

# Inbetriebnahme einer Schallmessbox für automatisiertes Erfassen von Schiffsschallpegeln

## Bericht zu Meilenstein M205.3.1

---

Dr. Svenja Sommer, Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)

DOI: 10.5675/ExpNBMVI2021.2021.01

Themenfeld 2: Verkehr und Infrastruktur umweltgerecht gestalten  
Schwerpunktthema 205: Minderungsmöglichkeiten von verkehrsbedingten Geräuschemissionen und  
Lärmimmissionen in Luft

# 1 Hintergrund und Ziele

Durch die zunehmende Sensibilisierung der Bevölkerung hinsichtlich Lärmimmissionen, aber auch neu angelegte gewässernahe Wohnbebauung rücken auch Lärmimmissionen von Binnenschiffen in den Fokus. Um Messunsicherheiten, z.B. aufgrund von Meteorologie, auszuschließen, können die Schallimmissionen nicht gemessen werden, sondern müssen nach der für eine Lärmquelle jeweils gültigen Vorschrift (z. B. TA Lärm [2], RLS-19 [3], Schall03 [4]) berechnet werden. Für die Ermittlung von Schallimmissionen der Binnenschiffahrt steht die "Anleitung zur Berechnung der Luftschallausbreitung an Bundeswasserstraßen" (ABSAW) [1] zur Verfügung. Die Berechnungsvorschrift selbst muss immer auf aktuellen Messdaten beruhen und möglichst den Querschnitt der gesamten Lärmquellen des betreffenden Verkehrsträgers (hier Schiffsflotte) abbilden. Daher werden an der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) Schallemissionen von Binnenschiffen erfasst. Dies erfolgte bisher durch eine manuelle Erfassung und Auswertung von Schalldruckpegeln und weiterer notwendiger Parameter.

Im Arbeitspaket 3 "Erweiterung und Überprüfung der Datengrundlage schiffsbedingter Schallemissionen" des Schwerpunktthemas 205 des BMVI-Expertennetzwerks sollen die Ermittlung der Schalldruckpegel fortgeführt und nach Möglichkeit automatisiert werden. Dazu wurde im ersten Schritt ein in den Grundzügen vorhandener Messaufbau (basierend auf den Arbeiten von Dr. S. Mai und T. Zenz, BfG) zur Erfassung von Schiffsschall (im Folgenden Schallmessbox genannt) erweitert, der nun die automatisierte Erfassung von Schiffsschall und eine erste vorläufige Auswertung der Messdaten erlaubt. Der beispielhafte Einsatz ist in [Abbildung 1](#) am Rhein bei Koblenz gezeigt. Ziel ist es, dass die Schallmessbox bei Annäherung eines Schiffes die Messung automatisch startet und nach der Vorbeifahrt wieder automatisch beendet. Anschließend wird automatisch überprüft, ob die Messung auswertbar ist, d.h. es wird geprüft, ob sich nur ein Schiff im Erfassungsbereich des Mikrofons befindet und kein Niederschlag sowie kein starker Wind vorhanden ist. Wenn diese Überprüfung positiv ist, findet automatisch eine erste Auswertung statt, die die weitere Nachbearbeitung stark vereinfacht. Dieser Bericht soll einen Überblick über den Aufbau und Funktionsweise der Schallmessbox geben.

Neben der Messung des Schalldruckpegels und weiterer, zur Berechnung des Schalleistungspegels (d. h. der Emissionsstärke) notwendiger Größen, müssen auch die Größe, Art und Geschwindigkeit des Schiffes sowie meteorologische Messgrößen erfasst werden, um ein möglichst differenziertes Bild für die Auswertung zu erhalten. Die erfassten Parameter sind in [Tabelle 1](#) aufgeführt.

Tabelle 1: Notwendige und weitere erfasste Messgrößen

| Notwendige Messgrößen                               | Weitere Messgrößen                      |
|---|---|
| Äquivalenter Dauerschalldruckpegel (A-, C-bewertet) | Schiffstyp                              |
| Entfernung Mikrophon-Schiff                         | Länge, Breite des Schiffes              |
| Niederschlag  | Fahrtrichtung                           |
| Windgeschwindigkeit                                 | Temperatur                              |
| Schiffsgeschwindigkeit über Grund                   | Windrichtung                            |
| Dauer der Vorbeifahrt                               | Luftdruck                               |
|   | Z-bewerteter Schalldruckpegel in Terzen |



Abbildung 1: Testmessung von Schalldruckpegeln am Rhein bei Koblenz. Mittig im Bild: Mikrofon mit Stativ, rechts im Bild: Schallmessbox mit aufgestellter AIS-Antenne. Foto: S. Sommer, BfG.

Die Erfassung des Schalldruckpegels erfolgt mittels eines Mikrofons, das über ein Kabel mit einem Schalldruckpegelmessgerät verbunden ist. Die Messsteuerung erfolgt über einen Mess-PC, an den auch die weitere Messtechnik angeschlossen ist.

Die Einführung des Automatic Information Systems (AIS, eine Technik, die Schiffposition und -daten übermittelt) in der Binnenschifffahrt ermöglicht es, Parameter zu erfassen, die bisher nur durch Beobachtung vor Ort zugänglich waren. Darunter fällt die Schiffposition (aus der sich die Entfernung zwischen Mikrofon und Schiff ermitteln lässt), die Geschwindigkeit über Grund (aus der sich zusätzlich noch die Geschwindigkeit durchs Wasser errechnen lässt, sofern die Fließgeschwindigkeit bekannt ist) sowie Typ (Tanker, Passagierschiff, Containerschiff, Schubverband etc.) und Größe (Länge, Breite) des Schiffs. Diese Parameter werden von dem Schiff in unterschiedlichen Abständen übermittelt und werden von der Schallmessbox empfangen und ausgewertet. Zusätzlich ist die Schallmessbox mit einer Wetterstation ausgerüstet, sodass Wetterbedingungen, die keine verwertbaren Messungen zulassen (Niederschlag, starker Wind), detektiert werden können.

## 2 Aufbau und Positionierung der Schallmessbox

Im Folgenden werden die verwendeten Hardware-Komponenten und ihre Verbindung beschrieben:

- Schalldruckpegelmessgerät 2270 der Firma Brüel & Kjær, 1/2" Freifeldmikrofon und Vorverstärker mit Outdoorkit auf Stativ
- Tablet-PC mit Touch-Funktion als Mess-PC

- Unabhängige Spannungsversorgung (USV) zur Überbrückung von Netzausfällen
- AIS-Empfänger mit AIS-Antenne
- Wetterstation Vantage Vue von Davis (bestehend aus einer Basisstation und einer Außeneinheit, Übertragung mittels Funk)
- Zurzeit nicht verwendet: GSM-Modem

Der Innenaufbau der Schallmessbox ist in [Abbildung 2](#) gezeigt. Das Schalldruckpegelmessgerät ist über USB mit dem Mess-PC verbunden und kann von dort gesteuert werden. Die Messwerte des Schalldruckpegels lassen sich im Anschluss an eine Messung auf den Mess-PC übertragen. Sowohl der AIS-Empfänger als auch die Basiseinheit der Wetterstation sind ebenfalls über USB mit dem Mess-PC verbunden, werden dort aber als virtuelle serielle Schnittstelle registriert und auch angesprochen, d. h. hier findet die Datenübertragung mittels seriellen Protokolls statt. Alle Geräte, die Netzspannung benötigen (Schalldruckpegelmessgerät, Mess-PC, Basiseinheit der Wetterstation), sind über eine USV mit 12 V Spannung versorgt.

Die Schallmessbox ist im Außenbereich einsatzfähig, muss aber nicht zwangsläufig direkt am Ort der Schalldruckmessung aufgestellt werden, sondern kann mittels Verlängerungskabel an einem geschützten Ort stehen. Dagegen müssen das Mikrofon und die Außeneinheit der Wetterstation möglichst optimal am Rand der Wasserstraße positioniert werden. Die Position der AIS-Antenne spielt eine untergeordnete Rolle, da nur Signale unmittelbar vorbeifahrender Schiffe detektiert werden sollen und somit die Dämpfung durch Wände oder andere Hindernisse vernachlässigt werden kann.

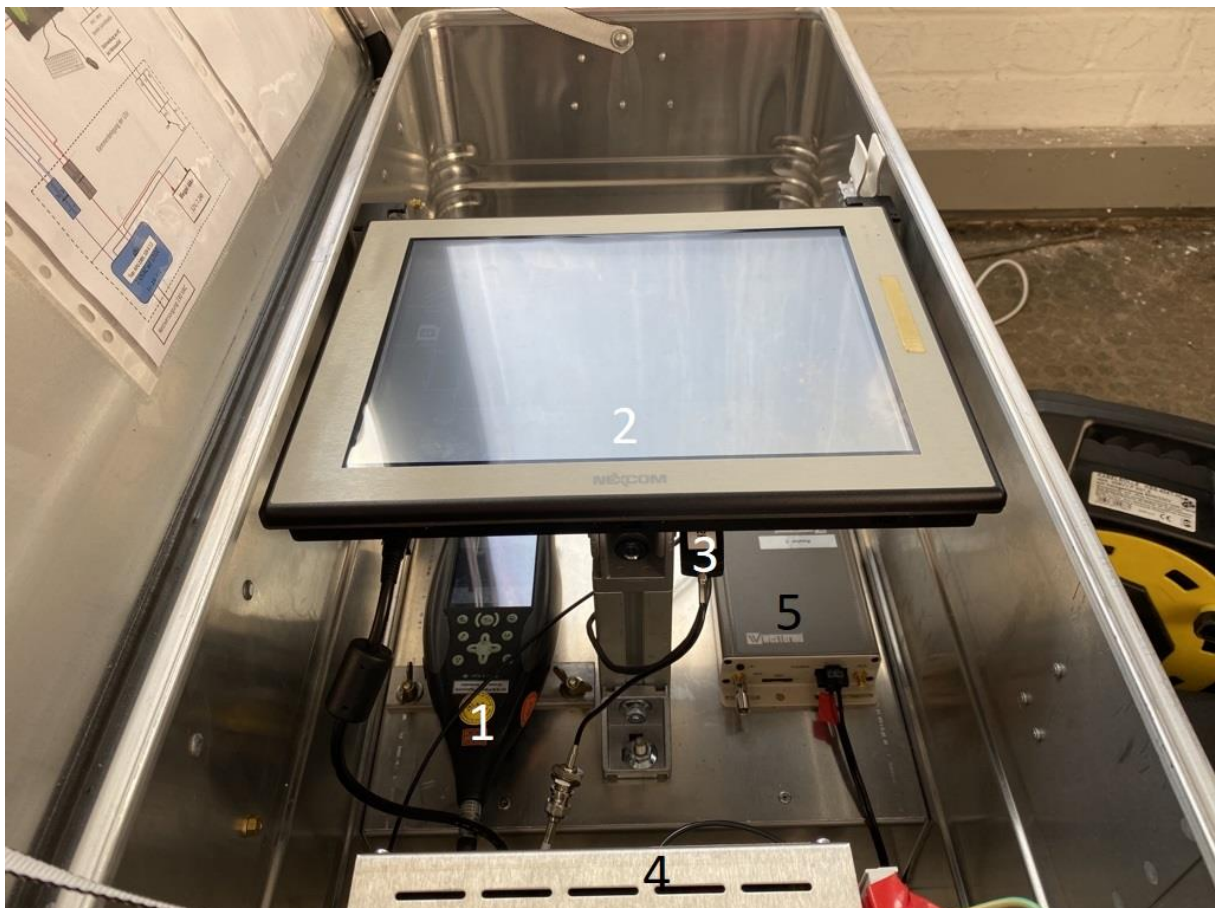


Abbildung 2: Innenaufbau der Schallmessbox. 1) Schalldruckpegelmessgerät. 2) Mess-PC. 3) AIS-Empfänger. 4) Unabhängige Spannungsversorgung. 5) GSM-Modem (z. Z. nicht verwendet). Foto: T. Taubenheim, BfG.

### 3 Ablauf der Messung

Die Messung wird durch den Mess-PC gesteuert, ein schematischer Ablaufplan ist in [Abbildung 3](#) zu finden.

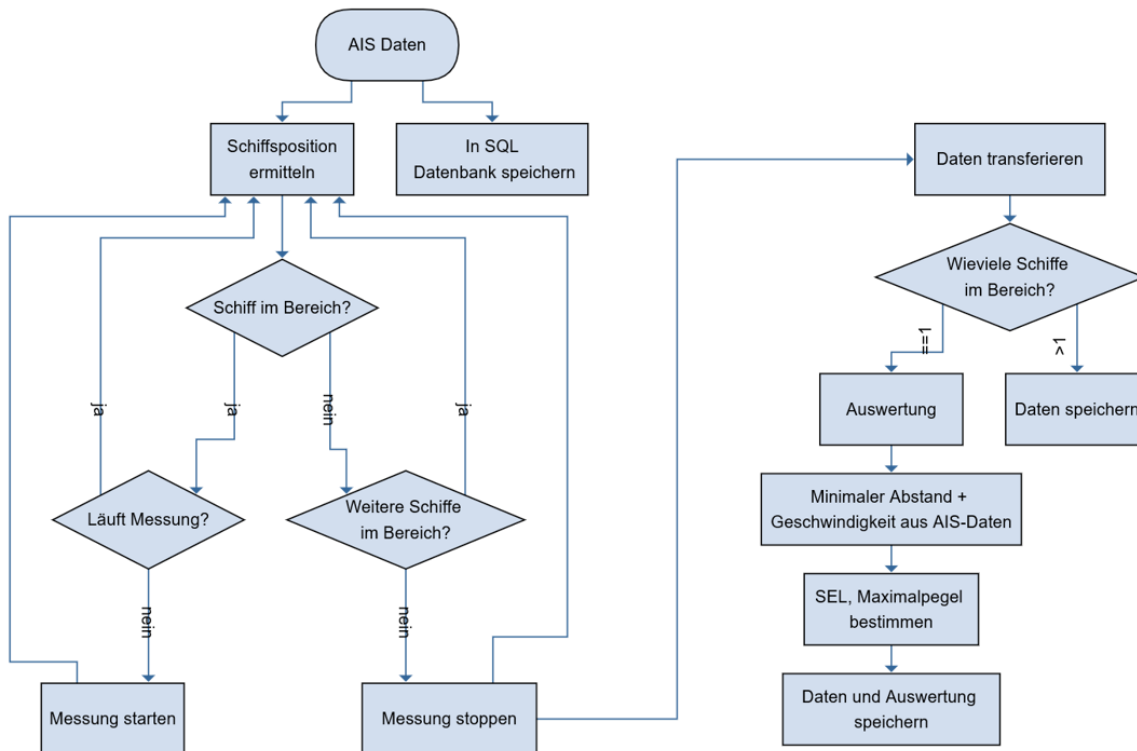


Abbildung 3: Schematischer Ablauf des Messablaufs.

Für die Detektion von Schiffen werden kontinuierlich AIS-Daten eingelesen und dekodiert. Für den Messablauf wird die Art des AIS-Datensatzes überprüft. Ist der Datensatz vollständig und enthält Typ, Länge und Breite eines Schiffes, werden diese Daten im Arbeitsspeicher abgelegt und für eine Stunde dort gespeichert. Für jeden AIS-Datensatz, der Daten zu Schiffsposition, Geschwindigkeit über Grund und Kurs enthält, wird die Entfernung zum Mikrofon berechnet (Positionen im Koordinatensystem WGS84). Sobald ein Schiff sich in einem bestimmten Bereich (momentan ein Radius von 600 m, der aber ggf. angepasst werden muss) um das Mikrofon befindet, wird die Messung gestartet. Die Position des Schiffes wird dann solange über AIS weiter erfasst, bis das Schiff den vordefinierten Bereich verlassen hat. Daraufhin, oder für den Fall, dass das Schiff im Messbereich angelegt hat, wird nach einem ausreichend langem Zeitraum (z. B. 20 min) die Messung beendet. Sobald die Schalldruckpegelmessung gestartet wird, wird auch die Aufzeichnung der meteorologischen Parameter gestartet. Sollte während der Messung Niederschlag fallen, Windgeschwindigkeiten über 5 m/s auftreten oder die Temperatur unter 0°C fallen (nach DIN 45642 [5]), wird diese Messung nicht verwendet.

Sollte sich während der Messdauer mehr als ein Schiff in dem Bereich aufhalten (Begegnungen oder hintereinanderfahrende Schiffe), kann die Messung nicht verwendet werden, da eine Zuordnung des gemessenen Schalldruckpegels zu den einzelnen Schallquellen nicht möglich ist. Für diesen Fall wird die Messung zwar durchgeführt, bis sich kein Schiff mehr im Bereich aufhält, die Messung aber anschließend als nicht verwendbar markiert und auch nicht weiter ausgewertet.

Am Ende der Messung werden die Schalldruckpegeldaten auf den Mess-PC transferiert und mit den zusätzlichen Daten zum Schiff (Länge, Breite etc.) aus dem entsprechenden Datensatz verknüpft und zusammen abgespeichert. Dabei werden nur Daten abgespeichert, die keine Rückschlüsse auf das individuelle Schiff zulassen.

Sollte die Messung erfolgreich verlaufen, wird anschließend eine vorläufige Auswertung vorgenommen, die parallel zum Messalgorithmus läuft. Während der Auswertung kann somit bereits mit einer nächsten Messung begonnen werden.

## 4 Vorläufige Auswertung auf der Schallmessbox

Hat sich während der gesamten Messdauer nur ein Schiff im Bereich aufgehalten und lagen messtechnisch günstige meteorologischen Bedingungen vor, wird eine einfache Auswertung vorgenommen.

Als erster Schritt wird die Fahrtrichtung des Schiffes aus den AIS-Signalen bestimmt. Als nächstes wird der Abstand zwischen Mikrofon und Schiff (Position durch GPS-Signal) bestimmt. Hier könnte in vielen Fällen auch die Entfernung zur Bordwand ermittelt werden, da viele Schiffe die Position der GPS-Antenne auf dem Schiff ebenfalls übermitteln. Die Ermittlung der minimalen Entfernung erfolgt unter der Annahme, dass das Schiff entlang einer Geraden fährt. Diese wird durch eine orthogonale lineare Regression, da sowohl die GPS-Länge und -Breite fehlerbehaftet ist, approximiert. Anschließend wird die minimale Entfernung der Position des Mikrofons zu dieser Geraden ermittelt, um die geringste Entfernung zwischen Schiff und Mikrofon zu ermitteln. Um sicherzustellen, dass der gemessene Schall von der zu untersuchenden Schallquelle (Schiff) stammt, wird der zeitliche Verlauf des Schalldruckpegels hinsichtlich plötzlich auftretender Geräuschspitzen analysiert, wodurch Hintergrundgeräusche erkannt werden sollen. Diese Methode ist nur bedingt für die Detektion von Störgeräuschen geeignet und soll später durch bessere Methoden ersetzt werden. Zeiträume, in denen plötzlich auftretende Geräuschspitzen auftreten, werden herausgeschnitten und nicht in die Analyse miteinbezogen.

Für spätere Aussagen bezüglich der Bewertung von Schiffsschall soll sowohl die A- als auch die C-bewertete Schalleistung für jedes Schiff bestimmt werden. Dazu wird im Auswertungsalgorithmus der Schallmessbox der normierte Einzelereignispegel berechnet, aus dem in nachfolgenden Analysen die Schalleistung errechnet werden kann. Da der zeitlich vollständige Schalldruckpegelverlauf aufgezeichnet wird, können nachträglich auch weitere Auswertungsmethoden angewendet werden. Hier erfolgt über die Berechnung des Einzelereignispegel nach DIN 45642 [5]. Bei der Berechnung des Schalleistungspegels wird davon ausgegangen, dass das Schiff als eine Schallpunktquelle (die Entfernung zwischen Schiff und Mikrofon ist im Allgemeinen größer als die halbe Länge des Schiffes, zudem ist der Motor die Hauptlärmquelle und damit auf einen Bereich konzentriert) mit gleichbleibender Geschwindigkeit sich auf einer Geraden an dem Mikrofon vorbeibewegt. Die Dauer der messbaren Schalleinwirkung hängt dabei neben der Schalleistung von der Geschwindigkeit über Grund ab. Ein langsam fahrendes Schiff wirkt über einen längeren Zeitraum ein und führt damit zu einem höheren Einzelereignispegel bei gleichbleibender Schallintensität als ein schnell fahrendes Schiff. Die Methode des Einzelereignispegel hat damit den Vorteil, dass Schallimmissionen unterschiedlich schnell fahrender Schiffe miteinander vergleichbar werden, aber auch die Schalleistung lässt sich bei bekannter Vorbeifahrtgeschwindigkeit daraus ableiten. Dazu wird die Zeitdauer  $T = t_2 - t_1$ , in dem der Schalldruckpegel max. 10 dB unterhalb des Maximalpegels liegt, ermittelt und der Einzelereignispegel nach

$$SEL = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{T_0} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right) \quad (1)$$

mit der Referenzdauer  $T_0 = 1$  s, dem Schalldruck  $p$  und dem Referenzschalldruckpegel  $p_0 = 20$   $\mu$ Pa bestimmt. Der gemittelte Schalldruckpegel  $L_{eq}$  hingegen lässt sich nach

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right) \quad (2)$$

bestimmen. Damit lässt sich der Einzelereignispegel aus dem gemittelten Schalldruckpegel berechnen:

$$SEL = L_{eq} + 10 \log_{10} \left( \frac{T}{T_0} \right) \quad (3)$$

Im Gegensatz zur alternativen Methode zur Bestimmung des Schalleistungspegels über den maximalen Vorbeifahrtpegel hat die Ermittlung des Schalleistungspegels den Vorteil, dass die gesamte Messdauer (im Vergleich zur Ermittlung über den Maximalpegel) in das Ergebnis einfließt und damit Messunsicherheiten, die während kurzer Zeiträume auftreten, einen geringen Einfluss haben. Da die Vorbeifahrten der Schiffe in verschiedenen Entfernungen  $s$  zum Mikrofon erfolgen, wird der Einzelereignispegel auf eine Entfernung von  $s_0 = 25 \text{ m}$  normiert. Abweichend von der DIN 45642 [5] wird hier noch die Geschwindigkeit über Grund  $v$  mit einbezogen, um zu berücksichtigen, dass sie bei Tal- und Bergfahrern aufgrund der Fließgeschwindigkeit des Gewässers, z. B. Rhein, erhebliche Unterschiede aufweist. Um die Einzelereignispegel der Tal- und Bergfahrer vergleichbar zu machen, wird hier der Einzelereignispegel auf die Geschwindigkeit  $v_0 = 12 \text{ km/h}$  über Grund normiert.

Der normierte Einzelereignispegel lässt sich damit nach

$$SEL(s_0, T_0, v_0) = SEL + 10 \log_{10} \left( \frac{s}{s_0} \right) + 10 \log_{10} \left( \frac{v}{v_0} \right) \quad (4)$$

berechnen und bietet damit die Möglichkeit, Einzelereignispegel miteinander zu vergleichen und später für die Weiterentwicklung der ABSAW für verschiedene Schiffsklassen zu differenzieren und Abhängigkeiten, z. B. von der gefahrenen Geschwindigkeit im Wasser, zu ermitteln und daraus repräsentative Schalleistungspegel bzw. längenbezogene Schalleistungspegel zu berechnen.

## 5 Fazit und Ausblick

Nach Konzipierung und Aufbau einer autonomen Schallmessbox für das automatisierte Erfassen von Schiffsschalldruckpegeln konnte diese erfolgreich in Betrieb genommen werden. Die Schallmessbox kann somit nun genutzt werden, um aus gemessenen Schalldruckpegeln die Schalleistung vorbeifahrender Schiffe autonom zu ermitteln.

Im nächsten Schritt wird die Verifizierung der gemessenen Daten stattfinden, indem parallel zu den Messungen mit der Schallmessbox manuelle Messungen der notwendigen Parameter vorgenommen und die Ergebnisse anschließend miteinander verglichen werden.

Zudem soll die Störgeräuschdetektion verbessert werden. Hier könnte z. B. eine Möglichkeit sein, den erwarteten Kurvenverlauf des Schalldruckpegels bei der Vorbeifahrt mit konstanter Geschwindigkeit mittels Kurvenanpassung (Fit) zu modellieren und anschließend mit dem gemessenen Kurvenverlauf zu vergleichen. Eine weitere, aufwendigere Methode könnte der Einsatz von Methoden der künstlichen Intelligenz darstellen, dies muss aber noch näher untersucht werden.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), *ABSAW Anleitung zur Berechnung der Luftschallausbreitung an Bundeswasserstraßen*, in *BfG-Bericht 1250*. 2000.
2. TA Lärm, *Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm)*. 1998.
3. RLS-19, *Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen*. 2019, FGSV 052.
4. Schall-03, *Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV), Anlage 2 (zu § 4), Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege (Schall 03)*. 2014.
5. DIN 45642, *Messung von Verkehrsgeräuschen*, in *DIN 45642:2004-06* 2004, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.