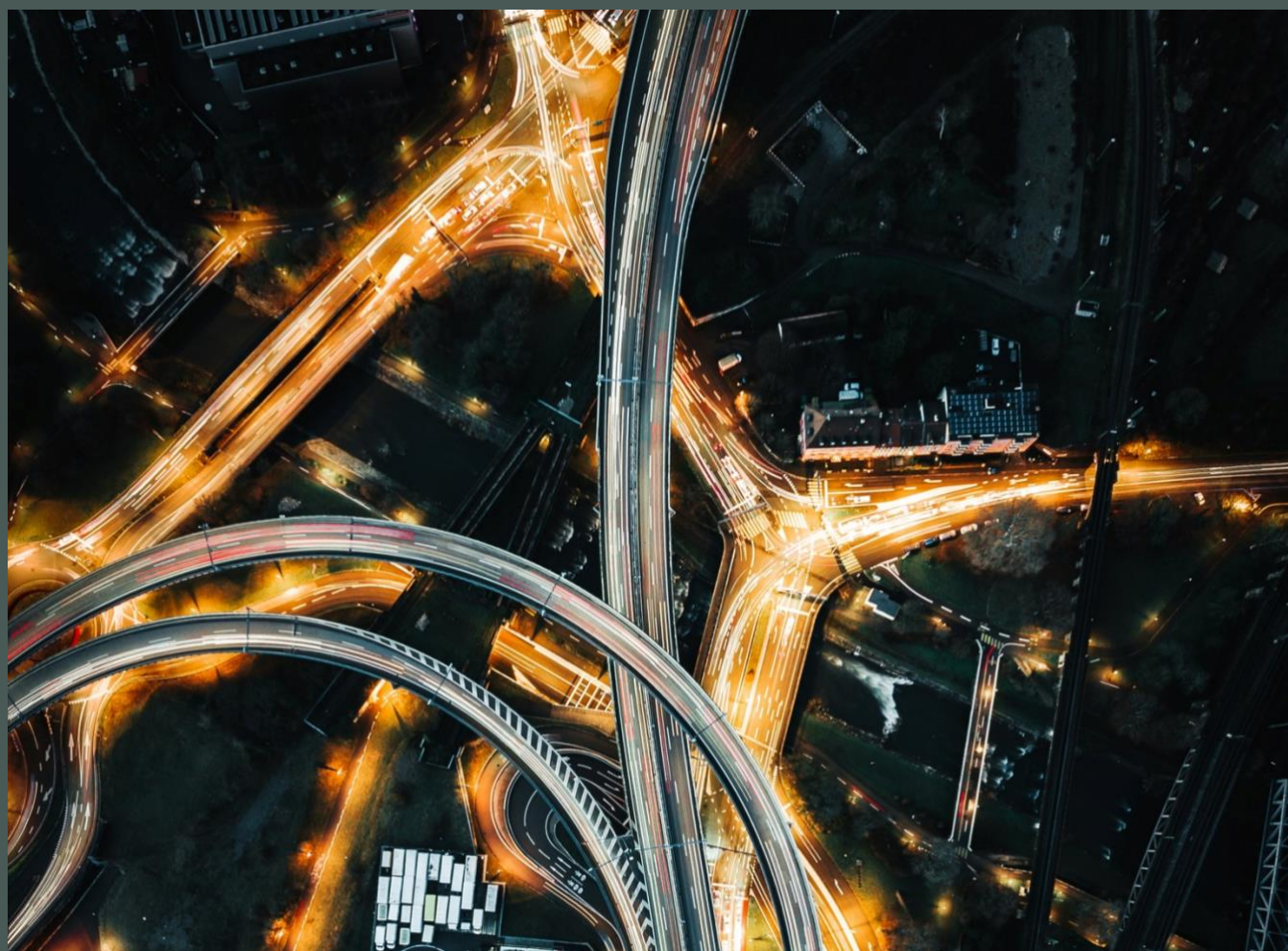


Vollzugshilfe sonROAD18 – Modellempfehlungen

Strassenlärm-Berechnungsmodell



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Vollzugshilfe sonROAD18 – Modellempfehlungen

Strassenlärm-Berechnungsmodell

Impressum

Rechtliche Bedeutung

Diese Publikation ist eine Vollzugshilfe des BAFU als Aufsichtsbehörde und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert die bundesumweltrechtlichen Vorgaben (bzgl. unbestimmten Rechtsbegriffen und Umfang/Ausübung des Ermessens) und soll eine einheitliche Vollzugspraxis fördern. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfe, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen; andere Lösungen sind aber auch zulässig, sofern sie rechtskonform sind.

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Autor

Michael Gerber

Begleitung BAFU

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

Layout

Funke Lettershop AG

Titelbild

Nächtliche Luftaufnahme von Autobahnstrassen in Basel.
© *Moritz Enderle / EyeEm*, gettyimages

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/uv-2314-d

Eine gedruckte Fassung kann nicht bestellt werden.

Diese Publikation ist auch in französischer und italienischer Sprache verfügbar. Die Originalsprache ist Deutsch.

© BAFU 2023

Die **Aufbereitung der Eingabedaten und Ausbreitungsrechnung** entnehmen Sie der Publikation **Strassenlärm-Berechnungsmodell sonROAD18**

www.bafu.admin.ch/uw-2127-d

Aktuelles zum Thema Lärm

www.bafu.admin.ch > *Thema Lärm*

Inhaltsverzeichnis

Abstracts	5
------------------	----------

Vorwort	6
----------------	----------

1 Grundlagen	7
---------------------	----------

1.1 Einleitung	7
----------------	---

1.2 Rechtliche Grundlage	7
--------------------------	---

1.3 Emissionsmodell sonROAD18	8
-------------------------------	---

1.4 Ausbreitungsmodell nach Norm ISO 9613-2	8
---	---

2 Empfehlungen	10
-----------------------	-----------

2.1 Modellempfehlungen	10
------------------------	----

2.2 Verfügte Immissionspegel	10
------------------------------	----

2.3 Geschwindigkeiten	11
-----------------------	----

2.4 Ausbreitungsrechnung	12
--------------------------	----

3 Literatur	13
--------------------	-----------

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.

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.

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.

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 prediction, model recommendation, emissions model, SWISS10

Stichwörter:

Strassenlärm Berechnung, Lärmprognose, Modellempfehlung, Emissionsmodell, SWISS10

Mots-clés:

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

Parole chiave:

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

Vorwort

Strassenlärm ist mit Abstand die bedeutendste Lärmquelle in der Schweiz. Die Strasseneigentümer sind gesetzlich verpflichtet, die Lärmbelastungen so weit wie möglich zu senken. Um die bestehende Lärmbelastung zu bestimmen und mit den massgebenden Grenzwerten zu vergleichen, kommen entweder Lärmmessungen oder Lärmberechnungen zum Einsatz. Lärmberechnungen haben gegenüber Messungen den Vorteil, dass sie einfacher, flächendeckend und schneller durchführbar sind.

Für die Berechnung des Lärms muss ein möglichst präzises und vollzugstaugliches Berechnungsmodell für Strassenlärm zur Verfügung stehen. Das Modell soll in der Lage sein, die verschiedenen Fahrzeugkategorien korrekt zu erfassen und soll es ermöglichen, die Wirkung von Lärmbegrenzungsmaßnahmen präzise zu bestimmen. Die bisherigen Berechnungsmodelle vermögen diese Massnahmen wie beispielsweise Geschwindigkeitsreduktionen, lärmarme Strassenbeläge oder elektrisch angetriebene Fahrzeuge nur ungenügend oder gar nicht zu berücksichtigen.

Das BAFU beauftragte deshalb die Empa mit der Entwicklung eines neuen Emissionsmodells, das dem Stand der Technik und des Wissens entspricht und das auch für zukünftige Entwicklungen des Fahrzeugparks gerüstet ist. Das neue Emissionsmodell sonROAD18 ermöglicht eine realistische und zeitgemässe Berechnung der Strassenlärm-Emissionen. Die Wirkung von Lärmschutzmassnahmen, insbesondere solche an der Quelle, können mit hoher Genauigkeit prognostiziert werden. Dies dient der Festlegung der Massnahmen, die in konkreten Situationen am besten geeignet sind, um die von Lärm betroffenen Personen zu schützen.

Die vorliegende Vollzugshilfe empfiehlt, wie künftig Strassenlärm berechnet werden soll. Damit sorgt sie für eine einheitliche und rechtssichere Strassenlärm-berechnung.

Urs Walker, Abteilung Lärm und NIS
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

1 Grundlagen

1.1 Einleitung

Im Februar 2021 publizierte das Bundesamt für Umwelt (BAFU) das Modell sonROAD18, welches die Empa im Auftrag des BAFU für die Berechnung der Lärmemissionen des Strassenverkehrs entwickelt hatte [1][2]. SonROAD18 gilt als aktueller Stand des Wissens und der Technik bezüglich Modellierung von Strassenlärm und erlaubt die Berechnung der Schallemissionen des Strassenverkehrslärms gemäss Anhang 3 der Lärmschutz-Verordnung vom 6. Dezember 1986 (LSV) [3].

Das Berechnungsmodell ist 2018 ausführlich im entsprechenden Bericht [1] beschrieben worden. Dort findet sich insbesondere auch eine Dokumentation der Messkampagnen, der Auswerteverfahren, der Modell-Kalibrierung sowie der Modell-Validierung. Der vollständige Modellbeschreibung ist ausschliesslich in Deutsch erhältlich. Zusätzlich ist eine Kurzfassung in Deutsch [4], Französisch [5] und Italienisch [6] verfügbar. Diese enthält den Modellbeschreibung sowie die wichtigsten Kapitel des ausführlichen Schlussberichts.

Im Januar 2022 veröffentlichte das BAFU eine Publikation aus der Reihe Umwelt-Wissen zu sonROAD18, welche die Aufbereitung der Eingabedaten für die Emissionsberechnung beschreibt und Angaben zur Ausbreitungsrechnung enthält (UW-2127-D, [7]).

Für den Vollzug der Lärmschutz-Verordnung bezüglich Strassenlärm wird in dieser Vollzugshilfe empfohlen, das Emissionsmodell sonROAD18 anzuwenden. Für die Ausbreitungsrechnung wird die Verwendung des Ausbreitungsmodells nach Norm ISO 9613-2 empfohlen [8].

1.2 Rechtliche Grundlage

Lärmimmissionen werden anhand von Berechnungen oder Messungen ermittelt (Art. 38 Abs. 1 LSV). Nach Artikel 38 Absatz 3 LSV [3] richten sich die Anforderungen an Berechnungsverfahren zur Ermittlung von Lärmimmissionen nach Anhang 2 LSV. Gemäss Anhang 2 Ziffer 1 Absatz 2 LSV empfiehlt das BAFU den Vollzugsbehörden entsprechend dem Stand der Technik geeignete Berechnungsverfahren.

Modellempehlungen für die bisherigen Modelle StL86+ [9][10] und sonRoad [11], wie sie dem Leitfaden Strassenlärm [12] zu entnehmen sind, werden durch die vorliegende Modellempehlung ersetzt.

Weil für die rechtlich relevante Lärmbeurteilung eine jahresdurchschnittliche Lärmbelastung massgebend ist, wird diese in der Regel berechnet. SonROAD18 entspricht dem Stand der Technik und die Vollzugsbehörden dürfen deshalb in ihren Strassenlärmprojekten Lärmrechnungen gegenüber Lärmmessungen priorisieren (Praktikabilität und Verhältnismässigkeit).

1.3 Emissionsmodell sonROAD18

In der Umwelt-Wissen Publikation des BAFU zu sonROAD18 [7] wird das Modell mit seinen Eigenschaften und Spezifikationen vorgestellt und auch mit anderen, teils älteren Modellen verglichen. SonROAD18 zeichnet sich durch folgende Hauptmerkmale aus:

- Die Wirkungen von Massnahmen an der Quelle sind im Vergleich mit älteren Modellen präziser berechenbar.
- sonROAD18 basiert auf SWISS10-Verkehrsdaten [13] und berechnet für jede SWISS10-Fahrzeugklasse separat die Lärmemissionen. SonROAD18 wurde zudem um weitere Fahrzeugklassen erweitert («SWISS10+») [7]. Diese zusätzlichen Fahrzeugklassen umfassen beispielsweise Hybrid- und Elektrofahrzeuge oder Strassenbahnen (Trams).
- sonROAD18 weist unter anderem zur präzisen Berücksichtigung von Ausbreitungsdämpfungen (u. a. Luft- und Hindernisdämpfung, Bodeneffekt) eine feine Frequenzauflösung in Terzbändern auf.
- Die akustische Belagsgüte kann ebenfalls mit Terzband-Auflösung in die Berechnung eingehen. Damit kann das breite Spektrum an unterschiedlichen Strassenbelägen (offenporig, semi-dicht und dicht) adäquat berücksichtigt werden.
- sonROAD18 erlaubt Emissionsberechnungen bereits ab einer Geschwindigkeit von 20 km/h, die Berechnung von Stausituationen, die Berechnungen auf Basis von verschiedenen Geschwindigkeiten pro Fahrzeugklasse sowie die Simulation von Beschleunigungsvorgängen im Einzelfall.
- Der Formelsatz von sonROAD18 basiert auf dem europäischen Berechnungsmodell CNOSSOS-EU [14], welches in der ganzen Europäischen Union für die Lärmkartierung eingesetzt werden soll. Somit ist sonROAD18 weitgehend kompatibel mit dem europäischen Modell CNOSSOS-EU.

1.4 Ausbreitungsmodell nach Norm ISO 9613-2

Für die Berechnung der Schallausbreitung von der Lärmquelle zu den Immissionspunkten eignet sich das Verfahren gemäss der internationalen Norm ISO 9613-2 *Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation* [8]. Es handelt sich um ein spektrales Berechnungsverfahren, welches auf verschiedene Quellen- und Empfangspunkthöhen ausgelegt ist und damit für verschiedene Lärmarten zum Einsatz kommen kann. Das Verfahren deckt die wichtigsten Dämpfungsmechanismen ab.

Mit einer Ausbreitungsberechnung nach Norm ISO 9613-2 werden unter anderem die folgenden akustischen Effekte berücksichtigt:

- Geometrische Divergenz/Dämpfung
- Atmosphärische Absorption
- Bodentypabhängiger Bodeneffekt
- Reflexionen an Oberflächen
- Abschirmung durch Hindernisse¹
- Meteo-Effekt

Die nach Anhang 2 Ziffer 1 Absatz 1 LSV geforderten akustischen Effekte wie Abstands- und Luftdämpfung, Bodeneffekte, Hindernisdämpfung und Reflexionen sind somit abgedeckt. Zusätzlich können Meteo-Effekte berücksichtigt werden.

Die Berechnung erfolgt frequenzabhängig (Oktavband-Auflösung mit nominalen Mittelbandfrequenzen von 63 Hz bis 8 kHz; d. h. 8 Frequenzbänder).

Das ISO-Berechnungsverfahren ist in den meisten kommerziell erhältlichen Softwarepaketen zur Lärmberechnung implementiert und getestet. Der Berechnungsalgorithmus ist für die erforderlichen Verwendungszwecke detailliert und präzise genug und die dafür benötigte Rechenzeit und der dafür benötigte Speicherbedarf ist mit gewöhnlichen Rechnern tragbar. Auch bei der Berechnung von städtischen oder kantonalen Lärmbelastungskatastern hält sich die Rechenzeit und der Speicherbedarf in einem zumutbaren Rahmen.

Die mit sonROAD18 ermittelten spektralen Emissionen können somit mit Hilfe des Ausbreitungsmodells gemäss Norm ISO 9613-2 in einen frequenzabhängigen Immissionspegel umgerechnet werden.

¹ Wie beispielsweise Gebäude, Gelände-Erhörungen/-Kanten, Lärmschutzwände und -dämme, Stützmauern, Kunstbauten im Allgemeinen

2 Empfehlungen

2.1 Modellempehlungen

Das BAFU empfiehlt für die Berechnung von Strassenlärm gemäss Anhang 3 LSV ab dem 1. Juli 2023 das Emissionsmodell sonROAD18 [1][2] und das Ausbreitungsmodell nach Norm ISO 9613-2 [8] für sämtliche Anwendungszwecke im Zusammenhang mit Strassenlärm.

Bei der Berechnung der Immissionen gemäss Norm ISO 9613-2 sind dabei die Empfehlungen des Technical Reports ISO/TR 17534-3, erste Ausgabe vom 15. Januar 2015 [15], zu berücksichtigen. Die Norm ISO 9613-2 lässt einen gewissen Interpretationsspielraum offen. Dieser kann mit Hilfe des Technical Reports geschlossen werden. Im Weiteren enthält der Technical Report einige Präzisierungen, welche die Prognoseunsicherheit mit einfach umzusetzenden Festlegungen reduziert.

Bei Projekten, für die eine Lärmberechnung vor dem 1. Juli 2023 begonnen wurde und für welche eine Neuberechnung unverhältnismässig wäre, kann auf eine neue Berechnung mit sonROAD18 verzichtet werden.

2.2 Verfügte Immissionspegel

Nach Artikel 37a Absatz 1 LSV hält die Vollzugsbehörde in ihrem Entscheid über die Erstellung, Änderung oder Sanierung einer Anlage die zulässigen Lärmimmissionen fest. Für jeden Immissionspunkt eines lärmempfindlichen Raumes wird also der maximal zulässige Immissionspegel in der Bewilligung festgelegt².

Die nach dem bisherigen Stand der Technik im Vollzug durchgeführten Berechnungen von Strassenlärm behalten ihre Gültigkeit. Werden die Immissionen nun neu mit sonROAD18 in Kombination mit ISO 9613-2 berechnet, so sind diese Ergebnisse massgebend für die Entscheide der zuständigen Behörden. Dies gilt insbesondere auch in Bezug auf Entscheide über die Einhaltung von verfügten Immissionspegeln, die gestützt auf ein älteres Berechnungsmodell ermittelt wurden.

² Dabei ist zu berücksichtigen, dass mit der Projektgenehmigung nicht ausschliesslich die max. zulässigen Immissionen festgelegt worden sind, sondern auch der diesen zugrundeliegende Betrieb inkl. allenfalls vorhandene bauliche Massnahmen zur Lärmreduktion (Lärmschutzwände, Belag, etc.).

In Bezug auf Strassenlärm können beispielsweise die folgenden Situationen zu einer Verpflichtung führen, die Lärmimmissionen neu zu ermitteln:

- Das (zeitliche) Erreichen des ursprünglichen Sanierungshorizontes,
- eine umfassende Sanierung der bestehenden Strassenanlage³,
- ein Ausbau resp. eine Erweiterung einer Strassenanlage,
- eine Verschiebung der Strassenachse,
- eine lärmrelevante Änderung der Verkehrsmenge und/oder -zusammensetzung oder
- eine Änderung der Geschwindigkeit.

Die Einführung von sonROAD18 alleine führt nicht zu einer rückwirkenden Lärmermittlungspflicht oder einer rückwirkenden Lärmsanierungspflicht.

2.3 Geschwindigkeiten

Das Modell sonROAD18 ist in einem Geschwindigkeitsbereich von $20 \text{ km/h} \leq v \leq 130 \text{ km/h}$ einsetzbar (vgl. [1], Abs. 10.3, S. 82 sowie Abs. 10.8, S. 92).

Mit sonROAD18 wird der Emissionsprognose keine Geschwindigkeitsverteilung zugrunde gelegt, sondern es wird angenommen, dass alle Fahrzeuge einer Fahrzeugkategorie c mit derselben, ins Modell eingegebenen Geschwindigkeit $v[c]$ fahren.

Falls gemessene Geschwindigkeitsverteilungen vorliegen, kommen als statistische Kenngrössen für die Geschwindigkeitseingabe am ehesten v_{50} oder v_{mittel} in Frage. Wie **Analysen zeigen, eignet sich die mittlere Geschwindigkeit v_{mittel} als akustisch relevante Geschwindigkeit für sonROAD18 (vgl. [2], Kap. 5, S. 38)**. Zwischen den statistischen Kenngrössen v_{50} , v_{mittel} und v_{60} ergeben sich nur geringfügige Unterschiede (vgl. [2] Tab. 5.1, S. 39). Die unter anderem für die Verkehrssicherheit relevante Geschwindigkeit v_{85} hat für eine Emissionsprognose mit sonROAD18 keine Bedeutung.

³ Vgl. BGE 1C_506/2014, Aufhebung der Plangenehmigungsverfügung vom 26. März 2013 (Ausführungsprojekt zu Nationalstrassen, N01/36 Anschluss Schlieren – Europabrücke / Umgestaltung und Lärmschutz Grünau)

Für die Berechnung des Emissionspegels für den Ausgangszustand und den prognostizierten Zustand wird in der Regel auf die signalisierte Geschwindigkeit abgestellt. Dabei sind die von der Fahrzeugkategorie abhängenden Höchstgeschwindigkeiten gemäss Art. 4a und 5 der Verkehrsregelverordnung vom 13. November 1962 [16] zu berücksichtigen (vgl. Tabelle 6 der Umwelt-Wissen Publikation des BAFU zu sonROAD18 [7]). In zu begründenden Ausnahmefällen kann die akustisch relevante Geschwindigkeit in Form der mittleren Geschwindigkeit v_{mittel} [c], Tag/Nacht, in das Modell eingegeben werden. Eine Ausnahme kann vorliegen⁴:

- wenn **topographische Gegebenheiten**⁵ der Strassenführung die Fahrerin oder den Fahrer daran hindern, mit der signalisierten Geschwindigkeit zu fahren (z. B. kurvige (Berg-)Strecke mit Tempo 80 ausserorts);
- wenn die **Sicht eingeschränkt** ist und aus Sicherheitsgründen die signalisierte Geschwindigkeit unabhängig von der Witterung nicht gefahren werden kann (z. B. enge Strasse Tempo 50 innerorts oder in einem engen Dorfkern);
- falls unmittelbar **beim Wechsel der signalisierten Geschwindigkeit** (z. B. Ortseinfahrt/-ausfahrt von Tempo 80 auf Tempo 50 resp. Tempo 50 auf Tempo 80) **erhöhte Lärmemissionen** auftreten⁶;
- falls eine Wechselsignalisation mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten fest installiert ist.

2.4 Ausbreitungsrechnung

Die Ausbreitungsrechnung mittels ISO 9613-2 soll spektral und mit mindestens einer Frequenzauflösung in Oktavbändern erfolgen.

Im Weiteren sind die im sonROAD18-Umwelt-Wissen, Abs. 3.2, S. 20 [7], aufgeführten Hinweise für die Berechnungseinstellungen zu beachten.

Das Berechnungsverfahren für die Lärmausbreitung gemäss Norm ISO 9613-2 berücksichtigt prinzipiell Meteo-Effekte (Wind-Situation, Temperatur-Inversionen). Für eine Ausbreitungsrechnung, welche die lokalen, jahresdurchschnittlichen Wetterbedingungen einschliesst, sind Meteo-Modellrechnungen oder Meteo-Messungen (Wind- und Temperatur-Profile) notwendig. Eine Modellrechnung steht zwar prinzipiell schweizweit zur Verfügung [18], ist zurzeit jedoch für Strassenlärm-Berechnungen noch nicht validiert. **Es ist daher nicht erforderlich, eine ortsspezifische Meteo-Korrektur vorzunehmen** (d. h. $C_{met} = 0$; C_{met} gemäss Norm ISO 9613-2, Gleichungen Nr. 6)⁷. Wird die Meteo-Korrektur C_{met} nach Norm ISO 9613-2 auf dem Wert Null belassen, so rechnet das Ausbreitungsmodell ISO 9613-2 generell mit förderlichen Meteo-Ausbreitungsbedingungen.

⁴ Keine abschliessende Aufzählung

⁵ Bei einer gewöhnlichen Steigung handelt es sich nicht um eine Ausnahme. sonROAD18 basiert auf der Steigungskorrektur von CNOSSOS-EU. Diese berücksichtigt bereits die in der Regel langsamere Geschwindigkeit bei einer Fahrt bergauf bzw. bergab (vgl. [1] Abs. 12.1, S. 100)

⁶ Im Sinne der Berücksichtigung des Fahrverhaltens (beschleunigen/abbremsen) als Zuschlag.

⁷ Bei der Berechnung der Hinderniswirkung hingegen soll der Faktor K_{met} (Gleichung Nr. 18) berücksichtigt werden. In den gängigen Software-Implementationen kann der Benutzer diesen Faktor nicht ändern.

3 Literatur

- [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] *Lärmschutz-Verordnung LSV*, SR 814.41 vom 15.12.1986, Stand am 1.7.2021
- [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, 9.7.2018
- [6] Heutschi K., Locher B., *sonROAD18 – Modello di calcolo per il rumore stradale – versione ridotta*, Empa, 9.7.2018
- [7] BAFU (Hrsg.), *Strassenlärm-Berechnungsmodell sonROAD18. Aufbereitung der Eingabedaten und Ausbreitungsrechnung*, Bundesamt für Umwelt, Bern, Umwelt-Wissen Nr. 2127, 2021
- [8] International Standard ISO 9613-2, *Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation*, 15.12.1996 (First Edition)
- [9] *Computermodell zur Berechnung von Strassenlärm, Teil 1, Bedienungsanleitung zum Computerprogramm StL-86*, Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 60, Bundesamt für Umweltschutz, 1987
- [10] *Strassenlärm: Korrekturen zum Strassenlärm-Berechnungsmodell, Mitteilungen zur Lärmschutz-Verordnung (LSV) Nr. 6*, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 1995
- [11] Heutschi K., *SonRoad – Berechnungsmodell für Strassenlärm*, Schriftenreihe Umwelt Nr. 366, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 2004
- [12] *Leitfaden Strassenlärm, Vollzugshilfe für die Sanierung*, Schgüanin G., Ziegler T., Umwelt-Vollzug Nr. 0637, ASTRA und BAFU, Dezember 2006
- [13] ASTRA-Richtlinie 13012 *Verkehrszähler*, ASTRA, Ausgabe 2009, Version 1.05
- [14] JRC Reference Report, *Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU)*, 2012
- [15] *Technical Report ISO/TR 17534-3, Acoustics – Software for the calculation of sound outdoors – Part 3: Recommendations for quality assured implementation of ISO 9613-2 in software according to ISO 17534-1*, 15.1.2015 (First edition)
- [16] Verkehrsregeln-Verordnung VRV, SR 741.11 vom 13.11.1962, Stand am 1.4.2022
- [17] Vergleich Reflexionsordnung ISO 9613-2, Analysen zum Einfluss auf die Genauigkeit und die Rechenzeit, n-Sphere AG, 5.11.2021, Version 1.1
- [18] 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