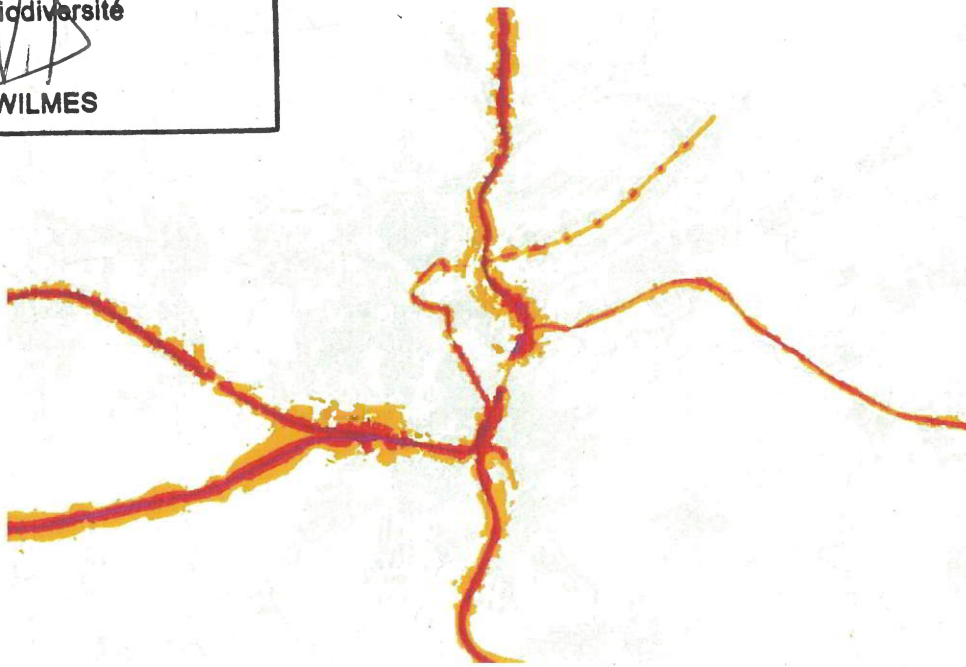
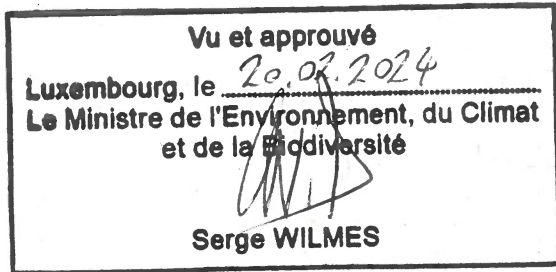


# Strategische Lärmkartierung für den Schienenverkehr 2021 im Großherzogtum Luxemburg

## Abschlussbericht

12. Februar 2024



für die

Administration de l'environnement  
c/o Surveillance et Evaluation de l'Environnement  
1, avenue du Rock'n'Roll  
L - 4361 Esch-sur-Alzette

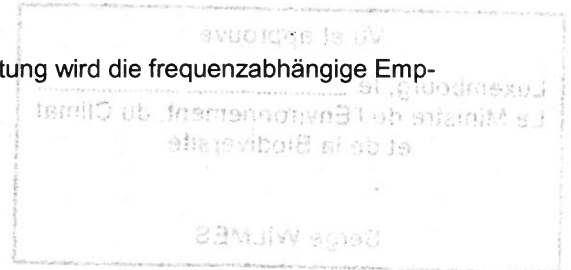
vorgelegt von der

Stapelfeldt Ingenieurgesellschaft mbH  
Wilhelm-Brand-Str. 7  
44141 Dortmund  
Tel.: 49(0)231 – 4271171  
Fax: 49(0)231 – 4271173  
Email: info@stapelfeldt.de



## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ACT	Administration du cadastre et de la topographie
ALK	Automatisierte Liegenschaftskarte
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
Aufpunkt	Position in x,y,z für die die Schallimmission zu berechnen ist
BEB	Deutsche CNOSSOS Umsetzung zur Bestimmung der Belasteten-Zahlen durch Umgebungslärm
BUB	Deutsche CNOSSOS Umsetzung zur Berechnung der Emission bzw. Immission des Umgebungslärms aus Straßen- und Schienenverkehr sowie Industrie
dB	Dezibel: Maß für den Schalldruckpegel
dB(A)	A-gewichteter Schalldruckpegel. Durch die A-Bewertung wird die frequenzabhängige Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs berücksichtigt
EU	Europäische Union
FUNC	ATKIS Funktionstyp eines Gebäudes
GIS	Geografisches Informationssystem
h	Stunde
L <sub>day</sub>	Maß für die durchschnittliche Lärmbelastung am Tag (7:00 - 19:00 Uhr)
L <sub>den</sub>	Maß für die ganztägige Lärmbelastung über 24 Stunden bei dem laute Pegel in den Abend- und Nachtstunden stärker gewichtet werden als in den Tagstunden
L <sub>evg</sub>	Maß für die durchschnittliche Lärmbelastung am Abend (19:00 - 23:00 Uhr)
L <sub>night</sub>	Maß für die durchschnittliche Lärmbelastung in der Nacht (23:00 - 7:00 Uhr)
LimA-Makro	Vordefinierte Befehlsfolge zur Bearbeitung von Attribut- und Geometriedaten
LSE	Lärmschutzeinrichtung
LSW	Lärmschutzwand
QSI	Qualitätsanforderungen und Prüfbedingungen schalltechnischer Software für den Immissionsschutz (s. DIN 45687)
RLM2	Bzw. SRM2 : Reken- en Meetvoorschriften Railverkeerslawaaai ,96 als Regelwerk für den Schienenverkehr in der EU-Lärmkartierung 2017



## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Rechtliche und technische Grundlagen</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Daten</b>	<b>9</b>
3.1	Schienennetz und Verkehrsdaten bzw. Zugbewegungen	9
3.2	Gebäude und Einwohnerverteilung	10
3.3	Topographie	10
3.4	Schallschutzeinrichtungen	11
3.5	Brücken und Tunnel	11
<b>4</b>	<b>Methodik</b>	<b>13</b>
4.1	Verwendete Software und Organisation der Datenverwaltung	13
4.2	Berechnung der Lärmkarten	14
4.3	Pegel an den Fassaden	14
4.4	Qualitätskontrolle	14
4.5	Bestimmung der Pegel im Raster	15
4.6	Bestimmung der Fassadenpegel	15
4.7	Diskussion der Ergebnisse	15
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>17</b>
5.1	Lärmkarten	17
5.1.1	Gesamtgebiet Luxemburg, Darstellung der Lärmindizes	18
5.2	Betroffenenstatistiken	22
5.2.1	Gesamtgebiet Luxemburg, Darstellung der Lärmindizes	22
5.3	Statistiken	23
5.3.1	Betroffene nach Schienen	23
5.4	Auswirkungen auf die Gesundheit	29
<b>6</b>	<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>30</b>

---

**ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

Abbildung 1-1	Untersuchungsgebiet und Schienennetz der CFL	6
Abbildung 3-1	Flächen mit der Zuordnung weichen Bodens (grün)	11
Abbildung 3-2	Höhenlinien des Ausgangsmodells im Brückenbereich	11
Abbildung 3-3	Freigeschnittenes Gelände unter Brücken	12
Abbildung 5-1:	Lärmbelastung $L_{den}$ durch Schienenlärm in Luxemburg	18
Abbildung 5-2:	Lärmbelastung $L_{day}$ durch Schienenlärm in Luxemburg	19
Abbildung 5-3:	Lärmbelastung $L_{evg}$ durch Schienenlärm in Luxemburg	20
Abbildung 5-4:	Lärmbelastung $L_{night}$ durch Schienenlärm in Luxemburg	21

**TABELLENVERZEICHNIS**

Tabelle 4-1	Projektbezogene Berechnungsparameter	13
Tabelle 4-2	Flächenbelastung für $L_{den}$ als Überschreitungswert (2017 + 2022)	15
Tabelle 4-3	Einwohnerbelastung $L_{den}$ als Überschreitungswert (2017 + 2022)	16
Tabelle 4-4	Zugbewegungen Tag, Nacht, Abend in 2017 und 2022	16
Tabelle 5-1	Flächenbelastung für $L_{den}$ als Überschreitungswert	22
Tabelle 5-2	Anzahl Betroffene in Pegelbereichen des $L_{den}$	23
Tabelle 5-3	Anzahl Betroffene in Pegelbereichen des $L_{night}$	23
Tabelle 5-4	Einwohnerbelastung für $L_{den}$ als Überschreitungswert	24
Tabelle 5-5	Anzahl Wohnungen für $L_{den}$ als Überschreitungswert	24
Tabelle 5-6	Anzahl Schul-, Krankenhäuser für $L_{den}$ als Überschreitungswert	24
Tabelle 5-7	Anzahl Schulen in Pegelbereichen des $L_{den}$	25
Tabelle 5-8	Anzahl Schulen in Pegelbereichen des $L_{night}$	25
Tabelle 5-9	Anzahl Krankenhäuser in Pegelbereichen des $L_{den}$	26
Tabelle 5-10	Anzahl Krankenhäuser in Pegelbereichen des $L_{night}$	26
Tabelle 5-11	Anzahl Betroffene in Pegelbereichen des $L_{den}$ - gerundet auf die nächsten Hundert -	27
Tabelle 5-12	Anzahl Betroffene in Pegelbereichen des $L_{night}$ - gerundet auf die nächsten Hundert	27
Tabelle 5-13	Einwohnerbelastung für $L_{den}$ als Überschreitungswert - gerundet auf die nächsten Hundert -	28
Tabelle 5-14	Anzahl Wohnungen für $L_{den}$ als Überschreitungswert - gerundet auf die nächsten Hundert -	28
Tabelle 5-15	Risiko für Fälle gesundheitlicher Belastung	29

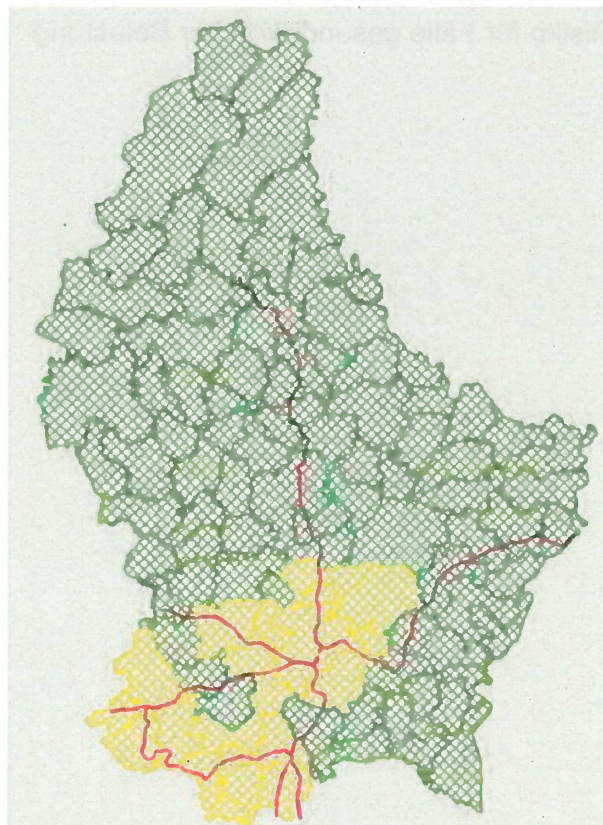


# 1 Einleitung

Im Rahmen der Umsetzung der 4. Stufe der EG-Umgebungs-lärm-Richtlinie 2002/49/EG (EU, 2002) in Verbindung mit der nationalen Rechtslage im Großherzogtum Luxemburg wurde im Auftrag der Administration de l'environnement in Luxemburg eine Lärmkartierung für den Schienenverkehr erstellt. Diese Ermittlung der Lärmbelastigung dient unter anderem auch der Information der Öffentlichkeit. An die Lärmkartierung anschließend, sind – außerhalb des hier dargestellten Projekts – Aktionspläne zu erstellen, mit denen signifikante Auswirkungen des Lärms auf die Bewohner durch geeignete Maßnahmen der Lärminderung reduziert werden sollen.

Als zu berücksichtigende Lärmquellen gelten außerhalb der Ballungsräume alle Schienenwege mit einem jährlichen Verkehrsaufkommen von mehr als 30'000 Zug- bzw. Lokfahrten pro Jahr. Des Weiteren werden in den Ballungsräumen auch Straßenbahnen berücksichtigt. Hierzu wurde die Erhebung getrennt durchgeführt und anschließend die zur Verfügung gestellten Rasterdaten der Immissionen für Tag, Abend, Nacht sowie  $L_{den}$  mit den Ergebnissen für den Schienenverkehr zusammengeführt.

Der Ballungsraum „AggloLux“ besteht aus der Gemeinde der Hauptstadt Luxemburg sowie den angrenzenden Gemeinden Bertrange, Hesperange, Mamer, Niederanven, Sandweiler, Strassen, Steinsel und Walferdange. Er bezieht mehr Gemeinden ein als der Ballungsraum „Agglomération de Luxembourg“ in der Kartierung 2017. Ein zweiter Ballungsraum ergibt sich im Süden des Landes, der als „AggloSud“ behandelt wird. Er setzt sich aus den Gemeinden Esch/Alzette, Bettemburg, Differdange, Dudelange, Kayl, Käerjeng, Mondercange, Pétange, Rumelange, Sanem, Schifflange zusammen.



**Abbildung 1-1 Untersuchungsgebiet und Schienennetz der CFL**

Die Geometrie des Schienennetzes wird aus dem Modell für 2017 übernommen und erweitert. Bedingt durch höheres Verkehrsaufkommen werden gegenüber 2017 mit der Sektion N6 nördlich Ettelbruck und S4 im Bereich Dudelange zwei weitere Streckenabschnitte erfasst. Damit ergibt sich eine zu berücksichtigende Streckenlänge von ca. 160 km auf ein- und zweigleisigen Strecken.

Das Großherzogtum Luxemburg hat eine Fläche von 2'586 km<sup>2</sup>. Die berücksichtigte Einwohnerzahl für das Jahr 2022 betrug 645'397, davon 200'667 in der AggloLux und 180'449 in der AggloSud.

## 2 Rechtliche und technische Grundlagen

Gemäß dem *Règlement grand-ducal du 2 août 2006 portant application de la directive 2002/49/CE relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement* steht es dem zuständigen Minister für Umwelt zu die Lärmkarten gutzuheissen. Die für die Ausarbeitung der Lärmkarten zuständige Behörde ist die Administration de l'environnement

Administration de l'environnement  
1, avenue du Rock'n'Roll  
L - 4361 Esch-sur-Alzette

Die Arbeiten wurden auf der Grundlage folgender gesetzlicher Vorgaben durchgeführt:

- *Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise*
- *Règlement grand-ducal du 2 août 2006 portant application de la directive 2002/49/CE relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement*
- *Commission Recommendation of 6 August 2003 concerning the guidelines on the revised interim computation methods for industrial noise, aircraft noise, road traffic noise and railway noise, and related emission data (notified under document number C(2003) 2807) (2003/613/EC)*
- *Recommendations and guidelines by the European Commission and the European Environmental Agency*
- *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*

In sämtlichen kartierungsrelevanten Gebieten werden Berechnungen der Lärmbelastung gemäß CNOSSOS durchgeführt.

In der weiteren Auswertung zur Erfassung der durch Schienenverkehrslärm belasteten Einwohner, Gebäuden und Flächen wird nach CNOSSOS Annex II und Annex III vorgegangen. Als Ergebnis wird u.a. eine tabellarische Auflistung der an die EU zu meldenden Kenngrößen erzeugt.

Das kartierungspflichtige Gebiet umfasst zunächst alle Bereiche Luxemburgs in denen innerhalb einer Umgebung von 2500 m zu berücksichtigende Schienenwege vorkommen und die eine relevante Lärmbelastungen, d. h.  $L_{den}$  ab 55 dB(A) und  $L_{night}$  ab 45 dB(A) aufweisen. Informativ werden darüber hinaus auch die Bereiche erfasst, in denen  $L_{den}$  Werte ab 50 dB(A) bzw.  $L_{night}$  ab 40 dB(A) vorliegen.

Zur Ermittlung des  $L_{den}$  werden zunächst die Immissionspegel für Tag (Zeitraum 07:00 bis 19:00), Abend (Zeitraum 19:00 bis 23:00) und Nacht (Zeitraum 23:00 bis 07:00) bestimmt. Der  $L_{den}$  ergibt sich dann als gewichteter Mittelungspegel über die 24 h des Tages.



### 3 Daten

Die Berechnung der Schallimmissionswerte basiert auf dem Regelwerk CNOSSOS und bedarf eines detaillierten 3D Modells, das Gelände, Schienenwege und Gleisbelegung mit Verkehr, Gebäude und Lärmschutzwände sowie die Bodenbeschaffenheit umfasst.

Dieses Datenmodell wurde in weiten Teilen von der Kramer Schalltechnik GmbH (KS) zusammengetragen und für die weitere Nutzung vorbereitet. Zu diesen Arbeiten hat KS einen gesonderten Bericht verfasst („*Bericht zur Aufbereitung des 3D Modell im Rahmen der Lärmkartierung 2022 in Luxemburg*“).

Die Stapelfeldt Ingenieurgesellschaft (SIG) hat für die Berechnung der Belastung aus Schienenverkehr ergänzende Arbeiten zur Modellveredelung vorgenommen und auch die bereits für das Straßenmodell vollzogenen Veredelungen genutzt.

Mit dem finalen Datenmodell werden Berechnungen nach CNOSSOS durchgeführt, um folgende Aussagen zu treffen:

- Größe der Flächen mit Immissionswerten in Pegelklassen mit 5 dB bzw. 1 dB Abstufung
- Anzahl Einwohner, für die die Immissionswerte der zugeordneten Fassaden in den jeweiligen Pegelklassen liegen
- Anzahl erheblich gestörter Personen durch Schienenverkehrslärm ( $L_{den}$ ) im 24 h Zeitraum
- Anzahl erheblich schlafgestörter Personen durch Schienenlärm in der Nacht ( $L_{night}$ )

#### 3.1 Schienennetz und Verkehrsdaten bzw. Zugbewegungen

Die Geometrie des Schienennetzes wird zunächst aus dem Modell für 2017 übernommen. Zu ergänzende Geometrieelemente der Schienenstrecken der Sektion N6 nördlich Ettelbruck und S4 im Bereich Dudelange werden aus behördenseitig gestellten SHAPE Dateien übernommen. Da hierbei keine Angaben zur Höhe der Schienen gemacht werden, wird eine Höhe von 0 m über Gelände angesetzt. Die untere in CNOSSOS berücksichtigte Emissionshöhe liegt demgegenüber noch einmal 0,5 m höher.

Die CFL stellt XLS-Dateien für 20 Sektoren detaillierte Nutzungsdaten zur Verfügung, aus denen folgende Informationen zu gleichartigen Zugfahrten zu entnehmen sind:

- Zuordnung zum Güter- bzw. Personenverkehr
- Zuordnung zum Tag-, Abend oder Nachtzeitraum
- Spezifische Bezeichnung der Antriebseinheit und Anzahl Achsen aller Antriebseinheiten
- Mittlere Länge der Güterzüge
- Anzahl gleichartiger Zugfahrten im Laufe eines Jahres

Weitere Angaben der CFL:

- Bauart der Gleisschwellen, Holz oder Beton, als Angabe pro Sektor
- Festlegung des Anteils der Bremsbauart für Güterzüge auf 25% Klotz- und 75% Verbundstoffbremsen

Aus dem Bericht „RESEAU FERRE LUXEMBOURGEOIS DOCUMENT DE

REFERENCE 2021“Version 2.0 du 26.11.2020 wird die zulässige Geschwindigkeit im jeweiligen Sektor übernommen. Die gefahrene Geschwindigkeit ergibt sich damit aus der zulässigen und je nach Zug-Typ der technisch möglichen Geschwindigkeit.

Für die Anpassungen werden projektbezogene LimA-Makros genutzt, die die vorliegenden XLS-Dateien auswerten, womit manuelle Übertragungsfehler vermieden werden.

Im Bereich von Tunneln wird die Emission zu 0 gesetzt oder es wird kein Schienen-Element angelegt. Brücken werden in CNOSSOS durch zusätzlich emittierende Achsen berücksichtigt, die eine andere Richtcharakteristik als die Züge aufweisen. Der Hinweis auf Brücken wird im Attribut BRGC der Gleisobjekte verwaltet.

Für das Schienennetz werden zunächst als Teil der Datenveredelung die Kurvenstrecken mit ihrem jeweiligen Radius ausgewiesen. Alle Radien sind allerdings größer als 200 m, womit sich laut BUB für besonders gepflegte Gleise kein Zuschlag auf die Emission ergibt.

Die Arbeit zur Modellaufbereitung und Berechnung der Schallimmissionen Straßenbahnen wurden vom Auftraggeber an ein anderes Ingenieurbüro vergeben. Die zugelieferten Rasterergebnisse im 10 m Raster werden zunächst so nachbearbeitet, dass für Rasterpunkte innerhalb der Gebäude Sonderwerte vorliegen. Damit können die Ergebnisse für die Tram mit denen für den Schienenverkehr der CFL energetisch überlagert werden. Für die Bestimmung der lärmbelasteten Flächen zur Meldung an die EU werden dann für alle Rasterpunkte, die hinsichtlich X,Y,Z im gleichen Gebäude liegen, einheitlich die minimalen Pegelwerte der Umgebung angesetzt.

### **3.2 Gebäude und Einwohnerverteilung**

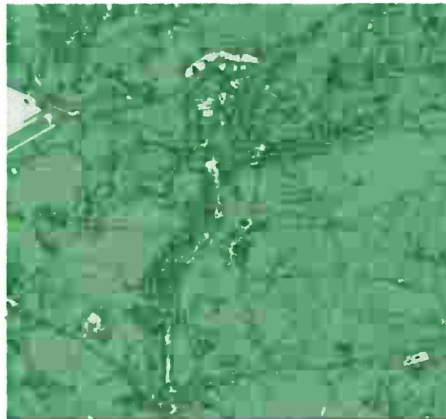
Die Gebäude verfügen auch über Angaben zu Anzahl der Bewohner, die aus Angaben zu Postleitzahlgebieten abgeleitet wurden. Die Anzahl Wohnungen wird aus der Einwohnerzahl unter der pauschalen Annahme von 2,1 Einwohner pro Wohnung abgeleitet.

Die im CODE\_OCCUP vorhandene Kodierung zur Gebäudenutzung wird auch genutzt, um Schulen und Krankenhäuser zu identifizieren, da deren Lärm-Exposition gesondert zu melden ist.

### **3.3 Topographie**

Das genutzte Regelwerk zur Berechnung der Schallausbreitung wertet die Bodenbeschaffenheit aus, um den Einfluss der Boden- und Meteorologie-Dämpfung zu erfassen. Zu diesem Zweck steht ein Datensatz mit den Umrissen der bewaldeten Zonen zur Verfügung. Zonen mit schallhartem Boden ( $G=0$ ) werden dabei ignoriert, da sie gegenüber der Default Annahme eines harten Bodens keine Zusatzinformationen liefern.

Am Beispiel der Gemeinde Schuttrange lässt sich die Vollständigkeit der Bodendefinitionen erkennen.



**Abbildung 3-1 Flächen mit der Zuordnung weichen Bodens (grün)**

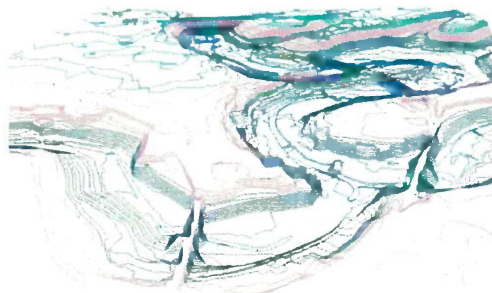
### 3.4 Schallschutzeinrichtungen

Als zusätzliche abschirmende oder auch reflektierende Hindernisse wurden Wände als Ausgangsdaten geliefert. Dabei handelt es sich zum Teil um Lärmschutzwände (LSW), für die ein Reflexionsverlust von 8 dB angesetzt wird.

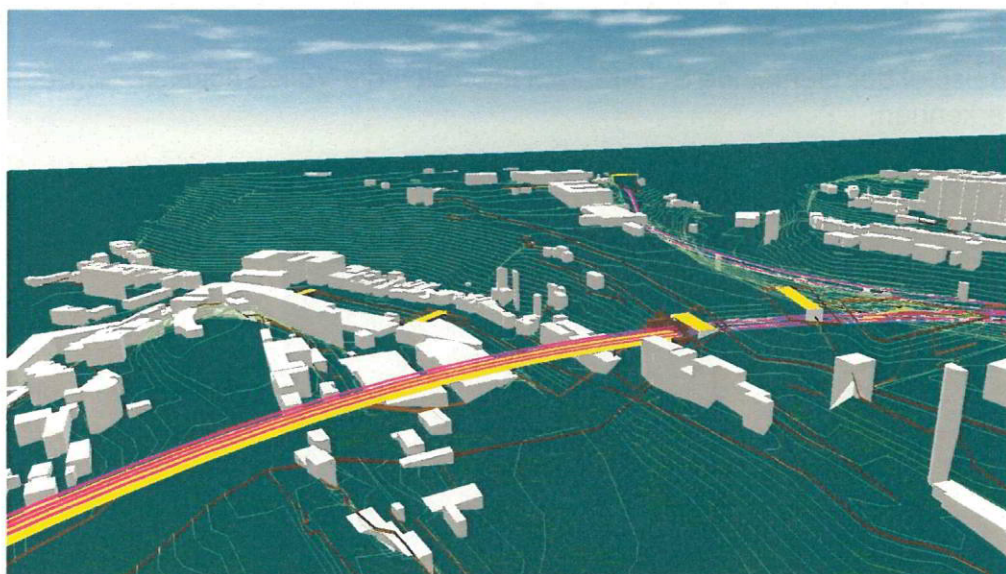
Im Brückenbereich waren die 3D Höhenangaben der LSW nur bedingt nutzbar, da das Niveau der Brücke bedingt durch die Geländenachbereitung und die teilweise Annahme eines linearen Anstiegs der Brücke zu relativen Höhenverschiebungen führen konnte. Hier wurde die relative Höhe der LSW im Anfangsbereich der Brücke als konstante relative Angabe über die gesamte Brückenlänge genutzt.

### 3.5 Brücken und Tunnel

In den Ausgangsdaten lagen Brücken und Tunnel vor. Für Tunnel wurde die Emission der im Tunnel geführten Schienen unterbunden. Für Brücken wurden die Breiten der Brücken aus Abstandsangaben am Brückenachsenobjekt sowie aus den Angaben zur Breite der parallel geführten Schienenachsen ermittelt. Die Brückenflächen wurden aus den Achslagen als 3D Objekte aufbereitet.



**Abbildung 3-2 Höhenlinien des Ausgangsmodells im Brückenbereich**



**Abbildung 3-3 Freigeschnittenes Gelände unter Brücken**



## 4 Methodik

### 4.1 Verwendete Software und Organisation der Datenverwaltung

Die Lärmberechnungen und Belastungsanalysen erfolgen mittels des Programmsystems LimA, Version 2023. Die Ergebnisse werden für das EU-Reporting aufbereitet.

Die Datenverwaltung wird dabei über eine Kachelung des Gesamtgebietes in 10 x 10 (km)-Einheiten organisiert. Dies bietet in der Modellbearbeitung den Vorteil, dass viele der erforderlichen Prüfungen bzw. Veredelungsmaßnahmen in parallelisierter Weise abgearbeitet werden können.

Durchzuführende Veredelungsschritte werden in Makro definiert. Makros beinhalten Sequenzen des Befehlssatzes des LimA GUI, die automatisch abgearbeitet werden. Die Nutzung der Makros wird dokumentiert und dient damit im Sinne der Qualitätssicherung als Dokumentation der Bearbeitung. Makros ermöglichen auch die parallele Behandlung der in Kacheln abgelegten Daten und beschleunigen so den Prozess.

Die Berechnung der Schallimmissionen erfolgt nach Gemeinden. Der automatisierte Ablauf pro Gemeinde hilft, das Risiko einer manuellen Bearbeitung auszuschalten.

Die Berechnungsparameter sollen ein Optimum aus erzielter Ergebnisgenauigkeit und zu leistendem Berechnungsaufwand liefern. Projektbezogen werden die Einstellungen der Tabelle 4-1 gewählt.

**Tabelle 4-1 Projektbezogene Berechnungsparameter**

Einfangradius für Quellen in der Umgebung von Rezeptorpunkten	2500	m
Maximale Ordnung der Reflexion	1	
Einfangradius für Reflektoren um Quell- und Rezeptorpunkt	30	m
Maximaler dynamischer Fehler	2	dB
Vereinfachung entfernter Hindernisse	Ja	

Ein dynamischer Fehler von 2 dB ist eine typische Annahme, die im Einklang mit der seitens der EU vorgegebenen Genauigkeitsanforderung liegt. Sie erlaubt es, während der Berechnung für einen Rezeptor Quellen zu vernachlässigen, solange dadurch das Endergebnis um nicht mehr als 2 dB niedriger ausfällt als bei Berücksichtigung aller Quellen. Dabei wird eine Extremfallabschätzung vorgenommen, so dass typischerweise 90 % aller berechneten Punkte um weniger als 1 dB abweichen werden.



## 4.2 Berechnung der Lärmkarten

Die Lärmkarten werden in einem 10 m Raster für eine Rezeptorhöhe von 4 m über Gelände berechnet. Dabei werden für die Berechnung des Schienenverkehrs der CFL alle beschriebenen Modellelemente vollständig genutzt.

Die gemeindebezogenen Ergebnisse werden in Grafiken gewandelt, um eine gemeindebezogene Auswertung zu erleichtern. Zusätzlich werden die berechneten Immissionswerte für Tag, Abend, Nacht und  $L_{den}$  auch als ASCII-Raster-Dateien für Teilgebiete von 50 x 50 (km) vorgelegt.

Auf eine vorgezogene Buffer-Bildung zur Eingrenzung des Berechnungsgebietes wird verzichtet, da während der Berechnung automatisch die relevanten, zu berechnenden Gebiete ermittelt werden. Die Relevanzgrenze wird für den  $L_{day}$  auf 50 dB, den  $L_{evening}$  auf 45 dB und den  $L_{night}$  auf 40 dB festgelegt.

## 4.3 Pegel an den Fassaden

Gemäß CNOSSOS sind für alle Wohngebäude, Schulen und Krankenhäuser Fassadenpegel in 0,1 m Abstand vor der Fassade und in 4 m Höhe über dem lokalen Geländeneveau zu bestimmen. Der seitliche Abstand entlang der Fassade beträgt dabei je nach Gliederung der Fassade zwischen 2,5 und 5 (m). Für jeden Fassadenpunkt wird der Immissionswerte werden durch Interpolation aus den Rasterdaten bestimmt.

Neben den tabellarischen Ergebnissen in Dateien mit Raumbezug (X, Y, Z) werden die Ergebnisse zusätzlich pro Gebäude aggregiert. Innerhalb der Gebäudegrundfläche wird dabei ein Punkt-Shape (WGF-Objekt) angelegt, in dem pro Gebäude die Anzahl Fassadenpunkte innerhalb der einzelnen Pegelklassen dokumentiert werden.

Im Ballungsraum werden die Angaben für die energetisch addierten Immissionswerte der CFL-Schienen und der Tram erhoben.

## 4.4 Qualitätskontrolle

Die seitens der KS-Schalltechnik gelieferten Ausgangsdaten des Berechnungsmodells sind bereits einer Qualitätskontrolle unterzogen worden. Dabei wurden zunächst die Aspekte ausgeklammert, die erst nach der weitergehenden Bearbeitung des Modells mittels LimA Makros bei SIG betrachtet werden können. Hierzu zählen Überarbeitung des Geländemodells, das Anpassen der Brücken und die Aktualisierung der Verkehrsmengen. Die Kontrolle dieser Veredelung erfolgte bei SIG.

#### 4.5 Bestimmung der Pegel im Raster

Für die Lärmkarten wird die Immission für Rezeptorpunkte in einem 10 m Raster mit einer Rezeptorhöhe von 4 m über Gelände berechnet. Die berechneten Immissionspegel werden anschließend nicht auf 0,5 dB Genauigkeit gerundet.

Auf eine getrennte Ablage der Ergebnisgrafiken pro Gemeinde wird verzichtet, da regional begrenzte Karten mittels GIS einfach aus der landesweiten Karte zu extrahieren sind. Die berechneten Immissionswerte für Tag, Abend, Nacht und  $L_{den}$  werden auch als ASCII-Raster-Dateien für Teilgebiete von 50 x 50 (km) aufbereitet.

Auf eine vorgezogene Buffer-Bildung zur Eingrenzung des Berechnungsgebietes wird verzichtet, da während der Berechnung automatisch die relevanten, zu berechnenden Gebiete ermittelt werden. Die Relevanzgrenze wurde für den  $L_{day}$  und  $L_{evening}$  auf 55 dB und für den  $L_{night}$  auf 45 dB festgelegt.

#### 4.6 Bestimmung der Fassadenpegel

Gemäß CNOSSOS werden für alle Wohngebäude, Schulen und Krankenhäuser Fassadenpegel in 0,1 m Abstand zur Fassade bestimmt. Der seitliche Abstand richtet sich dabei nach den detaillierten Vorgaben der Norm.

Neben den tabellarischen Ergebnissen in Dateien mit X, Y, Z-Bezug werden die Ergebnisse zusätzlich pro Gebäude aggregiert. Innerhalb der Gebäudegrundfläche wird dabei ein Punkt-Shape (WGF-Objekt) angelegt, in dem die Anzahl Fassadenpunkte innerhalb der einzelnen Pegelklassen dokumentiert werden. Neben dem Summenwert existiert für jede Gruppierung ein getrenntes WGF-Objekt.

#### 4.7 Diskussion der Ergebnisse

Gegenüber 2017 gibt es kaum Unterschiede in den betroffenen Flächen. Die Werte für 2017 sind der Tabelle 4-2 zu entnehmen.

**Tabelle 4-2 Flächenbelastung für  $L_{den}$  als Überschreitungswert (2017 + 2022)**

Indikator	Flächen (km <sup>2</sup> ) mit $L_{den}$ (dB) - Schienenlärm in Ballungsräumen und von Haupteisenbahnstrecken		
	> 55	> 65	> 75
Schiene			
Gesamt (2017)	39,4112	10,0123	0,9816
Gesamt (2022) lt. Tabelle 5-1	38,9992	7,0946	0,0337

Damit ergeben sich für  $L_{den}$  prozentuale Änderungen in Höhe von ca. -1% für die Flächenbelastung ab 55 dB bzw. -29% ab 65 dB und -97% ab 75 dB.

Die Betroffenenanzahlen reduzieren sich ebenfalls. Bezogen auf den  $L_{den}$  entfallen 159 Betroffene ab 75 dB in 2017 komplett, halbiert sich die Anzahl ab 65 dB während die Anzahl Betroffener ab 55 dB nahezu konstant bleibt.

**Tabelle 4-3 Einwohnerbelastung  $L_{den}$  als Überschreitungswert (2017 + 2022)**

Indikator	Einwohner in Gebieten mit $L_{den}$ (dB) - Schienenlärm in Ballungsräumen und von Haupteisenbahnstrecken		
	> 55	> 65	> 75
Schiene			
Gesamt (2017)	28180	7775	159
Gesamt (2022) lt. Tabelle 5-4	27893	3932	0

Die Ergebnisse sind insofern plausible, als dass die beiden neu aufgenommenen Strecken, N6 nördliche Ergänzung und S4, überwiegend in schwach bewohnten Gebieten verlaufen und außerdem die Hauptmengen der Zugbewegungen, die am Tag bzw. am Abend erfolgen, um 18 bzw. 11 (%) abgenommen haben.

**Tabelle 4-4 Zugbewegungen Tag, Nacht, Abend in 2017 und 2022**

	Tag	Abend	Nacht
Gesamt (2017)	738958	187941	136941
Gesamt (2022)	603765	167488	159608
Abweichung zu 2017 in (%)	82	89	117

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Lärmkarten

Aus den Rasterergebnissen für  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$ ,  $L_{night}$  und  $L_{den}$  werden SHAPE Dateien erzeugt, um die Lärmbelastung in der Fläche darzustellen.

In den Rasterergebnissen werden nur tatsächlich berechnete Werte ausgewiesen. Eine Interpolation von Ergebnissen mit der Zielsetzung, die Berechnung zu beschleunigen, wird nicht angewendet. Liegen Rasterpunkte hinsichtlich X, Y und Z innerhalb von Gebäuden oder außerhalb des Untersuchungsgebietes, so werden in den Rasterergebnissen Sonderwerte ausgewiesen, aus denen sich der Grund für die nicht durchgeführte Berechnung ableiten lässt.

Werden zum Zweck einer besseren kartographischen Darstellung die Ergebnisse des 10 m Rasters auf 1 m interpoliert, so werden diese Sonderwerte berücksichtigt, um das Risiko der Falschaussage durch Interpolation zu reduzieren.

Die Ergebnisgraphiken werden gesondert übergeben und sind in diesem Bericht nur exemplarisch dargestellt. Dateinamen mit der Kennung RCF beziehen sich nur auf Rasterergebnisse für den Schienenverkehr der CFL. Die Kennung RFT weist auf Gesamtergebnisse, gewonnen aus der energetischen Addition des CFL-Schienen- und des Straßenbahnverkehrs hin.

### 5.1.1 Gesamtgebiet Luxemburg, Darstellung der Lärmindizes

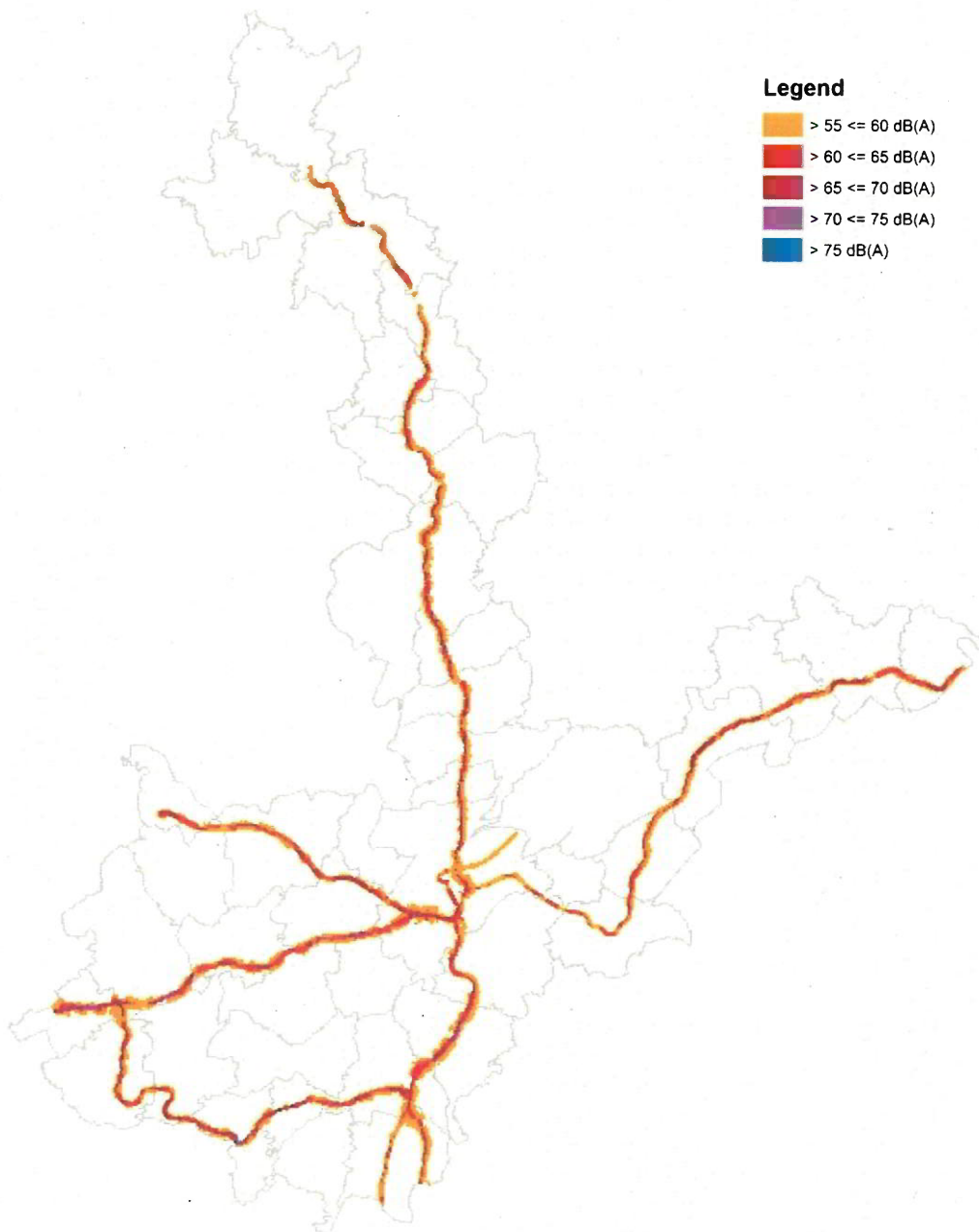
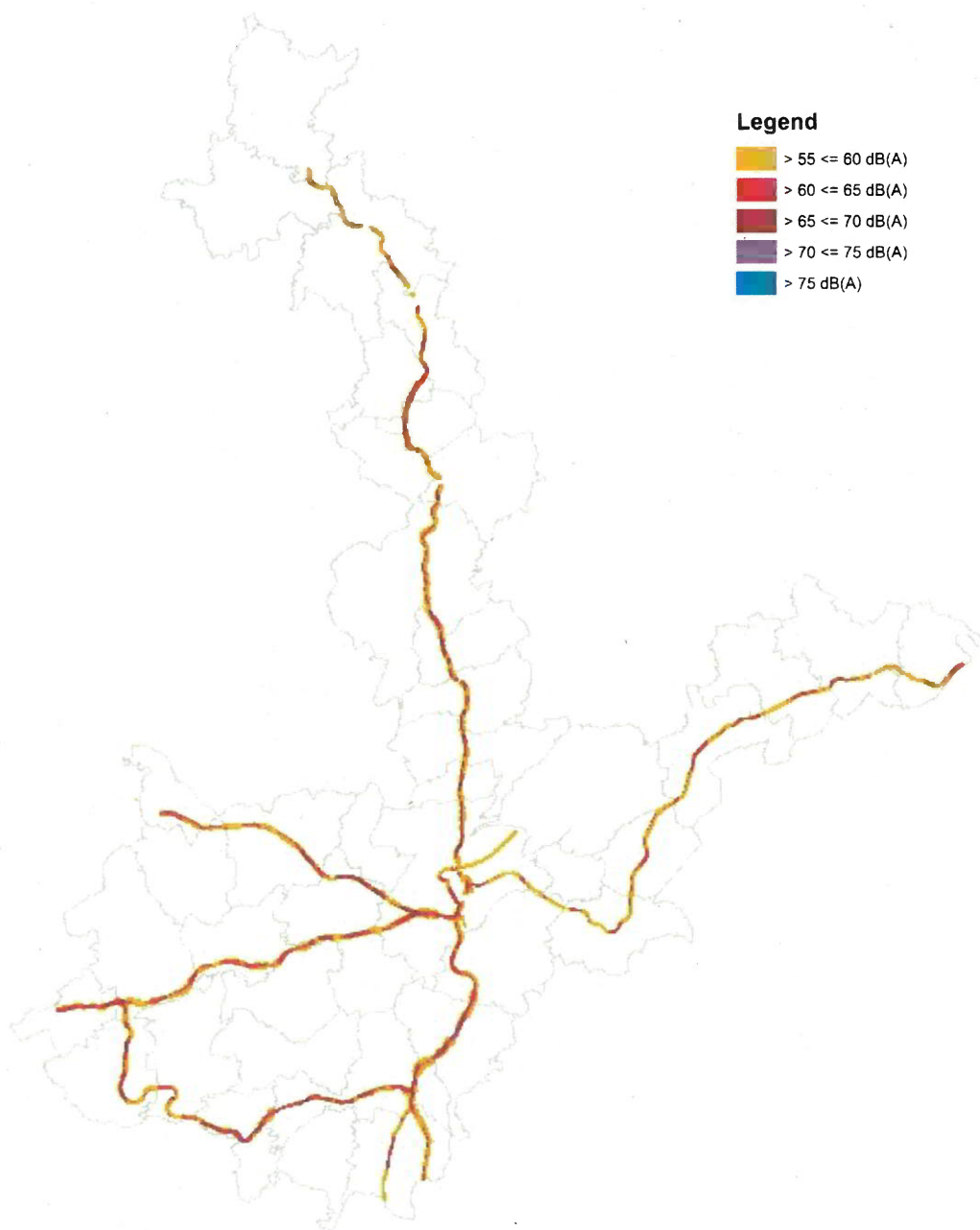
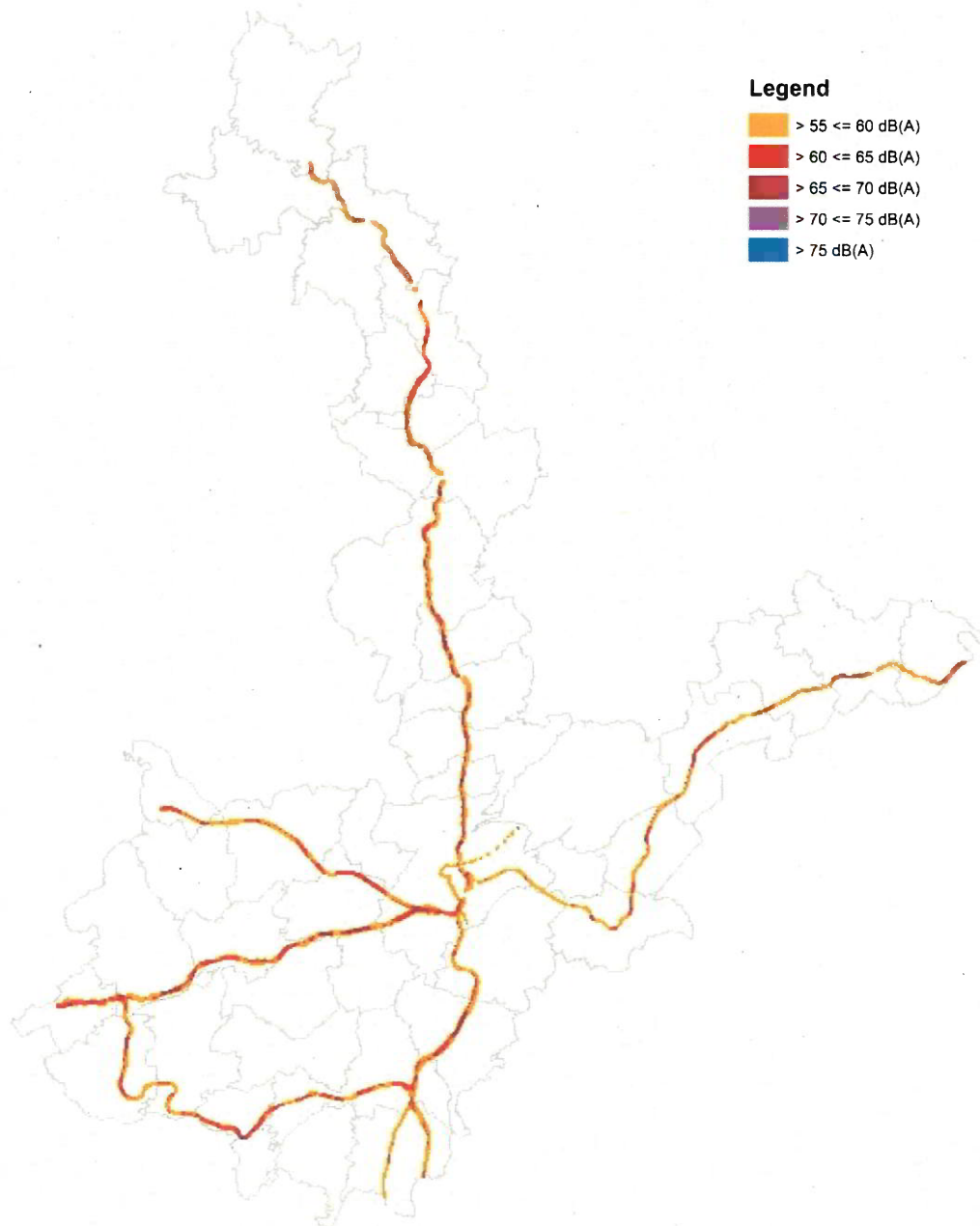


Abbildung 5-1: Lärmbelastung  $L_{den}$  durch Schienenlärm in Luxemburg

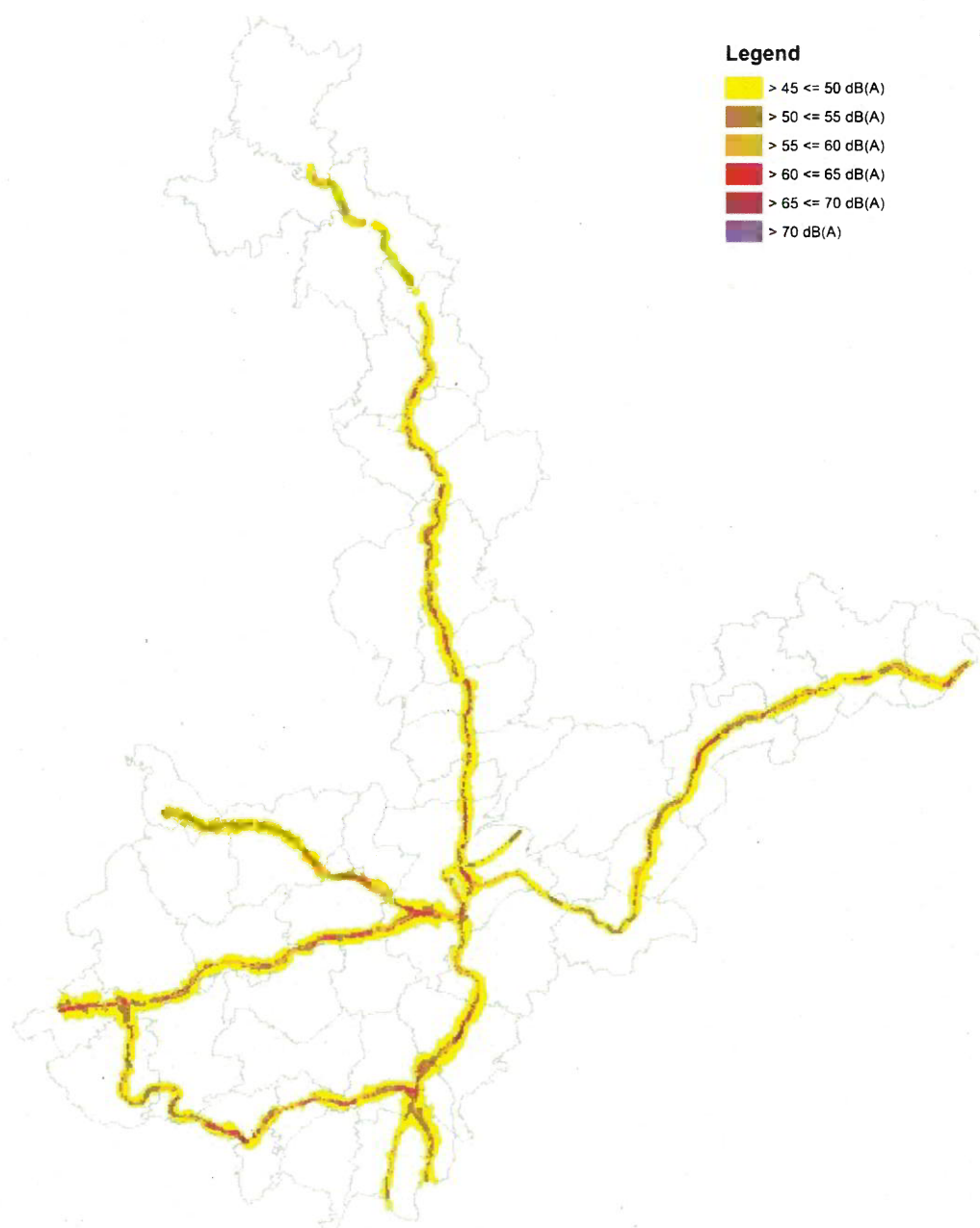




**Abbildung 5-2: Lärmbelastung  $L_{day}$  durch Schienenlärm in Luxemburg**



**Abbildung 5-3: Lärmbelastung  $L_{\text{evg}}$  durch Schienenlärm in Luxemburg**



**Abbildung 5-4: Lärmbelastung  $L_{\text{night}}$  durch Schienenlärm in Luxemburg**

## 5.2 Betroffenenstatistiken

Im Kapitel 6 Anhang werden die Ergebnisse für  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$ ,  $L_{night}$  und  $L_{den}$  in 5 dB Pegelbändern für Pegel ab 55 dB dargestellt.

### 5.2.1 Gesamtgebiet Luxemburg, Darstellung der Lärmindizes

**Tabelle 5-1 Flächenbelastung für  $L_{den}$  als Überschreitungswert**

Indikator	Flächen (km²) mit $L_{den}$ (dB) – Schienenlärm Agglomeration und National		
	> 55	> 65	> 75
Schienen			
Agglomeration	20,7677	3,8418	0,0258
AggloLux Major + Tram	10,0684	1,9102	0,0093
AggloLux Major	9,416	1,86	0,0088
AggloSud	10,6993	1,9316	0,0165
National	18,2315	3,2528	0,0079
Gesamt (Agglo + National)	38,9992	7,0946	0,0337

### 5.3 Statistiken

Die Tabellen behandeln zunächst die Angaben für den Gesamtbereich des Großherzogtums Luxemburg. Sie beschränken sich daher auf die Auswertungen für „Major Roads“. Im anschließenden Kapitel werden die Werte für AggloLux und AggloSud noch getrennt ausgewiesen.

#### 5.3.1 Betroffene nach Schienen

**Tabelle 5-2 Anzahl Betroffene in Pegelbereichen des  $L_{den}$**

Indikator	$L_{den}$ (dB) - Schienenlärm				
	55 bis < 60	60 bis < 65	65 bis < 70	70 bis < 75	≥ 75
Schienen					
Agglomeration gesamt	11640	6220	2311	456	0
AggloLux + Tram	5371	2903	951	32	0
AggloLux Major	4493	2179	898	32	0
AggloSud	6269	3317	1360	424	0
National	3750	2351	1073	92	0
Gesamt (Agglo + National)	15390	8571	3384	548	0

**Tabelle 5-3 Anzahl Betroffene in Pegelbereichen des  $L_{night}$**

Indikator	$L_{night}$ (dB) - Schienenlärm					
	45 bis < 50	50 bis < 55	55 bis < 60	60 bis < 65	65 bis < 70	≥ 70
Schienen						
Agglomeration gesamt	16959	8641	4485	918	100	0
AggloLux + Tram	8493	3795	2083	190	0	0
AggloLux Major	7640	3097	1678	179	0	0
AggloSud	8466	4846	2402	728	100	0
National	5619	3222	1825	379	0	0
Gesamt (Agglo + National)	22578	11863	6310	1297	100	0



**Tabelle 5-4 Einwohnerbelastung für  $L_{den}$  als Überschreitungswert**

Indikator	Einwohner in Gebieten mit $L_{den}$ (dB) - Schienenlärm		
	> 55	> 65	> 75
Schienen			
Agglomeration gesamt	20627	2767	0
AggloLux + Tram	9257	983	0
AggloLux Major	7602	930	0
AggloSud	11370	1784	0
National	7266	1165	0
Gesamt (Agglo + National)	27893	3932	0

**Tabelle 5-5 Anzahl Wohnungen für  $L_{den}$  als Überschreitungswert**

Indikator	Wohnungen in Gebieten mit $L_{den}$ (dB) Schienenlärm		
	> 55	> 65	> 75
Schienen			
Agglomeration gesamt	9799	1305	0
AggloLux + Tram	4398	462	0
AggloLux Major	3609	436	0
AggloSud	5401	843	0
National	3431	542	0
Gesamt (Agglo + National)	13230	1847	0

**Tabelle 5-6 Anzahl Schul-, Krankenhäuser für  $L_{den}$  als Überschreitungswert**

Indikator	Schulen bzw. Krankenhäuser in Gebieten mit $L_{den}$ (dB) Schienenlärm					
	Schulen	Schulen	Schulen	Krankenhäuser	Krankenhäuser	Krankenhäuser
Schienen	> 55	> 65	> 75	> 55	> 65	> 75
Agglomeration gesamt	12	1	0	6	1	0
AggloLux + Tram	9	1	0	3	0	0
AggloLux Major	9	1	0	2	0	0
AggloSud	3	0	0	3	1	0
National	8	1	0	5	2	0
Gesamt (Agglo + National)	20	2	0	11	3	0

**Tabelle 5-7 Anzahl Schulen in Pegelbereichen des  $L_{den}$** 

Indikator	Schulen mit $L_{den}$ (dB) - Schienenlärm				
Schienen	55 bis < 60	60 bis < 65	65 bis < 70	70 bis < 75	≥ 75
Agglomeration gesamt	7	4	1	0	0
AggloLux + Tram	6	2	1	0	0
AggloLux Major	6	2	1	0	0
AggloSud	1	2	0	0	0
National	2	5	1	0	0
Gesamt (Agglo + National)	9	9	2	0	0

**Tabelle 5-8 Anzahl Schulen in Pegelbereichen des  $L_{night}$** 

Indikator	Schulen mit $L_{night}$ (dB) - Schienenlärm					
Schienen	45 bis < 50	50 bis < 55	55 bis < 60	60 bis < 65	65 bis < 70	≥ 70
Agglomeration gesamt	12	4	3	0	0	0
AggloLux + Tram	10	4	1	0	0	0
AggloLux Major	10	4	1	0	0	0
AggloSud	2	0	2	0	0	0
National	2	3	4	0	0	0
Gesamt (Agglo + National)	14	7	7	0	0	0

**Tabelle 5-9 Anzahl Krankenhäuser in Pegelbereichen des  $L_{den}$** 

Indikator	Krankenhäuser in Gebieten mit $L_{den}$ (dB) - Schienenlärm				
Schienen	55 bis < 60	60 bis < 65	65 bis < 70	70 bis < 75	≥ 75
Agglomeration gesamt	4	1	1	0	0
AggloLux + Tram	2	1	0	0	0
AggloLux Major	2	0	0	0	0
AggloSud	2	0	1	0	0
National	0	1	2	0	0
Gesamt (Agglo + National)	4	2	3	0	0

**Tabelle 5-10 Anzahl Krankenhäuser in Pegelbereichen des  $L_{night}$** 

Indikator	Krankenhäuser in Gebieten mit $L_{night}$ (dB) - Schienenlärm					
Schienen	45 bis < 50	50 bis < 55	55 bis < 60	60 bis < 65	65 bis < 70	≥ 70
Agglomeration gesamt	5	2	1	1	0	0
AggloLux + Tram	2	2	1	0	0	0
AggloLux Major	2	2	0	0	0	0
AggloSud	3	0	0	1	0	0
National	1	1	1	1	0	0
Gesamt (Agglo + National)	6	3	2	2	0	0

Betroffenenzahlen und Zahl der Wohnungen müssen für die Überlieferung nach Brüssel zu den nächsten Hundert gerundet werden. Die nachfolgenden Tabellen erhalten jeweils diese gerundeten Werte.

**Tabelle 5-11 Anzahl Betroffene in Pegelbereichen des  $L_{den}$   
- gerundet auf die nächsten Hundert -**

Indikator	$L_{den}$ (dB) - Schienenlärm				
Schienen	55 bis < 60	60 bis < 65	65 bis < 70	70 bis < 75	≥ 75
Agglomeration gesamt	11600	6200	2300	500	0
AggloLux + Tram	5400	2900	1000	0	0
AggloLux Major	4500	2200	900	0	0
AggloSud	6300	3300	1400	400	0
National	3800	2400	1100	100	0
Gesamt (Agglo + National)	15400	8600	3400	500	0

**Tabelle 5-12 Anzahl Betroffene in Pegelbereichen des  $L_{night}$   
- gerundet auf die nächsten Hundert**

Indikator	$L_{night}$ (dB) - Schienenlärm					
Schienen	45 bis < 50	50 bis < 55	55 bis < 60	60 bis < 65	65 bis < 70	> 70
Agglomeration gesamt	17000	8600	4500	900	100	0
AggloLux + Tram	8500	3800	2100	200	0	0
AggloLux Major	7600	3100	1700	200	0	0
AggloSud	8500	4800	2400	700	100	0
National	5600	3200	1800	400	0	0
Gesamt (Agglo + National)	22600	11900	6300	1300	100	0



**Tabelle 5-13 Einwohnerbelastung für  $L_{den}$  als Überschreitungswert  
- gerundet auf die nächsten Hundert -**

Indikator	Einwohner in Gebieten mit $L_{den}$ (dB) Schienenlärm		
	> 55	> 65	> 75
Schienen			
Agglomeration gesamt	20600	2800	0
AggloLux + Tram	9300	1000	0
AggloLux Major	7600	900	0
AggloSud	11400	1800	0
National	7300	1200	0
Gesamt (Agglo + National)	27900	3900	0

**Tabelle 5-14 Anzahl Wohnungen für  $L_{den}$  als Überschreitungswert  
- gerundet auf die nächsten Hundert -**

Indikator	Wohnungen in Gebieten mit $L_{den}$ (dB) Schienenlärm		
	> 55	> 65	> 75
Schienen			
Agglomeration gesamt	9800	1300	0
AggloLux + Tram	4400	500	0
AggloLux Major	3600	400	0
AggloSud	5400	800	0
National	3400	500	0
Gesamt (Agglo + National)	13200	1800	0



#### 5.4 Auswirkungen auf die Gesundheit

Die Fallzahlen für das Risiko einer starken Belästigung bezieht sich auf Einwohner, die einem  $L_{den}$  ab 55 dB ausgesetzt sind. Die Zahlen für das Risiko einer starken Schlafstörung basieren auf einem  $L_{night}$  ab 45 dB.

Eine Bestimmung der möglicherweise durch Lärm ausgelösten Fälle ischämischer Herzkrankheiten wird für den Schienenverkehr nicht vorgenommen, da Kennzahlen hierzu nur für den Straßenverkehr vorliegen.

Indikator	starke Belästigung	starke Schlafstörung
Agglomeration gesamt	3815	2296
AggloLux + Tram	1664	1012
AggloLux Major	1372	860
AggloSud	2151	1284
National	1378	843
Gesamt (Agglo + National)	5193	3139

**Tabelle 5-15      Risiko für Fälle gesundheitlicher Belastung**

## 6 Quellenverzeichnis

**DIN 45687:** Akustik - Software-Erzeugnisse zur Berechnung der Geräuschemission im Freien - Qualitätsanforderungen und Prüfbestimmungen. Beuth-Verlag. Mai 2006

**EU, 2002:** Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 189, S. 12. 2002.

**EU, 2008:** Richtlinie 2008/1/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Januar 2008 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (kodifizierte Fassung) (IVU-Richtlinie)

**RLM2, 1996:** Reken- en Meetvoorschriften Railverkeerslawaaai ,96, nr. 14/1997

**VBEB, 2007:** Vorläufige Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastetenzahlen durch Umgebungslärm. BAnz. Nr. 75, S. 4137. 2007.

**PDF\_DRR\_2021.pdf:** RESEAU FERRE EOIS DOCUMENT DE REFERENCE 2021 Version 2.0 du 26.11.2020, „L'Administration des chemins de fer“