



Robert Attinger, April 2023

Eisenbahnlärm

Berechnungsmodelle Emissionen

Aktenzeichen: BAV-522.31-3/4
Geschäftsfall:

Inhalt

1	Einleitung	2
2	SEMIBEL	2
3	sonRAIL.....	3
4	sonRAIL, Fitting durch SEMIBEL, SEMIBEL(sonRAIL).....	3
	Literatur	5



1 Einleitung

Die nachstehende Beschreibung der in der Schweiz verwendeten Berechnungsmodelle soll die detaillierten Modelldokumentationen nicht ersetzen. Sie soll es dem Anwender dagegen erlauben, sich einen Überblick über die eingesetzten Modelle und deren Anwendung zu verschaffen.

Die heute verfügbaren Lärmwerte der Eisenbahn wurden überwiegend mit den Modellen SEMIBEL [1] und sonRAIL [2] ermittelt. Beide Modelle weisen einen Emissions- und einen Ausbreitungsteil auf. Das Modell SEMIBEL wurde 1990 publiziert. Die Lärmsanierung der Eisenbahnen bis 2015 beruht weitgehend auf diesen Modellwerten.

Nach umfangreichen Entwicklungsarbeiten wurde 2010 das Modell sonRAIL publiziert. Es berücksichtigt die akustischen Eigenschaften des neueren Rollmaterials und erlaubt insbesondere eine wesentlich bessere Berücksichtigung der akustischen Eigenschaften des Oberbaus sowie der Faktoren der Lärmausbreitung. Das von der EMPA entwickelte Webtool erlaubt eine einfache Anwendung. Insbesondere können auch Emissionswerte ausgegeben werden. Dadurch wird es möglich, in einem zweiten Schritt die Ausbreitungsrechnung mit dem wesentlich weniger rechenintensiven SEMIBEL durchführen zu können.

Im Hinblick auf eine vereinfachte Anwendung wurde als Übergangslösung und für die Berechnung von naturgemäss weniger präzisen Emissionsprognosen durch die SBB eine Annäherung der Emissionswerte von sonRAIL mit dem Algorithmus von SEMIBEL entwickelt. Unter Annahme einer mittleren Schienenrauheit können auf diese Weise die Emissionswerte von sonRAIL näherungsweise gut berechnet werden. Dieser Ansatz wurde einerseits für die Berechnung der tatsächlichen Emissionen 2015 und für die Emissionsprognosen im Rahmen von Ausbauprojekten verwendet. Der Emissionskaster 2021 wurde mit dem Modell sonRAIL berechnet.

2 SEMIBEL

Die Emissionswerte des Emissionsplans 2015 wurden mit den Parametern gemäss Tabelle 1 berechnet. Im Rahmen von zahlreichen Aus- und Neubauprojekten wurden ebenfalls diese Modellparameter verwendet. Der überwiegende Teil der festgelegten Emissionen beruht damit auf diesen Grundlagen.

$$L_{r,e} = \sum (\sum (A + B \times \log(V) + 10 \times \log(L)) + 10 \times \log(M) + F + K1$$

A,B: rollmaterialspezifische Parameter

V: eff. Zuggeschwindigkeit in km/h

L: Länge des Fahrzeugs

M: durchschnittliche Anzahl Züge pro Stunde und Periode (tags bzw. nachts)

F: Fahrbahnkorrektur

K1: Pegelkorrektur

Die Parameter A und B sind Kennwerte der einzelnen Fahrzeugtypen. Für lärmsanierte Schienenfahrzeuge ist – aufgrund von Vergleichsmessungen – der Parameter A angepasst worden.

Wagenart	Bezeichnung	A	B	Beispiele	Bem.
L-G	Lok mit Graugusssohlen	3	25	Re 420 (Re 4/4)	*
P-G	Reisewagen mit Graugusssohlen	4	25	EW I / II, nicht lärmsaniert	*
P-D	Reisewagen mit Scheibenbremsen	-28	35	EW IV	*
P-K	Reisewagen Kunststoffklotzbremsen	0	25	kaum mehr verwendet	*

G-G	Güterwagen mit Graugusssohlen	22	15	Ab 2011 fast ausschliesslich ausländisch	*
P-KE	Reisewagen lärmsaniert (K-Sohlen)	-5	25	EW I / II, lärmsaniert (praktisch alle)	
P-DM	Reisewagen mit Scheibenbremsen, neue Bauart	-30	35	ICN, IC2000	
G-KE	Güterwagen neu oder lärmsaniert (K-Sohlen)	15	15	neue und lärmsanierte Güterwagen	
G-DM	Güterwagen mit Scheibenbremsen, moderne Bauart	12	15	nur wenige Typen	
L-S	Lok mit Sintermetallbremsen	-2	25	Re 420, Re 450	
L-SM	Lok mit Sintermetallbremsen, moderne Bauart	-28	35	Re 460	

Tabelle 1: Parameter von SEMIBEL (* Originalwerte SEMIBEL, S. 53)

Die berechneten Werte gelten für ein Gleis mittlerer Rauheit.

Mit F (Fahrbahnkorrektur) werden ortsspezifische bautechnische Gegebenheiten berücksichtigt. Von grosser Bedeutung ist insbesondere der Zuschlag von 3 dB für den Schienentyp VI (UIC 60). Zusätzlich gibt es unterschiedliche Zuschläge für Brücken.

K1 ist die Pegelkorrektur in Abhängigkeit der Anzahl Züge pro Tag- bzw. Nachtperiode gemäss LSV (Anhang 4 LSV). Im Einflussbereich mehrerer Bahnlinien ist dieser Wert entsprechend anzupassen.

Das Modell kann einfach in einer Tabellenkalkulation umgesetzt werden.

3 sonRAIL

Das Modell sonRAIL [2] ermittelt die Emissionen in Schallleistungsspektren zwischen 100 und 8000 Hz für fünf Quellhöhen. Weitere Informationen können der [Projektdokumentation](#) entnommen werden. Die Umsetzung des Modells ist nicht ganz einfach. Im Auftrag des BAFU hat die EMPA deshalb das [son-RAIL-Webtool](#) entwickelt.

Es liefert als Output ebenfalls einen Emissionswert der den Vorgaben des Modells SEMIBEL entspricht. Eine Ausbreitungsrechnung kann auf diese Weise auch mit dem einfacheren Modell SEMIBEL erfolgen.

Im Rahmen der Implementation des sonRAIL-Modells in die Berechnungsumgebung für den Emissionskataster 2021 durch die SBB wurden einzelne Korrekturen und Verbesserungen von sonRAIL vorgenommen. Das für den Emissionskataster 2021 angewendete Modell entspricht deshalb der aktualisierten Modelldokumentation durch die Empa [5].

4 sonRAIL, Fitting durch SEMIBEL, SEMIBEL(sonRAIL)

Durch ein statistisches Fitting der Parameter A und B kann mit dem Algorithmus von SEMIBEL der Emissionswert $L_{eq,e}$ von sonRAIL näherungsweise zuverlässig ermittelt werden [3]. Es fehlen die zusätzlichen Informationen in den 5 Quellhöhen und die Frequenzspektren. Eine Berücksichtigung der akustischen Eigenschaften des Oberbaus (z.B. Schienenrauheit) ist ebenfalls nur eingeschränkt möglich. Für eine anschliessende Immissionsberechnung mit dem Ausbreitungsmodell von SEMIBEL sind diese Emissionswerte aber ausreichend.

Die tatsächlichen Emissionswerte des Lärmbelastungskatasters 2015 und die prognostizierten Emissionen in Ausbauprojekten wurden mit diesen angepassten Parametern gemäss folgender Tabelle 2 berechnet.

Aufgrund der Modellpflege von sonRAIL 2022 wurden die SEMIBEL-Parameter im Jahr 2022 auf das überarbeitete sonRAIL-Modell hin neu gefittet [4]. Mit diesen aktualisierten Parametern in Tabelle 2 wurde ebenfalls (zusätzlicher zur sonRAIL-Berechnung) ein Emissionskataster 2021 berechnet, welcher aber nicht publiziert ist. Auch werden diese Parameter für die Emissionsprognoserechnungen von Ausbauprojekten ab 2023 angewendet.

Wagenart	Bezeichnung	A	B	A	B	A	B
	<i>Herkunft der Parameter</i>	<i>ursprünglich</i>		<i>Fitting 2013</i>		<i>Fitting 2022</i>	
	<i>Verwendungszweck</i>	<i>EPlan 2015</i>		<i>EK 2015</i>		<i>E-Prognosen</i>	
P-D	Reisewagen mit Scheibenbremsen	-28	35	6.8	16.8	5.1	17.9
G-G	Güterwagen mit Graugusssohlen	22	15	11.0	22.7	12.7	20.9
P-KE	Reisewagen lärmsaniert (K-Sohlen)	-5	25	6.4	19.1	-	-
P-DM	Reisewagen mit Scheibenbremsen, neue Bauart	-30	35	3.6	19.2	3.1	19.5
G-KE	Güterwagen neu oder lärmsaniert (KSohlen)	15	15	8.8	19.3	8.7	18.4
G-DM	Güterwagen mit Scheibenbremsen, moderne Bauart	12	15	12.2	16.5	10.0	15.1
L-S	Lok mit Sintermetallbremsen	-2	25	30.4	11.2	23.7	14.1
L-SM	Lok mit Sintermetallbremsen, moderne Bauart	-28	35	6.4	20.3	5.8	20.3

Tabelle 2: Parameter des Modells sonRAIL, Fitting für SEMIBEL

Es ist zu beachten, dass diese Parameter den Emissionswert auf dem Standardoberbau mit Betonschwellen und Schienentyp VI (60E2) ergeben. Für den Oberbau mit Holzschwellen und Schienentyp IV (54E1) erfolgt eine Korrektur von -1.2 dB(A).

Zusätzlich wurden im Rahmen der Erstellung des Emissionskatasters 2021 auch die pauschalen Fahrbahnzuschläge weiterer Oberbautypen äquivalent zu sonRAIL ermittelt (Tabelle 3).

Oberbau	B91-60E2* (Ref)	B70-54E2	B91-54E2 Zw w	B91-UIC60 Zw w	BiBlock-54E2	Stahl-54E2	Holz-K-54E2	Holz-Ke-54/60E2	LVT Zw w 60E2
Zuschlag dB	0	0	+3	+3	0	+2	-1	0	+3

Tabelle 3: Mit sonRail berechnete pauschale Fahrbahnzuschläge gegenüber dem Referenzoberbau (Basis sonRail-Fitting) für das Semibel-Modell auf 1dB gerundet.

Im Lärmbelastungskataster 2015 (GeoIG, ID 126) wurde die Modellbezeichnung "SEMIBEL (sonRAIL)" verwendet.

Literatur

- [1] BUWAL 1990: SEMIBEL, Schweizerisches Emissions- und Immissionsmodell für die Berechnung von Eisenbahnlärm, Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 116.
- [2] BAFU 2010: [sonRAIL, Projektdokumentation](#).
- [3] Scossa-Romano Enzo, Hafner Michael 2013: Angleichung der SEMIBEL Emissionsparameter an die sonRAIL Emissionsmessungen durch "curve fitting".
- [4] SBB Infrastruktur – System Fahrweg, Hafner Michael 2022: Angleichung der SEMIBEL Emissionsparameter (A + B) an das aktuelle sonRail-Modell (Version 8. Februar 2022) durch "curve fitting".
- [5] Empa, Wunderli, Pieren 2022: Vollständige Beschreibung des sonRAIL-Emissionsmodells