

Straßenbauverwaltung:	im Auftrag des Landes Hessen, DEGES, Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH
Straße/Abschnittsnummer/Station:	B 324 zw. NK 5124 032B und NK 5124 0310 Betr.-km 41,0
VKE C341 B 324 - Bad Hersfeld UF Stadtstraße und DB "Peterstor"	
PROJIS-Nr.:	

Feststellungsentwurf

- Unterlage 21.2 -

Erschütterungsgutachten

<p>Aufgestellt: 14. Okt. 2021 Berlin, den DEGES Deutsche Einheit Fernstraßen- planungs- und bau GmbH Zimmerstraße 54, 10117 Berlin</p> <p><u>i. A. L. Chaudhry, Pz. 7</u> (Name, Amtsbezeichnung)</p>	<p>nachrichtliche</p> <table border="1"><tr><td>Unterlage</td><td>Nr. 21.2</td></tr><tr><td colspan="2" style="text-align: center;">zum Planfeststellungsbeschluss</td></tr><tr><td colspan="2">vom <u>08.10.2024</u> Az. VI-061-k-06-2212#003 Wiesbaden, den <u>15.10.2024</u></td></tr><tr><td colspan="2" style="text-align: center;">Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr, Wohnen und ländlichen Raum Abt. VI Im Auftrag</td></tr><tr><td colspan="2" style="text-align: center;"> Baurat</td></tr></table> 	Unterlage	Nr. 21.2	zum Planfeststellungsbeschluss		vom <u>08.10.2024</u> Az. VI-061-k-06-2212#003 Wiesbaden, den <u>15.10.2024</u>		Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr, Wohnen und ländlichen Raum Abt. VI Im Auftrag		 Baurat	
Unterlage	Nr. 21.2										
zum Planfeststellungsbeschluss											
vom <u>08.10.2024</u> Az. VI-061-k-06-2212#003 Wiesbaden, den <u>15.10.2024</u>											
Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr, Wohnen und ländlichen Raum Abt. VI Im Auftrag											
 Baurat											

Erschütterungsprognose Bauarbeiten Ersatzneubau B324, Bad Hersfeld – Teil I

Marvin Binnig

Bericht-Nr.: ACB-1021-216120/05

21.10.2021

Titel: Erschütterungsprognose Bauarbeiten Ersatzneubau
B324, Bad Hersfeld – Teil I

Auftraggeber: Deutsche Einheit Fernstraßenplanung und -bau
GmbH (DEGES)

Auftrag vom: 22.09.2021

Bericht-Nr.: ACB-1021-216120/05

Ersetzt Bericht-Nr.:
vom:

Umfang: 23 Seiten

Datum: 21.10.2021

Bearbeiter: Marvin Binnig

Zusammenfassung: Die Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das Land Hessen (Bundesstraßenbauverwaltung), plant den Ersatzneubau des Brückenbauwerks „Hochstraße Peterstor“ in Bad Hersfeld (B324 – Bad Hersfeld „Peterstor“, UF Stadtstraße und DB) im Landkreis Hersfeld-Rotenburg. Mit Planung und Realisierung dieses Vorhabens ist die Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH (DEGES) beauftragt. Durch die geringe Distanz der Brücke zu Gewerbe- und Wohneinheiten ist zu klären, ob insbesondere bei Rückbauarbeiten die Grenzwerte der Erschütterungsimmissionen eingehalten werden können. In diesem Zusammenhang werden in einem ersten Schritt Baumaßnahmen und Baumaschinen vorgeschlagen, die prognostiziert wurden, im ungünstigsten Fall keine Gebäudeschäden bei

Diese Unterlage ist für den Auftraggeber bestimmt und darf nur insgesamt kopiert und verwendet werden.

Bei Veröffentlichung dieser Unterlage (auch auszugsweise) hat der Auftraggeber sicherzustellen, dass die veröffentlichten Inhalte keine datenschutzrechtlichen Bestimmungen verletzen.

sachgemäßer Anwendung hervorzurufen. Grundlage der Einschätzungen ist die DIN 4150-3.

Inwieweit die prognostizierten Erschütterungen die Anrainer beeinflussen werden, wird nach DIN 4150-2 quantifiziert und potenzielle Maßnahmen vorgeschlagen.

Es zeigt sich, dass abhängig vom jeweiligen Geräteeinsatz und unter den getroffenen Annahmen für die Leistungsfähigkeit der jeweiligen Maschine die folgenden Mindestabstände d von Gebäuden einzuhalten sind, damit im ungünstigsten Fall keine Gebäudeschäden zu erwarten sind:

Stampfer (Gewicht 60 kg) $\rightarrow d > 2,0$ m

Rüttelplatte (Gewicht 130 kg) $\rightarrow d > 2,0$ m

Rüttelwalze (Gewicht 4,0 t) $\rightarrow d > 7,0$ m

Meißelbagger (Energieeintrag 3 kNm) $\rightarrow d > 3,0$ m

Fallobjekt (6 m Höhe, Gewicht 25 kg) $\rightarrow d > 2,0$ m

Fallobjekt (6 m Höhe, Gewicht 500 kg) $\rightarrow d > 7,0$ m

Sofern der Arbeitseinsatz von Maschinen in geringerer Entfernung vorgesehen ist, können alternative Arbeitsverfahren angewendet werden, welche geringere Erschütterungsimmissionen verursachen

Inhalt

1 Anlass und Aufgabenstellung	5
2 Beurteilungsgrundlagen	5
2.1 Erschütterungseinwirkungen auf den Menschen.....	5
2.2 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Strukturen	6
3 Das Untersuchungsgebiet	8
3.1 Örtliche Gegebenheiten	8
3.2 Bauablauf	9
4 Erschütterungsemissionen	10
4.1 Allgemeines	10
4.2 Erschütterungsrelevante Baumaschinen in den einzelnen Bauphasen	10
4.3 Emissionsansätze Erschütterung	11
5 Berechnungsverfahren	13
5.1 Ausbreitung der Erschütterungen.....	13
5.2 Energietransfer Fundament auf Deckenebene	14
5.3 Beurteilungs-Schwingstärke.....	15
6 Ergebnisse	16
6.1 Erschütterungseinwirkungen auf Gebäude	16
6.2 Erschütterungseinwirkungen auf Menschen.....	18
7 Ergebnisse der Prognoseberechnungen	21
Maßnahmen zur Reduktion von Erschütterungseinwirkungen	21
8 Allgemeine Hinweise	22
9 Zusammenfassung	23
Anlagen.....	25

1 Anlass und Aufgabenstellung

Die Bundesstraßenbauverwaltung beabsichtigt die Brücke der B 324 in Bad Hersfeld durch einen Neubau zu ersetzen. Wegen der Nähe von Wohn- und Betriebsgebäuden zum zukünftigen Baubereich ergeben sich insbesondere für die Abbrucharbeiten bezüglich der Erschütterungsemissionen Einwirkungen auf die zum Bauareal benachbarten Gebäude, die Ausschlusskriterien für bestimmte Baumaschinen und/oder zeitliche Einschränkungen nötig machen.

Die ACCON GmbH wurde beauftragt in einer Untersuchung den zulässigen Rahmen für diese Bauarbeiten zu definieren.

2 Beurteilungsgrundlagen

2.1 Erschütterungseinwirkungen auf den Menschen

Zur Beurteilung der Erschütterungseinwirkung auf Menschen wird die DIN 4150-2 (Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden; Juni 1999) [1] herangezogen. Zweck der Norm ist die angemessene Berücksichtigung des Erschütterungsschutzes im Immissionsschutz. In der DIN 4150-2 werden Anhaltswerte genannt, bei deren Einhaltung erwartet werden kann, dass in der Regel erhebliche Belästigungen von Menschen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen vermieden werden.

Die DIN 4150-2 berücksichtigt mittels einer Frequenzbewertung der Schwinggeschwindigkeit die menschliche Erschütterungswahrnehmung. Nach dieser Frequenzbewertung der Schwinggeschwindigkeit erhält man den dimensionslosen KB_F -Wert. Dieser KB_F -Wert soll mit seinem maximalen Wert (KB_{Fmax}) den unteren Anhaltswert A_u nach DIN 4150-2 [2] möglichst nicht überschreiten. Überschreitet KB_{Fmax} den oberen Anhaltswert A_o , dann ist die Anforderung an die Norm nicht eingehalten. Ist der KB_{Fmax} größer als A_u jedoch kleiner als der obere Anhaltswert A_o , dann ist die Norm eingehalten, falls die zeitabhängige Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FT_r} nicht größer als A_r ist. Die Berechnung der Beurteilungs-Schwingstärke wird in Kapitel 5.3 erläutert.

Bezüglich der Erschütterungsimmissionen aus Baubetrieb wird in der DIN 4150-2 [2] eine Unterscheidung bei der Dauer der einwirkenden Erschütterungsbelastung in Stufen getroffen (Tabelle 1). Dabei werden höhere Anhaltswerte für Baumaßnahmen von wenigen Tagen zugelassen und eine Herabsetzung der Anhaltswerte bei Baumaßnahmen von deutlich längerer Dauer durchgeführt. Für Baumaßnahmen von 1 bis 6 Tagen Dauer werden die Anhaltswerte linear interpoliert.

Tabelle 1: Anhaltswerte der DIN 4150-2 [8] für Menschen in Gebäuden bei Baulärm für Tagarbeiten

Dauer	D ≤ 1 Tag			6 Tage < D ≤ 26 Tage			26 Tage < D ≤ 78 Tage		
	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

Bei Unterschreitung der Werte nach Stufe I sind auch ohne Vorinformation der Betroffenen keine erheblichen Belästigungen aus dem Baubetrieb zu erwarten. Bei Unterschreitung der Werte nach Stufe II ist noch nicht mit erheblichen Belästigungen aus den Erschütterungen zu rechnen, falls folgende Maßnahmen getroffen werden:

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

Kann davon ausgegangen werden, dass durch die Baumaßnahmen die Anhaltswerte der Stufe II überschritten werden, ist zu überprüfen, ob der Einsatz erschütterungsärmerer Verfahren anwendbar ist.

Bei Überschreitung der Werte nach Stufe III ist mit erheblichen Belästigungen zu rechnen. Es sollten hier Maßnahmen zur wirkungsvollen Reduktion der Erschütterungsimmissionen ergriffen werden. Dies kann bis zu einem temporären Auszug der Anrainer führen.

2.2 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Strukturen

Die DIN 4150-3 (Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf bauliche Anlagen; Februar 1999) [3] behandelt den Schutz vor Gebäudeschäden. Diese Norm nennt Anhaltswerte, bei deren Einhaltung Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden nicht zu erwarten sind. Werden die Anhaltswerte überschritten, folgt daraus nicht, dass zwangsläufig Schäden auftreten müssen.

Die zeitliche Einwirkdauer der Erschütterungen auf bauliche Strukturen wird dabei in zwei Kategorien eingeteilt, denen jeweils unterschiedliche Anhaltswerte zugeteilt werden.

Kurzzeitige Erschütterungsereignisse sind solche, welche impulsartig und nicht wiederholend auftreten, daher kein Potenzial haben, eine bauliche Struktur oder deren bauliche Teile in Resonanz zu versetzen (Beispiele: Sprengung; Aufprall eines herabfallenden Betonteils).

Dauererschütterung hingegen sind als solche Erschütterungen definiert, welche wiederholend in einer solchen Taktrate auftreten, sodass sie das Potenzial haben, Resonanzerscheinungen in den baulichen Strukturen hervorzurufen, die zur Ermüdung der Baustruktur führen können. Als Dauererschütterung produzierende Maschine soll hier als Beispiel die Rüttelwalze angeführt werden.

In Tabelle 2 sind für verschiedene Gebäudearten Anhaltswerte der Schwinggeschwindigkeiten am Fundament und in der Deckenebene des ersten Obergeschosses angegeben, die für kurzzeitige Erschütterungen geltend gemacht werden. Diese Anhaltswerte sind frequenzabhängig, da bei tieferen Frequenzen die Wahrscheinlichkeit größer ist, dass das gesamte Gebäude oder Teile des Gebäudes in Resonanz geraten.

Tabelle 2: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v [mm/s] zur Beurteilung der Wirkung von Erschütterungen auf Bauwerke durch kurzzeitige Erschütterungen.

Messort	Fundament, Maximale Schwingungsrichtung			Oberstes OG, horizontale Schwingungen	Deckenebenen, vertikale Schwingung
	< 10 Hz	10 - 50 Hz	50 – 100 Hz		
Frequenzbereich	< 10 Hz	10 - 50 Hz	50 – 100 Hz	1 - 100 Hz	1 – 100 Hz
Industriebau, gewerbliche Bauten	20	20 - 40	40 – 50	40	20
Wohngebäude	5	5 - 15	15 – 20	15	20
Empfindliche Bauten, Denkmalschutz	3	3 - 8	8 – 10	8	20

Bei auf bauliche Strukturen wirkende Dauererschütterungen ist die Wahrscheinlichkeit gegeben, dass dieses oder Teile des Gebäudes Resonanzeffekte hervorrufen oder durch die Dauerbelastung Ermüdungserscheinungen auftreten können. Daher sind die Anhaltswerte für die maximalen Schwinggeschwindigkeiten durch Dauererschütterungen, im Vergleich zu denen der kurzzeitigen Erschütterungen, reduziert.

In folgender Tabelle 3 werden die Anhaltswerte bei dauerhaften Erschütterungen nach DIN 4150-3 [3] benannt.

Tabelle 3: Anhaltswerte für die maximale, frequenzunabhängige Schwinggeschwindigkeit $v_{i,max}$ [mm/s] zur Beurteilung der Wirkung von Dauererschütterungen auf Bauwerke.

Gebäudeart	Oberste Deckenebene, horizontale Schwingungen	Deckenebenen, Vertikale Schwingungen
Industriebau, gewerbliche Bauten	10	10
Wohngebäude	5	10
empfindliche Bauten, Denkmalschutz	2,5	10

In Bezug auf Fundamentalschwinggeschwindigkeiten für Dauererschütterungen enthält die DIN 4150-3 keine Anhaltswerte. Hier könnte die schweizerische Norm SN 640312a herangezogen werden. Deren Grenzwert beläuft sich auf 4 mm/s.

Es sollte jedoch hervorgehoben werden, dass das tatsächliche Schädigungspotenzial von Erschütterungen auf ein Gebäude maßgeblich vom Übertragungsverhalten der Erschütterungen von Fundament auf die oberste Deckenebene abhängt. Ohne diese Übertragungsfunktion lassen sich nur bedingt Aussagen auf die erwarteten Auswirkungen treffen.

3 Das Untersuchungsgebiet

3.1 Örtliche Gegebenheiten

Das Untersuchungsgebiet befindet sich auf der Ostseite des Stadtkerns Bad Hersfelds und umfasst das Brückenbauwerk B324 Peterstor, die angegliederten Auf- und Abfahrten zur Bundesstraße B324 im Osten und Westen der Brücke, sowie die im Einflussgebiet liegenden Bauwerke. Eine Luftbildaufnahme des Projektbereiches der Baumaßnahmen mit eingezeichnetem Projektbereich ist in Abbildung 1 dargestellt.

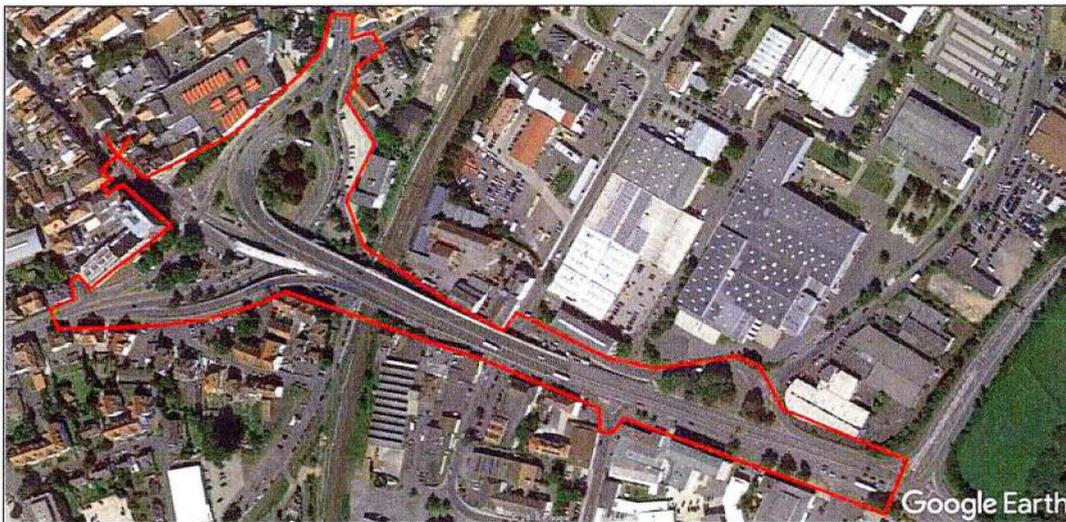
Die von den Baumaßnahmen erschütterungstechnisch beeinflussten Gebäude und Strukturen sind unter anderem Wohngebäude, gewerbliche und industrielle Anlagen und die DB-Strecken 3600 und 3810. Gewerbliche Bauflächen dominieren im Osten zur Bahnstrecke mit einer eingegrenzten Region die als Gemeinbedarf ausgewiesen ist. Im Westen der Bahnstrecke, zum Stadtzentrum hin, befindet sich hauptsächlich Mischgebiet, welches zum größten Teil als denkmalgeschützt deklariert ist. Angrenzend an die Bismarckstraße befindet sich ein Gebäude der Sonderbaufläche. Der Flächennutzungsplan ist in Anlage 1, Dokument 216120-FNP-01(00), nach [6] dargestellt.

Als besonders sensible Bauabschnitte, mit Hinblick auf die zu erwartenden Erschütterungsimmersionen, werden hier, wegen ihrer geringen Distanz zu den kommenden Baumaßnahmen und deren Denkmalschutz, die Wohngebäude der Neustadt eingestuft. Besonders ist für

dieses Gebäude hervorzuheben, dass es sich um ein Wohngebäude mit Fachwerkkonstruktion handelt, welche in der Regel erschütterungssensitiver als Betonbauten sind. Im Osten der Brücke sind durch die direkte Nähe zu den Baumaßnahmen die Gebäude der Landeckerstr. 2 und Landeckerstr. 2B zu nennen.

Hoch sensitives Gewerbe oder erschütterungsanfällige Industrie im Einflussbereich der Bauarbeiten ist zu diesem Zeitpunkt nicht bekannt.

Abbildung 1: Projektbereich des Ersatzneubaus Brückenbauwerk B324 Peterstor rot umrandet.



3.2 Bauablauf

Die Bestandsbrücke ist in zwei Teilbauwerke geteilt, Teilbauwerk Nord (TBW Nord) und Teilbauwerk Süd (TBW Süd). Das TBW Nord besteht aus 2 Fahrspuren und misst eine Gesamtlänge von 277 m und eine Regelbreite von 10,5 m. TBW Süd besteht aus 2 Fahrspuren mit einer zusätzlichen Einfädelungsspur und 3 Rampen und misst eine Gesamtlänge von 279 m. Die Brücke überspannt eine Bahntrasse.

Die geplanten Baumaßnahmen, entsprechend derzeitig vorliegendem groben Bauablaufplan, sollen in dem Zeitraum von Oktober 2023 bis August 2028 stattfinden. Die Bauarbeiten sind in mehrere Abschnitte unterteilt. Im ersten Teilabschnitt wird die nördliche Fahrbahn rückgebaut (Bauphase 1) und direkt anschließend neu erstellt (Bauphase 2). Während dieser Zeit wird der Straßenverkehr über die südliche Fahrbahn geleitet. Diese ersten zwei Bauphasen sind für den Zeitraum von Januar 2024 bis Oktober 2025 angesetzt. Im zweiten Teilabschnitt wird die südliche, stadtauswärtsführende Fahrbahn rückgebaut (Bauphase 3) und neugebaut (Bauphase 4), wobei der Verkehr auf die nördliche Fahrbahn umgeleitet wird. Dieser Abschnitt ist für den Zeitraum von Oktober 2025 bis April 2028 angesetzt [5]. Der Rückbau der Brücke erfolgt entgegengesetzt der ursprünglichen Herstellung, was bedeutet, dass die Brückenabschnitte von außen zum Zentrum der Brücke hin, wo die Bahntrasse überspannt wird, abgebaut wird.

4 Erschütterungsemissionen

4.1 Allgemeines

Zur Durchführung der einzelnen Bauphasen werden bezüglich der angewandten Verfahren Baumaschinen eingesetzt, deren Erschütterungsemissionen auf die Nachbarschaft einwirken und dementsprechend zu begutachten sind. Den relevanten Baumaschinen werden baubetriebstypische Emissionsdaten zugeordnet, deren Emissionsdaten auf Ansätzen aus der Fachliteratur und Herstellerangaben basieren.

4.2 Erschütterungsrelevante Baumaschinen in den einzelnen Bauphasen

Hinsichtlich erschütterungsrelevanter Baumaschinen in den einzelnen Bauphasen sind Geräte für die Abbrucharbeiten und den Neubau der Brücke zu unterscheiden.

Für den Rückbau werden folgende Erschütterungsquellen in Betracht gezogen:

- Abbruchbagger mit Zange und Pulverisierer
- Aufschlagende Brückenteile unter Berücksichtigung der Fallhöhe und des Gewichts

Beim Neubau wird der Einsatz folgender Erschütterungsquellen in Betracht gezogen:

- Rüttelwalze
- Rüttelplatte
- Stampfer

Der Rückbau erfolgt vorzugsweise mit Kombizange und Pulverisierer anstatt von Meißelbagger, um die Erschütterungen beim Zerkleinern der Brücke auf einem geringen Niveau zu halten. Der direkte Beitrag zu Erschütterungsemissionen durch den Gebrauch von Hydraulikbagger in Kombination mit Pulverisierer oder Kombizange wird als von untergeordneter Bedeutung eingestuft. Stattdessen werden die beim Rückbau der Brücke durch dieses Baugerät entstehenden Fallobjekte als erschütterungsrelevante Ereignisse aufgelistet.

Der Grob Ablaufplan lässt vermuten, dass die individuellen Gebäude im Nahbereich der Baumaßnahmen jeweils für einen Zeitraum von ca. 27 bis 78 Tage von Erschütterungen durch die Baumaßnahmen betroffen sind. Für diesen Zeitraum gelten entsprechend die spezifischen Anhaltswerte nach DIN 4150-2 [2] für Erschütterungseinwirkungen auf den Menschen durch Baumaßnahmen, die in Kapitel 6.2 erläutert werden.

Bei der Bewertung der Dauer der Erschütterungen pro Tag, die für den Menschen als belästigend eingestuft wird, gehen nur erschütterungsintensive Maßnahmen in die Wertung mit ein. Das bedeutet, dass nur spürbare Ereignisse in der Zeitbewertung berücksichtigt werden, welche naturgemäß seltener vorkommen als die gesamte, tägliche Arbeitsdauer mit dem entsprechenden Baugerät ist.

Für die Berechnungen der Minimalabstände zur Einhaltung der Anhaltswerte nach DIN 4150-2 [2] zwischen Immissionsort und Ursprungsort wird somit die **effektive** Einwirkdauer der individuellen Baumaschine verwendet. Diese effektive Einwirkdauer beschreibt die akkumulierte Zeit während der **Betriebsdauer** einer Baumaschine im Laufe eines Arbeitstages, in der tatsächlich erschütterungsintensive Ereignisse auftreten und nicht die Phasen

erschütterungsarmer Tätigkeiten. Es wird hierbei angenommen, dass bei einer Betriebsdauer von 8 Stunden nur ein gewisser Anteil als erschütterungsintensiv eingestuft werden kann, der für die individuellen Bautätigkeiten charakteristisch ist. So werden zum Beispiel beim Abbrechen von Brückenmaterial durch Hydraulikbagger mit Kombizange nicht durchgehend Beton- teile auf den Boden aufprallen, sondern nur zu etwa 5 bis 50% der Arbeiten, abhängig von der Größe der Bruchstücke.

4.3 Emissionsansätze Erschütterung

Als erschütterungstechnisch relevante Baumaschinen werden in der Berechnung die vorge- nannten und mit entsprechenden Emissionsdaten versehenen Maschinen berücksichtigt (siehe Tabelle 4). Hierbei wird insgesamt von leistungsfähigen Maschinen ausgegangen, um mit den Prognoseergebnissen auf der sicheren Seite zu liegen. Der Meißelbagger ist hier an- geführt, um dessen Referenzwerte heranzuziehen, sollten vergleichbare Baugeräte in Erwä- gung gezogen werden. Dieser ist jedoch nicht als Hauptabbruchmaßnahme eingeplant, son- dern wird durch Kombizange und Pulverisierer ersetzt.

Tabelle 4: Tabelle zu Baumaschinen und deren Emissionswerte. Hervorgehoben sind die für diese Untersuchung erschütterungsrelevanten Baumaschinen.

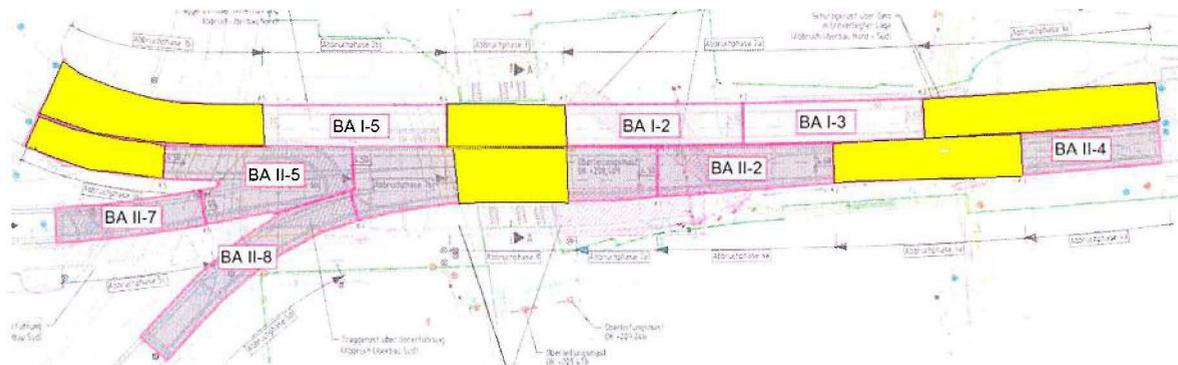
Baumaschine	Erschütterungsenergie in kNm
Presslufthammer, Bohrhammer	0,10
Hydraulikbagger mit 1 kNm Meißel	1
Hydraulikbagger mit 3 kNm Meißel	3
Hydraulikbagger mit Kombizange/Pulverisierer	Gering
25 kg Fallobjekt aus 6 m Höhe	1,47
50 kg Fallobjekt aus 6 m Höhe	2,94
500 kg Fallobjekt aus 6 m Höhe	29,43
1000 kg Fallobjekt aus 6 m Höhe	58,86
60 kg Stampfer (15 Hz Arbeitsfrequenz)	4
80 kg Stampfer (15 Hz Arbeitsfrequenz)	5,3
50 kg Rüttelplatte (60 Hz Arbeitsfrequenz)	0,8
90 kg Rüttelplatte (60 Hz Arbeitsfrequenz)	1,5
130 kg Rüttelplatte (60 Hz Arbeitsfrequenz)	2,2
4 t Rüttelwalze (40 Hz Arbeitsfrequenz)	100
Kaltfräse	Gering

Abrissbirne	Ca. 60
Scheibensäge	Gering
Seilsäge	Gering
Wasserstrahltechnik	Gering
Sauerstoffkernlanze	Gering
Sprengung (Schneidladung)	Hoch
Expansivwirkung	Gering
Kranrückbau	Gering

Herabfallende Brückenabschnitte

Für den Rückbau der drei Brückenabschnitte, die über die Verkehrswege Peterstor, Bismarckstraße und die Bahntrasse verlaufen, ist geplant, die Teile der Brücke kontrolliert fallen zu lassen.

Abbildung 2 Darstellung der einzelnen Bauphasen während des Rückbaus. Gelb markiert sind die Teilabschnitte, die kontrolliert fallengelassen werden sollen.



Nach derzeitigem Kenntnisstand muss durch die Nähe der Abschnitte der Brücke zu baulichen Strukturen ein geeignetes und ausreichend dimensioniertes Fallbett aus locker aufgeschüttetem Sand oder Kies in allen drei Teilabschnitten hergestellt werden, um den Energieeintrag in den Boden beim Aufprall zu reduzieren. Durch ein geeignetes Fallbett wird ein abruptes Abbremsen der Brücke beim Aufprall auf den Boden verringert, und somit der Impuls beim Kontakt reduziert. Zusätzlich kann die Höhe des Falles der Brückenteile durch ein Fallbett gemindert werden, wodurch die potenzielle Energie der Brückenteile und somit der Energieeintrag ins Erdreich beim Aufprall reduziert wird.

Ein solches Fallbett wird in der Regel in mehreren Rippeln unter der Brücke aufgeschüttet, die ein Verdrängen des Dämpfungsmaterials ermöglichen. In dieser Phase der Berichterstellung sind jedoch präzise Aussagen über die Dimensionierung und Struktur eines geeigneten Fallbetts noch nicht möglich.

5 Berechnungsverfahren

5.1 Ausbreitung der Erschütterungen

Die Berechnung der Erschütterungsimmissionen erfolgt nach dem Prognoseverfahren von M. Achmus [4], welches die Art der Anregung und Antriebsenergie der Baumaschinen in die Berechnungsmethodik aufnimmt.

Die wesentlichen Gleichungen zur Bestimmung der Schwinggeschwindigkeiten für die maximale Komponente der Fundamentalschwinggeschwindigkeit $v_{i,max}^F$, abhängig vom Abstand des Fundaments zur Erschütterungsquelle, sind in folgender Tabelle 5 angegeben.

Tabelle 5: Prognosegleichungen nach [4] für die maximale Komponente der Fundamentalschwinggeschwindigkeit

		Wahrscheinlicher Wert (50% Überschreitungswahrscheinlichkeit)	Ungünstiger Wert (2,25% Überschreitungswahrscheinlichkeit)
Rammung	Vibration Abbruchmeißel	$v_{i,max}^F = \frac{7,9 \sqrt{W}}{r}$	$v_{i,max}^F = \frac{18,52 \sqrt{W}}{r}$
	Schlagrammung (Dieselbär)	$v_{i,max}^F = \frac{2,45 \sqrt{E}}{r}$	$v_{i,max}^F = \frac{3,82 \sqrt{E}}{r}$
	Schlagrammung (Freifallbär) Fallende Massen	$v_{i,max}^F = \frac{11,07 \sqrt{E}}{r^{1,3}}$	
Verdichtung	Vibrationsplatte	$v_{i,max}^F = \frac{4,31 \sqrt{G}}{r}$	$v_{i,max}^F = \frac{10,87 \sqrt{G}}{r}$
	Vibrationswalze		

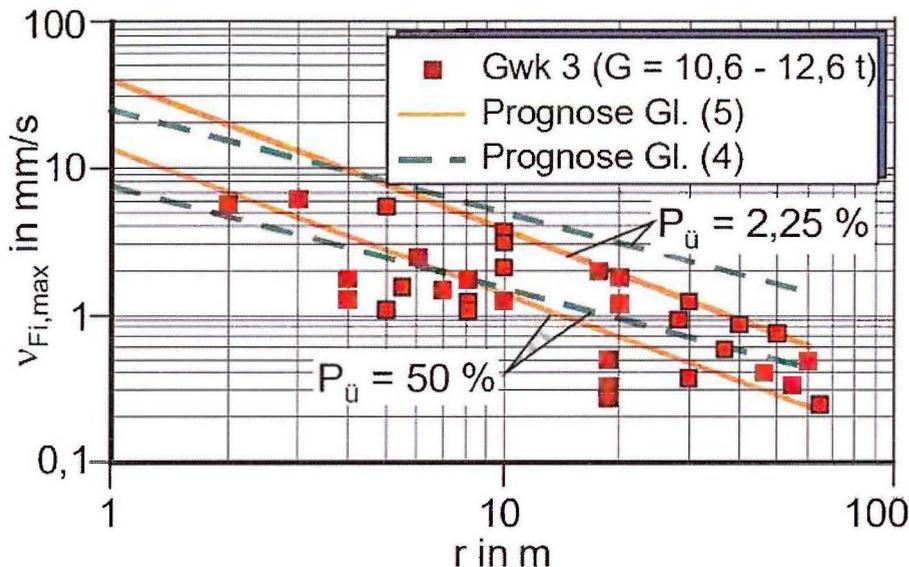
E bzw. W/f in kNm, r in m, G in t, v in mm/s

Hierin bezeichnet E die maximale Vibrationsenergie pro Schwingungsperiode, welche sich aus der maximalen Geräteleistung W und der Vibrationsfrequenz f zu $E = W/f$ ergibt. G bezeichnet das Gewicht der jeweiligen Maschine.

Die Unterscheidung zwischen der Berechnung des „wahrscheinlichen Wertes - 50%“ und des „ungünstigen Wertes - 2,25%“ wird nach Achmus über die jeweiligen Vorfaktoren getroffen und bezieht sich dabei auf die statistische Auswertung vieler Messungen zu diesem Thema. Die Berechnung des wahrscheinlichen Wertes erlaubt eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von 50 Prozent der prognostizierten maximalen Schwinggeschwindigkeiten. Die Berechnung des ungünstigen Wertes hingegen, erlaubt eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von 2,25 Prozent der prognostizierten Erschütterungsimmissionen. Für die Berechnung der Fundamentalschwinggeschwindigkeiten durch Schlagrammung mit Freifallbären und Fallende Massen wird keine Unterscheidung zwischen wahrscheinlichem und ungünstigem Fall gemacht, da

hier die Erfahrungswerte fehlen. Stattdessen wird die Prognosegleichung nach Wieck 2003 [8] verwendet.

Abbildung 3: Gegenüberstellung von Mess- und Prognosewerten von Vibrationswalzen nach Achmus [6].



Für den gesamten Baubereich wird davon ausgegangen, dass die Böden einer steifen mitteldichten Klasse entsprechen. Daraus ergeben sich Kopplungseffekte der Gebäude an den Böden, welche die Schwingamplituden in den oberen Etagen der Gebäude stark beeinflussen.

Für die Ausbreitungsberechnung wird postuliert, dass die Arbeitsfrequenzen der zum Einsatz kommenden Baumaschinen oberhalb von 15 Hz liegen. Daraus ergibt sich, dass die für die Bauwerke durchgeführten Prognoseberechnungen in der Beurteilung der Erschütterungsimmersionen nach DIN 4150-3 [3] und DIN 4150-2 [1] (Einwirkung auf Menschen in Gebäuden) nicht unterschieden werden müssen, da die KB-Filter-Wirkung unterhalb von 5,6 Hz einsetzt.

Es ist anzumerken, dass diese Semi-empirische Entwicklung der Berechnungsformeln zuverlässige Aussagen für Abstände von bis zu 30 m zwischen Immissions- und Anregeort zulässt, jedoch bei Abständen von über 30 m laut [4] die berechneten Erschütterungsimmersionen die realen Werte übersteigen.

5.2 Energietransfer Fundament auf Deckenebene

Die Schwinggeschwindigkeit der Deckenebenen kann mittels eines Übertragungsfaktors V_D , welcher das Verhältnis von den am Fundament gemessenen Erschütterungen auf die Deckenebene beschreibt, nach DIN 4150-1 [1] ermittelt werden. Der Übertragungsfaktor V_D des jeweiligen Bauwerks ist unter anderem abhängig von dessen Konstruktionsweise, sowie von den dominierenden Frequenzen der im Einflussbereich betriebenen Erschütterungsquelle. Die Arbeitsfrequenz einer Baumaschine kann dabei im Eigenfrequenzbereich eines Gebäudes liegen und somit erhöhte Schwingungsamplituden der Gebäudeteile hervorrufen, oder aber

außerhalb des Eigenfrequenzbereichs des Gebäudes liegen, und nur geringe oder gar keine Schwingungsverstärkung verursachen.

Auf der Grundlage von eigenen Erfahrungswerten wird für den hier vorliegenden Fall ein V_D für die Berechnungen der Deckenschwinggeschwindigkeiten herangezogen, der die verwendeten Baumaschinen und deren Arbeitsfrequenzen, und somit deren Potenzial die naheliegenden Gebäude und deren Bauteile in Eigenschwingung zu versetzen, mitberücksichtigt. So gilt ein V_D für die verwendeten Baumaschinen wie folgt (Tabelle 6):

Tabelle 6: Erschütterungsintensive Baumaschinen mit Angabe zu Leistungsfähigkeit bzw. Gewicht der einzelnen Baumaschinen und der ermittelten Übertragungsfaktoren für Fundament-Decke (V_D) der Schwingsschnellen für die Erschütterungsprognosen.

Erschütterungsquelle	Arbeitsfrequenzen in Hz	Energie in kNm/ Gewicht in kg	V_D
Leichter Stampfer	10	60 kg	4
Schwerer Stampfer	10	80 kg	4
Leichte Rüttelplatte	60 – 90	50 kg	2
Mittlere Rüttelplatte	30 - 60	90 kg	3
Schwere Rüttelplatte	30 - 60	130 kg	3
Rüttelwalze	30 - 40	4000 kg	3
Kleiner Meißelbagger	10 - 30	1 kNm	4
Mittlerer Meißelbagger	0 - 10	3 kNm	4
Kleines Fallobjekt	-	25 kg	2
Mittleres Fallobjekt	-	500 kg	2
Großes Fallobjekt	-	1000 kg	2

Da Prognosen der zu erwartenden Schwinggeschwindigkeiten der Gebäudeteile ohne Vorinformation zu den Resonanzfrequenzen eine große Unsicherheit aufweisen können, wird empfohlen, in besonderen Fällen die Übertragungsfunktion der individuellen Gebäude messtechnisch zu erfassen.

5.3 Beurteilungs-Schwingstärke

Die Beurteilungs-Schwingstärke KB_{FTT} dient der Bewertung von Erschütterungsimmissionen in Abhängigkeit der Häufigkeit der maximalen Schwingstärken pro Tag auf den jeweiligen Immissionsort, und wird angewendet, um die Belästigungen der Erschütterungseinwirkungen auf den Menschen [1] besser beurteilen zu können. Dabei wird der Anteil der tatsächlichen Einwirkdauer von Erschütterungsimmissionen T_e im Beurteilungszeitraum T_r , welcher tags 16 Stunden und nachts 8 Stunden beträgt, abgeschätzt, um zusammen mit dem Effektivwert der Taktmaximalwerte KB_{FTM} die Beurteilungs-Schwingstärke zu berechnen. Diese Taktmaximalwerte KB_{FTi} sind die maximalen, gemessenen KB -Werte in 30 Sekunden Zeitfenstern über

den Messzeitraum. Für die Prognose des hier berechneten Taktmaximal-Effektivwerts KB_{FTm} wird der Effektivwert nach [1] folgendermaßen berechnet:

$$KB_{FTm} = \frac{1}{\sqrt{2}} c_F * v_{max}$$

Dabei wird postuliert, dass die verwendeten Baumaschinen eine Betriebsfrequenz von 5,6 Hz weit überschreiten, wodurch die Frequenzbewertung des KB -Wertes entfällt, und dass die Baumaßnahmen zu Tagzeiten und außerhalb von Ruhezeiten stattfinden. Für die Konstante c_F wird der Wert 0,6 angenommen, welcher nach der DIN 4150-1 [1] einem Einzelereignis ohne Resonanzbeteiligung entspricht, da davon auszugehen ist, dass der Großteil der Baumaßnahmen impulsartige Einzelererschütterungen produzieren wird, wie es zum Beispiel beim Aufprall von Abbruchmaterial aus der Bestandsbrücke der Fall sein wird. Die Beurteilungsschwingstärke KB_{FTT} ist nunmehr abzuleiten aus:

$$KB_{FTT} = KB_{FTm} \sqrt{\frac{T_e}{T_r}}$$

Für die Berechnungen wird eine tägliche Einwirkdauer von maximal 4 Stunden angesetzt, die, unter Einbeziehung von Pausen und erschütterungsarmen Arbeiten, den hier vorliegenden Baumaßnahmen entsprechen möge. Taktmaximalwerte, welche den Wert 0,1 nicht überschreiten, gehen nicht in die Bewertung mit ein, sodass bei erschütterungsarmen Bautätigkeiten der Wert T_e im Laufe eines Tages nicht ansteigt.

6 Ergebnisse

6.1 Erschütterungseinwirkungen auf Gebäude

Für den Rückbau und Neubau der Brücke werden unterschiedliche Methoden und die dabei verwendeten Baumaschinen mit Hinblick auf deren prognostizierte Erschütterungsemissionen gegenübergestellt. Die folgenden Tabellen sind keine vollständige Auflistung der bei den einzelnen Baumaßnahmen zu verwendenden Baumaschinen, sollen aber ein breites Spektrum mit Hinblick auf Leistung und Art der Quelle bereitstellen.

Zunächst erfolgt eine Bestimmung des aus den Prognoseberechnungen ermittelten geringsten Abstandes zwischen Quelle und Immissionsort bei welcher es zu keinen Überschreitungen der Anhaltswerte nach DIN 4150-3 [3] im „ungünstigen Fall - 2,25%“ kommt (Tabelle 7). Die Einflussbereiche der individuellen Baumaschinen für den ungünstigen Fall sind in dem Dokument 216120-ER-GB-01(00) in Anlage 2 dargestellt.

Die maßgebliche Komponente bildet hier die maximale Schwingschnelle auf Deckenmitte in vertikaler Richtung, deren Anhaltswert sowohl für Wohn-, als auch für Industriegebäude mit **10 mm/s** bei Dauererschütterungen und mit **20 mm/s** bei kurzzeitigen Erschütterungen angegeben wird. Für Fallobjekte wird eine Fallhöhe von 6,0 m angenommen, die der Höhe der Bestandsbrücke entspricht, und dass keine Maßnahmen zur Erschütterungsdämpfung des Aufpralls von fallenden Massen angewendet werden. Niedrigere Fallhöhen und

aufpralldämpfende Maßnahmen können die prognostizierten Erschütterungseinwirkungen dementsprechend mindern.

Die Verwendung von Kombizange und Pulverisierer sind in den folgenden Tabellen nicht erwähnt, da deren direkter Beitrag zu Erschütterungsemissionen von untergeordneter Bedeutung ist. Stattdessen werden die beim Rückbau der Brücke entstehenden Fallobjekte als erschütterungsrelevantes Ereignis aufgelistet.

Die Unterscheidung zwischen ungünstigen (2,25% Überschreitungswahrscheinlichkeit) und wahrscheinlichen Fall (50% Überschreitungswahrscheinlichkeit) wird hier für Fallobjekte nicht gemacht, da hierfür die Erfahrungswerte fehlen. Daher wird bei Fallobjekten vom Worst Case ausgegangen, mit einem verhältnismäßig hohen Proportionalitätsfaktor von 11,07, um bei den Prognosen auf der sicheren Seite zu sein.

Tabelle 7 zeigt die minimal zulässigen Abstände zwischen den einzelnen Maschinen und dem Immissionsort, bei welchen im ungünstigen Fall (2,25% Überschreitungswahrscheinlichkeit) die Anhaltswerte nach DIN 4150-3 [3] noch eingehalten werden.

Tabelle 7: Minimal zulässige Abstände der jeweiligen Maschinen zwischen Emissions- und Immissionsort, bei denen die maximal zulässigen Anhaltswerte für die Schwingschnelle auf Deckenebene zur Vermeidung von Gebäudeschäden im ungünstigen Fall (2,25% Überschreitungswahrscheinlichkeit) noch eingehalten werden.

Maschineneinsatz	Minimal zul. Abstand Baumaschine	Proportionalitätsfaktor k	max. Schwingschnelle am Fundament	max. Schwingschnelle Deckenebene
	[m]		ungünstig [mm/s]	ungünstig [mm/s]
Stampfer leicht (<= 0,06 t)	2	10,87	1,33	5,33
Stampfer schwer (<= 0,08 t)	2	10,87	1,54	6,15
Rüttelplatte leicht (<= 0,05 t)	1	10,87	2,43	4,86
Rüttelplatte mittel (<= 0,09 t)	1	10,87	3,26	9,78
Rüttelplatte schwer (<= 0,13 t)	2	10,87	1,96	5,88
Rüttelwalze (<= 4,00 t)	7	10,87	3,11	9,32
Meißelbagger (<= 1,0 kNm)	2	3,82	1,91	7,64
Meißelbagger (<= 3,0 kNm)	3	3,82	2,21	8,82

Tabelle 8 zeigt die minimal zulässigen Abstände zwischen den einzelnen Maschinen und dem Immissionsort, bei welchen im Mittel (50% Überschreitungswahrscheinlichkeit) die Anhaltswerte nach DIN 4150-3 [3] noch eingehalten werden.

Tabelle 8: Minimal zulässige Abstände der jeweiligen Maschinen zwischen Emissions- und Immissionsort, bei denen die maximal zulässigen Anhaltswerte für die Schwingschnelle auf Deckenebene zur Vermeidung von Gebäudeschäden im wahrscheinlichen Fall (50% Überschreitungswahrscheinlichkeit) noch eingehalten werden.

Maschineneinsatz	Minimal zul. Abstand Baumaschine	Proportionalitätsfaktor k	max. Schwingschnelle am Fundament	max. Schwingschnelle Deckenebene
	[m]		mittel [mm/s]	mittel [mm/s]
Stampfer leicht (<= 0,06 t)	1	4,31	1,06	4,22
Stampfer schwer (<= 0,08 t)	1	4,31	1,22	4,88
Rüttelplatte leicht (<= 0,05 t)	1	4,31	0,96	1,93
Rüttelplatte mittel (<= 0,09 t)	1	4,31	1,29	3,88
Rüttelplatte schwer (<= 0,13 t)	1	4,31	1,55	4,66
Rüttelwalze (<= 4,00 t)	3	4,31	2,87	8,62
Meißel bagger (<= 1,0 kNm)	1	2,45	2,45	9,80
Meißel bagger (<= 3,0 kNm)	2	2,45	2,12	8,49

Tabelle 9 listet die geringsten Abstände von Emissions- zu Immissionsort für Fallobjekte in Relation zu deren Gewicht auf, bei welchen die Anhaltswerte für fallende Massen, nach DIN 4150-2 [1], noch eingehalten werden. Es wird dabei eine Fallhöhe von 6,0 m angenommen, die der maximalen Brückenhöhe entspricht.

Tabelle 9: Minimal zulässige Abstände der Fallobjekte in Relation zu deren Gewicht zwischen Emissions- und Immissionsort, bei denen die maximal zulässigen Anhaltswerte für die Schwingschnelle auf Deckenebene zur Vermeidung von Gebäudeschäden noch eingehalten werden.

Erschütterungsquelle	Minimal zul. Abstand Baumaschine	Proportionalitätsfaktor k	max. Schwingschnelle am Fundament	max. Schwingschnelle Deckenebene
	[m]		mittel [mm/s]	mittel [mm/s]
Fallobjekt (<= 0,025 t)	2	11,07	6,71	13,43
Fallobjekt (<= 0,100 t)	3	11,07	8,95	17,90
Fallobjekt (<= 0,500 t)	7	11,07	8,58	17,16
Fallobjekt (<= 1,000 t)	9	11,07	9,44	18,87

6.2 Erschütterungseinwirkungen auf Menschen

Der Grob Ablaufplan lässt vermuten, dass die individuellen Gebäude im Nahbereich der Baumaßnahmen jeweils für einen Zeitraum von ca. 27 bis 78 Tage von Erschütterungen durch die Baumaßnahmen betroffen sind. Hinsichtlich der Erschütterungseinwirkungen auf Menschen gelten dafür die Anhaltswerte der DIN 4150-2, Tabelle 2. In der folgenden Tabelle 10 ist der geringste Abstand hinsichtlich Erschütterungseinwirkungen auf Menschen dargestellt, bei welchem mit keinen Überschreitungen des oberen Anhaltswertes von $A_0 = 5$ für Mischgebiete und

der Beurteilungs-Schwingstärke von $A_r = 0,4$ nach Stufe II der DIN 4150-2 [1] für den wahrscheinlichen Fall während des Tagzeitraumes für Baumaßnahmen von 27 bis 78 Tagen Dauer zu rechnen ist. Die Einflussbereiche der individuellen Baumaschinen für den ungünstigen Fall für den Menschen sind in dem Dokument 216120-ER-ME-01(00) in Anlage 3 grafisch dargestellt.

Für die Berechnung wird angenommen, dass die Arbeiten während Tagzeiten und außerhalb von Ruhezeiten stattfinden. Zudem wird postuliert, dass bei einer Betriebsdauer von 8 Stunden pro Tag eine effektive Einwirkdauer von 4 Stunden nicht überschritten wird.

Für Fallobjekte wird eine Fallhöhe von 6,0 m angenommen, die der maximalen Höhe der Bestandsbrücke entspricht, und dass keine Maßnahmen zur Erschütterungsdämpfung des Aufpralls von fallenden Massen angewendet werden, dies stellt somit den Worst Case dar. Niedrigere Fallhöhen und aufpralldämpfende Maßnahmen können die prognostizierten Erschütterungseinwirkungen dementsprechend mindern.

Die Verwendung von Kombizange und Pulverisierer sind in den folgenden Tabellen nicht erwähnt, da deren direkter Beitrag zu Erschütterungsemissionen von untergeordneter Bedeutung sind. Stattdessen werden die beim Rückbau der Brücke entstehenden Fallobjekte als erschütterungsrelevantes Ereignis aufgelistet.

Die Unterscheidung zwischen ungünstigen (2,25% Überschreitungswahrscheinlichkeit) und wahrscheinlichen Fall (50% Überschreitungswahrscheinlichkeit) wird hier für Fallobjekte nicht gemacht, da hierfür die Erfahrungswerte fehlen. Daher wird bei Fallobjekten vom Worst Case ausgegangen, mit einem verhältnismäßig hohen Proportionalitätsfaktor von 11,07, um bei den Prognosen auf der sicheren Seite zu sein.

Tabelle 10: Minimal zulässige Abstände der jeweiligen Maschinen zwischen Emissions- und Immissionsort, bei denen die maximal zulässigen Anhaltswerte für die Beurteilungsschwingstärke auf den Menschen im ungünstigen Fall (2,25% Überschreitungswahrscheinlichkeit) noch eingehalten werden. Es werden hierbei Tagzeitarbeiten außerhalb von Ruhezeiten angenommen.

Maschineneinsatz	Minimal zul. Abstand Baumaschine	Betriebsdauer	Effektive Einwirkdauer	Effektive Einwirkdauer	Maximal bewertete Schwingstärke 1.OG KB_{Fmax}	Beurteilungsschwingstärke 1.OG KB_{FT}
	[m]				[h]	[%]
Stampfer leicht ($\leq 0,06$ t)	6	8	50	4,0	1,78	0,38
Stampfer schwer ($\leq 0,08$ t)	7	8	50	4,0	1,76	0,37
Rüttelplatte leicht ($\leq 0,05$ t)	3	8	50	4,0	1,62	0,34
Rüttelplatte mittel ($\leq 0,09$ t)	6	8	50	4,0	1,63	0,35
Rüttelplatte schwer ($\leq 0,13$ t)	7	8	50	4,0	1,68	0,36
Rüttelwalze ($\leq 4,0$ t)	35	8	50	4,0	1,86	0,40
Meißelbagger ($\leq 1,00$ kNm)	7	8	50	4,0	1,64	0,35
Meißelbagger ($\leq 3,00$ kNm)	15	8	50	4,0	1,76	0,37

Tabelle 11 zeigt die minimal zulässigen Abstände zwischen den einzelnen Maschinen und dem Immissionsort, bei welchem im Mittel (50% Überschreitungswahrscheinlichkeit) die Anhaltswerte nach DIN 4150-2 [2] noch eingehalten werden. Die Einflussbereiche der

individuellen Baumaschinen für den wahrscheinlichen Fall für den Menschen sind in dem Dokument 216120-ER-ME-01(00) in Anlage 3 grafisch dargestellt.

Tabelle 11: Minimal zulässige Abstände der jeweiligen Maschinen zwischen Emissions- und Immissionsort, bei denen die maximal zulässigen Anhaltswerte für die Beurteilungsschwingstärke auf den Menschen im wahrscheinlichen Fall (50% Überschreitungswahrscheinlichkeit) noch eingehalten werden. Es werden hierbei Tagzeitarbeitern außerhalb von Ruhezeiten angenommen.

Maschineneinsatz	Minimal zul. Abstand Baumaschine	Betriebsdauer	Effektive Einwirkdauer	Effektive Einwirkdauer	Maximal bewertete Schwingstärke 1.OG KB_{Fmax}	Beurteilungsschwingstärke 1.OG KB_{FTr}
	[m]		[h]	[h]		[h]
Stampfer leicht ($\leq 0,06$ t)	3	8	50	4,0	1,41	0,30
Stampfer schwer ($\leq 0,08$ t)	3	8	50	4,0	1,63	0,34
Rüttelplatte leicht ($\leq 0,05$ t)	2	8	50	4,0	0,96	0,20
Rüttelplatte mittel ($\leq 0,09$ t)	3	8	50	4,0	1,29	0,27
Rüttelplatte schwer ($\leq 0,13$ t)	3	8	50	4,0	1,55	0,33
Rüttelwalze ($\leq 4,0$ t)	14	8	50	4,0	1,85	0,39
Meißelbagger ($\leq 1,00$ kNm)	6	8	50	4,0	1,63	0,35
Meißelbagger ($\leq 3,00$ kNm)	9	8	50	4,0	1,89	0,40

Die folgende Tabelle 12 listet die geringsten Abstände von Emissions- zu Immissionsort für Fallobjekte in Relation zu deren Gewicht auf, bei welchen die Anhaltswerte für fallende Massen nach DIN 4150-2 [2][1] noch eingehalten werden. Es wird dabei eine Fallhöhe von 6,0 m angenommen, die der maximalen Brückenhöhe entspricht.

Tabelle 12: Minimal zulässige Abstände der Fallobjekte in Relation zu deren Gewicht zwischen Emissions- und Immissionsort, bei denen die maximal zulässigen Anhaltswerte für die Beurteilungsschwingstärke auf den Menschen noch eingehalten werden.

Erschütterungsquelle	Minimal zul. Abstand Baumaschine	Betriebsdauer	Effektive Einwirkdauer	Effektive Einwirkdauer	Maximal bewertete Schwingstärke 1.OG KB_{Fmax}	Beurteilungsschwingstärke 1.OG KB_{FTr}
	[m]		[h]	[h]		[h]
Fallobjekt ($\leq 0,025$ t)	15	8	50	4,0	1,79	0,38
Fallobjekt ($\leq 0,100$ t)	18	8	20	1,6	2,98	0,40
Fallobjekt ($\leq 0,500$ t)	29	8	10	0,8	4,14	0,39
Fallobjekt ($\leq 1,000$ t)	29	8	5	0,4	5,86	0,39

7 Ergebnisse der Prognoseberechnungen

Ziel unserer Prognoseberechnungen war mit Hilfe des berechneten minimalen Abstandes der jeweiligen Baumaschinen im Nahbereich der unterschiedlichen baulichen Strukturen die Wahl eines geeigneten, und für die Sensitivität der Region entsprechenden, Baugeräts zu unterstützen. Falls kritische Anhaltswerte erreicht werden, empfiehlt es sich mit gewissen Maßnahmen, wie in Abschnitt 0 geschildert, etwaige Gebäudeschäden vorzubeugen und damit die Erschütterungseinwirkungen auf den Menschen in Gebäuden auf ein erträgliches Maß zu reduzieren.

Im Falle der Erschütterungseinwirkungen auf den Menschen kann man zudem die Eingangsparameter der Gleichungen für die Anhaltswerte so anpassen, dass entweder leistungstärkere Baumaschinen, jedoch für einen kürzeren, täglichen Einsatz in Frage kommen oder die Dauer der Baumaßnahmen in einem gegebenen Arbeitsbereich so verkürzen, dass größere Anhaltswerte im Sinne der DIN 4150-2 [1], wie in Tabelle 1 dargestellt, gelten. Dabei muss beobachtet werden, dass der obere Anhaltswert nicht überschritten wird.

Maßnahmen zur Reduktion von Erschütterungseinwirkungen

Prinzipiell können folgende Maßnahmen zur Minderung der Erschütterungsimmissionen geprüft bzw. umgesetzt werden:

- Einsatz von Abbruchzange (Pulverisierer) anstatt hydraulischem Meißel für den Rückbau der Brücke, welche geringere Erschütterungsemissionen produzieren. Jedoch sollten Erschütterungsemissionen durch Fallobjekte weiterhin berücksichtigt werden.
- Vermeidung von schweren Fallobjekten beim Rückbau der Brücke durch Abtrennen von kleineren Betonteilen mit geringem Gewicht.
- Abfedern der fallenden Massen beim Rückbau der Brücke durch geeignetes Fallbett.
- Auffangen der fallenden Massen beim Rückbau der Brücke durch geeignetes Auffangsystem nahe der Konstruktionshöhe.
- Vermeidung von Arbeitsfrequenzen der Baumaschinen die im Bereich der Eigenfrequenzen der Etagendecken der angrenzenden Gebäude liegen.
- Vermeidung von Arbeitsfrequenzen auf der Brücke, die den Eigenfrequenzen der Pfeiler entsprechen, um Resonanzeffekte der Pfeiler und den damit verbundenen erhöhten Energieeintrag der Erschütterungen ins Erdreich, zu vermeiden.
- Rüttelwalze: Es sind kleine Walzen mit hoher Arbeitsfrequenz vorzusehen (z. B. Gewicht 1,5 t, Arbeitsfrequenz rd. 50 Hz).

8 Allgemeine Hinweise

Es wird in der DIN 4150-2 darauf hingewiesen, dass die Anwendung nachfolgend aufgelisteter Maßnahmen von betroffenen Personen in den benachbarten Gebäuden die Belastung durch Erschütterungsimmissionen in einer höheren Stufe zugelassen wird. Zu diesen Maßnahmen zählen:

- Vor Beginn der Baumaßnahme sind die Anwohner über den Zweck und die zeitliche Dauer der Baumaßnahme frühzeitig zu informieren.
- Die Einwirkzeiten erschütterungsintensiven Baugeräts sind so weit als möglich zu minimieren.
- Für Nachbarbeschwerden ist seitens der Baustelle ein Ansprechpartner (i. S. eines Immissionsschutzbeauftragten) zu benennen.
- Die baubetrieblichen Erschütterungsimmissionen sind bei erschütterungsintensiven Arbeiten durch Auftaktmessungen und ggf. Stichprobenmessungen an exponierten Gebäuden zu dokumentieren.
- Innerhalb von Ortslagen ist erschütterungsintensives Baugerät nur tagsüber einzusetzen

9 Zusammenfassung

Die Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das Land Hessen (Bundesstraßenbauverwaltung), plant den Ersatzneubau des Brückenbauwerks „Hochstraße Peterstor“ in Bad Hersfeld (B324 – Bad Hersfeld „Peterstor“, UF Stadtstraße und DB) im Landkreis Hersfeld-Rotenburg. Mit Planung und Realisierung dieses Vorhabens ist die Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH (DEGES) beauftragt. Durch die geringe Distanz der Brücke zu Gewerbe- und Wohneinheiten ist zu klären, ob insbesondere bei Rückbauarbeiten die Grenzwerte der Erschütterungsimmissionen eingehalten werden können. In diesem Zusammenhang werden in einem ersten Schritt Baumaßnahmen und Baumaschinen vorgeschlagen, die prognostiziert wurden, im ungünstigsten Fall keine Gebäudeschäden bei sachgemäßer Anwendung hervorzurufen. Grundlage der Einschätzungen ist die DIN 4150-3.

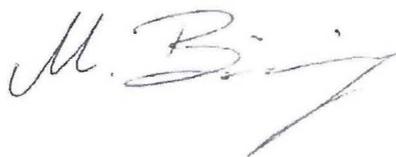
Inwieweit die prognostizierten Erschütterungen die Anrainer beeinflussen werden, wird nach DIN 4150-2 quantifiziert und potenzielle Maßnahmen vorgeschlagen.

Es zeigt sich, dass abhängig vom jeweiligen Geräteeinsatz und unter den getroffenen Annahmen für die Leistungsfähigkeit der jeweiligen Maschine die folgenden Mindestabstände d von Gebäuden einzuhalten sind, damit im ungünstigsten Fall keine Gebäudeschäden zu erwarten sind:

- Stampfer (Gewicht 60 kg) $\rightarrow d > 2,0$ m
- Rüttelplatte (Gewicht 130 kg) $\rightarrow d > 2,0$ m
- Rüttelwalze (Gewicht 4,0 t) $\rightarrow d > 7,0$ m
- Meißelbagger (Energieeintrag 3 kNm) $\rightarrow d > 3,0$ m
- Fallobjekt (6 m Höhe, Gewicht 25 kg) $\rightarrow d > 2,0$ m
- Fallobjekt (6 m Höhe, Gewicht 500 kg) $\rightarrow d > 7,0$ m

Sofern der Arbeitseinsatz von Maschinen in geringerer Entfernung vorgesehen ist, können alternative Arbeitsverfahren angewendet werden, welche geringere Erschütterungsimmissionen verursachen, oder Maßnahmen angewendet werden, die den Erschütterungseintrag in das Erdreich reduzieren.

Greifenberg, 21.10.2021



Marvin Binnig

Quellverzeichnis

- [1] DIN 4150-1, Erschütterungen im Bauwesen – Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Juni 2001.
- [2] DIN 4150-2, Erschütterungen im Bauwesen – Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999.
- [3] DIN 4150-3, Erschütterungen im Bauwesen – Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen, Februar 1999.
- [4] M. Achmus, J. Kaiser und F. tom Wörden, Bauwerkserschütterungen durch Tiefbauarbeiten – Mitteilungen des Instituts für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau der Universität Hannover, Heft 61, 2005.
- [5] VE_UL16.2.6_Grobablaufplan.pdf - Vom Auftraggeber bereitgestellt am 09.08.2021
- [6] VE-Lageplan-Stand06102020 - Vom Auftraggeber bereitgestellt am 09.08.2021
- [7] M. Achmus, J. Kaiser, Prognose von Bauwerkserschütterungen infolge Ramm- und Vibrationsverdichtungsarbeiten, Institut für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau, Universität Hannover, 2005
- [8] J. Wieck, Erschütterungen im Bauwesen. In: Die vorsorgliche Beweissicherung im Bauwesen, Schadenfreies Bauen, Band 31, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2003

Anlagen

Anlage 1



NOTIZ

(1) Die topografische Karte wurde vom Kunden zu unserer Verfügung gestellt und nicht auf Richtigkeit überprüft.
 (2) Die Flächenbelegung wurde dem Dokument VL Lagerplan-Standort 11/03/2009 zugewiesen.

LEGENDE

- BAUFELDGRENZE**
- GEMISCHTE BAUFLÄCHE
 - GEWERBLICHE BAUFLÄCHE
 - SONDERBAUFLÄCHE
 - DENKMALGESCHÜTZTE GEBÄUDE
 - GEMEINBEDARFLICH GENUTZTE FLÄCHE



Geplanntweg 8
 64600 Oberhofung
 Deutschland

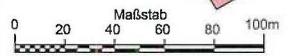
Tel: +49 6472 9989
 Fax: +49 6472 9990
 Web: www.accon.de

Kunde
DEGES

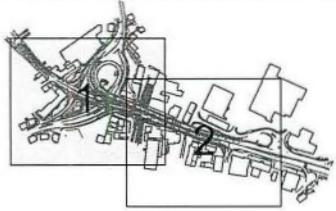
Projektname
**BRÜCKENNEUBAU B324 -
 BAD HERSFELD**

Dokument
FLÄCHENNUTZUNGSPLAN

Erstellt MABI	Datum 28/09/21	Genehmigt HV	Datum 29/09/21
Maßstab 1:2000	Format A3	Dissemination	
Projekt Nr. 216120		Dokument 216120-FNP-01(00)	
Dokument 216120-FNP-01(00) Seite 1 von 1			Rev.



Anlage 2



NOTIZ

- (1) Die dargestellte Karte wurde von Kunden zu unserer Verfügung gestellt und wird nicht auf Richtigkeit geprüft.
- (2) Die Einflussradien in dieser Einflussradienanalyse basieren auf den Daten, die demnach zur Verfügung stehen. Die Einflussradien sind nicht verbindlich und können sich bei Änderungen der Daten ändern.
- (3) Die Einflussradien der verschiedenen Einflüsse sind als separate Einflussradien dargestellt und können sich bei Änderungen der Daten ändern.
- (4) Für die Planung wurde angenommen, dass die bei der Berechnung der Einflussradien verwendeten Daten mit der tatsächlichen Situation übereinstimmen und keine weiteren Rückfragen zu erwarten sind.

LEGENDE

- EINFLUSSRADIUS LEICHTER & MITTLERE RÜTTTELPLATTE (80 KG & 90 KG)
- EINFLUSSRADIUS LEICHTER & SCHWERER STAMPFER (80 KG & 90 KG); SCHWERER RÜTTTELPLATTE (150 KG); MESSBÜBLAGER (1 KHM); FALLOBJEKT (25 KG)
- EINFLUSSRADIUS MESSBÜBLAGER (3 KHM); FALLOBJEKT (100 KG)
- EINFLUSSRADIUS RÜTTTELWALZE (4000 KG); FALLOBJEKT (500 KG)
- EINFLUSSRADIUS FALLOBJEKT (1000 KG)



Querenberg
10245 Oerlinghausen
Deutschland

Tel: +49 5202 98010
E-Mail: info@acon.de
Web: www.acon.de

Kunde
DEGES

Projektname
**BRÜCKENNEUBAU B324 -
BAD HERSFELD**

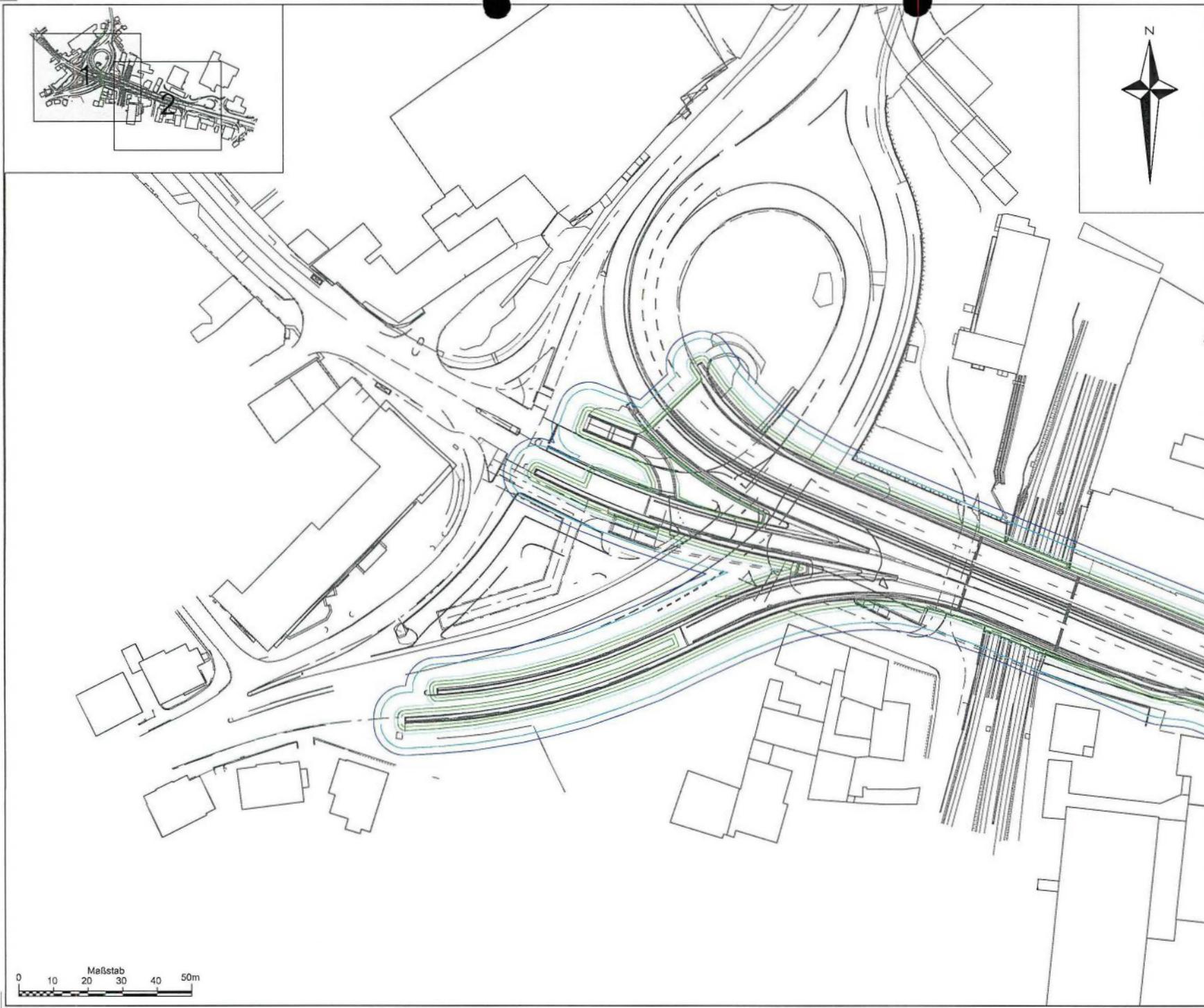
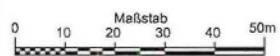
Dokument
**EINFLUSSRADIEN
ERSCHÜTTERUNG AUF GEBÄUDE
- UNGÜNSTIGER FALL**

Entwickler: MAB | 16/10/21 | Geprüft: HV | 19/10/21

Maßstab: 1:1000 | Größe: A3 | Dimensionen: NA

Projekt Nr.: 216120 | Dokument: 216120-ER-GB-01(00)

Dokument: 216120-ER-GB-01(00) Seite 1 von 2 | Rev: |





NOTIZ

(1) Die dargestellte Karte wurde nach bestem Wissen und Gewissen erstellt und wurde nicht auf Genauigkeit geprüft.
 (2) Die Einflussradien der jeweiligen Erschütterungsgegenstände basieren auf dem Stand der Technik zu dem Zeitpunkt der Erstellung der Karte und sind nicht verbindlich.
 (3) Die Einflussradien der jeweiligen Erschütterungsgegenstände sind nicht verbindlich und können sich an der jeweiligen Bauweise der Erschütterungsgegenstände, der Bauweise der Gebäude sowie dem Zustand der Gebäude ändern.
 (4) Für die Erstellung dieser Karte wurde davon ausgegangen, dass die Gebäude nicht in die Einflussradien der Erschütterungsgegenstände (außerhalb der Gebäude) und die Erschütterungsgegenstände nicht in die Einflussradien der Gebäude fallen.

LEGENDE

	ENFLUSSRADIUS LEICHTE & MITTLERE RÜTTELPLATTE (50 KG & 80 KG)
	ENFLUSSRADIUS LEICHTER & SCHWERER STAMPFER (80 KG & 80 KG); SCHWERE RÜTTELPLATTE (150 KG); MEISSELBAGGER (1 KHM); FALLOBJEKT (50 KG)
	ENFLUSSRADIUS MEISSELBAGGER (3 KHM); FALLOBJEKT (100 KG)
	ENFLUSSRADIUS RÜTTELWALZE (4000 KG); FALLOBJEKT (500 KG)
	ENFLUSSRADIUS FALLOBJEKT (1000 KG)

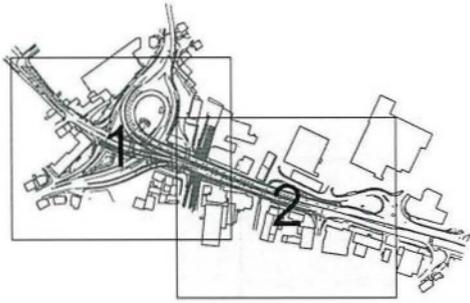
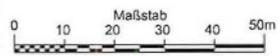


DEGES

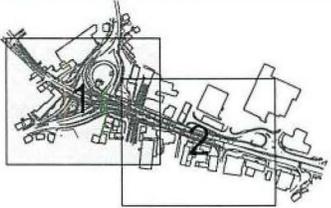
Projektname
BRÜCKENNEUBAU B324 - BAD HERSFELD

Dokument
**EINFLUSSRADIEN
 ERSCHÜTTERUNG AUF GEBÄUDE
 - UNGÜNSTIGER FALL**

Erstellt	Datei	Genehmigt	Datum
MABI	19/10/21	HV	19/10/21
Maßstab	Größe	Dimensionen	
1:1000	A3	NA	
Projekt Nr.	Dokument		
216120	216120-ER-GB-01(00)		
Dokument			
216120-ER-GB-01(00)	Seite 2 von 2		



Anlage 3

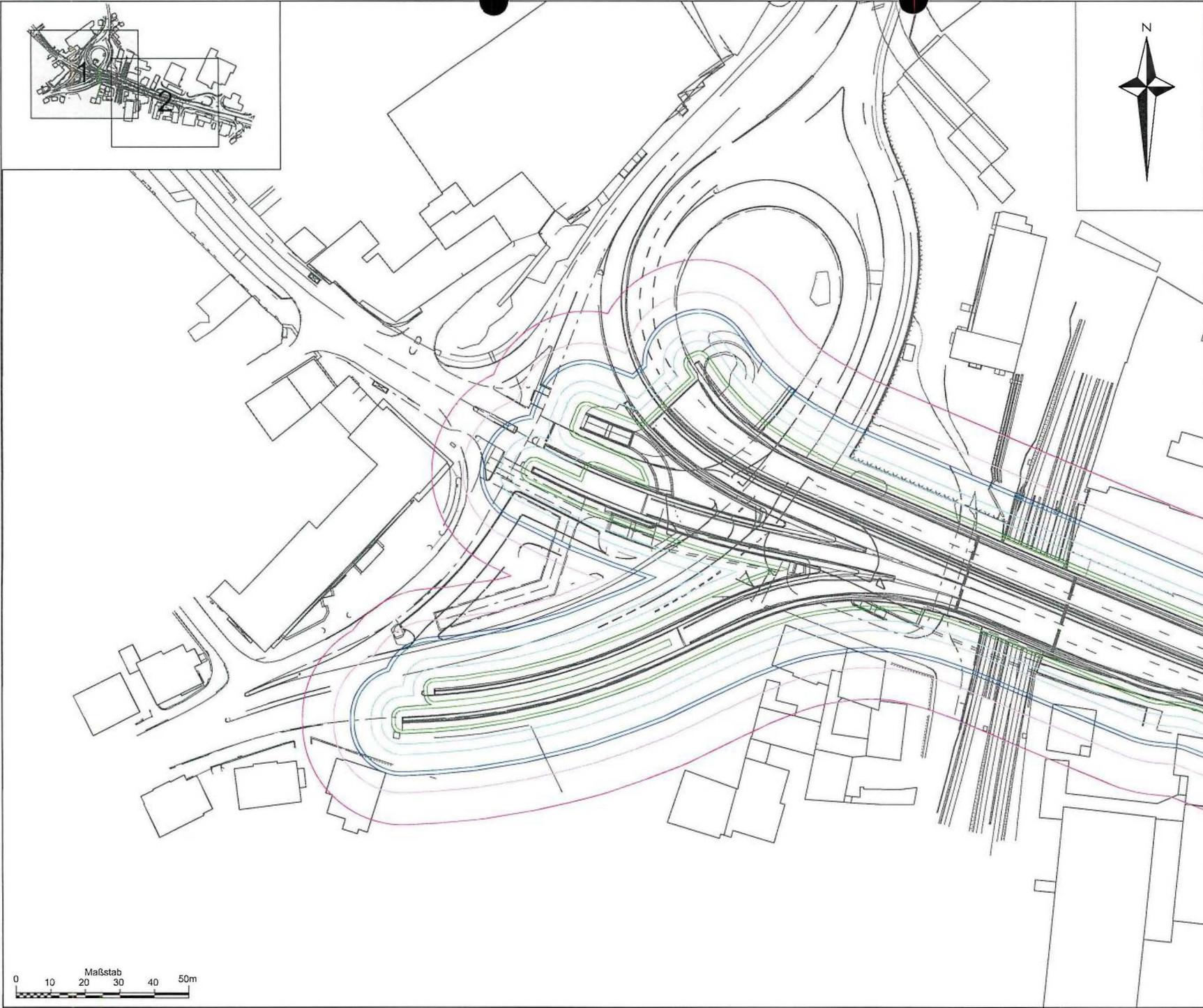


NOTIZ

- (1) Die beigefugte Karte wurde von dem Kunden zur freien Verfügung gestellt und wurde nicht auf Richtigkeit geprüft.
- (2) Die Einflussradien- und Erschütterungswerte sind nur für den Bereich, in dem nach Maßgabe der DIN 4152-2 die Auswirkungen für die Bevölkerung zu erwarten sind.
- (3) Die Einflussradien der Lastabtragung für sonstige Einbauten (z.B. Stühle und Tische) sind nur für den Bereich der jeweiligen Einbauten zu berücksichtigen. Die tatsächlichen Einbauten sind vom Kunden zu bestätigen.
- (4) Für die Planung wurde angenommen, dass die Bereiche, in denen die Gebäude als überdimensioniert unter der Decke sind, die Decke nicht überlastet werden können.
- (5) Die Prognose zur Erschütterung beruht auf den in der Baugrunderkundung durchgeführten Messungen und ist nur für den Bereich der Messungen zu erwarten.

LEGENDE

- EINFLUSSRADIUS LEICHTER RÜTTTELPLATTE (50 KG)
- EINFLUSSRADIUS LEICHTER & SCHWERER STÄMPEL (50 KG & 80 KG); MITTLERE & SCHWERE RÜTTTELPLATTE (90 KG & 130 KG)
- EINFLUSSRADIUS MEISSELBAGGER (1 KM)
- EINFLUSSRADIUS MEISSELBAGGER (3 KM)
- EINFLUSSRADIUS RÜTTTELWALZE (4000 KG)
- EINFLUSSRADIUS FALLOBJEKT (25 KG)
- EINFLUSSRADIUS FALLOBJEKT (100 KG)
- EINFLUSSRADIUS FALLOBJEKT (1000 KG)



Kunde
DEGES

Projektname
BRÜCKENNEUBAU B324 - BAD HERSFELD

Dokument
**EINFLUSSRADIEN
ERSCHÜTTERUNG AUF MENSCHEN
- WAHRSCHEINLICHER FALL**

Bereit	Date	Genehmigt	Date
MABI	19/10/21	HV	19/10/21
Maßstab	Größe	Dimensionen	
1:1000	A3	NA	
Projekt Nr.	Dokument		
216120	216120-ER-ME-01(00)		
Dokument Nr.	Rev.		
216120-ER-ME-01(00)	Seite 3 von 4		



