

Ingenieure für
Schwingungs-, Schall- und
Schienenverkehrstechnik

Dipl.-Ing. Diether Uderstädt
Dipl.-Ing. Udo Lenz

Sitz: Essen (PR 891)

Ladenspelderstraße 61
45147 Essen

Tel. 0201 87445 0

Fax 0201 87445 45

E-Mail IBU@uderstaedt.de
www.uderstaedt.de

Auftraggeber: moBiel GmbH
Otto-Brenner-Straße 242
33604 Bielefeld

Objekt: Stadtbahn Bielefeld
Dürkopp Tor 6

Titel: **Schall- und schwingungstechnisches
Gutachten, Teil IV**
Beweissicherungsmessung im Gebäude
August-Bebel-Str.108 A

Auftrag Nr.: B 10.839.10/2

Datum: 03.12.2010

Umfang: 12 Textseiten
98 Anlagen

INHALT

1	AUFGABENSTELLUNG	S.	3
2	IMMISSIONSKENNWERTE	S.	3
2.1	Erschütterungen	S.	3
2.2	Körperschall	S.	4
3	MESSTECHNISCHE DURCHFÜHRUNG	S.	6
3.1	Messgeräte	S.	6
3.2	Messzeiten / Messorte (MO)	S.	6
3.3	Messpunkte	S.	6
3.4	Fahrzeuge	S.	7
3.5	Zuordnung der Fahrrichtungen	S.	7
3.6	Mess- und Auswerteverfahren	S.	7
4	MESSERGEBNISSE	S.	8
4.1	Erschütterungsimmissionen	S.	8
4.2	Körperschall-Schwingschnelle	S.	10
4.3	Innenschallpegel	S.	10
5	SCHLUSSBEMERKUNG	S.	11
6	ANLAGEN	S.	11

1 AUFGABENSTELLUNG

Die moBiel GmbH plant die Einrichtung eines Gleisabzweiges im Bereich Nikolaus-Dürkopp-Straße/August-Bebel-Straße. Die neue Gleisanlage führt dann in die Carl-Schmidt-Straße, wo eine neue Haltestelle und eine Wendeanlage eingerichtet werden. Im Rahmen des anstehenden Genehmigungsverfahrens sind entsprechend den rechtlichen Regelungen eine schalltechnische Untersuchung sowie eine ergänzende schwingungstechnische Untersuchung durchzuführen. Hiermit wurde das Ingenieurbüro Uderstädt + Partner beauftragt.

Im Gebäude August-Bebel-Str. 108 A wurde eine Beweissicherungsmessung zur Dokumentation des vorhandenen Erschütterungsimmissionsstatus durchgeführt.

Im vorliegenden Bericht sind die entsprechenden Immissionskennwerte sowie die zugehörigen Messabläufe beschrieben. Auf Basis der zusammengestellten Messergebnisse erfolgt in Teil 3 die Prognose der nach Umbau zu erwartenden Immissionen.

2 IMMISSIONSKENNWERTE

2.1 Erschütterungen

Als Erschütterungen werden Schwingungen bezeichnet, die sich mit Frequenzen zwischen 1 Hz und 80 Hz in festen Medien (Erdreich, Gebäude) ausbreiten. Die mit Schwingungsaufnehmern (Geofonen) direkt messbaren Erschütterungssignale sind die *Schwingungsgeschwindigkeit* $v(t)$ [mm/s] und die *Erregerfrequenz* f_e [Hz] des angeregten Mediums. Der zeitliche Verlauf von v [mm/s] wird in Schwingungsschrieben dargestellt, aus ihnen wird die je Ereignis auftretende *maximale Schwingungsgeschwindigkeit* \hat{v}_i [mm/s] direkt abgelesen. Die zugehörige *Erregerfrequenz* f_e [Hz] wird mit einer Schmalbandfrequenzanalyse ermittelt. Aus allen erfassten Ereignissen wird ein (quadratisch gemittelter) *mittlerer Maximalwert* \hat{v}_m [mm/s] der Schwingungsgeschwindigkeit nach folgender Funktion berechnet:

$$\hat{v}_m = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{v}_i^2} \quad [mm/s] \quad (1)$$

\hat{v}_i [mm/s]: maximale Schwingungsgeschwindigkeit je Ereignis i

N: Anzahl der Ereignisse i

Aus dem unbewerteten Erschütterungssignal $v(t)$ kann durch eine Frequenzbewertung die *bewertete Schwingstärke* $KB_F(t)$ berechnet werden, aus der sich die für die Beurteilung

der Erschütterungseinwirkung auf Menschen in Gebäuden maßgebenden Immissionsgrößen ergeben. Es handelt sich dabei um die *maximale bewertete Schwingstärke* KB_{Fmax} (Maximalwert von $KB_F(t)$ im Messzeitraum) sowie die *Beurteilungs-Schwingstärke* KB_{FTi} (Mittelwert im Beurteilungszeitraum) in der Definition nach DIN 4150, Teil 2, von Juni 99 - Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkung auf Menschen in Gebäuden.

Um diese Werte zu erhalten werden die folgenden Größen benötigt:

Taktmaximalwert KB_{FTi} : höchster Wert während eines Ereignisses i

Taktmaximal-Effektivwert KB_{FTm} : quadratischer Mittelwert von KB_{FTi} für alle Ereignisse N

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

KB_{FTi} : Taktmaximalwert je Ereignis i

N : Anzahl der Ereignisse i

Im vorliegenden Messbericht werden die über alle Ereignisse N ermittelten Größen \hat{v}_i (minimal / maximal auftretender Wert $\hat{v}_{i,min}$, $\hat{v}_{i,max}$), \hat{v}_m , KB_{FTi} (minimal / maximal auftretender Wert $KB_{FTi,min}$ / $KB_{FTi,max}$) und KB_{FTm} ausgewiesen. Es sind reine Messwerte bzw. Werte, die sich direkt aus den Messwerten ergeben.

Mit diesen Werten können für die Bestandssituation KB_{Fmax} und KB_{FTi} ermittelt und anhand von Anhaltswerten bewertet werden. Die vorliegenden Größen sind zudem geeignet, die Immissionssituation vor und nach einem Umbau anhand einer Vergleichsmessung zu beurteilen. Aus ihnen lassen sich außerdem - unter Berücksichtigung situationsbedingter Faktoren - Prognosewerte ermitteln, die es ermöglichen, die Immissionen für eine Planungssituation einzuschätzen.

2.2 Körperschall

Als Körperschall werden Schwingungen bezeichnet, die sich mit Frequenzen im Hörbereich in festen Medien (Erdreich, Gebäude) ausbreiten. Bei der Körperschallanregung durch Schienenverkehr sind in der Regel nur Erregerfrequenzen zwischen etwa 10 und 125 Hz maßgebend. Um alle möglicherweise auftretenden Erregerspektren zu erfassen, wird im vorliegenden Messbericht der Frequenzbereich 5 Hz bis 400 Hz berücksichtigt. Die innerhalb von Gebäuden messbaren Körperschallsignale sind die *Schwinggeschwindigkeit* v [mm/s], der *Schalldruck* p [N/m²] und die *Erregerfrequenz* f_e [Hz] des angeregten Mediums. Die zugehörigen *Pegel* L_v [dB] und L_p [dB] werden als *Körperschall-Schwingschnellepegel* L_v und *Körperschall-Schalldruckpegel* L_p (sekundärer Luftschall) in logarithmischer Form ausgedrückt:

$$L_v = 20 \cdot \lg \frac{v}{v_0} \text{ [dB]} \quad (3) \quad L_p = 20 \cdot \lg \frac{p}{p_0} \text{ [dB(A)]} \quad (4)$$

v [mm/s]: Effektivwert der Schwingschnelle p [N/m²]: Effektivwert des Schalldrucks
 $v_0 = 5 \cdot 10^{-5}$ mm/s : Bezugsschwingschnelle $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ N/m²: Bezugsschalldruck

Durch Frequenzanalyse werden die Körperschallpegel je Terzmittenfrequenz nach den Funktionen (3) und (4) im Bereich zwischen 5 Hz und 400 Hz ermittelt. Dabei interessiert der während einer Vorbeifahrt je Frequenz auftretende Maximalpegel (Max Hold - Pegel), er wird in Diagrammen als lineares Minimal- und Maximalspektrum sowie als energetisches Mittelungsspektrum über alle Ereignisse gemeinsam dargestellt.

Der spektrale *Mittelungspegel* $L_{vm}(f_T)$ [dB] und $L_{pm}(f_T)$ [dB] über die Anzahl der Ereignisse werden nach folgender Formel (energetische Mittelung) berechnet:

$$L_{v,p,m} = 10 \lg \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1 L_{v,p,i}} \text{ [dB]} \quad (5)$$

$L_{v,i}$ [dB]: Körperschall-Schwingschnellepegel L_v je Ereignis i und Terzmittenfrequenz

$L_{p,i}$ [dB]: Körperschall-Schalldruckpegel L_p je Ereignis i und Terzmittenfrequenz

N : Anzahl der Ereignisse i

Der lineare Schalldruckpegel wird dem menschlichen Hörvermögen durch die A-Bewertung (nach DIN 45 633) angepasst und in dB(A) ausgewiesen. Dabei wird berücksichtigt, dass Menschen verschiedene Frequenzen besser oder schlechter wahrnehmen können. Es werden je Terzmittenfrequenz festgelegte Werte zum erfassten Pegel addiert oder von ihm subtrahiert.

Die für jedes Ereignis ausgewiesenen *spektralen Summenpegel* L_v [dB] und L_p [dB(A)] ergeben sich aus der logarithmischen Addition der mittleren Einzelpegel je Terzmittenfrequenz:

$$L_v = 10 \cdot \lg \sum_{f_{Tu}}^{f_{To}} 10^{0,1 L_{v,T}} \text{ [dB]} \quad (6) \quad L_p = 10 \cdot \lg \sum_{f_{Tu}}^{f_{To}} 10^{0,1(L_{p,T} - K_A)} \text{ [dB(A)]} \quad (7)$$

f_{Tu} [Hz]: unterste zu berücksichtigende Terzmittenfrequenz

f_{To} [Hz]: oberste zu berücksichtigende Terzmittenfrequenz

$L_{v,p,T}$ [dB, dB(A)]: Pegel der jeweiligen Terzmittenfrequenz

K_A : A-Bewertung nach DIN 45 633

Die entsprechenden *mittleren spektralen Summenpegel* L_{vm} und L_{pm} über alle Ereignisse ergeben sich analog der Gleichung (5).

Im vorliegenden Messbericht werden die spektralen Summenpegel $L_{v,i}$ und $L_{p,i}$ als minimal und maximal auftretende Werte sowie ein mittlerer Summenpegel L_{vm} und L_{pm} ausgewiesen, sie errechnen sich direkt aus den ermittelten Max-Hold-Terzspektren. Es erfolgt keine Beurteilung der Immissionen, die Werte dienen als Basis für Vergleichs- oder Prognosebetrachtungen.

3 MESSTECHNISCHE DURCHFÜHRUNG

3.1 Messgeräte

Für die Schall- und Schwingungsmessung wurden folgende Mess- und Auswertegeräte eingesetzt:

- Kondensatormikrofone, Fabr. Norsonic, Typ 1220
- elektrodynamische Schwingungsaufnehmer (Geofone), Fabr. Western-Data, Typ SM6
- Universalmessgerät CRONOS-PL 3, Fabr. imc
- Auswertesoftware FAMOS, Fabr. imc

Die Messgeräte werden regelmäßig entsprechend den einschlägigen Normen vom DKD-Kalibrierlaboratorium SPEKTRA Schwingungstechnik und Akustik GmbH, Dresden, überprüft.

3.2 Messzeiten / Messorte (MO)

Die Messungen wurden
am 29.11.10 zwischen 12:30 und 16:30 Uhr durchgeführt.

3.3 Messpunkte

In dem Gebäude August-Bebel-Str. 108 A wurden nach messtechnischen Anforderungen folgende Messpunkte festgelegt:

MP 1: KG – Kellerraum in Gebäudeecke

Die örtliche Situation mit Kennzeichnung der Messorte und –punkte ist dem Lageplan der Anlage-Nr. 1.1 zu entnehmen.

3.4 Fahrzeuge

Zur Zeit der Messungen verkehrten im untersuchten Bereich Fahrzeuge der Bauart M8C/M8D in Doppeltraktion.

3.5 Zuordnung der Fahrrichtungen

Die Fahrrichtungen der Fahrzeuge (s. Kennzeichnung in den Anlagen-Nr. 1.1) werden folgendermaßen benannt:

Richtung I: Bielefeld Zentrum

Richtung II: Bielefeld Sieker/Stieghorst

3.6 Mess- und Auswerteverfahren

An allen zu einem jeweiligen Messort gehörenden Messpunkten wurden die durch den Schienenverkehr verursachten Schall- und Schwingungsimmissionen synchron gemessen.

Die Auswertung der gemessenen **Schwingungssignale** erfolgt nach DIN 45672-2 (Schwingungsmessungen in der Umgebung von Schienenverkehrswegen, T2: Auswerteverfahren).

Die vor Ort mittels *Geofonen* in Form von Schwingungsgeschwindigkeiten erfassten Signale wurden direkt digitalisiert und auf Festplatte gespeichert. Sie wurden später im Labor auf den Auswerterechner übertragen und zu den vorher beschriebenen Kennwerten verarbeitet:

- *Schwingungsgeschwindigkeit* $v(t)$ [mm/s]
- *maximale Schwingungsgeschwindigkeit* \hat{v}_i [mm/s] und *Erregerfrequenz* f_e [Hz] ($\hat{v}_{i,min} / \hat{v}_{i,max}$)
- *quadratisch gemittelte Schwingungsgeschwindigkeit* \hat{v}_m [mm/s]
- *bewerteter Taktmaximalwert* KB_{FTi} ($KB_{FTi,min} / KB_{FTi,max}$) und *bewerteter Taktmaximal-Effektivwert* KB_{FTm}
- *Max-hold Spektren* $L_v(f_{Terz})$ [dB/Hz]
- *Summenpegel* L_v [dB] ($L_{v,m}, L_{v,min} / L_{v,max}$)

Die mit *Mikrofonen* registrierten **Schallsignale** wurden vor Ort digital abgespeichert, im Labor ausgegeben und mit der Auswertesoftware zu den folgenden Größen weiter verarbeitet:

Körperschall-Schalldruck

- Max-hold Spektren $L_p (f_{Terz})$ [dB/Hz]
- Summenpegel L_{pA} [dB(A)] ($L_{pA,m}$, $L_{pA,min}$ / $L_{pA,max}$)

Luftschall

- Max-hold Spektren $L_p (f_{Terz})$ [dB/Hz]
- Summenpegel L_{pA} [dB(A)] ($L_{pA,m}$, $L_{pA,min}$ / $L_{pA,max}$)
- Maximalpegel L_{AFmax} [dB(A)] ($L_{AFmax,m}$, $L_{AFmax,min}$ / $L_{AFmax,max}$)
- Mittelungspegel L_{AFeq} [dB(A)] ($L_{AFeq,m}$, $L_{AFeq,min}$ / $L_{AFeq,max}$)
- Schallexpositionspiegel SEL [dB(A)] (SEL_m , SEL_{min} / SEL_{max})
- Vorbeifahrtexpositionspiegel TEL [dB(A)] (TEL_m , TEL_{min} / TEL_{max})

4 MESSERGEBNISSE**4.1 Erschütterungsimmissionen**

Für alle Ereignisse sind die Schwingungsschriebe $v(t)$ der Anlage-Nr. 2 zu entnehmen. Alle aus den Schrieben ermittelten unbewerteten Erschütterungssignale \hat{v}_i sind in den Anlagen-Nr. 3 tabellarisch dargestellt. Die Tabelle 1 beinhaltet die im Messzeitraum aufgetretenen Minimal-, Maximal- und (quadr.) Mittelwerte der Schwinggeschwindigkeit \hat{v}_i sowie den Frequenzbereich der Erregerfrequenzen f_e .

Messpunkt	f_e von...bis [Hz]	$\pm \hat{v}_i$ min / max [mm/s]	$\pm \hat{v}_m$ [mm/s]
August-Bebel-Str. 108 A			
Richtung I			
MP1	13 - 105	0.233/ 0.472	0.374
MP2.1	28 - 36	0.371/ 0.684	0.554
MP2.2	36 - 43	0.136/ 0.258	0.206
MP3.1	20 - 26	0.204/ 0.330	0.267
MP3.2	42 - 51	0.114/ 0.191	0.145
Richtung II			
MP1	12 - 84	0.194/ 0.311	0.239
MP2.1	28 - 86	0.236/ 0.414	0.307
MP2.2	38 - 43	0.149/ 0.213	0.175
MP3.1	24 - 26	0.176/ 0.226	0.198
MP3.2	11 - 53	0.089/ 0.145	0.115

Tabelle 1: Schwinggeschwindigkeiten und Erregerfrequenzen

Durch Sprungimpulse werden die Decken an den Messpunkten zu Eigenschwingungen der Frequenzen $f_{0,i}$ [Hz] angeregt. Die sich am stärksten ausprägende Eigenfrequenz f_0 [Hz], sowie die sich aus dem Verhältnis der Schwingungsamplituden der Ausschwingkurve ergebende Dämpfung D der Decke sind in der folgenden **Tabelle 2** zusammengestellt.

Messpunkt	f_0 [Hz]	D
August-Bebel-Str. 108 A		
MP2.1	28	0,04
MP2.2	38	0,04
MP3.1	25	0,07
MP3.2	41	0,12

Tabelle 2: Eigenfrequenz und Dämpfungsverhalten der Decke am jeweiligen Messpunkt

Aus den unbewerteten Erschütterungssignalen ergeben sich die bewerteten Größen KB_{FTi} und KB_{FTm} , deren Ergebnisse ausführlich den Anlagen-Nr. 4 und zusammengefasst der folgenden **Tabelle 3** zu entnehmen sind. Hier sind die auftretenden Minimal- und Maximalwerte von KB_{FTi} sowie der Taktmaximal-Effektivwert KB_{FTm} je Messort und Messpunkt für den Messzeitraum aufgeführt.

Messpunkt	KB_{FTi} min / max	KB_{FTm}
August-Bebel-Str. 108 A		
Richtung I		
MP1	0.062/ 0.115	0.097
MP2.1	0.138/ 0.227	0.187
MP2.2	0.050/ 0.106	0.081
MP3.1	0.072/ 0.118	0.092
MP3.2	0.038/ 0.067	0.054
Richtung II		
MP1	0.064/ 0.098	0.078
MP2.1	0.088/ 0.167	0.132
MP2.2	0.054/ 0.079	0.066
MP3.1	0.068/ 0.113	0.087
MP3.2	0.030/ 0.053	0.043

Tabelle 3: bewertete Schwingstärke nach DIN 4150/2

4.2 Körperschall-Schwingschnelle

Die Anlagen-Nr. 5 stellen den Verlauf der Körperschall-Schwingschnellepegel über die Terzmittenfrequenzen von 5 bis 250 Hz dar. In Tabelle 4 sind Minimal-, Maximal- und Mittelwerte der Schwingschnelle-Summenpegel L_v an jedem Messpunkt im Messzeitraum aufgeführt. Die vollständigen Einzelergebnisse können den Anlagen-Nr. 6 entnommen werden.

Messpunkt	$L_{v,i}$ min/max [dB]	$L_{v,m}$ [dB]
August-Bebel-Str. 108 A		
Richtung I		
MP1	65.4/ 71.0	69.6
MP2.1	72.4/ 75.4	73.9
MP2.2	62.3/ 68.1	65.7
MP3.1	65.9/ 68.7	67.4
MP3.2	60.2/ 64.1	62.2
Richtung II		
MP1	64.2/ 69.5	66.6
MP2.1	66.5/ 71.5	69.7
MP2.2	62.8/ 65.0	64.1
MP3.1	63.9/ 67.5	66.0
MP3.2	58.3/ 63.0	60.6

Tabelle 4: Körperschallimmissionen
Schwingschnelle-Summenpegel L_v

4.3 Innenschallpegel

Die Anlagen-Nr. 7 zeigen den Verlauf der Körperschall-Schalldruckpegel über die Terzmittenfrequenzen von 5 bis 250 Hz. In der Tabelle 5 sind Minimal-, Maximal-, und Mittelwerte der A-bewerteten Schalldruck-Summenpegel L_{pA} aller Ereignisse im Messzeitraum an den zugehörigen Messpunkten zusammengefasst.

Die Anlagen-Nr. 8 enthalten die vollständigen Tabellen mit Einzelergebnissen.

Messpunkt	$L_{pA,i}$ min/max [dB (A)]	$L_{pA,m}$ [dB(A)]
August-Bebel-Str. 108 A		
Richtung I		
MP2.2	41.6/ 46.1	44.1
MP3.2	40.1/ 43.7	42.2
Richtung II		
MP2.2	41.2/ 45.0	43.2
MP3.2	38.6/ 44.7	41.7

Tabelle 5: Körperschallimmissionen
Schalldruck-Summenpegel L_{pA}

5 SCHLUSSBEMERKUNG

Im vorliegenden Bericht sind die Ergebnisse der im Gebäude August-Bebel-Str. 108 A durchgeführten Schwingungsmessung umfassend dargestellt. Die Messdaten sind Grundlage für eine Prognose der nach Verlängerung der Stadtbahn zu erwartenden Schwingungsimmissionen.

6 ANLAGEN

Anlage-Nr. 1.1	Lageplan
Anlage-Nr. 1.2	Fotos der örtlichen Situation

Die folgenden Anlagen liegen dem Gutachten als PDF-Datei auf CD bei:

Anlagen-Nr. 2.1.1a– 2.2.20c Schwingungsschriebe (auszugsweise) $v(t)$

Anlagen-Nr. 3.1 + 3.2 Ergebnistabelle Erschütterungssignale v / f

Anlagen-Nr. 4.1 + 4.2 Ergebnistabelle Erschütterungssignale KB_F

Anlagen-Nr. 5.1.1 – 5.2.5 Schwingschnelle – Terzpegeldiagramme L_v (Hz)

Anlagen-Nr. 6.1.+ 6.2 Ergebnistabellen Schwingschnelle Summenpegel L_v

Anlagen-Nr. 7.1.1 – 7.2.2 Körperschall-Schalldruck - Terzpegeldiagramm L_p (Hz)

Anlagen-Nr. 8.1.1 – 8.2.1 Ergebnistabellen Körperschall-Schalldruck Summenpegel L_p

Messung: Techniker B. Liesenfeld
 cand. Ing. M. Rehms

Bearbeitung: Dipl.-Ing. U. Lenz

Essen, 03.12.2010

I.B.U.
Ing.-Büro Uderstädt + Partner

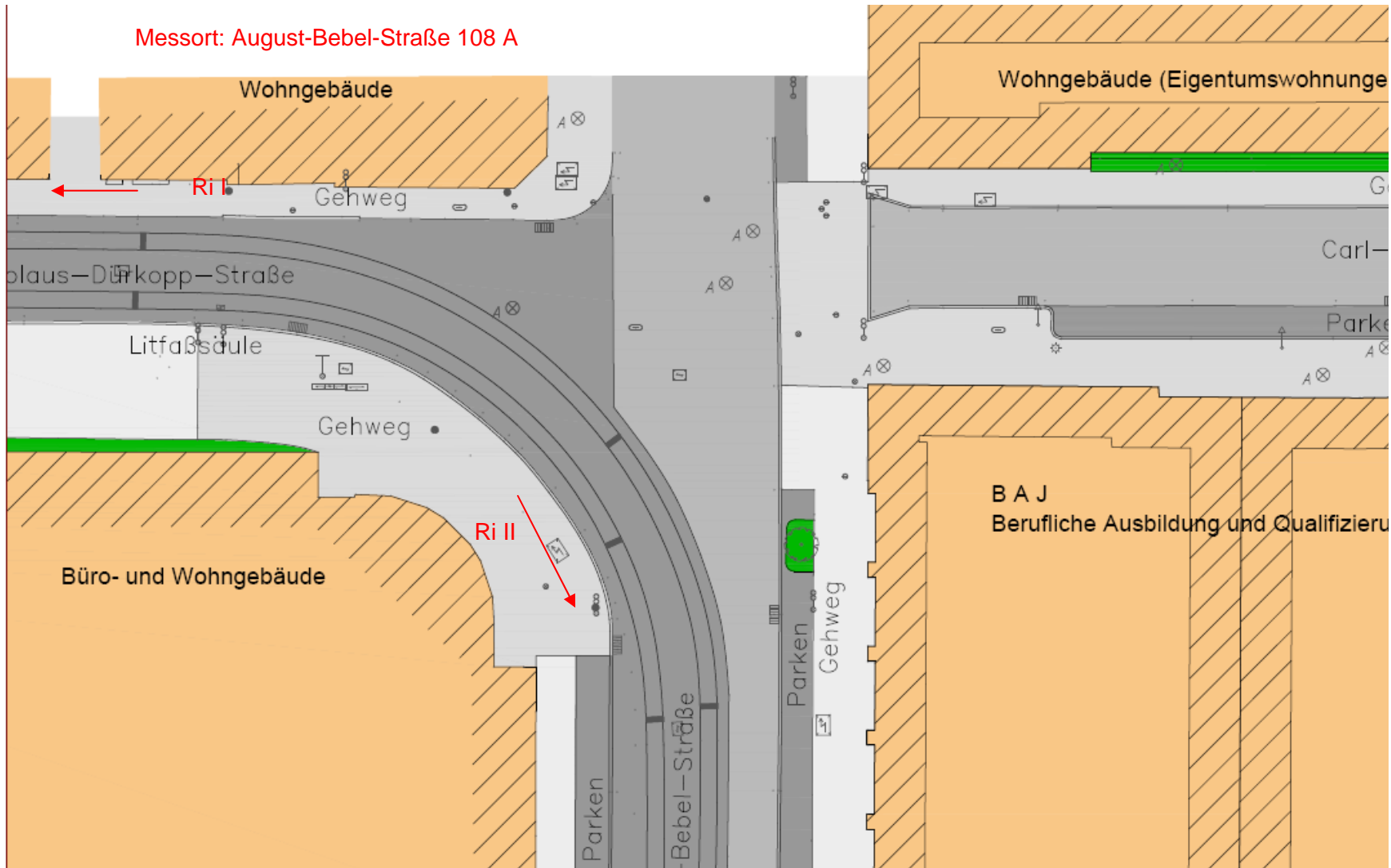
AUFTRAGGEBER:
MOBIEL GMBH
OTTO-BRENNER-STRASSE 242
33604 BIELEFELD

AUFTRAG-NR.:
B 10.839.10/2

Schall- und schwingungstechnisches Gutachten, Teil 2
Beweissicherungsmessung im Gebäude August-Bebel-
Str. 108 A

ANLAGE-NR.
1.1

LAGEPLAN



AUFTRAGGEBER:
MoBiel GmbH
Otto-Brenner-Straße 242
33604 Bielefeld

AUFTRAG-NR.:
B 10.839.10/2

Schall- und schwingungstechnisches
Gutachten, Teil 2

ANLAGE-NR.:
1.2

FOTOS ÖRTLICHKEIT

