

Pumpspeicherwerk Forbach - Neue Unterstufe

**Antragsunterlagen zum
Planfeststellungsverfahren**

Antragsteil F.III Gutachten zu Auswirkungen durch Erschütterungen

Stand: 30.06.2021



Müller-BBM GmbH
Helmut-A.-Müller-Straße 1 - 5
82152 Planegg bei München

Telefon +49(89)85602 0
Telefax +49(89)85602 111

www.MuellerBBM.de

Dipl.-Ing. (FH) Andreas Lackner
Telefon +49(89)85602 3177
Andreas.Lackner@mbbm.com

30. Juni 2021
M133818/04 Version 1 LCK/SCHJ

Pumpspeicherwerk Forbach - Neue Unterstufe

Fachbericht Antragsteil F.III - Erschütterungsschutz

Bericht Nr. M133818/04

Auftraggeber:

EnBW
Schelmenwasenstraße 15
70567 Stuttgart

Bearbeitet von:

Dipl.-Ing. (FH) Andreas Lackner

Berichtsumfang:

Insgesamt 30 Seiten, davon
27 Seiten Textteil und
2 Seiten Anhang

Müller-BBM GmbH
HRB München 86143
USt-IdNr. DE812167190

Geschäftsführer:
Joachim Bittner, Walter Grotz,
Dr. Carl-Christian Hantschk,
Dr. Alexander Ropertz,
Stefan Schierer, Elmar Schröder

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen	3
Zusammenfassung	4
1 Situation und Aufgabenstellung	7
2 Örtliche Gegebenheiten	9
3 Beurteilungsgrundlagen	10
3.1 Erschütterungen	10
3.2 Sekundärer Luftschall	15
4 Abschätzung der beim Sprengvortrieb und Sprengaushub auftretenden Erschütterungen und sekundärem Luftschall	17
4.1 Abschätzung der Erschütterungen im Freifeld	17
4.2 Abschätzung der Übertragung der Erschütterungen vom Freifeld in Gebäude	18
4.3 Zielgrößen Erschütterungen	18
4.4 Abschätzung der zulässigen Lademengen je Zündzeitstufe	19
4.5 Sekundärer Luftschall	21
4.6 Zusammenfassende Bewertung Sprengerschütterungen	21
5 Abschätzung der auftretenden Erschütterungen aufgrund weiterer Bauarbeiten (ohne Sprengen)	22
5.1 Verdichtungsarbeiten	22
5.2 Sonstige Baumaßnahmen	25
6 Abschätzung der auftretenden Erschütterungen aufgrund Baustellenverkehr	25
7 Grundlagen	26
 Anhang Immissionsorte	

Abkürzungen

A_u	unterer Anhaltswert zur Beurteilung von Erschütterungen
A_o	oberer Anhaltswert zur Beurteilung von Erschütterungen
A_r	Anhaltswert zum Vergleich mit Beurteilungsschwingstärke
AVV Baulärm	Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm
BauNVO	Baunutzungsverordnung
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
16. BImSchV	16. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung)
b, n	Kennzahlen, empirisch ermittelt
D	Dauer
G	Gewicht der Vibrationsplatte bzw. –walze in t
IO	Immissionsort (Einwirkungsort mit schutzbedürftiger Wohnbebauung)
k	Beiwert, empirisch ermittelt
$KB_F(t)$	bewertete Schwingstärke
KB_{Fmax}	maximale bewertete Schwingstärke
KB_{FTr}	Beurteilungsschwingstärke
KB_{FTm}	Taktmaximal-Effektivwert
L_m	Mittelungspegel in dB(A)
L_{max}	mittlerer Maximalpegel in dB(A)
L	Lademenge Sprengstoff in kg je Zündzeitstufe
R	Entfernung von der Sprengstelle in m
r	Abstand zur nächsten Bebauung in m
T_e	Einwirkungszeit
T_r	Beurteilungszeit (tags 16 Std., nachts 8 Std.)
TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
US	Unterstufe
V_i	Schwinggeschwindigkeit in mm/s
V_{Res}	Ersatzresultierende aus den drei Maximalwerten der Schwinggeschwindigkeiten (x, y, z)
V_{max}	Maximalwerte der Schwinggeschwindigkeit
V_F	Schwingschnelle aus Verdichtungsarbeiten

Zusammenfassung

Die EnBW Energie Baden-Württemberg AG (im Folgenden EnBW) beabsichtigt die Errichtung und den Betrieb des Pumpspeicherwerks Forbach – Neue Unterstufe auf der Gemarkung der Gemeinde Forbach im Nordschwarzwald. Hier ist geplant, die bestehenden Anlagen des Rudolf-Fettweis-Werkes umfassend zu erneuern und auf heutige Leistungsansprüche anzupassen. Hierzu trägt insbesondere der Ausbau der Energiespeicherfunktion der Gesamtanlage bei.

Im Rahmen des Vorhabens Pumpspeicherwerk Forbach – Neue Unterstufe wird das bestehende Schwarzenbachwerk durch ein vollwertiges Pumpspeicherwerk und das bestehende Murgwerk durch ein neues Wasserkraftwerk ersetzt. Sowohl das neue Schwarzenbach- als auch das neue Murgwerk werden in Kavernen-Bauweise, d. h., unterirdisch erstellt. Die neue Kraftwerkskaverne nimmt alle Anlagenbestandteile (die Kavernenteile Schwarzenbachwerk, Murgwerk, und Transformatoren jeweils inklusive der zum Betrieb notwendigen Nebeneinrichtungen) unterirdisch auf.

In dem folgenden Bericht werden die durch das Bauvorhaben während der Bauphase zu erwartenden Erschütterungen an der nächstgelegenen schützenswerten Bebauung ermittelt und nach einschlägigen Regelwerken beurteilt.

Folgende Ergebnisse gehen aus den Untersuchungen hervor:

Erschütterungen

Sprengungsarbeiten:

Für den Sprengvortrieb des Stollensystems sind keine Schäden an der Nachbarbebauung zu erwarten (DIN 4150-3), wenn für die markierten Abstände (s. Abschnitt 4.4) aus Abbildung 1 reduzierte Lademengen je Zündzeitstufe verwendet werden. Außerdem werden die Anforderungen an den Immissionsschutz (Erschütterungen – Einwirkungen auf den Menschen DIN 4150-2) unter Berücksichtigung der markierten Abstände während der Tagzeit eingehalten.

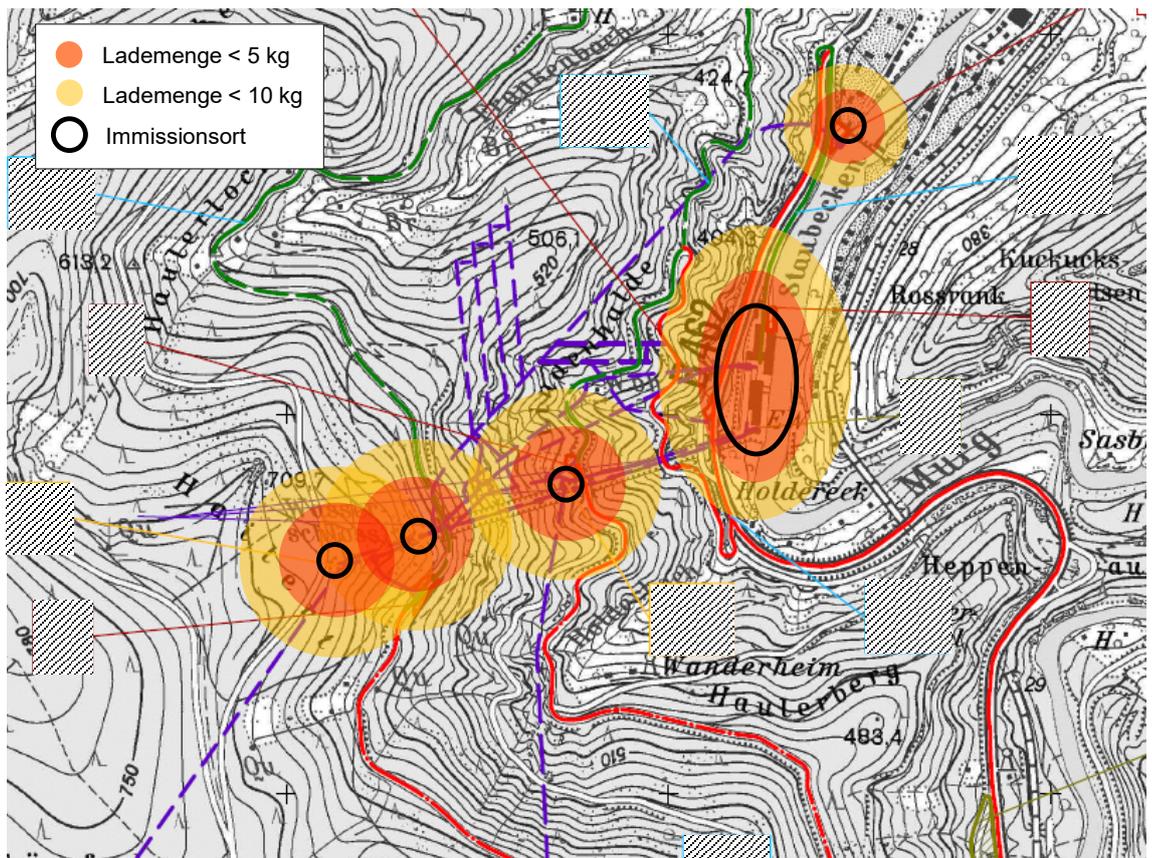


Abbildung 1. Bereiche/Abstände reduzierter Lademengen Unterstufe (farblich gekennzeichnet).

Sprengungen während der Nachtzeit – sofern erforderlich – können in Bereichen mit benachbarter Wohnbebauung nur durchgeführt werden, wenn Überschreitungen der Anhaltswerte nach DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 in Abstimmung mit den Betroffenen zugelassen werden. In diesem Fall haben die Anwohner Anspruch auf Entschädigung.

Auf der Basis von realen Messungen bei den Sprengungen während der Tagzeit (Erschütterungsmonitoring) sollten die empirisch angesetzten Bei- und Kennwerte (k , b , n , siehe Abschnitt 4.1) validiert und die sich daraus ergebenden Lademengen entsprechend angepasst werden. Höhere Lademengen können daraus resultieren.

Verdichtungsarbeiten:

Unter Berücksichtigung verschiedener Maßnahmen, die vor allem der Information der betroffenen Anwohner dienen und unter Einschränkung der Betriebsdauer der Verdichtungsarbeiten in Abhängigkeit vom Immissionsort können, ausgenommen für eventuelle Holzbalkendecken des EnBW-Kraftwerkgebäudes, die entsprechenden Anhaltswerte eingehalten werden.

Im Rahmen einer messtechnischen Untersuchung zu Beginn der Bauarbeiten können die tatsächlichen Schwingschnellen und die sich daraus ergebenden notwendigen Maßnahmen überprüft werden.

Bauverkehr:

Aufgrund von Schwerlastverkehr, insbesondere in der Gemeinde Forbach, kann es zu spürbaren Erschütterungen in den an die B462 und an die Friedrichsstraße angrenzenden Gebäuden kommen. Durch luftbereifte und gefederte Fahrzeuge sind jedoch in der Regel keine unzumutbaren Erschütterungsbelastungen 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.

Weitere Baumaßnahmen:

Es werden keine erschütterungstechnisch beurteilungsrelevanten Immissionen erwartet.

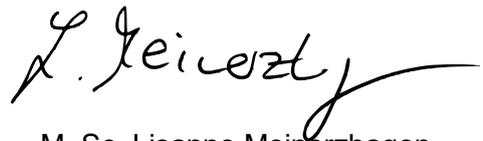
Sekundäre Luftschallimmissionen

Aussagen über sekundären Luftschall sind sowohl bei Sprengerschütterungen als auch bei Erschütterungen aus Verdichtungsarbeiten im Vorfeld kaum zu treffen, da die Abstrahlung des sekundären Luftschalls stark von der Frequenzzusammensetzung der durch die Arbeiten verursachten Erschütterungen abhängt. Allerdings kann die Aussage getroffen werden, dass tagsüber keine Überschreitungen der Anforderungen für den sekundären Luftschall zu befürchten sind, die Sprengungen in fast allen Fällen jedoch gut hörbar wahrzunehmen sein werden. Der während der Sprengarbeiten auftretende sekundäre Luftschall wird allerdings die Anforderungen an den Maximalpegel für die Nachtzeit zumindest für die Nahbereiche überschreiten.

Für den technischen Inhalt verantwortlich:



Dipl.-Ing. (FH) Andreas Lackner
Telefon +49 (89) 85602 – 3177
– Projektverantwortlicher –



M. Sc. Lianne Meinerzhagen
Telefon +49 (89) 85602 – 3287

Dieser Bericht darf nur in seiner Gesamtheit, einschließlich aller Anlagen, vervielfältigt, gezeigt oder veröffentlicht werden. Die Veröffentlichung von Auszügen bedarf der schriftlichen Genehmigung durch Müller-BBM.

Die Akkreditierung besteht für den messtechnischen Teil unter Abschnitt 3 und 4.



Deutsche
Akkreditierungsstelle
D-PL-14119-01-01
D-PL-14119-01-02
D-PL-14119-01-03
D-PL-14119-01-04

Durch die DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018
akkreditiertes Prüflaboratorium.
Die Akkreditierung gilt nur für den in der
Urkundenanlage aufgeführten Akkreditierungsumfang.

1 Situation und Aufgabenstellung

Die EnBW Energie Baden-Württemberg AG (im Folgenden EnBW) beabsichtigt die Errichtung und den Betrieb des Pumpspeicherwerks Forbach – Neue Unterstufe auf der Gemarkung der Gemeinde Forbach im Nordschwarzwald. Hier ist geplant, die bestehenden Anlagen des Rudolf-Fettweis-Werkes umfassend zu erneuern und auf heutige Leistungsansprüche anzupassen. Hierzu trägt insbesondere der Ausbau der Energiespeicherfunktion der Gesamtanlage bei.

Im Rahmen des Vorhabens Pumpspeicherwerk Forbach – Neue Unterstufe wird das bestehende Schwarzenbachwerk durch ein vollwertiges Pumpspeicherwerk und das bestehende Murgwerk durch ein neues Wasserkraftwerk ersetzt. Sowohl das neue Schwarzenbach- als auch das neue Murgwerk werden in Kavernen-Bauweise, d. h., unterirdisch erstellt. Die neue Kraftwerkskaverne nimmt alle Anlagenbestandteile (die Kavernenteile Schwarzenbachwerk, Murgwerk und Transformatoren jeweils inklusive der zum Betrieb notwendigen Nebeneinrichtungen) unterirdisch auf.

Die Planung der Neuen Unterstufe basiert auf dem Grundsatz, vorhandene Anlagen weiter zu nutzen. So können sowohl die Schwarzenbachtalsperre als auch das Sammelbecken Kirschbaumwasen ohne bauliche und betriebliche Veränderungen in das neue Anlagenkonzept integriert werden. Für das neue Schwarzenbachwerk wird das bestehende Ausgleichsbecken um einen Kavernenwasserspeicher ergänzt; das so erweiterte Ausgleichsbecken dient dann als Unterbecken für das neue Pumpspeicherwerk. Zusätzlich zum Nutzvolumen des Ausgleichsbeckens werden rund 200.000 m³ Speichervolumen geschaffen. Damit ist das Pumpspeicherwerk für einen ca. neunstündigen Pumpbetrieb ausgelegt.

Weitere wichtige Vorhabenbestandteile sind die zugehörigen Stollen, insbesondere die Unterwasser-, die Zufahrts-, die Energieableitungsstollen sowie für die Bauarbeiten erforderliche Schutterstollen. An den vorhandenen Wasserschlässern werden zwei neue Druckschächte angebunden, welche die vorhandenen Oberwasserstollen mit der neuen Kraftwerkskaverne verbinden. Es ist geplant, das Schwarzenbachwerk als Pumpspeicherwerk mit einer Pumpturbinenleistung von ca. 50 MW und das Murgwerk als Laufwasserkraftwerk mit einer Turbinenleistung von ca. 18 MW auszustatten.

Das neue Schwarzenbachwerk soll zukünftig als Stromspeicher im Tageszyklus dienen. Mit überschüssiger Energie, d. h., wenn die Stromproduktion den aktuellen Bedarf übersteigt, wird im Pumpbetrieb die Schwarzenbachtalsperre aus dem Ausgleichsbecken und dem Kavernenwasserspeicher befüllt und somit elektrische Energie in potentielle Energie umgewandelt. Bestehen Erzeugungsdefizite, z. B. in Spitzenlastzeiten, wird im Turbinenbetrieb die gespeicherte potentielle Energie wieder in elektrische Energie umgewandelt, die dann dem bestehenden Stromnetz zugeführt wird. Der Gesamtwirkungsgrad des Pumpspeicherwerks beträgt ca. 75 %.

Das neue Murgwerk wird weiterhin die Abflüsse der Murg zur Erzeugung erneuerbarer Energie nutzen. Durch den Neubau der Anlagen wird die Effizienz erhöht. Diese Effizienzgewinne können die aus der Umsetzung der WRRL-Maßnahmen resultierenden Erzeugungsverluste (Mindestwasserabgabe, Fischauf-/abstiegsanlagen) teilweise kompensieren.

Eine Übersichtsbeschreibung aller energiewirtschaftlichen, rechtlichen, technischen und ökologischen Aspekte des Vorhabens findet sich im Erläuterungsbericht der Unterlagen zum Planfeststellungsverfahren (Antragsteil A.V). Die Erläuterung der Genehmigungstatbestände aus rechtlicher Sicht findet sich in Antragsteil A.I „Antrag im Einzelnen“. Technische Aspekte werden u. a. in den Antragsteilen B.I „technische Beschreibung“ und B.X „Betriebskonzept“ erläutert. Ökologische Fragestellungen werden in Antragsteil E.I „Bericht zur Umweltverträglichkeitsprüfung“ dargestellt, der auch eine allgemeinverständliche Zusammenfassung enthält.

Zusätzlich wird das Vorhaben auf der Projektwebseite <https://www.enbw.com/ausbau-pumpspeicher> näher vorgestellt, auf die geplanten Neuerungen und die damit verbundenen Veränderungen wird eingegangen und häufig gestellte Fragen werden in Form eines Fragen- und Antwortenkatalogs beantwortet.

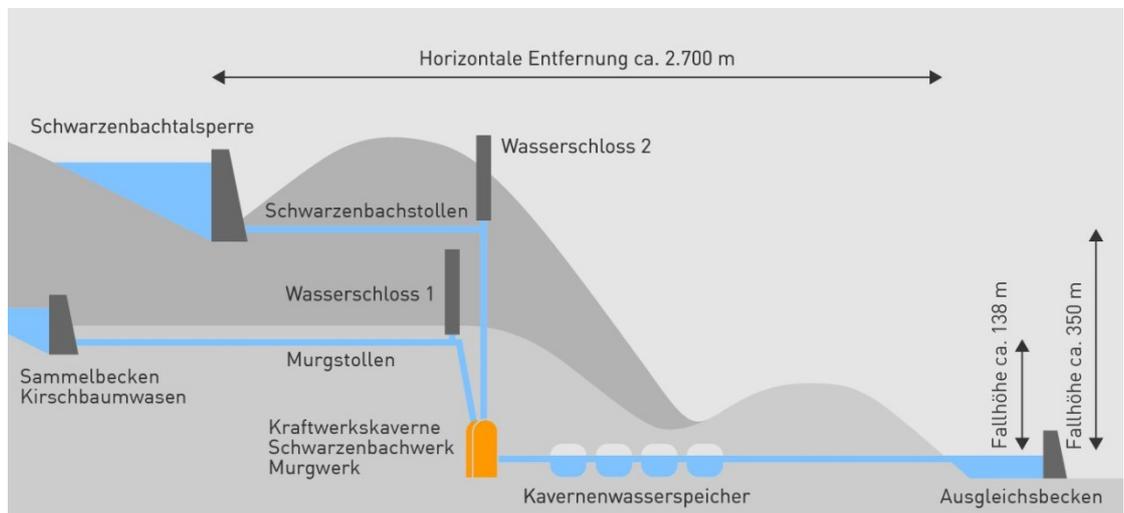


Abbildung 2. Rudolf-Fettweis-Werk mit neuer Unterstufe, EnBW.

Das erforderliche Raumordnungsverfahren wurde vom Regierungspräsidium Karlsruhe im Dezember 2012 bereits positiv abgeschlossen [1].

Im Rahmen des nunmehr vorgesehenen Planfeststellungsantrags sollen die luft-hygienischen, schall-, licht- und erschütterungstechnischen Auswirkungen, die im Wesentlichen durch die Baumaßnahmen sowie den Lkw-Verkehr während der Bau-phase hervorgerufen werden, prognostiziert und bewertet werden.

In dem folgenden Fachbericht werden die durch das Bauvorhaben während der Bau-phase zu erwartenden Erschütterungen (Antragsteil F.III, Gutachten zu Auswirkungen durch Erschütterungen) an der nächstgelegenen schützenswerten Bebauung ermittelt und nach einschlägigen Regelwerken beurteilt. Die Untersuchungen sollen aufzeigen, inwieweit Maßnahmen zum Schutz vor Erschütterungs- und sekundären Luftschallimmissionen getroffen werden müssen. Hierbei werden insbesondere die Sprengerschütterungen untersucht, die durch den Sprengvortrieb der Zufahrts-, Energieableitungs- und Schutterstollen entstehen. Für die Sprengungsarbeiten erfolgt eine Abschätzung der Lademengen je Zündzeitstufe, die die für Erschütterungen und sekundären Luftschall relevanten Anhaltswerte einhalten können.

Für die weiteren umwelttechnischen Auswirkungen werden separate Fachberichte erstellt.

2 Örtliche Gegebenheiten

In Abbildung 3 sind das geplante Stollensystem und die zu untersuchenden Immissionsorte, die maßgeblich durch die Spreng- bzw. Bauarbeiten belastet werden, markiert. Die relevanten Immissionsorte sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Eine Fotodokumentation ist im Anhang dargestellt.

Tabelle 1. Relevante Immissionsorte¹.

Zeile	Bezeichnung	Immissionsort
1	IO1	Wasserschlösser I und II
2	IO2	Krafthaus Forbach mit Murgwerk und Schwarzenbachwerk (denkmalgeschützt)
3	IO3	Wohngebiet, Forbach
4	IO4	Naturfreundehaus Holderbronn

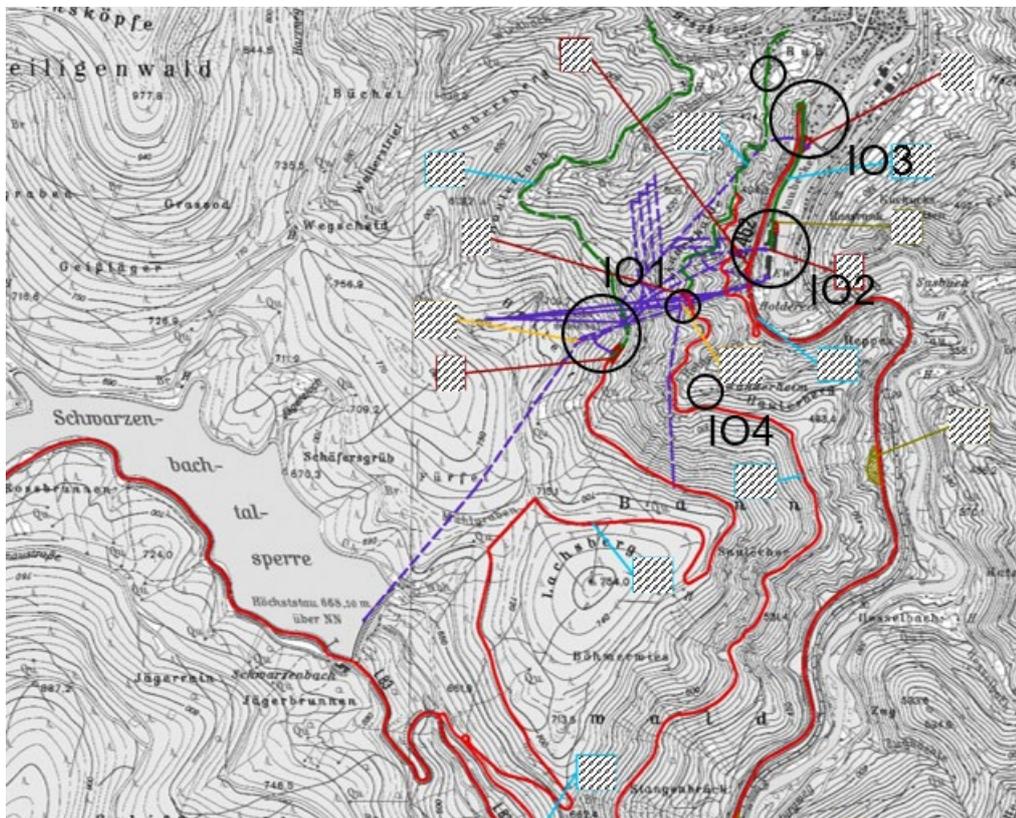


Abbildung 3. Relevante Immissionsorte Unterstufe.

¹ Aufgrund unterschiedlicher Beurteilungskriterien entspricht die Nummerierung der Immissionsorte nicht der Nummerierung des Fachgutachtens Lärmschutz.

3 Beurteilungsgrundlagen

3.1 Erschütterungen

Die Beurteilung von Erschütterungen, auch aus dem Betrieb von Baustellen, erfolgt nach der DIN 4150, Teil 2 (Einwirkung auf Menschen) [5] und der DIN 4150, Teil 3 (Einwirkung auf bauliche Anlagen) [6].

3.1.1 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Zur Bewertung der Einwirkung von Erschütterungen auf Menschen wird die bewertete Schwingstärke $KB_F(t)$ herangezogen.

Die bewertete Schwingstärke $KB_F(t)$ ist dabei nach DIN 45 669 [1] als gleitender Effektivwert des frequenzbewerteten Erschütterungssignals (Zeitbewertung 0.125 sec, „FAST“) definiert.

Die Beurteilung erfolgt nach DIN 4150 Teil 2 [5] anhand von zwei Beurteilungsgrößen:

- a) KB_{Fmax} , die maximale bewertete Schwingstärke
- b) 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 (hier Zugfahrten). |

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 2:

- 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_{FT} nicht größer als A_r nach Tabelle 2 ist.

Die in der DIN 4150-2 angegebenen Anhaltswerte für die Beurteilung von Erschütterungen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen sind in Tabelle 2 aufgelistet:

Tabelle 2. Anhaltswerte nach DIN 4150-2 (Tabelle 1) für die Beurteilung von Erschütterungen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen.

Zeile	Einwirkungsort	tags			nachts		
		A_u	A_o	A_r	A_u	A_o	A_r
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (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 bis 4 ausschließlich nach dem Gesichtspunkt der Schutzbedürftigkeit gegen Erschütterungseinwirkung vorgenommen worden ist, die Gebietseinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt.

Für die Beurteilung von Erschütterungen, die durch Baumaßnahmen verursacht werden, gelten ebenfalls Sonderregelungen. Die Norm nennt dabei ein dreistufiges Beurteilungsschema, das auch als Handlungsgrundlage im Vorfeld der Planung dienen kann.

Das Beurteilungsschema weist Anhaltswerte tagsüber für verschiedene Zeitdauern der Einwirkungen (< 1 Tag, 6 bis 26 Tage, 26 bis 78 Tage) aus. Für nachts auftretende Erschütterungen gelten die Anhaltswerte nach Tabelle 1 der DIN 4150-2.

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 3. 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		
	A_u	$A_0^*)$	A_r	A_u	$A_0^*)$	A_r	A_u	$A_0^*)$	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 $A_0 = 6$

Die in Tabelle 3 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.

Für Baustellensprengungen gilt allein das A_0 -Kriterium unabhängig von der Anzahl der Sprengungen je Tag. Werte bis $A_0 = 8$ sind zugelassen, niedrigere Werte sind anzustreben.

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.

3.1.2 Einwirkungen auf bauliche Anlagen

Der Teil 3 der Norm DIN 4150 nennt Anhaltswerte, bei deren Einhaltung Bauschäden im Sinne der Norm² nicht zu erwarten sind. Das Überschreiten der genannten Anhaltswerte besagt nicht, dass dann Schäden bereits zwingend auftreten müssen.

Für kurzzeitige Erschütterungseinwirkungen (z. B. Sprengungen) geltende Anhaltswerte sind in Tabelle 4 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 Resonanz zu erzeugen.

² 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.

Tabelle 4. Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Bauwerke nach DIN 4150-3, 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				
		< 10 Hz	10 bis 50 Hz	50 bis 100 Hz*	alle Frequenzen	alle Frequenzen
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 Erschütterungsempfindlichkeit 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 5 beschriebenen Anhaltswerte genannt.

Tabelle 5. Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i 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.			

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.

Für alle Gebäude können bei Einwirkungen von Dauererschütterungen auf Decken Schwinggeschwindigkeiten bis zu 10 mm/s in vertikale und 2,5 mm/s in horizontale Schwingrichtung, bei kurzzeitigen Einwirkungen Schwinggeschwindigkeiten bis 20 mm/s in Deckenfeldmitte (vertikale Schwingungsrichtung) und 8 mm/s (horizontale Schwingrichtung) zugelassen werden. Für unter Denkmalschutz stehende Gebäude können zur Verhinderung leichter Schäden deutlich geringere Schwinggeschwindigkeiten zulässig sein.

3.2 Sekundärer Luftschall

Infolge von Körperschalleinwirkung zum Schwingen angeregte Raumbegrenzungsflächen (Wände, Geschossdecken) strahlen ähnlich Lautsprechermembranen Luftschall ab. Bei ausreichend hohen Pegeln wird dieser „Sekundärluftschall“ vom Menschen hörbar wahrgenommen.

Für die Beurteilung der Sekundärluftschallimmissionen aus dem Baubetrieb liegen derzeit weder eingeführte Regelwerke noch verbindliche Richtwerte vor. Es wird daher meist hilfsweise auf Regelwerke, die Anforderungen an Innenraumpegel angeben, und auf die darin genannten Anhaltswerte zur Beurteilung zurückgegriffen.

Anhaltspunkte kann dabei die VDI-Richtlinie 2719 [8] liefern, die Anforderungen an Innenraumpegel für verschiedene Gebäudenutzungen bei von außen eindringenden Geräuschen benennt.

4 Abschätzung der beim Sprengvortrieb und Sprengaushub auftretenden Erschütterungen und sekundärem Luftschall

Die im direkten Einflussbereich des Sprengvortriebs des Stollensystems liegende Bebauung ist in Tabelle 7 angegeben.

Tabelle 7. Bebauung im Einflussbereich der Sprengarbeiten.

Immissionsort	Abstand	Bewertung nach	
		DIN 4150-2	DIN 4150-3
IO1, Wasserschlösser I und II	-		x
IO2, Krafthaus Forbach mit Murgwerk und Schwarzenbachwerk	ca. 15 m	x	x
IO3, Wohngebiet, Forbach	ca. 35 - 210 m	x	x
IO4, Naturfreundehaus Holderbronn	ca. 130 m	x	x

Hierbei ist zu beachten, dass die Einbautiefe des Stollensystems noch nicht in Betracht gezogen wurde, wodurch sich der Abstand zwischen Emissions- und Immissionsort noch vergrößert. Die mit den Abständen aus Tabelle 7 berechneten Lademengen (siehe Abschnitt 4.4) liegen somit auf der sicheren Seite.

4.1 Abschätzung der Erschütterungen im Freifeld

Für die Prognose von Sprengerschütterungen im Freifeld kann näherungsweise die folgende empirische Abstands-Lademengen-Beziehung verwendet werden:

$$v_{\text{Res}} = k \times L^b \times R^n \quad [\text{mm/s}]$$

Dabei ist:

- v_{Res} Ersatzresultierende aus den drei Maximalwerten der Schwinggeschwindigkeiten der Einzelkomponenten (x, y, z) im Freifeld in mm/s
- L die Lademenge Sprengstoff in kg je Zündzeitstufe
- R die Entfernung von der Sprengstelle in m
- k ein Beiwert, empirisch ermittelt (z. B. durch Probesprengungen)
- b, n Kennzahlen, empirisch ermittelt (z. B. durch Probesprengungen)

Nach [11] hat die Sprengstoffart (typische Sprengstoffe für Gewinnungssprengungen) nur einen geringen Einfluss auf die Erschütterungsübertragung, weshalb sie nicht in der Prognose berücksichtigt werden müssen. Auf Basis der Forschungsberichte Sprengen IV [11] und V [12] und der Erschütterungsprognose von Sprengarbeiten in den Niederbayrischen Schotterwerken [13] wurde ein Prognosemodell erstellt. Unter Berücksichtigung der kritischsten resultierenden Schwingschnelle ergeben sich für das hier vorliegende Granitvorkommen für oben genannte Formel folgende Werte:

$$v_{\text{Res}} = 179 \times L^{0,852} \times R^{-1,16} \quad [\text{mm/s}]$$

Die für die Bewertung nach DIN 4150 notwendigen Angaben für die Maximalwerte der Schwinggeschwindigkeit einer Einzelkomponente (v_{\max}) können nach [12] wie folgt abgeschätzt werden:

$$v_{\max} \approx 70 \% \text{ von } v_{\text{Res}}$$

4.2 Abschätzung der Übertragung der Erschütterungen vom Freifeld in Gebäude

Beim Übergang von Erschütterungen vom Freifeld auf die Fundamentbereiche von Gebäuden kommt es zu einer Verminderung der Erschütterungen. Nach DIN 4150-1 [4] kann dafür üblicherweise ein Faktor von 0,5 angesetzt werden. Sind allerdings Gebäude direkt auf Fels gegründet, ist beim Übergang auf die Gebäudefundamente unter Umständen keine Minderung vorhanden.

Für die vorliegende Abschätzung wird daher für die zu erwartenden Erschütterungen in den Gebäudefundamenten von den prognostizierten Freifeldwerten ausgegangen, um den „Worst-case“ abzubilden.

Bei der Ausbreitung der Erschütterungen innerhalb eines Gebäudes kommt es üblicherweise zwischen den Fundamentbereichen und den Bauteilen in den Obergeschossen zu einer Erhöhung der Erschütterungswerte. Die Erhöhung ist abhängig davon, inwieweit sich Bauteile resonanzartig anregen lassen. Bei Sprengerschütterungen kommt es nicht zu wesentlichen Resonanzerscheinungen, der Ansatz einer Erhöhung der Erschütterungen um den Faktor 1,5 liegt auf der sicheren Seite.

4.3 Zielgrößen Erschütterungen

Bei Ansatz des strengsten Anhaltswertes der DIN 4150-3 [6] für Fundamentalschwingungen von 3 mm/s für denkmalgeschützte Gebäude und von 5 mm/s für Wohn- bzw. gleichartige Gebäude (Gebäude nach Zeile 3 und 2 Tabelle 1, Einwirkungen im Frequenzbereich von 1 Hz bis 10 Hz) werden auch die anderen Anhaltswerte der DIN 4150-3 (horizontale Schwingungen in der obersten Deckenebene 8 mm/s bzw. 20 mm/s für vertikale Deckenschwingungen) und der DIN 4150-2 (Sonderregelung Baustellensprengungen tags $A_0 < 8$) mit großem Abstand eingehalten.

Für die Nachtzeit wird die Anforderung der DIN 4150-2 für Mischgebiete ($A_0 \leq 0,3$) bzw. Gewerbegebiete ($A_0 \leq 0,4$) zur bestimmenden Größe. Dies entspricht Freifeldwerten v_{\max} von ca. 0,23 mm/s bzw. ca. 0,3 mm/s.

Als Zielgröße für die Prognoseabschätzung ist demnach von einem Wert der maximalen Schwinggeschwindigkeit von

tags (Denkmalschutz):	$v_{\max} \leq 3 \text{ mm/s}$,
tags (Wohngebäude):	$v_{\max} \leq 5 \text{ mm/s}$,
nachts:	$v_{\max} \leq 0,23 \text{ mm/s}$

an allen relevanten Messstellen im Freifeld vor Gebäuden auszugehen.

4.4 Abschätzung der zulässigen Lademengen je Zündzeitstufe

Im Folgenden wurde eine Abschätzung der für die Sprengungen zulässigen Lademengen je Zündzeitstufe auf der Basis des vorstehend beschriebenen Prognosemodells getroffen, die ein Einhalten der angestrebten Zielgrößen nach 4.3 gewährleisten können.

Tabelle 8. Zulässige Lademengen je Zündzeitstufe für maßgebende Anhaltswerte.

Immissionsort	Zulässige Lademengen je Zündzeitstufe in [kg]	
	tags	nachts
IO2, Krafthaus Forbach mit Murgwerk und Schwarzenbachwerk	0,3	
IO3, Wohngebiet, Forbach	1,9	< 0,1
IO4, Naturfreundehaus Holderbronn	10,6	0,3

Lademengen > 5 kg je Zündzeitstufe gewährleisten für Tunnelvortriebsarbeiten sicherlich wirtschaftlich sinnvolle Sprenganlagen. Für den Sprengvortrieb des Stollensystems sind diejenigen Immissionsorte markiert, für die die Anhaltswerte nur eingehalten werden, wenn die Lademengen < 5 kg pro Zündzeitstufe betragen (siehe Tabelle 8). In Abbildung 4 sind die Bereiche gekennzeichnet, in denen nur mit reduzierten Lademengen gesprengt werden sollte (Tagzeit), um nicht mit Gebäudeschäden rechnen zu müssen. Die zugehörigen Abstände sind in Tabelle 9 angegeben.

Da sich die Wasserschlösser unmittelbar oberhalb des Stollensystems befinden, ist eine Abschätzung der zulässigen Lademengen je Zündzeitstufe nicht möglich, da die empirischen Berechnungsformeln für den unmittelbaren Nahbereich keine belastbaren Aussagen gewährleisten. Um sicherzustellen, dass die angestrebten Zielgrößen nach 4.3 eingehalten werden können, sind Erschütterungsmessungen vor Ort notwendig. Dabei sollte frühzeitig – in großem Abstand zu den Sprengungen – ein Erschütterungsmonitoring an den Wasserschlössern installiert werden, so dass bei Erreichen des Zielgrößenbereichs eingeschritten und Maßnahmen zur Reduktion der Erschütterungsimmissionen (z. B. Reduktion der Lademengen, Verwendung eines anderen Sprengstoffs) getroffen werden können.

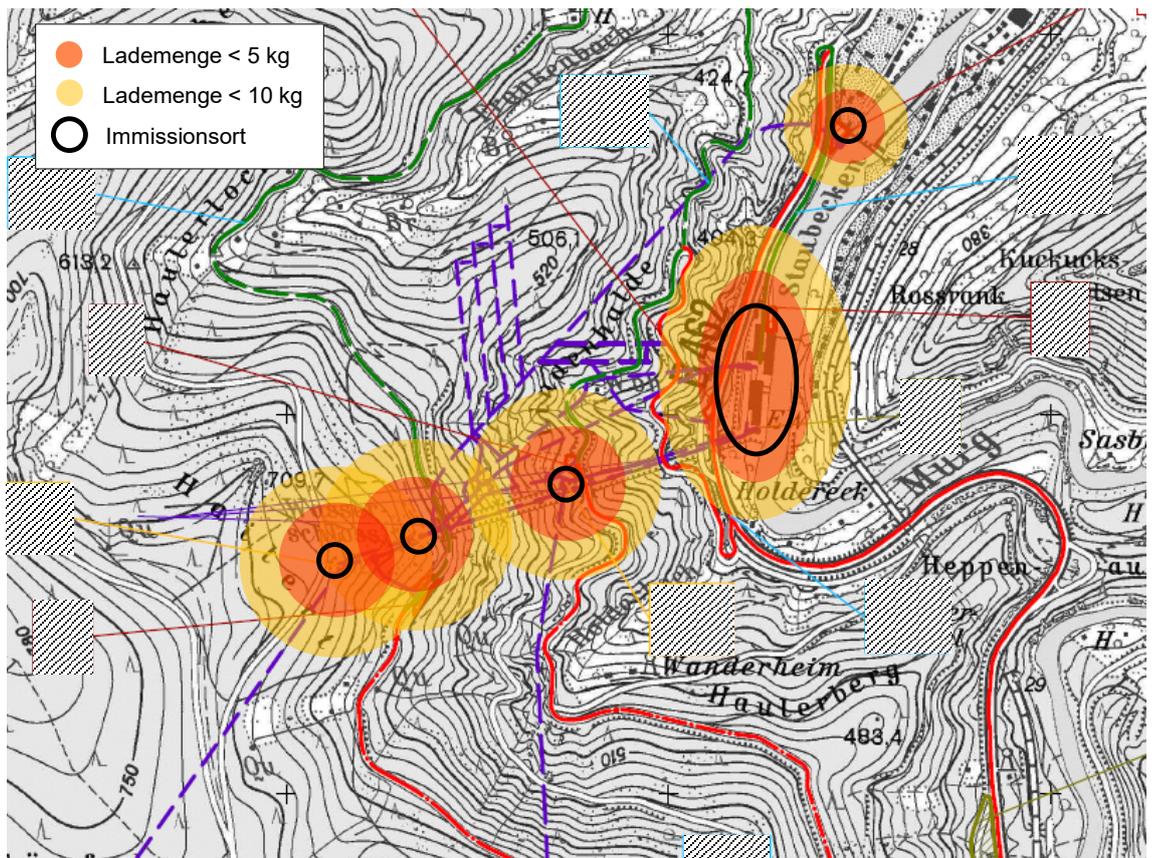


Abbildung 4. Bereiche reduzierter Lademengen je Zündzeitstufe Unterstufe.

Für die Nachtzeit verringern sich aufgrund des sehr niedrigen Anhaltswertes die möglichen Lademengen je Zündzeitstufe sehr stark, für die Nahbereiche ergeben sich zulässige Lademengen, die Sprengungen nahezu unmöglich machen. Um die Anforderungen nach DIN 4150-2 einzuhalten, müssten voraussichtlich die in Tabelle 9 aufgeführten Abstände je Lademenge eingehalten werden.

Tabelle 9. Erforderlicher Abstand tags und nachts nach DIN 4150-2.

Lademenge in kg	Erforderlicher Abstand tags nach DIN 4150-3 in m		Erforderlicher Abstand nachts nach DIN 4150-2 in m
	Wohnbebauung	Denkmalschutz	
0,5	15	20	190
1	25	35	320
2	40	60	540
5	75	115	1060
10	120	190	1760

Hinweis:

Auch für diese Abstände gelten die „Worst-case“ Annahmen. Lademengen und korrespondierende Abstände können durch Erschütterungsmessungen (Erschütterungsmonitoring) während der Sprengarbeiten angepasst werden.

4.5 Sekundärer Luftschall

Aussagen über sekundären Luftschall bei Sprengerschütterungen im Vorfeld sind kaum zu treffen, da die Abstrahlung des sekundären Luftschalls stark von der Frequenzzusammensetzung der durch die Sprengung verursachten Erschütterungen abhängt. Die Frequenzzusammensetzung ist sehr stark abhängig von den lokalen Verhältnissen des Gebirges. Typischerweise liegen die Hauptstörfrequenzen bei Sprengungen im Frequenzbereich zwischen 10 Hz und 60 Hz. Je niedriger die Hauptstörfrequenz liegt, desto weniger kommt der sekundäre Luftschall zum Tragen. Allerdings kann die Aussage getroffen werden, dass unter Zugrundelegung der beschriebenen Anforderungen tagsüber keine Überschreitungen der Anforderungen für den sekundären Luftschall zu befürchten sind, die Sprengungen in fast allen Fällen jedoch gut hörbar wahrzunehmen sein werden. Falls die Erschütterungsanforderungen der DIN 4150-2 für die Nachtzeit eingehalten werden, sind ebenfalls keine Überschreitungen der Anforderungen für den sekundären Luftschall zu befürchten. Der während der Sprengarbeiten tags auftretende sekundäre Luftschall wird allerdings im Vergleich dazu die Anforderungen der Nachtzeit zumindest für die Nahbereiche überschreiten. Auch hier empfiehlt sich eine messtechnische Klärung der Ausbreitungsverhältnisse für die sekundären Luftschallimmissionen zu Beginn der Sprengarbeiten.

4.6 Zusammenfassende Bewertung Sprengerschütterungen

Für den Sprengvortrieb des Stollensystems sind keine Schäden an der Nachbarbebauung zu erwarten, wenn für die markierten Abstände aus Abbildung 4 reduzierte Lademengen je Zündzeitstufe verwendet werden. Außerdem werden auch die Anforderungen an den Immissionsschutz unter Berücksichtigung der markierten Abstände während der Tagzeit eingehalten. Können bei Unterschreiten der genannten Abstände aus wirtschaftlichen oder technischen Gründen die Lademengen je Zündzeitstufe nicht reduziert werden, sollte in den betroffenen Gebäuden frühzeitig ein Erschütterungsmonitoring installiert werden, um kritische Schwingschnellen rechtzeitig erkennen zu können. Ein Erschütterungsmonitoring ist in den kritischen Abstandsbereichen neben dem Schutz der Gebäude auch aus Dokumentationszwecken grundsätzlich zu empfehlen.

Sprengungen während der Nachtzeit – sofern erforderlich – können in Bereichen mit benachbarter Wohnbebauung nur durchgeführt werden, wenn Überschreitungen der Anhaltswerte nach DIN 4150 Teil 2 Tabelle 1 in Abstimmung mit den Betroffenen zugelassen werden. In diesem Fall haben die Anwohner Anspruch auf Entschädigung.

Die Abschätzungen nach den genannten Prognosemodellen beinhalten Sicherheitszuschläge. Daher können in Realität vermutlich auch größere Lademengen je Zündzeitstufe als vorstehend beschrieben eingesetzt werden. Auf der Basis von realen Messungen bei den Sprengungen während der Tagzeit sollten die empirisch angesetzten Bei- und Kennwerte (k , b , n) validiert und die sich dann daraus ergebenden Lademengen entsprechend angepasst werden.

5 Abschätzung der auftretenden Erschütterungen aufgrund weiterer Bauarbeiten (ohne Sprengen)

Zum jetzigen Planungsstand sind die im Folgenden beschriebenen Baumaßnahmen vorgesehen und werden erschütterungstechnisch bewertet [15]. Wenn weitere Baumaßnahmen angesetzt werden, müssen diese ebenfalls erschütterungstechnisch untersucht werden.

5.1 Verdichtungsarbeiten

Der im Zuge von Verdichtungsarbeiten betroffene Immissionsort ist in Tabelle 10 aufgeführt und in Abbildung 5 dargestellt.

Tabelle 10. Immissionsort im Einflussbereich von Verdichtungsarbeiten.

Immissionsort	Abstand	Bewertung nach	
		DIN 4150-2	DIN 4150-3
IO2, Krafhäus Forbach mit Murgwerk und Schwarzenbachwerk	ca. 30 m	ja	ja

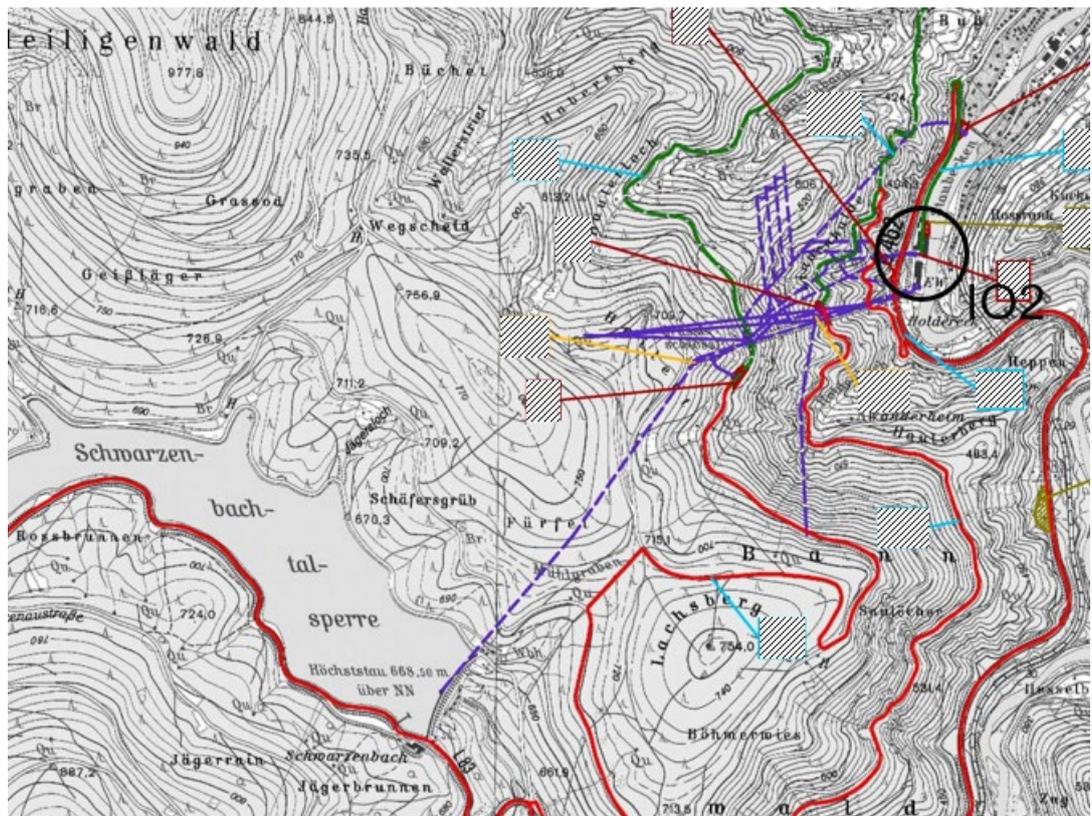


Abbildung 5. Immissionsort von Verdichtungsarbeiten betroffen.

5.1.1 Abschätzung der Erschütterungen

Verdichtungsarbeiten, die im Rahmen der Herstellung der Baustraßen bzw. Lagerungsflächen 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 [15] ermittelt werden, welcher einen indirekten proportionalen Zusammenhang zwischen Schwingschnelle und Abstand vorgibt.

Der ungünstigste Wert der Schwingschnelle aus Verdichtungsarbeiten ergibt sich zu:

$$v_F = 10,87 \cdot \frac{\sqrt{G}}{r} \quad (2)$$

Dabei ist:

- G Gewicht der Vibrationsplatte bzw. -walze in t
 r Abstand zur nächsten Bebauung in m

5.1.2 Zielgröße Erschütterungen

Die Anhaltswerte für Erschütterungen aus Verdichtungsarbeiten im Straßenbau können der DIN 4150-3 entnommen werden. Für Wohn- und vergleichbare Bebauung bzw. unter Denkmalschutz stehende Gebäude ergeben sich folgende oberen Anhaltswerte:

tags (Wohnbebauung): $v_{\max} \leq 5 \text{ mm/s}$

tags (Denkmalschutz): $v_{\max} \leq 3 \text{ mm/s}$

Unter Einhaltung der strengsten Anhaltswerte nach DIN 4150-3 werden auch die Zielgrößen der DIN 4150-2 für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen ($A_o \leq 5$) eingehalten. Für die bewohnten Immissionsorte müssen zusätzlich die Anforderungen für den Nachtzeitraum der DIN 4150-2 für Mischgebiete ($A_o \leq 0,3$) bzw. Gewerbegebiete ($A_o \leq 0,4$) eingehalten werden. Dies entspricht Freifeldwerten v_{\max} von ca. 0,23 mm/s bzw. ca. 0,3 mm/s.

nachts: $v_{\max} \leq 0,23 \text{ mm/s}$

Da die Verdichtungsarbeiten überwiegend tagsüber stattfinden, werden die prognostizierten Erschütterungen für den Tagzeitraum bewertet und die nach DIN 4150-2 maximale Betriebsdauer pro Tag in Abhängigkeit der Beurteilungsstufen I bis III zur Vorinformation der betroffenen Anwohner bestimmt.

5.1.3 Abschätzung der maximalen Betriebsdauer der Verdichtungsarbeiten

Die maximalen Schwingschnellen aus Verdichtungsarbeiten an den jeweiligen Immissionsorten, die mit Hilfe des Prognosemodells nach [15] berechnet worden sind, sind in Tabelle 11 dargestellt. Es sind jeweils die Schwingschnellen für das Fundament, die oberste Geschossdecke als Holzbalkendecke und als Betondecke aufgeführt.

Tabelle 11. Abschätzung der maximalen Schwingschnelle in mm/s nach [15] für Fundament/ oberste Geschossdecke (Holzbalken)/oberste Geschossdecke (Beton).

Immissionsorte	Baufelder	Verdichtungsarbeiten	
		Rüttelplatte (0,5 t)	Vibrationswalze (7,5 t)
IO2, Krafthaus Forbach mit Murgwerk und Schwarzenbachwerk	US 17	0,2/ 3,4/ 2,3	0,9/ 13,3/ 8,9

Eine Überschreitung des oberen Anhaltswertes findet am Immissionsort IO2 statt, insbesondere wenn die obersten Geschossdecken Holzbalkendecken sind. Der Immissionsort IO2 muss zusätzlich nach DIN 4150-2 Tabelle 2 (Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen auf Menschen) beurteilt werden. In Tabelle 12 ist die maximale Betriebsdauer pro Tag in Abhängigkeit der Beurteilungsstufen I bis III nach DIN 4150-2 aufgeführt.

Tabelle 12. Maximale Betriebsdauer pro Tag in h nach DIN 4150-2.

Immissionsort	Dauer in Tagen	Stufe I	Stufe II	Stufe III
Holzbalkendecke				
IO2	$D \leq 6$	0,8	3,0	6,8
Betondecke				
IO2	$D \leq 6$	1,7	6,8	15,3

5.1.4 Zusammenfassende Beurteilung der Verdichtungsarbeiten

Der obere Anhaltswert nach DIN 4150-2 bzw. DIN 4150-3 für Erschütterungen aus Baumaßnahmen wird am Immissionsort IO2 insbesondere für Holzbalkendecken überschritten.

Die maximale Betriebsdauer nach DIN 4150-2 lässt für die Zumutbarkeitsschwelle nach Stufe III, teilweise auch für Stufe II, sicherlich sinnvolle Betriebszeiten zu. Die kritischste Betriebszeit wurde für das Krafthaus Forbach mit Murgwerk und Schwarzenbachwerk (IO2) berechnet. Dort kann unter Einhaltung der Stufe III und unter der Annahme, dass es sich um eine Holzbalkendecke handelt, bis zu 6,8 Stunden gearbeitet werden, ohne die Anforderungen der DIN 4150-2 zu überschreiten. Wenn die Maßnahmen a) bis f) aus Abschnitt 3.1.1 der DIN 4150-2 getroffen werden, können die Anforderungen der DIN 4150-2 eingehalten werden.

Da es sich im vorliegenden Prognosemodell um eine „Worst-case“ Abschätzung handelt, empfiehlt sich eine Überprüfung der tatsächlichen Schwingschnellen im Rahmen einer messtechnischen Untersuchung vor Ort zu Beginn der Bauarbeiten. Es besteht die Möglichkeit, dass die gemessenen Schwingschnellen weitaus geringer sind als die prognostizierten, wodurch die zu treffenden Maßnahmen verringert werden könnten.

5.2 Sonstige Baumaßnahmen

Rodung

Es werden keine erschütterungstechnisch relevanten Emissionen erwartet.

Betonarbeiten (kein Abbruch)

Es werden keine erschütterungstechnisch relevanten Emissionen erwartet.

Errichtung und Betrieb der Baustelleneinrichtung

Es werden keine erschütterungstechnisch relevanten Emissionen erwartet.

..

Oberboden abtragen/andecken

Es werden keine erschütterungstechnisch relevanten Emissionen erwartet.

Ausbruchmaterial einbauen

Siehe Verdichtungsarbeiten nach Abschnitt 5.1.

An- und Abtransport Baumaterialien

Siehe Baustellenverkehr nach Abschnitt 6.

Rückbau Baustraße

Es werden keine erschütterungstechnisch relevanten Emissionen erwartet.

6 Abschätzung der auftretenden Erschütterungen aufgrund Baustellenverkehr

Aufgrund von Schwerlastverkehr, insbesondere in der Gemeinde Forbach, kann es zu spürbaren Erschütterungen in den an die B462 und an die Friedrichsstraße angrenzenden Gebäuden kommen. Durch luftbereifte und gefederte Fahrzeuge sind jedoch in der Regel keine erheblichen Erschütterungsbelastungen 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.

Gebäudeschäden nach DIN 4150-3 [6] sind durch den zusätzlichen Baustellenverkehr nicht zu erwarten, da bereits ohne Berücksichtigung des Baustellenverkehrs ein hohes Schwerlastverkehrsaufkommen an o. g. Straßen auftritt. Für die Beurteilung der Gebäudeschäden nach DIN 4150-3 ist nicht der Beurteilungspegel (berücksichtigt die Häufigkeit an Erschütterungsereignissen), sondern der Maximalpegel (Maximum eines Einzelereignisses) relevant, der sich voraussichtlich durch den Baustellenverkehr nicht erhöht, da, wie zuvor erwähnt, bereits aktuell Schwerlastverkehr auf den Straßen vorhanden ist.

7 Grundlagen

Dieser Untersuchung liegen folgende Unterlagen und Informationen zugrunde:

- [1] Pumpspeicherwerk Forbach, Raumordnungsverfahren, Zusammenfassung, EnBW Kraftwerke AG, März 2012.
- [2] EnBW Energie Baden-Württemberg AG, PSW Forbach, Genehmigungsplanung, Eingangsdaten für Immissionsgutachten, Baugeschehen Unterstufe, Stand 17.01.2017, ergänzt am 15.09.2017, Lahmeyer Hydroprojekt GmbH München.
- [3] DIN 45669-1: Messung von Schwingungsimmissionen. Teil 1: Schwingungsmesser; Anforderungen, Prüfung. September 2010.
- [4] DIN 4150 Teil 1: Erschütterungen im Bauwesen; Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Juli 2001.
- [5] DIN 4150 Teil 2: Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden. Juni 1999.
- [6] DIN 4150 Teil 3: Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf bauliche Anlagen. Februar 1999.
- [7] VDI-Richtlinie 2057, Blatt 3; Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen, Beurteilung; Mai 1987 (zurückgezogen September 2002).
- [8] VDI-Richtlinie 2719: Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen. August 1987.
- [9] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Geräuschimmissionen – vom 19.08.1970.
- [10] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) vom 26. August 1998 (GMBI Nr. 26/1998 S. 503), geändert durch Verwaltungsvorschrift vom 01.06.2017 (BANz AT 08.06.2017 B5).
- [11] Forschungsbericht IV 1980 Sprengen Bayerischer Wald im Auftrag des Bayerischen Staatministeriums für Arbeit und Sozialordnung durchgeführt von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Juli 1980.
- [12] Forschungsbericht V 1982 Sprengen Oberpfälzer Wald und Frankenwald im Auftrag des Bayerischen Staatministeriums für Arbeit und Sozialordnung durchgeführt von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Dezember 1982.

- [13] Genehmigungsverfahren Steinbrucherweiterung, Erschütterungstechnische Untersuchung zu den Sprengerschütterungen, MBBM-Bericht, September 2016.
- [14] Pumpspeicherwerk Forbach, Neubau Oberstufe – Alternative „Seekopf“, Geotechnisches und hydrologisches Gutachten zur Planfestellung, Vorabzug 16.07.2015.
- [15] Bauwerkserschütterungen durch Tiefbauarbeiten: Grundlagen – Messergebnisse – Prognosen, M. Achmus, J. Kaiser, F. tom Wörden, Bericht 20, 2004.
- [16] PSW Forbach – Unterstufe Baustelleneinrichtungsplan, BE- und Zwischenlagerflächen Übersichtslageplan, HPI Ingenieursarbeitsgemeinschaft PSW Forbach, Juni 2015.
- [17] PSW Forbach – Ober- und Unterstufe, Vortrag Eingangsdaten für Immissionsgutachten, EnBW, Dezember 2016.
- [18] „EnBW PSW Forbach Verkehrsuntersuchung, Erläuterungsbericht“, KOEHLER & LEUTWEIN GmbH Ingenieurbüro für Verkehrswesen, 24.11.2017.

Anhang

Immissionsorte

S:\MIProj\133M133818\M133818_04_Ber_1D.DOCX:30.06.2021

	<p>IO1 Wasserschlösser (Abbildung nicht maßstäblich, Copyright openstreetmaps.org)</p>
	<p>IO2 Kraftthaus Forbach mit Murgwerk und Schwarzenbachwerk</p>
	<p>IO3 Wohngebiet Forbach</p>
	<p>IO4 Naturfreundehaus Holderbronn, Landstraße 46</p>

S:\M\Proj\133M133818\M133818_04_Ber_1D.DOCX:30.06.2021