

DIPLOMARBEIT

**Methodische Ansätze zur Monetarisierung von Lärmbelastung durch
Schienenverkehr: Eine empirische Analyse der Zahlungs- und
Akzeptanzbereitschaft im Rahmen der Nutzen-Kosten-Untersuchung
entlang der Westbahnstrecke am Fallbeispiel St. Valentin**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades Diplom-Ingenieurin
eingereicht an der TU-Wien, Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Julia Schneider

11810315

Betreuer: Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Bardo Hörl
Institut für Raumplanung
Forschungsbereich Verkehrssystemplanung (E280-05)
Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13, 1040 Wien, Österreich

Wien, am 14. September 2025

.....

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit untersucht, wie Schienenverkehrslärm aus Sicht der betroffenen Bevölkerung ökonomisch bewertet werden kann. Sie spannt damit einen Bogen zwischen ökonomischer Theorie und gesellschaftlicher Lebensrealität.

Ziel ist es, ein häufig überhörtes Umweltproblem sichtbar zu machen und zu zeigen, dass Lärm nicht nur messbar, sondern auch ökonomisch bewertbar ist. Die Arbeit schlägt eine Brücke zwischen Technik, Alltagserfahrungen und politischem Gestaltungswillen.

Obwohl die negativen gesundheitlichen und sozialen Auswirkungen von Lärm in zahlreichen Studien nachgewiesen sind, wird insbesondere der durch Schieneninfrastruktur verursachte Lärm in umweltökonomischen Bewertungsverfahren oft vernachlässigt – vor allem dort, wo er direkt an Wohngebieten auftritt.

Anhand einer kontingenten Befragung in der Stadtgemeinde St. Valentin, die an der Westbahnstrecke liegt, werden subjektive Lärmwahrnehmungen sowie die Zahlungs- und Akzeptanzbereitschaften der AnwohnerInnen erfasst. Ziel ist die Ableitung von Kostensätzen, die in zukünftige Nutzen-Kosten-Analysen einfließen können. Die Arbeit leistet damit einen Beitrag zur Sichtbarmachung und ökonomischen Bewertung eines vielfach unterschätzten Umweltproblems und soll eine sozial und ökonomisch fundiertere planerische Entscheidungsgrundlage ermöglichen.

Abstract

This thesis examines how railway noise can be economically evaluated from the perspective of the local population. The purpose is to bridge economic and political theory with social reality.

Although various studies have shown the negative health and social effects that noise has on human beings, its impact is often overlooked in economic evaluations, especially in connection with railway infrastructure in residential areas.

Based on a contingent valuation survey in the municipality of St. Valentin in Lower Austria, located along the Western Railway line, this thesis seeks to capture the perception of railway noise among the affected population through willingness to accept (WTA) and willingness to pay (WTP).

The goal is to determine cost estimates that can be incorporated into future infrastructure projects. In this way, the thesis contributes to making a widely underestimated problem more visible and to enabling a socially more robust planning process.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	II
Abstract	III
Inhaltsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	9
1 Einleitung, Problemstellung, Vorgehen	10
2 Ausbauziele und aktuelle Programme im österreichischen Schienenverkehr	13
2.1 Einordnung der klimatischen und demografischen Rahmenbedingungen	13
2.2 Strategische Planungsinstrumente zum Ausbau der Schienenverkehrsinfrastruktur	14
2.2.1 Der Mobilitätsmasterplan 2030	15
2.2.2 Der Nationale Energie- und Klimaplan 2024	15
2.2.3 Das Transeuropäische Eisenbahnnetz (TEN-Netz)	16
2.2.4 Das Zielnetz 2040	17
2.3 Der Rahmenplan der Österreichischen Bundesbahnen	19
2.4 Wachstum, Zugzahlen, Verkehrsstatistik	21
2.5 Bedeutung des Netzausbaus für den Lärmschutz	23
3 Grundlagen des Schienenverkehrslärms	24
3.1 Grundlagen des Schalls	24
3.1.1 Ausbreitung des Schalls	25
3.2 Spezifika des Schienenverkehrslärms	25
3.3 Lärmschutz	27
3.3.1 Rechtliche Verankerung des Lärmschutzes	27
3.3.2 Schienenlärm: Empfohlene und normative Grenzwerte	29
3.3.3 Lärminfokarte	30
3.3.4 Lärmgrenzwerte bei Widmungsentscheidungen	31
3.3.5 Fahrzeugseitige Lärminderung	32
3.3.6 Lärminderung am Fahrweg	34
3.3.7 Lärminderung am Immissionsort	35
3.3.7.1 Lärmschutzwände	35
3.3.7.1.1 Lärmschutzdämme	36
3.3.7.1.2 Schließen von Baulücken	37
3.3.7.1.3 Verkehrstunnel	38
3.3.8 Objektseitige Lärminderung	38
3.4 Lärmbelastung aus medizinisch-psychologischer Sicht	39
3.4.1 Kommunikation	39
3.4.2 Schlafstörungen	40
3.4.3 Herz-Kreislauf-System	41
3.4.4 Kognitive Funktionen	41
3.4.5 Lärmbelästigung	41

4 Die Bewertung von Schienenlärmissionen in analytischen Bewertungsverfahren	42
4.1 Die analytische Bewertung.....	43
4.2 Skalen aus Ausgangspunkt	44
4.3 Qualitative Bewertungsmethoden	44
4.3.1 Verbal-argumentative Bewertungsansätze	44
4.3.2 Rangordnung	45
4.3.3 Schrittweise Rückerstellung	45
4.3.4 Paarvergleich	45
4.4 Kritik an der Lärmbewertung durch qualitative Bewertungsmethoden	46
4.5 Quantitative Bewertungsmethoden.....	46
4.5.1 Die Wirkungsanalyse	47
4.5.2 Die Nutzen-Kosten-Untersuchung.....	47
4.5.3 Methodenübersicht der Nutzen-Kosten-Untersuchung	49
4.5.4 Der Ablauf der Nutzen-Kosten-Untersuchung	49
4.5.5 Methodenkritik an den formalisierten Entscheidungshilfen	58
4.5.6 Kritik an der Nutzen-Kosten-Untersuchung in Bezug auf Lärmbeurteilung im Schienenverkehr	60
4.6 Weitere Methoden zur Monetarisierung von Schienenverkehrslärm	61
4.6.1 Travel-Cost-Method	61
4.6.2 Hedonic-Pricing-Method.....	62
4.6.3 Contingent-Evaluation-Method.....	62
4.6.3.1 Willingness-to-pay (WTP)	63
4.6.3.2 Willingness-to-accept (WTA).....	64
4.6.4 Vermeidungskostenansatz	64
4.6.5 Schadenskostenansatz	65
4.6.6 Opportunitätskostenansatz	65
5 Situationsspezifische Bewertung von Schienenverkehrslärm	66
5.1 Methodische Ausgangslage und Begründung des Forschungsansatzes	66
5.2 Übergeordneter Untersuchungsraum Westbahnstrecke St. Pölten–Wien.....	67
5.3 Abgegrenzter Untersuchungsraum für die Stichprobe	69
5.3.1 Lage.....	69
5.3.2 Auswahlgründe für die Untersuchung.....	69
5.3.3 Bevölkerungsstatistik	72
5.3.4 Bestehende Lärmschutzmaßnahmen in der Gemeinde	72
5.4 Untersuchungsmethodik: Kontingentbefragung zur Zahlungs- und Akzeptanzbereitschaft	74
5.5 Inhalte und Aufbau der Umfrage	75
6 Deskriptive Ergebnisse: Erste Einblicke in Wahrnehmung und Bewertung von Schienenlärm	77
6.1 Altersverteilung	77
6.2 Gesundheitszustand	80
6.3 Lärmsensibilität	82
6.4 Lärmstörung	83
7 Inferenzstatistische Auswertung: Bivariate und multivariate Ergebnisanalyse	87

7.1 Analyse der Mittelwerte und Cut-off-Werte der bivariaten Analyse.....	88
7.2 Bivariate Regressionsanalyse der Willingness-to-pay.....	89
7.3 Koeffizienteninterpretation der Willingness-to-pay.....	90
7.4 Bivariates Regressionsmodell für die Willingness-to-accept.....	91
7.5 Koeffizienteninterpretation Willingness-to-accept	91
7.6 Explorative Regressionsanalysen auf Individualdatenbasis.....	93
7.7 Das Basismodell	95
7.8 Erweiterung Lärmstörung	97
7.9 Erweiterung: Gesundheit und Schlaf.....	99
7.10 Erweiterung: Gewöhnungseffekt.....	101
7.11 Erweiterung: Wohnform.....	102
7.12 Erweiterung: Sozioökonomische Merkmale	104
7.13 Verteilungseffekte.....	107
8 Modelloptimierung: Akaike-Information-Criterion(AIC)-Methode	110
8.1 Analyse des optimierten Akaike-Information-Criterion-Modells	112
8.2 Reflexion der Modellergebnisse	113
9 Situationsspezifische Kostensätze.....	115
9.1 Gesamtkapital der Umfrage zur Lärmberuhigung in St. Valentin 2025 ..	116
9.2 Gesamtkapital Lärmberuhigung Westbahnstrecke Niederösterreich.....	116
9.3 Validierung der Kostensätze	118
10 Einbettung in das formalisierte Entscheidungsinstrumentarium	123
10.1 Anwendung in bestehenden Bewertungsinstrumenten.....	123
10.2 Empfehlung für die institutionelle Einbindung.....	124
10.3 Grenzen und Hinweise zur Übertragbarkeit.....	124
10.4 Zukunftspotenzial und Weiterentwicklung	125
11 Limitations.....	126
12 Conclusio.....	130
13 Literaturverzeichnis	132
Anhang 1: Ergebnisse Multiple Regressionsanalyse WTA	139
Anhang 2: Fragebogen Kontingentbefragung	143
Eidesstattliche Erklärung.....	146
Einverständniserklärung zur Plagiatsprüfung	147

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG: 1 TEN-KORRIDORE (QUELLE ÖBB INFRA 2025-B: 9)	17
ABBILDUNG 2: VERKEHRSENTWICKLUNG IM ÖBB-NETZ 2006–2024 (EIGENE DARSTELLUNG NACH SCHIENEN-CONTROL 2024: 28)	22
ABBILDUNG 3: SCHALLEMISSION VON SCHIENENFAHRZEUGEN IN ABHÄNGIGKEIT ZUR GESCHWINDIGKEIT (QUELLE KLOEPFER 2006)	26
ABBILDUNG 4: SCHIENENLÄRMKARTIERUNG ÖSTERREICH (QUELLE BML, 2022 ÖSTERREICH)	31
ABBILDUNG 5: SYSTEMSKIZZE LÄRMSCHUTZWAND (QUELLE: BML, 2009)	36
ABBILDUNG 6: SYSTEMSKIZZE LÄRMSCHUTZWAND (QUELLE: BML, 2009)	37
ABBILDUNG 7: PEGELVERÄNDERUNG SCHLIEßEN VON BAULÜCKEN (QUELLE: BML, 2009)	38
ABBILDUNG 8: ZUSAMMENSETZUNG DER NKU (EIGENE DARSTELLUNG NACH CERWENKA ET AL., 2007;194)	50
ABBILDUNG 9: VERGLEICH DES QUANTITATIVEN BEWERTUNGSINSTRUMENTARIUMS NACH CERWENKA ET AL. (2007)	59
ABBILDUNG 10: WESTBAHNSTRECKE ST. PÖLTEN–WIEN (QUELLE OSM 2023)	68
ABBILDUNG 11: LAGE ST. VALENTIN (QUELLE OSM 2024)	69
ABBILDUNG 12: VERLAUF DER WESTBAHNSTRECKE DURCH DIE UNTERSUCHUNGSGEMEINDE ST. VALENTIN	70
ABBILDUNG 13: VERLÄRMUNG DES STADTZENTRUMS VON ST. VALENTIN L_{EQ}	71
ABBILDUNG 14: LÄRMBELASTUNG NACHTZEITRAUM (6–22 UHR) ST. VALENTIN (2024)	72
ABBILDUNG 15: SUMMENKARTE LÄRMBELASTUNG (0–24 UHR) ST. VALENTIN (2024)	72
ABBILDUNG 16: LÄRMSCHUTZWAND ST. VALENTIN (EIGENE AUFNAHME)	73
ABBILDUNG 17: LÄRMSCHUTZWAND ST. VALENTIN (EIGENE AUFNAHME)	73
ABBILDUNG 18: TEILNEHMERINNEN DER LÄRMBEFragung IN ST. VALENTIN, 2025 (EIGENE DARSTELLUNG)	77
ABBILDUNG 19: VERTEILUNG ÜBER DIE ALTERSKLASSEN DER TEILNEHMERINNEN IN ST. VALENTIN, 2025 (EIGENE DARSTELLUNG)	78
ABBILDUNG 20: BESCHÄFTIGUNGSVERHÄLTNISS DER TEILNEHMERINNEN IN ST. VALENTIN, 2025 (EIGENE DARSTELLUNG)	78
ABBILDUNG 21: EINKOMMENSKLASSEN DER TEILNEHMERINNEN IN ST. VALENTIN, 2025 (EIGENE DARSTELLUNG)	79
ABBILDUNG 22: WOHNVERHÄLTNISS DER TEILNEHMERINNEN IN ST. VALENTIN 2025 (EIGENE DARSTELLUNG)	80
ABBILDUNG 23: MITTELWERT DES GESUNDHEITZUSTANDES DER TEILNEHMERINNEN IN ST. VALENTIN, 2025 (EIGENE DARSTELLUNG)	81
ABBILDUNG 24: ERKRANKUNGEN DER TEILNEHMERINNEN IN ST. VALENTIN, 2025 (EIGENE DARSTELLUNG)	81
ABBILDUNG 25: LÄRMSSENSIBILITÄT DER TEILNEHMERINNEN IN ST. VALENTIN, 2025 (EIGENE DARSTELLUNG)	82
ABBILDUNG 26: GEWÖHNUNGSEFFEKT DER TEILNEHMERINNEN IN ST. VALENTIN, 2025 (EIGENE DARSTELLUNG)	83
ABBILDUNG 27: LÄRMSTÖRUNG INDOOR NACH LÄRMKLASSEN DER TEILNEHMERINNEN IN ST. VALENTIN, 2025 (EIGENE DARSTELLUNG)	83
ABBILDUNG 28: LÄRMSTÖRUNG OUTDOOR NACH LÄRMKLASSEN DER TEILNEHMERINNEN IN ST. VALENTIN, 2025 (EIGENE DARSTELLUNG)	84
ABBILDUNG 29: LÄRMSTÖRUNG NACH AKTIVITÄTEN DER TEILNEHMERINNEN IN ST. VALENTIN, 2025 (EIGENE DARSTELLUNG)	85
ABBILDUNG 30: CUT-OFF-WERTE DER WTP	89
ABBILDUNG 31: CUT-OFF-WERTE DER WTA	89
ABBILDUNG 32: EINFACH LINEARE REGRESSION DURCHSCHNITTSWERTE WTP	90
ABBILDUNG 33: VISUALISIERUNG DER WTP-REGRESSIONSGLEICHUNG	91
ABBILDUNG 34: EINFACHE LINEARE REGRESSION DURCHSCHNITTSWERTE WTA	91
ABBILDUNG 35: VISUALISIERUNG DER WTA-REGRESSIONSGLEICHUNG	92

ABBILDUNG 36: ABLAUF EXPLORATIVE ERWEITERUNG (EIGENE DARSTELLUNG)	95
ABBILDUNG 37: BASISMODELL WTP DER REGRESSION AUF INDIVIDUALDATENBASIS	95
ABBILDUNG 38: ERSTE ERWEITERUNG DES WTP-REGRESSIONSMODELLS	97
ABBILDUNG 39: SCATTERPLOT LÄRMBELASTUNG UND LÄRMKLASSE (EIGENE DARSTELLUNG)	98
ABBILDUNG 40: ZWEITE ERWEITERUNG DES WTP-REGRESSIONSMODELLS	100
ABBILDUNG 41: DRITTE ERWEITERUNG DES WTP-REGRESSIONSMODELLS	101
ABBILDUNG 42: VIERTE ERWEITERUNG DES WTP-REGRESSIONSMODELLS	103
ABBILDUNG 43: FÜNFTE ERWEITERUNG DES WTP-REGRESSIONSMODELLS	105
ABBILDUNG 44: EINFLUSS DER PRÄDIKTOREN IM REGRESSIONSMODELL	106
ABBILDUNG 45: PEARSON-KORRELATIONSANALYSE EINKOMMEN UND WTP	108
ABBILDUNG 46: REGRESSIONSANALYSE WTP GESCHLECHT UND EINKOMMEN	109
ABBILDUNG 47: OUTPUT-TABELLE DER AIC-MODELLIERUNG	110
ABBILDUNG 48: REGRESSIONSSCHRITTE ZUR VERMINDERUNG DER AIC-WERTE	111
ABBILDUNG 49: FINALES REGRESSIONSMODELL DER WTP	112

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1:GESETZLICHE LÄRMSCHUTZVORGABEN FÜR SCHIENENFAHRZEUGE (EU, STAND 2025)	33
TABELLE 2: LÄRMKLASSEN DER UNTERSUCHUNG	74
TABELLE 3: ÜBERSICHT WTP UND WTA SUMMIERT NACH LÄRMKLASSEN.	88
TABELLE 4: LÄRMKLASSEN DER REGRESSIONSANALYSE	93
TABELLE 5: STATISTISCHE AUSWERTUNG DER EINKOMMENSKLASSEN	107
TABELLE 6: KOSTENSÄTZE NACH LÄRMKLASSEN (10-DB-SCHRITTE, IN EURO PRO PERSON/A)	115
TABELLE 7: WTP UND WTA PRO JAHR IN ST. VALENTIN 2025	116
TABELLE 8: ANZAHL DER BETROFFENEN IN DEN GEMEINDEN ENTLANG DER WESTBAHNSTRECKE 2025	116
TABELLE 9: BETROFFENE SUMMIERT NACH LÄRMKLASSEN	117
TABELLE 10: THEORETISCHES JÄHRLICHES GESAMTKAPITAL ZUR LÄRMMINDERUNG 2025	117
TABELLE 11: VERGLEICH DER KOSTENSÄTZE DES UMWELTBUNDESAMTES DEUTSCHLAND 2020	118
TABELLE 12: VERGLEICH KOSTENSÄTZE THOMASSEN ET AL.	120
TABELLE 13: VERGLEICH KOSTENSÄTZE HERRY 2002	121

1 Einleitung, Problemstellung, Vorgehen

Lärm macht krank. Diese Erkenntnis ist vielfach wissenschaftlich erforscht und hat ihren festen Platz in den Diskussionen der Umwelt- und Gesundheitspolitik. Nichtsdestoweniger wird Schienenverkehrslärm im Rahmen von monetären Bewertungsverfahren vielfach vernachlässigt. Es mangelt an Kostensätzen, die auf aktuellen und kontextspezifischen Erhebungen beruhen. Stattdessen wird Schienenverkehrslärm oftmals nur nebensächlich behandelt oder mit generalisierten Annahmen untersucht. Seine tatsächliche Belastung für Betroffene wird besonders im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern deutlich unterschätzt, obwohl die Schiene angesichts verkehrspolitischer Ziele stetig an Bedeutung gewinnt.

Die Schiene gilt als das Rückgrat der Mobilitätswende, weshalb der Schienenverkehr in Österreich verkehrspolitisch stark forciert wird. In zahlreichen europäischen und österreichischen Programmen – wie dem Mobilitätsmasterplan 2030, dem ÖBB-Rahmenplan (ÖBB: Österreichische Bundesbahnen) oder dem europäischen TEN-T-Korridornetz (TEN-T: Trans-European Transport Network) – werden der Neu- und der Ausbau des Bahnnetzes vorangetrieben.

Doch mit dieser gewünschten Verkehrswende geht auch eine wachsende Belastung für die AnrainerInnen entlang von Bahnstrecken einher. Besonders der Schienenverkehrslärm steht dabei im Fokus, denn aufgrund der Schallcharakteristik werden Züge besonders nachts als störend empfunden. Lärm ist aber nicht nur eine Frage der subjektiven Lärmstörung. Zahlreiche internationale Studien belegen die weitreichenden Folgen für den Schlaf, das Herz-Kreislauf-System und die Psyche.

Und dennoch bleibt die Bewertung im Rahmen der klassischen Nutzen-Kosten-Analyse (NKA), wie sie in Österreich zur Bewertung von Infrastrukturprojekten häufig herangezogen wird, unzureichend. Es ist gang und gäbe, dass Lärm meist nur anhand der verlärmten Fläche oder der Gesamtzahl an betroffenen EinwohnerInnen berücksichtigt wird. Das tatsächliche Ausmaß der Lärmstörung, also wie stark sich Menschen im Alltag durch Verkehrslärm beeinträchtigt fühlen, findet keine Beachtung. Auch gesundheitliche Langzeitfolgen und psychologische Belastungen fließen nicht differenziert in die Bewertung ein.

Hier setzt die vorliegende Arbeit an: Es wird untersucht, wie die Lärmbelastung Einfluss auf die Lebensqualität nimmt und wie viel AnrainerInnen eine Verbesserung der Lärmsituation wert wäre – oder umgekehrt: welche Kompensation stattfinden müsste, um eine Verschlechterung zu akzeptieren. Diese subjektive Bewertungsperspektive wurde im Rahmen einer Kontingentbefragung für die Untersuchungsgemeinde St. Valentin erhoben und wird in Kostensätze umgewandelt. Ziel ist eine Integration der individuellen Betroffenheit in die Infrastrukturplanung jenseits von technischen Messgrößen.

Es soll somit im Gegensatz zu standardisierten und modellgestützten Ansätzen im Rahmen der gegenständlichen Arbeit ein praxisrelevanter und innovativer Beitrag geleistet werden, um lokalspezifische Kostensätze zu ermitteln, die eine gezielte Anwendung im österreichischen Bewertungsinstrumentarium finden können.

Außerdem werden dadurch neue Perspektiven für eine sozial differenzierte Monetarisierung von Lärmwirkungen eröffnet, was die Grundlage für eine evidenzbasierte Verkehrspolitik darstellt.

Darüber hinaus wird mit dieser Arbeit die Basis für ein österreichweit einheitliches Erhebungsdesign gelegt, die es ermöglicht, durch künftige Erhebungen kontinuierlich erweitert und aktualisiert zu werden. Es kann nicht nur in zukünftigen Studien auf diese Datensätze zurückgegriffen werden, sondern es wird somit auch eine Standardisierung sowie eine transparente Entscheidungsfindung unterstützt.

Zur Beantwortung dieser Fragestellung wird in mehreren Schritten vorgegangen.

Zunächst wird im theoretischen Teil auf zentrale Ausbauprogramme und die infrastrukturellen Rahmenbedingungen eingegangen, welche die Problemstellung unterstreichen. Danach werden die schalltechnischen Grundlagen des Lärms, die rechtlichen Rahmenbedingungen und die gesundheitlichen Auswirkungen auf den menschlichen Körper untersucht. Diese Analyse basiert auf einer umfassenden Literaturrecherche und verweist auf zentrale Erkenntnisse der Lärmforschung, die aufzeigen, wie tiefgreifend die Auswirkungen von Schienenverkehrslärm auf den Menschen sind. Darauf folgt die Auseinandersetzung mit Bewertungsverfahren, mit denen dargelegt wird, wie eine ökonomische Evaluierung von Lärm stattfinden kann. Neben dem klassischen Ansatz der Nutzen-Kosten-Untersuchung (NKU) wird auch auf

alternative Bewertungsansätze eingegangen, um zu zeigen, wie eine Integration von Lärmwirkungen stattfinden kann.

Dieser theoretische Rahmen bildet die Basis für den methodischen Teil, nämlich die Kontingentbefragung, die in der Untersuchungsgemeinde durchgeführt wurde. Ziel ist es, auf Basis dieser Umfrage realitätsnähere Kostensätze für den Schienenlärm zu ermitteln und damit einen konkreten Beitrag zur Weiterentwicklung der Bewertungsmethodik zu leisten.

Zur Lösung dieser Problemstellung werden folgende konkrete Forschungsfragen untersucht:

- Wie hoch ist die Zahlungsbereitschaft (Willingness-to-pay, WTP) der betroffenen Personen in der Untersuchungsgemeinde für eine Reduktion der Lärmbelastung und die Akzeptanzbereitschaft (Willingness-to-accept, WTA) für eine wahrgenommene Verdopplung der Lärmemissionen? Inwiefern lassen sich diese Werte auf die gesamte Westbahnstrecke übertragen, und wie unterscheiden sie sich von bereits bestehenden Kostensätzen aus der Forschung bzw. Studien zu anderen Schieneninfrastrukturprojekten?
- Welche Zusammenhänge lassen sich in Regressionsmodellen zwischen individuellen Faktoren wie Gesundheit, Schlafqualität und Lärmsensibilität sowie der angegebenen Zahlungsbereitschaft (WTP) bzw. Akzeptanzbereitschaft (WTA) identifizieren?
- Wie können die erhobenen Ergebnisse in das in Österreich angewendete Bewertungsinstrumentarium integriert werden?

2 Ausbauziele und aktuelle Programme im österreichischen Schienenverkehr

In diesem Kapitel wird ein kurzer Überblick über bestehende Pläne und Programme gegeben, die Einfluss auf den Ausbau der Schienenverkehrsinfrastruktur innerhalb der EU und in Österreich haben. Sie werden den Aus- und den Neubau in Zukunft maßgeblich lenken. Dies wiederum unterstreicht auch die Problemstellung der Arbeit, denn eine Zunahme der frequentierten Zugstrecken führt zwangsläufig zu einer erhöhten Lärmbelastung für die AnrainerInnen.

2.1 Einordnung der klimatischen und demografischen Rahmenbedingungen

Die Bevölkerung Österreichs ist in den letzten 100 Jahren um 40 % gewachsen. Dieser demografische Wandel ist auf eine erhöhte Lebenserwartung zurückzuführen. Prognosen der Statistik Austria besagen, dass sich dieser Trend auch weiterhin fortsetzen wird. Dies hat aus gesellschaftlicher Sicht weitreichende Folgen und bedeutet gerade in Bezug auf die Verkehrsinfrastruktur, dass eine weitere Intensivierung der Nutzung zu erwarten ist (vgl. Leth et al, 2023: 9).

Gleichzeitig zeigt die Emissionsstatistik des österreichischen Umweltbundesamtes, dass die Emissionen seit dem Jahr 1990 in den Bereichen Gebäude, Abfallwirtschaft, Energie und Landwirtschaft deutlich abgenommen haben. Der Bereich, der sich am stärksten verschlechtert hat, also die größte Zunahme an CO₂-Emissionen aufzeigt, ist der Verkehrssektor (vgl. Umweltbundesamt Österreich, o.D.).

Der Verkehrspolitik kommt die bedeutende Rolle zu, hier lenkend einzugreifen, um eine Mobilitätswende zu ermöglichen.

Auf europäischer Ebene wird versucht, mit ambitionierten Programmen auf die klimatischen Veränderungen zu reagieren. Der European Green Deal (vgl. Europäische Kommission 2020) und die Sustainable and Smart Mobility Strategy (vgl. Europäische Kommission 2021) formulieren neben den anderen Verkehrsträgern auch folgende Zielsetzungen für den Schienenverkehr: Bis 2050 soll der Schienenverkehrsanteil

verdoppelt und der Ausbau des europäischen Hochgeschwindigkeitsbahnnetzes unter Bedachtnahme der harmonisierten Standards weiterhin forciert werden.

Auf nationaler Ebene erscheint im Mobilitätsmasterplan 2030 ein klares Bekenntnis zur Verlagerung des Verkehrs auf die Schiene. Ziel ist es, den Anteil des öffentlichen Verkehrs (ÖV) von 16 % auf 23 % zu erhöhen (vgl. BMK, o. D.-a) (vgl. BMK, 2021).

Hier liegt auch die Problemstellung, denn durch die demografischen und klimatischen Entwicklungen wird der Bahnverkehr in Zukunft noch stärker verkehrspolitisch forciert. Somit ist eine intensivierete Nutzung und dadurch auch ein erhöhtes Lärmaufkommen unumgänglich.

Es stellt sich daher die Frage, wie diese zusätzliche Lärmbelastung beim Neu- und Ausbau von Schienenverkehrsinfrastruktur frühzeitig mitgedacht werden kann.

2.2 Strategische Planungsinstrumente zum Ausbau der Schienenverkehrsinfrastruktur

Der Ausbau des österreichischen Schienenverkehrssystems erfolgt durch eine Reihe ineinandergreifender strategischer Planungsinstrumente, deren Inhalte im Folgenden kurz vorgestellt werden.

Der Mobilitätsmasterplan 2030 (vgl. BMK, 2021) bildet die Gesamtsituation aller Verkehrsträger in Österreich ab. Der Nationale Energie- und Klimaplan (NEKP) (vgl. BMK, 2024) ist ein klima- und energiepolitisches Instrument der EU, das unter anderem auch den Verkehr behandelt. Das Zielnetz 2040 (vgl. ÖBB Infrastruktur AG 2024-a), der ÖBB-Rahmenplan (vgl. ÖBB Infrastruktur AG 2024-b) und das Programm zum europäischen Trans-European-Network(TEN)-Netz (vgl. Verordnung 2024/1679) beinhalten Vorgaben, die spezifisch für den Schienenverkehr sind und den Ausbau, den Neubau und die Instandhaltung des Bahnnetzes auf übergeordneter Ebene und durch konkrete Projekte steuern.

All diese Programme zeigen, dass der Ausbau der Schienenverkehrsinfrastruktur politisch und infrastrukturell eines der zentralen Ziele im Verkehrsbereich ist, sowohl in Österreich als auch auf gesamteuropäischer Ebene. Die zunehmende infrastrukturelle Nutzung

bedarf einer genauen und vorausschauenden Planung, um Nutzungskonflikten vorzubeugen und dennoch klimatische Vorgaben erfüllen zu können.

2.2.1 Der Mobilitätsmasterplan 2030

Der Mobilitätsmasterplan 2030 wurde im Jahr 2021 vom Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) veröffentlicht. Er ist grundsätzlich nicht rechtlich bindend, sondern fungiert als Steuerungselement, das jedoch indirekt durch die Verknüpfung von EU-Vorgaben mit EU-Zielen und dem NEKP 2024 rechtlich binden werden kann. Die österreichische Bundesregierung hat sich unter Bedachtnahme der Klimaziele vorgenommen, bis 2040 Klimaneutralität zu erreichen. Im Mobilitätsmasterplan 2030 wird aufgezeigt, welche Maßnahmen im gesamten Verkehrssektor notwendig sind, um dieses Vorhaben zu umzusetzen (vgl. BMK, 2021:11f.)

Der Mobilitätsmasterplan verfolgt einen zielorientierter Planungsansatz. Mittels Backcasting wurde von den ExpertInnen ein Reduktionspfad berechnet, der das CO₂-Budget Österreichs, technische Adaptionen zugunsten des Klimas sowie den Ausbau der erneuerbaren Energieträger und Elektrifizierungsstrategien berücksichtigt.

Es wird beim Betrachten des Modal Split deutlich, dass neben Maßnahmen zur Ökologisierung des ÖV vor allem eine deutliche Reduktion der Nutzung von Lastkraftwagen und Personenkraftwagen notwendig ist (vgl. BMK, 2021: 8ff.).

In erster Linie soll der Verkehr daher vermieden werden. Konkret wird eine Reduktion der Personenverkehrsleistung von 13,8 auf 12,3 km pro Tag vorgesehen. Falls dies nicht möglich ist, soll er verlagert werden; so soll beispielsweise vom motorisierten Individualverkehr auf den ÖV umgestiegen werden. Der Modal Split soll zugunsten der Schiene transformiert und der Radverkehrsanteil auf 13 % gehoben werden. In dritter Instanz sollen die Verkehrsträger verbessert und nachhaltiger gestaltet werden (vgl. Bundeskanzleramt Österreich, 2020: 85).

2.2.2 Der Nationale Energie- und Klimaplan 2024

Der NEKP ist ein Strategiepapier, mit dem versucht wird, die Klimaziele Österreichs bis zum Jahr 2030 und darüber hinaus zu erreichen (vgl. BMK, 2024: 8). Er wurde 2019 von

der Bundesregierung beschlossen und im Jahr 2024 wurde eine aktualisierte Version verabschiedet.

Der NEKP selbst ist nicht rechtlich bindend. Er setzt inhaltlich auf mehreren Ebenen an. Im Folgenden wird ein Auszug an Maßnahmen aus dem Unterpunkt ‚Verkehr‘ dargestellt, die mitunter zu einer Zielerreichung beitragen sollen:

- „Sukzessiver Ausbau der überregionalen Schieneninfrastruktur anhand der Beispiele viergleisiger Westbahnausbau (Wien bis Innsbruck), der Südbahnausbau (Wien – Graz – Klagenfurt, mit den Tunnelprojekten Semmering und Koralm) sowie der Brennerbasistunnel [sic];“
- „Ausbau des nationalen Schienennetzes und Beseitigung europäischer ‚Flaschenhälse‘ entlang der TEN-Achsen;
- Umsetzung europäischer Standards, die einen effizienteren grenzüberschreitenden Betrieb sicherstellen;
- In allen Mitgliedsländern: Rahmenbedingungen für einen Modal Shift auf die Schiene und insbesondere eine dauerhaft tragfähige Finanzierung des Eisenbahnsystems;
- Eine weitere Stärkung der Nachtzugverkehre z.B. durch Ausweitung der steuerlichen Begünstigungen und Befreiungen von internationalen Zugverkehren; darüber hinaus sind attraktive Hochleistungsbahnverbindungen zwischen den Hauptstädten bzw. wesentlichen Zentren der Europäischen Union zu schaffen.“ (Leth et al. 2023: 31).

2.2.3 Das Transeuropäische Eisenbahnnetz (TEN-Netz)

Anfang der 1980er Jahre wurde von der Europäischen Kommission beschlossen, das Hochgeschwindigkeitszugnetz in Europa zu harmonisieren (vgl. Freystein et al., 2015: S. 90 ff.).

Die aktuell gültige TEN-T-Netz-Verordnung (EU) 2024/1679 wurde vom Europäischen Parlament und vom Europäischen Rat der EU verabschiedet und trat am 18. Juli 2024 in Kraft. Sie ist für alle Mitgliedstaaten der Union bindend.

Besonders aufgrund der Lage Österreichs im Herzen Europas ist ein kosten- und zeiteffizientes Schienennetz, das durch diese Harmonisierung von technischen Standards

entsteht, von großer Bedeutung. Vier von insgesamt 13 TEN-Kernnetzkorridoren und fünf der elf Schienengüterverkehrskorridore verlaufen durch das Staatsgebiet (siehe Abbildung 1).

Das TEN-Netz ist in drei Ebenen unterteilt, nämlich in das Kernnetz, das bis 2030, das erweiterte Kernnetz, das bis 2040, und das Gesamtnetz, das bis 2050 umgesetzt werden soll. Die rechtliche Grundlage für das TEN-Verkehrsnetz liegt in der Verordnung.

Die Anforderungen, die ein interoperables Schienensystem erfüllen muss, sind die vollständige Elektrifizierung, die Implementierung des Europäischen Zugsicherungs- und Managementsystems (ERTMS) und die Umsetzung der Mindestanforderungen in Bezug auf die Achsenlast, die mögliche Streckengeschwindigkeit und die Güterverkehrskapazitäten sowie der technischen Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI) (vgl. ÖBB Infrastruktur AG, 2024: 13 f.).



Abbildung: 1 TEN-Korridore (Quelle ÖBB Infrastruktur 2025-b: 9)

2.2.4 Das Zielnetz 2040

Das Zielnetz 2040 wird als das zentrale verkehrspolitische Leitdokument im Schienenverkehr angesehen, das durch die jährlich aktualisierten Rahmenpläne in verpflichtende Handlungspläne umgesetzt wird. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um eine Leitstrategie gemäß § 55a Eisenbahngesetz 1957, die laut europäischer

Richtlinie, Artikel 8 Absatz 1, von allen Mitgliedstaaten erstellt werden muss (vgl. Richtlinie 2012/34/EU vom 14.12.2012).

Darin werden konkrete Projekte und ihre Zeitpläne sowie ihre Budgetmittel festgelegt, die für den Aus- und den Neubau des Bahnnetztes vorgesehen sind.

Dieses jährliche Infrastrukturbudget wird vom Parlament festgelegt (vgl. BMK, 2024: 29).

Dabei arbeiten ExpertInnen des BMK, der Österreichischen Bundesbahn Infrastruktur Agentur (ÖBB INFRA AG) und der Schienenverkehrsinfrastruktur-Dienstleistungsgesellschaft (SCHIG mbh) zusammen. In Abstimmung mit StakeholderInnen wurden im aktuell gültigen Dokument über 100 mögliche Infrastrukturprojekte auf ihre Wirksamkeit hin analysiert und Projekte im Umfang von 26 Milliarden Euro in das Zielnetz aufgenommen. Jenes Zielnetz ist die Grundlage der vorgesehenen Entwicklungen über einen Zeitraum von 20 Jahren (vgl. ÖBB Infrastruktur AG, 2024-a: 6-9).

In Form von Modulen werden Neu- und Ausbauvorhaben identifiziert und bewertet. Sie können ein Bündel aus Einzelprojekten darstellen oder im räumlichen und funktionalen Zusammenhang zueinander stehen. Durch die Bewertung der Module wird festgestellt, ob, wann und unter Einsatz welcher Mittel eine Umsetzung machbar und sinnvoll ist. Eine bloße Nennung im Zielnetz ist jedoch noch kein Präjudiz. Denn eine tatsächliche Übernahme in den ÖBB-Rahmenplan und somit auch eine Bekennung zur Umsetzung sind nicht verpflichtend. Bei der Auswahl und Bewertung der Projekte in den einzelnen Modulen kommt die NKA zum Einsatz. Ferner werden, um eine Einbettung in das Gesamtnetz mitzudenken, auch Fahrplankonzepte und infrastrukturelle Rahmenbedingungen berücksichtigt.

Ein Schwerpunkt ist die internationale Eingliederung Österreichs in das europäische TEN-Netz. Konkret wird darin beispielsweise der Bau neuer Direktzugstrecken geprüft, mit dem Ziel, eine schnelle Anbindung an europäische Großstädte wie Paris, Zürich und Budapest zu ermöglichen. Ebenso wird im Süden und Osten, nicht zuletzt durch den Semmering- und den Brennerbasistunnel, die Verbindung zu den Nachbarstaaten gestärkt (vgl. ÖBB Infrastruktur AG, 2024-a: 13f.).

Die Verbindungen zwischen den Landeshauptstädten im nationalen Fernverkehr sollen ebenso verbessert werden. Im halbstündlichen Takt sollen Graz und Salzburg miteinander verbunden werden. Außerdem soll der Ausbau der Weststrecke Wien–Salzburg–Innsbruck–Feldkirch weiter vorangetrieben werden und nicht zuletzt soll die Strecke Graz–Wien durch weitere Investitionen verbessert werden.

Auf Länderebene soll gemeinsam mit dem Bund der Ausbau der S-Bahn forciert werden. Aber auch in den Ballungsräumen rund um die jeweiligen Landeshauptstädte sollen Neu- und Ausbauten zu einem Entwicklungsschub im Schienenverkehr führen und Taktverdichtungen zu einer deutlichen Attraktivierung beitragen (vgl. ÖBB Infrastruktur AG, 2024-a: 6).

Im Zielnetz 2040 werden insgesamt 67 Projekte in 25 Modulen gebündelt.

2.3 Der Rahmenplan der Österreichischen Bundesbahnen

Im ÖBB-Rahmenplan werden für den bereits genannten sechsjährigen Zeitraum geplante Projekte vorgeschlagen und ihre voraussichtlichen Kosten festgelegt. Sie sind der inhaltliche Teil, der den Zuschussverträgen unterliegt. Jährlich wird dieser Rahmenplan von den ÖBB ergänzt und an die nächste sechsjährige Periode angepasst. Die Grundlage für die Erstellung ist das sogenannte systemadäquate Zielnetz aus dem Zielnetz 2040 (vgl. ÖBB Infrastruktur AG 2024-b).

Bei der Ausarbeitung des Rahmenplans durch die ÖBB werden relevante strategische Dokumente und Gesetzesvorschriften beachtet, wie beispielsweise die europäische TEN-V-Leitlinie, der NEKP sowie Mobilitätsstrategien und Vorgaben aus dem jeweiligen aktuellen Regierungsprogramm. Das Dokument wird vom Parlament verabschiedet und somit rechtskräftig.

Die Projektfinanzierungen erfolgen über Annuitätenzuschüsse der ÖBB INFRA AG am Kapitalmarkt. Dies hat den Grund, dass die Fördergelder nicht sofort und in Gänze ausgezahlt werden müssen, sondern über jährliche Raten, die im Einklang mit der vorgesehenen Nutzungsdauer des jeweiligen Projekts stehen (in der Regel 30 bis 50 Jahre), finanziert werden können. Dafür wird vom Nettoinvestitionsvolumen eine vorausvalorisierte Preissteigerung von 2,5 % per annum bereits einberechnet, um Konjunkturzyklen miteinzuplanen. Außerdem ist vertraglich vorgeschrieben, dass im jährlichen Abstand ein Bericht, der als Effizienzsteigerungsprogramm betitelt wird,

vorgelegt werden muss. Dieser beinhaltet das Kostencontrolling sowie einen Rationalisierungs- und Einsparungsplan und eine halbjährliche Vorscheurechnung.

Daher ist eine genaue ökonomische Abschätzung der Kostensummen im Rahmenplan unabdinglich. Der Kostenstabilität wird, weil sie keineswegs über alle Projekte konstant ist, große Bedeutung geschenkt und sie wird in Form von Abstufungen eingeschätzt (vgl. ÖBB Infrastruktur AG 2025-a) (vgl. ÖBB Infrastruktur AG 2025-b).

Der aktuell gültige Rahmenplan für die Periode 2024–2029 hat im Vergleich zum Vorgängerdokument ein deutlich erhöhtes Fördervolumen. Dieses wurde von 19 Milliarden Euro auf 21,1 Milliarden Euro erhöht – wovon Projekte mit einem Volumen von 4 Milliarden Euro (zu aktuellen Preisen) direkt dem Fachentwurf Zielnetz 2040 entspringen (vgl. ÖBB Infrastruktur AG, 2024a).

Hauptgründe für diese gesteigerten Investitionen sind Preissteigerungen von Energie- und Kraftstoffpreisen, geopolitische Einflüsse und Veränderungen in den europäischen Lieferketten; aber auch der Hintergedanke einer grünen Mobilitätswende ist ein zentraler Faktor für das erhöhte Fördervolumen. Ob diese prozentuale Steigerung von rund 4 % ausreichend ist, um die ambitionierten Klimaziele zu erreichen, sei jedoch dahingestellt. Fest steht, dass Österreich mit seinen Pro-Kopf-Ausgaben im Schienenverkehr von 336 Euro europaweit nach Luxemburg und der Schweiz an dritter Stelle steht (vgl. Allianz pro Schiene, 2024) (vgl. ORF, 2023).

Einer der größten Kostenpunkte im Rahmenplan ist die Instandhaltung mit 780 Millionen Euro Fördervolumen. Dies ist gerade in Anbetracht dessen, dass das österreichische Bahnsystem zu den verlässlichsten in Europa zählt, von großer Bedeutung. Media1 wird Österreich als das ‚Bahnland Nummer eins‘ betitelt. Die Kundenzufriedenheit nach Schulnoten wurde im Jahr 2022 mit einer Note von 1,8 bewertet und die Fahrgastzahlen sind nach der Coronapandemie auf neue Spitzenwerte angestiegen. Dabei waren 94,5 % der Züge im Personennahverkehr im Jahr 2024 pünktlich. Diese Faktoren spielen eine bedeutende Rolle in der Nutzungshäufigkeit, wodurch die durchschnittliche jährliche Zugfahrleistung der ÖsterreicherInnen 832 km beträgt, womit sie europaweit an erster Stelle liegen (vgl. BMK 2024-c) (vgl. Schienen-Control 2023a: 95f.).

Im Zuge der Erstellung des Rahmenplans wird der Bestand mit den Verkehrsprognosen abgeglichen, um auszumachen, in welchen Gebieten die Infrastruktur aktuell mäßig

(< 80 %), gut (> 80 % bis 100 %) und völlig (> 100 %) ausgelastet ist. Dadurch wird deutlich, welche Bahnverbindungen durch Ausbauten eine Kapazitätserhöhung erfahren sollten, um die Nachfrage erfüllen zu können. Durch die im Rahmenplan festgelegten Projekte wird eine deutliche Verbesserung der Auslastungen im österreichischen Schienensystem erwartet.

Auch die laufenden Kosten von Großprojekten, die sich in der Bauphase befinden und deren Errichtung über Jahrzehnte hinweg dauern kann, wie beispielsweise vom Brenner Basistunnel, vom Semmering Basistunnel und von der Koralmbahn, werden im Rahmenplan abgebildet. Abgesehen von diesen allbekannten und auch medial viel diskutierten Projekten werden ebenso andere Neubauprojekte laufend evaluiert. Gemäß dem aktuellen Rahmenplan wird besonders der Gleisausbau forciert.

Für sichere und effiziente Abläufe im Bahnwesen ist ferner die Digitalisierung ein Schlüsselfaktor. Die Digitalisierungsstrategien verhelfen langfristig dazu, die Kosten innerhalb des Systems Schiene zu senken und eine reibungslose Betriebsführung sowie wenige Konflikte in der Betriebsführung zu garantieren (vgl. BMK, 2024-a: 8).

Die ÖBB-Infrastruktur AG prognostiziert weiters einen Anstieg des Strombedarfs um 25 % bis 30 % bis zum Jahr 2030. Grund dafür sind die die zuvor erwähnten steigenden Fahrgastzahlen (vgl. Ungerboeck, 2023).

Die Elektrifizierung von Bahnstrecken trägt zusätzlich dazu bei, die CO₂-Ausstöße zu verringern. Bis 2030 sollen über 600 Gleiskilometer mit Strom betrieben werden und sowohl strecken- als auch fahrzeugseitig sollen die Zugreisen gänzlich dekarbonisiert werden (vgl. ÖBB Infrastruktur AG, 2023).

2.4 Wachstum, Zugzahlen, Verkehrsstatistik

Aktuell umfasst das österreichische Eisenbahnnetzwerk (ohne Straßen und U-Bahnen) rund 5700 km. Durch den zwei- bzw. oftmals auch mehrgleisigen Ausbau der Trassen ergibt sich daraus eine Gesamtlänge von ca. 9900 Gleiskilometern. Diese werden durch 1070 Bahnhöfe und Haltestellen für die NutzerInnen zugänglich. Allein im Jahr 2022 wurden in Österreich von den Fahrgästen 164 Millionen Zugkilometer zurückgelegt. Dieser Wert nimmt im Übrigen zu, was die wachsende Bedeutung des Schienenverkehrs

und seine Rolle als Rückgrat der nachhaltigen Mobilität unterstreicht (vgl. ÖBB Infra-AG, 2024: 17) (vgl. Schienen-Control, 2023: 84).

Die Gesamtlänge des Schienennetzes in Österreich lag im Jahr 2018 bei 5650 km, davon waren 4008 km elektrifiziert. Bis zum Jahr 2024 stieg die Schienenbaulänge auf 5686 km an, während auch die elektrifizierte Streckenlänge auf 4185 km erweitert wurde. Dies entspricht einer Erhöhung der elektrifizierten Strecken um etwa 4,4 % innerhalb dieses Zeitraums (vgl. ÖBB Infrastruktur AG, 2018:7) (vgl. ÖBB Infrastruktur AG, 2025: 5).

Im Jahr 2024 waren pro Tag durchschnittlich 7354 Züge unterwegs, was im Vergleich zum Vorjahr einen Anstieg um 4,7 % bedeutet. Den größten Anteil daran hatte der Nahverkehr, der etwa zwei Drittel des Gesamtvolumens ausmachte. Auch im Fernverkehr ist ein Zuwachs von 6,3 % zu beobachten. Der Güterverkehr blieb hingegen mit durchschnittlich 1008 Zügen auf hohem Niveau nahezu konstant (vgl. ÖBB Infrastruktur AG, 2025: 5).

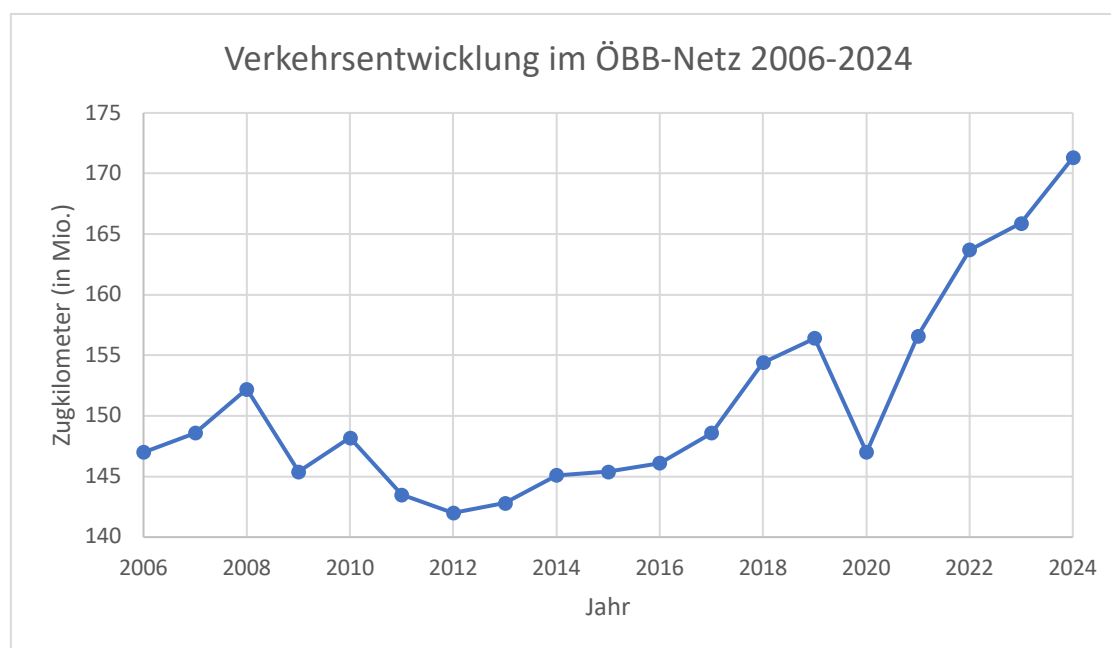


Abbildung 2: Verkehrsentwicklung im ÖBB-Netz 2006–2024 (Eigene Darstellung nach Schienen-Control 2024: 28)

Den erfassten Daten der Schienen-Control im Jahresbericht 2024 ist zu entnehmen, dass die gefahrenen Zugkilometer seit dem Jahr 2006 deutlich zugenommen haben. Sie sind

in diesem Zeitraum von 147 Millionen auf 171,3 Millionen Zugkilometer angestiegen (vgl. Schienen-Control, 2024:28).

Anhand dieser Zahlen wird deutlich, dass die Auslastung des Schienensystems nicht nur in den verkehrspolitischen Rahmenprogrammen forciert wird, sondern auch tatsächlich in der Statistik ein Zuwachs zu erkennen ist. Auch hier wird somit erneut unterstrichen, dass es notwendig ist, sich mit den Auswirkungen des Schienenverkehrs zu befassen.

2.5 Bedeutung des Netzausbaus für den Lärmschutz

Diese Entwicklungen werden sich auch in den Folgejahren fortsetzen. Allein durch das Zielnetz 2040 wird ein Investitionsvolumen von 26 Milliarden Euro festgelegt. Die Schwerpunkte liegen im Ausbau der Westachse, im Süden im Ausbau der Koralmbahn und des Semmeringbasistunnels und auf der Stärkung urbaner S-Bahn-Systeme. In absoluten Zahlen bedeutet dies einen Ausbau von insgesamt rund 300 Gleiskilometern, wobei angemerkt werden muss, dass sich dieser Wert bloß durch die Addierung der genannten Projekte aus dem Rahmenplan 2040 ergibt. Der genaue Wert liegt jedoch deutlich höher, da weniger prioritäre Projekte nicht genannt werden.

Die Finanzierung dieser Vorhaben ist im § 42 des Eisenbahngesetzes geregelt und erfolgt über mehrjährige Zuschussvereinbarungen zwischen dem Verkehrs- und dem Finanzministerium sowie der ÖBB-Infrastruktur AG (vgl. § 42 Abs. 1 u. 3 BBG, BGBl I Nr. 138/2003).

Durch den Netzausbau steigen nicht nur die Kapazitäten des Verkehrsträgers, auch die potenzielle Lärmbelastung nimmt zu. Hier ist es vonnöten, bereits präventiv und systematisch einen umfassenden Lärmschutz in die Planungen miteinzubeziehen und bei der Überprüfung von Varianten Eingang finden zu lassen. Dies führt auch zu einer erhöhten gesellschaftlichen Legitimität sowie zu mehr Akzeptanz in der Lokalbevölkerung und kann beeinflussen, in welchem Maß die Bahn genutzt wird und wie effizient Klimaschutz stattfinden kann.

3 Grundlagen des Schienenverkehrslärms

Das hohe Verkehrsaufkommen durch den Personen- und Gütertransport bringt unausweichlich auch ein hohes Lärmaufkommen mit sich. Es stellt sich die Frage, wie aus gesellschaftlicher Sicht eine Vereinbarung eines akzeptablen Maßes an Lärmbelastung mit den vorhandenen Mobilitätsbedürfnissen stattfinden kann (vgl. Klopfer et al, 2006: 1 f.).

3.1 Grundlagen des Schalls

Schall ist ein physikalischer Vorgang, der durch Druckschwankungen entsteht. Eine einfache Aktion wie beispielsweise das Schnippen von Fingern sorgt dafür, dass der Gleichgewichtszustand, der in einem Luftraum vorherrscht, gestört wird. Es entsteht ein Überdruck, der sich wellenförmig im Raum ausbreitet. Unterschieden wird zwischen Luft- und Körperschall, weil sich Schall in festen Körpern, aber auch in Gasen und Flüssigkeiten ausbreiten kann.

Durch das Zusammenstoßen der Luftteilchen entstehen Verdichtungen und Verdünnungen. Die Schallgeschwindigkeit in der Luft (bei Zimmertemperatur) beträgt 340 m/s. Das menschliche Ohr kann in einem Frequenzbereich zwischen 16 Hz bis 16 000 Hz Schall wahrnehmen. Frequenzen unterhalb dieses Bereichs werden als Infraschall und Frequenzen oberhalb als Ultraschall bezeichnet. Schallwellen in der Luft bestehen meist aus einem Grundton und mehreren Oberwellen (vgl. BML, 2009: 25).

Im Verkehrsgeschehen wird in Bezug auf Lärm zwischen Punktquellen und Linienquellen unterschieden. Auf dicht befahrenen Straßen mit großem Verkehrsaufkommen begegnen sich die Kraftfahrzeuge in so geringem Abstand, dass das Lärmgeschehen als kontinuierlich wahrgenommen wird. An Flughäfen oder entlang von Schienenverkehrsinfrastruktur wird aufgrund der erheblichen zeitlichen Abstände zwischen den einzelnen Verkehrsträgern von Punktquellen gesprochen. Sie sind akustisch eindeutig differenzierbar, da die Schallquellen am Fahrzeug oftmals als besonders laut wahrgenommen werden. Diese intermittierenden Schallpegel sind besonders störend, wenn zusätzlich zu dem breiten Grundspektrum Geräusche von Motoren, Getrieben und Lüftern hinzukommen, die besonders tieffrequente und somit dumpfe Emissionen bis 100 Hz erzeugen. Diese können über weite Distanzen wahrgenommen werden (Klopfer et al, 2006: 179 f.).

3.1.1 Ausbreitung des Schalls

Die Feuchtigkeit, die Temperatur, die Bodenbeschaffenheit und der Wind haben einen erheblichen Einfluss auf die Transmission des Schalls. Die Ausbreitung von Punktquellen ist kugelförmig, was bei Verdopplung des Abstandes eine Reduktion um 6 dB bei ungestörter Ausbreitung bedeutet. Im Kontext der Akustik beschreibt der Dezibelwert, wie viel stärker oder schwächer ein Schall im Vergleich zu einem Referenzpegel ist – meist bezogen auf den geringsten für das menschliche Ohr hörbaren Schalldruck (20 μ Pa). Bei linienförmigen Emissionsquellen erfolgt die Ausbreitung zylinderförmig und nimmt bei Verdopplung des Abstandes um 3 dB ab. In der Praxis kann sich der Schall jedoch nicht störungsfrei ausbreiten, sondern wird durch Temperaturschichtungen, Bodenerhebungen oder physische Hindernisse wie Bauwerke oder Bäume reflektiert. Für den Menschen ist eine Pegeländerung von 1 dB kaum wahrnehmbar, 3 dB sind deutlich wahrnehmbar und 10 dB werden als eine Verdoppelung des Lärms wahrgenommen (vgl. BML, 2009: 24) (Kloepfer et al, 2006: 180).

3.2 Spezifika des Schienenverkehrslärms

Der Schienenlärm weist im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern des motorisierten Individualverkehrs eine geringere Umweltbelastung auf. Dennoch bringt er eine nicht zu unterschätzende Lärmbelastung mit sich. Dieser Tatsache wird in den Strategiepapieren jedoch nur wenig bis keine Aufmerksamkeit geschenkt. In der Strategic Rails Agenda aus dem Jahr 2019 wird das Problem kurz angeschnitten und es wird auf eine Weiterentwicklung der Technologien zur Lärmverminderung und -simulation hingewiesen (vgl. ERRAC, 2019: 24).

„Schienenverkehrslärmentstehung ist abhängig von den folgenden Faktoren:

- Traktionsart
- Verkehrsaufkommen sowie Art und Gewicht des Rollmaterials
- Fahrgeschwindigkeit
- Zustand von Schienen
- Kurvenradien
- Bremsgeräuschen und Geräuschen der Bremsvorrichtungen
- Gleisbettung“ (Cerwenka et al., 2007: 105)

Über den Schienenverkehr hinaus ist auch der Körperschall eine Problematik, die durch Erschütterungen von Gebäuden negative Auswirkungen auf die Qualität des Lebensumfelds der AnrainerInnen hat (vgl. BML, 2009: 214).

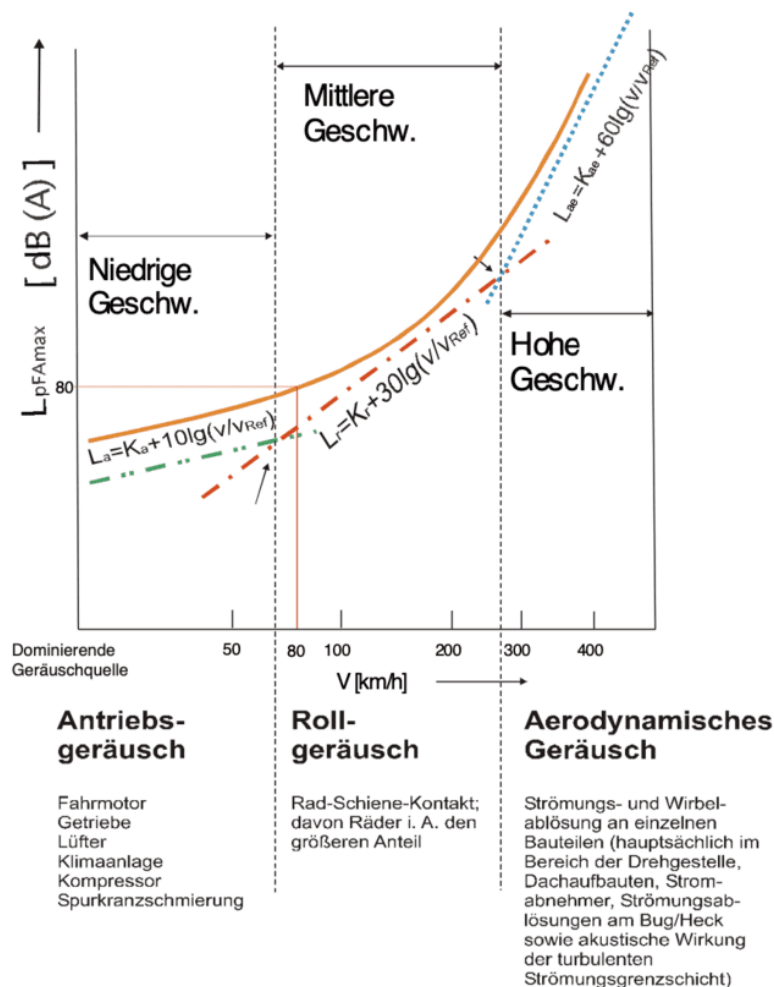


Abbildung 3: Schallemission von Schienenfahrzeugen in Abhängigkeit zur Geschwindigkeit (Quelle Klopfer 2006)

In der Abbildung 3 wird das Gesamtgeräusch eines Hochgeschwindigkeitszuges in Bezug auf die Fahrgeschwindigkeit dargestellt. Dabei werden Geschwindigkeitsbereiche unterschieden, auf die im Folgenden eingegangen wird.

Fährt ein Zug im unterem Geschwindigkeitsbereich (bis ca. 60 km/h), dominieren die Antriebsgeräusche. Im Stillstand sind hierbei vor allem der Lüfter, die Klimaanlage, Kompressoren und Leerlaufgeräusche dominierend. Ebenso können umfangreichere Flächen am Zug wie Drehgestelle, Abdeckhauben oder andere Karosseriebestandteile Geräusche abstrahlen. Auch der Fahrmotor und pneumatische Bremsen sind akustisch wahrnehmbar (vgl. BML, 2009: 209 f.).

Im mittleren Geschwindigkeitsbereich (60 bis 280 km/h) ist das Rollgeräusch die Hauptkomponente des Lärms. Dieses entsteht durch Riffeln und Rauheiten an Rad und Schiene, wodurch Schwingungen entstehen, die wiederum Geräusche erzeugen.

Die Schallabstrahlung setzt sich zusammen aus dem hochfrequenten Radanteil (1000–15 000 Hz), dem Schienenanteil mit mittleren Frequenzbereichen und dem niederfrequenten Schwellenanteil (unter 500 bis 800 Hz) (vgl. BML, 2009: 211–214).

Das Rollgeräusch ist ein breitbandiges Geräusch, das jedoch spezifische Frequenzspitzen aufweist. Als besonders unangenehm werden Kurvengeräusche empfunden, die durch Stick-Slip-Effekte entstehen und besonders hohe Schalldruckpegel erzeugen. Dieses Quietschgeräusch wird bei engen Gleisbögen erhöht, da stärkere Reibungskräfte auftreten. Auch durch das Bremsen können ähnliche Quietschgeräusche entstehen.

Im höchsten Geschwindigkeitsbereich (ab 280 km/h) überwiegt, wie in der Abbildung ersichtlich, das aerodynamische Geräusch, das das Antriebs- und Rollgeräusch übertönt (vgl. BML, 2009: 209f.).

3.3 Lärmschutz

Ziel des Lärmschutzes ist es, dass raumplanerische Präventivmaßnahmen auf allen Planungsebenen so greifen, dass gebäudeseitige Schallschutzmaßnahmen gar nicht erst notwendig sind. Der Schutz der BewohnerInnen vor Lärm ist sowohl im Wohnbau als auch bei der Planung der Infrastruktur ein Aspekt, der dringend mitgedacht werden muss (vgl. Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung, 2014).

3.3.1 Rechtliche Verankerung des Lärmschutzes

Lärm ist eine zentrale Herausforderung in der österreichischen Rechtsordnung. Sie wird auf verschiedenen Ebenen reguliert. Die föderale Struktur bedingt in diesem Bereich eine Fragmentierung der entsprechenden Kompetenzen.

Auf Bundesebene wird der Lärmschutz im Bundes-Verfassungsgesetz(B-VG) im Umweltrecht geregelt. „Störungen durch Lärm“ sind hier als Aufgabe des „umfassenden Umweltschutzes“ festgelegt. Weiter werden auch die Lärmemissionen von gewerblichen Betriebsanlagen und dem Bau von ebendiesen auf Bundesebene geregelt. Infrastruktureller Lärm wird je nachdem, ob eine Bundes- oder Landeskompetenz tangiert wird, von der jeweils zuständigen Instanz geregelt. Die Abwehr von unüblichem Lärm fällt gemäß Artikel 118 Absatz 3 in den eigenen Wirkungsbereich von Gemeinden.

Nachbarschaftslärm wird im Allgemeinen Bürgerlichen Gesetzbuch (ABGB) im § 363 Absatz 2 geregelt. GrundeigentümerInnen können laut diesem gegen ungewöhnliche Lärmbelästigung der NachbarInnen vorgehen. Aufgrund der bereits erwähnten Kompetenzfragmentierung haben sich die Bereiche sektoral unterschiedlich stark weiterentwickelt (vgl. BML, 2009: 14).

Um die Berücksichtigung von Umweltbelastungen wie Lärm bereits vor einer erteilten Genehmigung eines Projektes oder von strategischen Programmen sicherzustellen, kommen auf europäischer Ebene die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) und die Strategische Umweltprüfung (SUP) zum Einsatz. Die UVP ist auf EU-Ebene in der Richtlinie 2011/92/EU festgelegt. Sie wird über das Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz (UVP-G 2000) in nationales Recht überführt.

Im Rahmen einer UVP müssen Projekte, sobald diese bestimmte Grenzwerte erfüllen, verpflichtend durchgeführt werden, bevor eine Genehmigung ausgestellt werden kann. Hierbei werden Umweltauswirkungen während der Bau- und der Betriebsphase modelliert oder gemessen und die Auswirkungen auf Menschen und Umwelt in verschiedenen Szenarien erfasst. Weiters werden Ausgleichs- bzw. Schutzmaßnahmen definiert, um mögliche Negativfolgen abzuwehren.

Im Rahmen der UVP werden nach der zeitlichen und räumlichen Abgrenzung des Untersuchungsraumes Verkehrs- und Immissionsprognosen durchgeführt.

„Zur Bewertung der Auswirkungen eines Vorhabens auf die Immission im Untersuchungsraum stehen den GutachterInnen verschiedenste Modelle und Modellklassen zur Verfügung. Der Grad der Komplexität des zu verwendenden Ausbreitungsmodells richtet sich u. a. nach der Größe des Vorhabens, nach der Emissionsstruktur, nach der topographischen Strukturierung des Geländes im Untersuchungsraum und der Verbauung des Geländes“. (Umweltbundesamt Österreich, 2020: 38)

Für die Modellierung werden also die Lärmpegel an bestimmten räumlichen Beurteilungspunkten berechnet (z. B. bei Wohngebäuden, Schulen oder Krankenanstalten).

Es wird auch hier, wie bei der Lärminfokarte des Ministeriums, in Tag- und Nachtzeitraum (22–6 Uhr) differenziert. Diese berechneten Lärmpegel werden dann mit

vorgegeben Grenz- bzw. empfohlenen Richtwerten abgeglichen. Diese finden sich im UVP-Gesetz selbst wieder sowie in den Empfehlungen der World Health Organization (WHO). Die Ergebnisse werden in Isophonenkarten, Tabellen mit den Immissionswerten und Erläuterungen zu den Schutzmaßnahmen im Gutachten dokumentiert und sind Grundlage für die Genehmigungsentscheidung. Die genauen Vorgaben hierzu sind in der Umgebungslärmrichtlinie zu finden. (vgl. Richtlinie 2002/49/EG)

Eine präventive Berücksichtigung von Umweltaspekten im Rahmen von Plänen und Programmen im Verkehrsreich wird durch die Strategische Umweltprüfungsverordnung – Verkehr (SUP-V) sichergestellt (vgl. Richtlinie 2001/42/EG). Die Prüfung und Bewertung erfolgt hier weniger detailgenau als bei der UVP. Sie findet im Kontext des Gesamtsystems statt, noch bevor konkrete Projekte angedacht werden.

3.3.2 Schienenlärm: Empfohlene und normative Grenzwerte

Die Grenzwerte für schalltechnische Beurteilungen unterscheiden sich je nach Schutzziel. Sie werden in Gesetzen, Normen und Richtlinien festgelegt. Dabei unterliegen Neuplanungen in der Regel strengeren Auflagen als Bestandssanierungen. Laut Empfehlungen der WHO sollen in Wohngebieten Schallpegel von 55 dB untertags und 45 dB in der Nacht nicht überschritten werden. Wobei hier noch genauer definiert wird, dass der Lärmpegel in Schlafräumen nachts 30 dB nicht übersteigen soll, um die Nachtruhe nicht zu stören (vgl. World Health Organization, 2018: 6).

Diese Werte der WHO sind strikter als die tatsächlichen Richtwerte in den Gesetzestexten. Gemäß der Schienenverkehrslärm-Immissionsschutzverordnung (SchIV) sind die Grenzwerte bei 65 dB am Tag und 55 dB in der Nacht festgelegt. Außerdem gibt es einen Schienenbonus, also einen Abschlag um 5 dB aufgrund der speziellen Geräuschcharakteristik, da durch die Ruhephasen zwischen den Zügen eine geringeren Lärmstörung wahrgenommen wird als beim Straßenverkehr.

In der Europäischen Richtlinie zur Bekämpfung von Umgebungslärm werden Mitgliedstaaten verpflichtet, für große Lärmquellen wie Ballungsräume oder Hauptverkehrsachsen strategische Lärmkarten zu erstellen (vgl. Richtlinie 2002/49/EG). Es werden hierbei also weniger Vorgaben zu Grenzwerten gemacht, sondern vielmehr wird Wert auf das Management des Verkehrslärms gelegt. Zu erwähnen ist, dass die Lärmbelastungen in diesen Plänen nicht addiert werden, da die Belastung je nach Lärmquelle unterschiedlich wahrgenommen wird. Jene Kartierungen stellen die Basis für

Aktionspläne dar, um den Umgebungslärm zu mindern. Weiter muss die betroffene Öffentlichkeit in die Erstellung dieser Aktionspläne miteingebunden werden und die Europäische Kommission muss über die Lärmsituation informiert werden. Die rechtliche Umsetzung erfolgt innerstaatlich sowohl durch das Bundes-Umgebungslärmschutzgesetz als auch durch die Lärmgesetze der Länder (Fink, 2015: 10).

Eine weitere europäische Richtlinie, nämlich 2001/42/EG, fordert die Überprüfung bestimmter Pläne und Programme auf voraussichtliche Umweltauswirkungen, zu denen auch Verkehrslärm zu zählen ist. Somit können auch diese einer SUP unterzogen werden. Im Rahmen der SUP werden die Umweltauswirkungen dargestellt, Alternativen geprüft und Maßnahmen festgelegt, um eine Nutzenoptimierung und Konfliktminimierung herbeizuführen (vgl. BML, 2009: 40).

3.3.3 Lärminfokarte

In Österreich sind das zentrale Instrument, das die Lärmbelastungen dargestellt, die Lärmkarten, die vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Klima- und Umweltschutz, Regionen und Wasserwirtschaft (BML) erstellt werden. Die Erstellung dieser strategischen Lärmkarten wird von der EU-Umgebungslärmrichtlinie 2002/49/EG (Environmental Noise Directive, END) gefordert; darin werden auch Vorgaben zu den Modellierungen getroffen, damit diese EU-weit einheitlich umgesetzt werden. Darin beschrieben wird der Lärm für den Schienenverkehr, den motorisierten Verkehr und den Flugverkehr – einerseits durch den L_{den} -Lärmindeks, welcher der Durchschnittsbelastung über einen Zeitraum von 24 h entspricht, und andererseits über den noch strenger beurteilten L_{night} -Lärmindeks, welcher der Lärmbelastung für den Nachtzeitraum zwischen 22 und 6 Uhr entspricht. Hier wird ein Pegelzuschlag von 10 dB berücksichtigt.

Außerdem wird von der Europäischen Kommission in der Umgebungslärmrichtlinie ein Berechnungsverfahren für die Ermittlung von Lärmindizes vorgesehen, um eine Vergleichbarkeit zwischen den Ländern zu ermöglichen. Dieses muss bei der Modellierung der Lärmwerte berücksichtigt werden.

Die Erstellung der strategischen Lärmkarten erfolgt auf rechnerischen Wegen. Dafür werden Parameter wie Bodenbeschaffung, Verkehrsstärke, Fahrgeschwindigkeiten und Bebauung berücksichtigt. In Abbildung 4 ist eine Übersicht über die in Österreich kartieren Haupteisenbahnstrecken zu sehen. In Abbildung 13 ist die strategische Lärmkarte exemplarisch für das Untersuchungsgebiet St. Valentin dargestellt. Die

Messung des emittierten Lärmpegels erfolgt in 4 m Höhe. Weiters ist anzumerken, dass die Berechnung der Lärmausbreitung auf vereinfachten Annahmen beruht. Es wird nur eine Reflexion berücksichtigt, nicht mehrere Reflexionen, die in der Praxis auftreten. Außerdem wird die maximale Fahrgeschwindigkeit für die Berechnung verwendet, nicht die tatsächlich gefahrene Geschwindigkeit. Die Berechnung unterliegt der Annahme, dass schallausbreitungsgünstige Witterungsbedingungen vorherrschen, also leichter Wind in die Ausbreitungsrichtung. Diese Faktoren sind mitunter ein Grund dafür, dass die tatsächlich gemessenen Werte von den berechneten abweichen können (vgl. BML, 2022).

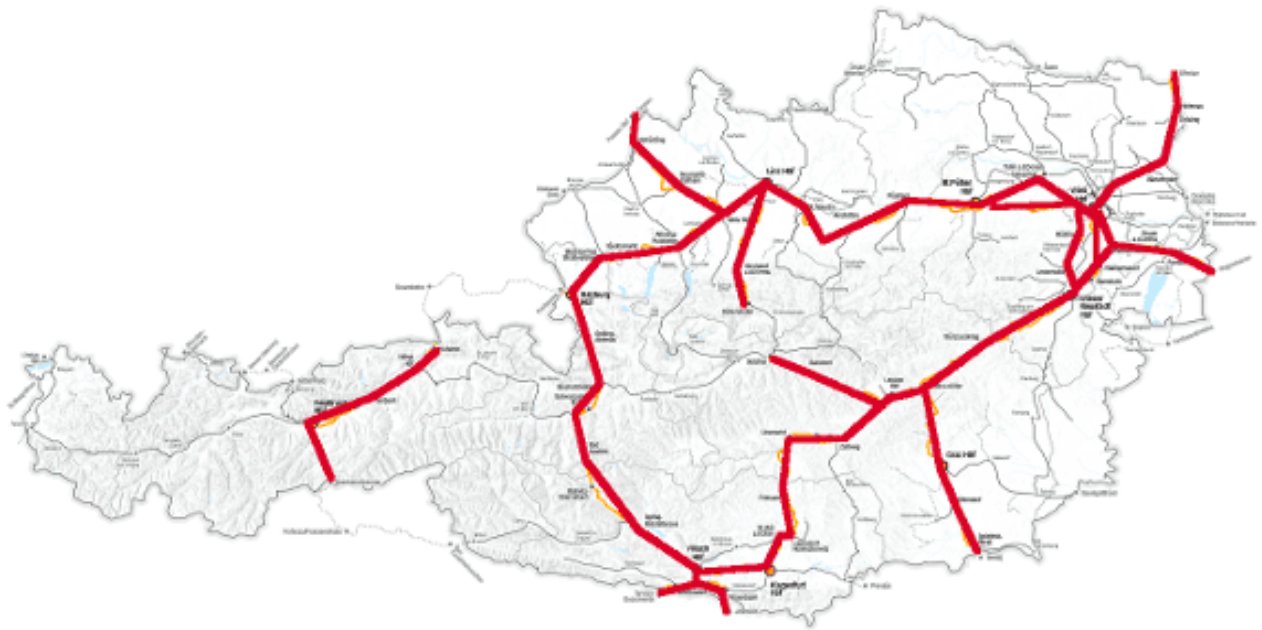


Abbildung 4: Schienenlärmmarkierung Österreich (Quelle BML, 2022 Österreich)

3.3.4 Lärmgrenzwerte bei Widmungsentscheidungen

Der Schienenverkehrslärm bzw. Lärm im Allgemeinen beeinflusst auch Widmungsentscheidungen in der Raumordnung. Wie in Österreich üblich gibt es aufgrund der Kompetenzfragmentierung hierbei keine einheitlichen Vorgaben zu Grenzwerten für Widmungsentscheidungen. Im Folgenden wird daher für die Widmungskategorie Wohnbauland ein Auszug aus dem jeweils geltenden Rechtsinstrumentarium dargestellt. In keinem der Bundesländer gibt es Grenzwerte, die ausschließlich für den Schienenverkehrslärm gelten. Es handelt sich um allgemeine Immissionsgrenzwerte, die in Abhängigkeit zur Widmungskategorie gelten.

In Oberösterreich gelten die Grenzwerte der Grenzwertverordnung (vgl. Oberösterreichische. Grenzwertverordnung, LGBL Nr. 45/1996 idgF):

Wohngebiet: 55 dB (Tag) / 45 dB (Nacht)

reines Wohngebiet: 50 dB / 40 dB

Kurgebiet: 45 dB / 35 dB

Kerngebiet / gemischtes Baugebiet: 60 dB / 50 dB

In Niederösterreich definiert der Leitfaden „Lärm bei Wohnbaulandwidmungen“ der Landesregierung (vgl. Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, 2021) identische Grenzwerte. Werden die Grenzwerte überschritten, so ist die Wohnwidmung nur erlaubt, wenn entsprechende Schallschutzmaßnahmen ergriffen werden.

Wohngebiet: 55 dB (Tag) / 45 dB (Nacht)

Auch in der Steiermark, in Tirol, Salzburg und Wien wird auf vergleichbare Planungsrichtwerte zurückgegriffen, wobei meist die Richtlinie 3 des Österreichischen Arbeitsrings für Lärmbekämpfung als Beurteilungsmaßstab herangezogen wird (vgl. Österreichischer Arbeitsrings für Lärmbekämpfung, 2017).

50–55 dB (Tag) / 40–45 dB (Nacht)

3.3.5 Fahrzeugseitige Lärminderung

Ein erhebliches Potenzial zur Reduktion von Bahnlärm wird in der Modernisierung der Bremssysteme gesehen. Besonders Grauguss-Klotzbremsen verursachen durch ihre raue Radoberfläche erhebliche Rollgeräusche. K-Sohlen oder Scheibenbremsen hingegen glätten das Rad und senken den Lärm um bis zu 10 dB.

Der Umbau erfordert jedoch mehr als nur den Austausch der Bremsklötze, denn hier bedarf es einer Anpassung der gesamte Bremsanlage und einer Umrüstung der Räder auf hitzebeständige Varianten (vgl. BML, 2009: 68).

Durch Schürzen, die vor dem Rad angebracht werden, kann ein Teil des Rollgeräusches reduziert werden. Maßnahmen zur Reduktion des Rollgeräusches sind nur dann effektiv, wenn gleichzeitig auch der Lärmanteil, der durch die Schienen- und Gleiskonstruktion entsteht, durch geeignete Maßnahmen verringert wird (vgl. BML, 2009: 69).

Im Rahmen der Schaffung eines europäischen interoperablen Zugnetzes sind die Technischen Spezifikationen für Interoperabilität (TSI) erforderlich, die sich neben der

Harmonisierung des Infrastrukturnetzes auch direkt oder indirekt mit dem Thema Geräuschreduktion befassen. Die bedeutsamsten TSIs, die relevante Anforderungen oder Maßnahmen zur Lärminderung enthalten, sind in der Tabelle 1 angeführt.

Tabelle 1: Gesetzliche Lärmschutzvorgaben für Schienenfahrzeuge (EU, Stand 2025)

Fahrzeugtyp	Relevante TSI	Zentrale Anforderungen zur Lärminderung	Gesetzliche Grundlage
Güterwagen	TSI Noise, TSI WAG	- Grenzwerte für Vorbeifahrgeräusch - verpflichtender Einsatz von leisen Bremssohlen (K*- oder LL-Sohle**) bei Neufahrzeugen - Umrüstungspflicht für Bestandsflotte bis Ende 2024 (nur für international eingesetzte Fahrzeuge) - Anforderungen an Rad- und Fahrwerksauslegung	Verordnung (EU) 1304/2014, geändert durch Verordnung (EU) 2019/774
Reisezugwagen	TSI Noise, TSI LOC&PAS	- Grenzwerte für Stand- und Vorbeifahrgeräusche - Vorgaben zur Schalldämmung, z. B. Maschinenraum, Lüftungssysteme - Vorgaben für den Fahrwerkslärm,	Verordnung (EU) 1302/2014 Verordnung (EU) 1304/2014

		Radprofile - Berücksichtigung bei Fahrzeugzulassung und Instandhaltung	
Triebfahrzeuge (Lokomotiven, Triebzüge)	TSI Noise, TSI LOC&PAS	- Grenzwerte für stationäre und dynamische Geräusche (z. B. bei Abstellung, Fahrt bei 80 km/h, Anfahrt) - Schalldämmung von Motor, Kompressor, Lüfter - Integration von Radschallabsorbern, dämpfenden Materialien	Verordnung (EU) 1302/2014 und 1304/2014
Altbestand	keine TSI-Pflicht		

*K-Sohlen: Komposit-Bremsklotzsohlen

**LL-Sohlen: Low-Friction-Low-Noise-Sohlen

3.3.6 Lärmminderung am Fahrweg

Um Bahnlärm zu reduzieren, müssen alle Oberbauelemente wie Schienen, Schwellen und Befestigungen optimal aufeinander abgestimmt sein. Zudem ist eine regelmäßige Instandhaltung der Gleise, insbesondere das Schienenschleifen, das zu einer Verringerung der Rauigkeit führt, notwendig (vgl. BML, 2009:68).

Am Gleis verursachten die Gleisstoßlücken das lauteste Geräusch. Sie wurden verbaut, bevor resilientere Stahlsorten und Schweißverfahren entwickelt wurden, die eine durchgehende Gleisführung ermöglichen.

Um die Geräuschabstrahlung der Räder zu vermindern, gibt es die Möglichkeit, durch Absorberplatten den Lärm zu vermindern (vgl. BML, 2009: 69).

Das durch enge Gleisbögen entstehende Kurvenquietschen wird von Betroffenen als besonders störend empfunden, da diese Geräusche hochfrequent sind. Auch diese können durch die bereits zuvor erwähnten Absorberplatten reduziert werden. Für diese Art von Geräusch gibt es auch die Möglichkeit, sogenannte Antiquietschschweißungen anzubringen oder automatische Schmieranlagen zu verwenden (vgl. BML, 2009: 70).

3.3.7 Lärminderung am Immissionsort

Lärmindernde Maßnahmen auf dem Übertragungsweg zielen darauf ab, die Ausbreitung von Schall von der Quelle zum Immissionsort zu verringern oder zu verhindern. Zu den traditionellen Maßnahmen gehören Lärmschutzwände und -wälle.

3.3.7.1 Lärmschutzwände

Durch das Errichten von Lärmschutzwänden wird in der Regel eine Schallabsorption von 5 bis 15 dB erreicht (siehe Abbildung 5).

Die Wandkonstruktionen sind üblicherweise zur Lärmquelle hin mit einem schallabsorbierenden Material versehen.

Bei Strecken mit mehr als zwei Gleisen könnte es ratsam sein, zur Verbesserung des Schutzes eine Struktur aus Mittel- und Außenwänden zu errichten. Für Schienenwege, die aufgrund begrenzten Platzes spezielle Lösungen erfordern, kommen niedrige Lärmschutzwände zum Einsatz, deren Höhe bis zu 75 cm betragen kann (vgl. Regierungspräsidium Freiburg, 2010: 19).

Bei all diesen baulichen Maßnahmen muss darauf geachtet werden, dass das Öffnen der Lärmschutzwände an diesen Positionen besonders lästige Geräusche verursacht und deshalb vermieden werden sollte. Ebenso sind Glaselemente aufgrund ihrer minderwertigen Eigenschaften der Absorptionswirkung auszuschließen (vgl. BML, 2009: 77).

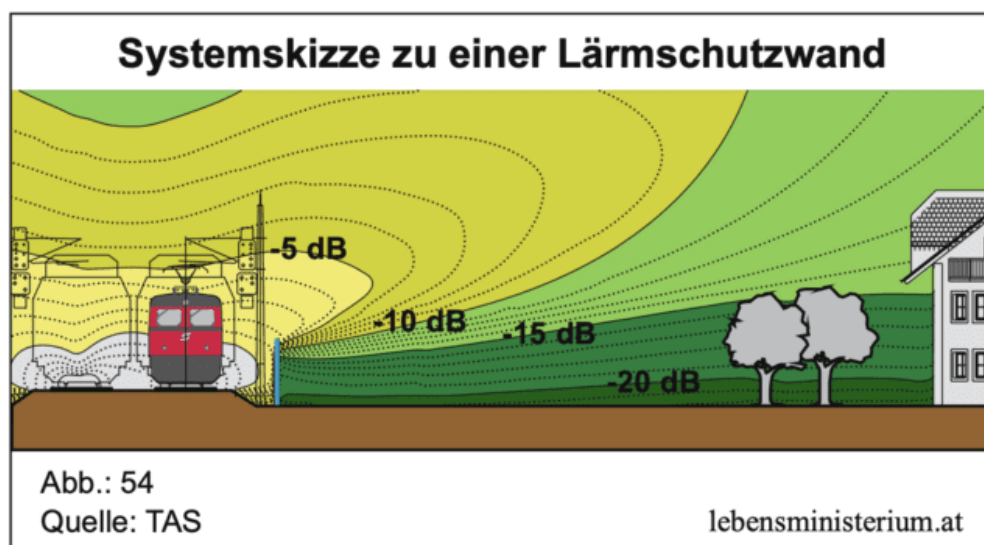


Abbildung 5: Systemskizze Lärmschutzwand (Quelle: BML, 2009)

3.3.7.1.1 Lärmschutzdämme

Lärmschutzwälle und -dämme sind eine ähnlich effektive Maßnahme, erfordern jedoch häufig einen größeren Abstand zur Lärmquelle, der durch eine höhere Abschirmung ausgeglichen werden muss. Im Vergleich zu Lärmschutzwänden können Wälle besser in die Landschaft eingebunden werden, benötigen jedoch auch eine größere Fläche. Zusätzlich können auch Transportkosten für das Schüttgut eine Rolle spielen. Im optimalen Fall lässt sich überschüssiges Material aus Bauvorhaben für Lärmschutzwälle nutzen. Zur Effektivität von Lärmschutzwänden und -wällen wird im „Handbuch Umgebungslärm“ deutlich gemacht, dass sich je nach Bauführung auch hier eine Lärmreduktion zwischen 5 und 15 dB erzielen lässt. In den Systemskizzen (Abbildung 6) ist sichtbar, dass Lärmwälle jedoch eine etwas geringere Abschirmung erzeugen (vgl. BML, 2009: 77 f.). Entscheidend ist zudem eine schallabsorbierende Oberfläche, um zu verhindern, dass der Schall lediglich reflektiert wird.

In bergigen oder hügeligen Regionen sind Lärmschutzwände weniger wirksam. Während sie Gebäude im Tal gut abschirmen, bleibt die Lärmbelastung für höher gelegene Bereiche aufgrund der wellenförmigen Schallausbreitung nahezu unverändert. Eine Lärmsimulation im „Handbuch Umgebungslärm“ bestätigt, dass Schutzmaßnahmen nahe der Emissionsquelle zwar angrenzende Objekte wirksam abschirmen, Straßen in Hochlagen jedoch durch Reflexionen weiterhin stark vom Lärm betroffen sein können (vgl. BML, 2009: 80).

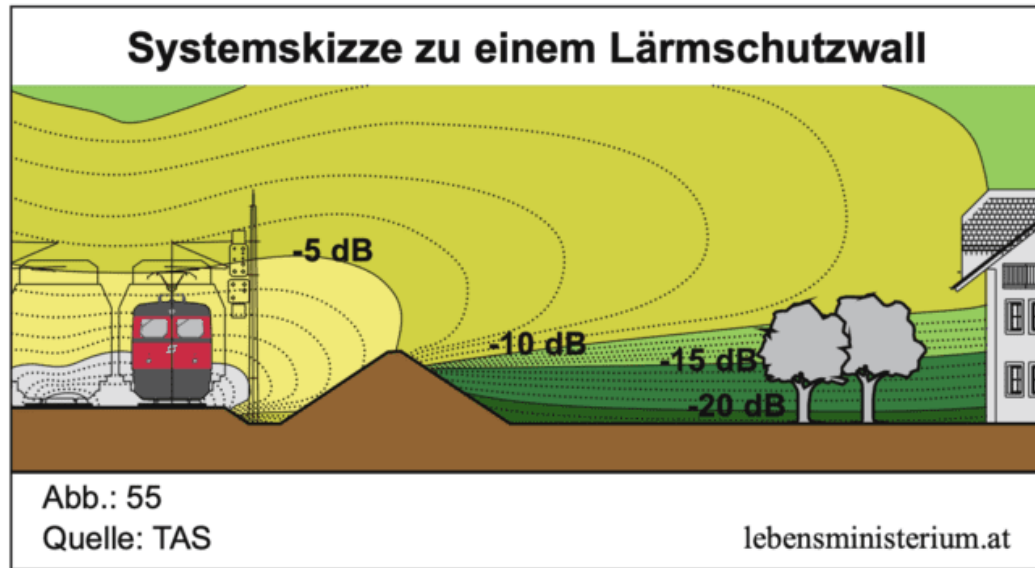


Abbildung 6: Systemskizze Lärmschutzwand (Quelle: BML, 2009)

3.3.7.1.2 Schließen von Baulücken

Auch das Schließen von Baulücken zeigt sich in der Simulation als effektiv und kann rund 10 dB Lärminderung bewirken (siehe Abbildung 7). Denn Lücken zwischen bestehenden Gebäuden verringern die schützende Wirkung der Gebäude deutlich. Das Schließen stellt daher eine wirkungsvolle Lärmschutzmaßnahme für Flächen oder bereits bestehende Gebäude dar, die sich abgewandt von der Lärmquelle befinden. Ebenso kann durch eine gezielte Anordnung von ‚Pufferzonen‘ wie Lagerräumlichkeiten oder Nebenräumen eine Verbesserung der Lärmabschirmung erzielt werden; so kann der Bestand besser geschützt werden bzw. Neubauten können näher an die Lärmquelle heranrücken. Umgekehrt ist aber auch zu berücksichtigen, dass der Wegfall von Gebäuden eine Erhöhung des Lärmaufkommens mit sich bringt und Planungsrichtwerte überschritten werden können (vgl. BML, 2009: 71 f.).

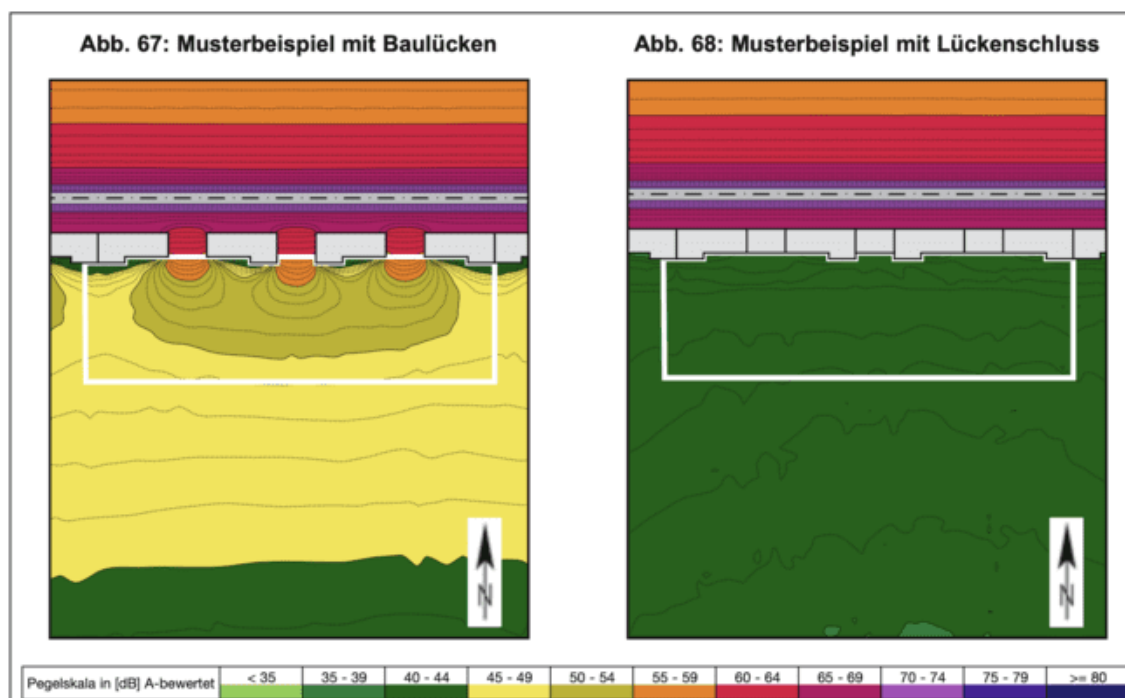


Abbildung 7: Pegelveränderung Schließen von Baulücken (Quelle: BML, 2009)

3.3.7.1.3 Verkehrstunnel

Die Lärminderung durch eine Tunnelvariante wird häufig überschätzt, da ihre Wirkung maßgeblich von der realisierbaren Tunnellänge abhängt, die in der Praxis meist durch örtliche Gegebenheiten begrenzt ist (vgl. BML, 2009: 80).

Darüber hinaus ist auch die Schallabstrahlung, die an den Portalen der Tunnel auftritt, nicht zu unterschätzen, da hier der Schall innerhalb des Tunnels verstärkt wird. Abhilfe kann eine Schallisolierung an den Innenwänden des Tunnels verschaffen (vgl. BML, 2009: 66). Ein Variantenvergleich zeigt, dass Verkehrstunnel zwar eine wirksame Maßnahme darstellen, jedoch oft weniger effektiv sind als angenommen, insbesondere unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten (vgl. BML, 2009: 79).

In der Simulation zeigt sich, dass durch die Maßnahme eine Reduktion der Lärmemission in der lautesten und nächstgelegenen Lärmklasse zum Zug um 15–30 dB erreicht werden kann (vgl. BML, 2009: 83).

3.3.8 Objektseitige Lärminderung

Reichen die oben genannten Maßnahmen nicht aus, um zu einer ausreichenden und zumutbaren Lärminderung beizutragen, so können auch gebäudeseitige Adaptionen vorgenommen werden, die eine Verbesserung der Lebensqualität verschaffen. Der Schutz im Innenraum kann für BewohnerInnen maßgeblich durch die Installation von

schallisolierenden Fenstern, Türen, aber auch Fassaden verbessert werden. Besonders Fenster sind die lärmdurchlässigsten Außenanbauteile und bestimmen die Differenz des Schallpegels im Außen- und Innenraum in hohem Maße.

Bei fachgerecht verbauten und gewarteten Isolierglasfenstern beträgt die Schallpegeldifferenz zwischen dem Außen- und dem Innengeräusch in der Regel etwa 30 dB (vgl. BML, 2009: 91).

Konkret greift in Österreich bei der Beurteilung von Lärm die Schienenverkehrslärm-Immissionsschutzverordnung (SchlV). Sie setzt in § 4 Grenzwerte fest, die zu einer Umsetzung von Lärmschutzmaßnahmen verpflichten. Weiters wird darin genau geregelt, welche bahnseitigen Maßnahmen (Lärmschutzwände, Lärmschutzwälle, Grünverbauungen) und welche objektseitigen Maßnahmen, also Lärmschutzeinrichtungen, die auf Fremdgrund getroffen werden (Austauschen von Fenstern und Türen, adäquate Lüftungsanlagen), vorgesehen sind. Dieser Umbau am Objekt wird entlang stark befahrener Bahnstrecken staatlich gefördert. Die Finanzierung erfolgt über § 31c Absatz 3 Eisenbahngesetz (EisbG). Das Gesetz besagt, dass geeignete Maßnahmen für Lärmschutz zu treffen sind, sodass sie für den Menschen zumutbar sind. Grundsätzlich sind jedoch bahnseitige Maßnahmen vorzuziehen, die den Lärm an der Quelle beseitigen.

3.4 Lärmbelastung aus medizinisch-psychologischer Sicht

Der Verkehrslärm hat auf den menschlichen Organismus in vielerlei Hinsicht Auswirkungen. Personen, die längerfristig Lärm ausgesetzt sind, können Probleme mit dem Herz-Kreislauf-System, dem Schlaf und dem Hormonhaushalt bekommen.

3.4.1 Kommunikation

Der akustische Austausch ist einer der zentralen Elemente der zwischenmenschlichen Kommunikation. So können externe Störgeräusche die Verständlichkeit stark einschränken. Ausschlaggebend sind dabei die Entfernung zur Lärmquelle, die Distanz zwischen SprecherIn und HörerIn, deren Hörfähigkeiten und die Raumakustik. Insbesondere schwerhörige Personen und Kinder sind von den Auswirkungen betroffen. Ebenso kann die Funktionsweise von Hörgeräten beeinträchtigt werden, wodurch erhebliche Kommunikationsbeeinträchtigungen und Verhaltensänderungen entstehen können.

In Bildungseinrichtungen sollte ein Sprach-Geräusch-Abstand von mindestens 8 dB eingehalten werden. (vgl. BML, 2009: 137f.).

3.4.2 Schlafstörungen

Lärmbedingte Schlafstörungen lassen sich in drei Kategorien einteilen.

Zum einen wären da die primären Störungen. Bei ihnen handelt es sich um akut auftretende Effekte wie z. B. verzögertes Einschlafen oder häufiges Aufwachen während der Nacht, was zu Veränderungen des Schlafverhaltens beiträgt.

Haben diese schlafgestörten Nächte Auswirkungen auf die subjektive Schlafqualität und die mentalen und psychomotorischen Leistungen, so wird von sekundären Schlafstörungen gesprochen.

Werden diese wiederholten Schlafstörungen zur Regel, entwickeln sich nicht selten längerfristige Gesundheitsschäden. Diese fallen in die Gruppe der tertiären Schlafstörungen.

Auch die Anzahl der Schallereignisse bestimmt die Wahrscheinlichkeit, in der Nacht aufzuwachen. Jedoch sinkt das Risiko wieder bei mehr als 30–40 Reizen. Intermittierende Geräusche werden nämlich als störender wahrgenommen als kontinuierliche vgl. BML, 2009: 141 ff.).

Laut einer Stellungnahme des Arbeitskreises für Lärmwirkungsforschung des deutschen Umweltbundesamtes aus dem Jahr 2004 sind Schlafbeeinträchtigungen bereits ab einem Maximalpegel von 45 dB(A) bei 50 Lärmereignissen zu beobachten. Es kommt zu einer Beeinflussung der Gesamtschlafdauer und der Qualität des Tiefschlafs. Auch eine Verkürzung des Rapid-Eye-Movement(REM)-Schlafs tritt ab Geräuschpegeln von 55 dB(A) auf (vgl. Guski et al. 2004: 77 f.) (vgl. Arbeitskreis Lärmwirkungsforschung des Umweltbundesamtes, 2014).

Diese und auch andere Untersuchungen verdeutlichen die hohe Empfindlichkeit des Schlafs gegenüber Verkehrslärm und zeigen, wie sich unterschiedliche Expositionsniveaus auswirken können.

In einer Studie von Ising und Kruppa aus dem Jahr 2004 wurde festgestellt, dass eine vermehrte hormonelle Ausschüttung von Cortisol, Adrenalin und Noradrenalin bei

Kindern und Erwachsenen zu beobachten ist. Diese wurde bereits ab 16 Lärmereignissen mit einem Pegel von 50 dB gemessen (vgl. Giering, 2004: 67).

3.4.3 Herz-Kreislauf-System

Eine typische Reaktion auf Lärm ist das Ansteigen der Herzfrequenz. Dadurch nimmt auch die periphere Durchblutung kurzzeitig für einige Sekunden ab. Auch hierbei sind die Reaktionen des Körpers vom Geräuschpegel und von der Bandbreite des Geräusches abhängig. Personen mit Hypertonie oder Herz-Kreislauf-Erkrankungen zeigen verstärkte Reaktionen. Die nächtlichen vagotonen Reaktionen sind stärker als jene untertags (vgl. BML, 2009: 149).

3.4.4 Kognitive Funktionen

Laborexperimentelle Untersuchungen von Smith und Broadbent aus dem Jahr 1992 haben gezeigt, dass die kognitive Leistung selbst bei moderaten Lärmpegeln beeinträchtigt ist. Gestört wird vor allem der Transfer von Informationen ins Gedächtnis. Besonders die Aufmerksamkeitsspanne ist durch die Ablenkungen verringert. Betroffen sind das Arbeitsgedächtnis und das sogenannte phonologische System, das für die innere Sprache verantwortlich ist. Treten die Schallfluktuationen viermal pro Sekunde auf, werden diese als am stärksten störend eingestuft. Des Weiteren trägt Lärm in hohem Maße zur Ermüdung bei (vgl. BML, 2009: 151 f.).

3.4.5 Lärmbelästigung

Die Lärmwirkung, die laut dem „Handbuch Umgebungslärm“ am häufigsten auftritt, ist die Verärgerung bzw. das Missbehagen, das entsteht, wenn Aktivitäten durch Lärm gestört werden. Dadurch wird die Lebensqualität maßgeblich beeinträchtigt (vgl. BML, 2009:152).

4 Die Bewertung von Schienenlärmemissionen in analytischen Bewertungsverfahren

Der Ausbau von Verkehrsinfrastruktur, dessen Notwendigkeit in Kapitel 2 beleuchtet wurde, hat nicht nur die gewünschten Wirkungen, nämlich mehr nutzbare Bahnkilometer, zur Folge, sondern bringt auch unerwünschte Mängel, die sogenannten Maßnahmenkosten, mit sich. Diese negativen Nebenbedingungen sind vielschichtig und unterscheiden sich in ihrem Kern darin, ob und wie sie quantifizierbar sind. Im Folgenden wird ein Überblick über die unterschiedlichen quantitativen und qualitativen Bewertungsverfahren Verschnidungen gegeben und es wird dabei erläutert, wie die Bewertung von Schienenverkehrslärm durch diese Instrumente stattfinden kann (vgl. Cerwenka et al. 2007: 176).

Das Spannungsfeld zwischen politischen Entscheidungen und den wachsenden Herausforderungen bei deren Begründung hat zur Entwicklung zahlreicher analytischer Bewertungsverfahren geführt, um eine Abwägung anfallender Kosten und Nutzen eines Projektes erstellen zu können.

Es wird auf die Wirkungsanalyse, die NKA, die Nutzwertanalyse und die Kosten-Wirksamkeitsanalyse eingegangen. Im Kern verfolgen sie ähnliche Zielsetzungen und auch im Ablauf sind deutliche Parallelen zu erkennen, jedoch unterscheiden sie sich in der Art, wie sie Lärmemissionen in greifbare und vergleichbare Werte übertragen. Sie können daher als eine Art methodische Familie betrachtet werden (vgl. Böhret et al., 1989: 5).

Davor muss jedoch geklärt werden, wo die Bewertung von Schienenverkehrslärm überhaupt stattfindet. Sie hat ihren Platz nämlich nicht nur im Rahmen der bereits zuvor erwähnten UVP. Denn auch im Rahmen der SUP-V kommen Lärmbewertungen zum Einsatz, um bereits frühzeitig mögliche Konflikte zu entdecken und umweltschonendere Alternativen zu entwickeln.

Auch die für die Mitgliedstaaten der EU verpflichtenden Lärmkartierungen und die Erstellung von Lärmaktionsplänen sind ein weiterer Anwendungsbereich.

Im zivilrechtlichen Kontext kann Lärmbewertung beispielsweise im Rahmen von nachbarschaftsrechtlichen Streitfragen stattfinden. In § 364 ABGB ist nämlich geregelt,

dass in Einzelfällen Gutachten erstellt werden müssen, um festzustellen, ob rechtliche Geräuschpegel überschritten werden.

In all diesen Anwendungsberiechen findet jedoch keine Monetarisierung von Lärm statt.

In Rahmen dieser Arbeit soll insbesondere auf die Bewertung der Lärmmissionen im Schienenverkehr eingegangen werden und es sollen die Möglichkeiten und Grenzen innerhalb des formalisierten Bewertungsinstrumentariums aufgewiesen werden. Dies geschieht hier über die Monetarisierung der Lärmstörung. Schließlich ist es das selbstgesetzte Ziel, eine Verbesserung dieser Bewertungsmethoden zu erzielen.

4.1 Die analytische Bewertung

Die unterschiedlichen analytischen Bewertungsmethoden stellen eine systematische und rationale Grundlage dar, die den EntscheidungsträgerInnen im Hinblick auf die Zielerfüllung und das Allgemeinwohl eine vereinfachte und durchdachte Grundlage bieten sollen, um Durchführungsentscheidungen zu treffen. Im Grunde genommen stellt die analytische Bewertung also eine Entscheidungshilfe dar, die über alle direkt, aber auch indirekt betroffenen Themenbereiche hinweg eine Systemanalyse durchführt und diese nicht nur räumlich, sondern auch zeitlich abgrenzt und kontextualisiert (vgl. Böhret et al., 1989: 5 ff.).

Für die Anwendung aller in diesem Kapitel beschriebenen Bewertungsinstrumente ist eine Befassung mit den unterschiedlichen Systeminputs vor der eigentlichen Analyse notwendig. In der traditionellen NKA findet eine Monetarisierung aller Wirkungen statt, unabhängig davon, ob sie positiver oder negativer Natur sind. In der Praxis ist solch eine Quantifizierung jedoch kaum für alle betrachteten Indikatoren möglich, weshalb auf ergänzende Methoden zurückgegriffen werden muss.

Im Verkehrswesen kommen analytische Bewertungsmethoden vor allem in zwei zentralen Aufgabenbereichen zum Einsatz: zum einen beim Variantenvergleich, um die ökonomisch effizienteste Projektalternative zu identifizieren, und zum anderen bei der Dringlichkeitsreihung, die darüber entscheidet, in welcher Reihenfolge Projekte umgesetzt werden sollen. Insbesondere im Schienenverkehrswesen sind hohe Investitionssummen notwendig und ist eine solche Priorisierung unabdinglich (vgl. Cerwenka et al., 2007: 180).

4.2 Skalen aus Ausgangspunkt

Es muss darauf geachtet werden, dass bei der Bewertung der Variablen in drei Skalenniveaus unterschieden wird, denn diese bestimmen die erlaubten mathematischen Operationen und auch, welche Bewertungsverfahren angewendet werden können:

- **Nominalskala:** Sie ist durch ihre geringe Aussagekraft gekennzeichnet. Dafür lässt sich ihre Ausprägung schnell und eindeutig abgrenzen: ‚erfüllt – nicht erfüllt‘, ‚ja – nein‘.
- **Ordinalskala:** Werden die Ausprägungen mit einer vergleichenden Komponente versehen, so wird die Aussagekraft verstärkt, beispielsweise: ‚sehr gut – gut – befriedigend – genügend – nicht genügend‘.
- **Kardinalskala:** Sie erlaubt, anders als die bereits zuvor erwähnten Skalen, sehr konkrete Ausmaße eines Indikators. Es empfiehlt sich, aufgrund ihrer hohen Aussagekraft im Rahmen der Wirksamkeitsanalyse Kardinaldaten zu verwenden. Beispiele sind hier die Intervall- und die Verhältnisskala (vgl. Cerwenka et al., 2007: 185ff).

4.3 Qualitative Bewertungsmethoden

Qualitative Bewertungsmethoden zeichnen sich dadurch aus, dass auf eine Formalisierung und Quantifizierung verzichtet wird, da nicht alle oder keine der Bewertungskriterien in quantitativer Form vorliegen. Dies ist besonders bei der Beurteilung von Lärmbelastung relevant, wenn schwer quantifizierbare Einflussfaktoren wie das subjektive Lärmempfinden der Anrainerinnen oder der Gesundheitszustand in die Bewertung miteinbezogen werden sollen.

4.3.1 Verbal-argumentative Bewertungsansätze

Hier wird auf eine Übertragung in ein Zielsystem verzichtet und ausschließlich durch verbale Argumentationen bewertet. Diese Form der Bewertung kann als eine Art Gegenbewegung zu den formalisierten Entscheidungshilfen angesehen werden. Die Argumentation und die textliche Begründung stehen hier im Vordergrund.

Der Vorteil liegt darin, dass die Methode flexibel ist und bereits zu Beginn der Planungsphase angewendet werden kann. Beispielsweise können Themen wie

‚Lärmbetroffenheit in einem Wohngebiet‘, ‚Aufenthaltsqualität im Innen- und Außenraum‘ und ‚gesundheitliche Folgen‘ hier verbal erläutert werden. Diese Bewertung kann in Form einer reinen Textargumentation erfolgen. Ebenso kann dies aber auch formal vorstrukturiert und in Form von Checklisten oder Tabellen, die ausgefüllt werden, umgesetzt werden. Auch entscheidungslogische Ansätze wie Relevanzbäume oder ‚Wenn-dann-Regeln‘ können Anwendung finden. Dies ist von der jeweiligen ExpertIn und dem Untersuchungsgegenstand abhängig zu machen (vgl. Cerwenka et al. 2007: 189).

4.3.2 Rangordnung

Die Erstellung einer Rangordnung ist der Vergleich verschiedener Varianten. Wird beispielsweise untersucht, wie Lärminderung entlang eines Wohngebietes umgesetzt werden kann, so können unterschiedliche Projektvorschläge anhand von Kriterien wie ‚Schutzwirkung‘, ‚Akzeptanz der Bevölkerung‘ und ‚Einbettung ins Landschaftsbild‘ gereiht werden, ohne zeitintensive Quantifizierungen vorzunehmen (vgl. Cerwenka et al. 2007: 189f.).

4.3.3 Schrittweise Rückerstellung

Bei diesem Verfahren werden unterschiedliche Planungsalternativen schrittweise reduziert. Zunächst werden Varianten aus der Bewertung ausgeschlossen, die harte Ausschlusskriterien verletzen. Dazu kann die Nichteinhaltung rechtlicher Vorgaben wie die Überschreitung von Maximallärmpegeln zählen. Danach werden all jene Varianten aus der Bewertung genommen, bei denen sich besonders viele negative Kriterien anhäufen. Die Optionen, die dann noch übrig bleiben, können erneut solch einen Bewertungszyklus durchlaufen, der dann mit strengeren Kriterien erfolgt (vgl. Cerwenka et al., 2007: 190).

4.3.4 Paarvergleich

Diese Methode ist auf maximal fünf Planungsalternativen begrenzt. Die Entscheidung erfolgt stets zwischen zwei Alternativen, von denen die bessere gewählt wird. In Bezug auf die Lärmbewertung könnten hier als Kriterien beispielsweise die ‚subjektive Entlastungswirkung‘ oder die ‚Einbettung in das Landschaftsbild‘ herangezogen werden.

Dies führt zu einer Präferenzordnung, ohne dass eine Quantifizierung stattfinden muss (vgl. Cerwenka et al., 2007: 190).

4.4 Kritik an der Lärmbewertung durch qualitative Bewertungsmethoden

Trotz ihrer flexiblen und unkomplizierten Anwendbarkeit oder gerade deswegen entstehen bei der qualitativen Bewertung Lücken, die für eine umfassende Bewertung von besonders kostenintensiven Schienenverkehrsprojekten nicht tragbar wären: Zum einen unterliegen sie einer Subjektivität und sind für Außenstehende wenig transparent. Die Ableitung der Ergebnisse ist zudem oft nicht wiederholbar. Konkrete Sachverhalte und Bewertungen können vermischt werden. Aussagen wie ‚die Lärmschutzmaßnahme erscheint wirksam‘ basieren auf subjektiven Einschätzungen und nicht auf Datenmaterial. Dies kann gerade bei der Lärmbewertung dazu führen, dass technische Zusammenhänge missinterpretiert oder zu stark vereinfacht werden. Auch der Informationsverlust, der hierdurch entsteht, ist nicht zu vernachlässigen. Sind zwei Siedlungsteile als ‚geringfügig‘ von Lärm gestört beurteilt, so kann das in der Praxis eine starke Variation der Dezibelwerte bedeuten. Andere FachplanerInnen oder Betroffene können die Bewertungen oft nur schwer nachvollziehen. Diese bedeutet aber nicht, dass solche qualitativen Bewertungen nicht sinnvoll eingesetzt werden können. Gerade am Anfang des Bewertungsprozesses, wenn später sowieso noch ergänzende, quantitative Untersuchungen gemacht werden, kann der Einsatz sinnvoll sein (vgl. Cerwenka et al., 2007: 191).

4.5 Quantitative Bewertungsmethoden

Quantitative Methoden basieren auf messbaren Daten, die als bewertbare Indikatoren in die Bewertung aufgenommen werden. Es werden in der Regel alle Daten aus denselben Wirkungsgruppen aggregiert, also beispielsweise alle Indikatoren, welche die Lärmbelastung beschreiben (Lärmpegel, Anteil der Bevölkerung über Schwellenwerten, Anzahl lärm betroffener Gebäude oder Wohnungen).

In Bezug auf den Lärm könnten hier, wie meist üblich, die messbaren Dezibelwerte, die von Schienenverkehrsinfrastruktur ausgehen, erfasst werden. Aber auch durch die Erfassung der verlärmten Fläche oder durch eine weiterführende Betroffenenenermittlung kann eine Quantifizierung von Lärm stattfinden.

4.5.1 Die Wirkungsanalyse

Die Wirkungsanalyse, auch ‚Wirkungsabschätzung‘ genannt, erfolgt bei der Bewertung von Schienenverkehrslärm in der Regel auf der Grundlage aggregierter Daten (Zielertragsmatrix). Auf eine Wertsynthese, also den Vergleich von Mitteleinsatz und Nutzenwirkung, wird jedoch bewusst verzichtet. Einzelne für die Lärmbelastung relevante Wirkungsindikatoren wie Gesundheit, Schlafverhalten oder subjektive Lärmstörung werden sachlich erfasst und für die einzelnen Planungsfälle betrachtet. Diese Bewertung ist dann ausreichend, wenn nur die Optimierung eines einzelnen Kriteriums angestrebt wird, wenn also beispielsweise nur der L_{eq} minimiert werden soll und andere Kriterien nicht beachtet werden. Unterschiedliche Ziele werden jedoch nicht untereinander vergleichen, weshalb diese Methode allein schnell an ihre Grenzen stößt (vgl. Cerwenka et al. 2007: 192).

4.5.2 Die Nutzen-Kosten-Untersuchung

Im Grund handelt es sich bei der NKU um einen Überbegriff, unter dem die NKA, die Nutzwertanalyse und die Kosten-Wirksamkeitsanalyse zusammengefasst werden. Folgende Fragen lassen sich in Bezug auf den Schienenverkehrslärm mit dieser formalisierten Entscheidungshilfe beantworten:

Soll eine bestimmte Lärmschutzmaßnahme entlang einer Bahnstrecke umgesetzt werden oder nicht? (Realisierung/Unterlassung)

Welche der vorliegenden Maßnahmen eignet sich am besten, um eine Reduktion des Schienenlärms an einem Standort X zu erreichen? (Variantenvergleich)

In welcher Reihenfolge sollen Lärmschutzmaßnahmen entlang eines Streckenabschnittes umgesetzt werden? (Dringlichkeitsreihung) (vgl. Cerwenka et al., 2007: 194).

Ende der 1960er Jahre wurde im öffentlichen Sektor der Ruf nach nachvollziehbaren Entscheidungshilfen für Investitionsentscheidungen der öffentlichen Hand lauter. Im deutschsprachigen Raum war das im Jahre 1970 erschienene Werk „Nutzen-Kosten-Analyse und Programmbudget“ ein Meilenstein für die Etablierung des Bewertungsinstrumentariums (vgl. Cerwenka et al., 2007: 194).

48 Die Bewertung von Schienenlärmemissionen in analytischen Bewertungsverfahren

Konkret liegen die Ursprünge der NKA jedoch über 100 Jahre weiter zurück, nämlich in den Arbeiten des Franzosen Jules Dupuit (geboren 1804). Er war Ingenieur, der durch seine methodische Beurteilung von Infrastrukturprojekten im 19. Jahrhundert die Grundsteine der analytischen Bewertung gelegt hatte. Dabei sind insbesondere die beiden Werke „On the Measurement of the Utility of Public Works“ (1844) und „On Tolls and Transport Charges“ (1849) hervorzuheben (vgl. Bonnafous et al., 2018: 1).

Anhand des Baus einer Brücke hat er erstmals den Nutzen von öffentlichen Arbeiten zu messen versucht. In seinem Werk aus dem Jahr 1844 beschreibt er bedeutende Zusammenhänge wie z. B. die Nützlichkeit (Utility), die ein Objekt unter Anbetracht der eingesetzten Geldmengen einer Einzelperson erbringen kann. Durch die Erhebung der Zahlungsbereitschaften der potenziellen NutzerInnen hat er die Kosten- und die Angebotsseite in Zusammenhang gebracht. Dies bildete den Grundstein für die NKA (vgl. Dupuit, 1952: 104).

Die späte Übersetzung von Dupuits Werken ins Englische, etwa erst 100 Jahre nach ihrer Veröffentlichung, war auch Grund dafür, dass ihre Integration in die moderne Makroökonomie zeitverzögert stattgefunden hat (vgl. Bonnafous et al., 2018: 1).

Im Flood Control Act aus dem Jahr 1936 wird mit der folgenden Aussage bereits die Quintessenz der NKA beschrieben:

„The benefits to whomsoever they may accrue are in excess of the estimated costs, and if the lives and social security of people are otherwise adversely affected“ (vgl. United States Code Title 33 § 701a.).

Bereits diese unterschiedlichen dogmatischen Entwicklungen zeigen, dass die Anwendungsbereiche der NKA keineswegs auf einen Sektor beschränkt sind, sondern vielschichtig sind. In der Regionalplanung, dem Gesundheitswesen, aber auch im Umweltschutz und im Verkehrswesen ist sie eine gängige Methode zur Bewertung (vgl. Vischer, 1975: 12).

4.5.3 Methodenübersicht der Nutzen-Kosten-Untersuchung

Die auf einer vollständigen Monetarisierung basierende NKA wurde durch die sogenannte NKU, die eine Synthese der NKA, der Nutzwertanalyse und der Wirksamkeitsanalyse darstellt, erweitert. Ziel ist es, unter Betrachtung der knappen Ressourcen die bestmögliche wohlfahrtssteigernde Maßnahme zu identifizieren. Es zeigt sich schnell, dass die ausschließliche Verwendung einer einzelnen Methode bei der Bewertung von Verkehrsinfrastruktur nicht empfehlenswert ist. Dies gilt insbesondere dann, wenn ein möglichst umfassendes Bild über die Auswirkungen eines Projektes gezeichnet werden soll und eine Vielzahl von Faktoren vorliegt, die nicht ausschließlich monetarisiert werden können.

Allerdings äußern ExpertInnen Kritik an der NKU, da ihrer Einschätzung nach umweltrelevante Aspekte nur ungenügend berücksichtigt werden, weshalb weitere ergänzende Methoden empfehlenswert sind (vgl. Cerwenka, 2007: 183).

4.5.4 Der Ablauf der Nutzen-Kosten-Untersuchung

Abbildung 8 liefert einen Überblick der Methodenkombination und der Arbeitsschritte, die beim Durchführen der NKU notwendig sind.

50 Die Bewertung von Schienenlärmemissionen in analytischen Bewertungsverfahren

	NKA	NWA	KWA
	Kontaktaufnahme/ Projektvorstellung/ Bestellung		
	Überlegungen im Vorfeld/ Formulierung relevanter Nebenbedingungen		
	Erstellung und Auswahl der Projektalternativen und Planungsnullfälle		
1	Erstellung eines Zielsystems (Kriterienkatalog) inkl. Auswahl relevanter Indikatoren		
	nur monetär	relevanten Ziele quantitativer und qualitativer Art	
2	Messung der Kriterien	Festlegung der Zielerträge/Erstellung eines Mengengerüsts	
	inkl. Maßnahmenkosten	inkl. Maßnahmenkosten	exkl. Maßnahmenkosten
3	Preisfestlegung p für die Einheiten der Zielerträge t der Menge x	Gewichtung der Ziele	
4	Diskontierung	-	Diskontierung
5	Wertsynthese		
	Kostensummenkriterium [Eur/a]	Gesamtnutzwert	Quotientkriterium [Nutzenpunkte/
	Nutzen-Kosten Quotientkriterium		
6	Ucertanties formulieren	-	Uncertanties formulieren
7	Rangordnung erstellen (inkl. anfälligen Zusatzargumenten)		
8	Reihung		KWA-Matrix
9	Sensitivitätsanalyse		
10	Schlussempfehlung		

Abbildung 8: Zusammensetzung der NKU (Eigene Darstellung nach Cerwenka et al., 2007;194)

Schritt 1: Aufgabenstellung und Systemabgrenzung:

Vor der eigentlichen Bewertung ist es erforderlich, eine Struktur für die Bearbeitung zu schaffen und abzugrenzen, was im Rahmen der Bewertung behandelt oder eben auch nicht behandelt wird (z. B. die Festlegung zu treffen, dass innerstädtischer Verkehrslärm nicht in die Untersuchung einfließen wird, wenn der Untersuchungsgegenstand der Neu- oder der Ausbau einer bestimmten Bahnstrecke ist).

Die Systemabgrenzung („Scoping“) muss so erfolgen, dass die relevanten Ziele ausreichend berücksichtigt werden. In Bezug auf Schienenverkehrslärm könnte es sich hierbei um den Erhalt oder die Verbesserung der Lebensqualität der AnrainerInnen oder die Einhaltung gesetzlicher Grenzwerte handeln. Gleichzeitig sind die auf diese Ziele einwirkenden Faktoren und somit auch deren dazugehörige Parameter, wie etwa die Reduktion des Lärmpegels oder die Kosten von Lärminderungsmaßnahmen, zu

erfassen oder aus bereits vorhandenen Datensätzen zu extrahieren.

Dies erfordert eine umfassende Berücksichtigung der Zielkriterien und der räumlichen und zeitlichen Wirkungszusammenhänge.

Eine engere Systemabgrenzung bei Fragestellungen zur Lärmbelastung könnten im lokalen Kontext die Lärmbelastung einzelner Siedlungen oder der Flächenbedarf sein, der dort für bauliche Lärmschutzmaßnahmen notwendig ist.

Eine regionale Systemabgrenzung, die längerfristige Entwicklungen miteinbezieht, wären beispielsweise Veränderungen im Mobilitätsverhalten der BewohnerInnen von Regionen, die einen Ausbau der Schienenverkehrsinfrastruktur erfahren haben (vgl. Cerwenka et al. 2007: 195).

Schritt 2: Konstituierung und Sammlung von Alternativen

Für gewöhnlich werden von Seiten der AuftraggeberInnen bestimmte Projekte vorgegeben, die analysiert werden sollen. Unabhängig davon, ob nur von einem oder von mehreren Projekten der Nettonutzen ermittelt werden soll, wird auch immer der Planungsnullfall, also der Status quo, beobachtet. Werden jedoch keine konkreten Vorgaben von Seiten der EntscheidungsträgerInnen im Vorhinein definiert, liegt es in der Verantwortung der ExpertInnen, die Vorauswahl anhand qualitativer Kriterien zu treffen. Diesem Schritt wird eine hohe Bedeutung zugemessen und er ist im gesamten Prozess nicht zu unterschätzen, da die bestmögliche Option am Ende der Untersuchungen nur gefunden werden kann, wenn diese überhaupt erst in der Vorauswahl einbezogen wird (vgl. Hanusch, 2011: 162).

Schritt 3: Aufstellung eines hierarchischen Zielsystems

Zunächst müssen die Ziele, die durch ein öffentliches Projekt erreicht werden sollen, klar definiert und widerspruchsfrei operationalisiert werden. Die Problematik besteht dabei hauptsächlich darin, dass die AnalytikerInnen, wenn nicht anders vorgegeben, selbst bestimmen, welchen Zweck ein Vorhaben überhaupt erfüllen soll. In den meisten Fällen werden von den politischen EntscheidungsträgerInnen nämlich nur vage Vorstellungen über die zu erreichenden Ziele und deren Unterpunkte formuliert. In einem nationalen Rahmen wird bei der Erstellung eines solchen Zielsystems versucht, aus allgemein gesellschaftlich akzeptierten Grundprinzipien und Grundrechten ein System zu erstellen.

Ausgehend von Oberzielen werden hier stufenweise darunterliegende Zielebenen formuliert (vgl. Hanusch, 2011: 162 ff.).

Im Gegensatz dazu findet beim problemorientierten Ansatz eine direkte Beschäftigung mit dem konkreten Zweck, den die öffentlichen Projekte erfüllen sollen, statt und dieser wird immer weiter zu Oberzielen zusammengefasst. Diese Vorgehensweisen könnten mit der induktiven bzw. deduktiven Methodik verglichen werden.

Das Ergebnis der Bewertung ist notwendigerweise davon abhängig, wie die Zielkriterien gewählt werden. Beispielsweise wird dem Kriterium Lärm eine viel bedeutendere Rolle beigemessen, wenn es um die Bewertung der Lebensqualität in einem Wohngebiet geht, als es bei einem Industriegebiet der Fall wäre (vgl. Cerwenka, 2007: 196).

Schritt 4: Erstellung eines Mengengerüsts

Die Erstellung des Zielsystem nimmt oftmals in der Bearbeitung die meiste Zeit ein. Es wird für jede Wirkungskomponente und jede Handlungsalternative inklusive des Planungsnullfalls das Wirkungsmengengerüst ermittelt. Dieses wird in Form einer Zielertragsmatrix dargestellt. In den Zielen werden die Wirkungskomponenten und in den Spalten die Planungsalternativen abgebildet.

Jedes Element in dieser Matrix muss eine dimensionsbehaftete Zahl beinhalten. Diese kann bereits einen Zeitbezug aufweisen, was aber nicht der Fall sein muss (z. B. EUR/a, dB(A), Pers * h * a).

In Bezug auf Lärm gibt es verschiedene Messgrößen, die verwendet werden können: beispielsweise der mittlere äquivalente Dauerschallpegel L_{eq} oder eine Differenzierung nach Tag und Nachtzeiten. Ebenso können hier durch Monetarisierung Kompensationsforderungen oder Zahlungsbereitschaften pro Person als Maßgrößen verwendet werden. Diese Monetarisierung ist jedoch aufwendig und wird in der Praxis nur selten durchgeführt, ist aber von großer Bedeutung. Denn nicht nur physikalisch grundsätzlich leicht messbare oder modellierbare Kenngrößen wie die Dezibelwerte sind Teil der Bewertung. Andere Effekte wie soziale oder gesundheitliche Auswirkungen sind jedoch nur schwer und über Umwege quantifizierbar (vgl. Cerwenka et al., 2007: 198).

Durch das Homogenisieren werden die Kosten auf einen Zeitpunkt hin berechnet, was notwendig ist, da Nutzen und Kosten eines Projektes in unterschiedlichen Phasen anfallen.

Bei Infrastrukturprojekten wird dieser Zeitraum auf 50 oder mehr Jahre angesetzt (vgl. Hanusch, 2011: 101).

Die zeitliche Abgrenzung, die Diskontierung, hängt von der Institution ab, welche die Wirkungsermittlung in Auftrag gibt. Dabei kann es zu erheblichen Unterschieden kommen. Beispielsweise kann im Extremfall nur die lebende Generation miteinbezogen werden, in anderen Fällen können dies jedoch auch sämtliche nachfolgende Generationen sein. Im Normalfall wird ein Mittelweg zwischen diesen beiden Zeithorizonten gewählt (vgl. Hanusch, 2011: 5).

Schritt 5: Dimensionsvereinheitlichung

Ziel der Dimensionsvereinheitlichung ist es, verschiedene Zielerträge, die in unterschiedlichen Einheiten angegeben werden, auf eine Bewertungsskala zu übertragen. Dies geschieht über Zielerreichungsgrade als Skalenwerte. Dieses Vorgehen ist nur bei der NWA und der KWA notwendig, da bei der NKA die Indikatoren monetarisiert und somit bereits vereinheitlicht sind.

Wie genau diese Vereinheitlichung durchgeführt wird, ist von den AnalytikerInnen zu entscheiden. Eine Möglichkeit ist die Transformation über Noten. Diese ordinale Skalierung benötigt aber unbedingt Grenzwerte, um eine einheitliche und somit transparente Beurteilung zu ermöglichen. Hier könnte vorab festgelegt werden, welcher der beste und welcher der schlechteste noch akzeptierbare erreichbare Zielertrag ist (z. B.: null Fehler entsprechen Note 1 und mehr als zehn Fehler entsprechen Note 5).

Ebenso ist es aber möglich – und in der Praxis auch üblicher –, diese Transformation über Nutzenpunkte von 0 bis 100 durchzuführen. Über die Interpolation wird somit ein Zielerreichungsgrad in Prozent angegeben.

Eine Vielzahl an Variablen kann von den AnalytikerInnen nicht oder nur unzureichend vorhergesagt werden. Diese können somit in der NKA nicht berücksichtigt werden. Um solche Unsicherheiten wie beispielsweise Umwelteinflüsse, Preisentwicklungen der Wirtschaft und geopolitische Faktoren dennoch in die Prognosen einzubeziehen, werden

häufig Prozentsätze verwendet, um die Nutzenpunkte um einen festgelegten Prozentsatz zu verringern und jene von unsicheren Kosten zu erhöhen (vgl. Hanusch, 20: 139f.).

Schritt 6: Zielgewichtung/Monetarisierung

Im sechsten Arbeitsschritt werden die zuvor festgelegten Zielerträge gewichtet, bevor sie in weiterer Folge aggregiert werden. Auch hier muss zwischen der monetären NKA und den nicht-monetären Verfahren NWA und KWA unterschieden werden.

Bei Ersterer erfolgt die Gewichtung implizit über Marktpreise. Dies bedeutet auch, dass sich die gesellschaftlichen Wertmaßstäbe indirekt in den Marktpreisen widerspiegeln und somit bereits eine Gewichtung stattgefunden hat. Dies ist nur dort möglich, wo Marktpreise vorliegen. Für Umweltgüter wie Ruhe, Luft oder das Landschaftsbild liegen keine Marktpreise vor, weshalb diese über andere Instrumente erfasst werden müssen. Genau hier setzt die vorliegende Arbeit an. Durch empirische Erhebungen werden situationsspezifische Kostensätze für die Bewertung von Schienenverkehrslärm erhoben. Damit wird ein Beitrag zu einer präziseren und transparenteren monetären Bewertung geleistet – ein Schritt, der in der Kosten-Nutzen-Untersuchung bis dato häufig vernachlässigt wurde.

Im Falle des zweiten Verfahrens muss die Gewichtung explizit erfolgen, indem die EntscheidungsträgerInnen ihre Präferenzen äußern. Dies geschieht in der Praxis oftmals über eine Verteilung von Präferenzpunkten. Ein ‚Budget‘ von insgesamt 100 Punkten wird auf die einzelnen Ziele verteilt. Durch die Multiplikation mit den Zielerträgen wird somit den priorisierten Zielerträgen eine größere Bedeutung zugemessen. An dieser Stelle ist festzuhalten, dass diese Entscheidungen normativ sind. In der späteren Sensitivitätsanalyse wird genau diese Gewichtung verschoben, um zu beurteilen, ob die gewählte Alternative auch bei veränderten Gewichtungen noch die gesellschaftlich rentabelste ist.

Schritt 7: Wertsynthese

Bei der Wertsynthese werden alle bis zu diesem Zeitpunkt gesammelten Bewertungen zusammengeführt. Grundlegend wird hier in Maßnahmenkosten und Wirkungskosten unterschieden.

Maßnahmenkosten sind jene Kosten, die für die Umsetzung, Instandhaltung oder auch für einen späteren Rückbau der Schieneninfrastruktur eingesetzt werden müssen (Mittleinsatz).

Wirkungskosten hingegen sind jene Kosten, die als Folge der zuvor getätigten Investition als Output zu erwarten sind. Dies sind z. B. Einsparungen, die durch die Maßnahme entstehen. Ein Beispiel hierfür wären sinkende Gesundheitskosten durch verbesserten Lärmschutz (Wirkungsnutzen) (vgl. Cerwenka et al., 2007: 201).

Im Rahmen der NKA gibt es drei Kriterien, um den Nutzen eines Projektes zu bewerten: den Nettogegenwartswert (NPV), das Nutzen-Kosten-Verhältnis (BCR) und den internen Zinsfuß.

Der NPV berechnet sich aus der Differenz des abgezinste Nutzens und den Kosten. Positive Werte bedeuten, dass der Gesamtnutzen die Kosten übersteigt und eine Umsetzung prinzipiell sinnvoll wäre.

Das BCR berechnet sich aus der Division des gegenwärtigen Nutzens durch die Kosten. Hier liegt die Schwelle anders als beim NPV bei 1. Das Projekt, das im Vergleich den größten Verhältniswert ausgibt, ist vereinfacht gesagt das gesamtwirtschaftlich effizienteste.

Beide dieser Kennzahlen sind für die Beurteilung der generellen Machbarkeit unabdinglich, aber sie sind darüber hinaus auch eine Möglichkeit, um eine Reihung bzw. Priorisierung durchzuführen, und somit eine Entscheidungshilfe für die AnalytikerInnen.

$$NVR = \frac{N - K}{K} = \frac{N}{K} - 1$$

N – monetär bewerteter Nutzen (z. B. Reisezeiteinsparung, Emissionsreduktion)

K – Kosten des Projekts (z. B. Baukosten, Betriebskosten, Instandhaltungskosten)

NVR – Nutzen-Kosten-Verhältnis

Grundsätzlich gilt: Je höher der Quotient, desto effizienter ist ein Projekt und desto empfehlenswerter erscheint seine Umsetzung. Achtzugeben ist jedoch bei hohen Indizes größer 4, da hierbei Fehler in der Bewertung nicht ausgeschlossen werden können (vgl. Hanusch, 2011: 112f.)

Bei der klassischen NWA wird der Nutzwert einer Planungsalternative als ein gewichteter Durchschnitt der Zielerreichungsgrade berechnet. Die Berechnungsformel hierfür lautet:

$$N_j = \sum g_i * z_{ij}$$

z_{ij} – Zielerreichungsgrad für Ziel i bei Alternative j

g_i – Gewicht für Ziel i

N_j – Nutzwert der Alternative j

(vgl. Cerwenka et al: 2007, 203)

Bei der KWA erfolgt die Wertsynthese fast ident zum Nutzen-Kosten-Quotientkriterium der NKA. Es werden auch hier Input und Output differenziert, nur mit dem Unterschied, dass der Output nicht die Dimension (EUR/a) aufweist, sondern die Nutzenpunkte eingesetzt werden. Das Ergebnis ist ein (nicht dimensionsloser) Quotient, der das Verhältnis aus den jährlich eingesetzten Maßnahmenkosten und den Nutzenpunkten angibt (vgl. Cerwenka et al., 2007: 206).

Schritt 8: Alternativenreihung

Aus den Ergebnissen der Wertsynthese kann nun eine Reihung von Alternativen aufgestellt werden.

Wie Maßnahmen im Rahmen des Lärmaufkommens im Schienenverkehr beurteilt werden, hängt vom gewählten Bewertungsprinzip ab.

Bei der gesamtwirtschaftlichen Bewertung wird ein Projekt als ökonomisch eingestuft, wenn der Ressourcenverzehr geringer ist als die Nutzenstiftung. Dabei wird der Tatsache, wer die Verlierer (z. B. neue Lärmbetroffene) und wer die Gewinner einer schieneninfrastrukturellen Maßnahme sind, keine Beachtung geschenkt. Die

Verteilungseffekte werden hierbei also nicht berücksichtigt, was aus ethischer Sicht fragwürdig ist.

Das Pareto-Kriterium hingegen berücksichtigt die Frage der Gerechtigkeit, indem eine Maßnahme nur dann als zulässig erachtet wird, wenn keine BürgerIn nach der Umsetzung der Maßnahme schlechter gestellt ist als vor der Durchführung. Da jedoch negative Auswirkungen beispielsweise durch den Bau einer neuen Bahntrasse unvermeidbar sind (weil bei der Nutzung zwangsläufig Lärm entsteht), ist eine Pareto-Optimalität in der Realität nicht erreichbar.

Eine dritte Bewertungsmöglichkeit ist das sogenannte Kaldor-Hicks-Kriterium. Hier wird ein Kompromiss zwischen Effizienz und Gerechtigkeit eingegangen. Eine Maßnahme wird als sinnvoll erachtet, wenn die Verlierer theoretisch durch die Gewinner kompensiert werden können. Eine tatsächliche Kompensation bleibt in der Praxis aus. Würde eine solche Kompensation tatsächlich stattfinden – also wenn die Personen, die vom Bahnausbau profitieren (z. B. durch eine bessere Anbindung), einen Geldbetrag angeben, den sie für diese Verbesserung zu zahlen bereit wären, und dieser Betrag an jene weitergegeben würde, die durch den zusätzlichen Lärm eine Kompensation verlangen – dann wäre auch Paretoeffizienz erreicht (vgl. Cerwenka et al. 2007: 207).

Arbeitsschritt 9: Sensitivitätsanalyse

Bei der Sensitivitätsanalyse werden die im sechsten Arbeitsschritt festgelegten Gewichtungen verschoben und es wird somit überprüft, ob die Stabilität des Reihungsergebnisses noch immer gegeben ist. Das ist insofern sinnvoll, als sowohl die Zielerträge und deren Transformation in Zielerreichungsgrade als auch die Zielgewichtungen subjektiven und normativen Einflüssen unterliegen. Außerdem sind Eingabedaten mit Unsicherheiten behaftet, die nicht völlig ausgeschlossen oder ausreichend prognostiziert werden können.

Arbeitsschritt 10: Schlussempfehlung

Am Ende des Bewertungsprozesses wird in der Regel eine Empfehlung für eine Maßnahme gegeben. Falls die Rangstabilität nicht ausreichend ist, muss jedoch keine klare Empfehlung ausgesprochen werden. Formale Entscheidungshilfen sollen dem Rechtsstaat dienen, um legitimierte Entscheidungen zu treffen. Die endgültige

Durchführung muss jedoch immer durch ein Mandat beschlossen werden, das von den WählerInnen erteilt wurde (vgl. Cerwenka et al. 2007: 208).

4.5.5 Methodenkritik an den formalisierten Entscheidungshilfen

Die NKA bietet den Vorteil, dass durch die Monetarisierung eine einfache Vergleichbarkeit zwischen unterschiedlichen Maßnahmen ermöglicht wird. Zudem ist keine explizite Zielgewichtung erforderlich, da aufgrund der Kardinalskalierung eine Addierung möglich ist. Die Grenzen der NKA werden dadurch jedoch schnell deutlich, da die Bewertung von sozialen und ökologischen Aspekten nur über Umwege möglich ist. Fragen des Umwelt- und Naturschutzes sind häufig nicht erfassbar.

Im Gegensatz dazu ermöglicht die Nutzwertanalyse ebendiese Bewertung von Lärmbelastungen oder anderen Umwelteinflüssen.

Einer der wohl präsentesten Vorteile der Nutzwertanalyse besteht darin, Entscheidungsprozesse im öffentlichen Sektor transparent zu machen. Denn durch die Systematisierung der Entscheidungsfindung müssen Werturteile expliziert werden. Des Weiteren ist durch die Amalgamation der Teilwirksamkeiten eine größere Entscheidungskraft gegeben. Der Nutzwert ist ein zusammengeführter Wert, der in logischer Hinsicht eine eindimensionale Ordnungsmatrix ist. Sind die Kosten für die verschiedenen Projektoptionen ungefähr gleich, kann mithilfe der Nutzwertanalyse eine klare Reihenfolge der Alternativen festgelegt werden. Ist dies nicht der Fall, kann durch negative Teilnutzwerte auch der Kostenaspekt Eingang in die Bewertung finden.

Die Nutzwertanalyse erweist sich ebenso wie die NKA als ungeeignet, wenn es darum geht, die gesamtwirtschaftlichen Vorteile einer Maßnahme zu bewerten. Der Grund dafür liegt darin, dass monetäre Kosten und dimensionslose Zahlen nicht in denselben Bezugsrahmen passen (vgl. Hanusch, 2011: 183).

Im Gegensatz dazu bewertet die Kosten-Wirksamkeitsanalyse, die im Prinzip eine Verschneidung der zwei zuvor genannten Bewertungsmethoden ist, monetäre und nicht-monetäre Werte. Die monetären Nutzwerte im Zähler werden mit den Maßnahmenkosten im Nenner verschnitten. Das Ergebnis sind Kosten pro Einheit, beispielsweise also Euro pro Dezibel Lärminderung. Da die Dimensionen nicht gleich sind, ist der Quotient nicht interpretierbar (zumindest nicht absolut), sondern kann nur für einen Vergleich zwischen

den Planungsalternativen verwendet werden. Somit kann auch kein Vergleich zum Planungsnullfall gezogen werden. Außerdem ist die Bewertung des Nutzwertes wie bei der Nutzwertanalyse mit methodischen Unsicherheiten behaftet. Im Verkehrswesen hat sich die NWA nicht durchgesetzt (vgl. Cerwenka et al., 2007: 217).

	NKA	NWA	KWA	WA
Anwendung	Monetarisierung aller Einflussfaktoren auf die Projekte zur Bestimmung des größten volkswirtschaftlichen Nutzen im Vergleich zu den eingesetzten Geldmitteln	Bewertung der qualitativen Faktoren über Zielerfüllungsgrade, kardinale Messbarkeit jedoch nicht monetarisierbar	versucht NKA und NWA zu kombinieren, verzichtet auf Monetarisierung von Umweltwirkungen, verwendet physische Messgrößen aber keine Geldeinheiten	Bewertung rein qualitativer/weicher Faktoren ohne Monetarisierung
Faktoren	kardinal messbar, originär monetär	kardinal messbar, nicht monetarisierbar	kardinal messbar, monetarisierbar	kardinal messbar
Vorteil	direkter Vergleich durch einheitliche Skala und leicht begreifbares Ergebnis, stellt volkswirtschaftlichen Nutzen in den Vordergrund, ist relativ objektiv in der Bewertung	höhere Flexibilität und Gestaltungsfreiheit, Berücksichtigung qualitativer Faktoren, komplexere Projekte können besser vereinfacht werden, Kombinierbarkeit unterschiedlicher Dimensionen, Berücksichtigung von Personengruppe möglich	hohe Transparenz und Nachvollziehbarkeit, Zwang zu klaren Zielen, monetäre und qualitative Faktoren werden vereint	Werturteile müssen offengelegt werden, Berücksichtigung qualitativer Faktoren, Wirkungsmatrix zeigt Kausalzusammenhänge auf, schwer zu erhebende Wirkungen
Nachteil	komplexes Verfahren mit wenig Flexibilität, Vergleichbarkeit von Projektalternativen eingeschränkt, Monetarisierbarkeit nicht immer gegeben	hoher Grad an Subjektivität durch Wertung und Gewichtung, volkswirtschaftlicher Nutzen nicht direkt ablesbar, Alternativen nicht immer miteinander vergleichbar	hohe Subjektivität und Werturteile, Monetarisierung oft komplex	Kosten der Projekte müssen für Vergleich in der selben Größenordnung sein, keine gesamtwirtschaftliche Berücksichtigung möglich

Abbildung 9: Vergleich des quantitativen Bewertungsinstrumentariums nach Cerwenka et al. (2007)

In der Gegenüberstellung aller Methoden (siehe Abbildung 9) wird noch einmal deutlich, dass die NKA in ihrer traditionellen Art zwar für die Quantifizierung gut geeignet ist, jedoch nicht, um nicht direkt monetarisierbare Faktoren in die Bewertungen miteinzubeziehen.

Im Unterschied dazu werden bei der Kosten-Wirksamkeitsanalyse diese Faktoren miteinander vereint. Umweltauswirkungen werden hierbei nicht monetarisiert, sondern lediglich in physischen Messgrößen ausgedrückt. Bei der Nutzwertanalyse hingegen wird der Nutzen über eine in hohem Maße subjektive Bewertung festgestellt und ist nicht direkt ablesbar. Außerdem muss vermieden werden, dass die Kriterien sich überschneiden. Darüber hinaus erfolgt hierbei keine Monetarisierung. Für die Bewertung von weichen, rein qualitativen Faktoren ist die Wirkungsanalyse am geeignetsten. In der Kostenmatrix werden auch Kausalzusammenhänge sichtbar. Voraussetzung für einen Vergleich mittels WA ist jedoch, dass sich die Projekte in derselben Kostenkategorie befinden müssen.

4.5.6 Kritik an der Nutzen-Kosten-Untersuchung in Bezug auf Lärmbeurteilung im Schienenverkehr

Bei Maßnahmen im Schienenverkehr entstehen Verteilungsprobleme. Während beispielsweise berufstätige Personen von einer schnelleren Verbindung durch den Neubau einer Bahnstecke profitieren, können Personen, die diese nicht nutzen, beispielsweise PensionistInnen, die weniger Wege pro Tag zurücklegen, durch den Lärm und Folgeeinwirkungen wie Gesundheitsschäden negativ betroffen sein. Diese ungleiche Verteilung von Belastungen lässt sich ethisch nur schwer rechtfertigen und eine bloße Aufrechnung zwischen GewinnerInnen und VerliererInnen ist zwar möglich, aber nicht fair.

Weiters ist auch die Nutzenmessung der Lärmwirkungen nur schwer durchführbar. Lärm ist nicht leicht zu monetarisieren. Er trifft Menschen unterschiedlich stark und es werden tiefergreifende Einflussfaktoren wie die strukturelle Wohnumgebung sowie gesundheitsbedingte und kulturelle Unterschiede nicht ausreichend beleuchtet.

Des Weiteren ist ein großer Kritikpunkt, dass Zahlungs- bzw. Akzeptanzbereitschaften, sofern sie erhoben werden, stark durch Einkommenseffekte verzerrt werden. Personen aus einer höheren sozialen Schicht können sich Ruhe eher ‚leisten‘.

Gerade mit der NKA soll durch Kompensationskriterien eine gesellschaftlich akzeptable Lösung für die Gerechtigkeitsaspekte geliefert werden. Jedoch sind individuelle Folgen wie Gesundheitsschäden, die durch Lärmbelastung entstehen können, letztlich nicht kompensierbar. Auch die Diskontierung, wenn sie nicht explizit anders angewendet wird, bringt eine geringere Bewertung zukünftiger Lärmbelastungen mit sich. Künftige Generationen können im Planungsprozess nicht mitentscheiden, leiden aber zu ihrer Lebenszeit dennoch unter den heute getroffenen Entscheidungen. (vgl. Cerwenka et al. 2007: 219f.).

Außerdem muss an diese Stelle erneut erwähnt werden, dass Schienenlärm auf komplexe Weise auf den menschlichen Körper einwirkt. Chronische Gesundheitsschäden werden beim Ausbau von Schienenverkehrsinfrastruktur pauschal nicht miteinbezogen.

4.6 Weitere Methoden zur Monetarisierung von Schienenverkehrslärm

In diesem Abschnitt der Arbeit werden die Möglichkeiten, wie eine Monetarisierung von intangiblen Gütern vorgenommen werden kann, beschrieben. Im Hinblick auf die Spezifizierung im methodischen Teil wird die Externalität Lärm herangezogen.

Liegt der Marktwert für ein Gut nicht vor, so muss dieser über Schatten- und Verrechnungspreise ermittelt werden. Diese Aufgabe ist nicht zu unterschätzen, denn monetäre Maßstäbe für Veränderungen in der Wohlfahrt der Gesellschaft zu erhalten, ist eine große methodische Herausforderung. Jene Veränderungen in der Verfügbarkeit öffentlicher Güter oder in deren Qualität müssen über andere Ansätze ermittelt werden.

Im Mittelpunkt steht die Frage, wie durch eine Maßnahme entstehender Schienenlärm in Geldwerten ausgedrückt werden kann.

Durch die Vorgaben der Verkehrspolitik stehen sich im Feld, also konkret an der Bahntrasse, zwei Gruppen von AkteurInnen gegenüber: Auf der einen Seite stehen die BahnbetreiberInnen, die ein wirtschaftliches Interesse am Betrieb von Bahnstrecken haben, und auf der anderen Seite die AnrainerInnen, bei denen sogenannte Non-Use-Values im Vordergrund stehen. Sie leiden unter dem erzeugten Lärm, werden aber nicht über den Markt abgebildet.

Das Lärmschutzinteresse ist nicht ohne Weiters abbildbar, da kein direkter Marktpreis für das Gut ‚Ruhe‘ vorhanden ist. Die Berechnung muss somit über Schattenpreise erfolgen (vgl. Cerwenka et al. 2007: 227f.).

4.6.1 Travel-Cost-Method

Mit dieser Methode wird versucht, die Werte eines öffentlichen Gutes (z. B. eines ruhigen Erholungsraumes) über die Reisekosten der BesucherInnen zu berechnen. Wenn jemand bereit ist, einen gewissen Aufwand zu betreiben, um ein ruhiges Erholungsgebiet zu besuchen, ist ihm jener Ort mindestens so viel wert wie die Kosten, die zu dessen Erreichung notwendig sind (Zeit, Fahrtticket, Abnutzung).

Aus diesen Reisekosten ließe sich eine Nachfragekurve ableiten. Die Fläche unterhalb dieser Kurve würde die Zahlungsbereitschaft darstellen und das ruhige Erholungsgebiet

bekäme so einen ökonomischen ‚Wert‘. In der Praxis kann diese Methode jedoch nicht sinnvoll für die Monetarisierung von Lärmstörung verwendet werden (vgl. Cerwenka et al. 2007: 228).

4.6.2 Hedonic-Pricing-Method

Bei der Marktdivergenzanalyse ergibt sich eine Quantifizierung der lärmbedingten Schäden, die aus der Preisdifferenz am Markt entstehen.

Das Vorhandensein von Lärm als öffentliches Gut, das per se keinen monetären Wert hat, wirkt sich demnach durch sein Vorhandensein bzw. durch seine Abwesenheit auf Preise am Immobilienmarkt aus. Zwei Einfamilienhäuser mit identen Ausstattungsmerkmalen erzielen demnach unterschiedliche Preise am Immobilienmarkt, sofern eines von ihnen in unmittelbarer Nähe einer Bahnanlage situiert ist. Zur Analyse der Marktdivergenz sind umfangreiche Datensätze und Modelle notwendig, die eine Klassifizierung überhaupt erst ermöglichen (vgl. Fritz et al.: 2011: 11).

4.6.3 Contingent-Evaluation-Method

Die Methode der bedingten Bewertung zielt darauf ab, die Zahlungsbereitschaft von NutzerInnen für das Umweltgut Ruhe durch direkte Befragung bzw. Beobachtung ihres Verhaltens zu ermitteln. Besonders der Versuch, intangible Güter, die keinen direkt erfassbaren Wert haben, in die Beurteilungen der NKA miteinfließen zu lassen, ist aufwendig und methodisch fordernd (Klie, 2010: 103).

Übergeordnet lassen sich zwei Arten der Zahlungsbereitschaft unterscheiden.

Die offenbarten Präferenzen (engl. ‚revealed preferences‘) basieren auf der Analyse von Marktinformationen. Hierbei könnte beispielsweise der Marktpreis von Immobilien in Zusammenhang mit der Lärmbelastung durch Schienenverkehrsinfrastruktur gesetzt werden. Es lassen sich dadurch ebenfalls Aussagen über individuelle Präferenzen von KäuferInnen tätigen.

Eine andere Methode ist die Ermittlung von geäußerten Präferenzen (engl. ‚stated preferences‘). Diese wird im methodischen Teil dieser Arbeit angewendet. Durch Kontingentbefragungen werden Veränderungen von Lärmbelastungen über hypothetische Preisbildungen zum Ausdruck gebracht. Den ProbandInnen wird eine

konkrete Situation geschildert, die eine Verbesserung oder einer Verschlechterung des Umweltgutes unter den Annahmen von Kompensationsmaßnahmen abfragt (vgl. Schmid, 2005: 10).

Unterschieden wird in die Zahlungsbereitschaft (WTP) und die Akzeptanzbereitschaft (WTA) (vgl. Hanemann, 1991: 635).

Im Umweltbereich werden dadurch vorrangig die Schutz- und die Erholungsleistung eines Gutes erfasst, beispielsweise die eines Naturschutzgebietes. Ebenso lässt die Fragestellung aber auch auf negative Umweltauswirkungen übertragen, wie etwa bei der Belastung durch Schienenlärm.

4.6.3.1 Willingness-to-pay (WTP)

„Umweltgüter mittels Willingness-to-pay (WTP) zu bewerten, ist der bewusste Versuch, Güter monetär zu bewerten, die nicht auf einem Markt gehandelt werden. Bei einer WTP-Umfrage stellt man sich nun einen hypothetischen Markt vor, auf dem das fragliche Umweltgut gehandelt wird.“ (Klie, 2010: 108)

Zahlungsbereitschaften ermöglichen es also, öffentliche Güter zu bewerten. Am Beispiel von Verkehrslärm könnte die Anwendung wie folgt aussehen: Plant eine Gemeinde Maßnahmen zur Reduktion des Schienenverkehrslärms in einem bestimmten Wohngebiet, so wäre es theoretisch möglich, alle potenziell betroffenen AnwohnerInnen zu befragen, wie viel sie bereit wären, für eine spürbare Lärmreduktion zu bezahlen.

Werden diese erhobenen Zahlungsbereitschaften aggregiert, ergibt sich daraus der monetäre Wert der Lärminderung in ebendiesem Wohngebiet. Alternativ kann auch ein Durchschnittswert berechnet und mit der Anzahl der betroffenen Haushalte multipliziert werden. Hierbei sollte jedoch auf eine ausreichende Größe der Stichprobe geachtet werden.

Dieses Vorgehen lässt sich auch auf andere Umweltbelastungen übertragen. Festzuhalten ist, dass dieser monetäre Wert keine Aussage über den individuellen Nutzen der befragten Personen trifft. Während die einen vor allem durch einen besseren Schlaf profitieren, sehen andere den Nutzen in einer erhöhten Aufenthaltsqualität im eigenen Garten (vgl. Klie, 2010: 103f.).

KritikerInnen der Verwendung von WTP-Umfragen argumentieren, dass diese keine Informationen über individuelle Präferenzen liefern und stark von Einkommens- und Vermögenseffekten beeinflusst werden (vgl. Bar-Grill, 202: 1).

4.6.3.2 Willingness-to-accept (WTA)

Im Gegensatz zur Zahlungsbereitschaft ist die Akzeptanzbereitschaft (WTA) ein Wert, der die notwendige Kompensation angibt, um eine negative Einwirkung auf ein Gut zu akzeptieren (vgl. Kloepper, 2006: 316).

Um dies analog am Beispiel des Schienenlärms weiterzuführen, könnte mittels der WTA jener Betrag ermittelt werden, ab dem betroffene AnwohnerInnen bereit wären, eine Verschlechterung der aktuellen Lärmsituation – beispielsweise durch eine erhöhte Frequentierung einer Bahnstrecke – in Kauf zu nehmen.

Die Akzeptanzbereitschaft beschreibt also jenen minimalen Geldbetrag, den eine AnrainerIn erhalten müsste, um den erhöhten Lärm zu akzeptieren.

In der Forschung von Kahneman und Tversky wird konstatiert, dass Menschen oft einen höheren Preis verlangen, um einen Verlust zu vermeiden, als sie bereit wären, für den Erhalt eines Gutes zu zahlen. Dieses Phänomen wird als Verlustaversion bezeichnet und ist Teil der Prospect-Theory (vgl. Kahneman et al., 1979: 263).

Diese Verlustaversion wird besonders bei Umweltgütern wie sauberer Luft und sauberem Wasser deutlich, da es sich hierbei um nicht substituierbare Güter handelt (vgl. Qin et al., 2019: 2).

Diese Diskrepanz, dass Menschen den Verlust eines Gutes als schmerzhafter wahrnehmen als den Erhalt eines Gutes (was im Übrigen die Lücke zwischen WTP und WTA erklärt), wird in der Literatur als Endowment-Effekt bezeichnet. Er verdeutlicht, dass der subjektive Wert eines Gutes stark davon abhängt, ob es sich im Besitz einer Person befindet oder nicht (vgl. Bischoff, 2006: 1).

4.6.4 Vermeidungskostenansatz

Der Vermeidungskostenansatz ermittelt die Kosten, die für die völlige Vermeidung oder die deutliche Reduktion des Lärmaufkommens anfallen. Ein Beispiel dafür wäre die Installation von Lärmschutzwänden entlang der bewohnten Bahnstrecke oder das

Fördervolumen, das für den Verbau von schallisolierenden Fenstern und Türen ausgeschüttet werden muss.

Der Vorteil der Methode liegt insbesondere darin, dass es keiner detaillierten und tiefergreifenden Analyse bedarf. Es werden lediglich die Investitionskosten mit den verminderten Emissions- bzw. Immissionswerten in Beziehung gestellt. Außerdem ist die Integration in die NKA über die Investitionskosten direkt möglich.

Die Methodik wird häufig in der Praxis angewendet, da sie einfach zu handhaben ist. Es bleibt aber offen, welche Immissionen bei den Betroffenen direkt einwirken. Die tatsächliche Lärmbelastung, der AnwohnerInnen ausgesetzt sind, kann hierbei lediglich deskriptiv ergänzt werden, was demnach erneut zu einer Vernachlässigung der Einflüsse auf das Lebensumfeld von AnrainerInnen und Betroffenen zur Folge hat (vgl. Cerwenka et al., 2007: 230f.).

4.6.5 Schadenskostenansatz

Der Schadenskostenansatz misst jene Kosten, die zur Behebung von durch Lärm verursachten Schäden notwendig sind. Konkret könnten hier z. B. anfallende Behandlungskosten herangezogen werden, die durch lärminduzierte Erkrankungen entstehen. Der Nachteil dieser Methode liegt eindeutig darin, dass eine Zurechenbarkeit eine große Herausforderung darstellen kann, da eine vollständige Erfassung aller Einflussfaktoren und Auswirkungen schlichtweg nicht möglich ist (vgl. Fritz et al.: 2011: 12).

4.6.6 Opportunitätskostenansatz

Opportunitätskosten sind der entgangene Nutzen, der bei einer Nichtumsetzung einer Planungsalternative, z. B. der zweitbesten Möglichkeit, wegfällt. In Bezug auf die Wohnumgebung ist es beispielsweise der Fall, dass durch eine steigende Lärmbelastung die Attraktivität eines Mietobjektes sinkt und so nur niedrigere Mieteinnahmen erzielt werden können. (vgl. Cerwenka et al., 2007: 231)

5 Situationsspezifische Bewertung von Schienenverkehrslärm

5.1 Methodische Ausgangslage und Begründung des Forschungsansatzes

Grundsätzlich handelt es sich bei der Lärmforschung um ein multidisziplinäres Feld, in dem durch die Kombination verschiedener Methoden versucht wird, Wirkungszusammenhänge zu analysieren. Die Beforschung dieses Lärmaufkommens erfolgt in der Regel durch die folgenden Methodiken:

- Feld- und Laborstudien,
- Verfahren zur Messung und Berechnung der Lärmexposition,
- Befragungen und psychologische Testverfahren
- physiologische Messungen,
- Sekundärdatenanalysen zur Erfassung von Lärmwirkungen.

Aber auch weitere Disziplinen wie Kommunikations- und Politikwissenschaften spielen eine Rolle, da ebenso wie die reine Erfassung der Lärmwirkungen auch gesellschaftliche Partizipation und Informationsstrategien von Bedeutung sind. Ziel ist es, eine nachhaltige und menschenorientierte Verkehrspolitik zu fördern (vgl. ERRAC, 2019: 24).

Im Rahmen dieser Arbeit wird eine situations- und lokalspezifische Weiterentwicklung der Monetarisierung von Lärmwirkungen angestrebt.

Bisher wurde im Rahmen der Bewertung von Schienenverkehrslärm, insbesondere im Rahmen der NKA, meist auf pauschalisierte Kostensätze zurückgegriffen. Diese stammen entweder aus internationalen, meist harmonisierten Studien oder es handelt sich um bundesweit einheitliche Werte, die keine lokale Differenzierung aufweisen. Das Umweltbundesamt Österreich beispielsweise veröffentlicht keine expliziten Kostensätze zur monetären Bewertung von Lärm, wenngleich es Informationen zu Lärmbelästigung und Lärmschutzmaßnahmen liefert. Hier setzt die vorliegende Arbeit an.

Denn nur durch die Anwendung von differenzierten und lokalspezifischen Kostensätzen, wie sie in dieser Arbeit erhoben und berechnet werden, können einwirkende Aspekte ausreichend beachtet werden. Bei einer direkten Erhebung der Zahlungsbereitschaft ist der entscheidende Vorteil, dass alle individuellen Parameter der AnrainerInnen

automatisch in die Bewertung miteinfließen. Die Frage ‚Was ist Ruhe Wert?‘ wird somit von den Betroffenen durch einen monetären Wert beantwortet.

Dieser Zugang unterscheidet sich deutlich vom üblichen Vorgehen zur Lärmbewertung, bei dem rein physikalischen Messverfahren oder andere Bewertungsmodelle zum Einsatz kommen.

Selbsterklärtes Ziel ist es, lokalspezifische Kostensätze zu entwickeln, die sowohl objektiv messbare Dezibelwerte als auch die subjektive Lärmstörung abbilden. Dies wird durch eine Kontingentbefragung erreicht, die in Verbindung mit den Dezibelwerten der Lärminfokarte Österreich gesetzt wird.

Der hier gewählte Weg verfolgt dabei einen speziellen, praxisnahen Ansatz zur Bewertung von Schienenlärm – in Form einer Kontingentbefragung, die über bisherige Verfahren hinausgeht und somit die zentrale Kritik an den bisherigen Bewertungspraktiken aufgreift.

5.2 Übergeordneter Untersuchungsraum Westbahnstrecke St. Pölten–Wien

Für die Beantwortung der Forschungsfragen wurde die Westbahnstrecke – konkret der niederösterreichische Abschnitt Atzenbrugg und St. Valentin – als Fallbeispiel gewählt, da sie eine der zentralen und am stärksten frequentierten Eisenbahnverbindungen Österreichs darstellt. Sie verbindet die Landeshauptstädte Wien und Salzburg über eine Gleislänge von 312,2 km. Das Verkehrsaufkommen ist sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr hoch und die Strecke führt darüber hinaus durch dicht besiedelte Ballungsräume (vgl. ÖBB-Infrastruktur AG, 2022). Gerade diese hohe Frequentierung in dichtbesiedeltem Gebiet macht diese Strecke besonders relevant für die Lärmforschung. Zwischen dem Westbahnhof und St. Pölten verkehren laut Angaben der Trainline täglich rund 62 Direktverbindungen. Zusätzlich sind täglich in etwa 50 Richtungen im Rahmen des Fernverkehrsangebots zu verzeichnen. Ergänzt durch Regionalverbindungen und Güterverkehrszüge beläuft sich die Gesamtzahl auf 550 Zugverbindungen pro Tag (vgl. Austria Forum, 2025) (vgl. LOK Report 2024) (vgl. Trainline 2025).

Im Rahmen dieser Arbeit war eine vollständige Befragung entlang der gesamten Strecke nicht umsetzbar, weshalb eine Stichprobe im lokalen Kontext erhoben wurde, die anschließend für das Bundesland Niederösterreich hochgerechnet wurde.

Seit den 1990er Jahren wurde die Bahnstrecke schrittweise zu einer viergleisigen Hochleistungsstrecke ausgebaut, nicht zuletzt um ihrer Rolle als zentrale Verbindungsstrecke des TEN-17-Korridors auf der Achse Paris–Budapest gerecht zu werden. Im Jahr 2012 wurde die Neubaustrecke der Westbahn eröffnet, die nördlich der ursprünglichen Strecke verläuft und durch das Tullnerfeld bis nach St. Pölten führt (siehe Abbildung 10). Seit der Inbetriebnahme dieser Streckenabschnitte wurde nicht nur eine Reisezeitverkürzung erzielt (Wien–Salzburg in 2 Stunden und 22 Minuten), sondern auch eine höhere Frequentierung der Strecke umgesetzt. Somit kommt es zu einem erhöhten Lärmaufkommen. Viermal stündlich befährt ein Personenverkehrszug der ÖBB oder der WESTbahn nun die Strecke. Darüber hinaus gibt es auch direkte Verbindungen mit dem RJ und der WESTbahn bis nach Vorarlberg (ÖBB, 2024) (vgl. Tiberius Populorum 2022).

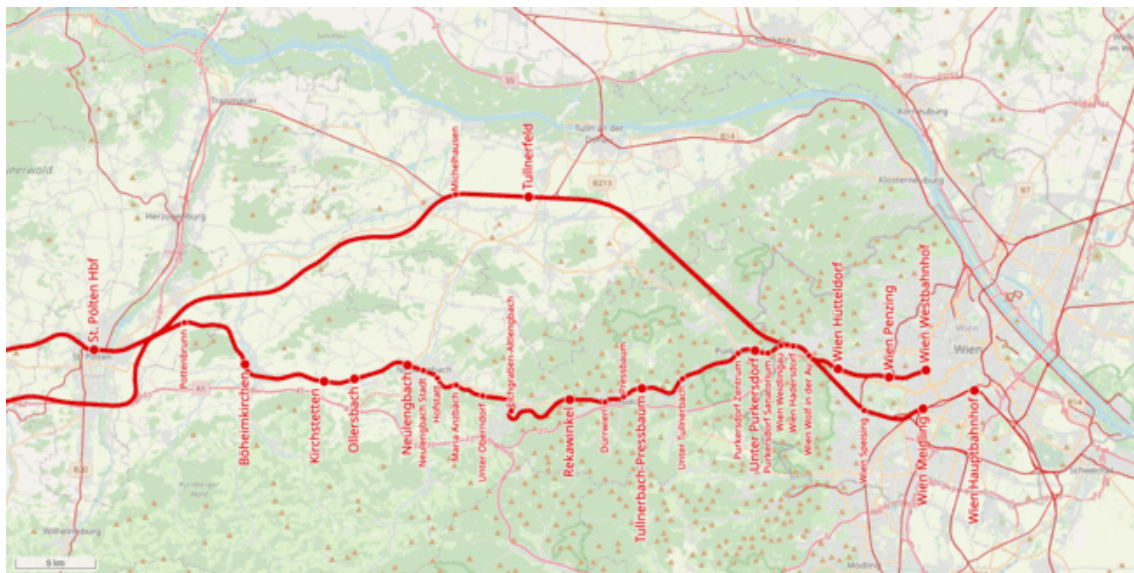


Abbildung 10: Westbahnstrecke St. Pölten–Wien (Quelle OSM 2023)

5.3 Abgegrenzter Untersuchungsraum für die Stichprobe

5.3.1 Lage

St. Valentin ist eine Stadtgemeinde im Bezirk Amstetten in Niederösterreich. Sie grenzt an den oberösterreichischen Bezirk Enns (siehe Abbildung 10). Die Stadt umfasst eine Fläche von 45,4 m². Die Katastralgemeinden von St. Valentin sind Endholz, Hofkirchen, Rems, St. Valentin und Thurnsdorf (vgl. Statistik Austria, 2024).

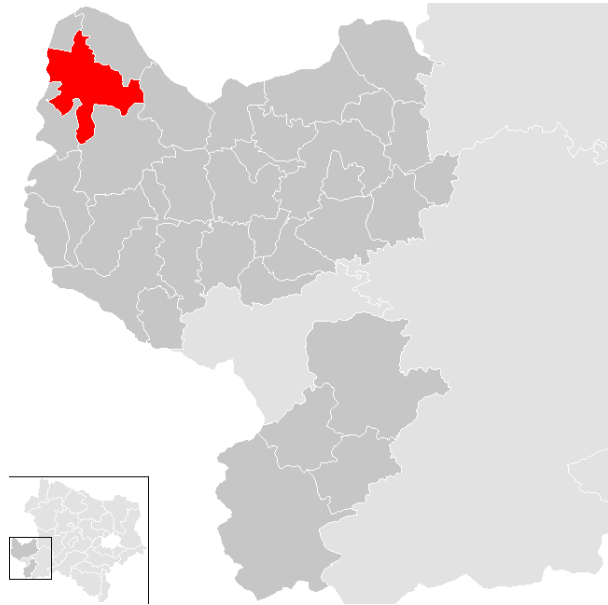


Abbildung 11: Lage St. Valentin (Quelle OSM 2024)

5.3.2 Auswahlgründe für die Untersuchung

Die Lage St. Valentins an der Westbahnstrecke war der entscheidende Grund für die Auswahl der Gemeinde als Untersuchungsgebiet im Rahmen dieser Arbeit.

Die Eisenbahnstrecke schneidet einmal mitten durch das Gemeindegebiet und verlärmst dadurch rund ein Viertel der gesamten Grundfläche. Insgesamt verlaufen 10,4 Gleiskilometer der Westbahn durch das Gemeindegebiet in St. Valentin (vgl. Amt der Niederösterreichischen Landesregierung 2025).

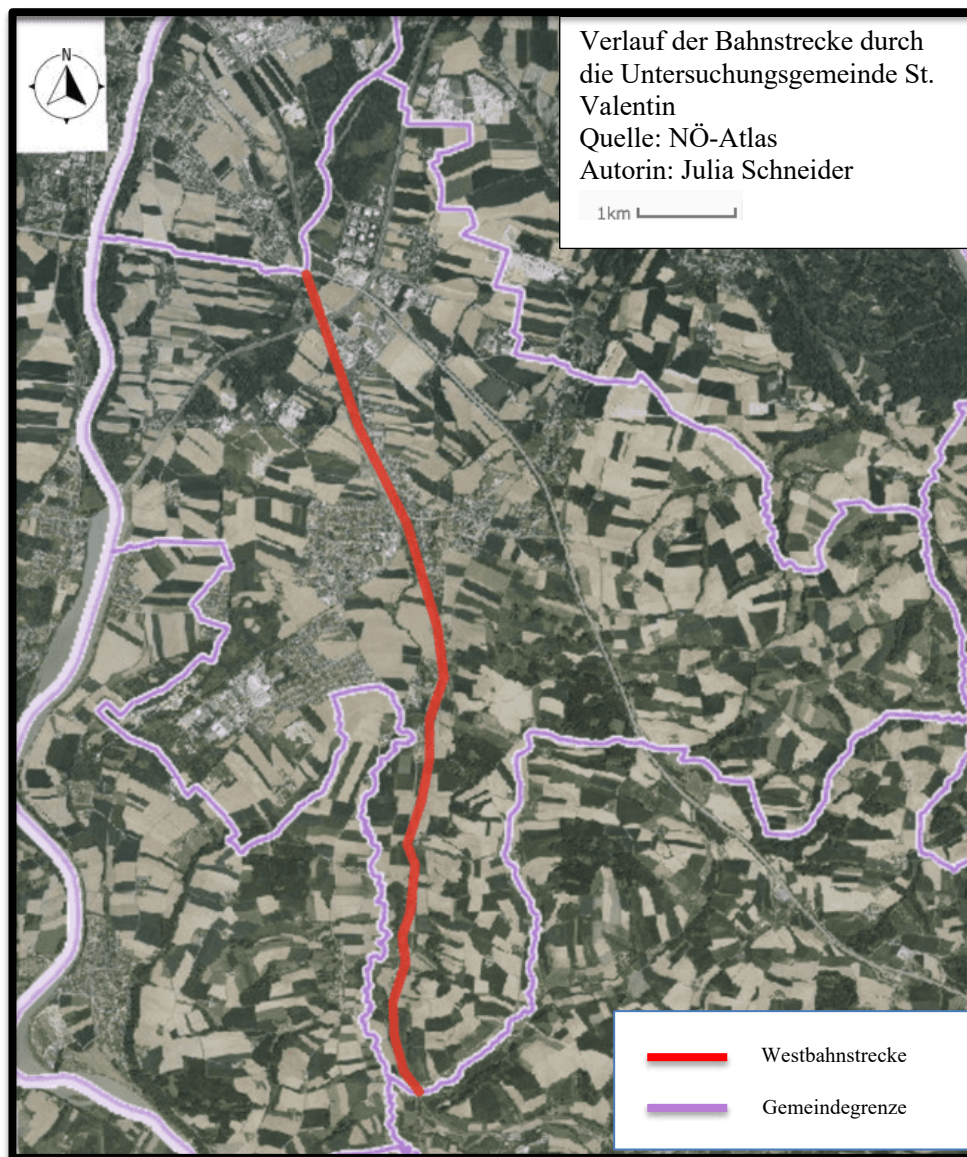


Abbildung 12: Verlauf der Westbahnstrecke durch die Untersuchungsgemeinde St. Valentin

Ein Blick auf die Lärmbelastungen, basierend auf den von Laerminfo.at bereitgestellten Kartierungen, zeigt, dass insgesamt 14,7 km² des Gemeindegebiets von Schienenverkehrslärm betroffen sind. Davon sind:

- 11,5 km² einer Lärmbelastung von über 55 dB ausgesetzt,
- 2,7 km² überschreiten 65 dB,
- 0,5 km² weisen eine hohe Lärmbelastung von über 75 dB auf.

Damit sind insgesamt 25,33 % der Gemeindefläche von Schienenlärm betroffen (siehe Abbildung 13).

Noch deutlicher wird die Belastung anhand der betroffenen Wohnungen: Insgesamt sind 2108 Wohnungen von Lärm betroffen, darunter:

- 1817 mit mehr als 55 dB,
- 272 mit mehr als 65 dB,
- 19 mit über 75 dB.

Des Weiteren sind zwei Schulen einer Lärmbelastung von über 55 dB ausgesetzt (vgl. BML, 2022a: 53/59).

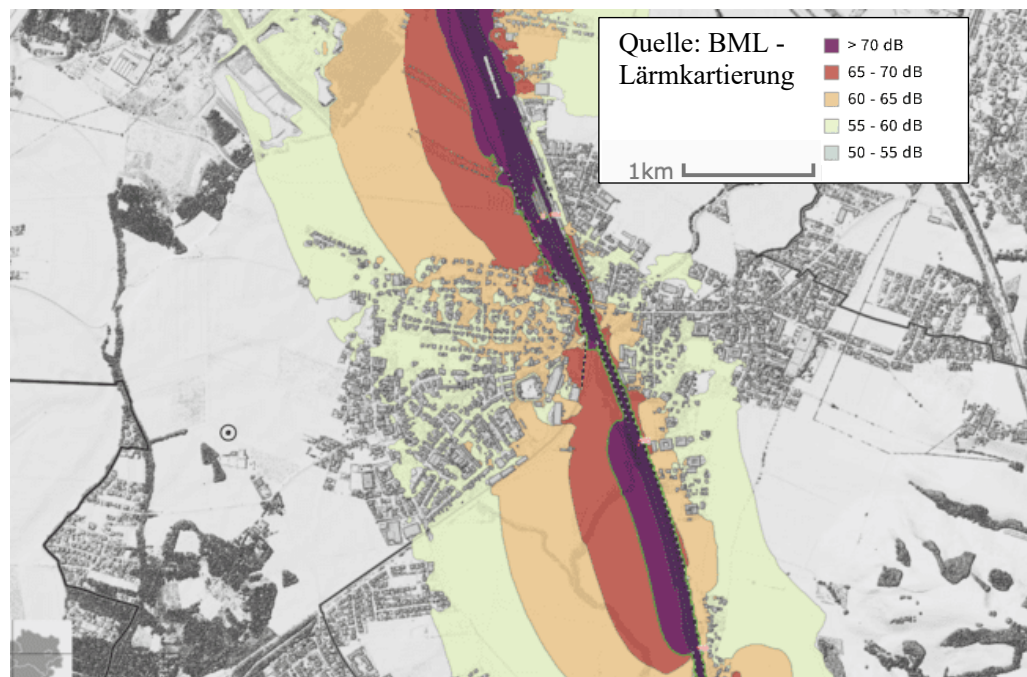


Abbildung 13: Verlärmung des Stadtzentrums von St. Valentin L_{eq}

Die Abbildungen 14 und 15 zeigen die verlärmten Bereiche mit 24-h-Werten in der gesamten Gemeinde und die Nachtbelastung, die für den Zeitraum 22–6 Uhr dargestellt wird.

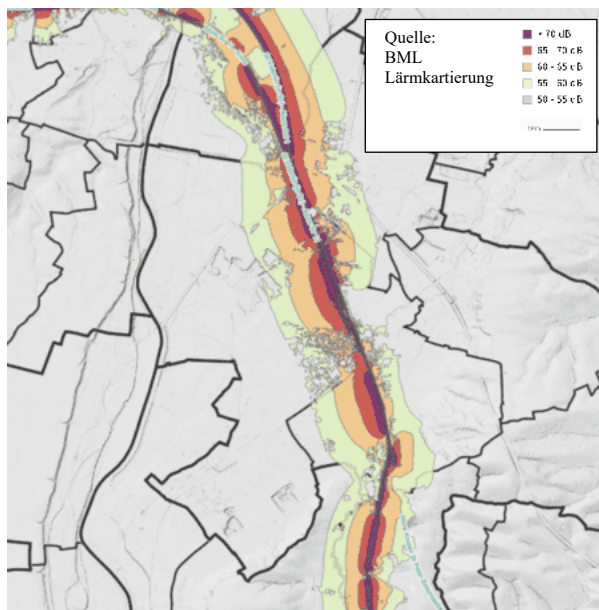


Abbildung 15: Summenkarte Lärmbelastung (0–24 Uhr) St. Valentin (2024)

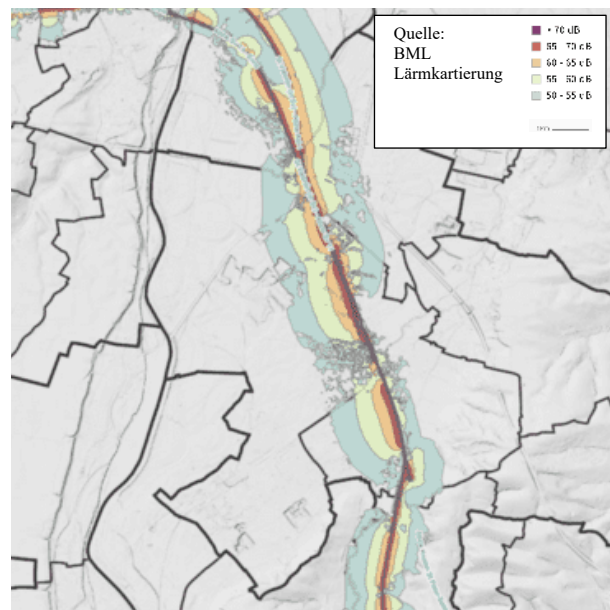


Abbildung 14: Lärmbelastung Nachtzeitraum (6–22 Uhr) St. Valentin (2024)

5.3.3 Bevölkerungsstatistik

Laut Statistik Austria lebten am 1. Januar 2024 in der Gemeinde 9327 Personen. Dieser Wert ist seit den 1980er Jahren stetig angestiegen und lediglich in der letzten Periode 2021–2024 leicht abgefallen. Dies führt zu einer aktuellen Bevölkerungsdichte von etwa 205 EinwohnerInnen pro Quadratkilometer. Die durchschnittliche Haushaltsgröße im Jahr 2022 betrug 2,14 Personen (vgl. Statistik Austria, 2024).

5.3.4 Bestehende Lärmschutzmaßnahmen in der Gemeinde

Grundsätzlich sind im Gemeindegebiet St. Valentin zahlreiche Lärmschutzwände installiert. Die Westbahnstrecke verläuft von Süden kommend durch Hofkirchen und führt weiter durch die Ortschaften Gutenhofen und den Ortskern von St. Valentin, bevor sie über Neu-Thurnsdorf bei Aichet das Gemeindegebiet in Richtung Ennsdorf verlässt. Im südlichen Bereich bei Hofkirchen sind keine Lärmschutzwände vorhanden, was vermutlich darauf zurückzuführen ist, dass sich dort nur wenige Siedlungsstrukturen befinden, abgesehen von einigen Hofstellen. Ab Gutenhofen sind beidseitig

Lärmschutzwände installiert, die jedoch stellenweise unterbrochen sind, und zwar dort, wo keine Gebäude in unmittelbarer Nähe zur Bahnstrecke errichtet sind.

Im Bereich Kirchdorf und im Ortskern von St. Valentin sind durchgehend beidseitige Lärmschutzwände installiert, was aufgrund der hohen Bevölkerungsdichte in diesem Bereich notwendig ist. Die Westbahn durchschneidet hier direkt das Ortsgebiet.



Abbildung 16: Lärmschutzwand St. Valentin (Eigene Aufnahme)



Abbildung 17: Lärmschutzwand St. Valentin (Eigene Aufnahme)

Westlich des Bahnhofs St. Valentin entlang der Kohlenplatzstraße fehlt jedoch eine Lärmschutzwand, wodurch zwei dort gelegene umfangreichere Siedlungsstrukturen weniger vor Bahnlärm geschützt sind.

Die letzte Ortschaft im Gemeindegebiet vor dem Übergang in die Nachbargemeinde ist Aichet, wo sich ebenfalls eine Lärmschutzwand befindet (vgl. BML, 2022a).

5.4 Untersuchungsmethodik: Kontingentbefragung zur Zahlungs- und Akzeptanzbereitschaft

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde eine Kontingentbefragung der von Bahnlärm betroffenen Personen in der Gemeinde St. Valentin durchgeführt.

Die Befragung erfolgte grundsätzlich online und richtete sich gezielt an Haushalte, die sich in den von Schienenlärm betroffenen Gebieten befinden. Die Auswahl dieser Haushalte ergab sich aus der Überschneidung der Lärmkarten von Lärm.info.at mit den Katasterdaten der Statistik Austria, wodurch eine präzise Abgrenzung der betroffenen AnrainerInnen gewährleistet wird.

Die Durchführung der Kontingentbefragung war notwendig, um direktes Feedback der betroffenen AnrainerInnen zu erfassen, was über rein technische Lärmmessungen hinausgeht. Dadurch konnten auch die subjektive Wahrnehmung und Belastung von Schienenverkehrslärm, soziale Indikatoren zu erfassen. Die Abbildung über die Zahlungs- bzw. Akzeptanzbereitschaften macht es außerdem möglich, situationsspezifische Kostensätze zu entwickeln und diese in Relation zu gesundheitlichen, strukturellen und sozialen Parametern zu setzen.

Im Rahmen der Auswertungen wurden die Befragten den folgenden drei Lärmklassen in Tabelle 2 zugeteilt:

Tabelle 2: Lärmklassen der Untersuchung

Lärmklasse	Schallpegel (dB)
1	mehr als 75 dB
2	65–75 dB
3	55–65 dB

Nach diesen Lärmklassen erfolgen auch die statistischen Auswertungen. Lediglich in der späteren Validierung der Kostensätze mit anderen nationalen und internationalen Studien wird mittels Interpolation auf mehrere Lärmklassen aufgeteilt.

Die Grundgesamtheit der betroffenen Wohneinheiten beträgt 2108. Dies ergibt laut Lärm.info Österreich eine Gesamtanzahl von 3180 potenziell betroffenen Personen.

Über Wurfsendungen an die betroffenen Haushalte wurde der Zugang zur Onlineumfrage über einen QR-Code ermöglicht.

Da dies für ältere Personen, die möglicherweise weniger technikaffin sind, eine Hürde darstellen könnte, wurden ergänzend persönliche Befragungen der AnrainerInnen an zwei Wochenenden durchgeführt.

5.5 Inhalte und Aufbau der Umfrage

Die Befragung wurde über das Tool „Google Forms“ durchgeführt und war in sechs thematische Abschnitte unterteilt. Dabei wurden sowohl Grundregeln des Umfragedesigns als auch Datenschutzrichtlinien berücksichtigt.

Im ersten Abschnitt erfolgte eine kurze Einführung zur Thematik der Umfrage. Hier wurden die maximale Dauer von fünf Minuten und Kontaktmöglichkeiten für Rückfragen angegeben. Außerdem war während der Befragung ein Fortschrittsbalken eingeblendet, um einen Überblick über die verbleibende Dauer der Umfrage zu geben.

Es wurde bereits zu Beginn klar kommuniziert, dass alle erhobenen Daten vertraulich behandelt und anonymisiert werden.

Die Umfrage war in die folgenden Abschnitte unterteilt:

- Lärmsensibilität
- Selbsteingeschätzter Gesundheitszustand
- Lärmbelästigung durch Zugverkehr
- Schlafverhalten und Schlafqualität
- Zahlungsbereitschaft und -Akzeptanz (WTA)
- Soziodemografische Angaben

Diese klare Strukturierung sollte ein logisches und zielgerichtetes Ausführen der Befragung ermöglichen.

Im ersten Abschnitt wurde die Lärmsensibilität der TeilnehmerInnen durch zwei unkomplizierte Einstiegsfragen erhoben. Anschließend wurde der selbst eingeschätzte Gesundheitszustand im Kontext der Wohnsituation erhoben. Zudem gab es eine Frage zu bestehenden Erkrankungen, deren Beantwortung jedoch freiwillig war und die gegebenenfalls übersprungen werden konnte.

Es folgte eine detaillierte Erfassung des Schlafverhaltens. Hierbei wurden sowohl Einschlaf- und Durchschlafprobleme als auch das Schlafumfeld (z. B. Nutzung von Ohropax, gekippte Fenster) abgefragt.

Im nächsten Abschnitt wurde die individuelle Lärmbelästigung behandelt und es wurde untersucht, in welchem Maße die BewohnerInnen von St. Valentin durch den Schienenlärm an ihrem Wohnort beeinträchtigt sind. Hier wurde zwischen den Tageszeiten und Aktivitäten differenziert.

Der wahrscheinlich anspruchsvollste Teil der Befragung wurde mit einem erklärenden Text zur Zahlungs- und Akzeptanzbereitschaft eröffnet. Diese Einführung diente nicht nur der besseren Verständlichkeit. Es wurde auch darauf hingewiesen, dass oftmals bei hypothetischen Geldbeträgen zu hohen Summen angegeben werden. Die Einführung schloss mit der Bitte, nur einen Geldbetrag anzugeben, den die Befragten tatsächlich zu bezahlen bereit wären.

In den letzten beiden Abschnitten wurden persönliche Angaben erhoben, darunter das Bahnnutzungsverhalten, das Alter, das Geschlecht und das Einkommen (Letzteres in Einkommensklassen). Abschließend wurden die TeilnehmerInnen gebeten, ihre Wohnadresse anzugeben, um eine Zuordnung zu den jeweiligen Lärmklassen zu ermöglichen. Da es sich um eine persönliche Angabe handelt, wurde nochmals darauf hingewiesen, dass die Daten vertraulich behandelt und ausschließlich für diese Zuordnungszwecke verwendet werden. Die Umfrage ist in Anhang 2 zu finden.

6 Deskriptive Ergebnisse: Erste Einblicke in Wahrnehmung und Bewertung von Schienenlärm

Insgesamt haben an der Umfrage 320 Personen teilgenommen. Sie wurde im Zeitraum Februar 2025 bis März 2025 durchgeführt. Die Verteilung der Personen nach den drei Lärmklassen ist der Abbildung 18 zu entnehmen.

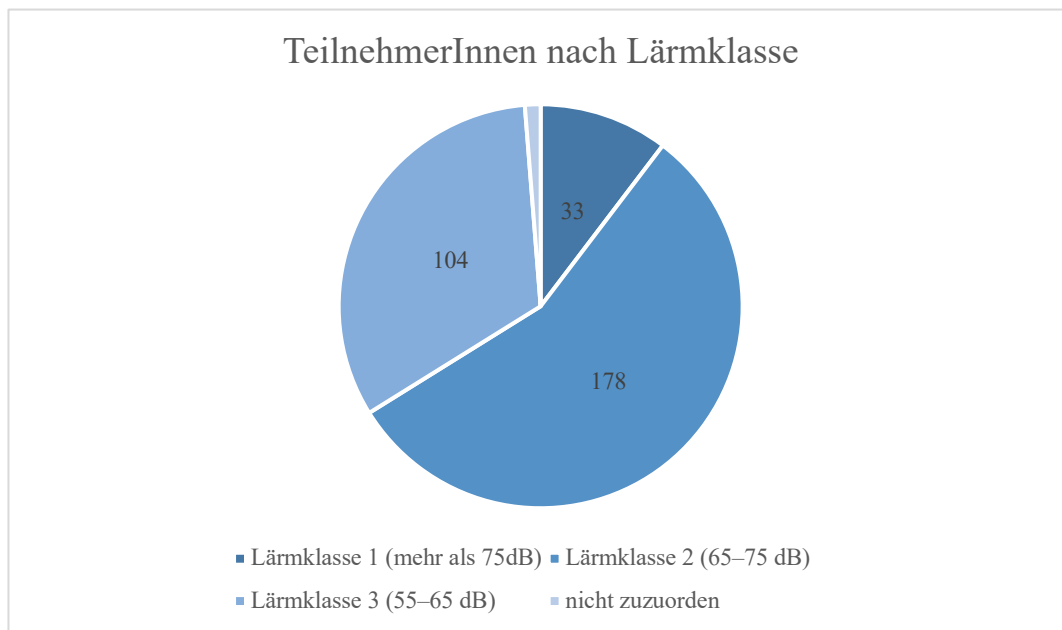


Abbildung 18: TeilnehmerInnen der Lärmbefragung in St. Valentin, 2025 (Eigene Darstellung)

Unter den TeilnehmerInnen der Umfrage waren 60 % Männer und 40 % Frauen. Fünf der befragten Personen haben die Angabe der Wohnadresse verweigert, weshalb eine Zuordnung ihrer Ergebnisse nicht möglich war. Ihre Angaben können lediglich bei den Ergebnissen berücksichtigt werden, bei denen keine Zuordnung zu den Lärmklassen notwendig war.

6.1 Altersverteilung

Die Altersverteilung über die sieben Altersklassen ist in Abbildung 19 zu sehen.

78 Deskriptive Ergebnisse: Erste Einblicke in Wahrnehmung und Bewertung von Schienenlärm

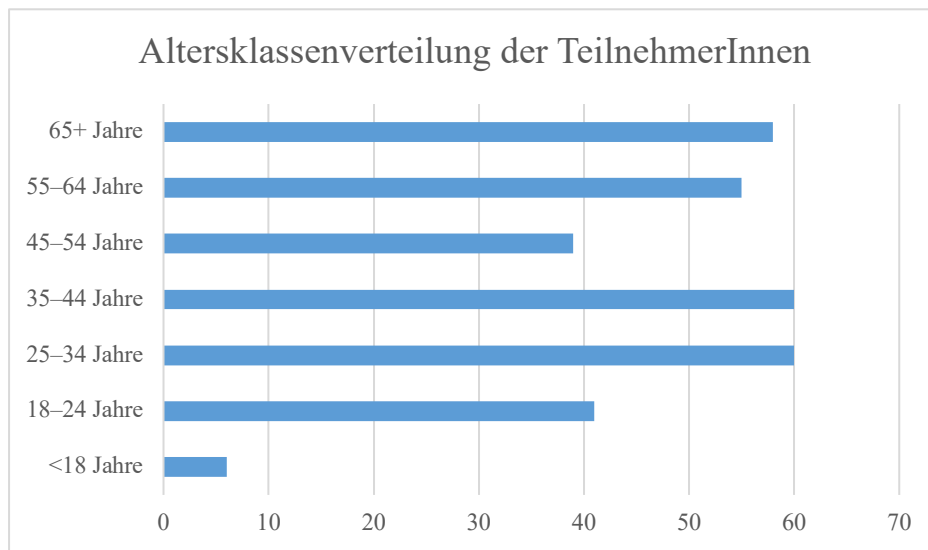


Abbildung 19: Verteilung über die Altersklassen der TeilnehmerInnen in St. Valentin, 2025 (Eigene Darstellung)

Das Beschäftigungsverhältnis der Befragten wird in Abbildung 20 dargestellt.

Von den Befragten sind 44 % vollzeitbeschäftigt, 21 % sind teilzeitbeschäftigt und 9 % befinden sich in Ausbildung. Die übrigen 26 % arbeiten aufgrund von Pensionierung oder Arbeitsunfähigkeit nicht.

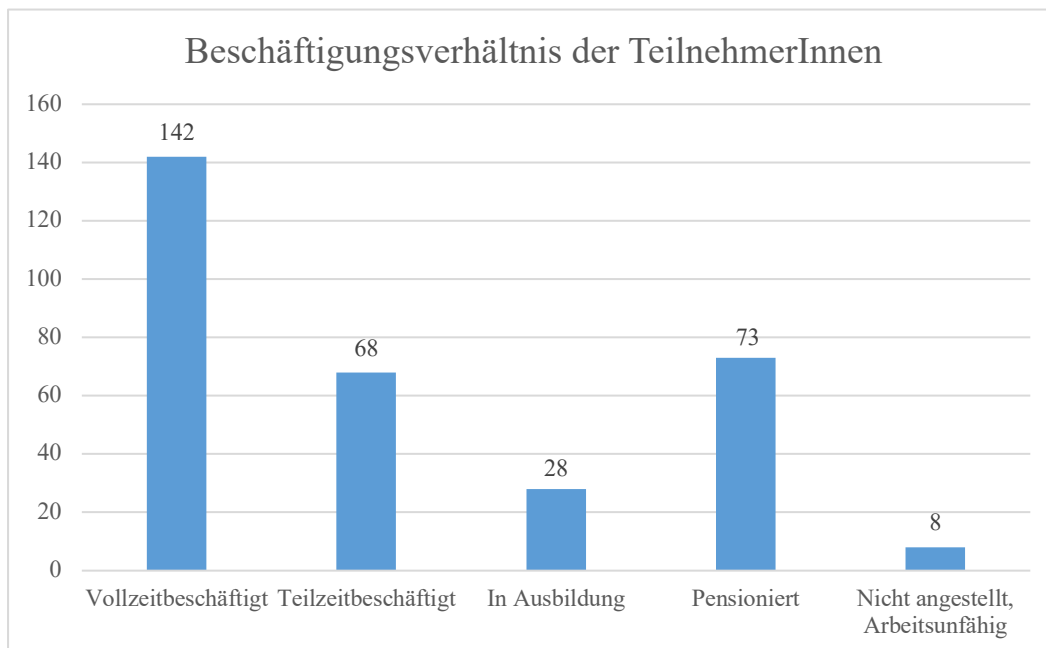


Abbildung 20: Beschäftigungsverhältnis der TeilnehmerInnen in St. Valentin, 2025 (Eigene Darstellung)

Von den Befragten gaben 40 % an, die Möglichkeit zu haben, im Homeoffice zu arbeiten, und dies auch regelmäßig zu tun.

Aus den Anstellungsverhältnissen ergibt sich eine Einkommensverteilung, die in Abbildung 21 abgebildet ist.

Diese wird später bei der Analyse der Verteilungseffekte im Zusammenhang mit den Zahlungs- und Akzeptanzbereitschaften relevant. Jedoch ist bereits vorab zu erwähnen, dass 86 TeilnehmerInnen die Angabe zum Einkommen verweigert haben.

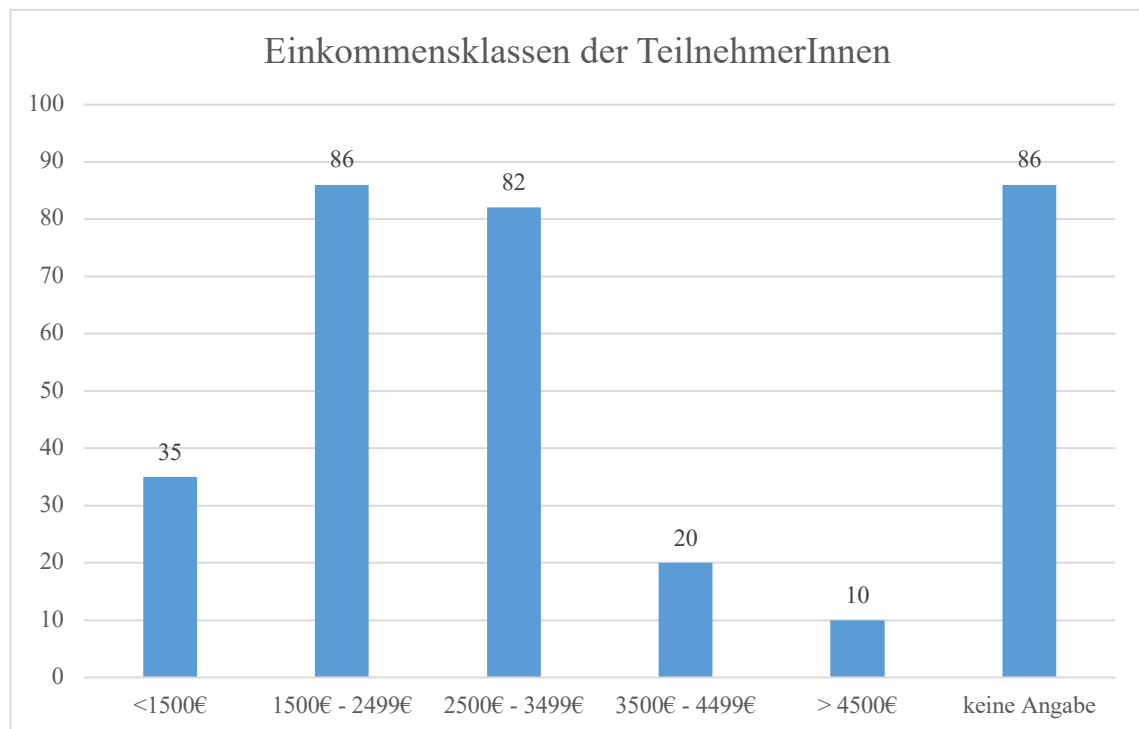


Abbildung 21: Einkommensklassen der TeilnehmerInnen in St. Valentin, 2025 (Eigene Darstellung)

Der größte Anteil der Befragten, nämlich 167, lebt in einem Einfamilienhaus im Eigentum. Den zweitgrößten Anteil bilden jene, die in einer Wohnung zur Miete leben. Dies trifft auf 87 der Befragten zu (siehe Abbildung 22).

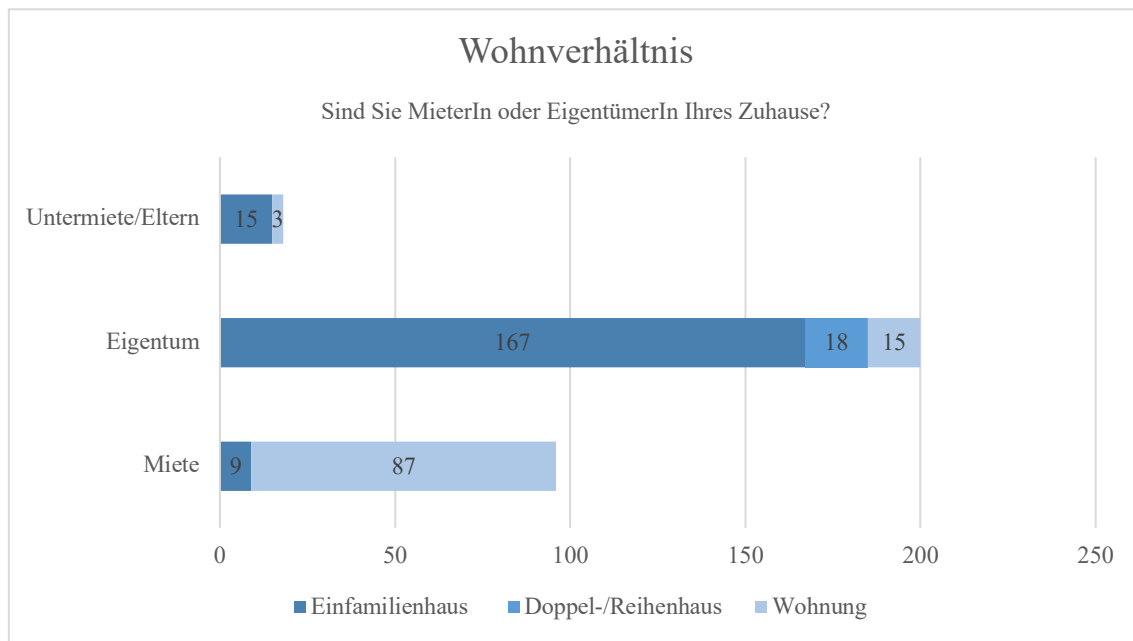


Abbildung 22: Wohnverhältnis der TeilnehmerInnen in St. Valentin 2025 (Eigene Darstellung)

6.2 Gesundheitszustand

Der selbsteingeschätzte Gesundheitszustand der Befragten wurde in fünf Abstufungen zwischen ‚sehr gut‘ und ‚sehr schlecht‘ erhoben. Diese werden für die Auswertung in eine Ordinalskala nach Schulnoten überführt (1 = ‚sehr gut‘, 5 = ‚sehr schlecht‘).

Es fällt auf, dass der Gesundheitszustand in der dritten Lärmklasse, die den weitesten Abstand zur Bahnstrecke aufweist, mit 2,15 deutlich besser zu sein scheint als in den beiden lautereren Lärmklassen, die sich zwischen 2,34 und 2,37 befinden (siehe Abbildung 23).

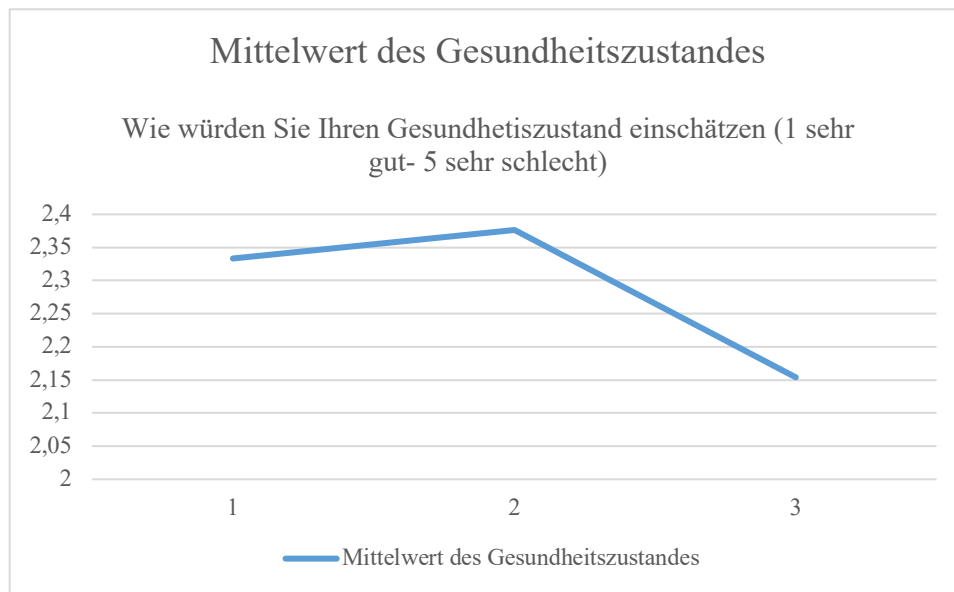


Abbildung 23: Mittelwert des Gesundheitszustandes der TeilnehmerInnen in St. Valentin, 2025 (Eigene Darstellung)

Die am häufigsten auftretende Erkrankung im Untersuchungsgebiet (Mehrfachantworten waren möglich) ist Bluthochdruck, gefolgt von Schlafstörungen und Depressionen. Außerdem wurden noch weitere Krankheiten von den Befragten angegeben, wie bipolare Störung, Rheuma und Asthma (siehe Abbildung 24).

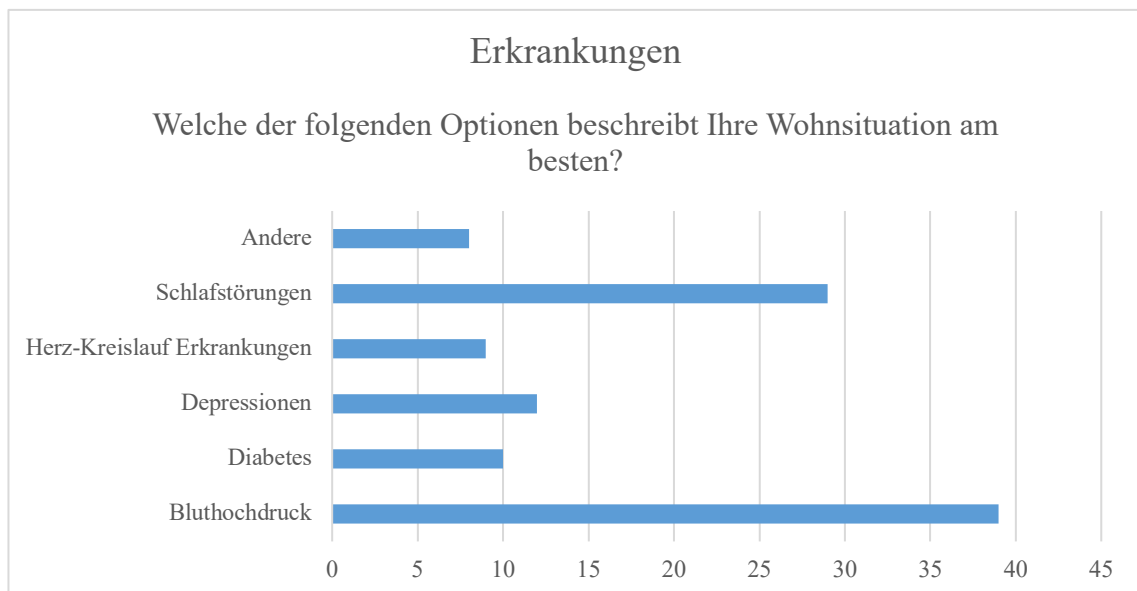


Abbildung 24: Erkrankungen der TeilnehmerInnen in St. Valentin, 2025 (Eigene Darstellung)

6.3 Lärmsensibilität

In Bezug auf die Lärmsensibilität wurden die AnrainerInnen gefragt, ob sie sich selbst im Vergleich zu Bekannten als weniger, gleich oder mehr lärmsensibel einschätzen würden. Die Mehrheit (52 %) gab an, gleich lärmsensibel zu sein, und 28 % meinten, sie seien weniger lärmsensibel (siehe Abbildung 25).

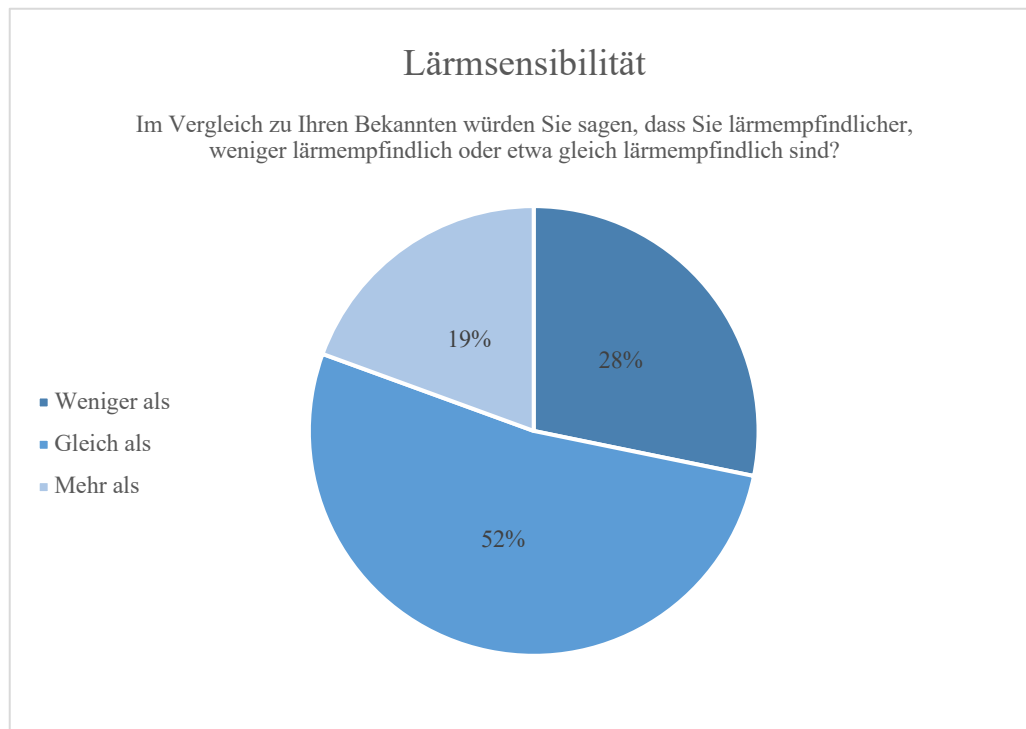


Abbildung 25: Lärmsensibilität der TeilnehmerInnen in St. Valentin, 2025 (Eigene Darstellung)

Um festzustellen, ob eine Desensibilisierung auftritt, wurden die TeilnehmerInnen befragt, ob sie sich an den Verkehrslärm in ihrer Umgebung über die Zeit hinweg gewöhnt haben. Hier gaben 64 % an, dies nicht getan zu haben. Es tritt also bei der Mehrheit der AnrainerInnen eine Lärmbelästigung auf, die sich über den Zeitraum der letzten zwölf Monate nicht verbessert haben dürfte (siehe Abbildung 26).

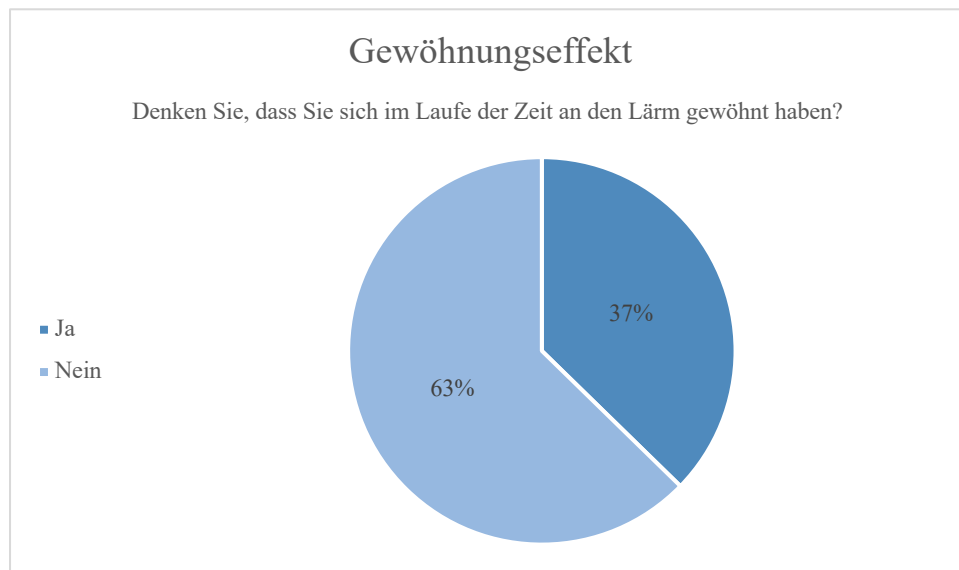


Abbildung 26: Gewöhnungseffekt der TeilnehmerInnen in St. Valentin, 2025 (Eigene Darstellung)

6.4 Lärmstörung

In einer Anschlussfrage wurde die Lärmstörung der AnrainerInnen im Innenraum und im Außenbereich um ihren direkten Wohnort abgefragt. Um eine bessere Vergleichbarkeit zu ermöglichen, wurden die Angaben prozentual innerhalb der Lärmklassen (siehe Tabelle 2) ausgewertet. Auf diese Weise wurde sichergestellt, dass keine Verzerrung der Ergebnisse durch die Anzahl der TeilnehmerInnen pro Lärmklasse erzeugt wird (siehe Abbildung 27).

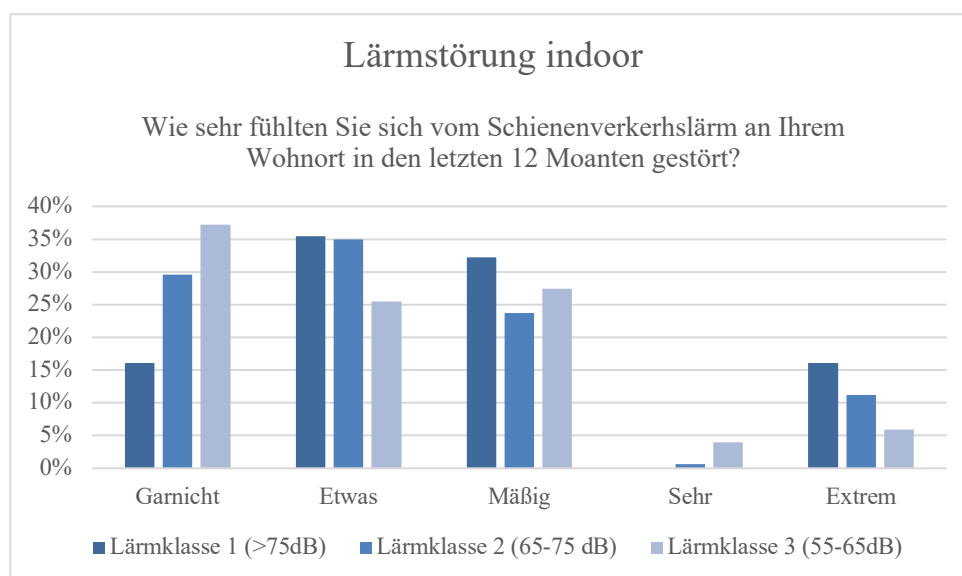


Abbildung 27: Lärmstörung indoor nach Lärmklassen der TeilnehmerInnen in St. Valentin, 2025 (Eigene Darstellung)

Werden nun die unterschiedlichen Störungsgrade verglichen, ergeben sich einige interessante Beobachtungen.

Die Personen, die sich gar nicht vom Lärm gestört fühlen, sind vor allem die der leisesten Lärmkategorie. In der Kategorie ‚etwas gestört‘ sind die Lärmklassen relativ ausgeglichen. Auffällig ist bei den sich mäßig gestört fühlenden Personen, dass die Lärmklasse 1, also jene am stärksten von Lärm betroffenen Personen im Außenbereich, keine einzige Antwort erhalten hat. Dies lässt sich jedoch dadurch erklären, dass die Lärmklasse 1 jene mit den geringsten absoluten Antworten ist. Die sich besonders stark gestört fühlenden AnrainerInnen sind wie erwartet in der Lärmklasse 1 zu finden. Insbesondere im Außenbereich ist der Unterschied deutlich erkennbar. Es fühlen sich 25 % der Personen in Lärmklasse 1 sehr gestört.

Auffällig ist, dass nur wenige Personen eine sehr starke Störung angegeben haben, nämlich sowohl im Innen- als auch im Außenbereich (siehe Abbildung 28). Eventuell könnte der Drang zur Mitte, der bei der Beantwortung von Umfragen eine Rolle spielt, dies erklären.

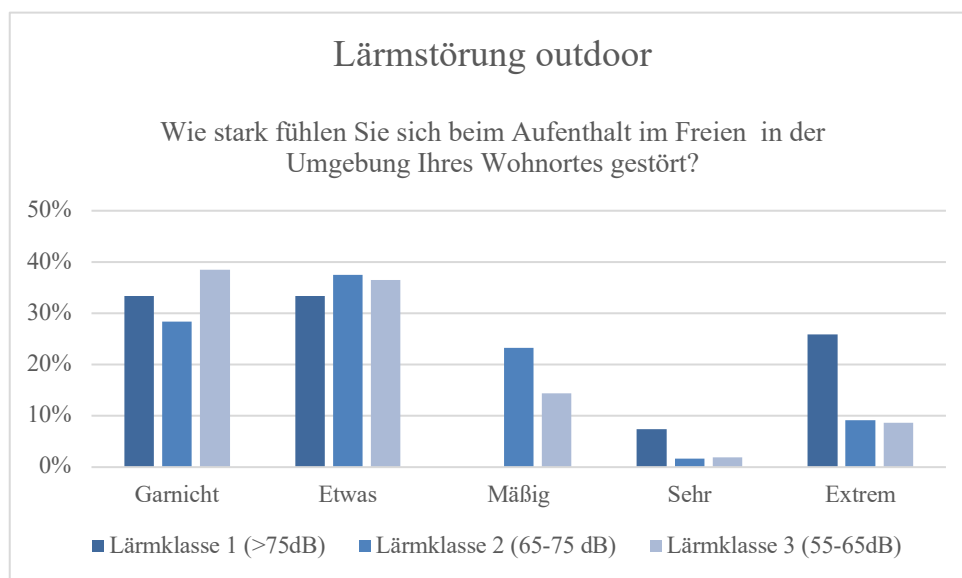


Abbildung 28: Lärmstörung outdoor nach Lärmklassen der TeilnehmerInnen in St. Valentin, 2025
(Eigene Darstellung)

Auch bei der Frage nach der Beeinträchtigung bei einzelnen Aktivitäten waren Mehrfachantworten möglich. Die meisten Störungen treten laut den

Befragungsergebnissen demnach während der Nachtruhe (30 %), beim Lesen (26 %) und beim Führen von Gesprächen (21 %) auf (siehe Abbildung 29).

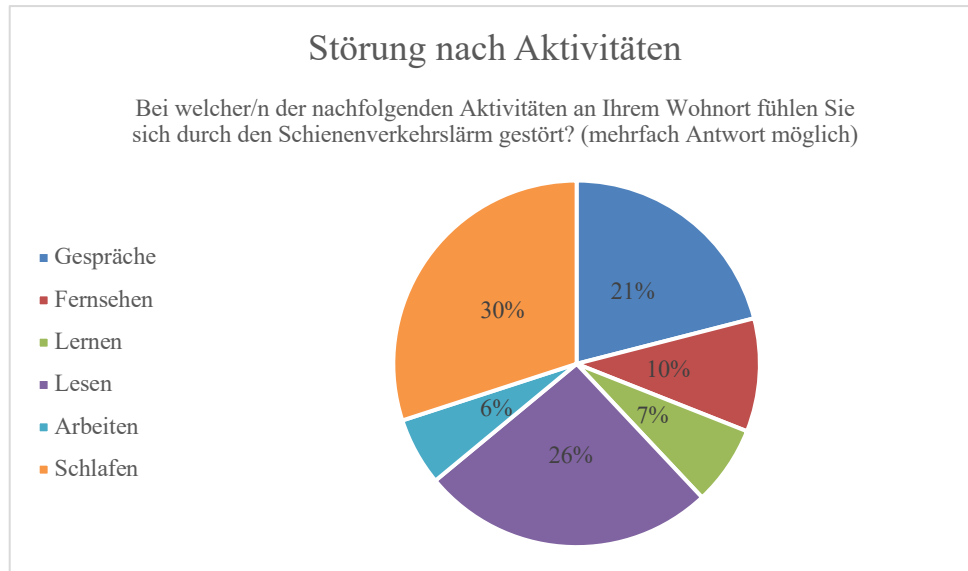


Abbildung 29: Lärmstörung nach Aktivitäten der TeilnehmerInnen in St Valentin, 2025 (Eigene Darstellung)

In zwei Untersuchungen aus den Jahren 1993 und 1996, beide durchgeführt von Lambert et al., fand ebenfalls eine Auseinandersetzung mit diesen Lärmstörung nach Aktivitäten statt. Es zeigte sich ein ähnliches Bild. In den Feldstudien mit 40 bzw. 260 Anwohnerinnen entdeckten die Verfasser, dass die Lärmbelästigung durch Schienenverkehr sowohl hinsichtlich der Tageszeit als auch saisonal variiert und der Grad der Beeinträchtigung je nach Aktivität unterschiedlich ist. Als zentrale Störfaktoren wurden in der ersten Untersuchung mit 40 TeilnehmerInnen insbesondere Beeinträchtigungen bei der Gesprächsführung (44 %) und beim Fernsehen (36 %) identifiziert. In der späteren Studie mit umfangreicherer Stichprobe ($n = 260$) traten vor allem Störungen beim Radiohören (34 %), beim Telefonieren (30 %) und bei Gesprächen im Innenraum bei geöffnetem Fenster (26 %) auf.

Kurra et al. (1999) untersuchten in einer Laborstudie, in der Verkehrslärm simuliert wurde, ebenfalls die Störung bei der Ausführung von Aktivitäten. Dabei zeigte sich, dass das Lesen stärker durch Lärm beeinträchtigt wird als das Zuhören. Bereits ab 55 dB(A) gaben 55 % der ProbandInnen an, „highly annoyed“ zu sein. In beiden Vergleichen war

der Schienenlärm deutlich störender als die beiden anderen Lärmquellen (Straßen- und Flugverkehr) (vgl. Regierungspräsidium Freiburg 2010: 157 f.).

7 Inferenzstatistische Auswertung: Bivariate und multivariate Ergebnisanalyse

Das Hauptziel der Befragung bestand darin, Kostensätze für die WTP- und WTA-Werte zu ermitteln, um eine Monetarisierung der Lärmbelastung zu ermöglichen und daraus situationsspezifische Kostensätze abzuleiten. Zudem werden mathematische Modelle erstellt, die die Zahlungsbereitschaft und -akzeptanz in Zusammenhang mit den gemessenen Lärmwerten setzen.

Zur Erhebung der beiden Werte wurde den Anrainerinnen eine hypothetische Situation geschildert. Bei der Zahlungsbereitschaft wurde das Szenario einer nahezu kompletten Lärmberuhigung geschildert und danach wurden die TeilnehmerInnen gebeten, einen Geldbetrag anzugeben, den sie persönlich monatlich bereit wären (zusätzlich zu den bereits bestehenden Wohnkosten) für eine derartige Maßnahme zu bezahlen. Bei der Akzeptanzbereitschaft wurde gefragt, welchen Wert sie an Kompensation fordern würden, wenn eine gefühlte Verdoppelung des Schienenverkehrslärm (+ 10 dB) eintreten würde. Zur Vermeidung von unrealistisch hohen Angaben wurde außerdem darauf hingewiesen, dass nur jene Beträge angegeben werden sollen, die sie auch tatsächlich

Im Rahmen einer explorativen Auswertung werden im Basismodell zunächst ausschließlich die Auswirkungen von Lärmwerten auf die Zahlungsbereitschaften analysiert, wobei im weiteren Verlauf Einflussfaktoren ergänzt werden. Dazu zählen der Self-rated Health-Status (SRHS), die Noise-Sensibility (NS) und die Noise-Annoyance (NA) sowie sozioökonomische Faktoren.

Das zentrale Instrument der Analyse sind einfache und multiple lineare Regressionsmodelle, die mittels programmierten Skripts die Korrelationen zwischen diversen unabhängigen Variablen und den WTP- bzw. WTA-Werten untersuchen. Diese Analysen erfolgten im Programm R. Auch die grafische Aufbereitung der Ergebnisse wurde über Grafikfunktionen in R durchgeführt.

7.1 Analyse der Mittelwerte und Cut-off-Werte der bivariaten Analyse

Die in der Umfrage erhobenen Werte für die Zahlungs- und Akzeptanzbereitschaft wurden für diese erste Auswertung in Form von Mittelwerten in einer linearen Regression in Zusammenhang mit der WTP und der WTA gesetzt. Somit wurden erste Zusammenhänge zwischen der Lärmexposition und der jeweiligen Lärmklasse identifiziert. Da in der dritten Lärmklasse das Lärmaufkommen für eine Lärmbelastung > 75 dB erfasst wurde, galt es hier noch eine Obergrenze festzulegen. Ein oft zitierter Mittelwert für den Schienenlärm in stark belasteten Gebieten beträgt 75 dB. Die Obergrenze wurde mit 90 dB angenommen, um eine einheitliche Klassenbreite in 10-dB-Schritten zu schaffen.

In der Tabelle 3 sind die Zahlungsbereitschaft und die Akzeptanzbereitschaft im Mittel angeführt. Sie dienen als Input für die erste Regressionsanalyse, die ausschließlich mit Mittelwerten durchgeführt wurde, um einen ersten Überblick über die Ergebnisse zu erhalten.

Tabelle 3: Übersicht WTP und WTA summiert nach Lärmklassen.

	WTP (in Euro) gesamt	WTA (in Euro) gesamt	Mittelwert WTP (in Euro)	Mittelwert WTA (in Euro)	Mittelwert Lärmklasse (in dB)
1	8 690	70 000	263,333 333	2 121,212 12	80
2	2 3835	275 140	133,904 494	1 545,730 34	70
3	9 352	111 270	89,923 076 9	1 069,903 85	60

Auf den ersten Blick bestätigt sich bereits die Annahme. AnwohnerInnen, die höheren Schallpegeln ausgesetzt sind, sind eher bereit, mehr für eine Lärmreduktion zu bezahlen. Dies gilt im Vergleich zu jenen, die weiter von der Lärmquelle entfernt wohnen. Derselben Logik folgt auch die Akzeptanzbereitschaft. In der Umfrage wurde eine gefühlte Verdopplung des Lärms (+ 10 dB) abgefragt. Hier sind die Unterschiede besonders deutlich sichtbar: In der lautesten Lärmklasse werden rund 100 % höhere Kompensationsbeträge gefordert.

Um die Sinnhaftigkeit des Modells zu gewährleisten, wurden außerdem Cut-off-Werte in R berechnet. Diese sind insbesondere bei einem akustischen Modell wie diesem

notwendig. Zum einen muss die unabhängige Variable ‚Lärm‘ überhaupt im für den Menschen hörbaren Bereich liegen, damit ein Geldbetrag für Kompensation oder Entschädigung angegeben werden kann. Ferner muss der Dezibelwert hoch genug sein, um einen wahrnehmbaren Störeffekt hervorzurufen. Im Modell wird dies über eine Intercept-Funktion abgebildet, die jenen Dezibelwert berechnet, bei dem die WTP bzw. die WTA gleich null wäre.

```
> # Achsenabschnitt und Steigung aus der WTP-Regression
> b0_wtp <- coef(lm_WTP)[1] # Intercept
> b1_wtp <- coef(lm_WTP)[2] # Slope
>
> # Lärmpegel berechnen, bei dem WTP = 0 wäre
> db_cutoff_wtp <- -b0_wtp / b1_wtp
> print(db_cutoff_wtp)
(Intercept)
51.2718
```

Abbildung 30: Cut-off-Werte der WTP

```
> # Achsenabschnitt und Steigung aus der WTA-Regression
> b0_wta <- coef(lm_WTA)[1] # Intercept
> b1_wta <- coef(lm_WTA)[2] # Slope
>
> # Lärmpegel berechnen, bei dem WTA = 0 wäre
> db_cutoff_wta <- -b0_wta / b1_wta
> print(db_cutoff_wta)
(Intercept)
39.96224
```

Abbildung 31: Cut-off-Werte der WTA

Dieser Wert liegt bei der WTP bei 51,27 dB und bei der WTA bei 39,96 dB. (siehe Abbildung 30 und 31). Diese Werte scheinen in Bezug auf das Modell plausibel und liegen im hörbaren Bereich.

Sie sind so zu interpretieren, dass EinwohnerInnen in St. Valentin ab einem Lärmpegel von ca. 51,27 dB Zahlungsbereitschaft zeigen. Demnach zeigt der Cut-off-Wert für die WTA, dass die BewohnerInnen erst ab einem Lärmpegel von 39,96 dB bei einer theoretischen Verdoppelung des Lärms (+ 10 dB, also 49,96 dB) eine Kompensationsforderung stellen würden.

7.2 Bivariate Regressionsanalyse der Willingness-to-pay

Im ersten einfachen linearen Regressionsmodell (siehe Abbildung 32) wurden die oben tabellarisch angeführten WTP- und WTA-Mittelwertdaten verwendet. Dies dient in erster Linie dazu, um einen ersten Überblick zu erhalten und auf Basis von diesen lediglich drei Datenpunkten eine Regressionsgleichung zu berechnen.

```
Call:
lm(formula = WTP_Euro ~ Laermklasse_dB, data = laerm_daten)

Residuals:
    1     2     3 
14.24 -28.48 14.24 

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  -444.560    173.832   -2.557   0.237
Laermklasse_dB    8.671     2.467    3.515   0.176

Residual standard error: 34.88 on 1 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9251,    Adjusted R-squared:  0.8503 
F-statistic: 12.36 on 1 and 1 DF,  p-value: 0.1764
```

Abbildung 32: Einfach lineare Regression Durchschnittswerte WTP

7.3 Koeffizienteninterpretation der Willingness-to-pay

Aus den ausgegebenen Werten des einfachen linearen Regressionsmodells ergibt sich die folgende Gleichung:

$$\text{WTP} = -444,560 + 8,671 * \text{dB Lärmklasse}$$

Der Intercept-Wert beträgt $-444,560$. Dies bedeutet, dass der WTP-Wert bei einer hypothetischen Lärmbelästigung von 0 dB bei $-444,56$ Euro liegt. In diesem Kontext ist der Wert als theoretischer Wert zu betrachten, der in der realen Welt keine Aussagekraft hat.

Die Steigung für jede zusätzliche Lärmklasse (+ 10 dB) beträgt 8,67 Euro. Eine zunehmende Lärmbelästigung bedeutet also eine Zunahme der Zahlungsbereitschaft.

Der p-Wert der Lärmklasse liegt mit 0,1764 unterhalb des Bereichs einer statistischen Relevanz. Dies bedeutet, dass ein statistischer Zusammenhang nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden kann. Hier ist jedoch zu erwägen, dass in dieser ersten Regression lediglich die Durchschnittswerte für die drei Lärmklassen verwendet wurden und somit die niedrige Anzahl an Inputdaten wahrscheinlich der Hauptgrund für die statistische Insignifikanz ist. Dennoch beträgt das R^2 im Modell 0,9251, was zeigt, dass die Lärmklasse einen starken Einfluss auf die Erklärkraft der WTP hat. Die Visualisierung dieser Regressionsgleichung, die annähernd durch die drei Datenpunkte verläuft, ist in Abbildung 33 zu sehen.

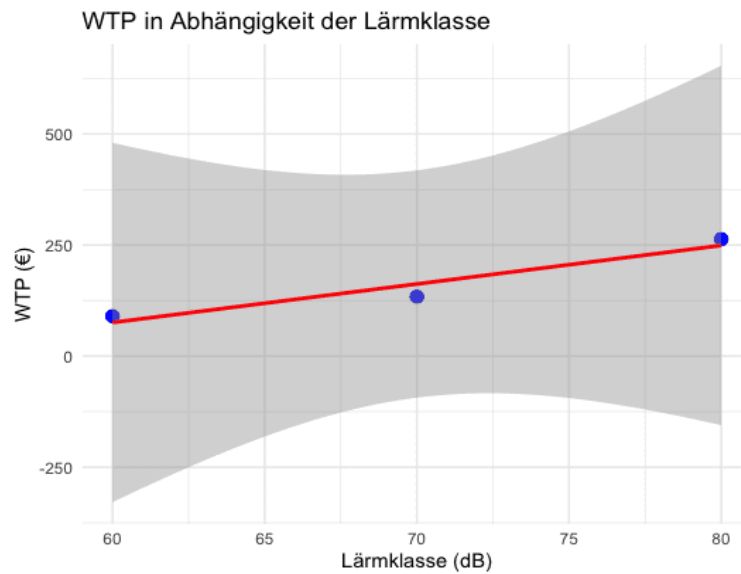


Abbildung 33: Visualisierung der WTP-Regressionsgleichung

7.4 Bivariates Regressionsmodell für die Willingness-to-accept

Analog zur Zahlungsbereitschaft wurde auch die Akzeptanzbereitschaft in einem einfachen linearen Regressionsmodell untersucht. Die unabhängige Variable ist dabei ebenfalls die Lärmklasse (siehe Abbildung 34).

```
Call:
lm(formula = WTA_Euro ~ Laermklasse_dB, data = laerm_daten)

Residuals:
    1     2     3 
16.61 -33.22  16.61 

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  -2100.633    202.745   -10.36  0.0613 .
Laermklasse_dB    52.565     2.877    18.27  0.0348 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 40.68 on 1 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.997,    Adjusted R-squared:  0.994 
F-statistic: 333.9 on 1 and 1 DF,  p-value: 0.03481
```

Abbildung 34: Einfache lineare Regression Durchschnittswerte WTA

7.5 Koeffizienteninterpretation Willingness-to-accept

Aus den ausgegebenen Werten des linearen Regressionsmodells ergibt sich die folgende Gleichung:

$$\text{WTA} = -2100,63 + 52,565 * \text{dB Lärmklasse}$$

Die y-Achse wird von der Regressionslinie an dem Punkt $f(0) = -2100,633$ geschnitten. Theoretisch wäre dieser Wert so zu interpretieren, dass bei 0 dB Lärmbelastung die Entschädigungssumme bei -2100,633 Euro liegt. Dieser Wert ist in der Praxis jedoch nicht realistisch. Die Lärmbelastung kann nicht 0 dB erreichen. Der Wert dient dennoch als Ausgangspunkt für die Regressionsgleichung.

Der Steigungskoeffizient beträgt 52,565. Dies bedeutet, dass für jede zusätzliche Lärmklasse (+ 10 dB) die Entschädigung um 52,57 Euro steigt. Diese positive Beziehung scheint intuitiv: Je mehr Lärm von den BewohnerInnen ertragen werden muss, desto höher fallen ihre Kompensationsforderungen aus. Der p-Wert dieser Steigung ist mit 0,0348 statistisch signifikant, was bedeutet, dass tatsächlich ein Einfluss zwischen dem Lärmaufkommen und der Entschädigung vorhanden ist.

Das R^2 liegt bei 0,997, was zeigt, dass das Modell eine gute Passform hat und die Lärmklassen mit den Kompensationsforderungen im Einklang stehen.

Die Visualisierung dieser Regressionsgleichung ist in Abbildung 35 zu sehen.

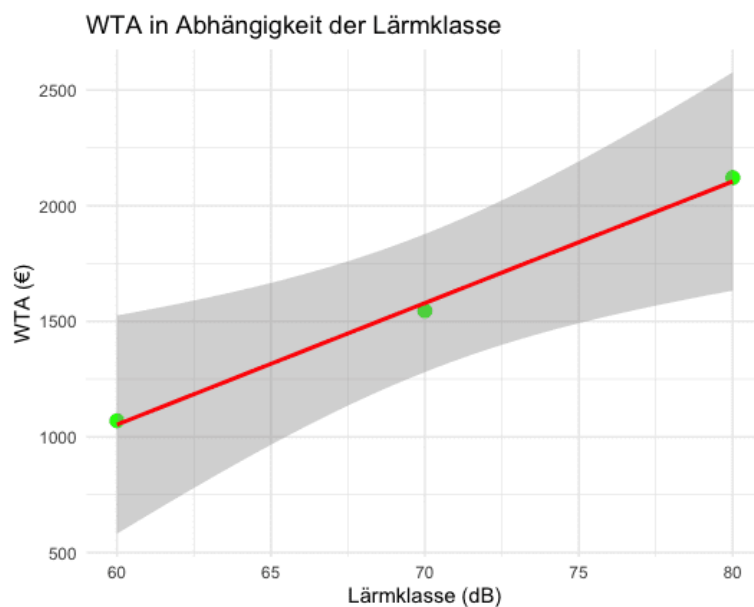


Abbildung 35: Visualisierung der WTA-Regressionsgleichung

Für eine praxisnahe Anwendung dieser Ergebnisse könnten die Gleichungen der Zahlungs- und Akzeptanzbereitschaften in der Gemeinde wie im Folgenden erläutert verwendet werden.

Wird beispielsweise in einem bestimmten Ortsteil in St. Valentin ein Neubauvorhaben geplant, so könnte im Zuge dessen überprüft werden, wie hoch die potenzielle Zahlungsbereitschaft der künftigen BewohnerInnen für Lärmberuhigungsmaßnahmen ist. Analog dazu könnte auch über die Akzeptanzbereitschaften – z. B. beim Bau einer neuen Zugtrasse – eine theoretische Kompensationsanforderungen der AnrainerInnen, die durch das erhöhte Lärmaufkommen entsteht, berechnet werden.

Durch das Einsetzen in die obigen Gleichungen mit einem Beispielswert von 75 dB ergibt sich so eine jährliche WTP von 205,74 Euro und eine jährliche WTA von 1841,77 Euro.

7.6 Explorative Regressionsanalysen auf Individualdatenbasis

Nachdem ein erster Zusammenhang zwischen der Lärmexposition und den Zahlungsbereitschaften über den Mittelwertvergleich untersucht wurde, soll nun eine tiefergreifendere Analyse auf Individualdatenbasis erfolgen.

Diese Analysen erlauben es, die Zahlungs- und Akzeptanzbereitschaften nicht nur über Mittelwerte zu vergleichen, sondern diese für jede einzelne befragte Person in Zusammenhang mit den individuellen Merkmalen zu stellen. Dadurch werden differenziertere Aussagen über den Einfluss der unabhängigen Variablen möglich, als es bei reinen Gruppenvergleichen der Fall ist.

Tabelle 4: Lärmklassen der Regressionsanalyse

Lärmklasse	Schallpegel (dB)
1	55–65 dB
2	65–75 dB
3	mehr als 75 dB

[Anmerkung: Die nachfolgenden Regressionsanalysen erfolgen nach den Lärmklassen in Tabelle 4.]

Im Rahmen der durchgeführten Regressionsanalysen zur Zahlungs- und Akzeptanzbereitschaft auf Basis der Individualdaten erwiesen sich ausschließlich die Modelle zur Zahlungsbereitschaft (WTP) als statistisch signifikant. Die Modelle zur Akzeptanzbereitschaft (WTA) wiesen keine signifikanten Zusammenhänge mit den untersuchten Einflussgrößen auf, insbesondere nicht mit der Lärmklasse. Auch in den

erweiterten Modellspezifikationen (vgl. Anhang) konnten keine konsistenten oder theoretisch fundierten Effekte identifiziert werden. Darüber hinaus wiesen die WTA-Modelle eine geringe Varianzaufklärung, eine hohe Residualstreuung sowie ein negatives adjustiertes Bestimmtheitsmaß auf, was die Aussagekraft dieser Modelle weiter einschränkt.

Aus Gründen der wissenschaftlichen Relevanz und Nachvollziehbarkeit wurde daher entschieden, den Schwerpunkt der weiteren Analyse auf die besser erklärbaren und signifikanten Zusammenhänge im Rahmen der Zahlungsbereitschaft zu legen. Zum einen steht die WTP im Zentrum der Bewertung immaterieller Umweltgüter und ist insbesondere im Rahmen der NKU die dominierende Bewertungsgröße. Zum anderen stellte sich bereits in der Voranalyse heraus, dass die WTA-Werte eine deutlich umfassendere Streuung aufweisen und durch zahlreiche extreme Ausprägungen anfälliger für hypothetische Verzerrungen sind. Die WTP-Variable erwies sich im Gegensatz dazu als robuster.

Erwartungsgemäß wurden auf Basis der Individualdaten deutlich niedrigere Determinationskoeffizienten berechnet, jedoch sind die Aussagen allgemein aufgrund der viel größeren Anzahl an Inputdaten deutlich belastbarer und aus wissenschaftlicher Sicht deutlich wertvoller. Das Vorgehen ist explorativ (siehe Abbildung 36). Ausgehend von einem Basismodell wird dieses schrittweise durch weitere unabhängige, in der Umfrage erhobene Variablen – wie Gesundheitszustand, Schlafqualität und sozioökonomische Faktoren – erweitert (siehe Abbildung 36). Durch diese schrittweise Regressionsstrategie, angelehnt an die ‚Forward Selection‘, wird eine kontrollierte Erweiterung des Modells möglich, was wiederum die Varianz der Regressionsmodelle greifbarer macht. Weiters sind die Modelle gut vergleichbar über Gütemaße wie R^2 , Adjusted R^2 und das Akaike Information Criterion (AIC). So kann der Informationsgewinn bei der Hinzunahme neuer Einflussgrößen bewertet werden. Um ein Overfitting zu vermeiden, wird durch die ALC-Methode schlussendlich das effizienteste Modell ermittelt. Da eines der Ziele der Arbeit darin besteht, auf Basis der WTP-Werte Kostensätze für die monetäre Bewertung von Schienenlärm herzuleiten. Im Anhang sind alle multiplen linearen Regressionsmodelle in denselben Erweiterungsstufen für die WTA enthalten.



Abbildung 36: Ablauf explorative Erweiterung (Eigene Darstellung)

7.7 Das Basismodell

$$WTP_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Lärmklasse}_i + \varepsilon_i$$

$$WTA_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Lärmklasse}_i + \varepsilon_i$$

```

Call:
lm(formula = WTP ~ noise_class, data = filtered_data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-194.56 -136.07  -77.59   49.91 1805.44

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    253.04     50.60    5.000   1e-06 ***
noise_class    -58.48     21.85   -2.676   0.00787 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 230 on 284 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.0246,    Adjusted R-squared:  0.02117
F-statistic: 7.164 on 1 and 284 DF,  p-value: 0.007872
  
```

Abbildung 37: Basismodell WTP der Regression auf Individualdatenbasis

Während das Regressionsmodell auf der Basis aggregierter Mittelwerte der Lärmklassen erwartungsgemäß einen hervorragenden Determinationskoeffizienten (R^2 nahe 1) aufweist, zeigt das Basismodell (siehe Abbildung 37) auf Individualdatenbasis deutlich geringere Erklärungsanteile. Methodisch ist dieser Unterschied intuitiv. Die Aggregation auf drei Mittelwerte reduziert die Streuung innerhalb der Gruppen erheblich, was zu einer hohen Modellgüte führt, also zu einem hohen R^2 und Adjusted R^2 . Gleichzeitig geht dabei jedoch ein Großteil der individuellen Varianz verloren, die gerade bei der Zahlungsbereitschaft und der Akzeptanzbereitschaft stark schwankt. Dadurch lässt das Modell keine Rückschlüsse auf interindividuelle Unterschiede mehr zu.

Die Analyse im Rahmen dieser Diplomarbeit zielt jedoch gerade darauf ab, diese Heterogenität innerhalb der Lärmklassen zu untersuchen und zusätzliche individuelle Einflussfaktoren in die Erklärung der Zahlungs- bzw. Akzeptanzbereitschaft einzubeziehen.

Ein niedriges R^2 ist daher bei einem explorativen Individualdatenmodell weniger als Schwäche zu interpretieren, sondern spiegelt vielmehr die komplexe Realität individueller Bewertungen wider. Entscheidend ist dabei nicht die Höhe des R^2 allein, sondern der schrittweise Erkenntnisgewinn durch die Einbeziehung relevanter Einflussgrößen.

Das erste lineare Regressionsmodell untersucht den Einfluss der Lärmklasse auf die Zahlungsbereitschaft der Befragten. Die abhängige Variable ist die monetäre WTP in Euro, die unabhängige Variable ist die ordinal skalierte Lärmklasse, wobei die höheren Lärmklassen einer niedrigeren Lärmbelastung entsprechen. Dieses Prinzip wurde, um die Stringenz der Arbeit beizubehalten, entgegen der Intuition (höher = lauter) auch in den Regressionsanalysen beibehalten.

Die Analyse zeigt einen negativen und statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen Lärmklasse und WTP ($\beta = -58,48$; $p = 0,00787$). Daraus ergibt sich, dass mit abnehmender Lärmklasse – also zunehmender Lärmbelastung – die Zahlungsbereitschaft der Befragten steigt. Konkret sinkt die WTP pro Stufe höherer Lärmklasse im Mittel um 58,48 Euro, was auf eine erhöhte monetäre Kompensationsbereitschaft bei stärkerer Belastung hindeutet.

Der Intercept-Wert beträgt 253,04 Euro ($p < 0,001$) und gibt die geschätzte WTP bei einer hypothetischen Lärmklasse von null an. Dies bedeutet in diesem Modell also maximale Lärmbelastung. Der Intercept-Wert stellt damit einen Referenzwert dar, von dem aus sich die Effekte der Lärmklasse differenzieren lassen.

Das Modell als Ganzes ist signifikant: $F(1, 284) = 7,164$; $p = 0,0078$.

7.8 Erweiterung Lärmstörung

$$WTP_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Lärmklasse}_i + \beta_2 \cdot \text{Lärmstörung outdoor}_i + \beta_3 \cdot \text{Lärmstörung indoor}_i + \varepsilon_i$$

```
Call:
lm(formula = WTP ~ noise_class + annoyance_out + annoyance_in,
    data = filtered_data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-373.59 -107.02  -23.14   15.10 1588.17

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)      12.01      55.47   0.216 0.828803
noise_class     -38.24      20.06  -1.906 0.057637 .
annoyance_out    33.29      15.84   2.102 0.036469 *
annoyance_in     54.33      16.07   3.381 0.000825 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 209.3 on 282 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.1981,    Adjusted R-squared:  0.1896
F-statistic: 23.22 on 3 and 282 DF,  p-value: 1.829e-13
```

Abbildung 38: Erste Erweiterung des WTP-Regressionsmodells

In dieser Modellvariante wird das Basismodell um die subjektiv wahrgenommenen Lärmbelastungen im Innen- und Außenbereich erweitert (siehe Abbildung 38). Diese beiden Einflussgrößen wurden in der Umfrage von ‚gar nicht‘ bis ‚extrem‘ (1–5) abgefragt.

Der Koeffizient der Lärmklasse beträgt –38,02 Euro. Die Zahlungsbereitschaft reduziert sich bei der Abnahme der Lärmbelastung im Durchschnitt um diesen Betrag. Dieser Effekt ist allerdings mit $p < 0,1$ nur grenzwertig signifikant. (Anmerkung: Der negative Koeffizient bedeutet nach Tabelle 4 eine Abnahme der WTP bei weniger Lärmbelastung.)

Die subjektive Lärmbelastung im Außenbereich unmittelbar am Wohnort (annoyance_out) weist mit 33,29 Euro einen positiven Einfluss auf die Zahlungsbereitschaft auf und ist mit $p < 0,05$ statistisch signifikant.

Eine noch stärkere Ausprägung dieses Effekts ist bei der zweiten unabhängigen Variable, der subjektiven Lärmbelastung im Innenraum (annoyance_ind), zu beobachten (siehe Abbildung 39). Durchschnittlich steigt die Zahlungsbereitschaft bei einem Sprung in die höhere um 54,33 Euro bei Anstieg der Belästigung um eine Stufe, beispielsweise von ‚etwas‘ auf ‚mäßig‘ gestört. Dieser Zusammenhang ist mit einem p-Wert $< 0,01$ statistisch hochsignifikant und zeigt auf, dass die innenräumliche Lärmbelastung in hohem Maße relevant ist, um die individuelle Zahlungsbereitschaft zu beschreiben.

Eine höhere Lärmbelastung im Innen- wie auch im Außenbereich bedeutet somit auch eine höhere Zahlungsbereitschaft.

Die Modellgüte fällt mit einem multiplen R^2 von 0,1981 bzw. einem adjustierten R^2 von 0,1896 moderat, jedoch deutlich höher als im Basismodell, aus. Etwa 19 % der Varianz der WTP können durch dieses Modell erklärt werden. Der residuale Standardfehler liegt bei 209,30 Euro, was auf eine erhebliche Streuung der Zahlungsbereitschaften in der Stichprobe hinweist. Auffällig ist, dass der Einfluss der Lärmklasse durch Hinzufügen der Störungsgrade deutlich absinkt und in dem erweiterten Modell nicht mehr signifikant ist. Diese Abnahme der statistischen Signifikanz der Lärmklasse im erweiterten Modell lässt sich durch zwei Faktoren erklären.

Zum einen lässt sich annehmen, dass eine Korrelation der WTP zwischen der subjektiven Lärmwahrnehmung und der tatsächlichen objektiven Lärmklasse vorliegt. Denn beide

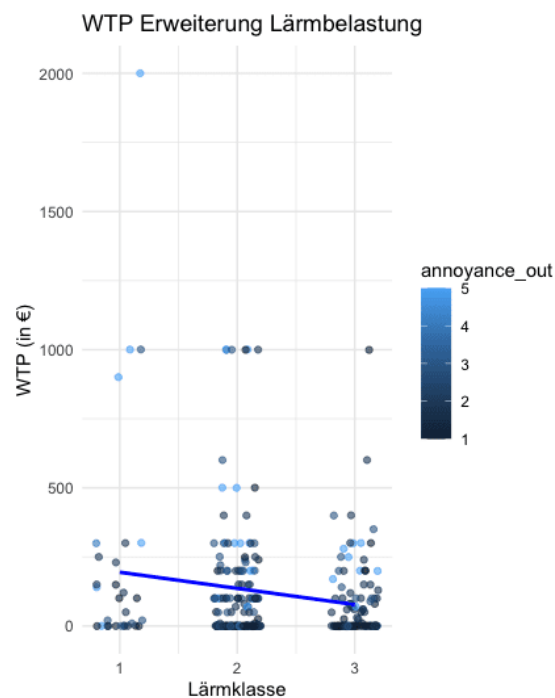


Abbildung 39: Scatterplot Lärmbelastung und Lärmklasse (Eigene Darstellung)

Variablen erfassen im Grunde die Lärmbelastung nur durch unterschiedliche Messwerte. Die in der ersten Untersuchung isoliert betrachteten Lärmklassen werden in diesem erweiterten Modell durch die subjektive Lärmstörung ‚abgefangen‘.

In der Studie von Tánczos et al. (2007) wurde festgestellt, dass die Wahrnehmung von Lärmbelastung von Betroffenen einen stärkeren Einfluss auf die Zahlungsbereitschaft für Lärmschutzmaßnahmen hat als rein objektive Messgrößen.

Lambert et al. haben in ihrer Studie aus dem Jahr 2001 Folgendes festgestellt: Das Ausmaß der Lärmbelästigung hat einen signifikanten Einfluss auf die Zahlungsbereitschaft, während der tatsächliche Lärmpegel keinen so starken Effekt aufweist. In weiterer Folge wurde in ihrer Arbeit der Ansatz gewählt, die Zahlungsbereitschaft nur im Kontext des Belästigungsgrades zu beobachten. (vgl. Schmid, 2005: 73).

7.9 Erweiterung: Gesundheit und Schlaf

$$\begin{aligned} \text{WTP}_i = & \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Lärmklasse}_i + \beta_2 \cdot \text{Lärmstörung outdoor}_i + \beta_3 \\ & \cdot \text{Lärmstörung indoor}_i + \beta_4 \cdot \text{Gesundheitsstatus}_i + \beta_5 \\ & \cdot \text{Schlafprobleme}_i + \varepsilon_i \end{aligned}$$

```
Call:
lm(formula = WTP ~ noise_class + annoyance_out + annoyance_in +
    health_class + sleep, data = filtered_data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-355.26 -103.75  -36.35   25.60 1565.32

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   -28.79      63.99  -0.450  0.65312
noise_class    -37.10      20.19  -1.837  0.06726 .
annoyance_out   32.09      16.19   1.982  0.04842 *
annoyance_in   53.99      16.57   3.259  0.00126 **
health_class    21.16      13.77   1.537  0.12544
sleep         -14.49      25.43  -0.570  0.56937
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 209.4 on 279 degrees of freedom
(1 observation deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.2051,    Adjusted R-squared:  0.1909
F-statistic: 14.4 on 5 and 279 DF,  p-value: 1.498e-12
```

Abbildung 40: Zweite Erweiterung des WTP-Regressionsmodells

Der obige Output (Abbildung 40) bildet die Werte für das zweite Modell ab. Hierbei wurde die Regression um den selbst eingeschätzten Gesundheitszustand (`health_class`), abgestuft von ‚sehr gut‘ bis ‚sehr schlecht‘, sowie das Vorliegen von Schlafproblemen (`sleep`) ergänzt. Diese sind bedeutende Gesundheitsparameter, die einen erheblichen Einfluss auf die Zahlungsbereitschaft gezeigt haben. Beispielsweise untersuchte Giering im Jahr 2010, im Auftrag des Deutschen Umweltbundesamtes, in einer Metaanalyse die lärmbedingten Schlafschwierigkeiten aus 20 Feldstudien. Vor allem die groß angelegte, methodisch saubere interdisziplinäre Feldstudie II (Planungsbüro Obermayer 1983) und auch die Metaanalyse von Miedema und Vos (2007), die 24 Feldstudien aggregiert, sprechen eine klare Sprache zugunsten des Schienenverkehrs gegenüber dem Straßenverkehr (vgl. Umweltbundesamt Deutschland, 2010: 22/68) (vgl. Planungsbüro Obermayer, 1983: 6f.).

Dennoch zeigt sich, dass die charakteristischen Spitzenschallpegel des Schienenlärms zu einem vermehrten nächtlichen Aufwachen sowie zu größeren Einschlafschwierigkeiten führen als die eher konstanten Dauerschallpegel, wie sie typischerweise bei Straßenlärm auftreten.

Das Modell erklärt etwa 20,5 % der Varianz der abhängigen Variable. Das multiple R^2 beträgt 0,2051 und das Adjusted R^2 liegt bei 0,1909.

Auch in der zweiten Modellerweiterung bleibt der intuitive Zusammenhang, dass eine stärkere gemessene Lärmbelastung eine erhöhte Zahlungsbereitschaft mit sich bringt, bestehen ($\beta = -37,10$, $p = 0,067$). Der Effekt ist jedoch nur schwach signifikant auf dem 10-%-Niveau. Die Variablen der Lärmbelastung im Innen- und Außenbereich sind auf demselben Signifikanzniveau positiv.

7.10 Erweiterung: Gewöhnungseffekt

$$\begin{aligned} \text{WTP}_i = & \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Lärmklasse}_i + \beta_2 \cdot \text{Lärmstörung outdoor}_i + \beta_3 \\ & \cdot \text{Lärmstörung indoor}_i + \beta_4 \cdot \text{Gesundheitsstatus}_i + \beta_5 \\ & \cdot \text{Schlafprobleme}_i + \beta_6 \cdot \text{Gewöhnungseffekt}_i + \varepsilon_i \end{aligned}$$

```
Call:
lm(formula = WTP ~ noise_class + annoyance_in + annoyance_out +
    sleep + health_class + habituation, data = data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-373.54 -103.42  -47.36   23.29 1566.30

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    23.26      71.87   0.324  0.74641
noise_class   -45.82      21.44  -2.137  0.03341 *
annoyance_in   48.10      17.42   2.761  0.00611 **
annoyance_out  30.66      16.89   1.815  0.07053 .
sleep          -21.62      26.97  -0.802  0.42344
health_class    25.19      14.63   1.723  0.08597 .
habituation   -16.71      31.18  -0.536  0.59227
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 232.4 on 307 degrees of freedom
(1 observation deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.1654,    Adjusted R-squared:  0.1491
F-statistic: 10.14 on 6 and 307 DF,  p-value: 3.093e-10
```

Abbildung 41: Dritte Erweiterung des WTP-Regressionsmodells

In der dritten Erweiterung der Regressionsanalyse (siehe Abbildung 41) wurde untersucht, ob und inwiefern sich der Gewöhnungseffekt (habituation) in Bezug auf den Lärm auf die Zahlungsbereitschaft auswirkt. In der Umfrage wurde konkret abgefragt, ob

die AnrainerInnen das Gefühl hatten, sich in den letzten zwölf Monaten an den Lärm gewöhnt zu haben.

Das lineare Regressionsmodell unterstreicht erneut, diesmal sogar mit erhöhter statistischer Signifikanz, dass die subjektive Lärmbelästigung, insbesondere die im Innenbereich, positive Effekte auf die WTP hat.

Interessant ist vor allem der Effekt, den die nun neu hinzugefügte Variable ‚habituation‘ in der Regressionsgleichung hat. Der Wert ist hochsignifikant, mit $p = 0,01$. Bei sonst gleichbleibenden Verhältnissen sind AnrainerInnen, die angegeben haben, sich an den Lärm gewöhnt zu haben, im Schnitt bereit, 65,10 Euro weniger zu bezahlen.

Die gemessenen Lärmklassen zeigen hingegen nur eine grenzwertig signifikante Wirkung ($\beta = -37,10$; $p = 0,067$), was erneut eine stärkere Relevanz subjektiver Lärmwahrnehmung im Vergleich zur gemessenen Lärmbelastung unterstreicht.

Es zeigt sich, dass der Gewöhnungseffekt mit einer eindeutigen Reduktion der monetären Bewertung von Lärm einhergeht.

7.11 Erweiterung: Wohnform

$$\begin{aligned} WTP_i = & \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Lärmklasse}_i + \beta_2 \cdot \text{Lärmstörung outdoor}_i + \beta_3 \\ & \cdot \text{Lärmstörung indoor}_i + \beta_4 \cdot \text{Gesundheitsstatus}_i + \beta_5 \\ & \cdot \text{Schlafprobleme}_i + \beta_6 \cdot \text{Gewöhneffekt}_i + \beta_7 \cdot \text{Zugstörung}_i + \beta_8 \\ & \cdot \text{Wohnform}_i + \beta_9 \cdot \text{Eigentumsverhältnis}_i + \varepsilon_i \end{aligned}$$

```
Call:
lm(formula = formula_wtp, data = filtered_data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-359.88  -99.51  -37.08   22.68 1561.37

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    -18.095     71.599  -0.253  0.80067
noise_class     -35.029     20.654  -1.696  0.09102 .
annoyance_out    33.139     16.276   2.036  0.04270 *
annoyance_in     53.650     16.646   3.223  0.00142 **
health_class     21.864     13.950   1.567  0.11820
sleep           -19.045     25.814  -0.738  0.46128
habitation       -19.128     29.748  -0.643  0.52077
housingsemi_detached -5.566     72.824  -0.076  0.93913
housinghouse     32.885     48.422   0.679  0.49762
ownership1      -24.357     49.865  -0.488  0.62562
ownership3      -99.826     65.720  -1.519  0.12992
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 210 on 274 degrees of freedom
(1 observation deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.2147,    Adjusted R-squared:  0.186
F-statistic: 7.491 on 10 and 274 DF,  p-value: 1.557e-10
```

Abbildung 42: Vierte Erweiterung des WTP-Regressionsmodells

[Anmerkung zur Dummy-Codierung: ownership1 = Eigentum, ownership3 = Wohnen bei den Eltern/Untermiete, Referenzkategorie: ownership2 = Miete, housing_semidetached = Doppelhaushälfte, housing_house = Einfamilienhaus, housing_apartment: Wohnung, Referenzkategorie: apartment = Wohnung]

Die vierte Erweiterung des Modells (siehe Abbildung 42) weist ein signifikantes Gesamtergebnis auf und erklärt etwa 21,5 % der Varianz. Dies ist bis jetzt der höchste Wert in dieser explorativen Untersuchung. Erweitert wurde um die Einflussgrößen Eigentumsverhältnis (ownership) und Wohnform (housing). Die Dummy-Codierung erfolgte unter Verwendung der Referenzkategorien Wohnung (apartment) und Eigentum (ownership2).

Die Referenzen wurden deshalb so gewählt, weil Eigentum in der Regel mit einer höheren emotionalen und vor allem finanziellen Belastung einhergeht. So werden die Unterschiede der Zahlungsbereitschaft zwischen EigentümerInnen und MieterInnen deutlich.

Im Hinblick auf die Wohnform zeigen sich im geschätzten Regressionsmodell keine statistisch signifikanten Effekte auf die Zahlungsbereitschaft.

Der p-Wert für die Kategorie Doppelhaushälfte (semi_detached) ist nicht signifikant. Ebenso ist dieser auch in der Kategorie Einfamilienhaus (house), in der die Zahlungsbereitschaft bei rund 32,89 Euro höher liegt als in der Referenzkategorie Wohnung, mit $p = 0,497$ nicht ausreichend signifikant. Dies bedeutet, dass die Art der Wohnform keinen statistisch robusten Beitrag zur Erklärung der Zahlungsbereitschaft leistet – wenngleich eine erhöhte Zahlungsbereitschaft von BewohnerInnen im Einfamilienhaus zu beobachten ist. Dies könnte außerdem mit dem Eigentum korrelieren.

Allerdings sind in diesem Regressionsmodell hinsichtlich des Eigentumsverhältnisses keine statistisch eindeutig signifikanten Aussagen möglich. Zwar ist bei Eltern wohnenden Personen ein negativer Trend zur Zahlungsbereitschaft beobachtbar, der auch die geringste Abweichung von einem tragbaren Signifikanzniveau aufweist, jedoch bleibt dieser dennoch unter der Signifikanzschwelle mit einem p-Wert von 0,1299. Diese Personen sind im Schnitt bereit, 99 Euro weniger zu bezahlen. Hier könnte jedoch auch ein Verteilungseffekt mitwirken. Es geht aus den Rohdaten nämlich hervor, dass sich Personen, die bei den Eltern wohnen, meist noch in Ausbildung befinden und daher auch ein geringeres Einkommen haben. Dieser Verteilungseffekt zwischen Einkommen und Zahlungsbereitschaft wird deshalb im Kapitel 7.13 noch mittels einer Korrelationsanalyse untersucht.

Dies bedeutet, dass vielmehr das subjektive Empfinden einen Einfluss auf die Zahlungsbereitschaft hat als die strukturellen Wohnformen und das Eigentumsverhältnis.

7.12 Erweiterung: Sozioökonomische Merkmale

$$\begin{aligned} \text{WTP}_i = & \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Lärmklasse}_i + \beta_2 \cdot \text{Lärmstörung outdoor}_i + \beta_3 \\ & \cdot \text{Lärmstörung indoor}_i + \beta_4 \cdot \text{Gesundheitsstatus}_i + \beta_5 \\ & \cdot \text{Schlafprobleme}_i + \beta_6 \cdot \text{Gewöhneffekt}_i + \beta_7 \cdot \text{Zugstörung}_i + \beta_8 \\ & \cdot \text{Wohnform}_i + \beta_9 \cdot \text{Eigentumsverhältnis}_i + \beta_{10} \cdot \text{Einkommen}_i + \beta_{11} \\ & \cdot \text{Alter}_i + \beta_{12} \cdot \text{Geschlecht}_i + \varepsilon_i \end{aligned}$$

```
Call:
lm(formula = WTP ~ noise_class + annoyance_out + annoyance_in +
    health_class + sleep + habituation + housing + ownership +
    age + gender + income, data = filtered_data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-294.47 -106.71  -37.04   25.60   905.95

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   -30.78059    98.63624  -0.312   0.7553
noise_class   -19.62198    24.63807  -0.796   0.4268
annoyance_out  40.90751    19.63307   2.084   0.0386 *
annoyance_in  41.20861    20.05683   2.055   0.0413 *
health_class    4.61791    17.10973   0.270   0.7875
sleep        -45.21995    30.98159  -1.460   0.1461
habituation   -22.46103    34.71208  -0.647   0.5184
housingsemi_detached 71.40319    97.98211   0.729   0.4671
housinghouse   60.74264    48.70408   1.247   0.2139
ownership1    -18.30925    50.83970  -0.360   0.7192
ownership3    -77.79903    75.86666  -1.025   0.3065
age             0.03244     1.00367   0.032   0.9743
genderWeiblich -50.63917    30.96720  -1.635   0.1037
income         18.74848    20.16386   0.930   0.3537
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 204.8 on 183 degrees of freedom
(89 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.2272,    Adjusted R-squared:  0.1722
F-statistic: 4.137 on 13 and 183 DF,  p-value: 5.314e-06
```

Abbildung 43: Fünfte Erweiterung des WTP-Regressionsmodells

In der letzten Erweiterung des Regressionsmodell (siehe Abbildung 43) wurden sozioökonomische Faktoren ergänzt. Das Alter (age), das Geschlecht (gender) und das Einkommen (income) wurden hinzugefügt.

Die subjektive Lärmbelastung ist sowohl im Außen- als auch im Innenbereich weiterhin signifikant positiv.

Die gemessene Lärmbelastung sowie die übrigen Variablen weisen keine stark statistisch signifikanten Effekte auf die WTP auf.

Das Geschlecht hat mit einem 10-%-Signifikanzniveau einen Einfluss. Frauen sind bereit, 50,60 Euro weniger zu bezahlen als Männer. Auch hier stellt sich die Frage, ob nicht Verteilungseffekte im Einkommen einen Einfluss auf diese hohe Differenz in der Zahlungsbereitschaft haben. Das Einkommen selbst ist mit einem positiven Wert von 18,74 beim Sprung in die nächsthöhere Einkommensklasse zwar vorhanden, jedoch statistisch nicht signifikant mit $p = 0,3537$.

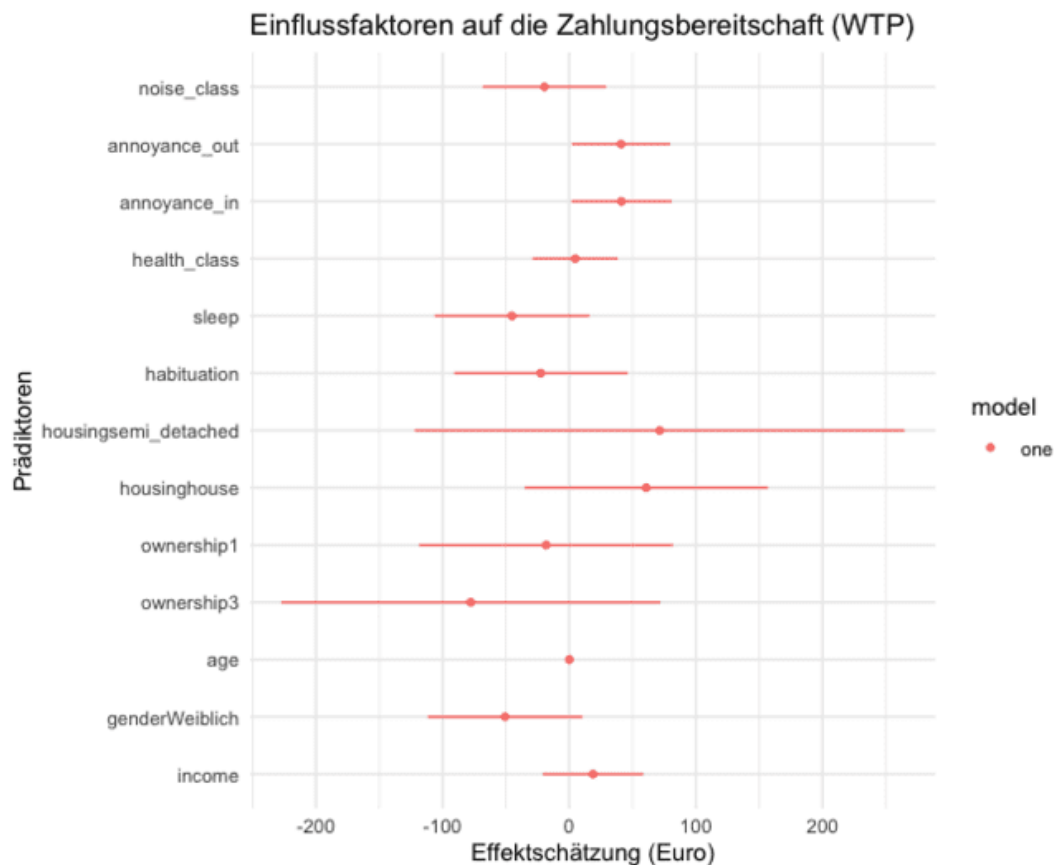


Abbildung 44: Einfluss der Prädiktoren im Regressionsmodell

Abbildung 44 zeigt die Einflüsse der unabhängigen Variablen im finalen Modell. Es unterstreicht die Erkenntnisse, die in der statistischen Analyse bereits gewonnen wurden. Es zeigt sich, dass insbesondere die subjektiv wahrgenommene Lärmbelastung im Innenraum und im Außenbereich in unmittelbarer Umgebung zum Wohnort einen entscheidenden Einfluss auf die Zahlungsbereitschaft hat: Je stärker die Belastung, desto höher die WTP.

Gesundheitliche Beeinträchtigungen (health_class) wirken ebenfalls tendenziell erhöhend auf die WTP, wobei die Effekte statistisch unsicher sind. Die Gewöhnung an Bahnlärm (habituation) senkt dagegen deutlich die Zahlungsbereitschaft – je besser sich daran gewöhnt wurde, desto geringer fällt das Bedürfnis zur Lärminderung aus.

Bezüglich der Wohnsituation zeigen sich höhere WTP-Werte für BewohnerInnen von Einfamilien- und Doppelhäusern, jedoch ohne Signifikanz. Eigentumsverhältnisse (ownership) wirken unterschiedlich: Besonders Personen, die noch bei den Eltern wohnen

(ownership3), haben eine eindeutig niedrige WTP. Frauen fühlen sich nicht bereit, gleich viel für eine theoretische Lärmberuhigung zu bezahlen wie Männer.

7.13 Verteilungseffekte

Wie aus den Interpretationen der multiplen linearen Regressionsanalysen hervorgeht, ist es aus wissenschaftlicher Sicht interessant, im Kontext von Zahlungsbereitschaften auch Einkommenseffekte in Betracht zu ziehen.

Tabelle 5: Statistische Auswertung der Einkommensklassen

Einkommensklasse	Mittelwert der WTP	Anzahl	STABW der WTP	Varianz der WTP
< 1.500 Euro	88,06 Euro	n = 31	190,62 Euro	36.336,13 Euro
1.500–2.499 Euro	87,04 Euro	n = 81	149,88 Euro	22.465,49 Euro
2.500–3.499 Euro	216,29 Euro	n = 75	320,75 Euro	102.882,35 Euro
3.500–4.499 Euro	143,44 Euro	n = 16	258,86 Euro	67.009,06 Euro
> 4.500 Euro	400,00 Euro	n = 9	614,41 Euro	377.500,00 Euro
Gesamtergebnis	150,46 Euro	212	274,15 Euro	75.158,93 Euro

Die durchschnittliche Zahlungsbereitschaft liegt bei 150,46 Euro (siehe Tabelle 5).

Es wird deutlich, wie die durchschnittliche Zahlungsbereitschaft über die Einkommensklassen hinweg schwankt. Die bestverdienenden Personen sind wie zu erwarten bereit, deutlich mehr zu bezahlen als jene der beiden untersten Einkommensklassen. Hier kann es sich jedoch auch aufgrund der geringen Anzahl an Personen mit dem höchsten Einkommen (n = 9) um Ausreißer handeln.

Pearson's product-moment correlation

```
data: daten$WTP and daten$Einkommen
t = 3.4843, df = 209, p-value = 0.0006011
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.1024780 0.3580411
sample estimates:
      cor
0.2343034
```

Abbildung 45: Pearson-Korrelationsanalyse Einkommen und WTP

Mittels Pearson-Korrelationstest in Abbildung 45 wurde der Zusammenhang zwischen der Zahlungsbereitschaft und dem Einkommen der Befragten untersucht.

Der Korrelationskoeffizienten beträgt $r = 0,234$ und zeigt eine schwache positive Korrelation auf. Mit steigendem Einkommen nimmt die Bereitschaft zur Zahlung für Lärminderungsmaßnahmen tendenziell leicht zu.

Die Abweichung von der Nullhypothese, die ein Fehlen eines Zusammenhangs unterstellt, kann verworfen werden. Der p-Wert unterstreicht, dass der Zusammenhang zwischen Einkommensklasse und Zahlungsbereitschaft statistisch definitiv vorhanden ist.

An dieser Stelle kann festgehalten werden, dass zwischen dem Einkommen und der Zahlungsbereitschaft der befragten Personen ein statistisch signifikanter, jedoch nur schwach ausgeprägter positiver Zusammenhang besteht. Einkommensstärkere Personen sind somit eher bereit sind, monetäre Beiträge zur Reduktion von Schienenverkehrslärm zu leisten, wenngleich der Zusammenhang nicht als stark zu bewerten ist.

Außerdem wurde im Rahmen der sozioökonomischen Erweiterung des Regressionsmodells deutlich, dass ein geschlechtsspezifischer Unterschied bei den Zahlungsbereitschaften auszumachen ist. Daher wird nun in einer weiteren Korrelationsanalyse das Einkommen mit dem Geschlecht in Beziehung gesetzt.

```
Call:
lm(formula = WTP ~ income * gender, data = filtered_data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-246.13 -106.02  -79.92   17.03   902.68

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    -6.507     65.723  -0.099   0.9212
income         63.160     24.436   2.585   0.0105 *
genderWeiblich 121.230     97.187   1.247   0.2138
income:genderWeiblich -71.862     39.687  -1.811   0.0717 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 220.6 on 194 degrees of freedom
(88 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.04996,    Adjusted R-squared:  0.03527
F-statistic:  3.4 on 3 and 194 DF,  p-value: 0.01884
```

Abbildung 46: Regressionsanalyse WTP Geschlecht und Einkommen

[Anmerkung zu den Variablen: income: Zahlungsbereitschaft der Männer je Einkommensklasse, income:genderWeiblich: Einkommenseffekt von Frauen im Vergleich zu Männern]

In der Regression aus Abbildung 46 wird untersucht, wie das Einkommen und das Geschlecht über einen Interaktionseffekt vereint werden können. Das Einkommen ist mit seinem p-Wert von 0,0105 statistisch signifikant. Für Frauen zeigt sich ein abgeschwächter Einkommenseffekt, der durch die Variable ‚income:genderWeiblich‘ beschrieben wird. Sie haben im Schnitt einen geringeren Einkommenseffekt je Einkommensklasse, nämlich eine Differenz von neun Euro im Vergleich zu Männern (63 Euro – 72 Euro). Hierbei sollte jedoch in Betracht bleiben, dass in der Umfrage Einkommensklassen verwendet wurden und auch nur daraus dieser Wert generiert werden konnte. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass Frauen mit steigendem Einkommen eine weniger stark zunehmende Zahlungsbereitschaft haben als Männer. Es lässt sich außerdem feststellen, dass geschlechtsspezifische Unterschiede in der Zahlungsbereitschaft zumindest teilweise durch divergente Einkommensverteilungen erklärt werden können.

8 Modelloptimierung: Akaike-Information-Criterion(AIC)-Methode

Zur Identifikation jener Einflussfaktoren, die die individuelle Zahlungsbereitschaft (WTP) für Lärminderungsmaßnahmen am besten erklären, wurde die AIC-Methode, benannt nach Hirotugu Akaike, angewendet. Dabei handelt es sich um ein Verfahren zur Bewertung und zum Vergleich statistischer Modelle hinsichtlich ihrer Güte und Komplexität. Ziel dieser Methode ist es, auf Basis der Minimierung des AIC ein Modell mit möglichst hoher Erklärungskraft bei gleichzeitig geringer Komplexität zu identifizieren. Im Grunde handelt es sich um eine Quantifizierung des Informationsverlusts, der zwangsläufig entsteht, wenn ein Modell versucht, die Realität zu beschreiben. (vgl. Akaike, 1974: 716).

Gemäß ihm wird durch das AIC eine Schätzung des relativen Abstands zwischen dem angepassten Modell und dem unbekannten wahren Mechanismus, der die Daten generiert hat, bereitgestellt. Die Berechnung des AIC-Werts erfolgt nach dieser Formel:

$$AIC = 2k - \ln(L)$$

k – Anzahl der zu schätzenden Parameter im Modell

L – Likelihood (die Wahrscheinlichkeit, dass die beobachteten Daten unter Anwendung des Modells auftreten)

```
Step:  AIC=2099.14
WTP ~ annoyance_in + gender + annoyance_out + income
```

	Df	Sum of Sq	RSS	AIC
<none>			7944449	2099.1
- gender	1	91424	8035874	2099.4
+ sleep	1	56406	7888043	2099.7
+ noise_class	1	52869	7891581	2099.8
- income	1	123648	8068097	2100.2
+ habituation	1	21568	7922882	2100.6
+ age	1	7154	7937296	2101.0
+ housing	2	81831	7862618	2101.1
+ health_class	1	1199	7943251	2101.1
+ ownership	2	67523	7876927	2101.5
- annoyance_in	1	177156	8121606	2101.5
- annoyance_out	1	189163	8133612	2101.8

Abbildung 47: Output-Tabelle der AIC-Modellierung

$$\begin{aligned} \text{WTP}_i = & \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Lärmstörung outdoor}_i + \beta_2 \\ & \cdot \text{Lärmstörung indoor}_i + \beta_3 \cdot \text{Geschlecht} + \beta_4 \cdot \text{Einkommen}_i + \varepsilon_i \end{aligned}$$

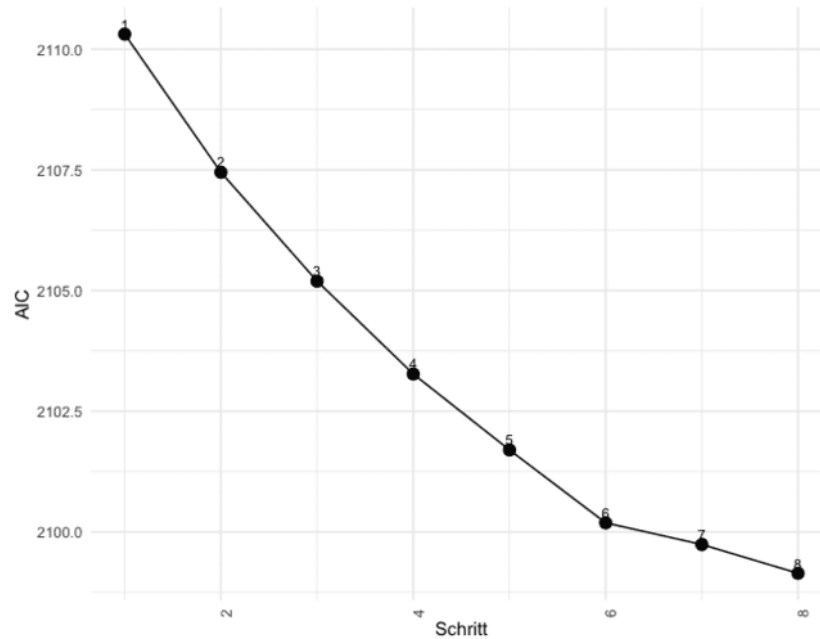


Abbildung 48: Regressionsschritte zur Verminderung der AIC-Werte

In der Abbildung 48 ist die Verringerung des AIC-Wertes durch die einzelnen Regressionsschritte zu erkennen. Insgesamt wurde die Optimierung des Modells in neun Schritten erreicht. Analog dazu ist Abbildung 47 zu entnehmen, welche vier unabhängigen Variablen die WTP am besten erklären. Es sind die Lärmstörung im Innen- und Außenraum, das Einkommen und das Geschlecht.

8.1 Analyse des optimierten Akaike-Information-Criterion-Modells

```
Call:
lm(formula = WTP ~ annoyance_in + gender + annoyance_out + income,
    data = filtered_data_clean)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-285.19 -106.96  -35.54    9.07   933.44

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   -107.82     56.36  -1.913   0.0572 .
annoyance_in    40.40     19.53   2.069   0.0399 *
genderWeiblich -44.62     30.02  -1.486   0.1388
annoyance_out   40.92     19.14   2.138   0.0338 *
income         31.02     17.94   1.729   0.0855 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 203.4 on 192 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.1999,    Adjusted R-squared:  0.1832
F-statistic: 11.99 on 4 and 192 DF,  p-value: 1.017e-08
```

Abbildung 49: Finales Regressionsmodell der WTP

Zur vertieften Analyse der Einflussfaktoren auf die Zahlungsbereitschaft (WTP) wurde ein multiples lineares Regressionsmodell geschätzt, das die subjektive Lärmbelastung sowohl im Innen- als auch im Außenbereich (`annoyance_in`, `annoyance_out`), das Geschlecht (`gender`) sowie die Einkommensklasse (`income`) als erklärende Variablen berücksichtigt. Das Modell weist einen R^2 -Wert von 0,1999 sowie einen Adjusted- R^2 -Wert von 0,1832 auf, was auf eine moderate erklärte Varianz der Zahlungsbereitschaft hinweist. Der F-Test ist mit einem p-Wert von $< 0,001$ signifikant, sodass das Modell insgesamt als statistisch bedeutsam eingestuft werden kann.

Im Detail zeigt sich, dass sowohl die Lärmbelastung im Innenbereich ($\beta = 40,40$; $p = 0,0399$) als auch jene im Außenbereich ($\beta = 40,92$; $p = 0,0338$) signifikant positiv mit der Zahlungsbereitschaft assoziiert ist. Dies legt nahe, dass eine höhere subjektiv empfundene Lärmbelastung mit einer höheren Bereitschaft einhergeht, für lärmindernde Maßnahmen zu bezahlen. Der Einkommenseffekt ist mit einem Koeffizienten von 31,02 positiv und erreicht mit einem p-Wert von 0,0855 annähernd Signifikanzniveau, was auf eine tendenzielle Zahlungsbereitschaft höherer

Einkommensgruppen hinweist. Der Geschlechterunterschied fällt hingegen nicht signifikant aus ($\beta = -44,62$; $p = 0,1388$), obwohl weibliche Befragte im Mittel eine geringere Zahlungsbereitschaft aufweisen.

8.2 Reflexion der Modellergebnisse

Die Analyse der Einflussfaktoren auf die Zahlungsbereitschaft (WTP) zeigt, dass insbesondere das subjektiv wahrgenommene Lärmempfinden im Außenbereich (annoyance_out) einen signifikanten positiven Einfluss auf die WTP hat. Dies steht im Einklang mit der umweltökonomischen Literatur. Sowohl Kroesen et al. (2010) als auch With et al. (2020) haben in ihren Arbeiten festgestellt, dass subjektive Wahrnehmungen von Lärmbelastung eine höhere Erklärungskraft für individuelle Zahlungs- oder Akzeptanzbereitschaften aufweisen als objektive Messgrößen.

In den im Rahmen dieser Arbeit erstellten Modellen hat sich gezeigt, dass die objektive Lärmklassenzuordnung (noise_class) ihre statistische Signifikanz verliert, sobald die subjektiven Variablen in das Modell aufgenommen werden. Dies lässt sich auf zwei zentrale Mechanismen zurückführen:

Erstens kann von einer multikollinearen Beziehung ausgegangen werden. Die subjektiven Variablen ‚annoyance_out‘ und ‚annoyance_in‘ korrelieren vermutlich stark mit der objektiven Lärmklassenzuordnung. Sie bilden damit einen Teil desselben Konstrukts ab – nämlich die tatsächliche Lärmbelastung –, jedoch in einer differenzierteren und individuell wahrgenommenen Form. Der erklärende Effekt, den die Lärmklasse im Basismodell hatte, wird somit im erweiterten Modell durch die subjektiven Variablen aufgefangen und partiell mediatisiert. Zweitens zeigt sich, dass die subjektive Lärmwahrnehmung in vielen Fällen eine höhere Varianzaufklärung der Zahlungsbereitschaft leistet als objektive Indikatoren. Entsprechend reduziert sich durch die Aufnahme dieser Variablen der eigenständige Beitrag der objektiven Lärmklassenzuordnung zur erklärten Varianz, was in einem Verlust an statistischer Signifikanz resultiert.

Ein Vergleich der Modellgüte über das AIC bestätigt diese Annahmen: Das erweiterte Modell mit subjektiven Variablen weist einen niedrigeren AIC-Wert auf als das Basismodell, was auf eine ausgewogenere Balance zwischen Anpassungsgüte und

Modellkomplexität hindeutet. Die Berücksichtigung subjektiver Einflussfaktoren trägt demnach substantiell zur Erklärung individueller Zahlungsbereitschaften bei und erhöht die empirische Aussagekraft des Modells.

9 Situationsspezifische Kostensätze

Um nun, ausgehend von den erhobenen Zahlungsbereitschaften, eine Anwendbarkeit der Ergebnisse innerhalb von formalisierten Bewertungsinstrumenten zu ermöglichen, werden Kostensätze erstellt. Diese ermöglichen eine praxisnahe Bewertung von Schienenverkehrslärm im österreichischen Kontext, beispielsweise im Rahmen der NKU. Wenngleich es hierfür unterschiedlichste Methoden gibt, werden in dieser Arbeit die Kostensätze aus den Zahlungs- und Akzeptanzbereitschaften abgeleitet. In einem ersten Schritt werden durch Einsetzen der Dezibelwerte in die WTP/WTAGleichungen aus Kapitel 7.3 und 7.5 für St. Valentin gültige Kostensätze berechnet. Dies ermöglicht eine Berechnung des theoretischen Gesamtkapitals für eine nahezu vollständige Lärmberuhigung in der Untersuchungsgemeinde. Diese Werte werden dann für die niederösterreichischen Gemeinden entlang der Westbahnstrecke hochgerechnet (übergeordneter Untersuchungsraum aus Kapitel 5.2). Um diese erhobenen Kostensätze zu validieren, werden sie mit drei Studien verglichen – nämlich mit den Kostensätzen des deutschen Umweltbundesamtes aus dem Jahr 2020, mit den Kostensätzen des österreichischen Herry-Instituts aus dem Jahr 2002 und mit den Kostensätzen von Thomassen et al. aus dem Jahr 1991. Um eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen, werden die WTP-Werte in die in der jeweiligen Studie verwendeten Lärmklassen mittels Interpolation überführt. Außerdem werden die Kostensätze inflationsbereinigt und auf das Jahr 2025 hochgerechnet. Diese werden nachfolgend für die drei bestehenden Lärmklassen in 10-dB-Schritten und dann analog zu jenen der Vergleichsstudien angegeben (siehe Tabelle 6). Außerdem werden die Kostensätze für die Untersuchungsgemeinde wie auch für das erweiterte Untersuchungsgebiet hochgerechnet.

Tabelle 6: Kostensätze nach Lärmklassen (10-dB-Schritte, in Euro pro Person/a)

Lärmklasse (dB)	WTP (Euro)	WTA (Euro)
55–65	65,45	900,54
65–75	152,16	1.424,20
> 75	238,87	1.947,86

9.1 Gesamtkapital der Umfrage zur Lärmberuhigung in St. Valentin 2025

Ausgehend von den ermittelten Lärmsätzen in St. Valentin lässt sich nun für diesen engeren Untersuchungsraum bestimmen, welches Kapital theoretisch für Lärmberuhigungsmaßnahmen vorhanden ist. In Tabelle 7 wird die Anzahl der Betroffenen mit den erhobenen WTP und WTA-Werten multipliziert (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: WTP und WTA pro Jahr in St. Valentin 2025

Lärmklasse (dB)	Anzahl Betroffene	WTP gesamt (Euro)	WTA gesamt (Euro)
55–65	2 620	171.479,00	2.359.024,80
65–75	440	66.950,40	626.648,00
>75	120	28.664,40	233.743,20
Gesamt	3 180	267.093,80	3.219.416,00

9.2 Gesamtkapital Lärmberuhigung Westbahnstrecke Niederösterreich

Für die Hochrechnung des Lärmschutzkapitals entlang der Westbahnstrecke in Niederösterreich wird in einem ersten Schritt auch hier die Anzahl der von Schienenlärm betroffenen Personen L(den) nach den drei Lärmklassen und Gemeinden ermittelt (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: Anzahl der Betroffenen in den Gemeinden entlang der Westbahnstrecke 2025

Gemeinde	55–65 dB	65–75 dB	> 75 dB
Atzenbrugg	210	20	0
Böheimkirchen	1 850	380	10
Neulengbach	1 680	310	10
Altengbach	930	140	0
St. Pölten	5 710	560	10
Prinzersdorf	350	50	0
Markersdorf a. d. Pielach	170	10	0
Groß Sierning	190	60	0
Loosdorf	780	110	0
Melk	1 010	30	0
Pöchlarn	1 210	70	10
Krummnußbaum	250	40	0
Ybbs a. d. Donau	910	70	0

Neumarkt/Ybbs-Karlsbach	990	80	0
Blindenmarkt	900	0	0
Amstetten	4 150	250	10
Mauer-Öhling	60	0	0
Aschbach	1 500	80	10
Krenstetten-Biberbach	40	10	0
St. Peter-Seitenstetten	380	120	10
St. Johann-Weistrach	40	20	10
Stadt Haag	940	60	0
St. Valentin	2 620	440	20

Die entlang der Westbahnstrecke in Niederösterreich aggregierten Werte sind in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Betroffene summiert nach Lärmklassen

Lärmklasse (dB)	Gesamtzahl Betroffene
55–65	28 010
65–75	3 890
> 75	170

Insgesamt ergibt sich somit in Niederösterreich in den Gemeinden, durch die die Westbahn führt, eine jährliche Zahlungsbereitschaft (für absolute Lärmberuhigung) von 2.466.624,80 Euro (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Theoretisches jährliches Gesamtkapital zur Lärminderung 2025

Lärmklasse (dB)	Betroffene Personen	WTP (Euro)	Gesamt-WTP (Euro)
55–65	28 010	65,45	1.833.114,50
65–75	3 890	152,16	592.902,40
> 75	170	238,87	40.607,90
Gesamt	32 070	–	2.466.624,80

Methodische Anmerkung: Die Anzahl der lärmbelasteten Personen wurde auf Basis der Gemeindeauswertung der Umgebungslärmkartierung (Tagpegel, L_{den}) des Bundes ermittelt. Dabei wurden alle Schienenverkehrsgeräusche innerhalb einer Gemeinde zusammengefasst – unabhängig von deren konkreter Quelle. Eine differenzierte

Trennung nach Streckentypen oder Zugkategorien ist daher nicht möglich. In Gemeinden mit mehreren Schienenverläufen (z. B. Güterzugumfahrung St. Pölten oder geteilte Streckenführungen in Melk) kann daher nicht eindeutig bestimmt werden, ob die Lärmbelastung primär von der Westbahnstrecke ausgeht. Die Zuordnung erfolgt unter dieser Annahme und stellt eine Annäherung dar.

9.3 Validierung der Kostensätze

Um eine Validierung der im Rahmen dieser Arbeit berechneten Kostensätze durchzuführen, werden die ermittelten Kostensätze mit jenen des Umweltbundesamtes Deutschland, die im Rahmen der Methodenkonvention 3.1 zur Ermittlung der Umweltkosten mit Stand Dezember 2020 veröffentlicht wurden, verglichen (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Vergleich der Kostensätze des Umweltbundesamtes Deutschland 2020

Lärmklasse (dB)	WTP St. Valentin (Euro)	UBA* 2020 (Euro)	UBA* inflationsbereinigt 2025 (Euro)
35–39	0,00	0,00	0,00
40–44	0,00	0,00	0,00
45–49	0,00	9,40	10,81
50–54	22,10	23,13	26,60
55–59	65,45	54,42	62,58
60–64	108,81	107,85	124,03
65–69	152,16	185,35	213,15
70–74	195,51	293,21	337,19
> 75	238,87	437,38	503,99

*Umweltbundesamt Deutschland

[Anmerkung zum Preisstand: Verbraucherpreisindex (VPI) Deutschland entnommen von Eurostat. (Basisjahr 2020 = 100, VPI Deutschland 2025 = 115)]

Grundsätzlich zeigt sich beim Vergleich der WTP-Werte, dass im unteren Lärmbereich (bis zum 54-dB-Wert) die Werte aus dieser Arbeit mit jenen der Umweltbundesamt-

Werte weitgehend übereinstimmen bzw. teilweise leicht darunter liegen. Dies bedeutet eine realitätsnahe Kalibrierung des Modells dieser Arbeit im mittleren Lärmbereich.

Ab der sechsten Lärmklasse zeigen sich dann zwischen den Werten zunehmende Abweichungen, wobei die Differenz hier insgesamt nur 18 % beträgt.

In den beiden höchsten Lärmbereichen (ab 70 dB) werden die Unterschiede deutlicher. Hier beträgt die Abweichung 97,70 Euro, was eine Differenz von 33 % bedeutet. Am stärksten ist der Unterschied in der lautesten Lärmklasse mit rund 45 %.

Diese Abweichungen in den höheren Lärmbereichen können verschiedenste Ursachen haben. Zum einen könnten sie sich durch einen psychologischen Deckeneffekt erklären lassen, bei dem selbst maximal belastete Personen (in St. Valentin) die Zahlungsbereitschaft nicht proportional zur vorliegenden Lärmbelastung angeben. Aber auch regionale, topografische und stichprobenbezogene Besonderheiten können hierbei eine Rolle spielen. Die Zahlungsfähigkeit oder Besonderheiten wie eine Lärmgewöhnung wirken sich ebenfalls aus.

Insgesamt zeigt der Vergleich jedoch, dass die aus der Kontingentbefragung abgeleiteten WTP-Werte mit denen des Umweltbundesamtes gut übereinstimmen. Sie sind in den höheren Lärmklassen etwas konservativer, in den niedrigeren und mittleren Lärmbereichen jedoch ähnlich. Sie können alles in allem als realitätsnahe Einschätzungen angesehen werden, die im Rahmen der NKU mit Sicherheit ihre Geltung haben.

In der Studie von Weinberger, Thomassen und Willeke aus dem Jahr 1992 wurde in Deutschland eine bundesweite schriftliche Befragung von 7000 Personen durchgeführt, um ihr subjektives Empfinden von Lärmbelästigung monetär über Zahlungsbereitschaften abzufragen. Hierfür wurden die Befragten in 5-dB-Lärmklassen eingeteilt. Die Klassengrößen waren relativ gleich verteilt, mit ungefähr 400 Personen pro Lärmklasse, und wurden durch postalische Umfragen erhoben. Die Rücklaufquote belief sich auf ungefähr 55 % (vgl. Geßner et al. 1998: 50/60).

Anders als im gegenständlichen Erhebungskonzept dieser Arbeit wurde hier die Payment-Card-Methode verwendet, bei der den Befragten hypothetisch ruhigere Wohnlagen in ihrem Wohnumfeld angeboten werden. Es wurde nach einer monatlichen Zusatzzahlung

für ‚nahezu kein Lärm‘ und ‚wenig Lärm‘ gefragt. Durch dieses ‚Privatisieren‘ des Gutes Ruhe sollte der Strategy-Bias reduziert werden (vgl. Geßner et al. 1998: 50/60).

Für den Vergleich mit der Studie von Thomassen et al. aus dem Jahr 1992 findet eine Beschränkung auf die Kategorie ‚nahezu kein Lärm‘ statt, da diese auch in der Kontingentbefragung dieser Arbeit abgefragt wurde. Jedoch wurde in dieser Arbeit nicht zwischen Tag und Nacht differenziert, weshalb Durchschnittswerte ermittelt wurden, um einen stimmigen Vergleich zu ermöglichen. Außerdem gilt es zu beachten, dass die Erhebungen von Thomassen et al. relativ alt sind und die Angaben noch in Deutscher Mark getätigt wurden, die für die Vergleichbarkeit mittels Währungsrechner umgerechnet wurden.

In einem zweiten tabellarischen Vergleich zeigt sich, dass die aus der älteren Erhebung stammenden Kostensätze im unteren Lärmbereich erneut eine hervorragende Übereinstimmung aufweisen. Die Differenz liegt hier bei lediglich 4 Euro. Ab dem Geräuschpegel von 60–65 dB steigt die Abweichung und beträgt dabei durchgehend etwa 50 %. Diese prozentuale Differenz von rund 50 % zieht sich durch alle folgenden Lärmklassen.

Dies ist also besonders im Hinblick auf den zeitlichen Abstand von rund 30 Jahren zu berücksichtigen. Veränderte gesellschaftliche Bewertungen von Ruhe, veränderte Sensibilisierungen sowie ökonomische und politische Rahmenbedingungen nehmen Einfluss. Auch die regionale Spezifik und die Methodik, die hier anders war, beeinflussen die Eigenart der Befragung und die Höhe der Zahlungsbereitschaft. Auf Basis der Datengrundlagen konnte dennoch eine halbwegs belastbare Einschätzung erfolgen (siehe Tabelle 12).

Tabelle 12: Vergleich Kostensätze Thomassen et al.

Lärmklasse (dB)	WTP (St. Valentin, Euro)	WTP (Thomassen et al. 1992, Euro) *
50–55	22,10	0,00
55–60	65,45	61,36
60–65	108,81	216,53
65–70	152,16	303,45
70–75	195,51	375,54
> 75	238,87	487,52

[Anmerkung: Die Lärmklassen wurden in der Studie von Geßner und Wienreich im Jahr 1998 (62) ausgehend von Weinberger et al. in sechs Lärmklassen überführt und von dort entnommen.]

Tabelle 13: Vergleich Kostensätze HERRY 2002

L _{den} (dB[A])	WTP St. Valentin 2025 (Euro)	WTP HERRY (2002)	WTP HERRY (inflationsbereinigt 2025)
51	0	0	0
52	6,33	0	0
53	15,00	0	0
54	23,67	0	0
55	32,34	0	0
56	41,02	10	16,40
57	49,69	21	34,44
58	58,36	31	50,84
59	67,03	41	67,24
60	75,70	52	85,28
61	84,37	62	101,68
62	93,04	72	118,08
63	101,71	83	136,12
64	110,38	93	152,52
65	119,06	103	168,92
66	127,73	114	186,96
67	136,40	124	203,36
68	145,07	134	219,76
69	153,74	144	236,16
70	162,41	155	254,20
71	171,08	222	364,08
72	179,75	240	393,60
73	188,42	257	421,48
74	197,09	274	449,36
75	205,76	291	477,24
76	214,44	309	506,76
77	223,11	326	534,64

78	231,78	343	562,52
79	240,45	361	592,04
80	249,12	378	619,92
81	257,79	395	647,80

[Anmerkung: Die Werte nach HERRY (2002) wurden auf den Preisstand 2025 unter Verwendung des Verbraucherpreisindex (VPI) der Statistik Austria angepasst. Der verwendete Anpassungsfaktor beträgt 1,64.]

Im Rahmen der HEATCO-Studie („Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment“) wurde versucht, verkehrsbedingte externe Kosten in Europa zu erfassen und zu einheitlichen Bewertungssätzen zusammenzuführen. Dabei speisten 25 EU-Länder diese Datensätze. Die HEATCO-Werte basieren unter anderem auf Literaturstudien, Bevölkerungsbefragungen und Modellrechnungen zur Immissionssituation in verschiedenen Lärmklassen (L_{den} in dB[A]). In Tabelle 13 ist die jährliche WTP in Euro pro von Schienenverkehrslärm betroffener Person im Jahr 2002 in Österreich aufgelistet. (vgl. Europäische Union, o.D). Beim Vergleich zeigt sich, dass die Werte der HEATCO-Studie, anders als die WTP-Werte in der Fallstudie von St. Valentin, besonders in den höheren Lärmklassen ab 70 dB(A) überproportional zunehmen. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass der reale Leidensdruck in höheren Lärmklassen stärker zunimmt. Außerdem ist aufgrund der Linearität der Lärmgleichung in den Untersuchungen in St. Valentin kein überproportionaler Anstieg möglich. Die HEATCO-Werte liegen bis 55 dB bei null, während die AnrainerInnen in St. Valentin hier bereits eine Zahlungsbereitschaft für Lärmberuhigung aufweisen würden.

10 Einbettung in das formalisierte Entscheidungsinstrumentarium

Die im Rahmen der gegenständlichen Arbeit für den Untersuchungsraum St. Valentin empirisch erhobenen Kostensätze zur Zahlungs- und Akzeptanzbereitschaft für eine Lärmreduktion bzw. Lärmzunahme tragen maßgeblich zu einer realitätsnahen Erfassung von Lärmbelastungen bei. Im Gegensatz zu rein modellgestützten oder harmonisierten Kostensätzen bieten diese Kostensätze eine evidenzbasierte Grundlage, die für lokale und regionale EntscheidungsträgerInnen in der Verkehrspolitik von hoher praktischer Bedeutung ist.

Bei der Validierung anhand von nationalen und internationalen Kostensätzen wie beispielsweise denen des Umweltbundesamtes Deutschland und des österreichischen HERRY-Instituts zeigt sich, dass die vorliegenden Werte im Einklang mit bestehenden Bewertungssätzen stehen. Gleichzeitig ist aber auch die Notwendigkeit einer regionalspezifischen Berücksichtigung zu erwähnen, da sozioökonomische, kulturelle und soziale Lebensumstände maßgeblich Einfluss auf die Zahlungsbereitschaft und Kompensationsforderungen haben.

10.1 Anwendung in bestehenden Bewertungsinstrumenten

Die ermittelten Kostensätze sind für eine Anwendung innerhalb von formalisierten Entscheidungshilfen angedacht – insbesondere im Rahmen der NKU, bei der eine Monetarisierung der Lärmwirkungen angestrebt wird. Aber prinzipiell können sie überall dort eingesetzt werden, wo eine externalisierte Kostenermittlung von Schienenlärm durchgeführt werden soll, und überall dort, wo eine monetäre Entschädigung angedacht wird. Ebenso wäre es jedoch möglich, sie als einen monetären Störfaktor zu verwenden, mit dem beispielsweise im Rahmen von Neutrassierungen Varianten miteinander verglichen werden und ermittelt wird, wie stark sich Betroffene von den unterschiedlichen Planungsfällen gestört fühlen (würden). Ebenso können die Kostensätze im Rahmen von UVP und Strategischen Umweltprüfungen – Verkehr (gemäß SUP-V) verwendet werden, zumindest für die Betriebsphase. Die Monetarisierung erfolgt durch Multiplikation der Kostensätze mit den jeweiligen Lärmexpositionsgarden in dB und der Anzahl der betroffenen Personen (Euro/Pers/a). Dies ermöglicht eine transparente Darstellung des volkswirtschaftlichen Nutzens einer Lärmreduktion.

Die Praxisanwendung ist insbesondere in der Verkehrspolitik und für Planungsbehörden von Bedeutung, kann aber ebenso direkt bei den Infrastrukturbetreibern zu einer fundierten Abwägung zwischen Maßnahmen- und Nutzenkosten angewendet werden. Es kann also ein potenzieller Wohlfahrtsgewinn durch Schienenverkehrsinfrastruktur mit den anfallenden Lärmbelastungen verglichen werden. Dies erleichtert auch eine konsistente Anwendung über verschiedene Projekte und Regionen hinweg, was für eine Standardisierbarkeit im österreichischen Kontext förderlich ist.

10.2 Empfehlung für die institutionelle Einbindung

Um die ermittelten Kostensätze fest in Bewertungsprozessen zu verankern, wäre eine Aufnahme in offizielle Leitfäden zu empfehlen. Die Einbindung könnte über die in Österreich zuständigen Institutionen erfolgen, also beispielsweise über das Verkehrsministerium oder das Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus. Aber auch die ÖBB-Infrastruktur AG könnte im Rahmen der Bewertungsprozesse eine Einbindung andenken. Dabei könnte eine Orientierung am Umweltbundesamt in Deutschland stattfinden, das regelmäßig aktualisierte Kostensätze für den Schienenverkehrslärm, aber auch für andere Verkehrsträger veröffentlicht und als Standardreferenz etabliert hat. Außerdem würde die Verwendung der Kostensätze die Vergleichbarkeit von unterschiedlichen Infrastrukturprojekten bundesweit deutlich erhöhen. Eine regelmäßige Aktualisierung ist hierbei unumgänglich, um wirtschaftliche Entwicklungen zu erfassen. Außerdem sollte aus Gründen der Transparenz und Wiederholbarkeit die Methodik der zugrunde liegenden Datenbasis von FachplanerInnen öffentlich zugänglich gemacht werden.

10.3 Grenzen und Hinweise zur Übertragbarkeit

Wenngleich die ermittelten Kostensätze bedeutende Einblicke liefern, ist auf die Grenzen ihrer Anwendbarkeit hinzuweisen. Aufgrund der regionalen Erhebung im Gemeindegebiet St. Valentin entlang der Westbahnstrecke ist eine unangepasste Übernahme auf andere Bahnstrecken nicht verzerrungsfrei möglich. Lokalspezifische Unterschiede wie sozioökonomische Rahmenbedingungen oder individuelle Wahrnehmungsunterschiede können zu veränderten Zahlungsbereitschaften führen. Eine direkte Anwendung ohne Anpassung der lokalen Gegebenheiten ist nicht zu empfehlen.

Hier wäre die Entwicklung eines adaptiven Bewertungssystems eine Möglichkeit, um regionale Faktoren besser zu integrieren. Es könnten beispielsweise Gewichtungen durch Einkommensunterschiede, Lohnniveaus oder andere Faktoren integriert werden, was eine flexiblere Gewichtung erlaubt. Zusätzlich wäre eine weitere Erhebung von Zahlungsbereitschaften auch für eine bundesweite Stichprobe oder zumindest vermehrte regionale Erhebungen empfehlenswert, um eine repräsentativere Datenbasis zu schaffen. Hier wäre es auch eine Option – so wie in der gegenständlichen Untersuchung –, Einflussfaktoren wie Gewöhnungseffekte, subjektives Lärmempfinden und den Gesundheitszustand zu erheben. Dadurch wäre theoretisch auch eine Berechnung der Kostensätze über den Störungsgrad möglich. Dies würde zu einer schnelleren Durchführung der Erhebung beitragen. Dabei würden AnrainerInnen an Bahnstrecken somit nur gefragt werden müssen, wie stark sie sich von Lärm gestört fühlen, und es könnte durch die Integration der Kostensätze über den Störungsgrad (1–5) eine Zahlungsbereitschaft zugewiesen werden.

10.4 Zukunftspotenzial und Weiterentwicklung

Die Ergebnisse dieser Arbeit stellen einen bedeutsamen Anreiz zur Weiterentwicklung von formalisierten Bewertungsmethoden dar und können im lokalen Kontext ohne Weiteres angewendet werden. Dadurch eröffnen sich auch Potenziale wie die Integration in GIS-basierte Lärmkartierungen durch eine Verknüpfung der Bevölkerungsstatistik und der Kostensätze. Dies ermöglicht eine räumliche Präzisierung von Schienenverkehrslärm. Weiters können die Kostensätze auch verwendet werden, um eine Art Stimmungsbild zu erfassen, wobei ein monetärer Gesamtwert erhoben werden kann, der dann Ansatzpunkt in partizipativen Verfahren sein kann. Gerade wenn die Akzeptanz des Verkehrsträgers Schiene erhöht werden soll, ist ein umfassender Lärmschutz unabdinglich, um sozial verträgliche Lösungen zu finden. Langfristig sollte der Aufbau einer umfassenden Datenbank forciert werden. Wenn ein einheitliches Erhebungsdesign verwendet wird, können darin bundesweite Daten eingespeist werden. Zusätzlich können so tiefergreifende Studien darauf zurückgreifen, um beispielsweise Veränderungen im Verkehrsbereich zu analysieren und den Einfluss technischer Innovationen zu untersuchen (z. B. leisere Züge). Dies trägt dazu bei, Schienenverkehrslärm als relevanten Umweltfaktor abzubilden.

11 Limitations

Die Untersuchung basiert auf 320 abgegebenen Antworten aus einer Grundgesamtheit von 3180 betroffenen Personen in St. Valentin. Es ist davon auszugehen, dass bei einem in hohem Maße subjektiven Phänomen wie dem der Lärmbelastung eine Selbstselektion der Bevölkerung stattgefunden hat. Personen, die sich durch Schienenlärm stark gestört fühlen, antworten eher als jene, die kein Problem damit haben. Dies impliziert eine Verzerrung der Stichprobe. Darüber hinaus sind viele der Variablen, die in der Kontingentbefragung erhoben wurden – beispielsweise das Empfinden von Lärm in Innen- und Außenbereichen, die Störung durch Lärm oder die Selbsteinschätzung des Gesundheitszustands – individuellen Wahrnehmungsunterschieden unterworfen. Aber auch objektive Messdaten, also jene der tatsächlichen Lärmbelastung in Dezibel, sind nicht vollständig belastbar. Die Dezibelwerte sind angenähert und den Werten von Lärminfo Österreich entnommen. Somit sind auch die Messfehler zu berücksichtigen, die für Lärminfo selbst gelten. Grundsätzlich erfolgt die Modellierung nach den Vorgaben aus der EU-Umgebungslärmrichtlinie. Es wurden, wie darin vorgegeben, die im jeweiligen Gebäude gemeldeten Personen mit Hauptwohnsitz gezählt und diese dem Fassadenpegel an der lauterer Hälfte des jeweiligen Gebäudes zugeordnet. Diese Vorgehensweise führt jedoch zu einer gewissen Vereinfachung, da individuelle Unterschiede in der Wohnraumnutzung und im Lärmempfinden nicht abgebildet werden (können). Die strategischen Lärmkarten für den Schienenverkehr werden auf Grundlage von Modellen berechnet, die das Verkehrsaufkommen, die Geschwindigkeit der Züge sowie die Geländeexposition und die Bebauungsstrukturen berücksichtigen. Die Pegel werden auf einer Höhe von 4 m über dem Boden ermittelt, was etwa die Aussagekraft zur Lärmbelastung in höheren Stockwerken einschränkt. Außerdem werden Standardwerte für die Bodenabsorption verwendet und es kann zu Abweichungen von den tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten der Züge kommen. Es wird eine ausbreitungsgünstige Situation angenommen – nämlich leichter Wind in Richtung der Lärmausbreitung (vgl. Methodenbeschreibung Lärminfo.at). Diese Annahmen können dazu führen, dass die ausgewiesenen Immissionswerte von der tatsächlichen Lärmbelastung abweichen und somit individuell unterschiedlich wahrgenommen werden. Daher sollten sowohl die Inputparameter von Lärminfo.at als auch die Angaben der Befragten mit Vorsicht betrachtet werden. Auch die Art der Kodierung bestimmter Variablen, wie etwa die Reduktion komplexer Lärmquellen auf einfache Dummy-Variablen, kann dazu führen,

dass bedeutsame Unterschiede innerhalb einer Kategorie nicht berücksichtigt werden. Wenngleich die Regressionsanalyse sorgfältig durchgeführt wurde, sind dennoch methodische Einschränkungen, die auftreten können, aber nicht müssen, der Vollständigkeit halber zu erwähnen. Es besteht die Möglichkeit der Multikollinearität zwischen einzelnen unabhängigen Variablen. Das Auftreten dieses Phänomens wurde bereits im Kapitel 7.8 zwischen der Lärmbelastung indoor/outdoor und den Lärmklassen beobachtet. Solche Zusammenhänge sind jedoch auch bei anderen Variablen denkbar, was zu Schwierigkeiten bei der Auswertung der Resultate führen könnte. Vielfach können endogene Beziehungen zwischen Variablen nur in hochkomplexen Regressionsmodellen untersucht werden. Weiters können sich Variablen gegenseitig beeinflussen. Der Gesundheitszustand kann beispielsweise vom Lärmempfinden abhängen und umgekehrt.

Einige Interaktionseffekte – also Kombinationen aus bestimmten Einflussfaktoren – wurden nicht systematisch betrachtet. Es könnte beispielsweise sein, dass zwei NachbarInnen sich unterschiedlich stark vom Schienenlärm gestört fühlen, wenn sich etwa die Wohnform unterscheidet (ein Einfamilienhaus ist eventuell besser gedämmt als eine Wohnung oder umgekehrt). Dadurch könnten relevante Zusammenhänge übersehen worden sein. Die abhängigen Variablen WTP und WTA sind häufig schief, also nicht annähernd normalverteilt. Dies kann zu einer Verzerrung der Ergebnisse führen, denn bei der Methode der Ordinary Least Squares wird von einer solchen Normalverteilung ausgegangen. Auch Heteroskedastizität kann die Genauigkeit der geschätzten Standardfehler beeinflussen. Außerdem kann der Einfluss von Ausreißern oder extremen Werten die Ergebnisse unverhältnismäßig beeinflussen, auch wenn Protestantworten herausgefiltert wurden. Die Dummy-Variablen erhöhen die Komplexität und machen die Modelle anfälliger für Instabilitäten, besonders bei kleinen Stichproben. Die Dummykodierung wurde bei den Kategorien ‚ownership‘, ‚gender‘, ‚train_user‘, ‚habituation‘ und ‚sleep‘ verwendet. Wie bei allen Regressionsanalysen besteht auch im Rahmen dieser das Problem, dass nie alle relevanten Einflussfaktoren beachtet werden können (Omitted-Variable-Bias).

Die Wahrnehmung von Lärm ist stark vom kulturellen, sozialen, aber auch infrastrukturellen Kontext abhängig. Relevant sind etwa Bau- und Wohnstandards, der Wert von Ruhe im räumlichen und topografischen Kontext sowie die Verankerung von Lärmschutz im rechtlichen Kontext. Daher ist die Übertragung der Ergebnisse nicht ohne

Weiteres auf andere Länder, Lärmtypen oder gar Bahnstrecken, auf denen andere Zugmodelle verkehren, möglich.

Es handelt sich um Querschnittsdaten, für die in der Fragestellung jeweils nur Momentaufnahmen oder die letzten zwölf Monate betrachtet wurden. Es können daher keine langfristigen Aussagen getroffen oder kausale Zusammenhänge festgestellt werden. Gewöhnungseffekte oder ein über die Zeit verändertes Lärmstörungserleben werden so nicht oder eben nur eingeschränkt, bei direkter Abfrage des zeitlichen Kontextes, erfasst.

Wenngleich einige Ergebnisse in der Analyse statistische Signifikanz aufweisen, ist dennoch ihre praktische Bedeutung eingeschränkt. So kann es sein, dass ermittelte Zahlungsbereitschaften zwar positiv sind, in der Praxis jedoch nicht tatsächlich bezahlt würden. Diese Relevanz wurde versucht zu verringern, indem in der Umfrage explizit darauf hingewiesen wurde, nur tatsächliche Geldbeträge anzugeben. Dennoch bleibt es dabei, dass es sich um einen hypothetischen Wert handelt. Es ist also zu betonen, dass ein Effekt, nur weil er rechnerisch und statistisch signifikant ist, nicht automatisch eine wirtschaftliche und praktische Bedeutung im politischen und planerischen Sinne hat. Ein kritisches Auseinandersetzen mit solchen Einflussgrößen ist deshalb unabdingbar. Dennoch hat sich durch die Validierung mit anderen Studien gezeigt, dass die Ergebnisse von Bedeutung sind. Bei der Einbettung in die NKU ist zu beachten, dass sich die Fragestellung im Rahmen dieser Befragung explizit auf eine vollständige Lärmberuhigung und nicht auf eine schrittweise Reduktion des Lärmpegels um einzelne Dezibel bezieht. Eine Umrechnung der aggregierten WTP-Werte auf einen Betrag ‚pro Dezibel‘, um beispielsweise die Zahlungsbereitschaft für eine Lärmreduktion von 15 dB (z. B. durch eine Lärmschutzwand) zu evaluieren, ist daher methodisch nicht gerechtfertigt und würde den Aussagegehalt der Daten verzerren. Für eine differenzierte Bewertung von Teilmaßnahmen mit abgestufter Wirkung wären spezifische, marginale Zahlungsbereitschaften notwendig, die im Rahmen dieser Untersuchung jedoch nicht erhoben wurden. Bei den WTA-Werten hingegen wurde eine explizite Lärmverdoppelung (+ 10 dB) abgefragt. Umgekehrt wäre es hier beispielsweise möglich, die notwendigen jährlichen Kompensationszahlungen pro EinwohnerIn zu berechnen, falls ein Neubau einer Bahnstrecke stattfinden sollte (sofern diese eine Verdoppelung des Lärmes verursachen würde). Eine rechnerische Umwandlung bei anderen erhöhten

Lärmbelastungen, z. B. + 15 dB oder + 5 dB, wäre ebenfalls möglich. Hier muss jedoch beachtet werden, dass es sich beim Lärm um eine logarithmische Funktion handelt.

Die Auswertung basiert auf aggregierten Lärmdaten aus der Umgebungslärmkartierung, die sämtliche Schienenlärmquellen innerhalb einer Gemeinde umfasst. Eine eindeutige Zuordnung der Lärmquelle zur Westbahnstrecke ist dabei nicht möglich, insbesondere in Gemeinden mit mehreren Schienentrassen oder Umfahrungsstrecken (z. B. Güterzugumfahrung St. Pölten, Parallelführungen in Melk).

Die berechneten gesamten Zahlungsbereitschaften sind als Näherungswerte zu verstehen.

12 Conclusio

Die vorliegende Diplomarbeit hat einen Beitrag zur empirischen Monetarisierung von Lärmbelastung geleistet. Die individuelle Lärmbelästigung durch Schienenverkehr in St. Valentin (Niederösterreich) wurde durch eine Kontingentbefragungen monetarisiert. Durch Einsetzen in die damit aufgestellten Gleichungen wurden Kostensätze berechnet, die in die NKA integriert werden können. Dadurch stehen für die Zahlungsbereitschaft (WTP) und die Akzeptanzbereitschaft (WTA) greifbare und praxisnahe Werte zur Verfügung, die angeben, wie stark sich der durch Zuginfrastruktur verursachte Lärm auf die Lokalbevölkerung auswirkt.

Der intuitive Zusammenhang, dass sowohl die durchschnittliche Zahlungs- als auch die Akzeptanzbereitschaft mit zunehmender Lärmklasse ansteigt, wurde belegt. Im Rahmen der Regressionsmodellierung zeigte sich, dass die WTA-Modelle auf Individualdatenbasis aufgrund starker Streuungen weitgehend insignifikant sind. Die WTP-Modelle hingegen weisen eine moderate, aber robuste Varianzaufklärung auf.

Besonders das subjektive Lärmempfinden, sowohl im Innen- als auch im Außenbereich, zählt zu den zentralen Einflussgrößen auf die Zahlungsbereitschaft für Lärminderungsmaßnahmen. Diese beiden Variablen schwächen in den Modellierungen die Aussagekraft der objektiv gemessenen Lärmbelastung der Lärminfo Österreich deutlich ab. AnwohnerInnen, die sich beeinträchtigt fühlen, sind bereit, signifikant höhere Beträge für Maßnahmen zur Lärmreduktion zu bezahlen. Wer sich jedoch an den Lärm gewöhnt hat, zeigt eine deutlich niedrigere Zahlungsbereitschaft. Gesundheit und Schlafprobleme zeigten – entgegen der Erwartung – keinen starken Einfluss.

Die drei im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Forschungsfragen konnten erfolgreich beantwortet werden:

- Zum einen wurde untersucht, welche Zahlungsbereitschaft (WTP) die betroffenen Personen in der Untersuchungsgemeinde für eine spürbare Reduktion der Lärmbelastung aufbringen würden, welche Akzeptanzbereitschaft (WTA) sie bei einer angenommenen Verdopplung der Lärmemissionen zeigen und wie sich diese Werte im Vergleich zu bestehenden nationalen und internationalen Kostensätzen einordnen lassen. Weiters wurde eine Übertagung dieser Ergebnisse

auf den niederösterreichischen Teil der Westbahnstrecke vorgenommen. Diese Aspekte wurden ausführlich in Kapitel 9 dargestellt.

- Weiter wurde analysiert, in welchem Zusammenhang individuelle Faktoren wie der Gesundheitszustand, die Schlafqualität, strukturelle Wohnformen und Lärmsensibilität und -störung mit den angegebenen WTP- bzw. WTA-Werten stehen. Mittels bivariater und multivariater Regressionsanalysen sowie eines auf dem AIC basierenden optimierten Modells konnten hier belastbare Ergebnisse erzielt werden, die in Kapitel 8 aufgearbeitet sind.
- Schließlich wurde erläutert, wie die gewonnenen Kostensätze in bestehende Bewertungsinstrumentarien zur formalisierten Bewertung von Schienenverkehrslärm integriert werden können. Dabei wurde nicht nur eine konkrete Einbettung in das bestehende formalisierte Verfahren veranschaulicht, sondern auch aufgezeigt, welche künftigen Potenziale eine systematische Erweiterung des Vorgehens mit sich bringt und welche Grenzen bei der Übertragbarkeit bestehen. Diese Überlegungen und methodischen Erweiterungsvorschläge sind in Kapitel 10 nachzulesen.

Die erhobenen Werte sind grundsätzlich nutzbar und stellen eine valide, auch im Vergleich mit anderen Studien anschlussfähige Ergänzung zu bestehenden Kostensätzen dar. Sie können für breiter angelegte Berechnungen entlang der Westbahnstrecke herangezogen werden, insbesondere da die Ermittlung von fallspezifischen Kostensätzen wegen des hohen Aufwandes und damit verbundener Kosten in den meisten NKU nicht möglich ist. Eine uneingeschränkte Anwendung der Kostensätze wird allerdings nicht empfohlen, da regionale und methodische Gegebenheiten berücksichtigt werden müssen.

Damit lassen sich beide gestellten Forschungsfragen eindeutig beantworten: Zum einen gilt, dass Lärmbelastung sich auf individueller Ebene monetarisieren lässt. Zum anderen ist zu konstatieren, dass bestimmte Einflussgrößen wie subjektive Belästigung und Gewöhnung messbare Effekte haben.

Die Grenzen der Methode – etwa in Form von Selbstselektion oder Omitted-Variable-Bias – bleiben zu beachten. Dennoch liefert diese Arbeit eine bedeutende Grundlage für zukünftige Bewertungen von Lärmwirkungen im Schienenverkehrsbereich.

13 Literaturverzeichnis

Allgemeines bürgerliches Gesetzbuch (ABGB), JGS Nr. 946/1811, in der geltenden Fassung.

Akaike, H. (1973). Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In B. N. Petrov & F. Csáki (Eds.), 2nd International Symposium on Information Theory, Tsahkadsor, Armenia, USSR, September 2–8, 1971. Budapest.

Allianz pro Schiene. (2024, 15. Juli). Investitionen in die Schieneninfrastruktur. Allianz pro Schiene. <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/infrastruktur/investitionen/>

Amt der Niederösterreichischen Landesregierung. (2021). Leitfaden Lärm bei Wohnbaulandwidmungen. St. Pölten.

Arbeitskreis Lärmwirkungsforschung des Umweltbundesamtes. (2014). Schlaf und Verkehrslärm: Grundlagen und Empfehlungen. Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/schlaf-verkehrslaerm-empfehlungen_0.pdf

Austria-Forum. (2025). Westbahn (Österreich). <https://austria-forum.org>

Bar-Gill, O. (2021). Willingness to pay: A welfarist reassessment. Yale Journal on Regulation, 38(2). <https://www.proquest.com/docview/2545213710>

Bischoff, I. (2006). Der Endowment-Effekt und das Beharrungsvermögen des Status quo. List Forum für Wirtschafts- und Finanzpolitik, 32, 1–15. <https://doi.org/10.1007/BF03373254>

BMK. (2021). Mobilitätsmasterplan 2030: Der neue Klimaschutz-Rahmen für den Verkehrssektor – nachhaltig – resilient – digital. <https://www.bmk.gv.at/themen/mobilitaet/mobilitaetsmasterplan/mmp2030.html>

BMK. (2024). Nationaler Energie- und Klimaplan (NEKP) 2024 der Republik Österreich. Wien:
BMK. <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0928.pdf>

BMK. (2024a). Präsentation Rahmenplan 2024–2029. FlippingBook. <https://online.flippingbook.com/view/195937951/>

BMK. (2024b). Integrierter nationaler Energie- und Klimaplan für Österreich: Periode 2021–2030. https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/klimaschutz/nat_klimapolitik/energie_klimaplan.html

BMK. (2024c). Österreich beim Bahnfahren EU-weit an der Spitze. <https://infothek.bmimi.gv.at/oesterreich-bahnfahren-spitze-eu/>

BMK. (o. D.-a). Ausbauplan ÖBB: Rahmenplan 2024–2029. https://www.bmk.gv.at/themen/verkehrsplanung/ausbauplan/plan_oebb.html

- Böhret, C., Kestermann, R., & Reisner, M. (1989). Folgeanalysen im verwaltungspolitischen Prozess der Technikgestaltung. <https://dopus.uni-speyer.de/frontdoor/deliver/index/docId/84/file/FB-079.pdf>
- Bonnaïous, A., & Rothengatter, W. (2018). Jules Dupuit: Secret origins of modern transportation science. *Transport Policy*, 70, 1–3. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.05>
- Bundeskanzleramt Österreich. (2020). Aus Verantwortung für Österreich. Regierungsprogramm 2020–2024. https://cdn.climatepolicyradar.org/navigator/AUT/2020/out-of-responsibility-for-austria-government-programme-2020-2024_94df56ec1a66f103508a9a867c31df72.pdf
- BML. (2009). Handbuch Umgebungslärm – Minderung und Ruhevorsorge. https://www.laerminfo.at/dam/jcr:18a76f5c-0a6a-4b10-8375-103c3b94d507/Handbuch_Umgebungs-laerm.pdf
- BML. (2022). Lärminfo: Lärminfokarte St. Valentin. <https://maps.laerminfo.at>
- BML. (2022a). Umgebungslärm Österreich 2022: Auswertung auf Gemeindeebene. https://www.laerminfo.at/dam/jcr:44c45f2a-d2d6-49eb-bdb5-2401e1a5ba1d/Gemeindeauswertung_2022_UA.pdf
- Bundes-Verfassungsgesetz (B-VG), BGBl. Nr. 1/1930, in der geltenden Fassung
- Bundesbahngesetz (BBG), BGBl. I Nr. 138/2003, in der geltenden Fassung
- Cerwenka, P., Hauger, G., Hörl, B., & Klammer, M. (2007). Handbuch der Verkehrssystemplanung.
- Dupuit, J. (1952). On the measurement of the utility of public works. *International Economic Papers*, 2, 83–110. <https://competitionandappropriation.econ.ucla.edu/wp-content/uploads/sites/95/2016/08/On-the-Measurement-of-the-Utility-of-Public-Works-p.-255-283.pdf>
- Eisenbahngesetz 1957 (EisbG), BGBl. Nr. 60/1957, in der geltenden Fassung.
- ERRAC. (2019). Rail 2030. Research & innovation priorities. https://errac.org/wp-content/uploads/2019/09/errac_rail_2030_research_and_innovation_priorities.pdf
- Europäische Kommission. (2020, 9. Dezember). Mobility strategy [Vorlesungsfolien]. <https://doi.org/10.2775/932>
- Europäische Kommission. (2021, Oktober). Mobility strategy: A fundamental transport transformation. https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/mobility-strategy_en
- Europäische Union. (o. D.). Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment[Projektseite]. <https://trimis.ec.europa.eu/project/developing-harmonised-european-approaches-transport-costing-and-project-assessment>

Fink, L. (2015). Handlungspflicht des Staates bei Belastung durch Verkehrslärm und Feinstaub [Unveröffentlichte Dissertation]. Karl-Franzens-Universität Graz.

Freystein, H., Muncke, M., & Schollmeier, P. (2015). Handbuch Entwerfen von Bahnanlagen: Regelwerke, Planfeststellung, Bau, Betrieb, Instandhaltung (3. Aufl.). Eurailpress.

Fritz, H., Schmoll, F., & Eisenwerth, S. (2011). Immobilienwirtschaft: Lehr- und Handbuch (3. Aufl.). Vahlen.

Geßner, C., & Weinreich, S. (1998). Externe Kosten des Straßen- und Schienenverkehrslärms am Beispiel der Strecke Frankfurt–Basel. ZEW-Dokumentation. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/39098/1>

Giering, K. (2004). Fluglärm 2004. <http://ibk2015.de/bilder/fluglaermwirk.pdf>

Guski, R., Schreckenberger, D., & Schuemer, R. (2017). WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A systematic review on environmental noise and annoyance. International Journal of Environmental Research and Public Health, 14(12), 1539. <https://doi.org/10.3390/ijerph14121539>

Hanemann, W. M. (1991). Willingness to pay and willingness to accept: Wie sehr können sie differieren? The Economic Journal, 101(March), 635–647. <https://www.jstor.org/stable/2234427>

Hanusch, H. (2011). Nutzen-Kosten-Analyse (3., vollständig überarbeitete Aufl.). Verlag Franz Vahlen.

HERRY. (2006). HEATCO – Developing harmonised European approaches for transport costing and project assessment, D5 – Proposal for harmonised guidelines.

BMVIT (Hrsg.), Verkehr in Zahlen.

Ising, H., & Kruppa, B. (2004, 1. März). Health effects caused by noise: Evidence in the literature from the past 25 years. PubMed. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15070524/>

Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. Econometrica, 47(2), 263–291. <https://doi.org/10.2307/1914185>

Klie, A. (2010). Die Bewertung von Umweltgütern mittels Zahlungsbereitschaft. Woran Kosten-Nutzen-Analysen scheitern. GAIA, 19(2), 103–109.

Kloepfer, M., et al. (2006). Leben mit Lärm? Risikobeurteilung und Regulation des Umgebungslärms im Verkehrsbereich. Springer Vieweg. <https://shop.manz.at/shop/products/9783540345091>

Kroesen, M., Molin, E., & van Wee, B. (2010). The relationship between noise sensitivity and annoyance: The role of noise exposure. Journal of the Acoustical Society of America, 127(3), 1074–1084. <https://doi.org/10.1121/1.3280591>

- Kurra, S., Morimoto, M., & Maekawa, Z. I. (1999). Transportation noise annoyance—A simulated-environment study for road, railway and aircraft noises, Part 1: Overall annoyance. *Journal of Sound and Vibration*, 220(2), 251–278. <https://doi.org/10.1006/jsvi.1998.2003>
- Lambert, J., & Vallet, M. (1993). Study related to railway noise annoyance. *Journal of Sound and Vibration*, 267(3), 483–495. [https://doi.org/10.1016/0022-460X\(93\)90161-7](https://doi.org/10.1016/0022-460X(93)90161-7)
- Lambert, J., F. Poisson, et al. (2001). Valuing benefits of a road traffic noise abatement programme: A contingent valuation survey. 17th International Congress on Acoustics, Rome.
- Lambert, J., Champelovier, P., & Vernet, I. (1996). Annoyance from high speed train noise: A social survey. *Journal of Sound and Vibration*, 193(1), 21–28.
- Leth, U., Brezina, T., & Emberger, G. (2023). Österreichs Mobilität in 100 Jahren. Studie im Auftrag der ÖBB-Holding AG. <https://presse.oebb.at/de/dam/jcr:e5e671ad...>
- LOK Report. (2024). Ab Freitag wieder freie Fahrt auf der neuen Weststrecke. <https://www.lok-report.de>
- Miedema, H. M. E., & Vos, H. (1998). Exposure-response relationships for transportation noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 104(6), 3342–3445.
- Oberösterreichische. Grenzwertverordnung, Landesgesetzblatt für Oberösterreich Nr. 45/1996, in der geltenden Fassung (idgF).
- ORF. (2023). Österreich ist Bahnfahr-Europameister. <https://orf.at/stories/3355503/>
- ÖBB. (2024). ÖBB und WESTbahn erhöhen das Angebot auf der Weststrecke wieder deutlich. <https://presse-oebb.at/news-oebb...>
- ÖBB. (2018). Zahlen Daten Fakten 2017/18, Bewegung auf Schiene 2017 – tägliche Zugzahlen im ÖBB-Netz.
- ÖBB. (2025). Zahlen Daten Fakten 2024/25, Bewegung auf Schiene 2024 – tägliche Zugzahlen im ÖBB-Netz.
- ÖBB Infrastruktur AG. (2023). Jahresbericht 2023. infrastruktur.oebb.at/de/unternehmen/
- ÖBB-Infrastruktur AG. (2024a). Zielnetz 2040. Das Bahnnetz der Zukunft – Fachentwurf. <https://infrastruktur.oebb.at/de/projekte...>
- ÖBB-Infrastruktur AG. (2024b). Rahmenplan 2025–2030. Wien: ÖBB-Infrastruktur AG. <https://infrastruktur.oebb.at/de/projekte-fuer-oesterreich/rahmenplan>
- ÖBB Infrastruktur AG. (2025a). Rahmenplan 2025–2030. Wien: ÖBB Infrastruktur AG.

ÖBB Infrastruktur AG. (2025b). Rahmenplan 2025–2030 – Präsentation. <https://infrastruktur.oebb.at/de/dam/jcr:...>

Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung (ÖAL). (2017). Richtlinie Nr. 3 – Beurteilung von Schallimmissionen. Wien: ÖAL.

Planungsbüro Obermeyer. (1983). Interdisziplinäre Feldstudie II über die Besonderheiten des Schienenverkehrslärms gegenüber dem Straßenverkehrslärm (Erweiterte Untersuchung): Bericht über ein Forschungsvorhaben zum Verkehrslärmschutzgesetz im Auftrag des Bundesministers für Verkehr (Forschungsnr. 70081/80). Band I: Hauptbericht; Band II: Anhang. München: Planungsbüro Obermeyer.

Qin, B. (2019). Endowment effect and the gap between WTP and WTA. MPRA Paper. Xi'an Jiaotong University. <https://mpa.ub.uni-muenchen.de/95764/>

Regierungspräsidium Freiburg. (2010). Schienenlärmbericht 2010 – Untersuchung zur Lärmbelastung durch Schienenverkehr im Regierungsbezirk Freiburg. <https://www.rvso.de/...>

Richtlinie 2001/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Juni 2001 über die Prüfung der Umweltauswirkungen bestimmter Pläne und Programme, ABl. L 197 vom 21.7.2001, S. 30–37.

Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm, ABl. L 189 vom 18.7.2002, S. 12–25.

Richtlinie 2011/92/EU über die Umweltverträglichkeitsprüfung bei bestimmten öffentlichen und privaten Projekten, ABl. Nr. L 26 vom 28.01.2012 S. 1, in der Fassung der Richtlinie 2014/52/EU, ABl. Nr. L 124 vom 25.04.2014 S. 1

Richtlinie 2012/34/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. November 2012 zur Schaffung eines einheitlichen europäischen Eisenbahnraums, ABl. L 343 vom 14.12.2012, S. 32–77.

Schienen-Control. (2023). Pünktlichkeit im Bahnverkehr in Österreich 2023. <https://schienencontrol.gv.at/...>

Schienen-Control (2023a). Jahresbericht 2023 der Schienen-Control. <https://www.schienencontrol.gv.at/files/1-Homepage-Schienen-Control/1>

Schienen-Control. (2024). Jahresbericht 2024. Wien: Schienen-Control. https://www.schienencontrol.gv.at/epaper/sc_jb_2024/html5.html#/28

Schienenverkehrslärm-Immissionsschutzverordnung (SchIV), BGBl. Nr. 415/1993, in der geltenden Fassung.

- Schmid, S. (2005). Externe Kosten des Verkehrs: Grenz- und Gesamtkosten durch Luftschadstoffe und Lärm in Deutschland [Dissertation, Universität Stuttgart]. <https://elib.uni-stuttgart.de/bitstream/11682/1688/1/...>
- Statistik Austria. (2024, 1. Januar). Ein Blick auf die Gemeinde: Amstetten. <https://www.statistik.at/atlas/blick/?gemnr=30531#>
- Tánczos, K., Markovits-Somogyi, R., & Török, Á. (2007). Noise annoyance and willingness to pay of inhabitants exposed to transport noise. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 35(1–2), 75–84. <https://pp.bme.hu/tr/article/view/1891/1156>
- Thomassen, H. G., Weinberger, M., & Willeke, R. (1991). Kosten des Lärms in der Bundesrepublik Deutschland. Berichte 9/91 des Umweltbundesamtes. Berlin.
- Tiberius Populorum, A. (2022, 21. Juli). Westbahnstrecke Westbahn Eisenbahnstrecke Österreich Wien Salzburg. Dokumentationszentrum für Europäische Eisenbahnforschung. <https://www.dokumentationszentrum-eisenbahnforschung.org/...>
- Trainline. (2025). Zugverbindungen Wien Westbahnhof – St. Pölten Hbf. <https://www.thetrainline.com>
- Umweltbundesamt Österreich(o.D.). Treibhausgase. <https://www.umweltbundesamt.at/klima/treibhausgase>
- Umweltbundesamt Deutschland. (2020, 21. Dezember). Methodenkonvention 3.1 zur Ermittlung von Umweltkosten – Kostensätze (Version Dezember 2020). www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/141
- Umweltbundesamt Deutschland. (2022). Lärmwirkung: Dosis-Wirkungsrelation (Publikation Nr. 3917_0, S. 25 ff.). https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/3917_0.pdf
- Umweltbundesamt Österreich. (2020). Leitfaden UVP und IG-L (überarbeitete Version 2020) (Rep-0737). Wien: Umweltbundesamt GmbH.
- Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz 2000 (UVP-G 2000), BGBl. Nr. 697/1993, in der geltenden Fassung.
- Ungerboeck, L. (2023, 22. Juli). ÖBB-Vorstand Pluy: „Wir brauchen 25 bis 30 Prozent mehr Strom bis 2030“. *Der Standard*. <https://www.derstandard.at/story/...>
- United States Code, Title 33 – Navigation and Navigable Waters, § 710a (Federal Flood Control Act), Stand: 2025.
- Verordnung (EU) 2019/774 der Kommission vom 16. Mai 2019 zur Änderung der
- Verordnung (EU) Nr. 1304/2014 hinsichtlich der Anwendung der technischen Spezifikationen für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge – Lärm“ auf vorhandene Güterwagen, ABl. L 139 vom 27.05.2019, S. 89–102.

Verordnung (EU) 2024/1679 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juni 2024 über Leitlinien der Union für den Aufbau des Transeuropäischen Verkehrsnetzes, zur Änderung der Verordnungen (EU) 2021/1153 und (EU) Nr. 913/2010 und zur Aufhebung der Verordnung (EU) Nr. 1315/2013, ABl. L 2024/1679 vom 28. Juni 2024.

Verordnung (EU) Nr. 1302/2014 der Kommission vom 18. November 2014 über eine technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge – Lokomotiven und Personenwagen“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union, ABl. L 356 vom 12.12.2014, S. 228–393.

Verordnung (EU) Nr. 1304/2014 der Kommission vom 26. November 2014 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge – Lärm“ sowie zur Änderung der Entscheidung 2008/232/EG und Aufhebung des Beschlusses 2011/229/EU, ABl. L 356 vom 12.12.2014, S. 421–437.

Vischer, P. D. D. (1973). Nutzen-Kosten-Analysen in der Wasserwirtschaft (VAW Mitteilung Nr. 18). Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich. <https://ethz.ch/content/dam/ethz/...>

With, J., Smith, A., & Johnson, P. (2020). Subjective noise perception and willingness to pay for noise reduction: A meta-analysis. *Environmental Research Letters*, 15(8), 084012. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab85df>

World Health Organization (WHO). (2018). Environmental noise guidelines for the European region. WHO Regional Office for Europe. <https://www.who.int/publications/i/item/9789289053563>

Anhang 1: Ergebnisse Multiple Regressionsanalyse WTA

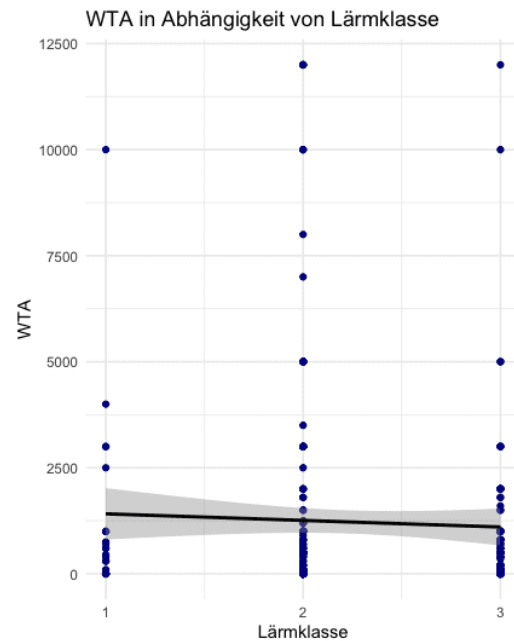
Basismodell der WTA:

```
Call:
lm(formula = WTA ~ noise_class, data = filtered_data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1413.6 -1208.3  -758.3  -141.7 10897.1

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  1569.0      516.4   3.038  0.0026 **
noise_class  -155.4      223.0  -0.697  0.4865
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2347 on 284 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.001706, Adjusted R-squared:  -0.001809
F-statistic: 0.4854 on 1 and 284 DF, p-value: 0.4865
```



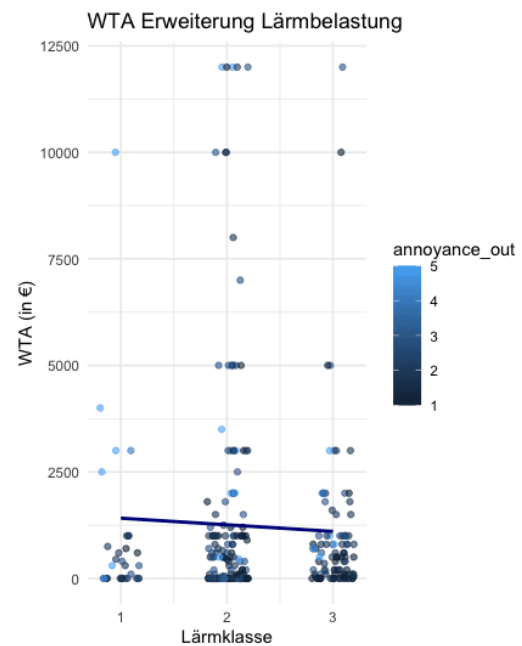
Erste Erweiterung der WTA:

```
Call:
lm(formula = WTA ~ noise_class + annoyance_out + annoyance_in,
    data = filtered_data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2700.0 -1085.5  -568.8   -35.2 11431.2

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   103.15     604.01   0.171  0.8645
noise_class   -33.57     218.44  -0.154  0.8780
annoyance_out  159.52     172.47   0.925  0.3558
annoyance_in   373.28     174.99   2.133  0.0338 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2279 on 282 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.06552, Adjusted R-squared:  0.05558
F-statistic: 6.591 on 3 and 282 DF, p-value: 0.0002554
```



Zweite Erweiterung der WTA:

```
Call:
lm(formula = WTA ~ noise_class + annoyance_out + annoyance_in +
    health_class + sleep, data = filtered_data)
```

Residuals:

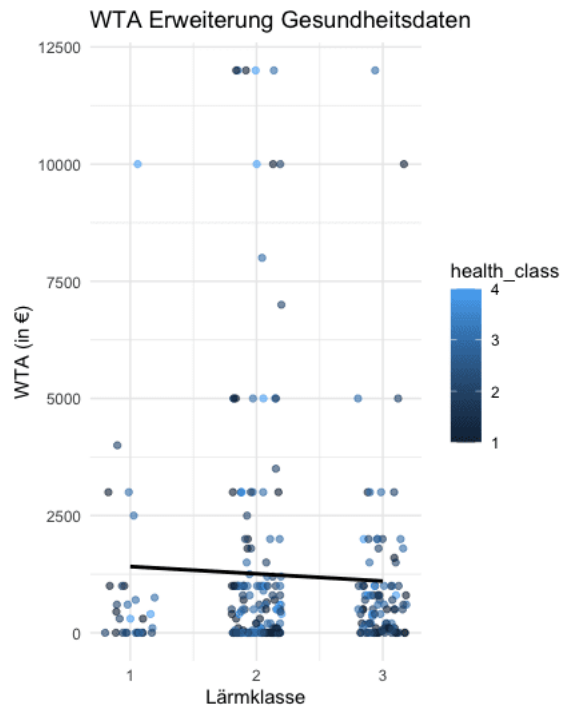
Min	1Q	Median	3Q	Max
-2718.2	-996.2	-508.9	83.3	11708.4

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-182.95	678.81	-0.270	0.7877
noise_class	-67.09	214.22	-0.313	0.7544
annoyance_out	284.70	171.74	1.658	0.0985 .
annoyance_in	201.18	175.76	1.145	0.2533
health_class	122.80	146.05	0.841	0.4012
sleep	360.27	269.79	1.335	0.1828

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2221 on 279 degrees of freedom
(1 observation deleted due to missingness)
Multiple R-squared: 0.07567, Adjusted R-squared: 0.0591
F-statistic: 4.568 on 5 and 279 DF, p-value: 0.0005079



Dritte Erweiterung der WTA:

```
Call:
lm(formula = WTA ~ noise_class + annoyance_in + annoyance_out +
    sleep + health_class + habituation, data = data_filtered)
```

Residuals:

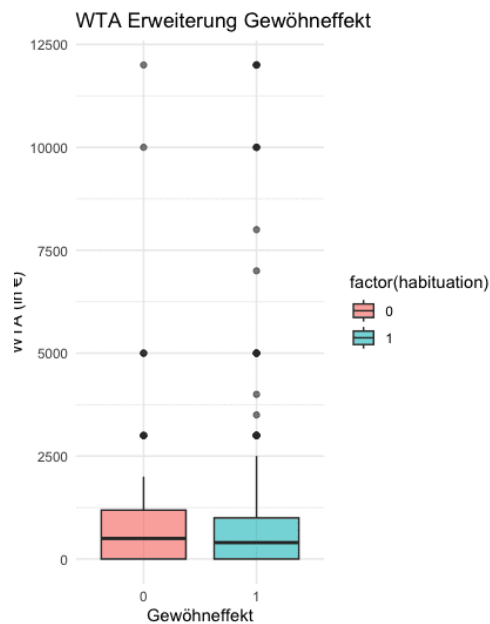
Min	1Q	Median	3Q	Max
-2706.1	-1014.9	-511.1	61.9	11719.7

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-154.46	714.15	-0.216	0.829
noise_class	-66.99	214.60	-0.312	0.755
annoyance_in	200.29	176.20	1.137	0.257
annoyance_out	284.74	172.04	1.655	0.099 .
sleep	360.86	270.31	1.335	0.183
health_class	124.79	147.09	0.848	0.397
habituation	-41.08	314.61	-0.131	0.896

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2225 on 278 degrees of freedom
(22 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared: 0.07572, Adjusted R-squared: 0.05577
F-statistic: 3.796 on 6 and 278 DF, p-value: 0.001187



Vierte Erweiterung der WTA:

```
Call:
lm(formula = formula_wta, data = filtered_data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2820.9 -1025.8  -481.1    94.5 11518.9

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   -444.79     760.97  -0.585   0.559
noise_class    -30.21     219.52  -0.138   0.891
annoyance_out  278.06     172.98   1.607   0.109
annoyance_in   200.78     176.92   1.135   0.257
health_class   120.29     148.26   0.811   0.418
sleep          304.12     274.35   1.108   0.269
habituation    -66.86     316.17  -0.211   0.833
housingsemi_detached -171.37  774.00  -0.221   0.825
housinghouse   211.00     514.64   0.410   0.682
ownership1     243.05     529.98   0.459   0.647
ownership3      26.67     698.49   0.038   0.970

Residual standard error: 2232 on 274 degrees of freedom
(1 observation deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.08331, Adjusted R-squared:  0.04986
F-statistic: 2.49 on 10 and 274 DF, p-value: 0.007138
```

Fünfte Erweiterung der WTA:

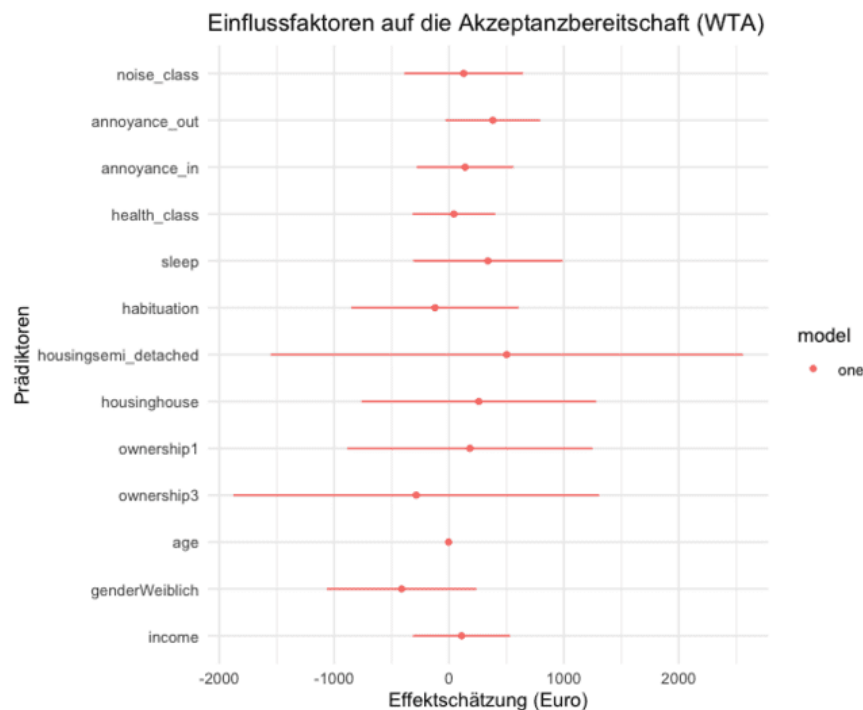
```
Call:
lm(formula = WTA ~ noise_class + annoyance_out + annoyance_in +
  health_class + sleep + habituation + housing + ownership +
  age + gender + income, data = filtered_data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2988.4  -994.1  -460.5   151.8 10453.3

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   -596.472    1049.631  -0.568   0.5705
noise_class    127.663     262.184   0.487   0.6269
annoyance_out  381.532     208.924   1.826   0.0695
annoyance_in   140.036     213.434   0.656   0.5126
health_class    42.557     182.072   0.234   0.8154
sleep          338.747     329.689   1.027   0.3056
habituation   -122.076     369.386  -0.330   0.7414
housingsemi_detached 502.721    1042.670   0.482   0.6303
housinghouse   259.210     518.281   0.500   0.6176
ownership1     181.938     541.007   0.336   0.7370
ownership3    -286.038     807.330  -0.354   0.7235
age            -4.078        10.680  -0.382   0.7030
genderWeiblich -412.662     329.536  -1.252   0.2121
income         108.787     214.572   0.507   0.6128
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2179 on 183 degrees of freedom
(89 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.1064, Adjusted R-squared:  0.04292
F-statistic: 1.676 on 13 and 183 DF, p-value: 0.06916
```

Prädiktoren der WTA:



Korrelationsanalyse der WTA:

Pearson's product-moment correlation

```
data: daten$WTA and daten$Einkommen
t = 2.5189, df = 209, p-value = 0.01252
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.03745213 0.29977081
sample estimates:
      cor
0.1716524
```

Anhang 2: Fragebogen Kontingentbefragung



Lärmsensibilität

1. Im Vergleich zu Ihren Bekannten würden Sie sagen, dass Sie lärmempfindlicher, weniger lärmempfindlich oder etwa gleich lärmempfindlich sind?

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Mehr als
☐ Gleich als
☐ Weniger als

Schwermetalle in St. Valentin

20.07.20, 13:39

Schwermetalle in St. Valentin

20.07.20, 13:39

2. Welches der nachfolgende Geräusche entspannt Sie am meisten? *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Musik
☐ Naturgeräusche
☐ Vögel
☐ Plätschern von Wasser
☐ Keines der genannten

Selbst eingeschätzter Gesundheitszustand

3. Wie würden Sie selbst Ihren aktuellen Gesundheitszustand bewerten? *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Sehr gut
☐ Gut
☐ Normal
☐ Eher schlecht
☐ Sehr schlecht

4. Glauben Sie, dass Ihr Gesundheitszustand durch Ihre aktuelle Wohnsituation beeinflusst wird?

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Ja
☐ Nein

5. Leiden Sie an einer oder mehreren der folgenden Krankheiten?

Wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus.

- ☐ Depressionen
☐ Bluthochdruck
☐ Schlafstörungen
☐ Herz-Kreislauf Erkrankungen
☐ Sonstiges: _____

Schlafverhalten

6. Haben Sie Probleme beim Ein- oder Durchschlafen? *

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Ja
☐ Nein

7. Haben Sie das Fenster nachts über gekippt? (saisonal oder dauerhaft)

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Ja
☐ Nein

8. Nutzen Sie Chropax während der Nachtruhe oder haben Sie bereits darüber nachgedacht dies zu tun?

Markieren Sie nur ein Oval.

- ☐ Ja
☐ Nein

Schwermetalle in St. Valentin 20.07.20, 13:39 Lärmbelästigung 9. Wie sehr fühlen Sie sich durch den Schienenverkehrslärm in den letzten 12 Monaten gestört? Markieren Sie nur ein Oval. ☐ Extrem ☐ Sehr ☐ Mäßig ☐ Etwas ☐ Gar nicht 10. Empfinden Sie den Lärm von Güterverkehrszügen als störender als den von Personenzügen? Markieren Sie nur ein Oval. ☐ Ja ☐ Nein 11. Denken Sie, dass Sie sich im Laufe der Zeit an den Lärm gewöhnt haben? (Gewöhnheit) Markieren Sie nur ein Oval. ☐ Ja ☐ Nein	Schwermetalle in St. Valentin 20.07.20, 13:39 12. Wie stark fühlen Sie sich beim Aufenthalt im Freien in der Umgebung Ihres Wohnorts durch den Lärm des Schienenverkehrs gestört? Markieren Sie nur ein Oval. ☐ Extrem ☐ Sehr ☐ Mäßig ☐ Etwas ☐ Gar nicht Lärmbelästigung 13. Glauben Sie, dass Verkehrslärm ihr Verhalten im Alltag beeinflusst? * Markieren Sie nur ein Oval. ☐ Ja ☐ Nein 14. Bei welcher/n der nachfolgenden Aktivitäten an Ihrem Wohnort fühlen Sie sich durch den Schienenverkehrslärm gestört? (mehrfach Antwort möglich) Wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus. ☐ Telefonieren ☐ Fernsehen ☐ Gespräche ☐ Arbeiten ☐ Schlafen ☐ Lernen ☐ Lesen
Schwermetalle in St. Valentin 20.07.20, 13:39 15. Zu welcher Zeit fühlen Sie sich vom Schienenverkehrslärm am meisten gestört? Markieren Sie nur ein Oval. ☐ Tagsüber (8:00-18:00) ☐ Abends (18:00-22:00) ☐ Nachts (22:00-6:00) 16. Welcher der folgenden Lärmquellen ist für Sie persönlich am störendsten? Markieren Sie nur ein Oval. ☐ Straßenverkehr ☐ Zugverkehr ☐ Flugverkehr Zahlungsbereitschaft und Zahlungsakzeptanz Dient die Ermittlung eines hypothetischen Geldbetrags, um den Betrag zu bestimmen, den Sie bereit wären für eine Lärmverminderung zu zahlen oder als Kompensation zu erhalten, falls sich die Lärmsituation verschlechtern sollte. Information Bei Umfragen wird häufig festgestellt, dass Befragte relativ hohe Zahlungsbereitschaften für Umweltgüter angeben. Wir bitten Sie daher, im Folgenden nur einen Geldbetrag anzugeben, den Sie in der Realität tatsächlich zu zahlen bereit wären. 17. Angenommen, der Lärm, der durch vorbeifahrende Züge verursacht wird, könnte sofort und dauerhaft beseitigt werden, wie viel wären Sie bereit, jährlich zusätzlich zu Ihren aktuellen Wohnkosten für die Lärmbeseitigung zu bezahlen? (in Euro) 	Schwermetalle in St. Valentin 20.07.20, 13:39 18. Falls Sie nicht bereit sind, einen Geldbetrag zu zahlen, was ist der Grund dafür? 19. Welchen Betrag müssten Sie jährlich als Kompensation erhalten, damit Sie eine gefühlte Verdopplung des Schienenverkehrslärms (+10dB) in Kauf nehmen würden? (in Euro) Persönliche Angaben Bitte machen Sie Angaben zu Ihrer Person, die für die statistische Auswertung der Ergebnisse erforderlich sind. Alle erhobenen Daten werden vollständig anonymisiert. 20. Wie alt sind Sie? * 21. Welches Geschlecht haben Sie? * Markieren Sie nur ein Oval. ☐ Männlich ☐ Weiblich ☐ Divers

Schwermetalle in St. Valentin 20.07.20, 12:59 Schwermetalle in St. Valentin 20.07.20, 12:59

22. Sind Sie selbst BahnfahrerIn? *

Markieren Sie nur ein Oval.

☐ Ja

☐ Nein

Wohnsituation

23. Welche der folgenden Optionen beschreibt Ihre Wohnsituation am besten? *

Markieren Sie nur ein Oval.

☐ Einfamilienhaus

☐ Doppel-/Reihenhaus

☐ Wohnung

24. Sind Sie MieterIn oder EigentümerIn Ihres Zuhauses? *

Markieren Sie nur ein Oval.

☐ Wohne im Eigentum

☐ Wohne zur Miete

☐ Sonstiges:

Beschäftigungsverhältnis

25. Was beschreibt Ihren momentanen Beschäftigungsstatus am besten? *

Markieren Sie nur ein Oval.

☐ Teilzeitbeschäftigt

☐ Vollzeitbeschäftigt

☐ In Ausbildung

☐ Nicht angestellt, arbeitssuchend

☐ Nicht angestellt, nicht arbeitssuchend

☐ Arbeitsunfähig

☐ Pensioniert

26. Haben Sie die Möglichkeit, zumindest teilweise von zu Hause aus zu arbeiten, und tun Sie dies auch?

Markieren Sie nur ein Oval.

☐ Ja

☐ Nein

27. In welcher der folgenden Einkommensklassen liegt Ihr monatliches Nettoeinkommen? *

Markieren Sie nur ein Oval.

☐ <1500€

☐ 1500€ - 2499€

☐ 2500€ - 3499€

☐ 3500€ - 4499€

☐ > 4500€

☐ Ich möchte diese Frage nicht beantworten

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt bzw. die wörtlich oder sinngemäß entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Zudem bestätige ich, dass keine künstliche Intelligenz (KI) für die Verfassung der Arbeit bzw. für Teile der Arbeit zum Einsatz gekommen ist.

Wien, am 11.09.2025

.....

Julia Schneider

Einverständniserklärung zur Plagiatsprüfung

Ich nehme zur Kenntnis, dass die vorgelegte Arbeit mit geeigneten und dem derzeitigen Stand der Technik entsprechenden Mitteln (Plagiat-Erkennungssoftware) elektronisch-technisch überprüft wird. Dies stellt einerseits sicher, dass bei der Erstellung der vorgelegten Arbeit die hohen Qualitätsvorgaben im Rahmen der ausgegebenen der an der TU Wien geltenden Regeln zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis - „Code of Conduct“ (Mitteilungsblatt 2007, 26. Stück, Nr. 257 idgF.) an der TU Wien eingehalten wurden. Zum anderen werden durch einen Abgleich mit anderen studentischen Abschlussarbeiten Verletzungen meines persönlichen Urheberrechts vermieden.

Wien, am 11.09.2025

.....
Julia Schneider