

# Aide à l'exécution sonROAD18 – Recommandations du modèle

Modèle de calcul du bruit routier. Édition modifiée selon la révision partielle de 2024



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

# Aide à l'exécution sonROAD18 – Recommandations du modèle

Modèle de calcul du bruit routier. Édition modifiée selon la révision partielle de 2024.

## **Révision partielle 2024**

*Cette aide à l'exécution a été mise à jour concernant la norme ISO 9613-2 révisée (référence à la version de la norme ISO 9613-2:2024, second edition).*

# Impressum

## Valeur juridique

La présente publication est une aide à l'exécution élaborée par l'OFEV en sa qualité d'autorité de surveillance. Destinée en premier lieu aux autorités d'exécution, elle concrétise les exigences du droit fédéral de l'environnement (notions juridiques indéterminées, portée et exercice du pouvoir d'appréciation) et favorise ainsi une application uniforme de la législation. Si les autorités d'exécution en tiennent compte, elles peuvent partir du principe qu'elles appliquent correctement le droit fédéral ; d'autres solutions sont admissibles, à condition qu'elles soient conformes au droit.

## Éditeur

Office fédéral de l'environnement (OFEV)  
L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

## Auteur

Michael Gerber

## Accompagnement OFEV

Urs Walker, Sophie Hoehn, Judith Schäli, Cyrill Martin,  
Maurus Bärlocher

## Mise en page

Funke Lettershop AG

## Photo de couverture

Vue aérienne de nuit d'autoroutes, Bâle, Suisse  
© Moritz Enderle / EyeEm, gettyimages

## Téléchargement au format PDF

[www.bafu.admin.ch/uv-2314-f](http://www.bafu.admin.ch/uv-2314-f)

Il n'est pas possible de commander une version imprimée.

Cette publication est également disponible en allemand et en italien. La langue originale est l'allemand.

Édition modifiée selon la révision partielle de 2024.

© OFEV 2023

Le **Traitement des données d'entrée et calcul de la propagation** peut être consulté dans la publication **Modèle de calcul du bruit routier sonROAD18**  
[www.bafu.admin.ch/uv-2127-f](http://www.bafu.admin.ch/uv-2127-f)

**Informations actuelles sur les thèmes du bruit :**  
[www.bafu.admin.ch/bruit](http://www.bafu.admin.ch/bruit)

# Table des matières

<b>Abstracts</b>	<b>5</b>
------------------	----------

<b>Préface</b>	<b>6</b>
----------------	----------

<b>1 Bases</b>	<b>7</b>
----------------	----------

1.1 Introduction	7
------------------	---

1.2 Bases légales	7
-------------------	---

1.3 Modèle d'émission sonROAD18	8
---------------------------------	---

1.4 Méthode de calcul de la propagation selon la norme ISO 9613-2	8
---	---

<b>2 Recommandations</b>	<b>10</b>
--------------------------	-----------

2.1 Recommandations de modèles	10
--------------------------------	----

2.2 Fixation des immissions de bruit	10
--------------------------------------	----

2.3 Vitesses	11
--------------	----

2.4 Calcul de la propagation	12
------------------------------	----

<b>3 Bibliographie</b>	<b>13</b>
------------------------	-----------

---

# Abstracts

The sonROAD18 model to determine road traffic noise is described in detail in the report *sonROAD18 – Model for Determining Road Traffic Noise* (available in German, French and Italian). This enforcement aid recommends using the sonROAD18 emission model to implement the Noise Abatement Ordinance with regard to road noise. The sonROAD18 model is suitable for all purposes, and is also to be used to forecast road noise in connection with building in areas affected by noise. This enforcement aid recommends using the sound propagation model described in standard ISO 9613-2 to determine immissions.

Le modèle de calcul des émissions du bruit routier sonROAD18 est présenté de manière détaillée dans le rapport *sonROAD18 – Modèle de calcul du bruit routier*. La présente aide à l'exécution recommande l'utilisation du modèle d'émission sonROAD18 dans le cadre de l'exécution de l'ordonnance sur la protection contre le bruit concernant le bruit routier, ce modèle étant adapté à tous les domaines d'application. Le modèle sonROAD18 doit également être employé pour les prévisions du bruit routier dans le cadre de constructions dans des zones exposées au bruit. Pour le calcul des immissions, la présente aide à l'exécution recommande l'utilisation de la méthode de calcul de la propagation selon la norme ISO 9613-2.

Das Modell zur Berechnung von Strassenlärm-Emissionen sonROAD18 wird im Bericht *sonROAD18 – Berechnungsmodell für Strassenlärm* detailliert beschrieben. Die vorliegende Vollzugshilfe empfiehlt beim Vollzug der Lärmschutz-Verordnung bezüglich Strassenlärm das Emissionsmodell sonROAD18 einzusetzen. Das Berechnungsmodell sonROAD18 ist für alle Verwendungszwecke geeignet. Auch für Strassenlärm-Prognosen im Zusammenhang mit dem Bauen in lärmbelasteten Gebieten soll sonROAD18 verwendet werden. Für die Berechnung der Immissionen wird in dieser Vollzugshilfe die Verwendung des Ausbreitungsmodells nach Norm ISO 9613-2 empfohlen.

Il modello di calcolo per le emissioni del rumore stradale sonROAD18 è descritto in dettaglio nel rapporto *Modello di calcolo per il rumore stradale sonROAD18*. Il presente aiuto all'esecuzione raccomanda l'utilizzo del modello nell'esecuzione dell'ordinanza contro l'inquinamento fonico relativamente al rumore stradale. Il modello sonROAD18 è indicato per tutti gli ambiti di utilizzo e deve essere impiegato anche per le previsioni relative al rumore stradale in relazione all'attività edilizia in zone esposte al rumore. Per il calcolo delle immissioni il presente aiuto all'esecuzione raccomanda l'utilizzo del modello di propagazione del rumore secondo la norma ISO 9613-2.

**Keywords:**

*determination of road traffic noise, noise pre-diction, model recommendation, emissions model, SWISS10*

**Mots-clés :**

*calcul du bruit routier, prévisions du bruit, recommandation des modèles, modèle d'émission, SWISS10*

**Stichwörter:**

*Strassenlärm-berechnung, Lärmprognose, Modellempfehlung, Emissionsmodell, SWISS10*

**Parole chiave:**

*calcolo del rumore stradale, previsioni relative al rumore, raccomandazione sul modello, modello di emissione, SWISS10*

---

# Préface

Le bruit routier est, de loin, la source de bruit la plus importante en Suisse. Les propriétaires des routes ont l'obligation légale de réduire le plus possible les nuisances sonores. Des mesurages et calculs du bruit permettent de déterminer la charge sonore et de la comparer aux valeurs limites applicables. Les calculs présentent l'avantage de permettre une couverture totale des surfaces par rapport aux mesurages. En outre, ils sont plus simples et plus rapides que ceux-ci.

Un modèle de calcul aussi précis et pratique que possible est nécessaire pour déterminer le bruit routier. Le modèle doit permettre de saisir correctement les différentes catégories de véhicules et de déterminer précisément l'effet des mesures de limitation de la pollution sonore. Les modèles de calculs actuels ne tiennent pas compte, ou pas suffisamment, de telles mesures comme les réductions de la vitesse, les revêtements phonoabsorbants ou les véhicules électriques.

L'Office fédéral de l'environnement a ainsi chargé le Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche de développer un nouveau modèle d'émission qui corresponde à l'état actuel de la technique et des connaissances et qui soit adapté aux évolutions futures du parc de véhicules. Le nouveau modèle d'émission sonROAD18 permet de calculer de manière réaliste et moderne les émissions du trafic routier. L'effet des mesures de lutte contre le bruit, en particulier des mesures à la source, peut être évalué avec une grande précision. Il est ainsi possible de définir les mesures les mieux adaptées à une situation pour protéger les personnes touchées par le bruit routier.

La présente aide à l'exécution explique comment le bruit routier doit être calculé à l'avenir. Elle garantit ainsi une pratique uniforme et conforme au droit.

Urs Walker, division Bruit et RNI  
Office fédéral de l'environnement (OFEV)

---

# 1 Bases

## 1.1 Introduction

En février 2021, l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) a publié le modèle sonROAD18, développé par le Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche (Empa) sur mandat de l'OFEV [1][2]. SonROAD18 est considéré comme l'état actuel des connaissances et de la technique en matière de modélisation du bruit routier ; ce modèle permet de calculer les émissions sonores du trafic routier conformément à l'annexe 3 de l'ordonnance du 6 décembre 1986 sur la protection contre le bruit (OPB) [3].

Le modèle de calcul a été décrit en détail en 2018 dans le rapport correspondant [1]. Celui-ci comprend notamment une documentation relative aux campagnes de mesurage, les procédés d'évaluation, la calibration du modèle ainsi que la validation de ce dernier. Le descriptif complet du modèle est disponible en allemand uniquement. Une version abrégée a été établie en allemand [4], en français [5] et en italien [6]. Elle contient le descriptif du modèle ainsi que les chapitres les plus importants du rapport final complet.

En janvier 2022, l'OFEV a publié un numéro de la série Connaissance de l'environnement (UW-2127-F [7]) consacré à sonROAD18, qui décrit le traitement des données d'entrée pour le calcul des émissions et contient des informations sur le calcul de la propagation.

La présente aide à l'exécution recommande l'utilisation du modèle d'émission sonROAD18 dans le cadre de l'exécution de l'OPB en ce qui concerne le bruit routier. Pour le calcul de la propagation, il est recommandé de recourir à la méthode de calcul de la propagation selon la norme ISO 9613-2 [8].

## 1.2 Bases légales

Les immissions de bruit sont déterminées au moyen de calculs ou de mesures (art. 38, al. 1, OPB). En vertu de l'art. 38, al. 3, OPB [3], les modèles de calcul visant à déterminer les immissions de bruit doivent respecter les exigences de l'annexe 2 OPB. En vertu de l'annexe 2, ch. 1, al. 2, OPB, l'OFEV recommande aux autorités d'exécution des méthodes de calcul appropriées et adaptées à l'état de la technique.

Les recommandations relatives aux modèles actuels StL86+ [9][10] et sonRoad [11], que l'on trouve dans le Manuel du bruit routier [12], sont remplacées par la présente recommandation.

Étant donné que l'évaluation juridiquement pertinente du bruit s'appuie sur la moyenne annuelle de l'exposition au bruit, c'est généralement cette moyenne qui est calculée. SonROAD18 correspond à l'état de la technique. Dans leurs projets de protection contre le bruit routier, les autorités d'exécution peuvent donc accorder la priorité aux calculs plutôt qu'aux mesurages du bruit (faisabilité et proportionnalité).

---

### 1.3 Modèle d'émission sonROAD18

La publication de l'OFEV consacrée à sonROAD18 [7] présente le modèle, ses propriétés et ses spécifications, et le compare à d'autres modèles parfois plus anciens. Les caractéristiques principales de sonROAD18 sont les suivantes :

- sonROAD18 permet de calculer plus précisément les effets des mesures visant à limiter le bruit à la source que les anciens modèles ;
- il se base sur les données du trafic SWISS10 [13] et calcule séparément les émissions sonores pour chaque catégorie de véhicules. Le modèle a en outre été complété par des catégories supplémentaires (« SWISS10+ ») [7], telles que les véhicules hybrides et électriques ou les tramways ;
- sonROAD18 présente une résolution fréquentielle en bandes de tiers d'octave en vue de tenir compte précisément des atténuations sur le chemin de propagation (notamment l'atténuation due à l'air et aux obstacles ainsi que l'effet de sol) ;
- les qualités acoustiques du revêtement sont également intégrées dans le calcul avec une résolution en bandes de tiers d'octave, ce qui permet de prendre en considération de manière adéquate le large éventail de revêtements routiers (de type dense, semi-dense ou poreux) ;
- sonROAD18 permet de calculer les émissions sonores dès 20 km/h y compris les situations d'engorgement du trafic, de baser les calculs sur différentes vitesses pour chaque catégorie de véhicules et de simuler des effets d'accélération dans des cas particuliers ;
- l'ensemble des formules de sonROAD18 se fonde sur le modèle de calcul européen CNOSSOS-EU [14], qui doit être appliqué dans toute l'Union européenne pour la cartographie du bruit. Ainsi, sonROAD18 est largement compatible avec le modèle européen CNOSSOS-EU.

### 1.4 Méthode de calcul de la propagation selon la norme ISO 9613-2

La méthode selon la norme ISO 9613-2 *Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation* [8] est appropriée pour le calcul de la propagation du son de la source de bruit aux points d'immission. Il s'agit là d'une méthode de calcul spectrale, conçue pour différentes hauteurs de sources et de réception et pouvant ainsi être utilisée pour différents genres de bruit. Cette méthode couvre les principaux mécanismes d'atténuation.

---

Un calcul de la propagation conforme à la norme ISO 9613-2 permet notamment de prendre en compte les effets acoustiques suivants :

- divergence/atténuation géométrique,
- absorption atmosphérique,
- effet du sol en fonction du type de sol,
- réflexions des surfaces,
- effet d'écran par des obstacles<sup>1</sup>,
- effets météorologiques.

Les effets acoustiques visés à l'annexe 2, ch. 1, al. 1, OPB, comme l'atténuation due à la distance et à l'air, les effets du sol ainsi que l'atténuation et les réflexions dues aux obstacles, sont ainsi pris en compte. De plus, les effets météorologiques peuvent aussi être intégrés.

Le calcul est effectué en fonction de la fréquence (résolution en bandes d'octave avec des fréquences médianes nominales de 63 Hz à 8 kHz ; à savoir huit bandes de fréquences).

La méthode de calcul ISO est implémentée dans la plupart des logiciels de calcul du bruit disponibles sur le marché et fait l'objet de tests. L'algorithme de calcul est suffisamment détaillé et précis pour les usages requis, et les temps de calcul et les capacités de mémoire nécessaires sont supportés par les ordinateurs traditionnels. Les temps de calcul ainsi que les capacités de mémoire nécessaires restent également raisonnables lorsque le calcul porte sur les cadastres de bruit de villes ou de cantons.

Les émissions spectrales calculées avec sonROAD18 peuvent donc être converties en un niveau d'immission dépendant de la fréquence au moyen du modèle de calcul de la propagation décrit dans la norme ISO 9613-2.

<sup>1</sup> P. ex bâtiments, élévations de terrain/crêtes, parois ou remblais/buttes antibruit, murs de soutènement, ouvrages d'art en général

---

## 2 Recommandations

### 2.1 Recommandations de modèles

**Pour déterminer le bruit routier conformément à l'annexe 3 OPB, l'OFEV recommande d'utiliser, depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2023, le modèle d'émission sonROAD18 [1][2] et, pour tous les domaines d'application en lien avec le bruit routier, le modèle de calcul de la propagation décrit dans la norme ISO 9613-2 [8].**

Concernant les projets pour lesquels les calculs du bruit ont débuté avant le 1<sup>er</sup> juillet 2023 et pour lesquels un recalcul serait disproportionné, il est possible de renoncer à un nouveau calcul avec sonROAD18/ISO9613-2.

### 2.2 Fixation des immissions de bruit

En vertu de l'art. 37a, al. 1, OPB, l'autorité d'exécution consigne les immissions de bruit admissibles dans sa décision concernant la construction, la modification ou l'assainissement d'une installation. Ainsi, l'autorisation doit préciser le niveau maximal d'immission pour chaque point d'immission d'un local à usage sensible au bruit<sup>2</sup>.

Les calculs du bruit routier réalisés dans le cadre de l'exécution selon l'état de la technique, antérieur au modèle sonROAD18, restent valables. Si toutefois un nouveau calcul d'immission est effectué au moyen du modèle sonROAD18, combiné à la norme ISO 9613-2, les résultats serviront de base à la décision de l'autorité compétente. Cette règle vaut notamment pour les décisions relatives au respect des niveaux d'immission fixés sur la base d'un modèle de calcul plus ancien.

En matière de bruit routier, les situations suivantes peuvent mener à une obligation de recalculer les immissions de bruit :

- atteinte (dans le temps) de l'horizon d'assainissement initial,
- assainissement complet de l'installation routière existante<sup>3</sup>,
- extension ou élargissement d'une installation routière,
- déplacement de l'axe routier,
- modification du volume de trafic et/ou de la composition de celui-ci ayant une incidence sur le bruit, ou
- modification de la vitesse autorisée.

L'introduction de sonROAD18 n'entraîne pas à elle seule une obligation rétroactive de calculer le bruit ou à une obligation rétroactive d'assainissement du bruit.

<sup>2</sup> Dans ce contexte, il convient de relever que l'autorisation d'un projet définit non seulement les immissions maximales admises mais également les conditions d'exploitation à l'origine de ces dernières, y compris les éventuelles mesures de construction prévues pour réduire le bruit (parois antibruit, revêtement, etc.).

<sup>3</sup> Cf. Arrêt du Tribunal fédéral 1C\_506/2014 du 26 mars 2013 « Aufhebung der Plangenehmigungsverfügung (Ausführungsprojekt zu Nationalstrassen, N01/36 Anschluss Schlieren – Europabrücke / Umgestaltung und Lärmschutz Grünau) »

---

## 2.3 Vitesses

Le modèle sonROAD18 est utilisable dans la plage de vitesses  $20 \text{ km/h} \leq v \leq 130 \text{ km/h}$  (cf. [1], point 10.3, p. 82 et point 10.8, p. 92).

Avec sonROAD18, la prévision des émissions ne se base pas sur une répartition des vitesses, mais suppose que tous les véhicules d'une catégorie  $c$  circulent à la même vitesse  $v[c]$  saisie dans le modèle.

En présence de différentes vitesses, on admettra plutôt  $v_{50}$  ou  $v_{moyenne}$  comme grandeurs statistiques pour l'indication de la vitesse. **Les analyses montrent que la vitesse moyenne  $v_{moyenne}$  est adaptée, du point de vue acoustique, comme vitesse déterminante pour sonROAD18 (cf. [2], chap. 5, p. 39).** Les grandeurs statistiques  $v_{50}$ ,  $v_{moyenne}$  et  $v_{60}$  n'entraînent que des différences minimales (cf. [2] tab. 5.1, p. 40). La vitesse  $v_{85}$ , qui est notamment pertinente en matière de sécurité routière, ne l'est pas pour les prévisions avec sonROAD18.

**Pour le calcul du niveau d'émission à l'état initial et à l'état futur, c'est généralement la vitesse signalée qui est déterminante.** Concernant la vitesse signalée, il convient de tenir compte du fait que dans sonROAD18, les vitesses maximales en fonction des catégories de véhicules indiquées doivent être prises en compte, conformément à l'art. 4a et 5 de l'ordonnance du 13 novembre 1962 sur les règles de la circulation routière [15] (cf. tab. 6 de la publication de l'OFEV Connaissances de l'environnement sur sonROAD18 [7]). Dans des cas d'exceptions justifiables, il est possible de déroger à cette règle générale et d'indiquer dans le modèle la vitesse pertinente du point de vue acoustique sous la forme de la vitesse moyenne  $v_{moyenne} [c]$ , jour/nuit. Il peut y avoir exception<sup>4</sup> :

- lorsque les **conditions topographiques**<sup>5</sup> du tracé de la route empêchent de conduire à la vitesse signalée (p. ex tronçon de montagne sinueux à 80 km/h, hors localité) ;
- lorsque la **visibilité est limitée** et qu'il n'est pas possible, pour des raisons de sécurité, de conduire à la vitesse signalée, quelles que soient les conditions météorologiques (p. ex rue étroite à 50 km/h en localité ou centre de village étroit) ;
- si une **augmentation des émissions sonores** survient immédiatement **après le changement de la vitesse signalée** (p. ex à l'entrée d'une localité, passage de 80 à 50 km/h ou à la sortie de celle-ci, passage de 50 à 80 km/h)<sup>6</sup>;
- en cas de signalisation variable avec des vitesses différentes.

<sup>4</sup> liste non exhaustive

<sup>5</sup> En pente normale, il ne s'agit pas d'une exception. Le modèle sonROAD18 s'appuie sur la correction de la pente selon CNOSSOS-EU, qui tient déjà compte de la vitesse en principe moins élevée en cas de dénivelé positif ou négatif (cf. [1] point 12.1, p. 100)

<sup>6</sup> dans le but de tenir également compte du comportement (accélérer / freiner)

---

## 2.4 Calcul de la propagation

Le calcul de la propagation conformément à la norme ISO 9613-2 doit être effectué de façon spectrale avec une résolution fréquentielle minimale en bandes d'octave.

**En outre, il convient de prendre en compte les indications relatives aux paramètres de calcul figurant dans la publication sonROAD18-Connaissance de l'environnement, point 3.2, p. 21 [7].**

La méthode de calcul de la propagation du bruit décrite dans la norme ISO 9613-2 prend en compte l'influence des conditions météorologiques (conditions de vent, inversions thermiques). Pour que le calcul de la propagation intègre les conditions météorologiques locales moyennées sur un an, il est nécessaire de disposer de modélisations météorologiques ou de mesures météorologiques (profils de vent et de température). Bien qu'une modélisation soit en principe disponible pour l'ensemble de la Suisse [17], elle n'a pas encore été validée pour les calculs du bruit routier. **Il n'est donc pas nécessaire d'effectuer une correction météorologique locale** (c.-à-d.  $C_{met} = 0$  ;  $C_{met}$  selon la norme ISO 9613-2, équations n° 7)<sup>7</sup>. Si la correction météorologique  $C_{met}$  selon la norme ISO 9613-2 équivaut à zéro, le modèle de propagation ISO 9613-2 admet généralement des conditions météorologiques de propagation favorables.

<sup>7</sup> En revanche, le facteur  $K_{met}$  (équation no 21) doit être pris en considération lors du calcul de l'effet d'obstacle. Les implémentations logicielles courantes ne permettent pas à l'utilisateur de modifier ce facteur.

### 3 Bibliographie

- [1] Heutschi K., Locher B., *sonROAD18 – Berechnungsmodell für Strassenlärm*, Empa, 9.7.2018
- [2] Heutschi K., *sonROAD18 – Berechnungsmodell für Strassenlärm – Weiterentwicklungen und Ergänzungen*, Empa, version 2.0, 7.2.2023
- [3] *Ordonnance du 15 décembre 1986 sur la protection contre le bruit (OPB)*, RS 814.41
- [4] Heutschi K., Locher B., *sonROAD18 – Berechnungsmodell für Strassenlärm – Kurzfassung*, Empa, 9.7.2018
- [5] Heutschi K., Locher B., *sonROAD18 – Modèle de calcul du bruit routier – Version abrégée*, Empa, 9 juillet 2018
- [6] Heutschi K., Locher B., *sonROAD18 – Modello di calcolo per il rumore stradale – versione ridotta*, Empa, 9.7.2018
- [7] OFEV (éd.), *Modèle de calcul du bruit routier sonROAD18. Traitement des données d'entrée et calcul de la propagation*, Office fédéral de l'environnement, Berne. *Connaissances de l'environnement n° 2127*
- [8] Norme internationale ISO 9613-2, *Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation*, 2024-01 (second edition)
- [9] *Modèle de calcul de bruit du trafic routier pour ordinateur, 1<sup>re</sup> partie : Manuel d'utilisation du logiciel StL-86*, Cahier de l'environnement n° 60, Office fédéral de la protection de l'environnement, 1987
- [10] *Bruit du trafic routier : Correction applicable au modèle de calcul du trafic routier*, Informations concernant l'ordonnance sur la protection contre le bruit (OPB), n° 6, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, 1995
- [11] Heutschi K., *SonRoad – Modèle de calcul du trafic routier*, Cahier de l'environnement n° 366, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, 2004
- [12] *Manuel du bruit routier, Aide à l'exécution pour l'assainissement*, Schgvanin G., Ziegler T., L'environnement pratique n° 0637, OFROU et OFEV
- [13] Directive ASTRA 13012 *Postes de comptage du trafic*, OFROU, édition 2009, version 1.06
- [14] Commission Directive (EU) 2015/996 of 19 May 2015 establishing common noise assessment methods according to Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council
- [15] Ordonnance du 13 novembre 1962 sur les règles de la circulation routière (OCR), RS 741.11
- [16] Köppli M., *Vergleich Reflexionsordnung ISO 9613-2, Analysen zum Einfluss auf die Genauigkeit und die Rechenzeit*, n-Sphere AG, 5.11.2021, Version 1.1
- [17] Wunderli J. M., Schalcher S., *Aktualisierte flächendeckende Grundlagen für die Schallausbreitungsmodellierung in den Bereichen Meteorologie und Bodeneigenschaften*, Empa-Bericht Nr. 5214.024934-3, 9.2.2023