



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Diplomarbeit

SOZIALE SCHLÜSSELINDIKATOREN IM ERHALTUNGS- MANAGEMENT DER AUTOBAHNEN UND SCHNELL- STRAßEN IN ÖSTRREICH

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades einer

Diplom-Ingenieurin

unter der Leitung von

Ao.Univ.Prof. Univ.Prof. Mag. Dr. Günter Emberger

(E230 - Institut für Verkehrswissenschaften Forschungsbereich
Forschungsbereich Verkehrsplanung und Verkehrstechnik)

Dipl.-Ing. Dr. techn. Alfred Weninger-Vycudil

(Externer Betreuer, Lektor und Senior Researcher
Hochschule Campus Wien, Department Bauen und Gestalten)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwesen

Von

ANNA KATARZYNA LESZCZYNSKA, BSc

0826840

Wien, im September 2025

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Masterarbeit unterstützt und motiviert haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Betreuer, Ao.Univ.-Prof. Univ.-Prof. Mag. Dr. Günter Emberger. Seine fachliche Kompetenz, die Begutachtung dieser Arbeit sowie die konstruktiven Hinweise, die den Abschluss der Arbeit wesentlich unterstützt haben, waren für mich von unschätzbarem Wert.

Ein ganz besonderer Dank gilt Dipl.-Ing. Dr. techn. Alfred Weninger-Vycudil. Seine umfassende und kontinuierliche Betreuung war für das Zustandekommen dieser Masterarbeit entscheidend. Mit seiner fundierten fachlichen Expertise hat er mich stets mit Rat und Tat begleitet. Seine beständige Unterstützung, die zahlreichen motivierenden Gespräche, seine methodische Hilfestellung und sein stets offenes Ohr waren für mich eine unverzichtbare Stütze.

Mein Dank gilt auch der ASFINAG (Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft) für die Bereitstellung der anonymisierten Daten sowie der Informationen zum Bauprogramm 2023–2028. Die direkten Einblicke und Erfahrungswerte der Erhaltungsingenieure der ASFINAG waren entscheidend für die praktische Anwendung und Anpassung der Modelle an die österreichischen Gegebenheiten.

Darüber hinaus danke ich DI Ralitsa Dimova-Saller, die mir in dieser intensiven Zeit sowohl fachlich als auch menschlich eine große Unterstützung war. Ihre Motivation und Hilfestellung haben wesentlich dazu beigetragen, dass ich den Weg bis zum erfolgreichen Abschluss gehen konnte.

Nicht zuletzt möchte ich meiner Familie – insbesondere meiner Mutter und meiner Schwester – sowie meinen Freunden Martina, Annette, Vera, Jonay und Markus danken, die mich während des gesamten Studiums unterstützt haben. Ihre Hilfe und Ermutigung haben entscheidend dazu beigetragen, dass ich mein Studium erfolgreich abschließen konnte.

Kurzfassung

Die vorliegende Masterarbeit untersucht die praktische Umsetzung und die Integration sozialer Schlüsselindikatoren (S-KPIs) in das Erhaltungsmanagement der Autobahnen und Schnellstraßen in Österreich. Bisher erfolgte die Planung der Straßenerhaltung durch die ASFINAG primär auf Grundlage technischer Anforderungen zur Einhaltung von Grenzwerten, ohne dass soziale Auswirkungen auf Verkehrssicherheit, Umwelt und Verfügbarkeit systematisch und monetär bewertet wurden. Daraus resultierte eine begrenzte Berücksichtigung kurz- und langfristiger sozialer Effekte in den Entscheidungsprozessen für die Auswahl von Erhaltungsmaßnahmen.

Als methodische Grundlage dienten die im europäischen Forschungsprojekt ISABELA entwickelten theoretischen Modelle zur Bewertung von S-KPIs, die ursprünglich auf internationalen Rahmenbedingungen basierten. Diese Masterarbeit überführte die Modelle in die österreichische Praxis, passte sie an nationale Gegebenheiten an und kalibrierte sie unter Berücksichtigung der verfügbaren Daten. Ein zentraler Arbeitsschritt war die Ermittlung, Aufbereitung und Verknüpfung der relevanten, anonymisierten ASFINAG-Daten zu Verkehr, Zustand, Unfallgeschehen und Infrastrukturinventar mit den Modellanforderungen. Fehlende Eingangsgrößen wurden durch Literaturwerte und strukturierte Experteneinschätzungen ergänzt.

Die angepassten Modelle wurden in eine modifizierte dTIMS-Systemanwendung, ein digitales Decision-Support-Tool im Pavement Management der ASFINAG, integriert. Eine praktische Anwendung am Beispiel eines Erhaltungsbauprogramms der ASFINAG für den Straßenoberbau im Zeitraum 2023–2028 diente der Quantifizierung der bislang nicht monetär berücksichtigten sozialen Auswirkungen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die direkten Kosten des Bauprogramms 2023-2028 insgesamt 1,13 Milliarden Euro betragen, mit einem Ausgabenmaximum von circa 320 Millionen Euro im Jahr 2027. Die indirekten Kosten aus Verfügbarkeitseinschränkungen und Nutzerbeeinträchtigungen infolge der Erhaltungsmaßnahmen des Bauprogramms, summieren sich für das durchgerechnete Bauprogramm auf etwa 204 Millionen Euro (ca. 18 % der direkten Kosten). Zusätzlich entstehen Umweltkosten in Höhe von rund 27 Millionen Euro (ca. 2 %) und Sicherheitskosten von etwa 16 Millionen Euro (ca. 1 %). Demgegenüber stehen langfristige mögliche Einsparungen bei Umweltkosten infolge eines verbesserten Straßenzustandes durch die Erhaltungsmaßnahmen in der Höhe von rund 64 Millionen Euro (ca. 6 %) und Sicherheitskosten in der Höhe von 7 Millionen Euro (ca. 1 %). Diese indirekten Kosten gleichen jedoch die negativen Effekte während der Bauphase auf keinen Fall aus, was auch darauf zurückzuführen ist, dass die gewählten und in Österreich zur Verfügung stehenden offiziellen Kostensätze gering sind (z.B. CO₂ Bepreisung).

Die Analyse verdeutlicht die Notwendigkeit, die während der Bauphase entstehenden Belastungen durch optimierte Bauabläufe, erweiterte Arbeitszeiten und intelligente Verkehrsführung zu minimieren. Zudem belegt die Arbeit die grundsätzliche Umsetzbarkeit der Integration sozialer Aspekte in die Erhaltungsplanung, auch wenn die Modelle aufgrund begrenzter Datenqualität und -verfügbarkeit angepasst und vereinfacht werden mussten.

Abschließend liefert diese Masterarbeit eine fundierte Grundlage für eine ganzheitlichere und nachhaltigere Erhaltungsplanung im österreichischen Autobahn- und Schnellstraßennetz, die neben technischen und ökonomischen Aspekten auch soziale und ökologische Auswirkungen systematisch berücksichtigt. Der entwickelte Ansatz entspricht einem ersten umfassenden Entwurf, der die bisherige rein technisch-wirtschaftliche Erhaltung um relevante soziale Dimensionen erweitert und somit eine Basis für weiterführende Forschung und praxisorientierte Anwendungen schafft.

Abstract

This master's thesis examines the practical implementation and integration of social key performance indicators (S-KPIs) into the asset management of motorways and expressways in Austria. Until now, ASFINAG's maintenance planning has been based primarily on technical requirements for meeting threshold values, without systematically or monetarily assessing the social impacts on road safety, the environment and availability. This has resulted in limited consideration of short- and long-term social effects in the decision-making processes for the selection of maintenance measures.

The theoretical models for evaluating S-KPIs developed in the European research project ISABELA, which were originally based on international framework conditions, served as the methodological basis. This master's thesis transferred the models to Austrian practice, adapted them to national conditions and calibrated them taking into account the available data. A key step was the identification, preparation and linking of relevant, anonymised ASFINAG data on traffic, condition, accidents and infrastructure inventory with the model requirements. Missing input variables were supplemented by literature values and structured expert assessments.

The adapted models were integrated into a modified dTIMS system application, a digital decision support tool used in ASFINAG's pavement management. A practical application using the example of an ASFINAG maintenance programme for road superstructures in the period 2023–2028 served to quantify the social impacts that had not previously been taken into account in monetary terms.

The results show that the direct costs of the 2023–2028 construction programme will total €1.13 billion, with maximum expenditure of approximately €320 million in 2027. The indirect costs resulting from availability restrictions and user inconveniences due to the maintenance measures of the construction programme amount to approximately €204 million (approx. 18% of the direct costs) for the calculated construction programme. In addition, there will be environmental costs of around 27 million euros (approx. 2%) and safety costs of around 16 million euros (approx. 1%). On the other hand, there are potential long-term savings in environmental costs as a result of improved road conditions due to the maintenance measures, amounting to around €64 million (approx. 6%), and safety costs amounting to €7 million (approx. 1%). However, these indirect costs do not offset the negative effects during the construction phases, which is also due to the fact that the official cost rates selected and available in Austria are low (e.g. CO2 pricing).

The analysis highlights the need to minimise the burdens arising during the construction phase through optimised construction processes, extended working hours and intelligent traffic management. In addition, the thesis demonstrates the fundamental feasibility of integrating social aspects into maintenance planning, even if the models had to be adapted and simplified due to limited data quality and availability.

In conclusion, this master's thesis provides a sound basis for more holistic and sustainable maintenance planning in the Austrian motorway and expressway network, which systematically takes into account social and ecological impacts in addition to technical and economic aspects. The approach developed corresponds to an initial comprehensive draft that expands the previous purely technical and economic maintenance to include relevant social dimensions, thus creating a basis for further research and practice-oriented applications.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Herausforderung Erhaltungsplanung Straßenverkehrsinfrastruktur.....	1
1.2	Aufgabenstellung und Zielsetzung	1
1.3	Vorgehensweise.....	2
2	Grundlagen des Erhaltungsmanagements	3
2.1	Gliederung der Straßenerhaltung in Österreich.....	3
2.1.1	Straßenerhaltung und Erhaltungsmanagement.....	4
2.1.2	Betriebliche Straßenerhaltung	4
2.1.3	Bauliche Straßenerhaltung.....	4
2.2	Aufgaben des Erhaltungsmanagements.....	5
2.3	Strategisches Erhaltungsmanagement und Erhaltungsziele der ASFINAG.....	5
3	Grundlagen der Modellierung - CEDR-Projekt ISABELA.....	7
3.1	Projektkontext und organisatorischer Rahmen.....	7
3.2	Projektkonsortium	8
3.3	Zentrale Arbeitsergebnisse (Deliverables).....	8
3.4	Zielsetzung und inhaltliche Ausrichtung	8
3.5	Auswahl und Integration der sozialen Schlüsselindikatoren in den Bewertungs- und Entscheidungsprozess.....	9
3.6	Entscheidungsprozess und Anwendungsebenen.....	14
4	Möglichkeiten der Modellierung der sozialen Auswirkungen.....	16
4.1	Allgemeines.....	16
4.2	Erhaltungsprojekte als Ausgangspunkt	17
4.3	Eingangsparameter für die Modellierung der sozialen Auswirkungen.....	17
4.3.1	Allgemeines	17
4.3.2	Parameter des Erhaltungsabschnittes	17
4.3.3	Eingangsparameter für Erhaltungsmaßnahmen.....	19
4.3.4	Eingangsparameter der Eigenschaften des Straßennetzes.....	20
4.3.5	Kostensätze	21
4.3.6	Allgemeine zusätzliche Eingangsgrößen	21
4.4	Wesentliche Bewertungsparameter für die Modellierung	21
4.5	Aspekte der Verfügbarkeit und Beeinträchtigung der Nutzer.....	26
4.5.1	Reisezeit.....	26
4.5.2	Fahrzeugbetriebskosten.....	34
4.6	Verkehrssicherheitsaspekte	35
4.6.1	Einsparungen bei Verkehrssicherheitskosten vor und durch ein Erhaltungsprojekt.....	35

4.6.2	Zusätzliche Sicherheitskosten während eines Erhaltungsprojekts	39
4.7	Umweltauswirkungen durch Erhaltung.....	40
4.7.1	Bewertungsrahmen	40
4.7.2	Umweltauswirkungen auf die Wasser- und Bodenqualität durch eine Verbesserung des Entwässerungssystems	41
4.7.3	Umweltauswirkungen auf die Luftqualität und GHG-Emissionen aufgrund eines verbesserten Fahrbahnzustandes	44
4.7.4	Umweltauswirkungen von Recyclingmaterial und Berücksichtigung der eingebrachten (grauen) Energie.....	47
4.7.5	Einsparung von Umweltkosten durch die Reduzierung der Lärmemission	49
4.8	Sozioökonomische Aspekte.....	51
4.8.1	Auswirkungen auf die Beschäftigungssituation durch ein Erhaltungsprogramm.....	52
4.8.2	Auswirkungen von Straßenerhaltungsinvestitionen auf die Wirtschaft	53
5	Definition sozialer Nutzen, sozialer Rückstand und Nachholbedarf.....	54
5.1	Einsatzgebiet	54
5.2	Soziale Auswirkungen von Erhaltungsprojekten.....	55
5.2.1	Vergleich zwischen sozialen Einsparungen und sozialen Kosten.....	55
5.2.2	Vergleich der Strategien	58
6	Praktische Umsetzung zur Berechnung von sozialen Schlüsselindikatoren im Erhaltungsmanagement	58
6.1	Anpassung und Adaptierung der Modelle	59
6.1.1	Reisezeit	59
6.1.2	Fahrzeugbetriebskosten.....	77
6.2	Verkehrssicherheitsaspekte	77
6.2.1	Einsparungen von Unfallkosten durch ein Erhaltungsprojekt.....	77
6.2.2	Zusätzliche Verkehrssicherheitskosten während eines Erhaltungsprojekts.....	81
6.3	Umweltauswirkungen durch Erhaltungsprojekte	82
6.3.1	Umweltauswirkungen auf die Wasser- und Bodenqualität durch eine Verbesserung des Entwässerungssystems	82
6.3.2	Umweltauswirkungen auf die Luftqualität und GHG-Emissionen aufgrund eines verbesserten Fahrbahnzustandes	82
6.3.3	Umweltauswirkungen von Recyclingmaterial und Berücksichtigung der eingebrachten (grauen) Energie.....	85
6.3.4	Einsparung von Umweltkosten durch die Reduzierung der Lärmemission	87
7	Kostenanalyse unter Berücksichtigung sozialer Schlüsselindikatoren im Erhaltungsmanagement – praktische Anwendung	97
7.1	Allgemeines.....	97
7.2	Maßnahmenkosten	98
7.3	Zusatzkosten aufgrund der Beschränkung der Verfügbarkeit und Beeinträchtigung ...	99

7.4	Zusätzliche Sicherheitskosten durch Erhaltungsprojekte	100
7.5	Zusätzliche Umweltkosten durch Erhaltungsprojekte	101
7.6	Langfristige Einsparungen bei Unfallkosten durch Erhaltungsprojekte	101
7.7	Einsparungen an Umweltkosten durch ein Erhaltungsprojekt	102
7.8	Zusammenfassung der Analyseergebnisse.....	102
7.8.1	Relative Darstellung der sozialen Zusatzkosten und Einsparungen (ohne Bezug zu den direkten Maßnahmenkosten)	103
7.8.2	Vergleich der sozialen Auswirkungen im Verhältnis zu den direkten Maßnahmenkosten	104
7.9	Diskussion der Analyseergebnisse im Zusammenhang mit der „Kostenwahrheit“	106
8	Zusammenfassung, weiterführende Empfehlungen und Schlussfolgerungen.....	108
8.1	Herausforderungen und Lösungsansätze bei der Integration sozialer Auswirkungen im Straßenerhaltungsmanagement.....	108
8.2	Zusammenfassung der Analyseergebnisse.....	110
8.3	Schlussfolgerung und Ausblick.....	112
9	Anhang.....	114
9.1	Anhang A: Umleitungskategorie der österreichischen Autobahnen und Schnellstraßen.....	114
9.2	Anhang B: Program Code.....	116
9.2.1	Analysevariablen.....	116
9.2.2	Analysekurven.....	125
10	Abbildungsverzeichnis.....	141
11	Tabellenverzeichnis.....	142
12	Literaturverzeichnis	144

1 Einleitung

1.1 Herausforderung Erhaltungsplanung Straßenverkehrsinfrastruktur

Die umfassende Planung der Erhaltungsaktivitäten auf einem Bestandsstraßennetz ist die Kernaufgabe des Straßenerhaltungsmanagements (engl. Asset Management). Dabei werden unterschiedliche Erhaltungsstrategien aus der Sicht der Kosten und aus der Sicht der Wirkungen bzw. des Nutzens miteinander verglichen. Als Vergleichsgrößen werden Schlüsselindikatoren (engl. Key Performance Indicators) verwendet. Im Zuge des CEDR-Forschungsprojektes ISABELA (Integration of social aspects and benefits into life cycle asset management) [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15] wurden Grundlagen für die Ermittlung von „sozialen“ Schlüsselindikatoren für hochrangige Straßennetze entwickelt. Diese beziehen sich dabei auf die Bereiche Verkehrssicherheit, Umwelt, Verfügbarkeit sowie auf generelle sozio-ökonomische Aspekte.

Die ASFINAG (Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft) investierte lt. Geschäftsbericht 2023 [60] 717 Mio. € in die bauliche Erhaltung der übertragenen Verkehrsinfrastruktur. Dieser Wert bezieht sich auf alle Anlagen der Verkehrsinfrastruktur, vom Straßenoberbau, den Ingenieurbauwerken bis zu den Hochbauten der Autobahnmeistereien. Die Notwendigkeit für die Investitionen in die bauliche Erhaltung ergibt sich dabei primär aufgrund technischer Notwendigkeiten zur Einhaltung bestimmter Grenzwerte der Zustände, die in den österreichischen Richtlinien (siehe hierzu z.B. RVS 13.01.15 [1] für den Straßenoberbau und RVS 13.03.11 [2] für Brücken) verbindlich verankert sind. Im Zuge der Erstellung des mehrjährigen Bauprogramms für die bauliche Erhaltung werden zwar bei gewissen Anlagen (z.B. Straßenoberbau) umfassende Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen mit Nutzenberechnungen vorgenommen, jedoch eine umfassende Berechnung der (monetären) Wirkungen auf die zuvor aufgelisteten Teilbereiche wird bei der Erstellung des Bauprogramms derzeit nicht systematisch durchgeführt. Die positiven und negativen kurz- und Langzeiteffekte auf bestimmte Aspekte sind daher oft unbekannt und somit kein Kriterium in der Entscheidungsfindung.

1.2 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Im Rahmen der zunehmenden Relevanz einer ganzheitlichen Bewertung von Wirkungen und Nutzen in der modernen Straßenverkehrsinfrastrukturplanung findet die vorliegende Masterarbeit ihre thematische Verortung im interdisziplinären Bereich zwischen der Verkehrsplanung, den Sozialwissenschaften und dem strategischen Erhaltungsmanagement. Diese Zuordnung wird insbesondere durch die zentrale Rolle der Sozialen Schlüsselindikatoren (S-KPIs) untermauert, welche den Fokus auf ebenjene umfassende Bewertungslogik legen. Wie bereits im Kapitel 1.1 dargestellt, konzentrierte sich die klassische Straßenerhaltung in der Straßenbautechnik traditionell primär auf technische Anforderungen zur bautechnischen Gestaltung von Erhaltungsmaßnahmen. Soziale Auswirkungen wie Verkehrssicherheit, Umwelt oder Verfügbarkeit wurden dabei nicht systematisch oder monetär bewertet, was dazu führte, dass kurz- und langfristige soziale Effekte in den Entscheidungsprozessen für Erhaltungsmaßnahmen weitgehend unberücksichtigt blieben.

Die in dieser Arbeit adaptierten S-KPIs, die auf den Modellen des europäischen Forschungsprojektes ISABELA basieren, erweitern die bestehende, vornehmlich ökonomisch und technisch geprägte Lebenszyklusanalyse um soziale und ökologische Dimensionen. Sie ermöglichen eine umfassende Bewertung von Erhaltungsprogrammen unter Berücksichtigung von Verkehrssicherheit, Umwelt, Verfügbarkeit sowie weiterer sozio-ökonomischer Aspekte. Diese integrative Analyse, die verschiedene Stakeholder wie Nutzer, Anrainer, Umwelt und die Gesellschaft einbezieht und strategische Erhaltungsziele auf Netzebene formuliert, ist ein charakteristisches Merkmal der interdisziplinären Verkehrsplanung.

Die primäre Aufgabenstellung und somit die wissenschaftliche Fragestellung der vorliegenden Arbeit besteht in der Überprüfung der Anwendbarkeit dieser ISABELA-Modelle im österreichischen Erhaltungsmanagement der Hochleistungsstraßen. Dies beinhaltet:

- Die Evaluation, ob die hierfür notwendigen Datengrundlagen in ausreichendem Maße für eine praktische Anwendung zur Verfügung stehen.
- Die Anpassung und Kalibrierung der Modelle an die spezifischen österreichischen Verhältnisse.
- Die Auswahl der für die praktische Anwendung relevanten Modelle basierend auf dieser Bewertung.

Anschließend wird auf Grundlage der gegebenenfalls adaptierten und vereinfachten Modelle eine Berechnung der wesentlichsten sozialen Schlüsselindikatoren auf dem österreichischen Autobahnen- und Schnellstraßennetz (ASFINAG-Netz) vorgenommen. Hierfür werden von der ASFINAG bereitgestellte, anonymisierte Daten genutzt. Die darauf basierende Auswertung der Ergebnisse soll die Auswirkungen eines potenziellen Erhaltungsprogramms auf die einzelnen sozialen Bereiche, ausgedrückt durch die ausgewählten Schlüsselindikatoren, aufzeigen.

Eine zentrale Zielsetzung ist es zudem, die Ergebnisse kritisch zu hinterfragen und zu diskutieren, wobei insbesondere die möglichen positiven Langzeitwirkungen eines optimierten Straßenzustandes auf Emissionen und Nutzerkosten von zentraler Bedeutung sind.

1.3 Vorgehensweise

Die vorliegende Masterarbeit baut maßgeblich auf den theoretischen Grundlagen des europäischen Forschungsprojekts ISABELA (Integration of social aspects and benefits into life-cycle asset management) auf, dessen Modelle als methodische Grundlage dienten und ursprünglich auf internationalen Rahmenbedingungen basierten. ISABELA zielte darauf ab, einen ganzheitlichen Rahmen zur Modellierung von sozialen Schlüsselindikatoren (S-KPIs) und sozialem Nutzen im Erhaltungsmanagement der Straßenverkehrsinfrastruktur zu entwickeln und bestehende ökonomisch orientierte Lebenszyklusanalysen um relevante soziale Dimensionen wie Verkehrssicherheit, Umwelt, Verfügbarkeit sowie sozio-ökonomische Aspekte zu erweitern. Eine detaillierte Beschreibung der Ziele und Ausrichtung von ISABELA findet sich im Kapitel 3.4.

Die Kernleistung dieser Masterarbeit bestand darin, die im ISABELA-Projekt entwickelten Modelle in die österreichische Praxis zu überführen, an nationale Gegebenheiten anzupassen und unter Berücksichtigung der verfügbaren Daten zu kalibrieren. Ein zentraler Arbeitsschritt war die Ermittlung, Aufbereitung und Verknüpfung der relevanten, anonymisierten ASFINAG-Daten (zu Verkehr, Zustand, Unfallgeschehen und Infrastrukturinventar) mit den Modellanforderungen. Fehlende Eingangsgrößen wurden dabei durch Literaturwerte und strukturierte Experteneinschätzungen ergänzt.

Die angepassten Modelle wurden in eine modifizierte dTIMS-Systemanwendung integriert, welche ein digitales Decision-Support-Tool im Pavement Management der ASFINAG darstellt. Eine praktische Anwendung erfolgte am Beispiel eines Erhaltungsbauprogramms der ASFINAG für den Straßenoberbau im Zeitraum 2023–2028. Die detaillierte Beschreibung der Anpassung und Anwendung der Modelle sowie die Durchführung der Berechnungen finden sich ab Kapitel 6 dieser Arbeit.

Der Programmcode, der für die Implementierung und Berechnung der sozialen Schlüsselindikatoren entwickelt wurde, ist im Anhang dieser Masterarbeit enthalten und steht der ASFINAG zur Verfügung. Er kann für zukünftige praxisorientierte Anwendungen in ihrem Erhaltungsmanagementsystem genutzt werden.

2 Grundlagen des Erhaltungsmanagements

Das Erhaltungsmanagement für den Straßenoberbau wird oft auch als „Pavement Management“ bezeichnet. Unter dem englischen Begriff „Pavement Management System“ (kurz „PMS“) wird somit das „Management des Straßenoberbaus“ unter Heranziehung systematischer Vorgaben verstanden. Es handelt sich dabei um ein System, das unter Heranziehung von Straßenzustandsprognosemodellen jene Erhaltungsmaßnahmen bestimmt, die unter Berücksichtigung bestimmter Kriterien und Randbedingungen eine technisch bzw. wirtschaftlich optimale Lösung darstellt. Diese Komplexe Definition kann mit dem Begriff „Lebenszyklusanalyse des Straßenoberbaus“ ausgedrückt werden (siehe hierzu auch das Handbuch „Handbuch Pavement Management in Österreich 2009“ [3])

Die systematische Maßnahmenplanung auf Fahrbahnen spielt eine zentrale und entscheidende Rolle im Rahmen des Erhaltungsmanagements. Wie bei jedem anderen Bauwerk, verändert sich der Zustand einer Straße im Laufe ihrer Lebensdauer in Abhängigkeit von Beanspruchungsart und -intensität. Um eine rasche Zustandsverschlechterung zu vermeiden bzw. anzuhalten, ist es notwendig, der Fahrbahn einer laufenden und/oder periodischen Wartung oder Erhaltung zu unterziehen. Die Straßenerhaltung widmet sich nicht nur einer Aufrechterhaltung der Befahrbarkeit, sondern dient auch der Sicherstellung einer angemessenen Fahrsicherheit und eines entsprechenden Fahrkomforts [4].

Neben dem Straßenoberbau sind vor allem die Ingenieurbauwerke (Brücken, Tunnel und Galerien, Stützbauwerke, Lärmschutzwände, etc.) von zentraler Bedeutung. Auch sie werden durch den Verkehr und das Klima intensiv beansprucht und sind im Bauprogramm der baulichen Erhaltung maßgebende vertreten. Die Zusammenführung von Straßenoberbau und den Ingenieurbauwerken für die systematische Erhaltungsplanung erfolgt im sogenannten „Asset Management“ bzw. „Erhaltungsmanagement der Straßenverkehrsinfrastruktur“, das sich aus verschiedenen Teilaufgaben der Planung, der Umsetzung sowie der permanenten Kontrolle aller Anlagen (Assets) beschäftigt.

2.1 Gliederung der Straßenerhaltung in Österreich

WENINGER-VYCUDIL [3] beschreibt Straßenerhaltung folgendermaßen:

„Die Straßenerhaltung umfasst alle Tätigkeiten, die für eine funktionsfähige und sichere Straßeninfrastruktur aufgrund gesetzlicher und strategischer (politischer) Vorgaben notwendig sind. Bei der Verwendung von objektiven Grundlagen sowie von elektronischen Entscheidungshilfen (Decision Support Systeme) wird auch von der systematischen Straßenerhaltung gesprochen. Unter Erhaltung werden daher auch jene Aktivitäten verstanden, die zur Aufrechterhaltung des Betriebes der Straßeninfrastruktur notwendig sind und als Erhaltungsmaßnahmen bezeichnet werden. Darunterfallen sowohl betriebliche Erhaltungsmaßnahmen als auch bauliche Erhaltungsmaßnahmen.“

Die nachfolgende Abb. 1 stellt die Gliederung der Straßenerhaltung in Österreich im Überblick dar:



Abb. 1: Gliederung der Straßenerhaltung [5]

2.1.1 Straßenerhaltung und Erhaltungsmanagement

Wie bereits zuvor beschrieben, befasst sich das mit allen Aufgaben der Straßenerhaltung mit der Zielsetzung ein mehrjähriges, umfassendes Erhaltungs- und Bauprogramm für die systematische Straßenerhaltung zur Verfügung zu stellen. Eine umfassende, vorausschauende und nachhaltige Erhaltungsplanung ist eine wesentliche Voraussetzung dafür, dass sowohl die funktionalen Anforderungen an eine Straße [6]. Das Erhaltungsmanagement auf strategischer Ebene bzw. auf Netzebene koordiniert auch die systematische netzweite Planung von Erhaltungsmaßnahmen sowie die periodischen Zustandserfassungen und Bauwerkskontrollen bzw. -inspektionen. Es ist eng mit der betrieblichen Erhaltung und natürlich über die strategischen Erhaltungsziele mit der baulichen Straßenerhaltung verbunden.

2.1.2 Betriebliche Straßenerhaltung

Der Begriff „betriebliche Straßenerhaltung“ bezieht sich auf die laufende Kontrolle und Wartung einer Straße ohne umfangreiche bauliche Maßnahmen. Sie setzt sich mit laufenden Betriebsaufgaben wie z.B. Wartung, Winterdienst, Grünpflege, Reinigung etc. auseinander und wird in Österreich in erster Linie durch die vor Ort situierten Straßen- oder Autobahnmeistereien ausgeübt.

Da im Rahmen der gegenständlichen Masterarbeit in erster Linie die bauliche Straßenerhaltung behandelt wird, wird an dieser Stelle nicht näher auf die betriebliche Erhaltung eingegangen.

2.1.3 Bauliche Straßenerhaltung

Bauliche Erhaltungsmaßnahmen sind jene Aktivitäten im Bereich der Erhaltung, die entweder zu einer Verlangsamung von Schadensentwicklungen führen oder die Straßeninfrastruktur nachhaltig verbessern. In Abhängigkeit von der Intensität der baulichen Erhaltungsmaßnahme kann es sich dabei um Instandhaltungsmaßnahmen, Instandsetzungsmaßnahmen oder Erneuerungen handeln [6]. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass für unterschiedliche Anlagen auch unterschiedliche Begriffe bzw. Gliederung von Erhaltungsmaßnahmen vorhanden sind. So wird bei den Ingenieurbauwerken der Begriff „Instandhaltung“ als Überbegriff verwendet. Die nachfolgende Gliederung auf Basis der Festlegungen in der RVS 13.01.41 [7] gelten in dieser Form für das gesamte Dokument.

2.1.3.1 Instandhaltung

Unter Instandhaltung sind bauliche Maßnahmen kleineren Umfangs zu verstehen, die zur Erhaltung der Fahrbahnoberfläche nötig sind, wie z.B. Verfüllen von Schlaglöchern und Rissen, kleinflächige Oberflächenbehandlungen, örtliche Spurrinnenbeseitigungen oder andere Profilierungen. Es handelt sich daher i.A. um kleinflächige Maßnahmen, die möglichst rasch nach dem Erkennen des Schadens durchzuführen sind und den Zweck haben, den aufgetretenen Schaden zu beheben und das Entstehen von Folgeschäden zu vermeiden [7].

2.1.3.2 Instandsetzung

Unter Instandsetzungsmaßnahmen sind alle großflächigen Maßnahmen zu verstehen, die der Verbesserung der Befahrbarkeit und der Bausubstanz dienen. In die Gruppe der baulichen Instandsetzung können Maßnahmen wie großflächige Oberflächenmaßnahmen, Deckschichtsanierungen, Verstärkungen, etc. eingeordnet werden [7].

2.1.3.3 Erneuerung

Unter Erneuerung versteht man Maßnahmen (unter Umständen mit Änderung der Anlageverhältnisse), die zur Wiederherstellung des Straßenaufbaus führen. Das Endprodukt kommt einer neuwertigen Oberbaukonstruktion gleich, d.h. dass innerhalb der üblichen Bemessungsperioden keine Instandsetzungsmaßnahmen aufgrund struktureller Schäden erforderlich sind. Eine Erneuerung kann im Hoch-, teilweisen Tief- oder Tiefeinbau erfolgen [7].

2.2 Aufgaben des Erhaltungsmanagements

Das Erhaltungsmanagementsystem der Verkehrsinfrastruktur (Asset Management System - AMS) spielt eine zentrale Rolle bei der langfristigen Erhaltungsplanung und -umsetzung für das Straßennetz. Es dient nicht nur dazu, den aktuellen Zustand der Straßeninfrastruktur zu bewerten, sondern auch, um den Erhaltungsbedarf über einen bestimmten Zeitraum abzuschätzen. Dies geschieht auf zwei Hauptebenen: der Netzebene und der Projektebene.

Auf der Netzebene analysiert das AMS das gesamte Straßennetz, um den allgemeinen Erhaltungsbedarf zu bestimmen. Dabei werden verschiedene Faktoren berücksichtigt, wie zum Beispiel der Zustand der Fahrbahnoberflächen, strukturelle Integrität, Verkehrsbelastung und Umweltauswirkungen. Auf Grundlage dieser Analyse werden dann Erhaltungsvorschläge erarbeitet, die dazu dienen, die Lebensdauer der Straßeninfrastruktur zu verlängern und die Sicherheit sowie den Fahrkomfort für die Nutzer zu verbessern. Auch die Überprüfung von strategischen Erhaltungszielen (z.B. Anteil Gebrauchswert Fahrsicherheit < 3% in der Zustandsklasse 5) erfolgt fast ausschließlich auf Netzebene, da diese in der Regel für die Netzebene definiert werden.

Die Projektebene befasst sich mit der konkreten Umsetzung von Erhaltungsmaßnahmen für einzelne Straßenabschnitte oder Objekte. Hier werden die Erhaltungsvorschläge in konkrete Projekte überführt, die geplant, budgetiert und durchgeführt werden müssen. Das AMS unterstützt diesen Prozess, indem es detaillierte Informationen über den Zustand der Straßeninfrastruktur liefert und dabei hilft, Prioritäten zu setzen und Ressourcen effizient zu nutzen. [3]

2.3 Strategisches Erhaltungsmanagement und Erhaltungsziele der ASFINAG

Die ASFINAG, als Betreiberin des Straßennetzes in Österreich, legt großen Wert darauf, ihre strategischen Erhaltungsziele im Einklang mit den Bedürfnissen und Anliegen verschiedener Interessensgruppen zu definieren. Diese Interessensgruppen, auch Stakeholder genannt, wurden in enger Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) sowie dem Bundesministerium für Finanzen (BMF) identifiziert und klar definiert.

- Die Hauptinteressengruppen umfassen die Kunden, die nicht nur das Straßennetz der ASFINAG nutzen, sondern auch durch die Erhebung von Vignetten und LKW-Mautgebühren zur Finanzierung beitragen.

- Weiterhin werden die Betreiber und Eigentümer des Straßennetzes betrachtet, wobei die Republik Österreich durch das BMVIT und das BMF vertreten ist. Eine effektive Zusammenarbeit zwischen der ASFINAG und den Vertretern der Republik ist dabei von entscheidender Bedeutung.
- Darüber hinaus werden Anwohner und Anrainer als bedeutende Interessensgruppen berücksichtigt, insbesondere in Bezug auf Umweltanliegen wie Lärm- und Schadstoffemissionen. Hierbei ist es wichtig, Umweltbelange nicht nur über die direkten Anwohner, sondern auch über eine breitere Umweltinteressensgruppe zu definieren, wodurch Aspekte wie Recycling und Umweltschutz in eine zukunftsorientierte Betrachtung einfließen.
- Die Umwelt selbst wird als eigenständige Interessensgruppe betrachtet, wobei die ASFINAG bestrebt ist, Nachhaltigkeitsziele zu optimieren und Maßnahmen zur Reduzierung von Lärm und CO₂-Emissionen zu maximieren. Zudem werden internationale Vorgaben und Standards berücksichtigt.
- Neben den genannten Interessensgruppen spielt auch die Gesellschaft als übergeordneter Stakeholder eine entscheidende Rolle. Gesetze, Richtlinien und Verordnungen, die von der Gesellschaft festgelegt werden, bilden den Rahmen für die Tätigkeiten der ASFINAG und beeinflussen somit auch ihre strategischen Erhaltungsziele.

Basierend auf diesen identifizierten Stakeholder-Gruppen werden strategische Erhaltungsziele definiert, die verschiedene Bereiche abdecken. Dazu gehören Kundenziele, die sich auf die Netzqualität, Verfügbarkeit, Nutzerkosten und andere Aspekte beziehen, Finanzziele zur Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit von Erhaltungsmaßnahmen, technische Ziele für die Substanzerhaltung und Einhaltung von Standards sowie Umweltziele zur Förderung der Nachhaltigkeit und Minimierung von Umweltauswirkungen.

Diese Ziele werden kontinuierlich überwacht und durch Indikatoren quantifiziert, um sicherzustellen, dass die ASFINAG ihre Verpflichtungen gegenüber den Stakeholdern erfüllt und gleichzeitig die Qualität und Nachhaltigkeit ihres Straßennetzes gewährleistet. Es handelt sich somit um einen dynamischen Prozess, der fortlaufend angepasst und verbessert wird, um den Bedürfnissen aller Stakeholder gerecht zu werden [3].

Die ASFINAG verfolgt im Bereich des Asset Managements strategische Ziele, insbesondere im Hinblick auf die Erhaltung ihres Straßennetzes. Die Entwicklung der Erhaltungsstrategie begann mit der regelmäßigen Bewertung des Straßenzustands, was nach einer umfassenden Rechnungshofprüfung Ende der 2000er Jahre zur Formulierung von strategischen Zielen führte.

Diese Ziele umfassen die Begrenzung des Anteils des Gebrauchswertes "Sicherheit" in der Zustandsklasse 5 auf maximal 3% für den Straßenoberbau und die Optimierung der Budgets für einen bestmöglichen Substanzwert des Straßenoberbaus. Die Erhaltungsziele sind jedoch bisher stark technisch orientiert und berücksichtigen nicht alle Anforderungen verschiedener Interessensgruppen.

Die ASFINAG reagierte auf Empfehlungen des Rechnungshofs und begann im Herbst 2011 mit der Formulierung einer umfassenden Erhaltungsstrategie. Diese basiert auf der Konzernstrategie und definiert strategische Vorgaben für die Erhaltung von Straßenoberbau, Brücken- und Tunnelanlagen sowie elektromaschinellen Einrichtungen in Tunneln. Die ASFINAG-Erhaltungsstrategie zielt darauf ab, ein verkehrssicheres Netz mit hoher Verfügbarkeit für die Kunden bereitzustellen. Die strategischen Schwerpunkte liegen auf optimaler Netzverfügbarkeit, Verkehrssicherheit und nachhaltigem finanziellen Einsatz. Die Strategie gliedert sich in drei Entscheidungsebenen:

- Strategieebene (Gesamtnetz)
- Managementebene
- Umsetzungsebene (Einzelprojekte)

Die festgelegten Zielvorgaben unterliegen einer regelmäßigen Überprüfung und können bei Bedarf überarbeitet werden. Es ist von hoher Bedeutung, die Auswirkungen von Maßnahmen zur Zielerreichung zu quantifizieren und Mechanismen festzulegen, die bei Nichterreichung oder zu "sanft" definierten Zielen greifen [3].

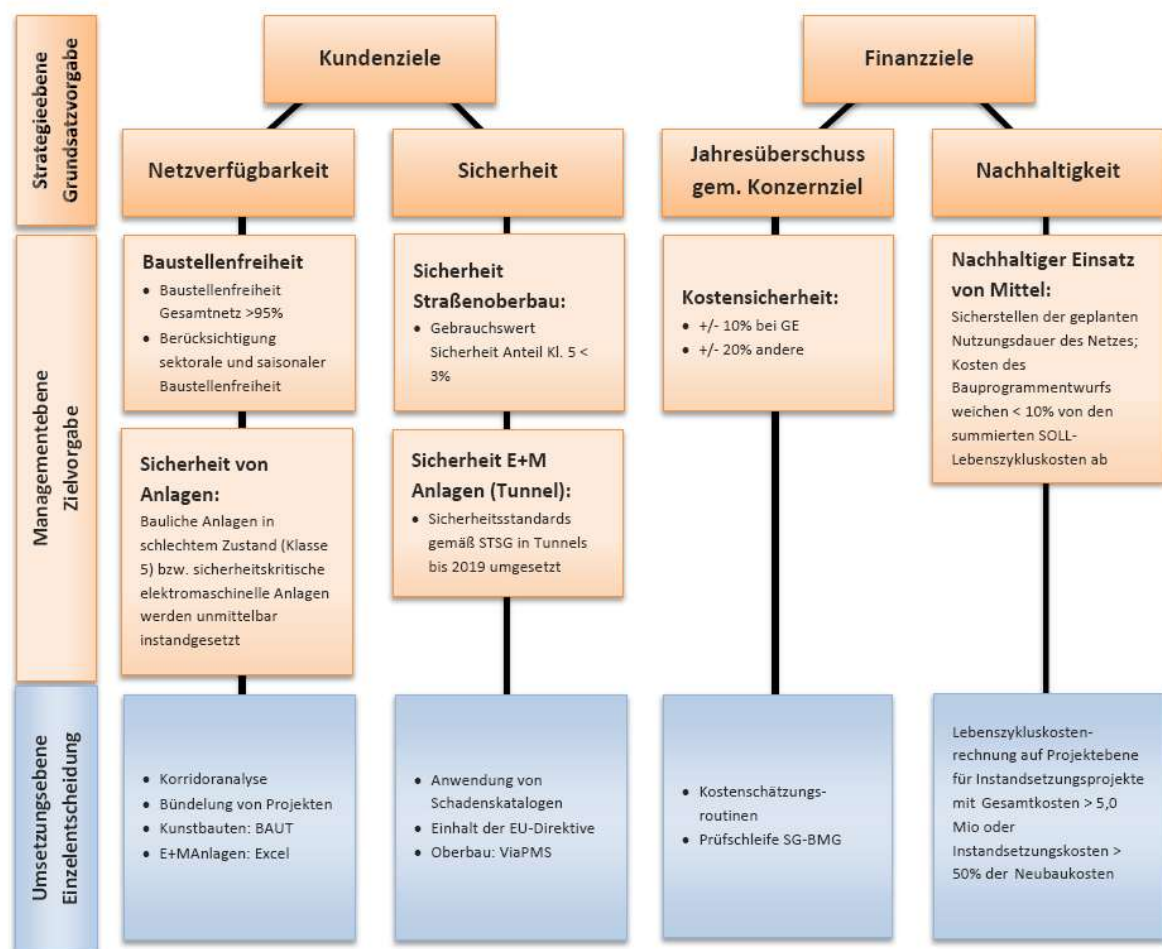


Abb. 2: Strategische Zielvorgaben gegliedert nach Ebenen [8]

3 Grundlagen der Modellierung - CEDR-Projekt ISABELA

Das europäische Forschungsprojekt ISABELA (Integration of Social Aspects and BENefits into Life-cycle Asset Management) [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15] wurde im Rahmen des CEDR Transnational Road Research Programme (CEDR-TRRP) 2014, Themenschwerpunkt Asset Management and Maintenance, Unterthema Road Asset Management, durchgeführt. Die Projektlaufzeit betrug rund zwei Jahre. Die Koordination übernahm PMS-Consult (Österreich) im Auftrag der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG), die das Projekt im Namen eines Zusammenschlusses europäischer Straßenverwaltungen förderte und betreute.

3.1 Projektkontext und organisatorischer Rahmen

Das Projekt wurde durch die FFG als Teil des transnationalen Forschungsprogramms der Conference of European Directors of Roads (CEDR) beauftragt. Ziel war es, europäische Erkenntnisse und Lösungsansätze für aktuelle Herausforderungen im Straßeninfrastrukturmanagement zu bündeln und gemeinsam weiterzuentwickeln. Die FFG agierte hierbei als Vertragspartner und Koordinierungsstelle gegenüber dem Projektkonsortium. Die Projektumsetzung erfolgte durch ein internationales Konsortium, bestehend aus acht Partnerinstitutionen aus Österreich, Deutschland, Slowenien, Portugal, Frankreich, der Schweiz und Serbien.

3.2 Projektkonsortium

Die inhaltliche Bearbeitung wurde durch ein breit aufgestelltes Konsortium aus Forschungseinrichtungen, Universitäten und kleinen bzw. mittleren Unternehmen (KMUs) gewährleistet:

- PMS-Consult (Österreich, Koordinator)
- ZAG – Slowenisches Nationales Institut für Bauwesen (Slowenien)
- Logiroad (Frankreich)
- Universität Belgrad – Fakultät für Bauingenieurwesen (Serbien)
- LNEC – Nationales Labor für Bauwesen (Portugal)
- IMC GmbH (Schweiz)
- CESTEL d.o.o. (Slowenien)
- Technische Universität Braunschweig – Institut für Straßenwesen (Deutschland)

3.3 Zentrale Arbeitsergebnisse (Deliverables)

Im Rahmen des Projekts wurden mehrere zentrale Berichte und Ergebnisse (Deliverables) erstellt:

- D1.1 – Investigation Report: Analyse existierender Ansätze zur Integration sozialer Aspekte [9]
- D2.1 – Definition of S-KPIs: Festlegung relevanter sozialer Leistungskennzahlen [10]
- D3.1 – Terminology of Social Benefit Modelling: Standardisierung zentraler Begriffe [11]
- D3.2 – Social Benefit Modelling Report: Modellierung sozialer Nutzenaspekte [12]
- D4.1 – Implementation Methodology: Methodik zur praktischen Umsetzung [13]
- D4.2 – Implementation in Existing Tools: Integration in bestehende Softwarelösungen [14]
- D5.1 – Application Report: Bericht zur Anwendung und Bewertung in der Praxis [15]

3.4 Zielsetzung und inhaltliche Ausrichtung

Das Ziel des europäischen CEDR-Forschungsprojektes ISABELA [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15] (Integration of social aspects and benefits into life-cycle asset management) war die Integration von sozialen Aspekten und Nutzen in die Lebenszyklusanalyse im Rahmen des Asset Managements.

Das Hauptaugenmerk des Projektes ISABELA liegt dabei in der Definition eines ganzheitlichen Rahmens für die Modellierung von sozialen Schlüsselindikatoren (S-KPIs, im Englischen genannt als Social Key Performance Indicators) und sozialem Nutzen in Form von sozialen Effekten (monetär und nicht monetär), sozialem Rückstand and sozialem Risiko im Bereich des Erhaltungsmanagements der Straßenverkehrsinfrastruktur. ISABELA liefert eine wesentliche Erweiterung bestehender, ökonomisch orientierter Lebenszyklusanalysen und ermöglicht die Einbindung der sozialen Aspekte und Nutzen in das klassische Asset Management.

Das Projekt ISABELA versucht anwendbare S-KPIs zu identifizieren und zu definieren, stets in Kombination mit existierenden technischen Parametern (TPs, engl. Technical Parameter), wie sie aus den Projekten COST354 [16], EVITA [17] sowie SBAKPI [18] bekannt sind. Die Verwendung dieser neuen Indikatoren, parallel zu bereits existierenden technischen Parametern, wird einen Betrag leisten, die Notwendigkeit des Straßenerhaltungsmanagements zu unterstreichen. Es bietet somit die Grundlagen für eine ganzheitliche Definition eines neuen Nutzens für das Erhaltungsmanagement in Anbetracht folgender Aspekte:

- Verfügbarkeit und Beeinträchtigung (Fahrzeit, Fahrzeugbetriebskosten);
- Fahrsicherheit (tödliche und schwere Unfälle, die im Zusammenhang mit dem Anlagenzustand stehen)
- Umwelt (Lärm, Luftverschmutzung, natürliche Ressourcen)
- Sozio-ökonomische Aspekte (Anlagevermögen, weitere soziale Effekte)

Um die Projektziele und Vorgaben zu erreichen, war eine enge Zusammenarbeit zwischen dem Projektkonsortium und den eingebundenen Straßenverwaltungen unerlässlich. Daher basiert das ganze Projekt auf einem intensiven Mehrparteiendialog zwischen den Beteiligten in Form von Interviews und Meetings. Dieser Ansatz berücksichtigt folgende Schwerpunkte:

- Bestimmung bewährter Verfahren zur Einbindung des sozialen Nutzens in den Asset Management Prozess
- Definition der Rahmenbedingungen für einen sozialen Nutzen
- Entwicklung eines Verfahrens zur Berechnung und Implementierung von sozialen S-KPIs
- Anwendung der Untersuchungs- und Entwicklungsergebnisse in der Praxis

Die Straßenverwaltungen der beteiligten Länder wurden eingeladen an diesem Mehrparteien-dialog teilzunehmen und die notwendigen Informationen an das Projektkonsortium zu liefern.

Hinsichtlich der Umsetzung der Ziele des ISABELA Projektes wurden folgende Arbeitspakete (engl. **Work Package**) definiert:

- WP1 Untersuchung des sozialen Nutzens
- WP 2 Ermittlung der Indikatoren eines sozialen Nutzens
- WP3 Modellierung des sozialen Nutzens
- WP 4 Implementierung des sozialen Nutzens
- WP 5 Anwendung und Verbreitung des sozialen Nutzens in der Praxis

Das Ziel des WP 4 „Implementierung des sozialen Nutzens“, der in enger Zusammenarbeit mit den Straßenverwaltungen durchgeführt wurde, war die Untersuchung der Anwendbarkeit, der bereits in vorhergehenden Arbeitspaketen erarbeiteten theoretischen Ansätze in der Praxis unter vordefinierten Randbedingungen. Unter Heranziehung dieser Erkenntnisse und Ergebnis her ließ sich wiederum eine neue Art des Benchmarkings auf sozialer Ebene ableiten, welches die Bedürfnisse und Anforderungen verschiedener Stakeholder, wie Straßeneigentümer, Straßennutzer, An-rainer, Gesellschaft und Finanzinstitutionen berücksichtigen kann.

Im Rahmen dieser Masterarbeit werden vor allem die Erkenntnisse dieses Arbeitspaketes beschrieben. Zu Beginn wird der soziale Nutzen definiert und die existierenden Modelle bewertet, danach werden die sozialen Auswirkungen (monetär und nicht monetär), sozialer Rückstand und soziale Risiken ermittelt. Anschließend wird die Effizienz der bereits existierenden Berechnungsmethoden bestimmt und bei Bedarf werden neue Modelle entwickelt, um die gegebenenfalls vorhandene Forschungslücke in Bezug auf die Anwendung eines sozialen Nutzens im Erhaltungsmanagement zu schließen. Das CEDR-Projekt ISABELA [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15] wurde auch deshalb ausgewählt, da es neben einem aktuellen Stand der Technik auch eine umfassende Zusammenführung unterschiedlicher Bewertungsaspekte beinhaltet, die bereits praktisch getestet wurden und einen länderübergreifenden Konsens unter Einbindung verschiedener europäischer Straßenverwaltungen darstellt. Darüber hinaus wurde ein Großteil der Inhalte unter Einbeziehung von österreichischen Experten erstellt, die seit vielen Jahren das Erhaltungsmanagementsystem der ASFINAG prägen. Eine umfassende Anwendung auf die österreichischen Autobahnen und Schnellstraßen wurde bereits im Projekt empfohlen.

3.5 Auswahl und Integration der sozialen Schlüsselindikatoren in den Bewertungs- und Entscheidungsprozess

Wie bereits zuvor beschrieben, lag der Schwerpunkt des ISABELA Projektes [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15] in der Identifizierung von Schlüsselindikatoren (S-KPIs), die verwendet werden können, um soziale Auswirkungen von Erhaltungsmaßnahmen in der Straßenverkehrsinfrastruktur zu beschreiben. Dabei wurden verschiedene Kriterien als Grundlage für die Auswahl der Verfahren untersucht, aus denen eine Liste von möglichen Indikatoren für die Modellierung von sozialen Aspekten und Auswirkungen im Rahmen des Asset Management abgeleitet werden können. Die Liste der verschiedenen Indikatoren ist eine umfangreiche Grundlage für die Modellierung und weiters für die Implementierung in neue und bereits bestehende Asset Management Systeme. Sie beinhaltet diverse Parameter, die auf unterschiedlichen Ebenen des Managementprozesses angewendet werden können. Dennoch ist es erforderlich, die Auswahl der Indikatoren an die Erwartungen bzw. Vorstellungen der verschiedenen Stakeholder, die Modellanforderungen und die Voraussetzungen aus der Implementierungsphase zu adaptieren. Abbildung 1 stellt eine Übersicht über den Modellierungs- und Implementierungsprozess der verschiedenen sozialen Indikatoren dar, die auch in der nachfolgenden Tabelle 1 aufgelistet sind.

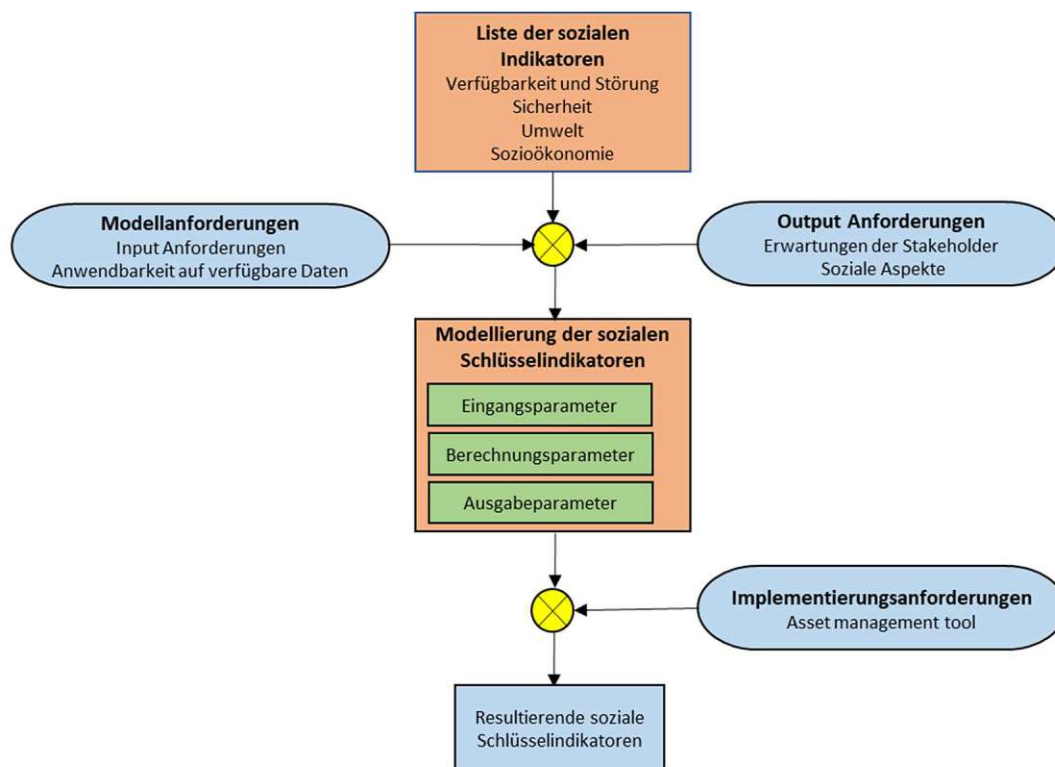


Abb. 3: Integration der sozialen Effekte in den Modellierungs- und Implementierungsprozess nach [12]

Die Liste der Indikatoren in Tab. 1 ist das Ergebnis umfassender Diskussionen, der detaillierten Analyse bereits vorhandener Grundlagen sowie der Erfahrungen des Projektkonsortiums aus anderen Projekten mit ähnlichen Schwerpunkten (z.B. COST 354 [16], EVITA [17]). Es handelt sich um Parameter und Indikatoren, die in den einzelnen Ländern in unterschiedlicher Form zur Verfügung stehen und somit eine erste Auswahl darstellen, wie die Auswirkungen von Erhaltungsprogrammen aus unterschiedlichen Blickwinkeln, von der Verfügbarkeit, der Verkehrssicherheit, der Umwelt bis einer erweiterten sozio-ökonomischen Betrachtungsweise abgebildet werden können.

Tab. 1: Zusammenfassung der Parameter und Indikatoren für die Modellierung [12]

Kategorie	Unterkategorie	Parameter/Indikator
Verfügbarkeit und Störung	Zugänglichkeit	• Straßen- bzw. Netzdichte • Straßenverfügbarkeit
	Zustand	• Gesamtwert Zustand • Substanzwert • Gebrauchswert • Tragfähigkeit • Bauwerkszustand
	Verkehrsstau	• Anzahl Stau • Staudauer • Staulänge
	Verfügbarkeitsbeschränkungen	• Infrastrukturverfügbarkeit • Bau und Erhaltung
	Reisezeit	• Zeitverlust • Mittlere Reisedauer • Variation der Reisedauer
Sicherheit	Unfälle	• Unfallart • Fehlverhalten • Unfallschwerpunkte (Unfallhäufungen) • Straßenverhältnisse und -zustand
	Zustand	• Griffbarkeit • Längsebenheit • Spurrinnen • Oberflächenschäden
	Allgemeine Sicherheit	• EuroRAP Bewertung [19] • Anzahl der Tunnel, die die EU Sicherheitsvorschriften einhalten
Umwelt	Luftqualität	• Emissionen und Exposition von Aldehyden, Schwefeldioxid, polyzyklischen aromatischer Kohlenwasserstoffe • Emissionen und Exposition, Environmental Performance Index (EPI) für CO • Emissionen und Exposition, Environmental Performance Index (EPI) für NO_x • Emissionen und Exposition, Environmental Performance Index (EPI) für PM₁₀ und PM_{2,5} • Emissionen und Exposition, Environmental Performance Index (EPI) für CO₂
	Treibhausgasemissionen	• Verkehrsstärke • Treibhausgasemissionen während Bau- und Erhaltungsarbeiten
	Natürliche Ressourcen	• Energie • Materialien
	Lärm	• Lärmkarte bzw. -kataster (Europäische Lärmschutzrichtlinie) • Emissionen Straßenverkehrslärm • Lärmbelästigung auf Menschen
	Boden- und Wasserqualität	• Eignung des Entwässerungssystems • Boden- bzw. Wasserkontamination mit Schadstoffen

Kategorie	Unterkategorie	Parameter/Indikator
Sozioökonomie	Anlagevermögen	• Gesamter Anlagenwert zu einem bestimmten Zeitpunkt • Restwert und jährlicher Verlust des Anlagewertes
	Kosteneffizienz	• Kosten-Nutzen Verhältnis von Erhaltungsmaßnahmen • Asset Nachhaltigkeitsindex (Erhaltungsbudget in Bezug auf Erhaltungsbedarf)
	Kosten	• Unfallkosten • Nutzerkosten • Umweltkosten • Erhaltungskosten
	Weitere sozio-ökonomische Auswirkungen	• Beitrag Straßenbetrieb/-erhaltung zur sozioökonomischer Entwicklung und Beschäftigung • BIP pro Kopf

Die Auflistung in der Tab. 1 zeigt die verschiedenen Parameter und Indikatoren, unterteilt in Kategorien und Unterkategorien gemäß den zuvor beschriebenen Bewertungsbereichen. Manche Parameter bzw. Indikatoren beschreiben bestimmte Merkmale sehr präzise, während andere eher allgemeiner Natur sind. Daher ist eine Präzisierung bei der Modellerstellung und in weiterer Folge für Implementierung unbedingt erforderlich. Darüber hinaus wird es notwendig sein, weitere Indikatoren bzw. Parameter zu berücksichtigen, die zwar nicht als soziale Schlüsselindikatoren identifiziert worden sind, die aber als Eingangs- und Berechnungsparameter notwendig sind, um die verschiedenen Modelle erfolgreich einsetzen zu können.

Die Auswahl der geeigneten Parameter für die Festlegung von sozialen Schlüsselindikatoren (S-KPIs) ist der erste Schritt in dem Modellierungsprozess. Folglich müssen die Grundanforderungen aus der Modellierung, die Erwartungen der Stakeholder und die jeweiligen sozialen Aspekte mit der Reihe der Indikatoren und ihren Parameter verglichen werden (siehe dazu Abbildung 1). Die Kriterien für die Auswahl und den Bewertungsprozess können zu folgenden Fragen zusammengefasst werden:

- Welche Parameter sind für die Anwendung des jeweiligen Modells notwendig?
- Sind die Daten für diese Parameter auf der Netzebene verfügbar?
- Besteht eine Korrelation zwischen den einzelnen Parameter und den jeweiligen Aspekten, die zu beachten sind?
- Können die Parameter dazu genutzt werden um die zu erwarteten Ergebnisse und Resultate (Output) zu liefern.

Die Wahl der Parameter bzw. Indikatoren hängt stark vom gewählten Modell und den zu erwarteten Ergebnissen und Resultaten (Output) ab. Andererseits ist die Wahl der Ausgangsmodelle stark von der Verfügbarkeit der Eingangsdaten abhängig, daher ist ein iterativer Prozess unerlässlich. Abb. 2 enthält eine Übersicht über die einzelnen Prozessschritte im Rahmen des Modell- und Indikatorenauswahlverfahrens.

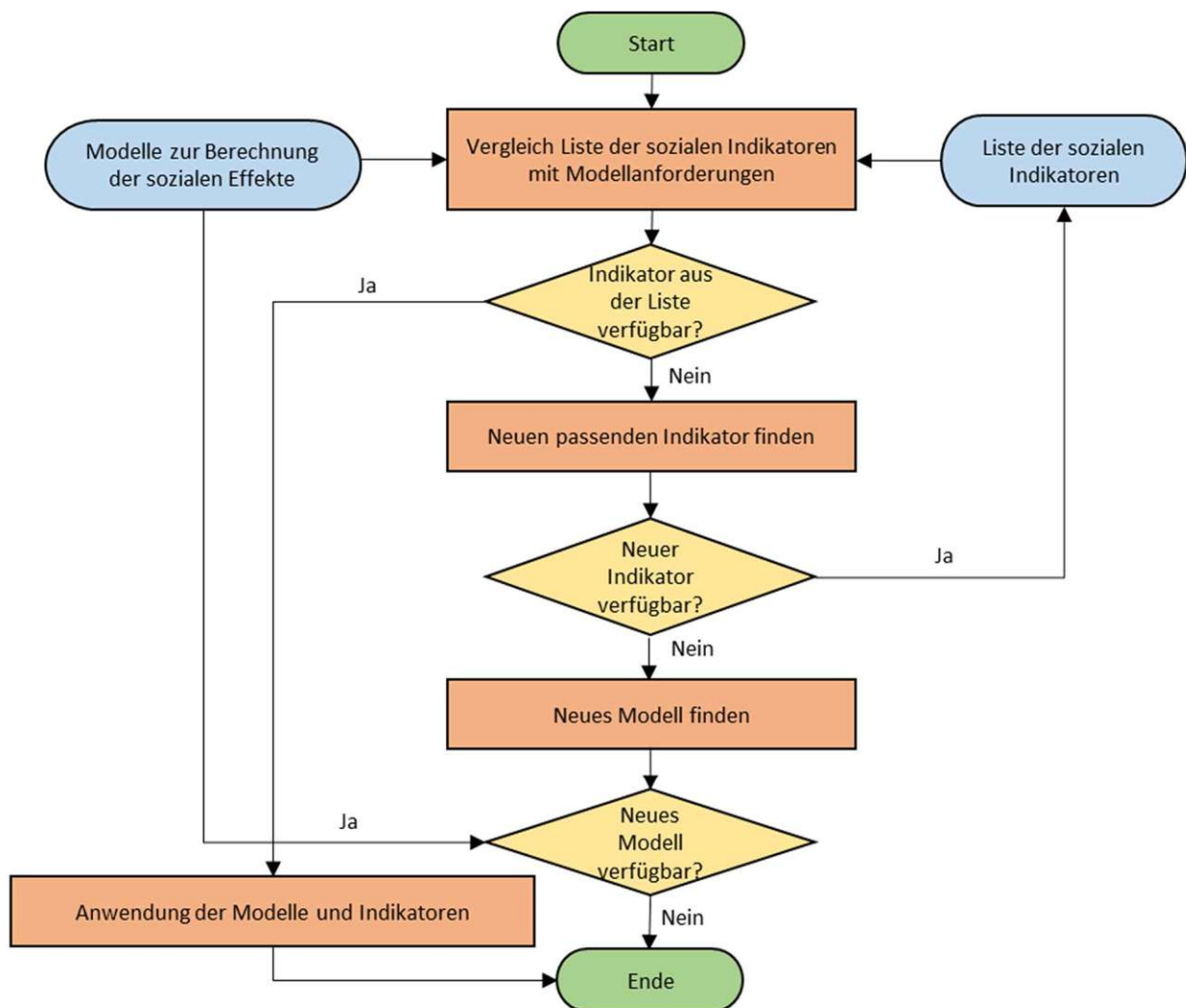


Abb. 4: Arbeitsablauf bei dem Auswahlverfahren der Modelle und Indikatoren nach [20]

Abhängig vom gewählten Modell und den zu erwartenden Ergebnissen könnten die Indikatoren wie folgt zugewiesen werden:

- Indikator kann direkt als Eingangswert im Modellierungsprozess verwendet werden (Eingangswert kann auf früheren Modellierungsverfahren beruhen)
- Indikator kann als Zwischenergebnis des Modellierungsverfahren verwendet werden
- Indikator kann zur Beschreibung der sozialen Auswirkungen verwendet werden (Ergebnis der Modellierung)
- Indikator konnte dem entsprechenden Modell nicht zugewiesen werden und wird im Moment nicht berücksichtigt
- Indikator kann auf Grund des Mangels an Daten nicht berechnet und somit verwendet werden.

Bezugnehmend auf die fünf oben genannten Kategorien und um einen klaren und wiederholbaren Ansatz nachzuweisen, müssen jene Indikatoren, die Schlüsselaspekte beschreiben, wie folgt festgelegt werden:

- Eingangsgrößen:
 - Eingangsgrößen zur Beschreibung der Erhaltungsmaßnahmen oder -projekten des Erhaltungsprogramms (Standort, Kosten, Zeitrahmen etc.),
 - Eingangsgrößen zur Beschreibung der Erhaltungsabschnitte oder Erhaltungsflächen der Straßeninfrastruktur, auf denen die Erhaltungsmaßnahmen und -aktivitäten des Bauprogramms durchgeführt werden (Verkehrsbelastung, Kapazität, Fahrbahnbreite etc.),

- Eingangsgrößen zur Beschreibung des Straßeninfrastrukturnetzes (Straßentyp, Typ des Straßennetzes, durchschnittlicher Treibstoffverbrauch etc.),
- Allgemeine Eingangsgrößen und Kostenraten (des Landes, der Region etc.),
- Berechnungsparameter als Zwischenergebnisse des Berechnungsverfahrens
- Ausgabeparameter zur Beschreibung der sozialen Auswirkungen
 - Ergebnisse auf der Abschnitts- oder Projektebene und
 - Ergebnisse auf der Netzebene.

Im Prinzip sollte die Auswahl der adäquaten Modelle und entsprechenden Schlüsselindikatoren durch Straßenverwaltung getroffen werden. An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass ISABELA dem Entscheidungsträger nicht vorschreibt, welche Modelle bzw. Indikatoren zu berücksichtigen sind oder welche Ergebnisse zur Verfügung gestellt werden müssen. Dennoch besteht das Hauptziel des ISABELA Projektes darin, einen praktischen Ansatz bereitzustellen und zu veranschaulichen, wie die Modellierung und Berechnung der sozialen Auswirkungen unter Verwendung der Indikatoren durchgeführt werden kann. ISABELA [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15] liefert zudem ein Modell zur Darstellung der sozioökonomischen Indikatoren und zum Einsatz im Rahmen einer praktischen Anwendung. Daher lag der Fokus des Projektes auf einer Lösung, die in vielen europäischen Länder anwendbar ist und die unter Einbeziehung der Verfügbarkeit der vorhandenen Indikatoren sowie der Verwendung eines vereinfachten Modells, eine Methode zur Einbindung der sozialen Auswirkungen in das Asset Management bietet. Dieser Ansatz sollte einen ersten Vorschlag und eine Grundlage für die folgenden Aktivitäten auf diesem Gebiet liefern. Die empfohlene Vorgehensweise ist sehr flexibel und kann unter Verwendung der beschriebenen Modelle und Lösungen, adaptiert werden. Selbstverständlich ist es auch möglich, nur einzelne Teile eines Modells heranzuziehen, um nur einen bestimmten sozialen Aspekt zu berücksichtigen und im Entscheidungsfindungsprozess zu verwenden.

3.6 Entscheidungsprozess und Anwendungsebenen

Der Entscheidungsprozess im Rahmen des Asset Managements umfasst bzw. erfolgt auf mehreren Ebenen, von der Objektebene oder Einzelanlagenebene, über Erhaltungsprojektebene bis hin zu der Netzebene bzw. der strategischen Entscheidungsebene. Allerdings sind die unterschiedlichen Ebenen in verschiedenen Straßenverwaltungen durch die Verwendung von unterschiedlichen Daten, Zielsetzungen und den zugehörigen Analyseansätzen in vielen Fällen sehr unterschiedlich.

- Die Objektebene oder Einzelanlagenebene betrachtet üblicherweise Zustandsdaten einer einzigen Anlage, die dazugehörigen Zustandsprognosen und ggf. das Ausfallsrisiko. Die auf der Ebene gewonnenen Erkenntnisse stellen unterschiedliche Maßnahmenstrategien zur Erfüllung der technischen Erhaltungsanforderungen der Anlage unter gegebenen Einschränkungen z.B. den Budgetrestriktionen dar.
- Auf der nächsten Ebene, der Erhaltungsprojektebene, werden in der Regel unterschiedlichen Szenarien analysiert, wobei in den meisten Fällen die verschiedenen Objekte (Anlagen) und deren Erhaltungsbedarf zu einem konkreten Erhaltungsprojekt zusammengefasst werden. Die Verfahren auf dieser Ebene sind in den meisten Fällen iterative Prozesse und die hier getroffenen Entscheidungen können die zuvor gewählte Maßnahmenstrategie des Objektes auf der Objektebene oder Einzelanlagenebene ändern. Einerseits umfasst die zweite Planungsebene die Maßnahmen für verschiedenen Anlagentypen wie z.B. Straßenoberbauabschnitte, Brücken, Tunnel, Lärmschutzwänden etc., wo anlagenübergreifende Erhaltungsprojekte definiert werden. Andererseits beeinflusst jedoch jede Stufe die sozialen Aspekte und die Wirkungen im Rahmen der Entscheidungsfindung im Asset Management.
- In der letzten Planungsebene werden die Ergebnisse voriger Planungsprozesse für das gesamte Netz zusammengefasst. Diese sogenannte Netzebene liefert eine Grundlage für allgemeine strategische Entscheidungen und eine mögliche umfassende Erhaltungsstrategie.

Auf jeder Analysestufe wird zwangsläufig ein anderer Detaillierungsgrad der zu verwendeten Daten vorausgesetzt, auf der Objektebene müssen sie beispielsweise viel umfassender sein als auf der Netzebene. Darüber hinaus muss bereits vor der Durchführung der Analyse auf Objektebene entschieden werden, welche generelle Strategie anzuwenden ist. Diese Entscheidung basiert in vielen Fällen auf der Netzanalyse. Die finale Reihung der Erhaltungsmaßnahmen im Rahmen des Bauprogramms ist das Ergebnis der Analysen auf unterschiedlichen Ebenen und des Prozesses zur Erstellung des anlagenübergreifenden Bauprogramms. Jede Ebene ist also mit den anderen Ebenen mehr oder weniger stark verknüpft, wobei die ersten beiden Ebenen in der Regel stark technisch orientiert betrachtet werden im Vergleich zur Netzebene, wo der strategische Gedanke sowie auch die Auswirkungen auf die sozialen Bereiche im Vordergrund stehen. Die notwendigen Ergebnisse müssen jedoch in vielen Fällen die darunter liegenden Ebenen bereits liefern (z.B. Kostenschätzungen, Wirkungen von Erhaltungsmaßnahmen oder Erhaltungsprojekten auf unterschiedliche Indikatoren).

Ein Beispiel für unterschiedliche Anwendungsebenen als Teil eines komplexen Entscheidungsprozesses einer Korridorplanung für Autobahnen in der Schweiz kann der folgenden Abbildung 3 entnommen werden. Die Abbildung zeigt in der zweiten Ebene die Planung der Erhaltungsprojekte unter Berücksichtigung des Inputs aus der objektbezogenen Lebenszyklusanalyse.

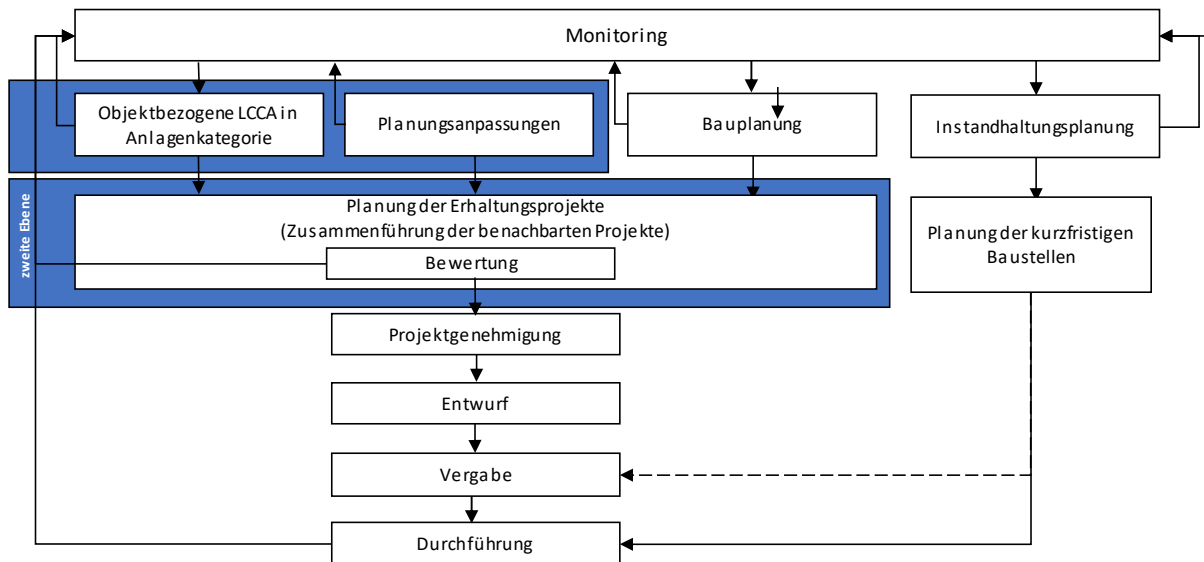


Abb. 5: Mehrstufiger Entscheidungsprozess im Asset Management [12]

Eine Verallgemeinerung des Schweizer Ansatzes unter Bezugnahme von mehreren Anlagetypen, strategischen Anforderungen und Erwartungen der Stakeholder wird nach ISABELA in Abb. 6 dargestellt. Sie zeigt eine allgemeine Übersicht der möglichen Planungsebenen im Kontext des Asset Managements, beginnend mit Anlagenmonitoring bis hin zur Durchführung des verschiedenen anlagespezifischen Erhaltungsmaßnahmen in Form von anlagenübergreifenden Erhaltungsprojekten.

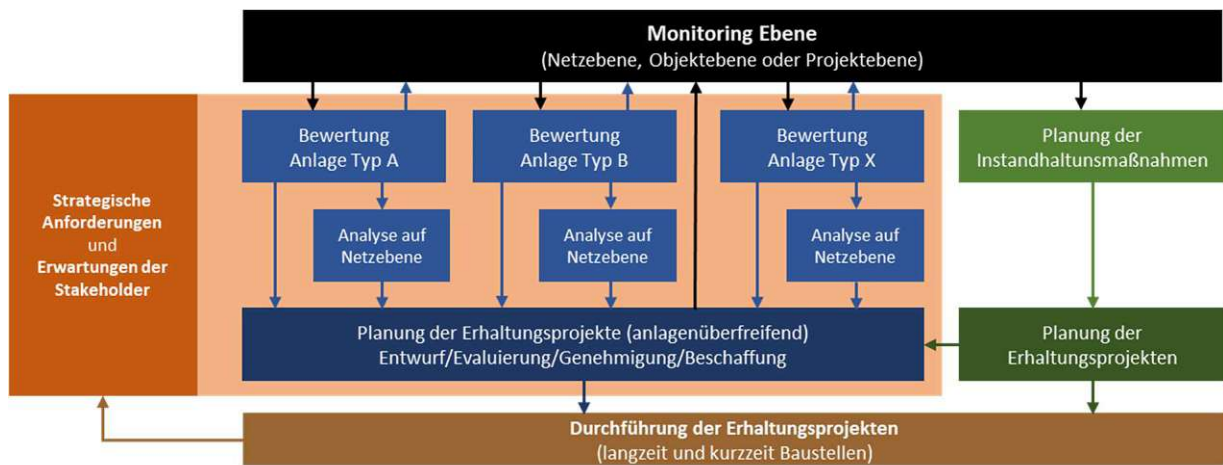


Abb. 6: Beurteilungsstufen im Asset Management (allgemein) nach [12]

Unabhängig von der Abwicklung des Erhaltungsprogramms durch die jeweilige Straßenverwaltung, liegt die optimale Anwendungsebene für die Berechnung der sozialen Auswirkungen im Bereich der Projektdefinitionen, wo in der Regel unterschiedliche Erhaltungsmaßnahmen auf verschiedene Anlagen und Anlagentypen zu einem größeren Projekt definiert werden. Die Beurteilung der sozialen Auswirkungen soll vor allem in Anbetracht der unterschiedlichen Erwartungen der Stakeholder, des besonderen Einfluss der Erhaltungsmaßnahmen sowie des verbesserten Anlagenzustandes durchgeführt werden. Jede einzelne Erhaltungsmaßnahme des gesamten Erhaltungssprojektes soll auf die gleiche Art und Weise bewertet werden. Um eine Gesamtauswirkung auf der Netzebene zu ermitteln, können anschließend die Ergebnisse aller Erhaltungssprojekte über das gesamte Netz zusammengefasst werden.

Wie die Untersuchung der Prozesse, der verschiedenen Planungsstufen und der Verfügbarkeit der Daten, Indikatoren und Modelle gezeigt hat, sollte der empfohlene Ansatz auf jenen Ebenen angewendet werden, auf denen Erhaltungsprogramme in Form von einzelnen Erhaltungssprojekten definiert werden, um anschließend alle Ergebnisse auf der Netzebene für strategische Entscheidungen aufsummieren zu können.

Daher lag auch der Schwerpunkt des ISABELA Projektes in der Darstellung der Ergebnisse auf Netzebene und somit in der Beurteilung von fixierten bzw. empfohlenen Erhaltungsprogrammen unter Berücksichtigung der technischen Notwendigkeit von Erhaltungsmaßnahmen und deren möglichen Auswirkungen auf das zu beurteilende soziale Umfeld.

Im Prinzip kann der empfohlene Ansatz auch auf anderen Ebenen eingebunden und angewendet werden, um bestimmte Erhaltungsmaßnahmen und -szenarien im Straßenerhaltungsmanagement zu beurteilen.

4 Möglichkeiten der Modellierung der sozialen Auswirkungen

4.1 Allgemeines

Im gegenständlichen Kapitel werden zunächst die für eine praktische Anwendung erforderlichen Modelle und Berechnungsansätze im Detail beschrieben und erläutert. Darauf aufbauend wird im Kapitel 6 explizit auf die Anwendung dieser Modelle und deren Anpassung bzw. Kalibrierung auf das zu beurteilende österreichische Autobahnen- und Schnellstraßennetz näher eingegangen. Grundsätzlich können die nachfolgenden, auf den Erkenntnissen von ISABELA basierenden Modelle und Berechnungsansätze für jedes beliebige Straßennetz verwendet werden, vorausgesetzt die Anforderungen an die Daten und die Anwendbarkeit sind erfüllt. Eine Übertragung auf andere österreichische Straßennetze (z.B. Landesstraßennetze) ist durchwegs denkbar jedoch nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Es sei an dieser Stelle explizit darauf hingewiesen, dass es sich hier um Modellrechnungen handelt, die auch auf einer Vielzahl von Annahmen basieren und somit ein erhöhtes Maß an Sensitivität aufweisen. Da das Verfahren als Vergleichsrechnung für unterschiedliche Varianten empfohlen ist, heben sich bestimmte Ungenauigkeiten in den Annahmen auf. Der relative Vergleich sollte jedoch eine Aussage ermöglichen, ob eine Erhaltungsstrategie besser oder schlechter vor dem Hintergrund der ausgewählten S-KPIs abschneidet.

Darüber hinaus ist es wichtig zu erwähnen, dass die nachfolgenden Berechnungen zwar für individuelle Erhaltungsprojekte durchgeführt werden, aber die Ergebnisse für die Gesamtheit aller Erhaltungsprojekte eines Bauprogramms ermittelt werden müssen. Es kann daher nicht davon ausgegangen werden, dass für alle Erhaltungsprojekte die gleiche Datengranularität der Eingangsdaten vorhanden ist, sodass die Modellierung so erfolgen muss, dass eine möglichst flächendeckende Anwendung das primäre Ziel darstellt.

4.2 Erhaltungsprojekte als Ausgangspunkt

Der Ausgangspunkt des gegenständlichen Ansatzes ist unter Bezugnahme auf die Empfehlungen von ISABELA ein fixiertes, geplantes oder empfohlenes Erhaltungsprogramm mit Erhaltungsmaßnahmen im Bereich des Straßenoberbau (Deckschichtmaßnahme, Verstärkung, Tragschichtmaßnahme etc.), die aus sozialer Sicht bewertet und anschließend mit anderen möglichen Maßnahmenstrategien (z.B. Mindestmaßnahmen zur Sicherstellung der Verkehrssicherheit) verglichen werden können. Das Erhaltungsprojekt kann sich dabei auf eine einzige Anlage beziehen (z.B. Straßenbefestigung) oder eine Kombination aus Einzelmaßnahmen über mehrere Anlagen im Rahmen eines anlagenübergreifenden Projektes enthalten. Im Prinzip haben die verschiedenen Arbeitsschritte zur Erstellung des Bauprogrammes keinen Einfluss auf den gegenständlichen Ansatz, dennoch ist es empfehlenswert, die geplanten Erhaltungsmaßnahme im Zuge einer fortschrittlichen Analysetechnik, wie z.B. einer Lebenszyklusanalyse oder einer anlagenübergreifenden Maßnahmenoptimierung (Cross Asset Analysis) zu ermitteln.

Das fixierte beziehungsweise empfohlene Bauprogramm setzt sich aus einzelnen Erhaltungsprojekten **m** zusammen, die die Basiselemente für das nachfolgende Bewertungsverfahren darstellen. Jedes einzelne Erhaltungsprojekt **m** wird auf einem Straßenabschnitt **s** des Netzes **n** im Jahr **y** durchgeführt.

4.3 Eingangsparameter für die Modellierung der sozialen Auswirkungen

4.3.1 Allgemeines

Wie bereits im Kapitel 3.5 beschrieben, müssen die einzelnen Indikatoren den entsprechenden Modellierungsstufen zugeordnet werden, wobei die Eingangsparameter gefolgt von Zwischen- und Endergebnissen die jeweiligen Stufen im Verfahren darstellen. Die Eingangsparameter können in folgende Kategorien unterteilt werden:

- Parameter zur Beschreibung des Erhaltungsabschnittes
- Parameter zur Beschreibung des Erhaltungsprojektes
- Parameter zur Beschreibung des Straßennetzes
- Kostensätze
- Allgemeine zusätzliche Eingangsparameter

Nachfolgend sind die erforderlichen Eingangsparameter im Detail aufgelistet und mit einer Beschreibung versehen. Weiterführende Details können auch den Ergebnisberichten zum Forschungsprojekt ISABELA entnommen werden.

4.3.2 Parameter des Erhaltungsabschnittes

Um ein Erhaltungsabschnitt **s** beschreiben zu können, werden verschiedene Informationen benötigt, die Abschnitt geometrisch definieren, die Belastungen bzw. Beanspruchungen durch den

Verkehr, die gefahrenen Geschwindigkeiten, die Wahrscheinlichkeit des Versagens des Entwässerungssystem aber auch das Umfeld im Zusammenhang mit Wirkungen bei einem Versagen des Entwässerungssystems. Dabei handelt es sich um folgende Informationen:

Tab. 2: Parameter des Erhaltungsabschnittes

Abkürzung	Bedeutung
L_s	Länge des Straßenabschnittes s in [km] (dies kann aus Angaben „von“ und „bis“ berechnet werden)
JDTV	jährlicher durchschnittlicher täglicher Verkehr des Abschnittes s in [Kfz/24h]
JDTLV	jährlicher durchschnittlicher täglicher Lastverkehr des Abschnittes s in [Lkw/24h]
Z_{JDTV}	jährliche Wachstumsrate des Verkehrs auf dem Abschnitt s in [%]
$p_{\text{offpeak},s}$	stündlicher Prozentanteil des jährlichen durchschnittlichen täglichen Verkehrs außerhalb der Spitzenstunden in [%]
$p_{\text{peak},s}$	stündlicher Prozentanteil des jährlichen durchschnittlichen täglichen Verkehrs in den Spitzenstunden in [%]
$p_{\text{access},s}$	Prozentanteil der Fahrzeuge die in einen Straßenabschnitt einen Kreuzungspunkt oder einer Überfahrt einfahren oder verlassen in [%]
nXs	Anzahl der Kreuzungspunkte und Überfahrten innerhalb eines Straßenabschnittes s [-]
V_s	durchschnittliche bzw. maximal zulässige Fahrgeschwindigkeit auf dem Straßenabschnitt s in [km/h]
$V_{s,Lkw}$	durchschnittliche bzw. maximal zulässige Fahrgeschwindigkeit des Schwerverkehrs auf dem Straßenabschnitt s in [km/h]
$U_{\text{ml},\text{kat},s}$	Umleitungskategorie zur Beschreibung der Umleitungsverfügbarkeit (s. Tab. 8)
$H_{\text{Stau},s}$	geschätzte Stautundenanzahl auf dem Straßenabschnitt s pro Tag in [h/Tag] (innerhalb der Arbeitszeiten)
$bPoF_{\text{Entw}}^{\text{Überschw},s}$	Wahrscheinlichkeit eines Versagens aufgrund von Überschwemmungen wegen begrenzter Entwässerungskapazität vor dem Erhaltungsprojekt m auf dem Abschnitt s [-]
$bEKPI_{\text{Wasser},s}$	Umwelt-KPI für die Wassersituation vor dem Erhaltungsprojekt m auf Abschnitt s [-] (Skala von 0 bis 5, siehe EVITA [17])
$bP^{\text{Überschw},s}$	Wahrscheinlichkeit einer Überschwemmung (oder eines Starkregenereignisses) aufgrund der begrenzten Abflusskapazität vor dem Erhaltungsprojekt m auf dem Abschnitt s [-]
$aPoF_{\text{Entw}}^{\text{Überschw},s}$	Versagenswahrscheinlichkeit wegen Überschwemmung wegen begrenzter Entwässerungskapazität nach Erhaltungsprojekt m auf Abschnitt s [-]
$aEKPI_{\text{Wasser},s}$	Umwelt-KPI für die Wassersituation nach Erhaltungsprojekt m auf Abschnitt s [-] (Skala von 0 bis 5, siehe EVITA [17])
$aP^{\text{Überschw},s}$	Wahrscheinlichkeit für Überschwemmungen wegen begrenzter Entwässerungskapazität nach Erhaltungsprojekt m auf Abschnitt s [-]
$bbetr_{\text{Gebiet}}^{\text{Überschw},s}$	betroffenes Gebiet aufgrund von Überschwemmungen wegen begrenzter Entwässerungskapazität vor dem Erhaltungsprojekt m auf Abschnitt s [m ²]
$abetr_{\text{Gebiet}}^{\text{Überschw},s}$	betroffenes Gebiet aufgrund von Überschwemmungen wegen begrenzter Entwässerungskapazität nach Erhaltungsprojekt m auf Abschnitt s [m ²]

Abkürzung	Bedeutung
$bPoF_{Entw_{schwererUnfall,s}}$	Versagenswahrscheinlichkeit der Wasser- bzw. Bodenverschmutzung aufgrund des Zustandes des Entwässerungssystems bei einem schweren Unfall vor dem Erhaltungsprojekt m des Straßenabschnittes s [-]
$bP_{schwererUnfall}$	Wahrscheinlichkeit der Wasser- bzw. Bodenverschmutzung aufgrund des Zustandes des Entwässerungssystems bei einem schweren Unfall vor dem Erhaltungsprojekt m des Straßenabschnittes s [-]
$aPoF_{Entw_{schwererUnfall,s}}$	Versagenswahrscheinlichkeit der Wasser- bzw. Bodenverschmutzung aufgrund des Zustandes des Entwässerungssystems bei einem schweren Unfall nach dem Erhaltungsprojekt m des Straßenabschnittes s [-]
$aP_{schwererUnfall}$	Wahrscheinlichkeit der Wasser- bzw. Bodenverschmutzung aufgrund des Zustandes des Entwässerungssystems bei einem schweren Unfall nach dem Erhaltungsprojekt m des Straßenabschnittes s [-]

4.3.3 Eingangsparameter für Erhaltungsmaßnahmen

Um die Instandhaltungsmaßnahmen m (als Bestandteile des Erhaltungsprogramms) definieren zu können, müssen ebenfalls spezifische Informationen eines Projektes vorhanden sein. Neben den Kosten und dem Jahr der Durchführung beziehen sich die Eingangsdaten vor allem auf die durch die Maßnahme bzw. das Projekt verursachten Wirkungen. Folgende grundlegende Eingangsinformationen müssen dazu zur Verfügung stehen:

Tab. 3: Eingangsparameter für Erhaltungsmaßnahmen

Abkürzung	Bedeutung
KST_m	Kosten des Erhaltungsprojektes m [€]
JR_m	das Jahr der Durchführung des Erhaltungsprojektes m [-]
D_m	Dauer der Durchführung des Erhaltungsprojektes m in [Tagen]
$V_{m,s}$	mittlere bzw. maximal zulässige Fahrgeschwindigkeit auf dem Straßenabschnitt s während der Dauer D_m des Erhaltungsprojektes m in [km/h]
$H_{Stau,s,m}$	geschätzte Stautundenanzahl auf dem Straßenabschnitt s pro Tag aufgrund der Durchführung des Erhaltungsprojektes m während der Dauer D_m in [h/Tag] (diese Größe kann mithilfe eines geeigneten Verkehrsstau Modells berechnet werden)
$D_{keinZugang,s,m}$	Dauer der Durchführung des Erhaltungsprojektes m, während der die Zufahrt zu dem Straßenabschnitt s eingeschränkt ist [Tage]
$P_{X,gesperrt,s,m}$	Prozentsatz der Kreuzungen oder Überfahrten, die für die Dauer der Durchführung des Erhaltungsprojektes m gesperrt sind in [%]
$bGebrauch_{s,m}$	Gebrauchswert vor dem Erhaltungsprojekt m des Straßenabschnittes s
$aGebrauch_{s,m}$	Gebrauchswert nach dem Erhaltungsprojekt m des Straßenabschnittes s
$katEff_m$	Kategorie zur Beschreibung der Auswirkungen des Erhaltungsprojektes (s. Tab. 10)
$KST_{Sicherheitsmaßn,s,m}$	Kosten der Sicherheitsmaßnahmen auf der Baustelle während der Durchführung des Erhaltungsprojektes des Straßenabschnittes s in [€]
$tAsphalt_m$	Gesamtmenge an Asphalt im Erhaltungsprojekt m in [Tonnen]
$tBeton_m$	Gesamtmenge an Beton im Erhaltungsprojekt m in [Tonnen]

Abkürzung	Bedeutung
$p_{\text{Asphalt}_{\text{recy},m}}$	Prozentsatz an Asphalt mit Recyclingmaterial im Erhaltungsprojekt m in [%]
$p_{\text{Beton}_{\text{recy},m}}$	Prozentsatz an Beton mit Recyclingmaterial im Erhaltungsprojekt m in [%]
$\Delta EP_{\text{Asphalt},m}$	Differenz im Einheitspreis des im Projekt m verwendeten Asphaltes mit und ohne Recyclingmaterial in [€/Tonne]
$\Delta EP_{\text{Beton},m}$	Differenz im Einheitspreis des im Projekt m verwendeten Betons mit und ohne Recyclingmaterial in [€/Tonne]
$katEffL_m$	Kategorie zur Beschreibung der Auswirkungen des Erhaltungsprojektes auf Lärmemissionen (s. Tab. 12 und Tab. 13)
$bPN_{\text{betr},s,m}$	Anzahl der Personen, die den Lärmemissionen vor dem Erhaltungsprojekt m des Straßenabschnittes s ausgesetzt sind
$aPN_{\text{betr},s,m}$	Anzahl der Personen, die den Lärmemissionen nach dem Erhaltungsprojekt m des Straßenabschnittes s ausgesetzt sind
$bPL_{\text{Luft}Q_{\text{exp},m}}$	Anzahl der Personen, die einer Luftverschmutzungskonzentration über dem EU Grenzwert vor dem Erhaltungsprojekt m des Straßenabschnittes s ausgesetzt sind
$aPL_{\text{Luft}Q_{\text{exp},s,m}}$	Anzahl der Personen, die einer Luftverschmutzungskonzentration über dem EU Grenzwert nach dem Erhaltungsprojekt m des Straßenabschnittes s ausgesetzt sind
$GE_{\text{alt}1,m}$	Graue Energie (Kohlenstoffemissionen) der Alternative 1 bei Vorbereitung des Erhaltungsprojektes m [kg CO ₂]
$GE_{\text{alt}2,m}$	Graue Energie (Kohlenstoffemissionen) der Alternative 2 bei Vorbereitung des Erhaltungsprojektes m [kg CO ₂]

4.3.4 Eingangsparameter der Eigenschaften des Straßennetzes

Die Projekte beziehen sich in der Regel auf ein abgegrenztes Straßennetz, dass ebenfalls über bestimmte Eigenschaften beschrieben werden kann. Dazu zählen in der Regel diesem Straßennetz zugeordnete generelle Werte und Informationen. Zur Beschreibung der Eigenschaften des Straßennetzes werden folgende Informationen benötigt:

Tab. 4: Eingangsparameter der Eigenschaften des Straßennetzes

Abkürzung	Bedeutung
V_{Stau}	mittlere Geschwindigkeit während des Verkehrsstaus (z.B. 30km/h) in [km/h]
$mL_{\text{Stau},n}$	mittlere Staulänge aufgrund der Bauarbeiten auf dem Straßennetz n in [km]
$m_{\text{Treib}_{\text{PKW}}}$	mittlerer Treibstoffverbrauch der PKWs auf dem Straßennetz n in [Liter/100km]
$m_{\text{Treib}_{\text{LKW}}}$	mittlerer Treibstoffverbrauch der LKWs auf dem Straßennetz n in [Liter/100km]
$m_{\text{Treib}_{\text{PKW},\text{Stau}}}$	mittlerer Treibstoffverbrauch der PKWs während des Staus auf dem Straßennetz n in [Liter/100km]
$m_{\text{Treib}_{\text{LKW},\text{Stau}}}$	mittlerer Treibstoffverbrauch der LKWs während des Staus auf dem Straßennetz n in [Liter/100km]
$UnfKSTR_n$	Unfallkostenrate auf dem Straßennetz n in [€/Unfall]
$mjGInv_{\text{Instand},n}$	mittlere jährliche Gesamtinvestitionen in die Erhaltungsprojekte m des Straßennetzes n in [Mio. €]
$VerkKap_n$	Verkehrskapazität des Straßennetzes n pro Jahr in [Mio. Kfz-km]

4.3.5 Kostensätze

Um die monetären Auswirkungen berechnen zu können, müssen auch monetäre Parameter in den Berechnungen berücksichtigt werden. Dabei handelt es sich um folgende Kostensätze und Wirtschaftlichkeitsparameter:

Tab. 5: Kostensätze

Abkürzung	Bedeutung
$KS_{Zeit,Pkw}$	Zeitkostensatz der Personalkraftwägen in [€/Pkw-Stunde]
$KS_{Zeit,Lkw}$	Zeitkostensatz der Lastkraftwägen in [€/Lkw-Stunde]
KT_{Pkw}	Treibstoffkosten für Personalkraftwägen in [€]
KT_{Lkw}	Treibstoffkosten für Lastkraftwägen in [€]
$KS_{Lärm}$	Kostensatz des Lärmes pro betroffene Person in [€/Person und Jahr]
$KS_{arbeitslos}$	soziale Kosten pro Arbeitslosen in [€/Person und Jahr]
DS	Diskontsatz in [%]
$\Delta EP_{CO_2,FE}$	Einheitspreis für graue Energie [€/t pro Funktionseinheit]

4.3.6 Allgemeine zusätzliche Eingangsgrößen

Für die Bewertung umfassenderer sozioökonomischer Auswirkungen sind weitere Parameter notwendig, die die Wirtschaftsleistung insgesamt aber auch den Anteil des Straßenverkehrs am Gesamtverkehr definieren. Folgende Parameter (eines Landes) sollten für die Berechnungen zur Verfügung stehen:

Tab. 6: Allgemeine zusätzliche Eingangsgrößen

Abkürzung	Bedeutung
BIP	Bruttoinlandsprodukt eines Landes in [€]
$pBIP_{Baubranche}$	Anteil der Baubranche am BIP in [%]
$UmsP_{Baubranche}$	Umsatzerlös pro Person in der Baubranche [€/Person]
$pBIP_{Verkehr}$	Anteil des Verkehrs am BIP in [%]
$pVerkKap_{Straße}$	Anteil der Verkehrs- und Transportkapazität des Straßeninfrastrukturnetzes am Gesamtverkehr und der Transportkapazität in [%]
$tVerkKap$	Gesamtverkehrskapazität pro Jahr in [Mio.Fz.km]

4.4 Wesentliche Bewertungsparameter für die Modellierung

Bei der Betrachtung von unterschiedlichen sozialen Auswirkungen im Entscheidungsprozess des Asset Managements müssen die Erwartungen eines oder von mehreren unterschiedlichen Stakeholdern berücksichtigt werden. Es ist dabei besonders wichtig zu untersuchen, wie die gewählten S-KPIs die Erwartungen widerspiegeln und in welcher Beziehung sie zu dem Erhaltungsprojekt eines Erhaltungsprogramm stehen. Die sozialen Auswirkungen in den Bereichen Verkehrssicherheit, Verfügbarkeit, Umwelt und Sozioökonomie können mit Hilfe von einem oder mehreren (technischen) monetären und nicht monetären Parameter ausgedrückt werden. Sie umfassen die Eingangsdaten für die Modellierung der Anlagencharakteristik und werden zur Bewertung des Erhaltungsprogrammes herangezogen. Die Daten für die Auswertung der relevanten Parameter sollten für eine längere Zeitperiode vorliegen oder es sollte die Möglichkeit bestehen, diese zu erfassen bzw. zu überwachen und ggf. auch zu aktualisieren.

Um die Erwartungen der Stakeholder berücksichtigen zu können, müssen diese auf der technischen Ebene definiert werden, d.h. in Form eines Schwellenwertes oder eines Grenzkriteriums für

eine oder mehrere verschiedene Parameter, die anschließend mit der Hilfe von vorhandenen Kostenmodelle monetarisiert werden können. Die nachfolgende Tab. 7 zeigt eine Übersicht über empfohlene monetäre und nicht monetäre Parameter zur Modellierung der sozialen Auswirkungen. Die Auflistung stellt eine Zusammenstellung der wesentlichen sozialen Schlüsselindikatoren und den Erkenntnissen aus der Modellierungsphase aus ISABELA dar. Demzufolge ist es möglich, dass die Parameter mehrmals in unterschiedlichen Unterkategorien erscheinen. Die nachfolgenden Kapitel bieten eine ausführliche Erläuterung, wie die Parameter kalkuliert bzw. abgeschätzt werden können.

Tab. 7: Parameter zur Modellierung der sozialen Auswirkungen und Darstellung die S-KPIs, die sich möglicherweise infolge der Erhaltungsmaßnahmen erheblich verändern können [12]

Kategorie	Unterkategorie	Schlüsselparameter	Kommentar
Verfügbarkeit und Beeinträchtigung	Zugänglichkeit	- Reisezeitverlust infolge Zugänglichkeitsbeschränkung - Reisezeitkosten infolge Zugänglichkeitsbeschränkung	Reisezeitverlust und die damit verbundenen Reisezeitkosten wurden als Schlüsselindikatoren für die Modellierung dieser Unterkategorie gewählt.
	Verkehrsstau	- Reisezeitverlust infolge Staus - Reisezeitkosten infolge Staus	
	Verfügbarkeitseinschränkungen	- Reisezeitverlust infolge Geschwindigkeitsbeschränkung - Reisezeitkosten infolge Geschwindigkeitsbeschränkung - Reisezeitverlust infolge der Umleitungen - Reisezeitkosten infolge der Umleitungen	
	Reisezeit	- Reisezeitverlust infolge Geschwindigkeitsbeschränkung - Reisezeitkosten infolge Staus - Reisezeitverlust infolge der Umleitungen - Reisezeitkosten infolge Zugänglichkeitsbeschränkung	
	Fahrzeugbetriebskosten	Fahrzeugbetriebskosten infolge Erhaltungsprojektes	
Sicherheit	Unfälle	- Verringerte Unfallrate infolge Erhaltungsprojektes - Erhöhte Unfallrate während des Erhaltungsprojektes - Zusätzliche Kosten	
	Zustand	Unfallrate im Zusammenhang mit den Zustandsgrößen	
	Allgemeine Sicherheit	-	Diese Unterkategorie wurde durch Die Unterkategorien „Unfälle“ und „Zustand“ abgedeckt. Die Kumulierung von Unfallkosten über das gesamte Straßennetz ergibt die allgemeine Sicherheit.

Kategorie	Unterkategorie	Schlüsselparameter	Kommentar
Umwelt	Luftqualität	- Jährliche Schadstoffemissionen vor und nach dem Erhaltungsprojekt - Minderung der Schadstoffemissionen nach dem Erhaltungsprojekt - Anzahl der Personen, die den Emissionen über den EU Grenzwerten ausgesetzt sind vor und nach dem Erhaltungsprojekt - Einsparungen an den durch Schadstoffemissionen verursachten Medizinkosten nach dem Erhaltungsprojekt	Schlüsselindikatoren basieren auf den Ergebnissen des Projektes EVITA [17]
	Treibhausgasemissionen	- Jährliche Treibhausgasemissionen vor und nach dem Erhaltungsprojekt - Minderung der Treibhausgasemissionen nach dem Erhaltungsprojekt	
	Natürliche Ressourcen	- Anteil der recycelten und bzw. oder niedrigerenergetischen Baustoffen für das Erhaltungsprojekt - Einsparungen infolge Verwendung der recycelten Baustoffe - Einsparungen an enthaltenem Kohlendioxid	
	Lärm	- Lärmbetroffene Personen vor und nach dem Erhaltungsprojekt - Tatsächliche Wirksamkeitsdauer der Lärmreduktion - Umweltkosten des Lärms	
	Boden- und Wasserqualität	- Ausfallwahrscheinlichkeit (Hochwasser) aufgrund mangelnder Entwässerungskapazität vor und nach dem Erhaltungsprojekt - Wahrscheinlichkeit des Hochwassers vor und nach dem Erhaltungsprojekt - Umwelt KPI für die (Wasser) Drainagelage vor und nach dem Erhaltungsprojekt - Einsparungen durch verbessertes Entwässerungssystems im Zusammenhang mit dem Hochwasser aufgrund mangelnder Kapazität vor und nach dem Erhaltungsprojekt - Ausfallwahrscheinlichkeit der Verschmutzung von Wasser bzw. Boden aufgrund des Zustandes der Entwässerung im Falle eines schweren Verkehrsunfalls vor und nach dem Erhaltungsprojekt - Wahrscheinlichkeit der Verschmutzung von Wasser bzw. Boden aufgrund des Zustandes der Entwässerung im Falle eines schweren Verkehrsunfalls vor und nach dem Erhaltungsprojekt - Einsparungen infolge der Verbesserung der Entwässerung im Zusammenhang mit einem schweren Verkehrsunfall mit Wasser- bzw. Bodenverschmutzung	Schlüsselindikatoren für den Zustand der Entwässerung basieren auf den Ergebnissen des Projektes EVITA [17]

Kategorie	Unterkategorie	Schlüsselparameter	Kommentar
Sozioökonomie	Anlagewert	-	Der Anlagewert beschreibt nicht unmittelbar die sozialen Auswirkungen und wird deshalb nicht berücksichtigt. Die Erhaltungskosten hingegen widerspiegeln die ökonomischen Auswirkungen direkt (siehe unten).
	Kosteneffizienz	-	Kosteneffizienz wird im Auswahlprozess der geeigneten Erhaltungsmaßnahmen berücksichtigt und widerspiegelt direkt die sozialen Auswirkungen.
	Kosten	• Erhaltungskosten • Sozialkosten infolge Arbeitslosigkeit • Makroökonomische Kosten • Reisezeitkosten • Fahrzeugbetriebskosten • Umweltkosten	Die gesamte Kostenaufstellung, die die sozialen Auswirkungen beschreiben können, werden vollständigshalber in dieser Unterkategorie angeführt.
	Weitere sozioökonomische Auswirkungen	• Theoretische Anzahl der Arbeitslosen in Bezug auf Erhaltungsprojekt • Theoretischer Anteil der Erhaltungsinvestitionen am Bruttoinlandsprodukt, der auf das Erhaltungsprojekt zurückzuführen ist	Theoretischer Ansatz dient als erste Grundlage für weiteren sozioökonomischen Bewertungsprozess.

Im Vergleich zur Zustandsnormierung in COST354 [16], wo die (technischen) Parameter mithilfe einer mathematischen Funktion in einen dimensionslosen Zustandsindex umgewandelt werden, ist die Normierung im Zusammenhang mit sozialen Aspekten wesentlich komplexer, weil sie soziale Komponenten und somit auch nicht-technische (physikalische) Größen umfassen muss. Aus diesem Grund wird empfohlen, die nichtmonetären Parameter mithilfe vorhandener Kostenmodelle (z.B. Berechnung externen Kosten für verschiedene Stakeholdergruppen) und zugeordneten Kostensätzen in monetäre Größen umzuwandeln. Eine wichtige Voraussetzung für die Umrechnung ist das Vorhandensein entsprechender Modelle, die die gesuchten nichtmonetären Parameter beinhalten. In Abhängigkeit vom Typ, kann das Modell ein oder mehrere Parameter berücksichtigen. Darüber hinaus können durch die Verwendung der monetären Werte können die Auswirkungen unterschiedlichen Einflussgrößen leicht miteinander kombiniert werden.

4.5 Aspekte der Verfügbarkeit und Beeinträchtigung der Nutzer

Bei der Beschreibung der Auswirkungen der Verfügbarkeit und Beeinträchtigung im sozialen Umfeld kann davon ausgegangen werden, dass der Nutzer mit dessen Beziehung zum Individualverkehr (d.h. Pkw) und zum Güterverkehr (d.h. Lkw-Verkehr) die Stakeholder im untersuchten Straßennetz darstellen. In diesem Fall müssen sich alle Parameter auf die Befahrung des Straßennetzes durch die unterschiedlichen Nutzer beziehen. Zu berücksichtigen sind dabei die Reisezeit, Reisedistanzen und dessen Abhängigkeit vom Straßenzustand sowie der Länge des Bauabschnitts des Erhaltungsprojekts. Die Reisedistanz hängt von der gewählten Route ab und muss die vorhandenen Baustellenbereiche berücksichtigen. Diese Entfernung kann grundsätzlich mithilfe von makroskopischen Verkehrssimulationen unter Berücksichtigung verfügbarer Umleitungen für jeden Straßenabschnitt ermittelt werden. Die dadurch zusätzlich entstehende Fahrstrecke multipliziert mit den entsprechenden Treibstoffkosten stellen wiederum die zusätzlichen Fahrzeugbetriebskosten dar. Daher werden die Treibstoffkosten an dieser Stelle nicht als Hauptgröße, sondern als ein wichtiger Faktor betrachtet.

Die zwei Parameter, die an dieser Stelle empfohlen werden, sind deshalb die Reisezeit und die damit verbundenen Fahrzeugbetriebskosten, die quantifiziert und anschließend mit Hilfe von etablierten Kostenmodellen monetarisiert werden können. Dabei wird empfohlen, sofern vorhanden, auf die nationalen Normen und Leitfaden zurückzugreifen.

4.5.1 Reisezeit

Um die Reisezeit bewerten zu können, müssen folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Unterschied zwischen Reisezeit aufgrund der Geschwindigkeitsreduktion und/oder des Kapazitätsengpasses im Zusammenhang mit einem Erhaltungsprojekt, einer Zustandsbeurteilung oder einer Gefährdung
- Erhaltungsprojektbezogene Reisezeit wegen eines Engpasses auf einem Straßenabschnitt (d.h. Kapazitätsbeschränkung) und daraus resultierender Verkehrsstau innerhalb des Straßennetzes
- Erhaltungsprojektbezogene Reisezeit aufgrund von Umwegen auf dem angrenzenden bzw. benachbarten Straßennetz (Ausweichverkehr).

Wie bereits erwähnt, können Verkehrssimulationen für die Ermittlung der notwendigen Bewertungsgrößen herangezogen werden. Da jedoch weder für ein gesamtes Straßennetz noch für eine größere Anzahl von Erhaltungsprojekten die verkehrlichen Auswirkungen über Simulationen in der Regel ermittelt werden, müssen Näherungsverfahren angewendet werden. Diese Näherungsverfahren sind nachfolgend im Detail beschrieben und basieren auf den Vorschlägen von ISABELA. Die Anforderungen für die Durchführung von Verkehrssimulationen können dem Kapitel 4.5.1.2 entnommen werden.

4.5.1.1 Reisezeitermittlung auf Grundlage einer Abschätzung der Verkehrssituation

4.5.1.1.1 Abschätzung des Verkehrsaufkommens

Der erste Schritt des empfohlenen Ansatzes ist die Abschätzung des Verkehrsaufkommens. Im Prinzip können die Verkehrsdaten aus den Verkehrszählungen, die meistens für das hochrangige Straßennetz flächendeckend vorhanden sind, direkt herangezogen werden. Außerdem sollte für die Abschnitte, wo eine Umleitung möglich wäre, eine generelle Abschätzung der Verkehrsbelastung bzw. -entlastung durch Ausweichverkehr möglich sein. Weiters sollte der Zeitverlust auf den Umleitungen $T_{Verlust_{Umleitung,s}}$ (siehe Kapitel 4.5.1.1.4) unter Berücksichtigung einer solchen Abschätzung ebenfalls mitberücksichtigt werden können.

Die Abschätzung welcher Anteil des gesamten Verkehrsaufkommens eine bestimmte Umleitung benutzen wird, kann mit bisher gesammelten Daten abgeschätzt oder mit Hilfe eines geeigneten Verkehrsmodells ermittelt werden, das einen Zusammenhang zwischen den verschiedenen Straßennetzsegmenten und den Netzknoten in Betracht zieht (siehe hierzu auch Kapitel 4.5.1.1.3).

Die vereinfachte Methode kann der Tab. 8 entnommen werden, in welcher eine prozentuelle Reduzierung des Verkehrsaufkommens, separat für Personenkraftwagen und Lastkraftwagen, in Abhängigkeit von einer möglichen Umleitungssituation dargestellt ist. Dies kann auch für die Gesamtverkehrsstärke vorgenommen werden. Insbesondere für die Umleitungen in den Stadtgebieten sollte die Möglichkeit einer Verlagerung des Individualverkehrs auf öffentliche Verkehrsmittel berücksichtigt werden, sodass möglicherweise eine generelle Reduktion der Verkehrsbelastung während der Baustellenzeit zu berücksichtigen ist. Die in Tab. 8 aufgelisteten Werte können natürlich von Abschnitt zu Abschnitt variieren. Bei einer Gesamtnetzbetrachtung eines zu beurteilenden Bauprogramms wird jedoch empfohlen, hier auf einheitlich Werte zurückzugreifen (ggf. mit Anpassung an die netzabhängige Situation).

Tab. 8: Umleitungskategorie (vereinfachter Ansatz im nicht städtischen Gebiet) nach [12]

Uml _{Kat,s}	Beschreibung	Vorschlag für die Anteile des Verkehrsaufkommens in Abhängigkeit der gewählten Umleitung
		$p_{JDTV,Uml} / p_{JDTLV,Uml}$
A	Keine Umleitung verfügbar oder sehr niedrige Kapazität auf Umleitungsstrecke	0%
B	Umleitung mit niedriger Kapazität oder langem Umweg verfügbar	1%
C	Umleitung mit mittlerer Kapazität und mittlerem Umweg verfügbar	5%
D	Umleitung mit hoher Kapazität und kurzem Umweg verfügbar	10%

Unter Berücksichtigung oberer Abschätzung, kann der Gesamtverkehr auf dem Abschnitt s und den Umleitungen folgendermaßen aufgeteilt werden:

$$JDTV_{red,s,m} = JDTV_s \cdot \left(1 - \frac{p_{JDTV,Uml,m}}{100}\right) \quad (1)$$

$$JDTV_{Uml,s,m} = JDTV_s - JDTV_{red,s,m} \quad (2)$$

$$JDTLV_{red,s,m} = JDTLV_s \cdot \left(1 - \frac{p_{JDTLV,Uml,m}}{100}\right) \quad (3)$$

$$JDTLV_{Uml,s,m} = JDTLV_s - JDTLV_{red,s,m} \quad (4)$$

$JDTV_{red,s,m}$	reduzierter jährlicher durchschnittlicher täglicher Verkehr [Kfz/Tag]
$JDTV_s$	jährlicher durchschnittlicher täglicher Verkehr [Kfz/Tag]
$JDTV_{Uml,s,m}$	zusätzlicher jährlicher durchschnittlicher täglicher Verkehr auf der Umleitung [Kfz/Tag]
$p_{JDTV,Uml,m}$	Prozentanteil des Verkehrs auf der Umleitung [%]
$p_{JDTLV,Uml,m}$	Prozentanteil des Lastverkehrs auf der Umleitung [%]
$JDTLV_{red,s,m}$	reduzierter jährlicher durchschnittlicher täglicher Lastverkehr [Lkw/Tag]
$JDTLV_s$	jährlicher durchschnittlicher täglicher Lastverkehr [Lkw/Tag]
$JDTLV_{Uml,s,m}$	zusätzlicher jährlicher durchschnittlicher täglicher Lastverkehr auf der Umleitung [Lkw/Tag]

4.5.1.1.2 Reisezeitverlust infolge Geschwindigkeitsbeschränkung

Da bei den meisten Baustellen auch eine Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit verordnet wird, muss dieser Umstand berücksichtigt werden. Der Reisezeitverlust infolge einer Geschwindigkeitsbeschränkung im Baustellenbereich kann für den Zeitraum, ohne dass der Verkehrsfluss durch Stau beeinträchtigt wird, wie folgt berechnet werden:

$$TVerlust_{\Delta V, Pkw, m} = \frac{L_s}{V_{m,s}} - \frac{L_s}{V_s} \quad (5)$$

$$TVerlust_{\Delta V, Lkw, m} = \frac{L_s}{V_{m,s}} - \frac{L_s}{V_{s, LKW}} \quad (6)$$

$TVerlust_{\Delta V, Pkw, m}$	Zeitverlust des Personenverkehrs infolge Geschwindigkeitsbeschränkung [h/Pkw]
$TVerlust_{\Delta V, Lkw, m}$	Zeitverlust des Lastverkehrs infolge Geschwindigkeitsbeschränkung [h/Lkw]
L_s	Länge des Straßenabschnittes s [km]
$V_{m,s}$	durchschnittliche bzw. maximal zulässige Geschwindigkeit auf dem Straßenabschnitt s, auf dem Erhaltungsprojekt m durchgeführt werden [km/h] (Geschwindigkeit im Baustellenbereich, kann sich für Pkws und Lkws unterscheiden)
V_s	durchschnittliche bzw. maximal zulässige Geschwindigkeit auf dem Straßenabschnitt s [km/h]

$V_{s,Lkw}$ durchschnittliche bzw. maximal zulässige Geschwindigkeit des Lastverkehrs auf dem Straßenabschnitt s [km/h]

Der gesamte Zeitverlust während der Durchführung des Erhaltungsprojektes sollte für Personenverkehr und Lastverkehr getrennt berechnet werden. Mit den nachfolgenden Formeln lässt sich der Zeitverlust infolge Geschwindigkeitsbeschränkung im Detail ermitteln. Der Einfluss der Geschwindigkeitsreduktion auf den Verkehr während der Durchführung des Erhaltungsprojektes sollte nur für die staufreien Stunden berechnet werden. Demzufolge ist das stündliche Verkehrsaufkommen in den „Off-peak“ Stunden (Stunden ohne Stau) multipliziert mit dem Zeitverlust (jedes einzelnen Fahrzeuges) eine Grundlage für diese Abschätzung. Wie zuvor erwähnt, erfolgt die Betrachtung getrennt für Pkw und Lkw.

$$tTVerlust_{\Delta V, Pkw, m} = \quad (7)$$

$$= TVerlust_{\Delta V, Pkw, m} \cdot (JDTV_{red, s, m} - JDTLV_{red, s, m}) \cdot \frac{p_{offpeak, s}}{100} \cdot (24 - H_{Stau, s, m}) \cdot D_m$$

$$tTVerlust_{\Delta V, Lkw, m} = \quad (8)$$

$$= TVerlust_{\Delta V, Lkw, m} \cdot JDTLV_{red, s} \cdot \frac{p_{offpeak, s}}{100} \cdot (24 - H_{Stau, s, m}) \cdot D_m$$

$tTVerlust_{\Delta V, Pkw, m}$ gesamte Zeitverlust infolge Geschwindigkeitsreduktion des Personenverkehrs [h]

$tTVerlust_{\Delta V, Lkw, m}$ gesamte Zeitverlust infolge Geschwindigkeitsreduktion des Lastverkehrs [h]

$p_{peak, s}$ stündlicher Verkehrsanteil des JDTVs in Spitzenstunden [%]

$p_{offpeak, s}$ stündlicher Verkehrsanteil des JDTVs außerhalb der Spitzenstunden [%]

$H_{Stau, s, m}$ geschätzte Anzahl der Stautunden auf dem Straßenabschnitt s pro Tag aufgrund des Erhaltungsprojektes m während D_m in [h/Tag]

D_m Dauer der Durchführung der Instandhaltungsmaßnahmen m [Tage]

4.5.1.1.3 Zeitverlust infolge Staus durch das Erhaltungsprojekt

Neben dem Zeitverlust infolge der Geschwindigkeitsbeschränkung trägt der Verkehrstau in den Stoßzeiten wesentlich zum Gesamtzeitverlust bei und wird daher in dem nächsten Modellierungsschritt näher erläutert. Die Staulänge hängt hauptsächlich von den örtlichen Gegebenheiten ab und sollte beim Vorhandensein aller notwendigen Eingangsparameter des jeweiligen Modells im Einzelnen bewertet werden. Für die allgemeine Einschätzung einer Gesamtnetzbetrachtung kann jedoch auch die mittlere Staulänge des untersuchten Netzes als grundlegende Eingangsgröße angenommen werden. Von wesentlicher Bedeutung ist jedoch der Umstand, dass Staus und somit Zeitverlust die aufgrund von Überbelastung im Normalbetrieb entstehen, also ohne Baustellen, in dieser Zeitverlustberechnung zu berücksichtigen sind. Es geht im gegenständlichen Fall ausschließlich um den zusätzlichen Zeitverlust infolge eines zusätzlichen Staus durch die Baustelle im Rahmen eines Erhaltungsprojektes. Die Abschätzung des Zeitverlustes infolge Staus im Rahmen einer Beeinträchtigung durch eine Baustelle kann folgendermaßen unterteilt werden:

- Zeitverlust zufolge Staus vor dem Arbeitsbereich, wobei die mittlere Staulänge aufgrund der Baustellenbereiche auf dem Netz n als grundlegender Eingangsparameter angenommen werden kann. Wenn genauere Informationen über die Staulänge vor dem Baustellenbereich vorhanden sind, wird es an dieser Stelle empfohlen, diese genaueren Angaben zu übernehmen.
- Zeitverlust aufgrund des Staus innerhalb des Baustellenbereich.

Folgende Gleichung beinhaltet beide Aspekte dieser generellen Abschätzung:

$$TVerlust_{Stau,m} = \left(\frac{ML_{Stau,n}}{V_{Stau}} - \frac{ML_{Stau,n}}{V_s} \right) + \left(\frac{L_s}{V_{Stau}} - \frac{L_s}{V_s} \right) \quad (9)$$

$TVerlust_{Stau,m}$	Zeitverlust infolge Staus [h/Kfz]
L_s	Länge des Abschnittes s [km]
$ML_{Stau,m}$	mittlere Staulänge aufgrund des Baustellenbereiches des Netzes n [km]
V_{Stau}	durchschnittliche Geschwindigkeit im Stau [km/h]
V_s	durchschnittliche Geschwindigkeit oder maximal zulässige Geschwindigkeit auf dem Straßenabschnitt s [km/h]

Um die sozialen Auswirkungen des Zeitverlustes während den Spitzenzeiten (Verkehrsstaupe-riode) bewerten zu können, ist, wie bereits erwähnt, der Vergleich zwischen einer Situation wäh-rend eines Erhaltungsprojektes und einer „normalen“ Situation notwendig. Ein Verkehrsstau, der in einer „normalen“ Situation (z.B. aufgrund limitierter Kapazität) entsteht, muss aus der Berech-nung herausgerechnet werden, da er nicht durch das Erhaltungsprojekt verursacht wird. Ande-rerseits muss der zusätzlich durch das Erhaltungsprojekt hervorgerufene Stau berücksichtigt werden. Daher dürfen in der Berechnung des Zeitverlustes infolge von Stau nur die zusätzlichen Verkehrsstautunden (über die gesamte Dauer des Erhaltungsprojektes) in Betracht gezogen werden:

$$\begin{aligned} tTVerlust_{Stau,Pkw,m} &= \\ &= TVerlust_{Stau,m} \cdot (JDTV_{red,s,m} - JDTLV_{red,s,m}) \cdot \frac{p_{Spitze,s}}{100} \cdot (H_{Stau,s,m} - H_{Stau,s}) \cdot D_m \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} tTVerlust_{Stau,Lkw,m} &= \\ &= TVerlust_{Stau,m} \cdot JDTLV_{red,m} \cdot \frac{p_{Spitze,s}}{100} \cdot (H_{Stau,s,m} - H_{Stau,s}) \cdot D_m \end{aligned} \quad (11)$$

$$H_{Stau,s,m} \geq H_{Stau,s} \quad (12)$$

$tTVerlust_{Stau,Pkw,m}$	Gesamtzeitverlust infolge Staus für Personalkraftwägen [h]
$tTVerlust_{Stau,Lkw,m}$	Gesamtzeitverlust infolge Staus für Lastkraftwägen [h]
$p_{peak,s}$	stündlicher Verkehrsprozentanteil des JDTV in Spitzenstunden [%]
$H_{Stau,s,m}$	Geschätzte Anzahl der Stautunden auf dem Straßenabschnitt s pro Tag während des Erhaltungsprojektes [h/Tag]
$H_{Stau,s}$	Geschätzte Anzahl der durchschnittlichen Stautunden auf dem Straßenabschnitt s pro Tag [h/Tag]
D_m	Dauer des Erhaltungsprojektes m [Tage]

4.5.1.1.4 Gesamtzeitverlust auf potenziellen Umleitungsstrecken

Die Bewertung des Gesamtzeitverlustes auf eines oder mehreren Umleitungen kann sehr kom-plex werden, insbesondere wenn unterschiedliche Umleitungsstrecken in Frage kommen und der Nutzer entsprechend wählen kann. Im einfachsten Fall, wenn nur eine Umleitungsmöglichkeit

verfügbar ist, kann der Zeitverlust auf der Umleitung aus der zusätzlichen Länge auf der Umleitung und der durchschnittlichen Geschwindigkeit auf dieser Umleitung berechnet werden und anschließend mit der Durchfahrzeit eines Straßenabschnitts s (ohne Erhaltungsprojektes m) verglichen werden.

$$TVerlust_{Umleitung,s} = \frac{L_{Umleitung}}{V_{Umleitung}} - \frac{L_s}{V_s} \quad (13)$$

$TVerlust_{Umleitung,s}$	Zeitverlust auf der Umleitung [h/Kfz]
L_s	Länge des Abschnittes s [km]
V_s	durchschnittliche oder maximal zulässige Geschwindigkeit auf dem Straßenabschnitt s [km/h]
$L_{Umleitung}$	Länge des Umweges auf der Umleitung [km]
$V_{Umleitung}$	durchschnittliche oder maximal zulässige Geschwindigkeit auf der Umleitung [km/h]

Eine weitere vereinfachte Berechnungsmethode im Falle unzureichender Informationen über die Umleitung wird in der nachfolgenden Tab. 9 präsentiert. Der Zeitverlust auf einem Umweg hängt von einer möglichen Umleitungskategorie ab, die durch die Straßenverwaltung bestimmt und mit entsprechenden Schätzwerten versehen wird. Bei der Anwendung eines solchen Ansatzes sollten diese Werte, aufgrund der möglichen Variation in verschiedenen Gebieten und Regionen, von Verkehrsexperten verifiziert werden.

Tab. 9: Zeitverlust auf den Umleitungen [12]

Umleitung _{Kat}	Beschreibung	Beispiel des Zeitverlustes auf der Umleitung $TVerlust_{Umleitung,s}$
A	Keine Umleitung vorhanden	0 Stunden/Fahrzeug
B	Umleitung mit niedriger Kapazität oder langer Distanz vorhanden	0.5 Stunden/Fahrzeug
C	Umleitung mit mittlerer Kapazität oder mittlerer Distanz vorhanden	0.25 Stunden/Fahrzeug
D	Umleitung mit hoher Kapazität oder kurzer Distanz vorhanden	0.05 Stunden/Fahrzeug

Bei der Verwendung des berechneten oder geschätzten Zeitverlustes kann der Gesamtzeitverlust auf den Umleitungen $TVerlust_{Umleitung,s}$ während eines Erhaltungsprojektes m unter Berücksichtigung des zusätzlichen Verkehrs auf der Umleitung wie folgend berechnet werden:

$$\begin{aligned} tTVerlust_{Umleitung,Pkw,m} &= \\ &= TVerlust_{Umleitung,s} \cdot (JDTV_{Umleitung,s,m} - JDTLV_{Umleitung,s,m}) \cdot D_m \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} tTVerlust_{Umleitung,Lkw,m} &= \\ &= TVerlust_{Umleitung,s} \cdot JDTLV_{Umleitung,s,m} \cdot D_m \end{aligned} \quad (15)$$

$tTVerlust_{Umleitung,Pkw,m}$ gesamter Zeitverlust auf der Umleitung für Personenkraftzeuge [h]

$tTVerlust_{Umleitung,Lkw,m}$ gesamter Zeitverlust auf der Umleitung für Lastkraftzeuge [h]

$TVerlust_{Umleitung,s}$	Zeitverlust auf der Umleitung [h/Kfz]
$JDTV_{Umleitung,s,m}$	zusätzlicher jährlicher durchschnittlicher täglicher Verkehr auf der Umleitung [Kfz/Tag]
$JDTLV_{Umleitung,s,m}$	zusätzlicher jährlicher durchschnittlicher täglicher Lastverkehr auf der Umleitung [Lkw/Tag]
D_m	Dauer des Erhaltungsprojektes m [Tage]

4.5.1.1.5 Reisezeitverlust infolge Reduktion der Verfügbarkeit

Neben den Effekten einer Geschwindigkeitsbeschränkung, Staus und der verlängerten Reisezeit auf den Umleitungsstrecken spielt die Reduktion Verfügbarkeit aufgrund von Zugangsbeschränkungen auf den betroffenen Straßenabschnitten (z.B. Schließen von Rampen bei Anschlussstellen und Kreuzungen) eine große Rolle und verursacht ebenfalls zusätzliche Kosten. Dabei ist die Reduktion der Verfügbarkeit wiederum ein Ergebnis geplanter Maßnahmen in Form eines Erhaltungsprojektes m. Es wird in diesem Zusammenhang davon ausgegangen, dass die Verfügbarkeit des betroffenen Straßenabschnittes für den Verkehr beschränkt wird. Aus diesem Grund werden hierbei der Verkehr, der auf den Straßenabschnitt s einfährt oder ihn verlässt und der damit entstehende zusätzliche Verkehr auf den Umleitungen als Haupteinflussgrößen genannt. Für Letztere können zur Schätzung des Zeitverlustes die obigen Gleichungen (14)(15) angewendet werden. Für die eingeschränkte Zugänglichkeit können folgende mathematischen Ausdrücke verwendet werden:

$$tTVerlust_{Zugang,Pkw,m} = \quad (16)$$

$$= TVerlust_{Umweg,s} \cdot (JDTV_s - JDTLV_s) \cdot \frac{p_{Zugang,s}}{100} \cdot D_{keinZugang,m} \cdot \frac{p_{X,verschl,s,m}}{100} \cdot nX_s$$

$$tTVerlust_{Zugang,Lkw,m} = \quad (17)$$

$$= TVerlust_{Umweg,s} \cdot JDTLV_s \cdot \frac{p_{Zugang,s}}{100} \cdot D_{keinZugang,m} \cdot \frac{p_{X,verschl,s,m}}{100} \cdot nX_s$$

$$D_{keinZugang,m} \leq D_m \quad (18)$$

$tTVerlust_{Zugang,Pkw,m}$	gesamter Zeitverlust wegen begrenzter Zugänglichkeit für Personenkraftwagen [h]
$tTVerlust_{Zugang,Lkw,m}$	gesamter Zeitverlust wegen begrenzter Zugänglichkeit für Lastkraftwagen [h]
$D_{keinZugang,m}$	Dauer der Erhaltungsprojektes, während der der Zugang zu dem Straßenabschnitt s begrenzt wird [Tage]
$p_{X,verschl,s,m}$	Prozentanteil der Kreuzungen oder Überfahrten, die während des Erhaltungsprojektes verschlossen werden [%]
$p_{Zugang,s}$	Prozentanteil des Verkehrs, der in den Straßenabschnitt s einfährt oder ihn verlässt bei einer Kreuzung oder Überfahrt [%]
nX_s	Anzahl der Kreuzungen oder Überfahrten auf dem Straßenabschnitt s
D_m	Dauer des Erhaltungsprojektes m [Tage]

4.5.1.2 Reisezeit basierend auf Verkehrssimulationen und anderen Modellen

Wie bereits erwähnt, kann die Änderung der Reisezeit und deren Folgen mithilfe einer makroskopischen Verkehrssimulation berechnet werden. Das Verkehrsmodell stellt einen spezifischen Ansatz für örtliche Gegebenheiten dar und sollte genauere Ergebnisse liefern, wie eine Schätzung in Form von Gesamtreisedauer aufgrund von Geschwindigkeitsbeschränkung, Staus und Zugangsbeschränkung zu dem jeweiligen Straßenabschnitt (Verfügbarkeit). Die Modellierung des Zeitverlustes auf den Umwegen könnte eine weitere komplexe Aufgabe für Verkehrssimulationen sein. Im Prinzip wäre auch eine Kombination aus einer Verkehrssimulation und einer allgemeinen Schätzung möglich. Falls eine Verkehrssimulation zur Ermittlung des Reisezeitverlustes angewendet wird, sollte sie allerdings die gesamte Situation und das gesamte betroffene Gebiet (Straßennetz) abdecken.

Falls die Durchführung einer Verkehrssimulation nicht möglich ist und die zuvor beschriebenen Modelle nicht anwendbar und/oder keine logischen Ergebnisse liefern, können sie gegebenenfalls durch Kapazitätsmodelle (Verkehrsmodelle) ersetzt werden. Zur Anwendung könnte dabei beispielsweise ein für ein bestimmtes Straßennetz entwickeltes Verkehrsmodell kommen, das Teile oder den gesamten ursprünglichen Ansatz ersetzt. Aus Gründen der Vollständigkeit sei an dieser Stelle das Bureau of Public Roads (BPR) [20] mit seinen Modellen genannt. Die sogenannten BPR Funktionen berücksichtigen die Kapazität des Straßenabschnittes und beschreiben die Beziehung zwischen dem Verkehrsflusswiderstand und dem Verkehrsaufkommen. Da solche Modelle am ASFINAG-Netz bei der Bauprogrammierung bzw. -evaluierung nicht zur Anwendung gelangen und auch deren Anwendung lt. aktuellen Informationen nicht geplant ist, wird an dieser Stelle auf die detaillierte Erläuterung verzichtet.

4.5.1.3 Reisezeitkosten

Um die Basis für die Akkumulation über das gesamte Netz bereitzustellen, müssen die Reisezeitparameter in monetäre Größen überführt werden. Dabei müssen die verschiedenen Arten der Kostensätze ($KS_{Zeit,Pkw}$ =Zeitkostensatz der Personalkraftwagen in [€/Kfz-h], $KS_{Zeit,Lkw}$ =Zeitkostensatz der Lastkraftwagen in [€/Lkw-h] s. Kapitel 4.3.5) berücksichtigt werden.

Die zusätzlichen Reisekosten, die durch Reisezeitverlust infolge eines Erhaltungsprojektes m unter Berücksichtigung des Zeitverlustes aufgrund der Geschwindigkeitsbeschränkung, des Staus und der Umleitungen anfallen, können folgendermaßen ermittelt werden:

$$\begin{aligned}
 zusKst_{Zeit,m} &= \\
 &= KS_{Zeit,Pkw} \cdot (tTVerlust_{\Delta V,Pkw,m} + tTVerlust_{Stau,Pkw,m} + tTVerlust_{Umleitung,Pkw,m}) + \\
 &\quad + KS_{Zeit,Lkw} \cdot (tTVerlust_{\Delta V,Lkw,m} + tTVerlust_{Stau,Lkw,m} + tTVerlust_{Umleitung,Lkw,m})
 \end{aligned} \tag{19}$$

$zuskst_{Zeit,m}$	zusätzliche Reisezeitkosten infolge Erhaltungsprojektes m [€]
$KS_{Zeit,Pkw}$	Zeitkostensatz der Personenkraftwagen [€/Pkw-Stunde]
$KS_{Zeit,Lkw}$	Zeitkostensatz der Lastkraftwagen [€/Lkw-Stunde]

Die zusätzlichen Reisekosten aufgrund der Verfügbarkeit (Zugänglichkeitsbeschränkung) können folgendermaßen berechnet werden:

$$\begin{aligned}
 zusKst_{Verfüg,m} &= \\
 &= KS_{Zeit,Pkw} \cdot tTVerlust_{Verfüg,Pkw,m} + KS_{Zeit,Lkw} \cdot tTVerlust_{Verfüg,Lkw,m}
 \end{aligned} \tag{20}$$

$zuskst_{Verfüg,m}$	zusätzliche Reisekosten aufgrund der Verfügbarkeit (Zugänglichkeitsbeschränkung) infolge Erhaltungsprojektes m oder eines Angriffs [€]
$KS_{Zeit,Pkw}$	Zeitkostensatz der Personenkraftwagen [€/Pkw-Stunde]

4.5.2 Fahrzeugbetriebskosten

Grundsätzlich hat der Straßenzustand ausgedrückt durch die Längsebenheit und den Zustand der Straßenoberfläche (Schlaglöcher, Abplatzungen etc.) einen bestimmten Einfluss auf die Fahrzeugbetriebskosten (FZBK). In den westeuropäischen Ländern ist der Straßenzustand meistens auf einem so guten Niveau, auf dem die langfristige Reduktion der FZBK durch zustandsverbessernde Erhaltungsmaßnahmen lt. Empfehlung des Projektes ISABELA vernachlässigt werden kann, jedoch ergeben sich Änderungen in den Emissionen der Fahrzeuge, wenn sich der Straßenzustand, im speziellen die Längsebenheit sowie der Rollwiderstand, verändert. Ob und in welchem Ausmaß der durch das Erhaltungsprojekt in der Regel verbesserte Zustand (verbesserte Längsebenheit, geringerer Rollwiderstand, etc.) zu einer Reduktion von Treibstoff- und Energieverbrauch führt und dies über die Fahrzeugbetriebskosten ausgedrückt werden kann, ist aus der Sicht der Autorin eine im ISABELA-Projekt zu wenig untersuchte wissenschaftliche Fragestellung. Diese sollte durch weiterführende Forschungsprojekte im Detail untersucht werden, ist jedoch nicht Gegenstand dieser Arbeit. Die Berücksichtigung eines verbesserten Straßenzustandes auf die Umwelt muss auf jeden Fall in der Kalkulation Eingang finden und wurde im ISABELA-Projekt über die Umweltauswirkungen auf die Luftqualität abgebildet (siehe Kapitel 4.7.3). Das Modell basiert auf einen Zusammenhang zwischen den durch Fahrzeuge verursachten Emissionen und dem (verbesserten) Straßenzustand nach dem Projekt EVITA [17]. Auf jeden Fall können insbesondere bei Stau zusätzliche FZBK während eines Erhaltungsprojektes entstehen und diese sind zu berücksichtigen.

Bei der Bewertung der zusätzlichen FZBK aufgrund eines Erhaltungsprojektes m sollten die Auswirkungen des Verkehrsstaus auf den Verbrauch des Treibstoffes in den Spitzenzeiten berücksichtigt werden. Auch hier sollte der Verkehrsstau, der in einer „normalen“ Situation (z.B. aufgrund limitierter Kapazität) entsteht aus der Berechnung ausgenommen werden, da er nicht durch das Erhaltungsprojekt verursacht wird. Andernfalls sollte der zusätzliche Stau infolge des Erhaltungsvorhabens miteinbezogen werden. Darüber hinaus sollte die Staulänge innerhalb und vor den Arbeitsbereichen ebenfalls berücksichtigt werden. Die Grundlage für die Schätzung stellen die durchschnittlichen Treibstoffverbrauchswerte aus Langzeitstudien dar, die in den meisten europäischen Straßenverwaltungen verfügbar sein sollten.

$$tTreib_{Stau,Pkw,m} = \quad (21)$$

$$= (mTreib_{Pkw,Stau} - mTreib_{Pkw}) \cdot (JDTV_{red,s} - JDTLV_{red,s}) \cdot \frac{p_{peak,s}}{100} \cdot (H_{Stau,s,m} - H_{Stau,s}) \cdot D_m \cdot \frac{L_s + mL_{Stau,n}}{100}$$

$$tTreib_{Stau,Lkw,m} = \quad (22)$$

$$= (mTreib_{Lkw,Stau} - mTreib_{Lkw}) \cdot JDTLV_{red,s} \cdot \frac{p_{peak,s}}{100} \cdot (H_{Stau,s,m} - H_{Stau,s}) \cdot D \cdot \frac{L_s + mL_{Stau,n}}{100}$$

$tTreib_{Stau,Pkw,m}$	gesamter zusätzlicher Treibstoffverbrauch der Personenkraftwägen während Staus infolge Erhaltungsprojektes m [Liter]
$tTreib_{Stau,Lkw,m}$	gesamter zusätzlicher Treibstoffverbrauch der Lastkraftwägen während Staus infolge Erhaltungsprojektes m [Liter]
$mTreib_{Pkw,Stau}$	mittlerer Treibstoffverbrauch der PKWs während des Staus auf dem Straßennetz n in [Liter/100km]
$mTreib_{Lkw,Stau}$	mittlerer Treibstoffverbrauch der LKWs während des Staus auf dem Straßennetz n in [Liter/100km]

$mTreib_{PKW}$	mittlerer Treibstoffverbrauch der PKWs auf dem Straßennetz n in [Liter/100km]
$mTreib_{LKW}$	mittlerer Treibstoffverbrauch der LKWs auf dem Straßennetz n in [Liter/100km]
L_s	Länge des Straßenabschnitts [km]
$mL_{Stau,n}$	mittlere Staulänge auf dem Straßennetz in [km]
D_m	Dauer des Erhaltungsprojektes m [Tage]

Die Ermittlung des zusätzlichen Treibstoffverbrauchs aufgrund eines Erhaltungsprojektes kann unter Verwendung der aktuellen Treibstoffpreise, separat für Personen- und Lastkraftwagen, erfolgen. Dabei können die zusätzlichen Fahrzeugbetriebskosten folgendermaßen abgeschätzt werden:

$$zusFzgBkst = KstTreib_{PKW} \cdot tTreib_{Stau,PKW,m} + KstTreib_{LKW} \cdot tTreib_{Stau,LKW,m} \quad (23)$$

$zusFzgBkst$	zusätzliche Fahrzeugbetriebskosten aufgrund Staus infolge Erhaltungsprojekt m [€]
$KstTreib_{PKW}$	mittlerer Treibstoffkosten pro Liter für Personenkraftwagen [€/Liter]
$KstTreib_{LKW}$	mittlere Treibstoffkosten pro Liter für Lastkraftwagen [€/Liter]

Da zum Zeitpunkt der Modellentwicklung der Anteil der Elektrofahrzeuge noch sehr gering war, wurde eine solche Kategorie nicht berücksichtigt. Es ist jedoch sehr einfach, die Personenkraftwagen aufzuteilen bzw. einen Anteil von Pkw mit E-Antrieb durch einen geänderten bzw. gemischten Kostensatz für Treibstoff und Strom zu berücksichtigen, da auch der Energieverbrauch von E-Fahrzeugen im Verkehrszustand Stau höher ist.

4.6 Verkehrssicherheitsaspekte

Der soziale Aspekt der Straßenverkehrssicherheit hängt wesentlich mit der Anzahl der Unfälle und der damit verbundenen Unfallrate und den daraus resultierenden Unfallfolgekosten zusammen. Die Unfälle werden durch ihre Anzahl und Art (z.B. getötete Personen, verletzte Personen, usw.) definiert und können aufgrund ihrer unmittelbaren Folgen für die Nutzer und ihrer indirekten Folgen für die Gesellschaft monetarisiert werden.

4.6.1 Einsparungen bei Verkehrssicherheitskosten vor und durch ein Erhaltungsprojekt

Einer der Hauptgründe für die Durchführung eines Erhaltungsprojekts ist die Verbesserung der Sicherheitssituation, die hauptsächlich mit dem Zustand der Straße sowie der ggf. adaptierten bzw. erweiterten Sicherheitsausrüstung zusammenhängt. Darüber hinaus haben die Rückhaltesysteme (Leiteinrichtungen) und Sicherheitskomponenten auf Brücken oder anderen Ingenieurbauwerken (Geländer, Absturzsicherungen usw.) einen Einfluss auf die Verkehrssicherheit, und ihre Wirkung durch eine Verbesserung im Rahmen eines Erhaltungsprojekts sollte in den Bewertungsprozess miteinbezogen werden. An dieser Stelle ist jedoch auch anzumerken, dass ein durch den Nutzer erkennbarer erhöhter Sicherheitsstandard sowie ein verbesserter Straßenzustand auch auf die gefahrenen Geschwindigkeiten Einfluss nehmen kann, sodass diese steigen und somit das Unfallgeschehen negativ beeinflussen. Da die Modellierung auf den Autobahnen und Schnellstraßen angewendet wird, wo bereits hohe Geschwindigkeit im Bereich der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten gefahren werden und eine Verbesserung des Zustandes und der Sicherheitseinrichtungen in der Regel nicht zu einer Erhöhung der zulässigen Geschwindigkeit führt, ist dieser Effekt zumindest auf diesem Straßennetz als sehr gering einzustufen. Ausnahmen können dabei jedoch Kapazitätserweiterung sein, wo zusätzliche Fahrstreifen errichtet werden.

Der sensible Faktor bei der Modellierung ist die Anzahl der Fahrzeuge, die über einen Straßenabschnitt fahren. Grundlage für die Bewertung der sozialen Auswirkungen auf die Sicherheit ist ein Vergleich der Situation vor und nach dem Erhaltungsprojekt unter Berücksichtigung der langfristigen Auswirkungen auf die Benutzer nach dem Durchführen des Erhaltungsprojekts. Dies führt zu einem relativen Vergleich der Sicherheitssituation vor und nach dem Projekt.

Um die Auswirkungen eines Erhaltungsprojekts beurteilen zu können, ist es notwendig, eine Korrelation zwischen dem Sicherheitsniveau und der Unfallrate zu haben. Die Definition des Sicherheitsniveaus kann von Land zu Land unterschiedlich sein, so dass ein allgemeiner Ansatz nicht verfügbar ist. Die Grundidee für die Ableitung einer solchen Korrelation ist jedoch in Abb. 7 beispielhaft dargestellt. Darin wird der Gebrauchswert, wie er in COST354 [16] definiert ist (Klassifizierung von 0 bis 5, wobei 0 für einen ausgezeichneten und 5 für einen sehr schlechten Zustand steht), mit den Unfallraten korreliert. Wenn der Zustandsparameter zur Beschreibung der Sicherheitssituation und der Unfallrate auf den Abschnitten eines Netzes n bekannt ist, kann eine solche mögliche Korrelation hergestellt werden und für die Bewertung der Sicherheitseffekte verwendet werden.

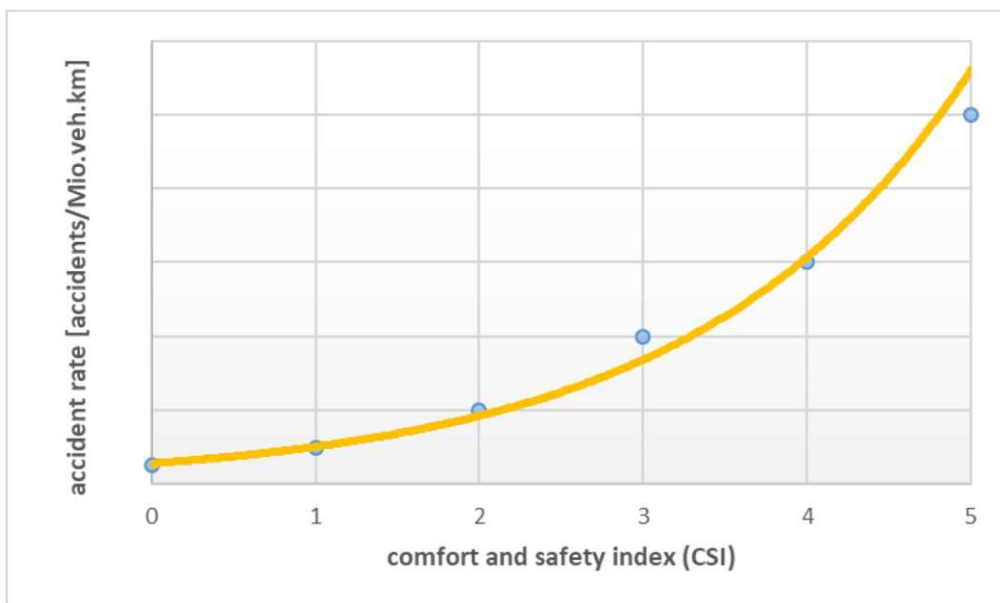


Abb. 7: Korrelation zwischen dem Gebrauchswert (basierend auf COST 354 [16]) und der Unfallrate – allgemeine Darstellung nach [12]

Die mögliche Korrelation ergibt eine Funktion, bei der die Unfallrate der Ausgabeparameter ist, so dass eine Unfallrate vor und nach dem Erhaltungsprojekt berechnet werden kann:

$$bUnfR_{s,m} = f(bGebW_{s,m}) \quad (24)$$

$$aUnfR_{s,m} = f(aGebW_{s,m}) \quad (25)$$

$bUnfR_{s,m}$	Unfallrate vor dem Erhaltungsprojekt m [Unfälle/Mio.Fzg.km]
$aUnfR_{s,m}$	Unfallrate nach dem Erhaltungsprojekt m [Unfälle/Mio.Fzg.km]
$bGebW_{s,m}$	Gebrauchswert vor dem Erhaltungsprojekt m auf dem Straßenabschnitt s [-]
$aGebW_{s,m}$	Gebrauchswert nach dem Erhaltungsprojekt m auf dem Straßenabschnitt s [-]

Wie bereits erwähnt, kann auf der Grundlage des Sicherheitsniveaus vor und nach dem Erhaltungsprojekt die Auswirkung auf die Unfallrate abgeschätzt werden. Die meisten der sicherheitsrelevanten technischen Parameter des Straßenoberbaus (z.B. Spurrinnen und Griffigkeit) werden im Laufe der Zeit aufgrund der bestehenden oder zunehmenden Verkehrsbelastung „schlechter“, was sich letztlich (zumindest statistisch) auf die Unfallrate auswirkt. Wenn für diese Sicherheitsparameter Zustandsprognosemodelle zur Verfügung stehen (z.B. in einem modernen Pavement Management System mittels Lebenszyklusanalyse), können die Unterschiede der zustandsbezogenen Parameter vor und nach dem Erhaltungsprojekt, einschließlich der Langzeitauswirkungen, direkt als Grundlage für die Reduzierung der Unfallrate für jedes einzelne Bewertungsjahr herangezogen werden.

Um die Einsparungen zu berechnen, ist es notwendig, den Zeitrahmen für die Bewertung der Effekte zu definieren, die stark von der Art der Erhaltungsmaßnahmen und ihrer Effizienz abhängen. Im Falle der Verfügbarkeit von Zustandsprognosemodellen der Verkehrssicherheitsparameter kann der Zeitrahmen aus den Prognosekurven entnommen werden (Zeitdifferenz zwischen dem Erhaltungsprojekt und dem erneuten Erreichen eines kritischen Niveaus als Dauer der Wirkung des angewandten Erhaltungsprojekts). Was die Definition eines Erhaltungsprojekts betrifft, so ist es möglich, dass verschiedene Arten von anlagenspezifischen Erhaltungsmaßnahmen in einem einzigen Projekt kombiniert wurden. Daher kann die Auswahl des Zeitrahmens allgemeiner sein, indem verschiedene Wirkungskategorien verwendet werden, wie in der folgenden Tab. 10 in Form eines Beispiels dargestellt ist. Wenn solche Zeitrahmen verwendet werden, sollten sie schließlich an die örtliche Situation (Art des Netzes, Art der Maßnahme, Verkehrsaufkommen usw.) angepasst oder darauf bezogen werden.

Tab. 10: Beispiel für Wirkungskategorien eines Erhaltungsprojekts nach [12]

katEffL_m	Beschreibung	Beispiel für den zeitlichen Rahmen der Auswirkungen
A	Kurzfristige Wirkung, hauptsächlich Routinemaßnahmen im Erhaltungsprojekt eingeschlossen	3 Jahre
B	Geringe Langzeitwirkung, Erhaltungsmaßnahmen als Zwischenlösung bis zum nächsten Instandsetzungsprojekt	7 Jahre
C	Mittelfristiger Effekt, Instandsetzungsmaßnahmen mit erheblicher Zustandsverbesserung	15 Jahre
D	Langfristige Wirkung, Instandhaltungsmaßnahmen wie Erneuerung oder vollständiger Neubau von Anlagen	20 Jahre

Basierend auf dem geschätzten Zeitrahmen der Auswirkungen können die Einsparungen unter Berücksichtigung der jährlichen Verkehrszunahme über die Zeit kumuliert werden. Für die praktische Anwendung sollte der Barwert für die Kumulation über den betrachteten Zeitrahmen verwendet werden.

$$EinspSKST_{s,m} = UnfKST_n \cdot \frac{(bUnfR_{s,m} - aUnfR_{s,m})}{10^6} \cdot L_s \cdot 365 \cdot \sum_{t=1}^{T_{eff,m}} JDTV_{t,s} \quad (26)$$

$$JDTV_{t,s} = JDTV_s \cdot \left(1 + \frac{Z_{JDTV,s}}{100}\right)^t \quad (27)$$

EinspSKST_{s,m} Einsparungen bei den Sicherheitskosten nach dem Erhaltungsprojekt m an Abschnitten s [€]

$UnfKSTR_n$	Unfallkostenrate auf dem Straßennetz n in [€/Unfall]
$bUnfR_{s,m}$	Unfallrate vor dem Erhaltungsprojekt m [Unfälle/Mio.Fzg.km]
$aUnfR_{s,m}$	Unfallrate nach dem Erhaltungsprojekt m [Unfälle/Mio.Fzg.km]
L_s	Länge des Abschnittes s[km]
$T_{eff,m}$	Zeitraumen der Auswirkungen [Jahre]
t	Zeit t [Jahre]
$JDTV_s$	tatsächlicher jährlicher durchschnittlicher Tagesverkehr [Pkw/Tag]
$JDTV_{t,s}$	jährlicher durchschnittlicher täglicher Verkehr im Jahr t [Pkw/Tag]
$z_{JDTV,s}$	jährliche Wachstumsrate des Verkehrs auf dem Abschnitt s in [%].

Es wird dringend empfohlen, diesen allgemeinen Ansatz an die örtliche Situation anzupassen, insbesondere durch Verwendung der örtlichen Zustandsparameter oder -indizes und ihrer Beziehung zu verschiedenen Unfallarten, was im Rahmen der gegenständlichen Arbeit auch vorgenommen wird (siehe hierzu Kapitel 4.6.1). Der Vollständigkeit halber zeigt das nachfolgende Beispiel aus der Schweiz [21], wie ein solcher Ansatz in der Praxis angewendet werden kann. Auf die gleiche Weise kann die Unfallrate zur Berechnung der gesamten Sicherheitskosten in Bezug auf ein Zustandsmerkmal (z.B. die Griffigkeit = Index I_4 gem. Schweizer Zustandsbewertung) vorgenommen werden. Da sich der Zustand durch das Erhaltungsprojekt verbessert, können durch den geänderten Index I_4 auch die Wirkungen modelliert werden. Nachfolgend die Funktionen des Modells aus der Schweiz nach [21]:

$$\theta_{Sachschäden} = 0.4 \cdot \frac{67}{99.8541 + 46.572 \ln(0.00981 \cdot I_4^2 - 0.1081 \cdot I_4 + 0.5966)} \quad (28)$$

$$\theta_{Verletzte} = 0.16 \cdot \frac{67}{99.8541 + 46.572 \ln(0.00981 \cdot I_4^2 - 0.1081 \cdot I_4 + 0.5966)} \quad (29)$$

$$\theta_{Tote} = 0.003 \cdot \frac{67}{99.8541 + 46.572 \ln(0.00981 \cdot I_4^2 - 0.1081 \cdot I_4 + 0.5966)} \quad (30)$$

$\theta_i(I_4)$ die Häufigkeit des Auftretens eines bestimmten Schadenstyps i = Sachschäden, Verletzungen oder Todesfälle, abhängig vom Straßenzustand, wenn keine Maßnahme durchgeführt wird [-]

I_4 Zustandsindex der Griffigkeit [-]

Unabhängig von der Anwendung eines Modells zur Beschreibung der Unfallrate in Abhängigkeit vom Straßenzustand ist der nächste Schritt die Kostenbewertung. Mit dem in Gleichung (30) angegebenen Modell kann diese sehr einfach durchgeführt werden, wobei das Verkehrsaufkommen als maßgebende Einflussgröße berücksichtigt wird. Hier werden die Einheitskosten einer bestimmten Schadensart teilweise vom Nutzer und teilweise von der Gesellschaft getragen (z.B. Tab. 11). Dieses Modell erlaubt es auch, einen Effekt eines Erhaltungsprojekts einzubeziehen, indem bei der Durchführung einer Intervention ein Korrekturfaktor von $\psi > 1$ verwendet wird, im Gegensatz zu $\psi = 1$, wenn keine Intervention erfolgt [22].

$$KST_{Unf} = \sum_{i=1}^3 (\theta_i(I_4) \cdot EKST_i \cdot JDTV_s \cdot L_s \cdot \psi) \quad (31)$$

KST_{Unf}	Unfallkosten (€)
$EKST_i$	Einheitskosten eines spezifischen Schadens i (Tab. 11) z.B. in [CHF]
$JDTV_s$	tatsächlicher jährlicher durchschnittlicher Tagesverkehr [Kfz/Tag]
L_s	Länge des Abschnitts s [km]
ψ	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Auswirkung eines Baustellenbereiches

Tab. 11: Vorgeschlagene Werte der Einheitskosten des Schadens [22]

Beschädigungsart	Symbol [-]	Vorgeschlagener Betrag [CHF]	Benutzerkosten [%]	Benutzerkosten [CHF] ¹⁾	Öffentliche Kosten [CHF]
Sachschäden	UC ₁	45.100	70	31.570	13.530
Verletzungen	UC ₂	293.500	80	234.800	58.700
Todesfälle	UC ₃	3.645.000	85	3.098.250	546.750

4.6.2 Zusätzliche Sicherheitskosten während eines Erhaltungsprojekts

Neben den langfristigen Einsparungen bei den Verkehrssicherheitskosten aufgrund des verbesserten Straßenzustands sowie der generellen Sicherheitssituation ist es notwendig, den Anstieg der Unfallrate während eines Erhaltungsprojekts als zusätzliche Kostenkomponente zu berücksichtigen. Haupteinflussfaktor ist dabei neben dem Verkehrsaufkommen die Zunahme der durch die Arbeitszone verursachten Unfälle, die sich in einem erhöhten Unfallgeschehen ausdrücken kann. Die erhöhte Unfallrate sollte entweder aus tatsächlichen (lokalen) Studien oder aus der generellen Bewertung von Unfällen innerhalb von Arbeitszonen, die in vielen europäischen Ländern verfügbar sind, entnommen werden.

Für die Schätzung der zusätzlichen Verkehrssicherheitskosten aufgrund des Erhaltungsprojekts m kann nachfolgender Ausdruck verwendet werden. Die Kosten müssen dabei über die gesamte Phase des Erhaltungsprojekts berechnet werden, was durch die Dauer D_m ausgedrückt wird. Während der Projektbearbeitung von ISABELA wurde festgestellt, dass es wichtig ist, die Kosten für zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen in den Arbeitszonen (zusätzliche Sicherheitsbarrieren und Baustellenabsicherung, spezielle Straßenmarkierungen, Baustellenbeleuchtung etc.) zu berücksichtigen. Eine Erhöhung der Erhaltungsprojektkosten für diese Maßnahmen wird die zusätzlichen Sicherheitskosten verringern. Bei den Investitionen in zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen handelt es sich um direkte Kosten für den Straßeneigentümer oder -betreiber, die wiederum die sozialen Kosten für die Sicherheit der Nutzer reduzieren. Wenn diese Kosten in diesem Zusammenhang Berücksichtigung finden, sollten sie aus dem Kostenportfolio für das Erhaltungsprojekt des Straßeneigentümers oder -betreibers herausgerechnet werden (andernfalls werden sie doppelt gezählt).

$$zusSKST_{s,m} = UnfR_n \cdot \frac{zusUnfR_{Bau,n}}{10^6} \cdot L_s \cdot D_m \cdot JDTV_{red,s} - KST_{Sichmn,s,m} \quad (32)$$

$zusSKST_{s,m}$	zusätzliche Sicherheitskosten aufgrund von Erhaltungsmaßnahmen m auf Abschnitten s [€]
$UnfKSTR_n$	Unfallkostenrate im Netz n [€/Unfall]
$zusUnfR_{Bau,n}$	zusätzliche Unfallrate auf Baustellen des Netzes n [Unfälle/Mio. Fzg km]
L_s	Länge des Abschnittes s [km]
D_m	Dauer des Erhaltungsprojekts m [Tage]

$JDTV_{red,s}$	reduziertes jährliches durchschnittliches tägliches Verkehrsaufkommen [Fahrzeug/Tag] – siehe Kapitel 4.5.1.1
$KST_{Sichmn,s,m}$	Kosten für Sicherheitsmaßnahmen in der Arbeitszone des Erhaltungsprojekts m auf dem Abschnitt s [€]

4.7 Umweltauswirkungen durch Erhaltung

4.7.1 Bewertungsrahmen

Aufgrund der hohen Bedeutung des Klimawandels und der Verpflichtungen aller europäischen Länder, die negativen Auswirkungen auf die Umwelt zu reduzieren, sollten Umweltschlüsselindikatoren so weit wie möglich, also im größtmöglichen Umfang berücksichtigt werden. Es gibt eine große Anzahl von Indikatoren und zusätzlichen Umweltauswirkungen, die mit Erhaltungsmaßnahmen in Verbindung gebracht werden können. Die wichtigsten Umweltauswirkungen von Erhaltungsmaßnahmen können dabei wie folgt quantifiziert werden:

- Schadstoffemissionen, die die Luftqualität beeinflussen (NO, SO, PM, etc.),
- Treibhausgasemissionen (GHG),
- Menge der Wasser- und Bodenschadstoffe,
- Verkehrslärmpegel
- Nutzung neuer natürlicher Ressourcen

Die meisten dieser Effekte, die durch Erhaltungsprojekte verursacht werden, sind im Vergleich zum Neubau eines Teils der Straßeninfrastruktur relativ gering. Die Verknüpfung zu den Erhaltungsmaßnahmen ist aufgrund fehlender oder schwacher Korrelationen zwischen dem Zustand der Anlagen und den Auswirkungen des Verkehrs schwer zu quantifizieren. Die am stärksten betroffenen Stakeholder sind die Anwohner oder Anrainer und aufgrund der globalen Wirkung bestimmter Emissionen letztendlich auch die gesamte Gesellschaft. Das europäische CEDR-Forschungsprojekt EVITA [17] stellte verschiedene Umweltbereiche vor und zeigte auf, wie Indikatoren zur Bewertung dieser Aspekte verwendet werden können.

Das EVITA-Projekt [17] stellt die Indikatoren umfassend dar und zeigt folgende Schwerpunkte:

- Allgemeine Beschreibung der maßgebenden Umweltindikatoren
- Detaillierte Festlegungen der Parameter zur Berechnung bzw. Beschreibung von Umweltindikatoren (mit Angaben zu den Input-Parametern, zum Berechnungsverfahren, zum Output und zur Verwendung)
- Fallstudien zur Verwendung der ausgewählten Umweltindikatoren.

EVITA kann als maßgebende Grundlage für die gegenständliche Fragestellungen direkt herangezogen werden, sodass in den nachfolgenden Gleichungen auf die entsprechenden Indikatoren direkt verwiesen wird. Auf eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse des EVITA-Projektes [17] wird an dieser Stelle verzichtet.

ISABELA [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15] bezieht sich im Rahmen der Umweltaspekte auf Erhaltungsprojekte und auf direkte Umweltauswirkungen. In ISABELA werden daher die folgenden Auswirkungen beschrieben und auch für die gegenständliche Fragestellung übernommen:

- Umweltauswirkungen durch die Verbesserung des Entwässerungssystems während eines Erhaltungsprojekts m;
- Umweltauswirkungen aufgrund der Verbesserung der Luftqualität und/oder der Verringerung der THG-Emissionen nach dem Erhaltungsprojekt m und aufgrund einer Erhöhung während desselben Erhaltungsprojekts;
- Umweltauswirkungen aufgrund der Verwendung von Recyclingmaterial innerhalb des Erhaltungsprojekts m.
- Umweltauswirkungen aufgrund der Verbesserung der durch das Erhaltungsprojekt m verursachten Lärmsituation.

Globale Umweltauswirkungen aufgrund einer Verbesserung des Anlagenzustandes (THG, CO₂, NO_x, etc.) sind ebenfalls wichtig, aber aufgrund fehlender oder schwacher Korrelationen zwischen

Anlagenzustand und Auswirkungen des Verkehrs schwer abzuschätzen. Dennoch gibt die Modellierung eine erste Vorstellung davon, wie die beschriebenen Umweltauswirkungen in den ganzheitlichen Prozess integriert werden können.

4.7.2 Umweltauswirkungen auf die Wasser- und Bodenqualität durch eine Verbesserung des Entwässerungssystems

Die Grundidee der vorgestellten Lösung ist die Verwendung des $E\text{-}KPI_{\text{Wasser}}$ (E-KPI steht dabei für „Environmental Key Performance Indicator“), der im Projekt EVITA [17] vorgestellt wurde. Dieser Indikator berücksichtigt den Grad der Verschmutzung des Straßenoberflächenwassers, den Abflussort, die Kapazität des Entwässerungssystems und den Zustand des Entwässerungssystems. Er wird in Form eines Index auf einer Skala von 0 (sehr gut) bis 5 (sehr schlecht) definiert.

Die kritischsten Auswirkungen werden durch Überschwemmungen aufgrund der begrenzten Kapazität des Entwässerungssystems und durch Unfälle verursacht, bei denen es zu einer Verunreinigung des Wassers oder des Bodens kommen kann. Die Auswirkungen hängen einerseits mit der Qualität des Entwässerungssystems und andererseits mit der Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses (Überschwemmung, kritischer Unfall) zusammen. Auf diese Weise kann ein vereinfachtes Risikobewertungsverfahren zur Berechnung der sozialen Auswirkungen verwendet werden. Das Risiko kann als Produkt aus der Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines bestimmten Ereignisses, der damit verbundenen Wahrscheinlichkeit eines Versagens des Entwässerungssystems (z.B. Beschädigung von Leitungen, Verstopfung) und den Kosten für die Behebung des Versagens bewertet werden.

In der Regel ist die Versagenswahrscheinlichkeit aufgrund des Entwässerungszustands nicht verfügbar, daher kann ein vereinfachter Ansatz, bei dem ein sehr guter Zustand ($E\text{-}KPI_{\text{Wasser}}=0,0$) eine Wahrscheinlichkeit von 0,1 (0 sollte aus mathematischer Sicht vermieden werden) und ein sehr schlechter Zustand ($E\text{-}KPI_{\text{Wasser}}=5,0$) eine Wahrscheinlichkeit von 1,0 hat, für die Abschätzung verwendet werden. Zwischen den beiden Werten kann eine lineare Funktion eingefügt werden.

Darüber hinaus muss die Wahrscheinlichkeit eines Hochwassers aufgrund der begrenzten Kapazität des Entwässerungssystems und eines Unfalls mit einer Kontamination von Wasser und/oder Boden vor und nach dem Erhaltungsprojekt m definiert werden. Die langfristige Wirkung eines verbesserten Entwässerungssystems (nach dem Erhaltungsprojekt m) sollte in Form der Auswahl eines realistischen Wirkungszeitraums abgeschätzt werden. Im Falle einer intensiven Verbesserung sollte der Zeitraum der Verbesserung mindestens 10 Jahre betragen.

4.7.2.1 Auswirkungen von Überschwemmungen aufgrund begrenzter Kapazität der Entwässerungseinrichtungen

Für die Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeiten bei Überschwemmungen aufgrund begrenzter Abflusskapazität kann die folgende Abschätzung angewendet werden. Bei der Abschätzung der Auswirkungen werden zwei Wahrscheinlichkeiten berücksichtigt. Die erste probabilistische Größe bezieht sich auf die Wahrscheinlichkeit, dass das Entwässerungssystem ausfällt und eine Überschwemmung verursacht (basierend auf dem Zustand des Entwässerungssystems), die zweite Wahrscheinlichkeit beschreibt das Auftreten eines Starkregenereignisses, das eine Überschwemmung verursacht.

$$bPoF_{Entw\text{Überschw},s} = \max[0,01; (0,2 \cdot bEKPI_{Wasser,s}) \cdot bP_{\text{Überschw},s}] \quad (33)$$

$$aPoF_{Entw\text{Überschw},s} = \max[0,01; (0,2 \cdot aEKPI_{Wasser,s}) \cdot aP_{\text{Überschw},s}] \quad (34)$$

$bPoF_{Entw\text{Überschw},s}$ Wahrscheinlichkeit eines Versagens aufgrund von Überschwemmungen wegen begrenzter Entwässerungskapazität vor dem Erhaltungsprojekt m auf dem Abschnitt s [-]

$bEKPI_{Wasser,s}$	Umwelt-KPI für die Wassersituation vor dem Erhaltungsprojekt m auf Abschnitt s [-] (Skala von 0 bis 5, siehe EVITA [17])
$bP_{\text{Übersc},s}$	Wahrscheinlichkeit einer Überschwemmung (oder eines Starkregenereignisses) aufgrund der begrenzten Abflusskapazität vor dem Erhaltungsprojekt m auf dem Abschnitt s [-]
$aPoFEntw_{\text{Über},s}$	Versagenswahrscheinlichkeit wegen Überschwemmung wegen begrenzter Entwässerungskapazität nach Erhaltungsprojekt m auf Abschnitt s [-]
$aEKPI_{Wasser,s}$	Umwelt-KPI für die Wassersituation nach Erhaltungsprojekt m auf Abschnitt s [-] (Skala von 0 bis 5, siehe EVITA [17])
$aP_{\text{Überschw},s}$	Wahrscheinlichkeit für Überschwemmungen wegen begrenzter Entwässerungskapazität nach Erhaltungsprojekt m auf Abschnitt s [-]

Die Wahrscheinlichkeit, dass das Entwässerungssystem im Falle eines Starkregenereignisses die maximale Kapazität erreicht (Überschwemmungswahrscheinlichkeit), muss anhand hydrologischer Informationen oder Erfahrungen des Straßenbetreibers abgeschätzt werden (z.B. Anzahl der Überschwemmungsereignisse pro Jahr, Alter des Entwässerungssystems).

Unter Berücksichtigung dieser Ausfallwahrscheinlichkeiten und möglicher monetärer Auswirkungen können die sozialen Kosten vor und nach dem Erhaltungsprojekt m abgeschätzt werden. Der Kostensatz, der in der Gleichung enthalten ist, kann in Beziehung zu den durchschnittlichen Kosten für die Beseitigung der durch ein Hochwasserereignis verursachten Schäden gesetzt werden.

$$bEntwKST_{\text{Überschw},s} = bPoFEntw_{\text{Überschw},s} \cdot bbetrGebiet_{\text{Überschw},s} \cdot KSTR_{\text{Überschw},s} \quad (35)$$

$$aEntwKST_{\text{Überschw},s} = aPoFEntw_{\text{Überschw},s} \cdot abetrGebiet_{\text{Überschw}} \cdot KSTR_{\text{Überschw},s} \quad (36)$$

$bEntwKST_{\text{Überschw},s}$	Kosten aufgrund von Überschwemmungen wegen begrenzter Entwässerungskapazität vor Erhaltungsprojekt m auf Abschnitt s [€]
$bbetrGebiet_{\text{Übersc},s}$	betroffenes Gebiet aufgrund von Überschwemmungen wegen begrenzter Entwässerungskapazität vor dem Erhaltungsprojekt m auf Abschnitt s [m ²]
$KSTR_{\text{Überschw},s}$	durchschnittlicher Kostensatz für Sanierungsmaßnahmen im betroffenen Gebiet aufgrund von Überschwemmungen wegen begrenzter Entwässerungskapazität entlang des Abschnittes s [€/m ²]
$aEntwKST_{\text{Überschw},s}$	Kosten aufgrund von Überschwemmungen wegen begrenzter Entwässerungskapazität nach Erhaltungsprojekt m auf Abschnitt s [€]
$aPoFEntw_{\text{Überschw},s}$	betroffenes Gebiet aufgrund von Überschwemmungen wegen begrenzter Entwässerungskapazität nach Erhaltungsprojekt m auf Abschnitt s [m ²]

Die Differenz zwischen der Situation vor und nach dem Erhaltungsprojekt m ergibt die Einsparungen, die über den Wirkungszeitraum t kumuliert werden müssen. Für die praktische Anwendung sollte der Barwert für die Kumulation über die Zeit verwendet werden. Wie bereits beschrieben, sollte der Wirkungszeitraum als Zeitraum definiert werden, in dem eine signifikante Verbesserung der Entwässerungssituation gegeben ist.

$$EinspEntwKST_{\text{Überschw},s} = \sum_t (bEtwKST_{\text{Überschw},s,t} - aEntwKST_{\text{Überschw},s,t}) \quad (37)$$

$EinspEntwKST_{\text{Überschw},s}$ Einsparungen bei den Umweltkosten durch eine Verbesserung des Entwässerungssystems im Zusammenhang mit Überschwemmungen aufgrund der begrenzten Entwässerungskapazität vor und nach dem Erhaltungsprojekt m auf dem Abschnitt s [-]

4.7.2.2 Auswirkungen der Kontamination von Wasser/Boden aufgrund des Zustands des Entwässerungssystems

Für die Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeiten bei einem Unfall mit einhergehender Kontamination von Wasser und/oder Boden kann nachfolgender vereinfachter Ansatz verwendet werden. Auch hier basiert diese Wahrscheinlichkeit auf einem E-KPI der im EVITA-Projekt [17] beschriebenen Entwässerungssysteme und einer geschätzten Wahrscheinlichkeit, dass ein solcher kritischer Unfall (kritUnfall) tatsächlich eintritt.

$$bPoFEntw_{kritUnfall,s} = \max[0.01; (0.2 \cdot bEKPI_{Wasser,s}) \cdot bP_{kritUnfall,s}] \quad (38)$$

$$aPoFEntw_{kritUnfall,s} = \max[0.01; (0.2 \cdot aEKPI_{Wasser,s}) \cdot aP_{kritUnfall,s}] \quad (39)$$

$bPoFEntw_{kritUnfall,s}$	Wahrscheinlichkeit des Versagens der Kontamination von Wasser/Boden aufgrund des Zustands des Entwässerungssystems im Falle eines kritischen Unfalls vor dem Erhaltungsprojekt m auf Abschnitt s [-]
$bEKPI_{Wasser,s}$	Umwelt-KPI für die Wassersituation vor dem Erhaltungsprojekt m auf Abschnitt s [-] (Skala von 0 bis 5, siehe EVITA [17])
$bP_{kritUnfall,s}$	Wahrscheinlichkeit einer Kontamination von Wasser/Boden aufgrund des Zustands des Entwässerungssystems im Falle eines kritischen Unfalls vor dem Erhaltungsprojekt m auf Abschnitt s [-]
$aPoFEntw_{kritUnfall,s}$	Wahrscheinlichkeit des Versagens der Kontamination von Wasser/Boden aufgrund des Zustands des Entwässerungssystems im Falle eines kritischen Unfalls nach einem Erhaltungsprojekt m auf Abschnitt s [-]
$aEKPI_{Wasser,s}$	Umwelt-KPI für die Wassersituation nach Erhaltungsprojekt m auf Abschnitt s [-] (Skala von 0 bis 5, siehe EVITA [17])
$aP_{kritUnfall,s}$	Wahrscheinlichkeit einer Kontamination von Wasser/Boden aufgrund des Zustands des Entwässerungssystems im Falle eines kritischen Unfalls nach einem Erhaltungsprojekt m auf Abschnitt s [-]

Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Kontamination auftritt, hängt stark von der Art des auf den Abschnitt s fahrenden Verkehrs und der Sicherheitssituation ab. Eine Abschätzung dieser Wahrscheinlichkeit kann auf der Grundlage von Unfallerfahrungen des Straßenbetreibers (z.B. Anzahl der Unfälle mit Verunreinigung von Wasser/Boden) oder auf der Grundlage statistischer Daten der Unfallsituation erfolgen. Unter Berücksichtigung der Ausfallwahrscheinlichkeiten und möglicher monetärer Auswirkungen können die sozialen Kosten vor und nach dem Erhaltungsprojekt m abgeschätzt werden. Der Kostensatz, der in der Gleichung enthalten ist, kann auf die durchschnittlichen Kosten der Dekontamination von Wasser/Boden bezogen werden.

$$bEntwKST_{kritUnfall,s} = bPoFEntw_{kritUnfall,s} \cdot bBetrGebiet_{kritUnfall} \cdot KSTR_{Kontam,s} \quad (40)$$

$$aEntwKST_{kritUnfall,s} = aPoFEntw_{kritUnfall,s} \cdot abetrGebiet_{kritUnfall} \cdot KSTR_{Kontam,s} \quad (41)$$

$bEntwKST_{kritUnfall,s}$	Kosten aufgrund der Kontamination von Wasser/Boden in Abhängigkeit vom Zustand des Entwässerungssystems im Falle eines kritischen Unfalls vor dem Erhaltungsprojekt m auf Abschnitt s [€]
$bbetrGebiet_{kritUnfall}$	betroffenes Gebiet aufgrund von Überschwemmungen wegen begrenzter Entwässerungskapazität vor dem Erhaltungsprojekt m auf Abschnitt s [m ²]
$KSTR_{Kontam,s}$	durchschnittlicher Kostensatz für die Dekontaminierung des betroffenen Gebiets aufgrund der Kontamination von Wasser/Boden entlang der Strecke s [€/m ²]
$aEntwKST_{kritUnfall,s}$	Kosten aufgrund der Kontamination von Wasser/Boden in Abhängigkeit vom Zustand des Entwässerungssystems im Falle eines kritischen Unfalls nach einem Erhaltungsprojekt m auf Abschnitt s [€]
$abetrGebiet_{kritUnfall}$	betroffenes Gebiet aufgrund von Überschwemmungen wegen begrenzter Entwässerungskapazität nach Erhaltungsprojekt m auf Abschnitt s [m ²]

Die Differenz zwischen der Situation vor und nach dem Erhaltungsprojekt m ergibt wieder die Einsparungen, die über den Wirkungszeitraum t auch hier kumuliert werden müssen. Während dieser Zeit steigt die Wahrscheinlichkeit einer Kontamination, wenn die Verkehrsbelastung bzw. der Anteil der Fahrzeuge, die für eine Kontamination verantwortlich zeichnen, steigt, wodurch die jährlichen Einsparungen sinken, die kumulierten Einsparungen aber trotzdem steigen. Wie bereits beschrieben, sollte der Wirkungszeitraum als Zeitraum definiert werden, in dem eine signifikante Verbesserung der Entwässerungssituation gegeben ist. Für die praktische Anwendung sollte der Nettowert für die Kumulation über die Zeit verwendet werden.

$$EinspEntwKST_{kritUnfall,s} = \sum_t (bEntwKST_{kritUnfall,s,t} - aEntwKST_{Überschw,s,t}) \quad (42)$$

$EinspEntwKST_{kritUnfall,s}$	Kosteneinsparungen durch eine Verbesserung des Entwässerungssystems im Zusammenhang mit einem kritischen Unfall mit Kontamination von Wasser/Boden auf dem Abschnitt s [€]
-------------------------------	--

4.7.3 Umweltauswirkungen auf die Luftqualität und GHG-Emissionen aufgrund eines verbesserten Fahrbahnzustandes

Der folgende Ansatz ist eine allgemeine Lösung für die Berücksichtigung von Emissionsminderungen für den Verkehr durch einen verbesserten Fahrbahnzustand aufgrund eines Erhaltungsprojekts. Diese Lösung kann für verschiedene Arten von Schadstoffemissionen (Luftqualität) und/oder GHG-Emissionen verwendet werden. Die GHG-Diskussion hat sich hauptsächlich auf Kohlendioxid konzentriert, da dies das am meisten mit dem Energieverbrauch verbundene und am leichtesten zu berechnende Treibhausgas ist. Wenn jedoch Daten über andere Treibhausgase verfügbar sind, können diese im Rahmen der Indikatormethode berücksichtigt werden, indem sie als Kohlendioxidäquivalent (CO₂e) ausgedrückt werden. Dies ist ein universelles Maß dafür, wie viel globale Erwärmung durch ein bestimmtes Treibhausgas (GHG) verursacht werden kann, basierend auf seinem globalen Erwärmungspotential (GWP), einem relativen Maß dafür, wie viel Wärme durch ein GHG in der Atmosphäre eingeschlossen wird. Verschiedene GH-Gase haben sehr unterschiedliche Lebensdauern in der Atmosphäre, und ihr GWP hängt davon ab, wie die Gaskonzentration im Laufe der Zeit abnimmt. Dies spiegelt sich im GWP-Wert über einen bestimmten

Zeithorizont wider. Der GWP-Wert von Kohlendioxid wird auf 1 normiert, während er für die anderen Gase relativ zum Kohlendioxid ausgedrückt wird. GWP-Werte sind aus vielen verschiedenen Quellen verfügbar. Im Idealfall würde eine Straßenbehörde je nach Verfügbarkeit, Werte aus ihrem eigenen nationalen Leitfaden zur Bewertung von CO₂-Emissionen verwenden. Der Gesamtwert für das CO₂e für alle zu bewertenden Treibhausgase kann dann in der zuvor beschriebenen Indikatorberechnung verwendet werden, wobei das gesamte CO₂e den CO₂-Wert für Kohlenstoff allein ersetzt.

Die entscheidende Frage, die es zu beantworten gilt, ist die prozentuale Reduktion der Emissionen, die durch die Verbesserung des Straßenoberflächenzustandes verursacht wird. In diesem Zusammenhang sind die wichtigsten Indikatoren die Längsebenheit (Rauheit, Glätte) und die Verformung (Deflektion) des Fahrbahnbelags unter der Achslast eines Lkw (ausgedrückt durch den Rollwiderstand). In vielen Fällen sind grundlegende Informationen für die Berechnung eines solchen Reduktionsfaktors nicht verfügbar und Studien zu diesem Thema bieten eine hohe Variationsbreite. Dennoch ist es wichtig, dass dieser Effekt bewertet und berücksichtigt wird, insbesondere wenn aufgrund eines Erhaltungsprojekts eine deutliche Verbesserung der beiden Indikatoren (Längsebenheit und Rollwiderstand) erwartet werden kann. Die Grundidee der Verwendung eines Reduktionsfaktors wird im folgenden allgemeinen Ansatz beschrieben, der den JDTV-Wert und die durchschnittliche Emission pro Fahrzeug verwendet (prinzipiell könnte auch nach PKW und LKW getrennt werden).

$$bEm_{LQ(GHG),s} = JDTV_s \cdot mEm_{R_{LQ}(GHG)} \cdot 365 \quad (43)$$

$$aEm_{LQ(GHG),s} = JDTV_s \cdot mEm_{R_{LG}(GHG)} \cdot \left(1 - \frac{predEM_{LG(GHG),m,s}}{100}\right) \cdot 365 \quad (44)$$

$bEm_{LQ(GHG),s}$	jährliche Schadstoffemissionen (Luftqualität) oder GHG-Emissionen vor dem Erhaltungsprojekt m auf Abschnitt s [Tonnen]
$JDTV$	jährlicher durchschnittlicher täglicher Verkehr [Fzg/Tag]
$mEm_{R_{LQ}(GHG)}$	durchschnittliche Emissionsrate pro Fahrzeug [Tonnen]
$aEm_{LQ(GHG),s}$	jährliche Schadstoffemissionen (Luftqualität) oder GHG-Emissionen nach dem Erhaltungsprojekt m auf Abschnitt s [Tonnen]
$predEM_{LG(GHG),m,s}$	prozentualer Anteil der Reduzierung von Schadstoffemissionen (Luftqualität) oder GHG-Emissionen nach Erhaltungsprojekt m Abschnitt s [%]

Die Verringerung der Schadstoffemissionen nach dem Erhaltungsprojekt kann durch einen Vergleich der Emissionen vor und nach dem Erhaltungsprojekt berechnet werden. Ein mögliches Verfahren, wie in [23] beschrieben, hängt sowohl von der Längsebenheit (ausgedrückt durch den International Roughness Index -IRI) als auch vom Rollwiderstand ab.

Der Rollwiderstand (RR) von Fahrzeugen kann z.B. nach dem HDM-4-Modell (Highway Development and Management [24]) berechnet werden, der auf Makrotextur, IRI, Deflektion, klimatischen Auswirkungen, Anzahl der Fahrzeugräder und anderen Parametern basiert.

Der RR wird dann verwendet, um den Leistungsbedarf mit dem MOVES-Modell (EPA's Motor Vehicle Emission Simulator [25]) zu ermitteln. Aus dem Leistungsbedarf wird der Kraftstoffverbrauch abgeleitet, der die Grundlage für die geschätzten CO₂-Emissionen und den Energieverbrauch bildet. Das gesamte Verfahren ist in Abb. 8 unten dargestellt.

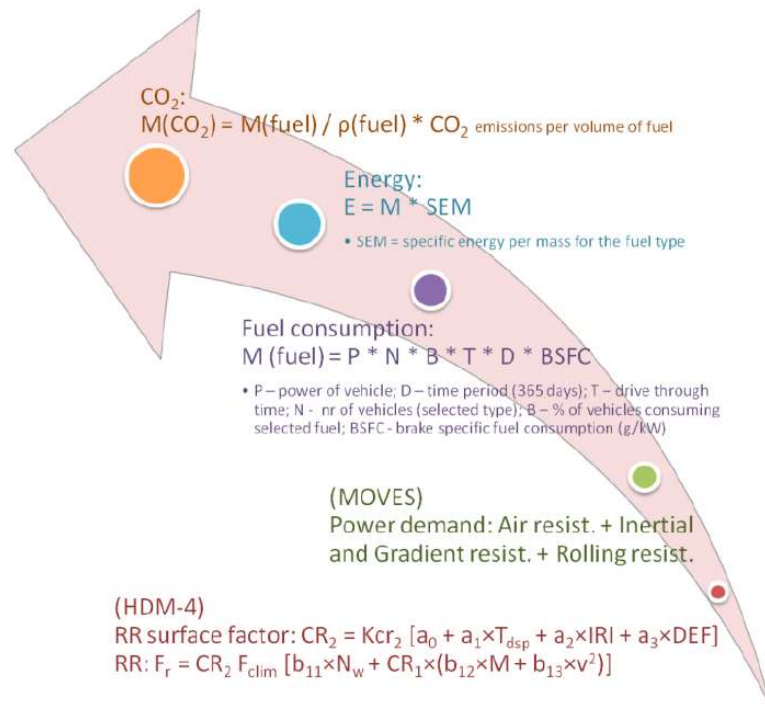


Abb. 8: Methodik zur Berechnung von CO₂-Emissionen [23]

Die monetären Einsparungen müssen über den Wirkungszeitraum t kumuliert werden, der mit Hilfe von Zustandsprognosemodellen für Längsebenheit und/oder Rollwiderstand geschätzt werden kann. Für die praktische Anwendung sollte der Barwert für die Kumulation über die Zeit verwendet werden.

$$\text{EinspKSTEm}_{LQ(GHG),s} = \sum_t (bEm_{LQ(GHG),s,t} - aEm_{LQ(GHG),s,t}) \cdot KR_{LQ(GHG)} \quad (45)$$

$\text{EinspKSTEm}_{LQ(GHG),s}$ Einsparungen bei Schadstoffemissionen (Luftqualität) oder GHG-Emissionen aufgrund von Erhaltungsprojekten m Abschnitt s [€]

$KR_{LQ(GHG)}$ durchschnittlicher Kostensatz für Schadstoffemissionen (Luftqualität) oder Treibhausgasemissionen [€/Tonne]

Darüber hinaus kann es notwendig sein, die Auswirkungen oder die Verringerung der Schadstoffemissionen auf die Stakeholdergruppe der Anrainer bzw. Anwohner zu bewerten, wobei die Anzahl der betroffenen Menschen vor und nach dem Erhaltungsprojekt zu berücksichtigen ist. Im Hinblick auf EVITA [17] sollte die Anzahl der Personen, die vor und nach dem Erhaltungsprojekt Konzentrationen oberhalb der (EU-) Grenzwerten ausgesetzt sind, untersucht oder geschätzt werden. Es gibt zwei solche Expositionsindikatoren, die von EVITA [17] vorgeschlagen werden: Expositionsindikator für NO₂ und für Feinstaub, gemessen als PM₁₀. Diese basieren auf den Emissionsraten des Verkehrs auf der zu beurteilenden Straße und den zu betreibenden Luftverschmutzungsausbreitungsmodellen, der Lage von Grundstücken in Straßennähe und der Statistik der Bevölkerungsdichte entlang der Straßenverkehrsinfrastruktur.

Ein vereinfachter Ansatz zur Berechnung von Kosteneinsparungen, einschließlich der monetären Einsparungen aus medizinischer Sicht für die Anrainer bzw. Anwohner durch eine verbesserte Luftqualität, wird in ISABELA wie folgt dargestellt:

$$\text{EinspKSTEm}_{N_{LQ},s} = (bPAexp_s - aPAexp_s) \cdot addKRmed_{LQ} \quad (46)$$

$EinspKSTEmN_{LQ,s}$	Einsparungen bei den medizinischen Kosten, die durch umweltschädliche Emissionen (Luftqualität) oder THG-Emissionen verursacht werden aufgrund von Erhaltungsprojekten m Abschnitt s [€]
$bPAexp_s$	Anzahl der Personen, die vor dem Projekt Konzentrationen über dem (EU-)Grenzwert ausgesetzt waren m auf Straßenabschnitten s
$aPAexp_s$	Anzahl der Personen, die Konzentrationen über dem (EU-) Grenzwert ausgesetzt sind, nach Erhaltungsprojekt m auf Straßenabschnitt s
$addKRmed_{LQ}$	durchschnittlicher zusätzlicher medizinischer Kostensatz pro Person, die von Schadstoffemissionen über dem (EU-) Grenzwert betroffen ist [€/Person]

4.7.4 Umweltauswirkungen von Recyclingmaterial und Berücksichtigung der eingebrachten (grauen) Energie

4.7.4.1 Einsparungen bei den Umweltkosten durch die Verwendung von Recyclingmaterial und energiearmen Materialien

Ein großer Vorteil bei der Verwendung von recycelten und/oder energiearmen Materialien ist die Reduzierung der Umweltkosten und die nachhaltige Verwendung von Rohstoffen [26]. Die Auswirkung auf diesen Aspekt hängt einerseits mit dem Prozentsatz des verwendeten Recyclingbaustoffes zusammen und ist andererseits stark von der Umweltbelastung durch den Baustoff selbst abhängig. Natürlich sind auch die Art des Recyclings oder die Verwendung energiearmer Materialien und die Methoden deren Anwendung im Erhaltungsprojekt von Bedeutung. Im Detail ist dies ein sehr komplexes Thema, das in der Regel nur mit detaillierten Daten über Baustoffe und spezifische Umweltauswirkungen beantwortet werden kann. Auch wenn diese Informationen in den meisten Fällen für viele Erhaltungsprojekte schwer zu beschaffen sein mögen, handelt es sich um ein wichtiges Thema, und es sollte zumindest eine allgemeine Bewertung vorgenommen werden. Daher ist der folgende allgemeine Ansatz eine einfache Lösung zur Berücksichtigung der Menge (des Prozentsatzes) an Recyclingbaustoffen und/oder Niedrigenergiebaustoffen und der Differenz zwischen den Einheitspreisen für Neumaterial und Recycling oder Niedrigenergie-Komponenten. Es wird hier angenommen, dass die Differenz der Einheitspreise die monetären Umweltauswirkungen der wichtigsten Teile des Konstruktions- und Produktionsprozesses abbildet.

Dieser allgemeine Ansatz bezieht sich in ISABELA nur auf Asphalt und Zementbeton von Straßenoberbaukonstruktionen, bei denen es sich in der Regel um die wichtigsten Baumaterialien innerhalb eines Erhaltungsprojekts handelt und dies auch aus der Sicht von bereits durchgeführten Öko-Bilanzen (siehe KOMBAS-Projekt [52]). Für die praktische Anwendung dieses allgemeinen Ansatzes können die folgenden Ausdrücke verwendet werden:

$$\begin{aligned}
 E_{inspRecyKST_{s,m}} &= \\
 &= t_{Asphalt_m} \cdot \frac{p_{Recy_{Asphalt,m}}}{100} \cdot \Delta EP_{Asphalt,m} + t_{Beton_m} \cdot \frac{p_{Recy_{Beton,m}}}{100} \cdot \Delta EP_{Beton,m}
 \end{aligned} \tag{47}$$

$E_{inspRecyKST_{s,m}}$	Einsparungen bei den Umweltkosten durch die Verwendung von Recycling und/oder energiearmen Baustoffen [€]
$t_{Asphalt_m}$	Gesamtmenge des Asphalts im Erhaltungsprojekt m [Tonnen]
t_{Beton_m}	Gesamtmenge des Zementbetons im Erhaltungsprojekt m [Tonnen]
$p_{Recy_{Asphalt,m}}$	Prozentsatz des Recyclingmaterial in den Asphaltsschichten des Erhaltungsprojekts m [%]

$pRecy_{Beton,m}$	Prozentsatz von Recyclingmaterial im Betonbau/-schichten und/oder Niedrigenergiematerial des Erhaltungsprojekts m [%]
$\Delta EP_{Aspha .m}$	Preisdifferenz pro Einheit für Asphalt ohne und mit Recycling und/oder energiearmem Material des Projekts m [€/Tonne].
$\Delta EP_{Beton,m}$	Preisdifferenz pro Einheit für Zementbeton ohne und mit Recycling und/oder energiearmem Material des Projekts m [€/t]

Natürlich kann der Ansatz auch auf andere Arten von Materialien (z.B. ungebundene Materialien) ausgedehnt werden, um die Nutzung natürlicher Ressourcen zu erhalten oder einzuschränken und den Energieverbrauch zu reduzieren. In jedem Fall hat EVITA [17] zwei Umwelt-KPIs entwickelt: Material Resource Efficiency Indicator (MREI) und Embodied Carbon Reduction Indicator (ECRI), die in diesem Bereich von Nutzen sein können.

Der MREI basiert auf der Masse und errechnet sich aus der Menge des beim Bau verwendeten Recyclingmaterials und dem gesamten verwendeten Material. Er erlaubt es der Straßenverwaltung, eine Reihe von optionalen Gewichtungsfaktoren zu wählen. Diese Faktoren ermöglichen es der Straßenverwaltung, ein bestimmtes Verhalten eines Projekts zu fördern, das auf den lokalen Faktoren basiert, die sich auf die natürlichen Ressourcen auswirken. Die Faktoren sind dabei entsprechend den örtlichen Erfahrungen und Prioritäten zu modifizieren. Der MREI würde dann als $pRecy_{Asphalt,m}$ oder $pRecy_{Beton,m}$ in der obigen Gleichung (47) Eingang finden.

Im Rahmen dieser Betrachtung sollte jedoch auch überprüft werden, ob es tatsächlich aus der Sicht der Umwelt sinnvoll ist, Recyclingbaustoffe um jeden Preis zu verwenden, da z.B. der Transport von Recyclingmaterial aus großen Entfernungen auch eine größere Auswirkung auf die Umweltbilanz haben könnte als die Verwendung von lokal beschafftem Neumaterial. Die Gewichtungsfaktoren sollten daher sorgfältig geprüft werden und nicht dazu ermutigen, große Mengen an Recyclingmaterial zu suchen, wenn Neumaterial eine bessere Wahl sein könnte.

4.7.4.2 Einsparungen bei den Umweltkosten durch die Senkung der eingebrachten (grauen) Energie

Kohlendioxidemissionen treten in allen Phasen des Lebenszyklus eines Bauprodukts auf. Daher muss bei der Berechnung des enthaltenen Kohlendioxids (ECD in EVITA [4]) der vollständig enthaltene Kohlenstoff auf der Grundlage des vollständigen Lebenszyklus berücksichtigt werden.

Verschiedene Produktionsmethoden verwenden unterschiedliche Mengen an natürlichen Ressourcen und haben unterschiedliche Energieintensitäten. Der Einsatz kohlenstoffarmer und energieeffizienter Verfahren sollte grundsätzlich gefördert werden, um den Verbrauch natürlicher Ressourcen bei der Produktion und der Nutzung von Energie beim Bau und der Erhaltung von Straßen zu minimieren. Die Energie und der Kohlenstoff, die für die Herstellung von Materialien und den Bau- und Erhaltungsprozess verwendet werden, werden als eingebrachte oder „graue“ Energie bzw. "embodied energy" bezeichnet. Die Ergebnisse werden daher in kg CO₂ pro Funktionseinheit, z.B. km oder Tonnen, angegeben (eingebrachtes Kohlendioxid, engl. embodied carbon).

ECD kann verwendet werden, um den Unterschied in den CO₂-Emissionen für den Bau und die Erhaltung der Infrastruktur mit verschiedenen Strategien zu bewerten.

Zur Berechnung der Einsparungen bei der Wahl der am besten geeigneten Alternative in Bezug auf eingebrachtes Kohlendioxid für ein Erhaltungsprojekt kann der folgende Ansatz verwendet werden:

$$EinspECD_{s,m} = (ECD_{Alt1,m} - ECD_{Alt2,m}) \cdot EP_{CO2,FE} \quad (48)$$

$EinspECD_{s,m}$	Einsparungen bei den Umweltkosten aufgrund von eingebrachtem Kohlendioxid für Projekt m auf Abschnitt s [€]
------------------	---

$ECD_{Alt1,m}$	graue Energie (eingebrachtes Kohlendioxid) für Alternative 1 bei der Vorbereitung des Erhaltungsprojekts m [kg CO ₂]
$ECD_{Alt2,m}$	graue Energie (eingebrachtes Kohlendioxid) für Alternative 2 bei der Vorbereitung des Erhaltungsprojekts m [kg CO ₂]
$EP_{CO_2,FE}$	Einheitspreis für graue Energie [€/t pro Funktionseinheit]

4.7.5 Einsparung von Umweltkosten durch die Reduzierung der Lärmemission

Die Verringerung der Lärmemission kann eines der Hauptziele von Erhaltungsprojekten der Straßeninfrastruktur sein. Innerhalb eines Erhaltungsprojekts gibt es verschiedene Möglichkeiten die lokale Lärmsituation zu beeinflussen, entweder auf der Fahrbahn selbst oder durch straßenseitige Lärmschutzeinrichtungen wie Lärmschutzwände, Lärmschutzwälle oder Dämme aber auch durch verkehrsbeeinflussende Maßnahmen, wie z.B. die Reduktion der Geschwindigkeit (permanent oder temporär). Unabhängig von der Art der Maßnahme ist in diesem Zusammenhang die langfristige Wirkung entscheidend. Daher ist es notwendig, die Wirkung der Maßnahme zu bewerten und die Einsparungen über einen bestimmten Zeitraum zu berechnen.

Für die Modellierung dieses (Langzeit-)Effekts sollten die beiden Hauptparameter berücksichtigt werden:

- Anzahl der Personen, die vom Erhaltungsprojekt aus lärmtechnischer Sicht positiv beeinflusst werden (Einflussbereich)
- Zeitabhängige Wirkung des Erhaltungsprojekts aus lärmtechnischer Sicht (effektive Wirkungsdauer).

Für die Quantifizierung des Wirkungsbereichs sollten die in Europa und somit auch in Österreich standardisierten Lärmkarten verwendet werden (Stichwort Lärmkataster). Komplexer ist die Beurteilung der Wirkung und der Wirkungsdauer eines Erhaltungsprojekts. Deshalb sollten Simulationen mit verschiedenen Lärmmodellen und -szenarien durchgeführt werden, die in der Regel nur für Straßenneubauten oder sehr intensive Erhaltungsprojekte zur Verfügung stehen. Um einen anwendbaren Ansatz zu bieten, stellte ISABELA eine vereinfachte Lösung vor, die auf das gesamte Netz angewendet werden kann. Natürlich muss dieser Ansatz an die lokale Situation und die Erfahrungen der Straßenverwaltung angepasst werden.

Die folgende Tab. 12 und Tab. 13 zeigen Beispiele für die Einwirkungszeiträume auf den Lärm, die durch das Erhaltungsprojekt m verursacht werden.

Tab. 12: Beispiele für die Definition der Wirkungsdauer von Lärm für Fahrbahnbeläge nach [12]

KatWirkdL _m	Beschreibung	Beispiel für den Zeitraum der Lärmwirkungen $T_{effl,m}$
A	Keine Auswirkung auf die Lärmemission	0 Jahre
B	Geringe Auswirkungen auf die Lärmemission (geringfügige Verbesserungen am Fahrbahnbelag)	3 Jahre
C	Mittelfristige Auswirkungen auf die Lärmemission (neuer lärmmindernder Belag)	10 Jahre

Tab. 13: Beispiele für die Definition der Wirkungsdauer von Lärm für Lärmschutzwände nach [12]

KatWirkdL _m	Beschreibung	Beispiel für den Zeiträumen der Lärmwirkungen $T_{effL,m}$
A	Keine Auswirkung auf die Lärmemission	0 Jahre
B	Geringe Auswirkungen auf die Lärmemission (geringfügige Verbesserungen an Lärmschutzwänden)	3 Jahre
C	Mittelfristige Auswirkungen auf die Lärmemission (Erweiterung von Lärmschutzwänden)	10 Jahre
D	Langfristige Auswirkungen auf die Lärmemission (neue Lärmschutzwände)	20 Jahre

Die Verringerung der Wirkung beruht auf einem linearen Ansatz bis zum Ende der Wirkungs-
dauer. Für die Schätzung der Einsparungen kann folgender Ausdruck verwendet werden:

$$EinspLärmKST_{s,m} = (bPLbetr_{s,m} - aPLbetr_{s,m}) \cdot \frac{T_{betrL,m}}{2} \cdot KR_{Lärm,n} \quad (49)$$

$EinspLärmKST_{s,m}$ Einsparungen bei den Umweltkosten durch die Reduzierung der Lärmemission [€]

$bPLbetr_{s,m}$ Anzahl der vom Verkehrslärm betroffenen Personen vor dem Erhaltungsprojekt m auf Straßenabschnitten s [Personen]

$aPLbetr_{s,m}$ Anzahl der vom Verkehrslärm betroffenen Personen nach Erhaltungsprojekt m auf Straßenabschnitt s [Personen]

$T_{betrL,m}$ geschätzte Zeit der lärmindernden Wirkung des Erhaltungsprojekts m [-] (siehe Tab. 12 und Tab. 13)

$KR_{Lärm,n}$ Kostensatz Lärm pro betroffene Person [€/Person Jahr]

Anstatt einfach die Differenz zwischen der Anzahl der vom Verkehrslärm betroffenen Personen vor und nach dem Erhaltungsprojekt zu berechnen, können auch die technischen Projektparameter (TPs) zur Berechnung von Umweltindizes, wie sie von EVITA [17] definiert werden, angewendet werden:

- $EPI_{Lärm,TAN}$: Umweltindex für die Tag-Abend-Nacht-Lärmbelastung; der Prozentsatz der Menschen, die in dem Gebiet leben und während der Tag-Abend-Nacht-Periode einem Lärmpegel ausgesetzt sind, der höher ist als der gesetzliche (oder empfohlene) Schwellenwert
- $EPI_{Lärm,Nacht}$: Umweltindex für nächtliche Lärmbelastung; der Prozentsatz der Menschen, die in dem Gebiet wohnen und während der Nacht einem Lärmpegel ausgesetzt sind, der über dem gesetzlichen (oder empfohlenen) Schwellenwert liegt
- $EPI_{Lärm,\%SB}$: Umweltindex für Lärmbelastung und Belästigung; der Prozentsatz der exponierten Bevölkerung, der durch den Straßenverkehrslärm während der Tag-Abend-Nacht-Zeit stark belästigt wird
- $EPI_{Lärm,\%HSD}$: Umweltindex für schwere Schlafstörungen; der Prozentsatz der exponierten Bevölkerung, der während der Nacht stark durch den Straßenverkehrslärm unter schweren Schlafstörungen leiden

In diesem Fall sind die technischen Parameter, die als Prozentsätze berechnet werden, mit der Gesamtzahl der Personen zu multiplizieren, die entlang eines Straßenabschnitts dem Lärm ausgesetzt sind.

Darüber hinaus ist anzumerken, dass die Wirkungen von Lärm entlang einer Straße in Abhängigkeit von der Distanz der Emissionsquelle unterschiedlich sind. Daher wäre es auch möglich, entsprechende „Wirkungszonen“ in die Berechnungen miteinzubeziehen, was im Rahmen der praktischen Testanwendung von ISABELA in Belgien (flämischer Teil) vorgenommen wurde.

4.8 Sozioökonomische Aspekte

Der sozioökonomische Bereich deckt verschiedene Aspekte ab, vom Anlagewert über die Kosteneffizienz bis hin zu weiterreichenden sozioökonomischen Auswirkungen von Erhaltungsprojekten. Dieses Spektrum ist recht unterschiedlich und muss für den Modellierungsteil spezifiziert werden.

Die Anlagenwerte werden direkt durch die Investitionen eines Erhaltungsprojekts erhöht, so dass die Kosten eines Erhaltungsprojekts diesen Aspekt abdecken. Wenn die Kosten des Erhaltungsprojekts aus wirtschaftlicher Sicht bewertet werden, sollte der Anlagewert nicht berücksichtigt werden (um die Duplikation sozialer Auswirkungen zu vermeiden).

Die Kosteneffizienz ist in der Regel ein Indikator, der bei der Auswahl anlagespezifischer Erhaltungsmaßnahmen als Ergebnis eines Vergleichs zwischen Maßnahmenkosten und monetärem oder nicht-monetärem Nutzen (z.B. mit Hilfe einer Kosten-Nutzen-Analyse) verwendet wird. Innerhalb eines Erhaltungsprojekts, das als eine Kombination verschiedener anlagespezifischer Erhaltungsmaßnahmen definiert ist, sollte die Kosteneffizienz bereits durch die Auswahl der "besten" anlagespezifischen Erhaltungsmaßnahmenalternative (mit der höchsten Kosteneffizienz unter gegebenen budgetären und technischen Einschränkungen) berücksichtigt werden. Daher ist die Kosteneffizienz für ein Erhaltungsprojekt in diesem Fall von untergeordneter Bedeutung.

Um umfassendere sozioökonomische Auswirkungen von Erhaltungsprogrammen zu modellieren, ist es notwendig, die Bedeutung des Straßeninfrastrukturnetzes für die Wirtschaft und die soziale Lage einzubeziehen. Fragen wie "Wie wirkt sich eine Verringerung der Zahl der Erhaltungsprojekte auf die soziale Situation in einem Land oder einer Region aus?" oder "Wie wirken sich geringe Erhaltungsinvestitionen und damit ein schlechterer Zustand des Straßennetzes auf die Wirtschaft aus?" müssen in diesem Zusammenhang untersucht und schließlich beantwortet werden, da vor allem politische Entscheidungsträger häufig diese Argumentation vorbringen. Die aktuelle Literatur bietet nur sehr allgemeine Aussagen, die entweder für das Asset Management nicht anwendbar oder zu komplex sind, um sie in das eigentliche Problem zu integrieren. Nichtsdestotrotz bot ISABELA neue Möglichkeiten für die Bewertung weitergehender sozioökonomischer Auswirkungen.

In einem ersten Ansatz konzentrierte sich ISABELA auf die beiden folgenden sozioökonomischen Hauptaspekte:

- Auswirkungen auf die Beschäftigungssituation durch ein Erhaltungsprogramm (als wesentlicher Anteil in der Bauindustrie, Stichwort "Impuls- und Stimulationsprogramme der Beschäftigungspolitik")
- Bewertung der volkswirtschaftlichen Bedeutung von Investitionen in die Straßenerhaltung (zur Beantwortung der oben aufgeführten Fragen).

Natürlich gibt es mehr sozioökonomische Aspekte, die zwar wichtig, aber aufgrund fehlender oder schwacher Korrelationen zwischen Anlagenzustand, Erhaltungsprojekten und sozioökonomischen Indikatoren schwer zu bewerten sind. Im Vergleich zu den anderen sozialen Bereichen, in denen eine hohe Anzahl technischer Parameter einbezogen wird, richteten sich die sozioökonomischen Modelle direkt auf Kostenparameter, so dass ein Normierungsprozess zwischen nicht monetarisierten Parametern und Kosten nicht notwendig ist.

In der Grundliste der sozioökonomischen Indikatoren sind auch die verschiedenen Kostenarten aufgeführt. Die Kosten sind das Ergebnis der verschiedenen Aspekte und werden in den verschiedenen Kapiteln ausführlich erläutert.

4.8.1 Auswirkungen auf die Beschäftigungssituation durch ein Erhaltungsprogramm

Als Ergebnis der Untersuchungen und der Diskussion ist einer der wichtigen sozioökonomischen Effekte der Einfluss von Investitionen, die durch Straßenerhaltungsprojekte verursacht werden, auf die Beschäftigung der Bauindustrie im Bereich des Straßenbaus und der Straßenerhaltung.

Ein Indikator für die Beurteilung dieses Effekts sind die Gesamtumsätze der Bauwirtschaft im Verhältnis zum Anteil der Bauwirtschaft am BIP. Daher ist es notwendig, herauszufinden, wie hoch die Umsatzerlöse für ein bestimmtes Erhaltungsprojekt m sind. Ein vereinfachter Ansatz ist die Multiplikation der Kosten des Erhaltungsprojekts m mit dem Quotienten aus den Gesamteinnahmen der Bauindustrie $tEinn_{Bauind}$ und dem Anteil der Bauindustrie am BIP. Im nächsten Schritt kann diese Zahl mit dem Umsatz pro Person im Baugewerbe in Beziehung gesetzt werden, was die Grundlage für die Berechnung einer theoretischen Mitarbeiterzahl für das Erhaltungsprojekt m bildet. Diese theoretische Mitarbeiterzahl und die Kosten für einen Arbeitslosen ermöglichen, die monetären Auswirkungen auf die Sozialkosten für die Projektdauer wie folgt zu berechnen. Diese Annahme setzt voraus, dass die in einem Erhaltungsprojekt eingebundenen Arbeiter einerseits einen hohen Spezialisierungsgrad aufweisen und andererseits in anderen Bereichen der Bauindustrie nur sehr schwer einsetzbar sind. Darüber hinaus besteht auch die Annahme, dass bei einer deutlichen Reduktion von Erhaltungsprojekten aufgrund von wirtschaftlichen Problemen in der Bauindustrie auch andere Sektoren (z.B. Hochbau) davon betroffen sind und ein Transfer von Personal in einen anderen Bausektor nur in geringem Ausmaß stattfinden kann. Ungeachtet dessen, muss hier nochmals erwähnt werden, dass diese Art der Modellierung nur sehr generell erfolgen kann und die hier getroffenen Annahmen auch für ein zu untersuchendes Straßennetz anwendbar sind. Da im Rahmen des ISABELA-Projektes eine größere Anzahl von europäischen Ländern eingebunden waren, hat dieser Aspekt in manchen Ländern eine deutliche höhere Bedeutung als in anderen.

$$EinspSozKST_{s,m} = \frac{Einn_m}{EinnP_{Bauind}} \cdot KR_{Arbeitsl} \cdot \frac{D_m}{365} \quad (50)$$

$$Einn_m = KST_m \cdot \frac{tEinn_{Bauind}}{BIP \cdot \frac{pBIP_{Bauind}}{100}} \quad (51)$$

$EinspSozKST_{s,m}$	Einsparungen bei den Sozialkosten (Arbeitslosenkosten) aufgrund des Erhaltungsprojekts m [€]
KST_m	Kosten des Erhaltungsprojekts m [€]
$EinnP_{Bauind}$	Umsatzerlös pro Person in der Bauindustrie [€/Person.Jahr]
$KR_{Arbeitsl}$	Sozialkosten pro Arbeitslosen [€/Person.Jahr]
BIP	Bruttoinlandsprodukt [Mio. €]
$pBIP_{Bauind}$	Anteil der Bauindustrie am BIP [%]
$Einn_m$	Umsatzerlös des Projekts m [€]
$tEinn_{Bauind}$	Gesamtumsatz Bauindustrie [€]
D_m	Dauer des Erhaltungsprojekts m [Tage]

Dieser vereinfachte und theoretische Ansatz gibt der Straßenverwaltung die Möglichkeit, eine Korrelation zwischen Investitionen und sozialen Kosten, die durch die Beschäftigung neuer Arbeitskräfte aus der Bauindustrie verursacht werden, anzubieten. Natürlich erhöht die theoretische Zahl der arbeitslosen Arbeitnehmer aufgrund der Nichtdurchführung eines Erhaltungspro-

jekts nicht zwangsweise die Arbeitslosenquote der Bauindustrie, da die betroffenen Arbeitnehmer in der Regel für andere Bauprojekte eingesetzt werden, sofern nicht, wie oben beschrieben, die wirtschaftliche Situation dies deutlich beeinträchtigt. Dennoch ist es wichtig, den Anteil der Straßenerhaltungsprojekte an der Beschäftigungssituation in der Bauwirtschaft aus sozioökonomischer Sicht aufzuzeigen und zu bewerten. In ähnlicher Weise ist es möglich, andere Arbeitsbereiche einzubeziehen, die von einem Erhaltungsbauprogramm betroffen sein können (Ingenieurwesen, Produktionsindustrie etc.).

4.8.2 Auswirkungen von Straßenerhaltungsinvestitionen auf die Wirtschaft

Für die allgemeine Beurteilung des Erhaltungsprojekts m auf die Wirtschaft ist es notwendig, herauszufinden, wie hoch der theoretische Anteil des Bruttoinlandsprodukts (BIP) auf Straßenabschnitten s ist und welche theoretische monetäre Wirkung die Investition des Erhaltungsprojekts m bzw. die Nicht-Investition auf das BIP eines Landes hat.

Um den theoretischen Anteil des BIP auf den Straßenabschnitt s zu berechnen bzw. herunterzubrechen, wird die Verkehrskapazität des Abschnitts s , des Netzes n und der gesamten Straßeninfrastruktur des Landes, in dem sich das Netz n befindet, als Haupteingangsparameter verwendet. Die Berechnung besteht aus den folgenden 3 Schritten:

- Berechnung der Verkehrskapazität auf einem Abschnitt s innerhalb eines Jahres,
- Berechnung des prozentualen Anteils der Verkehrskapazität des Abschnitts s in einem Netz n unter Berücksichtigung der Gesamtverkehrskapazität des Netzes n (innerhalb eines Jahres),
- Berechnung des prozentualen Anteils der Verkehrskapazität des Netzes n am gesamten Straßeninfrastrukturnetz unter Berücksichtigung der Gesamtverkehrskapazität eines Landes (innerhalb eines Jahres).

$$VerkKap_s = \frac{JDTV_s \cdot L_s \cdot 365}{10^6} \quad (52)$$

$$pVerkKap_{n,s} = \frac{VerkKap_s}{VerkKap_n} \cdot 100 \quad (53)$$

$$pVerkKap_n = \frac{VerkKap_n}{tVerkKap} \cdot 100 \quad (54)$$

$VerkKap_s$	Verkehrskapazität auf Abschnitten im aktuellen Jahr [Mio.Fzg.km]
$pVerkKap_{n,s}$	prozentuale Verkehrskapazität des Abschnitts s im Netz n
$pVerkKap_n$	prozentuale Verkehrskapazität des Netzes n auf dem gesamten Straßeninfrastrukturnetz
$VerkKap_n$	Verkehrskapazität auf Netz n pro Jahr [Mio.Fzg.km]
$tVerkKap$	Gesamtverkehrskapazität pro Jahr [Mio.Fzg.km]

Der theoretische Anteil des BIP lässt sich theoretisch auf den Abschnitte s aufschlüsseln, indem man das gesamte BIP mit dem Anteil des BIP aus dem Verkehrssektor, mit dem Anteil des BIP aus dem Verkehrssektor auf der Straße, mit dem prozentualen Anteil der Verkehrsleistung des Netzes n am gesamten Straßeninfrastrukturnetz und schließlich mit dem prozentualen Anteil der Verkehrskapazität des Abschnitts s am Netz n multipliziert:

$$BIP_{Verkehr,s} = BIP \cdot \frac{pBIP_{Verkehr}}{100} \cdot \frac{pVerkKap_{Straße}}{100} \cdot \frac{pVerkKap_n}{100} \cdot \frac{pVerkKap_{n,s}}{100} \quad (55)$$

$BIP_{Verkehr,s}$	theoretischer Anteil des BIP auf Straßenabschnitten s [Mio.€]
$pBIP_{Verkehr}$	prozentualer Anteil des Verkehrsaufkommens am BIP [%]
$pVerkKap_{Straße}$	prozentualer Anteil der Verkehrs- und Transportkapazität des Straßeninfrastrukturnetzes an der Gesamtverkehrs- und Transportkapazität [%]

Um die Investitionen des Erhaltungsprojekts m am BIP zu berücksichtigen, muss es zu dem theoretischen Anteil des BIP auf Straßenabschnitten s und den Gesamtinvestitionen auf dem Netz n (aufgeschlüsselt auf Straßenabschnitten s durch Heranziehung der Verkehrskapazität) in Beziehung gesetzt werden:

$$AuswMakroÖkoKST_m = \frac{tJDI_{Inv_{Erh,n}} \cdot \frac{pVerkehrKap_{n,s}}{100}}{BIP_{Verkehr,s}} \cdot KST_m \quad (56)$$

$AuswMakroÖkoKST_m$	monetäre Auswirkungen auf die Makroökonomie durch das Erhaltungsprojekt m [€]
$tJDI_{Inv_{Erh,n}}$	durchschnittliche jährliche Gesamtinvestitionen in Erhaltungsprojekte des Netzes n [Mio. €]
KST_m	Kosten des Erhaltungsprojekts m [€]

Das Modell ermöglicht es somit, die Höhe der Erhaltungsinvestitionen am BIP abzuschätzen. Wenn die Investitionen höher sind, steigt auch der Anteil am BIP (je nach Bedeutung des Straßenabschnitts in Abhängigkeit von der Verkehrskapazität). Sind die Investitionen hingegen niedrig, wird auch der Anteil am BIP niedrig sein.

5 Definition sozialer Nutzen, sozialer Rückstand und Nachholbedarf

5.1 Einsatzgebiet

Das primäre Anwendungsgebiet der Definitionen und damit verbundenen Berechnungen für einen sozialen Nutzen sowie den sozialen Rückstand bzw. Nachholbedarf ist die Netzebene. Wie bereits in Kapitel 3.6 beschrieben, handelte es sich bei ISABELA [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15] primär um einen Ansatz auf Netzebene zur Bewertung von geplanten oder empfohlenen Erhaltungsprogrammen unter Berücksichtigung deren Spezifikationen auf Erhaltungsprojektebene. Da die Parameter für sozialen Nutzen und sozialen Rückstand ein ganzes Netz (oder Teilnetz) repräsentieren, müssen sie repräsentative Werte dieses untersuchten Netzwerks darstellen. Die grundlegenden Eingabewerte für das Berechnungsverfahren sind monetäre und nicht-monetäre Parameter, die verschiedene soziale Schlüsselindikatoren (S-KPI) definieren und die zur Beurteilung der verschiedenen sozialen Aspekte (Sicherheit, Verfügbarkeit, Umwelt und Sozioökonomie) herangezogen werden können. Um die Anforderungen und Erwartungen der Stakeholder einzubeziehen, ist es notwendig, die Erwartungen auf der technischen Ebene bereitzustellen, aber auch die sozialen Auswirkungen unter den Rahmenbedingungen dieser Erwartungen zu beschreiben.

5.2 Soziale Auswirkungen von Erhaltungsprojekten

5.2.1 Vergleich zwischen sozialen Einsparungen und sozialen Kosten

Die Berechnung der verschiedenen sozialen Auswirkungen eines Erhaltungsprojekts wurde in den vorangegangenen Kapiteln ausführlich beschrieben. Die Auswirkungen, ausgedrückt durch soziale Einsparungen und soziale Kosten bilden die Grundlage für die soziale Bewertung jedes einzelnen Erhaltungsprojekts. Um diese soziale Bewertung eines Erhaltungsprojektes durchzuführen, ist es notwendig, die Einsparungen mit den Kosten zu vergleichen und einen monetären Parameter zurückzugeben, der die gesamten sozialen Auswirkungen des Erhaltungsprojekts m ergibt. Dieser monetäre Parameter kann natürlich positiv oder negativ sein. Im Falle eines positiven Wertes sind die sozialen Einsparungen höher als die Kosten, im Falle eines negativen Wertes überwiegen die sozialen Kosten gegenüber den Einsparungen.

Unabhängig vom algebraischen Vorzeichen, muss ein Ausgleich zwischen den sozialen Einsparungen und den sozialen Kosten vorgenommen werden, wie in der folgenden Tab. 14 dargestellt. Für die praktische Anwendung sollte für die Einzelwerte (Einsparungen oder Kosten) der Kapitalwert verwendet werden, da die Berechnung der monetären Effekte unterschiedliche Zeiträume (z.B. Effektzeitraum) umfasst und das Anwendungsjahr des Erhaltungsprojekts nicht immer das tatsächliche Jahr oder Startjahr der Untersuchung bzw. Analyse ist.

Tab. 14: Bilanz für die Berechnung der gesamten sozialen Auswirkungen eines Erhaltungsprojekts [12]

Kategorie	Soziale Einsparungen (Einsparungen bei den Sozialkosten)	Soziale Kosten (zusätzliche Sozialkosten)
Soziale Kategorie X	$EinspXKST_{s,m}$	$zusXKST_{s,m}$
Soziale Auswirkungen insgesamt	$MsozAusw_{s,m}$	

Um die gesamten sozialen Auswirkungen eines Erhaltungsprojekts m zu berechnen, kann die folgende Gleichung angewendet werden:

$$SozEinsp_{s,m} = \sum_X EinspXKST_{s,m} \quad (57)$$

$$SozKST_{s,m} = \sum_X zusXKST_{s,m} \quad (58)$$

$SozEinsp_{s,m}$	soziale Einsparungen des Erhaltungsprojekts m auf Abschnitt s [€]
$SozKST_{s,m}$	soziale (zusätzliche) Kosten des Erhaltungsprojekts m auf dem Abschnitt s [€]
$SozKST_{s,m}$	Einsparungen bei den Sozialkosten der Kategorie (Aspekt) X aufgrund vom Erhaltungsprojekt m auf Abschnitt s [€]
$zusXKST_{s,m}$	Zusätzliche Sozialkosten der Kategorie (Aspekt) X aufgrund vom Erhaltungsprojekt m auf Abschnitt s [€]

Die Differenz zwischen den Einsparungen an sozialen Kosten und den zusätzlichen sozialen Kosten ergibt die gesamten sozialen Auswirkungen des Erhaltungsprojekts m auf den Abschnitt s, ausgedrückt über einen monetären Wert. Dies kann, wie bereits erwähnt, ein positiver oder ein negativer Wert sein. Im Falle eines negativen Wertes sind die zusätzlichen sozialen Kosten höher als die sozialen Einsparungen.

$$M\text{SozAusw}_{s,m} = \text{SozEinsp}_{s,m} - \text{SozKST}_{s,m} \quad (59)$$

$M\text{SozAusw}_{s,m}$	monetäre soziale Auswirkungen des Erhaltungsprojekts m auf dem Abschnitt s [€]
$\text{SozEinsp}_{s,m}$	soziale Einsparungen des Erhaltungsprojekts m auf dem Abschnitt s [€]
$\text{SozKST}_{s,m}$	soziale Kosten des Erhaltungsprojekts m auf dem Abschnitt s [€]

Die Anwendung der in Tab. 14 dargestellten Bilanz auf die verschiedenen Modelle und sozialen Aspekte, die in den vorangegangenen Kapiteln vorgestellt wurden, kann in der folgenden Tab. 15 im Detail betrachtet werden.

Tab. 15: Vergleich soziale Einsparungen und soziale Kosten [12]

Kategorie	Soziale Einsparungen	Soziale Kosten
Verfügbarkeit und Beeinträchtigung		
Reisezeit		• Zusätzliche Reisezeitkosten aufgrund des Erhaltungsprojekts • Zusätzliche Reisezeitkosten aufgrund begrenzter Verfügbarkeit (eingeschränkter Zugang)
Fahrzeug-betriebskosten		• Zusätzliche Fahrzeugbetriebskosten durch Erhaltungsprojekt
Verkehrssicherheit		
Unfälle	Einsparungen bei den Verkehrssicherheitskosten nach dem Erhaltungsprojekt	• Zusätzliche Verkehrssicherheitskosten während des Erhaltungsprojekts
Umwelt		
Wasser und Boden	• Einsparungen bei den Umweltkosten durch eine Verbesserung des Entwässerungssystems im Zusammenhang mit Überschwemmungen wegen begrenzter Entwässerungskapazität im Vergleich zu danach • Kosteneinsparungen durch eine Verbesserung des Entwässerungssystems im Zusammenhang mit einem kritischen Unfall mit Wasser-/Bodenverunreinigung	
Luftqualität und THG-Emissionen	• Einsparungen bei Schadstoffemissionen (Luftqualität) oder THG-Emissionen • Einsparungen bei medizinischen Kosten aufgrund von Schadstoffemissionen (Luftqualität) oder THG-Emissionen	
Recycling	• Einsparungen bei den Umweltkosten durch die Verwendung von Recyclingmaterialien • Einsparungen bei den Umweltkosten durch die Senkung der eingebetteten Energie	
Lärm	Einsparung von Umweltkosten durch die Reduzierung der Lärmemission	
Sozioökonomie		
Gesamtsozio-ökonomie	• Einsparung von Sozialkosten (Arbeitslosenkosten) • Monetärer Effekt auf die Makroökonomie	
Gesamt	Gesamte sozialmonetäre Auswirkungen des Erhaltungsprojekts	

Welcher soziale Aspekt berücksichtigt werden sollte, hängt stark von den folgenden Punkten ab:

- Eingabeparameter sind verfügbar
- Modell ist nicht zu komplex und kann in der Praxis angewendet werden
- Hohes Potenzial zur Implementierung des Modells in ein Asset Management System (AMS)
- Modell nutzt bestehende Korrelationen und kann unter Verwendung lokaler Daten und lokaler Voraussetzungen angepasst und kalibriert werden
- Modell kann auf Erhaltungsprojekte eines (geplanten) Bauprogramms angewandt werden
- Modell beschreibt soziale Auswirkungen in geeigneter Form:
 - Wirkung ist erkennbar
 - Wirkung bezieht sich auf Asset Management
 - Wirkung kann monetarisiert werden
 - Wirkung kann zumindest zur Berechnung des sozialen Nutzens und des sozialen Rückstands verwendet werden.

Schließlich sollte die Straßenverwaltung entscheiden, welcher der sozialen Aspekte und die damit verbundenen Auswirkungen für das jeweilige Netz relevant sind. Das entwickelte ISABELA-Verfahren lässt sich leicht auf andere Gebiete und einen detaillierteren Ansatz unter Anwendung von präziseren Modellen aus lokalen Studien und Untersuchungen adaptieren oder erweitern. Im Rahmen der gegenständlichen Arbeit werden die Erkenntnisse auf das österreichische Autobahnen- und Schnellstraßennetz angewendet, wobei die zuvor aufgelisteten Kriterien für die örtliche Anpassung, Auswahl und Kalibrierung der Modelle eine maßgebende Grundlage dargestellt. Dort werden auch die entsprechenden Einschränkungen im Detail begründet.

5.2.2 Vergleich der Strategien

Obwohl die Berechnung der sozialen Auswirkungen einen absoluten Geldwert für ein Erhaltungsprojekt m liefert, wird dringend empfohlen, eine vergleichende Analyse durchzuführen, wo verschiedene Optionen (Maßnahmenstrategien) auf Abschnitt s gegenübergestellt werden. Zumindest sollten die sozialen Auswirkungen eines Erhaltungsprojekts m mit den Erhaltungsaktivitäten verglichen werden, die für den Erhalt der technischen Mindestanforderungen und -voraussetzungen eines Vermögenswerts durchgeführt werden müssen. Dies könnte eine „Nichts-Tun“ oder die Minimalstrategie sein. Diese technischen Mindestanforderungen und -voraussetzungen sind in der Regel durch technische Standards definiert und sollten integrativer Bestandteil des Berechnungsprozesses sein, was bedeutet, dass auch die sozialen Auswirkungen für alle einzelnen Optionen berechnet werden müssen.

6 Praktische Umsetzung zur Berechnung von sozialen Schlüsselindikatoren im Erhaltungsmanagement

Die Aufgabe der gegenständlichen Masterarbeit ist Überprüfung der Anwendbarkeit der im Projekt ISABELA entwickelten Modelle für das österreichische Autobahnen- und Schnellstraßennetz der Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft, kurz ASFINAG. Im Rahmen dieser Arbeit wird nur der Straßenoberbau behandelt, da für diesen Anlagentyp die entsprechenden Daten flächendeckend zur Verfügung stehen.

Dabei sollen die zur Verfügung stehenden Daten des ASFINAG Netzes herangezogen werden, die in der Datenbank IMT abgelegt und verwaltet werden. Es handelt sich bei diesen Daten sowohl um die Verkehrsdaten, Zustandsdaten, Unfalldaten und Inventardaten als auch um das fixierte 5-jährige Bauprogramm für den Straßenoberbau. Unter Heranziehung der sozialen Schlüsselindikatoren werden die sozialen Auswirkungen der geplanten Erhaltungsmaßnahmen abgeschätzt. Somit wird nur ein Teil des österreichischen Autobahnen- und Schnellstraßennetzes betrachtet, und zwar jener, in dem die fixierten Erhaltungsmaßnahmen in den nächsten 5 Jahren bereits geplant

sind. In der Zukunft kann ggf. eine umfassende Analyse aller Straßenabschnitte erfolgen, um bei Berücksichtigung der sozialen Schlüsselindikatoren auch die optimalen Erhaltungsmaßnahmen planen zu können.

Das Szenario mit vorgegebenen fixierten Erhaltungsmaßnahmen wird mit dem Nichts Tun Szenario verglichen, um die möglichen positiven oder negativen Auswirkungen darzustellen und somit die Zweckmäßigkeit der Erhaltungsmaßnahmen zu überprüfen.

6.1 Anpassung und Adaptierung der Modelle

Die zuvor in den Kapiteln 4 bis 5 beschriebenen Modelle wurden durch eine internationale Expertengruppe erstellt und dementsprechend sind nicht alle auf österreichische Verhältnisse anwendbar. Manche beinhalten Größen bzw. Koeffizienten, die in Österreich derzeit nicht verwendet und nicht gemessen werden.

Eines der Ziele der Masterarbeit ist es, so viele Modelle wie möglich anzuwenden. Selbstverständlich können sie nicht 1:1 übernommen werden, weil nicht immer alle notwendigen Grundlage- und Eingangsdaten vorhanden sind. Aus diesem Grund wird in den nachfolgenden Kapiteln versucht, die angeführten Modelle anzuwenden. Falls dies bei einem Modell nicht möglich ist, wird versucht, sie so anzupassen, dass die jeweiligen sozialen Schlüsselindikatoren für die Bewertung der sozialen Auswirkungen herangezogen werden können. In einigen Fällen müssen die Modelle gegebenenfalls vereinfacht werden, wobei dieser Prozess in den jeweiligen Kapiteln genau beschrieben wird. In einigen Fällen ist es auch erforderlich, die entsprechenden Daten bzw. Annahmen aus deutschen Grundlagen zu übernehmen, da man dort mit ähnlichen Rahmenbedingungen, wie z.B. Bauweisen, Richtlinien und anderen ähnlichen Verhältnissen (Klima) rechnen kann.

Sollten keine passenden Grundlagedaten gefunden werden und sollte das Modell nicht anpassungsfähig sein, können die entsprechenden Modelle nicht angesetzt werden. Es wird eine Empfehlung gegeben, wie diese in der Zukunft angesetzt werden könnten bzw. welche Daten dazu benötigt werden.

6.1.1 Reisezeit

Da keine detaillierten Verkehrssimulationen für das österreichische Autobahnen und Schnellstraßennetz im Rahmen der Erhaltungsplanung vorhanden sind bzw. für diese Arbeit zu Verfügung stehen, werden an dieser Stelle Näherungsverfahren angewendet.

6.1.1.1 Reisezeitermittlung auf Grundlage einer Abschätzung der Verkehrssituation

Verkehrsdaten sind in der IMT Datenbank vorhanden, sowohl aktuelle als auch historische aus den jährlichen Verkehrszählungen. Deshalb können für alle Analysen entsprechende JDTV- und JDTLV-Werte übernommen werden. Annahmen sind keine notwendig.

Was angepasst werden muss, sind die Anteile des Verkehrsaufkommens in Abhängigkeit von der gewählten Umleitung (Erfahrung eines Erhaltungsingenieurs) - erste Annahme, die ingenieurmäßig bewertet wurde.

Dabei wurde das Straßennetz auf einer Karte analysiert und für die einzelnen Abschnitte wurde überlegt, welche Umleitungsmöglichkeit es gibt. Die Abschnitte wurden unter Berücksichtigung ähnlicher Kriterien, wie im ursprünglichen ISABELA Bericht [12], in 4 Kategorien unterteilt. Jeder Kategorie wird ein Prozentanteil des Verkehrsaufkommens zugeordnet. Die Ergebnisse dieser Analyse werden in der nachfolgenden Tabelle dargestellt

Tab. 16: Umleitungskategorie (Annahme für österreichische Verhältnisse)

Uml_{Kat,s}	Beschreibung	Vorschlag für die Anteile des Verkehrsaufkommens in Abhängigkeit von der gewählten Umleitung p_{JDTV,Uml} / p_{JDTLV,Uml}
A	Keine Umleitung verfügbar oder sehr niedrige Kapazität auf Umleitungsstrecke	0%
B	Umleitung über Landesstraßennetz mit geringer Kapazität möglich	5%
C	Umleitung über parallele Landesstraßen möglich	40%
D	Umleitung mit hoher Kapazität und kurzem Umweg verfügbar	70%

Die Ergebnisse der Abschätzung der Umleitungskategorie der österreichischen Autobahnen und Schnellstraßen können dem Anhang A entnommen werden.

6.1.1.2 Reisezeitverlust infolge Geschwindigkeitsbeschränkung

Wie bereits im Kapitel 4.5.1.1.2 beschrieben, muss bei der Ermittlung des Zeitverlustes die Geschwindigkeitsbeschränkung im Baustellenbereich berücksichtigt werden. Die maximal zulässigen Geschwindigkeiten im Baustellenbereich in Abhängigkeit von der Fahrbahnbreite können der RVS 05.05.43 [27] entnommen werden.

Tab. 17: Zulässige Höchstgeschwindigkeiten im Baustellenbereich [27]

	Fahrstreifen Breite	Höchstgeschwindigkeit
Pkw	<3,00 m	60 km/h
Pkw + Lkw	<3,25 m	60 km/h
	2 Fahrstreifen ab 6 m gesamt	80 km/h
	3,25 – 3,50m	80 km/h

Im Rahmen dieser Masterarbeit werden folgende vereinfachte Erfahrungswerte festgelegt:
 $V_{m,s} = 130 \text{ km/h}$ maximal zulässige Geschwindigkeit auf den österreichischen Autobahnen und Schnellstraßen

$V_s = 80 \text{ km/h}$ maximal zulässige Geschwindigkeit im Baustellenbereich der österreichischen Autobahnen und Schnellstraßen

Da der Einfluss der Geschwindigkeitsreduktion auf den Verkehr während der Durchführung des Erhaltungsprojektes nur für die staufreien Stunden berechnet werden sollte, wurden aus Erfahrungen der zuständigen Erhaltungsingenieure folgende Mittelwerte zur Berücksichtigung der Verkehrssituation in Spitzenstunden angenommen. Dies kann natürlich von Projekt zu Projekt stark abweichen und hängt von der Art der Baustellenverkehrsführung ab. Eine Zielsetzung der ASFiNAG besteht jedoch in der Abwicklung von Erhaltungsprojekten mit einer minimalen Anzahl von Stautunden [28].

$p_{\text{offpeak},s} = 5\%$ stündlicher Verkehrsanteil des JDTVs außerhalb der Spitzenstunden [29]

$p_{\text{peak},s} = 9\%$ stündlicher Verkehrsanteil des JDTVs in Spitzenstunden [%] [29]

$H_{\text{Stau},s,m} = 2\text{h}$ angenommene Anzahl der Stautunden auf dem Straßenabschnitt s pro Tag aufgrund des Erhaltungsprojektes in der jeweiligen Morgen- und Abendspitzenstunde

Die Dauer des Erhaltungsprojektes hängt von der Abschnittslänge der Baustelle und der Maßnahmenart ab. „Grundsätzlich setzt sich die Gesamtdauer aus einem längenabhängigen Grundwert für Einrichtung und Abbau der Baustelle und die eventuell erforderliche Umlegung des Verkehrs von einem Fahrstreifen auf den anderen während der Bauzeit und einem maßnahmenbezogenen Leistungswert zusammen“ [30].

Die nachfolgende Tab. 18 stellt die durchschnittlichen täglichen Leistungswerte für Erhaltungsmaßnahmen dar, wie sie von den zuständigen Erhaltungsingenieuren im Rahmen der Dissertation "Entwicklung eines Nutzerkostenmoduls im österreichischen PMS" [30] beschrieben wurden. Diese Werte wurden mittels Umfragen bei Fachexperten sowie einem internationalen Vergleich aus dem OECD-Bericht zur "Evaluierung von 'Long-Life Pavements'" ermittelt. Zusätzlich wurden die Ergebnisse des ISABELA-Projekts [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15] herangezogen, um die Daten zu ergänzen.

Tab. 18: Durchschnittliche Tagesleistung für Erhaltungsmaßnahmen nach [30]

Art der Maßnahme		Tagesleistung [m ² /d]
E_AS	Erneuerung Oberbau in Asphaltbauweise	800
E_BE	Erneuerung Oberbau in Betonbauweise	600
I_DeckeTrag	Instandsetzung	
I_DE	Instandsetzung Decke	3.000
I_VT	Instandsetzung Tragschicht – Verstärkung im Tiefeinbau bzw. teilweise Tiefeinbau	2.000
I_Oberfläche	Instandsetzung Oberfläche	4.000
H_Oberfläche	Instandhaltung Fahrbahnoberfläche Fräsen	6.000
H_Substanz	Instandhaltung Oberbau	
H_BP	Beton – Auswechslung Betonplatten	160
H_FL	Asphalt – Flickstellen	1.750

Die angegebenen Werte können entsprechend den einzelnen Fahrstreifen, auf denen die Maßnahme durchgeführt wird, in Erhaltungskilometer pro Tag umgerechnet werden. In Kombination mit den festgelegten Fixwerten lässt sich die Dauer des Baustellenbetriebs ableiten. Zu den Fixwerten zählen die Zeit für Einrichtung und Abbau der Baustelle sowie gegebenenfalls die Umleitung des Verkehrs von einem Fahrstreifen auf den anderen während der Bauarbeiten [30].

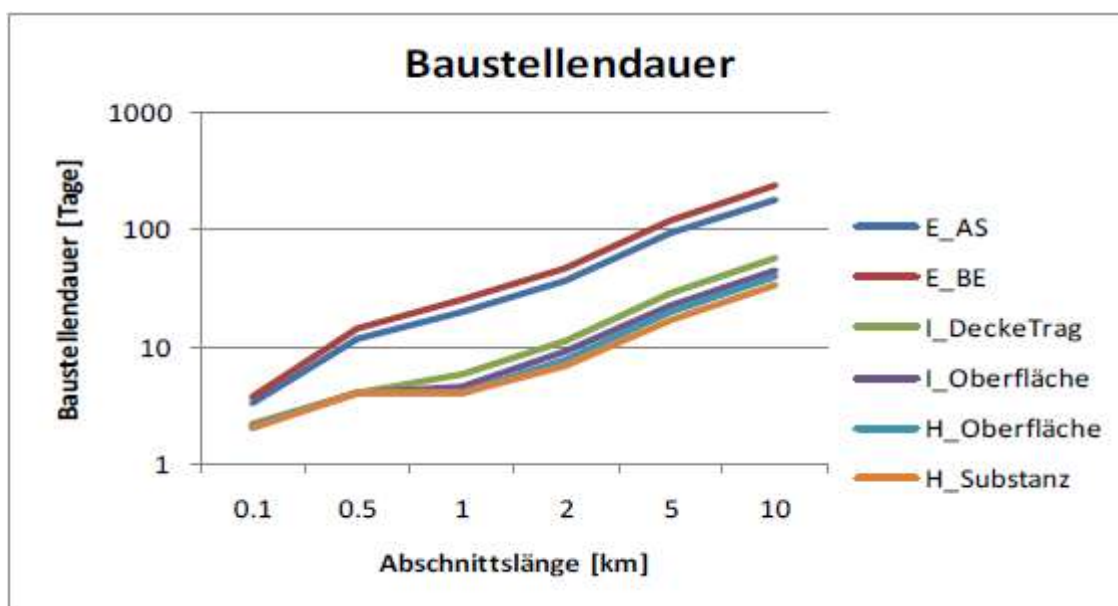


Abb. 9: Baustellendauer für unterschiedliche Maßnahmen bei Sperre einer Richtungsfahrbahn [30]

6.1.1.2.1 Zeitverlust infolge von Stau

Wie bereits im Kapitel 4.5.1.1.3 beschrieben, ist es von wesentlicher Bedeutung, den Zeitverlust, der aufgrund von Überlastungen im Normalbetrieb entsteht, von dem Zeitverlust aufgrund der Geschwindigkeitsbeschränkung im Baustellenbereich zu differenzieren.

Die Parameter, die zur Ermittlung des Zeitverlustes infolge Staus notwendig sind, wurden aus der Literatur entnommen bzw. wurden bereits im Kapitel 6.1.1.2 erläutert:

$V_{\text{Stau}}=30 \text{ km/h}$	durchschnittliche Geschwindigkeit im Stau [30]
$V_s=130 \text{ km/h}$	maximal zulässige Geschwindigkeit für Pkws
$V_s=80 \text{ km/h}$	maximal zulässige Geschwindigkeit für Lkws auf den österreichischen Autobahnen und Schnellstraßen

Um den Zeitverlust aufgrund von Erhaltungsprojekten ermitteln zu können, müssen zusätzlich die mittleren Staulängen vor und innerhalb des Baustellenbereiches ermittelt werden. In der Literatur findet man zahlreiche Modelle zur Nachbildung der Stauentwicklung, einige davon wurden unten aufgelistet:

- Makroskopische Modelle [31]
 - Fahrzeugfolgegleichung
 - Wahrnehmungsbasierte Folgeverhalten (psycho-physische Abstandmodelle)
 - Mikroskopische Verkehrssimulation mit Hilfe der Fuzzy-Logic
 - Mikroskopische Verkehrssimulation mit Zellularautomaten
- Stochastische Warteschlangenmodelle
- Makroskopische deterministische Warteschlangenmodelle
- Makroskopische deterministische Modelle (Fundamentaldiagramm)

Dabei stellt sich nun die Frage, welches der Modelle zur Entwicklung eines Stauprognoseverfahrens am geeignetsten erscheint.

BECKMAN stellt in [32] fest, dass die Abbildung eines Verkehrsablaufes mit Hilfe von makroskopischen Modellen und den stochastischen Warteschlangenmodellen eine Abschätzung einiger Parameter voraussetzt, die die Sensitivität des Systems beschreiben. Diese Aufgabe erwies sich in der Regel als ausgesprochen schwierig. Zudem benötigen beide der oben genannten Modelle ausreichend genaue und zahlreiche Eingangsdaten, um den Verkehrsablauf entsprechend nachbilden zu können. Eine Simulation anhand von historischen und damit zwangsläufig ungenauen Daten könnte zu maßgebenden Ungenauigkeiten führen.

Hinsichtlich der Handhabbarkeit schlägt Beckman [31] den Einsatz von Fundamentaldiagrammen vor, um die Stauentwicklung infolge von Tages- und Dauerbaustellen auf Autobahnen zu prognostizieren. Aus diesem Grund wird an dieser Stelle lediglich das makroskopische deterministische Modell (Fundamentaldiagramm) beschrieben. Die Erläuterung der anderen Modelle kann dem Forschungsbericht „Untersuchung und Eichung von Verfahren zur aktuellen Abschätzung von Staudauer und Staulängen infolge von Tages- und Dauerbaustellen auf Autobahnen, Beckma, Zackor“ [31] entnommen werden.

6.1.1.2.1.1 Makroskopisch deterministisches Modell (Fundamentaldiagramm)

Im Falle eines makroskopischen Modells wird der Verkehrsablauf anhand der kollektiven Variablen:

- Verkehrsstärke q
- Verkehrsdichte k und
- Mittlere Geschwindigkeit v_m abgebildet.

Das unten dargestellte Fundamentaldiagramm stellt den Zusammenhang zwischen den oben genannten Größen dar.

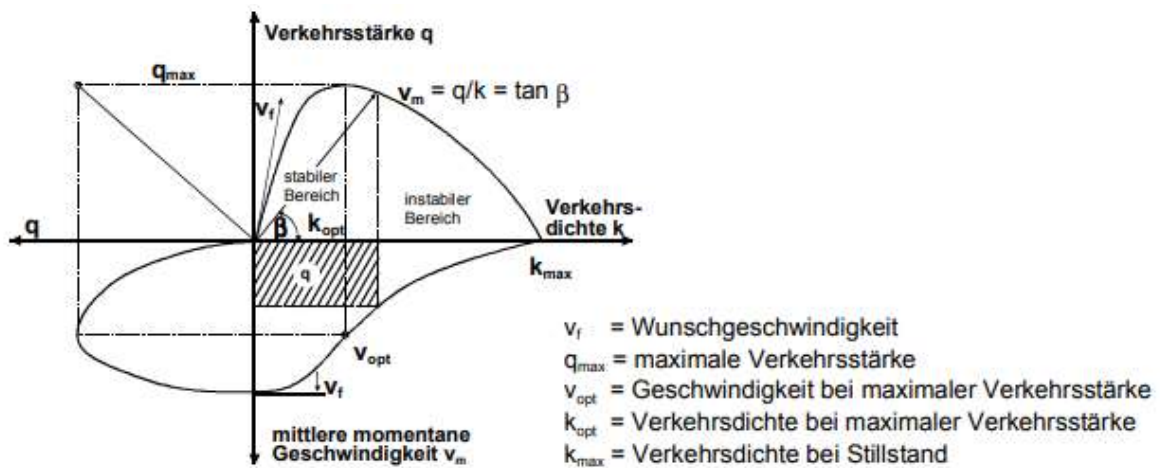


Abb. 10: Klassisches Fundamentaldiagramm [33]

Dabei gilt die Zustandsgleichung:

$$q = v_m \cdot k \quad (60)$$

Das Fundamentaldiagramm wird aufgrund seiner Einfachheit, der Verwendung kollektiver Variablen wie Verkehrsstärke, -dichte und mittlerer Geschwindigkeit sowie seiner breiten Anwendbarkeit und vorhandener Eingangsdaten häufig ausgewählt. Es weist nur geringe Unterschiede zu anderen Modellen auf und bietet dennoch aussagekräftige Darstellungen des Verkehrsverhaltens auf makroskopischer Ebene.

Jeder Punkt im Fundamentaldiagramm repräsentiert einen bestimmten Verkehrszustand auf einem Streckenabschnitt. Bei freier Wahl von k und v wären alle Verkehrszustände möglich. Es besteht jedoch (wie bereits bei den mikroskopischen Modellen festgestellt) eine stochastische Abhängigkeit zwischen Verkehrsdichte und Geschwindigkeit $v = v(k)$.

Modellansätze, die diese Abhängigkeit beschreiben, müssen folgende Randbedingungen erfüllen:

- $q = 0$ für $k = 0$

Die dazugehörige Geschwindigkeit v bei einer gegen Null tendierenden Dichte q entspricht der Wunschgeschwindigkeit. Eine Ausnahme bildet der Fall einer Geschwindigkeitsbeschränkung auf dem betrachteten Streckenabschnitt. In diesem Fall richtet sich die Geschwindigkeit auch bei niedrigen Dichten nach der vorgeschriebenen Geschwindigkeit:

- $q = 0$ für $k = k_{max}$
Bei Erreichen der maximalen Verkehrsdichte kommt der Verkehr zum Erliegen
- $v = 0$ für $k = k_{max}$

In der Literatur sind zahlreiche Untersuchungen zur Bestimmung des Zusammenhanges $v = v(k)$ zu finden. Eine besondere Bedeutung wird dabei der Bestimmung von q_{max} sowie der Verkehrsparameter im Übergangsbereich vom stabilen zum instabilen Bereich zugeschrieben.

Die einfachste Herangehensweise geht von einem linearen Zusammenhang zwischen der Verkehrsdichte und der Geschwindigkeit aus [34]. Das Fundamentaldiagramm nimmt dabei eine parabolische Form an. Differenzierte Modelle unterscheiden, abgeleitet aus empirischen Untersuchungen, nach Dichtebereichen (Zweibereichsmodelle) und werden somit mit dem tatsächlichen Verkehrsablauf gerechter [35] und [36]. Bei diesem Ansatz hat die Modellfunktion beim Übergang vom stabilen in den instabilen Bereich eine Unstetigkeit (Knick bzw. Sprung).

Wenn es innerhalb eines Streckenabschnittes zu einem Stau kommt, kann man nicht mehr von einem stationären Verkehrsfluss ausgehen. Lighthill und Witham [37] haben dazu die Kontinuumstheorie, d.h. Betrachtung der Bewegungen als kontinuierliches Fließgeschehen, auf den Verkehrsfluss übertragen und entwickelten die Kontinuitätsgleichung des Verkehrs. Sie entspricht der aus der Physik bekannten allgemeinen Kontinuitätsgleichung:

$$\frac{\partial k(x, t)}{\partial t} + \frac{\partial q(x, t)}{\partial x} = 0 \quad (61)$$

Durch die Verbindung der Kontinuitätsgleichung mit dem spezifischen Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Verkehrsdichte $q = q(k)$ ergibt sich ein Modell, mit dem Veränderungen des (als Mittelwerte behandelten) Größen q und k in der Raum-Zeit-Dimension analysiert werden können. Insbesondere die Ausbreitungsgeschwindigkeiten von Störungen im Verkehrsfluss sind Gegenstand dieser Theorie. Nach Lighthill [37] lassen sich damit Konturlinien oder kinematische Wellen gleicher Dichte mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit c berechnen. Der Zusammenhang zwischen Fahrzeuggeschwindigkeit v und Wellengeschwindigkeit c lautet folgendermaßen:

$$c = v + k \cdot \frac{dv}{dk} \quad (62)$$

Da die Fahrzeuggeschwindigkeit mit zunehmender Dichte abnimmt, gilt grundsätzlich $c < v$. Das bedeutet, dass die Wellen relativ zum Fahrzeugstrom stromaufwärts wandern. Wird $q > q_{max}$, wird c negativ und die Wellen breiten sich auch in Bezug auf einen festen Querschnitt stromaufwärts aus. Läuft eine Welle geringerer Dichte und daraus folgender hoher Geschwindigkeit auf eine Welle und daraus folgend hoher Geschwindigkeit auf eine Well mit hoher Dichte und niedriger Geschwindigkeit auf, ergeben sich an deren Schnittpunkt Diskontinuitäten. Nach der Kontinuumstheorie wandern diese mit der Geschwindigkeit u im Fahrzeugstrom mit. Kennzeichnen q_1 und k_1 den Zustand vor der Stoßwelle und q_2 und k_2 die Situation dahinter, so ist $q_1 - u \cdot k$ die Rate der herausfahrenden Fahrzeuge und $q_2 - u \cdot k$ die Ankunftsrate an der Stoßwelle. Die Stoßwellengeschwindigkeit ergibt sich dann zu:

$$u = \frac{q_2 - q_1}{k_2 - k_1} = \frac{\Delta q}{\Delta k} \quad (63)$$

Übertragen auf das Fundamentaldiagramm entspricht das einer Sekante an der q - k -Kurve mit der Neigung u :

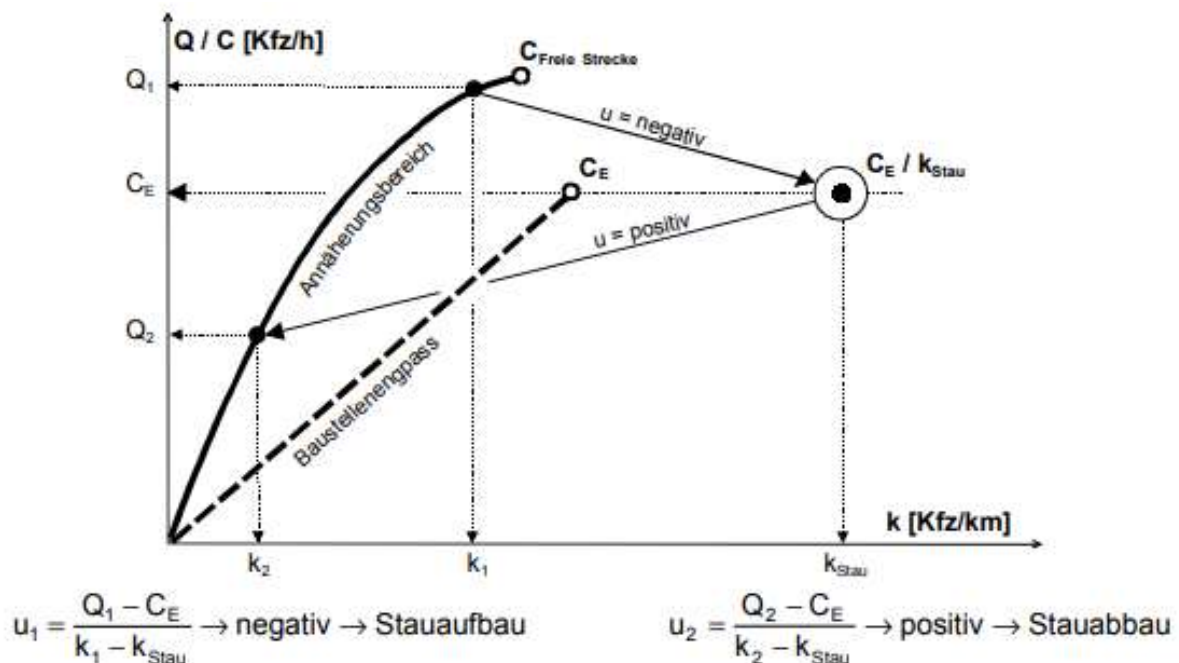


Abb. 11: Stoßwellengeschwindigkeit zwischen benachbarten Verkehrszuständen im Fundamentaldiagramm [38]

Dieser Zusammenhang liegt auch dem von Zackor [32] entwickelten Modell zur Nachbildung der Stauentwicklung zur Grunde. Auf Grund des stochastischen Charakters des Verkehrsflusses mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit für einen Übergang in den instabilen Bereich behaftet. Diese Stauanfälligkeit nimmt mit steigender Dichte zu.

In dem im Rahmen dieser Masterarbeit beschriebenen Ansatz wird vereinfachend davon ausgegangen, dass eine Staubildung erst eintritt, wenn die mittlere zufließende Verkehrsstärke die Kapazität eines Streckenabschnittes überschreitet. Es handelt sich somit um eine deterministische Betrachtungsweise.

Der Zustand „Stau“ ist dadurch gekennzeichnet, dass die Kapazität des Engpasses zwar geringer als die des stromaufwärts liegenden Streckenabschnittes ist, aber in jedem Fall voll ausgenutzt wird. Die Verkehrsstärke im Stau entspricht somit der reduzierten Kapazität des Engpasses. Innerhalb des Staus herrscht ein instabiler Verkehrsfluss, gekennzeichnet durch kurzfristige Schwankungen zwischen stehender Kolonne und Stauauflösung. Im Mittel ist dieser Stau durch eine hohe Verkehrsdichte k_{Stau} und eine geringe Geschwindigkeit v_{Stau} charakterisiert, wobei Streuungen dieser beiden Größen vernachlässigt werden [38]. Dies führt dazu, dass der Zustand „Stau“ in diesem Modell als einzelner Punkt im Fundamentaldiagramm abgebildet wird (siehe Abb. 11)

Um also den Verkehrsablauf und damit auch die Staubildung an einer Baustelle nachbilden zu können, ist das makroskopische Modell in zwei Bereiche aufzuteilen.

Der erste, stabile Bereich beschreibt den Verkehrsablauf auf dem der Baustelle bzw. – bei vorhandenem Stau- dem Stauende vorgelagerten Streckenabschnitt mit:

v_f	Wunschgeschwindigkeit d.h. Geschwindigkeit bei Verkehrsstärke gegen Null
C_f	Kapazität des freien Streckenabschnittes
v_{opt}	Geschwindigkeit bei maximaler Verkehrsstärke

Der stabile Bereich des Fundamentaldiagramms wird vereinfacht durch eine lineare Geschwindigkeits-Verkehrsdichte-Beziehung dargestellt. Somit nimmt die Verkehrsstärke-Verkehrsdichte-Beziehung einen parabolischen Verlauf an. Die Kapazität der freien Strecke C_f ist dabei kleiner als das rechnerische Maximum der Parabel, so dass die nachfolgenden Gleichungen (64) und (65) für den Wertebereich $q=[0; C_f]$ gelten:

$$v = v_f - c \cdot k \quad (64)$$

$$c = \frac{v_f - v_{opt}}{k_{opt}} \quad (65)$$

mit

$$k_{opt} = \frac{C_F}{v_{opt}} \quad (66)$$

$$v = \frac{v_f}{2} + \sqrt{\left(\frac{v_f}{2}\right)^2 - q \cdot c} \quad (67)$$

Mit

q	Verkehrsstärke im Zufluss der Baustelle (freier Streckenabschnitt) [Kfz/h]
v	zugehörige Geschwindigkeit auf dem freien Streckenabschnitt [km/h]
k	zugehörige Verkehrsdichte auf dem freien Streckenabschnitt [Kfz/km]
c	Konstante [km ² /Kfz/h]
C_F	Kapazität der freien Strecke [Kfz/h]

Der zweite, instabile Bereich beschreibt den Verkehrsablauf bei Stau vor der Baustelle mit:

C_{BS}	Kapazität des Baustellenengpasses [Kfz/h]
k_{Stau}	durchschnittliche Dichte im Stau vor dem Baustellenengpass [Kfz/km]
v_{Stau}	durchschnittliche Geschwindigkeit im Stau [km/h]

Die Kenngrößen, die den Staubereich beschreiben, werden entsprechend der vorgegebenen Verkehrsführung, der Verkehrszusammensetzung und der Streckencharakteristik angesetzt. Abgeleitet aus der Stoßwellengeschwindigkeit $u = \frac{\Delta q}{\Delta k}$ ergibt sich dann die Staulänge L_S zum Zeitpunkt t_i :

$$\begin{aligned}
 L_S(t_i) &= -\frac{\Delta q(t_i)}{\Delta k(t_i)} \cdot (t_i - t_{i-1}) + L_S \cdot (t_{i-1}) \\
 &= -\frac{q(t_i) - C_{BS}}{k(t_i) - k_{Stau}} \cdot (t_i - t_{i-1}) + L_S \cdot (t_{i-1})
 \end{aligned} \quad (68)$$

Mit:

$t_{i...n}$	Zeitpunkt innerhalb der Stauzeit
$L_S(t_i)$	Staulänge
$q(t_i)$	Zuflussverkehrsstärke (innerhalb des Intervalls $(t_i - (t_{i-1}))$ konstant)
$k(t_i)$	Verkehrsdichte im ungestörten Zufluss
C_{BS}	Kapazität des Baustellenengpasses

Das nachfolgende Bild stellt eine Stauentwicklung am Baustellenengpass noch einmal in einem Zeit-Weg-Diagramm dar:

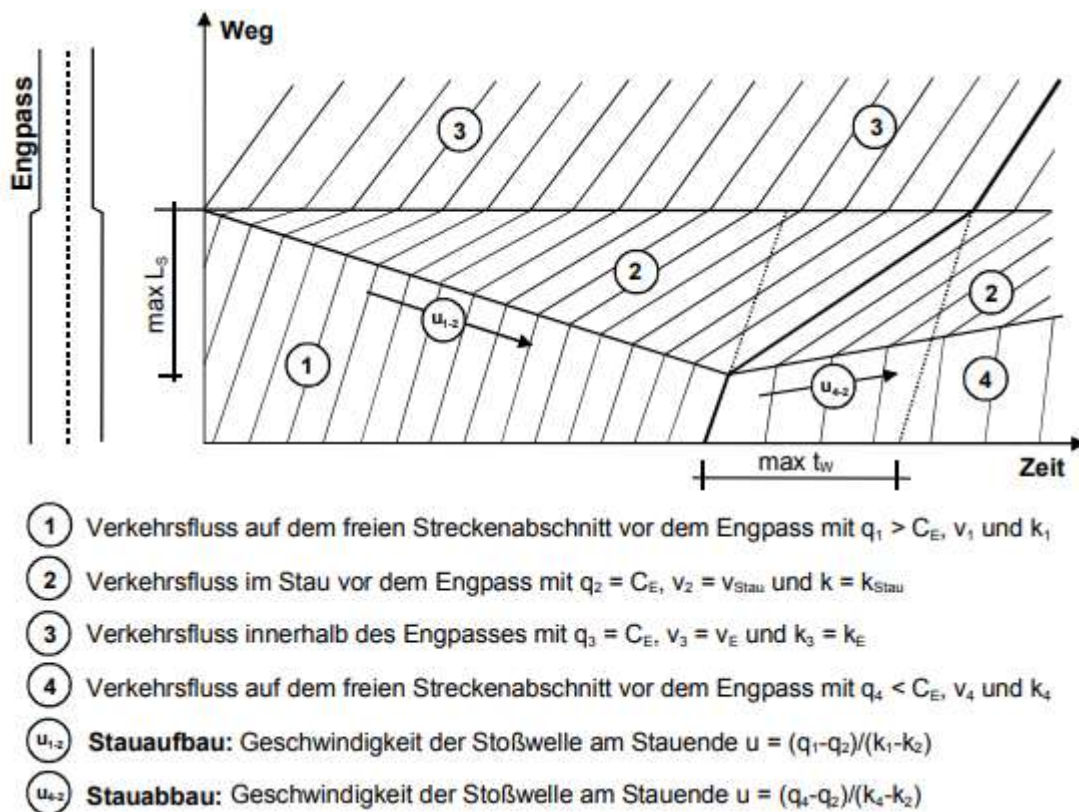


Abb. 12: Zeit-Weg-Diagramm an einem Engpass [32]

Das Zeit-Weg-Diagramm bietet eine anschauliche Darstellung der Verkehrsdynamik an einem Engpass innerhalb des Straßennetzes. In dieser grafischen Darstellung werden die zeitlichen und räumlichen Veränderungen im Verkehrsfluss deutlich. Zu Beginn des betrachteten Zeitraums, vor dem Engpass, ist eine kontinuierliche Bewegung der Fahrzeuge mit vergleichsweise höherer Geschwindigkeit zu beobachten. Dies spiegelt sich in einem relativ großzügigen Abstand zwischen den Fahrzeugen wider. Mit Annäherung an den Engpass zeigt das Diagramm eine allmähliche Abnahme der Geschwindigkeit und eine Verdichtung der Fahrzeugabstände. Dieser Abschnitt des Verlaufs markiert den Übergangsbereich, in dem die Fahrzeuge aufgrund von Hindernissen wie verengten Fahrbahnen oder Baustelleninfrastrukturen langsamer werden. Am Engpass selbst erreicht die Geschwindigkeit ihren Tiefpunkt, während die Fahrzeuge möglicherweise sogar zum Stillstand kommen. Dieser Abschnitt des Diagramms verdeutlicht den Höhepunkt der Verkehrsbehinderung aufgrund des Engpasses. Nach dem Passieren des Engpasses steigt die Geschwindigkeit wieder an, und der Abstand zwischen den Fahrzeugen vergrößert sich allmählich. Diese Zunahme des Flussvolumens wird durch das Überwinden der Hindernisse und die Rückkehr zu einer normaleren Straßeninfrastruktur erleichtert. Schließlich kehren die Fahrzeuge zu einem stabilen Fluss mit normaler Geschwindigkeit und angemessenen Abständen zurück, was den Abschluss des betrachteten Zeitraums markiert.

Das Zeit-Weg-Diagramm dient als nützliches Instrument zur Visualisierung und Analyse der Verkehrsdynamik an einem Engpass und unterstützt die Entwicklung von Strategien zur Verkehrsflussoptimierung und zur Verbesserung der Verkehrssicherheit an solchen kritischen Punkten im Straßennetz.

6.1.1.2.1.2 Ermittlung der Staulänge infolge von Baustellen mit Hilfe von Fundamentaldiagramm

Auf Grundlage der Erkenntnisse von Beckmann et al. [32] wird im Rahmen dieser Masterarbeit eine Abschätzung der Staulänge infolge der Baustellen auf den österreichischen Autobahnen und Schnellstraßen durchgeführt. Die Ermittlung der Staulänge für alle relevante Straßenabschnitte wird mit Hilfe der Asset Management Software dTIMS (Deighton Total Infrastructure Management System)¹ durchgeführt und anschließend für die Ermittlung des Zeitverlustes infolge Staus aufgrund der Baustellen verwendet.

Um das Verfahrensprinzip zu erklären, werden im folgenden Abschnitt beispielhafte Verkehrssituationen an einer Baustellenverkehrsführung durchgeführt. Dabei wurde das österreichische Autobahnen- und Schnellstraßennetz im Rahmen dieser Einschätzung in folgende Kategorien unterteilt:

- A) Autobahnen innerhalb von Ballungsräumen
- B) Autobahnen mit hoher Verkehrsbelastung (außerhalb von Ballungsräumen)
- C) Autobahnen mit mittlerer Verkehrsbelastung
- D) Autobahnen mit geringer Verkehrsbelastung

Um die maßgebende Verkehrsbelastung für die Definition dieser 4 Kategorien zu ermitteln, wurde die Verteilung der Verkehrsbelastung (Normalverteilung) anhand der in der IMT [2] Datenbank vorhandenen Verkehrsdaten (Verkehrsstärken, JDTLV) erstellt:

¹ dTIMS (Deightons Total Infrastructure Management System) – Asset Management Software des kanadischen Unternehmens Deighton Associates Ltd.

² IMT (Infrastructure Management Tool) - Eine Software Anwendung zur Verwaltung und Analyse der Bauwerksdaten der ASFiNAG

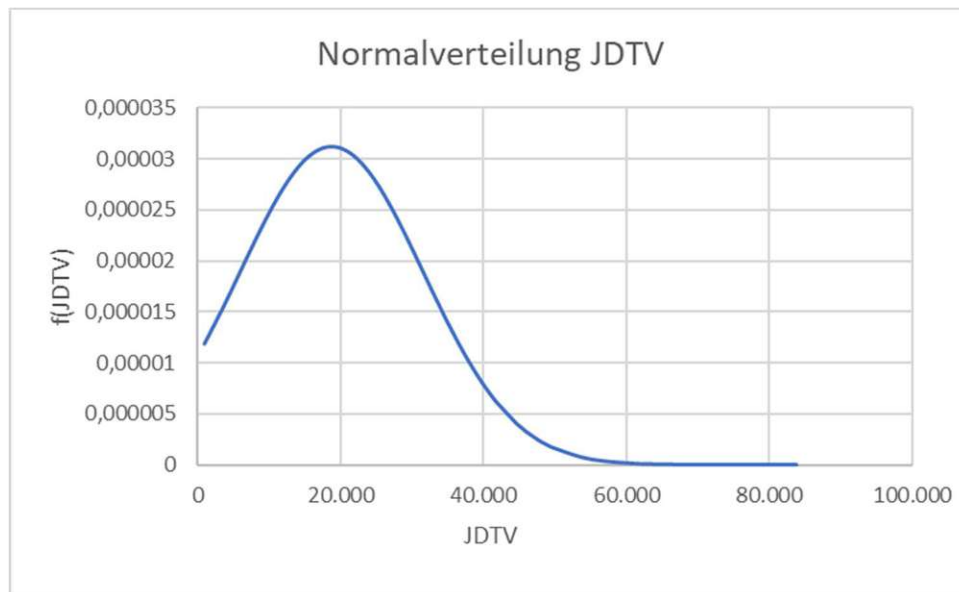


Abb. 13: Normalverteilung der JDTV

Auf der Grundlage dieser Verteilung können jeder Kategorie entsprechende JDTV- Grenzwerte zugeordnet werden. Die Stadtautobahnen wurden dabei gesondert behandelt, da die Definition auf der Grundlage der geographischen Lage vorgenommen wird. In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse der statistischen Auswertung dargestellt:

Tab. 19: Grenzwerte der Verkehrsbelastung JDTV

	JDTV [Kfz/24h]
0,25-Quantil	9831
0,75-Quantil	24988

Der Grenzwert der hohen Verkehrsbelastung wurde mit dem 0,75 Quantil Wert der Verteilung festgelegt und beträgt rund 25.000 Kfz/24h. Der Grenzwert zwischen der mittleren und der niedrigen Verkehrsbelastung wurde mit dem 0,25 Quantil Wert der Verteilung angenommen und entspricht einem JDTV von rund 10.000 Kfz/24h.

Als nächstes wurde versucht, die Verkehrsüberlastungen im Normalbetrieb für die vier Straßenkategorien zu ermitteln, um die dadurch entstehenden Zeitverluste in der Zeitverlustberechnung berücksichtigen zu können. Zu diesem Zweck wurden die von Neuhold R. im Rahmen seiner Arbeit „Typisierung von Verkehrsbelastungsganglinien im österreichischen Straßennetz“ [39] erstellten Ganglinien für Werktage (siehe Abb. 14) herangezogen. Die typisierten Ganglinien für Werktage wurden dabei auf der Grundlage der Daten automatischer Dauerkontrollstellen von Autobahnen, Landesstraßen und zum Teil Stadtstraßen aus den Bundesländern Salzburg, Tirol und der Stadt Graz mittels statistischer Clusteranalyse erstellt.

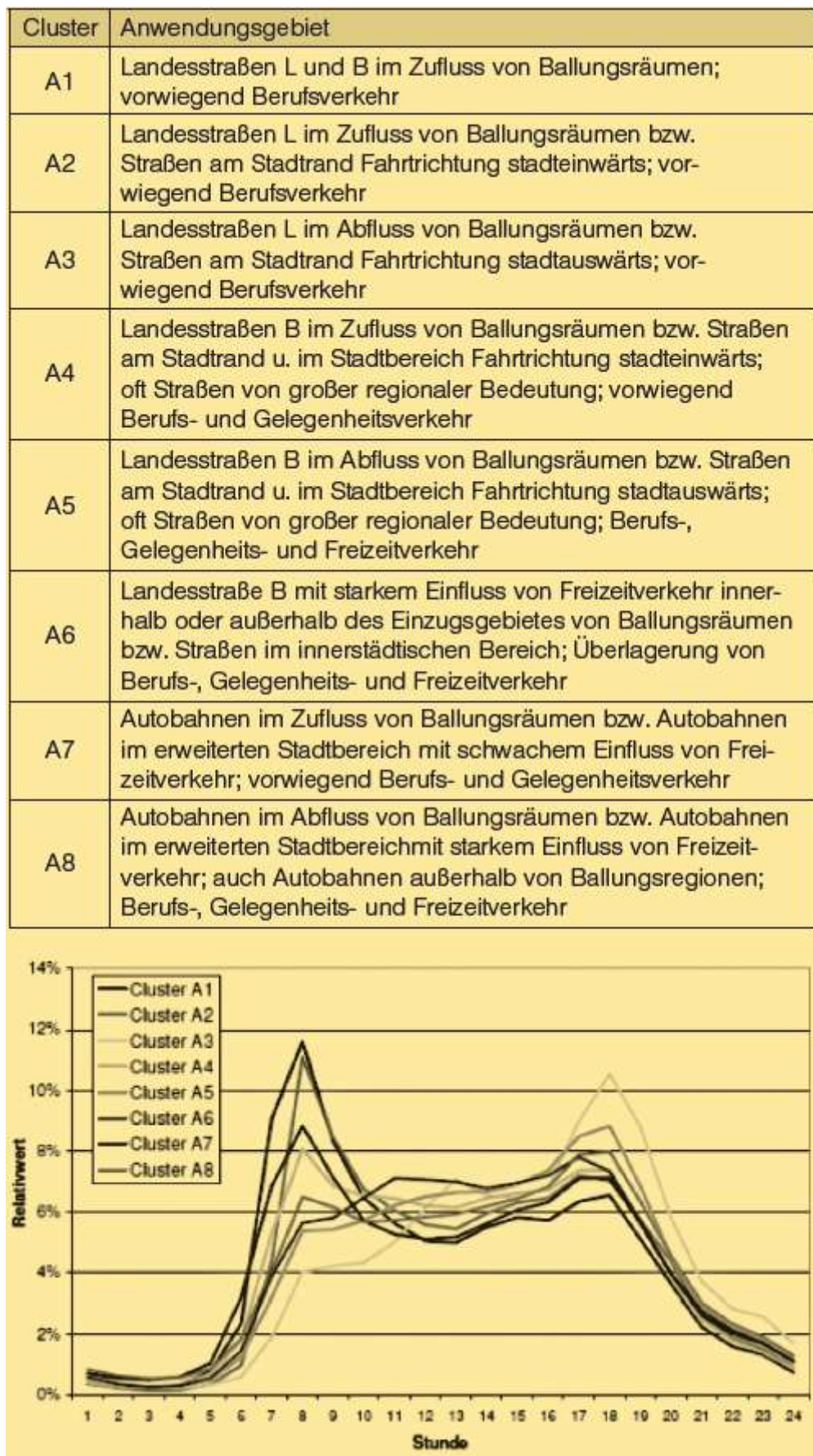


Abb. 14: Typisierte Ganglinie für Werktage (A-Cluster) inkl. Beschreibung des Anwendungsgebietes [39]

Im Zuge der Berechnung der Staulängen für die vier zuvor genannten Straßenkategorien hat sich herausgestellt, dass die ursprüngliche Kategorisierung zu detailliert war. Im zweiten Schritt wurden lediglich zwei Kategorien festgelegt, da Fall 2 bis 4 aufgrund ihrer sehr ähnlicher Verläufe in den Tagesganglinien Werte zusammengefasst werden konnten:

- Autobahnen und Schnellstraßen innerhalb der Ballungsräumen
- Autobahnen und Schnellstraßen außerhalb der Ballungsräumen

Auf Grundlage der typisierten Ganglinien von Neuhold [39] wurden im Rahmen der gegenständiger Masterarbeit vereinfachte Ganglinien für die zwei oben genannten Straßenkategorie erstellt (siehe Abb. 15 und Abb. 16). Für den ersten Fall wurden Cluster A7 bzw. A8 als Grundlage für die Ganglinienerstellung verwendet, während für den zweiten Fall Cluster A5 bzw. A6 herangezogen wurden.

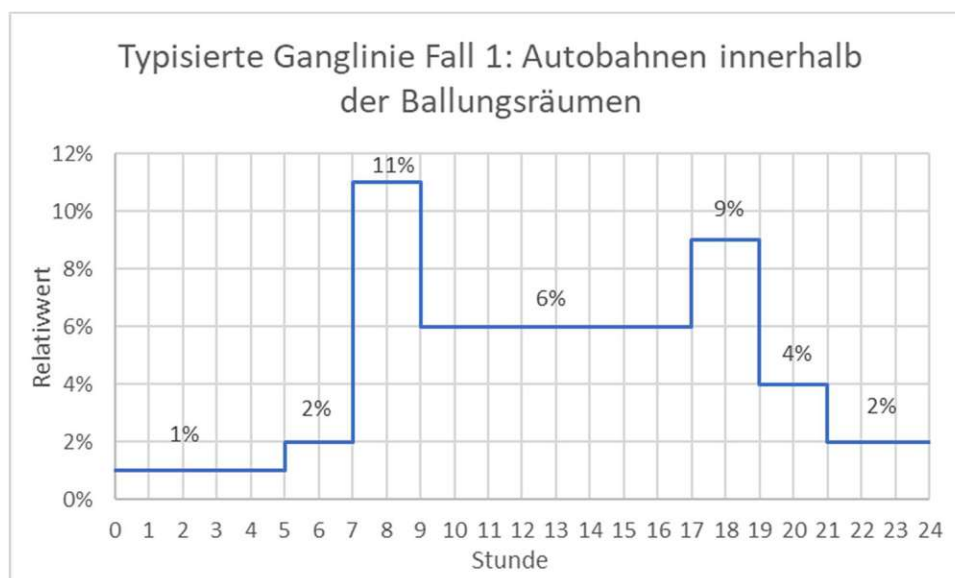


Abb. 15: Typisierte Ganglinie für Autobahnen innerhalb der Ballungsräume

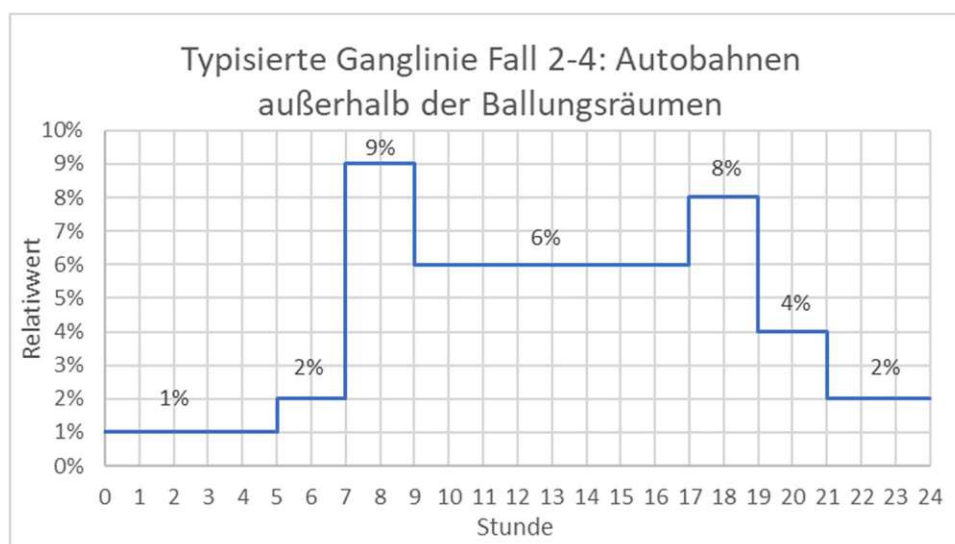


Abb. 16: Typisierte Ganglinie für Autobahnen außerhalb der Ballungsräume

Zur Ermittlung der Kapazitäten auf der freien Strecke wurden die Richtwerte aus der Masterarbeit vom Roland Fenzl zum Thema „Beschreibung des Verkehrsablaufes auf Autobahnen mit Einzelfahrzeugdaten“ herangezogen. Die nachfolgende Tab. 20 zeigt die Kapazitäten von zwei-, drei und vierstreifigen Richtungsfahrbahnen auf Autobahnen ohne Geschwindigkeitsbeschrän-

kung außerhalb der Knotenpunkte bei Tageslicht und Trockenheit, sowie für verschiedene Ausprägungen der Einflussgrößen Längsneigung und Schwerverkehrsanteil. Die Kapazitätswerte in den oberen Tabellenzeilen für die zwei- und dreistreifigen Richtungsfahrbahnen sind dem HBS 2001 [40] entnommen. Die Kapazitätswerte in den unteren Tabellenzeilen für die zwei- und dreistreifigen Richtungsfahrbahnen, sowie die Kapazitätswerte für die vierstreifigen Richtungsfahrbahnen stammen aus der Untersuchung von Geistefeldt [41]. Zu beachten ist, dass auf österreichischen Autobahnen laut Straßenverkehrsordnung (StVO) eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 130 km/h gilt. Die österreichischen Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (RVS) liefern keine Kapazitätswerte [42].

Fahrstreifenanzahl	Längsneigung	Kapazität [Kfz/h]					
		außerhalb von Ballungsräumen			innerhalb von Ballungsräumen		
		Schwerverkehrsanteil			Schwerverkehrsanteil		
		0 %	10 %	20 %	0 %	10 %	20 %
2	≤ 2 %	3.600 3.700	3.500 3.600	3.400 3.400	4.000 4.000	3.800 3.800	3.600 3.600
	3 %	3.350 3.600	3.250 3.500	3.150 3.300	3.750 3.900	3.550 3.700	3.350 3.500
	4 %	2.950 3.400	2.850 3.300	2.800 3.100	3.350 3.700	3.150 3.500	2.950 3.300
	5 %	2.650 3.100	2.600 3.000	2.500 2.800	3.050 3.400	2.850 3.200	2.650 3.000
3	≤ 2 %	5.400 5.400	5.100 5.200	4.800 4.900	5.700 5.800	5.400 5.500	5.100 5.200
	3 %	5.000 5.300	4.750 5.100	4.450 4.800	5.300 5.700	5.000 5.400	4.700 5.100
	4 %	4.450 5.000	4.200 4.800	3.950 4.500	4.700 5.400	4.450 5.100	4.200 4.800
	5 %	4.000 4.600	3.750 4.400	3.550 4.100	4.250 5.000	4.000 4.700	3.750 4.400
4	≤ 2 %	7.400	7.100	6.700	8.000	7.600	7.100
	3 %	7.200	6.900	6.500	7.800	7.400	6.900
	4 %	6.900	6.600	6.200	7.500	7.100	6.600
	5 %	6.300	6.000	5.600	6.900	6.500	6.000

Tab. 20: Kapazitäten auf Richtungsfahrbahnen ohne Geschwindigkeitsbeschränkung [42]

Der nächste Parameter, welcher bei der Ermittlung der Staulänge infolge Baustellen notwendig ist, ist die maximale Verkehrsdichte. Die Bestimmung der maximal möglichen Verkehrsdichte kann aus einfachen Überlegungen erfolgen. Sie ist von der durchschnittlichen Fahrzeuglänge, die durch den LKW-Anteil beeinflusst wird, und vom Sicherheitsabstand im stehenden Zustand abhängig. In der Tab. 21 wurde für einen Streckenabschnitt von einem Kilometer die durchschnittliche PKW-Länge mit 4,5 m, die durchschnittliche LKW-Länge mit 12,0 m und der Sicherheitsabstand zwischen den stehenden Fahrzeugen mit 2,0 m angenommen. Die Ergebnisse sind als Näherungswerte zu verstehen, da sie wesentlich von den Annahmen der Fahrzeuglängen abhängen [42].

Tab. 21: Näherungswerte für die maximale Verkehrsdichte [42]

maximale Verkehrsdichte [Kfz/km]				
Lkw-Anteil				
0 %	5 %	10 %	15 %	20 %
154	145	138	131	125

A) Staulänge für den Fall 1: Autobahnen und Schnellstraßen innerhalb der Ballungsräumen

In diesem Kapitel wird die Staulänge infolge von Baustelle mithilfe von Fundamentaldiagramm für den Fall 1 "Autobahnen innerhalb der Ballungsräumen" ermittelt. Dieser Straßenkategorie wurden folgende Abschnitte zugeordnet:

Tab. 22: Autobahnabschnitte innerhalb von Ballungsräumen

Bezeichnung	Von	Bis	Von km	Bis km
A04	Knoten Prater	ASt Flughafen Wien-Schwechat	0	12.953
A07	Knoten Linz	HAST Gallneukirchen	0	18.802
A22	Knoten Kaisermühlen	Ast Strebersdorf	0	6.707
A23	Anschluss Altmannsdorferstraße	Knoten Kaisermühlen	0	12.371

Eingangsdaten:

10% Schwerverkehrsanteil

3% Längsneigung

3 Fahrstreifen je Richtungsfahrbahn

41.500 Kfz/24h jährlicher durchschnittlicher täglicher Verkehr (längengewichtet über die oben genannten Abschnitte)

Kapazität der freie Strecke

CF_{FStr} 1800 Kfz/h und Fahrstreifen (5400 Kfz/h auf drei Fahrstreifen bei einem SV-Anteil von 10% und einer Längsneigung von 3% innerhalb Ballungsräume, siehe Tab. 19)

Kapazität im Baustellenbereich

CBS_{FStr} 1350 Kfz/h und Fahrstreifen (2700 Kfz/h auf zwei Fahrstreifen bei einem SV-Anteil von 10% und einer Längsneigung von 3%, siehe Tabelle 20 [32])

Berechnung der Kapazitäten pro Richtungsfahrbahn:

$$CF = 3 \cdot 1800 \text{ Kfz/h} = 5.400 \text{ Kfz/h}$$

$$CBS = 3 \cdot 135 \text{ Kfz/h} = 4.050 \text{ Kfz/h}$$

Verkehrsbelastung in der Spitzenstunde:

Verkehrsbelastung Tagesganglinie zwischen 7:00 und 9:00: 11%

Verkehrsstärke zwischen 7:00 und 9:00 [Kfz/h]:

$$Q_{7:00-9:00} = 11\% \cdot 41.500 = 4.565$$

$Q_{7:00-9:00} < C_F \rightarrow$ Kein Stau auf der freien Strecke in der Spitzenstunde

$Q_{7:00-9:00} > C_{BS} \rightarrow$ Stau im Baustellenbereich in der Spitzensunde vorhanden

Verkehrsbelastung Tagesganglinie zwischen 17:00 und 19:00: 9%

Verkehrsstärke zwischen 17:00 und 19:00 [Kfz/h]:

$$Q_{17:00-19:00} = 9\% \cdot 41.500 = 3.735$$

$$Q_{17:00-19:00} < C_F \rightarrow \text{Kein Stau auf der freien Strecke in der Spitzenstunde}$$

$$Q_{17:00-19:00} < C_{BS} \rightarrow \text{Kein Stau im Baustellenbereich in der Spitzenstunde}$$

Anzahl der Stautunden:

$$H_{Stau,s} = 0 \text{ (geschätzte Stautundenanzahl auf dem Straßenabschnitt s ohne Erhaltungsprojekt m pro Tag in [h/Tag])}$$

$$H_{Stau,s,m} = 2 \text{ (geschätzte Stautundenanzahl auf dem Straßenabschnitt s pro Tag aufgrund der Durchführung des Erhaltungsprojektes m während der Dauer Dm in [h/Tag])}$$

Berechnung der Staulänge im Baustellenbereich in der Spitzenstunde zwischen 7:00 und 9:00:

$$V_f = 80 \text{ km/h} \quad \text{Wunschgeschwindigkeit}$$

$$V_{opt} = 70 \text{ km/h} \quad \text{Geschwindigkeit bei maximaler Verkehrsstärke}$$

$$V_{Stau} = 20 \text{ km/h} \quad \text{durchschnittliche Geschwindigkeit im Stau}$$

$$k_{Stau} = 138 \text{ Kfz/km} \quad \text{durchschnittliche Dichte im Stau vor dem Baustellenengpass [Tab. 21]}$$

Stauberechnung mit Hilfe des Fundamentaldiagramms:

Verkehrsdichte bei maximaler Verkehrsstärke [Kfz/km]:

$$k_{opt} = \frac{C_F}{V_{opt}} = \frac{5.400}{70} = 77,143$$

C Konstante [km²/Kfz/h]:

$$c = \frac{V_f - V_{opt}}{k_{opt}} = \frac{80 - 70}{77,143} = 0,13$$

V(ti) Geschwindigkeit im ungestörten Zufluss [km/h]:

$$v(t_i) = \frac{V_f}{2} + \sqrt{\left(\frac{V_f}{2}\right)^2 - Q(t_i) \cdot c} = \frac{80}{2} + \sqrt{\left(\frac{80}{2}\right)^2 - 4565 \cdot 0,13} = 71,523$$

k(ti) Verkehrsdichte im ungestörten Zufluss [Kfz/h]:

$$k(ti) = \frac{Q(ti)}{V(ti)} = \frac{4.565}{71,523} = 63,621$$

Ls Staulänge [km]:

$$L_s = \frac{Q(ti) - C_{BS}}{k(ti) - k_{Stau}} = \frac{4.565 - 4.050}{63,621 - 138} = 6,924 \approx 7$$

6.1.1.2.1.2.1 Staulänge für den Fall 2: Autobahnen außerhalb der Ballungsräume

In diesem Kapitel wird die Staulänge infolge von Baustelle mithilfe von Fundamentaldiagramm für den Fall: Autobahnen außerhalb der Ballungsräume ermittelt. Dieser Straßenkategorie wurden alle Abschnitte zugeordnet, die nicht in die Kategorie 1 fallen.

Eingangsdaten:

10% Schwerverkehrsanteil

3% Längsneigung

2 Fahrstreifen je Richtungsfahrbahn

25.000 Kfz/24h jährlicher durchschnittlicher täglicher Verkehr (75 Quantil der JDTV)

Kapazität der freie Strecke

CF_{FStr} 1.700 Kfz/h und Fahrstreifen (3400 Kfz/h auf zwei Fahrstreifen bei einem SV-Anteil von 10% und einer Längsneigung von 3% außerhalb Ballungsräume, siehe Tab. 20: Kapazitäten auf Richtungsfahrbahnen ohne Geschwindigkeitsbeschränkung [42])

Kapazität im Baustellenbereich

CBS_{FStr} 1350 Kfz/h und Fahrstreifen (2700 Kfz/h auf zwei Fahrstreifen bei einem SV-Anteil von 10% und einer Längsneigung von 3%, siehe Tabelle 20 [32])

Berechnung der Kapazitäten pro Richtungsfahrbahn:

$$CF = 2 \cdot 1.700 \text{ Kfz/h} = 3.400 \text{ Kfz/h}$$

$$CBS = 2 \cdot 135 \text{ Kfz/h} = 2.700 \text{ Kfz/h}$$

Verkehrsbelastung in der Spitzenstunde:

Verkehrsbelastung Tagesganglinie zwischen 7:00 und 9:00: 9%

Verkehrsstärke zwischen 7:00 und 9:00 [Kfz/h]:

$$Q_{7:00-9:00} = 9\% \cdot 25.000 = 2250$$

$$Q_{7:00-9:00} < C_F \rightarrow \text{Kein Stau auf der freien Strecke in der Spitzenstunde}$$

$$Q_{7:00-9:00} < C_{BS} \rightarrow \text{Kein Stau im Baustellenbereich in der Spitzensunde}$$

Verkehrsbelastung Tagesganglinie zwischen 17:00 und 19:00: 9%

Zuflussstärke zwischen 17:00 und 19:00 [Kfz/h]:

$$Q_{17:00-19:00} = 8\% \cdot 25.000 = 2.000 \text{ Kfz}$$

$$Q_{17:00-19:00} < C_F$$

Kein Stau auf der freien Strecke in der Spitzenstunde

$$Q_{17:00-19:00} < C_{BS}$$

Kein Stau im Baustellenbereich in der Spitzenstunde

Anzahl der Staustunden:

$$H_{Stau,s} = 0 \text{ (geschätzte Staustundenanzahl auf dem Straßenabschnitt s ohne Erhaltungsprojekt m pro Tag in [h/Tag])}$$

$$H_{Stau,s,m} = 0 \text{ (geschätzte Staustundenanzahl auf dem Straßenabschnitt s pro Tag aufgrund der Durchführung des Erhaltungsprojektes m während der Dauer } D_m \text{ in [h/Tag])}$$

Kontrolle: Berechnung der Staulänge im Baustellenbereich in der Spitzenstunde zwischen 7:00 und 9:00:

$V_f = 130 \text{ km/h}$ Wunschgeschwindigkeit
 $V_{opt} = 80 \text{ km/h}$ Geschwindigkeit bei maximaler Verkehrsstärke
 $V_{Stau} = 30 \text{ km/h}$ durchschnittliche Geschwindigkeit im Stau
 $k_{Stau} = 138 \text{ Kfz/km}$ durchschnittliche Dichte im Stau vor dem Baustellenengpass

Stauberechnung mit Hilfe des Fundamentaldiagramms:

Verkehrsdichte bei maximaler Verkehrsstärke [Kfz/km]:

$$k_{opt} = \frac{C_F}{V_{opt}} = \frac{3.400}{80} = 42,5$$

C Konstante [km²/Kfz/h]:

$$c = \frac{V_f - V_{opt}}{k_{opt}} = \frac{130 - 80}{42,5} = 1,176$$

V(ti) Geschwindigkeit im ungestörten Zufluss [km/h]:

$$v(t_i) = \frac{V_f}{2} + \sqrt{\left(\frac{V_f}{2}\right)^2 - Q(t_i) \cdot c} = \frac{130}{2} + \sqrt{\left(\frac{130}{2}\right)^2 - 2.250 \cdot 1,176} = 104,72$$

k(ti) Verkehrsdichte im ungestörten Zufluss [Kfz/h]:

$$k(t_i) = \frac{Q(t_i)}{V(t_i)} = \frac{2.250}{104,72} = 21,485$$

Ls Staulänge [km]:

$$L_s = \frac{Q(t_i) - C_{BS}}{k(t_i) - k_{Stau}} = \frac{2.250 - 2.700}{21,485 - 138} = -3,86$$

Kein Stau im Baustellenbereich

6.1.1.2.2 Gesamtzeitverlust auf potenziellen Umleitungsstrecken

Im Kapitel 4.5.1.1.4 wurden grundsätzlich zwei Methoden beschrieben, die eine Bewertung des Gesamtzeitverlustes auf einer oder mehreren Umleitungen ermöglichen. Die erste Methode, die mit der Gleichung (13) abgebildet wurde, setzt die Kenntnis der Längen der Umwege jeder möglichen Umleitung und der durchschnittlichen bzw. maximal zulässigen Geschwindigkeit auf diesen Umleitungsstrecken voraus. Da diese Daten im Rahmen dieser Masterarbeit nicht zur Verfügung stehen, wird an dieser Stelle vom zweiten, vereinfachten Ansatz Gebrauch gemacht. Da auch hier keine genaueren Angaben vorliegen, werden bei dieser Gelegenheit die Erfahrungswerte zur Einschätzung des Zeitverlustes auf den Umleitungen in Abhängigkeit von der Umleitungskategorie, die in der Tab. 9 beschrieben wurden, für die Berechnung des Gesamtzeitverlustes auf potentiellen Umleitungsstrecken eingesetzt.

Die für die Gleichungen (14) und (15) benötigten Eingangsparameter, wie der zusätzliche jährliche durchschnittliche tägliche Verkehr bzw. Lastverkehr $JDTV_{Umleitung,s,m}$ bzw. $JDTLV_{Umleitung,s,m}$, wurden im Kapitel 4.5.1.1.1 „Berechnung des Verkehrsaufkommens“ erläutert und berechnet. Darüber hinaus wurde die Berechnung der Dauer des Erhaltungsprojektes D_m im Kapitel 6.1.1.2 ausführlich beschrieben.

6.1.1.2.3 Reisezeitverlust infolge Reduktion der Verfügbarkeit

Für die Abschätzung des Reisezeitverlustes infolge Reduktion der Verfügbarkeit werden Daten bezüglich Prozentanteil der planfreien Knoten (Anschlussstellen), die während des Erhaltungsprojektes gesperrt werden müssen, sowie ein Prozentanteil des Verkehrs, der in den jeweiligen

Straßenabschnitt einfährt oder ihn verlässt, benötigt. Eine dermaßen komplexe Analyse der Verkehrssituation wird im Rahmen der Erstellung des Bauprogramms der ASFING nicht vorgenommen und die Entwicklung einer neuen Modellgrundlage würde den Rahmen dieser Masterarbeit sprengen. Aus diesem Grund wird an dieser Stelle auf die Ermittlung des Reisezeitverlustes infolge Reduktion der Verfügbarkeit bewusst verzichtet. Wenn diese Informationen verfügbar sind, besteht die Möglichkeit, die entsprechenden Modelle nachträglich zu implementieren oder zu erweitern. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass in den meisten Fällen die Verfügbarkeit der Zu- und Abfahrten zu den Autobahnen und Schnellstraßen nicht wesentlich durch eine Baumaßnahme beeinträchtigt wird, die die Netzverfügbarkeit eine wesentliche strategische Zielsetzung der ASFINAG darstellt. Ausnahmen finden sich vor allem bei komplexen Anlagenbereichen, wo im Rahmen von umfangreichen Brückensanierung auch Anschlussobjekte mitsaniert werden müssen (siehe z.B. Hochstraße Sankt Marx auf der A23 im Rahmen der Generalsanierung der dortigen Brückentragwerke im Jahr 2020 und 2021). Sperren von Rampen von Anschlussstellen werden auch in vielen Fällen nur in den Nachtstunden durchgeführt, sodass die Auswirkungen als sehr gering eingestuft werden können.

6.1.1.2.4 Reisezeit basierend auf Verkehrssimulationen und anderen Modellen

Wie beim Reisezeitverlust infolge Reduktion der Verfügbarkeit werden auch hier sehr detaillierte Angaben bezüglich Verkehrssituation benötigt. Die Ermittlung des stündlichen Verkehrsaufkommens vor dem Arbeitsbereich oder der stündlichen Kapazität innerhalb des Arbeitsbereiches erfordert die Anwendung entsprechender Verkehrssimulationen oder Verkehrsmodelle. Da die gegenständliche Arbeit darauf abzielt, die im Rahmen des ISABELA Projektes entwickelten Modelle auf den österreichischen Autobahnen – und Schnellstraßennetz anzuwenden beziehungsweise diese zu adaptieren, werden an dieser Stelle keine Verkehrssimulationen durchgeführt. Eine entsprechende ergänzende Implementierung kann beim Vorliegen der Ergebnisse solcher Simulationen nachträglich vorgenommen bzw. durchgeführt werden. Die Diskussion mit den Erhaltungsingenieuren der ASFINAG hat auch gezeigt, dass nur im Sonderfall Verkehrsmodelle und entsprechende Simulationen zur Anwendung gelangen. In den meisten Fällen sind dies dann umfangreiche Baumaßnahmen in den Ballungsräumen.

6.1.1.3 Reisezeitkosten

Die im Kapitel 4.5.1.3 beschriebenen Modelle zur Ermittlung der zusätzlichen Reisezeitkosten, die durch den Reisezeitverlust aufgrund von Geschwindigkeitsbeschränkungen, Staus und Umleitungen während eines Erhaltungsprojektes und einer damit verbundenen Baustelle entstehen, werden über das Produkt der Zeitverluste mit den Zeitkostensätzen beschrieben. Die entsprechenden Zeitverluste wurden bereits in den Kapiteln 4.5.1.1.2 bis 4.5.1.1.4 erläutert. Die notwendigen Zeitkostensätze können der RVS 02.01.22 [43] entnommen werden und sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt:

Tab. 23: Zeitkostensätze im Verkehr nach RVS 02-01-22, Preisstand 2009 [43]

Reisezweck [Kosten pro Personenstunde]		Zeitkostensatz [€/Personenstunde]
Personenverkehr	Geschäftsverkehr	30,00
	Berufspendelverkehr	11,00
	Ausbildungs-, Freizeit-, Einkaufs- und Erledigungsverkehr	8,00
Fahrzeuggruppe (Zeitkosten für transportierte Güter)		Zeitkostensatz [€/Nutzlasttonnen-h]
Güterverkehr	LKW-Nahverkehr	3,79
	LKW-Fernverkehr	3,79

Die oben aufgelisteten Zeitkostensätze stammen aus dem Jahr 2009 und werden im Zuge der Implementierung der Modelle in die PMS-Konfiguration mit einem Kalkulationszinssatz von 3 % p.a. auf das Jahr 2023 hochgerechnet.

Da die Zeitverluste aufgrund der Zugänglichkeitsbeschränkung, wie bereits erläutert, im Rahmen dieser Masterarbeit nicht berechnet werden können, muss auch auf die Ermittlung der zusätzlichen Reisekosten aufgrund der eingeschränkten Verfügbarkeit derzeit verzichtet werden.

6.1.2 Fahrzeugbetriebskosten

Zusätzliche Fahrzeugbetriebskosten können insbesondere im Fall von Stau während eines Erhaltungsprojektes und einer damit verbundenen Baustelle entstehen. Wie im Kapitel 4.5.2 ausführlich beschrieben, sollte an dieser Stelle zwischen „normalem“ Verkehrsstau, der aufgrund limitierter Kapazität entsteht, und zusätzlichem Stau, der infolge des Erhaltungsvorhabens verursacht wird, unterschieden werden. Die durchschnittlichen Treibstoffverbrauchswerte wurden von Hulmak [44] ermittelt und können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden:

Tab. 24: Treibstoffverbrauch mit und ohne Stau [44]

Treibstoffverbrauch [l/100km]	Benzin	Diesel	Güterverkehr
Ohne Stau	5,4	4,7	30
Mit Stau	9,0	6,7	37

Die restlichen Eingangsparameter wie mittlere Staulänge $m_{L_{\text{Stau},m}}$, Dauer des Erhaltungsprojektes D_m , mittlerer Treibstoffverbrauch m_{Treib} und die Treibstoffkosten pro Liter K_{stTreib} , die in den Gleichungen (21) und (22) vorkommen, wurden bereits im Kapitel 6.1.1.2 beschrieben.

6.2 Verkehrssicherheitsaspekte

6.2.1 Einsparungen von Unfallkosten durch ein Erhaltungsprojekt

Wie im Kapitel 4.6.1 beschrieben, kann die Verbesserung der Sicherheitssituation eines Straßenabschnittes m unter anderem durch die Durchführung eines Erhaltungsprojektes erreicht werden. Die maßgebenden Zustandsmerkmale für die Sicherheit sind die Griffigkeit und die Spurrinnentiefe bzw. die Wassertiefe in einer Spurrinne.

Wie bereits erläutert, ist der sensible Faktor bei der Modellierung der Einsparungen neben den Zustandsmerkmalen vor allem die Anzahl der Fahrzeuge, die über einen Straßenabschnitt fahren. Die IMT Datenbank der ASFINAG beinhaltet sowohl die aktuellen und historischen Verkehrsdaten als auch die Zustandsprognosemodelle für die Griffigkeits- und Spurrinnenentwicklung. Somit kann die Verschlechterung des Zustandes im Laufe der Zeit unter gegebener Verkehrsbelastung für jeden Analyseabschnitt für jedes einzelne Bewertungsjahr prognostiziert werden. Im Vergleich zum Zustandsmerkmal Griffigkeit, wo, wie nachfolgend beschrieben, historische und aktuelle Zusammenhänge zum Unfallgeschehen bestehen, ist dies bei der Spurrinnen nicht der Fall. Eine Spurrinne kann nur dann zum Aquaplaning führen, wenn das Wasser nicht abfließen kann, sodass das Merkmal Wassertiefe maßgebend ist. Dieses Merkmal wird erst seit wenigen Jahren im PMS der ASFINAG berücksichtigt und aktuelle Zusammenhänge zum Unfallgeschehen liegen der Autorin derzeit nicht vor. Darüber hinaus ist die ASFINAG verpflichtet, Sofortmaßnahmen zu setzen, wenn der Schwellenwert für Spurrinnen und Wassertiefe nach RVS 13.01.15 [1] überschritten wird. Dies bedeutet eine kurzfristige Instandhaltung (z.B. Fräsen) oder eine Reduktion der zulässigen Höchstgeschwindigkeit bei Nässe. Auch bei der Griffigkeit gibt es einen Schwellenwert (Reibungsbeiwert $\mu = 0,38$ nach RVS 13.01.15 [1] wo Sofortmaßnahmen notwendig sind, jedoch beginnt die Wirkung auf das Unfallgeschehen nach Schrenk [46] bereits bei einem μ -Wert von 0,75, sodass dieses Zustandsmerkmal maßgebend ist und für die Modellrechnung herangezogen werden muss.

Eine umfangreiche Studie zum Thema „Griffigkeit und Verkehrssicherheit auf nasser Strasse“ wurde bereits 1975 an der ETH Zürich durchgeführt. Huschek stellt in [45] fest:

„Den heutigen Erkenntnissen entsprechend kommt den Griffigkeitsverhältnissen wie auch den Problemen der Entwässerung von Straßenoberflächen im Hinblick auf die Verkehrssicherheit eine große Bedeutung zu“.

Im Sinne einer Korrelationsstudie wurden dabei für 10 Abschnitte auf dem Gebiet des Kantons Aargau, von denen Griffigkeitswerte und Unfallzahlen bekannt waren, der Anteil der Unfälle bei Nässe über jeweils zwei Jahre berechnet und in Zuordnung zu dem Griffigkeitswert in die nachfolgende Abb. 17 eingetragen:

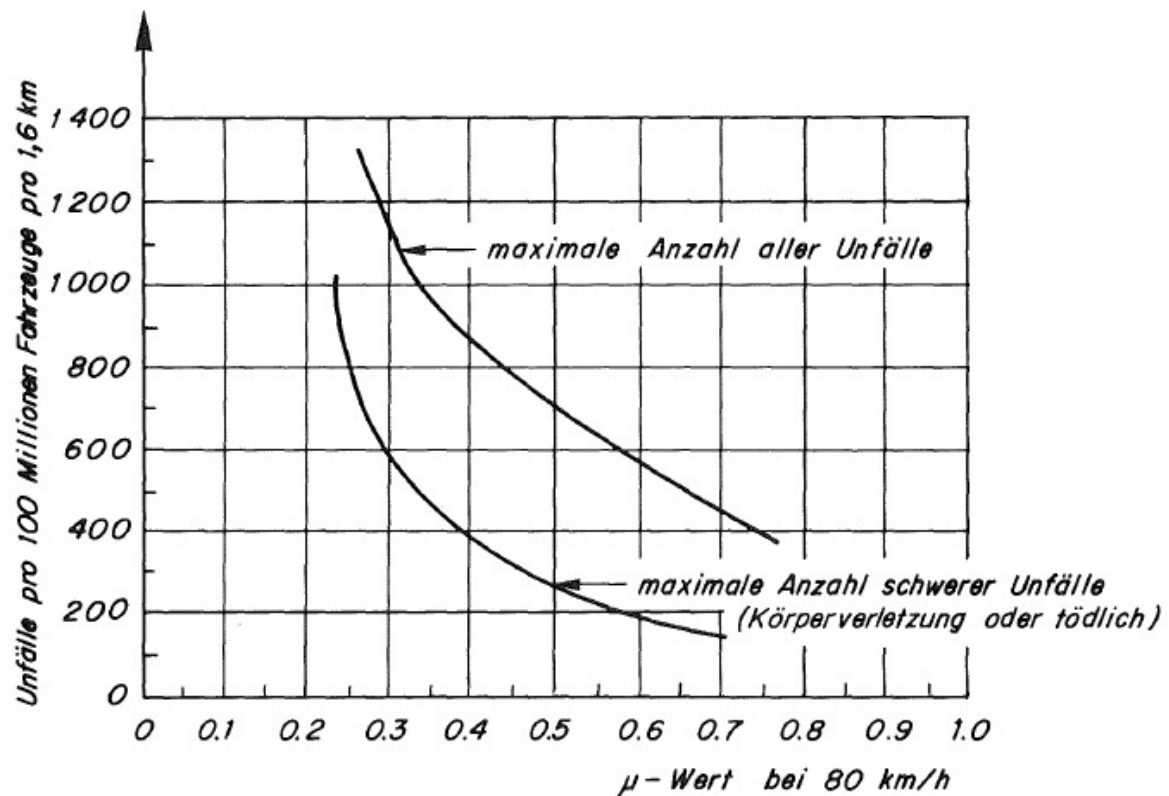


Abb. 17: Unfallhäufigkeit in Abhängigkeit vom Griffigkeitswert [45]

Der Einfluss der Griffigkeitswerte gemessen mit dem Schlepprad bei 80 km/h auf den Anteil der Unfälle bei Nässe, geht daraus sehr deutlich hervor [45].

Eine ähnliche Untersuchung wurde 2012 im Rahmen der Masterarbeit „Analyse des Unfallgeschehens bei Nässe auf Landesstraßen im Zusammenhang mit der Fahrbahngriffigkeit“ vom Schrenk durchgeführt. Dabei wurden mit dem Hochleistungsmessgerät RoadSTAR erfassten Daten aus dem Landesstraßennetz L und B der Bundesländer Vorarlberg und Tirol mit den Unfalldaten im Betrachtungszeitraum zwischen 2005 und 2009 auf diesen Strecken analysiert um mögliche Zusammenhänge zu untersuchen. Schrenk stellt in seiner Masterarbeit [46] fest, dass die Unfallwahrscheinlichkeit bei schlechter werdenden Reibungsbeiwerten exponentiell ansteigt, siehe nachfolgende Abb. 18:

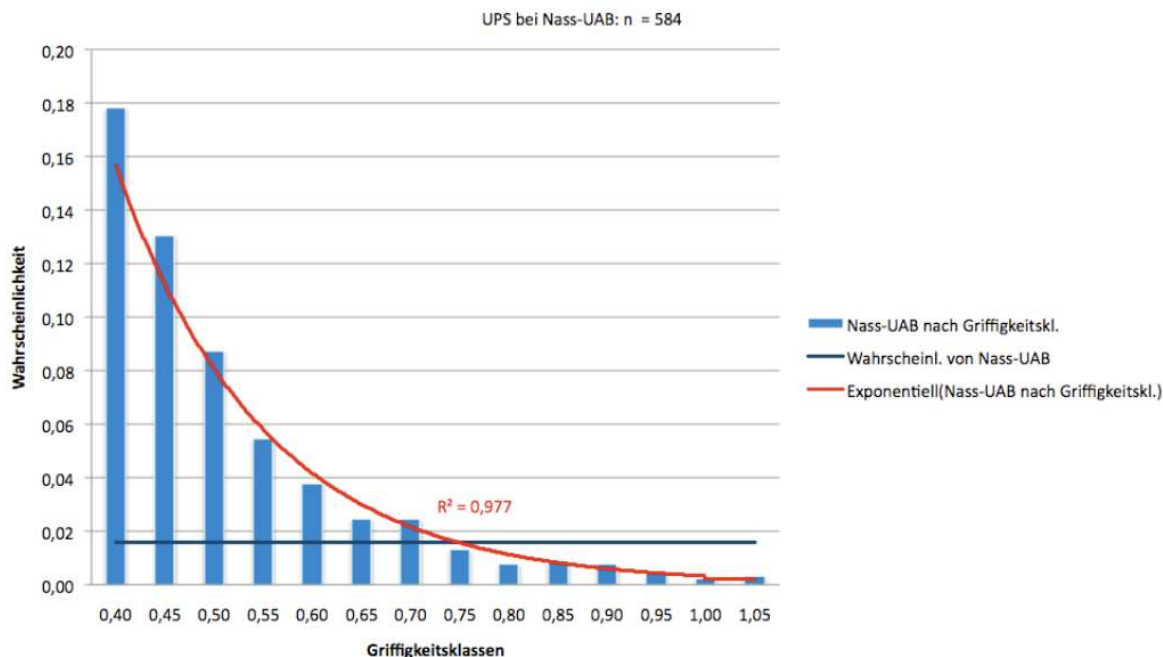


Abb. 18: Wahrscheinlichkeit von unfallauffälligen Bereichen bei Nässe nach Griffigkeitsklassen bei nächstgelegenen Griffigkeitswert (5-Meter-Wert) um die Unfallstelle im landesstraßennetz L und B in Vorarlberg und Tirol im Zeitraum von 2007 bis 2009 [46]

In der gegenständlichen Masterarbeit wird die in der Abb. 18 dargestellte Korrelation zwischen der Unfallwahrscheinlichkeit und der Griffigkeitsklasse genutzt, um die Unfallrate in Abhängigkeit von der Griffigkeit vor und nach dem Erhaltungsprojekt abschätzen zu können. Somit kann die Auswirkung einer Erhaltungsmaßnahme auf das Sicherheitsniveau ausgedrückt als Unfallrate abgeschätzt werden. Die Grundwahrscheinlichkeit über das griffigkeitsunabhängige Vorhandensein eines nassunauffälligen Bereiches ist mit ca. 1,6% zu entnehmen (siehe dunkelblaue Linie). Diese Wahrscheinlichkeit schneidet die Griffigkeitsklasse $\mu = 0,75$ [46]. Das bedeutet, dass alle Unfälle die bei einer Fahrbahngriffigkeit größer als $\mu = 0,75$ vorkommen können als zustandsunabhängig klassifiziert werden, umgekehrt gilt, dass bei eine $\mu < 0,75$ eine Wirkung auf das Unfallgeschehen vorhanden ist.

Im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit wurden daher folgende vereinfachten Modelle erstellt, die die Erkenntnisse aus [45] und [46] zusammenfassen und für die gegenständliche Fragestellung zu verwenden.

$$UF_{Ges} = UF_{Nass} + UF_{Tr} \quad (69)$$

$$pUF_{Nass} = \frac{UF_{Nass}}{UF_{Ges}} \quad (70)$$

$$\Delta UF_{Nass} = UF_{Ges} \cdot \frac{aPoUF_m}{bPoUF_m} \cdot pUF_{Nass} \quad (71)$$

UF_{Ges}	Gesamtunfallzahl [Unfall/Jahr]
UF_{Nass}	Unfallanzahl bei nasser Fahrbahn [Unfall/Jahr]
UF_{Tr}	Unfallanzahl bei trockener Fahrbahn [Unfall/Jahr]
pUF_{Nass}	Anteil der Nassunfälle [-]
ΔUF_{Nass}	Differenz der Anzahl der Nassunfälle vor und nach dem Erhaltungsprojekt [Unfall/Jahr]
$aPoUF_{s,m}$	Wahrscheinlichkeit eines Unfalls nach einem Erhaltungsprojekt
$bPoUF_{s,m}$	Wahrscheinlichkeit eines Unfalls vor einem Erhaltungsprojekt

Somit können die Einsparungen von Verkehrssicherheitskosten bzw. Unfallkosten durch ein Erhaltungsprojekt folgendermaßen ermittelt werden:

$$EinspSKST_{s,m} = \Delta UF_{Nass} \cdot UnfKST_n \quad (72)$$

$EinspSKST_{s,m}$ Einsparungen bei den Sicherheitskosten nach dem Erhaltungsprojekt m an Abschnitten s [€]

$UnfKSTR_n$ Unfallkostenrate auf dem Straßennetz n in [€/Unfall] s. Tab. 26

Für die Ermittlung der langfristigen Einsparungen bei Verkehrssicherheitskosten bzw. Unfallkosten vor und durch ein Erhaltungsprojekt muss der Zeitrahmen für die Bewertung der Effekte eines Erhaltungsprojektes definiert werden. Dieser hängt stark von der Art und ihrer Wirkungs-dauer. In der vorliegenden Masterarbeit wird ein Analysezeitraum von 16 Jahren gewählt. Die Grundlage dafür ist die tatsächliche Analyseperiode, die in der Absprache mit der ASFINAG festgelegt wurde und die als Grundlage für die jährliche Lebenszyklusanalyse herangezogen wird. Die Wirkungs-dauer einer Erhaltungsmaßnahme wird durch den „Rücksetzwert des Zustandes“ der jeweiligen Maßnahme und die Zustandsprognose nach der Erhaltungsmaßnahme abgebildet. Mit Hilfe der in der nachfolgenden Tab. 25 dargestellten Unfallkostenraten können die Einsparungen unter Berücksichtigung der jährlichen Verkehrszunahme über die Zeit kumuliert werden (siehe Gleichung (26)).

Tab. 25: Verunglücktenraten, UPS-Raten und Unfallkostenraten nach standardisierten Straßentypen (2009) [43]

	Bundesstraßen A und S	Sonstige Freilandstraßen	Straßen im Ortsgebiet	Alle Straßen
Getötetenraten [Anzahl Getötete/Mio Kfz-km]	0,0038	0,0175	0,0106	0,0106
Schwerverletztenraten [Anzahl Schwerverletzte/Mio Kfz-km]	0,0433	0,02159	0,2964	0,1762
Leichtverletztenraten [Anzahl Leichtverletzte/Mio Kfz-km]	0,1124	0,4722	1,3165	0,5804
UPS-Raten [Anzahl UPS/Mio Kfz-km]	0,0990	0,4971	1,3048	0,8511
Unfallkostenraten [EUR/Mio Kfz-km]	0,0366	0,1762	0,2734	0,1532

Tab. 26: Kostensätze für Unfallereignisse in EUR (Preisstand 2009) [43]

Kostenart	Kosten [EUR]
Kosten pro Getöteten	2.836.956
Kosten pro Schwerverletzten	335.725
Kosten pro Leichtverletzten	24.085
Sachschaden pro Unfall mit Personenschaden (ohne Unfälle mit Schienenfahrzeugbeteiligung)	85.921

Die in den Gleichungen (29) bis (31) beschriebenen Modelle zur Ermittlung der Häufigkeit des Auftretens eines bestimmten Schadenstyps werden im Rahmen dieser Masterarbeit nicht näher behandelt und können der zitierten Literatur entnommen. Die Ursachen dafür sind einerseits die Tatsache, dass die Griffigkeitsmessmethode, die in der Schweiz angewendet wird, sich von der österreichischen Methode mittels RoadSTAR unterscheidet und somit die Messdaten nicht direkt

vergleichbar sind. Andererseits werden in Gleichungen (29) bis (31) bereits die Zustandswerte verwendet, das heißt die im Zuge der Zustandserfassung gemessene physikalische Zustandsgrößen wurden bereits normiert. Eine Normierung bedeutet eine Bewertung des Schadens in Relation zur Auswirkung auf den Straßennutzer oder den Straßenerhalter [6]. Aus den beiden oben genannten Gründen ist die Anwendung der in der Schweiz entwickelten Modelle für die österreichischen Verhältnisse daher nicht möglich.

6.2.2 Zusätzliche Verkehrssicherheitskosten während eines Erhaltungsprojekts

Die Notwendigkeit der Berücksichtigung der zusätzlichen Verkehrssicherheitskosten während eines Erhaltungsprojektes wurde im Kapitel 4.6.2 erläutert. Dabei wurden viele, der in der Gleichung (32) relevanten Größen in den vorigen Kapitel bereits beschrieben:

- Die Unfallkostenraten $UnfKSTR_n$ können der Tab. 25 bzw. Tab. 26 entnommen werden
- Dauer des Erhaltungsprojektes D_m kann mithilfe der Abb. 9 abgeschätzt werden
- Länge des Abschnittes L_s ergibt sich direkt aus der Analyseabschnitten
- Reduziertes jährliches durchschnittliches tägliches Verkehrsaufkommen $JDTV_{red,s}$ wurde im Kapitel 4.5.1.1.1 beschrieben

Die fehlenden Parameter, um die zusätzlichen Sicherheitskosten während eines Erhaltungsprojektes berechnen zu können sind:

- Zusätzliche Unfallrate $zusUnfR_{Bau,n}$ auf den Baustellendes Netzes n und
- Kosten für die Sicherheitsmaßnahmen $KST_{Sichm,s,m}$ in der Arbeitszone des Erhaltungsprojektes m auf dem Abschnitt s

Brozek hat sich im Rahmen ihrer Dissertation [30] unter anderem mit den Unfallraten im Baustellenbereich befasst. Dabei hat sie eine Aufstellung der zusätzlichen Unfallraten zufolge Baustelleneinrichtung für das PMS-Modul VIAPMS-Nutz erstellt (siehe nachfolgende Tab. 27):

Tab. 27: Zusätzliche Unfallraten zufolge Baustelleneinrichtung [30]

	In BS	Gegen BS		In BS	Gegen BS
2 Fahrstreifen je Richtung	Unfallrate Personenschaden Unfälle/10 ⁶ Kfz km		3 Fahrstreifen je Richtung	Unfallrate Unfälle/10 ⁶ Kfz km	
VF 2+2red	0,050	0,000	VF 3+3red	0,050	0,000
VF 2+1	0,104	0,000	VF 3+2	0,050	0,000
VF 3+1	0,107	0,104	VF 3+1	0,050	0,000
VF 3+0	0,107	0,104	VF 3*+1	0,104	0,104
VR 2+0	0,104	0,104	VR 4+1	0,107	0,107
VF 4+0	0,107	0,107	VR 4+2	0,107	0,107
			VF 5+1	0,107	0,107
			VF 4+0	0,107	0,107
			VF 5+0	0,107	0,107
			VF 6+0	0,107	0,107

Die Ermittlung der zusätzlichen Verkehrssicherheitskosten während der Erhaltungsmaßnahmen benötigt genaue Angaben bezüglich Baustelleneinrichtung, speziell für die Verkehrssicherheitseinrichtungen. Da diese Information bei den Bauprogrammsdaten zur Zeit nicht explizit vorhanden sind und diese Kosten durch die ASFINAG in die Einheitspreise der Erhaltungsmaßnahmen bereits eingerechnet werden, können die im Kapitel 4.6.2 beschriebenen Modell nicht angewandt werden. Dieser Anteil ist somit in den direkten Maßnahmenkosten berücksichtigt.

Sollten in der Zukunft genauere Angaben bezüglich Baustelleneinrichtung für die jeweiligen Erhaltungsprojekte vorliegen, können die im Kapitel 4.6.2 beschriebenen Modell implementiert werden.

6.3 Umweltauswirkungen durch Erhaltungsprojekte

6.3.1 Umweltauswirkungen auf die Wasser- und Bodenqualität durch eine Verbesserung des Entwässerungssystems

6.3.1.1 Auswirkungen von Überschwemmungen aufgrund begrenzter Kapazität der Entwässerungseinrichtungen

Aufgrund des aktuellen Mangels an ausreichenden Daten zur Bestimmung der Versagenswahrscheinlichkeit in Bezug auf Überschwemmungen durch limitierter Abflusskapazitäten, ist es derzeit nicht möglich, das im Abschnitt 4.7.2.1 detaillierte Modell im Rahmen dieser Masterarbeit anzuwenden. Das Fehlen dieser relevanten Informationen begrenzt die Anwendbarkeit und Zuverlässigkeit des Modells für die spezifische Problemstellung.

Es ist jedoch wichtig zu betonen, dass bei zukünftiger Verfügbarkeit relevanter Daten das Modell nachträglich in die Analyse integriert werden kann. Es ist daher empfehlenswert, regelmäßig nach neuen Informationen zu suchen und gegebenenfalls das Modell zu aktualisieren, um die Qualität und Aussagekraft der Forschungsergebnisse zu verbessern.

6.3.1.2 Auswirkungen der Kontamination von Wasser/Boden aufgrund des Zustands des Entwässerungssystems

Die in Kapitel 4.7.2.2 beschriebenen Modelle, die darauf abzielen, die Wahrscheinlichkeit einer Kontamination von Wasser oder Boden infolge eines kritischen Unfalls im Zusammenhang mit dem Entwässerungssystem zu quantifizieren, stehen derzeit vor Umsetzungs Herausforderungen. Dies resultiert aus einem Mangel an ausreichenden Daten, die den aktuellen Zustand des Entwässerungssystems in Bezug auf potenzielle Kontaminationsrisiken dokumentieren.

Um diese Modelle erfolgreich zu implementieren, ist es von entscheidender Bedeutung, genaue und umfassende Daten bezüglich der Funktionalität und Zustände des Entwässerungssystems zu sammeln. Insbesondere fehlen derzeit Informationen zur Wahrscheinlichkeit einer Kontamination, die durch verschiedene Szenarien eines kritischen Unfalls verursacht werden könnte.

Die Aussicht auf die zukünftige Umsetzung dieser Modelle bleibt dennoch optimistisch, da Fortschritte bei der Datenerfassung und -analyse zu erwarten sind. Sobald ausreichend relevante Informationen verfügbar sind, besteht die Möglichkeit, das Modell in die Analyse zu integrieren.

6.3.2 Umweltauswirkungen auf die Luftqualität und GHG-Emissionen aufgrund eines verbesserten Fahrbahnzustandes

Wie im Kapitel 4.7.3 beschrieben kann eine GHG-Emissionsminderung durch die Verbesserung des Straßenoberflächenzustandes erzielt werden. Eine aktuelle Studie [47] aus Columbien zeigt die Abhängigkeit des Global Warming Potentials (GWP) von der Längsebenheit (IRI) der Fahrbahn je nach Fahrzeugkategorie (siehe Abb. 19 und Abb. 20.). Da es genug Daten bezüglich der Verbesserung des Fahrbahnzustandes aufgrund eines Erhaltungsprojektes in Abhängigkeit der Maßnahmenart gibt, könnten diese Erkenntnisse im Rahmen dieser Masterarbeit grundsätzlich genutzt werden, um die Einsparungen bei den GHG-Emissionen aufgrund von Erhaltungsprojekten zu ermitteln (s. Gleichung (45)).

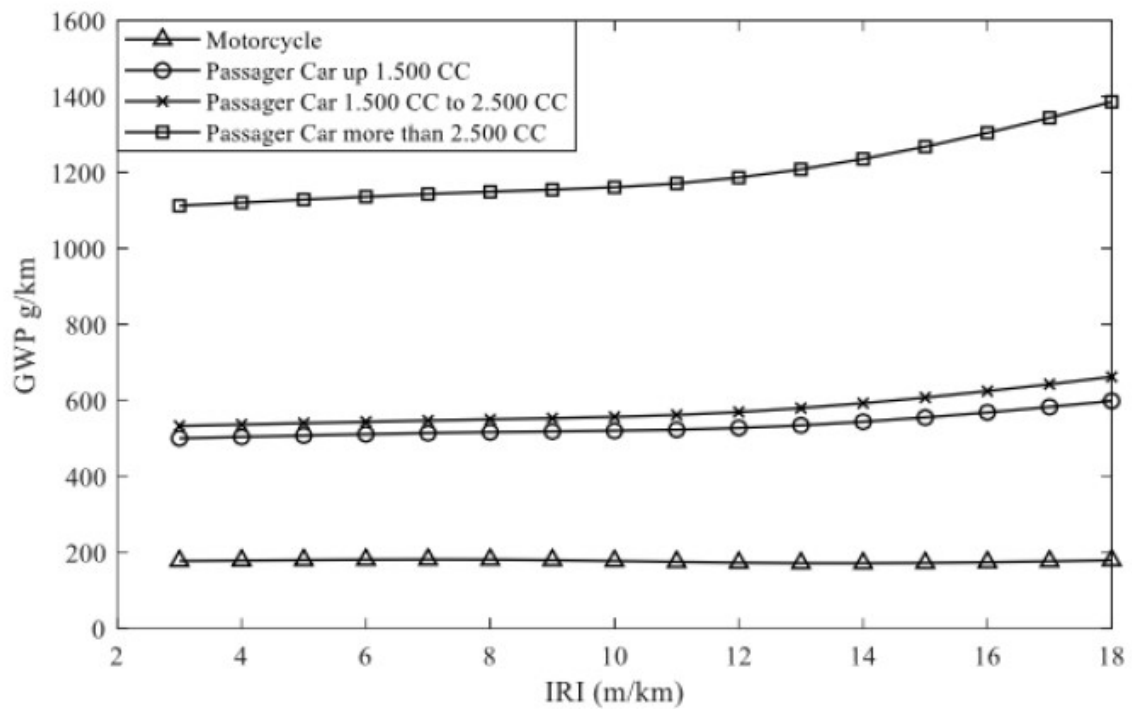


Abb. 19: Ergebnis des Kraftstoffverbrauchs für städtische Straßen in Barranquilla, Kolumbien. Teil A [47]

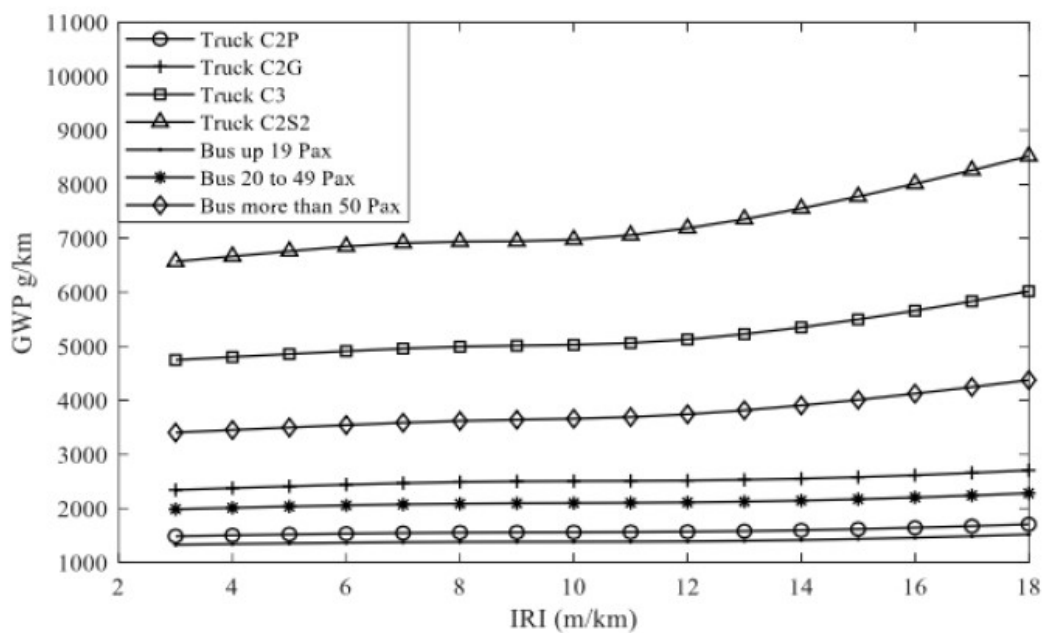
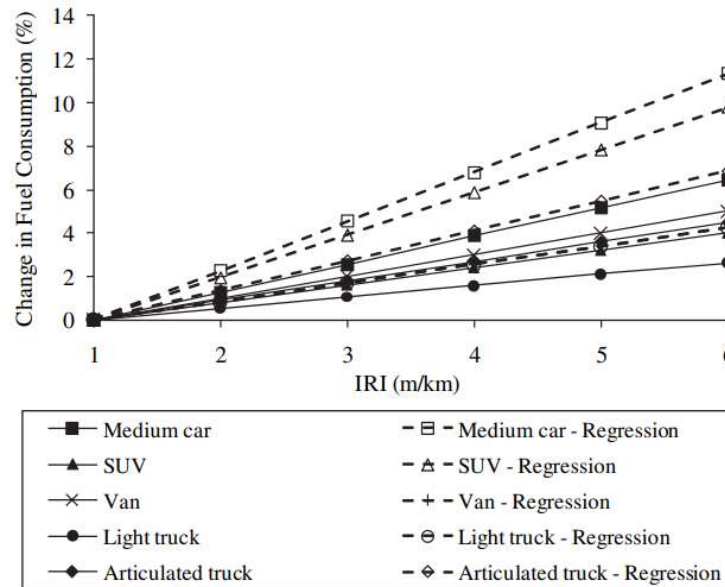


Abb. 20: Ergebnis des Kraftstoffverbrauchs für städtische Straßen in Barranquilla, Kolumbien. Teil B [47]

Aufgrund der Tatsache, dass diese Modelle nur bedingt auf österreichische Verhältnisse übertragbar sind, wird auf aktuelle Erkenntnisse aus anderen und derzeit noch laufenden Projekten zurückgegriffen.



(a) Current HDM 4 model

Abb. 21: Einfluss der Längsebenheit (IRI) auf den Kraftstoffverbrauch bei 88 km/h [48]

Die Abb. 21 illustriert die Veränderung des Kraftstoffverbrauchs (im Vergleich zum Ausgangszustand bei IRI = 1 m/km) in Abhängigkeit vom jeweiligen IRI-Wert unter Verwendung des aktuellen HDM 4-Modells [48] der Weltbank.

Im Rahmen des laufenden Forschungsprojektes SABINA [49] wurde unter Heranziehung neuerer Grundlagen (siehe hierzu [48] und [50]) ein Vorschlag für ein generelles Modell zur Analyse des relativen Treibstoffverbrauchs in Abhängigkeit von der Längsebenheit erarbeitet. Hierbei erfolgt eine Unterscheidung zwischen Personenkraftwagen und Lastkraftwagen sowie eine Berücksichtigung verschiedener Geschwindigkeitsstufen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in der nachfolgenden Abb. 22 dargestellt.

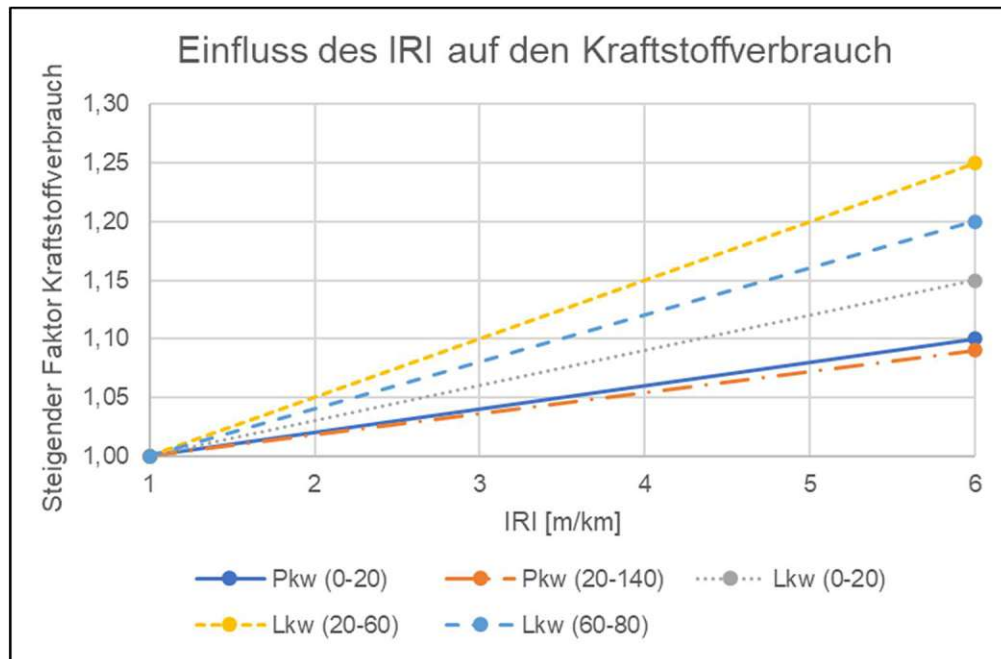


Abb. 22: Treibstoffverbrauchs in Abhängigkeit von der Längsebenheit und Geschwindigkeitsstufen für Personenkraftwagen und Lastkraftwagen [50]

Darüber hinaus wurde eine vereinfachte Zusammenstellung des Kraftstoffverbrauchs in Abhängigkeit vom Fahrzeugtyp Pkw und Lkw in Abhängigkeit von unterschiedlichen Geschwindigkeitsbereichen erarbeitet, die der **Tab. 28** entnommen werden kann.

Tab. 28: Kraftstoffverbrauch in Abhängigkeit von Fahrzeugtyp und Geschwindigkeitsbereich [51]

	Geschwindigkeitsbereiche (km/h)					
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120 120-140
Pkw	15	8	5	7	8	9
Lkw	25	15	10	20	30	

Das Modell, das in Abb. 22 dargestellt ist, wird in Kombination mit den Kraftstoffverbrauchsdaten in Tabelle 23 verwendet, um die Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs aufgrund eines verbesserten Fahrbahnzustands zu berechnen. Dabei wird die reduzierte oder veränderte Kraftstoffverbrauchsrate gemäß Tab. 29 in Kilogramm CO₂-Äquivalent umgewandelt mit der Verkehrsbelastung multipliziert und anschließend mithilfe der CO₂-Bepreisung [55] monetarisiert. Diese Monetarisierung ermöglicht es, die Einsparungen bei den Umweltkosten aufgrund des verbesserten Fahrbahnzustands darzustellen.

Tab. 29: CO₂-Emissionsfaktoren in Abhängigkeit vom Fahrzeugtyp [55]

Fahrzeugtyp	CO ₂ -Emissionsfaktor pro Liter (GWP)
Benzin (Pkw)	2,8
Diesel (Lkw)	3,2

6.3.3 Umweltauswirkungen von Recyclingmaterial und Berücksichtigung der eingebrachten (grauen) Energie

6.3.3.1 Einsparungen bei den Umweltkosten durch die Verwendung von Recyclingmaterial und energiearmen Materialien

Die Einsparungen bei den Umweltkosten können durch die Verwendung von Recyclingmaterial erzielt werden. Im Kapitel 4.7.4.1 wurden die Erkenntnisse der Projektes EVITA [17] beschrieben und ein Modell vorgestellt anhand dessen die Einsparungen berechnet werden können. Dabei wird angenommen, dass der maximal mögliche Anteil an Recyclingmaterial im Zuge des Erhaltungsprojektes tatsächlich eingesetzt wird, was jedoch in der Realität meistens nicht der Fall ist.

Da nicht genügend Daten bezüglich des tatsächlich eingesetzten Anteiles an Recyclingmaterialien und den Preisunterschied zwischen den Baustoffen mit und ohne Recyclingmaterial zur Verfügung stehen, werden die im Rahmen des ISABELA Projektes entwickelten Modelle nicht angewendet.

6.3.3.2 Umweltkosten infolge der eingebrachten (grauen) Energie

Eine ähnliche Fragenstellung wurde allerdings im Zuge des Projektes KOMBAS [52] behandelt. Das Hauptziel von KOMBAS (Kombinierte Bauweise Beton - Asphalt) bestand darin, die bautechnischen Anforderungen für die kombinierte Bauweise "Betondecke mit Asphaltdeckschicht" zu entwickeln und zu bewerten. Ein umfassender Leitfaden wurde erarbeitet, um die Bewertung und praktische Umsetzung auf dem Straßennetz der ASFINAG zu erleichtern. Hierbei spielten die präzise Auswahl der Baumaterialien, insbesondere mit Fokus auf lärmindernde Deckschichten, die optimale Dimensionierung der geschichteten Konstruktion, der Schichtverbund sowie die wirtschaftlich-ökologische Lebenszyklusbewertung eine entscheidende Rolle. Alle diese Aspekte waren von herausragender Bedeutung, um die höchstmögliche Verfügbarkeit der Strecken für die Nutzer zu gewährleisten. Das Projekt wurde mittlerweile 2022 abgeschlossen.

Ein wichtiger Teil dieses Forschungsprojekts war die Durchführung einer vereinfachten Ökobilanz sowie die Quantifizierung des Global Warming Potentials (GWP) in CO₂-Äquivalenten. Auf

dieser Grundlage wurden die zusätzlichen CO₂-Emissionen während des Erhaltungsprojekts in verschiedenen Aspekten ermittelt:

- Materialgewinnung der Rohstoffe (beispielsweise Gestein, Bindemittel)
- Mischung der Rohstoffe zu Mischgut
- Transport der Materialien beziehungsweise des Mischguts zur Baustelle
- Einbau der Materialien beziehungsweise des Mischguts
- Abbruch von Materialien während einer Erhaltungsmaßnahme
- Abtransport von Abbruchmaterialien
- Recyclingpotential am Ende der technischen Nutzungsdauer

Die Berechnungen wurden unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Entfernung zwischen der Einbaustelle und der Mischgutproduktion durchgeführt. Diese betrug für Beton 30 km, für Asphalt 50 km und für Stahl 80 km [52].

Die gründliche Literaturrecherche sowie die Nutzung spezifischer Fachdatenbanken wie ÖKO-BAUDAT [53] (Deutschland) und Baubook [54] (Österreich) im Rahmen des KOMBAS-Projekts [52] haben es ermöglicht, eine Zusammenstellung der GWP-Werte in Abhängigkeit von der Art der durchgeführten Maßnahmen zu erstellen:

Tab. 30: GWP-Bilanz (CO₂-Äquivalent) für Neubau / Errichtung [52]

Bereich	GWP-Gesamt	Einheit
Asphaltbauweise AS1 LK42 mit SMA S2 oder SMA S3		
Materialgewinnung	58,639	kg CO ₂ -äquivalent
Mischgutherstellung	12,895	kg CO ₂ -äquivalent
Transport	7,599	kg CO ₂ -äquivalent
Einbau	1,143	kg CO ₂ -äquivalent
Gesamt	80,277	kg CO ₂ -äquivalent
Betonbauweise BE1 LK40		
Materialgewinnung	107,127	kg CO ₂ -äquivalent
Mischgutherstellung	3,124	kg CO ₂ -äquivalent
Transport	6,083	kg CO ₂ -äquivalent
Einbau	1,317	kg CO ₂ -äquivalent
Gesamt	117,652	kg CO ₂ -äquivalent

Tab. 31: GWP-Bilanz (CO₂-Äquivalent) für Instandsetzungsmaßnahmen [52]

Bereich	GWP-Gesamt	Einheit
Asphaltoberbau - Instandsetzung Deckschicht (I_DE)		
Materialgewinnung	3,503	kg CO ₂ -äquivalent
Abbruch	1,540	kg CO ₂ -äquivalent
Abtransport	0,403	kg CO ₂ -äquivalent
Mischgutherstellung	1,433	kg CO ₂ -äquivalent
Transport	0,403	kg CO ₂ -äquivalent
Einbau	0,061	kg CO ₂ -äquivalent
Gesamt	7,343	kg CO ₂ -äquivalent
Asphaltoberbau - Instandsetzung Verstärkung im Tiefeinbau (I_VT)		
Materialgewinnung	22,479	kg CO ₂ -äquivalent
Abbruch	10,783	kg CO ₂ -äquivalent
Abtransport	2,807	kg CO ₂ -äquivalent
Mischgutherstellung	10,030	kg CO ₂ -äquivalent
Transport	2,807	kg CO ₂ -äquivalent
Einbau	0,424	kg CO ₂ -äquivalent
Gesamt	49,331	kg CO ₂ -äquivalent

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurden die zusätzlichen Umweltkosten infolge der Durchführung von Baumaßnahmen berechnet. Hierbei wurden die entsprechenden GWP-Werte (in Kilogramm CO₂-Äquivalenten) in Abhängigkeit von der Art der Maßnahmen ermittelt und anschließend mithilfe der CO₂-Bepreisung [55] in monetäre Werte umgerechnet und ausgewertet (s. Kapitel 7.5).

6.3.3.3 Einsparungen bei den Umweltkosten durch die Senkung der eingebrachten (grauen) Energie

Im theoretischen Modell, das im Kapitel 4.7.4.2 beschrieben wird, werden die Grundlagen für die Berechnung der Umweltkosten durch die Senkung der eingebrachten Energie erläutert. Leider stehen für die Alternativen 1 und 2 keine Daten zur grauen Energie zur Verfügung. Daher ist es nicht möglich, das beschriebene Modell im Rahmen der Masterarbeit zu implementieren. Sollten jedoch zukünftig Daten verfügbar sein, können diese Modelle zur Anwendung kommen.

6.3.4 Einsparung von Umweltkosten durch die Reduzierung der Lärmemission

Im Kapitel 4.7.5 wurden die möglichen Einsparungen von Umweltkosten durch die Reduzierung der Lärmemissionen beschrieben. Um diese Einsparungen ermitteln zu können, ist es notwendig, die zeitabhängige Wirkung des Erhaltungsprojektes aus lärmtechnischer Sicht zu bewerten. Die nachfolgende Abb. 23 zeigt schematisch den kombinierten Lebenszyklus, sowohl aus baulicher als auch aus akustischer Sicht.

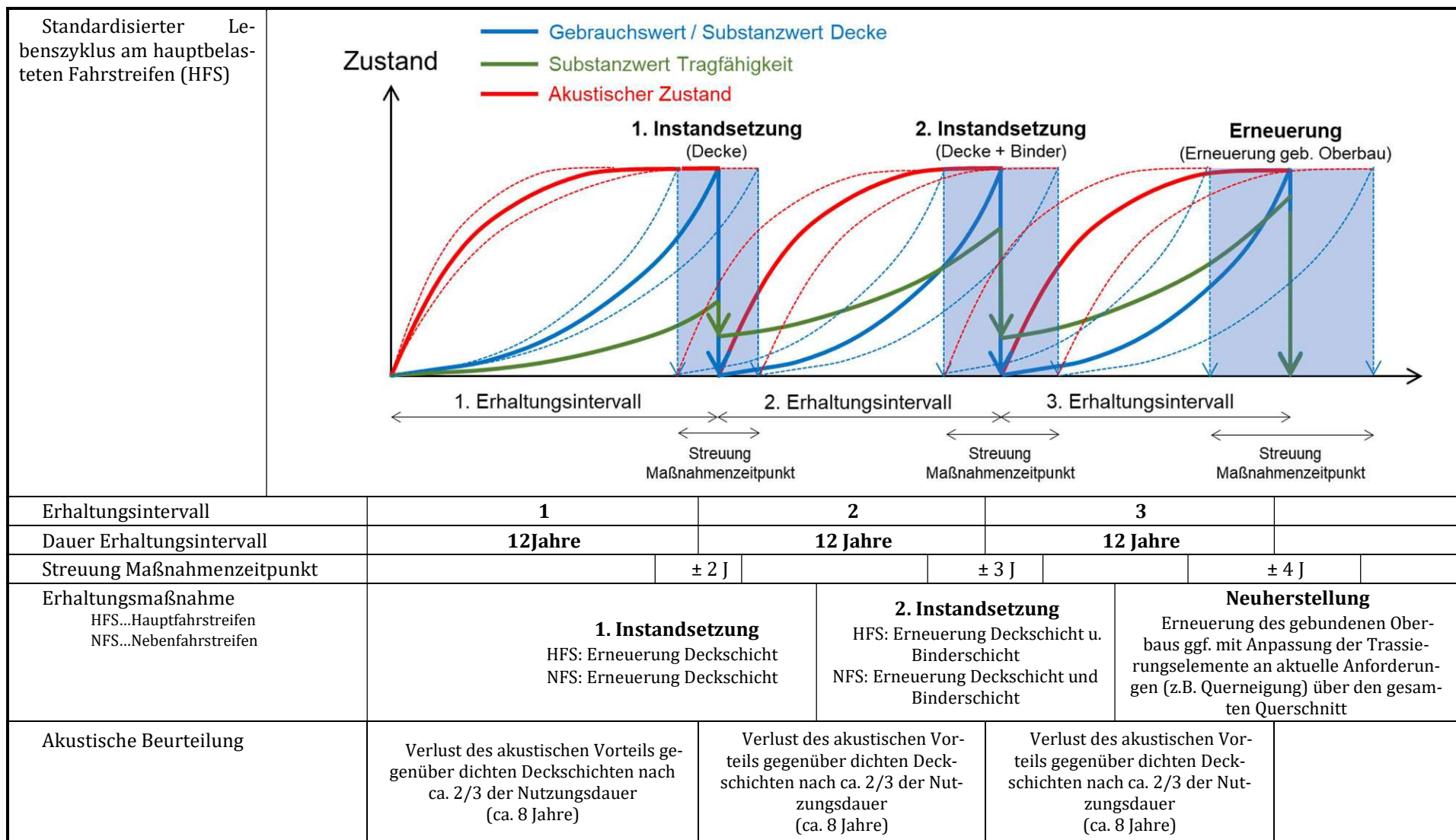


Abb. 23: Kombiniertes Lebenszyklus baulich und akustisch – Asphaltbauweise mit larmmindernder Deckschicht (SMA S3) nach [56]

Sowohl im Projekt ADURA [56] als auch im Bericht „Lärmindernde Fahrbahnbeläge“ [57] wird davon ausgegangen, dass für die Lärmbetroffenen ein Nutzen der Lärminderung für einen Zeitraum von acht Jahren besteht. Diese Angabe betrifft jedoch lediglich die Asphaltbauweise mit lärmmindernder Deckschicht (SMA S3).

Da keine genaueren Daten bezüglich der akustischen Wirkungsdauer der Betondecken und den Asphaltdeckschichten Typ SMA S1 und SMA S2 vorliegen, wird an dieser Stelle folgende Annahme diesbezüglich getroffen und entsprechend begründet. Das Projekt ADURA [56] sieht vor, dass bei den Asphaltbelägen SMA S3 eine akustische Lebenszyklusdauer bei ca. 2/3 der technischen Nutzungsdauer erreicht wird. Da die Nutzungsdauer der Asphaltdeckschichttypen SMA S1 und SMA S3 bei ca. 16 Jahren und jene von Beton ca. 30 Jahre beträgt, bedeutet das eine akustische Nutzungsdauer von 10 Jahren bei Asphalt und 20 Jahren bei Beton [57].

Ein weiterer Parameter zur Beurteilung des Einsparungspotential von Umweltkosten durch die Reduzierung der Lärmemissionen ist die lärmindernde Wirkung verschiedener Straßenbeläge, die der nachfolgende Tab. 32 entnommen werden kann:

Tab. 32: Lärmindernde Wirkung verschiedener Fahrbahnbeläge [57]

Belagsart	Lärminderung [dB(A)]
Lärmarmer Gussasphalt	2-3
Splittmastixasphalt (SMA 8 und SMA 11)	2
Lärmarmer Splittmastixasphalt (SMA LA)	4
Lärmoptimierte Asphaltdeckschicht LOA 5 D	3
Offenporiger Asphalt (OPA) einschichtig und zweischichtig	5
Gussasphalt mit offenporiger Oberfläche (PMA)	4
Dünne Asphaltdeckschichten in Kalt- bzw. Heibauweise	1
Dünne Asphaltdeckschicht in Heibauweise auf Versiegelung DSH-V	4-5
Asphaltbeton	2
Washbeton	2
Betondecke mit Grinding-Oberfläche	2-3

Weiters ist es wichtig, die Anzahl der Personen, die vom Erhaltungsprojekt aus lärmtechnischer Sicht positiv beeinflusst werden, zu ermitteln. Dazu wurden die Lärmkarten aus dem Jahr 2017 [58] herangezogen, die die Anzahl der Betroffenen, welche durch Straßenverkehrslärm beeinträchtigt werden, in den Gemeinden Österreichs darstellen. Die nachfolgende Abb. 24 zeigt einen Ausschnitt aus der Analyse der Lärmkartierung Österreichs aus dem Jahre 2017:

Bundesland	Gemeinde	Gemeindecod	Lärmquelle	Betroffene Lärmzone 24h						Betroffene Lärmzone Nacht					
				55-60 dB	60-65 dB	65-70 dB	70-75 dB	>75 dB	> Schwellenwert	45-50 dB	50-55 dB	55-60 dB	60-65 dB	65-70 dB	>70 dB
B	Bad Sauerbrunn	10611	A&S	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0
B	Breitenbrunn am Neusiedler See	10301	Straßen außer A&S	50	60	80	0	0	150	70	60	80	10	0	150
B	Bruckneudorf	10703	A&S	0	10	0	0	0	10	20	10	0	0	0	10
B	Bruckneudorf	10703	Straen auer A&S	210	160	40	0	0	190	230	110	140	0	0	250
B	Donnerskirchen	10302	Straen auer A&S	130	10	30	0	0	40	170	10	40	0	0	40
B	Eisenstadt	10101	A&S	70	0	0	0	0	0	110	0	0	0	0	0
B	Eisenstadt	10101	Straen auer A&S	660	400	330	70	0	800	880	450	340	110	0	900
B	Frauenkirchen	10705	Straen auer A&S	30	20	40	0	0	70	40	20	50	0	0	70
B	Gattendorf	10706	A&S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	Gols	10707	A&S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	Gols	10707	Straßen außer A&S	80	110	220	0	0	340	100	70	270	0	0	340
B	Grafenschachen	10904	A&S	70	0	0	0	0	0	80	0	0	0	0	0
B	Groh�flein	10303	A&S	470	290	40	0	0	320	710	310	80	0	0	390
B	Großpetersdorf	10905	Straßen außer A&S	30	30	70	0	0	100	50	30	60	10	0	100
B	Halbturm	10708	Straßen außer A&S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	Hirn	10603	A&S	290	0	0	0	0	0	450	0	0	0	0	0

Abb. 24: Ausschnitt Analyse Lärmkartierung Österreichs 2017 [58], s. Anhang B

Die oben dargestellte Tabelle zeigt die Anzahl der von Lärm betroffenen Personen unterteilt in verschiedene Lärmzonen. Es wird dabei zwischen zwei kostenverursachenden Wirkungsbereichen des Lärms unterschieden:

- Tagsüber – hier werden negative Wirkungen auf Kommunikation, Konzentrationsfähigkeit, gesteigerte Nervosität und Kreislaufstörungen berücksichtigt. Maßgebender Zeitbereich ist die Zeit von 6 bis 22 Uhr.
- Nachts – hier wird die gesundheitsschädigende Wirkung der Schlafstörungen zugrunde gelegt. Maßgebender Zeitbereich ist die Zeit von 22 Uhr bis 6 Uhr [43].

Darüber hinaus wurden die oben genannten Zonen in 5dB-Unterzonen unterteilt:

- Tagsüber:
 - 55-60 dB
 - 60-65 dB
 - 65-70 dB
 - 70-75 dB
 - >75 dB
- Nachts:
 - 45-50 dB
 - 50-55 dB
 - 55-60 dB
 - 60-65 dB
 - >70 dB

Entsprechend dem Ziel der Umgebungslärmrichtlinie sollen die Kommunen in Lärmaktionsplänen Maßnahmen zur Minderung der Lärmbelastung der Bevölkerung festlegen. Die nachfolgende Abb. 25 zeigt die Empfehlung des Umweltbundesamtes Deutschlands zu Umwelthandlungszielen für die Lärmaktionsplanung. Auf dieser Grundlage wird der Schwellenwert der Lärmbelastung festgelegt und in der Modellierung entsprechend berücksichtigt.

Empfehlungen zu Umwelthandlungszielen für die Lärmaktionsplanung					
Umwelthandlungsziel	Zeitraum	L _{DEN}		L _{Night}	
		Straße/Schiene	Luftverkehr	Straße/Schiene	Luftverkehr
Vermeidung gesundheitsschädlicher Auswirkungen	kurzfristig	60 dB(A)		50 dB(A)	
Vermeidung erheblicher Belästigungen	mittelfristig	55 dB(A)	45 dB(A)	45 dB(A)	40 dB(A)

Quelle: Umweltbundesamt 2022

Abb. 25: Empfehlungen zu Umwelthandlungszielen für die Lärmaktionsplanung [59]

Als Erstes wird dabei die Anzahl der Personen ermittelt, die durch den Straßenlärm über den Schwellenwert betroffen sind. Dabei werden nur jene Datensätze berücksichtigt, die als Lärmquelle Autobahnen und Schnellstraßen angegeben.

Tab. 33: Anzahl der durch Straßenlärm betroffenen Personen vor dem Erhaltungsprojekt (tagsüber) [58]

Lärmzone tagsüber	Anzahl der Betroffenen durch A&S
60-65 dB	135.300
65-70 dB	17.510
70-75 dB	2.940
>75 dB	20

Tab. 34: Anzahl der durch Straßenlärm betroffenen Personen vor dem Erhaltungsprojekt (nachts) [58]

Lärmzone nachts	Anzahl der Betroffenen durch A&S
50-55 dB	196.910
55-60 dB	35.770
60-65 dB	4.910
65-70 dB	320
>70 dB	0

Weiters wird angenommen, dass durch ein Erhaltungsprojekt sowohl auf den Asphalt- als auch auf den Betonbelägen eine Lärminderung gemäß Tab. 32 von ungefähr -2,5 dB erreicht werden kann. Dadurch ergibt sich eine Verlagerung der Lärmzonen um die zuvor genannten 2,5 dB gemäß Tab. 35 und Tab. 36.

Tab. 35: Anzahl der durch Straßenlärm betroffenen Personen nach dem Erhaltungsprojekt (tagsüber)

Lärmzone tagsüber	Anzahl der Betroffenen durch A&S
57,5-62,5 dB	$\frac{135.300 + 17.510}{2} = 76.405$
62,5-67,5 dB	$\frac{17.510 + 2.940}{2} = 10.225$
67,5-72,5 dB	$\frac{2.940 + 20}{2} = 1.480$
>72,5 dB	$\frac{20}{2} = 10$

Tab. 36: Anzahl der durch Straßenlärm betroffenen Personen nach dem Erhaltungsprojekt (nachts)

Lärmzone nachts	Anzahl der Betroffenen durch A&S
47,5-52,5 dB	$\frac{196.910 + 35.770}{2} = 116.340$
52,5-57,5 dB	$\frac{35.770 + 4.910}{2} = 20.340$
57,5-62,5 dB	$\frac{4.910 + 320}{2} = 2.615$
62,5-67,5 dB	$\frac{320}{2} = 160$
>67,5 dB	0

Da die genaue Zuordnung der betroffenen Personen zu den Analyseabschnitten nicht möglich ist, müssen an dieser Stelle weitere Annahmen getroffen werden. Dabei wird für jede Zone die Anzahl der Betroffenen vor und nach dem Erhaltungsprojekt pro km Autobahn bzw. Schnellstraßen berechnet. Da die Gesamtlänge des Autobahnen- und Schnellstraßennetzes in Österreich 2.249km beträgt, ergeben sich folgende Werte:

Tab. 37: Anzahl der durch Straßenlärm betroffenen Personen vor dem Erhaltungsprojekt pro km A&S (tagsüber)

Lärmzone tagsüber	Anzahl der Betroffenen durch A&S/km A&S
60-65 dB	$\frac{135.300}{2.249} \approx 60,1$
65-70 dB	$\frac{17.510}{2.249} \approx 7,8$
70-75 dB	$\frac{2.940}{2.249} \approx 1,3$
>75 dB	$\frac{20}{2.249} \approx 0$

Tab. 38: Anzahl der durch Straßenlärm betroffenen Personen vor dem Erhaltungsprojekt pro km A&S (nachts)

Lärmzone nachts	Anzahl der Betroffenen durch A&S/km A&S
50-55 dB	$\frac{196.910}{2.249} \approx 87,6$
55-60 dB	$\frac{35.770}{2.249} \approx 15,9$
60-65 dB	$\frac{4.910}{2.249} \approx 2,2$
65-70 dB	$\frac{320}{2.249} \approx 0,1$
>70 dB	0

Tab. 39: Anzahl der durch Straßenlärm betroffenen Personen nach dem Erhaltungsprojekt pro km A&S (tagsüber)

Lärmzone tagsüber	Anzahl der Betroffenen durch A&S/km A&S
57,5-62,5 dB	$\frac{76.405}{2.249} \approx 34,0$
62,5-67,5 dB	$\frac{10.225}{2.249} \approx 4,5$
67,5-72,5 dB	$\frac{1.480}{2.249} \approx 0,7$
>72,5 dB	$\frac{10}{2.249} \approx 0$

Tab. 40: Anzahl der durch Straßenlärm betroffenen Personen nach dem Erhaltungsprojekt pro km A&S (nachts)

Lärmzone nachts	Anzahl der Betroffenen durch A&S/km A&S
47,5-52,5 dB	$\frac{116.340}{2.249} \approx 51,7$
52,5-57,5 dB	$\frac{20.340}{2.249} \approx 9,0$
57,5-62,5 dB	$\frac{2.615}{2.249} \approx 1,2$
62,5-67,5 dB	$\frac{160}{2.249} \approx 0,1$
>67,5 dB	0

Für die Berechnung von Lärmkosten kann in Österreich die RVS 04.02.11 [43] herangezogen werden. Um die Lärmkosten gemäß RVS 04.02.11 [43] berechnen zu können, muss zunächst ein kostenverursachender Störgrad ermittelt werden:

$$S_T = 2^{0,1 \cdot (L_T - LR_T)} \quad (73)$$

bzw.

$$S_T = 2^{0,1 \cdot (L_N - LR_N)} \quad (74)$$

wobei:

$LR_T=60$ dB (A) Richtwert tagsüber [dB(A)]

L_T ermittelte Immissionsschallpegeln tagsüber [dB(A)]

$LR_N=50$ Richtwert nachts [dB(A)]

L_N ermittelte Immissionsschallpegeln nachts [dB(A)]

Die nachfolgenden Tabellen zeigt den Störgrad, der vor und nach der Erhaltungsmaßnahme unter Berücksichtigung der zwei Wirkungsbereiche (tagsüber und nachts) berechnet wurde:

Tab. 41: Störgrad in der Lärmzone vor dem Erhaltungsprojekt (tagsüber)

Lärmzone tagsüber	Störgrad
60-65 dB	0,70
65-70 dB	0,50
70-75 dB	0,35
>75 dB	25

Tab. 42: Störgrad in der Lärmzone vor dem Erhaltungsprojekt (nachts)

Lärmzone nachts	Störgrad
50-55 dB	0,7
55-60 dB	0,50
60-65 dB	0,35
65-70 dB	0,25
>70 dB	0,18

Tab. 43: Störgrad in der Lärmzone nach dem Erhaltungsprojekt (tagsüber)

Lärmzone tagsüber	Störgrad
57,5-62,5 dB	0,84
62,5-67,5 dB	0,59
67,5-72,5 dB	0,42
>72,5 dB	0,30

Tab. 44: Störgrad in der Lärmzone nach dem Erhaltungsprojekt (nachts)

Lärmzone nachts	Störgrad
47,5-52,5 dB	0,84
52,5-57,5 dB	0,59
57,5-62,5 dB	0,42
62,5-67,5 dB	0,30
>67,5 dB	0,21

Als nächstes wird aufgrund des Störungsgrades und der Anzahl der Lärmbetroffenen ein Lärm-Einwohner-Gleichwert ermittelt, der gemäß RVS 02.01.22 [43] mit Hilfe der nachfolgenden Formel berechnet werden kann:

$$LEG_{T,i} = \sum_{j=1}^m S_{T,j,i} \cdot B_{j,i} \quad (75)$$

Bzw.

$$LEG_{N,i} = \sum_{j=1}^m S_{N,j,i} \cdot B_{j,i} \quad (76)$$

Wobei

$S_{T,j,i}$ Störgrad tagsüber

$S_{N,j,i}$ Störgrad nachts

$B_{j,i}$ Anzahl der Lärmbetroffenen

Die Lärmkosten ergeben sich aus dem Produkt der Lärm-Einwohner-Gleichwerte mit den zugehörigen Lärmkostensätzen $K_{L,T}$ bzw. $K_{L,N}$, die einander näherungsweise gleichgesetzt werden können [43]:

$$K_{L,T} = K_{L,N} = K_L = 75 \text{ EUR}/(LEG \cdot a)$$

Die nachfolgenden Tabellen (Tab. 45 bis Tab. 48) zeigen die jährlichen Lärmkosten pro km Autobahn bzw. Schnellstraße vor und nach dem Erhaltungsprojekt in den Tag- und Nachtlärmzonen:

Tab. 45: Jährliche Lärmkosten pro km A&S vor dem Erhaltungsprojekt (tagsüber)

Lärmzone tagsüber	Jährliche Lärmkosten/km A&S [€/km·a]
60-65 dB	3.155
65-70 dB	293
70-75 dB	34
>75 dB	0
Summe	3.842

Tab. 46: Jährliche Lärmkosten pro km A&S vor dem Erhaltungsprojekt (nachts)

Lärmzone nachts	Jährliche Lärmkosten/km A&S [€/km·a]
50-55 dB	4.599
55-60 dB	596
60-65 dB	58
65-70 dB	2
>70 dB	0
Summe	5.255

Tab. 47: Jährliche Lärmkosten pro km A&S nach dem Erhaltungsprojekt (tagsüber)

Lärmzone tagsüber	Jährliche Lärmkosten/km A&S [€/km·a]
57,5-62,5 dB	2.142
62,5-67,5 dB	199
67,5-72,5 dB	22
>72,5 dB	0
Summe	2.363

Tab. 48: Jährliche Lärmkosten pro km A&S nach dem Erhaltungsprojekt (nachts)

Lärmzone nachts	Jährliche Lärmkosten/km A&S [€/km·a]
47,5-52,5 dB	3.257
52,5-57,5 dB	398
57,5-62,5 dB	38
62,5-67,5 dB	2
>67,5 dB	0
Summe	3.695

Unter Annahme einer linearen Reduktion der lärmverbessernden Eigenschaften der Fahrbahn und den am Anfang des Kapitels 6.3.4 beschriebenen akustischen Nutzungsdauer, kann der Verlauf der jährlichen Lärmkosten pro km Autobahn bzw. Schnellstraße folgendermaßen dargestellt werden:

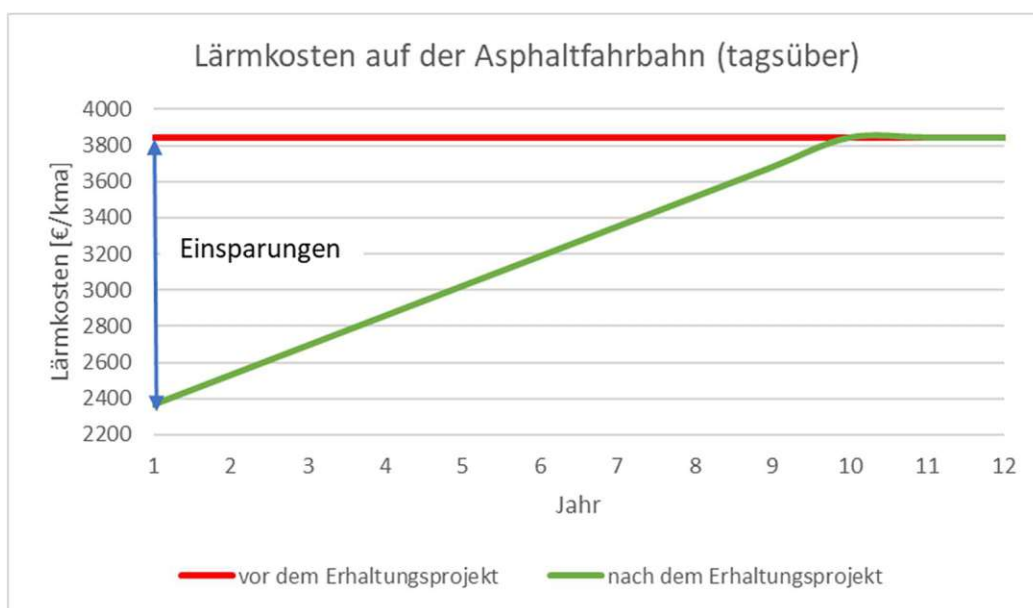


Abb. 26: Jährliche Lärmkosten pro km A&S auf der Asphaltfahrbahn (tagsüber)

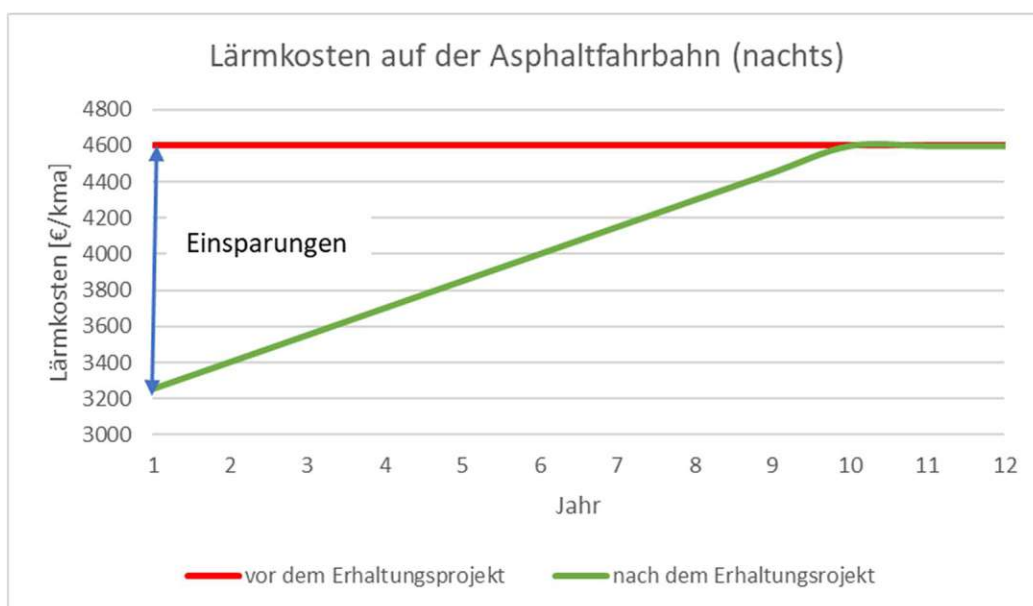


Abb. 27: Jährliche Lärmkosten pro km A&S auf der Asphaltfahrbahn (nachts)

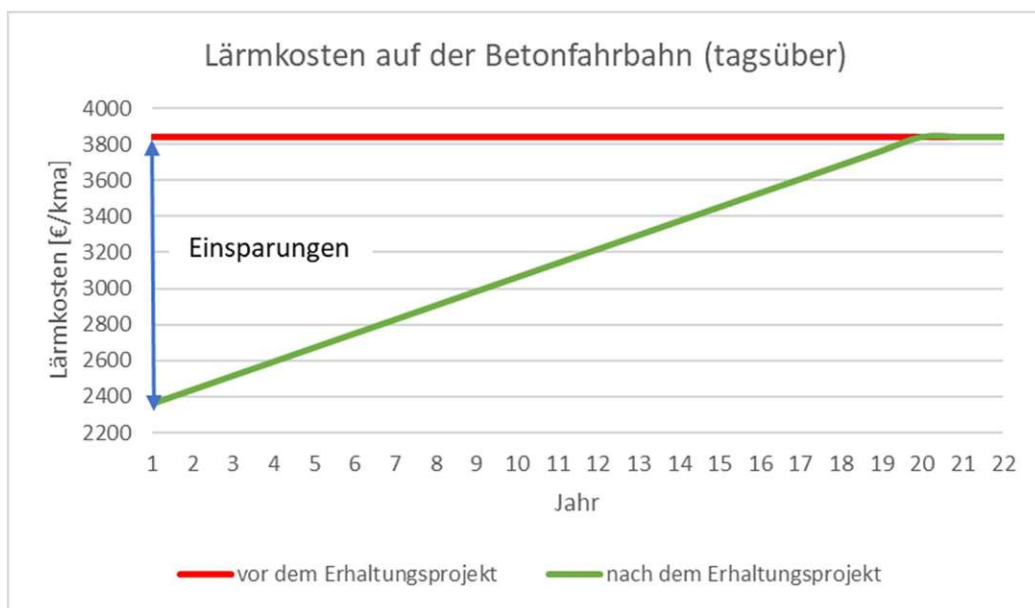


Abb. 28: Jährliche Lärmkosten pro km A&S auf der Betonfahrbahn (tagsüber)

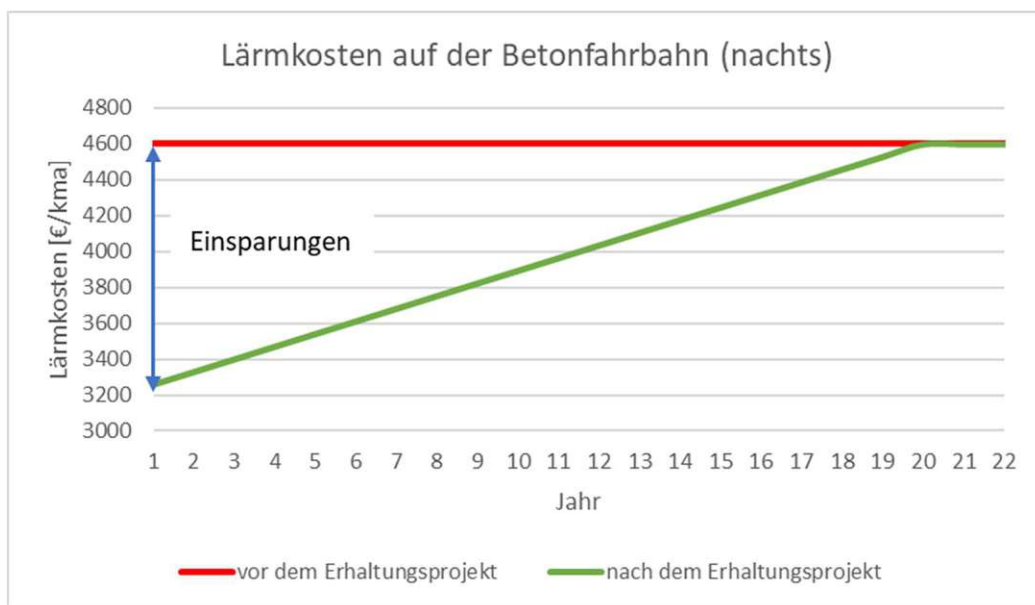


Abb. 29: Jährliche Lärmkosten pro km A&S auf der Betonfahrbahn (nachts)

Eine detaillierte, auf Lärmausbreitungsmodellen basierende Bewertung der Auswirkungen der Lärminderung durch eine Verbesserung des Fahrbahnzustandes ist mit der PMS-Software (dTIMS), die auch für die Analysen im Rahmen dieser Arbeit herangezogen wurde, nicht möglich. Hierfür wären umfangreiche Datenerhebungen und simulationsgestützte Analysen über lokale und regionale Gegebenheiten für das PMS erforderlich, da solche Modelle vielfältige Einflussfaktoren wie Topografie, Bebauungsstruktur, meteorologische Bedingungen und Fahrverhalten berücksichtigen. Diese Informationen stehen im erforderlichen Umfang derzeit im PMS der ASFiNAG nicht zur Verfügung. Deshalb wurde an dieser Stelle eine stark vereinfachte Berechnungsmethode präsentiert, wodurch auf eine einfache Art und Weise Kosteneinsparungen durch Lärmreduktion ermittelt werden können.

7 Kostenanalyse unter Berücksichtigung sozialer Schlüsselindikatoren im Erhaltungsmanagement – praktische Anwendung

7.1 Allgemeines

In diesem Kapitel erfolgt die Darlegung der Ergebnisse, die sich aus den in den vorangegangenen Kapiteln 4.5 bis 4.7.5 beschriebenen Modellen ergeben. Je nach Erfordernis mussten diese Modelle angepasst werden, um eine umfassende Analyse des sechsjährigen Bauprogramms der ASFINAG im Hinblick auf soziale Schlüsselindikatoren, wie Verfügbarkeit und Verkehrsbeeinträchtigung, Verkehrssicherheit sowie Umweltaspekte zu ermöglichen. Es ist wichtig zu betonen, dass in dieser Bewertung keine Vergleiche zwischen verschiedenen Bauprogrammvarianten möglich sind, da nur eine einzige Variante zur Verfügung gestellt wurden, vielmehr liegt der Fokus ausschließlich auf der Bewertung des geplanten Bauprogramms 2023 bis 2028.

Die für die praktische Anwendung herangezogenen Daten wurden dankenswerterweise von der ASFINAG zur Verfügung gestellt, auch die Informationen des Bauprogramms 2023 bis 2028. Da es sich bei diesen Daten um sensitive Informationen handelt, dürfen die Daten nur anonymisiert dargestellt werden, sodass kein direkter Bezug zu einem Straßenabschnitt besteht. Darüber hinaus konnten die ausgewählten Modelle direkt in eine von der ASFINAG zur Verfügung gestellte Kopie der PMS-Konfiguration der ASFINAG implementieren werden. Der Zugriff erfolgte, wie bereits erwähnt, über die Asset Management Software dTIMS®. Somit standen sämtliche Konfigurationsbausteine und Detailergebnisse für die Auswertungen in elektronischer Form zur Verfügung.

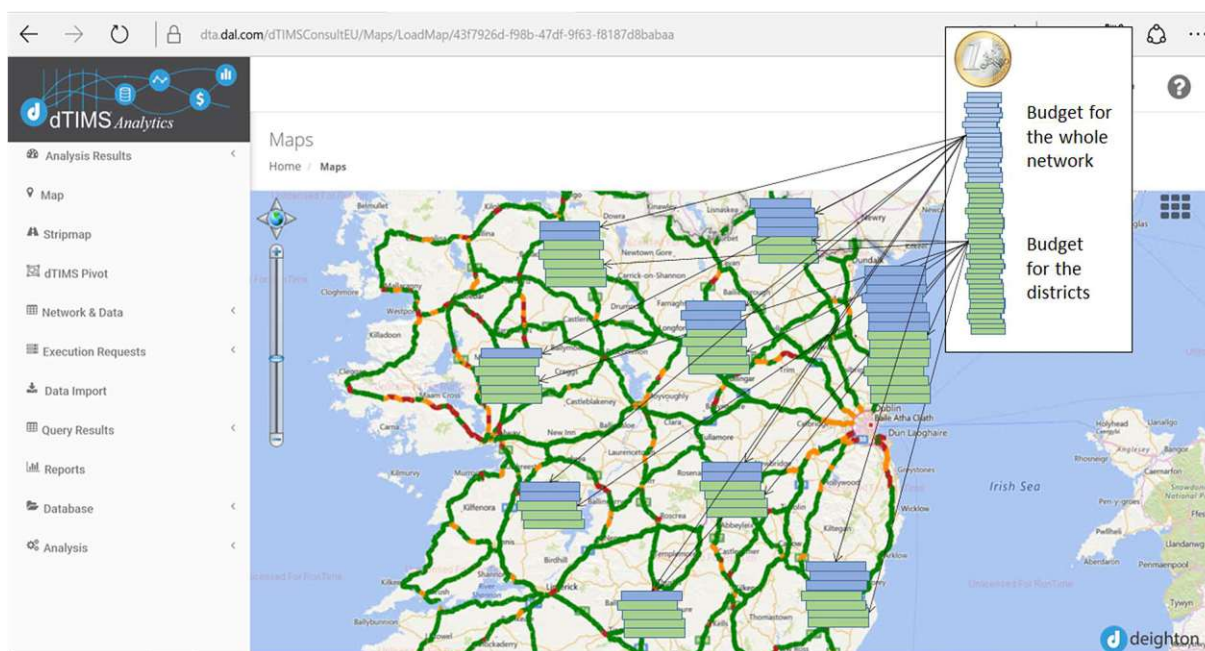


Abb. 30: Beispielhafte Darstellung der Analyseergebnisse aus dTIMS®

In Absprache mit der ASFINAG ist an dieser Stelle auch zu erwähnen, dass es sich hier um Modellberechnungen auf der Grundlage von Forschungsergebnissen sowie sinnvollen Adaptierungen handelt, die nicht durch die ASFINAG verifiziert wurden. Eine zentrale Aufgabe der Masterarbeit besteht jedoch darin, die Anwendbarkeit solcher Modelle zu überprüfen und einen ersten Vergleich zwischen den direkten Kosten und erweiterten sozialen Kosten bzw. Einsparungen vorzunehmen. Dies stellt eine erste Grundlage für eine zukünftige praktische Implementierung in das Asset Management der ASFINAG dar.

Für die Durchführung der Analyse wurden ausschließlich die in der IMT(dTIMS)-Datenbank gespeicherten Informationen herangezogen. Dies umfasst nicht nur die Daten zum Bauprogramm selbst, wie Stationierung, Maßnahmenjahr, -art und Kosten, sondern auch detaillierte Angaben zum Bautyp der Fahrbahn, Verkehrsinformationen, Unfallzahlen und Fahrbahnzustandsdaten. Diese Daten wurden eingehend analysiert und für die Auswertung verwendet.

Die entsprechenden Modelle wurden, wie bereits erwähnt, in einer separaten dTIMS-Anwendung, einer Kopie der PMS-Applikation 2022, implementiert, und die Berechnungen wurden sorgfältig durchgeführt. Dabei lag der Fokus darauf, eine präzise Bewertung des geplanten Bauprogramms im Kontext der sozialen Schlüsselindikatoren vorzunehmen. Der gesamte Prozess wurde in der dTIMS-Anwendung umgesetzt, wobei die erforderlichen Berechnungen und Analysen integriert wurden.

7.2 Maßnahmenkosten

In diesem Abschnitt werden die finanziellen Aufwendungen im Zusammenhang mit den ergriffenen Maßnahmen vorgestellt. Die Kosten wurden auf Basis der von der ASFINAG übermittelten Einheitspreise berechnet. Wie zuvor erläutert, beziehen sich diese Kosten auf das festgelegte Sechsjahresbauprogramm (2023-2028), welches Erneuerungsmaßnahmen sowohl auf Asphalt- als auch Betondecken, Verstärkungsmaßnahmen und Deckschichtmaßnahmen einschließt.

Tab. 49: Erläuterung der Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
E_AS_FB	Erneuerung Oberbau in Asphaltbauweise auf der gesamten Fahrbahn
E_BE_FB	Erneuerung Oberbau in Betonbauweise auf der gesamten Fahrbahn
I_DE_HFS	Instandsetzung Decke auf dem Hauptfahrstreifen
I_VT_HFS	Instandsetzung Tragschicht – Verstärkung im Tiefeinbau bzw. teilweise Tiefeinbau auf dem Hauptfahrstreifen



Abb. 31: Kostenverteilung des Bauprogramms 2023 bis 2028 (Straßenoberbau)

Die oben dargestellte Abb. 31 verdeutlicht einen klaren Anstieg der Ausgaben für das Bauprogramm im Vergleich zum Ausgangsjahr 2023, in dem sie auf etwa 75 Mio. € geschätzt wurden, insbesondere mit einem Höhepunkt im Jahr 2027 von 320 Mio. €. In den Jahren 2024, 2025 und 2028 bleiben die Kosten nahezu stabil, bei etwa 200 Mio. €. Es ist anzumerken, dass der überwiegende Teil der Kosten auf die Erneuerung der Asphaltbeläge entfällt, gefolgt von der Erneuerung der Betondecken. Dies ist teilweise auf die höheren Einheitspreise für Erneuerungsmaßnahmen im Vergleich zu Verstärkungs- und Deckschichtmaßnahmen zurückzuführen. Auf der anderen Seite sind die Erneuerungsmaßnahmen deutlich umfangreicher und effektiver, was maßgeblich zur Verbesserung des Fahrbahnzustands beiträgt. Es sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass die Kosten für Baustelleinrichtungen zu zusätzliche Verkehrssicherungsmaßnahmen in diesen Kosten enthalten sind.

7.3 Zusatzkosten aufgrund der Beschränkung der Verfügbarkeit und Beeinträchtigung

Dieser Abschnitt widmet sich der Darstellung der Zusatzkosten, die aufgrund der Einschränkung der Verfügbarkeit und der Beeinträchtigung entstehen. Wie bereits im Kapitel 4.5 ausführlich erläutert, setzen sich diese Kosten aus verschiedenen Faktoren zusammen. Dazu zählen:

- verlängerte Reisezeit infolge von Geschwindigkeitsbeschränkungen

- Kapazitätsbeschränkungen auf bestimmten Straßenabschnitten
- Umwege, die unternommen werden müssen.

All diese Elemente führen zu zusätzlichen Betriebskosten für Fahrzeuge, die bei der Berechnung der Gesamtkosten berücksichtigt werden sollen.



Abb. 32: Zusatzkosten aufgrund der Beschränkung der Verfügbarkeit und Beeinträchtigung durch das Bauprogramm 2023 bis 2028

Die Kosten, die infolge der Einschränkung der Verfügbarkeit und Beeinträchtigung entstehen, sind merklich geringer, machen jedoch dennoch im Schnitt etwa 18% der Maßnahmenkosten aus. Es ist anzumerken, dass diese zusätzlichen Kosten momentan nicht direkt in die Berechnungen der Gesamtkosten der Baumaßnahmen einbezogen werden.

Die Kostenverteilung weist, ähnlich wie die Kosten für die Durchführung von Maßnahmen, einen Höhepunkt im Jahr 2027 auf. Dieser Anstieg ist nachvollziehbar, da die Kosten für Maßnahmen linear mit ihrer Dauer steigen. In den Jahren, in denen intensive Maßnahmen durchgeführt werden und die Kosten für diese Maßnahmen Spitzenwerte erreichen, ist die Dauer der Erhaltungsprojekte ebenfalls höher. Dies führt zum Anstieg der zusätzlichen Kosten aufgrund der Beschränkung der Verfügbarkeit.

7.4 Zusätzliche Sicherheitskosten durch Erhaltungsprojekte

Das vorliegende Kapitel widmet sich einer detaillierten Untersuchung der zusätzlichen Sicherheitskosten während der Durchführung eines Erhaltungsprojekts. Wie bereits im vorangegangenen Abschnitt 4.6.2 erläutert, sind diese Kosten eng mit verschiedenen Faktoren verbunden, darunter die erhöhte Unfallrate, die Länge des Baustellenabschnitts und die Dauer des Erhaltungsprojekts.

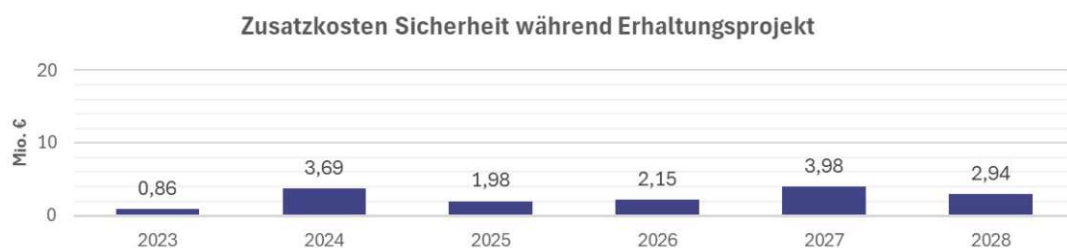


Abb. 33: Zusätzliche Sicherheitskosten während durch das Bauprogramm 2023 bis 2028

Die auffälligen Spitzenwerte der zusätzlichen Unfallkosten in den Jahren 2024 und 2027 lassen sich darauf zurückführen, dass in diesen Zeiträumen eine Vielzahl von Erhaltungsmaßnahmen geplant ist. Insbesondere im Jahr 2024 sind neben den Erneuerungsmaßnahmen auch zahlreiche Verstärkungs- und Deckschichtmaßnahmen vorgesehen, die zwar nicht so kostenintensiv in Bezug auf die Baumaßnahmenkosten sind, jedoch aufgrund ihrer Längenbeiträge maßgeblich zu den zusätzlichen Unfallkosten beitragen. Diese umfangreichen Aktivitäten auf den Baustellen gehen mit einem erhöhten Risiko einher, was wiederum zu den höchsten zusätzlichen Sicherheitskosten in diesen Jahren führt. Diese Erkenntnisse verdeutlichen die direkte Wechselwirkung zwischen dem Umfang der geplanten Erhaltungsmaßnahmen und den damit verbundenen zusätzlichen Unfallkosten während des betrachteten Zeitraums.

7.5 Zusätzliche Umweltkosten durch Erhaltungsprojekte

Dieser Abschnitt behandelt die zusätzlichen Umweltkosten, die durch Erhaltungsprojekte verursacht werden. Diese Kosten entstehen aufgrund folgender Gegebenheiten:

- Zusätzliche Treibhausgasemissionen (GHG-Emissionen, eingebrauchte (graue) Energie), die während der Durchführung der Erhaltungsmaßnahmen quantifiziert werden können
- Zusätzliche Treibhausgasemissionen durch Stau während des Erhaltungsprojektes

Die Anzahl der Stautunden während eines Erhaltungsprojekts wurde bereits im Kapitel 6.1.1.2.1 berechnet. Während dieser Staus kann es zu einem zusätzlichen Treibstoffverbrauch kommen. Um diesen zu quantifizieren, wurden die Modelle aus Kapitel 4.5.2 verwendet, um die zusätzlichen Treibstoffverbrauchsmengen während der Stauzeiten zu ermitteln. Anschließend wurden diese Mengen anhand von Tab. 29 in entsprechende CO₂-Äquivalente umgerechnet. Die resultierenden CO₂-Äquivalent-Mengen wurden dann durch CO₂-Bepreisung [55] monetarisiert. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Abb. 34 dargestellt.

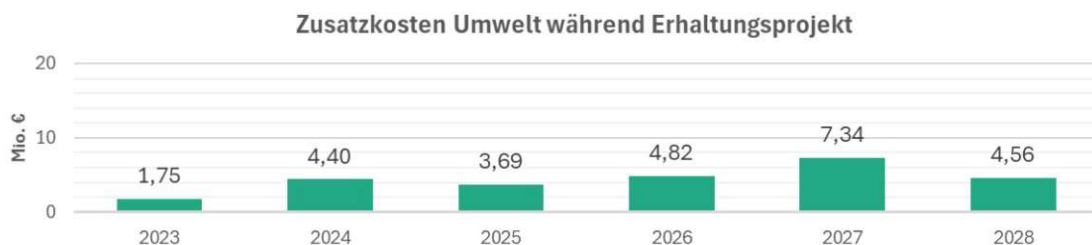


Abb. 34: Zusätzliche Umweltkosten durch das Bauprogramm 2023 bis 2028

Ähnlich wie bei den Maßnahmenkosten, bei denen der Aufwand mit der Intensität der Maßnahme steigt, verhält es sich auch mit dem Global Warming Potential (GWP) Werten. Die GWP-Werte nehmen mit der Intensität der durchgeführten Maßnahmen zu. Daher zeigt das Diagramm der zusätzlichen Umweltkosten eine Ähnlichkeit zu dem Diagramm der Maßnahmenkosten. Die Spitzenwerte in beiden Diagrammen werden im gleichen Jahr erreicht, was darauf hinweist, dass diejenigen Jahre, in denen die Maßnahmen besonders intensiv sind, auch mit höheren Umweltkosten verbunden sind. Dieser Zusammenhang verdeutlicht die direkte Verknüpfung zwischen der Intensität der durchgeführten Maßnahmen, den damit verbundenen Kosten und den Auswirkungen auf das globale Erwärmungspotential.

7.6 Langfristige Einsparungen bei Unfallkosten durch Erhaltungsprojekte

Im vorangegangenen Kapitel 6.2.1 wurde die Bedeutung von Erhaltungsmaßnahmen für die Verbesserung der Sicherheitssituation von Straßenabschnitten beleuchtet, wobei die Griffigkeit als das maßgebende Merkmal identifiziert wurde. In diesem Kapitel werden nun die Ergebnisse dieser Berechnung der langfristigen Einsparungen bei Unfallkosten durch das Bauprogramm

2023 bis 2028 präsentiert und analysiert. Als Analysezeitraum wurden, wie bereits erwähnt, insgesamt 16 Jahre gewählt, 6 Jahre Bauprogramm und 10 Jahre zur Beurteilung der langfristigen Wirkungen, ohne dass Nachfolemaßnahmen einen Einfluss auf das Ergebnis haben.



Abb. 35: Einsparungen bei Sicherheitskosten durch das Bauprogramm 2023 bis 2028

Die Einsparungen bei Sicherheitskosten sind kumulative Werte, da sich die Verbesserung des Fahrbahnzustandes über einen längeren Zeitraum positiv auf die Verringerung der Unfallwahrscheinlichkeit bei nassen Fahrbahnen auswirkt. Diese kumulativen Einsparungen bei den Unfallkosten werden in Abb. 35 dargestellt.

Die kumulativen Einsparungen spiegeln wider, wie sich die allmähliche Erhöhung der Sicherheit aufgrund einer verbesserten Fahrbahnqualität im Laufe der Zeit addiert. Dies bedeutet, dass die positiven Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit nicht nur kurzfristig, sondern auch langfristig zu Kostenreduktionen im Sicherheitsbereich führen können. Die graphische Darstellung in Abb. 35 verdeutlicht somit die Gesamtersparnisse, die durch die nachhaltige Investition in die Fahrbahninfrastruktur erzielt werden können.

7.7 Einsparungen an Umweltkosten durch ein Erhaltungsprojekt

Wie bereits im Kapitel 4.7 beschrieben, lassen sich einige Einsparungen im Bereich der Umweltkosten erzielen. Durch den Einsatz lärmindernder Fahrbahnbeläge können die Lärmemissionen deutlich reduziert werden, was sowohl die Lebensqualität der Anwohner erhöht als auch gesundheitliche Risiken verringert. Zudem führt die Verbesserung des Fahrbahnzustands zu einer Reduktion der Treibhausgasemissionen und leistet damit einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz.

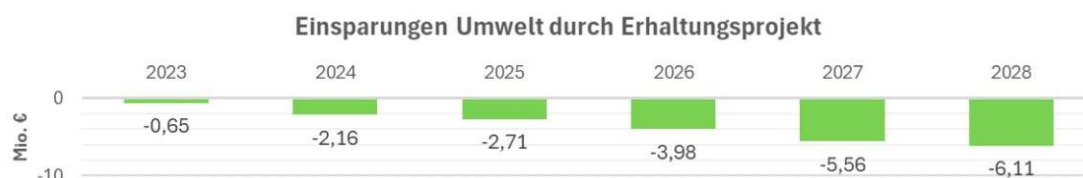


Abb. 36: Einsparungen an Umweltkosten durch das Bauprogramm 2023 bis 2028

Während die langfristigen Einsparungen an Unfallkosten im Laufe der Zeit zunehmen, zeigen die Einsparungen an Umweltkosten nach Abschluss der 6-jährigen Bauprogrammperiode einen abnehmenden Trend. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass die Einsparungen aufgrund der Reduzierung von Lärmemissionen als absolute Größe berechnet wurden. Direkt nach Abschluss der Baumaßnahmen sind diese Einsparungen am größten, da die lärmindernden Eigenschaften des Belags zu diesem Zeitpunkt optimal sind. Mit der Zeit nehmen diese Eigenschaften jedoch ab, was dazu führt, dass auch die Einsparungen an Umweltkosten abnehmen.

7.8 Zusammenfassung der Analyseergebnisse

Dieses Kapitel dient als Zusammenfassung der Ergebnisse, die in den vorherigen Kapiteln 7.2 bis 7.7 erarbeitet wurden. Ziel ist es, die Größenordnung der zusätzlichen Kosten beziehungsweise potenziellen Einsparungen zu präsentieren, die aus der durchgeführten Analyse hervorgehen.

Durch das Zusammenführen und Auswerten der gesammelten Daten entsteht ein klarer Einblick in die finanziellen Auswirkungen der Integration sozialer Schlüsselindikatoren in das Erhaltungsmanagement der österreichischen Autobahnen und Schnellstraßen. Die nachfolgende Zusammenfassung bietet einen Überblick über die wichtigsten Erkenntnisse, die als Grundlage für Empfehlungen dienen können, wie die S-KPIs in eine holistische Lebenszyklusanalyse und somit eine umfassende Nachhaltigkeitsbilanzierung einbezogen werden können.

7.8.1 Relative Darstellung der sozialen Zusatzkosten und Einsparungen (ohne Bezug zu den direkten Maßnahmenkosten)

Dieses Kapitel beleuchtet die unterschiedlichen Ausprägungen der einzelnen Kostenkomponenten und Einsparungen innerhalb eines Erhaltungsprojekts und setzt diese zueinander in Relation, ohne sie direkt auf die unmittelbaren Maßnahmenkosten des Programms zu beziehen.

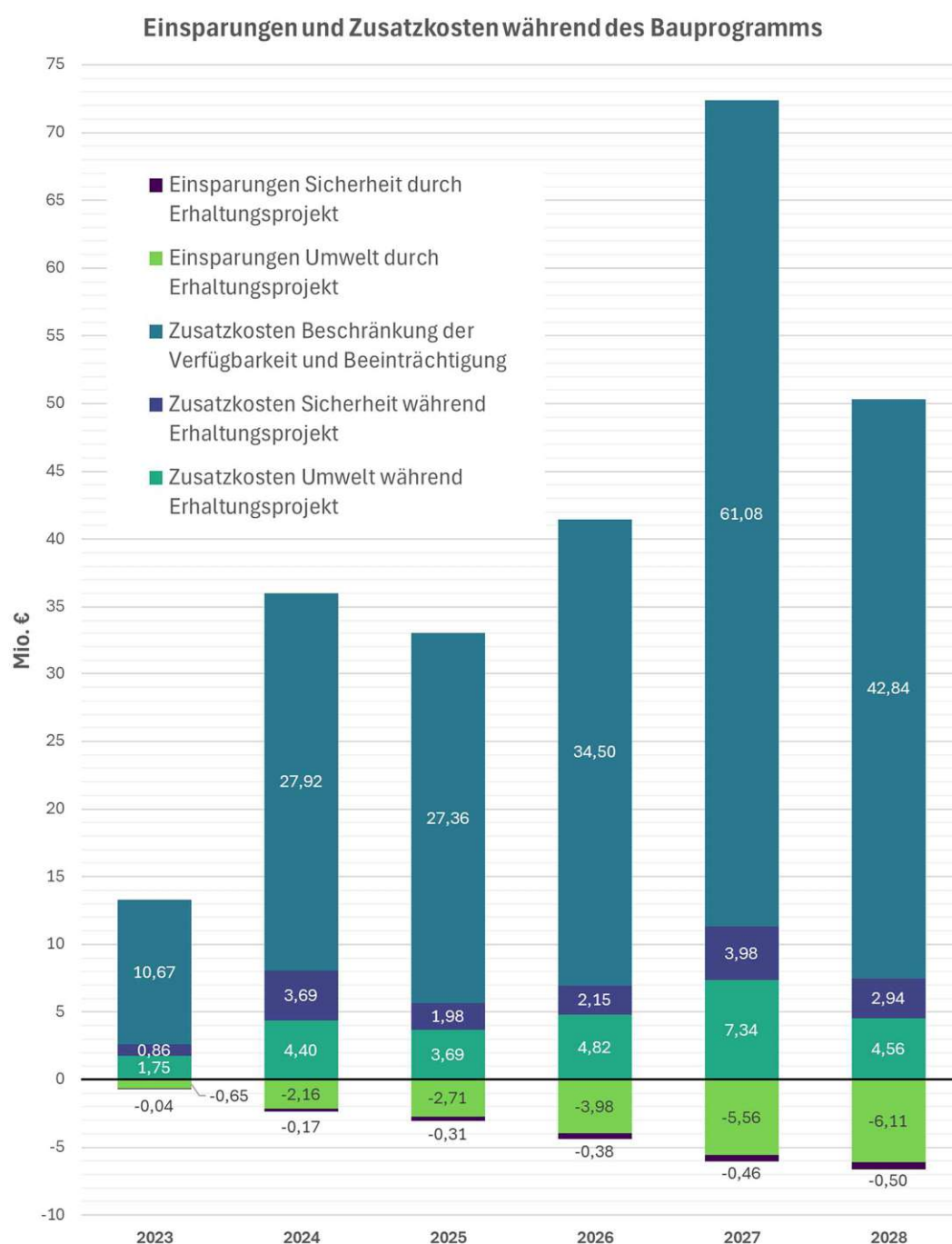


Abb. 37: Einsparungen und Zusatzkosten im Rahmen eines Erhaltungsprojektes (exkl. Maßnahmenkosten)

Den größten Anteil an den indirekten Kosten nehmen die Zusatzkosten ein, die durch Einschränkungen der Verfügbarkeit und Beeinträchtigungen entstehen. Besonders auffällig ist hier ein signifikanter Anstieg im Jahr 2027, der mit intensiveren Maßnahmen und verlängerten Projektdauern in diesem Zeitraum in Zusammenhang steht.

An zweiter Stelle der Zusatzkosten rangieren die zusätzlichen Umweltkosten, welche etwa 13 Prozent der durch Verfügbarkeitseinschränkungen verursachten Zusatzkosten ausmachen. Ihre Höhe variiert in Abhängigkeit vom Umfang der Erhaltungsmaßnahmen, da das Global Warming Potential mit der Maßnahmentiefe zunimmt. Auch hier sind Spitzenwerte in jenen Jahren zu verzeichnen, in denen umfangreiche Eingriffe vorgenommen wurden.

Die zusätzlichen Unfallkosten belaufen sich auf etwa 8 Prozent der Zusatzkosten infolge von Einschränkungen der Verfügbarkeit und Beeinträchtigungen. Sie zeigen deutliche Spitzen in den Jahren 2024 und 2027, was auf die zeitlich konzentrierten Erhaltungsmaßnahmen zurückzuführen ist. Insbesondere das Jahr 2024 hebt sich durch umfassende Verstärkungs- und Deckschichtmaßnahmen hervor, die einen direkten Einfluss auf das Unfallgeschehen haben.

Neben diesen Zusatzkosten ergeben sich auch potenzielle Einsparungen, insbesondere im Bereich der Umweltkosten. Diese Einsparungen machen etwa 10 Prozent der Zusatzkosten durch Verfügbarkeitseinschränkungen aus. Nach Abschluss der sechsjährigen Bauprogrammperiode ist jedoch ein abnehmender Trend erkennbar, da die lärmindernden Eigenschaften der eingesetzten Fahrbahnbeläge mit zunehmender Nutzungsdauer nachlassen.

Die langfristigen Einsparungen im Bereich der Unfallkosten fallen hingegen vergleichsweise gering aus und entsprechen lediglich etwa 1 Prozent der Zusatzkosten, die aus Verfügbarkeitseinschränkungen resultieren. Dies liegt unter anderem daran, dass Unfälle unter Bedingungen wie Nässe und geringer Griffigkeit auf dem österreichischen Autobahnen- und Schnellstraßennetz ohnehin selten sind.

7.8.2 Vergleich der sozialen Auswirkungen im Verhältnis zu den direkten Maßnahmenkosten

In diesem Kapitel werden die sozialen Zusatzkosten und potenziellen Einsparungen in ein Verhältnis zu den direkten Maßnahmenkosten des Erhaltungsprogramms der Jahre 2023 bis 2028 gesetzt.

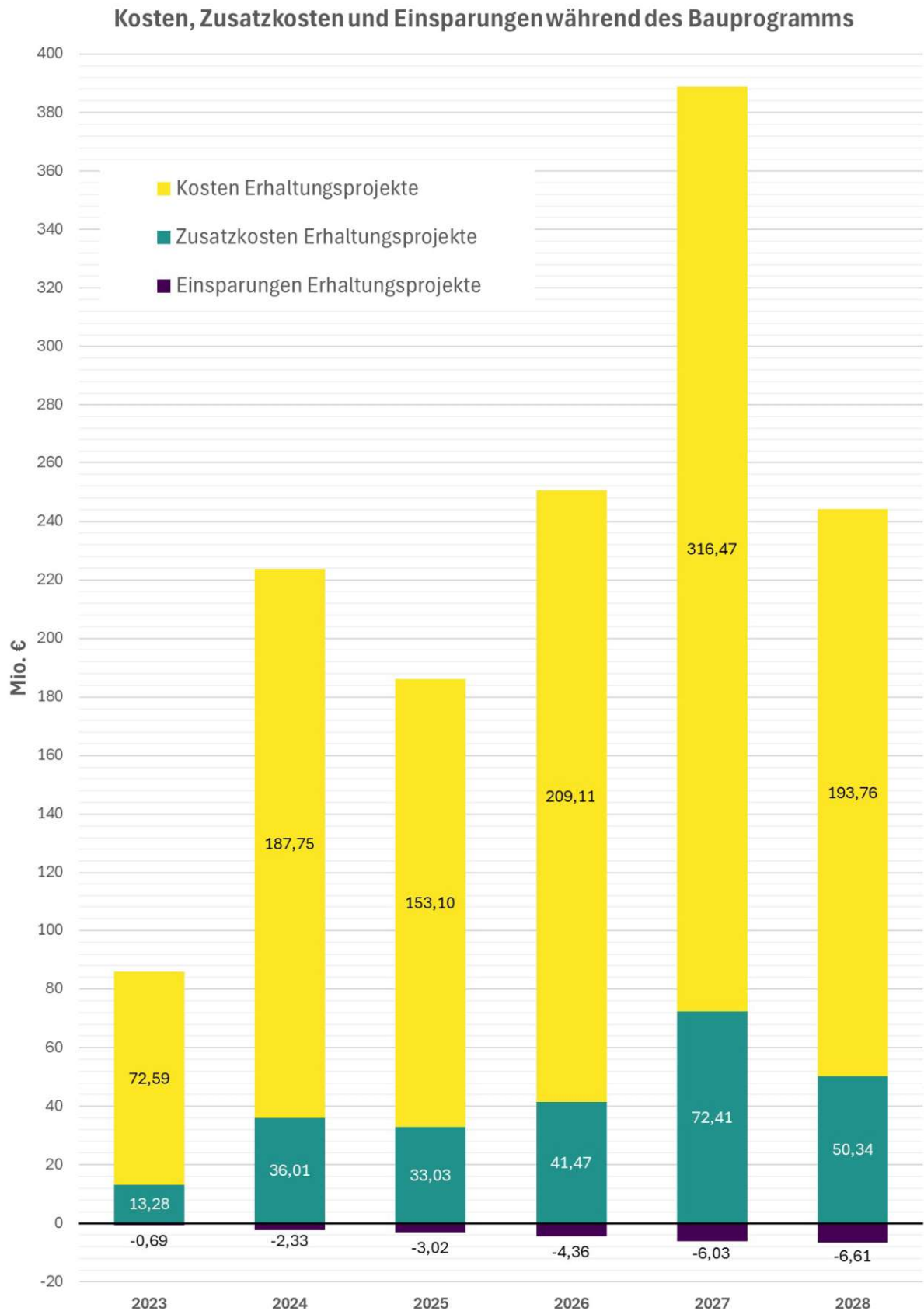


Abb. 38: Einsparungen und Zusatzkosten im Rahmen eines Erhaltungsprojektes (inkl. Maßnahmenkosten)

Die direkten Maßnahmenkosten, die Erneuerungs-, Verstärkungs- und Deckschichtmaßnahmen auf Asphalt- und Betondecken umfassen, belaufen sich insgesamt auf 1,13 Milliarden Euro. Diese Kosten zeigen im Betrachtungszeitraum einen klaren Anstieg, mit einem Höhepunkt im Jahr

2027, in dem rund 320 Millionen Euro veranschlagt werden. In den Jahren 2024, 2025 und 2028 bewegen sich die Ausgaben konstant bei etwa 200 Millionen Euro. Die Kosten für Baustelleneinrichtungen sowie zusätzliche Maßnahmen zur Verkehrssicherung sind bereits in diesen Beträgen enthalten.

Vergleicht man die relativen Anteile der sozialen Zusatzkosten und Einsparungen mit diesen direkten Maßnahmenkosten, so zeigt sich ein differenziertes Bild. Die Zusatzkosten, die aufgrund von Verfügbarkeitseinschränkungen und Beeinträchtigungen entstehen, sind zwar deutlich geringer als die direkten Maßnahmenkosten, machen jedoch im Schnitt rund 18 Prozent dieser aus. Damit stellen sie den größten Anteil der indirekten Kosten dar. Ihr Höchstwert tritt – analog zu den direkten Maßnahmenkosten – ebenfalls im Jahr 2027 auf, was die enge Verbindung zwischen Maßnahmenintensität und sozialer Kostenbelastung unterstreicht.

Die zusätzlichen Umweltkosten machen etwa 2,4 Prozent der direkten Maßnahmenkosten aus. Ihre Spitzenwerte fallen in jene Jahre, in denen die Maßnahmen besonders intensiv durchgeführt werden. Die zusätzlichen Sicherheitskosten belaufen sich im Schnitt auf etwa 1,4 Prozent der direkten Maßnahmenkosten. Auffällige Spitzen dieser Unfallkosten sind in den Jahren 2024 und 2027 zu beobachten, in denen eine Vielzahl an Erhaltungsmaßnahmen umgesetzt wurde. Unter der Annahme, dass die Deckschichten nach der Maßnahme eine Lebensdauer von etwa 15 Jahren aufweisen, ergibt sich für die Analyse ein Betrachtungszeitraum von 15 Jahren. Aus diesem Grund werden die Einsparungsergebnisse über diesen Zeitraum kumuliert, um eine umfassende Bewertung der langfristigen Wirkung der Maßnahmen zu ermöglichen. Daraus ergeben sich Gesamteinsparungen von rund 71 Millionen Euro, was einem Einsparungspotenzial von etwa 6,3 % der Maßnahmenkosten entspricht.

Auf der Einsparungsseite ergeben sich potenzielle Umweltkosteneinsparungen, die etwa 2 Prozent der direkten Maßnahmenkosten entsprechen. Nach Abschluss der Bauprogrammperiode lässt sich jedoch ein rückläufiger Trend dieser Einsparungen erkennen, da die lärm mindernden Eigenschaften der eingesetzten Fahrbahnbeläge mit der Zeit abnehmen. Langfristige Einsparungen im Bereich der Sicherheitskosten fallen hingegen vergleichsweise gering aus. Sie entsprechen lediglich etwa 0,2 Prozent der direkten Maßnahmenkosten. Diese geringe Höhe lässt sich unter anderem dadurch erklären, dass Unfälle auf nasser Fahrbahn oder aufgrund mangelnder Griffbarkeit im österreichischen Autobahnen- und Schnellstraßennetz generell selten sind.

Zusammenfassend zeigt die Analyse, dass insbesondere die Zusatzkosten infolge von Verfügbarkeitseinschränkungen und Beeinträchtigungen eine signifikante Rolle im Verhältnis zu den direkten Maßnahmenkosten spielen. Mit einem Anteil von etwa 18 Prozent stellen sie den größten indirekten Kostenblock dar. Die übrigen indirekten Kosten sowie die potenziellen Einsparungen fallen im Vergleich dazu deutlich geringer aus. Diese Erkenntnisse unterstreichen die hohe Relevanz der Nutzerbeeinträchtigung während der Bauphasen für das Gesamtbild sozialer Auswirkungen von Infrastrukturmaßnahmen. Die Ergebnisse liefern damit eine fundierte Grundlage für eine zukünftige Implementierung sozialer Schlüsselindikatoren im Asset Management der ASFINAG.

7.9 Diskussion der Analyseergebnisse im Zusammenhang mit der „Kostenwahrheit“

Die vorangegangenen Analysen in den Kapiteln 7.2 bis 7.8 haben die direkten Maßnahmenkosten sowie die erweiterten sozialen Zusatzkosten und Einsparungen im Rahmen des Erhaltungsmanagements auf dem österreichischen Autobahnen- und Schnellstraßennetz aufgezeigt. Die Diskussion dieser Ergebnisse im Kontext der sogenannten „Kostenwahrheit“ ist von zentraler Bedeutung, da sie die Auswirkungen von Infrastrukturinvestitionen über rein ökonomische Betrachtungen hinaus beleuchtet. Ziel ist es, nicht nur die direkten Ausgaben für den Bau und die Erhaltung von Straßen zu berücksichtigen, sondern auch die sozialen Zusatzkosten und potenziellen Einsparungen, die sich mittel- und langfristig aus diesen Maßnahmen ergeben.

Obwohl die ASFINAG jährlich beträchtliche Mittel in die bauliche Erhaltung der Verkehrsinfrastruktur investiert – im Jahr 2023 waren es laut Geschäftsbericht beispielsweise 717 Millionen Euro [60] – liegt der Fokus bei der Planung der Maßnahmen bislang vorwiegend auf technischen

Erfordernissen und der Einhaltung von Grenzwerten. Eine systematische und umfassende monetäre Bewertung der Auswirkungen auf soziale Bereiche wie Verkehrssicherheit, Umwelt, Verfügbarkeit und sozio-ökonomische Faktoren erfolgt derzeit nicht in ausreichendem Maß. Infolgedessen bleiben sowohl positive als auch negative Effekte dieser Maßnahmen in vielen Fällen unbekannt und können in Entscheidungsprozesse nicht einbezogen werden.

Das CEDR-Forschungsprojekt ISABELA [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15], auf dem die vorliegende Arbeit basiert, hatte zum Ziel, genau diese sozialen Aspekte in die Lebenszyklusanalyse des Asset Managements zu integrieren. Durch die Berücksichtigung von Faktoren wie Verkehrssicherheit, Umweltwirkungen, Verfügbarkeitsverluste und sozio-ökonomische Auswirkungen sollte eine ganzheitlichere Bewertung von Erhaltungsprogrammen ermöglicht werden. Die vorliegende Arbeit hat dabei den Anspruch, diese theoretischen Modelle erstmals auf das österreichische Autobahnen- und Schnellstraßennetz anzuwenden und somit eine Grundlage für die zukünftige praktische Implementierung einer erweiterten Kostenbetrachtung im Erhaltungsmanagement zu schaffen.

Im Rahmen der Diskussion zur „Kostenwahrheit“ wurden mehrere zentrale Erkenntnisse gewonnen. So konnten Verkehrsbelastung und Fahrgeschwindigkeiten als besonders sensitive Einflussgrößen identifiziert werden. Schon geringe Änderungen dieser Parameter wirken sich deutlich auf die berechneten Zusatzkosten und Einsparungen aus. Grundsätzlich zeigt sich dabei, dass eine Reduktion des Verkehrsaufkommens – insbesondere des Schwerverkehrs – positive Effekte mit sich bringt. Sie reduziert nicht nur Zusatzkosten sowie umwelt- und sicherheitsbezogene Kosten, sondern führt auch zu einer langsameren Abnutzung der Infrastruktur. Dadurch ergeben sich längere Instandhaltungsintervalle und insgesamt geringere Folgekosten.

Ein zentrales und auch sensibles Thema ist in diesem Zusammenhang die Wahl der jeweiligen Kostensätze. Die zuvor beschriebenen indirekten Kosten und Einsparungen sind zwar im Vergleich zu den direkten Baulasträgerkosten deutlich geringer, werden aber aufgrund von in der Regel vorgegebenen Kostensätzen ermittelt (siehe z. B. CO₂-Bepreisung [48]). Und diese Kostensätze sind in Österreich oft das Ergebnis eines Konsenses zwischen Interessensvertretungen (z. B. Wirtschaft) und Politik. In diesem Zusammenhang müssten daher vor allem diese Kostensätze einer genauen Analyse unterzogen werden, was den Rahmen der gegenständlichen Aufgabenstellung deutlich erweitern würde.

Eng verknüpft mit diesen Überlegungen ist das Konzept einer nachhaltigen Steuerung der Verkehrsnachfrage im Straßenverkehr, das sowohl den Individualverkehr als auch den Güterverkehr betrifft. In diesem Zusammenhang gewinnen Maßnahmen wie der Ausbau der Schieneninfrastruktur oder die Verringerung globaler Verkehrsströme an Bedeutung. Solche Ansätze tragen zur sogenannten „Kostenwahrheit des Transports“ bei, indem sie die externen Kosten des Straßenverkehrs entweder internalisieren oder senken.

Gleichzeitig tritt ein interessantes Paradox zutage: Ein guter Straßenzustand wirkt sich zwar positiv auf Emissionen aus – etwa durch eine verbesserte Längsebenheit, wie im SABINA-Projekt [49] gezeigt wurde – kann aber auch dazu führen, dass die Nutzung der Straße attraktiver wird. Dies wiederum kann den Verkehrszuwachs fördern und damit eine schnellere Abnutzung der Infrastruktur zur Folge haben.

Diese wechselseitigen Effekte lassen sich durch reines Erhaltungsmanagement nur begrenzt steuern. Um die angestrebten gesellschaftlichen und ökologischen Ziele tatsächlich zu erreichen, sind verkehrspolitische Maßnahmen erforderlich. Dazu gehören etwa die Reduktion von Höchstgeschwindigkeiten oder andere verkehrsregelnde Eingriffe, die über die klassische Infrastrukturpflege hinausgehen.

Insgesamt zeigt die Diskussion zur „Kostenwahrheit“, dass eine ganzheitliche Betrachtung notwendig ist, welche nicht nur die unmittelbaren Investitionen in die Straßeninfrastruktur erfasst, sondern auch die sozialen und ökologischen Auswirkungen sowie die politischen Rahmenbedingungen berücksichtigt. Nur so lassen sich langfristig tragfähige, gesellschaftlich ausgewogene und wirtschaftlich nachhaltige Entscheidungen im Verkehrs- und Erhaltungsmanagement treffen.

8 Zusammenfassung, weiterführende Empfehlungen und Schlussfolgerungen

Die vorliegende Masterarbeit befasst sich mit der Integration sozialer Schlüsselindikatoren des Straßenverkehrs in das Erhaltungsmanagement von Autobahnen (A) und Schnellstraßen (S) in Österreich. Dieses Bundesstraßennetz der Kategorie A und S wird von der Autobahnen und Schnellstraßen Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG) im Auftrag des Bundesministeriums im Rahmen eines Fruchtgenussvertrages betrieben und erhalten, wobei seit dem Jahr 2001 ein Erhaltungsmanagementsystem zum Einsatz kommt.

Die ASFINAG, als Betreiberin und Erhalter des österreichischen A- und S-Straßennetzes, investiert jährlich erhebliche Summen in die bauliche Erhaltung der Verkehrsinfrastruktur (z.B. 717 Mio. € im Geschäftsbericht 2023 [60]). Bisher konzentriert sich die Planung dieser Erhaltungsmaßnahmen primär auf technische Notwendigkeiten und die Einhaltung von technischen Grenzwerten und zugeordneten strategischen Erhaltungszielen. Eine systematische und umfassende Berechnung von monetären Auswirkungen auf soziale Bereiche wie Verkehrssicherheit, Umwelt, Verfügbarkeit und sozio-ökonomische Aspekte wird derzeit nicht umfassend durchgeführt. Dadurch bleiben sowohl positive und als auch negative kurz- und langfristigen Effekte auf diese Bereiche in vielen Fällen unberücksichtigt und auch unbekannt und sind somit kein Kriterium für die Entscheidungsfindung für oder gegen bestimmte Strategien. Wie bereits erwähnt, befasst sich die gegenständliche Arbeit mit Schlüsselindikatoren, die sich ausschließlich auf das A- und S-Straßennetz beziehen. Es werden zwar bestimmte Effekte, z. B. durch die Umlagerung auf andere Straßennetze (z. B. Landesstraßen) berücksichtigt, jedoch eine intermodale Verknüpfung von Wirkungen z. B. auf andere Verkehrsmittel bzw. -träger wird aufgrund der bereits umfassenden Bewertung nicht berücksichtigt, kann jedoch die Grundlage für eine weiterführende wissenschaftliche Bearbeitung darstellen.

8.1 Herausforderungen und Lösungsansätze bei der Integration sozialer Auswirkungen im Straßenerhaltungsmanagement

Diese Masterarbeit baut auf den Grundlagen des europäischen CEDR-Forschungsprojektes ISABELA (Integration of social aspects and benefits into life-cycle asset management) auf [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]. Die „Conference of European Directors of Roads“ (CEDR) hat im Jahr 2014 im Rahmen der europäischen Ausschreibung „Asset Management and Maintenance (Sub-theme I: Road Asset Management)“ die Zielsetzung sowie die Bewertungsbereiche für dieses internationale Projekt definiert. Die Ausschreibung wurde im Jahr 2014 von einem internationalen Konsortium unter der Leitung eines österreichischen Forschungsnehmers gewonnen. ISABELA hatte zum Ziel, einen ganzheitlichen Rahmen für die Modellierung von „sozialen“ Schlüsselindikatoren (S-KPIs), sozialem Nutzen (monetär und nicht-monetär), sozialem Erhaltungsrückstand und sozialem Risiko im Erhaltungsmanagement der Straßenverkehrsinfrastruktur zu definieren. Es erweitert bestehende, ökonomisch orientierte Lebenszyklusanalysen um zusätzliche Bewertungsaspekte und zielt auf eine ganzheitliche Bewertung von mehrjährigen Erhaltungsprogrammen auf Hochleistungsstraßennetzen ab. Die relevanten sozialen Aspekte, die ausgeschrieben wurden und die auch ISABELA abdeckt, sind:

- I. Verfügbarkeit und Beeinträchtigung (Reisezeit, Fahrzeugbetriebskosten).
- II. Fahrsicherheit (tödliche und schwere Unfälle in Verbindung mit dem Anlagenzustand).
- III. Umwelt (Lärm, Luftverschmutzung, natürliche Ressourcen).
- IV. Sozio-ökonomische Aspekte (Anlagevermögen, weitere soziale Effekte).

Die primäre Aufgabenstellung dieser Arbeit ist die Überprüfung der Anwendbarkeit der ISABELA-Bewertungsmodelle auf das österreichische Autobahnen- und Schnellstraßennetz. Dies beinhaltet die Feststellung, ob einerseits die notwendigen Datengrundlagen für eine praktische Anwendung im ausreichenden Maß zur Verfügung stehen, und ob andererseits die Anpassung bzw. Kalibrierung der Modelle an österreichische Verhältnisse auch sinnvoll und zielführend sind.

Die Arbeit nutzt anonymisierte Daten der ASFINAG (aus der Datenbank des Infrastructure Management Tools, IMT) für das Straßenoberbau-Erhaltungsbauprogramm 2023-2028 und vergleicht dieses mit einem "Nichts-Tun"-Szenario, um die sozialen Auswirkungen abzuschätzen.

Im Rahmen dieses Vergleichs wurden folgende Bewertungsbereiche modelliert und auch mit den Daten des ASFINAG Erhaltungsbauprogramms 2023 – 2028 praktisch getestet. Die Analyse konzentrierte sich dabei auf sowohl direkte als auch indirekte Kosten und Einsparpotenziale, die im Zusammenhang mit Erhaltungsprojekten im österreichischen Autobahn- und Schnellstraßennetz entstehen. Die einzelnen Bewertungsbereiche können dabei wie folgt zusammengefasst werden:

- Zunächst wurde der Einfluss von Zusatzkosten durch Einschränkungen in der Verfügbarkeit und Beeinträchtigungen untersucht. Diese indirekten Kosten resultieren vor allem aus verlängerten Reisezeiten infolge von Geschwindigkeitsbeschränkungen, reduzierter Straßenkapazität oder notwendigen Umleitungen. Hinzu kommen erhöhte Fahrzeugbetriebskosten, deren Höhe insbesondere in Jahren mit intensiver Bautätigkeit und längeren Projektlaufzeiten deutlich ansteigt.
- Ein weiterer zentraler Aspekt sind die zusätzlichen Verkehrssicherheitskosten während der Bauphasen. In Baustellenbereichen erhöht sich das Unfallrisiko, was sich kostenmäßig in Abhängigkeit von der Länge und Dauer der Baustellen sowie der Unfallhäufigkeit niederschlägt. Diese Kosten sind insbesondere bei umfangreichen Maßnahmen wie Deckschicht- und Verstärkungsarbeiten signifikant. Die Sicherheitsmaßnahmen innerhalb der Arbeitszonen sind bereits in den direkten Maßnahmenkosten enthalten und wurden daher nicht separat bewertet.
- Umweltkosten stellen einen weiteren wesentlichen Bewertungsbereich dar. Sie umfassen zum einen zusätzliche Treibhausgasemissionen durch erhöhten Kraftstoffverbrauch in staugeprägten Bauphasen und zum anderen Emissionen sogenannter „grauer Energie“, die durch Materialgewinnung, Herstellung, Transport, Einbau und Entsorgung entstehen. Die Emissionen wurden in CO₂-Äquivalente umgerechnet und monetarisiert, basierend auf globalen Erwärmungspotenzial-Werten (GWP) aus dem Projekt KOMBAS [52]. Diese Umweltkosten steigen proportional zur baulichen Intensität und weisen eine ähnliche Entwicklung wie die direkten Maßnahmenkosten auf.
- Dem gegenüber stehen Einsparungen bei Verkehrssicherheitskosten, die durch eine verbesserte Fahrbahnbeschaffenheit, insbesondere hinsichtlich der Griffigkeit auf nasser Fahrbahn, realisiert werden können. Die Modellierung stützt sich auf österreichische Studien, welche eine Korrelation zwischen dem Reibungsbeiwert und der Unfallwahrscheinlichkeit bei Nässe belegen. Trotz kumulativer Effekte über mehrere Jahre sind diese Einsparungen im österreichischen Autobahn- und Schnellstraßennetz insgesamt gering, da Unfälle unter diesen Bedingungen vergleichsweise selten sind.
- Auch bei den Umweltkosten ergeben sich Einsparpotenziale, insbesondere durch lärm-mindernde Fahrbahnbeläge und die Reduktion von Treibhausgasemissionen infolge einer verbesserten Längsebenheit der Fahrbahn. Die Bewertung der lärm-mindernden Wirkung erfolgte unter Berücksichtigung der akustischen Wirkungs-dauer (z. B. aus dem Projekt ADURA [1]) sowie der Lärmbetroffenheit gemäß Lärmkarte. Die CO₂-Einsparungen basieren auf Forschungsergebnissen des Projekts SABINA [49], die den Zusammenhang zwischen Fahrbahnbeschaffenheit und Kraftstoffverbrauch untersuchen. Effekte durch Recyclingmaterialien oder reduzierte graue Energie konnten aufgrund fehlender Daten nicht berücksichtigt werden. Mit zunehmender Nutzungsdauer nimmt die lärm-mindernde Wirkung ab, was zu einem abnehmenden Trend bei den Umweltkosteneinsparungen führt.

Die Anwendung der ISABELA-Modelle auf die österreichischen Verhältnisse bringt mehrere Herausforderungen mit sich, die durch spezifische Lösungsansätze adressiert werden:

- Erstens sind die Modelle stark von Annahmen abhängig und zeigen eine hohe Sensitivität, insbesondere bei der Ermittlung von Reisezeiten und Umleitungsverkehren. Für eine verlässliche monetäre Quantifizierung ist eine Validierung und Verfeinerung dieser Annahmen mittels spezieller Datenerhebungen und detaillierter Studien notwendig. Ein kontinuierliches Monitoring und die Anpassung der Modelle sind daher essenziell.

- Zweitens erfordert die umfassende Nutzung der Modelle eine verbesserte Datenverfügbarkeit und -detaillierung. So wurden etwa für die Reisezeitermittlung Näherungsverfahren angewendet, da keine flächendeckenden Verkehrssimulationen vorlagen. Die Umleitungskategorien und deren Verkehrsanteile wurden an die österreichischen Verhältnisse angepasst, basierend auf Netzanalysen und Expertenwissen. Auch die Dauer von Baustellen wurde aus Erfahrungswerten abgeschätzt. Zur Verbesserung wird empfohlen, künftig detaillierte Verkehrssimulationen und präzisere Erfassungen der Baustellendauer zu nutzen sowie die Staulängenberechnung durch fortgeschrittene Warteschlangenmodelle zu ergänzen. Einige Modellbereiche, wie etwa Reisezeitverluste durch Zugangs- und Abfahrtsbeschränkungen, konnten mangels Daten nicht angewandt werden, sollten aber bei zukünftig verfügbaren Informationen integriert werden. Ebenso sind langfristige Effekte auf Fahrzeugbetriebskosten derzeit noch unzureichend wissenschaftlich abgesichert und sollten intensiver erforscht werden. Umweltauswirkungen auf Wasser- und Bodenqualität bei kritischen Unfällen sowie Einsparungen durch Recyclingmaterialien und graue Energie konnten aufgrund fehlender Daten nicht modelliert werden, wofür eine systematische Datenerfassung empfohlen wird. Zusätzliche Verkehrssicherheitskosten während der Bauzeit sind aktuell in Einheitspreisen enthalten und könnten durch erhöhte Transparenz zukünftig separat bewertet werden. Schließlich sind Unfallmodelle zur Griffbarkeit auf österreichische Verhältnisse anzupassen, da die bislang verwendeten Schweizer Modelle nicht direkt übertragbar sind.
- Drittens sollten die verwendeten Kostensätze genauer analysiert und auch regelmäßig aktualisiert werden, um der wirtschaftlichen Entwicklung und aktuellen Richtlinien gerecht zu werden.
- Viertens bedarf es einer Vertiefung sozioökonomischer Aspekte, insbesondere der Modelle zur Beschäftigung und zum BIP-Beitrag, die bisher noch theoretisch und vereinfacht sind. Empirische Studien und die Berücksichtigung regionaler Arbeitsmarktsituationen könnten deren Aussagekraft verbessern. Schließlich sollte die Betrachtung künftig auf intermodale Aspekte und das gesamte Mobilitätsverhalten ausgeweitet werden, da Beeinträchtigungen einzelner Verkehrsträger Wechselwirkungen mit anderen Verkehrsmitteln und der allgemeinen Mobilität nach sich ziehen können. Dies erfordert die Entwicklung integrierter Modelle und eine Vernetzung unterschiedlicher Datenquellen.

Trotz dieser Einschränkungen lagen ausreichend Daten vor, um die angepassten bzw. ergänzten ISABELA-Modell praktisch auf den Autobahnen und Schnellstraßen für das Erhaltungsprogramm 2023 bis 2028 des Straßenoberbaus anzuwenden.

8.2 Zusammenfassung der Analyseergebnisse

Die praktische Anwendung der angepassten ISABELA-Modelle auf das Erhaltungsbauprogramm der ASFINAG für den Zeitraum 2023 bis 2028 ermöglicht erstmals einen quantitativen Vergleich zwischen direkten Maßnahmenkosten und erweiterten sozialen Kosten sowie potenziellen Einsparungen auf Netzebene. Die Analyse der sozialen Auswirkungen im Verhältnis zu den unmittelbaren Investitionsaufwendungen zeigt ein differenziertes Bild, das wichtige Erkenntnisse für eine umfassendere Erhaltungsplanung liefert.

Vergleich Kosten, Zusatzkosten und Einsparungen (gesamte Analyseperiode)

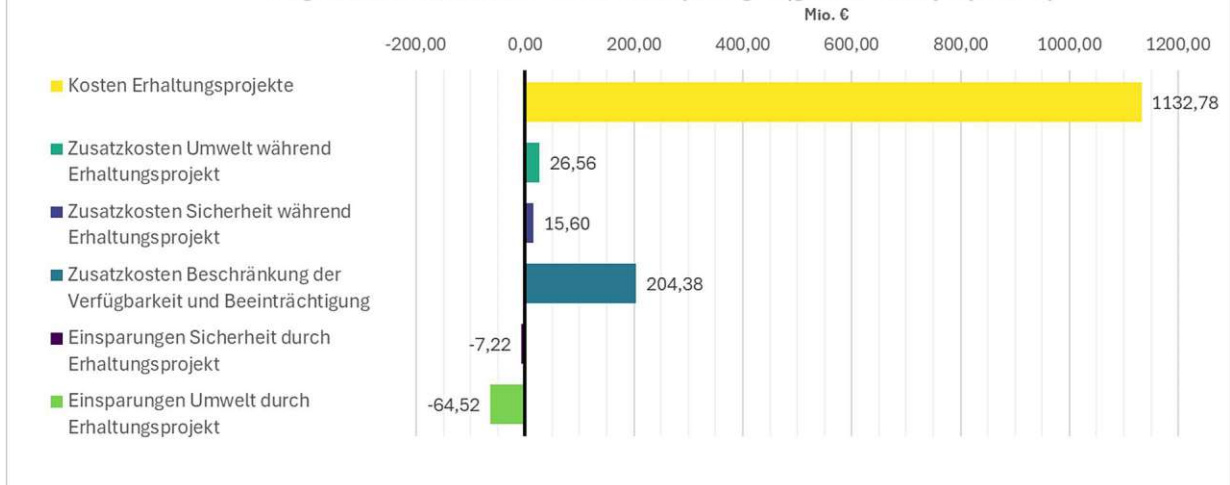


Abb. 39: Zusammenstellung der Einsparungen und Zusatzkosten im Rahmen eines Erhaltungsprojektes (inkl. Erhaltungsmaßnahmenkosten)

Die direkten Maßnahmenkosten – bestehend aus Erneuerungs-, Verstärkungs- und Deck-schichtmaßnahmen auf Asphalt- und Betondecken – belaufen sich im Untersuchungszeitraum auf insgesamt 1,13 Milliarden Euro. Ein deutlicher Kostenanstieg ist ab dem Jahr 2026 erkennbar, mit einem Höchstwert von rund 320 Millionen Euro im Jahr 2027. In den Jahren 2024, 2025 und 2028 bewegen sich die Ausgaben jeweils auf einem stabilen Niveau von etwa 200 Millionen Euro. In diesen Beträgen sind auch die Aufwendungen für Baustelleneinrichtungen und zusätzliche Ver-kehrssicherungsmaßnahmen enthalten.

Die Zusatzkosten aufgrund von Verfügbarkeitseinschränkungen und Beeinträchtigungen des Verkehrs stellen den mit Abstand größten Anteil der indirekten Kosten dar. Im Durchschnitt ent-sprechen sie rund 18 % der direkten Maßnahmenkosten, was einer Größenordnung von etwa 204 Millionen Euro über den gesamten Zeitraum entspricht. Diese Kosten entstehen vorwiegend durch verlängerte Reisezeiten, resultierend aus temporären Geschwindigkeitsbegrenzungen, Ka-pazitätseinschränkungen sowie notwendigen Umleitungen während der Bauphasen. Ihr Höchst-wert fällt mit dem Jahr 2027 zusammen, was die enge Korrelation zwischen baulicher Intensität und verkehrlicher Beeinträchtigung deutlich macht.

Die zusätzlichen Umweltkosten durch die Durchführung der Erhaltungsmaßnahmen betragen durchschnittlich etwa 2,4 % der direkten Maßnahmenkosten, was einer Summe von rund 27 Mil-lionen Euro entspricht. Sie resultieren primär aus erhöhtem Kraftstoffverbrauch während stauin-tensiver Bauphasen sowie aus Emissionen sogenannter „grauer Energie“ im Zuge von Material-herstellung, Transport und Einbau. Auch hier ist der Höhepunkt der Umweltkosten in jenen Jah-ren zu verzeichnen, in denen die bauliche Aktivität am höchsten ist.

Die zusätzlichen Sicherheitskosten während eines Erhaltungsprojekts machen im Durchschnitt etwa 1,4 % der direkten Maßnahmenkosten aus, was rund 16 Millionen Euro entspricht. Auffällige Spitzen dieser Kosten sind in den Jahren 2024 und 2027 zu beobachten – Zeiträume mit beson-ders umfangreichen Bauaktivitäten. Die Kosten für Baustelleneinrichtungen und zusätzliche Ver-kehrssicherungsmaßnahmen waren bereits in den Einheitspreisen der Erhaltungsmaßnahmen enthalten und konnten daher nicht separat modelliert werden.

Demgegenüber stehen langfristige Einsparungen bei Umweltkosten, die sich auf durchschnitt-lich etwa 2 % der direkten Maßnahmenkosten, also rund 21 Millionen Euro, belaufen. Diese re-sultieren insbesondere aus lärm-mindernden Fahrbahnbelägen sowie einer verbesserten Längsebenheit, die zu einem geringeren Treibstoffverbrauch führt. Allerdings zeigt sich gegen Ende des Analysezeitraums ein rückläufiger Trend, da sich lärm-mindernde Effekte im Zeitverlauf abschwächen.

Die langfristigen Einsparungen bei Verkehrssicherheitskosten fallen mit etwa 0,2 % der direk-ten Maßnahmenkosten, entsprechend rund 2 Millionen Euro, vergleichsweise gering aus. Dies

liegt vor allem daran, dass Unfälle auf nasser Fahrbahn aufgrund mangelnder Griffigkeit im österreichischen Autobahn- und Schnellstraßennetz selten auftreten. Die entsprechenden Effekte wirken zwar über mehrere Jahre, bleiben jedoch im Gesamtkontext begrenzt.

Zusammenfassend zeigt die Analyse, dass insbesondere die Zusatzkosten infolge von Verfügbarkeitseinschränkungen und Nutzerbeeinträchtigungen eine zentrale Rolle spielen und den mit Abstand größten indirekten Kostenblock darstellen. Die weiteren indirekten Kosten – Umwelt- und Sicherheitsaspekte – sowie die potenziellen Einsparungen fallen im Verhältnis zu den direkten Maßnahmenkosten deutlich geringer aus.

Ein Vergleich zwischen den gesamten Zusatzkosten und den möglichen langfristigen Einsparungen zeigt, dass die negativen Effekte während der Bauphasen – insbesondere in Form von Zeitverlusten und Emissionen – die positiven Langfristwirkungen aus Sicherheits- und Umweltverbesserungen deutlich überwiegen. Während sich die Zusatzkosten im betrachteten Zeitraum auf rund 247 Millionen Euro summieren (18 % + 2,4 % + 1,4 %), betragen die kumulierten Einsparungen lediglich etwa 24 Millionen Euro (2 % + 0,2 %). Betrachtet man jedoch den gesamten Zeitraum von 15 Jahren, summieren sich die Einsparungen auf rund 71 Millionen Euro (0,6 % + 5,7 %). Dies unterstreicht die Notwendigkeit, Maßnahmen zur Reduktion der baubedingten Belastungen gezielt in den Planungsprozess zu integrieren, beispielsweise durch optimierte Bauabläufe, Nacharbeit oder intelligente Verkehrsführung.

Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass die Berücksichtigung sozialer Auswirkungen während der Bauphasen entscheidend ist, um die tatsächlichen gesellschaftlichen Kosten von Infrastrukturmaßnahmen realistisch abzubilden.

Gleichzeitig bestätigt die Untersuchung, dass die Integration sozialer Aspekte in die Erhaltungsplanung nicht nur sinnvoll, sondern auch methodisch umsetzbar ist. Zwar mussten einige der ISABELA-Modelle [] aufgrund begrenzter Datenverfügbarkeit an österreichische Rahmenbedingungen angepasst oder vereinfacht werden. Dennoch liefern die Ergebnisse eine belastbare Grundlage für die künftige Implementierung sozialer Schlüsselindikatoren im Asset Management der ASFINAG. Damit erweitert die Integration sozialer Kennzahlen die bisher vorwiegend technisch-ökonomisch ausgerichtete Perspektive der Erhaltungsplanung um eine zusätzliche, gesellschaftlich relevante Dimension. Anstelle einer rein kostenbasierten Entscheidungsgrundlage rücken nun auch Auswirkungen auf Nutzer:innen, Umwelt und Verkehrssicherheit stärker in den Fokus. Dies schafft die Voraussetzung für fundiertere, ausgewogenere Entscheidungen, die sowohl Effizienz als auch soziale und ökologische Verantwortung in den Planungsprozess einbeziehen.

Ein zentrales und auch sensibles Thema ist in diesem Zusammenhang die Wahl der jeweiligen Kostensätze. Die zuvor beschriebenen indirekten Kosten und Einsparungen sind zwar im Vergleich zu den direkten Baulasträgerkosten deutlich geringer, werden aber aufgrund von in der Regel vorgegebenen Kostensätzen ermittelt (siehe z. B. CO₂-Bepreisung [48]). Und diese Kostensätze sind in Österreich oft das Ergebnis eines Konsenses zwischen Interessensvertretungen (z. B. Wirtschaft) und Politik. In diesem Zusammenhang müssten daher vor allem diese Kostensätze einer genauen Analyse unterzogen werden, was den Rahmen der gegenständlichen Aufgabenstellung deutlich erweitern würde.

8.3 Schlussfolgerung und Ausblick

Die vorliegende Arbeit stellt einen fundierten und richtungsweisenden ersten Schritt zur Integration sozialer Indikatoren in das Erhaltungsmanagement der ASFINAG dar. Durch die kritische Auseinandersetzung mit den ISABELA-Modellen und deren Anwendbarkeit im österreichischen Kontext konnten zentrale Herausforderungen identifiziert werden – insbesondere hinsichtlich der Datenverfügbarkeit sowie der Komplexität und Sensitivität der zugrunde liegenden Modellannahmen.

Ein besonders relevanter Aspekt, der im Rahmen der Analyse deutlich wurde, ist die bislang eingeschränkte Betrachtung auf die Straßenverkehrsinfrastruktur. Sowohl in den ISABELA-Modellen als auch in der generellen Praxis – etwa bei Umweltverträglichkeitsprüfungen oder Mach-

barkeitsstudien – wird der Fokus primär auf die direkte Straßeninfrastruktur gelegt. Damit bleiben die Interdependenzen zwischen verschiedenen Verkehrsträgern sowie die gesamtgesellschaftlichen Auswirkungen von Erhaltungsmaßnahmen weitgehend unberücksichtigt.

Für eine zukunftsfähige, nachhaltige und integrierte Mobilitätsplanung ist es jedoch unerlässlich, über die isolierte Betrachtung einzelner Verkehrssysteme hinauszugehen. Baumaßnahmen auf Autobahnen oder Schnellstraßen haben häufig substanzielle Auswirkungen auf andere Verkehrsträger, insbesondere den öffentlichen Nahverkehr oder den Schienenverkehr, und beeinflussen das Mobilitätsverhalten der Bevölkerung insgesamt. Diese Wechselwirkungen betreffen nicht nur die physische Verlagerung von Verkehrsströmen, sondern auch soziale (z. B. Überlastung öffentlicher Verkehrsmittel), ökonomische (z. B. zusätzliche Kosten für alternative Mobilitätsformen) und ökologische (z. B. Emissionsminderung durch modale Verlagerung) Faktoren.

Zukünftige Forschungsvorhaben sowie die Weiterentwicklung der ISABELA-Modelle sollten das Konzept der sozialen Schlüsselindikatoren auf eine intermodale Ebene ausweiten. Dies erfordert die Entwicklung integrierter Bewertungsansätze, die nicht nur die Auswirkungen auf den motorisierten Individualverkehr erfassen, sondern auch Wechselwirkungen mit anderen Verkehrsträgern systematisch berücksichtigen. Die Voraussetzung dafür ist eine verbesserte Datenvernetzung zwischen verschiedenen Infrastrukturbetreibern und Mobilitätsdienstleistern.

Ein Beispiel für eine bereits praktizierte integrierte Herangehensweise findet sich in der Koordination zwischen den Wiener Linien, der Stadt Wien und der ÖBB bei großräumigen Bauprojekten. Hier wird versucht, die Auswirkungen auf die Gesamtmobilität durch koordinierte Maßnahmen zu minimieren – ein Ansatz, der perspektivisch auch auf bundesweite Erhaltungsstrategien übertragen werden sollte.

Darüber hinaus liefert die Arbeit einen Beitrag zur Diskussion um die Kostenwahrheit im Verkehr. Es wurde gezeigt, dass sensible Parameter wie Verkehrsbelastung und Fahrgeschwindigkeit erheblichen Einfluss auf die Höhe der sozialen Zusatzkosten und potenziellen Einsparungen haben. Eine Reduktion des Verkehrsaufkommens – etwa durch verkehrspolitische Maßnahmen oder gezielte Lenkung von Mobilitätsverhalten – kann nicht nur zur Senkung dieser Kosten beitragen, sondern auch die Lebensdauer der Infrastruktur verlängern. Damit wird deutlich, dass das Erhaltungsmanagement in einen breiteren politischen und planerischen Kontext eingebettet werden muss, um langfristig gesellschaftliche und ökologische Ziele wirksam zu verfolgen.

Zusammenfassend liefern die formulierten Empfehlungen eine klare Roadmap für weiterführende Forschung und praktische Umsetzung. Sie skizzieren die notwendigen Schritte zur Verbesserung der Datengrundlage, zur Verfeinerung und Kontextualisierung der Modelle sowie zur vertieften Analyse sozioökonomischer und ökologischer Effekte. Eine konsequente Weiterentwicklung in diesen Bereichen wird es der ASFINAG ermöglichen, ihr Erhaltungsmanagement umfassender, transparenter und nachhaltiger zu gestalten. Damit können sowohl unmittelbare als auch langfristige Auswirkungen auf Gesellschaft und Umwelt systematisch bewertet und gezielt gesteuert werden.

Die vorliegende Arbeit gleicht damit dem ersten architektonischen Entwurf eines ganzheitlichen Bauwerks: Während bislang lediglich Fundament und Tragstruktur – die technische Straßenerhaltung – im Fokus standen, wird nun ein Konzept vorgelegt, das auch die Lebensqualität der „Bewohner“, die Energieeffizienz und die Einbindung in das urbane Gefüge berücksichtigt. Für die vollständige Umsetzung dieses Ansatzes bedarf es weiterer Werkzeuge und Detailpläne – doch der Weg zu einem ganzheitlich gedachten Erhaltungsmanagement ist aufgezeigt.

9 Anhang

9.1 Anhang A: Umleitungskategorie der österreichischen Autobahnen und Schnellstraßen

Autobahn	Abschnitt	Von km	Bis km	Umleitungs- kategorie
A1	Wien-A21	8.600	30.738	B
A1	A21-A25	30.738	175.574	C
A1	A25-A8/A9	175.574	196.318	D
A1	A8/A9-Ende	196.318	301.400	C
A2	Wien-S6	0.000	57.116	C
A2	S6-Graz	57.116	179.627	C
A2	Graz-Klagenfurt	179.627	305.346	B
A2	Klagenfurt-Ende	305.346	380.856	C
A3	ganze Strecke	0.000	37.993	C
A4	Wien-A6	0.000	38.714	C
A4	A6-Ende	38.714	65.773	D
A5	ganze Strecke	0.632	55.67	C
A6	ganze Strecke	0	22.142	D
A7	ganze Strecke	0	26.78	B
A8	ganze Strecke	0	76.032	C
A9	A1-Kirchdorf	0.000	15.820	C
A9	Kirchdorf-S36/S6	15.820	132.630	B
A9	S36/6-Gratkorn	132.630	169.062	D
A9	Gratkorn-A2	169.062	189.125	B
A9	A2-Ende	189.125	230.020	C
A10	A1-Hallein	2.5	16.086	C
A10	Hallein-Bischofshofen	16.086	112.835	B
A10	Bischofshofen-Spittal	112.835	139.685	A
A10	Kn Spittal-Millstätter See-A2	139.685	183.21	C
A11	ganze Strecke	0.000	21.158	B
A12	ganze Strecke	0.000	145.5	C
A13	ganze Strecke	0.000	34.501	B
A14	ganze Strecke	0.000	61.38	C
A21	ganze Strecke	1.203	38.235	B
A22	Wiener Bereich bis Lan- desgrenze	0.000	9.852	B
A22	außerhalb von Wien	9.852	29.575	C
A23	ganze Strecke	0	16.982	B
A25	ganze Strecke	0	19.88	D
S1	im Süden von Wien	0	16.228	B
S1	Bonaventura	36.05	58.275	D
S2	ganze Strecke	0	7.4	B
S3	ganze Strecke	0	25.859	C
S4	ganze Strecke	0	17.065	C
S5	ganze Strecke	0	35.238	D

S5	ganze Strecke	35.85	44.515	D
S6	ganze Strecke	0	104.956	C
S10	ganze Strecke	0	21.787	C
S16	ganze Strecke	0	62.205	A
S31	ganze Strecke	33.666	84.285	D
S33	ganze Strecke	0	27.475	C
S35	ganze Strecke	0	36.475	C
S36	ganze Strecke	0	37.435	D
S36	ganze Strecke	47.27	48.67	D
S37	ganze Strecke	283.227	301.162	C

9.2 Anhang B: Program Code

9.2.1 Analysevariablen

Name	Description	Attribute	Initialize Attribute	Initialize Expression	Keep	Type	Shift Curve	Slope
JAV_Jahr	Jahr	P_LCCA_ISABELA->MN_Jahr		A_iv_Actual_year	WAHR	A	FALSCH	U
JAV_KST_Total	Gesamtkosten	P_LCCA_ISABELA->INT_Default	P_LCCA_ISABELA->INT_Default		WAHR	A	FALSCH	U
JAV_M_Massnahme_flag	Maßnahmen Auslöser	P_LCCA_ISABELA->INT_Default_small		A_iv_M_Treatment_flag	WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_Dauer	Maßnahmendauer	P_LCCA_ISABELA->INT_Int	P_LCCA_ISABELA->INT_Int		WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_deltaUFnass_tot	Differenz der Anzahl der Nassunfälle (mit Getöteten) vor und nach dem Erhaltungsprojekt [Unfall/Jahr]	P_LCCA_ISABELA->MN_aZG_Gri		A_iv_0	WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_deltaUFnass_verletzt	Differenz der Anzahl der Nassunfälle (mit Getöteten) vor und nach dem Erhaltungsprojekt [Unfall/Jahr]	P_LCCA_ISABELA->MN_aZG_Gri		A_iv_0	WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_EinspSKST_Unfall_jarlich	jährliche Einsparungen bei Sicherheitskosten durch ein Erhaltungsprojekt [€]	P_LCCA_ISABELA->INT_Default		A_iv_0	WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_GWP	GWP Erhaltungsmaßnahme (im Maßnahmenjahr) aufgrund von MATERIALGWINN, Abbruch, Einbau, Transport, Mischgutherstellung	P_LCCA_ISABELA->EMS_GWP_Wert_3	P_LCCA_ISABELA->EMS_GWP_Wert_3		WAHR	A	FALSCH	U

Name	Description	Attribute	Initialize Attribute	Initialize Expression	Keep	Type	Shift Curve	Slope
JAV_MN_GWP_Einsp_jahr	Jährliche Einsparungen GWP aufgrund des besseren Zustands in Tonnen	P_LCCA_ISABELA->EMS_GWP_Wert_3	P_LCCA_ISABELA->EMS_GWP_Wert_3		WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_GWP_Einsp_kum	Jährliche Einsparungen GWP aufgrund des besseren Zustands in Tonnen	P_LCCA_ISABELA->EMS_GWP_Wert_3	P_LCCA_ISABELA->EMS_GWP_Wert_3		WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_GWP_kumuliert	GWP kumuliert	P_LCCA_ISABELA->EMS_GWP_Wert_3	P_LCCA_ISABELA->EMS_GWP_Wert_3		WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_GWP_RecyclingpotentialEnde	Recyclingpotenzial am Ende der Maßnahmenperiode	P_LCCA_ISABELA->EMS_GWP_Wert_3	P_LCCA_ISABELA->EMS_GWP_Wert_3		WAHR	A	FALSCH	D
JAV_MN_GWP_StauBaustelle_Gesamt	Zusätzliches GWP aufgrund von Staus während der Baustelle Personenkraftwagen	P_LCCA_ISABELA->EMS_GWP_Wert_3	P_LCCA_ISABELA->EMS_GWP_Wert_3		WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_GWP_StauBaustelle_Lkw	Zusätzliches GWP aufgrund von Staus während der Baustelle Personenkraftwagen	P_LCCA_ISABELA->EMS_GWP_Wert_3	P_LCCA_ISABELA->EMS_GWP_Wert_3		WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_GWP_StauBaustelle_Pkw	Zusätzliches GWP aufgrund von Staus während der Baustelle Personenkraftwagen	P_LCCA_ISABELA->EMS_GWP_Wert_3	P_LCCA_ISABELA->EMS_GWP_Wert_3		WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_JDTLV_red	reduzierter jährlicher durchschnittlicher täglicher Lastverkehr [Lkw/Tag]	P_LCCA_ISABELA->INT_Int		A_iv_0	WAHR	A	FALSCH	U

Name	Description	Attribute	Initialize Attribute	Initialize Expression	Keep	Type	Shift Curve	Slope
JAV_MN_JDTLV_Uml	zusätzlicher jährlicher durchschnittlicher täglicher Lastverkehr auf der Umleitung [Lkw/Tag]	P_LCCA_ISABELA->INT_Int		A_iv_0	WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_JDTV_red	reduzierter jährlicher durchschnittlicher täglicher Verkehr [Kfz/Tag]	P_LCCA_ISABELA->INT_Int		A_iv_0	WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_JDTV_Uml	zusätzlicher jährlicher durchschnittlicher täglicher Verkehr auf der Umleitung [Kfz/Tag]	P_LCCA_ISABELA->INT_Int		A_iv_0	WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_Laerm_Einsp_gesamt	Jährliche Lärmkosten pro km A&S (nachts) in Euro	P_LCCA_ISABELA->INT_Default		A_IV_aN_Laerm_Einsp_gesamt	WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_Laerm_Einsp_Nacht	Jährliche Lärmkosten pro km A&S (nachts) in Euro	P_LCCA_ISABELA->INT_Default		A_IV_aN_Laerm_Einsp_Nacht	WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_Laerm_Einsp_Tag	Jährliche Lärmkosten pro km A&S (tags-über) in Euro	P_LCCA_ISABELA->INT_Default		A_IV_aN_Laerm_Einsp_Tag	WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_Laerm_Nacht	Jährliche Lärmkosten pro km A&S (nachts) in Euro	P_LCCA_ISABELA->INT_Default		A_IV_aN_Laerm_tag	WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_Laerm_Tag	Jährliche Lärmkosten pro km A&S (tags-über) in Euro	P_LCCA_ISABELA->INT_Default		A_IV_aN_Laerm_nacht	WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_Laerm_Total	Jährliche Lärmkosten pro km A&S (tags-über) in Euro	P_LCCA_ISABELA->INT_Default		A_iv_0	WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_letzteMassnahme	Letzte Maßnahme	P_LCCA_ISABELA->INT_Default_txt	P_LCCA_ISABELA->INT_Default_txt		WAHR	A	FALSCH	U

Name	Description	Attribute	Initialize Attribute	Initialize Expression	Keep	Type	Shift Curve	Slope
JAV_MN_letztesIntervall	Maßnahmen im letzten Intervall	P_LCCA_ISABELA->INT_Int	P_LCCA_ISABELA->INT_Int		WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_tTVerlust_dV_LkW	gesamte Zeitverlust infolge Geschwindigkeitsreduktion des Personenverkehrs[h]	P_LCCA_ISABELA->INT_Default		A_iv_0	WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_tTVerlust_dV_PkW	gesamte Zeitverlust infolge Geschwindigkeitsreduktion des Personenverkehrs[h]	P_LCCA_ISABELA->INT_Default		A_iv_0	WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_tTVerlust_Stau_LkW	gesamte Zeitverlust infolge Staus Personenverkehr [h]	P_LCCA_ISABELA->INT_Default		A_iv_0	WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_tTVerlust_Stau_PkW	gesamte Zeitverlust infolge Staus Personenverkehr [h]	P_LCCA_ISABELA->INT_Default		A_iv_0	WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_tTVerlust_Uml_LkW	gesamter Zeitverlust auf der Umleitung für Lastkraftzeuge [h]	P_LCCA_ISABELA->INT_Default		A_iv_0	WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_tTVerlust_Uml_PkW	gesamter Zeitverlust auf der Umleitung für Personenkraftzeuge [h]	P_LCCA_ISABELA->INT_Default		A_iv_0	WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_TVerlust_dV_Lkw	Zeitverlust infolge Geschwindigkeitsbeschränkung [h/Pkw]	P_LCCA_ISABELA->INT_Default_small		A_iv_0	WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_TVerlust_dV_Pkw	Zeitverlust infolge Geschwindigkeitsbeschränkung [h/Pkw]	P_LCCA_ISABELA->INT_Default_small		A_iv_0	WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_TVerlust_Stau	Zeitverlust infolge Staus [h]	P_LCCA_ISABELA->INT_Default_small		A_iv_0	WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_TVerlust_Uml	Zeitverlust auf der Umleitung [h/Kfz]	P_LCCA_ISABELA->INT_Default_small		A_iv_0	WAHR	A	FALSCH	U

Name	Description	Attribute	Initialize Attribute	Initialize Expression	Keep	Type	Shift Curve	Slope
JAV_MN_zus_Treibstoff-verbr_Lkw	Zusätzliche Treibstoffverbrauch der LKW während Staus infolge Erhaltungsprojektes [L]	P_LCCA_ISABELA->INT_Default		A_iv_0	WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_zus_Treibstoff-verbr_Pkw	Zusätzliche Treibstoffverbrauch der Pkw während Staus infolge Erhaltungsprojektes [L]	P_LCCA_ISABELA->INT_Default		A_iv_0	WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_zusKST_Treibstoffver	Zusätzliche Sicherheitskosten während eines Erhaltungsprojekts €]	P_LCCA_ISABELA->INT_Default		A_iv_0	WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_zusKST_Zeit	zusätzliche Reisezeitkosten infolge Erhaltungsprojektes m[€]	P_LCCA_ISABELA->INT_Default		A_iv_0	WAHR	A	FALSCH	U
JAV_MN_zusSKST	Zusätzliche Sicherheitskosten während eines Erhaltungsprojekts €]	P_LCCA_ISABELA->INT_Default		A_iv_0	WAHR	A	FALSCH	U
JAV_VK_JDTLV	JDTLV-Wert	P_LCCA_ISABELA->VK_JDTLV_akt_Jahr	P_LCCA_ISABELA->VK_JDTLV_akt_Jahr		WAHR	A	FALSCH	U
JAV_VK_JDTV	JDTV-Wert	P_LCCA_ISABELA->VK_JDTV_akt_Jahr	P_LCCA_ISABELA->VK_JDTV_akt_Jahr		WAHR	A	FALSCH	U
JAV_ZU_ZG_Gri_do_nothing	Griffigkeit do nothing Kurve	P_LCCA_ISABELA->MN_bZG_Gri	P_LCCA_ISABELA->MN_bZG_Gri		WAHR	A	FALSCH	U
JAV_ZU_ZG_Gri_Effekt	IRI do nothing Kurve	P_LCCA_ISABELA->MN_aZG_Gri	P_LCCA_ISABELA->MN_aZG_Gri		WAHR	A	FALSCH	U
JAV_ZU_ZG_IRI_do_nothing	IRI do nothing Kurve	P_LCCA_ISABELA->MN_aZG_IRI	P_LCCA_ISABELA->MN_bZG_IRI		WAHR	A	FALSCH	U
JAV_ZU_ZG_IRI_Effekt	IRI do nothing Kurve	P_LCCA_ISABELA->MN_bZW_IRI	P_LCCA_ISABELA->MN_bZW_IRI		WAHR	A	FALSCH	U

Name	Description	Attribute	Initialize Attribute	Initialize Expression	Keep	Type	Shift Curve	Slope
KAV_GWP_GesamtEnde	GWP gesamt am Ende der Analyseperiode	P_LCCA_ISABELA->EMS_GWP_Wert_3			WAHR	C	FALSCH	U
KAV_KST_Strategie	Strategiekosten	P_LCCA_ISABELA->INT_Default			WAHR	C	FALSCH	U
KAV_MN_EinpKST_total	Gesamteinsparungen Kosten	P_LCCA_ISABELA->INT_Default			WAHR	C	FALSCH	U
KAV_MN_SozEffekt	Soziale Auswirkungen eines Erhaltungsprojektes, monetär [€]	P_LCCA_ISABELA->INT_Default			WAHR	C	FALSCH	U
KAV_MN_SozEinsp	Einsparungen von Sicherheitskosten vor einem und durch ein Erhaltungsprojekt [€]	P_LCCA_ISABELA->INT_Default			WAHR	C	FALSCH	U
KAV_MN_SozKST	Soziale Kosten infolge Erhaltungsprojektes [€]	P_LCCA_ISABELA->INT_Default			WAHR	C	FALSCH	U

Analysis Variable	Name	Order	Filter	Expression
JAV_Jahr	:AAV_aN_Year	0		AAV_aN_Year
JAV_KST_Total	(None):AAV_aN_CST_Total	0		AAV_aN_CST_Total
JAV_M_Massnahme_flag	(None):AAV_aN_M_treatmant_flag	0		AAV_aN_M_treatmant_flag
JAV_MN_Dauer	(None)	0		JAV_aN_MN_Dauer
JAV_MN_deltaUFnass_tot	(None)	0		AAV_aN_M_deltaUFnass_tot
JAV_MN_deltaUFnass_verletzt	(None)	0		AAV_aN_M_deltaUFnass_verletzt
JAV_MN_EinspSKST_Unfall_jar- lich	(None):AAV_aN_M_savSCST_yearly	0		AAV_aN_MN_savSCST_yearly_unfallkosten
JAV_MN_GWP	(None)	0		AAV_aN_MN_GWP
JAV_MN_GWP_Einsp_jahr	(None)	0		AAV_aN_GWP_Einsp_jahr
JAV_MN_GWP_Einsp_kum	(None)	0		AAV_aN_GWP_Einsparung_kum
JAV_MN_GWP_kumuliert	(None)	0		AAV_aN_GWP_kumuliert
JAV_MN_GWP_Recyclingpo- tentialEnde	(None)	0		AAV_aN_GWP_RecyclingpotentialEnde
JAV_MN_GWP_StauBau- stelle_Gesamt	(None)	0		AAV_aN_GWP_StauBaustelle_Gesamt
JAV_MN_GWP_StauBau- stelle_Lkw	(None)	0		AAV_aN_GWP_StauBaustelle_Lkw
JAV_MN_GWP_StauBau- stelle_Pkw	(None)	0		AAV_aN_GWP_StauBaustelle_Pkw
JAV_MN_JDTLV_red	(None):P_MN_aN_RW_JDTLV_red	0		AAV_aN_M_HGV_red
JAV_MN_JDTLV_Uml	(None):AAV_aN_M_HGV_detour	0		AAV_aN_M_HGV_detour
JAV_MN_JDTV_red	(None):AAV_aN_M_AADT_red	0		AAV_aN_M_AADT_red
JAV_MN_JDTV_Uml	(None):AAV_aN_M_AADT_detour	0		AAV_aN_M_AADT_detour
JAV_MN_Laerm_Einsp_gesamt	(None)	0		AAV_aN_MN_Laerm_Einsp_gesamt
JAV_MN_Laerm_Einsp_Nacht	(None)	0		AAV_aN_MN_Laerm_Einsp_Nacht
JAV_MN_Laerm_Einsp_Tag	(None)	0		AAV_aN_MN_Laerm_Einsp_Tag
JAV_MN_Laerm_Nacht	(None)	0		AAV_aN_MN_Laerm_Nacht
JAV_MN_Laerm_Tag	(None)	0		AAV_aN_MN_Laerm_Tag

Analysis Variable	Name	Order	Filter	Expression
JAV_MN_Laerm_Total	(None)	0		AAV_aN_MN_Laerm_total
JAV_MN_letzteMassnahme	(None)	0		AAV_aN_MN_letztMN
JAV_MN_letztesIntervall	(None)	0		AAV_aN_MN_letztesIntervall
JAV_MN_tVerlust_dV_LkW	(None):P_MN_aN_RW_tVerlust_dV_Lkw	0		AAV_aN_M_tTloss_DV_trucks
JAV_MN_tVerlust_dV_PkW	(None):P_MN_aN_RW_tVerlust_dV_PKW	0		AAV_aN_M_tTloss_DV_pcars
JAV_MN_tVerlust_Stau_LkW	(None):AAV_aN_M_tTloss_cong_trucks	0		AAV_aN_M_tTloss_cong_trucks
JAV_MN_tVerlust_Stau_PkW	(None):AAV_aN_M_tTloss_cong_pcars	0		AAV_aN_M_tTloss_cong_pcars
JAV_MN_tVerlust_Uml_LkW	(None):AAV_aN_M_tTloss_detour_trucks	0		AAV_aN_M_tTloss_detour_trucks
JAV_MN_tVerlust_Uml_PkW	(None):AAV_aN_M_tTloss_detour_pcars	0		AAV_aN_M_tTloss_detour_pcars
JAV_MN_TVerlust_dV_LkW	(None):P_MN_aN_RW_TVerlust_dV_Lkw	0		AAV_aN_M_Tloss_DV_trucks
JAV_MN_TVerlust_dV_PkW	(None):P_MN_aN_RW_TVerlust_dV_Pkw	0		AAV_aN_M_Tloss_DV
JAV_MN_TVerlust_Stau	(None):AAV_aN_M_Tloss_cong	0		AAV_aN_M_Tloss_cong
JAV_MN_TVerlust_Uml	(None):AAV_aN_M_Tloss_detour	0		AAV_aN_M_Tloss_detour
JAV_MN_zus_Treibstoff-verbr_Lkw	(None)	0		AAV_an_MN_zus_TreibstoffVerb_LKW
JAV_MN_zus_Treibstoff-verbr_Pkw	(None)	0		AAV_an_MN_zus_TreibstoffVerb_PKW
JAV_MN_zusKST_Treibstoffver	(None)	0		AAV_aN_MN_KST_zus_Treibstoffverb
JAV_MN_zusKST_Zeit	(None):AAV_aN_M_addCST_time	0		AAV_aN_M_addCST_time
JAV_MN_zusSKST	(None):AAV_aN_M_addSCST	0		AAV_aN_M_addSCST
JAV_VK_JDTLV	(None):AAV_aN_S_HGV	0		AAV_aN_S_HGV
JAV_VK_JDTV	(None):AAV_aN_S_AADT	0		AAV_aN_S_AADT
JAV_ZU_ZG_Gri_do_nothing	(None)	1		AAV_an_TP_Gri_do_nothing_33_38
JAV_ZU_ZG_Gri_do_nothing	A_aF_Jahr_2022_2032:AAV_aN_TP_Gri_do_nothing_22_32	0	A_aF_Jahr_2022_2032	AAV_aN_TP_Gri_do_nothing_22_32
JAV_ZU_ZG_Gri_Effekt	A_aF_Jahr_2022_2032:AAV_aN_TP_Gri_Effekt_22_32	0	A_aF_Jahr_2022_2032	AAV_aN_TP_Gri_Effekt_22_32
JAV_ZU_ZG_Gri_Effekt	(None)	1		AAV_aN_TP_Gri_Effekt_33_38

Analysis Variable	Name	Order	Filter	Expression
JAV_ZU_ZG_IRI_do_nothing	A_aF_Jahr_2022_2032:AAV_aN_TP_IRI_do_nothing_22_32	0	A_aF_Jahr_2022_2032	AAV_aN_TP_IRI_do_nothing_22_32
JAV_ZU_ZG_IRI_do_nothing	(None)	1		AAV_aN_TP_IRI_do_nothing_33_38
JAV_ZU_ZG_IRI_Effekt	(None)	1		AAV_aN_TP_IRI_Effekt_33_38
JAV_ZU_ZG_IRI_Effekt	A_aF_Jahr_2022_2032:AAV_aN_TP_IRI_Effekt_22_32	0	A_aF_Jahr_2022_2032	AAV_aN_TP_IRI_Effekt_22_32
KAV_GWP_GesamtEnde	(None)	0		KAV_aN_GWP_GesamtEnde
KAV_KST_Strategie	(None):CAV_aN_CST_Total_strategy	0		CAV_aN_CST_Total_strategy
KAV_MN_EinpKST_total	(None):CAV_aN_M_savSCST_total	0		CAV_aN_M_savSCST_total
KAV_MN_SozEffekt	(None):CAV_aN_M_SocEff	0		CAV_aN_M_SocEff
KAV_MN_SozEinsp	(None):CAV_aN_M_SocSAV	0		CAV_aN_M_SocSAV
KAV_MN_SozKST	(None):CAV_aN_M_SocCST	0		CAV_aN_M_SocCST

9.2.2 Analysekurven

Name	Description	Type	Expression
A_aF_Jahr_2022_2032	Filter für Jahre 2022-2032	Bit	JAV_Jahr>2021.0 AND JAV_Jahr<2033.0
A_iv_0	Initial value 0	Float	0.0
A_iv_Actual_year	input value actual year	Float	2022.0
A_IV_aN_CO2_Emissionfaktor_Diesel	Eingangswert Emissionsfaktor Diesel (Trucks) in kg/Liter	Float	3.2
A_IV_aN_CO2_Emissionfaktor_Gas	Eingangswert Emissionsfaktor Gas (PCar) in kg/Liter	Float	2.8
A_IV_aN_Laerm_Einsp_gesamt	Eingangswert Einsparungen Lärmkosten gesamt	Float	A_IV_aN_Laerm_Einsp_Nacht+A_IV_aN_Laerm_Einsp_Tag
A_IV_aN_Laerm_Einsp_Nacht	Eingangswert Einsparungen Lärmkosten nachts	Float	IF(JAV_M_Massnahme_flag=1.0,1560.0*P_LCCA_ISABELA->Length,0.0)
A_IV_aN_Laerm_Einsp_Tag	Eingangswert Einsparungen Lärmkosten tagsüber	Float	IF(JAV_M_Massnahme_flag=1.0,1119.0*P_LCCA_ISABELA->Length,0.0)
A_IV_aN_Laerm_nacht	Eingangswert Lärmkosten nachts	Float	3482.0*P_LCCA_ISABELA->Length
A_IV_aN_Laerm_tag	Eingangswert Lärmkosten tagsüber	Float	5255.0*P_LCCA_ISABELA->Length
A_iv_deltaUFnass_tot	Eingangswert Differenz der Anzahl der Nassunfälle (mit Getöteten) vor und nach dem Erhaltungsprojekt [Unfall/Jahr]	Float	$\frac{(0.2249*EXP(-0.338*P_LCCA_ISABELA->MN_aZW_Gri))}{(0.2249*EXP(-0.338*P_LCCA_ISABELA->MN_bZW_Gri))* (P_LCCA_ISABELA->VK_Unf_tot)}$
A_iv_deltaUFnass_verletzt	Eingangswert Differenz der Anzahl der Nassunfälle (mit Verletzten) vor und nach dem Erhaltungsprojekt [Unfall/Jahr]	Float	$\frac{(0.2249*EXP(-0.338*P_LCCA_ISABELA->MN_aZW_Gri))}{(0.2249*EXP(-0.338*P_LCCA_ISABELA->MN_bZW_Gri))* (P_LCCA_ISABELA->VK_Unf_verletzt)}$
A_iv_M_Treatment_flag	Input value treatment flag	Float	IF(P_LCCA_ISABELA->MN_Jahr=2022.0,1.0,0.0)
AAV_aN_CST_Total	Total costs	Float	GST_COST_F

Name	Description	Type	Expression
AAV_aN_GWP_Einsp_jahr	Jährliche Einsparung GWP durch besseren Zustand in Tonnen	Float	$ \begin{aligned} & ((\text{IF}(\text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Vs_LKW} < 20.0, 0.03, \text{IF}(\text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Vs_LKW} < 60.0, 0.05, 0.04))) * \\ & \text{IF}(\text{JAV_MN_letzteMassnahme} = \text{"JAV_ZU_ZG_IRI_Ef-"}, \text{fekt}, \text{JAV_ZU_ZG_IRI_do_nothing})) \\ & + \text{IF}(\text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Vs_LKW} < 20.0, 0.97, \text{IF}(\text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Vs_LKW} < 60.0, 0.95, 0.96))) * \\ & \text{XTAB}(\text{P_KraftstoffverbGeschw}, \text{'Lkw'}, \text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Vs_LKW}, 30.0) * \\ & \text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{Length} * \text{JAV_VK_JDTLV} * 365.0 / 100.0 * \\ & \text{A_IV_aN_CO2_Emissionfaktor_Diesel}) - \\ & ((\text{IF}(\text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Vs_LKW} < 20.0, 0.03, \text{IF}(\text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Vs_LKW} < 60.0, 0.05, 0.04))) * \\ & \text{JAV_ZU_ZG_IRI_Effekt} \\ & + \text{IF}(\text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Vs_LKW} < 20.0, 0.97, \text{IF}(\text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Vs_LKW} < 60.0, 0.95, 0.96))) * \\ & \text{XTAB}(\text{P_KraftstoffverbGeschw}, \text{'Lkw'}, \text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Vs_LKW}, 30.0) * \\ & \text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{Length} * \text{JAV_VK_JDTLV} * 365.0 / 100.0 * \\ & \text{A_IV_aN_CO2_Emissionfaktor_Diesel}) + \\ & ((\text{IF}(\text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Vs_PKW} < 20.0, 0.02, \text{IF}(\text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Vs_PKW} < 60.0, 0.03, 0.03))) * \\ & \text{IF}(\text{JAV_MN_letzteMassnahme} = \text{"JAV_ZU_ZG_IRI_Ef-"}, \text{fekt}, \text{JAV_ZU_ZG_IRI_do_nothing})) \\ & + \text{IF}(\text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Vs_PKW} < 20.0, 0.98, \text{IF}(\text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Vs_PKW} < 60.0, 0.97, 0.97))) * \\ & \text{XTAB}(\text{P_KraftstoffverbGeschw}, \text{'Pkw'}, \text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Vs_PKW}, 11.0) * \\ & \text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{Length} * (\text{JAV_VK_JDTV} - \text{JAV_VK_JDTLV}) * 365.0 / 100.0 * \\ & \text{A_IV_aN_CO2_Emissionfaktor_Gas}) - \\ & ((\text{IF}(\text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Vs_PKW} < 20.0, 0.02, \text{IF}(\text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Vs_PKW} < 60.0, 0.03, 0.03))) * \\ & \text{JAV_ZU_ZG_IRI_Effekt} \\ & + \text{IF}(\text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Vs_PKW} < 20.0, 0.98, \text{IF}(\text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Vs_PKW} < 60.0, 0.97, 0.97))) * \\ & \text{XTAB}(\text{P_KraftstoffverbGeschw}, \text{'Pkw'}, \text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Vs_PKW}, 11.0) * \\ & \text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{Length} * (\text{JAV_VK_JDTV} - \text{JAV_VK_JDTLV}) * 365.0 / 100.0 * \\ & \text{A_IV_aN_CO2_Emissionfaktor_Gas}) \end{aligned} $

Name	Description	Type	Expression
AAV_aN_GWP_Einsparung_kum	GWP-Einsparungen aufgrund des besseren Straßenzustands in Tonnen	Float	JAV_MN_GWP_Einsp_kum+JAV_MN_GWP_Einsp_jahr
AAV_aN_GWP_kumuliert	GWP kumuliert	Float	JAV_MN_GWP_kumuliert+ JAV_MN_GWP+ JAV_MN_GWP_StauBaustelle_Gesamt
AAV_aN_GWP_Recyclingpotential- IEnde	Recyclingpotential am Ende der Maßnahmen- periode	Float	IF(JAV_M_Massnahme_flag=1.0, IF(P_LCCA_ISABELA->INV_Bauweise='A',VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('GWP_Mass- nahmen','GWP_Recyclingpotential','Name',P_LCCA_ISABELA->MN_Art,TRUE)), VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('GWP_Massnahmen','GWP_Recyclingpotenti- al','Name',P_LCCA_ISABELA->MN_Art,TRUE))))* P_LCCA_ISABELA->Length*1000.0*P_LCCA_ISABELA->INV_Breite,0.0)
AAV_aN_GWP_StauBaustelle_Gesamt	Zusätzliches GWP aufgrund von Staus wäh- rend des Erhaltungsprojektes in Tonnen	Float	JAV_MN_GWP_StauBaustelle_Lkw+JAV_MN_GWP_StauBaustelle_Pkw
AAV_aN_GWP_StauBaustelle_Lkw	Zusätzliches GWP durch Stau auf der Bau- stelle in Tonnen für PCars	Float	JAV_MN_zus_Treibstoffverbr_Lkw*A_IV_aN_CO2_Emissionfaktor_Diesel
AAV_aN_GWP_StauBaustelle_Pkw	Zusätzliches GWP durch Stau auf der Bau- stelle in Tonnen für PCars	Float	JAV_MN_zus_Treibstoffverbr_Pkw*A_IV_aN_CO2_Emissionfaktor_Gas
AAV_aN_M_AADT_detour	zusätzlicher jährlicher durchschnittlicher täg- licher Verkehr auf der Umleitung [Kfz/Tag]	Float	IF(JAV_M_Massnahme_flag=1.0 , JAV_VK_JDTV - JAV_MN_JDTV_red, 0.0)
AAV_aN_M_AADT_red	reduzierter jährlicher durchschnittlicher tägli- cher Verkehr [Kfz/Tag]	Float	IF(JAV_M_Massnahme_flag=1.0, JAV_VK_JDTV*(1.0-XTAB(P_Umleitung,P_LCCA_ISABELA- >S_Uml_Kat,1.0,0.0)/100.0),0.0)
AAV_aN_M_addCST_time	zusätzliche Reisezeitkosten infolge Erhal- tungsprojektes m[€]	Float	R_iv_CRtime_pcars*(JAV_MN_tTVerlust_dV_PkW+JAV_MN_tTVer- lust_Stau_PkW+JAV_MN_tTVerlust_Uml_PkW)+ R_iv_CRtime_trucks*(JAV_MN_tTVerlust_dV_LkW+JAV_MN_tTVer- lust_Stau_LkW+JAV_MN_tTVerlust_Uml_LkW)+ AAV_aN_MN_KST_zus_Treibstoffverb
AAV_aN_M_addSCST	zusätzliche Sicherheitskosten durch ein Erhal- tungsprojekt [€]	Float	IF(JAV_M_Massnahme_flag=1.0, N_iv_ACCSTR*(N_iv_addACCR_cstr/10.0**6.0)*P_LCCA_ISABELA- >Length*P_LCCA_ISABELA->MN_Dm*JAV_MN_JDTV_red-P_LCCA_ISABELA- >MN_KST_SicherheitsMN,0.0)

Name	Description	Type	Expression
AAV_aN_M_deltaUFnass_tot	Differenz der Anzahl der Nassunfälle (mit Getöteten) vor und nach dem Erhaltungsprojekt [Unfall/Jahr]	Float	$((2.3145 * \text{EXP}(-6.603 * \text{JAV_ZU_ZG_Gri_do_nothing})) - (2.3145 * \text{EXP}(-6.603 * \text{JAV_ZU_ZG_Gri_Effekt}))) * (\text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Unf_tot})$
AAV_aN_M_deltaUFnass_verletzt	Differenz der Anzahl der Nassunfälle (mit Verletzten) vor und nach dem Erhaltungsprojekt [Unfall/Jahr]	Float	$((2.3145 * \text{EXP}(-6.603 * \text{JAV_ZU_ZG_Gri_do_nothing})) - (2.3145 * \text{EXP}(-6.603 * \text{JAV_ZU_ZG_Gri_Effekt}))) * (\text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Unf_verletzt})$
AAV_aN_M_HGV_detour	zusätzlicher jährlicher durchschnittlicher täglicher Lastverkehr auf der Umleitung [Kfz/Tag]	Float	$\text{IF}(\text{JAV_M_Massnahme_flag}=1.0, \text{JAV_VK_JDTLV} - \text{JAV_MN_JDTLV_red}, 0.0)$
AAV_aN_M_HGV_red	reduzierter jährlicher durchschnittlicher täglicher Lastverkehr [Kfz/Tag]	Float	$\text{IF}(\text{JAV_M_Massnahme_flag}=1.0, \text{JAV_VK_JDTLV} * (1.0 - \text{XTAB}(\text{P_Umleitung}, \text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{S_Uml_Kat}, 1.0, 0.0)) / 100.0), 0.0)$
AAV_aN_M_Tloss_cong	Zeitverlust infolge Staus [h/Fzg]	Float	$\text{IF}(\text{JAV_M_Massnahme_flag}=1.0, (\text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Stau_L} / \text{N_iv_Vcong} - \text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Stau_L} / \text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Vs_PKW}) + (\text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{Length} / \text{N_iv_Vcong} - \text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{Length} / \text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Vs_PKW}), 0.0)$
AAV_aN_M_Tloss_detour	Zeitverlust auf der Umleitung [h/Kfz]	Float	$\text{IF}(\text{JAV_M_Massnahme_flag}=1.0, \text{IF}(\text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{S_Uml_Kat}='A', 0.0, \text{IF}(\text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{S_Uml_Kat}='B', 0.5, \text{IF}(\text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{S_Uml_Kat}='C', 0.25, 0.05))), 0.0)$
AAV_aN_M_Tloss_DV	Zeitverlust der Verkehrs infolge Geschwindigkeitsbeschränkung [h/Pkw]	Float	$\text{IF}(\text{JAV_M_Massnahme_flag}=1.0, \text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{Length} / \text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{MN_Vs} - \text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{Length} / \text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Vs_PKW}, 0.0)$
AAV_aN_M_Tloss_DV_trucks	Zeitverlust der Verkehrs infolge Geschwindigkeitsbeschränkung [h/Pkw]	Float	$\text{IF}(\text{JAV_M_Massnahme_flag}=1.0, \text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{Length} / \text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{MN_Vs} - \text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{Length} / \text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Vs_LKW}, 0.0)$
AAV_aN_M_treatmant_flag	Treatment flag	Float	$\text{IF}(\text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{MN_Jahr} = \text{JAV_Jahr}, 1.0, 0.0)$
AAV_aN_M_tTloss_cong_pcars	Gesamtzeitverlust infolge Staus für Personalkraftwagen [h]	Float	$\text{JAV_MN_TVerlust_Stau} * (\text{JAV_MN_JDTV_red} - \text{JAV_MN_JDTV_red}) * \text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_ppeak} / 100.0 * (\text{MAX}(0.0, \text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{MN_HStau_2} - \text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{VK_Stau})) * \text{P_LCCA_ISABELA} \rightarrow \text{MN_Dm}$

Name	Description	Type	Expression
AAV_aN_M_tTloss_cong_trucks	Gesamtzeitverlust infolge Staus für Lastkraftwägen [h]	Float	JAV_MN_TVerlust_Stau*(JAV_MN_JDTLV_red-JAV_MN_JDTLV_red)*P_LCCA_ISABELA->VK_ppeak/100.0*(MAX(0.0,P_LCCA_ISABELA->MN_HStau_2-P_LCCA_ISABELA->VK_Stau))*P_LCCA_ISABELA->MN_Dm
AAV_aN_M_tTloss_detour_pcars	gesamter Zeitverlust auf der Umleitung für Personenkraftzeuge [h]	Float	AAV_aN_M_Tloss_detour*(AAV_aN_M_AADT_detour-AAV_aN_M_HGV_detour)*P_LCCA_ISABELA->MN_Dm
AAV_aN_M_tTloss_detour_trucks	gesamter Zeitverlust auf der Umleitung für Lastkraftzeuge [h]	Float	AAV_aN_M_Tloss_detour*AAV_aN_M_HGV_detour*P_LCCA_ISABELA->MN_Dm
AAV_aN_M_tTloss_DV_pcars	gesamte Zeitverlust infolge Geschwindigkeitsreduktion des Personenverkehrs[h]	Float	JAV_MN_TVerlust_dV_Pkw*(JAV_MN_JDTV_red - JAV_MN_JDTLV_red)*P_LCCA_ISABELA->VK_poffpeak/100.0*(24.0-P_LCCA_ISABELA->MN_HStau_2)*P_LCCA_ISABELA->MN_Dm
AAV_aN_M_tTloss_DV_trucks	gesamte Zeitverlust infolge Geschwindigkeitsreduktion des Personenverkehrs[h]	Float	JAV_MN_TVerlust_dV_Lkw*JAV_MN_JDTLV_red*P_LCCA_ISABELA->VK_poffpeak/100.0*(24.0-P_LCCA_ISABELA->MN_HStau_2)*P_LCCA_ISABELA->MN_Dm
AAV_aN_MN_GWP	GWP der Maßnahme in Jahren ohne Maßnahmen	Float	IF(JAV_M_Massnahme_flag=1.0, (VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('GWP_Massnahmen','GWP_Gesamt','Name',P_LCCA_ISABELA->MN_Art,TRUE))*P_LCCA_ISABELA->Length*1000.0*P_LCCA_ISABELA->INV_Breite),0.0)
AAV_aN_MN_KST_Einsp_GWP_Laerm	Einsparungen von Umweltkosten (GWP+Laerm) infolge eines Erhaltungprojektes	Float	(JAV_MN_GWP_Einsp_kum + JAV_MN_GWP_RecyclingpotentialeEnde)*N_iv_GWP_KST_Rate/1000.0 + JAV_MN_Laerm_Einsp_gesamt
AAV_aN_MN_KST_zus_GWP	Zusätzliche Umweltkosten (GWP) infolge eines Erhaltungprojektes	Float	(JAV_MN_GWP+JAV_MN_GWP_StauBaustelle_Gesamt)*N_iv_GWP_KST_Rate/1000.0
AAV_aN_MN_KST_zus_Treibstoffverb	Zusätzliches Treibstoffverbrauchm Stau in Tonnen für LKW	Float	JAV_MN_zus_Treibstoffverbr_Lkw*XTAB(VK_Treibstoffpreis,'Diesel','Preis',1.88)+JAV_MN_zus_Treibstoffverbr_Pkw*XTAB(VK_Treibstoffpreis,'Benzin','Preis',2.01)
AAV_aN_MN_Laerm_Einsp_gesamt	Eingangswert Lärmkosten gesamt	Float	AAV_aN_MN_Laerm_Einsp_Nacht+AAV_aN_MN_Laerm_Einsp_Tag
AAV_aN_MN_Laerm_Einsp_Nacht	Eingangswert Lärmkosten nachts	Float	IF(JAV_Jahr>=P_LCCA_ISABELA->MN_Jahr, MAX(0.0,(1560.0- IF(P_LCCA_ISABELA->INV_Bauweise='A',156.0,78.0))*(JAV_Jahr-P_LCCA_ISABELA->MN_Jahr))*P_LCCA_ISABELA->Length),0.0)

Name	Description	Type	Expression
AAV_aN_MN_Laerm_Einsp_Tag	Eingangswert Lärmkosten nachts	Float	IF(JAV_Jahr>=P_LCCA_ISABELA->MN_Jahr, MAX(0.0,(1119.0- IF(P_LCCA_ISABELA->INV_Bauweise='A',111.9,55.95))*(JAV_Jahr- P_LCCA_ISABELA->MN_Jahr))*P_LCCA_ISABELA->Length),0.0)
AAV_aN_MN_Laerm_Nacht	Eingangswert Lärmkosten nachts	Float	JAV_MN_Laerm_Nacht + 5255.0*P_LCCA_ISABELA->Length
AAV_aN_MN_Laerm_Tag	Eingangswert Lärmkosten nachts	Float	JAV_MN_Laerm_Tag + 3482.0*P_LCCA_ISABELA->Length
AAV_aN_MN_Laerm_total	Lärmkosten gesamt	Float	JAV_MN_Laerm_Nacht +JAV_MN_Laerm_Tag
AAV_aN_MN_letztesIntervall	Massnahme im letzten Intervall	Float	IF(JAV_Jahr=P_LCCA_ISABELA->MN_Jahr,1.0,0.0)
AAV_aN_MN_letztMN	Letzte Maßnahme	nvar- char	IF(JAV_Jahr=P_LCCA_ISABELA->MN_Jahr, P_LCCA_ISABELA- >MN_Art,JAV_MN_letzteMassnahme)
AAV_aN_MN_savSCST_yearly_un- fallkosten	jährliche Einsparungen bei Sicherheitskosten- durch ein Erhaltungsprojekt [€]	Float	JAV_MN_EinspSKST_Unfall_jarlich+ JAV_MN_deltaUFnass_tot*(XTAB(VK_Unfallkosten,'Tot','Kosten',2836956.0))+ JAV_MN_deltaUFnass_verletzt*XTAB(VK_Unfallkosten,'Schwer verletzt','Kos- ten',335725.0)*0.17+ JAV_MN_deltaUFnass_verletzt*XTAB(VK_Unfallkosten,'Leicht verletzt','Kos- ten',24085.0)*0.83
AAV_an_MN_zus_Treibstoff- Verb_LKW	Zusätzliches Treibstoffverbrauchm Stau in Tonnen für LKW	Float	IF(JAV_M_Massnahme_flag=1.0, (XTAB(P_KraftstoffverbGeschw,'Lkw',30.0,37.0)-XTAB(P_KraftstoffverbGe- schw,'Lkw',80.0,30.0))*JAV_MN_JDTLV_red* P_LCCA_ISABELA->VK_ppeak/100.0*(P_LCCA_ISABELA->MN_HStau_2-P_LCCA_I- SABELA->VK_Stau)*P_LCCA_ISABELA->MN_Dm* (P_LCCA_ISABELA->Length+P_LCCA_ISABELA->VK_Stau_L)/100.0,0.0)
AAV_an_MN_zus_Treibstoff- Verb_PKW	Zusätzliches Treibstoffverbrauchm Stau in Tonnen für PKW	Float	IF(JAV_M_Massnahme_flag=1.0, (XTAB(P_KraftstoffverbGeschw,'Pkw',30.0,9.0)-XTAB(P_KraftstoffverbGe- schw,'Pkw',80.0,5.4))*(JAV_MN_JDTV_red-JAV_MN_JDTLV_red)* P_LCCA_ISABELA->VK_ppeak/100.0*(P_LCCA_ISABELA->MN_HStau_2-P_LCCA_I- SABELA->VK_Stau)*P_LCCA_ISABELA->MN_Dm* (P_LCCA_ISABELA->Length+P_LCCA_ISABELA->VK_Stau_L)/100.0,0.0)
AAV_aN_S_AADT	JDTV	Float	JAV_VK_JDTV*(1.0+P_LCCA_ISABELA->VK_P_JDTV/100.0)
AAV_aN_S_HGV	JDTLV	Float	JAV_VK_JDTLV*(1.0+P_LCCA_ISABELA->VK_P_JDTLV/100.0)

Name	Description	Type	Expression
AAV_aN_TP_Gri_do_nothing_22_32	ZG Griffigkeit do-nothing curve Jahre 2022-2032	Float	IF(JAV_Jahr=2022.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_do_nothing','J2022','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2023.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_do_nothing','J2023','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2024.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_do_nothing','J2024','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2025.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_do_nothing','J2025','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2026.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_do_nothing','J2026','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2027.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_do_nothing','J2027','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2028.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_do_nothing','J2028','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2029.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_do_nothing','J2029','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2030.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_do_nothing','J2030','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2031.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_do_nothing','J2031','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_do_nothing','J2032','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)))))))))

Name	Description	Type	Expression
AAV_an_TP_Gri_do_nothing_33_38	ZG Griffigkeit do-nothing curve Jahre 2033-2038	Float	IF(JAV_Jahr=2033.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_do_nothing','J2033','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2034.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_do_nothing','J2034','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2035.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_do_nothing','J2035','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2036.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_do_nothing','J2036','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2037.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_do_nothing','J2037','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_do_nothing','J2038','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE))))))

Name	Description	Type	Expression
AAV_aN_TP_Gri_Effekt_22_32	ZG Griffigkeit Effekt curve Jahre 2022-2032	Float	IF(JAV_Jahr=2022.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_Effekt','J2022','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2023.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_Effekt','J2023','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2024.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_Effekt','J2024','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2025.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_Effekt','J2025','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2026.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_Effekt','J2026','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2027.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_Effekt','J2027','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2028.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_Effekt','J2028','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2029.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_Effekt','J2029','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2030.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_Effekt','J2030','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2031.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_Effekt','J2031','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_Effekt','J2032','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE))))))))))

Name	Description	Type	Expression
AAV_aN_TP_Gri_Effekt_33_38	ZG Griffigkeit Effekt curve Jahre 2033-2038	Float	IF(JAV_Jahr=2033.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_Effekt','J2033','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2034.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_Effekt','J2034','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2035.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_Effekt','J2035','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2036.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_Effekt','J2036','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2037.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_Effekt','J2037','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_GRI_Effekt','J2038','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE))))))

Name	Description	Type	Expression
AAV_aN_TP_IRI_do_nothing_22_32	ZG IRI do-nothing curve Jahre 2022-2032	Float	IF(JAV_Jahr=2022.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_do_nothing','J2022','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2023.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_do_nothing','J2023','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2024.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_do_nothing','J2024','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2025.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_do_nothing','J2025','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2026.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_do_nothing','J2026','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2027.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_do_nothing','J2027','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2028.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_do_nothing','J2028','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2029.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_do_nothing','J2029','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2030.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_do_nothing','J2030','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2031.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_do_nothing','J2031','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_do_nothing','J2032','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)))))))))

Name	Description	Type	Expression
AAV_aN_TP_IRI_do_nothing_33_38	ZG_IRI do-nothing curve Jahre 2033-2038	Float	IF(JAV_Jahr=2033.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_do_nothing','J2033','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2034.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_do_nothing','J2034','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2035.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_do_nothing','J2035','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2036.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_do_nothing','J2036','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2037.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_do_nothing','J2037','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE)), VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_do_nothing','J2038','Name',P_LCCA_I-SABELA->ID_Abschnitt,TRUE))))))

Name	Description	Type	Expression
AAV_aN_TP_IRI_Effekt_22_32	ZG IRI Effekt curve Jahre 2022-2032	Float	<pre> IF(JAV_Jahr=2022.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_Effekt','J2022','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2023.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_Effekt','J2023','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2024.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_Effekt','J2024','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2025.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_Effekt','J2025','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2026.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_Effekt','J2026','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2027.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_Effekt','J2027','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2028.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_Effekt','J2028','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2029.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_Effekt','J2029','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2030.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_Effekt','J2030','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2031.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_Effekt','J2031','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_Effekt','J2032','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)))))))))) </pre>

Name	Description	Type	Expression
AAV_aN_TP_IRI_Effekt_33_38	ZG IRI Effekt curve Jahre 2033-2038	Float	IF(JAV_Jahr=2033.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_Effekt','J2033','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2034.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_Effekt','J2034','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2035.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_Effekt','J2035','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2036.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_Effekt','J2036','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), IF(JAV_Jahr=2037.0, VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_Effekt','J2037','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE)), VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('Lookup_ZG_IRI_Effekt','J2038','Name',P_LCCA_ISA-BELA->ID_Abschnitt,TRUE))))))
AAV_aN_UF_Effekt	Unfallwahrscheinlichkeit vor der MN	Float	0.2249*EXP(-0.338*JAV_ZU_ZG_Gri_do_nothing)
AAV_aN_UF_nass_do_nothing	Unfallwahrscheinlichkeit vor der MN	Float	0.2249*EXP(-0.338*JAV_ZU_ZG_Gri_do_nothing)
AAV_aN_Year	Year	Float	JAV_Jahr+1.0
CAV_aN_CST_Total_strategy	Total strategy costs	Float	GET4CAV_PV(JAV_KST_Total)
CAV_aN_M_savSCST_total	total savings in safety costs after maintenance project m on sections s [€]	Float	GET4CAV_PV(JAV_MN_EinspSKST_Unfall_jarlich)
CAV_aN_M_SocCST	social savings of maintenance project m on section s [€]	Float	KAV_KST_Strategie
CAV_aN_M_SocEff	monetary social effects of maintenance project m on section s [€]	Float	KAV_MN_SozEinsp-KAV_MN_SozKST
CAV_aN_M_SocSAV	social savings of maintenance project m on section s [€]	Float	KAV_MN_EinpKST_total

Name	Description	Type	Expression
JAV_aN_MN_Dauer	Maßnahmendauer in Tagen	Float	MAX(1.0,(P_LCCA_ISABELA->Length*3.0*2.0+ P_LCCA_ISABELA->Length*1000.0*P_LCCA_ISABELA->INV_Breite/XTAB(MN_Ta- gesleistung,JAV_MN_letzteMassnahme,JAV_VK_JDTV,4000.0)))*JAV_MN_letzte- sIntervall
KAV_aN_GWP_GesamtEnde	GWP-Gesamtmenge am Ende des Analyse- zeitraums in Tonnen	Float	GET4CAV_MAX(JAV_MN_GWP_kumuliert)+ IF(P_LCCA_ISABELA->INV_Bauweise='B', ((VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('GWP_Massnahmen','GWP_Recyclingpotenti- al','Name','E_BE_FB',TRUE))* P_LCCA_ISABELA->Length*1000.0*P_LCCA_ISABELA->INV_Breite)/1000.0), ((VAL(DAL_DCG_STLOOKUP('GWP_Massnahmen','GWP_Recyclingpotenti- al','Name','A_BE_FB',TRUE))* P_LCCA_ISABELA->Length*1000.0*P_LCCA_ISABELA->INV_Breite)/1000.0))
VK_Umleitung_V_Length		Float	VK_Umleitung_V->To - VK_Umleitung_V->From
ISABELA_Results_Length		Float	ISABELA_Results->To - ISABELA_Results->From
B_Road_Length		Float	B_Road->To - B_Road->From
P_LCCA_ISABELA_Length		Float	P_LCCA_ISABELA->To - P_LCCA_ISABELA->From
ISABELA_Length		Float	ISABELA->To - ISABELA->From
Verkehr_Length		Float	Verkehr->To - Verkehr->From
N_iv_ACCSTR	accident cost rate on network n in €/accident	Float	335725.0
N_iv_addACCR_cstr	additional accident rate on construction sites of network n	Float	0.05
N_iv_ALcong	average congestion length on network n in km	Float	1.5
N_iv_GWP_KST_Rate	Bepreisung von CO2 in EUR/t CO2	Float	35.0
N_iv_Vcong	average speed during congestion (e.g. 30km/h) in km/h	Float	25.0
N_LCCA_ID_Abschnitt	IDAbschnitt für Lookup Funktion	nvar- char	P_LCCA_ISABELA->Name

Name	Description	Type	Expression
N_P_LCCA_Dauer_Baustelle	Dauer der Baustelle [Tage]	Float	$ \begin{aligned} & \text{IF(P_LCCA_ISABELA->MN_Art='E_BE_FB' OR P_LCCA_ISABELA-} \\ & \text{->MN_Art='E_AS_FB',} \\ & \text{IF(P_LCCA_ISABELA->Length<0.1,8.0,} \\ & \text{IF(P_LCCA_ISABELA->Length<0.5,25.0,} \\ & \text{IF(P_LCCA_ISABELA->Length<1.0,50.0,} \\ & \text{IF(P_LCCA_ISABELA->Length<2.0,90.0,} \\ & \text{IF(P_LCCA_ISABELA->Length<5.0,200.0,400.0)))))}, \\ & \text{IF(P_LCCA_ISABELA->Length<0.1,6.0,} \\ & \text{IF(P_LCCA_ISABELA->Length<0.5,8.0,} \\ & \text{IF(P_LCCA_ISABELA->Length<1.0,10.0,} \\ & \text{IF(P_LCCA_ISABELA->Length<2.0,25.0,} \\ & \text{IF(P_LCCA_ISABELA->Length<5.0,60.0,90.0)))))}) * 2.0 \end{aligned} $
P_JAV_aN_Auswirkung_0	Null Auswirkung	Float	0.0
P_JAV_aN_VK_JDTLV	JDTLV-Wert	Float	JAV_VK_JDTLV*(1.0+P_LCCA_ISABELA->VK_P_JDTLV/100.0)
P_JAV_aN_VK_JDTV	JDTV-Wert Verkehr	Float	JAV_VK_JDTV*(1.0 + P_LCCA_ISABELA->VK_P_JDTV/100.0)
R_iv_CRtime_pcars	time cost rate passenger cars in €/veh.hour	Float	10.0
R_iv_CRtime_trucks	time cost rate commercial vehicles in €/truck.hour	Float	30.0
R_iv_DR	Discount rate	Float	2.5
TRT_aF_TRG_Maint_Project	Trigger Erhaltungsprojekt	Bit	JAV_M_Massnahme_flag=1.0
TRT_aN_CST_Maint_Project	Costs for maintenance project	Float	P_LCCA_ISABELA->MN_KST

10 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Gliederung der Straßenerhaltung.....	4
Abb. 2: Strategische Zielvorgaben gegliedert nach Ebenen	7
Abb. 3: Integration der sozialen Effekte in den Modellierungs- und Implementierungsprozess	10
Abb. 4: Arbeitsablauf bei dem Auswahlverfahren der Modelle und Indikatoren nach	13
Abb. 5: Mehrstufiger Entscheidungsprozess im Asset Management	15
Abb. 6: Beurteilungsstufen im Asset Management (allgemein) nach	16
Abb. 7: Korrelation zwischen dem Gebrauchswert (basierend auf COST 354) und der Unfallrate – allgemeine Darstellung	36
Abb. 8: Methodik zur Berechnung von CO ₂ -Emissionen.....	46
Abb. 9: Baustellendauer für unterschiedliche Maßnahmen bei Sperre einer Richtungsfahrbahn	61
Abb. 10: Klassisches Fundamentaldiagramm	63
Abb. 11: Stoßwellengeschwindigkeit zwischen benachbarten Verkehrszuständen im Fundamentaldiagramm	64
Abb. 12: Zeit-Weg-Diagramm an einem Engpass	66
Abb. 13: Normalverteilung der JDTV	68
Abb. 14: Typisierte Ganglinie für Werktage (A-Cluster) inkl. Beschreibung des Anwendungsgebietes.....	69
Abb. 15: Typisierte Ganglinie für Autobahnen innerhalb der Ballungsräume.....	70
Abb. 16: Typisierte Ganglinie für Autobahnen außerhalb der Ballungsräume.....	70
Abb. 17: Unfallhäufigkeit in Abhängigkeit vom Griffigkeitswert	78
Abb. 18: Wahrscheinlichkeit von unfallauffälligen Bereichen bei Nässe nach Griffigkeitsklassen bei nächstgelegenen Griffigkeitswert (5-Meter-Wert) um die Unfallstelle im landesstraßennetz L und B in Vorarlberg und Tirol im Zeitraum von 2007 bis 2009 ...	79
Abb. 19: Ergebnis des Kraftstoffverbrauchs für städtische Straßen in Barranquilla, Kolumbien. Teil A	83
Abb. 20: Ergebnis des Kraftstoffverbrauchs für städtische Straßen in Barranquilla, Kolumbien. Teil B	83
Abb. 21: Einfluss der Längsebenheit (IRI) auf den Kraftstoffverbrauch bei 88 km/h.....	84
Abb. 22: Treibstoffverbrauchs in Abhängigkeit von der Längsebenheit und Geschwindigkeitsstufen für Personenkraftwagen und Lastkraftwagen	84
Abb. 23: Kombiniertes Lebenszyklus baulich und akustisch – Asphaltbauweise mit lärmmindernder Deckschicht (SMA S3) nach	88
Abb. 24: Ausschnitt Analyse Lärmkartierung Österreichs 2017, s. Anhang B.....	89
Abb. 25: Empfehlungen zu Umwelthandlungszielen für die Lärmaktionsplanung	90
Abb. 26: Jährliche Lärmkosten pro km A&S auf der Asphaltfahrbahn (tagsüber)	95
Abb. 27: Jährliche Lärmkosten pro km A&S auf der Asphaltfahrbahn (nachts).....	95
Abb. 28: Jährliche Lärmkosten pro km A&S auf der Betonfahrbahn (tagsüber).....	96
Abb. 29: Jährliche Lärmkosten pro km A&S auf der Betonfahrbahn (nachts)	96
Abb. 30: Beispielhafte Darstellung der Analyseergebnisse aus dTIMS®.....	97
Abb. 31: Kostenverteilung des Bauprogramms 2023 bis 2028 (Straßenoberbau).....	99
Abb. 32: Zusatzkosten aufgrund der Beschränkung der Verfügbarkeit und Beeinträchtigung durch das Bauprogramm 2023 bis 2028.....	100
Abb. 33: Zusätzliche Sicherheitskosten während durch das Bauprogramm 2023 bis 2028.....	100
Abb. 34: Zusätzliche Umweltkosten durch das Bauprogramm 2023 bis 2028.....	101
Abb. 35: Einsparungen bei Sicherheitskosten durch das Bauprogramm 2023 bis 2028	102
Abb. 36: Einsparungen an Umweltkosten durch das Bauprogramm 2023 bis 2028	102
Abb. 37: Einsparungen und Zusatzkosten im Rahmen eines Erhaltungsprojektes (exkl. Maßnahmenkosten)	103
Abb. 38: Einsparungen und Zusatzkosten im Rahmen eines Erhaltungsprojektes (inkl. Maßnahmenkosten)	105
Abb. 39: Zusammenstellung der Einsparungen und Zusatzkosten im Rahmen eines Erhaltungsprojektes (inkl. Erhaltungsmaßnahmenkosten).....	111

11 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Zusammenfassung der Parameter und Indikatoren für die Modellierung	11
Tab. 2: Parameter des Erhaltungsabschnittes	18
Tab. 3: Eingangsparameter für Erhaltungsmaßnahmen	19
Tab. 4: Eingangsparameter der Eigenschaften des Straßennetzes	20
Tab. 5: Kostensätze	21
Tab. 6: Allgemeine zusätzliche Eingangsgrößen.....	21
Tab. 7: Parameter zur Modellierung der sozialen Auswirkungen und Darstellung die S-KPIs, die sich möglicherweise infolge der Erhaltungsmaßnahmen erheblich verändern können	23
Tab. 8: Umleitungskategorie (vereinfachter Ansatz im nicht städtischen Gebiet)	27
Tab. 9: Zeitverlust auf den Umleitungen	31
Tab. 10: Beispiel für Wirkungskategorien eines Erhaltungsprojekts nach	37
Tab. 11: Vorgeschlagene Werte der Einheitskosten des Schadens.....	39
Tab. 12: Beispiele für die Definition der Wirkungsdauer von Lärm für Fahrbahnbeläge.....	49
Tab. 13: Beispiele für die Definition der Wirkungsdauer von Lärm für Lärmschutzwände.....	50
Tab. 14: Bilanz für die Berechnung der gesamten sozialen Auswirkungen eines Erhaltungsprojekts	55
Tab. 15: Vergleich soziale Einsparungen und soziale Kosten	57
Tab. 16: Umleitungskategorie (Annahme für österreichische Verhältnisse).....	60
Tab. 17: Zulässige Höchstgeschwindigkeiten im Baustellenbereich.....	60
Tab. 18: Durchschnittliche Tagesleistung für Erhaltungsmaßnahmen nach.....	61
Tab. 19: Grenzwerte der Verkehrsbelastung JDTV.....	68
Tab. 20: Kapazitäten auf Richtungsfahrbahnen ohne Geschwindigkeitsbeschränkung	71
Tab. 21: Näherungswerte für die maximale Verkehrsdichte.....	72
Tab. 22: Autobahnabschnitte innerhalb von Ballungsräumen	72
Tab. 23: Zeitkostensätze im Verkehr nach RVS 02-01-22, Preisstand 2009.....	76
Tab. 24: Treibstoffverbrauch mit und ohne Stau	77
Tab. 25: Verunglücktenraten, UPS-Raten und Unfallkostenraten nach standardisierten Straßentypen (2009)	80
Tab. 26: Kostensätze für Unfallereignisse in EUR (Preisstand 2009)	80
Tab. 27: Zusätzliche Unfallraten zufolge Baustelleneinrichtung	81
Tab. 28: Kraftstoffverbrauch in Abhängigkeit von Fahrzeugtyp und Geschwindigkeitsbereich	85
Tab. 29: CO ₂ -Emissionsfaktoren in Abhängigkeit vom Fahrzeugtyp	85
Tab. 30: GWP-Bilanz (CO ₂ -Äquivalent) für Neubau / Errichtung.....	86
Tab. 31: GWP-Bilanz (CO ₂ -Äquivalent) für Instandsetzungsmaßnahmen.....	87
Tab. 32: Lärmmindernde Wirkung verschiedener Fahrbahnbeläge.....	89
Tab. 33: Anzahl der durch Straßenlärm betroffenen Personen vor dem Erhaltungsprojekt (tagsüber)	90
Tab. 34: Anzahl der durch Straßenlärm betroffenen Personen vor dem Erhaltungsprojekt (nachts).....	91
Tab. 35: Anzahl der durch Straßenlärm betroffenen Personen nach dem Erhaltungsprojekt (tagsüber)	91
Tab. 36: Anzahl der durch Straßenlärm betroffenen Personen nach dem Erhaltungsprojekt (nachts).....	91
Tab. 37: Anzahl der durch Straßenlärm betroffenen Personen vor dem Erhaltungsprojekt pro km A&S (tagsüber)	92
Tab. 38: Anzahl der durch Straßenlärm betroffenen Personen vor dem Erhaltungsprojekt pro km A&S (nachts).....	92
Tab. 39: Anzahl der durch Straßenlärm betroffenen Personen nach dem Erhaltungsprojekt pro km A&S (tagsüber).....	92

Tab. 40: Anzahl der durch Straßenlärm betroffenen Personen nach dem Erhaltungsprojekt pro km A&S (nachts)	92
Tab. 41: Störgrad in der Lärmzone vor dem Erhaltungsprojekt (tagsüber)	93
Tab. 42: Störgrad in der Lärmzone vor dem Erhaltungsprojekt (nachts)	93
Tab. 43: Störgrad in der Lärmzone nach dem Erhaltungsprojekt (tagsüber)	93
Tab. 44: Störgrad in der Lärmzone nach dem Erhaltungsprojekt (nachts)	93
Tab. 45: Jährliche Lärmkosten pro km A&S vor dem Erhaltungsprojekt (tagsüber)	94
Tab. 46: Jährliche Lärmkosten pro km A&S vor dem Erhaltungsprojekt (nachts)	94
Tab. 47: Jährliche Lärmkosten pro km A&S nach dem Erhaltungsprojekt (tagsüber)	94
Tab. 48: Jährliche Lärmkosten pro km A&S nach dem Erhaltungsprojekt (nachts)	95
Tab. 49: Erläuterung der Abkürzungen	98

12 Literaturverzeichnis

- [1] RVS 13.01.15 Beurteilungskriterien für Straßenzustandserfassung, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Oktober 2022
- [2] RVS 13.01.11 Zustandsbeschreibung und mögliche Schadensursachen von Asphalt- und Betonstraßen August 2009, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Oktober 2022
- [3] Weninger-Vycudil A., Simanek P., Rohringer T., Haberl J.: Handbuch Pavement Management in Österreich 2009. Auftrag im Rahmen der Straßenforschung des BMVIT und der ASFiNAG, Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 584, Wien, 2009 (unveröffentlicht)
- [4] A. Weninger-Vycudil: Entwicklung von Systemelementen für ein österreichisches Pavement Management System, Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität Wien, 2001
- [5] A. Weninger-Vycudil, Studentenblätter Vorlesung Straßenbau, FH Campus Wien, 2022
- [6] Weninger-Vycudil A., Simanek P., Brozek B. und Litzka J.: Handbuch Pavement Management in Österreich (Ausgabe 2016). PMS-Consult GmbH im Auftrag der ASFiNAG, Wien, 2016
- [7] RVS 13.01.41, Grundlagen für Zustands- und Maßnahmenbeurteilung, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Wien, 2015
- [8] Fromm A., Schinagl K., Eberl G., Neumann W., Liskounig R., Gabl T., Harbauer D., Gragger K. und Antony C.: ASFiNAG-Erhaltungsstrategie. ASFiNAG Service GmbH und ASFiNAG Alpenstraßen GmbH, Wien, 2012
- [9] Kokot D., Mladenović G., Litzka J.: Investigation Report, ISABELA Deliverable 1.1, CEDR, 2016
- [10] Mladenović G., Ćirilović J., de Lurdes Antunes M., Marcelino P.: Definition of S-KPIs to be used in road asset management, ISABELA Deliverable 2.1, CEDR 2016
- [11] Weninger-Vycudil A.: Terminology of Social Benefits Modelling, ISABELA Deliverable 3.1, CEDR, 2016
- [12] Weninger-Vycudil A., Tanasić N., Schiffmann F., Hajdin R.: Social Benefit Modelling Report, ISABELA Deliverable 3.2, CEDR, 2017
- [13] Lepert P.: Implementation-methodology of social economic benefits, ISABELA Deliverable 4.1, CEDR, 2017
- [14] Lepert P., Weninger Vycudil A.: Implementation in existing asset management tools and test applications, ISABELA Deliverable 4.2, CEDR, 2017
- [15] Weninger-Vycudil A., de Lurdes Antunes M., Lepert P.: Report on practical application of socio economic benefit in asset management, ISABELA Deliverable 5.1, CEDR, 2017
- [16] Litzka J., Leben B., La Torre F., Weninger-Vycudil A., de Lurdes Antunes M., Kokot D., Mladenovic G., Brittain S., Viner H.: The Way Forward for Pavement Performance Indicators Across Europe, COST Action 354 Performance Indicators for Road Pavements Final Report, FSV – Austrian Transportation Research Association, Wien, 2008
- [17] Jamnik J., Antunes M.L., Turpin K., Kokot D., Weninger-Vycudil A., Cesbron J.: Practical Guide for the use of E-KPIs in pavement management practice. EVITA Deliverable 4.2, 2012
- [18] Bond D., Harmer C., Harris B., Hewitt A., Woodward R., Gudmundsson H., Delepierre C.: SBAKPI Strategic Benchmarking and Key Performance Indicators. ERANET ROAD, Copenhagen, 2012
- [19] <https://roadsafetyfoundation.org/eurorap-uk/euroraps-protocols>
- [20] U.S. Dept. of Commerce, Urban Planning Division, Bureau of Public Roads, Traffic Assignment Manual, Washington D.C., 1964
- [21] B. T. Adey, T. Herrmann, K. Tsafatinos, J. Lüking, N. Schindele & R. Hajdin :Methodology and base cost models to determine the total benefits of preservation interventions on road sections in Switzerland, Structure and Infrastructure Engineering, 8:7, 639-654, DOI: 10.1080/15732479.2010.491119, 2012
- [22] Swiss Federal Roads Authority (ASTRA), NISTRA: Sustainability indicators for road infrastructure projects, Method report, Switzerland, 2003
- [23] D. Kokot, A. Mauko, J. Kovač: Good maintenance for lower emissions and energy consumption, Poster at the Rolling Resistance – an Exploratory Workshop, København, Denmark, 2012
- [24] <http://www.hdmglobal.com/>
- [25] <https://www.epa.gov/moves>
- [26] ÖNORM EN ISO 14044: Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen, Austrian Standards, konsolidierte Fassung 2021
- [27] RVS 05.05.43, Verkehrsführung bei Baustellen, Straßen mit zwei oder mehr Fahrstreifen, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Wien, 2022
- [28] Schneider M. (2021). ASFiNAG Handbuch Baustellenkoordination. ASFiNAG, Wien, 2021 (intern, unveröffentlicht)
- [29] Fellendorf M., Neuhold R., Cik M., Typisierung von Verkehrsbelastungsganglinien und die Anwendung in der Emissionsberechnung, Technische Universität Graz, 2012
- [30] Brozek B.: Entwicklung eines Nutzerkostenmoduls im österreichischen PMS, TU Wien, 2009

- [31] Beckmann A., Zackor H.: Untersuchung und Eichung von Verfahren zur aktuellen Abschätzung von Staudauer und Staulängen infolge von Tages- und Dauerbaustellen auf Autobahnen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 808, BMfV, Bonn, 2001
- [32] Beckmann A., Zackor H.: Untersuchung und Eichung von Verfahren zur aktuellen Abschätzung von Staudauer und Staulängen infolge von Tages- und Dauerbaustellen auf Autobahnen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 808, BMfV, Bonn, 2001
- [33] Schmuck, A.; Becker, H.: Untersuchungen über Einflüsse auf baustellenbedingte geschwindigkeitsabhängige Anteile an den Straßennutzungskosten; Schriftreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 421, Bonn, 1984
- [34] Greenshields B.D.: A study in highway capacity; Highway Research Board, Proc 14, 1935
- [35] Zackor et al., 1980; MAY et a., 1968
- [36] Zackor H.; Herkt S.: Verbesserung des Steuerungsmodells zur Wechselwegweisung auf Autobahnen im Rhein/Main-Gebiet; Berat. Ing. Steierwald/Schönhartig, i.A. Hersg. Landesamt für Straßenbau; Wiesbaden; 1980
- [37] Lingthill M.j.; Witham G.B.: On kinematic waves, II, A theory of traffic flow on long crowded roads; Proc. Roy. Soc. 229A, 1955
- [38] Zackor H.: Untersuchung von Steuerungsmodellen zur Verkehrsstromführung mit Hilfe von Wechselwegweisern, Teil III: Entwicklung von Steuerungsmodellen. Schriftreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 199, Bonn 1976
- [39] Neuhold R., Typisierung von Verkehrsbelastung Ganglinien im österreichischen Straßennetz, FSV-aktuell Strasse, April 2011
- [40] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen - FGSV (Hrsg.): Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS). Ausgabe 2001, Fassung 2005. Köln, 2005.
- [41] Geistefeldt J.: Verkehrsablauf und Verkehrssicherheit auf Autobahnen mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen. Schriftenreihe Lehrstuhl für Verkehrswesen, Ruhr-Universität Bochum, Heft 30. Bochum, 2007.
- [42] Fenzl R.: Beschreibung des Verkehrsablaufes auf Autobahnen mit Einzelfahrzeugdaten, Graz, 2010
- [43] RVS 02.01.22: Nutzen-Kosten-Untersuchung im Verkehrswesen, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Wien, 2010
- [44] Hulmak M., Pichler M., Snizek S.: Stau im Bundesstraßennetz – Risiko, Bewertung, Verminderung, BMVIT, Schriftenreihe Straßenforschung Heft 569, Wien, 2007
- [45] Huschek S. Griffigkeit und Verkehrssicherheit auf nasser Strasse, 1975, ETH Zürich
- [46] Schrenk, C.: Analyse des Unfallgeschehens bei Nässe auf Landesstraßen im Zusammenhang mit der Fahrbahngriffigkeit, BOKU, 2012
- [47] Effect of road quality on fuel consumption and the generation of externalities derived from transport. Case of study: Barranquilla, Colombia, MORA, Otto A. 1; FIGUEROA, Miguel A. 2; VELOSA, Claudia N. 3 & ALFONSO, Daniel F., 2020
- [48] Chatti, Karim; Zaabar, Imen: Estimating the effects of pavement condition on vehicle operating costs. Transportation Research Board (NCHRP report, 720), Washington D.C., 2012
- [49] Weninger-Vycudil A., Vill M., Pflieger M. Radl E.: SABINA, FH-Campus Wien, 2022
- [50] Zaabar I., Chiatti K., Lajnef N.: A mechanistic approach for estimating the roughness-induced rolling resistance and fuel consumption of articulated trucks, Michigan State University (MSU), USA, 2020
- [51] Weninger-Vycudil A., Leszczynska A. Adding environmental aspects into pavement management systems – next step for future oriented decision making, Deighton Engineering Office for Traffic and Infrastructure Ltd, Austria, 2023
- [52] Weninger-Vycudil A., Wistuba M., Gröninger J., Buchta M., Chankov G., Litzka J.: Kombinierte Bauweise Beton – Asphalt „KOMBAS“, BMK VIF 2019, 2022
- [53] ÖKOBAUDAT: Datenbank des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen. <https://www.oekobaudat.de>, BRD, 2022
- [54] www.baubook.at: Die Datenbank für ökologisches Bauen und Sanieren, Wien, 2022
- [55] <https://www.wko.at/oe/industrie/mineraloelindustrie/co2-bepreisung>
- [56] Wehr R., Fuchs A., Schlatter F., Bühlmann E., Mannel M., Beckenbauer T., Wistuba M., Gröninger J., Weninger-Vycudil A., „Akustische Dauerhaftigkeit larmmindernder dichter oder semi-dichter Asphaltdeckschichten ADURA“, DACH 2017,2020
- [57] Peschel U., Reichart U., „Lärmindernde Fahrbahnbeläge - ein Überblick über den Stand der Technik“, Bundesanstalt für Straßenwesen, Deutschland, 2014
- [58] <https://www.laerminfo.at/>
- [59] <https://www.umweltbundesamt.de/themen/laerm/umgebungsplaermrichtlinie/laermaktionsplanung>
- [60] ASFiNAG: Geschäftsbericht 2023, Österreich, 2023