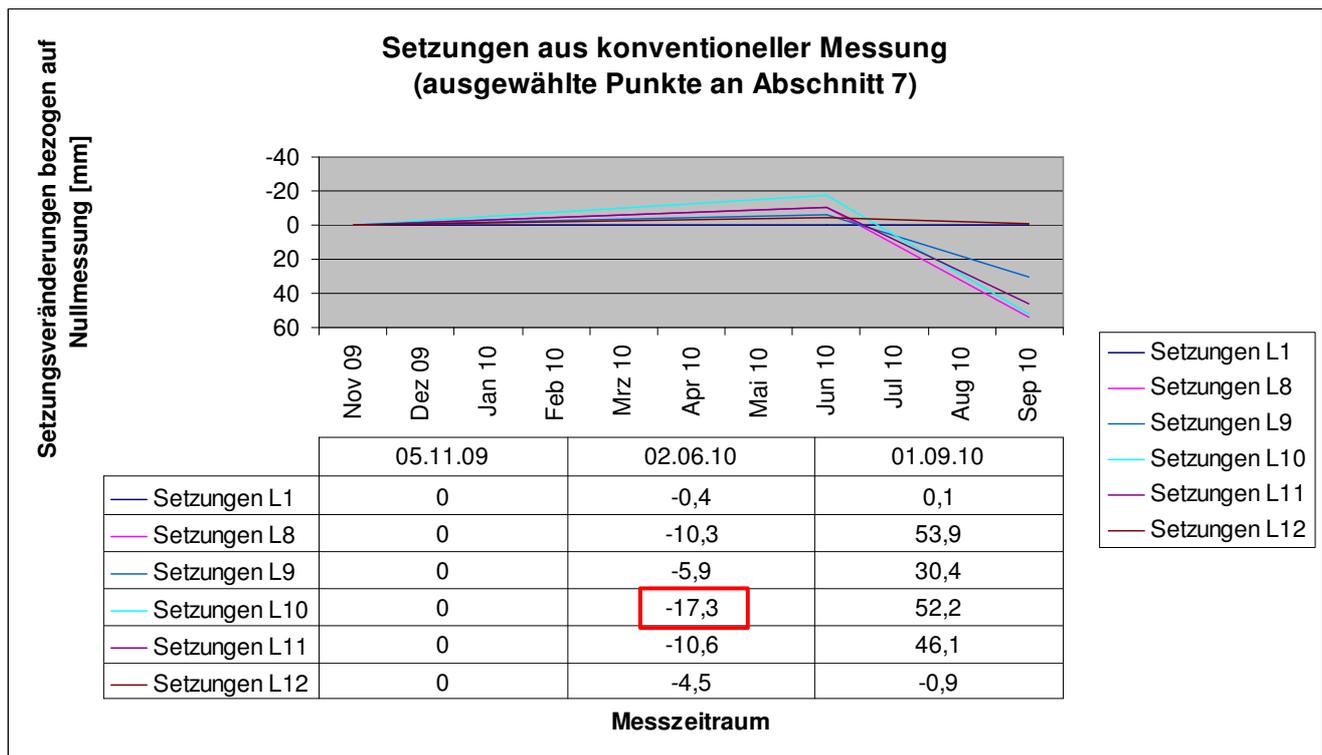


Abbildung 19: Diagramm der Setzungsmessungen an Abschnitt 6

Die größten Setzungen an Abschnitt 7 wurden am Messpunkt L8 am 02.06.2010 gemessen und betragen $-17,3$ mm. Die Messwerte der Messung vom 01.09.2010 sind nach weiteren Instandsetzungsmaßnahmen (Injektionsverfahren) an den Uferwänden aufgetreten und mit den Spundwandarbeiten nicht in Verbindung zu setzen.

4.1.8 Abschnitt 8: Paul-Lincke-Ufer LWK km 8,875 bis km 8,925 (50 m)

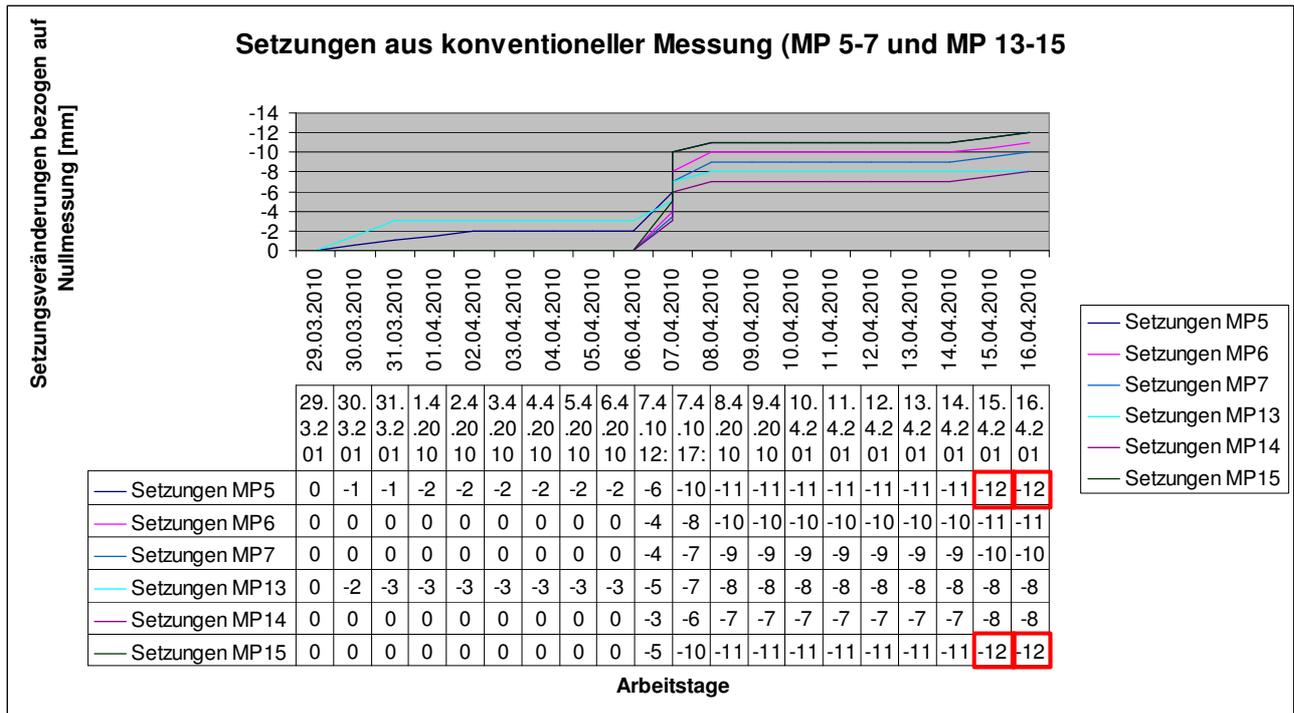


Abbildung 20: Diagramm der Setzungsmessungen an Abschnitt 8

Die größten Setzungen an Abschnitt 8 wurden am Messpunkt 5 und 15 gemessen und betragen -12 mm.

4.2 Zusammenfassung der Messergebnisse

In der nachfolgenden Tabelle sind die maximalen Setzungen aus der geodätischen Beweissicherung der acht Bauabschnitte zusammen gefasst.

	BA 1	BA 2	BA 3	BA 4	BA 5	BA 6	BA 7	BA 8
max. Setzung [mm]	-20	-22	-24	-5	-118	-40	-17,3	-12

Tabelle 3: Maximale Setzungen der einzelnen Bauabschnitte

Aus den maximalen Setzungen der einzelnen Bauabschnitte kann zunächst kein direkter Vergleich gezogen werden. Unabhängig vom Bauverfahren (Rammbär D 12, Rammbär SB 180, Crush-Piler) schwanken die größten Setzungen zwischen 5 und 118 mm. Die große Spanne der Ergebnisse (größte Differenz -> 113 mm) ist u.a. auf die unterschiedlichen Bodenverhältnisse der einzelnen Abschnitte zurück zuführen. Die geringen Setzungen am BA 4 lassen sich hingegen durch die niedrigen Erschütterungen während des Spundwandeinbaus erklären.

5 Schallmessungen

Die Schallmessung wurde durch verschiedene Büros durchgeführt. Die Messungen an den technischen Anlagen vom Typ Bär-D12 führte das Ing.-Büro Thiel /13/ durch. An den Abschnitten 3 und 6 hat das Unternehmen Mette Wasserbau GmbH & Co. KG /20/, /31/ die Schallmessungen aufgezeichnet. An diesen Bauabschnitten kam die Rammtechnik Bär-SB180 (Schnellschlagbär) zum Einsatz. An der Teststrecke (Crush Piler) hat das Akustik-Labor Berlin (ALB) /8/ die Schalluntersuchung durchgeführt.

5.1 Rammtechnik „Bär-D-12“

Die mittleren Schallemissionen der Abschnitte 1, 2, 4, und 5 (zu Teilen Abschnitt 3) sind der Tabelle in Abbildung 19 zu entnehmen. Hier sind in den Spalten 2 und 3 die gemessenen und die nach Herstellerangaben verzeichneten Werte in unterschiedlichen Entfernungen zur Schallquelle dargestellt. Der durchschnittliche Pegel der Hintergrundgeräusche betrug 60 dB (A). Der größte durchschnittlich gemessene Pegel lag bei 100 dB (A) in ca. 12,5 m Entfernung.

lfd.Nr.:	1 Abstand [m]	2 Pegel [dB(A)] mit Dämm. (laut Hersteller)	3 Pegel [dB(A)] ohne Dämm. (laut Messung)
1	12,5	85	100
2	25	79	94
3	50	73	88
4	60	71	86
5	70	70	85
6	80	69	84
7	90	68	83
8	100	67	82
9	110	66	81
10	120	65,4	80
11	130	65	79
12	160	64	78
13	200	61	76

Abbildung 21: Mittlere Schallemission der technischen Anlage „Bär-D12“

Die Anlage kann als punktförmige Schallquelle angesehen werden. Eine Schallreflexion bzw. – Dämpfung der Umgebung (bspw. Bebauung) kann nicht festgestellt werden. Es kann daher an allen Abschnitten an denen diese Anlage zum Einsatz kam von den in Abbildung 19 dargestellten Werten ausgegangen werden

5.2 Rammtechnik „Bär-SB180“

Wie oben bereits erwähnt, wurden die Schallmessungen an den Bauabschnitten 3 und 6 durch das Büro Mette durchgeführt. Die Messungen entstanden in 7 m Entfernung zur Schallquelle (der technischen Anlage). Am Bauabschnitt 6 wurden zusätzlich Messungen in etwa 50 – 60 m Entfernung zur Baustelle an den Eingangstüren der Gebäude Tempelhofer Ufer 15 – 17 durchgeführt. In der folgenden Tabelle (Tab.: 4) sind die Mittelwerte der Bauabschnitte dargestellt.

Abstand der Messung [m]	Schallpegel [dB (A)] Bauabschnitt 3 (Tempelhofer Ufer)	Schallpegel [dB (A)] Bauabschnitt 6 (Tempelhofer Ufer oberhalb U-Bahn Fußgängerbrücke)
7	102	100
50 - 60	keine Angaben	79

Tabelle 4: Mittelwerte der Schallpegel [dB [A]]

5.3 Super-Crush-System (Teststrecke)

Die Schallmessungen am Paul-Lincke-Ufer (Abschnitt 8) erfolgten an drei Messpunkten MP 1 – MP 3. Immissionsberechnungen wurden an zwei weiteren Standorten durchgeführt. Die Ergebnisse aus den Messungen am Messpunkt MP 1, welcher sich unmittelbar in der Nähe der Spundwandarbeiten befand, sind in der nachfolgenden Tabellen (Tab.: 5) für den Betriebszustand Spundwandeinbau dargestellt. Hierbei wurden die Messungen nach den Baumaschinen aufgegliedert. Dargestellt ist in der Tabellen der Mittelungspegel L_{Aeq} , der Taktmaximal-Mittelungspegel L_{AFTeq} und die Perzentilpegel (L_5 , L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{95}).

Messpunkt	Mittelungspegel L_{Aeq}	Taktmaximal-Mittelungspegel L_{AFTeq}	Perzentile					Bemerkungen
			L_5	L_{10}	L_{50}	L_{90}	L_{95}	
MP 1	71,2	76,0	74,9	73,8	70,1	65,9	65,1	Bagger in Betrieb (Entfernung ca. 21 m)
	69,4	72,0	71,9	71,1	68,8	67,8	67,6	Kran in Betrieb (Entfernung ca. 16 m)
	70,1	76,3	73,7	72,1	68,3	67,1	66,8	Smart/Crushen+Pilen (Entfernung ca. 17/10 m)
	73,3	74,9	74,8	74,6	73,6	70,3	69,0	Kran dreht
	69,4	75,7	70,9	70,4	68,6	66,2	65,8	Kran Leerlauf

Tabelle 5: Detailergebnisse der Messungen für das Einbringen der Spundwand

5.4 Auswertung der einzelnen Messergebnisse

Es ist festzustellen, dass bei beiden Rammtechniken in unmittelbarer Umgebung (7 – 12,5 m) ein mittlerer Schallpegel von etwa 100 dB (A) gemessen wurde. Betrachtet man die Messwerte der Rammtechnik mit dem Dieselmär und denen des Bauabschnittes 6 in einer Entfernung von 50 – 60 m, lässt sich jedoch eine Differenz von 7 – 9 dB (A) im Mittel feststellen.

Im Vergleich des Lärmpegels der Rammtechniken mit dem des Super-Crush-Systems liegt der Mittelungspegel L_{Areq} gemessen am Crush-Piler in ca. 17 m Entfernung bei 70,1 dB (A) und für die gesamte technische Anlage (Bagger, Kran und Stromaggregat) in einer Entfernung von 16 – 21 m bei ca. 70,23 dB (A) und damit deutlich niedriger.

5.5 Fazit der Ergebnisse

5.5.1 Rammverfahren

Unter Berücksichtigung der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) ist festzustellen, dass die Messwerte beider Rammtechniken die Immissionsrichtwerte überschreiten. Der Grenzwert für die Lärmimmission für innerstädtische Kerngebiete beträgt, zuzüglich eines Zuschlages von 10 dB für außerordentliche Belastungen 65 – 70 dB. Aufgrund der planmäßigen Arbeitszeiten von ca. 3 Stunden pro Tag kann ein Korrekturwert von 5 dB angesetzt werden.

5.5.2 Super-Crush-System

Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Geräuschimmissionen – (AVV Baulärm) enthält Immissionsrichtwerte, welche, in Abhängigkeit von der baulichen Nutzung, zulässige Höhen der Schallimmission festlegt. Des weiteren gibt sie Vorschläge bzw. Maßnahmen zur Minderung der Geräusche bei etwaigen Überschreitungen der genannten Richtwerte um mehr als 5 dB(A) an. Diese Maßnahmen können sowohl die Einrichtung der Baustelle, die Baumaschinen, das gewählte Bauverfahren oder die Betriebszeit der Baumaschinen betreffen.

Art der Gebiete	IRW Tag in dB(A)	IRW Nacht in dB(A)
a) Gebiete in denen nur gewerbliche oder industrielle Anlagen und Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonal untergebracht sind	70	70
b) Gebiete in denen vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind	65	50
c) Gebiete mit gewerblichen Anlagen und Wohnungen, in denen weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind	60	45
d) Gebiete, in denen vorwiegend Wohnungen untergebracht sind	55	40
e) Gebiete, in denen ausschließlich Wohnungen untergebracht sind	50	35
f) Kurgebiete, Krankenhäuser und Pflegeanstalten	45	35

Abbildung 22: Immissionsrichtwerte nach Nummer 3 der AVV Baulärm /8/

Bei der Gegenüberstellung der Richtwerte (Abb.: 22) mit den gemessenen und berechneten Werten sind Überschreitungen um mehr als 5 dB(A) festzustellen und als Maßnahme zur Minderung der Geräusche eine Einschränkung der Betriebszeiten von ALB Akustik-Labor Berlin vorgeschlagen worden.

Im Vergleich mit dem Gutachten des Ing.-Büro Thiel können jedoch auch hier die Messpegel am Paul-Lincke-Ufer um 5 dB(A) reduziert werden. Auch hier gilt für die Bestimmung des Beurteilungspegels nach der AVV Baulärm, dass bei Betriebszeiten zwischen 2,5 und 8h/Tag eine Zeitkorrektur von 5 dB(A) abzuziehen ist.

Zusätzlich kann auch hier ein Zuschlag von 10 dB für außerordentliche Belastungen für den Grenzwert der Lärmimmission nach TA Lärm (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm) für innerstädtische angesetzt. Somit liegen die Grenzwerte zwischen 65 – 70 dB (A).

Demnach sind die Bauarbeiten am Paul-Lincke-Ufer (Teststrecke) ordnungsgemäß durchgeführt worden. Eine Reduzierung der Betriebszeiten ist nicht zu veranschlagen.

5.5.3 Vergleich der Schallemissionen zwischen Rammtechnik und Super-Crush-System

Es zeigt sich zunächst, dass die Schallemissionen an den unterschiedlichen Baustellen unter den erlaubten Grenzwerten der Richtlinien AVV Baulärm und der TA Luft lagen. Hierbei ist jedoch festzustellen, dass die angrenzende Bebauung und somit die zu schützenden Güter in unterschiedlichen Abständen zu den Schallimmissionsquellen lagen. Ein Vergleich der Schallemissionen kann daher nur in etwa gleicher Entfernung zur Schallquelle erfolgen.

Es zeigt sich, dass der verursachte Lärmpegel an der Baustelle Paul-Lincke-Ufer (Teststrecke) mit dem Super-Crush-System deutlich geringer ist als an den Bauabschnitten, an den mit dem Rammtechnikverfahren gearbeitet wurde. Die gemessene Schallemission der gesamten technischen Anlage (Bagger, Kran und Stromaggregat) beträgt in einer Entfernung von 16 – 21 m bei ca. 70,23 dB (A). Dies sind verglichen mit den Messergebnissen der technischen Anlage „Bär-D12“ in 12,5 bzw. 25 m Abstand zur Schallquelle mit 100 bzw. 94 dB (A) in etwa 23 – 29 dB (A) weniger Schallemission.

Somit kann festgestellt werden, dass mithilfe des Super-Crush-Systems unter deutlich widrigeren örtlichen Bedingungen (sehr enge Bebauung in Wohngebieten) gearbeitet werden kann als mit dem Rammverfahren. Hier würde ein Einsatz auf Grund der hohen Schallemissionen und sehr enger Bebauung aus Gründen des Lärmschutzes voraussichtlich nicht genehmigungsfähig sein.

6 Abgasemission

Zur Untersuchung der Abgasemission sind Emissionsmessungen an der Teststrecke durch das Büro Eurofins GfA GmbH /7/ durchgeführt worden. Stellvertretend für alle anderen sieben Bauabschnitte wurden am Abschnitt 7 (Maybachufer) Abgasmessungen ebenfalls durch das Eurofins GfA /32/ durchgeführt. Es wurden an den drei eingesetzten Maschinen (Hydraulikaggregat, Bohrraupe und Bagger) die Konzentrationen von Gesamt-C, Kohlenstoffmonoxid, Stickstoffoxiden als NO_2 , Kohlenstoffdioxid und die Rußzahl im Abgas bestimmt.

6.1 Graphische Darstellung der CO -, NO_2 - und der Gesamt-C-Emission sowie der Rußzahl (Abschnitte 1 – 7)

In den folgenden Diagrammen sind die maximalen Messwerte der Konzentrationen von Kohlenstoffmonoxid, Stickstoffoxid, Gesamt-C und die Rußzahl mit den entsprechenden Richtwerten (dicke schwarze Linie) aus der TA Luft (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) dargestellt.

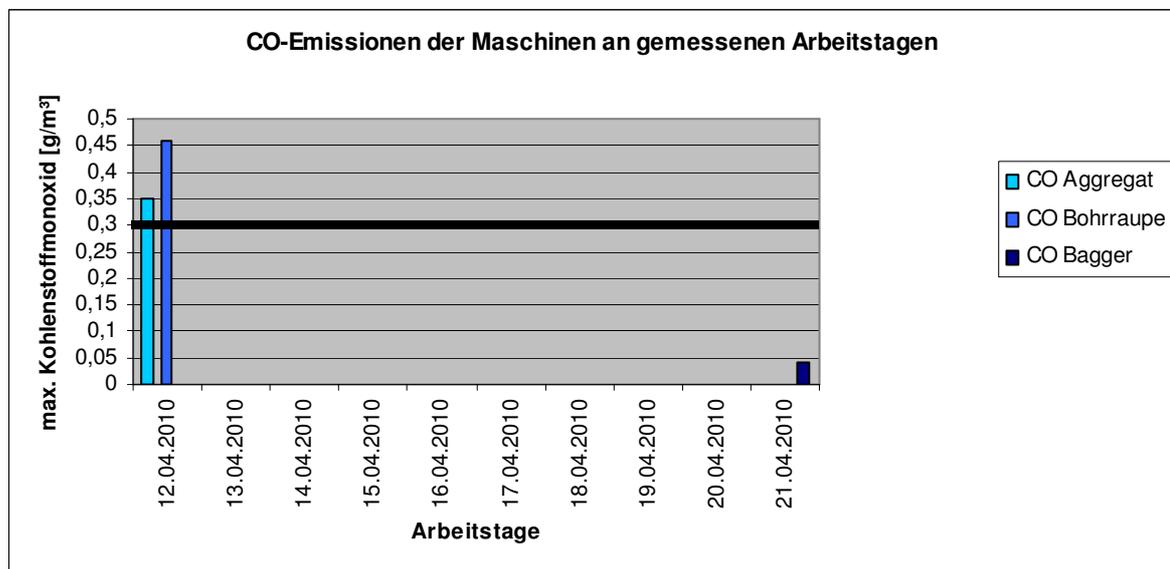


Abbildung 23: CO-Emissionen der Maschinen BA 1 - 7 (Richtwert: $0,3 \text{ g/m}^3$)

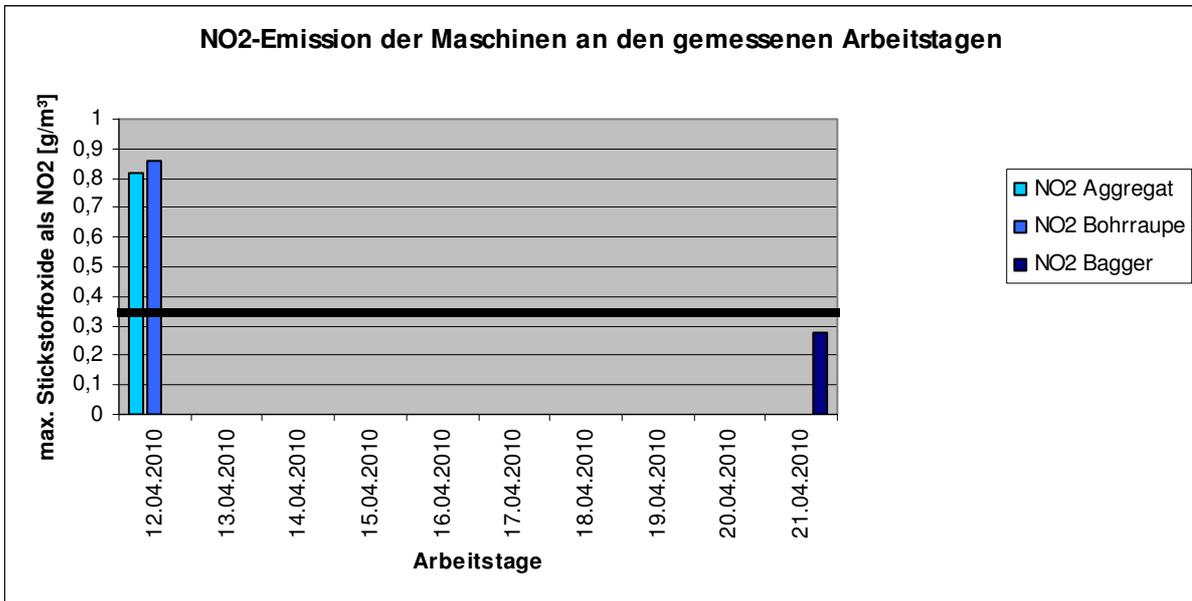


Abbildung 24: NO₂ - Emission der Maschinen BA 1 - 7 (Richtwert 0,35 g/m³)

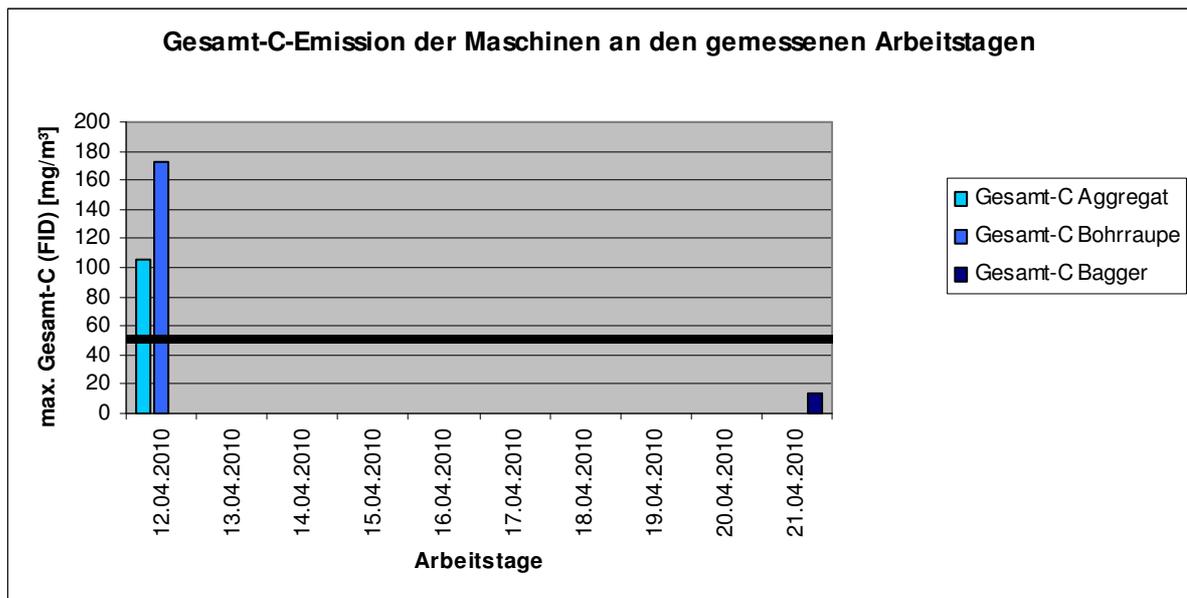


Abbildung 25: Gesamt – C – Emission der Maschinen BA 1 - 7 (Richtwert 50 mg/m³)

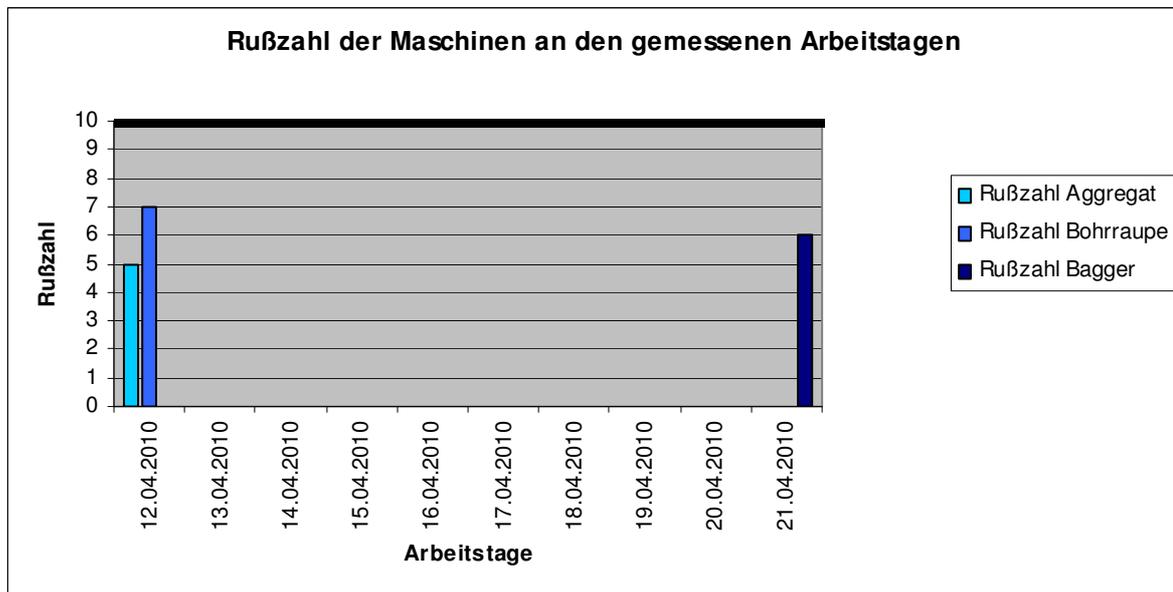


Abbildung 26: Rußzahl der Maschinen BA 1 - 7 (Richtwert 10)

6.2 Graphische Darstellung der CO-, NO₂- und der Gesamt-C-Emission sowie der Rußzahl (Teststrecke)

In den folgenden Diagrammen sind die maximalen Messwerte der Konzentrationen von Kohlenstoffmonoxid, Stickstoffoxid, Gesamt-C und die Rußzahl mit den entsprechenden Richtwerten (dicke schwarze Linie) dargestellt.

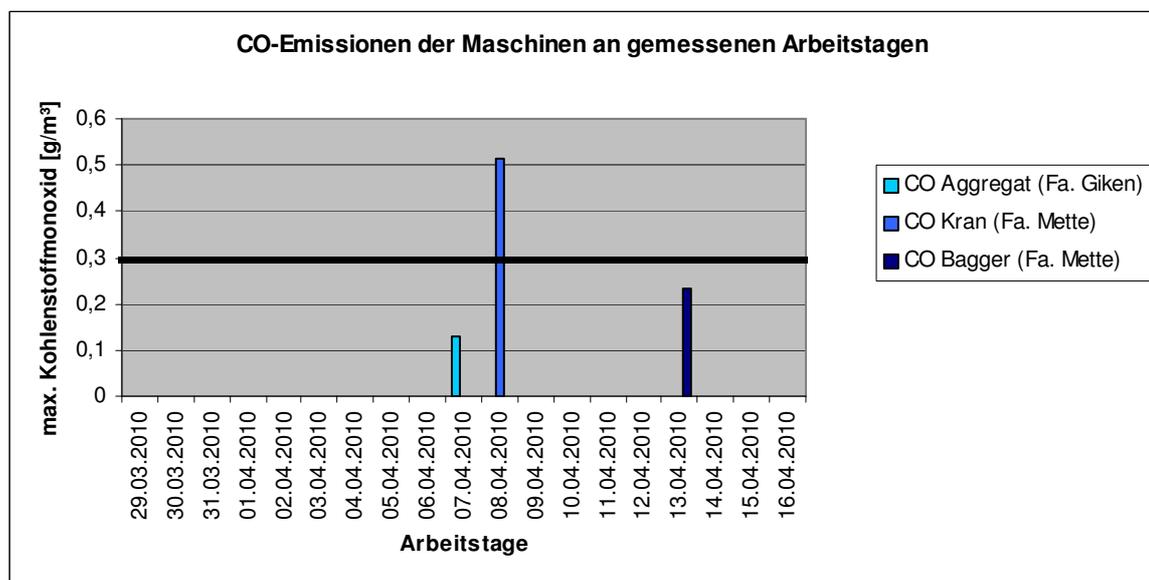


Abbildung 27: CO-Emissionen der Maschinen BA 8 (Richtwert: 0,3 g/m³)

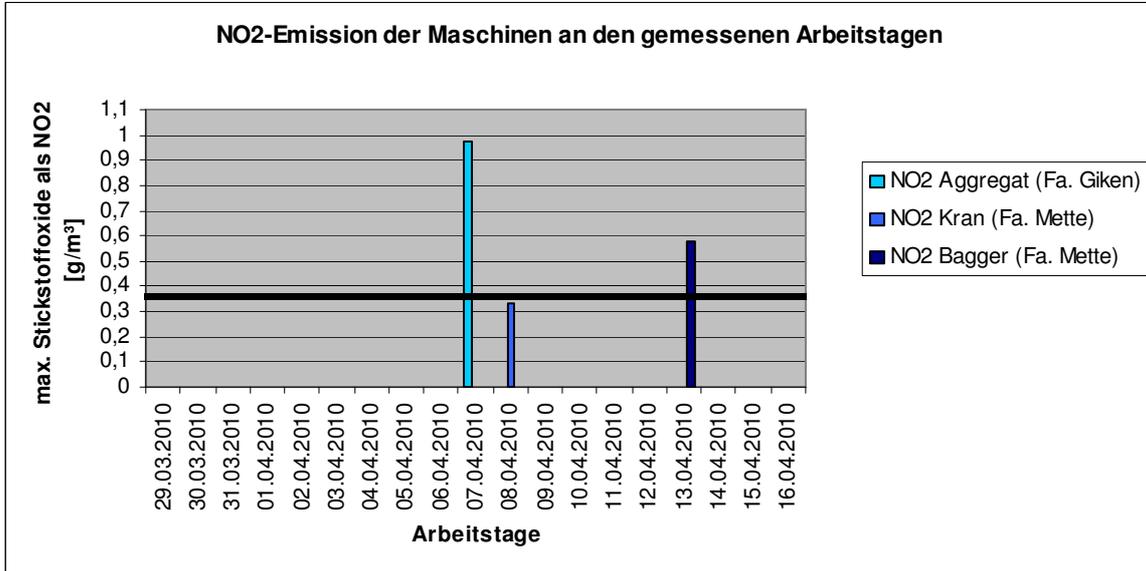


Abbildung 28: NO₂ - Emission der Maschinen BA 8 (Richtwert 0,35 g/m³)

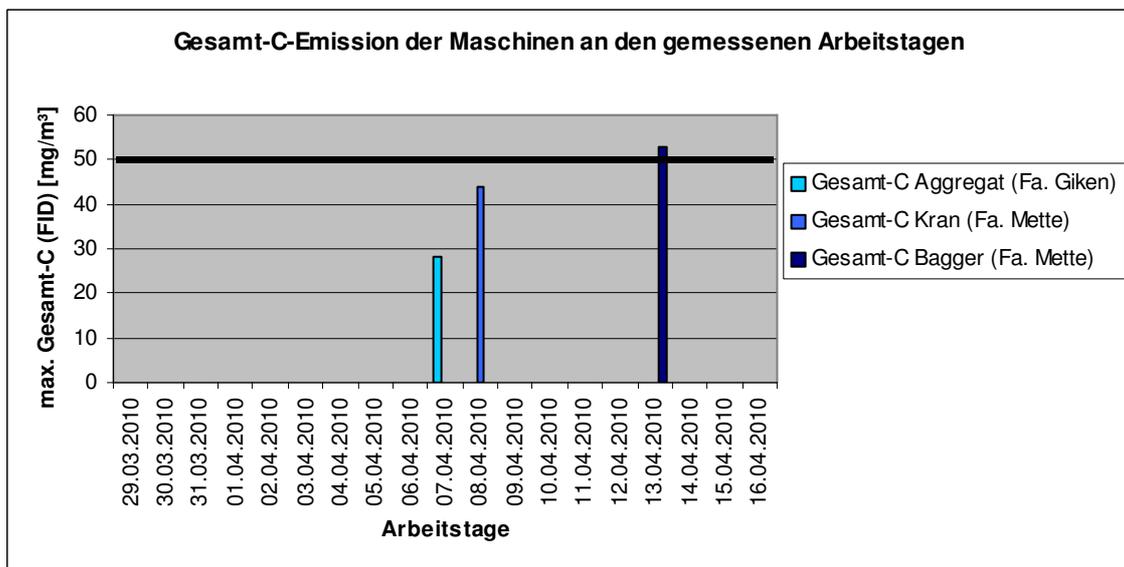


Abbildung 29: Gesamt – C – Emission der Maschinen BA 8 (Richtwert 50 mg/m³)

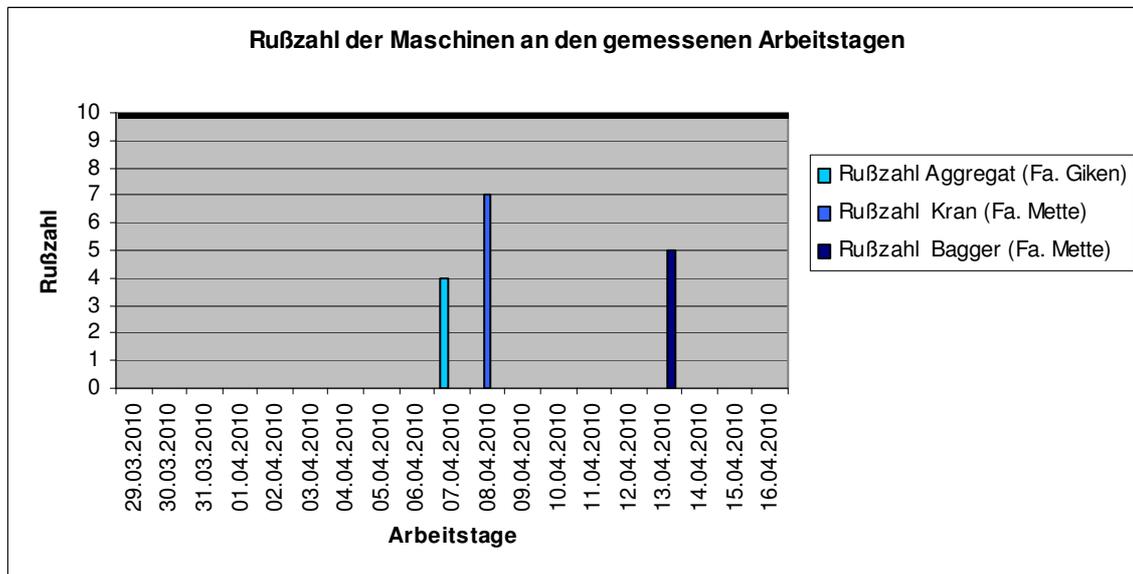


Abbildung 30: Rußzahl der Maschinen BA 8 (Richtwert 10)

6.3 Zusammenfassung der Messwerte

Aus den Messungen am BA 7 geht hervor, dass die Werte der Kohlenstoffmonoxide, der Stickstoffoxide und der Gesamt-C-Konzentration am Aggregat und an der Bohrraupe die Richtwerte der TA Luft (technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) überschreiten. Die vorgegebenen Richtwerte für die Gesamt-C-Konzentration werden an der Bohrraupe um den 3-fachen Wert überstiegen.

Die Messungen beim Super-Crush-System haben ergeben, dass die Werte der Stickstoffoxide am Aggregat und am Bagger die Richtwerte der TA Luft überschreiten. Auch die CO-Werte des Krans und die Gesamt-C-Werte des Baggers liegen oberhalb der Richtwerte der Anleitung

Nach Angabe von Eurofins GfA GmbH liegen alle anderen Messwerte unterhalb der Richtwerte.

Bei Überschreitung der Richtwerte der TA Luft werden verschiedene Maßnahmen vorgeschlagen. Zunächst ist die Einhaltung des Standes der Technik der Maschinen sicherzustellen. Reichen diese Maßnahmen nicht aus, so müssen die Ableitbedingungen verbessert werden.

7 Auswertung der Beweis- und Qualitätssicherung

Für eine abschließende Auswertung der Ergebnisse der Beweissicherungen aller Bauabschnitte sind die wichtigsten Daten in Tabelle 5 zusammengefasst.

Hieraus zeigt sich zunächst, dass lediglich die Abschnitte 2 und 5 nach dem gleichen Verfahren hergestellt wurden. Hier sind die Spundbohlen zunächst auf eine Starthöhe eingepresst, dann aufgeständert und anschließend auf ihre Endhöhe mittels Rammbar D-12 eingerammt worden. Auch im 3. Abschnitt wurde die Spundwand nach diesem Verfahren gebaut, jedoch wurde hier nach einigen „Proberammungen mit Hilfe des Bär D-12 die Rammtechnologie auf den Schlagbär SB180 gewechselt. Im 1. Bauabschnitt sind nur zwei Bohlen gerammt und keine aufgeständert worden. Die Spundbohlen im Abschnitt 4 sind gepresst worden. Am Paul-Lincke-Ufer kam das Super-Crush-System der Fa. Giken zum Einsatz. Hierbei wurde zusätzlich zum Einpressen parallel zum Vortrieb vorgebohrt.

Auch die Baugrundverhältnisse schwanken stark. Die Tabelle 6 gibt eine grobe Übersicht über die unterschiedlichen Festigkeiten der Bodenschichten der einzelnen Abschnitte. Bis zu einer Tiefe von ca. 4 m unter OK Uferböschung sind Auffüllungen und Sande mit geringer bis mittlerer Festigkeit bei allen Bauabschnitten anzutreffen. An der Teststrecke steht danach ein Boden mit großer bis sehr großer Festigkeit an. Er ist vor allem durch Sand, Kies und Steine geprägt. Bis zu einer Tiefe von ca. 10 m unter OK Uferböschung sind die Bodenschichten der Abschnitte 2 – 7 vor allem durch teils kiesige Sande charakterisiert. Hierbei sind geringe bis mittlere bzw. mittlere bis große Festigkeiten anzutreffen. Dies gilt weitestgehend auch für den ersten Bauabschnitt, jedoch sind hier auf der Hälfte der Strecke bereits ab ca. 8 m unter OK Uferböschung Geschiebemergel, Sande Kiese und Steine mit großen bis sehr großen Festigkeiten vorhanden. Derartige Festigkeiten treten bei den Bauabschnitten 2 – 7 in der Regel erst weitere 2 m tiefer auf.

Vergleicht man den mittleren Baufortschritt an den Bauabschnitten 1 – 7 mit dem der Teststrecke (Abschnitt 8), so ist festzustellen, dass mit dem Crush Piler-Verfahren durchschnittlich 7,53 m Spundwand mehr pro Arbeitstag hergestellt wurde.

Im Vergleich der maximalen Schwingschnellen der einzelnen Bauabschnitte (BA 3, 4, 5, 6 und 8) zeigt sich, dass die Erschütterungen durch den Spundwandbau deutlich unter den festgesetzten Grenzen (Grenzwert: 20 mm/s nach DIN 4150-3) lagen. Mit 1,6 mm/s Schwingschnelle, gemessen an Bauabschnitt 4, sind die Erschütterungen die geringsten aller Bauabschnitte. Das Mittel liegt hier bei 3,06 mm/s.

	Bauab- schnitt 1	Bauab- schnitt 2	Bauab- schnitt 3	Bauab- schnitt 4	Bauab- schnitt 5	Bauab- schnitt 6	Bauab- schnitt 7	Bauab- schnitt 8
Bez.	Cornelius- straße	Herkulesufer	Tempelh. Ufer - Schöneber- gerstr.	Tempelh. Ufer / Möckern- brücke	U-Bhf Möckern- brücke	Tempelh. Ufer oberh. U-Bahn Fußgänger- brücke	Maybachufer	Paul-Lincke- Ufer
LWK km	2,700 - 2,850	3,100 - 3,150	4,900 - 5,000	5,250 - 5,270	5,400 - 5,450	5,450 - 5,500	8,110 - 8,200	8,875 - 8,925
Spund- wandlänge	206 m	36 m	23 m	19 m	36 m	49 m	90 m	50 m
Länge im Boden	Spundbohlenlänge im Boden [m] (durchschnittlich)							
Pressen	5,40 m	3,70 m	5,60 m	8,70 m	4,10 m	7,15 m	5,60 m	6,0 m
Rammen	6,15 m	7,50 m	7,30 m	-	7,30 m	6,10 m	-	-
Bauverfah- ren	Pressen/ Rammen	Pressen/ Rammen	Pressen/ Rammen	Pressen	Pressen/ Rammen	Pressen/ Rammen	Pressen	Pressen mit Bohrhilfe
Pressen	●	●	●	●	●	●	●	●
Rammen (D12)	○	●	○		●			
Rammen (SB180)			○			●		
Aufständern		○	○		○			
Baugrund	Festigkeit							
0 – 2 m	gering - mittel	gering - mittel	gering - mittel	gering - mittel	gering - mittel	gering - mittel	gering - mittel	gering - mittel
2 – 4 m	gering - mittel	gering - mittel	gering - mittel	gering - mittel	gering - mittel	gering - mittel	gering - mittel	gering - mittel
4 – 6 m	gering - mittel	gering - mittel	gering - mittel	gering - mittel	gering - mittel	gering - mittel	gering - mittel	groß - sehr groß
6 – 8 m	gering - mittel	gering - mittel	mittel - groß	mittel - groß	gering - mittel	mittel - groß	gering - mittel	groß - sehr groß
8 – 10 m	groß - sehr groß	gering - mittel	gering - mittel	mittel - groß	mittel - groß	mittel - groß	mittel - groß	mittel - groß - sehr groß
10 – 12 m	groß - sehr groß	groß - sehr groß	groß - sehr groß	groß - sehr groß	groß - sehr groß	groß - sehr groß	groß - sehr groß	groß - sehr groß
Baufort- schritt	lfdm. Spundwand / Arbeitstag [m/d] (durchschnittlich)							
Pressen	4,76	5,04	4,79	4,25	4,93	7,35	12,60	13,86
Rammen	1,26	3,78	3,15	k.A.	4,66	3,15	-	-
Schwing- schnellen	k.A.	k.A.	4,00 mm/s	1,60 mm/s	8,40 mm/s	3,40 mm/s	k.A.	4,00 mm/s
Setzungen	-20 mm	-22 mm	-24 mm	-5 mm	-118 mm	-40 mm	-17,3 mm	-12 mm

● trifft vollständig zu ○ trifft teilweise zu k.A.: keine Angabe

Tabelle 7: Zusammenfassung aller wichtigen Daten der einzelnen Bauabschnitte