

Neubau einer Fischaufstiegsanlage mit Forschungsanteil an der Staustufe Wallstadt

Wasserstraßen-Neubauamt Aschaffenburg

Planfeststellungsverfahren

Neubau einer Fischaufstiegsanlage mit Forschungsanteil an der Staustufe Wallstadt

Main-km 101,37

Erschütterungsgutachten

Beilage 28

Wasserstraßen-Neubauamt Aschaffenburg
15.12.2025

gez. Bodsch
(Amtsleitung)

Wasserstraßen-Neubauamt Aschaffenburg
Hockstraße 10
63743 Aschaffenburg
Telefon 06021 312- 0
Telefax 06021 312- 3101

Neubau einer
Fischaufstiegsanlage (Pilotanlage)
an der Staustufe Wallstadt
(Main-km 101,37)

Gutachten zu Auswirkungen
von Erschütterungen
während der Bauzeit

Auftraggeber: Wasserstraßen-Neubauamt Aschaffenburg

Auftrag vom: 31.01.2018, Az.: 3-234.06/Wal11/43

Auftrags-Nr.: BAW-Nr. B3952.01.06.10101

Aufgestellt von:	Abteilung:	Geotechnik
	Referat:	Baugrunderkundung
	Bearbeiter:	Dr.-Ing. Julia Götz

Karlsruhe, 30.05.2025

Das Gutachten darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Die Vervielfältigung und eine Veröffentlichung bedürfen der schriftlichen Genehmigung der BAW.

Zusammenfassung

Das Wasserstraßen-Neubauamt Aschaffenburg plant den Neubau einer Fischaufstiegsanlage an der Staustufe Wallstadt (Main-km 101,37). Die Bundesanstalt für Wasserbau wurde beauftragt ein Erschütterungsgutachten zu erstellen. Untersucht werden die Auswirkungen von Vibrationsrammen zum Einbringen und Ziehen von Spundbohlen und Dalben, von Abrissmeißeln und von der Verdichtung des Bodens durch Vibrationsverfahren.

Im Umfeld der Baumaßnahme befinden sich zahlreiche Schutzgüter wie ein Wasserkraftwerk, die Ortschaft Kleinwallstadt, Brücken, Versorgungsleitungen, Stauhaltungsdämme und Einlassbauwerke. Es werden auch die Auswirkungen der Erschütterungen auf bereits fertiggestellte Bereiche der Fischaufstiegsanlage untersucht und die geplanten Kompensationsmaßnahmen betrachtet.

Der Baugrund besteht aus Auffüllungen, Lehm und Kiessanden. Unterhalb der Kiessande folgt die Felsformation des Unteren Buntsandsteins ab ca. 8,9 m bis 12,8 m unter der Geländeoberkante.

Die Prognose der Schwingungen basiert auf statistischen Auswertungen von Schwingungsmessungen bei vergleichbaren Bauvorhaben. Die notwendige Größe und Leistungsfähigkeit der einzusetzenden Technik werden hier nur grob abgeschätzt. Es werden folgende Bauverfahren geprüft: das Einbringen von Rammelementen in Austauschbohrungen und in den gewachsenen Boden mit Vibrationsrammen und das Ziehen von Rammelementen mit Vibrationsverfahren. Für das Abrissmeißeln wurde ein leistungsstarker Hydraulikmeißel angenommen. Die Prognose durch Baugrundverdichtung erfolgte für schwere Plattenrüttler und Vibrationswalzen.

Grundlage der Bewertung der Erschütterungen hinsichtlich der Auswirkungen auf Bauwerke und Menschen ist die Norm DIN 4150 und Empfehlungen der BAW. Es werden Entfernungsbereiche für mögliche Überschreitungen der Anhaltswerte und für die Beweissicherung herausgearbeitet.

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Veranlassung und Aufgabenstellung	1
2	Unterlagen und Daten	1
3	Baumaßnahmen	2
3.1	Spundwände, kombinierte Spundwände und Dalben	3
3.2	Abbrucharbeiten	4
3.3	Verdichtungsarbeiten	5
4	Kompensationsmaßnahmen	5
5	Anforderungen an den Erschütterungsschutz	5
5.1	Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen	5
5.2	Einwirkungen auf den Boden im Gründungsbereich von Bauten	7
5.3	Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden	8
6	Schutzgüter	10
6.1	Kraftwerksgebäude und Turbinen	10
6.2	Ortslage Markt Kleinwallstadt	11
6.3	Brücken	11
6.4	Versorgungsleitungen und Einleitungsbauwerke	11
6.5	Fischaufstiegsanlage	12
6.6	Stauhaltungsdämme	12
7	Baugrund	12
8	Erschütterungsprognose	13
8.1	Vibrationsrammung	13
8.2	Abbruchmeißeln	17
8.3	Bodenverdichten	18
9	Bewertung und Empfehlungen	21
9.1	Allgemeine Empfehlungen	21
9.2	Kraftwerksgebäude und Turbinen	21
9.3	Wohngebäude und Nebengebäude Kleinwallstadt	22
9.4	Menschen in Wohngebäuden	22
9.5	Versorgungsleitungen im Bereich der FAA und Einleitungsbauwerke	24
9.6	Trennpfeiler, Ufermauern	24
9.7	Neu gebaute Fischaufstiegsanlage und Brücken	25
9.8	Kompensationsmaßnahme Flutmulde	25
9.9	Einwirkungen auf den Boden im Gründungsbereich von Bauten	25

Bildverzeichnis Seite

Bild 1:	Abschätzung des Setzungsverlaufs der Geländeoberkante bei Vibrationsrammung ($M = 24 \text{ kgm}$ und $f = 35 \text{ Hz}$) in locker gelagerten Sanden [U16].	26
---------	---	----

Tabellenverzeichnis Seite

Tabelle 1:	Ange-setzte Spundwände und kombinierte Spundwände nach [U7]. Ein detailliertes Konzept zur Baugrubenumschließung wird im Rahmen der Ausführungsplanung durch den Tragwerksplaner ausgearbeitet.	4
Tabelle 2:	Anhaltswerte $v_{i, \max}$ zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen und Dauererschütterungen auf Gebäude (Tabellen 1 und 4 der DIN 4150-3:2016-12).	7
Tabelle 3:	Anhaltswerte $v_{i, \max}$ zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen und Dauererschütterungen auf erdverlegte Rohrleitungen (Tabelle 3 und Abschnitt 6.2 der DIN 4150-3:2016-12).	7
Tabelle 4:	Anhaltswerte für Erschütterungseinwirkungen auf Menschen durch Baumaßnahmen außer Sprengungen (Tabelle 2 der DIN 4150-2:1999-06).	9
Tabelle 5:	Übersicht über die Sparten-träger und Versorgungsleitungen [U14][U5].	12
Tabelle 6:	FAA Vibrationsrammung: minimale Abstände $R_{\min}$ zu den nächstgelegenen Schutzgütern und prognostizierte Größtwerte der Bauwerks- und Bauteilschwinggeschwindigkeiten ($P = 95 \%$). Die Bewertung erfolgt nach DIN 4150-3:2016-12. Falls Anhaltswerte überschritten werden, ist der Wert in der Tabelle grau hinterlegt.	16
Tabelle 7:	Flutmulde Vibrationsrammung: minimale Abstände $R_{\min}$ zu den nächstgelegenen Schutzgütern und prognostizierte Größtwerte der Bauwerksschwinggeschwindigkeiten ($P = 95 \%$). Die Bewertung erfolgt nach DIN 4150-3:2016-12. Falls Anhaltswerte überschritten werden, ist der Wert in der Tabelle grau hinterlegt.	17
Tabelle 8:	Abbruchmeißeln: minimale Abstände $R_{\min}$ zu den nächstgelegenen Schutzgütern und prognostizierte Größtwerte der Bauwerks- und Bauteilschwinggeschwindigkeiten ($P = 95 \%$). Die Bewertung erfolgt nach DIN 4150-3:2016-12. Falls Anhaltswerte überschritten werden, ist der Wert in der Tabelle grau hinterlegt.	18
Tabelle 9:	Regressionsparameter nach Gleichung (3) für die obere Grenze des Vertrauensbereichs ($P = 95 \%$) der Ausbreitung von Freifeldschwingungen bei Verdichtungsarbeiten [U16].	19
Tabelle 10:	FAA Verdichten mit Rüttelplatten ($m = 600 \text{ kg}$) und Rüttelwalzen: minimale Abstände $R_{\min}$ zu den nächstgelegenen Schutzgütern und prognostizierte	

Größtwerte der Bauwerks- und Bauteilschwinggeschwindigkeiten ($P = 95 \%$). Die Bewertung erfolgt nach DIN 4150-3:2016-12. Falls Anhaltswerte überschritten werden, ist der Wert in der Tabelle grau hinterlegt. 20

Tabelle 11: Flutmulde Verdichten mit Rüttelplatten ($m = 600 \text{ kg}$) und Rüttelwalzen: minimale Abstände R_{min} zu den nächstgelegenen Schutzgütern und prognostizierte Größtwerte der Bauwerks- und Bauteilschwinggeschwindigkeiten ($P = 95 \%$). Die Bewertung erfolgt nach DIN 4150-3:2016-12. Falls Anhaltswerte überschritten werden, ist der Wert in der Tabelle grau hinterlegt. 21

Tabelle 12: Menschen in Wohngebäuden Kleinwallstadt: Abstände, ab denen die Anhaltswerte der DIN 4150-2:1999-06 eingehalten werden und Maßnahmen zur Erschütterungsmessung und Beweissicherung. 23

Tabelle 13: Erdverlegte Rohrleitungen: Abstände, ab denen die Anhaltswerte der DIN 4150-3:2016-12 und der BAW eingehalten werden. 24

Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Staustufe Wallstadt, Neubau FAA Main-km 101,37, Lageskizze mit Baumaßnahmen und Schutzgütern
- Anlage 2: Staustufe Wallstadt, Neubau FAA, Lageskizze Kompensationsmaßnahme Flutmulde, Main-km 103,8
- Anlage 3: Sicherheitsabstände R_s zwischen Spundwand und Gebäude aus DIN 4150-3:2016-12, Anhang C

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Das Wasserstraßen-Neubauamt (WNA) Aschaffenburg plant den Neubau einer Fischaufstiegsanlage (FAA) an der Staustufe Wallstadt (Main-km 101,37) [U5].

Mit dem Schreiben vom 21.11.2018 wurde die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) vom WNA Aschaffenburg beauftragt, Auswirkungen von Erschütterungen auf die anliegenden Schutzgüter zu beurteilen [U1].

Das vorliegende Gutachten enthält die Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen zur Prognose von Erschütterungsimmissionen infolge von Bauarbeiten für die betroffenen Wirkräume sowie deren Bewertung im Rahmen des gesetzlichen Immissionsschutzes.

2 Unterlagen und Daten

Folgende Unterlagen wurden für die Bearbeitung verwendet:

Schriftverkehr

- [U1] WNA Aschaffenburg (2018): Fwd: Erschütterungsgutachten Wallstadt und Eddersheim, E-Mail vom 21.11.2018.
- [U2] WSA Aschaffenburg (2019): Schwingungen an den Turbinen der Wasserkraftanlage Eddersheim, E-Mail vom 12.02.2019.
- [U3] WNA Aschaffenburg (2023): FAA Wal - Erschütterungsgutachten - Präsentation - Gasleitung – Bohrpfähle, E-Mail vom 14.04.2023.
- [U4] WSA Aschaffenburg (2025): FAA Wal - Entfall der US im UW, E-Mail vom 08.05.2025.

Berichte

- [U5] WNA Aschaffenburg (2023): Neubau einer Fischaufstiegsanlage (Pilotanlage) an der Staustufe Wallstadt am Main, Main-km 101,37, Planfeststellungsverfahren, Erläuterungsbericht, Beilage 1.
- [U6] Ingenieurgemeinschaft Fichtner – Arcadis (2022): Neubau einer Fischaufstiegsanlage (Pilotanlage) an der Staustufe Wallstadt am Main, Main-km 101,37, Bauabschnittsplanung, Darstellung der Bauabschnitte und Unterabschnitte, Baustellenverkehr, Wegeführung öffentlicher Verkehr (aufgestellt am 30.11.2022).
- [U7] Ingenieurgemeinschaft Fichtner – Arcadis (2019): Neubau einer Pilotanlage für den Fischaufstieg an der Staustufe Wallstadt (Main-km 101,37), Anlage 7 Baugrubenkonzept, Vorplanung – Objekt Fischaufstiegsanlage (aufgestellt am 15.07.2019).
- [U8] Kempfert + Partner Geotechnik (2015): Geotechnischer Bericht (Bericht Nr. 1), Staustufe Wallstadt der Bundeswasserstraße Main, Neubau Fischaufstiegsanlage (FAA) und Brücken, Baugrunderkundung, Baugrundbeurteilung, Gründungsberatung, Az.: Wü478.0/13 (aufgestellt am 06.10.2015).

[U9] LPI Ingenieurgesellschaft mbH – Prof. Lohaus – Dr. Petersen (2015): Wasserkraftwerk Wallstadt, Baustoffuntersuchung, Projekt Nr. P140417 (aufgestellt am 22.07.2015).

[U10] Bundesanstalt für Wasserbau (2015): Statistische Auswertung von Erschütterungsemissionen, FuE-Abschlussbericht, BAW-Nr. A3952.05.70002 (aufgestellt am 24.11.2015).

Normen

[U11] DIN 4150-1:2022-12, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen.

[U12] DIN 4150-2:1999-06, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Beuth Verlag GmbH Berlin.

[U13] DIN 4150-3:2016-12, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen, Beuth Verlag GmbH Berlin.

Pläne

[U14] Ingenieurgemeinschaft Fichtner – Arcadis (2023): Planfeststellung Beilage 3, Fischpass an der Wehranlage Wallstadt, Fischaufstiegsanlage (z. B. Beckenpass, Schlitzpass, Umgehungsgerinne, Aalleiter, Fischschleuse), Lageplan Bauwerksverzeichnis (aufgestellt am 01.03.2023).

[U15] Wasserstraßenamt Aschaffenburg (1938): Kraftwerk: Ansicht und Schnitte der Ufermauer, Staustufe Kleinwallstadt, Kl.W. B. 25 (Bestandsplan vom Nov. 1938).

Datengrundlage

[U16] Bundesanstalt für Wasserbau: PAB Prognose – Analyse – Bewertung, Version 16-4 [Software].

3 Baumaßnahmen

Das WNA Aschaffenburg plant den Neubau einer FAA am rechten (östlichen) Ufer der Staustufe Wallstadt (Main-km 101,37) [U5]. An der Staustufe Wallstadt betreibt die Uniper SE ein Wasserkraftwerk. Eigentümerin des Kraftwerks ist die Rhein-Main-Donau AG [U5]. Die FAA wird am Kraftwerk angeordnet und um das Kraftwerk herumgeführt.

Vom Unterwasser kommend gelangen die Fische über Einstiegsbauwerke und -kanäle zu einem Verteilerbecken und weiter über einen Schlitzpass und das Ausstiegsbauwerk in den Main [U5]. Das Entnahmebauwerk für das Dotierwasser ist im Oberwasserbereich, ca. 30 m südlich des Zuflaufs zum Kraftwerk angeordnet. Von dort wird das Dotierwasser über ein Beruhigungs- und Dotationsbecken zum Verteilerbecken und den Einstiegskanälen bzw. Einstiegen geleitet [U5]. Als Bauzeit werden ca. 3 Jahre veranschlagt [U5]. Nicht enthalten in dieser Bauzeit sind eventuell erforderliche Vorwegmaßnahmen zur Verlegung von Sparten und des Trafostandes des Wasserkraftwerks.

Die erschütterungsintensiven Baumaßnahmen werden in den Abschnitten 3.1 bis 3.3 beschrieben.

3.1 Spundwände, kombinierte Spundwände und Dalben

Für den Bau der FAA werden verschiedene Baugruben benötigt. Die Baugrubenumschließung wird teilweise als überschnittene Bohrpfahlwand und teilweise als Spundwand oder kombinierte Spundwand ausgeführt [U5].

Die Herstellung der überschnittenen Bohrpfahlwand wird nach DIN 4150-1:2022-12 [U11] als erschütterungsarm eingestuft: „Auf Baustellen gibt es viele Vorgänge, die in der Regel nicht zu wesentlichen Erschütterungen führen, wie z. B. die Herstellung von Bohrpfählen oder Schlitzwänden.“ Überschreitungen der zulässigen Schwingungsanhaltswerte der DIN 4150-2:1999-06 und DIN 4150-3:2016-12 sind bei fachgerechter Ausführung dieser Verfahren nicht zu erwarten.

Im Rahmen der Erschütterungsprognose wird die Herstellung der Spundwände und kombinierten Spundwände bewertet.

Es wird davon ausgegangen, dass als Einbringmethode Vibrationsrammung zur Ausführung kommt. Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die für die Prognose angesetzten Spundwände nach [U7]. Ein detailliertes Konzept zur Baugrubenumschließung wird im Rahmen der Ausführungsplanung durch den Tragwerksplaner ausgearbeitet. Die Lage der Spundwände ist im Lageplan (Anlage 1) eingezeichnet.

Vor dem Einbringen der Spundwand SPWD 1 soll mittels Austauschbohrungen der Boden bzw. Fels durch einen leicht rammbaren Kies oder ein Sand-Kies-Gemisch ersetzt werden [U5].

Die Herstellung von Austauschbohrungen kann, ebenso wie die von Bohrpfählen (siehe oben), als erschütterungsarm eingestuft werden. Beide Verfahren basieren auf maschinellem Bohren, das nur geringe Erschütterungen verursacht. Die Bohrtechnik ist vergleichbar, weshalb auch Austauschbohrungen als erschütterungsarm gelten. Überschreitungen der zulässigen Schwingungsanhaltswerte der DIN 4150-2:1999-06 und DIN 4150-3:2016-12 sind bei fachgerechter Ausführung dieser Verfahren nicht zu erwarten.

Nach dem Bodenaustausch werden die Rammelemente in die Kiesfüllung einvibriert. Sind die Durchmesser der Austauschbohrungen ausreichend größer als die Ausmaße der Rammelemente, ist mit einer leichten Rammpbarkeit zu rechnen.

Weiterhin wird in der Erschütterungsprognose berücksichtigt, dass die Spundwände SPWD 2 und SPWD 3 ggf. wieder gezogen werden (Tabelle 1).

In Teilbereichen werden unterhalb der FAA die Dotationsleitungen verlegt. Hierfür werden örtlich kleine Trägerbohlverbauten bzw. offene Baugruben innerhalb der Unterwasserbaugrube angeordnet [U6][U7]. Im Rahmen der Erschütterungsprognose wird die Umschließung der Baugruben betrachtet. Die innerhalb der großen Baugrube hergestellten kleinen Trägerbohlverbauten werden durch diese Prognose mit abgedeckt.

Für den Baustellenbetrieb ist im Oberwasserbereich eine Umschlagstelle geplant [U4][U5]. Für die Erstellung der Umschlagstelle müssen Anlegedalben eingebracht werden (Anlage 1).

Tabelle 1: Angesetzte Spundwände und kombinierte Spundwände nach [U7]. Ein detailliertes Konzept zur Baugrubenumschließung wird im Rahmen der Ausführungsplanung durch den Tragwerksplaner ausgearbeitet.

Nr. ¹⁾	Bezeichnung der Baugrube	Typ	Austauschbohrung	Ziehen / Abbrennen	angesetzte Rammelemente	
					Typ	Länge
SPWD 1	Baugrube im Unterwasser	Spundwand und kombinierte Spundwand	ja	Abbrennen	DB AZ 50 und HZ 880M B DB AZ 26	ca. 14 m – 16 m
SPWD 2	Entnahmebauwerk Dotation	Spundwand	nein	ggf. Ziehen	DB AZ 13-770	ca. 12 m
SPWD 3	Baugrube Oberwasser, FAA	Spundwand	nein	ggf. Ziehen	DB AZ 13-770	ca. 6 m – 7 m
Dalben	Umschlagstelle	Dalben	nein	ggf. Ziehen	-	ca. 12 m

¹⁾ siehe Lageplan Anlage 1

3.2 Abbrucharbeiten

Die abzubrechenden Bereiche sind in der Anlage 1 als schraffierte Flächen eingetragen.

Kraftwerksgebäude

Die FAA ist mit vier Einstiegen geplant [U5]. Ein Einstieg soll uferseitig rechts, unterhalb der Turbulenzzone des Kraftwerks entstehen. Die drei weiteren Einstiege befinden sich direkt am Kraftwerk: uferseitig rechts unterhalb des Transformatorengebäudes, mittig in die Sammelgalerie über dem Turbinenauslass und molenseitig links.

Für die Einstiege finden Abbrucharbeiten am Kraftwerksgebäude und im Bereich des Kraftwerks (Ufermauer, Trenndamm) statt [U5][U6].

Bohrpfahlwände im Unterwasser

Die Bohrpfahlwände der Baugrube im Unterwasser werden in Teilbereichen als verlorene Schalung für die Stahlbetonbauteile verwendet und verbleiben weitestgehend im Baugrund. Nach [U6][U7] werden sie lediglich in Bereichen abgebrochen, wo es bautechnisch erforderlich ist. Da diese Bereiche zum derzeitigen Planungsstand noch nicht näher definiert sind, werden im Rahmen der Erschütterungsprognose Abbrucharbeiten entlang der gesamten Bohrpfahlwand betrachtet.

Abbruch der Brücken 1 und 2

Aufgrund des entstehenden Höhenunterschiedes zwischen der derzeit vorhandenem Geländeoberkante und der neuen Arbeitsebene der FAA sowie der Kollision mit dem Neubau der FAA muss die bestehende Brücke 1 (Anlage 1) abgebrochen werden [U5][U6].

Während der Tiefbauarbeiten im Bereich des Vorplatzes des Kraftwerks wird die bestehende Brücke 2 (Anlage 1) zurückgebaut [U6].

3.3 Verdichtungsarbeiten

Zur Herstellung der Gründungssohlen wird im Geotechnischen Bericht [U8] empfohlen, weiche, bindige und/oder durch Baubetrieb gestörte Bereiche gegen gut verdichtbares Material auszutauschen. Weiterhin sollten nichtbindige Böden in den Gründungssohlen vor Einbau der Sauberkeitsschicht nachverdichtet werden [U8].

Im Rahmen der Erschütterungsprognose werden Verdichtungsarbeiten entlang der gesamten FAA einschließlich der Baustelleneinrichtungsflächen und Betriebswege betrachtet (Anlage 1).

4 Kompensationsmaßnahmen

Nach dem Bundesnaturschutzgesetz sind die zur Errichtung der FAA Wallstadt notwendigen Eingriffe in Natur und Landschaft auszugleichen oder zu ersetzen [U3]. Auf Grundlage der technischen Planung wurde der Umfang der zu erbringenden Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen (zusammenfassend als „Kompensationsmaßnahmen“ bezeichnet) ermittelt. Herangezogen wurde dazu die Bayerische Kompensationsverordnung. Das Konzept umfasst verschiedene Maßnahmen, welche eine ökologische Aufwertung des jeweiligen Bereichs mit sich bringen. Nach aktuellem Planungsstand sind folgende Maßnahmen vorgesehen [U3]:

- Grünlandaufwertung (Gemeinde Großwallstadt)
- Schaffung eines vernässten Lebensraums durch die Herstellung einer Flutmulde (Markt Elsenfeld)
- Parallelwerkaufschüttung zur Schaffung eines vor Wellenschlag beruhigten Bereichs (Gemeinde Obernburg)
- Aufwertung bauzeitlich genutzter Flächen entlang des Neuen Grabens (Markt Kleinwallstadt)

Bei der Grünlandaufwertung und der Parallelwerkaufschüttung kommen keine erschütterungsintensiven Baumaßnahmen zum Einsatz.

Die Aufwertung des Neuen Grabens wird durch die nachfolgenden Betrachtungen zum Neubau der FAA mit abgedeckt.

Eine Lageskizze der geplanten Flutmulde ist in der Anlage 2 dargestellt. Welche Bauverfahren zur Herstellung der Flutmulde zum Einsatz kommen ist zum jetzigen Bearbeitungsstand noch nicht festgelegt. In diesem Gutachten werden Rammarbeiten für die Herstellung des Durchstichs zum Main und Verdichtungsarbeiten geprüft.

5 Anforderungen an den Erschütterungsschutz

5.1 Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen

In der DIN 4150-3:2016-12 [U13] werden Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit an Bauwerksmesspunkten angegeben, bei deren Einhaltung Schäden im Sinne der Verminderung des

Gebrauchswertes von Bauwerken erfahrungsgemäß nicht zu erwarten sind. Die Anhaltswerte der DIN 4150-3:2016-12 sind hier in der Tabelle 2 zusammengefasst.

Eine Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden oder Gebäudeteilen durch Erschütterungseinwirkungen im Sinne der DIN 4150-3:2016-12 ist z. B.:

- die Beeinträchtigung der Standsicherheit von Gebäuden und Bauteilen
- die Verminderung der Tragfähigkeit von Decken

Bei Gebäuden nach Zeile 2 und Zeile 3 der Tabelle 2 ist eine Verminderung des Gebrauchswertes auch gegeben, wenn z. B.:

- Risse im Putz von Wänden auftreten
- bereits vorhandene Risse in Gebäuden vergrößert werden
- Trenn- oder Zwischenwände von tragenden Wänden oder Decken abreißen

Diese Schäden werden auch als leichte Schäden bezeichnet.

Die Messgröße Schwinggeschwindigkeit v_i (Richtungskomponenten $i = x, y, z$) und deren maßgebende Frequenz f werden für die Bewertung der durch Erschütterungen aus Baumaßnahmen verursachten Einwirkungen auf Bauwerke und Bauteile herangezogen, da zwischen der Schwinggeschwindigkeit und den Bauwerks- bzw. Bauteilbeanspruchungen näherungsweise ein linearer Zusammenhang nachgewiesen wurde. Beurteilt werden die Größtwerte der Ganzkörperschwingungen des Bauwerkes, gemessen am Fundament (v_F , Betragsmaximalwert der drei Richtungskomponenten x, y, z) und bei Gebäuden auch an der Außenwand im obersten Vollgeschoss (v_{OG} , Betragsmaximalwert der horizontalen Komponenten x, y). Die Beurteilung von Decken erfolgt anhand der Deckenschwingungen, gemessen am Ort der größten Schwingung im Allgemeinen die Deckenmitte (v_D , Betragsmaximalwert der vertikalen Komponente z) [U11][U13].

Die Norm unterscheidet kurzzeitige Bauwerkserschütterungen und Dauererschütterungen. Kurzzeitige Erschütterungen sind „Erschütterungen, deren Häufigkeit für Ermüdungserscheinungen und deren zeitlicher Abstand für Resonanzerscheinungen unerheblich ist“ [U13]. Dauererschütterungen sind alle Erschütterungen, auf die die Definition der kurzzeitigen Erschütterungen nicht zutrifft. Die Erschütterungen beim Rammen und Ziehen mit Vibrationsfahren, Abbruchmeißeln und Bodenverdichten werden als Dauererschütterungen bewertet.

Im Umfeld der Baumaßnahme gibt es Schutzgüter, für die in der DIN 4150-3:2016-12 keine Anhaltswerte angegeben werden. Für diese Schutzgüter werden von der BAW Anhaltswerte empfohlen (Abschnitt 6).

Tabelle 2: Anhaltswerte $v_{i,max}$ zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen und Dauererschütterungen auf Gebäude (Tabellen 1 und 4 der DIN 4150-3:2016-12).

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit $v_{i,max}$ in mm/s						
		kurzzeitige Erschütterungen					Dauererschütterungen	
		Fundament			Deckenebene des obersten Vollgeschosses, horizontal	vertikale Deckenschwingungen	Deckenebene des obersten Vollgeschosses, horizontal	vertikale Deckenschwingungen
		Frequenzen f in Hz			alle Frequenzen	alle Frequenzen	alle Frequenzen	alle Frequenzen
		<10	10 - 50 ¹⁾	50 - 100 ¹⁾				
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20 - 40	40 - 50	40	20	10	10
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5	5 - 15	15 - 20	15	20	5	10
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z. B. unter Denkmalschutz stehend) sind	3	3 - 8	8 - 10	8	20 ²⁾	2,5	10 ²⁾

1) Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden. Bei Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden

2) Abminderung kann notwendig sein

Für erdverlegte Rohrleitungen werden in der DIN 4150-3:2016-12 Anhaltswerte für die Beurteilung von kurzzeitigen und dauerhaften Erschütterungseinwirkungen angegeben. Die Anhaltswerte für erdverlegte Rohrleitungen sind hier in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3: Anhaltswerte $v_{i,max}$ zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen und Dauererschütterungen auf erdverlegte Rohrleitungen (Tabelle 3 und Abschnitt 6.2 der DIN 4150-3:2016-12).

Zeile	Leitungsbaustoffe	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit $v_{i,max}$ in mm/s auf der Rohrleitung	
		kurzzeitige Erschütterungen	Dauererschütterungen
1	Stahl, geschweißt	100	50
2	Steinzeug, Beton, Stahlbeton, Spannbeton, Metall mit und ohne Flansche	80	40
3	Mauerwerk, Kunststoff	50	25

5.2 Einwirkungen auf den Boden im Gründungsbereich von Bauten

Dynamische Beanspruchungen des Bodens verursachen je nach Intensität der Einwirkungen elastische oder plastische (bleibende) Verformungen. Die Auswirkungen von Erschütterungen auf

den Boden im Gründungsbereich von Bauten werden mit den o. g. Anhaltswerten der DIN 4150-3:2016-12 nicht berücksichtigt. Für die Bewertung von Erschütterungen hinsichtlich der Auswirkungen auf den Boden im Gründungsbereich von Bauten werden in den Normen keine quantitativen Aussagen gemacht.

In der DIN 4150-3:2016-12 Abschnitt 4.6 [U13] wird angeführt: „Vor allem in locker bis mitteldicht gelagerten nichtbindigen Böden (Sande, Kiese) können starke Erschütterungen zu Sackungen des Bodens und damit zu Setzungen von Gründungskörpern führen. Das gilt besonders für häufige Erschütterungen, für gleichförmige Sande und für Böden unterhalb des Grundwasserspiegels“.

Für erschütterungsintensive Arbeiten (insbesondere für Vibrationsrammverfahren) im Nahbereich von Gründungen auf locker bis mitteldicht gelagerten nichtbindigen Böden (Sande, Kiese) werden im Anhang C der DIN 4150-3:2016-12 (normativ) Sicherheitsabstände R_s zwischen dem Ramelement und der nächstliegenden Bauwerksgründung empfohlen (Anlage 3): „Es sollte deshalb der Abstand zu Gebäuden so gewählt werden, dass zwischen Erschütterungsquelle und Gebäudefundament ein Winkel von mindestens 30° zur Vertikalen eingehalten wird. Im Grundwasser kann ein größerer Winkel, 45° , angebracht sein“. „Beim Einsatz von Schlagrammverfahren (z. B. Dieselramme, pneumatische Ramme) ist die Gefahr von Sackungen dieser Art erheblich geringer“ [U13].

In der DIN 4150-3:2016-12 wird aber auch darauf hingewiesen: „Auch in größerer Entfernung von Erschütterungsquellen können schwingungsinduzierte Fundamentverschiebungen bereits bei Erschütterungen auftreten, bei denen keine Gebäudeschäden aus direkter Schwingungsbeanspruchung zu erwarten sind“.

5.3 Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Die Norm DIN 4150-2:1999-06 [U12] enthält Festlegungen zum Schutz von Menschen vor erheblichen Belästigungen durch Schwingungen in Gebäuden. Beurteilungsgröße ist zunächst die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} , die durch gleitende Effektivwertbildung aus dem frequenzbewerteten Zeitsignal der Schwinggeschwindigkeit $v(t)$ gewonnen wird.

Für Baumaßnahmen gelten tagsüber die Anhaltswerte der Tabelle 2 der DIN 4150-2:1999-06 (hier Tabelle 4). Unter der Dauer D der Erschütterungseinwirkungen ist die Anzahl von Tagen zu verstehen, an denen tatsächlich Erschütterungseinwirkungen auftreten (nicht die Dauer der Baumaßnahme an sich). Dabei sind Tage mit Erschütterungseinwirkungen, die unter den Werten der Tabelle 1 der DIN 4150-2:1999-06 für A_u oder A_r liegen (z. B. für Wohngebiete 0,15 und 0,07), nicht mitzuzählen.

Tabelle 4: Anhaltswerte für Erschütterungseinwirkungen auf Menschen durch Baumaßnahmen außer Sprengungen (Tabelle 2 der DIN 4150-2:1999-06).

Dauer	$D \leq 1 \text{ Tag}^{1)}$			6 Tage < $D \leq 26$ Tage			26 Tage < $D \leq 78$ Tage		
Anhaltswerte	A_u	$A_o^{2)}$	A_r	A_u	$A_o^{2)}$	A_r	A_u	$A_o^{2)}$	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
Beurteilungsgröße	KB_{Fmax}		KB_{Ftr}	KB_{Fmax}		KB_{Ftr}	KB_{Fmax}		KB_{Ftr}

¹⁾ die A – Werte für 2 bis 5 Einwirkungstage sind linear zu interpolieren

²⁾ für Gewerbe- und Industriegebiete gilt $A_o = 6$

Die Festlegungen der DIN 4150-2:1999-06 werden ohne weiteren Nachweis eingehalten, wenn $KB_{Fmax} \leq A_u$ ist, sie werden nicht eingehalten für $KB_{Fmax} > A_o$. Im Beschwerdefall muss für den Fall $A_u < KB_{Fmax} \leq A_o$ unter Einbeziehung der zeitlichen Dauer der einzelnen Größenanteile der Einwirkungen (Unterteilung der Mess- und Einwirkungszeit in Takte von 30 s Dauer) sowie der Berücksichtigung von Ruhezeiten ein Wert KB_{Ftr} bestimmt werden (s. Abschnitt 6.4 der DIN 4150-2:1999-06). Die Forderungen der Norm gelten als erfüllt für $KB_{Ftr} \leq A_r$. Die Einhaltung kann gegebenenfalls durch die Verringerung der täglichen Einwirkungszeit erreicht werden.

Die Beurteilung von zeitlich begrenzten Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen erfolgt weitgehend baugebietsunabhängig in drei Stufen. Bei Unterschreitung der Anhaltswerte der Stufe I ist auch ohne besondere Vorinformation der Betroffenen nicht mit erheblichen Belästigungen zu rechnen. Mit erheblichen Belästigungen im Sinne der DIN 4150-2:1999-06 ist bei Einhaltung des Anhaltswertes der Stufe II dann nicht zu rechnen, wenn vor Baubeginn die nachfolgend genannten Maßnahmen ergriffen werden [U12]:

- umfassende Information der Betroffenen über die Baumaßnahme, das Bauverfahren, die Dauer und die zu erwartenden Erschütterungen aus dem Baubetrieb
- Aufklärung über die Unvermeidbarkeit von Erschütterungen infolge der Baumaßnahmen und die damit verbundenen Belästigungen
- zusätzliche baubetriebliche Maßnahmen zur Minderung und Begrenzung der Belästigungen (Pausen, Ruhezeiten, Betriebsweise der Erschütterungsquelle usw.)
- Benennung einer Ansprechstelle, an die sich Betroffene wenden können, wenn sie besondere Probleme durch Erschütterungswirkungen haben
- Information der Betroffenen über die Erschütterungseinwirkungen auf das Gebäude

und nach Beginn der Baumaßnahme gegebenenfalls (im Beschwerdefall) auch

- Nachweis der tatsächlich auftretenden Erschütterungen durch Messungen sowie deren Beurteilung bezüglich der Wirkung auf Menschen und Gebäude

Bei zunehmender Überschreitung des Anhaltswertes der Stufe II werden mit wachsender Wahrscheinlichkeit erhebliche Belästigungen auftreten. Es ist deshalb zu prüfen, ob der Einsatz weniger erschütterungsintensiver Verfahren möglich ist. Wird zur Verringerung der

Erschütterungsbelästigung z. B. eine erhebliche Bauzeitverlängerung und damit verlängerte Erschütterungsbelästigung auf niedrigerem Niveau eventuell in Verbindung mit erhöhter Lärmbelastung notwendig, dann ist die Zumutbarkeit zeitlich begrenzter Erschütterungseinwirkungen auch im Bereich erheblicher Belästigungen bis zu einer Zumutbarkeitsschwelle (Stufe III) abzuwägen. In solchen Fällen sollte den Betroffenen die Sorge wegen befürchteter Nachteile durch Schäden am Gebäude durch Beweissicherung und Zusagen bezüglich der Behebung möglicher Schäden genommen werden. Bei Überschreitung der Stufe III wird die Vereinbarung besonderer Maßnahmen notwendig.

Für eine Prognose kann KB_{Fmax} näherungsweise aus der prognostizierten Schwinggeschwindigkeit v_D bestimmt werden [U12]:

$$KB_{Fmax} = c_F \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{v_D}{\sqrt{1 + (f_0 / f)^2}} \quad (1)$$

KB_{Fmax}	bewertete Schwingstärke
c_F	Faktor für die Art der Schwingungseinwirkung ($0,6 \leq c_F \leq 0,9$ gem. Tabelle 3 in DIN 4150-2:1999-06)
v_D	Betragsmaximalwert der Schwinggeschwindigkeit $v_i(t)$ auf dem Fußboden am Ort der größten Schwingungen
f	dazugehörige Frequenz in Hz
f_0	Grenzfrequenz des Hochpasses ($f_0 = 5,6$ Hz)

6 Schutzgüter

Die Lage der Schutzgüter kann der Anlage 1 entnommen werden.

6.1 Kraftwerksgebäude und Turbinen

Das Wasserkraftwerk (WKW) Wallstadt wurde im Jahr 1939 errichtet. Es verfügt über zwei baugleiche, doppelt regulierte, vertikale Kaplan-Turbinen mit einer installierten Gesamtleistung von 3400 kW [U5]. Das Kraftwerk ist durch Trennpfeiler von den Wehrfeldern abgetrennt. Am östlichen Ufer befinden sich im Ober- und Unterwasser Ufermauern.

Allgemein ist die Bausubstanz des Bauwerks in einem altersgerechten Zustand ohne nennenswerte Schäden [U9].

Das Kraftwerksgebäude wird als „gewerblich genutzter Bau, Industriebau und ähnlich strukturierter Bau“ nach Tabelle 2, Zeile 1 bewertet.

Im Hinblick auf die Bewertung der Turbinen, sind die vom Betreiber festgelegten Anhaltswerte maßgebend. Ein solcher Wert liegt für die Kaplan-turbinen des WKWs Wallstadt nicht vor. In Anlehnung an die vom WSA Aschaffenburg zur Verfügung gestellten Messergebnissen [U2] für ein vergleichbares WKW an der Staustufe Eddersheim wird ein Anhaltswert von $v_{i,max} = 4$ mm/s als ausreichend für den Schutz der Turbinen angesehen.

Für die Ufermauern und den Trenndämme wird ein Anhaltswert von $v_{i,max} = 10 \text{ mm/s}$ empfohlen.

6.2 Ortslage Markt Kleinwallstadt

Östlich der geplanten FAA beginnt die Ortslage Markt Kleinwallstadt.

Die Nebengebäude werden als „gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierter Bauten“ nach Tabelle 2, Zeile 1 bewertet.

Die Wohngebäude werden als „Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten“ nach Tabelle 2, Zeile 2 bewertet. Zusätzlich erfolgt die Beurteilung der Einwirkungen auf Menschen in Wohngebäuden nach Tabelle 4 mit einer Einwirkungsdauer $6 \text{ Tage} < D \leq 26 \text{ Tage}$.

6.3 Brücken

Die Brücken 1 und 2 überbrücken einen Entwässerungsgraben. Die Durchlässe wurden in Betonbauweise, nach derzeitigem Kenntnisstand unbewehrt hergestellt [U7]. Beide Durchlässe haben eine Betonsohle. Die seitlich anschließenden Böschungen sind mit einem Deckwerk aus Natursteinpflaster gesichert [U7][U6]. Im Zuge der Baumaßnahme werden die Brücken 1 und 2 abgerissen, umverlegt und wieder neu errichtet [U6].

Am Durchlass 2 befindet sich eine Hochwassersiel mit manuellem Verschluss, welches nicht für die Zwecke des Hochwasserschutzes benötigt wird [U5]. Das Siel kann zukünftig entfallen [U5] und wird daher nicht in der Erschütterungsprognose berücksichtigt.

Im Oberwasser wird eine Überfahrt über die FAA zum oberwasserseitigen Uferweg hergestellt (Brücke 3) [U5].

Für die Brücken 1, 2 und 3 wird ein Anhaltswert von $v_{i,max} = 10 \text{ mm/s}$ am Fundament bzw. am Widerlager empfohlen.

6.4 Versorgungsleitungen und Einleitungsbauwerke

FAA

Im Projektgebiet liegen Versorgungsleitungen der Spartenträger gemäß Tabelle 5. Die Versorgungsleitungen aus dem Übersichtslageplan [U14] sind im Lageplan Anlage 1 eingezeichnet. Im Zuge der Baumaßnahme müssen Leitungen umgelegt werden.

Tabelle 5: Übersicht über die Spartenträger und Versorgungsleitungen [U14][U5].

Spartenträger	Infrastruktur
Bayernwerk AG	Gashochdruckleitung HG 150 St DP 16 1990
Uniper	Entwässerung, 20 kV Leitung
Deutsche Telekom	Fernmeldekabel
E.ON Netz	Fernmeldekabel
WSV	2 Fernmeldekabel
Zweckverband AMME	2 Abwasserleitungen
-	Drainageleitung, Trinkwasserleitung, Entwässerungsleitung, Telefonkabel außer Betrieb, alte Kabel, Leerrohre

Die Bewertung der erdverlegten Leitungen erfolgt nach Tabelle 3. Für Gasleitungen wird ein Anhaltswert von $v_{i,max} = 25$ mm/s empfohlen. Der Anhaltswert sollte mit dem Betreiber der Gasleitung abgeklärt werden.

Die Einleitungsbauwerke bei Main-km 101,29 und Main-km 101,23 werden nach Tabelle 3, Zeile 3 bewertet.

Kompensationsmaßnahme Flutmulde

Schutzgüter im Projektgebiet der Kompensationsmaßnahme Flutmulde sind eine Gasleitung, eine Abwasserleitung und ein Freileitungsmast (Anlage 2).

6.5 Fischaufstiegsanlage

Die FAA wird in mehreren Bauphasen gebaut [U6]. Es werden die Auswirkungen von Erschütterungen auf bereits fertiggestellte Bereiche der FAA bewertet.

Für die FAA wird ein Anhaltswert von $v_{i,max} = 5$ mm/s am Fundament empfohlen.

6.6 Stauhaltungsdamme

Der oberwasserseitige Damm ist sowohl wasser- als auch landseitig nicht standsicher [U5]. Ein Teilabschnitt des Dammes wurde im Jahr 2017 bis Main-km 101,60, rechtes Ufer, bereits standsicher ausgebaut. Die Standsicherheit des Dammes wird im Zuge des Neubaus der FAA hergestellt [U5].

7 Baugrund

Die Beschreibung des Baugrundes folgt dem Geotechnischen Bericht [U8]. Das Baufeld der FAA liegt in der Untermainebene. Der Baugrund wird durch folgendes Baugrundmodell abgebildet (i. d. R. von oben nach unten):

Quartär

- Auffüllung
- Lehm

- Kiessande, locker bis mitteldicht gelagert
- Kiessande, mitteldicht bis dicht gelagert

Buntsandstein (Trias)

- Felszersatz
- Fels

Die Rammbarkeit für Spundwände in den Schichten „Auffüllung, Lehm und locker bis mitteldicht gelagerte Kiessande“ wird im Geotechnischen Bericht mit mittelschwer bis schwer angesetzt. Es wird auch darauf hingewiesen, dass diese Schichten bei eingelagerten Steinen oder Blöcken ggf. nicht rammbare sind. Die Mächtigkeit der Schichten ab der Geländeoberkante (GOK) liegt zwischen 1,0 m und 7,2 m (Mittelwert 3,8 m).

Unterlagert werden die Schichten „Auffüllung, Lehm und locker bis mitteldicht gelagerte Kiessande“ von der Schicht „mitteldicht bis dicht gelagerte Kiessande“. Die Rammbarkeit für Spundwände in dieser Schicht wird mit schwer bis sehr schwer angegeben. Auch hier gilt, dass die „mitteldicht bis dicht gelagerte Kiessande“ bei eingelagerten Steinen oder Blöcken ggf. nicht rammbare sind. Die Schichtmächtigkeit liegt zwischen 3,3 m und 8,7 m (Mittelwert 6,8 m).

Unterhalb der Kiessande folgt die Felsformation des Unteren Buntsandsteins. Der Übergang zwischen den Kiessanden und dem Unteren Buntsandstein ist meist durch einen geringmächtigen Verwitterungshorizont gekennzeichnet. Dabei handelt es sich um vollständig zu Lockergestein zersetzten Fels und stark entfestigten oder nahezu vollständig verwitterten Fels. Die Dicke der Verwitterungsschicht beträgt meist wenige Dezimeter. Die Rammbarkeit wird mit sehr schwer angegeben. Der Felszersatz wurde in Tiefen von 8,5 m bis 12,3 m (Mittelwert 10,6 m) unter der GOK angetroffen.

Unterhalb des Verwitterungshorizontes (Felszersatz) bzw. örtlich direkt unterhalb der Kiessande stehen ab ca. 8,9 m bis 12,8 m unter der GOK (Mittelwert 11,2 m) bzw. unterhalb von 109 m+NN bis 107 m+NN Felsschichten des Unteren Buntsandstein an. Spundwände können in sehr mürbem Fels und eingelagerten Ton-/Tonsteinlagen ggf. noch gerammt werden, aber als Gesamtheit wird der Fels als nicht rammbare bewertet.

8 Erschütterungsprognose

Grundlage für die Prognose von Erschütterungen bei Baumaßnahmen bildet die jahrelange Sammlung von Messergebnissen von Boden- und Bauwerksschwingungen in der BAW für alle wichtigen Bauverfahren wie Schlag- und Vibrationsrammungen, Auflockerungs- und Abbruchsprengungen, Fels- und Betonmeißelarbeiten, Aufprallvorgänge großer Massen u. ä. sowie deren statistische Auswertung. Dabei wird die Abhängigkeit der Erschütterungsgröße von der eingesetzten Energie sowie vom Abstand zur Erschütterungsquelle herausgearbeitet [U10][U16].

8.1 Vibrationsrammung

Vibrationsrammen arbeiten relativ leise und haben bei geeigneten Böden einen guten Rammfortschritt. Aufgrund ihrer Arbeitsweise, der dauernden Energiezufuhr bei einer bestimmten

Frequenz f ($f = n/60$, n = Arbeitsdrehzahl je Minute), besteht bei Vibrationsrammung grundsätzlich die Gefahr von Resonanzschwingungen im Boden, an Gebäuden und Bauteilen. Bei Vibrationsrammung ist aufgrund der andauernden Wechselbelastung mit vergleichsweise hoher Frequenz in allen gesättigten und teilgesättigten Böden ein Anstieg des Porenwasserdruckes und damit eine Abnahme der Tragfähigkeit des Bodens zu erwarten. Im unmittelbaren Rammbereich der Bohle tritt bei Vibrationsrammung eine Bodenverflüssigung auf. In diesem Bereich wird die horizontale Bodenstützung stark abgemindert. Infolge der Vibrationserschütterungen ist zudem eine höhere Verlagerungsbeweglichkeit des Materials gegeben, sodass es an benachbarten Lasten, infolge seitlicher Verdrückung des Bodens, zu einer Setzungs- bzw. Verkippsbewegung kommen kann.

Die Abnahme der Schwinggeschwindigkeit der Bodenschwingungen mit zunehmender Entfernung lässt sich bei Vibrationsrammung nach [U10] [U16] mit folgender Beziehung darstellen:

$$v_{B,95\%} = K_B \left(\frac{M}{M_0} \right)^{0,67} \left(\frac{R}{R_0} \right)^{-0,5} e^{-\alpha(R-R_0)} \quad (2)$$

$v_{B,95\%}$	Schwinggeschwindigkeit am Boden in der Entfernung R
K_B, α	Regressionsparameter
M	statisches Moment der Vibrationsramme
M_0	Bezugsmoment ($M_0 = 1 \text{ kgm}$)
R	Entfernung von der Erschütterungsquelle
R_0	Bezugsentfernung ($R_0 = 10 \text{ m}$)

Die notwendige Größe und Leistungsfähigkeit der einzusetzenden Technik wird hier nur grob abgeschätzt. Für die Prognose wird vorausgesetzt, dass ein Hochfrequenzrüttler mit variablen Unwuchtmassen (kräftefreier An- und Auslauf) im Drehzahlbereich $n \geq 2100 \text{ min}^{-1}$ ($f \geq 35 \text{ Hz}$) eingesetzt wird.

Mit den folgenden Parametern der Gleichung (2) wird die Schwinggeschwindigkeit an Bodenmesspunkten beschrieben, die mit einer statistischen Sicherheit von $P = 95 \%$ nicht überschritten wird (obere Grenze des Vertrauensbereichs) [U16]:

Vibrationsrammung in Austauschbohrungen (SPWD 1)

$K_B = 1,104$	Regressionsparameter
$\alpha = 0,0254$	Abklingkoeffizient
$M = 24 \text{ kgm}$	abgeschätztes statisches Drehmoment der Vibrationsramme

Vibrationsrammung im gewachsenen Boden (SPWD 2, Dalben)

$K_B = 2,280$	Regressionsparameter
$\alpha = 0,0254$	Abklingkoeffizient
$M = 24 \text{ kgm}$	abgeschätztes statisches Drehmoment der Vibrationsramme

Vibrationsrammung im gewachsenen Boden (SPWD 3, Flutmulde)

$K_B = 2,280$	Regressionsparameter
$\alpha = 0,0254$	Abklingkoeffizient
$M = 16 \text{ kgm}$	abgeschätztes statisches Drehmoment der Vibrationsramme

Die Übertragung der Schwingungen vom Boden auf Fundamente wird durch Übertragungsfaktoren $V_{B,F}$ bestimmt. Für Wohngebäude und leichte Bauwerke werden die Übertragungsfaktoren $V_{B,F} = 0,39$ (SPWD 1) bzw. $V_{B,F} = 0,40$ (SPWD 2, SPWD 3 und Dalben) angesetzt. Bei dem massiven und schweren Kraftwerksgebäude wird der Übertragungsfaktor zu $V_{B,F} = 0,20$ reduziert.

Die Übertragung der Schwingungen vom Fundament auf Decken $V_{F,D}$ und vom Fundament auf das Obergeschoss $V_{F,OG}$ ist abhängig von der Größe und Frequenz der Schwinggeschwindigkeit am Fundament [U10]. Die Übertragungsfaktoren für ein Gebäude in einer Entfernung von $R = 49 \text{ m}$ zur Vibrationsrammung der SPWD 3 sind z. B. $V_{F,D} = 3,0$ und $V_{F,OG} = 1,7$.

In Tabelle 6 und Tabelle 7 sind die minimalen Abstände R_{min} zwischen der Vibrationsrammung und den nächstgelegenen Schutzgütern angegeben. Für diese Abstände werden die prognostizierten Größtwerte der Bauwerks- und Bauteilschwinggeschwindigkeiten berechnet (statistische Sicherheit $P = 95 \%$).

Tabelle 6: *FAA Vibrationsrammung: minimale Abstände R_{min} zu den nächstgelegenen Schutzgütern und prognostizierte Größtwerte der Bauwerks- und Bauteilschwinggeschwindigkeiten ($P = 95\%$). Die Bewertung erfolgt nach DIN 4150-3:2016-12. Falls Anhaltswerte überschritten werden, ist der Wert in der Tabelle grau hinterlegt.*

Schutzgut	Rammstelle	R_{min}	v_F	v_D	v_{OG}	KB_{Fmax}	Maßnahmen
		in m	in mm/s		-		
Kraftwerksge- bäude	SPWD 1	0	7,2	8,8	7,2	-	Abschnitt
	SPWD 2	28	1,2	3,1	1,7	-	9.2
	SPWD 3	80	0,15	0,92	0,57	-	-
	Umschlagstelle	172	< 0,1	0,20	< 0,1	-	-
Turbinen	SPWD 1	18	1,1	-	-	-	Abschnitt
	SPWD 2	42	0,69	-	-	-	9.2
	SPWD 3	95	< 0,1	0,70	0,43	-	-
	Umschlagstelle	178	< 0,1	0,17	< 0,1	-	-
Wohngebäude	SPWD 1	54	0,51	1,9	1,1	-	-
	SPWD 2	54	0,90	2,6	1,4	-	-
	SPWD 3	49	0,82	2,5	1,4	-	-
	Umschlagstelle	98	0,22	1,2	0,70	-	-
Menschen in Wohngebäuden	SPWD 1	-	-	-	-	1,2	Abschnitt 9.4
	SPWD 2	-	-	-	-	1,7	
	SPWD 3	-	-	-	-	1,6	
	Umschlagstelle	-	-	-	-	0,73	
Nebengebäude	SPWD 1	36	0,99	2,8	1,5	-	-
	SPWD 2	47	1,2	3,0	1,6	-	-
	SPWD 3	24	2,2	4,4	2,2	-	-
	Umschlagstelle	77	0,42	1,7	0,97	-	-
Gasleitung	SPWD 1	34	2,7 ¹⁾	-	-	-	-
	SPWD 2	31	6,4 ¹⁾	-	-	-	-
	SPWD 3	11	14 ¹⁾	-	-	-	Abschnitt
	Umschlagstelle	51	3 ¹⁾	-	-	-	9.5
Trennpfeiler, Ufermauern	SPWD 1	30	1,3	-	-	-	-
	SPWD 2	0	25	-	-	-	Abschnitt 9.6
	SPWD 3	29	1,8	-	-	-	-
	Umschlagstelle	57	0,81	-	-	-	-
Brücken	SPWD 1	11	3,4	-	-	-	-
	SPWD 2	51	1,0	-	-	-	-
	SPWD 3	96	0,18	-	-	-	-
	Umschlagstelle	28	2,4	-	-	-	-
Einleitungsbau- werke	SPWD 1	15	6,7 ¹⁾	-	-	-	-
	Umschlagstelle	264	< 0,1 ¹⁾	-	-	-	-
FAA (Ziehen)	SPWD 2	0	25 ²⁾	-	-	-	Abschnitte
	SPWD 3	0	19 ²⁾	-	-	-	9.7 & 9.9
	Umschlagstelle	19	3,7 ³⁾	-	-	-	-

¹⁾ Schwinggeschwindigkeit im Boden

Tabelle 7: Flutmulde Vibrationsrammung: minimale Abstände R_{min} zu den nächstgelegenen Schutzgütern und prognostizierte Größtwerte der Bauwerksschwinggeschwindigkeiten ($P = 95 \%$). Die Bewertung erfolgt nach DIN 4150-3:2016-12. Falls Anhaltswerte überschritten werden, ist der Wert in der Tabelle grau hinterlegt.

Schutzgut	R_{min}	v_{Boden}	Maßnahmen
	in m	in mm/s	
Gasleitung	50	2,3	-
Abwasserleitung	35	4,1	-
Freileitungsmast	42	1,1 ¹⁾	-

¹⁾ Schwinggeschwindigkeit am Fundament

8.2 Abbruchmeißeln

Die Größe der bei Meißelarbeiten erzeugten Erschütterungen hängt erfahrungsgemäß in erster Linie von der Stoßenergie des verwendeten Meißels ab. Zudem spielen der Andruck, die Neigung und die Richtung des Meißels sowie die Gründung des abzubrechenden Bauwerks eine Rolle. Dokumentierte Messergebnisse liegen für Abbruchmeißelarbeiten von Brückenwiderlagern, Wehren und Schleusen vor. Vielfach wurde dabei mit dem Hydraulikmeißel KRUPP HM 2500 gearbeitet. Das Gerät gehört zu den leistungsstärksten seiner Baureihe. Die Hauptfrequenz der Bauwerksschwingungen beim Meißeln beträgt erfahrungsgemäß etwa 40 Hz.

Die Abnahme der Schwinggeschwindigkeit der Bodenschwingungen mit zunehmender Entfernung lässt sich bei Meißelarbeiten nach [U10] mit folgender Beziehung darstellen:

$$v_{B,95\%} = v_0 \left(\frac{R}{R_0} \right)^{-0,5} e^{-\alpha_B(R-R_0)} \quad (3)$$

$v_{B,95\%}$	Schwinggeschwindigkeit am Boden in der Entfernung R
v_0	Schwinggeschwindigkeit in der Entfernung R_0
R	Entfernung von der Erschütterungsquelle
R_0	Bezugsentfernung ($R_0 = 10 \text{ m}$)
α_B	empirischer Parameter

Mit den Regressionsparametern $v_0 = 6,75 \text{ mm/s}$ und $\alpha_B = 0,0094 \text{ m}^{-1}$ wird die Schwinggeschwindigkeit an Bodenmesspunkten beschrieben, die mit einer statistischen Sicherheit von $P = 95 \%$ nicht überschritten wird (obere Grenze des Vertrauensbereichs) [U16].

Die Übertragung der Schwingungen vom Boden auf Fundamente wird durch Übertragungsfaktoren $V_{B,F}$ bestimmt. Für Wohngebäude und leichte Bauwerke wird der Übertragungsfaktor $V_{B,F} = 0,50$ angesetzt. Bei dem massiven und schweren Kraftwerksgebäude wird der Übertragungsfaktor zu $V_{B,F} = 0,25$ reduziert. Die Übertragung der Schwingungen vom Fundament auf Decken $V_{F,D}$ und vom Fundament auf das Obergeschoss $V_{F,OG}$ ist $V_{F,D} = V_{F,OG} = 2,0$.

Die Auswirkungen der Meißelarbeiten am Kraftwerksgebäude und am Trennpfeiler auf das Kraftwerksgebäude und die Turbinen wird mit den Regressionsparametern $v_0 = 3,4 \text{ mm/s}$ und $\alpha_B = 0,0094 \text{ m}^{-1}$ beschrieben (statistische Sicherheit $P = 95 \%$).

In der Tabelle 8 sind die minimalen Abstände R_{min} zwischen den Meißelarbeiten und den nächstgelegenen Schutzgütern angegeben. Für diese Abstände werden die prognostizierten Größtwerte der Bauwerks- und Bauteilschwinggeschwindigkeiten berechnet (statistische Sicherheit $P = 95 \%$).

Tabelle 8: Abbruchmeißeln: minimale Abstände R_{min} zu den nächstgelegenen Schutzgütern und prognostizierte Größtwerte der Bauwerks- und Bauteilschwinggeschwindigkeiten ($P = 95 \%$). Die Bewertung erfolgt nach DIN 4150-3:2016-12. Falls Anhaltswerte überschritten werden, ist der Wert in der Tabelle grau hinterlegt.

Schutzgut	R_{min}	v_F	v_D	v_{OG}	KB_{Fmax}	Maßnahmen
	in m	in mm/s			-	
Kraftwerksgebäude	0	8,2	8,2	8,2	-	Abschnitt 9.2
Turbinen	8	3,9	-	-	-	Abschnitt 9.2
Wohngebäude	35	1,4	2,9	2,9	-	-
Menschen in Wohngebäuden	35	-	-	-	1,5	Abschnitt 9.4
Nebengebäude	19	2,3	4,5	4,5	-	-
Gasleitung	14	5,5 ¹⁾	-	-	-	-
Trennpfeiler, Ufermauern	0	8,2	-	-	-	Abschnitt 9.6
Brücken	0	8,2	-	-	-	-
Einleitungsbauwerke	14	5,5 ¹⁾	-	-	-	-
FAA	0	12	-	-	-	Abschnitt 9.7

¹⁾ Schwinggeschwindigkeit im Boden

8.3 Bodenverdichten

Die maßgebenden Gerätedaten von Vibrationsverdichtern in Zusammenhang mit der Schwingungsabstrahlung sind die Gerätemasse, die Vibrationsfrequenz und die Richtung der Kraftübertragung auf den Baugrund. Bei translatorischer Vibration von Walzen und Plattenrüttlern erfolgt die Verdichtung des Bodens hauptsächlich durch Druckkräfte. Bei Walzen mit Rotationsschwingungen (sogenannte Oszillationswalzen) erfolgt die Verdichtung hauptsächlich durch Scherung des Bodens. Die Schwingungsabstrahlung bei Rotationsanregung ist im Vergleich zur translatorischen Anregung wesentlich geringer.

Kleine Plattenrüttler, mit einer Fliehkraft bis etwa 25 kN, erzeugen erfahrungsgemäß auch in geringer Entfernung von Gebäuden bei üblicher Verwendung keine Erschütterungen in der Größe der Anhaltswerte nach DIN4150-3:2016-12 [U11].

Die größte Schwingungsabstrahlung erfolgt häufig beim Durchlaufen von Resonanzfrequenzen des Systems Gerät – Boden beim An- und Auslaufen der Vibrationsantriebe. Die Resonanzfrequenz liegt je nach Gerätemasse im Bereich $15 \text{ Hz} \leq f \leq 60 \text{ Hz}$, wobei mit zunehmender Gerätemasse die Resonanzfrequenz abnimmt. Bei geringen Frequenzen ($f < 30 \text{ Hz}$) erhöht sich die Gefahr von Resonanzschwingungen an Bauteilen der nächstliegenden Gebäude.

Die Regressionsparameter sind für Verdichtungsarbeiten mit leistungsstarken Geräten (schwere Rüttelplatten mit Gerätemassen bis $m = 600 \text{ kg}$ und Arbeitsfrequenzen $f > 30 \text{ Hz}$ sowie Vibrationswalzen bis $m = 13 \text{ t}$) angegeben.

Die zu erwartende Schwinggeschwindigkeit im Freifeld v_B in Abhängigkeit von der Entfernung zur Erschütterungsquelle lässt sich näherungsweise mit Hilfe der in Gleichung (3) angegebenen empirischen Beziehung abschätzen [U10].

Mit den in Tabelle 9 angegebenen Regressionsparametern v_0 und α_B wird die Schwinggeschwindigkeit an Bodenmesspunkten beschrieben, die mit einer statistischen Sicherheit von $P = 95 \%$ nicht überschritten wird (obere Grenze des Vertrauensbereichs).

Tabelle 9: Regressionsparameter nach Gleichung (3) für die obere Grenze des Vertrauensbereichs ($P = 95 \%$) der Ausbreitung von Freifeldschwingungen bei Verdichtungsarbeiten [U16].

Regressionsparameter	Rüttelplatte	Vibrationswalze
v_0 in mm/s	5,0	25,16
α_B in m^{-1}	0,0278	0,0278

Die Übertragung der Schwingungen vom Boden auf Fundamente wird durch Übertragungsfaktoren $V_{B,F}$ bestimmt. Für Wohngebäude und leichte Bauwerke werden Übertragungsfaktoren $V_{B,F} = 0,65$ (Rüttelplatte) und $V_{B,F} = 0,51$ (Vibrationswalze) angesetzt. Bei dem massiven und schweren Kraftwerksgebäude reduzieren sich die Übertragungsfaktoren zu $V_{B,F} = 0,33$ (Rüttelplatte) und $V_{B,F} = 0,26$ (Vibrationswalze).

Die Übertragung der Schwingungen vom Fundament auf Decken $V_{F,D}$ und vom Fundament auf das Obergeschoss $V_{F,OG}$ ist abhängig von der Größe und Frequenz der Schwinggeschwindigkeit am Fundament [U10]. Die Übertragungsfaktoren für ein Gebäude in einer Entfernung von $R = 40 \text{ m}$ zu Verdichtungsarbeiten mit Rüttelplatten sind z. B. $V_{F,D} = 7,3$ und $V_{F,OG} = 2,0$.

In der Tabelle 10 sind die minimalen Abstände R_{min} zwischen den Verdichtungsarbeiten und den nächstgelegenen Schutzgütern angegeben. Für diese Abstände werden die prognostizierten Größtwerte der Bauwerks- und Bauteilschwinggeschwindigkeiten berechnet (statistische Sicherheit $P = 95 \%$).

Tabelle 10: FAA Verdichten mit Rüttelplatten ($m = 600 \text{ kg}$) und Rüttelwalzen: minimale Abstände R_{min} zu den nächstgelegenen Schutzgütern und prognostizierte Größtwerte der Bauwerks- und Bauteilschwinggeschwindigkeiten ($P = 95 \%$). Die Bewertung erfolgt nach DIN 4150-3:2016-12. Falls Anhaltswerte überschritten werden, ist der Wert in der Tabelle grau hinterlegt.

Schutzgut	Verfahren	R_{min}	v_F	v_D	v_{OG}	KB_{Fmax}	Maßnahmen
		in m	in mm/s			-	
Kraftwerksgebäude	Platte	0	5,0	14	5,0	-	Abschnitt 9.2
	Walze		18	30	18	-	
Turbinen	Platte	14	0,94	-	-	-	Abschnitt 9.2
	Walze		3,3	-	-	-	
Wohngebäude	Platte	7	3,2	11	3,2	-	Abschnitt 9.3
	Walze		11	23	11	-	
Menschen in Wohngebäuden	Platte	7	-	-	-	6,1	Abschnitt 9.4
	Walze					13	
Nebengebäude	Platte	14	1,9	8,1	2,1	-	Abschnitt 9.3
	Walze		6,6	17	6,6	-	
Gasleitung	Platte	0	20 ¹⁾	-	-	-	Abschnitt 9.5
	Walze		> 25 ¹⁾				
Trennpfeiler, Ufermauern	Platte	0	10	-	-	-	Abschnitt 9.6
	Walze		36	-	-	-	
Brücken	Platte	0	10	-	-	-	Abschnitt 9.7
	Walze		36	-	-	-	
Einleitungsbauwerke	Platte	0	10	-	-	-	Abschnitt 9.5
	Walze		36	-	-	-	
FAA	Platte		10	-	-	-	Abschnitt 9.7
	Walze		36	-	-	-	

¹⁾ Schwinggeschwindigkeit im Boden

Tabelle 11: Flutmulde Verdichten mit Rüttelplatten ($m = 600$ kg) und Rüttelwalzen: minimale Abstände R_{min} zu den nächstgelegenen Schutzgütern und prognostizierte Größtwerte der Bauwerks- und Bauteilschwingungsgeschwindigkeiten ($P = 95$ %). Die Bewertung erfolgt nach DIN 4150-3:2016-12. Falls Anhaltswerte überschritten werden, ist der Wert in der Tabelle grau hinterlegt.

Schutzgut	Verfahren	R_{min}	v_{Boden}	Maßnahmen
		in m	in mm/s	
Gasleitung	Platte	8	5,9	-
	Walze		> 25	Abschnitt 9.8
Abwasserleitung	Platte	5	4,0	-
	Walze		> 25	Abschnitt 9.8
Freileitungsmast	Platte	30	0,82 ¹⁾	-
	Walze		2,9 ¹⁾	-

¹⁾ Schwinggeschwindigkeit am Fundament

9 Bewertung und Empfehlungen

9.1 Allgemeine Empfehlungen

Vibrationsrammung

Als Vibrationsramme (Ziehen und Einbringen), sollte ein leistungsstarker Hochfrequenzvibrator mit kräftefreiem An- und Auslauf (variable Unwuchten) und einer Drehzahl $n \geq 2000 \text{ min}^{-1}$ ($f \geq 35 \text{ Hz}$) ausgeschrieben werden. Das Einrütteln der Bohlen sollte abgebrochen werden, wenn der Rammfortschritt von 0,5 m/min unterschritten wird oder nach 5 Minuten kontinuierlichen Vibrierens kein Rammfortschritt zu erreichen ist.

Bodenverdichten

Der Einsatz von Vibrationswalzen wird nicht empfohlen, da bei diesem Bauverfahren an beinahe allen Schutzgütern eine Überschreitung der Anhaltswerte nicht ausgeschlossen werden kann und die Erschütterungen auch deutlich von den Menschen in Kleinwallstadt wahrgenommen werden könnten. Das Bodenverdichten nur durch das Eigengewicht der Walze ist möglich.

Zur Minderung von Erschütterungen bei Verdichtungsarbeiten mit Plattenrüttlern können kleinere Geräte mit Arbeitsfrequenzen von $f > 50 \text{ Hz}$ eingesetzt werden. Das An- und Auslaufen der Verdichtungsgeräte sollte in der größtmöglichen Entfernung zu Schutzgütern erfolgen.

9.2 Kraftwerksgebäude und Turbinen

Der empfohlene Anhaltswert für die Turbinen kann bei allen Bauverfahren eingehalten werden.

Beim Einbringen von Rammelementen mittels Vibrationsrammung sowie beim Abbruchmeißeln können die Anhaltswerte der DIN 4150-3:2016-12 (Einwirkungen auf Bauten) ebenfalls eingehalten werden.

Bei Verdichtungsarbeiten mit großen Plattenrüttlern ($m = 600 \text{ kg}$, $f > 30 \text{ Hz}$) kann eine

Überschreitung der Anhaltswerte für das Kraftwerksgebäude bis zu einem Abstand von 4 m nicht ausgeschlossen werden.

Während der folgenden Baumaßnahmen sollten Erschütterungsmessungen nach DIN 45669 und DIN 4150 am Gebäude und an den Fundamenten der Turbinen durchgeführt werden:

- Vibrationsrammung der SPWD 1 und SPWD 2 zur Sicherstellung der sachgemäßen Durchführung der Rammarbeiten.
- Meißelarbeiten am/im Gebäude und im Nahbereich.
- Verdichtungsarbeiten im Abstand $R < 20$ m.

Da am Kraftwerk umfangreiche Abbrucharbeiten stattfinden, sollte das Gebäude während der Baumaßnahme geodätisch überwacht werden.

9.3 Wohngebäude und Nebengebäude Kleinwallstadt

Beim Einbringen von Rammelementen mittels Vibrationsrammung sowie beim Abbruchmeißeln können Überschreitungen der Anhaltswerte der DIN 4150-3:2016-12 (Einwirkungen auf Bauten) und damit Schäden an den Wohn- und Nebengebäuden mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

Bei Verdichtungsarbeiten mit großen Plattenrüttlern ($m = 600$ kg, $f > 30$ Hz) kann eine Überschreitung der Anhaltswerte für Wohn- und Nebengebäude bis zu einem Abstand von 9 m nicht ausgeschlossen werden. Dies betrifft vor allem die Wiederherstellung der Zuwegung zu Brücke 2.

Während Verdichtungsarbeiten in Abständen $R < 35$ m zu Wohn- und Nebengebäuden sollten stichprobenartig Erschütterungsmessungen nach DIN 45669 und DIN 4150 durchgeführt werden.

9.4 Menschen in Wohngebäuden

Wird der obere Anhaltswert $A_o = 5$ überschritten ($KB_{Fmax} > 5$) ist die Anforderung der DIN 4150-2:1999-06 nicht eingehalten.

In den Wohngebäuden Schleusenstr. 4a und Schleusenstr. 8 kann bei Verdichtungsarbeiten mit schweren Rüttelplatten während der Wiederherstellung der Zuwegung zu Brücke 2 eine Überschreitung des oberen Anhaltswertes nicht ausgeschlossen werden. Zur Minderung von Erschütterungen bei Verdichtungsarbeiten mit Plattenrüttlern können kleinere Geräte mit Arbeitsfrequenzen von $f > 50$ Hz eingesetzt werden. Das An- und Auslaufen der Verdichtungsgeräte sollte in der größtmöglichen Entfernung zu den Wohngebäuden erfolgen.

Die Einhaltung der unteren Anhaltswerte $A_u(I)$ bis $A_u(III)$ kann gegebenenfalls ($KB_{Fmax} < A_o$) durch die Verringerung der täglichen Einwirkungszeit erreicht werden.

In der Tabelle 12 werden Abstände angegeben, ab denen die Anhaltswerte der DIN 4150-2:1999-06 eingehalten werden. Zusätzlich werden entsprechende Maßnahmen zur Erschütterungsmessung und Beweissicherung empfohlen.

Tabelle 12: Menschen in Wohngebäuden Kleinwallstadt: Abstände, ab denen die Anhaltswerte der DIN 4150-2:1999-06 eingehalten werden und Maßnahmen zur Erschütterungsmessung und Beweissicherung.

Baumaßnahme	A_u Stufe	Anhaltswert	Maßnahmen A, B oder C (siehe unten) für Anwohner...	... im Entfernungsbereich < R in m
SPWD 1	I	0,4	Maßnahmen A	113
	II	0,8	Maßnahmen B	75
	III	1,2	Maßnahmen C	52
	A_o	5	-	5
SPWD 2 Umschlag- stelle	I	0,4	Maßnahmen A	133
	II	0,8	Maßnahmen B	93
	III	1,2	Maßnahmen C	69
	A_o	5	-	11
SPWD 3	I	0,4	Maßnahmen A	123
	II	0,8	Maßnahmen B	84
	III	1,2	Maßnahmen C	61
	A_o	5	-	8
Abbruchmei- ßeln	I	0,4	Maßnahmen A	112
	II	0,8	Maßnahmen B	67
	III	1,2	Maßnahmen C	44
	A_o	5	-	6
Verdichten Rüttelplatte	I	0,4	Maßnahmen A	111
	II	0,8	Maßnahmen B	88
	III	1,2	Maßnahmen C	67
	A_o	5	-	11
Verdichten Vibrations- walze	I	0,4	Dynamisches Verdichten nicht empfohlen, Verdichten durch Eigenge- wicht möglich.	151
	II	0,8		126
	III	1,2		103
	A_o	5		36

Maßnahmen A

Es wird empfohlen für die Anwohner vor Beginn der Rammarbeiten die Maßnahmen a) bis e) (s. Abschnitt 5.3) und im Beschwerdefall auch den Nachweis der tatsächlich auftretenden Erschütterungen durch Messungen nach DIN 45669 und DIN 4150 sowie deren Beurteilung bezüglich der Wirkung auf Menschen und Gebäude zu veranlassen.

Maßnahmen B

Zusätzlich zu den Maßnahmen A sollte vor Beginn der Baumaßnahme die Dokumentation bestehender Schäden veranlasst werden. Zu Beginn der Baumaßnahme sollten an ausgewählten Gebäuden Erschütterungsmessungen nach DIN 45669 und DIN 4150 sowie deren Beurteilung bezüglich der Wirkung auf Menschen und Gebäude zu veranlasst werden.

Maßnahmen C

Maßnahmen A und B durchführen. Die Erschütterungsmessungen sollten nicht nur zu Beginn der Baumaßnahme, sondern kontinuierlich an ausgewählten Gebäuden durchgeführt werden.

9.5 Versorgungsleitungen im Bereich der FAA und Einleitungsbauwerke

Gasleitung

Bei allen Bauverfahren, mit Ausnahme der Verdichtung mit Vibrationswalzen, kann der Anhaltswert von 25 mm/s voraussichtlich eingehalten werden.

Während der folgenden Baumaßnahmen sollten stichprobenartig Erschütterungsmessungen, z. B. auf der Geländeoberkante über der Gasleitung durchgeführt werden:

- Vibrationsrammung der SPWD 3 im Nahbereich der Gasleitung.
- Verdichtungsarbeiten im Nahbereich.

Andere Versorgungsleitungen

Bei den anderen Versorgungsleitungen sollten die in der Tabelle 13 genannten Abstände mit den entsprechenden Bauverfahren nicht unterschritten werden. Für die Einleitungsbauwerke gelten die Werte der Tabelle 3, Zeile 3.

Tabelle 13: Erdverlegte Rohrleitungen: Abstände, ab denen die Anhaltswerte der DIN 4150-3:2016-12 und der BAW eingehalten werden.

Leitungsbaustoffe	Abstand R in m				
	SPWD 1	SPWD 2, Dalben	SPWD 3	Abbruch- meißel	schwere Rüttelplatte
Stahl, geschweißt	1	3	2	1	1
Steinzeug, Beton, Stahlbeton, Spannbeton, Metall mit und ohne Flansche	1	4	3	1	1
Mauerwerk, Kunststoff	3	8	5	1	1
Gasleitungen	3	8	5	1	1

9.6 Trennpfeiler, Ufermauern

Trennpfeiler

Der empfohlene Anhaltswert für die Trennpfeiler kann bei allen Bauverfahren eingehalten werden. Bei Abbrucharbeiten am Trennpfeiler im Unterwasser sollte dieser geodätisch überwacht werden.

Ufermauer im Oberwasser

Die SPWD 2 schließt unmittelbar an die Ufermauer im Oberwasser an. Hier kann eine Überschreitung des empfohlenen Anhaltswertes bei Vibrationsrammung nicht ausgeschlossen werden.

Es wird empfohlen während der Rammarbeiten Schwingungsmessungen auf der Ufermauer

durchzuführen und diese geodätisch zu überwachen (Abschnitt 9.9). Sollen Setzungen ausgeschlossen werden, wäre Schlagrammung als Bauverfahren zu empfehlen (Abschnitt 9.9).

9.7 Neu gebaute Fischaufstiegsanlage und Brücken

Das Ziehen der Spundbohlen der Baugrube für die FAA wird aufgrund möglicher Setzungen nicht empfohlen (Abschnitt 9.9). Ist der Verbleib der Bohlen im Baugrund nicht möglich, kann eine Überschreitung des Anhaltswertes nicht ausgeschlossen werden.

Bei Abbrucharbeiten (z. B. an der Bohrpfahlwand) nachdem Teile der FAA bereits fertiggestellt wurden, kann eine Überschreitung des Anhaltswertes bis zu einem Abstand von 5 m nicht ausgeschlossen werden. Es wird empfohlen während Abbrucharbeiten stichprobenartig Erschütterungsmessungen durchzuführen.

Bei Verdichtungsarbeiten mit schweren Rüttelplatten kann eine Überschreitung des Anhaltswertes bis zu einem Abstand von 4 m nicht ausgeschlossen werden. Es wird empfohlen stichprobenartige Erschütterungsmessungen bei Verdichtungsarbeiten im Nahbereich durchzuführen.

9.8 Kompensationsmaßnahme Flutmulde

Bei Rammarbeiten und Verdichtungsarbeiten mit schweren Rüttelplatten ist nicht mit einer Überschreitung von Anhaltswerten an der Gasleitung, der Abwasserleitung und dem Freileitungsmast zu rechnen. Es wird empfohlen den Boden nicht dynamisch mit Vibrationswalzen zu verdichten, sondern nur durch das Eigengewicht der Walze.

9.9 Einwirkungen auf den Boden im Gründungsbereich von Bauten

Beim Einbringen und Ziehen von Rammelementen mit Vibrationsbären ist aufgrund der andauernden Wechselbelastung mit vergleichsweise hoher Frequenz ein größerer Anstieg des Porenwasserdruckes als bei Schlagrammung zu erwarten. Zusätzlich tritt eine Verflüssigung des Bodens im unmittelbaren Rammbereich auf.

Mögliche Setzungen in einem Entfernungsbereich der kleiner ist als der Sicherheitsabstand R_S der DIN 4150-3:2016-12 (Anlage 3), können nicht quantitativ abgeschätzt werden.

Für $R > R_S$ ist in Bild 1 eine Abschätzung des Setzungsverlaufs der GOK bei Vibrationsrammung in locker gelagerten Sanden dargestellt [U16]. Die Kurve kann als obere Abschätzung der zu erwartenden Setzungen angesehen werden. Ab einer Entfernung von $R > 19$ m liegen die Setzungen bei $S < 1$ mm.

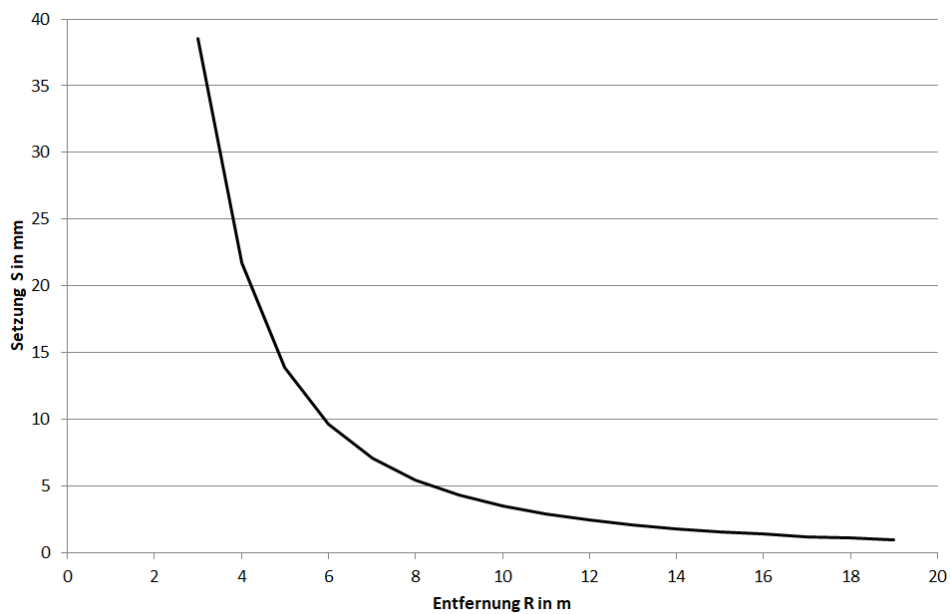


Bild 1: Abschätzung des Setzungsverlaufs der Geländeoberkante bei Vibrationsrammung ($M = 24 \text{ kgm}$ und $f = 35 \text{ Hz}$) in locker gelagerten Sanden [U16].

Schutzgüter im Bereich $R \leq 19 \text{ m}$ sind die Stauhaltungsdämme, Leitungen auf der Ostseite des „Neuen Grabens“, die Ufermauer im Oberwasser und die neu errichtete FAA.

Stauhaltungsdämme

Sollten während der Rammarbeiten Setzungen an den Stauhaltungsdämmen auftreten, müssen diese bauzeitlich behoben werden.

Leitungen

Abhängig von der Einbindelänge der Spundbohlen und der Tiefe der erdverlegten Leitungen, sollte zunächst geprüft werden, ob der Sicherheitsabstand R_S eingehalten werden kann. Es wird empfohlen den Sicherheitsabstand R_S mit Vibrationsrammung nicht zu unterschreiten.

Falls $R > R_S$ eingehalten werden kann, ergeben sich für die Leitungen auf der Ostseite des „Neuen Grabens“ die folgenden maximalen Setzungen:

- | | |
|---|-------------------------|
| • Abwasserleitung Zweckverband AMME ($R_{min} = 6 \text{ m}$) | $S \leq 9,7 \text{ mm}$ |
| • Gasleitung ($R_{min} = 10 \text{ m}$) | $S \leq 3,5 \text{ mm}$ |
| • Drainageleitung ($R_{min} = 10 \text{ m}$) | $S \leq 3,5 \text{ mm}$ |

Mit den Betreibern sollte geklärt werden, ob diese Setzungen vertragen werden.

Ufermauer Oberwasser

Die SPWD 2 schließt unmittelbar an die Ufermauer im Oberwasser an. Um Setzungen zu vermeiden sollte die Spundwand nicht tiefer als die Gründung der Ufermauer einbinden, um den Sicherheitsabstand R_S einzuhalten. Nach [U15][U16] liegt die Gründung bei ca. NN+111 m. Es wird empfohlen die Ufermauer geodätisch zu überwachen.

Sollen Setzungen ausgeschlossen werden, wäre Schlagrammung als Bauverfahren zu empfehlen.

FAA

Beim Einbringen der Spundwand SPWD 2 und SPWD 3 kann ein Setzungsverlauf der GOK nach Bild 1 nicht ausgeschlossen werden. Es sollte geprüft werden, ob bereits fertiggestellte Bereiche der FAA, die nicht auf Fels gegründet sind, davon betroffen sind.

Spundwände Ziehen

Die Spundwände SPWD 2 und SPWD 3 sollen ggf. wieder gezogen werden.

Beim Ziehen sollte der Sicherheitsabstand R_s ebenfalls beachtet werden. Die betrifft vor allem Spundbohlen unmittelbar neben bereits fertiggestellten Bereichen der FAA bzw. der Ufermauer, die nicht auf Fels gegründet sind. Mögliche Setzungen durch das Ziehen der Spundbohlen im Entfernungsbereich $R \leq R_s$ können quantitativ nicht abgeschätzt werden.

Durch das Ziehen der Baugrubenwände, gleichgültig ob mit Vibrationsbär oder Pfahlzieher, wird Material aus dem Boden ausgetragen (die Spundbohlen an sich und ggf. daran anhaftendes Bodenmaterial). Benachbarte Lasten, wie die FAA, könnten infolge seitlicher Verdrückung des Bodens Verschiebungen erleiden.

Es sollten alternative Vorgehensweisen, wie z. B. der Verbleib der Baugrubenwände im Boden geprüft werden. Ist dies nicht möglich ist beim Ziehen Folgendes zu beachten:

Die FAA sollte auf möglichst gut verdichtetem Material gegründet werden. Zum Ziehen von Rammelementen sollte nach Möglichkeit ein Schlagbär (Pfahlzieher) eingesetzt werden. Ist aus technischen und/oder wirtschaftlichen Gründen das Ziehen mit einer Vibrationsramme notwendig, sollte ein leistungsstarker Hochfrequenzvibrator mit kräftefreiem An- und Auslauf (variable Unwuchten) und einer Drehzahl $n \geq 1920 \text{ min}^{-1}$ ($f \geq 35 \text{ Hz}$) ausgeschrieben werden. Der Ziehvorgang ist abzubrechen, wenn das Rammelement nach 10 s nicht in Bewegung gekommen ist. Gegebenenfalls ist eine leistungsstärkere Vibrationsramme einzusetzen. Zusätzlich wird empfohlen an der FAA Erschütterungsmessungen nach DIN 45669 und DIN 4150 während der Zieharbeiten durchzuführen. Die FAA sollte zudem geodätisch überwacht werden.

Das Sachgebiet Baugrunderdynamik steht für Rückfragen und Beratungen gerne zur Verfügung.

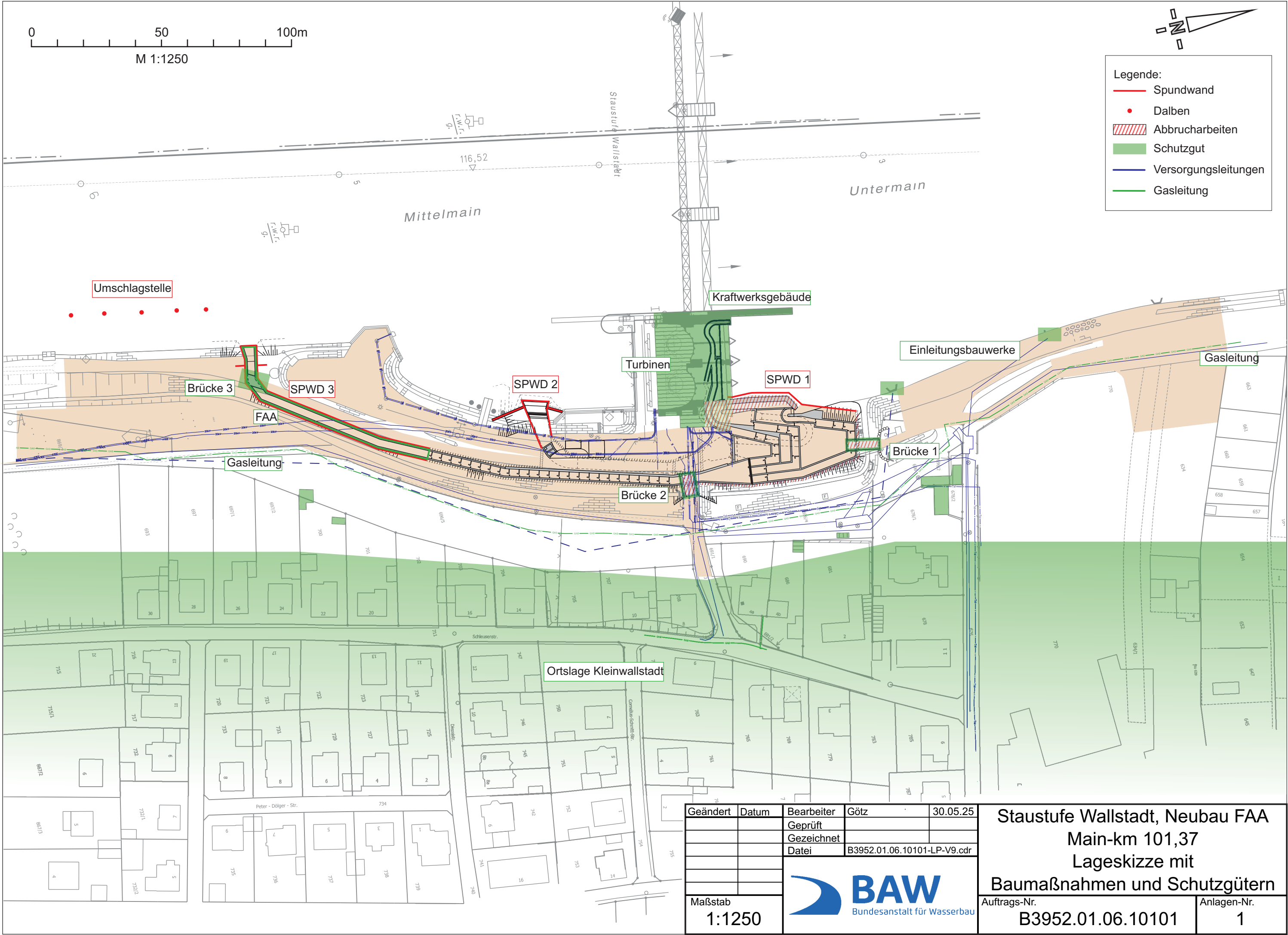
Bundesanstalt für Wasserbau

Karlsruhe, Mai 2025

Im Auftrag

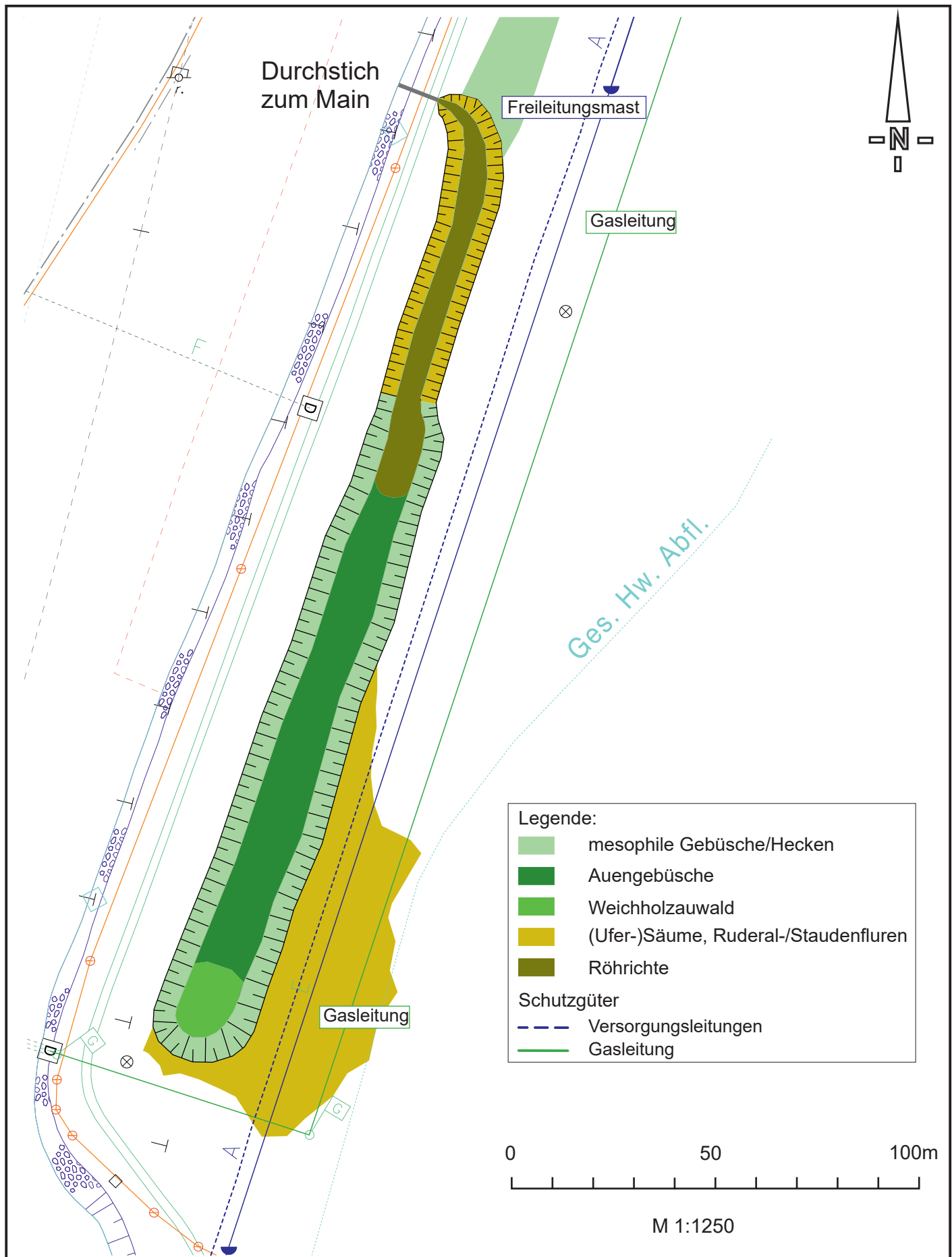
gez. Götz

Dr.-Ing. Julia Götz

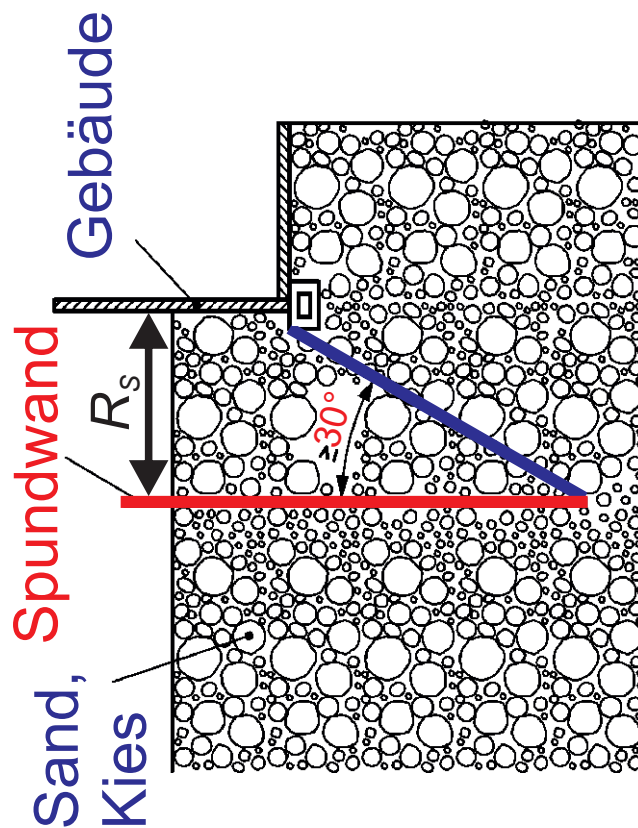
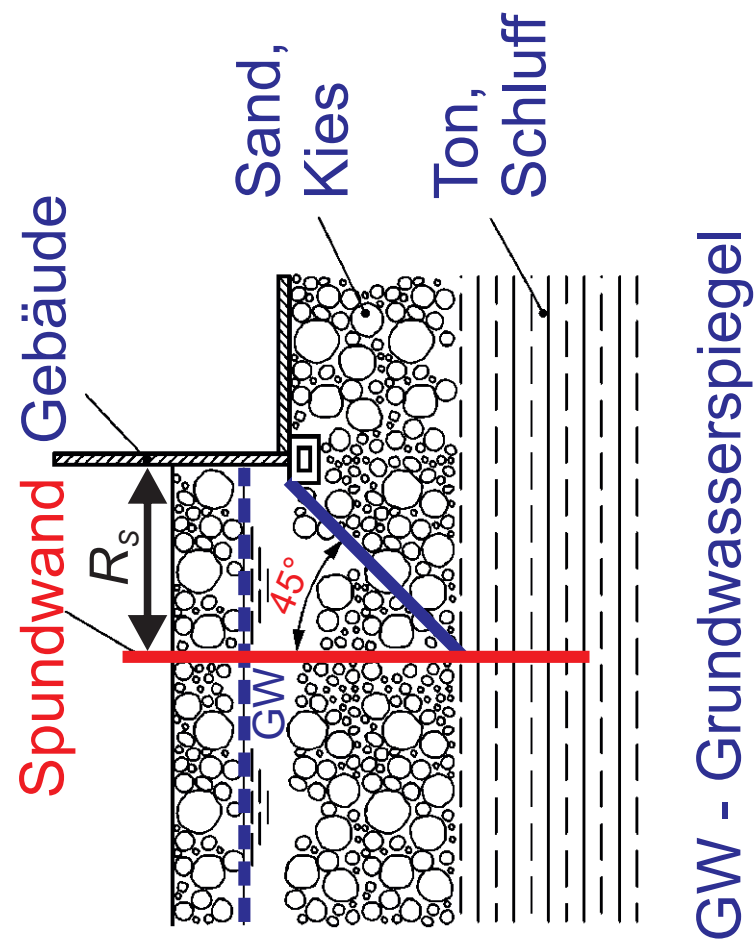


Geändert	Datum	Bearbeiter	Götz	30.05.25
		Geprüft		
		Gezeichnet		
		Datei	B3952.01.06.10101-LP-V9.cdr	
		 BAW Bundesanstalt für Wasserbau		
Maßstab				
1:1250				

Staufstufe Wallstadt, Neubau FAA	
Main-km 101,37	
Lageskizze mit	
Baumaßnahmen und Schutzgütern	
Auftrags-Nr.	Anlagen-Nr.
B3952.01.06.10101	1



Geändert	Datum	Bearbeiter	Götz	02.08.23	Staustufe Wallstadt, Neubau FAA Lageskizze Kompensationsmaßnahme Flutmulde Main-km 103,8	
		Geprüft				
		Gezeichnet				
		Datei	B3952.01.06.10101-Flutmulde.cdr			
Maßstab 1:1250		 BAW Bundesanstalt für Wasserbau			Auftrags-Nr. B3952.01.06.10101	Anlagen-Nr. 2



Geändert	Datum	Bearbeiter	Götz	14.01.2020
		Geprüft		
		Gezeichnet		
		Datei	Anlage_2_DIN4150-3_AnhC.cdr	
Maßstab		 BAW Bundesanstalt für Wasserbau		

Sicherheitsabstände R_s zwischen
 Spundwand und Gebäude
 aus
 DIN 4150-3:2016-12, Anhang C

Auftrags-Nr.
 B3952.01.06.10101

Anlagen-Nr.
 3



Kußmaulstraße 17 · 76187 Karlsruhe
Tel. +49 (0) 721 9726-0 · Fax +49 (0) 721 9726-4540

www.baw.de

Wedeler Landstraße 157 · 22559 Hamburg
Tel. +49 (0) 40 81908-0 · Fax +49 (0) 40 81908-373