



Schwingungstechnik und
Erschütterungen im
Bauwesen

baudyn.de

Messung
Berechnung
Beratung
Gutachten

Gutachten

Projekt 2021790
Inhalt Bebauungsplan Hamburg St. Georg 43
U-Bahn-Erschütterungen und sekundärer Luftschall
Dokument 2021-04-16-N1-1-GA-BAUDYN
Erschütterungstechnische Untersuchung der U-Bahn-
Erschütterungen und des sekundären Luftschalls im Rahmen des
Bebauungsplanverfahrens Hamburg St. Georg 43

Auftraggeber Freie und Hansestadt Hamburg
Bezirksamt Hamburg-Mitte
M/SL21 Dezernat Wirtschaft, Bauen und Umwelt
Fachamt Stadt- und Landschaftsplanung
Caffamacherreihe 1-3
20355 Hamburg

Anmerkung Eine auszugsweise Zitierung ist mit uns abzustimmen
Das Gutachten umfasst 13 Seiten

Datum 16.04.2021

baudyn GmbH

baudyn GmbH
Baudynamik &
Strukturmonitoring

Alsterdorfer Straße 245
D-22297 Hamburg
Fon +49 40 54 80 291-00
Fax +49 40 54 80 291-29

www.baudyn.de

Dipl.-Ing. Marc Oliver Rosenquist
- Geschäftsführer baudyn GmbH -

Geschäftsführer
Dipl.-Ing. M.O. Rosenquist
Dr.-Ing. K. Holtzendorff

Sitz der Gesellschaft
Hamburg HRB 110933

USt-IdNr.: DE266720694

Inhaltsverzeichnis

1	Untersuchungsgebiet und erschütterungstechnische Frage	3
2	Erschütterungstechnische Untersuchungen	5
3	Anforderungen	6
4	Erschütterungstechnische Bewertung	9

1 Untersuchungsgebiet und erschütterungstechnische Frage

Für den Entwurf zum Bebauungsplan (B-Plan) Hamburg St. Georg 43 haben wir in Ihrem Auftrag erschütterungstechnische Untersuchungen zu U-Bahn-Erschütterungen und strukturinduziertem sekundären Luftschall durchgeführt.

Als Planungsunterlagen liegt ein Bebauungsplan-Entwurf des Bezirksamtes Hamburg-Mitte Stand Februar 2021 vor. Das Plangebiet befindet sich zwischen dem Steindamm 55 bis 150 und der Brennerstraße 18 und 92; siehe Abbildung 1.



Abbildung 1: Lageplan, rot gekennzeichnet Plangebiet Bebauungsplan-Entwurf Hamburg St. Georg 43, Bezirksamt Hamburg-Mitte, Stand Februar 2021

Am südlichen Rand des Plangebietes verläuft die unterirdische U-Bahnstrecke der Linie U1 unter dem Gebäude Steindamm 94 von Süden kommend im Steindamm in Richtung Lübecker Straße. Die U-Bahnstrecke ist in offener Bauweise als Stahlbeton-Rechtecktunnel gebaut worden und ohne Maßnahmen zum Erschütterungsschutz, wie z.B. Unterschottermatten, ausgebaut.

Zwischen den im Plangebiet liegenden Gebäuden Steindamm 79 und 105 befindet sich die Haltestelle Lohmühlenstraße mit einem Mittelbahnsteig. In diesem Bereich beträgt der Abstand zwischen dem U-Bahntunnel den Grundstücken für den Steindamm 79 etwa 12 m für den Steindamm 105 etwa 9 m bzw. zu zwischen dem U-Bahnausgangsbauwerk am Steindamm 79 etwa 6 m; siehe Abbildung 2.

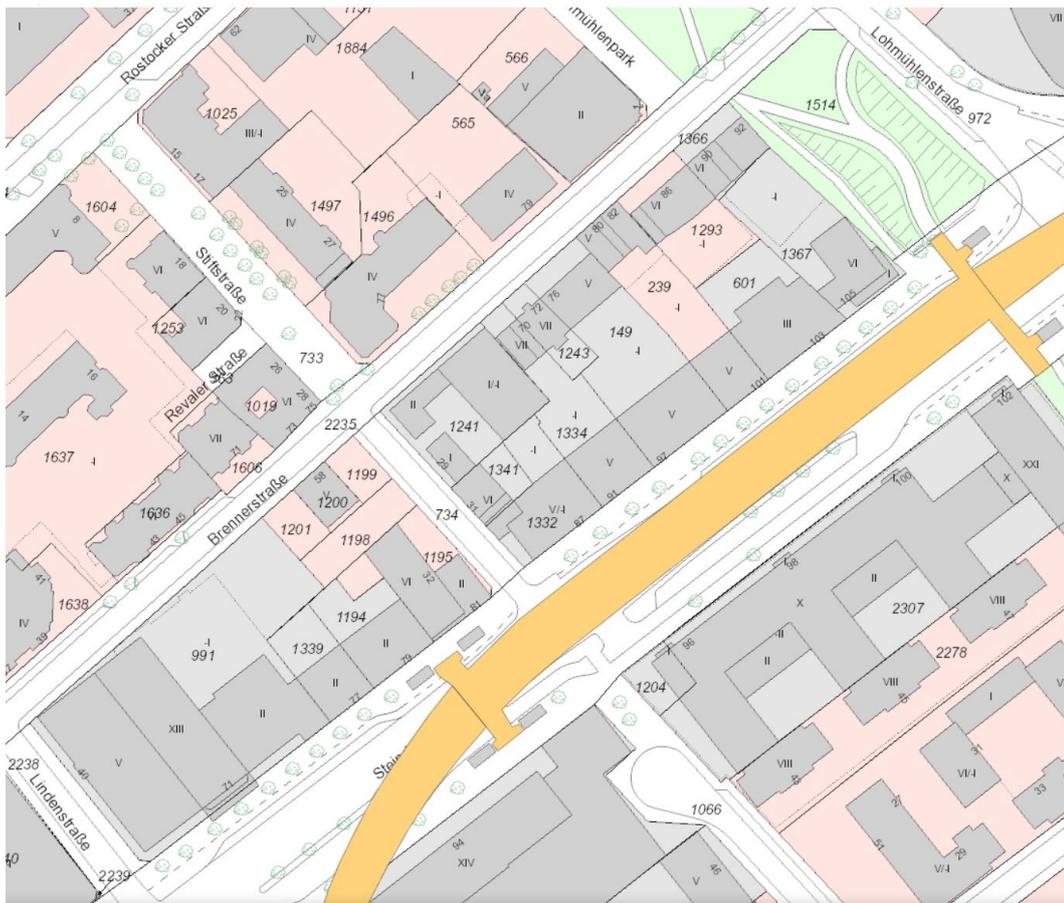


Abbildung 2: Lageplan, orange gekennzeichnet U-Bahntunnel der Linie U1 mit Haltestelle Lohmühlenstraße und den Zugangsbauwerken, Freie und Hansestadt Hamburg, Landesbetrieb für Geoinformation und Vermessung

Der Schienenverkehr verursacht Lärm und Erschütterungen. Die Schienenverkehrserschütterungen werden über den Boden in die Gebäudefundamente übertragen und von dort über die aufgehenden Wände in Stockwerksdecken eingeleitet. Die Bauteileigenfrequenzen von Decken und Wänden in einem Gebäude befinden sich grundsätzlich in dem vom Schienenverkehr anregbaren Frequenzbereich.

Im Falle einer Übereinstimmung der Anregungsfrequenzen durch Verkehr und Eigenfrequenzen von Bauteilen wie Decken im Gebäude, einer so genannten Resonanzanregung oder einer resonanznahen Anregung, können auf Menschen

oder technische Anlagen störende Deckenschwingungen einwirken. In der vorliegenden Untersuchung werden Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden betrachtet.

Darüber hinaus ist infolge der übertragenen Schienenverkehrserschütterungen grundsätzlich infolge von Bauteilschwingungen abgestrahlter, so genannter strukturinduzierter sekundärer Luftschall als akustische Einwirkung auf den Menschen zu berücksichtigen. In vielen Fällen von unterirdischen Schienenstrecken ist der sekundäre Luftschall gegenüber den Erschütterungen von größerer Bedeutung.

2 Erschütterungstechnische Untersuchungen

In der VDI 2038 „Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen“ wird der Ablauf einer erschütterungstechnischen bzw. baudynamischen Beratung beschrieben. Die dort genannten Phasen sind in Abhängigkeit der Aufgabenstellung unterschiedlich abgegrenzt und gehen ineinander über.

Anders als in der Statik gibt es in der Baudynamik keine sichere Seite sowie eine große Streuung der dynamischen Parameter und damit eine große Streuung der Ergebnisse von baudynamischen Berechnungen und Prognosen. Aus diesen Gründen ist die baudynamische Beratung ein alle Planungs- und Realisierungsphasen begleitender Prozess. Aufgrund der weitreichenden Konsequenzen von baudynamischen Maßnahmen für die Gebäudekonzeption sind die baudynamischen Erfordernisse möglichst frühzeitig in der Planung zu berücksichtigen und in enger Abstimmung zu den anderen Planern vorzunehmen.

Im Rahmen der Aufstellung des Bebauungsplans handelt es sich bei den erschütterungstechnischen Untersuchungen um eine Bewertung zur Einstufung der Situation und um grundsätzliche Hinweise für Gebäudekonzepte und Maßnahmen. Die maßgeblichen Ergebnisse werden im Bebauungsplanverfahren zu dokumentieren und bei Bedarf Festsetzungen zum Erschütterungsschutz zu treffen sein.

Nach Abschluss des Bebauungsplanverfahrens sind die Anforderungen zum Schutz vor Einwirkungen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall in der individuellen Gebäudeplanung zu konkretisieren und nachzuweisen.

In der Planungsphase für die einzelnen Gebäude sind ggf. Messungen sowie eine Prognose der Erschütterungen mit einem Detailmodell unter Berücksichtigung maßgeblicher Eigenschaften individuell geplanter Gebäude einschließlich Maßnahmen erforderlich. Die Dimensionierung von Maßnahmen wird ebenfalls in dieser Phase vorgenommen und erfordert ein iteratives Vorgehen, um die Maßnahmen und den erforderlichen Aufwand zu optimieren.

In der Ausführungsphase sind für die einzelnen Gebäude die Annahmen und Prognosen während der Gebäudeerstellung durch Kontrollmessungen zu prüfen und ggf. Maßnahmen zu detaillieren oder endgültig festzulegen. Während der Bauphase erfolgt eine gutachterliche Beratung der örtlichen Bauüberwachung. Die baodynamische Begleitung endet mit Abnahmemessungen.

3 Anforderungen

Einwirkungen aus Erschütterungen und sekundärem Luftschall können als störend wahrgenommen werden. Eine störende Wahrnehmung kann nur für den Fall ausgeschlossen werden, dass die Erschütterungen nicht spürbar sind und der sekundäre Luftschall nicht hörbar ist.

Grundlage des Erschütterungsschutzes sind die zur Konkretisierung der Ziele im Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft beschlossenen „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen“ vom 06.03.2018 bzw. der aktuelle Stand der Norm DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“.

Im Hinblick auf die Einwirkung von Schienenverkehrserschütterungen ist die DIN 4150 Teil 2 „Einwirkung auf Menschen in Gebäuden“ maßgeblich. In Tabelle 1 der Norm sind Anhaltswerte für Wohnungen und vergleichbar genutzte Räume angegeben; siehe Tabelle 1.

Tabelle 1 DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Anhaltswerte für die Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen

Zeile	Einwirkungsort	Tags			Nachts		
		A_u	A_o	A_r	A_u	A_o	A_r
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vergleiche Industriegebiete BauNVO, § 9).	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vergleiche Gewerbegebiete BauNVO, § 8).	0,3	6	0,15	0,2	0,4	0,1
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Kerngebiete BauNVO, § 7, Mischgebiete BauNVO, § 6, Dorfgebiete BauNVO, § 5).	0,2	5	0,1	0,15	0,3	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reines Wohngebiet BauNVO, § 3, allgemeine Wohngebiete BauNVO, § 4, Kleinsiedlungsgebiete BauNVO, § 2).	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z. B. in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen.	0,1	3	0,05	0,1	0,15	0,05

In Klammern sind jeweils die Gebiete der Baunutzungsverordnung BauNVO angegeben, die in der Regel den Kennzeichnungen unter Zeile 1 bis 4 entsprechen. Eine schematische Gleichsetzung ist jedoch nicht möglich, da die Kennzeichnung unter Zeile 1 bis 4 ausschließlich nach dem Gesichtspunkt der Schutzbedürftigkeit gegen Erschütterungseinwirkungen vorgenommen ist, die Gebietseinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt.

Bei Einhaltung der Anhaltswerte ist davon auszugehen, dass keine erheblichen Belästigungen aus der Einwirkung von Erschütterungen vorliegen. Anforderungen für konkrete Komfortziele sind individuell abzustimmen.

Grundsätzlich handelt es bei dem Einwirkungsort um schutzbedürftige Räume, welche für den Schallschutz in der Anlage zur 24. BImSchV, Tabelle 1 Spalte 1, bestimmt¹ sind; siehe Tabelle 2.

¹ „Verfügung zum Umgang mit Erschütterungen und sekundärem Luftschall aus dem Eisenbahnbetrieb in der Planfeststellung“ des Eisenbahn-Bundesamtes vom 31.01.2017

Tabelle 2: Anlage zur 24. BImSchV Tabelle 1

Tabelle 1 Korrektursummand D in dB zur Berücksichtigung der Raumnutzung		
	Raumnutzung	D in dB
	1	2
1	Räume, die überwiegend zum Schlafen benutzt werden	27
2	Wohnräume	37
3	Behandlungs- und Untersuchungsräume in Arztpraxen, Operationsräume, wissenschaftliche Arbeitsräume, Leseräume in Bibliotheken, Unterrichtsräume	37
4	Konferenz- und Vortragsräume, Büroräume, allgemeine Laborräume	42
5	Großraumbüros, Schalterräume, Druckerräume von DV-Anlagen, soweit dort ständige Arbeitsplätze vorhanden sind	47
6	Sonstige Räume, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind	entsprechend der Schutzbedürftigkeit der jeweiligen Nutzung festzusetzen

Die Anforderungen unterscheiden sich in Abhängigkeit von der Lage des Einwirkungsortes bezüglich der betreffenden Gebietsausweisung zum Beispiel in Bebauungsplänen und sollen sich an der Nutzung und dem Umfeld orientieren. Die Anhaltswerte werden unterschieden für den Tageszeitraum 06:00 Uhr bis 22:00 Uhr und den Nachtzeitraum 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr, wobei für den Nachtzeitraum besonders hohe Anforderungen und damit entsprechend geringe Werte gelten.

Im Hinblick auf die Einwirkung von sekundärem Luftschall aus dem Schienenverkehr gibt es keine explizit geltenden Anforderungen. Im Rahmen von Planfeststellungen für neue Bahnstrecken und für Bebauungspläne werden in Hamburg für den Schienenverkehr des öffentlichen Personennahverkehrs die Immissionsrichtwerte üblicherweise aus der TA-Lärm Abschnitt 6.2 abgeleitet. Die betreffenden Immissionsrichtwerte werden wie die Anhaltswerte bei den Erschütterungen in den Tages- und Nachtzeitraum unterschieden.

Im Rahmen der Planfeststellung von Bahnstrecken¹ werden als Anforderung zum sekundären Luftschall dagegen die in der oben angegebenen Tabelle 2 genannten Korrektursummanden um 3 dB erhöht und als Immissionsrichtwert zum Vergleich mit dem Mittelungspegel herangezogen.

Im Bebauungsplan-Entwurf Hamburg St. Georg 43 Stand Februar 2021 sind Festsetzungen von Urbanem Gebiet und von Kerngebiet vorgesehen und es gelten dort die betreffenden erschütterungstechnischen Anforderungen:

- Kerngebiet: DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 3,
- Urbanes Gebiet²: DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 3.

In Hamburg ist es – wie oben beschrieben üblich – sich für den sekundären Luftschall an den Immissionsrichtwerten der TA-Lärm Abschnitt 6.2 zu orientieren.

Auf dem Baugrundstück ist der Bau eines Gewerbegebäudes mit Büros vorgesehen. Für die geplante Nutzung sind die Anhaltswerte gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 3 für Misch- und Kerngebiete gültig.

Für eine Nutzung mit Wohnen oder einer vergleichbaren Nutzung mit einer hohen Schutzbedürftigkeit in der Nacht gelten Anhalts- und Immissionsrichtwerte für tags 06 Uhr bis 22 Uhr und nachts 22 Uhr bis 06 Uhr.

Für eine gewerbliche Nutzung werden aufgrund der nicht vorliegenden hohen Schutzbedürftigkeit in der Nacht die Anhalts- und Immissionsrichtwerte für tags 06 Uhr bis 22 Uhr angesetzt.

4 Erschütterungstechnische Bewertung

Die Schienenverkehrs-Erschütterungen breiten sich im Boden mit dem Abstand in einen größeren Raum aus, so dass sich die Schwingungsamplitude mit zunehmendem Abstand vermindert. Die Schienenverkehrs-Erschütterungen werden von vielen Parametern beeinflusst und sind für die praktischen Fragestellungen nicht wie die Ausbreitung und Reflexion von primärem Luftschall theoretisch ausreichend genau beschreibbar bzw. mit einer sehr großen Streubreite verbunden. Aus diesem Grund basieren erschütterungstechnische Untersuchungen auf Schwingungsmessungen auf dem betreffenden Grundstück.

² Das Urbane Gebiet (§ 6a BauNVO) ist erst durch die Baurechtsnovelle im Mai 2017 eingeführt worden und wird durch die DIN 4150 noch nicht explizit bestimmten Anhaltswerten zugeordnet. Aufgrund des gemischten Gebietscharakters des Baugebietes wird hilfsweise eine Einordnung analog der Misch- und Kerngebiete bei der Beurteilung der Schutzbedürftigkeit vorgenommen.

In Richtlinien liegen empirische Angaben zur Einschätzung des Einflussbereiches von Schienenverkehrs-Erschütterungen vor.

Im vorliegenden Bebauungsplanverfahren befindet sich das Plangebiet im Einflussbereich der U-Bahn in einem Tunnel.

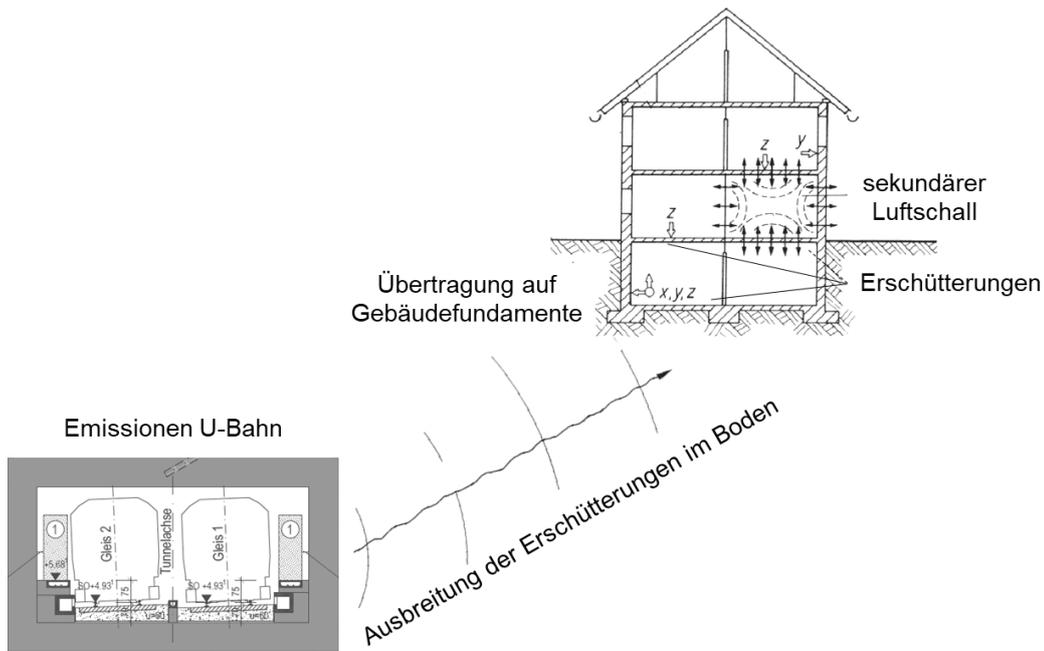


Abbildung 3: Erschütterungsübertragung Tunnel-Gebäude, Prinzipskizze

Gemäß VDI 3837 „Erschütterungen in der Umgebung von oberirdischen Schienenverkehrswegen“ können in Gebäuden bis in Abstände von 25 m von U-Bahnstrecken und 40 m von S-Bahnstrecken Erschütterungen auftreten, die spürbar sind und die Anhaltswerte nach DIN 4150 Teil 2 überschreiten. Es handelt es sich um oberirdische Schienenwege und ungefähre Abstände bei konventioneller Bauweise. Bei ungünstigen Randbedingungen, insbesondere bei – im Hinblick auf die Ausbreitung – ungünstigen Baugrundeigenschaften, können größere Abstände maßgeblich sein.

Im vorliegenden Fall ist die Vorgabe der Hamburger Hochbahn AG für die zukünftige Verkehrsentwicklung eine U-Bahn-Verkehrshäufigkeit mit einem 90 s-Takt je Fahrtrichtung bzw. zwischen 00:30 Uhr und 04:30 Uhr mit einem 150 s-Takt zu berücksichtigen.

Die einzuhaltenden Anhalts- bzw. Richtwerte berücksichtigen die Ereignisse mit maximalen Immissionen, maximale bewertete Schwingstärke $KB_{F_{max}}$ bzw.

Maximalpegel L_{\max} , sowie in Abhängigkeit von der Verkehrshäufigkeit mittlere Immissionen, Beurteilungs-Schwingstärke KB_{Tr} und Mittelungspegel L_m .

Bei Immissionen mit gerade spürbaren Erschütterungen der einzelnen Vorbeifahrten können sich aufgrund der sehr hohen zu berücksichtigenden Verkehrshäufigkeit bereits Überschreitungen der Anhaltswerte für mittlere Immissionen ergeben.

Aufgrund dieser Randbedingungen ist der Einflussbereich einer möglichen Betroffenheit zur sicheren Seite festzulegen und wird im vorliegenden Fall mit 50 m zum U-Bahntunnel festgelegt.

Dieser Abstand kann aus der messtechnischen und prognosetechnischen Erfahrung mit erschütterungstechnischen Untersuchungen an unterirdischen U- Bahnstrecken in Hamburg bestätigt werden.

Innerhalb eines Abstands von 50 m zum U-Bahntunnel ist bei den Gebäuden mit einer Wohnnutzung oder wohnähnlichen Nutzung ohne Maßnahmen zum Erschütterungsschutz wegen der hohen für die Zukunft zu berücksichtigenden U-Bahnverkehrshäufigkeit und aufgrund der hohen Anforderungen nachts von einer Überschreitung der Anforderungen auszugehen; siehe Abbildung 4.

Bei den Gebäuden ohne Wohnnutzung bzw. wohnähnliche Nutzung wären genauere Untersuchungen für das konkret geplante Gebäude erforderlich, um die Einhaltung der dann dort tags geltenden Anforderungen erforderlichenfalls mit Maßnahmen zum Erschütterungsschutz nachzuweisen.

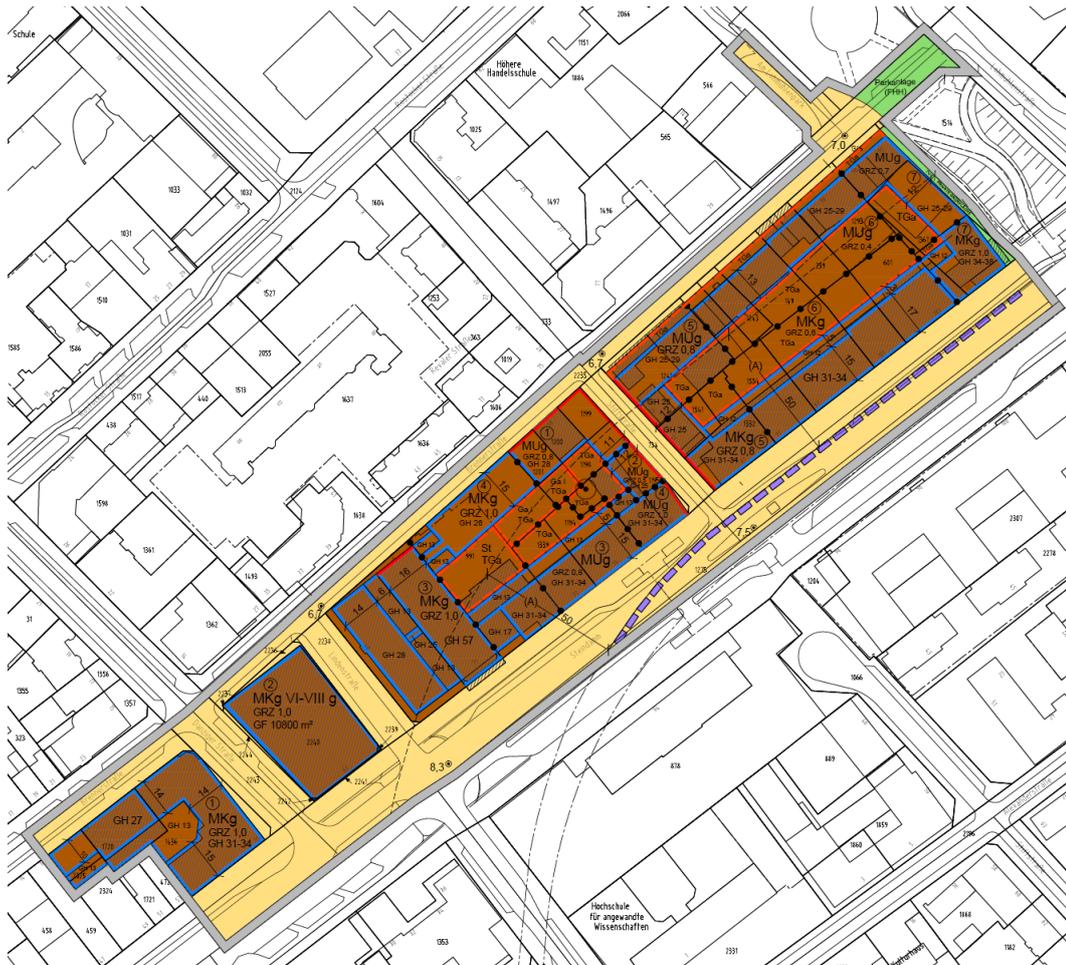


Abbildung 4: Bebauungsplan-Entwurf St. Georg 43 (Ausschnitt), gestrichelte Linie 50 m Abstand zum U-Bahntunnel, Bezirksamt Hamburg-Mitte, Stand Februar 2021

Es wird empfohlen, für neu zu errichtende Gebäude im Plangebiet des Bebauungsplans St. Georg 43 bis zu einem Abstand von 50 m zum U-Bahntunnel erschütterungstechnische Untersuchungen vorzunehmen, um die Einhaltung der Anforderungen erforderlichenfalls mit Maßnahmen zum Erschütterungsschutz nachzuweisen.

In der Planungsphase sind für die einzelnen Gebäude Messungen und darauf beruhende Prognosen der Erschütterungen und des sekundären Luftschalls vorzunehmen. Erforderlichenfalls sind genauere erschütterungstechnische Untersuchungen mit einem Detailmodell unter Berücksichtigung maßgeblicher Eigenschaften individuell geplanter Gebäude einschließlich von Maßnahmen vorzunehmen. Die Dimensionierung von Maßnahmen erfolgt iterativ, um die Maßnahmen und den erforderlichen Aufwand zu optimieren.

In der Ausführungsphase sind für die einzelnen Gebäude die Annahmen und Prognosen während der Gebäudeerstellung durch Kontrollmessungen zu prüfen und ggf. Maßnahmen zu detaillieren oder endgültig festzulegen. Während der Bauphase kann eine gutachterliche Beratung der örtlichen Bauüberwachung erfolgen. Die baodynamische Begleitung endet mit Abnahmemessungen.

Zur Verminderung der Immissionen aus Erschütterungsimmissionen kommen verschiedenen Maßnahmen in Betracht. Ein Abrücken der Bebauung in einen größeren Abstand vom U-Bahntunnel ist im vorliegenden Fall nicht möglich. Als Maßnahmen kommen eine möglichst massive Bauweise mit einer deutlich erhöhten, als der statisch erforderlichen Dicke der Bodenplatte, eine verbleibende steife Baugrubenwand (Bohrpfahlwand, Schlitzwand) zur Bahnstrecke mit einer erschütterungstechnisch wirksamen vertikalen elastischen Fuge zwischen der Baugrubenwand und der Untergeschosswand des Gebäudes in Betracht.

Innerhalb des Gebäudes ist als weitere Maßnahme zum Erschütterungsschutz eine zur Minimierung der Immissionen geeignete Abstimmung von Fußbodenaufbauten mit ausgeprägten dynamischen Eigenschaften wie schwimmendem Estrich vorzunehmen.

Bei besonders hohen Erschütterungsemissionen, sehr geringen Abständen oder besonders hohen Anforderungen ist darüber hinaus in Abhängigkeit von den Anregungsfrequenzen eine elastische Gebäudelagerung zur Verminderung der Erschütterungsübertragung eine wirksame Maßnahme. Im Gebäude können Erschütterungen durch die Vermeidung einer resonanznahen Anregung von Stockwerksdecken durch eine gezielte Veränderung der Strukturdynamik vermindert werden.

Bei den beschriebenen Maßnahmen handelt es sich um übliche Maßnahmen zum Erschütterungsschutz nach dem Stand der Technik. Mit diesen Maßnahmen ist eine Einhaltung der Anforderungen für die Immissionen aus Erschütterungen gemäß DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 Zeile 3 und aus dem sekundären Luftschall gemäß TA-Lärm Abschnitt 6.2 für eine Nutzung mit Gewerbe und mit Wohnen möglich, so dass gesundes Arbeiten und Wohnen gewährleistet werden kann.