

Neubau OC/BC II

**Erschütterungsprognose während der
Bauphase**

Inhaltsverzeichnis

1	Situation und Aufgabenstellung	3
2	Unterlagen	4
3	Bewertungsgrundlagen	5
3.1	Allgemeines zur Beurteilung von Erschütterungen	5
3.2	Erschütterungen – DIN 4150, Teil 2: Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden	5
3.3	Erschütterungen – DIN 4150, Teil 3: Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf bauliche Anlagen	9
3.4	Bruker NMR	12
3.5	LTQ Orbitrap	15
3.6	Einordnung der Bebauung	16
3.7	Angesetzte Grenzwerte	17
4	Bauablauf und Baugeräte	18
5	Grundlagen der Prognoseberechnung	19
5.1	Allgemeines zur Prognose bzgl. der Bewertung nach DIN 4150-3	19
5.2	Abbrucharbeiten	21
5.3	Bagger für Aushubarbeiten	23
5.4	Verdichtungsarbeiten	24
5.5	Bohrgeräte	27
5.6	Ziehen der Verbauträger	27
5.7	LKW-Verkehr/Kipplader/Radlader	28
5.8	Pumpen/Stromaggregate	29
6	Prognoseergebnisse	30
6.1	Abbrucharbeiten	30
6.2	Verdichtungsarbeiten	33
7	Bewertung und Empfehlungen	36

1 Situation und Aufgabenstellung

Für die Universität Münster wird der Neubau des Gebäudes OC/BC II in der Correnstraße geplant. Das Baufeld für den Neubau befindet sich zwischen dem Gebäude OC/BC I und dem Gebäude der ehemaligen Isotrophenchemie. Im Neubau sollen erschütterungsempfindliche NMR-Spektrometer und Massenspektrometer (LTQ-Orbitrap) betrieben werden, die teilweise in den umliegenden Gebäuden im Einsatz sind. Um einen störungsfreien Betrieb der Geräte zu gewährleisten, wurden baodynamische Untersuchungen durchgeführt und der Neubau OC/BC II entsprechend dimensioniert.

Im Zuge der Planung wurde eine Teilung der Gebäude in die Bereiche Forschung und Werkstatt favorisiert, welche nun umgesetzt werden soll. Der derzeitige Bauablauf sieht vor, dass zunächst das Forschungsgebäude errichtet werden soll, anschließend sollen die empfindlichen Geräte aus dem OC/BC I und dem Gebäude der ehem. Isotrophenchemie in den Neubau umgezogen werden. Sobald der Umzug abgeschlossen ist, wird das Gebäude der ehem. Isotrophenchemie zurückgebaut und das neue Werkstattgebäude parallel zur Correnstraße errichtet (siehe Abbildung 1).

Im Zuge der Bauarbeiten ist mit kritischen Erschütterungseinwirkungen im Bestand und nach Umzug im OC/BC II zu rechnen. Im Allgemeinen sind Abrissarbeiten, Verdichtungsarbeiten und das Erstellen des Baugrubenverbau besonders erschütterungsintensiv, weshalb eine Erschütterungsprognose unter Berücksichtigung der DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“ und anhand von Herstellergrenzwerten der einzelnen Geräte erstellt werden sollte.



Abbildung 1. Lageplan [1] der Gebäude OC/BC II (dunkelrot) und den Bestandsgebäuden (grau).

2 Unterlagen

- [1] Planunterlagen,
„2437_20241031_FXX_EB_---_BTM_Erläuterungsbericht_Nutzer.pdf“,
„2437_20240806_FBL_BR_---_BTM_Baulogistikkonzept Index b.pdf“,
Verbauplanung: „2437_FTP_3_SC_21-A_FU_TWP_02_P.pdf“,
Verbauplanung: „2437_FTP_3_LA_21-A_FU_TWP_02_P.pdf“
per Downloadlink von Frau Rotthauwe am 31.03.2025
- [2] VDI 2038 Blatt 2, Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen
Einwirkungen. Blatt 2: Schwingungen und Erschütterungen – Prognose, Mes-
sung, Beurteilung und Minderung, Januar 2013
- [3] Müller-BBM Bericht M156001/01, „BLB Bau- und Liegenschaftsbetrieb NRW
Niederlassung Münster, Universität Münster, Neubau OC/BC II, Baudynamik“,
vom 15. Juni 2020
- [4] Installationsspezifikationen mit Erschütterungsgrenzwerten für die Messgeräte:
„NMRVorgaben_zur_Gebäudeschwingung.pdf“,
„MS_LTQ_Orbitrap_XL_Preinstallation_Requirements.pdf“
- [5] DIN 4150 Teil 1: Erschütterungen im Bauwesen, Vorermittlung von Schwin-
gungsgrößen, Juni 2001
- [6] DIN 4150 Teil 2: Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in
Gebäuden, Februar 1999
- [7] DIN 4150 Teil 3: Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf bauliche
Anlagen, Dezember 2016
- [8] DIN 45669-1: Messung von Schwingungsimmissionen –
Teil 1: Schwingungsmesser – Anforderungen und Prüfungen. 2020-06
- [9] „Bauwerkerschütterungen durch Tiefbauarbeiten, Grundlagen – Messergeb-
nisse - Prognosen“, M. Achmus, J. Kaiser, F. Tom Wörden, Institut für Baufor-
schung e. V. Hannover, 2004
- [10] „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungs-
immissionen“, LAI Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz,
Stand: 06.03.2018

3 Bewertungsgrundlagen

3.1 Allgemeines zur Beurteilung von Erschütterungen

Im Gegensatz zum Lärm liegen für die Beurteilung von Erschütterungen keine gesetzlich festgeschriebenen Grenzwerte vor. In Ermangelung von gesetzlichen Vorgaben wird regelmäßig auf die Normenreihe der DIN 4150 (Erschütterung im Bauwesen [6], [7]) als antizipiertes Sachverständigengutachten zur Konkretisierung des Begriffs der schädlichen Umwelteinwirkung zurückgegriffen. Der Teil 2 dieser Norm beinhaltet dabei Anhaltswerte, bei deren Einhalten eine erhebliche Belästigung Betroffener nicht zu erwarten ist. Diese Anhaltswerte dürfen jedoch nicht schematisch angewandt werden und müssen jeweils den konkreten Einzelfall berücksichtigen. Der Teil 3 beinhaltet Anhaltswerte, bei deren Einhaltung Bauschäden im Sinne der Norm nicht zu erwarten sind.

3.2 Erschütterungen – DIN 4150, Teil 2: Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Zur Bewertung der Einwirkung von Erschütterungen auf Menschen wird die bewertete Schwingstärke $KB_F(t)$ nach DIN 45669-1 [8] herangezogen. Die bewertete Schwingstärke $KB_F(t)$ ist dabei nach DIN 4150 Teil 2 [6] als gleitender Effektivwert des frequenzbewerteten Erschütterungssignals (Zeitbewertung 0,125 sec, "FAST") definiert.

Die Beurteilung erfolgt anhand von 2 Beurteilungsgrößen:

- KB_{Fmax} , die maximale bewertete Schwingstärke
- KB_{FTr} , die Beurteilungsschwingstärke

Die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} ist der Maximalwert der bewerteten Schwingstärke $KB_F(t)$, welche während der jeweiligen Beurteilungszeit (einmalig oder wiederholt) auftritt.

Die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} berücksichtigt die Häufigkeit und Dauer der Erschütterungsereignisse. Sie wird mit Hilfe eines Taktmaximalwertverfahrens (Taktzeit = 30 sec) ermittelt.

Die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr} ergibt sich dabei nach folgender Gleichung:

$$KB_{FTr} = KB_{FTm} \cdot \sqrt{\frac{T_e}{T_r}} \quad (1)$$

mit

- T_r = Beurteilungszeit (tags 16 Std., nachts 8 Std.)
- T_e = Einwirkzeit
- KB_{FTm} = Taktmaximal-Effektivwert. Dieser ergibt sich aus der Wurzel aus den Mittelwerten der quadrierten Taktmaximalwerte (KB_{Fmax} -Werte) der Einzelereignisse.

Innerhalb der Beurteilungszeit werden tagsüber folgende Ruhezeiten definiert:

- werktags von 06:00 bis 07:00 Uhr und von 19:00 bis 22:00 Uhr sowie
- sonn- und feiertags von 06:00 bis 22:00 Uhr.

Erschütterungseinwirkungen während der Ruhezeiten führen in Wohnungen zu erhöhten Störwirkungen und werden bei der Beurteilungs-Schwingstärke derart berücksichtigt, dass diese Zeiten mit dem Faktor 2 gewichtet werden. Dadurch ergibt sich der Wert der Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} nach folgender Gleichung zu:

$$KB_{FTr} = \sqrt{\frac{1}{T_r} (T_{e1} \cdot KB_{FTm1}^2 + 2T_{e2} \cdot KB_{FTm2}^2)} \quad (2)$$

mit

- T_r = Beurteilungszeit (tags 16 Std., nachts 8 Std.)
- T_{e1} = Einwirkzeit außerhalb der Ruhezeiten
- T_{e2} = Einwirkzeit während der Ruhezeiten
- KB_{FTm1} = Taktmaximal-Effektivwert außerhalb der Ruhezeiten
- KB_{FTm2} = Taktmaximal-Effektivwert während der Ruhezeiten

Die Beurteilung erfolgt nach nachstehend beschriebener Vorgehensweise:

Ermittlung der maximalen bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} und Vergleich mit den Anhaltswerten A_u und A_o nach Tabelle 1:

- Ist KB_{Fmax} kleiner oder gleich dem (unteren) Anhaltswert A_u , dann ist die Anforderung dieser Norm eingehalten.
- Ist KB_{Fmax} größer als der (obere) Anhaltswert A_o , dann ist die Anforderung nicht eingehalten.
- Ist KB_{Fmax} größer als A_u , aber kleiner, höchstens gleich A_o , gilt die Anforderung dieser Norm dann als eingehalten, wenn die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTr} nicht größer als A_r nach Tabelle 1 ist.

Für die Beurteilung von Erschütterungen, die durch Baumaßnahmen verursacht werden, nennt die Norm ein dreistufiges Beurteilungsschema, welches auch als Handlungsgrundlage im Vorfeld der Planung dienen kann.

Das Beurteilungsschema weist Anhaltswerte tagsüber für verschiedene Zeiträume der Einwirkungen (< 1 Tag, 6 bis 26 Tage, 26 bis 78 Tage) aus. Für Einsatzdauern zwischen 1 und 6 Tagen sind die angegebenen Anhaltswerte zu interpolieren.

Für länger als 78 Tage einwirkende Erschütterungen macht die Norm keine Angaben. Es sollte dann nach den besonderen Gegebenheiten des Einzelfalles individuell beurteilt werden. In der Regel erfolgt dann die Beurteilung anhand der Anhaltswerte nach Tabelle 1 der DIN 4150-2. Die Angabe der Dauer der Einwirkungen bezieht sich dabei nicht auf die Gesamtdauer einer Baumaßnahme sondern nur auf die Zeiten, in denen in den jeweils betroffenen Gebäuden tatsächlich Erschütterungen auftreten. Dabei sind Tage mit Erschütterungen, die unter den jeweiligen Werten der Tabelle 1 der DIN 4150-2 für A_u oder A_r liegen, nicht mitzuzählen.

Tabelle 1. Anhaltswerte nach DIN 4150-2, Tabelle 2 für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen (außer Baustellensprengungen).

Dauer	$D \leq 1$ Tag			6 Tage < $D \leq 26$ Tage			26 Tage < $D \leq 78$ Tage		
Anhaltswert	A_u	$A_o^*)$	A_r	A_u	$A_o^*)$	A_r	A_u	$A_o^*)$	A_r
Stufe I	0,8	5	0,4	0,4	5	0,3	0,3	5	0,2
Stufe II	1,2	5	0,8	0,8	5	0,6	0,6	5	0,4
Stufe III	1,6	5	1,2	1,2	5	1,0	0,8	5	0,6

*) Für Gewerbe- und Industriegebiete gilt $A_o = 6$

Für Bauarbeiten während des Nachtzeitraums sind wiederum die Anhaltswerte nach DIN 4150-2, Tabelle 1 [6] heranzuziehen.

Tabelle 2. Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen (DIN 4150-2, Tabelle 1 [6]).

Zeile	Einwirkungsort	Tag			Nacht		
		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 (vgl. Industriegebiete § 9 BauNVO)	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vgl. Gewerbegebiete § 8 BauNVO)	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 (vgl. Kerngebiete § 7 BauNVO, Mischgebiete § 6 BauNVO, Dorfgebiete § 5 BauNVO)	0,2	5	0,1	0,15	0,3	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vgl. Reine Wohngebiete § 3 BauNVO, allgemeine Wohngebiete § 4 BauNVO, Kleinsiedlungsgebiete § 2 BauNVO)	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z. B. Krankenhäuser, 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 – 4 entsprechen. Eine schematische Gleichsetzung ist jedoch nicht möglich, da die Kennzeichnung unter Zeile 1 – 4 ausschließlich nach dem Gesichtspunkt der Schutzbedürftigkeit gegen Erschütterungseinwirkung vorgenommen worden ist, die Gebietseinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt.

Die in Tabelle 1 genannten Stufen klassieren die Einwirkungen folgendermaßen:

- Stufe I: Bei Unterschreitung ist auch ohne besondere Vorinformation nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen.
- Stufe II: Bei Unterschreitung ist ebenfalls noch nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen, falls die nachfolgend genannten Maßnahmen a) bis e) und erforderlichenfalls auch Maßnahme f) ergriffen werden. Bei zunehmender Überschreitung auch dieser Stufe werden mit wachsender Wahrscheinlichkeit erhebliche Belästigungen auftreten.
- Ist zu erwarten, dass Erschütterungseinwirkungen auftreten, die oberhalb der Anhaltswerte der Stufe II liegen, so ist zu prüfen, ob der Einsatz weniger erschütterungsintensiver Verfahren möglich ist.
- Stufe III: Zumutbarkeitsschwelle, bei deren Überschreitung die Fortführung von Bauarbeiten nur unter Berücksichtigung und Vereinbarung besonderer Maßnahmen möglich ist.

Die Norm nennt folgende Maßnahmen bzw. Handlungsanleitungen zur Minderung erheblicher Belästigungen:

- a) Umfassende Information der Betroffenen über die Baumaßnahmen, die Bauverfahren, die Dauer und die zu erwartenden Erschütterungen aus dem Baubetrieb.
- b) Aufklärung über die Unvermeidbarkeit von Erschütterungen infolge der Baumaßnahmen und die damit verbundenen Belästigungen.
- c) Zusätzliche baubetriebliche Maßnahmen zur Minderung und Begrenzung der Belästigungen (Pausen, Ruhezeiten, Betriebsweise der Erschütterungsquelle, usw.)
- d) Benennung einer Ansprechstelle, an die sich Betroffene wenden können, wenn sie besondere Probleme durch Erschütterungseinwirkungen haben.
- e) Information der Betroffenen über die Erschütterungseinwirkungen auf Gebäude.
- f) Nachweis der tatsächlich auftretenden Erschütterungen durch Messungen sowie deren Beurteilung bezüglich der Wirkungen auf Menschen und Gebäude.

Die Maßnahmen a) bis e) sind vor Beginn der erschütterungsverursachenden Baumaßnahme durchzuführen.

3.3 Erschütterungen – DIN 4150, Teil 3: Erschütterungen im Bauwesen – Einwirkungen auf bauliche Anlagen

Der Teil 3 der Norm DIN 4150 [7] nennt Anhaltswerte, bei deren Einhaltung Bauschäden im Sinne der Norm¹ nicht zu erwarten sind. Werden diese Anhaltswerte eingehalten, so treten Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes, deren Ursachen auf Erschütterungen zurückzuführen wären, nach den bisherigen Erfahrungen nicht auf. Werden trotzdem Schäden beobachtet, ist davon auszugehen, dass andere Ursachen für diese Schäden maßgebend sind. Werden die Anhaltswerte überschritten, so folgt daraus nicht, dass Schäden auftreten müssen. Bei Überschreitungen sind gegebenenfalls weitergehende Untersuchungen erforderlich, beispielsweise die Spannungsermittlung und -beurteilung nach den in DIN 4150-3 [7], Abschnitt 4.3 und 4.4 erläuterten Verfahren.

Für kurzzeitige Erschütterungseinwirkungen (z. B. Sprengungen) geltende Anhaltswerte sind in Tabelle 3 aufgeführt. Als kurzzeitig sind Erschütterungen definiert, deren Häufigkeit des Auftretens nicht ausreicht, um Materialermüdungserscheinungen hervorzurufen, und deren zeitliche Abfolge nicht geeignet ist, um in der betroffenen Struktur Resonanzen zu erzeugen.

¹ Bauschäden im Sinne der Norm sind

- die Beeinträchtigung der Standsicherheit von Gebäuden und Bauteilen,
- die Verminderung der Tragfähigkeit von Decken,
- das Abreißen von Trenn- und Zwischenwänden von tragenden Wänden oder Decken,
- das Auftreten von Rissen in Putz von Wänden,
- die Vergrößerung bereits vorhandener Risse in Gebäuden.

Wenn Bauwerke in Oberschwingungen angeregt werden, können die Höchstwerte auch in anderen Deckenebenen oder in der Fundamentebene auftreten. Für ihre Beurteilung dürfen ebenfalls die Werte der Tabelle 3 der DIN 4150-3 herangezogen werden.

Tabelle 3. Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i [mm/s] zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Bauwerke nach DIN 4150-3 [7], Tabelle 1.

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit $v_{i,max}$ in mm/s				
		Fundament, alle Richtungen, $i = x, y, z$			Oberste Deckenebene, horizontal, $i = x, y$	Decken, vertikal, $i = z$
		Frequenzen			alle Frequenzen	alle Frequenzen
		< 10 Hz	10 bis 50 Hz	50 bis 100 Hz*		
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20 – 40	40 – 50	40	20
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder ihrer Nutzung gleichartige Bauten	5	5 – 15	15 – 20	15	20
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütte- rungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und beson- ders erhaltenswert (z. B. unter Denkmalschutz stehend) sind	3	3 – 8	8 – 10	8	20**
* Bei Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden.						
** Zur Verhinderung leichter Schäden kann eine deutliche Abminderung dieses Anhaltswertes notwendig werden.						

Für stationäre Erschütterungseinwirkungen auf Gebäude werden die in Tabelle 4 beschriebenen Anhaltswerte genannt.

Tabelle 4. Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i [mm/s] zur Beurteilung der Wirkung von Dauererschütterungen auf Bauwerke nach DIN 4150-3, Tabelle 3.

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit $v_{i,max}$ in mm/s	
		Oberste Deckenebene, horizontal, alle Frequenzen	Decken, vertikal, alle Frequenzen
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	10	10
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5	10
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und Zeile 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z. B. unter Denkmalschutz stehend) sind	2,5	10*
* Zur Verhinderung leichter Schäden kann eine deutliche Abminderung dieses Anhaltswertes notwendig werden.			

Hinweis:

Die DIN 4150-3 [7] empfiehlt im Anhang C u. a., v. a. bei nicht-bindigen Böden einen Mindestabstand einer durch Vibrationsrammung einzubringenden Spundwand zum Gebäude zu wählen, um die Gefahr von Sackungen des Baugrunds im Nahbereich von Gebäude zu reduzieren. Dabei sollte „der Abstand zu Gebäuden so gewählt werden, dass zwischen Erschütterungsquelle und Gebäudefundament ein Winkel von mindestens 30° zur Vertikalen eingehalten wird. Im Grundwasser kann ein größerer Winkel, 45°, angebracht sein“ (siehe Abbildung 2).

„Beim Einsatz von Schlagrammverfahren (z. B. Dieselramme, pneumatische Ramme) ist die Gefahr von Sackungen dieser Art erheblich geringer“, können jedoch nicht prognostiziert werden, so dass auch hier empfohlen wird, die angegebenen Winkel einzuhalten.

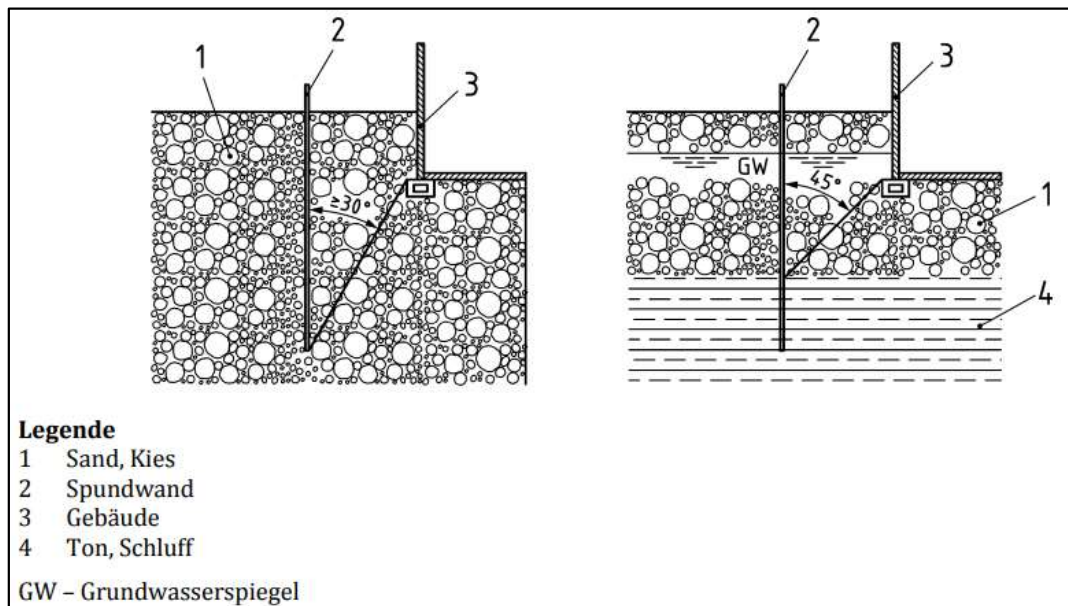


Abbildung 2. Schematische Darstellung der Abstände zwischen Spundwand und Gebäude aus DIN 4150-3, Anhang C [7].

3.4 Bruker NMR

Für die Aufstellflächen der Geräte der Fa. Bruker existieren seitens des Herstellers Anforderungen an die Erschütterungsruhe in Anlehnung der VC-Kurven gem. VDI 2038, Blatt-2 [2]. Das Erschütterungslevel für die NMR-Geräte der Fa. Bruker reichen je nach Ausstattung (Isolator Options EMI, ADI oder API) und der zu bewertenden Richtung (vertikal bzw. horizontal) im Bereich von Nano-C bis Nano-F, siehe Abbildung 3.

Im Zuge der baulastdynamischen Untersuchungen, dokumentiert im Bericht [3], wurde empfohlen das Dämpfungssystem API einzusetzen, um die Erschütterungsempfindlichkeit des Geräts zu reduzieren.

Eine Beschreibung der Eignung der VC-Kriterien für verschiedene Einsatzgebiete ist im Folgenden aufgestellt:

VC-A (50 µm/s)	Passend unter fast allen Umständen für optische Mikroskope mit bis zu 400-facher Vergrößerung, bis zu 8 µm Strukturbreite
VC-B (25 µm/s)	Ein geeigneter Standard für Inspektionsgeräte, allgemeine anspruchsvolle Labore, Lithografiegeräte (inklusive Stepper) bis zu 3 µm Strukturbreite
VC-C (12,5 µm/s)	Ein geeigneter Standard für Mikroskope mit bis zu 1000-facher Vergrößerung, ein guter Standard für die meisten Lithografie- und Inspektionsgeräte bis hinunter zu 1 µm Strukturbreite
VC-D (6,25 µm/s)	Passend unter fast allen Umständen für sehr hochwertige Elektronenmikroskope (REMs, TEMs), eBeam-Systeme usw., die bis an ihre Leistungsgrenze eingesetzt werden. REM > 30.000-fach, Fotolithographie mit Auflösung >0,5 µm
VC-E (3,1 µm/s)	Kriterium ist schwer einzuhalten. Geeignet für höchst sensible Systeme einschließlich Lasergeräte mit langen optischen Wegen und andere Systeme mit außergewöhnlich hohen dynamischen Stabilitätsanforderungen, vorzugsweise auf nicht unterkellerten Bodenplatten. TEM für optische Forschung, Fotolithographie mit Auflösung <0,1 µm
VC-F (1,5 µm/s)	Kriterium für extrem ruhige Forschungsräume, sehr schwierig zu erreichen; dieses Kriterium ist nur zur Charakterisierung, nicht jedoch als Auslegungskriterium geeignet
VC-G (0,8 µm/s)	Kriterium für extrem ruhige Forschungsräume, sehr schwierig zu erreichen; dieses Kriterium ist nur zur Charakterisierung, nicht jedoch als Auslegungskriterium geeignet
Nano-C (2,4 / 12,8 µm/s)	Bruker Nano-C
Nano-D (1,6 / 6,4 µm/s)	Sehr schwierig einzuhaltendes Kriterium für REM der Nanotechnik für Auflösungen bis 1 nm, Obergeschosse mit hohen Anforderungen an die dynamische Steifigkeit und Eigenfrequenz
Nano-E (0,8 / 3,2 µm/s)	Sehr schwierig einzuhaltendes Kriterium für REM der Nanotechnik für Auflösungen von 0,2 bis 0,5 nm, nur auf sehr massiven Bodenplatten und nur bei sehr günstigen Baugrundvoraussetzungen einhaltbar

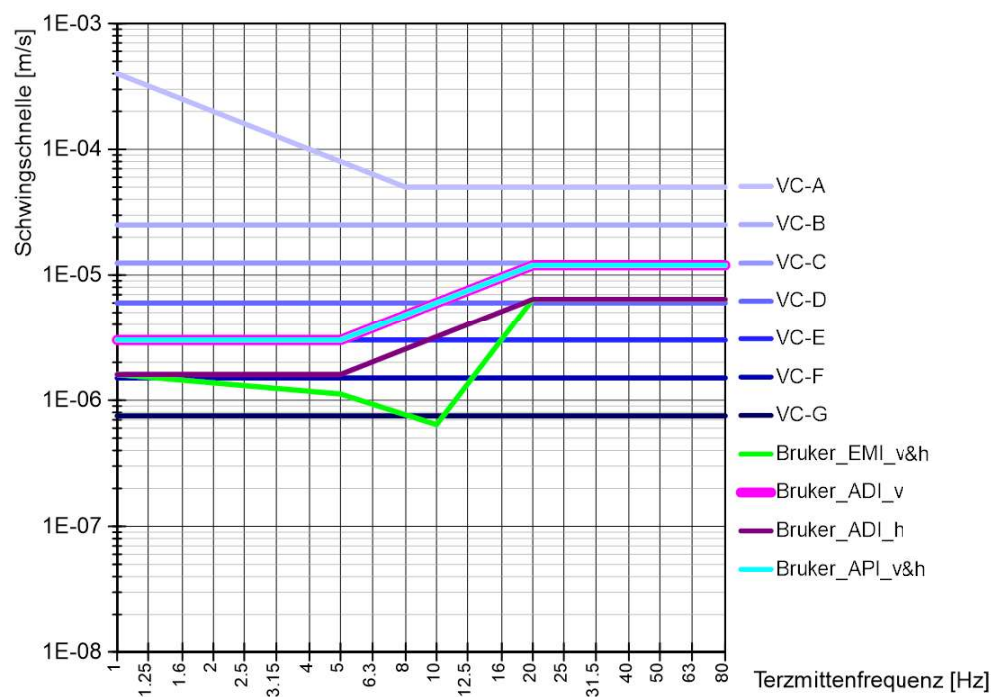


Abbildung 3. Beurteilungskriterien nach VDI 2038 – Blatt 2 [2] und Herstellergrenzkurven für die NMR-Geräte der Fa. Bruker.

3.5 LTQ Orbitrap

Für das Massenspektrometer LTQ Orbitrap der Herstellerfirma Thermo Electron (Bremen) GmbH liegen gemessene Schwinggeschwindigkeiten [4] vor, bei denen ein störungsfreier Betrieb gewährleistet werden kann. Die in der Installationsanleitung dokumentierte Grenzwertkurve ist in der folgenden Abbildung 4 dargestellt.

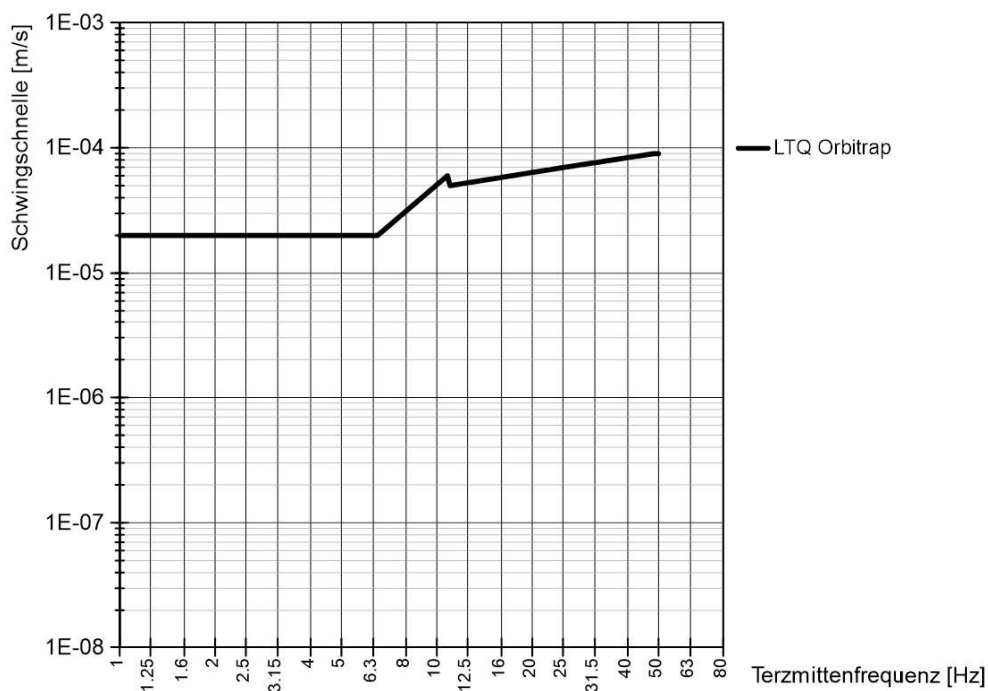


Abbildung 4. Grenzwertkurve der Herstellerfirma Thermo Electron (Bremen) GmbH für das LTQ Orbitrap.

3.6 Einordnung der Bebauung

Das Baufeld für den Neubau OC/BC II befindet sich in der Correnstraße im Innenhof zwischen den Gebäuden OC/BC I, dem ehemaligen Gebäude der Isotropenchemie und dem Hörsaal AC/OC. Der Neubau, als auch die Bestandsgebäude gehören zum Universitätsgelände und beherbergen die Institute „Organische Chemie“ und „Bio Chemie“. Gebäude in Fremdbesitz in unmittelbarer Nähe zum Neubau sind nicht vorhanden (siehe Abbildung 5). Der Abstand zu den Bestandsgebäuden beträgt minimal zwischen 0-5 m und maximal ca. 50 m. Die zur Beurteilung relevanten Immissionsorte sind vorrangig die empfindlichen Geräte im Gebäude OC/BC I (LTQ) und im Gebäude der ehem. Isotropenchemie (NMR).

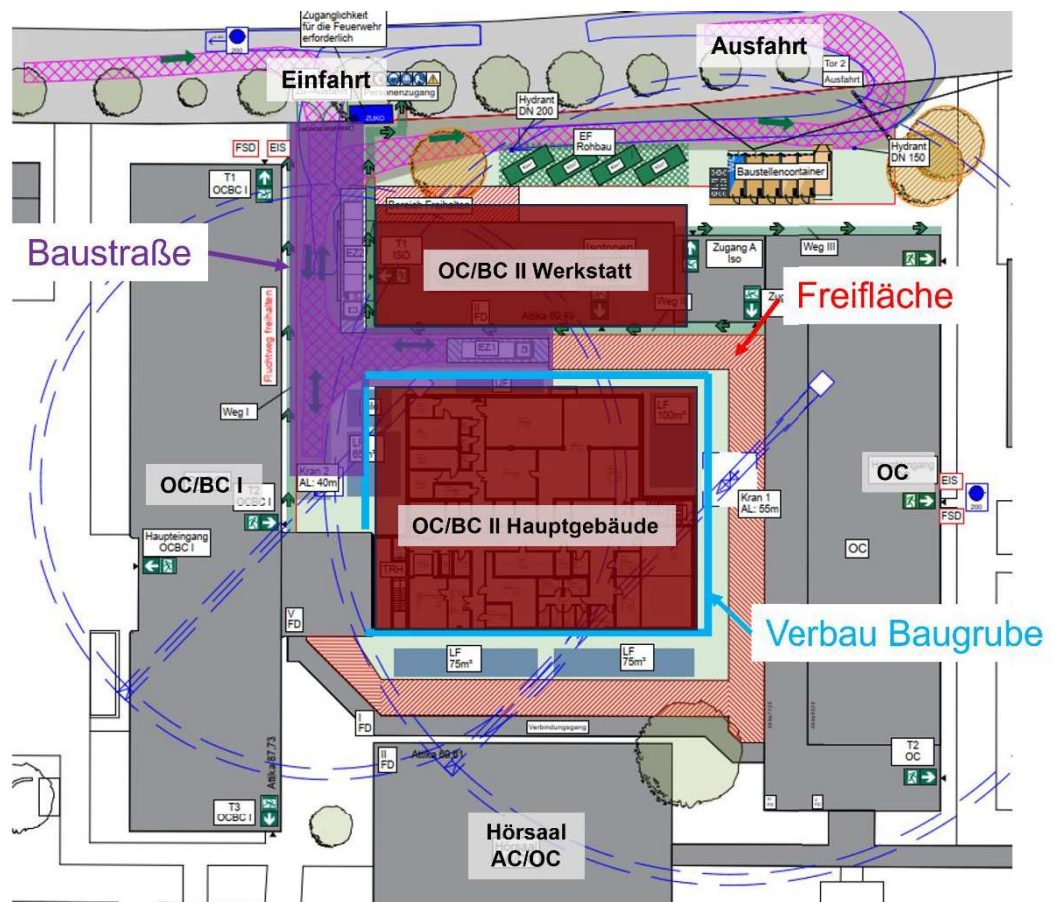


Abbildung 5. Lageplan aus [1] mit Kennzeichnung der Baustraße, der Logistikflächen und dem groben Verlauf des Baugrubenverbau, grau: Bestandsgebäude, dunkelrot: Neubau.

In Tabelle 5 sind die in der nachfolgenden Prognose berücksichtigten Gebäude inkl. Einstufung gemäß DIN 4150-3 [7] aufgeführt. Anhand von Gebäudefotos wurden Annahmen bzgl. der Baukonstruktion getroffen.

Die hier angegebenen Abstände sind als Minimalabstände zu allen hier auftretenden Bauphasen zu verstehen.

Tabelle 5. Gebäudeeinordnung gemäß DIN 4150-3 [7] sowie weitere Annahmen für die Prognose (Gebäudeart 1: Gewerblich genutzte Bauten etc., Gebäudeart 2: Wohngebäude etc.).

Adresse/Gebäude	Gebäudeart gemäß [7]	Min. Abstand zur Baustelle in [m]	Annahme Deckenart
OC/BC I	1	<1	Beton
Ehem. Isotopenchemie	1	12	Beton
OC	1	13	Beton
Hörsaal AC/OC	1	5	Beton

Da keine Fremdnutzung der Nachbarbebauung bzw. Wohnbebauung vorliegt ist eine Bewertung nach DIN 4150-2 [6] nicht erforderlich. Da die Erschütterungsempfindlichkeit der verwendeten Geräte vom Organisch – Chemischen Institut und dem Institut der Biochemie um ein Vielfaches höher sind als die Anhaltswerte der DIN 4150-3 [7], erfolgt eine Bewertung der Bauverfahren vorrangig anhand der Herstellergrenzwerte.

3.7 Angesetzte Grenzwerte

Die für die Erschütterungsprognose erforderlichen Grenz- und Anhaltswerte sind in der folgenden Tabelle 6 zusammengefasst. Die Herstellergrenzwerte sind maßgebend, da die Gebäude um Größenordnungen unempfindlicher sind.

Tabelle 6. Grenz- und Anhaltswerte für die Erschütterungsprognose.

Herstellerangabe / Norm	Grenzwert	Schwinggeschwindigkeit in [mm/s] für Vergleichbarkeit
Bruker NMR	Nano-C	0,003 bis 0,0125
LtQ	VC-B - VC-A	0,02 bis 0,09
Mikroskop	30-60 µm/s	0,03 bis 0,06
DIN 4150-3	10 mm/s	10
DIN 4150-2	nicht erforderlich	0,1-5

4 Bauablauf und Baugeräte

Ein detaillierter Bauablaufsplan liegt uns derzeit nicht vor. Anhand ähnlicher Projekte werden daher Annahmen für die verwendeten Baugeräte und deren Einsatzzeiten getroffen. Die Annahmen sind nach Vorliegen eines genauen Bauzeitenplans, sowie des eingesetzten Bauverfahrens zu überprüfen. Einige Bauverfahren sind im Bauleistungskonzept und im Erläuterungsbericht [1] beschrieben.

Um das Baufeld freizumachen, müssen Leitungen und Kanäle im Vorfeld umverlegt werden. Hierfür sind Aushub und Wiederverfüllarbeiten notwendig. Darüber hinaus ist eine Baustraße aus einer Schottertragschicht geplant.

Für die Baugrube ist ein Verbau mittels Trägerbohlwand geplant, hierfür wird ein Großbohrgerät benötigt. Die Erdaushubarbeiten finden mittels Bagger statt, die Rückverankerung wird mit einem Kleinbohrgerät erfolgen.

Darüber hinaus müssen Gründungsflächen für Behälter, Arbeitsräume, sowie Verkehrsflächen verdichtet werden. Hierzu werden voraussichtlich kleine Rüttelplatten, sowie größere Walzenzüge eingesetzt.

Weitere erschütterungsintensive Bauverfahren wie Großrammgeräte oder Sprengungen sind für die Errichtung des Neubaus OC/BC II nicht zu erwarten. Nach Fertigstellung des Hauptgebäudes ist des Weiteren mit Erschütterungen durch den Abriss des Gebäudes der ehem. Isotropenchemie zu rechnen. Hierfür wird wahrscheinlich ein Bagger (>25 to.) mit Abbruchschere und Pulverisierer eingesetzt.

Rohbauarbeiten, der Einsatz von Groß- und Kleinbohrgeräten oder Bodenverdrängungsverfahren zählen nicht zu erschütterungsintensiven Arbeiten. Für diese Art von Arbeiten ist keine Überschreitung der DIN 4150-3 [7] zu erwarten. Auch die Grenzkurve Nano-C für die NMR-Geräte kann eingehalten werden, sofern die Baugeräteführer mit besonderer Vorsicht arbeiten.

In der nachfolgenden Tabelle 7 sind die Annahmen der zu erwartenden Bauverfahren und Einsatzzeiten nach Gesamtdauer in Wochen und der täglichen Einsatzzeit aufgelöst. Für die Beurteilung nach DIN 4150-2 [6] ist nicht die Gesamtdauer („brutto“) in Wochen maßgebend, sondern die tatsächliche Einsatzzeit ohne Pause („netto“) in Tagen.

Tabelle 7. Annahmen für Einsatzzeiten einzelner Bauverfahren.

Pos.	Bauverfahren	Dauer in Wochen insgesamt	Dauer Tage am Stück
1	Großbohrgerät	4	5
2.	Kleinbohrgerät	4	5
2.	Erd- und Aushubarbeiten	8	10
3	Einsatz Rüttelplatte für Verdichtung	8	3
4.	Einsatz Walzenzug	3	2

5 Grundlagen der Prognoseberechnung

5.1 Allgemeines zur Prognose bzgl. der Bewertung nach DIN 4150-3

Die Abschätzung und Prognose der zu erwartenden Erschütterungseinwirkungen auf die Gebäude erfolgen anhand von Vergleichsmessungen und empirischen Gleichungen, die der Literatur entnommen wurden. Diese resultieren in der Regel in Amplituden der Schwinggeschwindigkeit im Zeitbereich. Vereinfachend wird angenommen, dass die Maximalamplitude im Zeitbereich gleich der Maximalamplitude im Frequenzbereich (Terzspektrum) ist. Diese Annahme trifft vor allem bei monofrequenten Anregungen (z. B. Vibrationsplatten und -walzen) zu.

Die Erschütterungsquellen und die zu betrachtenden Gebäude weisen nach bisherigem Kenntnisstand Abstände von teilweise weniger als 10 m auf. Da es für diese unmittelbare Nähe der Erschütterungsquellen zu den zu bewertenden Geräten keine pauschal anzuwendenden Prognoseverfahren gibt, gelten die vorhandenen Gleichungen streng genommen nur für das Fernfeld (keine signifikante Ausbreitung der Erschütterungen durch Raumwellen). Sofern für bestimmte Bauverfahren keine Erfahrungswerte durch Messdaten vorliegen, findet die Formel für eine näherungsweise Einschätzung der Erschütterungsimmissionen dennoch Anwendung.

Liegen Vergleichsmessungen vor, so müssen diese auf den tatsächlichen Abstand der Arbeiten zum betrachteten Gebäude bezogen werden. Dies erfolgt über die Gleichung (3):

$$A(r) = A(r_0) \cdot \left(\frac{r}{r_0} \right)^{-n} \quad (3)$$

wobei:	$A(r)$:	betrachteter Punkt
	$A(r_0)$:	Referenzpunkt
	r	Abstand Quelle → betrachteter Punkt
	r_0	Abstand Quelle → Referenzpunkt
	n :	Exponent abhängig von Typ der Anregung (harmonisch, impulsartig), Form der Erschütterungsquelle (Punkt-, Linienquelle) sowie Wellentyp (Raum-, Oberflächenwelle)

Die empirischen Gleichungen beschreiben zumeist die Erschütterungseinwirkungen bereits auf Fundamenten. Bei Vergleichsmessungen liegen in der Regel Ergebnisse im Baugrund und nicht auf Bodenplatten/Fundamenten vor. Die Übertragung vom Baugrund in die Bodenplatte geht meist mit einer Verminderung der eingeleiteten Erschütterungen einher. Beim Übergang der Erschütterungen vom Baugrund auf das Fundament oder allgemein auf die Gründung des Gebäudes werden diese durch die Elastizität des Baugrunds, die Gebäudemasse, die Art der Gründung, durch Ausmittelungseffekte in Abhängigkeit von den Grundrissabmessungen im Verhältnis zu relevanten Wellenlängen und durch weitere Effekte verändert. Daher kann kein pauschaler Faktor angegeben werden, sondern muss je nach betrachtetem Fall gewählt werden.

Neben Fundamentalschwinggeschwindigkeiten werden der Bewertung von Erschütterungen in Gebäuden die horizontalen Schwinggeschwindigkeiten von Wänden und Decken sowie die vertikalen Schwinggeschwindigkeiten von Decken zugrunde gelegt.

Bei harmonischer Anregung mit der Deckeneigenfrequenz kann der maximale Übertragungsfaktor $k_{z,\max}^{F-D} = \frac{1}{2D}$ nach DIN 4150-1 [5] abgeschätzt werden. D ist hierin ein integrales Dämpfungsmaß, dass abhängig vom Deckenaufbau ist.

Folgende Übertragungsfaktoren werden angesetzt:

- Vibration mit Resonanz:

$$1. \text{ Stahlbetondecken, } D = 0,05: \quad k_{z,\max}^{F-D} = \frac{1}{2D} = 10,0$$

$$2. \text{ Holzbalkendecke, } D = 0,0333: \quad k_{z,\max}^{F-D} = \frac{1}{2D} = 15,0$$

- Vibration ohne Resonanz (mind. 5 Hz ober- bzw. unterhalb der Resonanzfrequenz):

$$k_{z,\max}^{F-D} = 1,5$$

- für breitbandige Anregung in Abhängigkeit vom Frequenzinhalt (Bodenreaktion):

$$k_{z,\max}^{F-D} = 2,0$$

Anhaltswerte für die Resonanzfrequenzen von Deckenkonstruktionen sind in Tabelle 8 zusammengestellt.

Tabelle 8. Anhaltswerte für Deckenresonanzfrequenzen nach [7].

Deckenart	Resonanzfrequenzbereich
Stahlbetondecken im Wohnungsbau	15 – 35 Hz
Weitgespannte Stahlbetondecken im Industriebau	5 – 15 Hz

5.2 Abbrucharbeiten

5.2.1 Allgemeines

Unabhängig vom Abbruchverfahren ist darauf zu achten, dass keine großen Bauteile aus größeren Höhen fallen gelassen werden (z. B., um diese durch den Aufprall weiter zu zerkleinern). Dadurch kann es zu kritischen impulsartigen Immissionen auf die Nachbarbebauung kommen, die schwer vorab rechnerisch abzuschätzen sind. Kann dies nicht vermieden werden, sind die abzubrechenden Bauteile (z. B. Deckenteile, Unterzüge) entweder abzustützen oder aber der Aufprall durch einen geeigneten weichen Untergrund (Sandbett o. ä.) abzumildern.

Der Abbruch vom Gebäude der ehem. Isotrophenchemie muss kleinteilig und erschütterungsarm erfolgen. Durch den geringen Abstand zu den umliegenden Gebäuden ist eine Prognose aufgrund fehlender empirischer Gleichungen nicht möglich. Auf Basis von Erfahrungswerten ist eine Schädigung der Gebäude entsprechend der DIN 4150-3 jedoch nicht zu erwarten.

Während des Abbruchs ist zu erwarten, dass Einzelereignisse mit einer Dauer von weniger als 1 Sekunde die Herstellergrenzwerte der NMR-Geräte überschreiten. Dies kann durch herabfallende Gegenstände hervorgerufen werden oder durch Wippen des Abbruchbaggers bei unebenem Baugrund.

Um einen störungsfreien Betrieb der NMR-Geräte während der Bauphase zu gewährleisten, kann während besonders erschütterungsintensiver Arbeiten ein kontinuierliches Erschütterungsmonitoring eingerichtet werden. Über verschiedene Alarmierungswege wird die Baustelle umgehend über Grenzwertüberschreitungen informiert, wodurch eine Anpassung der Bauverfahren erfolgen kann.

5.2.2 Bagger mit Spitzmeißel

Meißelarbeiten, die im Rahmen von Abbrucharbeiten stattfinden, können in der Nachbarbebauung zu störenden Erschütterungen führen. Die sich daraus ergebenden Schwingschnellen können anhand eines Prognosemodells mit Hilfe des Leitfadens des Instituts für Bauforschung e. V. Hannover [9] ermittelt werden, welcher einen indirekten proportionalen Zusammenhang zwischen der Schwingschnelle auf einem Gebäudefundament und dem Abstand vorgibt.

Es wird dabei von 3 verschiedenen, in Anhängigkeit des abzubrechenden Bauteils, möglichen Baggergewichtsklassen mit folgenden Eingangsdaten ausgegangen:

1. Kompaktbagger (2-5 t)

Masse Hammer:	220 kg
Schlagzahl:	1.310 min^{-1} ($\rightarrow f = 21,8 \text{ Hz}$)
Fallhöhe (Annahme):	0,02 m
Schlagenergie:	$E = m \cdot g \cdot h = 0,0431 \text{ kJ}$

2. Bagger (8-14 t)

Masse Hammer:	950 kg
Schlagzahl:	$450 - 720 \text{ min}^{-1}$ ($\rightarrow f = 7,5-12,0 \text{ Hz}$)
Fallhöhe (Annahme):	0,02 m
Schlagenergie:	$E = m \cdot g \cdot h = 0,186 \text{ kJ}$

3. Bagger (23-29 t)

Masse Hammer:	2.000 kg
Schlagzahl:	490 min ⁻¹ (→ f = 8,2 Hz)
Fallhöhe (Annahme):	0,02 m
Schlagenergie:	$E = m \cdot g \cdot h = 0,392 \text{ kJ}$

Der ungünstigste Wert der Schwingschnelle aus Meißelarbeiten ergibt sich zu:

$$v_F = K_E \cdot \frac{\sqrt{E}}{r^n} \quad (4)$$

Dabei ist:

E	Schlagenergie in kJ
r	Abstand zur nächsten Bebauung in m
K_E, n	empirische Größen, Ermittlung aus Erfahrungswerten

Nachfolgend wird $K_E = 18,52 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \frac{\text{m}^n}{\sqrt{\text{kNm}}}$ und $n = 1$ angesetzt. Mit diesen Konstanten

wird gemäß [8] die resultierende Schwinggeschwindigkeit v_F auf einem Gebäudefundament zu 97,5 % eingehalten.

Die Anregung mittels eines Stemmhammers dieser Größe erfolgt zwar immer mit der gleichen Frequenz, jedoch geht der Großteil des Energieeintrags beim Zerschlagen des abzureißenden Materials verloren, so dass davon ausgegangen werden kann, dass es durch den Einsatz des Stemmhammers nicht zu einer harmonischen Anregung der Tragwerkstruktur kommt. Auf der sicheren Seite wird jedoch für Stahlbetondecken ein moderater Überhöhungsfaktor von 2,5 angesetzt, da die Anregung innerhalb potenzieller Deckeneigenfrequenzen liegt.

5.2.3 Presslufthammer

Analog zu Baggern mit Spitzmeißel kann für handgeführte Presslufthämmer der Ansatz aus Abschnitt 5.2.2 verwendet werden. Als Eingangsdaten wird angesetzt:

Masse Presslufthammer:	21 kg
Schlagzahl:	1.140 min ⁻¹ (→ f = 19,0 Hz)
Fallhöhe (Annahme):	0,02 m
Schlagenergie:	$E = m \cdot g \cdot h = 43,1 \text{ J} = 0,004 \text{ kJ}$

5.2.4 Stemmhammer im Handbetrieb

Erfahrungsgemäß ist der Einsatz von handgeführten Stemmhämmern hinsichtlich der Erschütterungsemissionen auf Nachbargebäude gemäß DIN 4150, Teil 2 [6] und 3 [7] als unkritisch einzustufen. Innerhalb der Gebäude können spürbare Erschütterungen gemäß DIN 4150, Teil 2 lokal begrenzt auftreten, sind jedoch aufgrund der komplexen Ausbreitungsmöglichkeiten innerhalb der Gebäudestruktur nicht ohne

unverhältnismäßig hohen Aufwand prognostizierbar. Gebäudeschäden gemäß DIN 4150, Teil 3 sind nicht zu erwarten, sofern die Hinweise in Abschnitt 5.2.1 beachtet werden.

Es erfolgt keine weitere Betrachtung.

5.2.5 Bagger mit Abbruchzange

Neue und große Abbruchzangen zermürben durch anfängliche Vibration der Zange das abzubrechende Material. Dies kann zu Resonanzanregungen und damit ebenfalls zu hohen Erschütterungseinwirkungen führen. Vor Beginn der Bauarbeiten sind daher die für den Abbruch vorgesehenen Bauverfahren bzw. Baumaschinen mit Kenndaten zur Bewertung durch den AN dem AG vorzulegen. Innerhalb der Gebäude sind spürbare Erschütterungen gemäß DIN 4150, Teil 2 zu erwarten, jedoch aufgrund der komplexen Ausbreitungsmöglichkeiten innerhalb der Gebäudestruktur nicht ohne unverhältnismäßig hohen Aufwand prognostizierbar. Gebäudeschäden gemäß DIN 4150, Teil 3 sind nicht zu erwarten, sofern die Hinweise in Abschnitt 5.2.1 beachtet werden.

Kurzzeitige Einzelüberschreitungen des Herstellergrenzwerts der NMR-Geräte können nicht ausgeschlossen werden. Es erfolgt keine weitere Betrachtung.

5.2.6 Beton- oder Mauerwerksäge

Erfahrungsgemäß ist der Einsatz von Beton- oder Mauerwerksägen zum Abbruch von Bauteilen hinsichtlich der Erschütterungsemissionen auf Nachbargebäude gemäß DIN 4150, Teil 2 [6] und 3 [7] in der Regel als unkritisch einzustufen. Gleiches ist auch innerhalb des Gebäudes zu erwarten, sofern die Hinweise, insbesondere bzgl. des Fallenlassens von größeren Gebäudeteilen, in Abschnitt 5.2.1 beachtet werden.

Es erfolgt keine weitere Betrachtung.

5.3 Bagger für Aushubarbeiten

Erfahrungsgemäß ist der Einsatz von Baggern für reine Aushubarbeiten hinsichtlich Erschütterungsemissionen gemäß DIN 4150, Teil 2 [6] und 3 [7] in der Regel als unkritisch einzustufen. Sollten jedoch größere Steine/Findlinge mit ausgehoben werden, sollten diese nur aus geringer Höhe fallen gelassen werden, um kurzzeitige Impulse zu minimieren.

Kurzzeitige Einzelüberschreitungen des Herstellergrenzwerts der NMR-Geräte können nicht ausgeschlossen werden. Es erfolgt keine weitere Betrachtung.

5.4 Verdichtungsarbeiten

5.4.1 Vibrationsplatten/-walzen

Verdichtungsarbeiten, die im Rahmen der Herstellung der Baugruben, Bodenverbesserung, Kanaltrassen bzw. beim Verfüllen derer stattfinden, können in der Nachbarbebauung zu störenden Erschütterungen führen. Die sich daraus ergebenden Schwingschnellen können anhand eines Prognosemodells mit Hilfe des Leitfadens des Instituts für Bauforschung e. V. Hannover [9] ermittelt werden, welcher einen indirekten proportionalen Zusammenhang zwischen Schwingschnelle auf einem Gebäudefundament und Abstand vorgibt.

Der ungünstigste Wert der Schwingschnelle aus Verdichtungsarbeiten auf dem Gebäudefundament ergibt sich zu:

$$v_F = 10,87 \cdot \frac{\sqrt{G}}{r} \quad (5)$$

Dabei ist:

G Gewicht der Vibrationsplatte bzw. -walze in t

Annahmen: $G_{\text{Vibrationsplatte}} = 0,5 \text{ t}$, $G_{\text{Vibrationswalze}} = 1,7 \text{ t}$

r Abstand zur nächsten Bebauung in m

Wir empfehlen, Verdichtungsgeräte einzusetzen, die dem neusten Stand der Technik entsprechen. Die Arbeitsfrequenz sollte nach Möglichkeit in einem Frequenzbereich $> 60 \text{ Hz}$ liegen. Während des Anfahrens sollte keine Lastübertragung stattfinden (unwuchtfreies An- und Ablaufen), damit die Gebäuderesonanzen, insbesondere die Deckenresonanzen nicht angeregt werden (siehe Hinweise des LAI [10]).

Hinweis:

Oben genannte Voraussetzungen an die Verdichtungsgeräte sollten in der Ausschreibung der Tiefbauarbeiten berücksichtigt werden.

Für den Einsatz von Verdichtungsgeräten liegen zusätzlich eine Vielzahl von Messergebnissen vor. U. a. fanden Messungen nahe einer Produktionsanlage statt. Hier wurde mit unterschiedlichen Verdichtungsgeräten gearbeitet (Abbildung 6) und der Schwingungseintrag auf der Bodenplatte einer nahegelegenen Werkshalle erfasst. Die Verdichtungsgeräte wurden jeweils in ca. 5 m Entfernung vom Gebäude eingesetzt.

- Bomag Grabenwalze Rammax BMP851 mit einer Verdichtungsstufe
- Bomag Rüttelplatte BPR 65/70D mit einer Verdichtungsstufe
- Bomag Rüttelplatte BPR30 mit einer Verdichtungsstufe (ohne Bild)



Abbildung 6. Links: Grabenwalze Bomag; rechts: Bomag BPR 65/70D.

Tabelle 9 beinhaltet eine Gegenüberstellung der maximalen Schwinggeschwindigkeiten auf der Bodenplatte der Werkshalle. Der Messpunkt befand sich unmittelbar hinter der Außenwand auf der Bodenplatte.

Tabelle 9. Gemessene Erschütterungen unter Anregung aus Verdichtungsgeräten.

Eingesetztes Gerät	Masse	Rüttelfrequenz	Entfernung zum Gebäude	Max. Schwinggeschwindigkeit
	in [t]	in [Hz]	in [m]	in [mm/s]
Grabenwalze BMP851	1,6	32	5	1,0
Rüttelplatte BPR65/70D	0,6	67	5	1,5
Rüttelplatte BPR30	0,2	75	5	0,4

5.4.2 Vibrations-Walzenzug

Für die Erstellung eines planen und tragfähigen Untergrundes für die Zufahrten und die Gründung der flächigen Bodenplatte können aufgrund der Abmaße u. a. Vibrations-Walzenzüge eingesetzt werden. Exemplarisch soll hier ein Walzenzug vom Typ BW213 der Herstellerfirma Bomag, sowie eine handgeführte 2 to-Walze eingesetzt werden. Der Walzenzug ist in die Gewichtsklasse Gwk-3 und die handgeführte Walze in die Gewichtsklasse Gwk-1 einzuordnen, siehe Tabelle 10. Für diese Typen gibt es umfangreiche Datensätze, die dem Institut für Bauforschung e. V. Hannover [9] entnommen wurden.

Tabelle 10. Verschiedene ausgewertete Walzenzüge mit technischen Spezifikationen gemäß Tab 8.3 in [7].

Gerätebezeichnung	Ge- wicht	Gewichts- klasse	Frequenz	Erregerkraft
Vibrations-Tandemwalze Vibromax W 152	1,7 t	Gwk-1	50 Hz	GWK 11N je Walzenkörper
Vibrations-Walzenzug Bomag BW213	12,6 t	Gwk-3	30 Hz / 34 Hz	285 kN / 196 kN

Da bei der Vibrationsverdichtung näherungsweise die emittierte Energie proportional zum Betriebsgewicht G angesetzt werden kann, werden die Prognosegleichungen unmittelbar als Funktion des Betriebsgewichts G in t und nicht als Funktion einer erst über das Betriebsgewicht G abgeleiteten Energie E entwickelt. Mit Hilfe einer Regressionsanalyse zur Auswertung der Datensätze, sowie der Herleitung einer sogenannten K-Wert-Prognoseformel (dies sind durch Erfahrung abgeleitete Prognosegleichungen) ergeben sich für unterschiedliche Überschreitungswahrscheinlichkeiten die in Tabelle 11 zusammengefassten Prognosegleichungen.

Tabelle 11. Zusammenfassung der Prognosegleichungen für Vibrationswalzen nach [7].

Zeile	Art der Auswertung	Mittellinie P = 50 %	+ σ P = 16 %	+ 1,65 σ P = 5 %	+2,0 σ P = 2,25 %
1	Lineare Regression	$2,3\sqrt{G} / r^{0,724}$	$4,2\sqrt{G} / r^{0,724}$	$6,07\sqrt{G} / r^{0,724}$	$7,47\sqrt{G} / r^{0,724}$
2	$K = v_{i,max}^F * r / \sqrt{G}$	$4,31\sqrt{G} / r$	$7,59\sqrt{G} / r$	$9,72\sqrt{G} / r$	$10,87\sqrt{G} / r$
3	Wieck (2003)	$1,1\sqrt{G} / r^{0,7}$	-	-	-

Die mittels linearer Regressionsanalyse gewonnen Prognosegleichungen in Zeile 1 der Tabelle 11 lassen eine einfache Abschätzung mit einer guten Übereinstimmung zu den Messwerten zu. Dies gilt bei allen Gewichtsklassen gleichermaßen für den zu erwartenden Mittelwert als auch für den konservativen Ansatz mit Überschreitungswahrscheinlichkeiten von nur noch $P = 2,25 \%$. Die in Zeile 2 der in Tabelle 10 zusammengestellten K-Wert-Prognosegleichungen liefern Prognosegeraden, die steiler geneigt sind als die Gleichungen aus Zeile 1 ermittelten Geraden. Dies führt im Nahbereich zur Erschütterungsquelle tendenziell zu leicht überschätzten Fundamentalschwingungen. Bei Abständen $r > 10$ m hingegen werden die tatsächlichen Messwerte durch den steileren Verlauf der K-Wert-Prognosegeraden, insbesondere bei der konservativen Abschätzung mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit $P = 2,25\%$ sehr gut abgebildet.

5.5 Bohrgeräte

Beim Bohren von Bohrpfählen und Rückverankerungen treten in der Regel keine erschütterungsrelevanten Immissionen auf die angrenzende Bebauung bzw. Menschen in Gebäuden auf. Lediglich beim Auftreffen auf härtere Hindernisse oder dem Übergang in steifere Schichten kann es kurzzeitig zu einer erhöhten impulsartigen Erschütterungsanregung kommen. Es wird empfohlen, beim Übergang in härtere Schichten die Drehgeschwindigkeit zu reduzieren.

Es ist davon auszugehen, dass die Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 2 und 3 dabei nicht überschritten werden. Kurzzeitige Einzelüberschreitungen des Herstellergrenzwerts der NMR-Geräte können jedoch nicht ausgeschlossen werden.

Das Bauverfahren wird nicht weiter betrachtet.

5.6 Ziehen der Verbauträger

Nach Fertigstellung der erdberührten Bauteile des Rohbaus werden die Verbauträger mit hoher Wahrscheinlichkeit herausgezogen. Für das Ziehen kann keine qualitative aussagekräftige Prognose erstellt werden, da aufgrund von Reibungen zwischen den anstehenden Bodenschichten erfahrungsgemäß der Verbund zwischen Boden und Träger schlagartig versagt. Dabei kommt es zu einer impulsartigen Anregung, deren Größe nicht empirisch berechnet werden kann. Es wird daher dringend empfohlen, mit dem Ziehen der Träger mit der größtmöglichen Entfernung zu Nachbarbebauung zu beginnen und die Einwirkungen messtechnisch begleitet zu überwachen. Sollten sich die eingeleiteten Erschütterungen als kritisch erweisen, können die Träger z. B. gekappt und/oder teilweise im Baugrund belassen werden.

5.7 LKW-Verkehr/Kipplader/Radlader

Aufgrund von Schwerlastverkehr zur Anlieferung bzw. Abtransport von Baumaschinen kann es zu spürbaren Erschütterungen in den angrenzenden Gebäuden kommen. Durch luftbereifte und gefederte Fahrzeuge sind jedoch in der Regel keine erheblichen Erschütterungsbelastungen bzw. Überschreitungen der Anhaltswerte zu erwarten. Um dies zu gewährleisten, sollten sich die Straßen während der kompletten Bauzeit in einem einwandfreien Zustand befinden. Dies muss gegebenenfalls durch Räum- bzw. Reinigungsfahrzeuge und Straßeninstandhaltungsmaßnahmen gewährleistet werden.

Durch LKW (≤ 20 t), wie sie für die tägliche Andienung der Baustelle eingesetzt werden, sind erfahrungsgemäß keine kritischen Erschütterungseinwirkungen bezüglich DIN 4150, Teil 2 und 3 zu erwarten. Diese Immissionen werden daher nicht weiter betrachtet. Durch die Andienung mit Tiefladern und beladenen Kipplaster (> 20 t) kann es kurzzeitig zu deutlich spürbaren Erschütterungen in den Nachbargebäuden kommen. Jedoch sind diese als Einzelereignisse zu betrachten, so dass auch in diesen Fällen davon auszugehen ist, dass keine kritischen Erschütterungseinwirkungen bezüglich DIN 4150, Teil 2 und 3 zu erwarten sind.

Kurzzeitige Einzelüberschreitungen des Herstellergrenzwerts der NMR-Geräte können jedoch nicht ausgeschlossen werden, wie eine beispielhafte Messung bei einem vergleichbaren Projekt zeigt. Wie der nachfolgenden Abbildung 7 und der Auflistung der Maximalwerte entnommen werden kann, liegen die Werte teilweise oberhalb der Grenzkurve der NMR-Geräte.

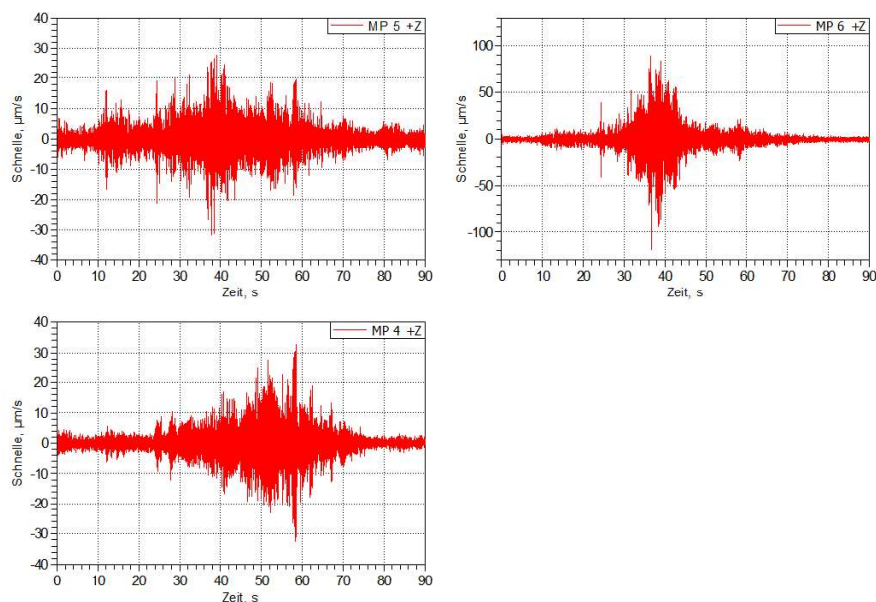


Abbildung 7. Zeitlicher Verlauf einer LKW-Vorbeifahrt an den Messpunkten MP4 bis MP6 in einem Forschungsgebäude.

Folgende maximalen Schwingschnellen im Zeitbereich wurden erfasst:

- MP 6 (ca. 17,5 m): 118 $\mu\text{m/s}$
- MP 5 (ca. 30 m): 31,8 $\mu\text{m/s}$
- MP 4 (ca. 30 m): 32,8 $\mu\text{m/s}$

Im Frequenzbereich können die Werte wie folgt abgeschätzt werden:

- MP 6 (ca. 17,5 m): ca. 4,9 $\mu\text{m/s}$
- MP 5 (ca. 30 m): ca. 3,2 $\mu\text{m/s}$
- MP 4 (ca. 30 m): ca. 3,2 $\mu\text{m/s}$

5.8 Pumpen/Stromaggregate

Aus dem Betrieb von Pumpen und Stromaggregaten sind keine kritischen Erschütterungsimmissionen hinsichtlich potenzieller Gebäudeschäden gemäß der DIN 4105-3 zu erwarten.

Der Einsatz von Pumpen und Stromaggregaten für Baugruben ist hinsichtlich der Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden als unkritisch einzustufen.

Es erfolgt daher keine weitere Betrachtung.

6 Prognoseergebnisse

6.1 Abbrucharbeiten

Ein konkreter Bauzeitenplan liegt derzeit nicht vor. Für jeden Immissionspunkt gehen wir bei den Abbrucharbeiten derzeit von maximal 5 Tagen infolge aus, siehe auch Abschnitt 4.

6.1.1 Bagger mit Spitzmeißel (Kompaktbagger, 2-5t)

Die Anregung mittels eines Stemmhammers dieser Größe erfolgt in einem Frequenzbereich von 21,8 Hz, jedoch geht der Großteil des Energieeintrags beim Zerschlagen des abzureißenden Materials verloren, so dass davon ausgegangen werden kann, dass es durch den Einsatz des Stemmhammers nicht zu einer harmonischen Anregung der Tragwerkstruktur kommt. Auf der sicheren Seite liegend wird für Industriedecken aus Beton ein Überhöhungsfaktor von 1,5 angesetzt.

Unter Berücksichtigung der Arbeitsfrequenz von 21,8 Hz, der Prognoseformel (4) und der zuvor beschriebenen Überhöhungsfaktoren ergeben sich Worstcase-Ergebnisse für die zu erwartenden Erschütterungsimmissionen auf die Gebäudestruktur in Tabelle 12.

Tabelle 12. Max. progn. Schwinggeschwindigkeit [mm/s] für Abbrucharbeiten mit einem Kompaktbagger (2-5 t) nach DIN 4150, Teil 3.

Gebäude	min. Abstand Gebäude- Baustelle	V _{Prognose,Decke} [mm/s]	Grenzwert DIN4150-3 [mm/s]	Bruker NMR Nano-C [mm/s]
OC/BC I	<1	5,77	10	0,0125
Hörsaal AC/OC	5	1,15	10	0,0125
Isotropenchemie	12	0,48	10	0,0125
OC	13	0,44	10	0,0125
Abstand	25	0,23	10	0,0125
DIN 4150-3 oder Nano-C eingehalten	DIN 4150-3 oder Nano-C nicht eingehalten			

In Bezug auf potenzielle Gebäudeschäden werden die Anhaltswerte nach DIN 4150-3 [7] eingehalten. Der Grenzwert Nano-C der NMR-Geräte wird um ein Vielfaches überschritten.

6.1.2 Bagger mit Spitzmeißel (Bagger, 8-14 t)

Die Anregung mittels eines Stemmhammers dieser Größe erfolgt in einem Frequenzbereich von 12 Hz, jedoch geht auch hierbei der Großteil des Energieeintrags beim Zerschlagen des abzureißenden Materials verloren, so dass davon ausgegangen werden kann, dass es durch den Einsatz des Stemmhammers nicht zu einer harmonischen Anregung der Tragwerkstruktur kommt. Auf der sicheren Seite liegend wird für Industriedecken aus Beton ein Überhöhungsfaktor von 1,5 angesetzt.

Unter Berücksichtigung der Arbeitsfrequenz von 12 Hz, der Prognoseformel (6) und der zuvor beschriebenen Überhöhungsfaktoren ergeben sich Worstcase-Ergebnisse für die zu erwartenden Erschütterungsimmissionen auf die Gebäudestruktur in Tabelle 13.

Tabelle 13. Max. progn. Schwinggeschwindigkeit [mm/s] für Abbrucharbeiten mit einem Bagger (8-14 t) nach DIN 4150, Teil 3.

Gebäude	min. Abstand Gebäude- Baustelle	V _{Prognose,Decke} [mm/s]	Grenzwert DIN 4150-3 [mm/s]	Bruker NMR Nano-C [mm/s]
OC/BC I	<1	11,98	10	0,008
Hörsaal AC/OC	5	2,40	10	0,008
Isotropenchemie	12	1,00	10	0,008
OC	13	0,92	10	0,008
Abstand	25	0,48	10	0,008
DIN 4150-3 oder Nano-C eingehalten	DIN 4150-3 oder Nano-C nicht eingehalten			

In Bezug auf potenzielle Gebäudeschäden werden die Anhaltswerte nach DIN 4150-3 [7] eingehalten, sofern der Abstand > 2 m beträgt. Der Grenzwert Nano-C der NMR-Geräte wird um ein Vielfaches überschritten.

6.1.3 Bagger mit Spitzmeißel (Bagger, 23-29 t)

Die Anregung mittels eines Stemmhammers dieser Größe erfolgt in einem Frequenzbereich von 8 Hz. Auf der sicheren Seite liegend wird für Industriedecken aus Beton ein Überhöhungsfaktor von 1,5 angesetzt.

Unter Berücksichtigung der Arbeitsfrequenz von 8,2 Hz, der Prognoseformel (6) und der zuvor beschriebenen Überhöhungsfaktoren ergeben sich Worstcase-Ergebnisse für die zu erwartenden Erschütterungsimmissionen auf die Gebäudestruktur in Tabelle 14.

Tabelle 14. Max. progn. Schwinggeschwindigkeit [mm/s] für Abbrucharbeiten mit einem Bagger (23-29 t) nach DIN 4150, Teil 3.

Gebäude	min. Abstand Gebäude- Baustelle	V _{Prognose,Decke} [mm/s]	Grenzwert [mm/s]	Bruker NMR Nano-C [mm/s]
OC/BC I	<1	17,39	10	0,004
Hörsaal AC/OC	5	3,48	10	0,004
Isotropenchemie	12	1,45	10	0,004
OC	13	1,34	10	0,004
Abstand	25	0,70	10	0,004
DIN 4150-3 oder Nano-C eingehalten	DIN 4150-3 oder Nano-C nicht eingehalten			

In Bezug auf potenzielle Gebäudeschäden werden die Anhaltswerte nach DIN 4150-3 [7] eingehalten, sofern der Abstand > 2 m beträgt. Der Grenzwert Nano-C der NMR-Geräte wird um ein Vielfaches überschritten.

6.2 Verdichtungsarbeiten

6.2.1 Allgemeines

Da kein Bauzeitenplan vorliegt, wird von einer Einwirkungsdauer im Worstcase-Fall von 9 Tagen ausgegangen. Da das Verfüllen von Baugruben durch den Wechsel zwischen Auffüllen der Baugrube mit einem Bagger und Verdichten der eingebrachten Lagen mit einem Verdichtungsgerät einher geht, wird eine maximale effektive Einsatzzeit der Rüttelplatte bzw. Vibrationswalze von 5 Std./Tag ausgegangen.

Die hier durchgeführten Prognoseberechnungen stellen eine Worstcase-Berechnung dar, da sie von einem fixen Abstand der Erschütterungsquelle zum Immissionsort ausgeht.

6.2.2 Rüttelplatten ($m \leq 0,5 \text{ t}$)

Unter Berücksichtigung der Arbeitsfrequenz von 67 Hz, der Gleichung (5) und den Überhöhungsfaktoren gemäß Abschnitt 5.1 (harmonische Anregung außerhalb des Resonanzbereichs der Decken) ergeben sich die in Tabelle 15 zusammengefassten Worstcase-Ergebnisse für die zu erwartenden Erschütterungsimmissionen auf die Gebäudestruktur.

Unter Berücksichtigung der verschiedenen Gebäudetypen und -abstände sind folgende, maximale Schwinggeschwindigkeiten auf den Decken zu erwarten:

Tabelle 15. Max. progn. Schwinggeschwindigkeit [mm/s] für Verdichtungsarbeiten mit einer Rüttelplatte ($m \leq 0,5 \text{ t}$) nach DIN 4150, Teil 3.

Gebäude	min. Abstand Gebäude- Baustelle	V _{Prognose,Decke} [mm/s]	Grenzwert DIN 4150-3 [mm/s]	Bruker NMR Nano-C [mm/s]
OC/BC I	<1	7,69	10	0,0125
Hörsaal AC/OC	5	1,54	10	0,0125
Isotropenchemie	12	0,64	10	0,0125
OC	13	0,59	10	0,0125
Abstand	25	0,31	10	0,0125
DIN 4150-3 oder Nano-C eingehalten	DIN 4150-3 oder Nano-C nicht eingehalten			

In Bezug auf potenzielle Gebäudeschäden werden die Anhaltswerte nach DIN 4150-3 [7] eingehalten. Der Grenzwert Nano-C der NMR-Geräte wird um ein Vielfaches überschritten.

6.2.3 Vibrationswalzen ($m \leq 1,7 \text{ t}$)

Unter Berücksichtigung der Arbeitsfrequenz von 25 Hz, der Prognoseformel (5) und den Überhöhungsfaktoren von 2,5 ergeben sich die in Tabelle 16 zusammengefassten Worstcase-Ergebnisse für die zu erwartenden Erschütterungsimmissionen auf die Gebäudestruktur.

Unter Berücksichtigung der verschiedenen Gebäudetypen und -abstände sind folgende, maximale Schwinggeschwindigkeiten auf den Decken zu erwarten:

Tabelle 16. Max. progn. Schwinggeschwindigkeit [mm/s] für Verdichtungsarbeiten mit einer Vibrationswalze ($m \leq 1,7 \text{ t}$) nach DIN 4150, Teil 3.

Gebäude	min. Abstand Gebäude- Baustelle	V _{Prognose,Decke} [mm/s]	Grenzwert DIN 4150-3 [mm/s]	Bruker NMR Nano-C [mm/s]
OC/BC I	<1	35,43	10	0,0125
Hörsaal AC/OC	5	7,09	10	0,0125
Isotrophenchemie	12	2,95	10	0,0125
OC	13	2,73	10	0,0125
Abstand	25	1,42	10	0,0125
DIN 4150-3 oder Nano-C eingehalten	DIN 4150-3 oder Nano-C nicht eingehalten			

In Bezug auf potenzielle Gebäudeschäden werden die Anhaltswerte nach DIN 4150-3 [7] eingehalten, sofern der Abstand > 4 m beträgt. Der Grenzwert Nano-C der NMR-Geräte wird um ein Vielfaches überschritten.

6.2.4 Vibrationswalzenzug ($m \leq 16 \text{ t}$)

Unter Berücksichtigung der Arbeitsfrequenz von 32 Hz, der Prognoseformel (5) und den Überhöhungsfaktoren von 2,5 ergeben sich die in Tabelle 17 zusammengefassten Worstcase-Ergebnisse für die zu erwartenden Erschütterungsimmissionen auf die Gebäudestruktur.

Unter Berücksichtigung der verschiedenen Gebäudetypen und -abstände sind folgende, maximale Schwinggeschwindigkeiten auf den Decken zu erwarten:

Tabelle 17. Max. progn. Schwinggeschwindigkeit [mm/s] für Verdichtungsarbeiten mit einer Vibrationswalze ($m \leq 16 \text{ t}$) nach DIN 4150, Teil 3.

Gebäude	min. Abstand Gebäude- Baustelle	V _{Prognose,Decke} [mm/s]	Grenzwert DIN 4150-3 [mm/s]	Bruker NMR Nano-C [mm/s]
OC/BC I	<1	108,70	10	0,0125
Hörsaal AC/OC	5	21,74	10	0,0125
Isotrophenchemie	12	9,06	10	0,0125
OC	13	8,36	10	0,0125
Abstand	25	4,35	10	0,0125
DIN 4150-3 oder Nano-C eingehalten	DIN 4150-3 oder Nano-C nicht eingehalten			

In Bezug auf potenzielle Gebäudeschäden werden die Anhaltswerte nach DIN 4150-3 [7] eingehalten, sofern der Abstand > 12 m beträgt. Der Grenzwert Nano-C der NMR-Geräte wird um ein Vielfaches überschritten.

7 Bewertung und Empfehlungen

Anhand von Prognoseergebnissen und Erfahrungswerten aus einer Vielzahl von vergleichbaren Projekten lassen sich folgende Schlussfolgerungen bzw. Handlungsempfehlungen ableiten:

1. Auf Grund der sehr geringen Abstände zu den umliegenden Gebäuden müssen die Abbrucharbeiten sehr kleinteilig erfolgen. Bei direktem Kontakt, wie bspw. bei der Isotrophenchemie und dem Institut Organische Chemie Bau OC, muss vor dem Abbruch ein erschütterungsarmer Trennschnitt erfolgen.
2. Für die notwendigen Verdichtungsarbeiten dürfen, wenn überhaupt, nur kleine Rüttelplatten (max. 600 kg mit einer Arbeitsfrequenz von >65 Hz) eingesetzt werden. Diese Vorgabe ist ausschreibungsrelevant. Alternativ ist auf statische Verdichtungsverfahren zurückzugreifen.
3. Sofern die Punkte 1 und 2 eingehalten werden, können Schäden an den umliegenden Gebäuden gemäß DIN 4150-3 ausgeschlossen werden.
4. Bei sämtlichen Verdichtungsarbeiten, auch mit den kleinen Rüttelplatten, ist mit einer Überschreitung des Grenzwerts für die NMR-Geräte (Nano-C) zu rechnen. Eine negative Beeinflussung des bildgebenden Verfahrens kann daher nicht ausgeschlossen werden. Ggf. müssen Untersuchungen wiederholt werden. Eine Beschädigung der Geräte durch erschütterungsarme Bauverfahren, wie hier vorgeschlagen, ist uns nach bisherigem Kenntnisstand nicht bekannt.
5. Wir empfehlen mit den Nutzern (NMR-Geräte) Zeitfenster für erschütterungsintensive Arbeiten, wie das Verdichten, zu vereinbaren und im Vorfeld abzustimmen. Die Alternative ist der Einsatz von selbstverdichteten Materialien oder von Magerbeton.
6. Bei Arbeiten mit Klein- und Großbohrgeräten für den Verbau der Trägerbohlwand und den Fundamentpfählen ist mit keiner Überschreitung der angesetzten Grenzwerte zu rechnen. Trifft der Bohrkopf auf ein Hindernis (Findling) oder auf eine sehr harte Gesteinsschicht, kann es dennoch zu einer kurzzeitigen Überschreitung der Grenzkurve Nano-C kommen. Zum Säubern des Bohrkopfes muss ein Abstreifer verwendet werden, das Abschütteln durch schnellen Drehrichtungswechsel ist zu unterlassen.
7. Das Einbringen des Gestänges für die Mörtelsäulen muss erschütterungsarm durch Einpressen oder Bohren erfolgen.
8. Es wird dringend empfohlen, mit dem Ziehen der Träger mit der größtmöglichen Entfernung zu Nachbarbebauung zu beginnen und die Einwirkungen messtechnisch begleitet zu überwachen. Sollten sich die eingeleiteten Erschütterungen als kritisch erweisen, können die Träger z. B. gekappt und/oder teilweise im Baugrund belassen werden.
9. Generell ist auf den Einsatz von Maschinen, die dem neuesten Stand der Technik entsprechen, zu achten. Die Arbeitsfrequenz sollte nach Möglichkeit in einem Frequenzbereich > 60 Hz liegen. Während des Anfahrens sollte keine Lastübertragung stattfinden (unwuchtfreies An- und Ablaufen), damit die Gebäuderesonanzen, insbesondere die Deckenresonanzen nicht angeregt werden.

10. Die ausführenden Baufirmen sind auf Grund der empfindlichen NMR-Geräte dahingehend zu sensibilisieren, dass sämtliche Arbeiten besonders erschütterungsarm zu erfolgen haben.
11. Die oben aufgeführten Maßnahmen sollten in das Leistungsverzeichnis der Ausschreibung aufgenommen werden, da eine „erschütterungsarme Baustelle“ üblicherweise mit Kostensteigerungen verbunden ist.
12. Für die folgenden, oben prognostizierten Bauverfahren ist mit keinen kritischen Einwirkungen in der benachbarten Bebauung zu rechnen:
 - Allgemeine Hochbauarbeiten, wie Schalen und das Verdichten von Beton,
 - Baggern für Aushubarbeiten bzw. den Materialtransport,
 - Kleinteilige Abbrucharbeiten,
 - Betrieb von Pumpen/Stromaggregaten und
 - LKW-Verkehr (Auch wenn durch den LKW-Verkehr nicht mit kritischen Immissionen zu rechnen ist, sind die Baustellenzufahrt und Lagerflächen trotzdem durch häufiges Reinigen sauber zu halten und Schlaglöcher, Spurrillen etc. zu vermeiden.)
13. Wie beim Online-Meeting am 26.03.2025 besprochen, sehen die Nutzer keine besondere Erfordernis eines Erschütterungsmonitorings, solange die Maßnahmen für eine erschütterungsarme Baustelle eingehalten werden. Dies stützt sich vor allem auf die Erfahrungen der Nutzer aus dem Neubau vom OC/BC-I. Der Einsatz von Walzenzügen oder Grabenwalzen mit einem Einsatzgewicht von >600 kg und Betriebsfrequenzen von <60 Hz ist daher zu untersagen.

Dieser Bericht darf nur in seiner Gesamtheit, einschließlich aller Anlagen, vervielfältigt, gezeigt oder veröffentlicht werden. Die Veröffentlichung von Auszügen bedarf der schriftlichen Genehmigung durch Die Ergebnisse beziehen sich nur
auf die untersuchten Gegenstände.