



Straßenbahn-Neubaustrecke Ostkreuz

**Boxhagener Straße bis zur Karlshorster Straße
in den Bezirken Friedrichshain-Kreuzberg und Lichtenberg von
Berlin**

 BVG BERLINER VERKEHRSBETRIEBE (BVG) ANSTALT DES ÖFFENTLICHEN RECHTS Unternehmensbereich Straßenbahn	Unterlage: 7.1.2
Planfeststellung	Untersuchung zu baubedingten Erschütterungs- immissionen
Anschluss des Straßenbahnnetzes an das Ostkreuz In den Bezirken Friedrichshain-Kreuzberg und Lichtenberg von Berlin	
Vorhabensträger: Berliner Verkehrsbetriebe (BVG)	Der Betriebsleiter Straßenbahn  Berlin, 23.11.2017

Untersuchung zu baubedingten Erschütterungsimmissionen

Bericht Nr. 16-3216 / 02

Straßenbahn-Neubaustrecke Ostkreuz

in Berlin-Friedrichshain/Kreuzberg und Lichtenberg

Stand: 03.11.2017



Bearbeitet von Dipl.-Ing. (FH) Bianca Schumacher

für

VCDB VerkehrsConsult Dresden-Berlin GmbH
Könneritzstraße 31
01067 Dresden

1. Zusammenfassung

Die Berliner Verkehrsbetriebe planen die Straßenbahn-Neubaustrecke Ostkreuz in Berlin-Friedrichshain/Kreuzberg und Lichtenberg.

Die vorliegende Untersuchung ermittelt die Erschütterungseinwirkungen, die durch die Bauarbeiten verursacht werden können.

Die Untersuchungen bezüglich **Gebäudeschäden** haben ergeben, dass bei sehr erschütterungsintensiven Arbeiten (wie z. B. Ramm- und Verdichtungsarbeiten) an den im unmittelbaren Einwirkungsbereich der Baustelle liegenden Gebäuden entlang der Holtei- und Sonntagstraße sowie weiteren Einzelgebäuden innerhalb eines 19 m-Korridors zur Baustelle Gebäudeschäden nicht ausgeschlossen werden können.

Im Rahmen der Bauüberwachung sind an allen Gebäuden innerhalb des Korridors bautechnische Beweissicherungen und an exemplarisch ausgewählten, für die Umgebung typischen Gebäuden entlang der Holtei- und Sonntagstraße eine messtechnische Dauerüberwachung der Erschütterungen durchzuführen.

Zum Erschütterungsschutz wird zudem gefordert, die erforderlichen Rammarbeiten zum Setzen der Maste mit Vorbohren durchzuführen, um damit die baubedingten Erschütterungen auf ein Mindestmaß zu reduzieren.

Die Berechnungen der Bau-Erschütterungen bezüglich **Menschen in Gebäuden** haben für Bauarbeiten im Tagzeitraum ergeben, dass bei einer Beurteilungsstufe II (mit Information der Betroffenen) und Baumaßnahmen über mehrere Tage (6 - 26 Tage) die zulässige Beurteilungsschwingstärke ab einer Entfernung von 20 m auch bei erschütterungsintensiven Bauarbeiten (Ansatz: Vibrationsramme und -walze) eingehalten wird.

Damit werden für die gesamte Wohnbebauung entlang der Neubaustrecke Belästigungen durch Bau-Erschütterungen erwartet.

Da die Minderung der Erschütterungs-Immission durch technische Maßnahmen begrenzt ist, sind Anwohner bzw. Gebäudeeigentümer über die Baumaßnahmen (z. B. Ort, Dauer, Ansprechpartner vor Ort) rechtzeitig zu informieren.

Der Bericht enthält 25 Seiten (inkl. 3 Anhänge).

Dresden, den 03.11.2017

cdf Schallschutz

Dipl.-Ing. (FH) Bianca Schumacher

Dipl.-Ing. Dieter Friedemann

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Zusammenfassung	2
2. Aufgabenstellung und Situation	4
3. Berechnungs- und Bewertungsverfahren.....	5
3.1. Beurteilungsgrundlagen/Richtwerte - Einwirkungen auf Gebäude	5
3.2. Erschütterungs-Einwirkung auf Menschen in Gebäuden	6
4. Vorgehensweise zur erschütterungstechnischen Untersuchung	9
4.1. Erschütterungs-Emission maßgeblicher Quellen	9
4.2. Berechnungsverfahren der Prognose (Einwirkung auf Gebäude)	10
4.3. Berechnungsverfahren der Prognose (Einwirkung auf Menschen)	11
5. Erschütterungsprognose.....	12
5.1. Betroffenheitskorridor für Einwirkung auf bauliche Anlagen.....	12
5.2. Betroffenheit für Einwirkung auf Menschen in Gebäuden	14
5.3. Genauigkeit der Prognose und der Ausgangsdaten	16
6. Normen und Literatur.....	17
7. Anhänge	18
Anhang 1 Lagepläne	19
Anhang 2 Erschütterungsprognose - Gebäudeschäden	20
Anhang 3 Erschütterungsprognose - Einwirkung auf Menschen	23

Abkürzungsverzeichnis

A_u	unterer Anhaltswert
A_o	oberer Anhaltswert
A_r	Anhaltswert; zur Bewertung der Beurteilungsschwingstärke KB_{FT_r}
BauNVO	Baunutzungsverordnung
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
IVL	Ingenieur-Vermessung-Lageplan
KB_{Fmax}	maximal bewertete Schwingstärke
KB_{FT_r}	Beurteilungs-Schwingstärke
MI	Mischgebiet
v_{max}	maximale Schwinggeschwindigkeit in mm/s
WA	Allgemeines Wohngebiet

2. Aufgabenstellung und Situation

Im Rahmen des Bauvorhabens Straßenbahn-Neubaustrecke Ostkreuz in Berlin-Friedrichshain/Kreuzberg und Lichtenberg ist der Neubau einer Straßenbahnstrecke vorgesehen. Der Streckenabschnitt ersetzt die bisherige Trassenführung über die Boxhagener Straße und dient einer verbesserten Anbindung an den Bahnhof Berlin-Ostkreuz.

Die Lage des Bauvorhabens ist in einer Übersichtskarte im Anhang 1 dargestellt.

Zur Prüfung der Auswirkungen der Bautätigkeit auf die Nachbarschaft ist eine erschütterungstechnische Untersuchung durchzuführen.

Dabei wird geprüft, ob Erschütterungen zu erwarten sind, die Schäden an Gebäuden verursachen können oder zu erheblichen Belästigungen von Menschen in Gebäuden führen. Die Untersuchung geht von einem üblichen Geräteeinsatz vergleichbarer Bauvorhaben aus.

Dabei werden insbesondere die durch Vibrationsrammung (z. B. Einbau von Masten) bzw. Walzen mit Vibrationswalze (z. B. Bodenverdichtung) verursachten Erschütterungen untersucht. Abbrucharbeiten können dem gegenüber bezüglich Erschütterungen in der Regel vernachlässigt werden.

Die Ausgangsdaten, die Vorgehensweise und die Ergebnisse der erschütterungstechnischen Untersuchung werden nachfolgend dargestellt.

3. Berechnungs- und Bewertungsverfahren

Als Erschütterungen werden Schwingungen im Bereich von 1 bis 80 Hertz bezeichnet. Bei der Ermittlung und Bewertung der Erschütterungseinwirkungen wird zwischen den Einwirkungen auf das Gebäude (Gebäudeschäden) und den Einwirkungen auf den Menschen (Gesundheitsschutz) unterschieden.

3.1. Beurteilungsgrundlagen/Richtwerte - Einwirkungen auf Gebäude

Die Wirkung von Erschütterungen auf die Gebäudestruktur wird durch die Messung des Spitzenwertes (Maximalwert des Zeitverlaufes der Schwinggeschwindigkeit $v_i(t)$) am Gebäude beurteilt. Die DIN 4150, Teil 3 [3] legt Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit zur Beurteilung der Wirkung von Erschütterungen fest. Werden die Anhaltswerte nicht überschritten, treten im Allgemeinen keine Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes auf, deren Ursachen auf die Erschütterungen zurückzuführen wären.

Anhand des Bauzustandes, der Nutzung und des Alters des Gebäudes werden in DIN 4150, Teil 3 [3] folgende **Anhaltswerte** für kurzzeitige Erschütterungen bzw. Dauererschütterungen angegeben:

Tab. 1 Anhaltswerte für Schwinggeschwindigkeiten zur Beurteilung der Wirkung auf Gebäude

- * Bei Frequenzen über 100 Hz sollen die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden.
- ** Das Maß der noch unschädlichen Erschütterungseinwirkungen ist im Einzelfall festzustellen.
- *** Die Immissionswerte für Frequenzen zwischen 10 und 50 Hz sowie zwischen 50 und 100 Hz sind durch lineare Interpolation zwischen den Immissionswerten der jeweiligen Zeilen zu ermitteln.

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für v_{\max} in mm/s						
		Kurzzeitige Erschütterungen					Dauererschütterungen	
		Fundament Frequenzen in Hz ***			Oberste Deckenebene, horizontal	Vertikale Deckenschwingung	Oberste Deckenebene, horizontal	Vertikale Deckenschwingung
		1 - 10	10 - 50	50 - 100 *	alle Freq.	alle Freq.	alle Freq.	alle Freq.
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten	20	20 - 40	40 - 50	40	20	10	10
2	Wohngebäude und in Konstruktion/Nutzung ähnliche Bauten	5	5 - 15	15 - 20	15	20	5	10
3	Besonders empfindliche Bauten, denkmalgeschützte Bauten	3	3 - 8	8	8	- **	2,5	- **

Kurzzeitige Erschütterungen werden in [3] definiert als solche, „deren Häufigkeit des Auftretens nicht ausreicht, um Materialermüdungserscheinungen hervorzurufen, und deren zeitliche Abfolge nicht geeignet ist, um in der betroffenen Struktur Resonanz zu erzeugen“.

3.2. Erschütterungs-Einwirkung auf Menschen in Gebäuden

Die für den Menschen am stärksten wahrnehmbaren Erschütterungen treten erfahrungsgemäß auf den Geschossdecken (mittig im Raum) auf.

Als Messgröße wird die bewertete Schwingstärke K_B verwendet, die aus der Schwinggeschwindigkeit v im Frequenzbereich 1 bis 80 Hz ermittelt wird.

Für die Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden sind bisher gesetzlich festgelegte Grenzwerte nicht vorhanden. In DIN 4150, Teil 2 (DIN 4150-2, [2]) sind jedoch folgende Anhaltswerte zur Beurteilung baubedingter Erschütterungen angegeben:

Baubedingte Erschütterungen am Tage (gebietsunabhängig)

Tab. 2 Anhaltswerte für die Beurteilung von Erschütterungen nach DIN 4150, Teil 2, Tab. 2; Dauer = Anzahl der Tage mit Erschütterungseinwirkungen (nicht Dauer der Baumaßnahme an sich)

Beurteilungs-Stufe	A_u	A_o	A_r	A_u	A_o	A_r	A_u	A_o	A_r
	Dauer ≤ 1 Tag			Dauer 6 - 26 Tage			Dauer 27 - 78 Tage		
I - keine erheblichen Belästigungen, auch ohne Vorinformation der Betroffenen	0,8	5	0,4	0,4	5	0,3	0,3	5	0,2
II - keine erheblichen Belästigungen bei Information der Betroffenen und Maßnahmen zur Minderung und Begrenzung der Einwirkung (z.B. Betriebszeiten)	1,2	5	0,8	0,8	5	0,6	0,6	5	0,4
III - erhebliche Belästigungen, bei Überschreitung unzumutbare Einwirkungen, Minderungsmaßnahmen oder Verfahrensänderung erforderlich	1,6	5	1,2	1,2	5	1,0	0,8	5	0,6

A_u unterer Anhaltswert

A_o oberer Anhaltswert

A_r Anhaltswert; zur Bewertung der Beurteilungsschwingstärke $K_{B_{FT}}$

Für baubedingte Erschütterungen in der Nacht gelten nachfolgende Anhaltswerte:

Baubedingte Erschütterungen in der Nacht (gebietsabhängig)

Tab. 3 Anhaltswerte für die Beurteilung von Erschütterungen nach DIN 4150, Teil 2 - nachts

Zeile	Einwirkungsort/ Gebietseinteilung nach BauNVO		A_u	A_o	A_r
			nachts		
1	ausschließlich Gewerbe	GI	0,30	0,60	0,15
2	vorwiegend Gewerbe	GE	0,20	0,40	0,10
3	Mischgebiet	MI	0,15	0,30	0,07
4	Wohngebiet	WA,WR	0,10	0,20	0,05
5	Sondergebiet	SK	0,10	0,15	0,05

A_u unterer Anhaltswert

A_o oberer Anhaltswert

A_r Anhaltswert zum Vergleich mit der Beurteilungsschwingstärke $KB_{FT,r}$

Für den Vergleich der Erschütterungswerte und der Anhaltswerte ist die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} bzw. die Beurteilungs-Schwingstärke $KB_{FT,r}$ zu verwenden.

Die Beurteilungsschwingstärke $KB_{FT,r}$ berechnet sich mit

$$KB_{FT,r} = \sqrt{\frac{1}{T_r} (T_{e,j} KB_{FTm,j}^2)} \quad (1)$$

T_r Beurteilungszeitraum (tags 6:00 - 22:00 Uhr, nachts 22:00 - 6:00 Uhr)

$T_{e,j}$ Einwirkungszeit des Ereignisses j innerhalb des Beurteilungszeitraumes

$KB_{FTm,j}$ Taktmaximal-Effektivwert nach Gl.(2) für die Einwirkungszeit $T_{e,j}$

und

$$KB_{FTm} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N KB_{FTi}^2} \quad (2)$$

KB_{FTi} Maximalwert der bewerteten Schwingstärke in einem Taktzeitraum i von 30 s

N Anzahl der Takte

Für die Beurteilung der Erschütterungswirkungen ist das Verfahren des nachstehenden Flussdiagramms (Bild 1) einzuhalten.

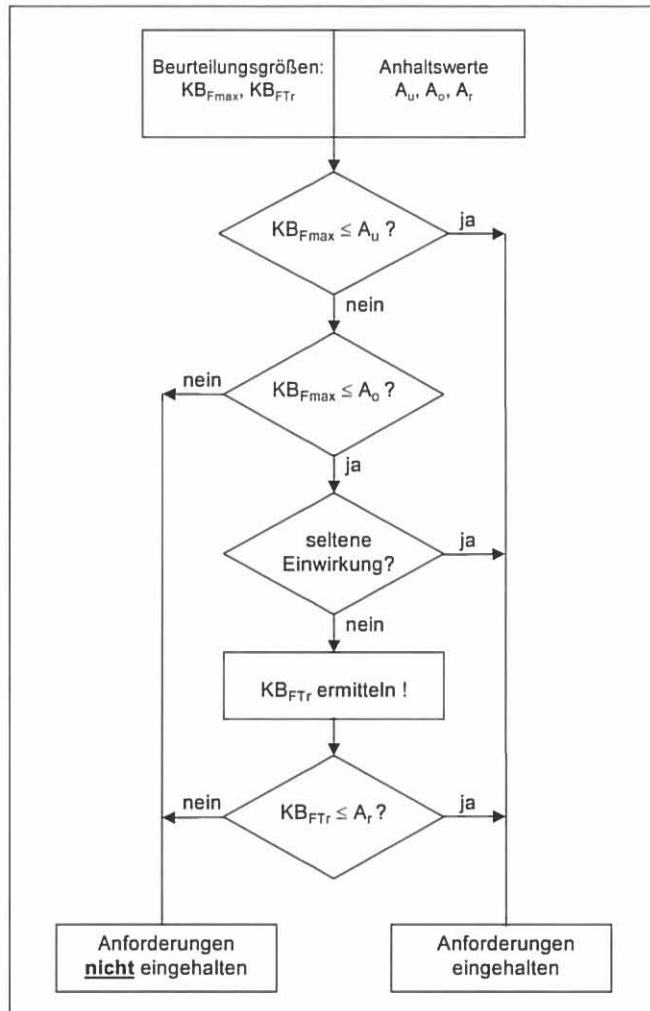


Abb. 1 Flussdiagramm für das Beurteilungsverfahren nach DIN 4150, Teil 2

Wird der untere Anhaltswert A_u nach Tabelle 1 nicht überschritten, so werden die Anforderungen der Norm DIN 4150-2 bezüglich der Erschütterungen eingehalten. Wird der obere Anhaltswert A_o überschritten, so sind die Anforderungen bezüglich der Erschütterungen nicht eingehalten. In beiden Fällen ist die Bildung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} nicht erforderlich.

Kommt es zur Überschreitung des unteren Anhaltswertes A_u bei gleichzeitiger Einhaltung des oberen Anhaltswertes A_o , so ist die Häufigkeit der Einwirkungen zu berücksichtigen. Es erfolgt dann die Bildung der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} und der Vergleich mit den in Tab. 2 aufgeführten Anhaltswerten für A_r .

4. Vorgehensweise zur erschütterungstechnischen Untersuchung

4.1. Erschütterungs-Emission maßgeblicher Quellen

Als maßgebliche Quellen von baubedingten Erschütterungen bei Eisenbahn- und Gleisbauvorhaben gelten insbesondere:

- Vibrations- oder Schlagramme (z. B. Gründungen für Maste, LSW, Stützmauern)
- Vibrationswalze (z. B. Bodenverdichtung)

Der Maximalwert der Schwinggeschwindigkeit im Erdboden in einem Abstand r von der Quelle lässt sich nach [6] mittels folgender zugeschnittener Größengleichungen abschätzen:

Schlagramme
$$v_{\max} = K \frac{\sqrt{E}}{r}$$

Vibrationsramme
$$v_{\max} = K \frac{\sqrt{W/f}}{r}$$

Vibrationswalze
$$v_{\max} = K \frac{\sqrt{G}}{r}$$

mit	v_{\max}	maximale Schwinggeschwindigkeit in mm/s
	E	Energie pro Rammschlag in kNm (aus Fallhöhe und Schlaggewicht)
	W	Geräteleistung in kW
	f	Arbeitsfrequenz in Hz
	G	Betriebsgewicht
	r	Abstand Quelle - Einwirkungsort in m
	K	Proportionalitätsfaktor

Der Proportionalitätsfaktor K wurde in [6] in folgenden Grenzen ermittelt:

Tab. 4 Proportionalitätsfaktor K nach [6] zur Ermittlung der maximalen Schwinggeschwindigkeit

Gerät	Proportionalitätsfaktor K	
	Mittelwert (50% Wahrscheinlichkeit)	Maximalwert (2,25% Wahrscheinlichkeit)
Schlagramme (Dieselbär)	2,45 \approx 2,5	3,82 \approx 4
Schlagramme (Freifallbär)	11,07 \approx 11	(17,26 \approx 17)
Vibrationsramme	7,9 \approx 8	18,52 \approx 19
Vibrationswalze	4,31 \approx 4,5	10,87 \approx 11

Die Übertragung der Erschütterungen vom Erdboden/Fundament in die Obergeschosse der Gebäude erfolgt nach folgender Beziehung: $v_{\max,OG} = k v_{\max,Fund.}$

Dabei können folgende Proportionalitätsfaktoren k verwendet werden [6]:

Horizontale Schwingungsrichtung: 0,5 sehr weicher Fundamentuntergrund
2,0 sehr steifer Fundamentuntergrund

Vertikale Schwingungsrichtung: < 1,5
10 - 25 in Resonanz

4.2. Berechnungsverfahren der Prognose (Einwirkung auf Gebäude)

Die Berechnung der auf das Gebäude einwirkenden Erschütterungen kann nunmehr nach folgenden Punkten erfolgen:

- Einstufung der Quelle als kurzzeitige oder Dauer-Erschütterung
- Festlegung der mechanischen Kennwerte für die Schwingungsenergie der Quelle
- Angabe des Proportionalitätsfaktors K für den günstigsten und ungünstigsten Fall
- Festlegung der zulässigen Schwinggeschwindigkeit v am Gebäudefundament bzw. in den Obergeschossen gemäß [3]
- Berechnung des Mindestabstandes r für die Einhaltung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3

4.3. Berechnungsverfahren der Prognose (Einwirkung auf Menschen)

Für die Berechnung und Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen auf den Menschen ist die bewertete Schwingstärke KB zu ermitteln.

Nach den Schritten 1 - 3 der Gebäudeberechnung (oberer Pkt. 4.2) kann weiter verfahren werden mit:

- Berechnung der bewerteten Schwingstärke KB aus der maximalen Schwinggeschwindigkeit v_{\max} in Deckenmitte des Obergeschosses am Immissionsort:

$$KB = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{v_{\max}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_0}{f}\right)^2}}$$

mit

KB	bewertete Schwingstärke (dimensionslos)
v_{\max}	maximale Schwinggeschwindigkeit in mm/s
f	Schwingfrequenz der Decke in Hz (Terzfrequenzen 5 - 80 Hz)
f_0	5,6 Hz (Grenzfrequ. Hochpass KB-Bewertung)

- rechnerische Abschätzung der maximalen bewerteten Schwingstärke $KB^*_{F_{\max}}$ gemäß DIN 4150-2, Tabelle 3 je nach Art der Erschütterungseinwirkung:

$$KB^*_{F_{\max}} = KB \cdot c_F \quad \text{mit } c_F = \begin{cases} 0,8 & \text{Stochastische Schwingungen mit Resonanzbeteiligung,} \\ & \text{Einzelereignisse kurzer Dauer mit Resonanzbeteiligung} \\ 0,7 & \text{Stochastische Schwingungen ohne Resonanzbeteiligung} \end{cases}$$

- Einbeziehung der Einwirkzeiten tags/nachts zur Berechnung der Beurteilungsschwingstärke KB_{FTT} wie unter 3.2 beschrieben
- ggf. Berechnung des Mindestabstandes r für die Einhaltung der Anhaltswerte $A_u / A_r / A_o$ nach DIN 4150-2

5. Erschütterungsprognose

5.1. Betroffenheitskorridor für Einwirkung auf bauliche Anlagen

Aus den obigen Gleichungen (siehe 4.1) werden Mindestabstände für Einsatzbereiche der Bauverfahren berechnet, bei deren Unterschreitung Schäden an Gebäuden durch baubedingte Erschütterungen nicht sicher auszuschließen sind. Die Berechnungsergebnisse sind im Anhang 2 detailliert dargestellt.

Die Untersuchungen erfolgen für den Energieeintrag typischer Baugeräte (z. B. Schlagramme DELMAG D12-42, Vibrationsramme ABI MRZV 800 V).

Diese rechnerische Abschätzung beinhaltet die ungünstigste Annahme von Bauarbeiten mit sehr erschütterungsintensiven Verfahren (Schlagramme Freifallbär, Vibrationsramme). Dabei wurde der Berechnung als Proportionalitätsfaktor der Maximalwert nach Tabelle 4 dieses Berichtes zugrunde gelegt (2,25% Wahrscheinlichkeit).

Für Wohn- oder vergleichbaren Gebäude ergeben sich folgende Mindestabstände:

Tab. 5 Konservative Abschätzung der Bereiche mit Erschütterungseinwirkungen; ausgehend von den Anhaltswerten nach Tabelle 1, Wohngebäude

Gerät	Mindestabstände Bauverfahren - Gebäude zur Einhaltung der Anhaltswerte für Erschütterung nach DIN 4150, Teil 3 (Wohngebäude)			
	Kurzzeitige Erschütterungen		Dauererschütterungen	
	Fundament ($v_{\max} = 5 \text{ mm/s}$)	Vertikale Deckenschw. ($v_{\max} = 20 \text{ mm/s}$)	Oberste Decken- ebene, horizontal ($v_{\max} = 5 \text{ mm/s}$)	Vertikale Deckenschwing. ($v_{\max} = 10 \text{ mm/s}$)
Schlagramme (Freifallbär)	24 m	9 m	-	-
Fallende Masse	11 m	4 m	-	-
Vibrationsramme	-	-	19 m	8 m
Vibrationswalze	-	-	13 m	5 m

Im Lageplan im Anhang 2 ist der kritischste Abstand von 19 m für Dauererschütterungen durch eine Vibrationsramme (es wird davon ausgegangen, dass für das Bauvorhaben keine Schlagramme zum Einsatz kommt) für die Wohngebäude als Erschütterungskorridor zu den Bauarbeiten als Kontur eingetragen.

Von der Kontur geschnitten werden folgende Wohngebäude:

Tab. 6 Gebäude im Einwirkungsbereich von Erschütterungen (Beurteilung auf mögliche Gebäudeschäden)

Gebäude
Böcklinstraße 6
Boxhagener Straße 48 / 50
Holteistraße 6
Holteistraße 10 - 13
Holteistraße 23 – 26
Holteistraße 30
Lenbachstraße 7a / 8 / 13b
Markstraße 10 / 13
Neue Bahnhofstraße 37
Wühlischstraße 7 - 9
Sonntagstraße 1 - 12
Sonntagstraße 15
Sonntagstraße 22
Sonntagstraße 24 - 31
Türschmidtstraße 1 / 2

Für die o. g. Gebäude kann es bei erschütterungsintensiven Arbeiten, und hierzu zählen aufgrund des geringen Abstandes alle Ramm- und Verdichtungsarbeiten, zu Gebäudeschäden kommen (die Nebengebäude können vernachlässigt werden, da für diese deutlich höhere maximal zulässige Schwingungswerte gelten).

Im Rahmen der Bauüberwachung sollten an allen Gebäuden innerhalb des Korridors bautechnische Beweissicherungen und an exemplarisch ausgewählten, für die Umgebung typischen Gebäuden entlang der Holtei- und Sonntagstraße eine messtechnische Dauerüberwachung der Erschütterungen durchgeführt werden.

Zum Erschütterungsschutz wird zudem gefordert, die erforderlichen Rammarbeiten zum Setzen der Maste mit Vorbohren durchzuführen, um damit die baubedingten Erschütterungen auf ein Mindestmaß zu reduzieren.

5.2. Betroffenheit für Einwirkung auf Menschen in Gebäuden

Mit der unter 4.3 angegebenen Verfahrensweise kann die bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} für die oberen Etagen der umliegenden Bebauung berechnet werden.

Die Untersuchung erfolgt für das erschütterungsintensive Arbeitsverfahren der Vibrationsramme und -walze. Die Arbeiten erfolgen ausschließlich am Tage.

Tab. 7 Konservative Abschätzung der Bereiche mit Erschütterungseinwirkungen tags (Menschen)

Entfernung zur Quelle	Vibrationsramme		Vibrationswalze	
	v_{max} in mm/s Mittelwert / Maximalwert	KB_{Fmax} Mittelwert / Maximalwert	v_{max} in mm/s Mittelwert / Maximalwert	KB_{Fmax} Mittelwert / Maximalwert
8 m	3,0 / 7,0	1,9 / 4,5	1,9 / 4,7	1,2 / 3,0
10 m	2,4 / 5,7	1,6 / 3,7	1,5 / 3,7	1,0 / 2,4
13 m	1,8 / 4,3	1,2 / 2,8	1,2 / 3,0	0,8 / 1,9
20 m	1,2 / 2,8	0,8 / 1,8	0,8 / 1,9	0,5 / 1,2
30 m	0,8 / 1,9	0,5 / 1,2	0,5 / 1,2	0,3 / 0,8
50 m	0,5 / 1,1	0,3 / 0,8	0,3 / 0,8	0,2 / 0,5

Bei der Bewertung der Erschütterungseinwirkungen auf den Menschen sind die Dauer der Einwirkung (z. B. Tag, 1 Woche) und die Beurteilungsstufe (I, II oder III) zu berücksichtigen.

Bei einer Beurteilungsstufe II (mit Information der Betroffenen) und Baumaßnahmen über mehrere Tage (6 - 26 Tage) kann der untere Anhaltswert von $A_u = 0,8$ am Tage bei den erschütterungsintensiven Bauarbeiten mit einer Vibrationsramme im Mittel in einer Entfernung von 20 m (in Extremfällen erst in 50 m) eingehalten werden.

Für Bauarbeiten mit der Vibrationswalze wird zur Einhaltung des unteren Anhaltswertes ein Mindestabstand von 13 m erwartet (in Extremfällen 30 m).

Da zum Erschütterungsschutz insbesondere vor Gebäudeschäden bereits die Forderung besteht, vor den Rammarbeiten vorzubohren, wird eingeschätzt, dass sich der Betroffenheitskorridor für Rammarbeiten deutlich verringern wird und somit der Einsatz der Vibrationswalze die ungünstigere, nunmehr zu beurteilende Bausituation darstellt.

Bei Anwendung der Beurteilungsschwingstärke kann für den Einsatz einer Vibrationswalze folgende Abschätzung getroffen werden:

Bei einer Beurteilungsstufe II (mit Information der Betroffenen) und Baumaßnahmen über mehrere Tage (6 - 26 Tage) beträgt die zulässige Beurteilungsschwingstärke $KB_{FT} = 0,6$. Geht man weiterhin davon aus, dass die Erschütterungseinwirkung bei Verdichtungsarbeiten nur in ca. 25% der Tagzeit vorliegt (d. h. effektiv ca. 4 Std. tags), so vermindert sich die Beurteilungsschwingstärke KB_{FT} bei Bezug auf die Beurteilungszeit von 16 Stunden tags um den Faktor von $\sqrt{4/16} = 0,5$.

Damit ist ein maximaler KB_{Fmax} -Wert von $0,6 / 0,5 = 1,2$ einzuhalten.

Aus Tab. 7 bzw. der detaillierten Berechnung ergeben sich folgende Mindestabstände zur Einhaltung der Beurteilungsschwingstärke tags:

Tab. 8 Erschütterungseinwirkungen tags (Menschen), Anlagenbetriebszeit 4 Stunden

Vibrationswalze	
Mittelwert	Maximalwert
8 m	20 m

Die im Anhang 3 Pkt. II dargestellte Karte für die Erschütterungskorridore zeigt, dass beim Einsatz erschütterungsintensiver baufahren an der gesamten Wohnbebauung entlang der Neubaustrecke Belästigungen durch Erschütterungen zu erwarten sind.

Da beispielsweise für die Rammarbeiten die Forderung zum Vorbohren besteht und die Bauarbeiten insgesamt ausschließlich am Tage erfolgen, können keine weiteren Maßnahmen zur Minderung der Erschütterungen vorgeschlagen werden. Insgesamt werden jedoch keine größeren Betroffenheiten ausgelöst, als sie bereits durch die Geräuscheinwirkung aufgrund von Baulärm vorhanden sind [7].

Nachts erfolgen keine Bauarbeiten, sodass die Beurteilung des Nachtzeitraumes entfallen kann.

5.3. Genauigkeit der Prognose und der Ausgangsdaten

Da die Berechnung der Schwingstärken sehr von den Faktoren:

- eingesetztes Bauverfahren
- Leistungsklasse des Baugerätes
- Einwirkdauer der Erschütterungen

abhängt, die im Rahmen des Planverfahrens noch nicht genau festgelegt sind, bleibt die detaillierte Betrachtung der Bauausführung und Bauüberwachung vorbehalten.

Im Rahmen der Bauausführung ist zu prüfen, ob Arbeitsverfahren mit geringerer Schwingungs- bzw. Stoßeinleitung in den Boden angewendet werden können (z. B. Bohren anstelle von Rammen).

Da die Minderung der Erschütterungs-Immission durch technische Maßnahmen begrenzt ist, sind Anwohner bzw. Gebäudeeigentümer über die Baumaßnahmen (z. B. Ort, Dauer, Ansprechpartner vor Ort) rechtzeitig zu informieren.

Im Rahmen der Bauüberwachung sind an allen Gebäuden innerhalb des Korridors bautechnische Beweissicherungen und an exemplarisch ausgewählten, für die Umgebung typischen Gebäuden entlang der Holtei- und Sonntagstraße eine messtechnische Dauerüberwachung der Erschütterungen durchzuführen, bei denen im Fall von Anhaltswert-Überschreitungen unverzüglich die Bauleitung benachrichtigt wird.

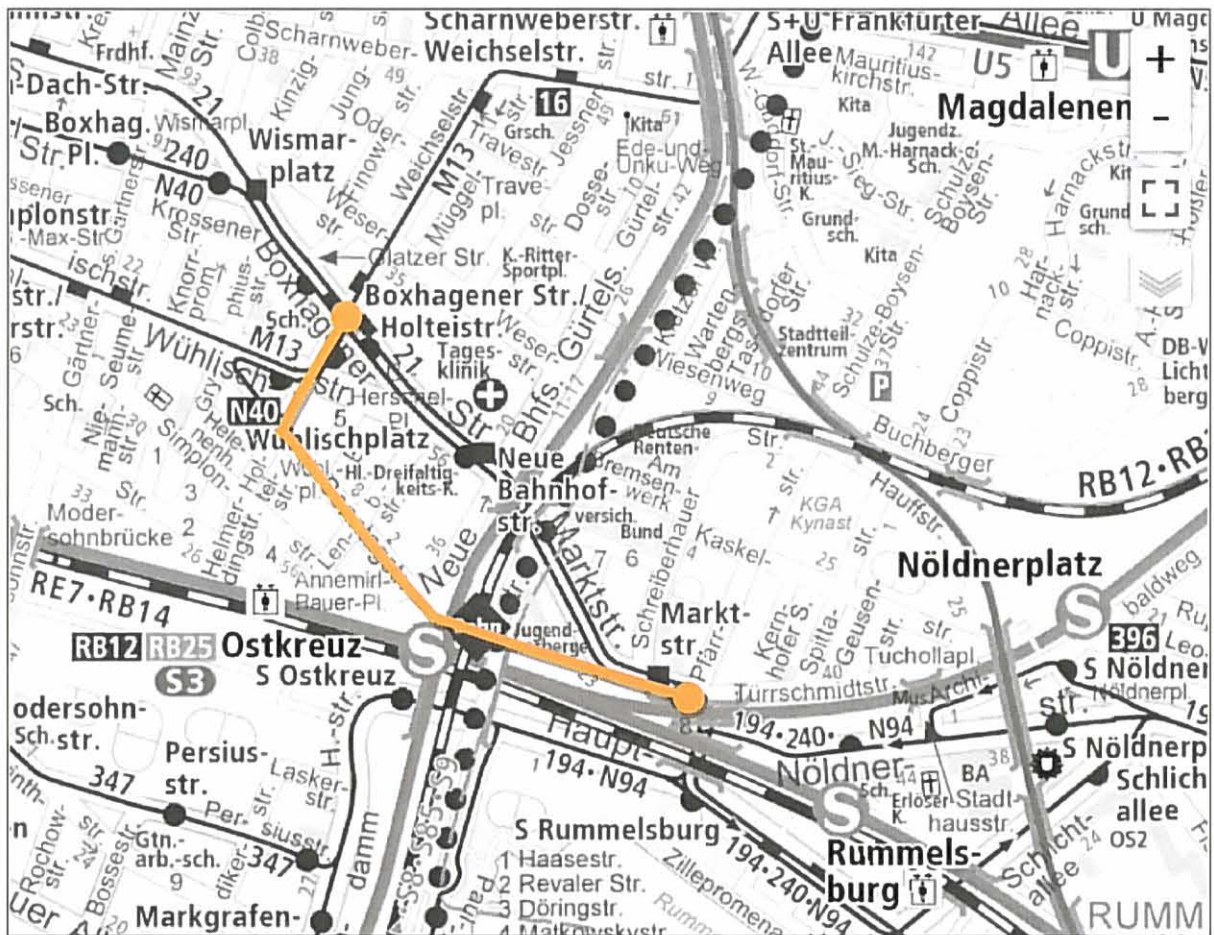
6. Normen und Literatur

- [1] Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) vom 22.5.90, BGBl. I Nr. 23, S. 881
- [2] DIN 4150; Teil 2; Juni 1999: Erschütterungen im Bauwesen; Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden
- [3] DIN 4150; Teil 3; Dezember 2016: Erschütterungen im Bauwesen; Einwirkungen auf bauliche Anlagen
- [4] Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung - BauNVO); BGBl. I, S. 133 vom 26.01.1990, zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 4. Mai 2017 (BGBl. I S. 1057)
- [5] VDI 2057 Blatt 3; Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen, Beurteilung; Ausgabe Mai 1987
- [6] Bauwerkserschütterungen durch Tiefbauarbeiten, Grundlagen - Messergebnisse - Prognosen, Institut für Bauforschung e.V Hannover, Bericht 20, 2004
- [7] Bericht Nr. 16-3216 / 04 Untersuchung zu baubedingten Schallimmissionen Straßenbahnanbindung Bahnhof Ostkreuz, cdf Schallschutz, Dresden, 03.11.2017

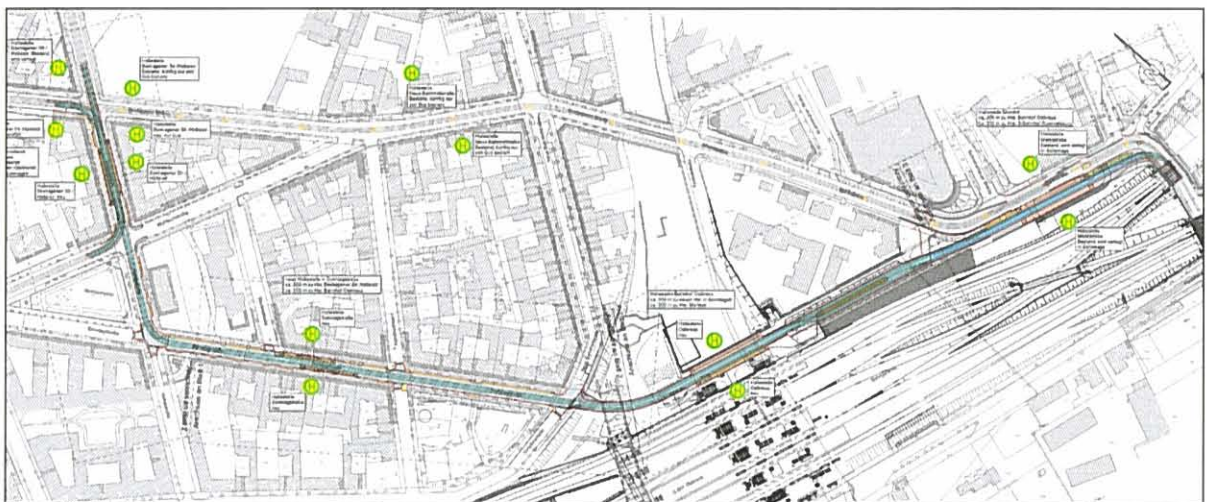
7. Anhänge

Anhang 1 Lagepläne

Übersichtslageplan



Bildquelle: Berliner Verkehrsbetriebe



VCDB, Lageplan 1:500 (verkleinerte Darstellung)

Anhang 2 Erschütterungsprognose - Gebäudeschäden

I) Berechnung der Mindestabstände bezüglich Gebäudeschäden

Erschütterungsprognose - Bauarbeiten

Bestimmung des Einwirkungsbereiches

Anregung/Quelle

Gerät/Verfahren	Schlag- gewicht m_s in t	Fall- höhe h_f in m	Schlag- energie E in kNm	Masch.- Leistung P in kW	Arbeits- frequenz f in Hz	Masch.- Gewicht m_M in t
Fallende Masse	0,5	2,5	10	-	1	-
Schlagramme (Freifallbär) (MHF 3-7)	10	1,2	50	-	1	-
Vibrationsramme (ABI MRZ V 800 V)	-	-	-	250	41	-
Vibrationswalze (Bomag BW 172)	-	-	-	-	-	8

Übertragungsweg im Boden

Proportionalitätsfaktor K	
11	günstig (Wahrsch. 50%)
17	ungünstig (Üb.-Wahrsch. 2,25%)
11	günstig (Wahrsch. 50%)
17	ungünstig (Üb.-Wahrsch. 2,25%)
8	günstig (Wahrsch. 50%)
19	ungünstig (Üb.-Wahrsch. 2,25%)
4,5	günstig (Wahrsch. 50%)
11	ungünstig (Üb.-Wahrsch. 2,25%)

Maximalwert der zu erwartenden Schwinggeschwindigkeit
am Gebäudfundament im Abstand $r = 20$ m

		$v_{\max, \text{Fund}}(r)$ in mm/s
Fallende Masse	günstig (Wahrsch. 50%)	1,7
	ungünstig (Üb.-Wahrsch. 2,25%)	2,7
Schlagramme (Freifallbär)	günstig (Wahrsch. 50%)	3,9
	ungünstig (Üb.-Wahrsch. 2,25%)	6,0
Vibrationsramme	günstig (Wahrsch. 50%)	1,0
	ungünstig (Üb.-Wahrsch. 2,25%)	2,3
Vibrationswalze	günstig (Wahrsch. 50%)	0,6
	ungünstig (Üb.-Wahrsch. 2,25%)	1,6

Übertragungsweg in Gebäuden vom Fundament zum OG

horizontal (k_{xy})	
0,50	günstig (w. weicher Untergrund)
2,00	ungünstig (steifer Untergr.)
vertikal (k_z)	
10... 25	bei Resonanz
1,5	ohne Resonanz
$v_{\max, \text{OG}} = k \cdot v_{\max, \text{Fund}}$	

Mindestabstand zur Einhaltung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3

Kurzzeitige Erschütterungen

Anhaltswert für die Schwinggeschwindigkeit am Fundament (kurzzeitige Erschütterungen)	Wohngebäude (bis 10 Hz)	eingehalten im Abstand von	empfindl. Bauten (bis 10 Hz)	eingehalten im Abstand von
	$v_{\max, \text{Fund}}$ in mm/s	r_{\min} in m	$v_{\max, \text{Fund}}$ in mm/s	r_{\min} in m
Fallende Masse	5	10,8	3	17,9
Schlagramme (Freifallbär)	5	24,0	3	40,1

Anhaltswert für die Schwinggeschwindigkeit auf Geschossdecken, vertikal (kurzzeitige Erschütterungen)	alle Typen	eingehalten im Abstand von
	$v_{\max, \text{OG}, z}$ in mm/s	r_{\min} in m
Fallende Masse	20	4,0
Schlagramme (Freifallbär)	20	9,0

berechnet für das jeweils ungünstigste K

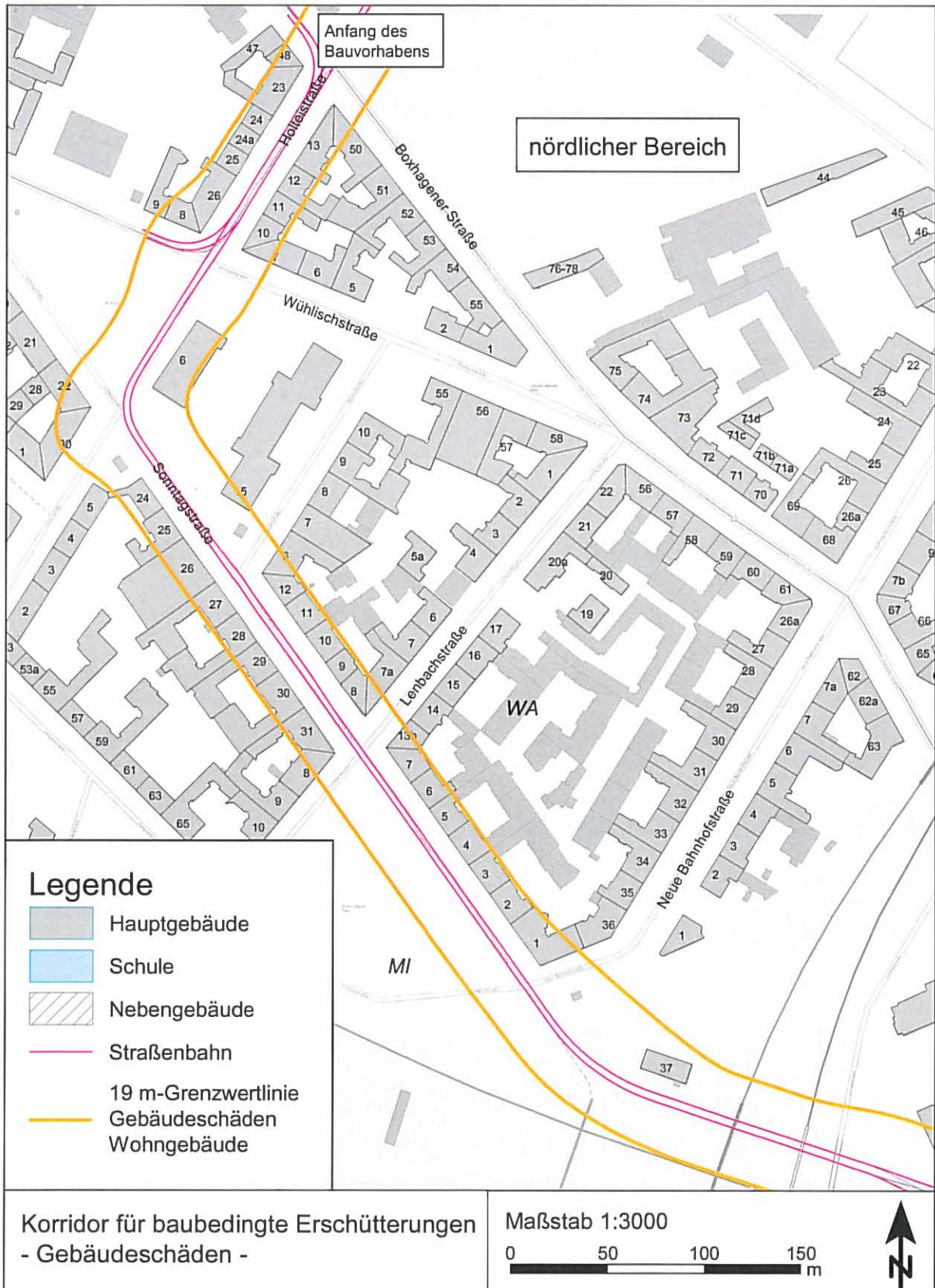
Dauer-Erschütterungen

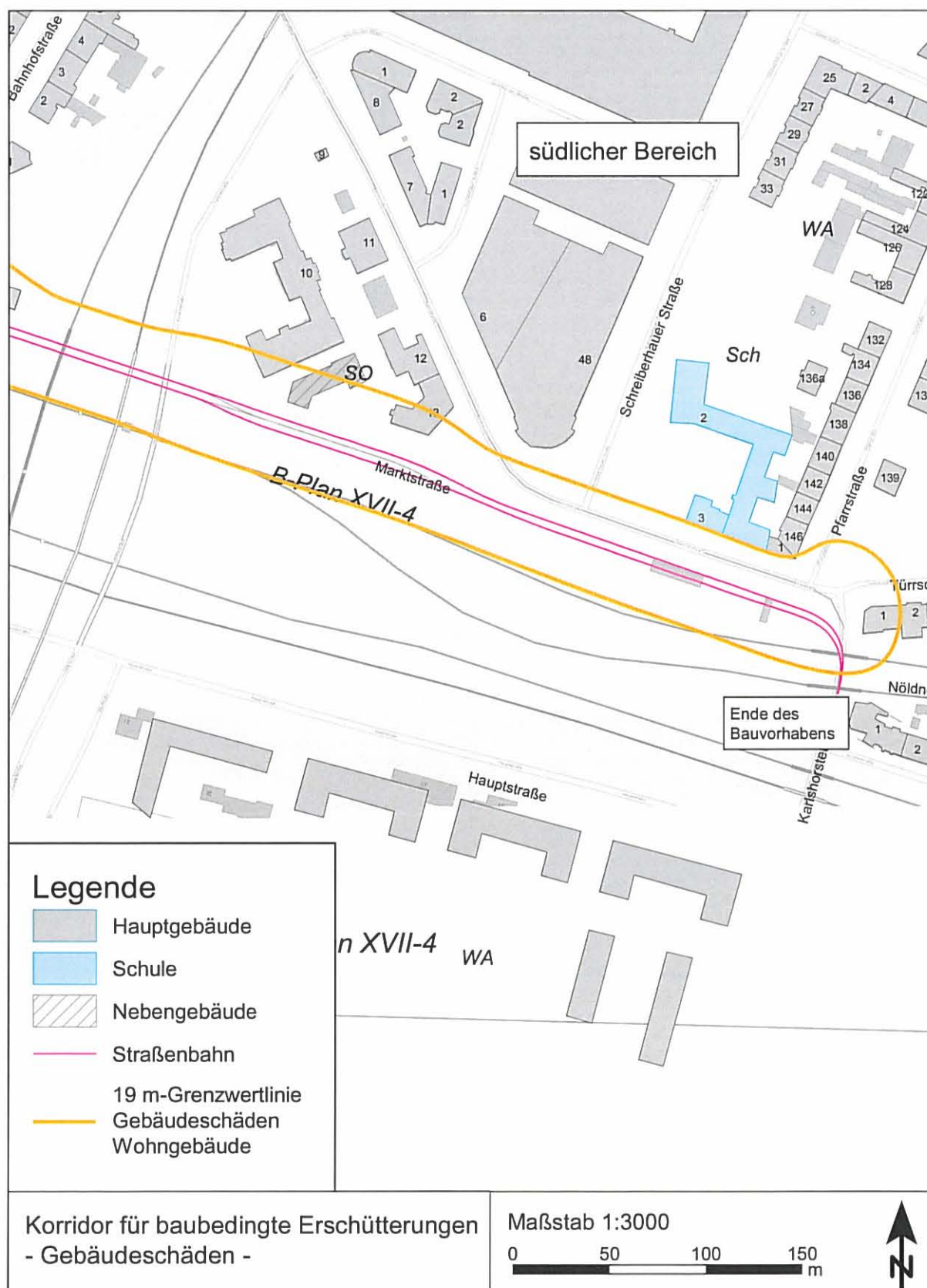
Anhaltswert für die Schwinggeschwindigkeit auf Geschossdecken, horizontal (Dauer-Erschütterungen)	Wohngeb.	eingehalten im Abstand von
	$v_{\max, \text{OG}, xy}$ in mm/s	r_{\min} in m
Vibrationsramme	5	18,8
Vibrationswalze	5	12,4

berechnet für das jeweils ungünstigste K, k_{xy}

Anhaltswert für die Schwinggeschwindigkeit auf Geschossdecken, vertikal (Dauer-Erschütterungen)	Wohngeb.	eingehalten im Abstand von		eingehalten im Abstand von	
	$v_{\max, \text{OG}, z}$ in mm/s	r_{\min} in m		r_{\min} in m	
Vibrationsramme	10	ohne Res.	7,0	mit Res.	117,3
Vibrationswalze	10	ohne Res.	4,7	mit Res.	77,8

II) Lageplan der Mindestabstände bezüglich Gebäudeschäden





Anhang 3 Erschütterungsprognose - Einwirkung auf Menschen

I) Berechnung der Mindestabstände gegen Belästigungen

Erschütterungsprognose - Bauarbeiten

Bestimmung des Einwirkungsbereiches

Gebietstyp	W	W = Wohngebiet
		M = Mischgebiet
		G = Gewerbegebiet
		I = Industriegebiet
		K = besondere Gebiete

Anhaltswerte nach DIN 4150-2/A2	tags	nachts
	6-26 T / II	
unterer Anhaltswert A_u	0,8	0,10
oberer Anhaltswert A_o	5	0,20
Anhaltswert A_i	0,6	0,05

Anregung/Quelle

Gerät/Verfahren	Schlag- gewicht m_s in t	Fall- höhe h_f in m	Schlag- energie E in kNm	Masch.- Leistung P in kW	Arbeits- frequenz f in Hz	Masch.- Gewicht m_v in t
Fallende Masse	0,5	2,5	10	-	1	-
Schlagramme (Freifallbär) (MHF 3-7)	10	1,2	50	-	1	-
Vibrationsramme (ABI MRZV 800 V)	-	-	-	250	41	-
Vibrationswalze (Bomag BW 172)	-	-	-	-	-	8

Übertragungsweg im Boden

Proportionalitätsfaktor K	
11	günstig (Wahrsch. 50%)
17	ungünstig (Üb.-Wahrsch. 2,25%)
11	günstig (Wahrsch. 50%)
17	ungünstig (Üb.-Wahrsch. 2,25%)
8	günstig (Wahrsch. 50%)
19	ungünstig (Üb.-Wahrsch. 2,25%)
5	günstig (Wahrsch. 50%)
11	ungünstig (Üb.-Wahrsch. 2,25%)

Übertragungsweg in Gebäuden

vom Fundament zum OG

vertikal (k_z)	20... 50	bei Resonanz
	1,5	ohne Resonanz
$V_{max,OG} = k \cdot V_{max,Fund}$		

Bewertete Schwingstärke KB

berechnet aus der max. Schwinggeschwindigkeit v

Eigenfrequenz der Geschossdecke oder

Frequenz der Erschütterungsquelle:

$$f_{Tetz} = 12,5 \text{ Hz}$$

$$KB = 0,65 \cdot v_{max}$$

$$KB = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{v_{max}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{Tetz}}{f}\right)^2}}$$

Erschütterungs-Immission, Geschossdecken in Gebäuden

Maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax}

bei Abstand Gebäude - Quelle $r = 20 \text{ m}$

Schätzwert $KB_{Fmax}^* =$

0,8 KB für kurzzeitige Ereignisse mit Resonanzbeteiligung

Annahme $k_z = 1,5$

0,7 KB für periodische Vorgänge ohne Resonanzbeteiligung

		Maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax}^*	v_{max}	Überschreitung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2			
				$KB_{Fmax} > A_u$ tags	$KB_{Fmax} > A_u$ nachts	$KB_{Fmax} > A_o$ tags	$KB_{Fmax} > A_o$ nachts
Fallende Masse	günstig (Wahrsch. 50%)	1,35	2,09	ja	ja	nein	ja
	ungünstig (Üb.-Wahrsch. 2,25%)	2,08	3,23	ja	ja	nein	ja
Schlagramme (Freifallbär) (MHF 3-7)	günstig (Wahrsch. 50%)	3,01	4,67	ja	ja	nein	ja
	ungünstig (Üb.-Wahrsch. 2,25%)	4,65	7,21	ja	ja	nein	ja
Vibrationsramme (ABI MRZV 800 V)	günstig (Wahrsch. 50%)	0,76	1,19	nein	ja	nein	ja
	ungünstig (Üb.-Wahrsch. 2,25%)	1,82	2,82	ja	ja	nein	ja
Vibrationswalze (Bomag BW 172)	günstig (Wahrsch. 50%)	0,49	0,76	nein	ja	nein	ja
	ungünstig (Üb.-Wahrsch. 2,25%)	1,20	1,87	ja	ja	nein	ja

Mindestabstand zur Einhaltung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2

Unterer Anhaltswert für die Schwingstärke KB auf Geschossdecken, vertikal	eingehalten im Abstand von		eingehalten im Abstand von	
	r_{min}	in m	r_{min}	in m
	A_u Tag	A_u Nacht	A_o Tag	A_o Nacht
Fallende Masse	34 m	269 m	5 m	135 m
Schlagramme (Freifallbär)	75 m	602 m	12 m	301 m
Vibrationsramme	19 m	153 m	3 m	76 m
Vibrationswalze	12 m	99 m	2 m	49 m

mit Wahrscheinlichkeit 50%
berechnet für das jeweils ungünstigste K

II) Lageplan der Mindestabstände bezüglich Belästigungen, tags

