Die approbierte Originalversion dieser Dissertation ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (http://www.ub.tuwien.ac.at).

The approved original version of this thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/).

DISSERTATION

Entwicklung von Systemelementen für ein österreichisches Pavement Management System

ausgeführt zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der technischen Wissenschaften

unter der Anleitung von
o.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr.nat.techn. Johann Litzka

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Dipl.-Ing. Alfred Weninger-Vycudil

Matr.Nr.: 9026159
Leonard-Bernstein-Straße 4-6/8/26
A-1220 Wien

Wien, am 12. Dezember 2001 Unterschrift:_____

Meiner Frau Martina

Vorwort

Erhaltungsmanagementsysteme sind vor allem im angloamerikanischen Raum seit mehreren Jahrzehnten nicht mehr wegzudenkende Hilfsmittel, die den Straßenerhalter in seinen Entscheidungen unterstützen und bekräftigen sollen. Auch die zunehmende Erhaltungstätigkeit auf dem österreichischen Straßennetz, das größtenteils in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts errichtet wurde, führt zur Notwendigkeit des Einsatzes von solchen objektiven Entscheidungskriterien. Geldmangel, nicht nachvollziehbare politische Entscheidungen sowie eine fehlende bundesweit einheitliche Vorgangsweise haben bereits auf vielen Straßen eine Erhaltungssituation entstehen lassen, die dringenden Handlungsbedarf von Seiten der Straßenverwaltungen aber auch von Seiten der politischen Entscheidungsträger erfordert. Um solchen Situationen zukünftig vorbeugen zu können, wurde in den letzten Jahren begonnnen, ein bundesweit einheitliches Erhaltungsmanagementsystem umzusetzen. D.h. es musste der schwierige Schritt unternommen werden, die jahrelangen praktischen Erfahrungen der Erhalter mit einem zukunftsorientierten Managementwerkzeug zu kombinieren.

Die Implementierung eines modernen Erhaltungsmanagementsystems bedeutet aber auch, dass die Straßenerhaltung ein zunehmend komplexer und arbeitsintensiver Aufgabenschwerpunkt der Straßenbautechnik wird. Dieser kann nur dann zufriedenstellend behandelt werden, wenn entsprechend gut ausgebildete Fachleute den Straßenerhaltern zur Verfügung stehen.

Die vorliegende Arbeit soll allen Straßenerhaltern eine Grundlage und Hilfestellung für die praktische Anwendung dieses Erhaltungsmanagementsystems bieten. Es wurde dabei besonders auf einen engen Bezug zur Praxis Wert gelegt, da ohne die praktischen Erfahrungen der Aufbau eines systematischen Straßenerhaltungssystems nicht denkbar wäre. In diesem Zusammenhang möchte ich mich bei allen Straßenerhaltern in Österreich für ihre Unterstützung bedanken. Ohne die intensive Zusammenarbeit und den Erfahrungsaustausch wäre die Entwicklung eines solchen Systems in dieser kurzen Zeit nicht möglich gewesen.

Besonderer Dank gilt Hr. Prof.Dipl.-Ing.Dr. Johann Litzka, der mein Interesse für die Straßenerhaltung geweckt hat, mir die Möglichkeit geboten hat, diese Arbeit zu verfassen und mir seine Erfahrungen in unzähligen Gesprächen und Diskussionen zur Verfügung gestellt hat. Für die mühevolle Arbeit im Zuge der Durchsicht und Korrektur dieser Dissertation möchte ich mich bei Hr. Univ.Doz.Dipl.-Ing.Dr. Walter Pichler und Hr. Dipl.-Ing.Dr. Christian Molzer herzlich bedanken.

Ein ganz besonders herzlicher Dank gilt meiner Frau Martina, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit laufend unterstützt hat und mir für diese zeitintensive Arbeit sehr viel Verständnis entgegen brachte.

Wien, im Dezember 2001 Alfred Weninger-Vycudil

Kurzfassung

Entwicklung von Systemelementen für ein österreichisches Pavement Management System

Die vorliegende Dissertation beinhaltet und beschreibt jene Grundlagen, die für den praktischen Einsatz eines ablauffähigen Straßenerhaltungsmanagementsystem auf dem österreichischen Bundesstraßennetz erforderlich sind. Das für Untersuchungen und Entscheidungen auf dem gesamten Straßennetz (Netzebene) verwendete System bedient sich dabei eines Optimierungsverfahrens, das aus dem erhobenen Straßenzustand unter Einbeziehung von Straßenzustandsprognosemodellen und Kostenansätzen die optimale Erhaltungsstrategie ermittelt.

Neben einer detaillierten Beschreibung der einzelnen Systemelemente – wie Datenerfassung und -speicherung, Straßenzustandsprognose und Datenanalyse – liegt der Schwerpunkt dieser Arbeit in der Herleitung von beschreibenden Kenngrößen des Oberbaus, der Verkehrsbelastung und des Straßenzustandes. Die Ausarbeitung eines Katalogs von Erhaltungsmaßnahmen ermöglicht darüber hinaus eine Beschreibung der monetären und nicht monetären Wirkungen von Erhaltungsstrategien auf den Straßenzustand.

Durch die Formulierung von Teilzielen der Straßenerhaltung (Fahrsicherheit, Fahrkomfort und Substanzerhalt) ist es auch möglich, aus den Einzelinformationen einen den Straßenzustand beschreibenden Gesamtwert zu ermitteln (Wertsynthese), der einerseits für die Definition des Nutzens von Erhaltungsmaßnahmen und andererseits für die Optimierung herangezogen werden kann. Die Berechnung der Ergebnisse erfolgt letztendlich durch ein kombiniertes Verfahren von Nutzen-Kosten-Untersuchung (Kostenwirksamkeitsanalyse) und heuristischer Optimierung. Hierzu werden die von einem kanadischen Softwareunternehmen entwickelten Computerprogramme VIABASE© (Datenbanksoftware) und VIAPMS© (Analysesoftware) verwendet, die derzeit auch von den Straßenverwaltungen eingesetzt werden.

Die Ergebnisse der Berechnungen können einerseits für politische Entscheidungen auf Netzebene aber auch für weiterführende Untersuchung der Straßenerhalter zur Erstellung von Bau- bzw. Arbeitsprogrammen herangezogen werden.

Abstract

Development of System-Elements for the Austrian Pavement Management System

This PhD-Thesis contains the foundations for the practical use of an executable pavement management system on the Austrian federal road network. This system, which is enlisted for decisions and evaluations on network level, uses an optimization tool for calculating the most efficient maintenance strategies, including performance prediction models and cost models.

Besides a detailed description of each single element, such as data-collection, data-storing, performance prediction of road condition, and data analysis, the main focus of this thesis aims at deriving indexes to describe pavement construction, traffic-load, and road condition. Beyond it, the development of a treatment catalogue enables a description of monetary and non-monetary impacts of a measure on pavement condition.

The formulation of different sub-targets for road maintenance (safety, comfort, and structural maintenance) allows to determine a total-condition-index, which is put together from single attributes. On the one hand this index can be used to define the benefit of maintenance treatments and on the other hand it can be used for optimization. Ultimately, the evaluation of the results is a combined method of cost-benefit-analysis and heuristic optimization. For that purpose a special database, named VIABASE©, and a computer-assisted management system, named VIAPMS©, of Canadian origin are used. These software tools are used by the road administration authorities too.

The results of calculation can be enlisted for political decisions on network level but also for further evaluations to create a construction program or working program respectively by the road administration authorities.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung und Aufgabenstellung 12

2 Grundlagen der systematischen Straßenerhaltung 14

2.1 Begriffe und Definitionen 14

2.1.1 Betriebliche Straßenerhaltung 15

2.1.2 Bauliche Straßenerhaltung 16

2.1.2.1 Instandhaltung 16

2.1.2.2 Instandsetzung 17

2.1.2.3 Erneuerung 17

2.1.2.4 Systematische Planung der baulichen Straßenerhaltung (Pavement Management) 17

2.2 Pavement Management 18

2.2.1 Informationen und Entscheidungsebenen 19

2.2.1.1 Ebene der politischen Entscheidungen (Politikebene) 19

2.2.1.2 Netzebene 20

2.2.1.3 Projektebene 21

2.2.2 Analyse und Planung von Erhaltungsmaßnahmen 21

2.2.2.1 Reihungsverfahren 22

2.2.2.2 Optimierungsverfahren 23

2.2.3 Ausführung von Maßnahmen und Rückkopplung 25

2.3 Modernes Pavement Management 26

2.3.1 Bausteine des Modernen Pavement Managements 26

2.3.2 Datenbank 27

2.3.3 Modelle 28

2.3.4 Randbedingungen für die Datenanalyse 29

2.3.5 Analysesystem für die Optimierung 29

2.3.5.1 Erstellung der Strategieliste 29

2.3.5.2 Berechnung beurteilender Kenngrößen 30

2.3.5.3 Optimierung 30

2.3.5.4 PMS-Ergebnisse 30

3 Das österreichische PMS 32

3.1 Allgemeines 32

3.2 Überblick über die Struktur des österreichischen PMS 35

3.2.1 Grundlegende Informationen 35

3.2.2 Straßendatenbank VIABASE_AUSTRIA 35

3.2.3 Prognose der Straßenzustandsentwicklung 37

3.2.4 Maßnahmenkatalog 38
3.2.5 Budgetvorgaben 38
3.2.6 Datenanalyse mit VIAPMS_AUSTRIA 38
3.2.7 Durchführung der Erhaltungsmaßnahme 39

4 Daten und Informationen in VIABASE_AUSTRIA 41

4.1 Allgemeines 41
4.2 Eigenschaften von Daten 42
4.2.1 Allgemeines 42
4.2.2 Punktinformationen 43
4.2.2.1 Allgemeiner Punkt 43
4.2.2.2 Exklusiver Punkt 43
4.2.2.3 Wiederholender Punkt 43
4.2.3 Abschnittsinformationen 44
4.2.3.1 Aufeinanderfolgende Abschnitte 44
4.2.3.2 Übergreifende Abschnitte 44
4.2.3.3 Historische Abschnitte 44
4.2.4 Verknüpfung von Daten 44
4.2.4.1 Dynamische Segmentierung 45
4.2.4.2 Datentransformation 45
4.3 Informationen über das Straßennetz 49
4.3.1 Allgemeines 49
4.3.2 Bezugssystem der Straße 51
4.3.2.1 Allgemeines 51
4.3.2.2 Straßenschlüssel 51
4.3.2.3 Bezugspunkte für die Referenzierung von Eigenschaften 51
4.3.2.4 Kilometrierungsrichtung und seitliche Abstände zur Straßenachse (Bezugslinie) 53
4.4 Informationen über den Straßenoberbau 55
4.4.1 Allgemeines 55
4.4.2 Oberbaudaten 55
4.5 Informationen über die Verkehrsbelastung 57
4.5.1 Allgemeines 57
4.5.2 Verkehrszählungen und Verkehrsdaten 57
4.5.2.1 Händische Verkehrszählungen 57
4.5.2.2 Automatische Verkehrszählungen 58
4.6 Informationen über den Straßenzustand 60
4.6.1 Allgemeines 60
4.6.2 Zustandserfassung 61

4.6.3 Zustandsdaten 65
4.6.4 Homogene Zustandsabschnitte 67
4.6.4.1 Definition homogener Abschnitt 67
4.6.4.2 Erfassungs- und Messabschnitte 67
4.6.4.3 Bildung repräsentativer homogener Zustandsabschnitte 68
4.7 Sonstige Daten 77
4.7.1 Informationen über Querschnitt, Höhe und Lage 77
4.7.2 Informationen über das Klima 78
4.7.3 Unfalldaten 78
4.8 Erhaltungsabschnitte 80
5 Bewertung von Daten und Ableitung von Kenngrößen 82
5.1 Allgemeines 82
5.2 Kenngrößen des Oberbaus 84
5.2.1 Bautypen der Oberbaukonstruktion 84
5.2.2 Tragfähigkeit von bituminösen Oberbaukonstruktionen 85
5.2.2.1 Allgemeines 85
5.2.2.2 Dicke der Asphaltbefestigung 86
5.2.2.3 Strukturelle Kennzahl nach AASHTO 87
5.2.2.4 Modifizierte strukturelle Kennzahl der Weltbank 89
5.2.2.5 Österreichische modifizierte strukturelle Kennzahl 89
5.2.2.6 Österreichische Tragfähigkeitszahl 92
5.2.3 Tragfähigkeit von Betondecken 101
5.2.3.1 Allgemeines 101
5.2.3.2 Dicke der Betondecke 101
5.3 Kenngrößen der Verkehrsbelastung 103
5.3.1 Verkehrsstärken und Fahrzeugkategorien 103
5.3.2 Normlastwechsel und kumulierte Normlastwechsel 104
5.3.2.1 Normlastwechsel 104
5.3.2.2 Bemessungsnormlastwechsel 104
5.3.2.3 Kumulierte Normlastwechsel 107
5.3.3 Verkehrsbelastungskoeffizient 111
5.4 Bewertung des Straßenzustandes 113
5.4.1 Allgemeines 113
5.4.2 Auswahl von Zustandsmerkmalen 117
5.4.3 Zustandsgrößen 117
5.4.3.1 Definition Zustandsgröße 117
5.4.3.2 Berechnung von Zustandsgrößen 118

5.4.3.3 Zustandsgröße Oberflächenschäden ... 119
5.4.3.4 Zustandsgröße Risse ... 122
5.4.3.5 Zustandsgröße Spurrinnen ... 125
5.4.3.6 Zustandsgröße Längsebenheit ... 125
5.4.3.7 Zustandsgröße Griffigkeit ... 125
5.4.4 Zustandswerte und Normierung ... 126
5.4.4.1 Definition Zustandswert ... 126
5.4.4.2 Normierungsfunktionen ... 127
5.4.5 Substanzwert - strukturelle Bewertung des Oberbaus ... 131
5.4.5.1 Allgemeines ... 131
5.4.5.2 Strukturelle Bewertung von bituminösen Oberbaukonstruktionen ... 132
5.4.5.3 Einfluss des Substanzwertes für bituminöse Befestigungen auf die Tragfähigkeitszahl ... 143
5.4.5.4 Strukturelle Bewertung von Betondecken und Betondecken mit bituminösen Überzügen ... 145
5.4.6 Gebrauchswert – Beurteilung von Fahrkomfort und Fahrsicherheit ... 152
5.4.6.1 Allgemeines ... 152
5.4.6.2 Gebrauchswert von bituminösen Oberbaukonstruktionen ... 152
5.4.6.3 Gebrauchswert von Betondecken und Betondecken mit bituminösem Überzug ... 153
5.4.7 Bildung eines Gesamtwertes ... 154
5.4.7.1 Allgemeines ... 154
5.4.7.2 Gesamtwert von bituminösen Oberbaukonstruktionen ... 156
5.4.7.3 Gesamtwert von Betondecken und Betondecken mit bituminösem Überzug ... 156

6 Maßnahmen der baulichen Straßenerhaltung ... 157

6.1 Erhaltungsmaßnahmen und Budget ... 157
6.1.1 Allgemeines ... 157
6.1.2 Instandhaltungsmaßnahmen ... 158
6.1.3 Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen ... 159
6.1.4 Budgetkategorie und Budgetvorgaben ... 161
6.2 Monetäre Bewertung von Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen ... 162
6.2.1 Ermittlung von Maßnahmenkosten ... 162
6.2.2 Abgrenzung von Maßnahmenkosten ... 163
6.2.3 Maßnahmen- und Kostenkatalog für VIAPMS_AUSTRIA ... 164
6.2.4 Vergleich von Maßnahmenkosten ... 166
6.3 Anwendungsgrenzen von Maßnahmen ... 168
6.3.1 Allgemeines ... 168
6.3.2 Anwendungsbereiche hinsichtlich Straßenzustand ... 168
6.3.3 Anwendungsbereiche hinsichtlich Oberbaukonstruktion ... 171

6.3.4 Anwendungsbereiche hinsichtlich Verkehrsbelastung 171
6.3.4.1 Dickenabschätzung von Erneuerungsmaßnahmen 172
6.3.4.2 Dickenabschätzung von Verstärkungsmaßnahmen bei bituminösen Befestigungen 173
6.4 Auswirkung von Erhaltungsmaßnahmen auf die Oberbaukonstruktion 175
6.4.1 Allgemeines 175
6.4.2 Auswirkungen von Erhaltungsmaßnahmen auf den Straßenzustand 175
6.4.2.1 Randbedingungen zur Festlegung von Rücksetzwerten 175
6.4.2.2 Rücksetzwerte für Oberflächenschäden 176
6.4.2.3 Rücksetzwerte für Risse 178
6.4.2.4 Rücksetzwerte für Spurrinnen 179
6.4.2.5 Rücksetzwerte für Längsebenheit 180
6.4.2.6 Rücksetzwerte für Griffigkeit 183
6.4.3 Auswirkungen von Erhaltungsmaßnahmen auf die Kenngrößen der Oberbaukonstruktion 187
7 Straßenzustandsprognosemodelle 189
7.1 Allgemeines 189
7.2 Stochastische Straßenzustandsprognosemodelle 191
7.3 Deterministische Straßenzustandsprognosemodelle 194
7.3.1 Definition Verhaltensfunktion 194
7.3.2 Herleitung von deterministischen Verhaltensfunktionen 195
7.3.3 Kalibrierung von Zustandsprognosemodellen 199
7.3.3.1 Allgemeines 199
7.3.3.2 Abschnittsbezogene Kalibrierung von deterministischen Verhaltensfunktionen 201
7.3.3.3 Abschnittsbezogene Kalibrierung von Straßenzustandsprognosemodellen im österreichischen Analysesystem 205
7.3.4 Praktische Anwendung von Verhaltensmodellen 210
7.3.4.1 Allgemeines 210
7.3.4.2 Verhaltensfunktionen Risse 211
7.3.4.3 Verhaltensfunktionen Oberflächenschäden 213
7.3.4.4 Verhaltensfunktionen Spurrinnen 215
7.3.4.5 Verhaltensfunktionen Griffigkeit 217
7.3.4.6 Verhaltensfunktion Längsebenheit 219
7.3.5 Extrapolation von Zustandsgrößen 223
7.3.6 Verhaltensfunktionen nach Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahmen 225
7.3.6.1 Allgemeines 225
7.3.6.2 Zeitbegriffe für Verhaltensfunktionen 225
7.3.6.3 Möglichkeiten der Zustandsentwicklung nach Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahmen 226

7.3.7 Aktualisierung von deterministischen Verhaltensfunktionen 238

8 Datenanalyse 240

8.1 Allgemeines 240

8.2 Wirtschaftlichkeit von Erhaltungsmaßnahmen 241

8.2.1 Allgemeines 241

8.2.2 Analysezeitraum 242

8.2.3 Nutzen 242

8.2.3.1 Allgemeines 242

8.2.3.2 Monetäre Bewertung des Nutzens 243

8.2.3.3 Nicht monetäre Bewertung des Nutzens 247

8.2.4 Kosten der Erhaltungsmaßnahme 249

8.2.5 Effektivität von Erhaltungsmaßnahmen 249

8.3 Optimierung 252

8.3.1 Formulierung des Entscheidungsmodells 252

8.3.2 Formulierung des Linearen Programmierungsmodells für ein PMS 253

8.3.3 Heuristische Optimierung 254

8.4 Ergebnisse der Datenanalyse 257

8.4.1 Unterscheidung der Ergebnisse 257

8.4.2 Netzbezogene Ergebnisse 258

8.4.3 Abschnittsbezogene Ergebnisse 260

8.5 Verknüpfung mit Aspekten des Bauwerksmanagements 261

9 Zusammenfassung 263

Literaturverzeichnis 270

Anhang: Glossar

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Die Straße ist durch die rasante Entwicklung des Automobils in den letzten hundert Jahren zum wichtigsten Element der Verkehrssysteme auf der ganzen Welt geworden. Sie hat unsere Gesellschaft und unseren Lebensraum in vielerlei Hinsicht, durchwegs nicht immer positiv, verändert und geprägt. In einem Industriestaat wie Österreich haben die Straßen einen so maßgebenden Stellenwert eingenommen, dass sie tagtäglich von Millionen von Menschen benutzt werden. Dabei wird von den Benutzern vorausgesetzt, dass das Bauwerk Straße in einem Zustand zur Verfügung steht, der eine sichere und bequeme Befahrbarkeit garantiert.

Wie jedes andere Bauwerk ist jedoch auch die Straße - in einem vergleichsweise hohen Ausmaß - verschiedenen Beanspruchungen ausgesetzt, die eine laufende oder periodische Verbesserung bzw. Wartung erfordern. Dieser Bereich des Straßenbaus wird dabei als Straßenerhaltung bezeichnet, der in seinem Grundsatz die Aufrechterhaltung der Verkehrstauglichkeit mit allen dafür notwendigen Mitteln und Entscheidungen sowohl auf der administrativen als auch auf der politischen Ebene beinhaltet.

Die Straßenerhaltung hat in den letzten Jahren einen hohen gesellschaftspolitischen Stellenwert in Österreich erhalten, was einerseits auf die ständig steigende Anzahl der Verkehrsteilnehmer und andererseits auf den zunehmenden politischen Druck zur laufenden Verbesserung bzw. Ausbau des Straßennetzes zurückzuführen ist. Schlechte Straßen werden von den Verkehrsteilnehmern im Allgemeinen als Ergebnis von Versäumnissen politischer Entscheidungsträger oder verantwortlicher Verwaltungen verstanden, die die kostbaren Steuer- und Mauteinnahmen nicht oder nur ungenügend in die Erhaltung der Straßen investieren.

Die Straßenerhaltung ist aus diesem Grund sehr stark von politischen Entscheidungen abhängig, die auf der Basis objektiver Grundlagen durchgeführt werden sollten. Zu diesem Zweck haben sich bereits vor mehr als zwanzig Jahren in den USA und seit kurzer Zeit auch in Österreich die Straßenverwaltungen entschieden, objektive Beur-

teilungskriterien für die Entscheidungsträger einzuführen. Die Aufgabe dieser Straßenerhaltungsmanagementsysteme, entsprechend der angloamerikanischen Terminologie auch als Pavement Management Systeme (kurz PMS) bezeichnet, besteht in einer objektiven Darstellung verschiedener möglicher Erhaltungsstrategien und deren Auswirkungen auf den Zustand des Straßennetzes, sodass die Entscheidungsträger das zur Verfügung stehende, zumeist sehr knapp bemessene Erhaltungsbudget, **objektiv**, **optimal** und **nachvollziehbar** ansetzen können. Pavement Management kann daher als Konzept definiert werden, das die Entscheidungsfindung für Erhaltungsmaßnahmen oder Erhaltungsstrategien systematisiert, um ein Optimum an Effizienz in bezug auf den Mitteleinsatz bzw. den Straßenzustand zu erreichen. Der Wunsch nach einer nachvollziehbaren und objektiven Planung von Straßenerhaltungsmaßnahmen ist dabei ein vorrangiges Ziel dieses Systems.

In Österreich wurde im Jahr 1998 durch die ASFINAG (Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft) und das damalige Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten (heute Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, BMVIT) der erste praktische Schritt in eine zukunftsorientierte Erhaltungsplanung unter der Nutzung eines modernen Pavement Management Systems gesetzt. Pavement Management ist dabei jener Bereich der Straßenerhaltung, der sich umfassend mit der Erhaltung der Oberbaukonstruktion auseinandersetzt. Neben dem Oberbau sind natürlich auch die Bauwerke (Brücken, Tunnel, Stützkonstruktionen, etc.) als Teil der Straßenkonstruktion im Hinblick auf die Erhaltung von besonderer Bedeutung. Die Kombination der einzelnen Bereiche führt letztendlich zu einem umfassenden Erhaltungsmanagementsystem (EMS).

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Ausarbeitung und Erstellung von Systemelementen für ein ablauffähiges Pavement Management System als Grundlage für eine systematische Straßenerhaltung auf dem österreichischen Bundesstraßennetz. Dabei werden neben den bereits gewonnenen Erfahrungen aus der Implementierungs- und Ersterprobungsphase auch zusätzlich neue wissenschaftliche Erkenntnisse eingefügt, die dieses System zu einem modernen und leistungsfähigen Instrumentarium formen sollen, das von den Straßenverwaltungen als zusätzliche Unterstützung oder Hilfe im Rahmen der Erhaltungsplanung eingesetzt werden kann.

Die vorliegende Arbeit ist so strukturiert, dass die einzelnen Systemelemente des PMS als getrennte Bereiche vorgestellt bzw. beschrieben werden. Infolge der kontinuierlichen Entwicklung von einzelnen Elementen des PMS erlaubt diese Art der Darstellung auch eine einfache und unkomplizierte Adaptierung von einzelnen Elementen aufgrund neuerer Untersuchungs- und Forschungsergebnisse. Auch das für die Anwendung des PMS ausgewählte Softwaresystem VIAPMS© verfügt über eine modulare Struktur, die Verbesserungen und Erweiterungen einfach ermöglicht. Auf einige dieser möglichen Erweiterungen wird ebenfalls in dieser Arbeit hingewiesen.

2 Grundlagen der systematischen Straßenerhaltung

2.1 Begriffe und Definitionen

Wie bei jedem anderen Bauwerk, das einer permanenten Beanspruchung durch eine Vielzahl von Einflussgrößen ausgesetzt ist, verändert sich auch der Zustand einer Straße im Laufe ihrer „Liegezeit". Um eine rasche Degeneration des Bauwerks Straße zu vermeiden bzw. die angestrebte Lebensdauer zu erzielen, ist es erforderlich, die Straße einer laufenden oder periodischen Wartung oder Erhaltung zu unterziehen. Mit dem Begriff „Straßenerhaltung" wird daher jener Bereich des Straßenbaus bezeichnet, der sich ausschließlich mit der Wartung und Sanierung des Verkehrsweges Straße beschäftigt. Die Straßenerhaltung dient jedoch nicht nur zur Aufrechterhaltung der Befahrbarkeit, sondern auch in einem Höchstmaß zur Sicherstellung einer ausreichenden Fahrsicherheit und eines entsprechenden Fahrkomforts. SCHMUCK [1] definiert die Straßenerhaltung mit folgenden Worten:

> *Die Straßenerhaltung umfasst alle Maßnahmen, die der Substanzerhaltung, der Erhaltung der Fahrsicherheit und des Fahrkomforts (Gebrauchswertes) und ggf. auch der Verbesserung von Umweltbedingungen dienen.*

Diese in Deutschland formulierte Definition der Straßenerhaltung ist natürlich im gleichen Sinn auf die österreichischen Verhältnisse übertragbar. Die Straßenerhaltung kann aufgrund der Vielfältigkeit ihrer Aufgabengebiete in folgende zwei Teilbereiche unterschieden werden (siehe Abbildung 1):

- Betriebliche Straßenerhaltung und
- Bauliche Straßenerhaltung

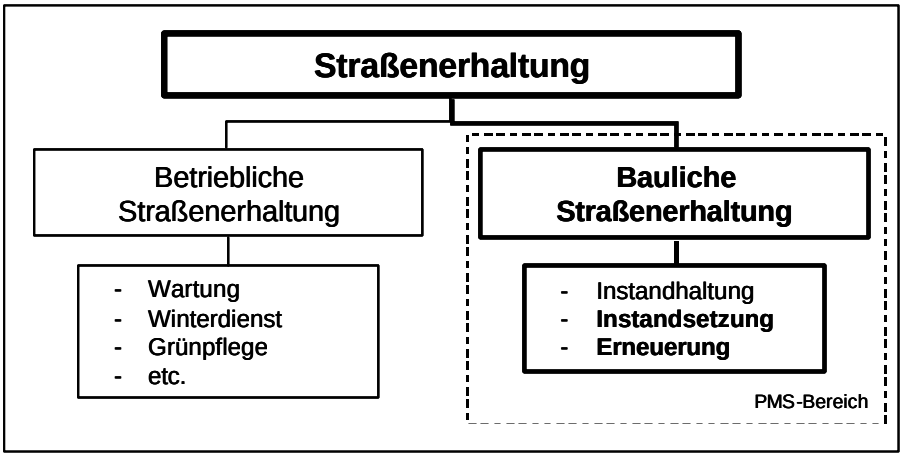


Abbildung 1: Gliederung der Straßenerhaltung nach [2]

Die bauliche Straßenerhaltung dient nach [3] zur Sicherung des Bestandes und der Aufrechterhaltung von Verkehrssicherheit und Fahrkomfort durch bauliche Maßnahmen aller Art unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit. Sie unterscheidet sich demnach wesentlich von der betrieblichen Straßenerhaltung, die in erster Linie ohne bauliche Maßnahmen der Aufrechterhaltung von Verkehrssicherheit durch entsprechende Routinetätigkeiten, wie Wartung der Leiteinrichtungen, Winterdienst, etc. dient. Eine genaue Definition der Aufgabenbereiche der Straßenerhaltung kann den nachfolgenden Kapiteln 2.1.1 und 2.1.2 entnommen werden.

Die Implementierung eines systematischen Management- und Entscheidungsprozesses in den Bereich der Straßenerhaltung führt zur sogenannten „systematischen Straßenerhaltung", die im angloamerikanischen Raum auch als „Pavement Management" bezeichnet wird. Dabei bedient man sich sogenannter „Pavement Management Systeme – PMS". Diese Pavement Management Systeme befassen sich in Österreich – wie in fast allen Ländern – ausschließlich mit der baulichen und nicht mit der betrieblichen Straßenerhaltung (PMS-Bereich). Aufgrund der Vielzahl im Bereich der Straßenerhaltung anzutreffenden Begriffe und Definitionen wurde im Anhang ein Glossar beigefügt, das einen raschen Überblick über die in dieser Arbeit verwendeten Definitionen ermöglicht.

2.1.1 Betriebliche Straßenerhaltung

Die betriebliche Straßenerhaltung befasst sich mit der laufenden Kontrolle und Wartung des Bauwerks Straße ohne bauliche Maßnahmen. In den Bereich der betrieblichen Straßenerhaltung können der Winterdienst, die Grünpflege, das Auswechseln oder Warten von Straßenleiteinrichtungen, etc. eingeordnet werden. Die betriebliche Straßenerhaltung wird in Österreich in erster Linie durch die vor Ort tätigen Straßen- oder Autobahnmeistereien wahrgenommen.

Da sich diese Arbeit in erster Linie mit Pavement Management Systemen und deren Systemelementen beschäftigt, die in Österreich ausschließlich im Bereich der baulichen Straßenerhaltung eingesetzt werden, wird hier in der Folge nicht näher auf die betriebliche Straßenerhaltung eingegangen.

2.1.2 Bauliche Straßenerhaltung

Die bauliche Erhaltung eines Straßennetzes befasst sich in erster Linie mit der Wartung und Pflege der Bausubstanz Straße und zeichnet verantwortlich für die Verkehrsicherheit und den Fahrkomfort (Gebrauchseigenschaft) sowie die strukturelle Beschaffenheit (Substanzeigenschaft) des Bauwerks Straße. Die bauliche Erhaltung koordiniert darüber hinaus die Planung, Durchführung bzw. Abnahme von baulichen Maßnahmen, die zur Verbesserung der Gebrauchs- und Substanzeigenschaften vorgenommen werden. Dabei können in Abhängigkeit vom Umfang der Erhaltungsmaßnahmen folgende Gruppen (Erhaltungsmaßnahmengruppen) unterschieden werden:

- Instandhaltung
- Instandsetzung
- Erneuerung

Eine eindeutige Abgrenzung der einzelnen Bereiche bzw. Gruppen ist nur bedingt möglich, da die entsprechenden Definitionen in der österreichischen Richtlinie RVS 13.541 [3] sehr allgemein gehalten wurden. Aus diesem Grund werden zur besseren Beschreibung bzw. Definition der einzelnen Begriffe weitere Unterscheidungsmerkmale angeführt.

Zwischen den deutschsprachigen Ländern Deutschland, Schweiz und Österreich gibt es bei der Bezeichnung der einzelnen Gruppen zum Teil deutliche Differenzen, sodass die nachfolgend beschriebenen Begriffe ausschließlich in Österreich ihre Gültigkeit besitzen. Z.B. wird der Begriff „Instandhaltung“ in Deutschland als „Unterhaltung“ und in der Schweiz als „Unterhalt“ bezeichnet.

Auch die in Österreich verwendete Gliederung der baulichen Straßenerhaltung unterscheidet sich mit Ausnahme von Deutschland deutlich von anderen europäischen und angloamerikanischen Strukturen. In vielen Fällen liegt bei diesen Systemen ein wesentlich höherer Detaillierungsgrad unterschiedlicher Erhaltungsmaßnahmengruppen vor (vgl. HDM 4 [29]).

2.1.2.1 Instandhaltung

Nach RVS 13.541 [3] sind unter Instandhaltung 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.

Instandhaltungsmaßnahmen sind i.A. nicht im Voraus geplante und budgetierte Maßnahmen, sondern aus Gründen einer dringenden Erfordernis bzw. Notwendigkeit durchgeführte Reparaturen. Für Instandhaltungsmaßnahmen wird daher kein kurz-,

mittel- oder langfristiges Maßnahmenbudget berechnet, sondern ein Gesamtbetrag in Abhängigkeit von Art und Länge des instandzuhaltenden Straßennetzes zur Verfügung gestellt. Instandhaltungsmaßnahmen werden in der Regel durch die Straßenverwaltung vor Ort (Straßen- oder Autobahnmeisterei) durchgeführt.

2.1.2.2 Instandsetzung

Unter Instandsetzungsmaßnahmen sind nach [2] 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. zugeordnet werden.

Instandsetzungsmaßnahmen sind über einen längeren Zeitraum geplante Sanierungsmaßnahmen, für die eine separate Budgetierung durchgeführt wird. Im Gegensatz zu den Instandhaltungsmaßnahmen werden Instandsetzungen größeren Umfangs durch beauftragte Firmen ausgeführt. Instandsetzungsmaßnahmen erfordern i.A. besondere verkehrsbedingte Absicherungen, da sich die Umsetzung bereits über mehrere Tage (evtl. auch Wochen) erstrecken kann.

2.1.2.3 Erneuerung

Unter Erneuerung versteht man nach RVS 13.541 [3] 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.

Erneuerungsmaßnahmen können auch als Sonderform von Instandsetzungsmaßnahmen angesehen werden. Auch Erneuerungen werden über einen längeren Zeitraum geplant und finanziert und werden ausschließlich von beauftragten Firmen ausgeführt. Der Zeitraum zur Umsetzung von Erneuerungsmaßnahmen umfasst in der Regel eine Dauer von bereits mehreren Wochen (in Abhängigkeit von Bauloslänge bzw. Bauweise).

2.1.2.4 Systematische Planung der baulichen Straßenerhaltung (Pavement Management)

Straßenerhaltungssysteme (Pavement Management Systeme, Definition siehe Kapitel 2.2) sind in Österreich derzeit ausschließlich auf die Teilbereiche Instandsetzung und Erneuerung im Rahmen der baulichen Straßenerhaltung beschränkt. Sie können jedoch auch für den Teilbereich Instandhaltung herangezogen werden. Der Grund für eine Beschränkung auf den Teilbereich Instandsetzung/Erneuerung liegt in der Zuteilung des Erhaltungsbudgets. Für Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen wird von den Straßenerhaltern eine eigenes Budget beantragt, während die Instandhaltung über die betriebliche Erhaltung finanziert wird. Instandhaltungs-

maßnahmen sind im Voraus schwer zu quantifizieren und dadurch auch kaum finanziell zu beplanen. Aus diesem Grund befasst sich die gegenständliche Arbeit ausschließlich mit dem Einsatz von Elementen eines Pavement Management Systems im Bereich von Instandsetzungen und Erneuerungen. Vorausgesetzt wird jedoch, dass die Straßenabschnitte einer permanenten baulichen Instandhaltung unterzogen werden.

2.2 Pavement Management

Objektive Entscheidungsgrundlagen für verschiedene Entscheidungsebenen (politische Ebene, administrative Ebene, etc.) sind ein notwendiges Instrumentarium für die Verteilung und den Einsatz von Geldmitteln. Als objektive Entscheidungsgrundlage für den Bereich der Straßenerhaltung können Pavement Management Systeme (Straßenerhaltungssysteme) herangezogen werden. Diese Systeme stellen den Entscheidungsträgern jene Informationen zur Verfügung, die einen Vergleich zwischen dem IST- und den SOLL-Zustand ermöglichen. Der zuvor definierte SOLL-Zustand wird durch die Anwendung verschiedener Erhaltungsstrategien jedoch nur dann optimal erzielt, wenn der erforderliche Aufwand minimiert werden kann. Pavement Management kann in diesem Zusammenhang als systematischer Prozess zur kurz-, mittel- oder langfristigen Planung von Erhaltungsmaßnahmen auf der Grundlage objektiver Informationen über das Straßennetz verstanden werden.

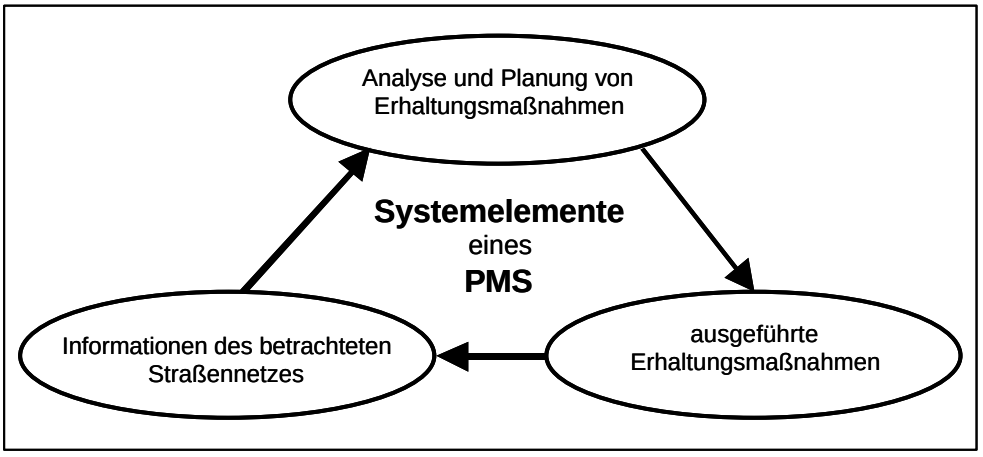


Abbildung 2: Systemelemente des Managementprozesses der systematischen Straßenerhaltung

Unabhängig davon, welches Verfahren bzw. welche Methode zur Findung von Erhaltungsmaßnahmen eingesetzt wird, beinhalten alle Pavement Management Systeme folgende Elemente (siehe Abbildung 2):

- Informationen über das betrachtete (untersuchte) Straßennetz
- Analyse und Planung von Erhaltungsmaßnahmen
- Ausführung von Maßnahmen und Rückkopplung in den Entscheidungsprozess

2.2.1 Informationen und Entscheidungsebenen

Die Möglichkeiten bzw. der Einsatzbereich von objektiven Entscheidungsgrundlagen basiert in erster Linie auf den zur Verfügung stehenden Informationen, die als Begründung für die Entscheidungen herangezogen werden. Eine wichtige Voraussetzung um überhaupt Entscheidungen treffen zu können, ist neben der Verfügbarkeit von Informationen die Definition jener Parameter, die einen merkbaren Einfluss auf die Ergebnisse und somit auf die Entscheidungen ausüben. Dabei sind unter Berücksichtigung der Entscheidungsebene – das sind die in Abhängigkeit von der Verwaltungsstruktur hierarchisch organisierten Bereiche – die erforderlichen Informationen individuell an den Entscheidungsträger anzupassen. Informationen, die zum Beispiel auf Entscheidungen der politischen Ebene ausgerichtet sind, sind womöglich unzulänglich für Entscheidungen für oder gegen eine bestimmte Erhaltungsmaßnahme. Die Entscheidungsebene ist daher auch der Indikator für den Umfang der zu beurteilenden Einflussgrößen. Je nach Detaillierungsgrad der Informationen können drei Entscheidungsebenen unterschieden werden, die in der nachfolgenden Abbildung 3 dargestellt sind:

- Ebene der politischen Entscheidungen (Politikebene)
- Ebene der netzbezogenen Entscheidungen (Netzebene)
- Ebene der projektbezogenen Entscheidungen (Projektebene)

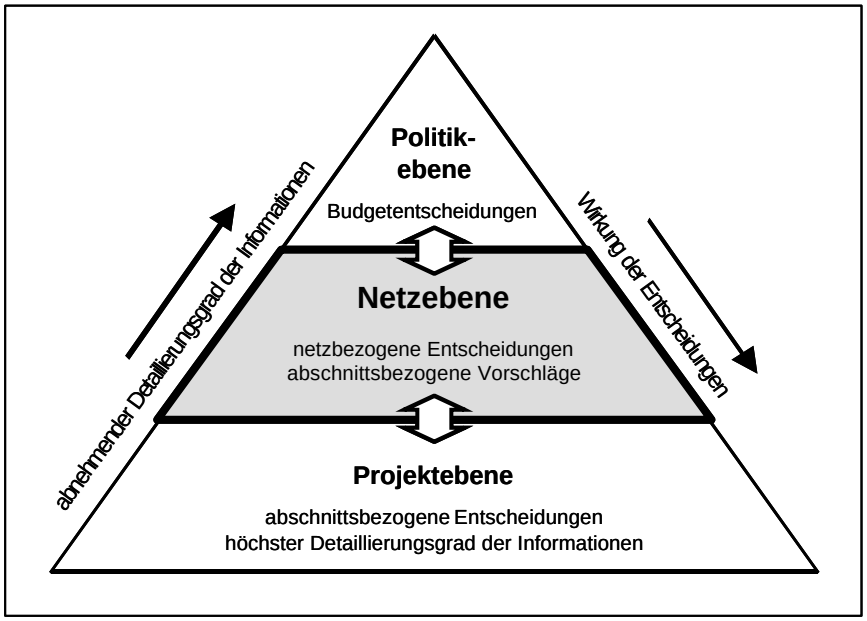


Abbildung 3: Entscheidungspyramide im Rahmen der Straßenerhaltung

2.2.1.1 Ebene der politischen Entscheidungen (Politikebene)

Für die Zuteilung bzw. Verfügbarmachung des erforderlichen Erhaltungsbudgets zeichnet in Österreich in erster Linie die politische Ebene bzw. oberste Verwaltungsebene verantwortlich. Sie ist jene Ebene, die mit den Informationen der darunter liegenden Ebenen (vorwiegend Netzebene) bzw. durch exogene Einflüsse (z.B.

übergeordnete öffentliche Interessen) eine Zuteilung der für eine bestimmte Periode erforderlichen Geldmitteln durchführt. Die Entscheidungen werden aus der Sicht eines netzweiten Überblicks über die Auswirkungen von unterschiedlichen Budgetansätzen getroffen. Der Detaillierungsgrad der Informationen kann daher so weit reduziert werden, dass ausschließlich die für eine Entscheidung maßgebenden übergeordneten Größen verwendet werden, die wie folgt zusammengefasst werden:

- netzbezogener mittlerer Straßenzustand
- netzbezogene Verkehrsbelastung
- netzbezogene Budgetaufwendungen und deren Auswirkungen

Die Grundlagen für die Entscheidungsparameter der politischen Ebene sind auf die Ergebnisse der Berechnungen der nächst tieferen Entscheidungsebene zu beziehen, da erst in dieser Ebene eine Kombination von technischen, ökonomischen, ökologischen, organisatorischen, etc. Gesichtspunkten erfolgen kann. Eine PMS-Berechnung in der politischen Ebene ist aufgrund des geringen Detaillierungsgrades der Informationen nur bedingt aussagekräftig. Die politische Ebene bzw. oberste Verwaltungsebene ist daher in erster Linie die „Zielebene“ der PMS-Ergebnisse aus den Berechnungen bzw. Auswertungen der darunter liegenden Entscheidungsebenen.

2.2.1.2 Netzebene

Werden im Zuge der systematischen Straßenerhaltung mehrere Straßenzüge bzw. ein ganzes Straßennetz untersucht, spricht man in der Regel von der Netzebene. Die Netzebene als mittlere Ebene der Entscheidungspyramide ist jene Ebene, wo Pavement Management Systeme primär eingesetzt werden können. Der Detaillierungsgrad der Informationen sollte bereits so groß gewählt sein, dass abschnittsbezogene Vorschläge von Erhaltungsmaßnahmen die Grundlage für netzbezogene Darstellungen bilden. Die Anforderungen an die Erfassung dieser Informationen orientiert sich dabei an den Zielvorstellungen der Ergebnisse, die in einem ersten Schritt definiert werden sollten. Dies bedeutet, dass eine detaillierte Aussage über mögliche Erhaltungsmaßnahmen auch detaillierte Informationen erfordert. Dabei können bei Erstellung bzw. der Einführung eines PMS zwei alternative Methoden unterschieden werden:

- Methode 1: Das Pavement Management System wird unabhängig von den zur Verfügung stehenden Informationen definiert oder es wird auf fertiges System (fertiges Programmpaket) zurückgegriffen (z.B. HDM III oder HDM 4). Der erforderliche Detaillierungsgrad der Informationen bestimmt die zukünftigen Erfassungsmethoden. Zeitaufwändige Neuerfassungen sind womöglich die Folge.
- Methode 2: Das Pavement Management System wird zunächst durch die zur Verfügung stehenden Eingangsgrößen bzw. den vorhandenen Detaillierungsgrad der Informationen definiert. Einzelne Teilbereiche an Informationen fehlen oder sind nur lückenhaft vorhanden. Die vorhandenen Informationen können sofort herangezogen werden und die Implementierungsphase wird

deutlich reduziert. Die Akzeptanz des Systems (der Bearbeiter kennt diese Informationen) wird dadurch deutlich verbessert. Die Ausweitung des Systems kann danach über eine stufenweise, iterative Implementierung neuer Komponenten bzw. Elemente erfolgen.

Die zweite Methode stellt jene Variante dar, die für die Implementierung in Österreich herangezogen wurde. Bei der Verwendung von fertigen Systemen besteht oft die Gefahr, dass diese ohne genaue Kenntnis über den dahinter stehenden Rechenvorgang angewendet werden. Man spricht in diesem Fall auch von einer „Black Box". Wird ein System jedoch in Abhängigkeit von den zur Verfügung stehenden Informationen erst an das Straßennetz angepasst, ist die Kenntnis über das System eine wesentliche Voraussetzung.

Für die Arbeiten mit einem PMS auf Netzebene muss jedoch ein Mindestmaß an Informationen vorliegen, die ein aussagekräftiges Ergebnis garantieren und Entscheidungen ermöglichen. Um eine erste Abschätzung des Erhaltungsbedarfs eines Straßennetzes durchzuführen, ist es oft schon ausreichend, wenn nur eine geringe Anzahl an abschnittsbezogenen Informationen vorliegt:

- abschnittsbezogene Informationen des Straßenzustandes
- abschnittsbezogene Informationen des Straßenaufbaus
- abschnittsbezogene Verkehrsinformationen

Diese Informationen sind dabei die Basis für eine Nutzen-Kosten-Untersuchung, die Optimierung und letztendlich die Reihung von Erhaltungsmaßnahmen.

2.2.1.3 Projektebene

Bei der Projektebene beziehen sich die Entscheidungen in den meisten Fällen auf einen einzigen Straßenabschnitt oder ein einziges Straßenerhaltungsprojekt. Wiederum führt eine Erhöhung des Detaillierungsgrades der Informationen zur letzten der drei Entscheidungsebenen. Die Informationen, die für Entscheidungen dieser Art herangezogen werden, müssen nur für diesen bestimmten Abschnitt vorliegen. Eine netzweite Erfassung von Daten für projektspezifische Entscheidungen ist nicht sinnvoll und in vielen Fällen aus Kostengründen auch nicht durchführbar. Erfolgt ein abschnittsbezogener Erhaltungsmaßnahmenvorschlag bereits auf Netzebene, so kann auf Projektebene durch zusätzliche Informationen dieser Vorschlag konkretisiert, verworfen oder ergänzt werden (z.B. Festlegung von Verstärkungsdicken durch Tragfähigkeitsmessungen, Bohrkernuntersuchungen, etc.).

2.2.2 Analyse und Planung von Erhaltungsmaßnahmen

Objektive Analysen und Planungen von Erhaltungsmaßnahmen bilden neben der Verwaltung von straßen- bzw. erhaltungsspezifischen Informationen den wichtigsten Bestandteil in einem PMS. Das primäre Ziel dieses Systemelements besteht in der

Findung von möglichen Erhaltungsvarianten, die unter den gegebenen Rand- oder Rahmenbedingungen sowie auf der Grundlage der vorhandenen Informationen die „beste (optimale) Lösung“ darstellen.

Für die Lösung dieser Aufgabe stehen im wesentlichen zwei unterschiedliche Verfahren bzw. Verfahrensmethoden zur Verfügung, die sich in ihrer Rechenweise bzw. in ihren mathematischen Grundlagen deutlich voneinander unterscheiden. Es handelt sich dabei um

- Reihungsverfahren und
- Optimierungsverfahren

2.2.2.1 Reihungsverfahren

Das einfachste Verfahren für die Entwicklung eines Erhaltungsprogramms ist mit dem Reihungsverfahren gegeben. Wie bereits der Name des Verfahrens ausdrückt, erfolgt die Erstellung des Ablaufplanes von Erhaltungsmaßnahmen in Form einer Reihung der Abschnitte nach unterschiedlichen Kriterien (z.B. worst first – schlechtester Abschnitt zuerst). Im Zuge von Reihungsverfahren erfolgen die Berechnungen auf der Grundlage der zuletzt erhobenen Informationen. Eine spezielle Prognose von Straßenzustandsinformationen oder anderen „zeitabhängigen“ Größen wird nicht durchgeführt. Die Erstellung einer Dringlichkeitsreihung der erhaltungsrelevanten Straßenabschnitte wird nach folgendem Schema vorgenommen:

- Reihung der Abschnitte nach einem Kriterium (z.B. schlechtester Oberflächenzustand, höchstes Alter, etc.). Das Ergebnis dieser Reihung ist eine Prioritätenliste.
- Zuordnung von Erhaltungsmaßnahmen zu jedem Straßenabschnitt
- Aufsummierung der Erhaltungskosten, bis das max. Erhaltungsbudget erreicht ist (=Ende der Reihung)

Dabei können in Abhängigkeit vom Detaillierungsgrad der Informationen folgende Reihungsmethoden (ranking methods) unterschieden werden [4]:

- Einfache subjektive Reihung: Die Reihung der Abschnitte erfolgt auf der Grundlage einer subjektiven Bewertung der einzelnen Abschnitte durch den vor Ort tätigen Erhaltungsingenieur. Die Reihung kann sowohl für ein einziges Jahr als auch für mehrere Jahre durchgeführt werden.
- Reihung nach technischen Kriterien: Die Reihung erfolgt bei diesem Verfahren auf der Grundlage objektiv erhobener Straßenmerkmale (z.B. Zustandsmerkmale, Oberbauinformationen, etc.). Zusätzlich kann in die Reihung der Abschnitte eine Gewichtung über die Verkehrsbelastung einfließen (z.B. Dringlichkeitsreihung des Amtes der Kärntner Landesregierung [5]). Auch dieses Verfahren kann sowohl für ein einziges Jahr als auch für mehrere Jahre durchgeführt werden.

- Reihung nach wirtschaftlichen Kriterien: Die Reihung erfolgt auch bei diesen Verfahren nach Parametern des Straßenoberbaus, jedoch werden zusätzliche wirtschaftliche Überlegungen, wie z.B. Nutzen-Kosten-Untersuchungen, Wirksamkeitsuntersuchungen, etc., in die Analyse miteinbezogen (z.B. bei der Auswahl möglicher Erhaltungsmaßnahmen). Wiederum kann auch dieses Verfahren für ein einjähriges oder ein mehrjähriges Erhaltungsprogramm herangezogen werden.

Ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal bei Reihungsverfahren liegt im Planungszeitraum der Erhaltungsmaßnahmen, wo zwischen einer einjährigen Reihung (single-year-prioritization) und einer mehrjährigen Reihung (multi-year-prioritization) differenziert werden kann. Im Rahmen von einjährigen Erhaltungsplanungen werden Abschnittsreihungen immer nur für das nächste Jahr durchgeführt.

Einjährige Planungsvorgaben sind dann von Vorteil, wenn das Erhaltungsbudget immer nur für ein einziges Jahr zur Verfügung gestellt wird bzw. das Erhaltungsbudget großen jährlichen Schwankungen unterworfen ist. Eine mehrjährige Erhaltungsplanung ist in diesem Fall nahezu unmöglich. Einjährige Reihungsverfahren sind aus heutiger Sicht nicht mehr Stand der Technik. Sie sollten nur in jenen Bereichen eingesetzt werden, wo einerseits die Verkehrsbelastung sehr gering ist und wo andererseits der Straßenzustand sich auf ein Minimum (Befahrbarkeit) reduzieren lässt, wie Forststraßen, Güterwege, untergeordnete Gemeindestraßen, etc.

Mehrjährige Erhaltungsprogramme sind Maßnahmenreihungen über eine längere Zeitperiode. Aus den Ergebnissen kann über die Wirkung der Erhaltungsmaßnahme auf ein mögliche Veränderung des Straßenzustandes in Bezug zum Ausgangszeitpunkt geschlossen werden. Eine Zustandsprognose wird jedoch auch bei den mehrjährigen Reihungsverfahren nicht durchgeführt. Mehrjährige Reihungsverfahren sind aus heutiger Sicht der Mindeststandard für überregionale Straßen.

Die Ergebnisse der Reihungsverfahren stellen darüber hinaus nicht die optimale Lösung für Erhaltungsprogramme dar. Die primäre Sanierung des „schlechtesten" Straßenabschnitts ist nur eine mögliche Lösung von verschiedenen Erhaltungsvarianten. Oft ergibt sich durch die Sanierung eines „weniger schlechten" Straßenabschnitts eine größere positive Wirkung (Nutzen) für den Straßenerhalter oder –nutzer. Das „Hinausschieben" der Sanierung des „schlechtesten" Straßenabschnittes führt vielleicht nur zu einer geringfügigen Veränderung der Situation im Vergleich zu einem Abschnitt, der durch eine Sanierung von einer progressiven Zustandsverschlechterung in eine stabile Situation gebracht werden kann. Reihungsverfahren sind für Untersuchungen dieser Form nicht geeignet, da hierfür mathematische Optimierungsmethoden herangezogen werden müssen.

2.2.2.2 Optimierungsverfahren

Optimierungsverfahren versuchen im Vergleich zu Reihungsverfahren durch eine Kombination aller möglichen Erhaltungsvarianten unter bestimmten Randbedingungen diejenige Lösung zu finden, wo ein Parameter zum Optimum (Minimum oder

Maximum) wird. Hierzu ist es erforderlich, eine Prognose des Straßenzustandes auf der Grundlage der zuletzt erfassten Informationen durchzuführen. Die zeit- bzw. belastungsabhängige Änderung des Straßenzustandes hat dabei einen wesentlichen Einfluss auf die Wahl einer Erhaltungsmaßnahme. Als Parameter für die Optimierung können der Straßenzustand, die Nutzerkosten, die Gesamtkosten, etc. herangezogen werden (näheres siehe Kapitel 8.3). Optimierungsverfahren arbeiten dabei nach folgendem Schema:

- Entwicklung einer Liste möglicher Erhaltungsmaßnahmen für jeden Straßenabschnitt (Erhaltungsstrategien) auf der Grundlage der Zustandsprognose
- Berechnung des Optimierungsparameters für alle möglichen Varianten von Erhaltungsmaßnahmen
- Auswahl jener Erhaltungsstrategie, bei der unter den festgelegten Randbedingungen der Optimierungsparameter zum Minimum bzw. Maximum wird

Optimierungsverfahren erfordern im Vergleich zu Reihungsverfahren einen wesentlich höheren Rechenaufwand, der noch vor mehr als 20 Jahren diese Verfahren als kaum anwendbar erscheinen ließ. Aus diesem Grund wurden Näherungsverfahren entwickelt, deren Lösung nahe an der optimalen Lösung liegt. Es können daher zwei verschiedene Optimierungsverfahren unterschieden werden:

- Reine Optimierungsverfahren (Optimization Method): Die Optimierung erfolgt unter Anwendung mathematischer Programmierungsverfahren (z.B. lineare Programmierung – siehe Kapitel 8.3.2).
- Heuristische Optimierungsverfahren (Near Optimization Method): Die Optimierung erfolgt mit Hilfe eines Näherungsverfahrens (z.B. inkrementelles Nutzen-Kosten-Verhältnis – siehe Kapitel 8.3.3).

Optimierungsverfahren werden ausschließlich für mehrjährige Betrachtungszeiträume herangezogen, da ein Vergleich unterschiedlicher Erhaltungsvarianten einen längeren Untersuchungszeitraum erfordert (Berücksichtigung der Wirkung der Maßnahme).

Pavement Management Systeme, die mit Optimierungsverfahren arbeiten, sind aus heutiger Sicht jene Instrumentarien, mit denen Erhaltungsprogramme für hochbelastete Straßen berechnet werden sollten. Der hohe Aufwand für die Erhaltung dieser Straßen erfordert, wie bereits in der Einleitung erwähnt, einen optimalen Einsatz der meist knapp bemessenen Geldmittel.

Auf Optimierungsverfahren basierende Pavement Management Systeme werden als „Moderne Pavement Management Systeme“ bezeichnet. In der gegenständlichen Arbeit wird der Begriff „Pavement Management System“ in erster Linie in diesem Sinn verwendet.

2.2.3 Ausführung von Maßnahmen und Rückkopplung

Das dritte Element im Entscheidungsprozess eines Pavement Management Systems (siehe Abbildung 2) stellt die Durchführung der Erhaltungsmaßnahmen und deren Auswirkungen auf eine Vielzahl von Straßenparametern (Oberbau, Zustand, evtl. Anlageverhältnisse, etc.) dar. Dies bedeutet, dass für nachfolgende Entscheidungen im Erhaltungsprozess diese Informationen wiederum in das System einfließen müssen (Regelkreis). Aus den Ergebnissen der Rückkopplung können neben den Grundlagen für zukünftige Erhaltungsplanungen auch Informationen über die Maßnahme selbst abgeleitet werden, die zeigen sollen, ob diese Maßnahme den erwarteten Anforderungen gerecht wird oder ob diese Maßnahme in Zukunft ausgeschlossen werden sollte.

2.3 Modernes Pavement Management

2.3.1 Bausteine des Modernen Pavement Managements

Ein Modernes Pavement Management System stellt ein komplexes System dar, das als Lösung eine optimale Erhaltungsstrategie für ein Straßennetz, einen Straßenzug oder einen einzelnen Straßenabschnitt liefert (vgl. primäres Ziel der Straßenerhaltung in Kapitel 2.1). Um dieses Ziel zu erreichen, werden in einem solchen System eine Reihe von Abläufen oder Algorithmen verwendet, die sich in einzelne eng miteinander verknüpfte Elemente strukturieren. Dabei handelt es sich um folgende „PMS-Bausteine“ [6]:

- Datenbank zur Speicherung der erhaltungsrelevanten Daten
- Modelle des PMS (Zustandsprognosemodelle, Kostenmodelle, etc.)
- Randbedingungen für die Datenanalyse (Maßnahmenkatalog, Budgetvorgaben, etc.)
- Analysesystem für die Durchführung der Optimierungsaufgaben
- Darstellung der Analyseergebnisse

In der nachfolgenden Abbildung 4 sind die Bausteine eines Modernen Pavement Management Systems schematisch dargestellt.

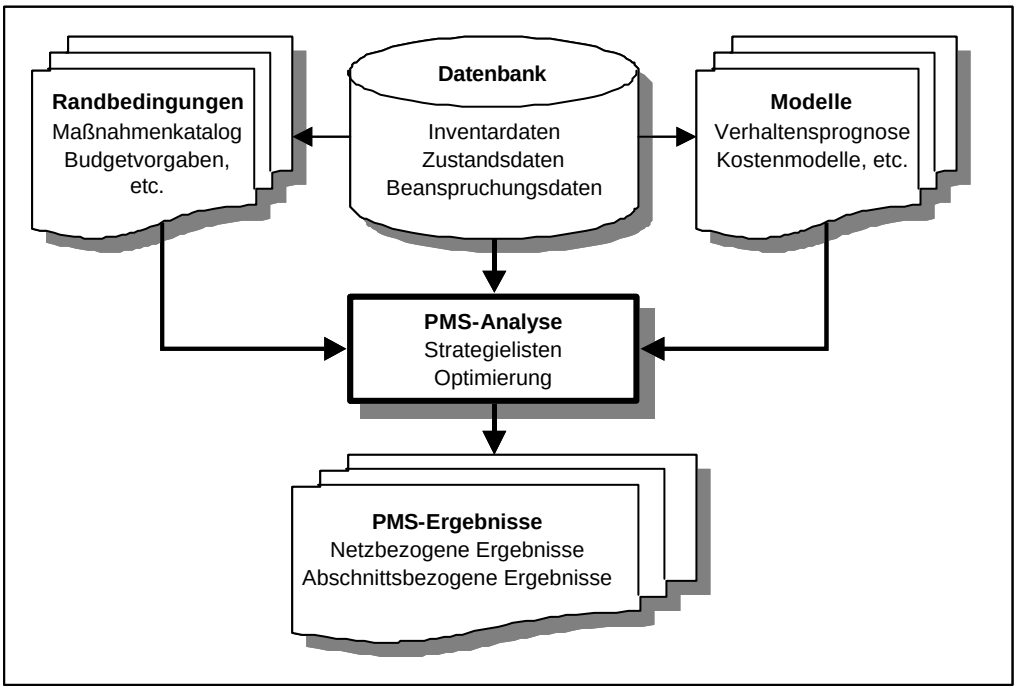


Abbildung 4: Bausteine eines Modernen Pavement Management Systems

Moderne Pavement Management Systeme sind aufgrund des hohen Rechenaufwandes in erster Linie computerunterstützte Systeme, die eine Vielzahl der Berech-

nungen automatisiert durchführen und in vielen Fällen erst bei der Betrachtung der Ergebnisse eine ingenieurmäßige Beurteilung ermöglichen. Aus diesem Grund ist es erforderlich, dass der Anwender mit den einzelnen Schritten, die während der Berechnungen durchgeführt werden, vertraut ist, um einerseits die Ergebnisse interpretieren zu können und um andererseits eventuell erforderliche Korrekturen durchzuführen.

Pavement Management Systeme unterliegen, wie viele Bereiche der Technik, einer starken Veränderung oder Aktualisierung durch neue wissenschaftliche Erkenntnisse, neue Informationsquellen, neue Berechnungsmethoden, etc. Aus diesem Grund sollten die einzelnen Bausteine eines System so gestaltet sein, dass sie einerseits für sich eine abgeschlossene Einheit darstellen, die gegebenenfalls ausgewechselt werden kann (z.B. Implementierung eines neuen Datenbanksystems), und andererseits die Möglichkeit von Erweiterungen und Adaptierungen bieten. Moderne Pavement Management Systeme der letzten Generation (z.B. HDM-4, dTIMS 6.1©) besitzen diese Eigenschaften und können daher an viele verschiedene Rahmenbedingungen angepasst werden.

2.3.2 Datenbank

Die Datenbank im PMS ist jenes Element, wo sämtliche für die Berechnungen erforderlichen Informationen in elektronischer Form gespeichert werden. Aufgrund ihrer Eigenschaften können die einzelnen Informationen, auch als Daten bezeichnet, wie folgt unterschieden werden:

- **Inventardaten:** Diese Daten definieren das Bauwerk Straße. Sie beinhalten die Grundlagen des Straßennetzes (z.B. Straßenbezeichnung, Von-Knoten, Bis-Knoten, etc.), das Bezugs- oder Referenzsystem der Daten, Oberbaudaten, Straßengeometriedaten, Bauwerksdaten, etc. Inventardaten beschreiben das Bauwerk Straße, jedoch nicht den Zustand bzw. die Belastung oder Beanspruchung.
- **Zustandsdaten:** Zustandsdaten beschreiben quantitativ oder qualitativ den Zustand des Bauwerks Straße. Hierfür werden sogenannte Zustandsmerkmale verwendet wie z.B. Längsebenheit, Griffigkeit, Risse, etc.
- **Beanspruchungsdaten:** Beanspruchungsdaten beschreiben die Belastungen des Bauwerks Straße aus Verkehr, Temperatur, Niederschlag, etc.

Die strukturelle Gliederung einer PMS-Datenbank sollte sich an diesen Bereichen orientieren, um eine einfache Nachvollziehbarkeit von Datenflüssen und Entscheidungen zu ermöglichen. Die Genauigkeit der Zustandsprognose, die im Rahmen der Analyse durchgeführt wird, ist proportional zur Qualität und Quantität der zur Verfügung stehenden Informationen. Je umfangreicher und exakter die Daten vorliegen, desto höher ist die Eintreffenswahrscheinlichkeit der Prognose. Bei der Erstellung einer Datenbank, die für eine systematische Straßenerhaltung herangezogen wird, sind folgende Grundüberlegungen zu beachten:

- Anpassung der Datenbankstruktur und des Dateninhalts an die zur Verfügung stehenden Daten und Informationsquellen

- Koordination der Datenbankstruktur und des Dateninhalts mit dem Analysesystem
- Angleichung des Datenformats zwischen Datenbank und Analysesystem
- Aufzeigen der Möglichkeiten der Aktualisierung der Dateninhalte (Datenflusskonzept)
- Abstimmung des Referenz- bzw. Bezugssystems der Datenbank mit den Referenzierungen der Erfassung
- Erweiterung der Datenbank erst beim Vorhandensein zusätzlicher Informationen

2.3.3 Modelle

Modelle in einem Pavement Management System bilden den theoretischen Hintergrund für die Berechnung im Analysesystem. Der Umfang der verwendeten Modelle richtet sich i.A. nach den zur Verfügung stehenden Informationen bzw. Daten. Moderne Pavement Management Systeme arbeiten mit sehr unterschiedlichen Modellen, die in die folgenden Gruppen geteilt werden können:

- Zustandsprognosemodelle: Modelle zur Vorhersage des zukünftigen Straßenzustandes für ein bestimmtes Zustandsmerkmal (z.B. Risse, Spurrinnen, etc. – siehe Kapitel 7). Diese Modelle können in Form von mathematischen Funktionen (Verhaltensfunktionen) oder in Form von Wahrscheinlichkeiten (z.B. Übergangswahrscheinlichkeit von einem guten in einen schlechten Straßenzustand) ausgedrückt werden.
- Kostenmodelle: Pavement Management Systeme, die mit Straßennutzerkosten rechnen, verwenden spezielle Kostenmodelle, die in Abhängigkeit vom Straßenzustand die Veränderung von Kosten (Fahrzeugnutzerkosten, Gesamtkosten, etc.) definieren.
- Straßenzustandsbewertungsmodelle: Diese Modelle berechnen unter Berücksichtung verschiedenartiger Einflussgrößen charakteristische Zustandskenngrößen (z.B. Substanzwert, Gebrauchswert, etc. – siehe Kapitel 5.4).

Im PMS verwendete Modelle müssen analog zu den Daten ebenfalls einer laufenden Wartung oder Kalibrierung unterzogen werden, da die Qualität der Ergebnisse stark von der Qualität der verwendeten Modelle abhängt. Die Modelle sollten während der ersten Implementierungsphase eines Modernen Pavement Management Systems einfach und übersichtlich gehalten werden. Dies ist notwendig, um einerseits die Berechnungsalgorithmen leichter nachvollziehen zu können und um andererseits die Akzeptanz des Systems durch eine bessere Verständlichkeit zu erhöhen. Unter Umständen stehen am Beginn der Implementierungsphase nur sehr einfache Modelle zur Verfügung. Erst mit zunehmender Erfahrung bei der praktischen Handhabung des Systems ist eine iterative Verbesserung der Modelle (Aufnahme zusätzlicher Einflussgrößen oder komplexer Strukturen) unbedingt anzustreben.

2.3.4 Randbedingungen für die Datenanalyse

Um die optimale Lösung für die Erhaltung eines Straßennetzes zu berechnen, sind neben den Daten und Modellen auch bestimmte Randbedingungen einzuhalten, die in Form von nahezu konstanten Einflussgrößen in die Berechnungen einzubeziehen sind. Es handelt sich dabei um folgende Elemente:

- Maßnahmenkatalog: Der Maßnahmenkatalog dient zur Definition von möglichen Erhaltungsmaßnahmen, deren Auswirkungen auf den Straßenzustand sowie deren technischer Einsatzkriterien (Anwendungsgrenzen).
- Budgetvorgaben: Budgetvorgaben dienen zur Beschränkung der maximalen jährlichen Aufwendungen für Erhaltungsmaßnahmen. Sie werden im Vorfeld der Analyse festgelegt und stellen eine Randbedingung für die Optimierung dar.

Auch die Randbedingungen für die Datenanalyse sollten einer laufenden oder periodischen Aktualisierung unterzogen werden. Vor allem die Angaben hinsichtlich der Maßnahmenkosten sind zeitlichen Schwankungen ausgesetzt (Konjunktur, Inflation, etc.). Auch hier sollte bei neuen Systemen darauf geachtet werden, dass die Vielzahl der möglichen Erhaltungsmaßnahmen auf ein Minimum reduziert wird.

Zusätzlich können auch subjektive Vorgaben (z.B. politische Entscheidungen), extern bestimmte Erhaltungsmaßnahmen durch den Einfluss anderer Erhaltungskomponenten (z.B. Brücken, Tunnel, etc.) eine entscheidende Randbedingung für die Datenanalyse darstellen.

2.3.5 Analysesystem für die Optimierung

Das Analysesystem, das eigentliche Berechnungselement im PMS, kombiniert die einzelnen Modelle mit den in der Datenbank vorgehaltenen erhaltungsrelevanten Daten unter den gegebenen Randbedingungen. Die Analyse der zu untersuchenden Straßenabschnitte erfolgt in einem modernen Pavement Management System als vergleichende Berechnung zwischen den möglichen Erhaltungsvarianten bzw. Erhaltungsstrategien (siehe 2.3.5.1) und der Nullvariante („Nichts-Tun-Strategie“ – „Do-Nothing-Strategy“). Es handelt sich dabei um folgenden Einzelschritte:

- Erstellung einer Strategieliste
- Berechnung von beurteilenden Kenngrößen
- Optimierung

2.3.5.1 Erstellung der Strategieliste

Unter Strategieliste eines bestimmten Abschnitts wird in diesem Zusammenhang die Auflistung aller möglichen Erhaltungsmaßnahmen verstanden, die unter Berücksichtigung von technischen Einsatzkriterien auf diesem Abschnitt möglich sind. Jede

einzelne Erhaltungsmaßnahme stellt dabei eine Erhaltungsstrategie dar, die aus mehreren zeitlich hintereinander durchzuführenden Einzelmaßnahmen bestehen kann (z.B. Deckschichtsanierungen in einem Abstand von 10 Jahren). Die technischen Einsatzkriterien einer Erhaltungsmaßnahme bzw. –strategie werden dabei auch als Anwendungsgrenzen bezeichnet.

2.3.5.2 Berechnung beurteilender Kenngrößen

Für jede zunächst ermittelte Erhaltungsstrategie werden durch die Anwendung der Modelle und der Randbedingungen verschiedene Kenngrößen berechnet (z.B.: Kosten, Nutzen, Zustandsentwicklung bei der Durchführung einer Maßnahme, Gesamtwertentwicklung, etc.). Diese Kenngrößen richten sich natürlich nach den verwendeten Modellen und stellen die Grundlage für die nachfolgend durchzuführende Optimierung dar.

2.3.5.3 Optimierung

Die Optimierung erfolgt im Rahmen der Anwendung eines mathematischen Optimierungsverfahrens durch Maximierung oder Minimierung eines zuvor festgelegten Entscheidungs- bzw. Optimierungsparameters unter bestimmten Randbedingungen. Der Optimierungsparameter kann entweder eine den Straßenzustand oder eine die Nutzerkosten beschreibende Kenngröße darstellen. Ob für die Findung der optimalen Lösung ein „Reines Optimierungsverfahren“ (siehe Kapitel 8.3.2), das mathematisch die genaue Lösung berechnet, oder ein „Heuristisches Optimierungsverfahren“, ein Näherungsverfahren (siehe Kapitel 8.3.3), verwendet wird, hängt von der Größe des zu analysierenden Straßennetzes (Anzahl der Straßenabschnitte), von der Anzahl der Parameter sowie von der zur Verfügung stehenden Rechnerleistung ab.

2.3.5.4 PMS-Ergebnisse

Die Ergebnisse der Datenanalyse eines Modernen Pavement Management Systems sind Aussagen über die Zustands- und/oder Kostenentwicklung des untersuchten Straßennetzes (Netzebene) auf der Grundlage abschnittsbezogener Maßnahmenvorschläge. Für eine einfache, übersichtliche und verständliche Aufbereitung der Ergebnisse eignen sich besonders graphische Darstellungen in Form von Histogrammen, Balkendiagrammen, Trendentwicklungsdiagrammen, Matrizengraphiken, etc. Die nachfolgende Abbildung 5 zeigt beispielhaft die Zustandsverteilung eines Straßennetzes in Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung. Es handelt sich dabei um eine Ergebnisdarstellung auf Netzebene.

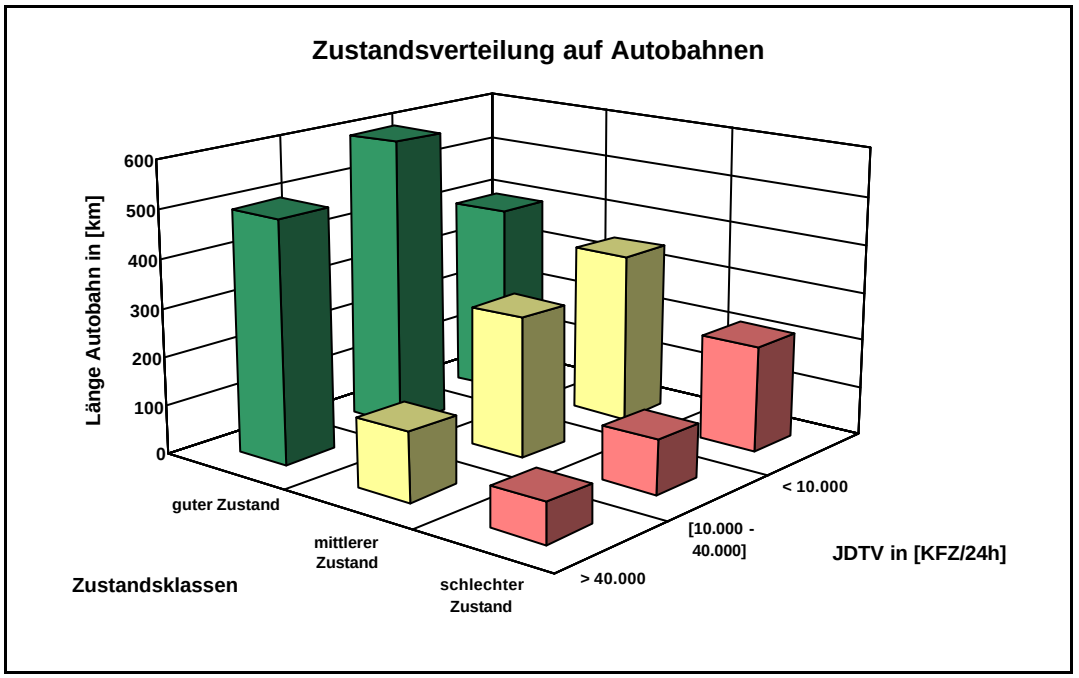


Abbildung 5: 3D-Matrizendarstellung für eine Zustandsverteilung in Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung

Die Ergebnisse der Untersuchungen auf Netzebene sollen einerseits die Grundlage für Entscheidungen der übergeordneten Ebene darstellen (Politikebene), andererseits aber auch die Entscheidung herbeiführen, ob eine detaillierte Untersuchung auf Projektebene erforderlich wird. In diesem Sinn können zwei Arten der Ergebnisse unterschieden werden:

- Netzbezogene Darstellungen: Diese dienen in erster Linie für die Abschätzung des zukünftigen Erhaltungsbedarfes und/oder der Zustandsentwicklung auf dem gesamten Straßennetz und sind somit die Grundlage für die Entscheidungen in der Politikebene (näheres siehe Kapitel 8.4.2).
- Abschnittsbezogene Maßnahmenvorschläge: Diese sind die Grundlage für die Erstellung der Bauprogramme und Bauloseinteilungen durch den Straßenerhalter. Sie sind bereits so detailliert, dass eine Entscheidung hinsichtlich einer genauen Untersuchung auf Projektebene getroffen werden kann (näheres siehe Kapitel 8.4.3).

3 Das österreichische PMS

3.1 Allgemeines

Der steigende Erhaltungsbedarf auf den österreichischen Bundesstraßen hat in den letzten Jahren zu einer intensiven Veränderung der systematischen Erhaltungsplanung sowohl auf Seiten der Erhalter (Länder und Autobahngesellschaften) als auch auf Seiten der Bundesverwaltung geführt. Das Ziel dieser Verbesserungs- und Erweiterungsmaßnahmen liegt in der Verwendung eines bundesweit einheitlichen Pavement Management Systems, das die Grundlagen für die Ermittlung des zukünftigen Erhaltungsbedarfs liefern soll.

Mit den wissenschaftlichen Vorarbeiten für die Implementierung dieses Systems wurde im Sommer 1998 das Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität Wien (kurz ISTU) durch das BMVIT (Sektion III – Bundesstraßenverwaltung) und die ASFINAG beauftragt. Das Ziel dieses Auftrages bestand in der Entwicklung eines Pavement Management Systems, das in seinem gesamten Umfang von den Erfassungsgrundlagen bis hin zur Optimierungssoftware ein effizientes und objektives System darstellen sollte. Hauptaugenmerk wurde dabei auf den Aufbau einer bundesweiten Straßendatenbank sowie auf die Erstellung bzw. Implementierung eines Datenanalysesystems unter Verwendung der Analysesoftware VIAPMS™ (dTIMS© - Deighton Total Infrastructure Management System - englischer Originalname) gelegt.

Die Entwicklung der Struktur des österreichischen Pavement Management Systems erfolgte dabei in Anlehnung an die im Kapitel 2.3 vorgestellten Elemente eines Modernen Pavement Management Systems. In den nachfolgenden Kapiteln soll ein Überblick über die einzelnen Bestandteile des Systems, von der Informationserfassung bis hin zur Datenanalyse gegeben werden. Ein schematischer Systemüberblick kann der nachfolgenden Abbildung 6 entnommen werden.

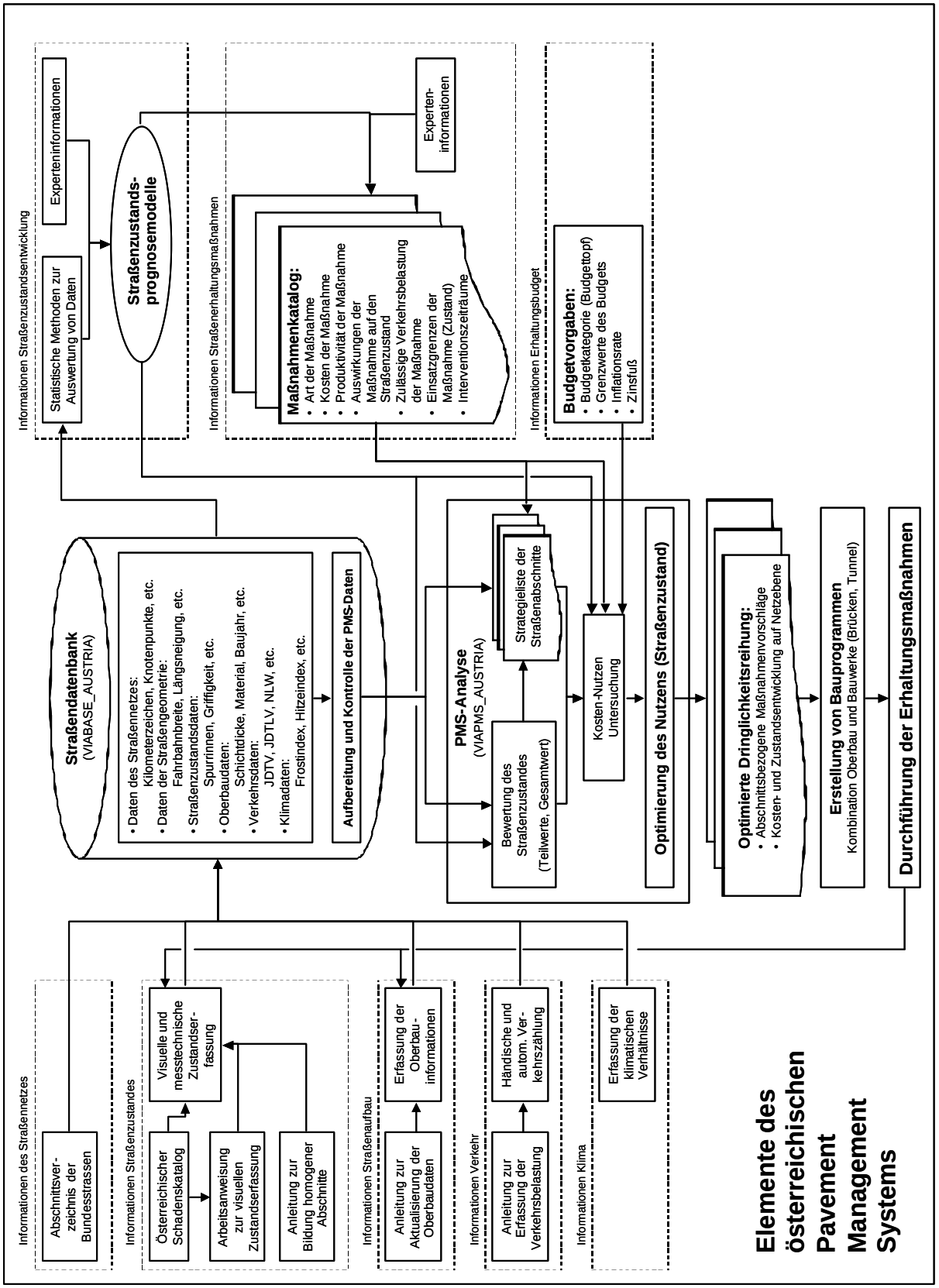


Abbildung 6: Struktogramm des österreichischen PMS

Bei diesen Systemelementen handelt es derzeit um ein Minimum an Erfordernissen zur Gewährleistung der Funktionalität des Systems. Neben den Systemelementen sind in dieser Abbildung auch die einzelnen Informations- und Datenflüsse sowie die Rückkopplungen der Ergebnisse schematisch dargestellt (Regelkreisprinzip). Eine Beschreibung der in Abbildung 6 ersichtlichen „PMS-Bausteinen“ kann den nachfolgenden Kapiteln entnommen werden.

3.2 Überblick über die Struktur des österreichischen PMS

3.2.1 Grundlegende Informationen

Als Grundlage für das österreichischen PMS werden unterschiedliche Informationen herangezogen, die in einem ausreichenden Detaillierungsgrad zur Verfügung stehen und so die entsprechende Qualität der weiterführenden Berechnungen gewährleisten. Die Erfassung dieser Informationen erfolgt auf der Grundlage unterschiedlicher Vorgaben und Regelungen, die zum Teil im Rahmen der Implementierung des PMS erst entwickelt wurden (z.B. Schadenskatalog des ISTU) oder auf die bereits seit vielen Jahren zurückgegriffen werden kann (z.B. Vorgaben für Verkehrszählungen).

Derzeit stehen den Anwendern des österreichischen PMS folgende grundlegende Informationen zur Verfügung:

- Informationen über das Straßennetz (Definition, Bezugssystem, etc.)
- Informationen über den Straßenzustand (Ergebnis von visuellen und messtechnischen Zustandserfassungen)
- Informationen über den Straßenaufbau
- Informationen über die Verkehrsbelastung
- Informationen über das Klima

Jedes moderne Pavement Management System verwendet für die Speicherung bzw. Verwaltung dieser erhaltungsrelevanten Informationen (Daten) eine elektronische Datenbank.

3.2.2 Straßendatenbank VIABASE_AUSTRIA

Die derzeit in Österreich verwendete Straßendatenbank VIABASE_AUSTRIA beinhaltet sämtliche für das systematische Erhaltungsmanagement erforderlichen Informationen und verwendet dafür die Software VIABASE© (Version 6.0). Diese von der Fa. Deighton Associates Limited in Kanada entwickelte Datenbank ist speziell für die Speicherung und Verknüpfung (dynamische Segmentierung) von linearen Infrastrukturdaten geeignet. Das auf Straßenerhaltungsplanung spezialisierte Schweizer Unternehmen VIAGROUP AG hat den Vertrieb und Support dieses Produkts für den europäischen Markt übernommen und auch die Rechte hierfür erworben. Zu diesem Zweck wurde der kanadische Produktname von dROAD© in VIABASE© geändert.

Die Struktur einer mit VIABASE© verwalteten Datenbank gliedert sich in drei hierarchisch aufgebaute Ebenen, die eine übersichtliche und einfache Darstellung der Informationen bzw. Daten ermöglichen [7]. Es sind dies:

- Perspektiven (Perspectives)
- Logische Datengruppen (Logical Data Groups)

- Datenfelder (Database Fields)

Die hierarchisch oberste Ebene sind die Perspektiven, die zur Beschreibung der Eigenschaften und des Auftretens eines bestimmten Objektes bzw. eines Ereignisses oder eines Merkmals (Entität – Entity) entlang der linearen Infrastruktur herangezogen werden. Jede Perspektive in der Datenbank hat bestimmte Anforderungen zu erfüllen, die sich nach der zu beschreibenden Entität richten. Aus diesem Grund können Perspektiven unterschiedlicher Eigenschaften bei der Erstellung der Datenbankstruktur ausgewählt werden, wie z.B. Abschnittsperspektiven, Punktperspektiven, Fahrstreifenperspektiven, historische Perspektiven, wiederholende Punktperspektiven, etc. (näheres über Dateneigenschaften siehe Kapitel 4.2). In jeder VIABASE-Datenbank ist eine Perspektive vordefiniert (Basis-Perspektive), die das Infrastrukturobjekt selbst (z.B. Straße, Fluss, etc.) definiert. Bei dieser Perspektive handelt es sich um eine Abschnittsperspektive.

Die Logischen Datengruppen stellen die zweite Ebene im hierarchischen Aufbau der Straßendatenbank dar und sind immer einer Perspektive zugeordnet. Sie dienen zur weiteren Gliederung der Perspektiven und können erst nach der Erstellung der jeweiligen Perspektive definiert werden [7]. Zusätzlich beinhaltet jede Perspektive eine interne Logische Datengruppe (Internal), die einerseits Datenfelder für die eindeutige Identifikation eines Elements (Abschnitt, Punkt, etc.) der Perspektive enthält und andererseits die Verknüpfung mit anderen Entitäten ermöglicht.

Datenfelder werden als dritte Ebene der Straßendatenbank einer Logischen Datengruppe zugeordnet. Auch Datenfelder besitzen spezielle Eigenschaften, die mit der zu speichernden Information übereinstimmen sollten, wie z.B. reelle Zahl, ganze Zahlen, Text, Tabelle, etc.

Der Inhalt der Datenbank, die Inventar- , Konstruktions-, Beanspruchungsdaten, etc. sind in Form von Datensätzen in den Datenfeldern abgelegt. Der Datensatz besitzt dabei jene Eigenschaft, die durch die Perspektive (Punkt-, Abschnittsinformation, etc.) und das Datenfeld (Text, Zahl, etc.) definiert wird. Die Logischen Datengruppen dienen dabei lediglich zur besseren Gliederung der Informationen. Jeder Zugriff auf die Datenbank ist daher ein Zugriff auf ein Datenfeld.

Welche Daten bzw. Entitäten der Infrastruktur Straße in der österreichischen Datenbank VIABASE_AUSTRIA enthalten sind, kann dem Kapitel 4 entnommen werden, das einen detaillierten Überblick über die im österreichischen PMS verwendeten Informationen und Kennzahlen gibt. Das Handbuch zur Systemkonfiguration der Datenbank VIABASE_AUSTRIA [7] und das in Abbildung 7 dargestellte Struktogramm der Version 2001 geben ebenfalls einen Überblick.

Es handelt sich bei einer Datenbank i.A. um ein dynamisches System, das durch Aktualisierungen einer laufenden oder periodischen Erweiterung bzw. Verbesserung unterzogen werden muss. Diese Aktualisierung kann dabei den

- Datenbankinhalt (Aktualisierung der Datensätze) und die
- Datenbankstruktur (Erweiterung der Datenbankstruktur)

betreffen.

Auch die österreichische Straßendatenbank muss laufend an die Veränderungen des Straßennetzes, die Aktualisierung der Zustands-, Oberbau-, und Verkehrsdaten, etc. angeglichen werden, sodass den Bundesstraßenverwaltungen zumindest für jedes Kalenderjahr eine neue Version der Datenbank zur Verfügung steht.

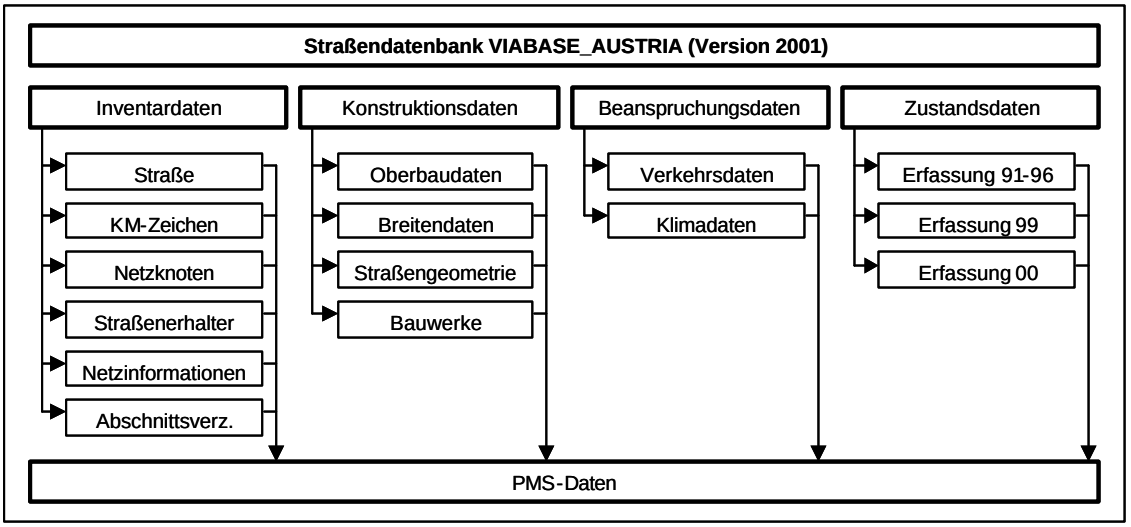


Abbildung 7: Struktur von VIABASE_AUSTRIA, Version 2001

Die Kontrolle, Bewertung und Ableitung von Kenngrößen erfolgt über Formel- und Filtertransformationen für einen Teil der Daten ebenfalls in der Straßendatenbank. Die Ergebnisse dieser Datenbearbeitung und -kontrolle sind die Eingangsgrößen für das Analysesystem VIAPMS_AUSTRIA.

3.2.3 Prognose der Straßenzustandsentwicklung

Die Prognose der Straßenzustandsentwicklung erfolgt über Zustandsprognose-modelle, einen wesentlichen Parameter für die Analyse im Rahmen eines modernen Pavement Management Systems. Die Grundlagen für die Entwicklung von Zustands-prognosemodellen (Zeitreihen von Zustandsdaten) stammen aus der österreichischen Straßendatenbank bzw. aus Expertenbefragungen. In Österreich wurden erstmalig über den Forschungsauftrag „Statistische Methoden zur Auswertung von Straßenzustands-daten“ [22] diese Grundlagen zusammengefasst und entsprechende Prognosemodelle erarbeitet. Darüber hinaus wurde auch für die abgeleiteten Zustandsprognosemodelle ein Algorithmus zur Aktualisierung der Modelle entwickelt, der auf den Grundlagen der Bayes-Statistik aufbaut. Weitere Informationen über die österreichischen Zustands-prognosemodelle und deren Aktualisierung können dem Kapitel 7 entnommen werden.

3.2.4 Maßnahmenkatalog

Der Maßnahmenkatalog im Analysesystem VIAPMS_AUSTRIA wurde in Kooperation mit den Verwaltungen der österreichischen Bundesstraßen im Rahmen eines speziellen Arbeitskreises (Arbeitkreis VIAPMS) entwickelt. Er stellt eine Liste möglicher Erhaltungsmaßnahmen (Instandsetzungsmaßnahmen und Erneuerungsmaßnahmen) mit folgenden Informationen dar:

- Art der Maßnahme
- Kosten der Maßnahme
- Produktivität der Maßnahme (z.B. m^2/Tag)
- Auswirkungen der Maßnahme auf den Straßenzustand
- Anwendungsgrenzen der Maßnahmen (zulässige Verkehrsbelastung, Grenzen des Zustandes, etc.)
- Interventionszeiträume

Weitere Informationen über die Maßnahmen können dem Kapitel 6 entnommen werden.

3.2.5 Budgetvorgaben

Budgetvorgaben sind Festlegungen für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im österreichischen PMS. Sie beinhalten:

- die Zuordnung von Erhaltungsmaßnahmen zu unterschiedlichen Budgettöpfen,
- die Festlegung von Grenzwerten für das Erhaltungsbudget sowie
- Informationen für die Diskontierung, wie Zinsfuß und Inflationsrate.

Weitere Informationen über die Budgetvorgaben können ebenfalls dem Kapitel 6 entnommen werden.

3.2.6 Datenanalyse mit VIAPMS_AUSTRIA

Für die Analyse der Daten wird, wie bereits erwähnt, auf eine über die Schweiz vertriebene kommerzielle Analysesoftware mit der Bezeichnung VIAPMS© (dTIMS© 6.1) zurückgegriffen, deren modulare Aufbaustruktur die individuelle Eingabe von Berechnungsalgorithmen, Zustandsprognosemodellen, Erhaltungsmaßnahmen, etc. ermöglicht. Die österreichische Anwendung (Systemkonfiguration) dieses Systems mit der Bezeichnung VIAPMS_AUSTRIA enthält folgende Komponenten:

- Bewertungsverfahren des Straßenzustandes (Bildung von Teil- und Gesamtwerten, siehe Kapitel 5.4)
- Straßenzustandsprognose (siehe Kapitel 7)
- Verfahren zur Erzeugung alternativer abschnittsbezogener Erhaltungsstrategien (siehe Kapitel 8.1)
- Nutzen-Kosten-Untersuchung für die Maßnahmenbeurteilung (siehe Kapitel 8.2)
- Heuristisches Optimierungsverfahren (siehe Kapitel 8.3.3)

Das Ergebnis der Anwendung des Optimierungsverfahrens der Datenanalyse ist die sogenannte „optimierte Dringlichkeitsreihung". Es handelt sich dabei um eine Auflistung der untersuchten Straßenabschnitte (Erhaltungsabschnitte) mit den für ein bestimmtes zur Verfügung gestelltes Erhaltungsbudget zugeordneten Erhaltungsmaßnahmen. Mit der Erstellung der optimierten Dringlichkeitsreihung endet grundsätzlich die objektive Bearbeitung der Teilaufgabe „Management des Straßenoberbaus".

Der Teilbereich „Management des Straßenoberbaus (PMS)" wird im Zuge der Erstellung von Bauprogrammen durch eine Kombination mit der Dringlichkeitsreihung der Bauwerke erweitert (BMS – Bauwerksmanagementsystem) und zu einem Gesamtergebnis verknüpft (EMS – Erhaltungsmanagementsystem). Die Erstellung eines Bauprogramms bedeutet demnach eine fachgebietübergreifende weiterführende Beurteilung der Ergebnisse in Form einer ingenieurmäßigen Untersuchung bzw. Beurteilung der Teilbereiche. Diese Beurteilung wird von den zuständigen Erhaltungsingenieuren derzeit im Rahmen einer „händischen" Analyse durchgeführt.

Das Ergebnis dieser weiterführenden Analyse ist das für eine bestimmte Periode festgelegte Bauprogramm eines Straßenzuges oder eines gesamten Straßennetzes mit folgenden Inhalten:

- Bauloseinteilung
- evtl. weiterführenden Detailuntersuchungen zur Festlegung abschnittsbezogener Erhaltungsmaßnahmen (Zustandserfassung auf Projektebene)
- Fixierung der Maßnahmen mit Kosten und evtl. weiterführender Nutzen-Kosten-Untersuchungen
- Fixierung des Bauablaufs auf der Grundlage der Bauloseinteilung
- etc.

3.2.7 Durchführung der Erhaltungsmaßnahme

Die Durchführung der Erhaltungsmaßnahme stellt das Ergebnis des systematischen Entscheidungsprozesses im PMS bzw. EMS dar und ist zugleich wiederum der Input für zukünftige Entscheidungen. Dabei sind in Abhängigkeit von der durchgeführten Maßnahme die Änderungen des Straßenzustandes, der Oberbaukonstruktion, evtl. der Anlageverhältnisse, etc. neuerlich in den zukünftigen Entscheidungsprozess

miteinzubeziehen. Ein Teil dieser Information kann dabei im Rahmen der Abnahmeprüfung erfasst werden, sodass hierfür keine gesonderte Datenaufnahme erforderlich wird. Wird eine durchgeführte Maßnahme in das System eingegeben (z.B. Aktualisierung Oberbaudaten), so werden eine Reihe von Informationen (z.B. Zustandsgrößen) automatisiert einer Aktualisierung unterzogen.

4 Daten und Informationen in VIABASE_AUSTRIA

4.1 Allgemeines

Wie bereits in den vorherigen Kapiteln erläutert, stellt die Datengrundlage eines PMS einen wesentlichen Baustein für die Entwicklung und Beurteilung unterschiedlicher Erhaltungsstrategien des zu untersuchenden Straßennetzes dar. Diese Datengrundlage kann als Indikator für die Genauigkeit der Analyse bzw. der Berechnungen herangezogen werden. Je genauer die Daten vorliegen, desto exakter bzw. sicherer sind auch die Ergebnisse der Prognosen. Neben der direkten Einbeziehung der erhaltungsrelevanten Informationen in die Datenanalyse werden die Daten auch für die Ableitung von PMS-Modellen herangezogen (z.B. Zustandsprognosemodelle). Ohne eine ausreichende Datengrundlage ist es deshalb nicht bzw. nur bedingt möglich, mit einem PMS zu arbeiten.

In den nachfolgenden Kapiteln wird die derzeit in Österreich zur Verfügung stehende Datengrundlage näher erläutert. Diese Beschreibung stellt jedoch nur eine Momentaufnahme dar, da es sich auch im Bereich des Datenmanagements um einen dynamischen Prozess handelt, der sich sehr stark an den laufenden Veränderungen im Zusammenhang mit der computer- und softwaremäßigen Entwicklung orientiert. Für die Belange der systematischen Straßenerhaltung kann auf eine eigens für diese Zwecke implementierte Datenbank zurückgegriffen werden. Diese unter der Bezeichnung VIABASE_AUSTRIA zur Verfügung stehende Straßendatenbank wurde im Jahr 1998 im Auftrag des BMVIT in Kooperation mit der ASFINAG vom Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung entwickelt und bei allen Straßenverwaltungen und Autobahngesellschaften implementiert, sodass derzeit jede einzelne Straßenverwaltung auf die gleichen Daten zurückgreifen kann.

4.2 Eigenschaften von Daten

4.2.1 Allgemeines

Die Datenverwaltung der Grundlageninformationen erfolgt in Abhängigkeit von den Eigenschaften der Informationen, die auch als „Wesen“ oder „Entität“ bezeichnet werden. Eine Eigenschaft der Infrastruktur Straße ist dabei i.A. an ein Objekt der Infrastruktur geknüpft, sodass mit Ausnahme von „objektunabhängigen“ Informationen eine eindeutige Zuordnung zu mindestens einem Infrastrukturobjekt gegeben ist. Als „objektunabhängige“ Informationen werden jene Informationen bezeichnet, die zwar der Infrastruktur selbst, jedoch keinem Element der Infrastruktur (Straße) zugeordnet sind (z.B. Asphaltmischanlagen in Niederösterreich). Nachdem es sich im Rahmen eines PMS in erster Linie um Straßen handelt, kann auch die Infrastruktur als Straßennetz und das Objekt als Straße definiert werden.

Bei genauer Betrachtung der Informationen bzgl. der Ausdehnung entlang einer Straße (lineares Infrastrukturobjekt) können – abgesehen von den objektunabhängigen Informationen – zwei Arten von Daten mit unterschiedlichen Eigenschaften definiert werden:

- Punktinformationen: Diese Eigenschaft tritt an einer bestimmten Stelle der Straße auf (z.B. Kilometerzeichen)
- Abschnittsinformationen: Diese Eigenschaft erstreckt sich über eine bestimmte Länge der Straße (z.B. Fahrbahnbreite)

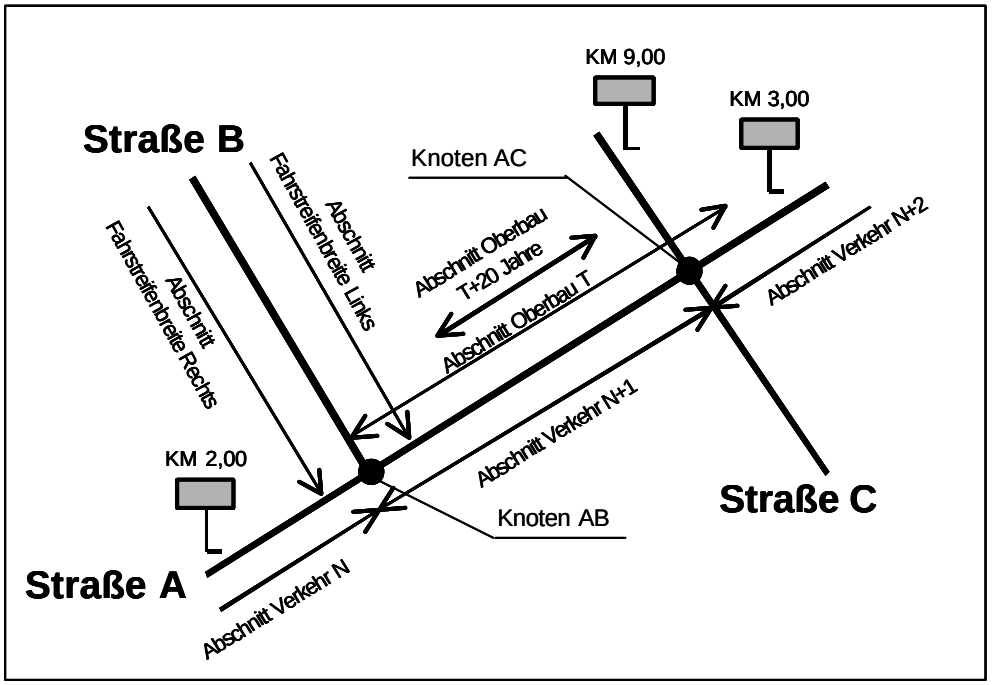


Abbildung 8: Darstellung unterschiedlicher Straßeninformationen

Unabhängig davon, ob es sich um Punkt- oder Abschnittsinformationen handelt, können die Eigenschaften der Informationen so beschaffen sein, dass sie nur einmal, mehrmals, überlappend, historisch, wiederholend, etc. auf einer oder mehreren Straßen auftreten (siehe Abbildung 8).

Eine wesentliche Voraussetzung für das Bearbeiten von Informationen mit unterschiedlichen Eigenschaften liegt in der Zusammenführung oder Verknüpfung der Daten. Dabei sind vor allem Datentransformation und dynamische Segmentierung wichtige Werkzeuge, auf die im Kapitel 4.2.4 näher eingegangen wird.

4.2.2 Punktinformationen

Punktinformationen sind Informationen, die an bestimmten Straßenstellen einmal oder mehrmals und/oder an mehreren Stellen dieser oder einer anderen Straße auftreten. Punktinformationen können folgende Eigenschaften besitzen [7].

4.2.2.1 Allgemeiner Punkt

Ein „allgemeiner Punkt“ kann an einer bestimmten Stelle der Straße mit dieser Eigenschaft nur ein einziges Mal auftreten. Dieses Element kann jedoch auch an einer anderen Straße vorhanden sein (Koinzidenz). Als Beispiel für diese Punkteigenschaften können die Netzknoten angeführt werden. Der Netzknoten mit der Bezeichnung *Knoten Kaisermühlen (A22, A23, B3b)* tritt sowohl an der A22, der A23 als auch an der B3b auf.

4.2.2.2 Exklusiver Punkt

An einer bestimmten Straße kann nur ein Element mit dieser Bezeichnung (Element Identifikation) auftreten. Dieses Element wiederholt sich nicht entlang der Straße und kann auch nicht an einer anderen Straße auftreten. Es kann aber die gleiche Bezeichnung (Element Identifikation) wie ein Element einer anderen Straße besitzen. Punkte mit dieser Eigenschaft werden als exklusive Punkte bezeichnet und werden vorwiegend für Stationierungssysteme verwendet. Zum Beispiel ist das Kilometerzeichen *KM 2,000* auf der *B144* einzigartig, es gibt jedoch auch auf der *B145* ein Kilometerzeichen mit der gleichen Bezeichnung *KM 2,000*, welches jedoch nicht mit jenem auf der *B144* identisch ist.

4.2.2.3 Wiederholender Punkt

Dieses Punktelement tritt wiederholt entlang einer oder mehrerer Straßen mit der gleichen Bezeichnung auf (z.B. Verkehrszeichen). Es können auch Punkte mit der gleichen Eigenschaft mehrmals an einer bestimmten Stelle der Straße vorhanden sein (z.B. Unfallpunkte).

4.2.3 Abschnittsinformationen

Weisen die straßenbezogenen Daten über eine bestimmte Strecke einen konstanten Wert auf, so handelt es sich in der Regel um abschnittsbezogene Informationen. Dies bedeutet, dass der Anfangspunkt der straßenbezogenen Information ungleich dem Endpunkt ist. Abschnittsinformationen besitzen ähnlich wie Punktinformationen ebenfalls unterschiedliche Eigenschaften, die sich auf die Entität der Information beziehen.

4.2.3.1 Aufeinanderfolgende Abschnitte

Handelt es ausschließlich um nicht übergreifende Abschnitte, so spricht man von aufeinanderfolgenden Abschnitten. Diese Abschnitte müssen jedoch nicht unbedingt durchgehend verlaufen, es können Fehlinformationen oder Lücken zwischen den einzelnen Abschnitten vorhanden sein. Das Infrastrukturobjekt Straße wird durch aufeinanderfolgende Abschnitte definiert (Basisperspektive in VIABASE ist eine „Aufeinanderfolgende Abschnittsperspektive“).

4.2.3.2 Übergreifende Abschnitte

Bei übergreifenden Abschnitten ist es möglich, dass Abschnitte geometrisch überlappen oder parallel verlaufen. Diese Abschnittseigenschaft wird in erster Linie für fahrstreifenbezogene Informationen verwendet, die nebeneinander auftreten (z.B. aktuelle fahrstreifenbezogene Zustandsdaten).

4.2.3.3 Historische Abschnitte

Historische Abschnitte können ebenfalls überlappend oder parallel verlaufen, jedoch mit dem Unterschied, dass sie nicht geometrisch sondern zeitbezogen (evtl. übereinander) vorliegen. Historische Abschnitte werden in erster Linie für die Speicherung historischer Oberbaudaten verwendet, um die Nachvollziehbarkeit der Aufbaugeschichte zu gewährleisten. In der österreichischen Straßendatenbank werden aus diesem Grund die Oberbaudaten historisch verwaltet.

4.2.4 Verknüpfung von Daten

Die Zusammenführung von Informationen bzw. Daten mit unterschiedlichen Eigenschaften ist der Aufgabenbereich der „dynamischen Segmentierung“ und der „Datentransformation“. In einem PMS ist es erforderlich, Daten mit unterschiedlichen Abschnittseinteilungen und unterschiedlichen Eigenschaften auf einem Erhaltungsabschnitt zur verknüpfen (z.B. Verkehrsdaten und Oberbaudaten). Dies bedeutet, dass nach entsprechenden Gesetzmäßigkeiten die auf Abschnitte orientierten Werte mit anderen abschnittsorientierten Werten zu kombinieren sind.

4.2.4.1 Dynamische Segmentierung

Die erste Methode zur Verknüpfung von Daten liegt in der Bildung einer Dateneigenschaft (z.B. Erhaltungsabschnitte), bei der sämtliche zu verknüpfende Informationen ohne Datenverlust (Verlust der Datenschärfe bzw. –genauigkeit) vorhanden sind. Dies bedeutet, dass sowohl die Informationen der Abschnittseinteilung als auch die Werte oder Inhalte der Daten nach dieser Verknüpfung zur Verfügung stehen. Diese als dynamische Segmentierung bezeichnete Methode liefert als Ergebnis die kleinste gemeinsame Dateneigenschaft (Abschnitte) aller im Rahmen dieser Verknüpfung beteiligten Einzeleigenschaften. Die nachfolgende Abbildung 9 zeigt schematisch das Ergebnis einer dynamischen Segmentierung in Form der kleinsten gemeinsamen Abschnitte aller Daten.

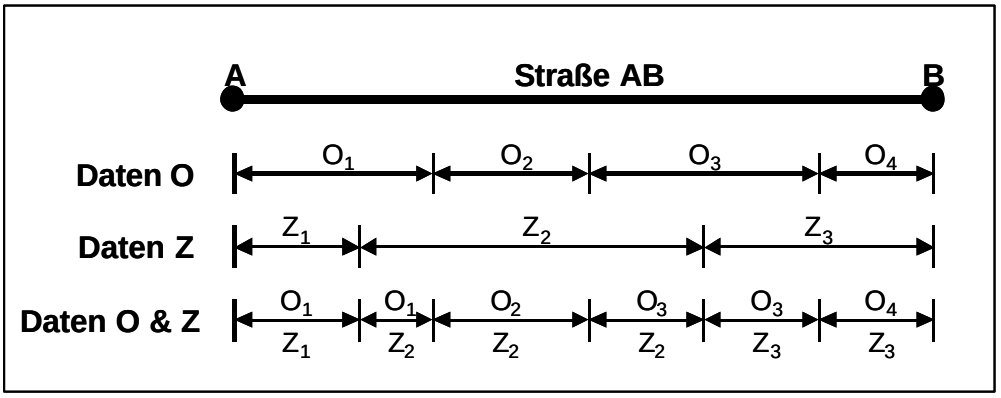


Abbildung 9: Schematische Darstellung der dynamischen Segmentierung

4.2.4.2 Datentransformation

Im Gegensatz zur dynamischen Segmentierung, bei der als Ergebnis eine neue Eigenschaft entsteht, werden im Rahmen der Datentransformation die Eigenschaften der zu verknüpfenden Informationen auf eine zuvor definierte Eigenschaft übertragen (siehe Abbildung 10).

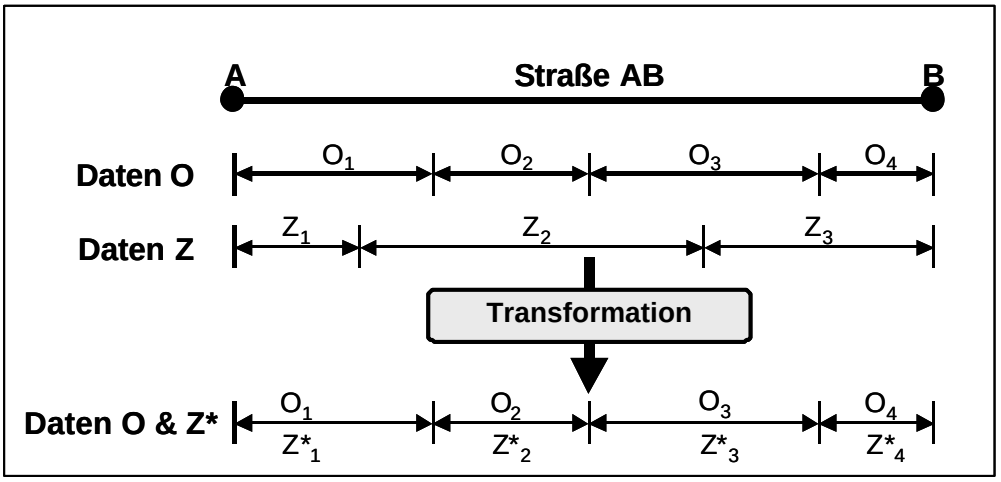


Abbildung 10: Schematische Darstellung der Datentransformation

Diese Form der Datenverknüpfung ist mit einem Verlust der Datenqualität verbunden. Jene Entität, in welche die Daten transformiert werden, wird dabei als „Masterentität“ oder in VIABASE© als Masterperspektive bezeichnet. Neben der Definition dieser Mastereigenschaft muss auch festgelegt werden, nach welchen Gesetzmäßigkeiten die Informationen transformiert werden. Diese Gesetzmäßigkeiten werden in Abhängigkeit von den Dateneigenschaften definiert. Die nachfolgende Aufzählung (nach [38]) stellt die häufigsten Möglichkeiten von Transformationen dar. (Transformation von Daten zweier oder mehrerer Abschnitte auf den Abschnitt *j*):

- Arithmetischer Mittelwert der Einzelwerte:

$$Z_j^* = \overline{Y}_j = \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=1}^{n} Y_k \qquad \text{(Gl. 4.1)}$$

mit: Z_j^* ..... Zielwert der Transformation auf dem Abschnitt j
$\overline{Y}_j$ ..... arithmetischer Mittelwert der Ausgangswerte auf dem Abschnitt j
Y_k ..... Ausgangswert auf dem Abschnitt k
n ..... Anzahl der auf den Abschnitt j zu transformierende Werte (Abschnitte)

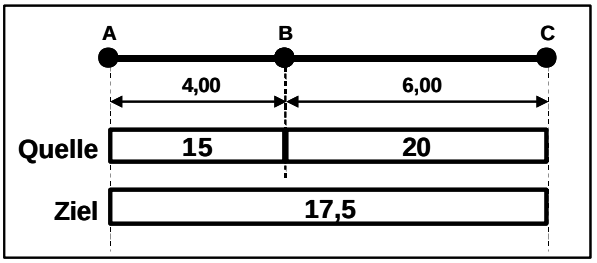


Abbildung 11: Schematische Darstellung der Datentransformation mit dem arithmetischen Mittelwert

- Längengewichteter Mittelwert der Einzelwerte:

$$Z_j^* = \overline{Y}_{j,gewichtet} = \frac{1}{L_j} \cdot \sum_{k=1}^{n} \left(Y_k \cdot L_k\right) \text{ mit } \sum_{k=1}^{n} L_k = L_j \qquad \text{(Gl. 4.2)}$$

mit: $\overline{Y}_{j,gewichtet}$ .... längengewichteter arithmetischer Mittelwert der Ausgangswerte auf dem Abschnitt j
L_k ..... Länge des Abschnitts k
L_j ..... Länge des Abschnitts j

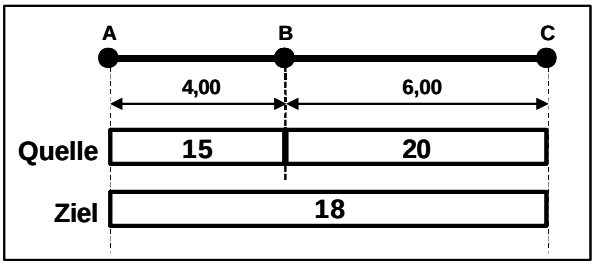


Abbildung 12: Schematische Darstellung der Datentransformation mit dem längengewichteten Mittelwert

- Einzelwert mit der größten Abschnittslänge:

$$Z_j^* = Y_m \text{ für } L_m = \max(L_k) \quad \text{(Gl. 4.3)}$$

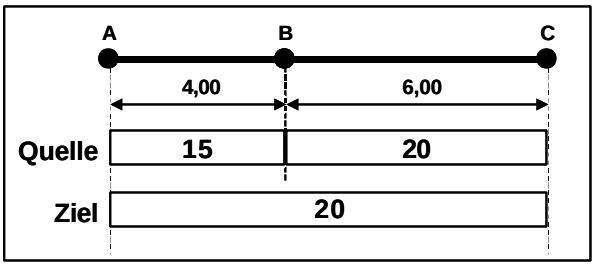


Abbildung 13: Schematische Darstellung der Datentransformation mit dem Einzelwert mit der größten Abschnittslänge

- Maximal- oder Minimalwert der Einzelwerte:

$$Z_j^* = \max(Y_k) \quad \text{(Gl. 4.4)}$$

$$Z_j^* = \min(Y_k) \quad \text{(Gl. 4.5)}$$

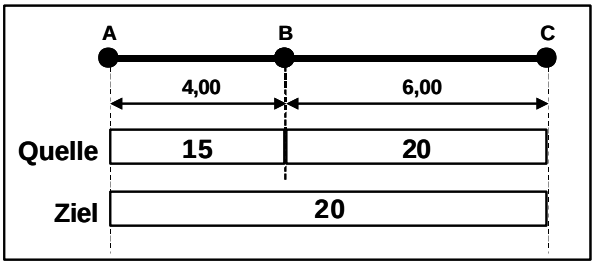


Abbildung 14: Schematische Darstellung der Datentransformation mit dem Maximalwert der Einzelwerte

- Erster oder letzter Wert der Einzelwerte:

$$Z_j^* = Y_1 \quad \text{(Gl. 4.6)}$$

$$Z_j^* = Y_n \quad \text{(Gl. 4.7)}$$

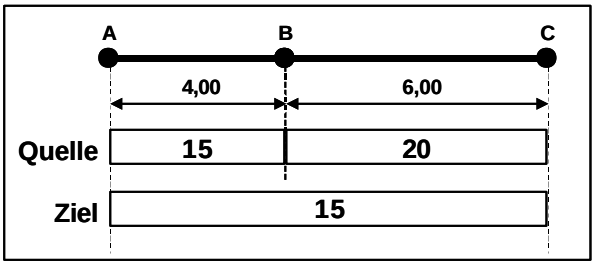


Abbildung 15: Schematische Darstellung der Datentransformation mit dem ersten Wert der Einzelwerte

- Konfidenzintervall:

$$Z_j^* = \overline{Y}_{j,gewichtet} \pm f \cdot S_{Y,\,j,gewichtet} \qquad \text{(Gl. 4.8)}$$

mit: f.....Faktor zur Berücksichtigung des Konfidenzintervalls (f = 1,64 für ein Konfidenzintervall von 90%; f = 1,96 für ein Konfidenzintervall von 95% und f = 2,58 für ein Konfidenzintervall von 99% bei normalverteilten Ausgangswerten)

$S_{Y,j,gewichtet}$.....längengewichtete Standardabweichung der Ausgangswerte auf dem Abschnitt j

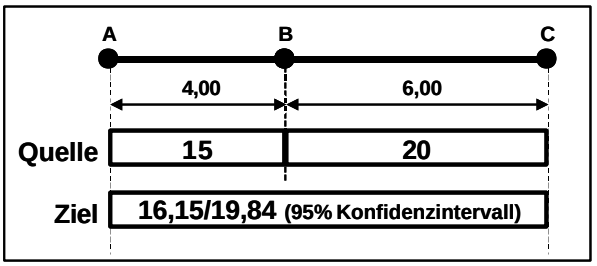


Abbildung 16: Schematische Darstellung der Datentransformation mit dem Konfidenzintervall

Verwendung finden diese Transformationen bei der Zusammenfassung von Oberbau-, Zustands- und Verkehrsdaten im Rahmen der Ableitung von Kenngrößen für VIAPMS_AUSTRIA (siehe Kapitel 5). Die nachfolgende Tabelle 1 zeigt die verwendeten Transformationsgesetze im Zuge der Datenbearbeitung in VIABASE_AUSTRIA.

Transformationsgesetz	Datentransformation
Arithmetischer Mittelwert	Transformation von Zustandsdaten der Messabschnitte auf homogene Zustandsabschnitte (z.B. Längsebenheit)
Längengewichteter Mittelwert	Transformation von Verkehrs-, Zustands- oder Breitendaten auf Oberbauabschnitte
Einzelwert mit größter Abschnittslänge	Transformation von Netz- oder Erhalterinformationen auf Oberbau-, Verkehrs- oder Zustandsabschnitte
Maximal- oder Minimalwert	Transformation von Zustandsdaten auf Oberbauabschnitte
Konfidenzintervall	Transformation von Zustandsdaten auf Messabschnitten auf homogene Zustandsabschnitte (z.B. Spurrinnentiefen)

Tabelle 1: Datentransformationen und verwendete Transformationsgesetze

4.3 Informationen über das Straßennetz

4.3.1 Allgemeines

Straßenobjekte sind geometrisch betrachtet dreidimensionale räumliche Gebilde, deren Elemente (Achse, Bogenhauptpunkte, Fahrbahnrand, etc.) lagemäßig in Form von x-, y-Koordinaten (z.B. nach Gauß-Krüger) und höhenmäßig durch den Abstand zu einer Bezugsebene (z.B. Meeresniveau) eindeutig in diesem dreidimensionalen Raum definiert werden können. Die Identifizierung einer bestimmten Eigenschaft auf dem Objekt Straße ist jedoch in dieser Form für das Erhaltungsmanagement ungeeignet, da die Bestimmung der Koordinaten und der Meereshöhe sehr aufwändig, kostspielig und nur unter Zuhilfenahme von Messgeräten möglich ist (z.B. Verwendung von GPS oder Theodolit). Aus diesen Gründen ist die Verwendung eines anderen Referenzierungssystems erforderlich, das ohne zusätzliche Messgeräte eine Straßeneigenschaft eindeutig zuordnen kann. Besitzt eine im dreidimensionalem Raum liegende Straße eine eindeutige Bezeichnung bzw. einen Namen, so kann die Referenzierung von Eigenschaften entlang der Straße auf ein eindimensionales – wenn die Breite der Straße nicht berücksichtigt wird – bzw. ein zweidimensionales System – wenn die Breite der Straße Berücksichtigung findet – reduziert werden (siehe Abbildung 17).

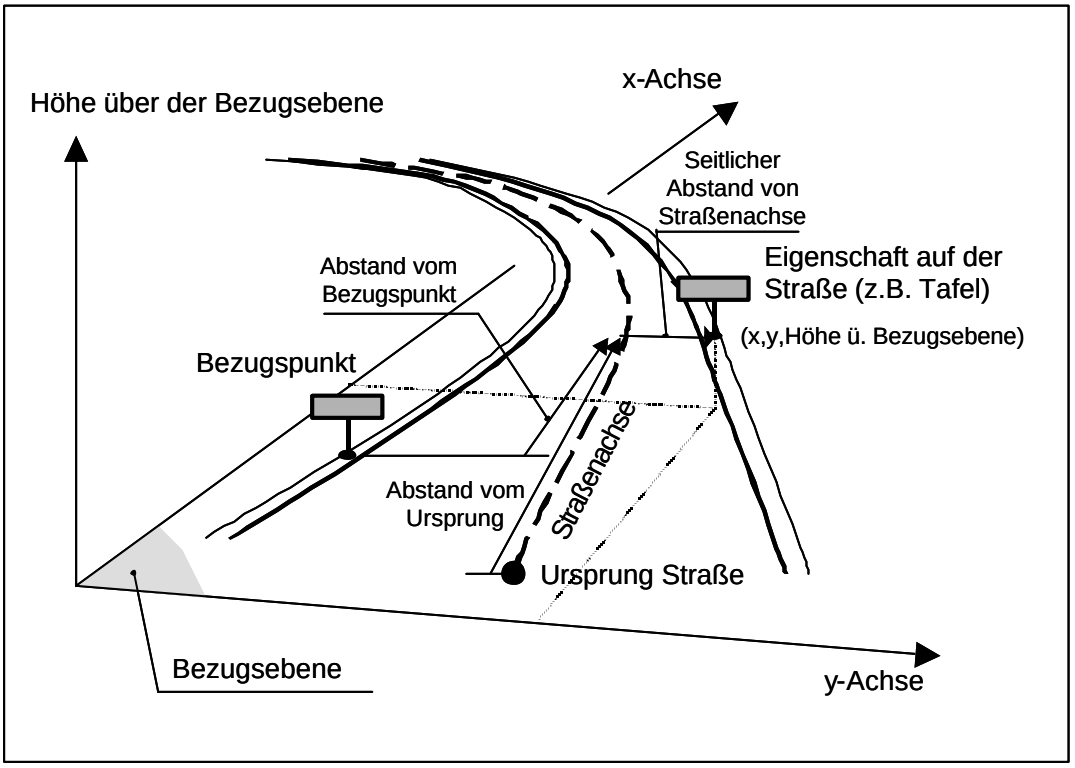


Abbildung 17: Räumliches Infrastrukturobjekt Straße

Bei dieser Form der Referenzierung ist es daher ausreichend, wenn der Abstand der Eigenschaft zum Ursprung der Straße bzw. zu einem auf den Ursprung bezogenen Bezugspunkt bekannt ist. Liegt eine Eigenschaft nicht direkt auf der Straßenachse

(Bezugslinie), auf die i.A. der Abstand zum Ursprung oder Bezugspunkt gemessen wird, so kann diese durch die Angabe eines zusätzlichen Wertes - des seitlichen Abstandes der Eigenschaft zum Lotfußpunkt auf die Achse (Bezugslinie) - eindeutig identifiziert werden. Dabei muss jedoch der Seitenabstand mit einem Vorzeichen versehen werden, damit die seitliche Zuordnung auch eindeutig möglich ist. Um eine objektbezogene Eigenschaft einer Straße eindeutig referenzieren zu können, sind somit folgende Informationen erforderlich:

- Eindeutige Bezeichnung des Infrastrukturobjekts Straße
- Abstand der Eigenschaft vom Straßenursprung bzw. zu einem auf den Ursprung referenzierten Bezugspunkt
- Vorzeichenbehafteter seitlicher Abstand der Eigenschaft zur Straßenachse (Bezugslinie)

Diese notwendigen Informationen über das österreichische Bundesstraßennetz sind im Abschnittsverzeichnis (AVZ) des BMVIT [8] in Form einer tabellarischen Auflistung sämtlicher in Österreich vorhandener Bundesstraßen festgelegt. Das AVZ ist damit die Grundlage für den Verlauf der Straßen (Netzknotenfolge), die Bezeichnung der Straßen und das Bezugssystem für straßenbezogene Daten (näheres über das Bezugssystem von Daten siehe Kapitel 4.3.2). Dies bedeutet, dass sämtliche Daten, die mit einer Straßenbezeichnung und einer Stationierung versehen sind, eindeutig identifiziert und zugeordnet werden können. Dabei kann für die Stationierung sowohl der Kilometerwert als auch der Abstand zu einem Netzknoten herangezogen werden (Basisbezugspunktesystem oder Netzknotensystem, siehe Kapitel 4.3.2.3). Fehl- und Doppelkilometer sind für eine eindeutige Zuordnung ebenfalls in diesem Straßenverzeichnis (in elektronischer Form) enthalten. Die Abbildung 18 zeigt beispielhaft einen Auszug aus dem österreichischen Abschnittsverzeichnis.

Eb	B	Nr	Abschnittsbezeichnung		von km	bis km	Länge
A 1 West Autobahn							
W	1		ASt Wien-Auhof (A 1,B 1)	- Landesgrenze W/N (A 1)	8,936	11,651	2,715
N	1		Landesgrenze W/N (A 1)	- ASt Preßbaum (A 1,B 44)	11,651	22,866	11,215
N	2		ASt Preßbaum (A 1,B 44)	- Kn Steinhäusl (A 1,A 21)	22,866	30,738	7,872
N	3		Kn Steinhäusl (A 1,A 21)	- ASt Altlengbach (A 1,B 19)	30,738	35,366	4,628
N	4		ASt Altlengbach (A 1,B 19)	- ASt St.Christophen, BBezGr 2/5 (A 1,B 19)	35,366	40,885	5,519
N	5		ASt St.Christophen, BBezGr 2/5 (A 1,B 19)	- ASt Böheimkirchen (A 1,L 110)	40,885	47,504	6,619
N	16		ASt Böheimkirchen (A 1,L 110)	- Kn St.Pölten (A 1,S 33,S 34)	47,504	53,979	6,475
N	6		Kn St.Pölten (A 1,S 33,S 34)	- ASt St.Pölten Süd (A 1,B 20)	53,979	58,572	4,593
N	7		ASt St.Pölten Süd (A 1,B 20)	- ASt Loosdorf (A 1,L 5246)	58,572	74,500	15,928

Abbildung 18: Auszug aus dem österreichischen Abschnittsverzeichnis (AVZ) [8]

4.3.2 Bezugssystem der Straße

4.3.2.1 Allgemeines

Das Bezugssystem einer Straße zur eindeutigen Identifizierung von objektabhängigen Eigenschaften in der Natur (dreidimensionaler Raum) besteht aus folgenden Elementen:

- Straßenschlüssel für die eindeutige Bezeichnung der Straße
- Festlegung von Bezugspunkten für die Referenzierung der Eigenschaften
- Festlegung einer positiven und negativen Straßenrichtung
- Festlegung einer positiven und negativen Richtung für Eigenschaften, die eine seitliche Abweichung zur Straßenachse (Bezugslinie) aufweisen

4.3.2.2 Straßenschlüssel

Der Straßenschlüssel ist eine Eigenschaft (Attribut) eines Straßenobjektes die dazu dient, dieses Objekt eindeutig zu identifizieren. Die Identifikation erfolgt i.A. durch einen einzigen Straßenschlüssel oder durch mehrere Teilschlüssel. Der in der österreichischen Straßendatenbank verwendete Straßenschlüssel wurde in Anlehnung an die RVS 5.011 [9] entwickelt und besteht aus folgenden Teilschlüsseln [7]:

- Bezeichnung der Straßenkategorie A, S oder B
- Vierstellige Straßennummer, evtl. mit Zusatznummern entsprechend dem AVZ [8] (z.B. A0002, B0202, B0003b)
- Zusatzbezeichnung zur Festlegung von Richtungsfahrbahnen mit:
  r+ ..... in Kilometrierungsrichtung (z.B. A0010_r+)
  r- ..... entgegen die Kilometrierungsrichtung
- Zusatzbezeichnung zur Festlegung von Einbahnen:
  e(#)+ ..... Einbahn in Kilometrierungsrichtung mit der Nr. # (z.B. B0096_e3+)
  e(#)- ..... Einbahn entgegen die Kilometrierungsrichtung mit der Nr. #
- Zusatzbezeichnung zur Festlegung von Straßenästen oder Abzweigungen
  a(#) ..... Straßenast oder Abzweigung mit der Nr. # (z.B. B0002_a2)

Die Kilometrierungsrichtung ist dabei jene Richtung, in der die Kilometerzeichen wertmäßig ansteigen (siehe Kapitel 4.3.2.4).

Um eine eindeutige Trennung zwischen Straßennummer und Zusatzbezeichnung zu gewährleisten, wird zwischen diesen Teilschlüsseln ein Leerfeld in Form eines Unterstreichungszeichens gesetzt.

4.3.2.3 Bezugspunkte für die Referenzierung von Eigenschaften

Bezugspunkte dienen zur eindeutigen Referenzierung von Straßeneigenschaften auf einer bestimmten Straße. Dabei ist bei bekanntem Bezugspunkt durch die Angabe eines

auf die Straßenachse (Bezugslinie) bezogenen vorzeichenbehafteten Abstandes (Offset) jede objektbezogene Eigenschaft in der Natur aufzufinden (z.B. km 312,200+0,145). Nach RVS 5.011 [9] können folgende Bezugspunkte unterschieden werden (siehe Abbildung 19):

- Basisbezugspunkt (BP): Ist ein in der Natur eindeutig identifizierbares Zeichen oder Ort (z.B. Kilometerzeichen, Grenzstein, Hauskante und dgl.)
- Netzbezugspunkt (NP): Ist ein bestimmter Punkt auf einem Verkehrsweg und dient zur systematischen Untergliederung des Verkehrsweges. Netzbezugspunkte stellen darüber hinaus die Verbindung zu anderen Verkehrswegen dar (Knoten) und definieren somit das Straßennetz.

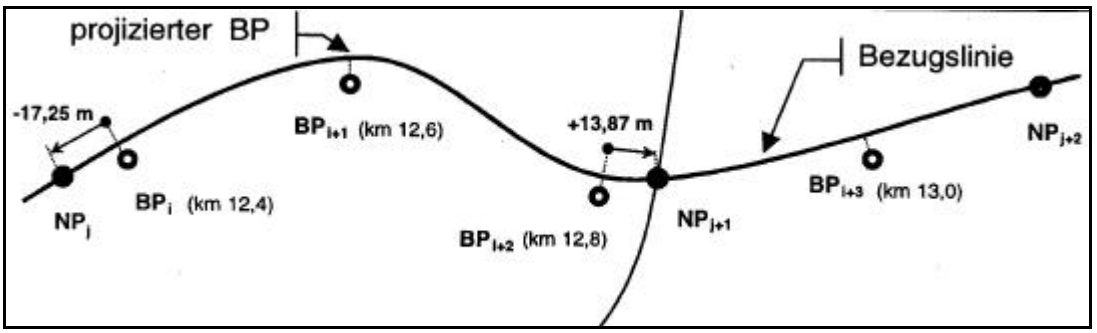


Abbildung 19: Zusammenhang zwischen Basisbezugspunkt und Netzbezugspunkt nach RVS 5.011 [9]

Für die Zuordnung der Daten in der Datenbank VIABASE_AUSTRIA werden ausschließlich die am Fahrbahnrand aufgestellten Kilometerzeichen als Bezugspunkt verwendet (Basisbezugspunktsystem). Dies bietet einerseits den Vorteil, dass physische Größen das Bezugssystem bilden, und andererseits die Möglichkeit, die Eigenschaften auf Kilometerzeichen zu beziehen. Der Nachteil dieses Systems ist darin zu finden, dass die Kilometrierung einer Straße Unstetigkeiten in Form von

- Fehlkilometern oder
- Doppelkilometern

aufweisen kann. Ein Fehlkilometer entsteht i.A. durch eine Verkürzung der Linienführung bzw. der Bezugslinie. D.h. es entsteht eine „Sprungstelle“, die zwei Kilometerwerte aufweist (siehe Abbildung 20). Doppelkilometer entstehen hingegen durch eine Verlängerung der Linienführung. Dann ergibt sich wiederum eine Sprungstelle, die zwei Kilometerwerte aufweist sowie doppelt vorhandene Kilometerzeichen (siehe Abbildung 21) [7]. Diese Kilometerzeichen müssen dabei speziell gekennzeichnet werden, um die Eindeutigkeit zu gewährleisten.

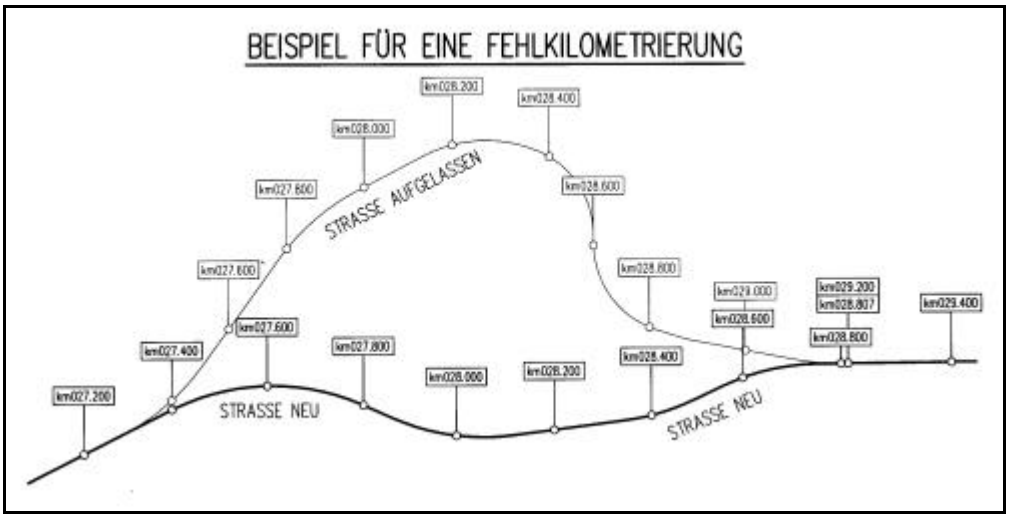


Abbildung 20: Beispiel für eine Fehlkilometrierung nach [7]

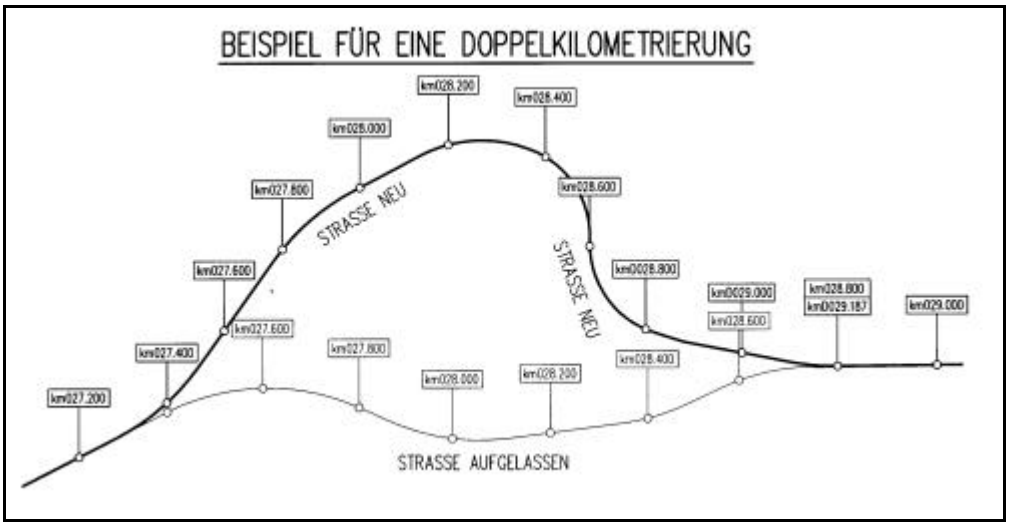


Abbildung 21: Beispiel für eine Doppelkilometrierung nach [7]

Fallen mehrere Fehl- und/oder Doppelkilometer in einem Bereich zusammen, so reicht dieses Basisbezugspunktesystem zur eindeutigen Identifizierung von Eigenschaften nicht mehr aus, und es muss ein zusätzliches Bezugssystem verwendet werden. Dieses Bezugssystem kann nun wiederum ein Basisbezugspunktesystem sein, kann aber auch Netzbezugspunkte verwenden (Netzbezugssystem). Ein solches kombiniertes System wird in Deutschland auf den Bundesautobahnen und Staatsstraßen verwendet.

4.3.2.4 Kilometrierungsrichtung und seitliche Abstände zur Straßenachse (Bezugslinie)

Eine Eigenschaft einer Straße kann entweder vor oder nach einem Bezugspunkt auftreten. D.h. das Vorzeichen für den Abstand (Offset) zwischen dem Bezugspunkt und der Eigenschaft muss darüber Auskunft geben, ob die Eigenschaft davor oder dahinter zu finden ist. Die Festlegung einer positiven Richtung (positiver Offset) erfolgt dabei in Abstimmung mit der Kilometrierungsrichtung, die mit dem wertmäßigen Anstieg der Kilometerzeichen definiert wird (siehe Abbildung 22).

Ist eine Eigenschaft nicht direkt auf der Straßenachse bzw. Bezugslinie situiert, kann durch die Angabe des vorzeichenbehafteten Abstandes zwischen Eigenschaft und Lotfußpunkt auf der Bezugslinie (Transversalabstand) eine eindeutige Identifizierung ermöglicht werden. Die Festlegung der transversalen positiven Richtung muss in Abhängigkeit von der Kilometrierungsrichtung vorgenommen werden. Dabei ist in Anlehnung an [7] die rechte Seite in Richtung der Kilometrierung positiv anzugeben und die linke Seite negativ (siehe Abbildung 22).

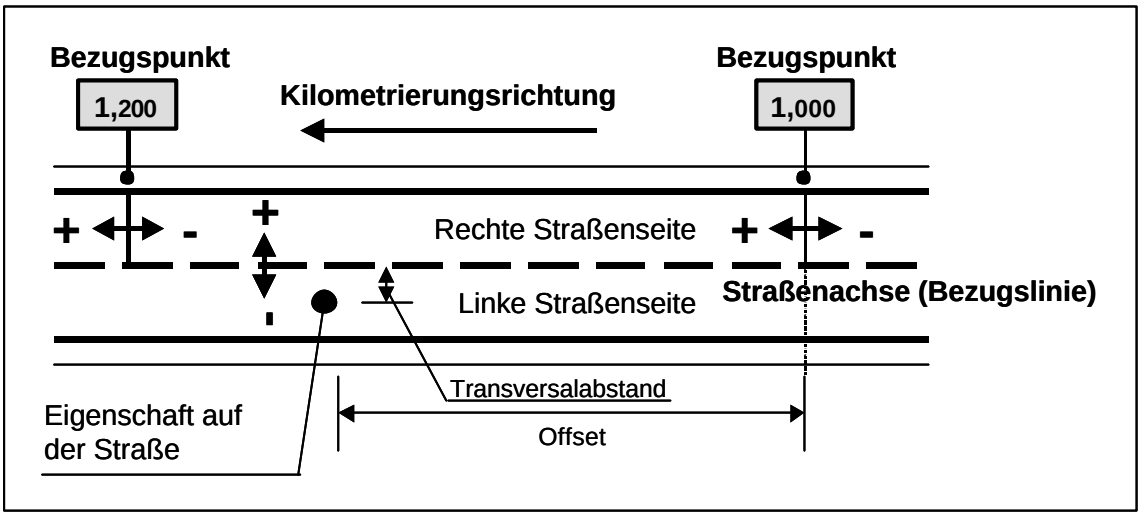


Abbildung 22: Vorzeichendefinition Offset Bezugspunkt und Transversalabstand nach [7]

4.4 Informationen über den Straßenoberbau

4.4.1 Allgemeines

Bei Straßenoberbauten handelt es sich in der Regel um Konstruktionen, die aus einem schichtweisen Aufbau bestehen, der auf den anstehenden oder verbesserten Untergrund aufgebracht wurde. Die Unterschiede in den verschiedenen Bauweisen ergeben sich durch die Verwendung verschiedener Baumaterialien, Schichttypen und Schichtanordnungen, wobei jede einzelne Schicht aufgrund ihrer Beanspruchungen auch entsprechende Anforderungen zu erfüllen hat. Wird die oberste Schicht (Deckschicht) in erster Linie durch den Verkehr hinsichtlich Verschleiß und Verformung beansprucht, so liegen die Aufgaben der darunter liegenden Schichten (gebundene bzw. ungebundene Tragschichten) in der Aufnahme und im Abtrag von Verkehrslasten unter Berücksichtigung von Temperatur- und Klimabeanspruchungen. Die Tragfähigkeit des Untergrundes, das ist i.A. der natürlich anstehende verdichtete bzw. durch entsprechende Maßnahmen verbesserte Boden, besitzt dabei einen maßgebenden Einfluss.

Hinsichtlich ihrer Funktion und der daraus resultierenden Anforderungen können die Schichten eines modernen Oberbaus in folgende Gruppen eingeteilt werden (von oben nach unten):

- Deckschicht
- Gebundene Tragschicht (obere Tragschicht)
- Ungebundene Tragschicht (obere und untere ungeb. Tragschicht)

} Oberbau

- Untergrund evtl. Unterbau als Dammkörper

} Unterbau

Diese Einteilung liegt auch der österreichischen Richtlinie RVS 3.63 [10] zur Dimensionierung von Oberbaukonstruktionen im Erdbaubereich zugrunde. In dieser Richtlinie sind in Form von Bemessungstabellen die standardisierten Oberbauausführungen (verschiedene Bautypen) für die einzelnen Lastklassen dargestellt. Grundsätzlich werden dabei zwei verschiedene Bauweisen der Oberbaukonstruktion unterschieden:

1. Flexible bzw. halbstarre Bauweise mit Asphalt (bituminöse Oberbaukonstruktion)
2. Starre Bauweise mit Beton (Betondecke)

4.4.2 Oberbaudaten

Im Rahmen des Forschungsauftrages „Auswirkungen von Achslasterhöhungen auf das Bundesstraßennetz“ [11] wurden in Österreich erstmalig 1990 bundesweit die vorhandenen Oberbaukonstruktionen des gesamten Bundesstraßennetzes erhoben und in einer ACCESS-Datenbank abgespeichert.

Für jede einzelne Oberbauschicht wurden dabei folgende Merkmale erfasst:

- Art der Schicht (Deckschicht, Tragschicht, ungebundene obere Tragschicht, etc.)
- Material der Schicht (Asphaltbeton, Beton, etc.)
- Dicke der Schicht in [cm]
- Herstellungsjahr der Schicht

Dieser einzigartige Datenbestand wurde im Laufe der Zeit mehrmals aktualisiert und stellt eine ausgezeichnete Grundlage für eine Bewertung der Oberbaukonstruktion auf Netzebene im Zuge eines Pavement Management Systems dar. Auf dieser Grundlage lassen sich aus diesen vier Merkmalen, die jeder erhobenen Schicht zugeordnet werden können, beschreibende Größen (Kennwerte) errechnen, die eine Aussage über das Verhalten und die Eigenschaften des Oberbaus ermöglichen (siehe Kapitel 5). Zusatzinformationen (z.B. Tragfähigkeitsmessungen, Bohrkernanalysen, etc.), die in Form von Detailuntersuchungen für einzelne Projekte erhoben werden (Projektebene), wären eine hervorragende Ergänzung für die Ermittlung von Kenngrößen der Oberbaukonstruktion. Der hohe Kosten- und Zeitaufwand der Erfassung reduziert den Einsatzbereich dieser Mess- und Untersuchungsmethoden ausschließlich auf die Projektebene. Eine Ausnahme bildet in diesem Zusammenhang das für die Schichtdickenerfassung auf Netzebene geeignete Georadar (Hochleistungsgerät).

Für die Aktualisierung dieser Informationen kann auf eine spezielle Anleitung [12] zurückgegriffen werden, die im Rahmen einer Arbeitsgruppe mit der Bezeichnung „EMS-ASFINAG-Kernteam“ (EMS für Erhaltungsmanagement Straße) in Kooperation mit den österreichischen Bundesstraßenverwaltungen unter der Leitung der ASFINAG entwickelt wurde. Neben der genauen Stationierung des Oberbauabschnittes (Straße, Kilometrierung) sind in diesem Zusammenhang Informationen über den Schichtaufbau, die verwendeten Straßenbaumaterialien und die Schichtdicke aus den Unterlagen der Erhaltungsmaßnahmen bzw. durch Begehungen vor Ort von den Straßenerhaltern zu erheben.

4.5 Informationen über die Verkehrsbelastung

4.5.1 Allgemeines

Die Verkehrsbelastung stellt die wichtigste Einflussgröße der Straßenbeanspruchung dar. Dabei ist vor allem der Schwerverkehr (Lastkraftwagen, Lastkraftwagen mit Anhänger, Busse, etc.) für die Schädigung der Straße verantwortlich. Durch die hohen Achslasten dieser Fahrzeuge wird der Oberbau derart beansprucht, dass nach einer gewissen Zeit Schädigungen im Inneren und an der Oberfläche der Straßenkonstruktion auftreten. Ist die Straße bereits so geschädigt, dass eine Instandsetzung oder Erneuerung erforderlich wird, spricht man vom Ende der technisch/strukturellen Lebensdauer der jeweiligen Schicht oder der ganzen Oberbaukonstruktion.

Die Informationen über die Verkehrsbelastung basieren auf unterschiedlichen Verkehrszählungen, die auf den österreichischen Bundesstraßen im Auftrag des BMVIT und des Österreichischen Statistischen Zentralamtes (ÖSTAT) durchgeführt werden.

4.5.2 Verkehrszählungen und Verkehrsdaten

In Österreich stehen die Ergebnisse von zwei Arten von Verkehrszählungen zur Verfügung:

- Bundesweite händische Verkehrszählungen
- Automatische Verkehrszählungen an hochbelasteten bzw. wichtigen Hauptverkehrsstraßen

4.5.2.1 Händische Verkehrszählungen

Händische Verkehrszählungen werden bundesweit auf den österreichischen Bundesstraßen periodisch in einem Abstand von 5 Jahren (..., 1990, 1995, 2000, ...) im Auftrag des Österreichischen Statistischen Zentralamtes (ÖSTAT) in Kooperation mit dem Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (vormals Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten) durchgeführt. Es handelt sich bei dieser Form der Erfassung um eine Querschnittszählung, die stichprobenartig (9 x 4 Stunden) an repräsentativen Tagen eines Zähljahres an mehr als 1.100 Stellen in Österreich durchgeführt wird [13]. Dabei erfolgt eine Differenzierung in unterschiedliche Fahrzeugkategorien:

- einspurige Fahrzeuge
- Personenkraftwagen
- Autobusse und Obusse
- Lieferwagen
- Lastkraftwagen mit Anhänger

- Sonstiger Güterverkehr
- Spezialfahrzeuge

Die für einen bestimmten Querschnitt der Straße erfasste Verkehrsbelastung (Verkehrsstärke) wird durch das Österreichische Statistische Zentralamt ausgewertet, auf einen Jahresdurchschnittswert hochgerechnet und als repräsentative Größe für einen bestimmten Straßenabschnitt dargestellt, sodass für das gesamte österreichische Bundesstraßennetz alle 5 Jahre flächendeckende Verkehrsinformationen zur Verfügung stehen. Die nachfolgende Abbildung 23 zeigt ein Erfassungsformular, welches für die händischen Verkehrszählungen eingesetzt wird.

Straßenverkehrszählung 19.....

Zählblatt für die Zählstelle | in km | Bundesland:

Straße

Lfd. Nr. gem. Zählplan | Richtung von: nach:

Zählstrecke: km bis Datum des Zähltages:

Personenverkehr					**Güterverkehr**							
Einspurige Kraftfahrzeuge	Personenkraftwagen		Autobusse und Obusse		Lieferwagen		Lastkraftwagen ohne Anhänger		Lastkraftwagen mit Anhänger		Sonstiger Güterverkehr	Spezialfahrzeuge	Fahrräder
	I	A	I	A	I	A	I	A	I	A			

Abbildung 23: Erfassungsformular der händischen Verkehrszählung [13]

In der Straßendatenbank VIABASE_AUSTRIA sind die vollständigen Ergebnisse der händischen Verkehrszählungen ab dem Jahr 1985 enthalten. Sie bilden die Grundlage für die weiterführenden Berechnungen bzw. Ableitungen von Kennzahlen der Verkehrsbelastung (z.B. JDTLV, Anteil Fahrzeugkategorien, etc.).

4.5.2.2 Automatische Verkehrszählungen

Die österreichische automatische Verkehrszählung erfolgt kontinuierlich über fixe Querschnittszähleinrichtungen (Zählstellen) in erster Linie auf dem hoch belasteten Bundesstraßennetz durch das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Die einzelnen Zähleinrichtungen sind zum Teil unterschiedlich ausgerüstet. Einige dieser Zählstellen sind mit Achslastwaagen versehen, die Informationen über das Achslastspektrum des Schwerverkehrs liefern. Im Gegensatz zu den händischen Verkehrszählungen erfolgt hier keine Unterscheidung in 7 verschiedene Fahrzeugkategorien sondern lediglich in folgende Gruppen [14], sofern die Zählstelle für LKW-Unterscheidungen ausgerüstet ist:

- Anzahl KFZ
- Anzahl LKW, welche aufgrund der automatischen Fahrzeugartenunterscheidung als LKW-ähnlich erkannt wurden
- Anzahl SLz, welche aufgrund der automatischen Fahrzeugartenunterscheidung als Sattel- oder Lastzüge erkannt wurden
- Anzahl PAB, welche aufgrund der automatischen Fahrzeugartenunterscheidung als Personenkraftwagen mit Anhänger oder Autobus erkannt wurden

Für eine flächendeckende Ermittlung der aktuellen Verkehrsbelastungen auf den einzelnen Straßenabschnitten ist die Dichte der automatischen Zählstellen zu gering. Die Ergebnisse der automatischen Verkehrszählung werden daher im Zuge der Datenanalyse für die Hochrechnung der Daten der zurückliegenden händischen Verkehrszählungen herangezogen.

4.6 Informationen über den Straßenzustand

4.6.1 Allgemeines

Zur Beschreibung der Eigenschaften einer Oberbaukonstruktion dient neben den Informationen über den Schichtaufbau und dessen Verkehrsbeanspruchung auch der zu einem bestimmten Zeitpunkt erfasste Zustand der Konstruktion. Der Zustand einer Straßenbefestigung wird in erster Linie über die Art und den Umfang eines aufgetretenen Schadens beschrieben, d.h. ein erkennbarer Schaden kann als Indikator für die Beurteilung des augenblicklichen Straßenzustandes herangezogen werden. Sind keine sichtbaren bzw. messbaren Schäden vorhanden, so befindet sich die Oberfläche des Straßenabschnitts in einem sehr guten Zustand. Eine solche Oberbaukonstruktion kann dennoch einen schlechten Zustand aufweisen, wenn die Schädigung innerhalb der Konstruktion auftritt (z.B. fehlender Lagenverbund, Risse an der Unterseite von bituminösen Tragschichten, etc.). Diese Schädigung kann jedoch nicht über den Straßenzustand an der Straßenoberfläche beschrieben werden, sondern hier sind Überlegungen hinsichtlich des Alters und der Aufbaugeschichte der Oberbaukonstruktion erforderlich (siehe dazu Kapitel 5.4.5).

Der **Zustand** einer Straße ist daher im Sinne des Pavement Managements der zu einem bestimmten Zeitpunkt aufgenommene Grad der Schädigung des Bauwerks Straße. Ein **Schaden** im Sinne des Pavement Managements bedeutet deshalb eine Veränderung der Eigenschaften eines Teils oder des gesamten Bauwerks Straße in Form einer Verschlechterung. Dabei können Schäden entweder erkennbar oder nicht erkennbar sein. **Erkennbare Schäden** sind Veränderungen, die visuell oder unter Zuhilfenahme von Messgeräten bzw. Messverfahren über beschreibende Kenngrößen dargestellt werden. Äußerlich **nicht erkennbare Schäden** sind Veränderungen, die weder visuell noch mit Hilfe von Messverfahren dargestellt werden können. Nicht erkennbare Schäden können – ohne detaillierte Materialuntersuchungen auf Projektebene – nur indirekt über erkennbare Schäden oder die Aufbaugeschichte bzw. die Altersstruktur abgeschätzt werden.

Die nachfolgenden Kapiteln beschäftigen sich ausschließlich mit der Erfassung von erkennbaren Schäden, die in Form von beschreibenden Kenngrößen dargestellt werden. Diese Kenngrößen werden auch als Zustandsmerkmale bezeichnet. Ein **Zustandsmerkmal** dient zur qualitativen und quantitativen Darstellung des Straßenzustandes [33]. Die mit Werten hinterlegten bzw. definierten Zustandsmerkmale werden auch als Zustandsdaten eines Straßenabschnitts oder eines Straßennetzes bezeichnet und sind das Ergebnis von Zustandserfassungen.

4.6.2 Zustandserfassung

Der Zustand einer Straße wird durch die Aufnahme und Beurteilung von Schäden qualifiziert und quantifiziert. Handelt es sich dabei um eine formalisierte, periodische Aufnahme dieser Ist-Zustände, so spricht man allgemein von einer Zustandserfassung oder Zustandserhebung. Dabei sind wiederum in Abhängigkeit vom Detaillierungsgrad der Informationen Zustandserfassungen auf Netz- und auf Projektebene zu unterscheiden. Zustandserfassungen können in Abhängigkeit von der Aufnahme- oder Erfassungsmethodik wie folgt unterschieden werden:

- Visuelle Straßenzustandserfassungen sind gekennzeichnet durch eine Aufnahme und Begutachtung der sichtbaren Schäden durch Erfassungspersonal direkt vor Ort oder durch eine Aufnahme der Schäden mit Film-, Bild-, Videosystemen, etc. und einer Begutachtung durch das Erfassungspersonal unabhängig vom Aufnahmeort (evtl. unter Zuhilfenahme von semi-automatischen Vorauswertesystemen).
- Sensitive Straßenzustandserfassungen sind gekennzeichnet durch eine Aufnahme der Schäden infolge Einwirkung auf das Erfassungspersonal. Z.B. Beurteilung der Längsebenheit der Straße durch das Befahren der Straße.
- Messtechnische Straßenzustandserfassungen sind gekennzeichnet durch eine Aufnahme der Schäden mit Hilfe von automatischen oder halbautomatischen Messeinrichtungen (z.B. Messung der Griffigkeit mit dem Stuttgarter Reibungsmesser). Hier wird grundsätzlich unterschieden zwischen Hochleistungsgeräten, die für eine Erfassung mit hoher Geschwindigkeit ausgelegt sind, und punktförmig einzusetzenden Geräten, die für eine Beurteilung auf Projektebene herangezogen werden.

Die Informationen über den Straßenzustand werden in Österreich im Rahmen von messtechnischen und visuellen Zustandserfassungen gesammelt, die periodisch durchgeführt werden (wünschenswert alle 3-5 Jahre). Die erste bundesweite messtechnische Zustandserfassung (Autobahnen, Schnellstraßen und Bundesstraßen der Kategorie B) wurde in den Jahren 1991 bis 1996 durchgeführt und mit einer visuellen Zustandserfassung 1995 ergänzt. Die zweite messtechnische Zustandserfassung fand 1999 ausschließlich auf den Autobahnen und Schnellstraßen statt (ASFINAG-Netz) und wurde im Jahr 2000 wiederum durch eine visuelle Zustandserfassung (gesamtes Bundesstraßennetz) erweitert.

Aus den ersten Erfahrungen der Zustandserfassungen 1991 bis 1996 bzw. 1995 (siehe [33]) konnten zwei wichtige Grundlagen für die Erfassung von erhaltungsrelevanten Straßenzustandsinformation erarbeitet werden, die erstmalig im Rahmen der visuellen Zustandserfassung 2000 angewendet wurden. Es handelt sich dabei um folgende Unterlagen:

- **Österreichischer Schadenskatalog des ISTU** [15]: Dieser beinhaltet eine Auflistung unterschiedlicher in Österreich möglicher Schädigungen der

Bausubstanz der Straße. Darüber hinaus gibt er Auskunft über mögliche Schadensursachen, die Erfassung des Schadensausmaßes, die Einteilung der Schäden nach Schadensschwere, etc. Der Österreichische Schadenskatalog des ISTU wurde sowohl für die Zustandserfassung auf Netzebene als auch auf Projektebene konzipiert.

- **Arbeitsanweisung zur visuellen Zustandserfassung 2000** [16]: Diese Arbeitsanweisung wurde im Zuge der visuellen Zustandserfassung 2000 auf dem österreichischen Bundesstraßennetz erarbeitet und bildet eine detaillierte Anleitung zur Erfassung von erhaltungsrelevanten Schäden auf Netzebene. Als Grundlage für die Erstellung der Arbeitsanweisung wurde der Schadenskatalog des ISTU herangezogen.

Diese Unterlagen sollen wesentlich zur Vereinheitlichung bzw. Objektivierung in erster Linie der visuellen Straßenzustandserfassungen beitragen. Sie sollen sicherstellen, dass im Zuge der Erfassung eine möglichst einheitliche Schadensansprache und Schadensbewertung und folglich eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse gegeben ist. Ein bundesweites Erhaltungsmanagementsystem ist nur dann möglich, wenn die Ergebnisse jedes Teilnetzes miteinander verknüpft werden können (bundesweite Auswertung auf Netzebene). Auf den nächsten Seiten ist sowohl ein Auszug aus dem Schadenskatalog [15] als auch aus der Arbeitsanweisung [16] dargestellt (siehe Abbildung 24 und Abbildung 25).

Im Zuge dieser Arbeit wird nicht näher auf die Methoden und Verfahren der Straßenzustandserfassungen eingegangen, da sie nicht das primäre Ziel der Arbeit darstellen und den Umfang wesentlich erhöhen würden. Es sei an dieser Stelle jedoch erwähnt, dass die Straßenzustandserfassung wichtige Grundlagen für die Analyse liefert (Zustandsdaten) und daher einen wesentlichen Teil des Pavement Managements darstellt. Eine Straßenzustandserfassung dient dabei nicht nur zur Auflistung der auf einem bestimmten Straßennetz aufgetretenen Schäden, sondern soll auch jene Abschnitte mit Kennwerten belegen, wo derzeit keine Schäden zu finden sind. Dies bedeutet, dass eine Straßenzustandserfassung nicht nur eine Schadenserfassung darstellt.

Eine aktuelle Zusammenfassung über die in Österreich und in den Nachbarstaaten anzutreffenden Erfassungs- und Messmethoden sowie Messeinrichtungen ist z.B. in [17] enthalten.

4.1 Flickstelle (oberflächlich)

Beschreibung des Schadens:

Oberflächliche Behandlung von Schadstellen

Foto: Streckel

Abb.4.1.1 Flickstellen

Mögliche Schadensursachen:

Flickstellen entstehen z.B. durch das Versiegeln einer Ausmagerung mit einer Oberflächenbehandlung oder durch das Ausgleichen von Verformungen (Profilieren)

Foto: ISTU

Abb.4.1.2 Flickstellen

Voraussichtliche Schadensentwicklung:

Wird z.B. eine Ausmagerung durch eine Flickstelle saniert, so kann davon ausgegangen werden, daß der Schaden behoben ist. Liegt die Schadensursache in tieferen Schichten so ist die Flickstelle meist nur als kurzfristige Maßnahme anzusehen. Solche Schäden treten oft nach kurzer Zeit wieder auf.

Schadensschwere:

Flicke dienen als Indikator für vorangegangene Schäden. Die Beurteilung der Substanz unter dem Flick ist auf visuellem Wege nicht möglich, eine Schadensschwere ist daher bei Flickstellen nicht anzuwenden. Schäden auf Flicken (z.B. Risse, Abplatzungen) sind wie Schäden außerhalb der Flicke aufzunehmen.

Schadensausmaß:

Aufnahme der betroffenen Fläche in % (des betrachteten Abschnittes) unter Verwendung der Schätzhilfe.

Querverweise:

Reparaturstellen (4.2) bedeuten eine (tiefergreifende) Auswechslung von Asphaltschichten

Abbildung 24: Auszug aus dem Österreichischen Schadenskatalog des ISTU [15]

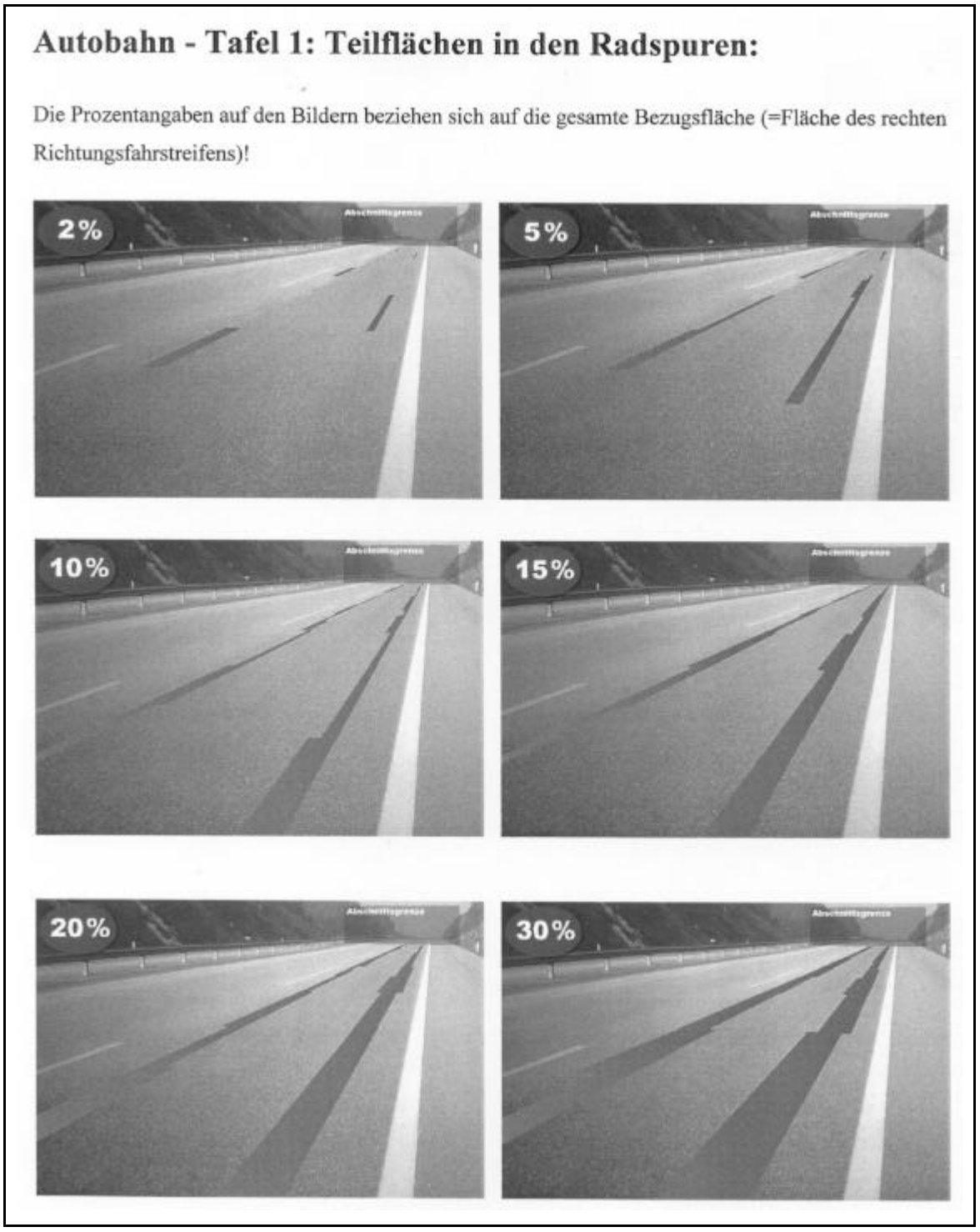


Abbildung 25: Auszug aus der Arbeitsanweisung zur visuellen Zustands-erfassung 2000 auf den österreichischen Bundesstraßen [16]

4.6.3 Zustandsdaten

Die als Ergebnis einer Zustandserfassung vorliegenden Zustandsdaten werden in Abhängigkeit von der Erfassungsmethodik wie folgt unterschieden:

- Erfassungsgrößen auf Erfassungsabschnitten sind das Ergebnis von visuellen Zustandserfassungen
- Messgrößen auf Messabschnitten sind das Ergebnis von messtechnischen Zustandserfassungen

Aus den bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt durchgeführten Zustandserfassungen können folgende Informationen bzw. Zustandsdaten für die systematische Straßenerhaltung herangezogen werden:

Visuell-sensitive Zustandserfassung 1995 [33]:

- Einzelrisse und offene Nähte in [m]
- Netzrisse als Flächenbezugswert in [%] zur Fläche aller Fahrstreifen
- Ausmagerungen als Flächenbezugswert in [%] zur Fläche aller Fahrstreifen
- Ausbrüche als Flächenbezugswert in [%] zur Fläche aller Fahrstreifen
- Spurrinnen in [mm] unter der 2m-Latte an einer repräsentativen Stelle des Erfassungsabschnitts unter Angabe der Anteile, die auf Verformung und auf Abrieb zurückzuführen sind
- Unebenheit als Ergebnis einer subjektiven Wahrnehmung bei der Befahrung des Abschnitts in [%] (Skala von 0 bis 100%)

Die Festlegung der Erfassungsabschnittsgrenzen erfolgte dabei in Abhängigkeit von der „Gleichartigkeit der Schadensmerkmale“, wobei die Änderungen des Belags, die Grenzen des Abschnittsverzeichnisses, wesentliche Unterschiede im Alter der Konstruktion, etc. ebenfalls bei der Abschnittsbildung berücksichtigt wurden [33].

Messtechnische Zustandserfassung 1991 bis 1996

- Spurrinnen in [mm] unter der 2m-Latte
- Griffigkeit in Form des dimensionslosen Reibungsbeiwertes (Mittelwert, Extremwerte, Varianz und Standardabweichung)

Die Messergebnisse wurden im Zuge der Auswertung auf die Abschnitte der visuell-sensitiven Zustandserfassung 1995 umgelegt und gemeinsam mit diesen Informationen in einer speziellen ACCESS-Datenbank gespeichert. Diese Datengrundlage wurde bei der Erstellung der Straßendatenbank VIABASE_AUSTRIA ohne Änderungen übernommen.

Messtechnische Zustandserfassung 1999 (ausschließlich Autobahnen und Schnellstraßen)

- Griffigkeit in Form des dimensionslosen Reibungsbeiwertes
- Spurrinnen in [mm] unter der 2m-Latte (rechte und linke Radspur, Maximalwert)
- Längsebenheit in Form des „International Roughness Index (IRI)“ in [m/km]
- Textur als mittlere Profiltiefe in [mm]

Die Messgrößen für Griffigkeit und Längsebenheit wurden für Messabschnittslängen von 50 m und jene für Spurrinnen und Textur für Messabschnittslängen von 25 m ausgewertet. Im Zuge der Nachbearbeitung der Messdaten wurden diese auf längere „homogene Abschnitte“ transformiert und danach in die Datenbank VIABASE_AUSTRIA implementiert, sodass nicht die Messgrößen, sondern repräsentative Zustandsgrößen auf homogenen Zustandsabschnitten in der Datenbank zu finden sind. Die Verfahren bzw. Methoden für diese Transformation können dem nachfolgenden Kapitel 4.6.4 entnommen werden.

Visuelle Zustandserfassung 2000 [16]:

- Oberflächenschäden als Flächenbezugswert in Form des Schadensausmaßes in [%] zur Fläche des Erfassungsabschnitts und in Form der Schadensschwere (3-teilige Bewertungsskala S1 bis S3)
- Flickstellen (bei bituminösen Befestigungen) und Reparaturstellen aus Asphalt (bei Betondecken) als Flächenbezugswert in [%] zur Fläche des Erfassungsabschnitts
- Einzelrisse und offene Nähte in Form des Schadensausmaßes in [m] und als Schadensschwere (3-teilige Bewertungsskala S1 bis S3)
- Netzrisse und/oder flächenhafte Rissausbreitungen als Flächenbezugswert in Form des Schadensausmaßes in [%] zur Fläche des Erfassungsabschnitts und in Form der Schadensschwere (3-teilige Bewertungsskala S1 bis S3)

Die Grenzen der Erfassungsabschnitte bezogen sich auf die vor Ort aufgestellten Kilometerzeichen, sodass sich auf Bundesstraßen der Kategorie A und S eine Erfassungsabschnittslänge von 500 m und auf Bundesstraßen der Kategorie B eine Länge von 200 m ergab. Darüber hinaus wurden in Anlehnung an die visuell-sensitive Zustandserfassung 1995 auch Oberbaugrenzen, Bauwerke, Netzknoten, etc. bei der Abschnittsbildung berücksichtigt. Die Ergebnisse dieser Erfassung konnten direkt aus den Erfassungsformularen in die Datenbank VIABASE_AUSTRIA übernommen werden.

4.6.4 Homogene Zustandsabschnitte

4.6.4.1 Definition homogener Abschnitt

Spricht man im Rahmen des Datenmanagements von einem Abschnitt, so wird darunter i.A. einer homogener Datenabschnitt verstanden. Dies bedeutet, dass für diesen Bereich der Straße die Daten eine konstante Größe bzw. einen konstanten Wert aufweisen. Die Länge von homogenen Datenabschnitten ist daher wesentlich von der Art bzw. der Eigenschaft der Daten abhängig. Ein homogener Verkehrsabschnitt wird zwischen zwei Knoten eine konstante Verkehrsstärke zum Zeitpunkt *t* aufweisen, sofern zwischen den Knoten keine zusätzlichen Wegeinmündungen situiert sind. Ein homogener Zustandsabschnitt besitzt hingegen nur eine vergleichsweise kurze Länge, auf welcher der Wert tatsächlich konstant vorliegt (abhängig vom Zustandsmerkmal). Wären sämtliche kurzen Zustandsabschnitte in einer Datenbank gespeichert, so würden für dieses eine Zustandsmerkmal eine unüberschaubare Vielzahl von Abschnitten in der Datenbank existieren, was im Rahmen des Datenmanagements auch mit sehr leistungsfähigen Datenbank- und Computersystemen nur bedingt handhabbar wäre. Aus diesem Grund ist es erforderlich, sehr kurze „homogene“ Abschnitte zu längeren „repräsentativen homogenen“ Abschnitten zusammenzufassen, die mit für diesen Abschnitt „repräsentativen“ Werten belegt sind. Die kleinsten i.A. zur Verfügung stehenden Abschnitte sind Erfassungs- oder Messabschnitte, die im Rahmen der Datenaufnahme durch Messung oder Erfassung erzeugt wurden.

4.6.4.2 Erfassungs- und Messabschnitte

Erfassungs- und Messabschnitte sind das Ergebnis der Zustandserfassung auf dem Objekt Straße. Die Länge eines Erfassungs- oder Messabschnitts hängt dabei von folgenden Einflussgrößen und Randbedingungen ab:

- Eigenschaft der erfassten Information (Griffigkeit, Risse, etc.)
- Erfassungsmethodik: messtechnische oder visuelle Erfassung
- Örtlichkeit der Erfassung: Autobahn, Landesstraße, etc.
- Bezugs- oder Ordnungssystem: km-Zeichen, Netzknoten
- Erforderliche Genauigkeit der Information: Netz- oder Projektebene

Erfassungs- oder Messabschnitte sind die in Abhängigkeit von den zuvor aufgelisteten Einflussgrößen und Randbedingungen kleinsten repräsentativen Abschnitte für eine bestimmte Dateneigenschaft. Die kürzeste zulässige Länge dieser Abschnitte ist dabei abhängig von der

- Erfassungsmethodik (visuell oder messtechnisch) und der
- Betrachtungs- bzw. Entscheidungsebene (Projektebene kurze Abschnitte, Netzebene längere Abschnitte)

Im Zuge der visuellen Zustandserfassung 2000 (Erfassung auf Netzebene) wurde – wie erwähnt – auf den Bundesstraßen der Kategorie A und S eine Länge von 500 m und auf Bundesstraßen der Kategorie B eine Länge von 200 m als geeignete Erfassungslänge für die Datenabschnitte festgelegt, da auch die Stationierungen (Bezugssystem) diese Abstände auf den jeweiligen Straßenkategorien aufweisen. Im Vergleich dazu, wurden im Rahmen der messtechnischen Zustandserfassung 1999 auf den Autobahnen und Schnellstraßen (ebenfalls Erfassung auf Netzebene), 25 bzw. 50 m lange Messabschnitte verwendet. Die Stationierung der Abschnitte erfolgte automatisch, sodass die Erfassungsgeschwindigkeit durch die kurzen Abschnitte nicht beeinträchtigt wurde.

Die Zusammenfassung von sehr kurzen Erfassungs- oder Messabschnitten erfolgt durch die Anwendung spezieller Algorithmen, die i.A. auf der Grundlage statistischer Auswerteverfahren oder Trendanalysen beruhen. Jede Zusammenfassung von kurzen zu längeren Abschnitten ist jedoch mit einem Verlust der Datenschärfe oder der Datengenauigkeit verbunden.

4.6.4.3 Bildung repräsentativer homogener Zustandsabschnitte

Ein repräsentativer homogener Zustandsabschnitt, der aus einzelnen Erfassungs- oder Messabschnitten gebildet wird, soll ein einfacheres (geglättetes) Bild der Werte bzw. Größen der Daten darstellen. Welche Methoden bzw. Algorithmen zur Bildung von längeren repräsentativen homogenen Straßenabschnitten herangezogen werden, hängt von folgenden Einflussgrößen ab:

- Eigenschaft der Daten
- Weiterführende Verwendung der Abschnitte (Datentransformation, dynamische Segmentierung, etc.)
- Verfügbarkeit von Bewertungskriterien zur Festlegung bzw. Definition von Abschnittsgrenzen für die homogenen Abschnitte
- Minimal- und Maximallängen
- Streuung der Daten
- Auswirkungen der Abschnittsfestlegung auf die Ergebnisse im PMS

Die Bildung von repräsentativen homogenen Abschnitten bzgl. Straßeninformationen erfolgt i.A. nach zwei voneinander unabhängigen Einzelschritten:

- Abgrenzung: Ermittlung oder Festlegung der Abschnittsgrenzen der repräsentativen homogenen Zustandsabschnitte
- Zuordnung: Ermittlung einer repräsentativen (homogenen) Zustandsgröße für diesen Abschnitt

4.6.4.3.1 Ermittlung oder Festlegung der Abschnittsgrenzen

Die einfachste Methode zur Festlegung der Abschnittgrenzen von repräsentativen homogenen Zustandsabschnitten erfolgt durch eine visuelle Beurteilung des Verlaufs der Messwerte (Messreihe) und eine dementsprechende Unterteilung durch einen oder mehrere Beobachter. Diese Methode ist nur dann sinnvoll und zielführend, wenn einerseits die zu betrachtende Datenmenge gering ist und andererseits bei geringen Streuungen deutliche Unterschiede des Erfassungs- bzw. Messgrößenverlaufs ersichtlich sind, die z.B. durch bekannte externe Einflussgrößen (z.B. Änderung der Oberbaukonstruktion) bewirkt werden. Die nachfolgende Abbildung 26 zeigt schematisch einen Messgrößenverlauf, wo eine Definition der Abschnittgrenzen bei visueller Betrachtung möglich erscheint.

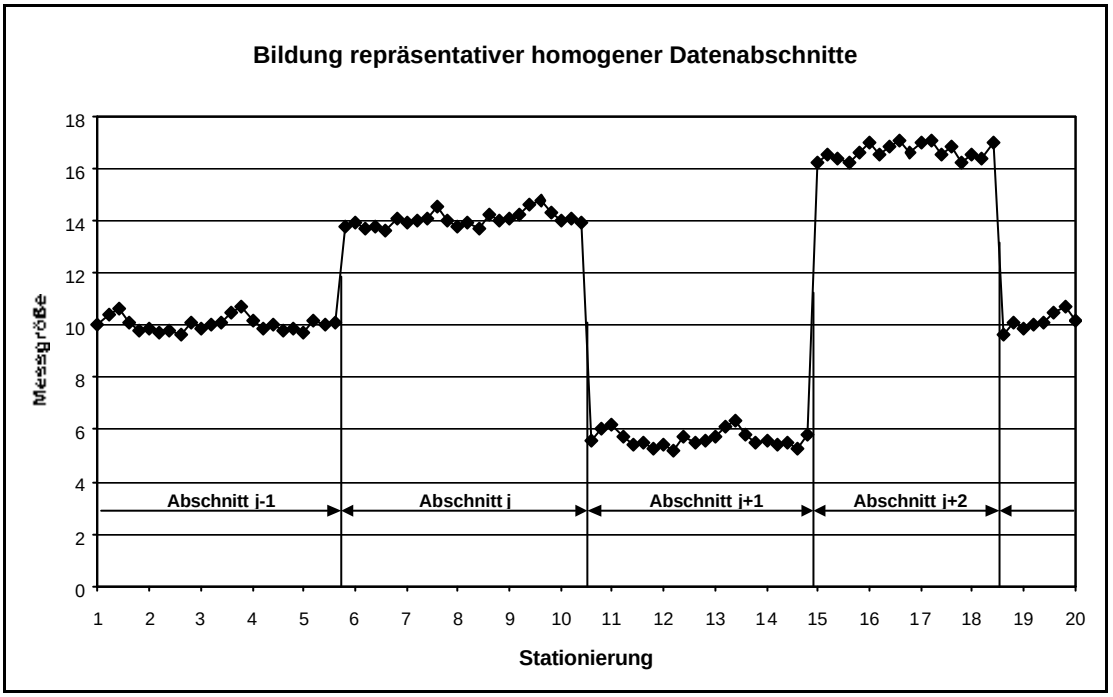


Abbildung 26: Bildung repräsentativer homogener Zustandsabschnitte (visuelle Beurteilung)

Variieren die Werte der Erfassungs- bzw. Messabschnitte sehr stark, so ist diese Methode nicht mehr anwendbar. Hier muss auf ein komplexeres Verfahren zurückgegriffen werden, das z.B. in einem ersten Schritt eine Glättung der Messgrößen vorsieht.

Die Glättung der Mess- bzw. Erfassungsgrößen erfolgt durch die Anwendung eines Glättungsfilters (symmetrisch oder asymmetrisch), der in Form des gleitenden Mittelwertes nach folgender Gleichung berechnet werden kann [18]:

$$\overline{MG_i}\left(x_p\right) = \frac{1}{2 \cdot q + 1} \cdot \sum_{r=-q}^{q} MG_i\left(x_{p+r}\right) \qquad \text{(Gl. 4.9)}$$

mit: $\overline{MG}_i(x_p)$ ...gleitender (symmetrischer) Mittelwert der Mess- bzw. Erfassungsgröße des Merkmals i des Mess- oder Erfassungsabschnitts x_p

$MG_i(x_p)$ ....Mess- bzw. Erfassungsgröße des Merkmals i des Mess- oder Erfassungsabschnitts x_p
q.....Anzahl der Erfassungs- oder Messabschnitte vor bzw. nach dem Abschnitt x_p, die für die Berechnung des gleitenden Mittelwertes herangezogen werden
r .....Mess- bzw. Erfassungsabschnitt

In der Regel werden für die Glättung der Mess- bzw. Erfassungsgrößen symmetrische Glättungsfilter verwendet, bei denen die Anzahl der Abschnitte vor und nach dem zu untersuchenden Abschnitt gleich ist. Asymmetrische Glättungsfilter werden hingegen zur Lösung des Randwertproblems am Anfang und am Ende der Messreihe bzw. des Messbereichs herangezogen. Die Anzahl der Erfassungs- bzw. Messabschnitte vor bzw. nach dem betrachteten Abschnitt (Mittelungslänge, Fenster des gleitenden Mittelwerts), für die der gleitende Mittelwert berechnet wird, hängt einerseits von der Länge der zusammenzufassenden Abschnitte und andererseits von der gewünschten Mindestlänge der repräsentativen homogenen Abschnitte ab [18]. Welchen Einfluss die Anzahl der Abschnitte vor bzw. nach der betrachteten Stelle ausübt, zeigt beispielhaft die nachfolgende Abbildung 27.

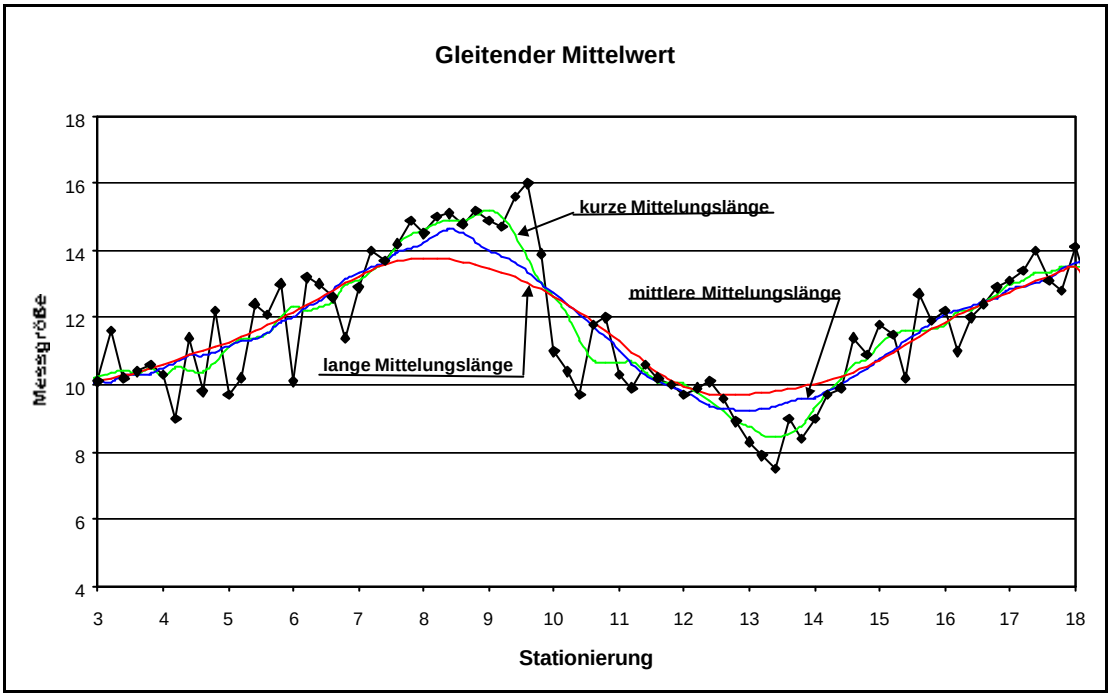


Abbildung 27: Gleitender Mittelwert bei unterschiedlichen Mittelungslängen

Die Festlegung der Abschnittgrenzen wird in der Folge über die Betrachtung des Verlaufs des gleitenden Mittelwertes vorgenommen.

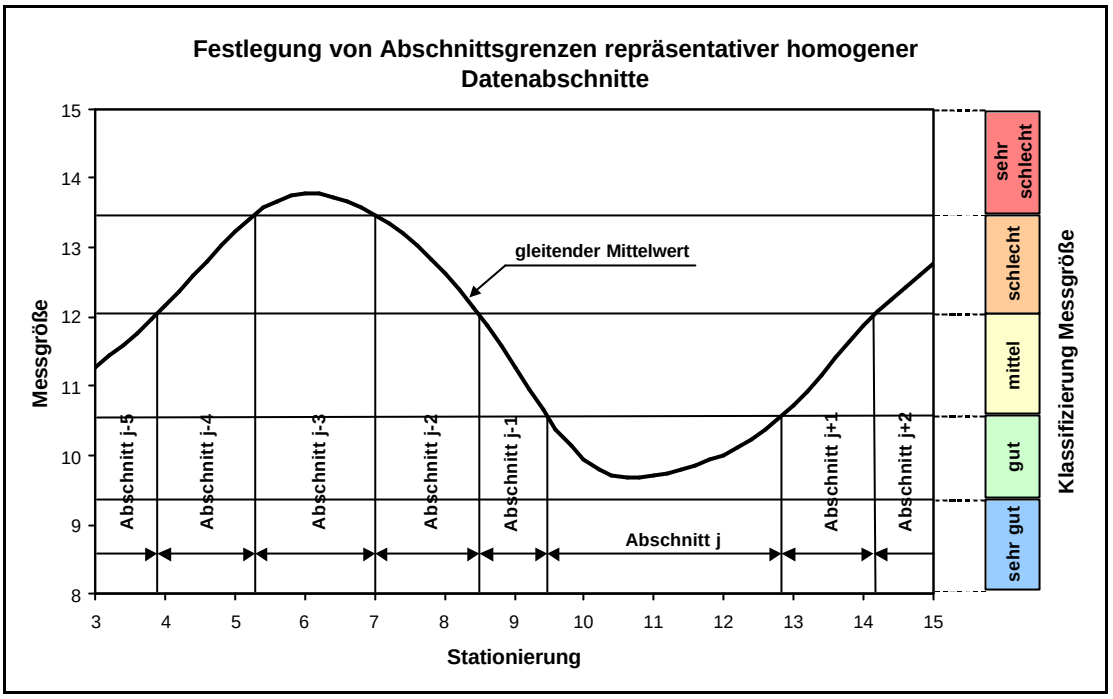


Abbildung 28: Festlegung von Abschnittgrenzen unter Zuhilfenahme einer Klassifizierung der Messgröße (Bewertungshintergrund)

Liegen Informationen vor, die eine Klassifizierung der Mess- bzw. Erfassungsgröße des Merkmals *i* ermöglichen (sehr gut, gut, mittel, usw.), so kann durch eine direkte Anwendung dieser Klassifizierung eine Festlegung der Abschnittsgrenzen erfolgen (siehe Abbildung 28).

RÜBENSAM und SCHULZE [19] entwickelten ein anderes Verfahren zur Bildung von repräsentativen homogenen Abschnitten, das den gleitenden Mittelwert einer entsprechenden Beurteilung (Trendanalyse) unterzieht. Die Festlegung der Abschnittsgrenzen erfolgt dabei durch die Berechnung der Absolutdifferenz $D_{GM,j}(x_p)$ zwischen den gleitenden Mittelwerten am Anfang und am Ende der Mittelungslänge (Abstand 2q+1).

$$D_{GM,i}(x_p) = \left|\overline{MG}_i(x_{p-q}) - \overline{MG}_i(x_{p+q})\right| \qquad \text{(Gl. 4.10)}$$

mit: $D_{GM,i}(x_p)$...Absolutdifferenz der gleitenden Mittelwerte am Anfang und am Ende der Mittelungslänge für den Erfassungs- oder Messabschnitt x_p für das Merkmal i

Überschreitet dieser Wert einen gewissen kritischen Wert, d.h. ist die Trendänderung sehr stark, ist dies ein Hinweis darauf, dass in Folge eine Abschnittsgrenze gebildet werden sollte. Dieser Grenzwert sollte dabei wiederum mit einem entsprechenden Bewertungshintergrund des Merkmals *i* abgestimmt sein. Die deutschen Untersuchungen haben gezeigt, dass die genaue Grenze für den neuen Abschnitt am sinnvollsten nicht schon am Punkt der ersten Überschreitung des Grenzwertes liegen sollte, sondern an der Stelle des lokalen Maximums der Kurve der Absolutdifferenz der gleitenden Mittelwerte $D_{GM,i}(x_p)$ [19]. Dieser Punkt entspricht in etwa dem Wendepunkt des Verlaufs der gleitenden Mittelwerte (siehe Abbildung 29).

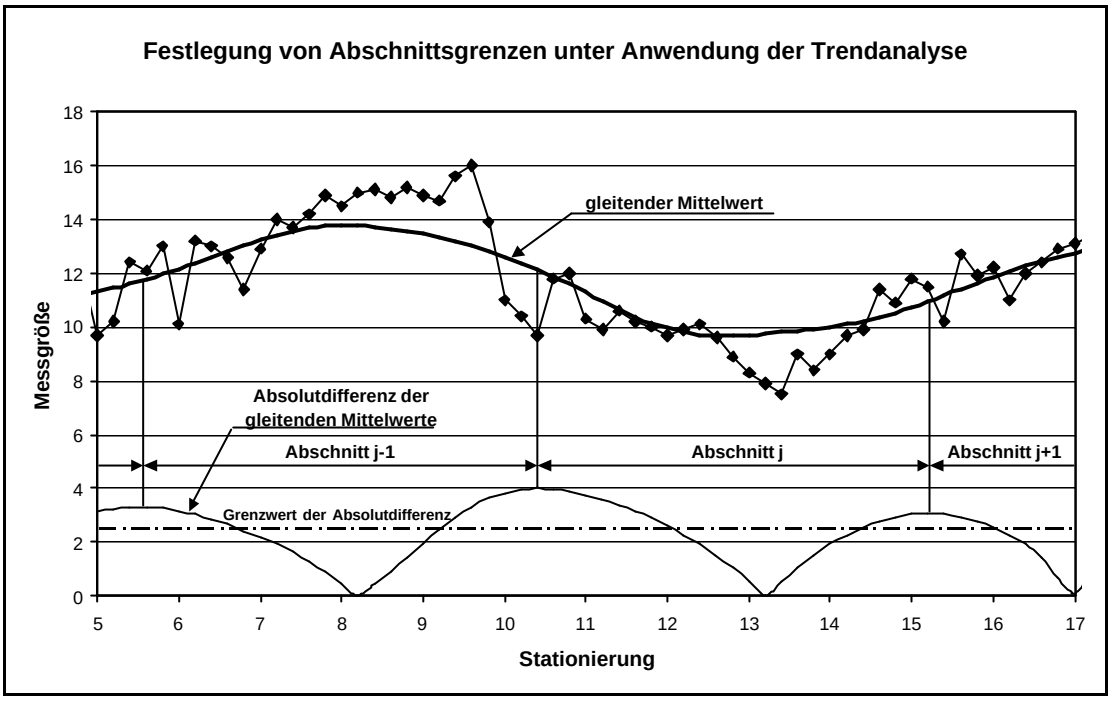


Abbildung 29: Festlegung von Abschnittgrenzen unter Anwendung der Trendanalyse nach [19]

Bei einer langsamen kontinuierlichen Trendänderung (Grenzwert der Absolutdifferenz $D_{GM,i}(x_p)$ wird nicht überschritten) muss eine zusätzliche Betrachtung der bereits definierten Abschnitte über die Variationsbreite erfolgen, da hier die Anwendung der Absolutdifferenz nicht immer ein zufriedenstellendes Ergebnis liefert. Unter Variationsbreite $V_{GM,i}(j)$ wird dabei die Differenz des kleinsten und des größten Wertes des gleitenden Mittelwertes eines Abschnittes verstanden [18].

$$V_{GM,i}(j) = \overline{MG}_{i,\max(j)} - \overline{MG}_{i,\min(j)} \qquad \text{(Gl. 4.11)}$$

mit: $V_{GM,i}(j)$ .....Variationsbreite des gleitenden Mittelwertes des Abschnitts j für das Merkmal i

Zeigt sich, dass die Variationsbreite einen sehr großen Wert annimmt – dies wird bei Abschnitten auftreten, wo ein kontinuierlicher Anstieg der Trendänderung vorhanden ist – so muss der entsprechende Abschnitt mindestens einmal unterteilt werden. Die Festlegung eines Grenzwertes der Variationsbreite kann in diesem Fall in Abhängigkeit vom zuvor festgelegten Grenzwert der Absolutdifferenz erfolgen.

Auch im AASHTO-Guide [25] wird ein Verfahren zur Festlegung von repräsentativen homogenen Datenabschnitten beschrieben, das ähnlich zum Verfahren nach [19] über den Verlauf eines Differenzwertes die Abschnittsgrenzen definiert. Dabei wird jedoch nicht über die Absolutdifferenz des gleitenden Mittelwertes am Anfang und am Ende der Mittelungslänge errechnet (Funktion siehe „Verfahren nach RÜBENSAM und SCHULZE“), sondern über die kumulierte Differenz der Fläche unterhalb der Messreihe und der Fläche unterhalb eines Durchschnittswertes des Merkmals *i* des Messbe-

reichs (z.B. Mittelwert des Merkmals *i*) bis zur Stelle x_p. Eine Vorzeichenänderung des Anstiegs der kumulativen Differenz führt dabei zur Festlegung der Abschnittsgrenze (siehe Abbildung 30). Bei diesem Verfahren wird weder der gleitende Mittelwert noch ein Bewertungshintergrund für das Merkmal *i* benötigt.

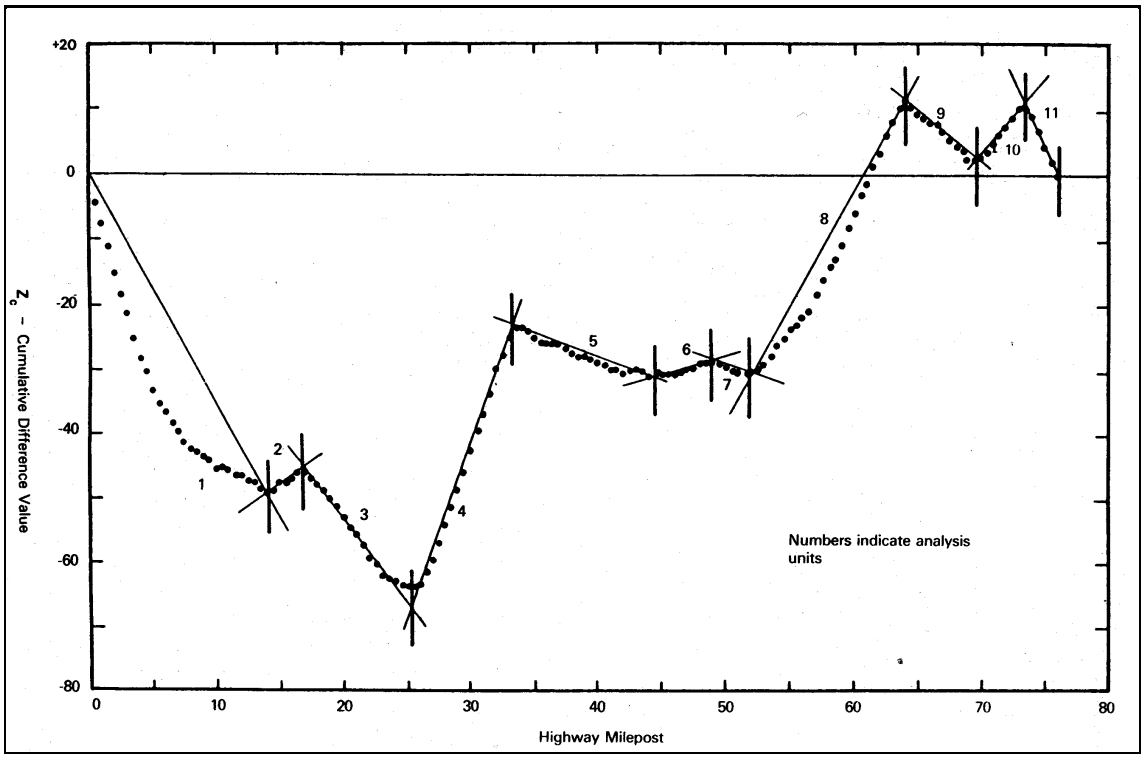


Abbildung 30: Festlegung von Abschnittgrenzen nach [25]

Neben der Trendanalyse sind vor allem statistische Verfahren für die Festlegung von Abschnittsgrenzen repräsentativer homogener Datenabschnitte in Verwendung (basierend auf statistischen Entscheidungstheorien). Die Definition der Abschnittsgrenzen erfolgt dabei durch die Bestimmung der Wahrscheinlichkeit, dass es sich bei einer bestimmten Stelle der Messreihe tatsächlich um eine Abschnittsgrenze handelt (change-point-problem [20]).

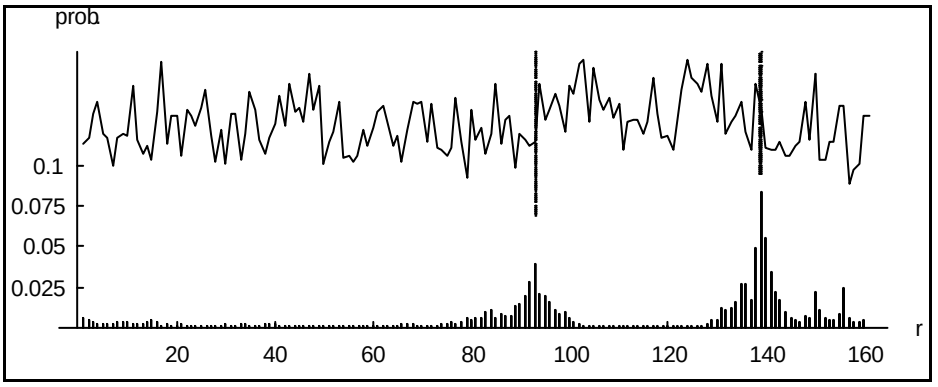


Abbildung 31: Festlegung von Abschnittgrenzen über die Angabe von Wahrscheinlichkeiten nach [20]

Die Anwendung dieser zumeist iterativ funktionierenden Verfahren ist aufgrund der Komplexität bzw. des durchzuführenden Rechenaufwandes auf kurze Abschnitte beschränkt. D.h. diese Verfahren sind besonders gut für die Kalibrierung einfacherer Methoden zur Abschnittsfestlegung geeignet.

Die Anwendung von Verfahren zur Festlegung bzw. Definition von repräsentativen homogenen Zustandsabschnitten wird in Österreich ausschließlich für Zustandsdaten verwendet, die einer messtechnischen Erfassung entstammen. Da für alle Zustandsmerkmale entsprechende Bewertungshintergründe in Form von Normierungsfunktionen (siehe Kapitel 5.4.4.2) vorliegen, sollten auch jene Verfahren herangezogen werden, die bei der Abschnittsbildung eine Bewertung des Merkmals berücksichtigen. Dies sind das vergleichsweise einfache Verfahren des gleitenden Mittelwertes mit der Festlegung der Abschnittsgrenzen über eine Klassifizierung der Mess- bzw. Erfassungsgrößen (Klassifizierungsverfahren) sowie das komplexere Verfahren nach [19] unter Anwendung der Absolutdifferenz der gleitenden Mittelwerte. Die Ergebnisse beider Verfahren sind wesentlich von der Länge des gleitenden Mittelwertes abhängig. Um die optimale Mittelungslänge zu verwenden, sollte an einem repräsentativen Straßenabschnitt ein statistisches Kontroll- oder Kalibrierverfahren angewendet werden (z.B. [20]). Erstmalig wurde das Verfahren von RÜBENSAM und SCHULZE [19] für die Messdaten der messtechnischen Zustandserfassung 1999 herangezogen. Es zeigte sich jedoch bei der Beurteilung der Ergebnisse, dass durch das Fehlen von Kontroll- und Kalibrierverfahren eine Vielzahl von Randbedingungen (z.B. Mittelungslänge, Grenzwert Absolutdifferenz, etc.) nicht zufriedenstellend festgelegt werden konnte. Darüber hinaus ist das Verfahren mit einem sehr hohen Rechenaufwand verbunden, der im Vergleich zum Klassifizierungsverfahren nur eine geringe Verbesserung der Genauigkeit bewirkt. Entscheidend für die Anwendung eines geeigneten Verfahrens ist auch die Weiterbearbeitung der Daten. Bei der Festlegung von Erhaltungsabschnitten (siehe Kapitel 4.8) werden die Zustandsdaten auf Oberbauabschnitte transformiert, sodass die Abschnittseinteilung der homogenen Abschnitte in der Regel unberücksichtigt bleibt (eine Ausnahme bilden Abschnitte, deren Mess- bzw. Erfassungsgrößen über dem Schwellenwert liegen, siehe Kapitel 4.8). Aus diesem Grund sollten einfachere und übersichtlichere Verfahren bei der Bildung von homogenen Abschnitten angewendet werden, was auch im Zuge einer Nachbearbeitung der Messergebnisse der Zustandserfassung 1999 erfolgte.

4.6.4.3.2 Ermittlung von repräsentativen Zustandsgrößen auf homogenen Zustandsabschnitten

Sind die Abschnittsgrenzen eines repräsentativen homogenen Zustandsabschnitts *j* festgelegt, so kann diesem eine repräsentative Zustandsgröße $ZG_{i,j}$ (Merkmal *i*, genaue Definition siehe Kapitel 5.4.3.1) entsprechend einer mathematischen Gesetzmäßigkeit zugeordnet werden. Diese ist wiederum von den zuvor aufgelisteten Einflussgrößen abhängig. Die nachfolgende Aufzählung gibt einen Überblick über die üblichen Berechnungsmöglichkeiten zur Bildung repräsentativer Zustandsgrößen:

- Mittelwert der Mess- bzw. Erfassungsgrößen des Abschnitts *j*

$$ZG_{i,j} = \overline{MG}_i(j) = \frac{1}{n_j} \cdot \sum_{r=a_j}^{b_j} MG_i(x_r) \text{ für } x_r \in \left[a_j, a_{j+1}, \ldots b_{j-1}, b_j\right] \qquad \text{(Gl. 4.12)}$$

mit:
- $ZG_{i,j}$ ..... Repräsentative Zustandsgröße des Merkmals i auf dem Abschnitt j
- $\overline{MG}_i(j)$ ..... Mittelwert der Mess- bzw. Erfassungsgrößen des Merkmals i auf dem Abschnitt j
- $MG_i(x_r)$ ..... Mess- bzw. Erfassungsgröße des Merkmals i des Mess- oder Erfassungabschnitts x_r
- n_j ..... Anzahl der Mess- bzw. Erfassungsgrößen auf dem Abschnitt j
- a_j ..... Anfangspunkt des Abschnitts j
- b_j ..... Endpunkt des Abschnitts j

Der Mittelwert der Mess- bzw. Erfassungsgrößen sollte in erster Linie für jene Merkmale herangezogen werden, deren Streuung nur eine untergeordnete Rolle spielt. Bezogen auf die Messergebnisse der messtechnischen Zustandserfassung 1999 trifft dies auf jene Merkmale zu, die keinen bzw. nur einen sehr geringen fahrsicherheitsspezifischen Einfluss ausüben (Teilziel „Fahrsicherheit“). Es sind dies die Merkmale

- Längsebenheit und
- Textur.

Sind die Längen der Erfassungs- oder Messabschnitte innerhalb des Abschnitts *j* nicht konstant, so muss statt dem einfachen Mittelwert ein längengewichteter Mittelwert verwendet werden.

$$ZG_{i,j} = \overline{MG}_i(j) = \frac{1}{L_j} \cdot \sum_{r=a_j}^{b_j} \left(MG_i(x_r) \cdot L_{x_r}\right) \text{ für } x_r \in \left[a_j, a_{j+1}, \ldots b_{j-1}, b_j\right]$$

(Gl. 4.13)

mit:
- L_j ..... Länge des Abschnitts j
- L_{xr} ..... Länge des Erfassung- oder Messabschnitts x_r

- Mittelwert plus Standardabweichung der Mess- bzw. Erfassungsgrößen des Abschnitts *j*

$$ZG_{i,j} = \frac{1}{n_j} \cdot \sum_{r=a_j}^{b_j} MG_i(x_r) + \sqrt{\frac{1}{n_j - 1} \cdot \sum_{r=a_j}^{b_j} \left(MG_i(x_r) - \overline{MG}_i(j)\right)^2}$$

$$\text{für } x_r \in \left[a_j, a_{j+1}, \ldots b_{j-1}, b_j\right]$$

(Gl. 4.14)

Im Gegensatz zum Mittelwert ohne Standardabweichung wird hier die Streuung der Messgrößen berücksichtigt. Bei einer Normalverteilung entspricht dies etwa der 83%-Perzentile, sodass bei einer Anwendung dieser mathematischen Gesetzmäßigkeit die Sicherheit deutlich verbessert wird. Die Bildung der repräsentativen Zustandsgröße mit Mittelwert plus Standardabweichung sollte daher für jene Merkmale herangezogen werden, deren Eigenschaften das Teilziel „Fahrsicherheit“ beschreiben. Es sind dies die Zustandsmerkmale

- Spurrinnen und
- Griffigkeit.

Auch bei Anwendung dieser mathematischen Funktion ist bei Abschnitten, die keine konstante Länge aufweisen, eine Längengewichtung erforderlich.

4.7 Sonstige Daten

4.7.1 Informationen über Querschnitt, Höhe und Lage

Zur Beschreibung der räumlichen Linienführung und Ausdehnung des Infrastrukturobjekts Straße können Informationen bzw. Daten über den Querschnitt, die Höhenverhältnisse und die Lage vorgehalten werden. Dabei handelt es sich im Detail um folgende Daten:

- Querschnitt:
  - Breite der Straßenkrone
  - Fahrbahnbreite
  - Fahrflächenbreite
  - Fahrstreifenbreiten
  - Anzahl der Fahrstreifen
  - Breite des Banketts evtl. vorhandener Böschungen
  - Querneigung
- Höhe
  - Längsneigung
  - Ausrundungsradien (Kuppen und Wannen)
- Lage
  - Elemente (Gerade, Übergangsbogen, Kreisbogen)
  - Kurvigkeit

Für die systematische Straßenerhaltung wird nur ein geringer Teil der hier aufgelisteten Informationen als notwendig erachtet. Es handelt sich dabei um jene Informationen, die aus heutiger Sicht einen wesentlichen Einfluss auf die Erhaltungsmaßnahmenentscheidung ausüben:

- Fahrbahnbreite: Zur Berechnung der Maßnahmenkosten
- Anzahl der Fahrstreifen (evtl. Fahrstreifenbreite): Dies ist bei einer fahrstreifenbezogenen Analyse erforderlich
- Querneigung: Zur Feststellung jener Bereiche, wo es in den Spurrinnen zu Wasseransammlungen und folglich zu Unfallschwerpunkten kommen könnte.
- Längsneigung: Zur Feststellung jener Bereiche, wo aufgrund der geringen Geschwindigkeit des Schwerverkehrs vermehrt Spurrinnen auftreten können (Gebirgsstraßen)
- Kurvigkeit: Einflussgröße auf das Unfallgeschehen

Mit Ausnahme des Merkmals Fahrbahnbreite und der Anzahl der Fahrstreifen auf den Bundesstraßen der Kategorien A und S stehen derzeit in Österreich keine flächendeckenden Informationen über den Straßenquerschnitt und die Elemente der Lage und Höhe zur Verfügung. Diese Informationen sind zwar derzeit ausreichend für die Durch-

führung der Analyse bzw. für eine erste Ableitung von Modellen [22], sollten jedoch zur Verbesserung des Detaillierungsgrades der Ergebnisse kurz- und mittelfristig erweitert werden. Eine Erhöhung des Detaillierungsgrades wird vor allem durch die Messung von Quer- und Längsneigung erzielt, die bereits im Rahmen der nächsten Messkampagnen aufgrund einer Verbesserung des österreichischen Messfahrzeuges RoadSTAR (Road-Surface-Tester of Arsenal Research) durchgeführt wird (Einbau eines elektronischen Kreiselkompasses).

4.7.2 Informationen über das Klima

Die Kenngrößen des Klimas stellen derzeit den jüngsten Datenbestand in der Straßendatenbank dar, werden jedoch aufgrund fehlender Untersuchungsergebnisse bzgl. des direkten Einflusses auf das Verhalten des Straßenzustandes (Zustandsprognosemodelle) vorläufig in der Analyse nicht berücksichtigt. Hier sollen erst im Zuge der statistischen Auswertungen der Zustandsdaten der visuellen Zustandserfassung 2000 und der messtechnischen Zustandserfassung 1999 Abhängigkeiten einzelner erklärender Variablen untersucht werden. In Anlehnung an [21] können mögliche Einflussfaktoren definiert werden, die flächendeckend erfasst wurden und auch in Zukunft für die Belange der systematischen Straßenerhaltung zur Verfügung stehen.

Im Zuge des Forschungsprojektes „Klimakenngrößen für den Straßenoberbau in Österreich“ [21] wurden zur Beschreibung der Klimaeinflüsse Temperatur, Frost und Wasser folgende Klimakenngrößen für eine österreichweite Auswertung herangezogen bzw. ausgewählt:

- Temperatur: Minimal- und Maximaltemperatur in [^{o}C]
- Frost: Frostindex in Grad Celsius Tage [^{o}C*d] oder Kelvin-Stunden [K*h]
- Wasser: Jahresniederschlagssumme in [mm] und k-Index (Feuchtigkeitsindex) [-]

Diese Informationen wurden anschließend einzelnen Straßenabschnitten zugeordnet und konnten in die Datenbank VIABASE_AUSTRIA aufgenommen werden.

4.7.3 Unfalldaten

Unfalldaten sind in vielen europäischen Ländern ein wesentlicher Datenbestandteil für die Berechnungen bzw. Auswertungen in einem PMS. Vor allem bei der zeitlichen Festlegung von Erhaltungsmaßnahmen spielen Unfalldaten eine wesentliche Rolle, da Unfallhäufungsstellen oft auf Mängel der Straßenoberfläche zurückzuführen sind. Wie bereits in der Einleitung dieser Arbeit erwähnt, liegt ein primäres Ziel der Straßenerhaltung in einer Sicherstellung einer ausreichenden Verkehrssicherheit in Bezug auf das Bauwerk Straße.

Die in Österreich zur Verfügung stehenden Unfalldaten (ausschließlich Unfälle mit Personenschaden) ermöglichen nur in den wenigsten Fällen eine eindeutige Zuordnung

zwischen einem Mangel der Straßenoberfläche und der Unfallursache. Aus diesem Grund sollten Unfallhäufungsstellen, deren Ursache womöglich in einem schlechten Straßenzustand zu sehen ist, gesondert durch die vor Ort tätigen Erhalter betrachtet werden und nicht im Zuge einer netzweiten PMS-Analyse. Vor allem an jenen Abschnitten, wo möglicherweise „Gefahr in Verzug“ besteht, sind vom PMS-Ergebnis unabhängige Erhaltungsmaßnahmen unmittelbar nach dem Erkennen des Mangels durchzuführen. Es handelt sich dabei jedoch in erster Linie um Instandhaltungsmaßnahmen, die nicht in der PMS-Analyse untersucht werden.

4.8 Erhaltungsabschnitte

Neben der Definition von homogenen Datenabschnitten ist für das PMS die Definition der Erhaltungsabschnitte von entscheidender Bedeutung. Als PMS-Erhaltungsabschnitt ist dabei jener Abschnitt definiert, der im Rahmen der nachfolgenden Analyse einer Beurteilung bzw. Bewertung unterzogen wird. Jedem Erhaltungsabschnitt, der die Kriterien für die Analyse erfüllt (ausreichende Datenqualität und –quantität), wird dabei eine Liste der Erhaltungsstrategien, das Ergebnis der Nutzen-Kosten-Untersuchung (Kostenwirksamkeitsanalyse) und das Ergebnis der Optimierung zugeordnet. Die Definition der Länge eines Erhaltungsabschnittes ist dabei abhängig von der Entscheidungsebene (Projekt- oder Netzebene) und der Abschnittseinteilung der Grundlageninformationen (homogene Datenabschnitte). Die Kriterien für die Festlegung von Erhaltungsabschnitten haben einen wesentlichen Einfluss auf die Genauigkeit bzw. den Detaillierungsgrad der Ergebnisse. Je länger die Erhaltungsabschnitte gewählt werden, desto geringer ist wiederum die Genauigkeit der Ergebnisse. Zu kurze Erhaltungsabschnitte sind andererseits ebenfalls zu vermeiden, da hier eine ingenieurmäßige Beurteilung äußert aufwändig und unübersichtlich wird.

Erhaltungsabschnitte sind aus diesen Gründen nicht mit Bauabschnitten gleichzusetzen, können und sollten jedoch die Grundlage für deren Festlegung darstellen. Ein Bauabschnitt entsteht erst durch die Teilung und/oder meist Zusammenführung einzelner Erhaltungsabschnitte im Rahmen einer ingenieurmäßigen Beurteilung auf der Grundlage der Analyseergebnisse. Für die Definition von Erhaltungsabschnitten sind in Anlehnung an [23] eine Reihe von Festlegungen erforderlich, die einen wesentlichen Einfluss auf die Genauigkeit der Ergebnisse ausüben:

- Veränderungen der Oberbaukonstruktion führen i.A. auch zu unterschiedlichen Erhaltungsmaßnahmen bzw. –strategien. Aus diesem Grund sind Abschnittsgrenzen von Oberbauabschnitten auch Abschnittsgrenzen für Erhaltungsabschnitte
- Die Änderung der Verkehrsbelastung entlang eines Straßenzuges erfolgt an Knotenpunkten, wo Verkehrsströme in die zu analysierende Straße einmünden oder daraus abzweigen. Die Änderung der Verkehrsbelastung kann auch zu einer Änderung der Erhaltungsmaßnahmen bzw. –strategien und folglich zu einer Änderung der Erhaltungskosten führen. Abschnittsgrenzen von Verkehrsabschnitten sind daher auch Abschnittsgrenzen für Erhaltungsabschnitte.
- Abschnittsgrenzen von (homogenen) Zustandsabschnitten sind nur dann zu berücksichtigen, wenn fahrsicherheitsspezifische Kriterien ein getrennte Betrachtung des betroffenen Abschnitts erfordern. Liegen für einen Zustandsabschnitt die repräsentativen Zustandsgrößen der Merkmale Spurrinnen und/oder Griffigkeit über einen bestimmten kritischen Wert (Schwellenwert, siehe Kapitel 5.4.4), so sollte dieser Abschnitt als eigener Erhaltungsabschnitt in der Analyse aufscheinen. In allen anderen Fällen werden die Zustandsinfor-

mationen auf die Erhaltungsabschnitte über den längengewichteten Mittelwert zu transformiert.

- Die Kosten von Erhaltungsmaßnahmen werden in der Regel durch die Länge und die Breite des Erhaltungsabschnitts bestimmt. Zur Erhöhung der Ergebnisgenauigkeit können daher auch die Abschnittsgrenzen der Breiteninformationen als eigene Erhaltungsabschnittsgrenzen berücksichtigt werden. Dies ist vor allem auf Bundesstraßen der Kategorie A und S zu empfehlen, im Vergleich zu den Bundesstraßen der Kategorie B, wo eine Nichtberücksichtigung der Breitenabschnitte zu einer Reduktion der Erhaltungsabschnitte um bis zu 40% führen kann. Auf das Endergebnis hat dies bei einer längengewichteten Breitentransformation (siehe Kapitel 4.2.4.2) nur marginale Auswirkungen.
- Bauwerksabschnitte sind dann als eigene Erhaltungsabschnitte zu berücksichtigen, wenn über das Bauwerksmanagement ein individuelle Beurteilung erfolgt. Nachdem dies von der Art des Bauwerkes, der Konstruktion, der Länge, etc. abhängig ist, kann hier keine einheitliche Regelung getroffen werden. Aus diesem Grund werden in Anlehnung an [23] alle Bauwerke mit einer Gesamtlänge von mehr als 50 m als eigene Erhaltungsabschnitte definiert. Die Entscheidung ob der entsprechende Abschnitt im Rahmen der Analyse berücksichtigt wird, entscheidet der zuständige Erhaltungsingenieur.

Die nachfolgende Abbildung 32 zeigt schematisch die Bildung von Erhaltungsabschnitten für die Analyse auf Netzebene in VIAPMS_AUSTRIA.

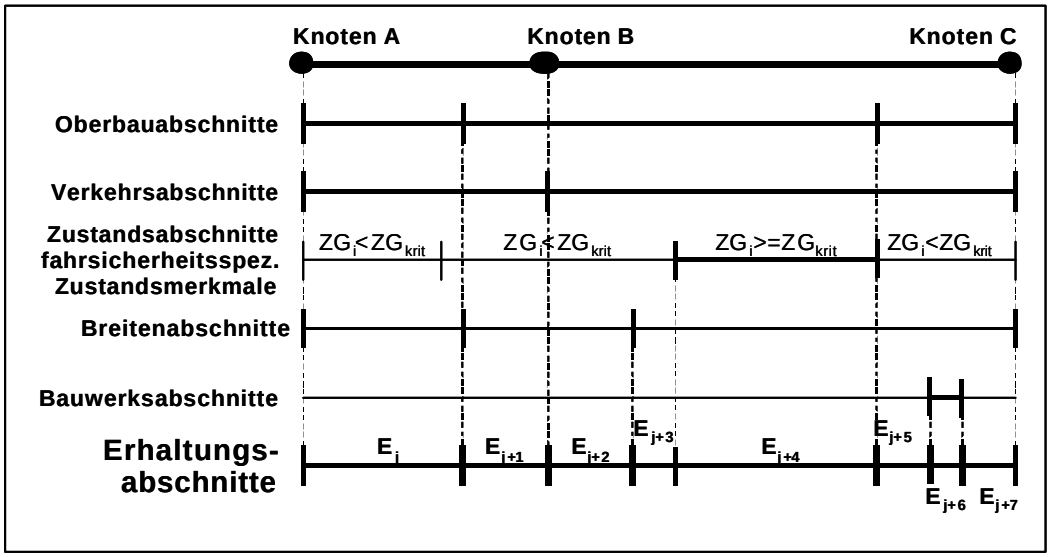


Abbildung 32: Schematische Darstellung über die Bildung von Erhaltungsabschnitten

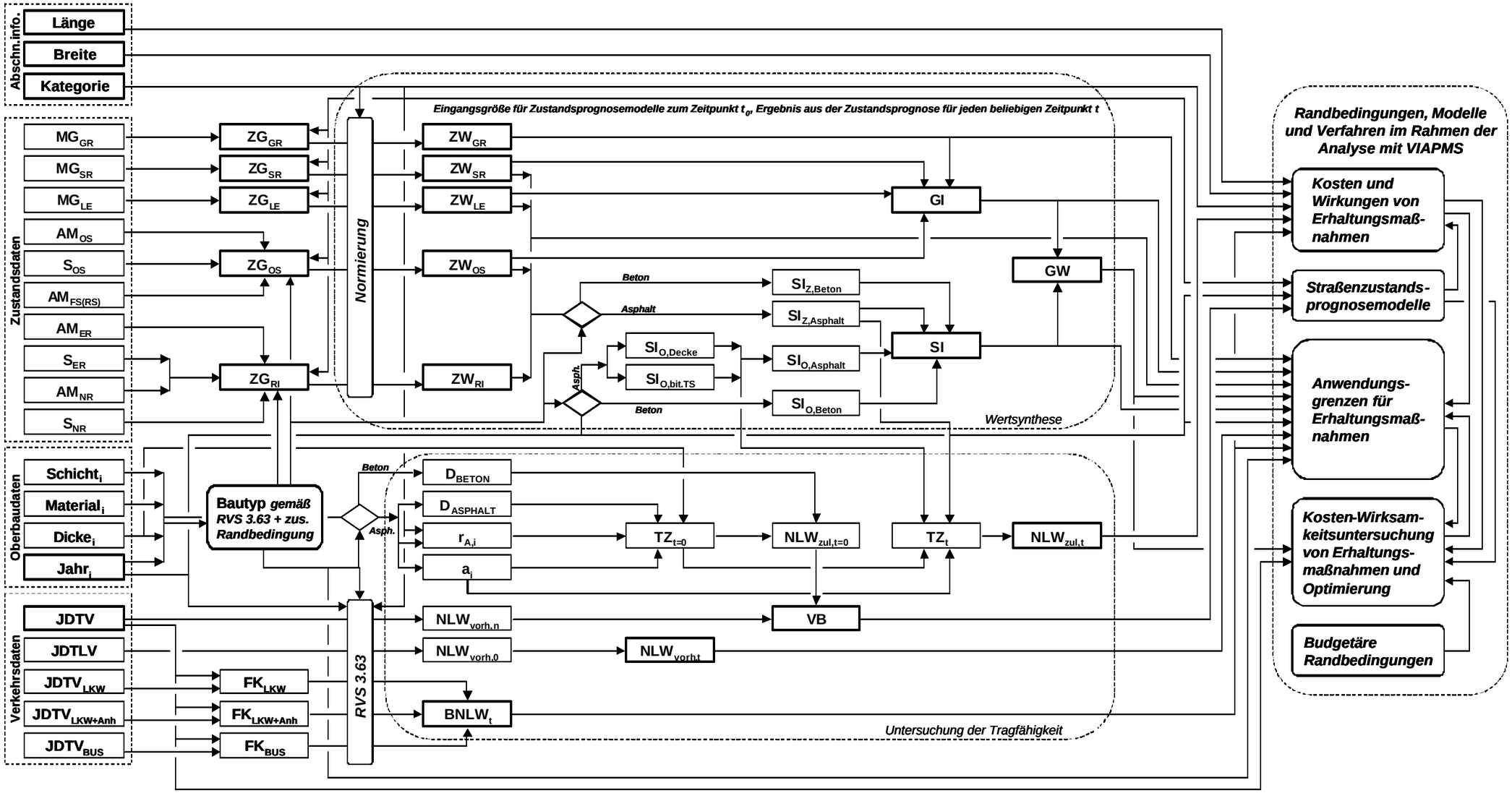
Die Zusammenführung der in unterschiedlichen Abschnittseinteilungen mit unterschiedlichen Eigenschaften vorliegenden Daten erfolgt über die in Kapitel 4.2.4 vorgestellten Transformationsgesetze.

5 Bewertung von Daten und Ableitung von Kenngrößen

5.1 Allgemeines

Die Aufgabe der Bewertung von Daten und Ableitung von Kenngrößen besteht in der Zusammenführung bzw. Verknüpfung der in Kapitel 4 vorgestellten Datengrundlagen zu einer reduzierten und überschaubaren Anzahl von Kennzahlen und -werten, die als Eingangsgröße der Analyse mit VIAPMS dienen. Die Anwendung dieser Verfahren erfolgt dabei sowohl in der Datenbank VIABASE_AUSTRIA als auch im Analysesystem VIAPMS_AUSTRIA, da beide Systeme dem Benutzer die Möglichkeit bieten, bestimmte Berechnungsalgorithmen (über Filter- und Formeltransformationen) in das System zu implementieren. Erfolgt z.B. die Untersuchung der Oberbaukonstruktion im Hinblick auf die Tragfähigkeit in erster Linie in der Datenbank, so ist die Bewertung des Straßenzustandes ein wesentlicher Bestandteil des Analysesystems VIAPMS_AUSTRIA. Die Entscheidung, welcher Baustein in welchem System zur Verfügung steht, obliegt dem Anwender bzw. dem Programmierer des Berechnungsalgorithmus. Die Prognose des Straßenzustandes sowie die zeitabhängige Änderung von bestimmten Kenngrößen erfolgt jedoch ausschließlich in VIAPMS_AUSTRIA.

Das in Abbildung 33 Seite dargestellte Flussdiagramm zur Bewertung von Daten und Ableitung von Kenngrößen soll dem Anwender einen Überblick über die verschiedenen Abläufe bis hin zu den Eingangsgrößen für die Analyse (Erzeugung von Erhaltungsstrategien, Kostenwirksamkeitsuntersuchung und Optimierung) ermöglichen. Dabei zeigt sich sehr deutlich, dass eine Vielzahl der Berechnungen auf der Verknüpfung unterschiedlicher Datengrundlagen beruhen. Die in Abbildung 33 verwendeten Abkürzungen sind zwar in Form einer Legende beschrieben, jedoch erfolgt eine detaillierte Erläuterung bzw. Herleitung erst in den nachfolgenden Kapiteln.



Legende:

Länge..... Länge des Erfassungsabschnitts
Breite..... Breite des Erfassungsabschnitts
Kategorie..... Straßenkategorie (A, S oder B)
MG_{GR}..... Messgröße Griffigkeit
MG_{SR}..... Messgröße Spurrinnen
MG_{LE}..... Messgröße Längsebenheit
AM_{OS}..... Schadensausmaß Oberflächenschäden
S_{OS}..... Schadensschwere Oberflächenschäden
$AM_{FS(RS)}$..... Schadensausmaß Flick- bzw. Reparaturstellen
AM_{ER}..... Schadensausmaß Einzelrisse
S_{ER}..... Schadensschwere Einzelrisse
AM_{NR}..... Schadensausmaß Netzrisse
S_{NR}..... Schadensschwere Netzrisse
$Schicht_t$..... Schichtart (Schicht 1 bis i)
$Material_i$..... Schichtmaterial (Schicht 1 bis i)
$Dicke_i$..... Schichtdicke (Schicht 1 bis i)
$Jahr_i$..... Herstellungsjahr Schicht 1 bis i
JDTV..... Jährlich durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
JDTLV..... Jährlich durchschnittliche tägliche Lastverkehrsstärke
$JDTV_{LKW}$..... Jährl. durchschn. tägl. Lastverkehrsstärke (LKW)
$JDTV_{LKW+Anh}$... Jährl. durchschn. tägl. Lastverkehrsstärke (LKW mit Anhänger bzw. Sattelzüge)
$JDTV_{BUS}$..... Jährl. durchschn. tägl. Lastverkehrsstärke (Busse)
ZG_{GR}..... Zustandsgröße Griffigkeit
ZG_{SR}..... Zustandsgröße Spurrinnen
ZG_{LE}..... Zustandsgröße Längsebenheit
ZG_{OS}..... Zustandsgröße Oberflächenschäden
ZG_{RI}..... Zustandsgröße Risse
ZW_{GR}..... Zustandswert Griffigkeit
ZW_{SR}..... Zustandswert Spurrinnen
ZW_{LE}..... Zustandswert Längsebenheit
ZW_{OS}..... Zustandswert Oberflächenschäden
ZW_{RI}..... Zustandswert Risse
$SI_{O,Decke}$..... Substanzwert Oberbaualter Deckschicht
$SI_{O,bit.TS}$..... Substanzwert Oberbaualter bit. Tragschicht
$SI_{O,Asphalt}$..... Substanzwert Oberbaualter Asphalt
$SI_{O,Beton}$..... Substanzwert Oberbaualter Beton
$SI_{Z,Asphalt}$..... Substanzwert Zustand Asphalt
$SI_{Z,Beton}$..... Substanzwert Zustand Beton
GI..... Gebrauchswert
SI..... Substanzwert
GW..... Gesamtwert
FK_{LKW}..... Anteil Fahrzeugkategorie LKW
$FK_{LKW+Anh}$..... Anteil Fahrzeugkategorie LKW+Anh. bzw. Sattelzüge
FK_{BUS}..... Anteil Fahrzeugkategorie Busse
D_{Beton}..... Dicke Betondecke
$D_{Asphalt}$..... Dicke Asphaltpaket bzw. bit. Tragschicht
$r_{A,i}$..... Reduktionsfaktor Alter Schicht 1 bis i
a_i..... Schichtkoeffizient Schicht 1 bis i
$NLW_{vorh,n}$..... vorhandene Normlastwechsel bis zum Zeitpunkt n (=Ende Bemessungsperiode)
$NLW_{vorh,0}$..... vorhandene Normlastwechsel bis zum Zeitpunkt t_0 (=Beginn der Analyse)
$BNLW_t$..... Bemessungsnormlastwechsel zum Zeitpunkt t
$NLW_{vorh,t}$..... vorhandene Normlastwechsel zum Zeitpunkt t
$TZ_{t=0}$..... Tragfähigkeitszahl zum Zeitpunkt t=0 (=Herstellungsjahr des Oberbaus)
$NLW_{zul,t=0}$..... zulässige Normlastwechsel zum Zeitpunkt t=0
VB..... Verkehrsbelastungskoeffizient
TZ_t..... Tragfähigkeitszahl zum Zeitpunkt t
$NLW_{zul,}$..... zulässige Normlastwechsel zum Zeitpunkt t

Abbildung 33: Flussdiagramm zur Bewertung von Daten und Ableitung von Kenngrößen

5.2 Kenngrößen des Oberbaus

Das primäre Ziel in einem PMS in Bezug auf den Straßenaufbau, den Oberbau, ist die genaue Beurteilung einer Oberbaukonstruktion auf der Grundlage ihrer Eigenschaften, ihres Zustandes und ihrer Belastungen bzw. Beanspruchungen. Für ein PMS ist es daher erforderlich, eine Reihe von Informationen über den Oberbau zur Verfügung zu stellen, die einen wesentlichen Einfluss auf das prognostizierte Verhalten oder auf die richtige Wahl einer Erhaltungsmaßnahme haben können. Je mehr Informationen über die zu untersuchende Oberbaukonstruktion vorliegen, desto genauer kann wiederum die Prognose erfolgen.

5.2.1 Bautypen der Oberbaukonstruktion

Die Zuordnung einer vorhandenen Befestigung zu einer bestimmten Bautype kann auf der Grundlage des Oberbaubemessungskatalogs RVS 3.63 [10] erfolgen. Voraussetzung für eine Zuordnung ist die Kenntnis über die Schichtart und das Schichtmaterial der einzelnen Schichten sowie deren zeitliche Anordnung (Aufbaugeschichte des Oberbaus). Im Rahmen von bereits durchgeführten Auswertungen und Untersuchungen [22,23] hat sich eine Reduktion der 6 Bautypen der RVS 3.63 [10] auf 3 Bautypen für PMS-Zwecke als ausreichend erwiesen. Zusätzlich wird diese Gliederung durch fünf weitere, nicht für den Neubau standardisierte Bautypen ergänzt, sodass insgesamt doch 8 Bautypen unterschieden werden.

- Bautype 1-3 (BT13): Bituminöse Deckschicht und bituminöse Tragschicht(en) auf ungebundener Tragschicht
- Bautype 1-3 mit Verstärkung (BT1V): Bituminöse Deckschicht(en) und bituminöse Tragschicht(en) auf alten bituminösen und ungebundenen Tragschichten
- Bautype 1-3 mit Deckschichtmaßnahme (BT1D): Bituminöse Deckschicht(en) auf alten bituminösen und ungebundenen Tragschichten
- Bautype 4 (BT4): Bituminöse Deckschicht(en) und bituminöse Tragschicht(en) auf zementstabilisierter Tragschicht
- Bautype 4 mit Verstärkung (BT4V): Bituminöse Deckschicht und bituminöse Tragschicht(en) auf alten bituminösen und zementstabilisierten Tragschichten
- Bautype 4 mit Deckschichtmaßnahme (BT4D): Bituminöse Deckschicht(en) auf alten bituminösen und zementstabilisierten Tragschichten
- Bautype 5-6 (BT56): Betondecke auf ungebundener oder zementstabilisierter Tragschicht
- Bautype 5-6 mit bituminöser Decke (BT5D): Betondecke mit bituminösem Überzug auf ungebundener oder zementstabilisierter Tragschicht.

Um eine Oberbaukonstruktion einer Bautype zuzuordnen, ist es unter Umständen notwendig, einige zusätzliche Randbedingungen festzulegen. Diese Randbedingungen werden in Anlehnung an [22] und [24] wie folgt definiert (Schichtenfolge von oben nach unten):

- Handelt es sich bei einer der Schichten 2 bis 4 um eine zementstabilisierte Tragschicht, so wird der Oberbau der Bautype BT4, BT4V oder BT4D zugeordnet
- Handelt es sich bei einer der Schichten 1 bis 3 um eine Schicht aus Beton, so wird der Oberbau der Bautype BT56 bzw. BT5D zugeordnet

Bei der Bautypenzuordnung muss auch die Aufbaugeschichte der Oberbaukonstruktion berücksichtigt werden. In Abhängigkeit von der Aufbaugeschichte erfolgt diese zusätzliche Gliederung in Neubaukonstruktionen (BT13, BT4 und BT56), in „verstärkte" Oberbaukonstruktionen (BT1V und BT4V) und in Oberbaukonstruktionen, die mit einer Deckschichtmaßnahme bereits ein- oder mehrmals instandgesetzt wurden (BT1D, BT4D und BT5D). Diese Unterscheidung ist für die Straßenzustandsprognose bzw. für die Berechnung der Tragfähigkeit des Oberbaus von entscheidender Bedeutung. Es gelten in Anlehnung an [22] und [24] folgende Festlegungen:

- Ist der Zeitraum zwischen der Errichtung der obersten Schicht und der darunter liegenden bituminösen Tragschicht(en) kleiner oder gleich drei Jahre, so gilt dies als Neubaukonstruktion.
- Ist der Zeitraum zwischen der Errichtung der obersten Schicht und der darunter liegenden bituminösen Tragschicht größer als drei Jahre, so muss von einer „Verstärkung" (V) gesprochen werden, wenn die Dicke der obersten Schicht größer als 4 cm ist, oder von einer „Deckschichtmaßnahme" (D), wenn die Dicke kleiner als 4 cm ist.
- Besitzt die bituminöse Oberbaukonstruktion zwei Tragschichten, die direkt übereinander angeordnet sind, und ist der Zeitraum zwischen der Errichtung der Tragschichten größer als 3 Jahre, so handelt es sich ebenfalls um eine Verstärkung (V).

Mit diesen Festlegungen kann ein Großteil der auf den österreichischen Bundesstraßen anzutreffenden Oberbaukonstruktionen kategorisiert werden, wobei jedoch nach wie vor Sonderaufbauten vorhanden sind, welche nicht diesem Schema entsprechen und daher „manuell" zuzuordnen sind.

5.2.2 Tragfähigkeit von bituminösen Oberbaukonstruktionen

5.2.2.1 Allgemeines

Die Tragfähigkeit von bituminösen Oberbaukonstruktionen, ausgedrückt durch die zulässige Anzahl von Lastübergängen einer Normachslast von 10 t, hat einen wesentlichen Einfluss auf die Wahl von strukturellen Erhaltungsmaßnahmen, die Prognose der

Straßenzustandsentwicklung und die folglich abgeleiteten Kenngrößen der Optimierung.

Der Zweck der Berechnung bzw. Abschätzung der Tragfähigkeit einer bituminösen Oberbaukonstruktion liegt darin, mit den zur Verfügung stehenden Informationen bzw. Daten der einzelnen Straßenabschnitte eine Grundlage für die Wahl einer geeigneten Erhaltungsmaßnahme zu erhalten. Dabei handelt es sich um folgende Daten, die im Rahmen einer Tragfähigkeitsabschätzung herangezogen werden:

- Schichtart: Deckschicht, gebundene Tragschicht, ungebundene obere Tragschicht, etc.
- Schichtmaterial: Asphaltbeton, bituminöse Tragschicht, Kantkorn, etc.
- Schichtdicke
- Herstellungsjahr der Schicht

Für eine genaue Berechnung des Tragfähigkeitsverhaltens der Oberbaukonstruktion nach einem analytischen Modell werden eine Vielzahl von Informationen benötigt (z.B. E-Modul, Ermüdungsfestigkeit, Temperaturkenngrößen, etc.), die auch für kurze Abschnitte derzeit nicht zur Verfügung stehen. Um dennoch den wesentlichen Einfluss der Tragfähigkeit beurteilen zu können, muss auf der Grundlage der vorhandenen Informationen eine Abschätzung über Näherungsverfahren durchgeführt werden. Für die Beurteilung auf Netzebene bietet diese Vorgangsweise eine ausreichende Genauigkeit. Entscheidungen auf Projektebene (z.B. exakte Festlegung von Verstärkungsdicken) erfordern weiterführende Untersuchungen, die zu einer Erhöhung des Detaillierungsgrades der Informationen führen (z.B. Tragfähigkeitsmessungen zur Bestimmung des E-Moduls der einzelnen Schichten, Bohrkernuntersuchungen, etc.).

Das Verfahren für die Abschätzung der Tragfähigkeit kann auf amerikanische Untersuchungen zurückgeführt werden, deren Grundlagen in den nachfolgenden Kapiteln ausführlich beschrieben sind.

5.2.2.2 Dicke der Asphaltbefestigung

Der erste Schritt im Zuge der Abschätzung der Tragfähigkeit ist die Ermittlung der vorhandenen Dicke der Asphaltbefestigung. Sie stellt zwar nur eine Hilfs- bzw. Eingangsgröße für die weiterführenden Berechnungen dar, hat jedoch bei strukturellen Erhaltungsmaßnahmen (z.B. Verstärkungen) einen wesentlichen Einfluss auf die Tragfähigkeit, die Lebensdauer, das Ausmaß und die Kosten der Maßnahme. Die Schichtdicke des bituminösen Schichtpakets ist dabei definiert durch folgende Gleichung:

$$D_{Asphalt} = \sum_{i=1}^{n} D_{i,bit} \qquad \text{(Gl. 5.1)}$$

mit: $D_{Asphalt}$ .....Schichtdicke des bituminösen Schichtpakets [cm]
$D_{i,bit}$.....Schichtdicke einer bituminösen Schicht [cm]
n.....Anzahl der direkt aufeinander folgenden bituminösen Schichten

Für die Ermittlung der vorhandenen Tragfähigkeit (z.B. in Form der zulässigen Normlastwechsel) müssen bei bituminösen Oberbaukonstruktionen neben den bituminös gebundenen Schichten auch die ungebundenen Schichten berücksichtigt werden (siehe Kapitel 5.2.2.5).

5.2.2.3 Strukturelle Kennzahl nach AASHTO

Eine sehr verbreitete Methode zur Definition einer Tragfähigkeitskennzahl wird in Form der „strukturellen Kennzahl“ im AASHTO-Guide [25] beschrieben. Dabei wird durch Multiplikation der Schichtdicke mit einem entsprechenden Schichtkoeffizienten (Materialkoeffizient) jeder einzelnen Schicht eine äquivalente Schichtdicke zugeordnet, die einen strukturellen Kennwert der untersuchten Oberbaukonstruktion darstellt. Die Berechnung der strukturellen Kennzahl für die gesamte Oberbaukonstruktion erfolgt dabei nach folgender grundlegender Beziehung:

$$SN = \sum_{i=1}^{n} (a_i \cdot D_i) \qquad \text{(Gl. 5.2)}$$

mit: SN.....strukturelle Kennzahl (structural number)
a_i.....Schichtkoeffizient der Schicht i
D_i.....Schichtdicke der Schicht i

Um den Schichtkoeffizienten für die einzelnen Schichten nach [25] berechnen zu können, muss der E-Modul der jeweiligen Schicht bekannt sein. Die Bestimmung des E-Moduls kann dabei über Labor- und/oder in-situ-Versuche erfolgen (z.B. bei ungebundenen Tragschichten über den CBR-Versuch oder den Texas-Triaxialversuch). Ein Zusammenhang zwischen dem E-Modul der jeweiligen Schicht und dem Schichtkoeffizienten wurde über eine Vielzahl von Korrelationsrechnungen im Zuge von [26] und [27] bestimmt. In [25] ist dieser Zusammenhang für folgende Schichtarten dargestellt:

- ungebundene Tragschicht
- zementstabilisierte Tragschicht
- bituminös gebundene Tragschicht

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen beispielhaft den Zusammenhang zwischen dem E-Modul und dem Schichtkoeffizientem für Asphaltbeton bei einer Temperatur von 68°F (ca. 20°C) (Abbildung 34) und für ungebundene Tragschichten (Abbildung 35).

Liegen keine genauen Untersuchungsergebnisse über den E-Modul der jeweiligen Schicht vor, wird empfohlen in einer ersten Näherung einen auf die regionalen Randbedingungen abgestimmten Mittelwert zu verwenden.

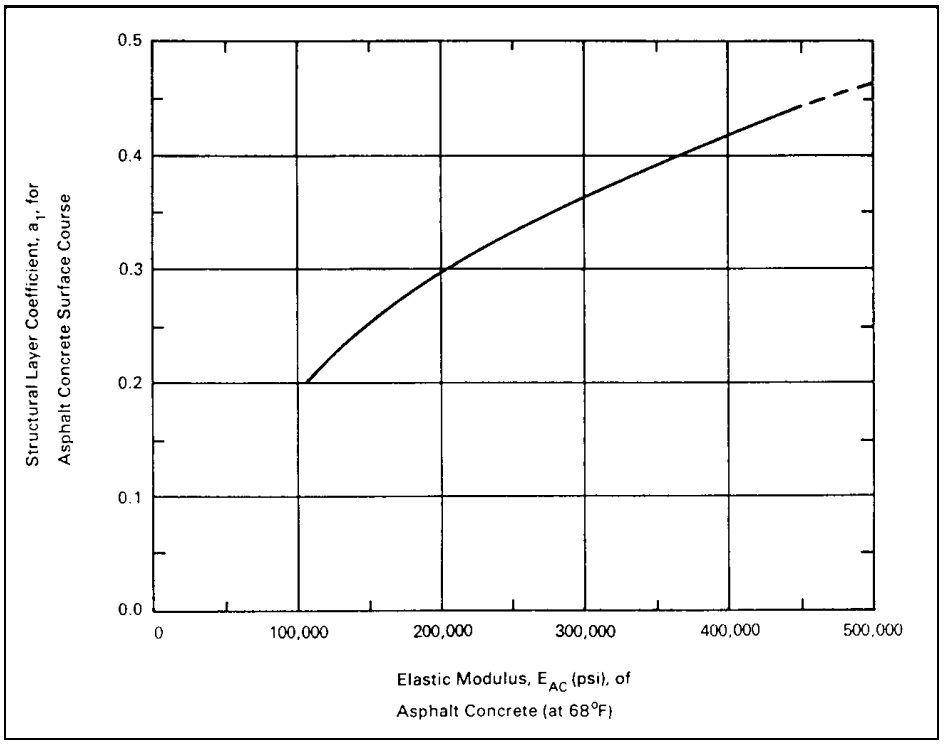


Abbildung 34: Zusammenhang E-Modul und Schichtkoeffizient für Asphaltbeton nach [26]

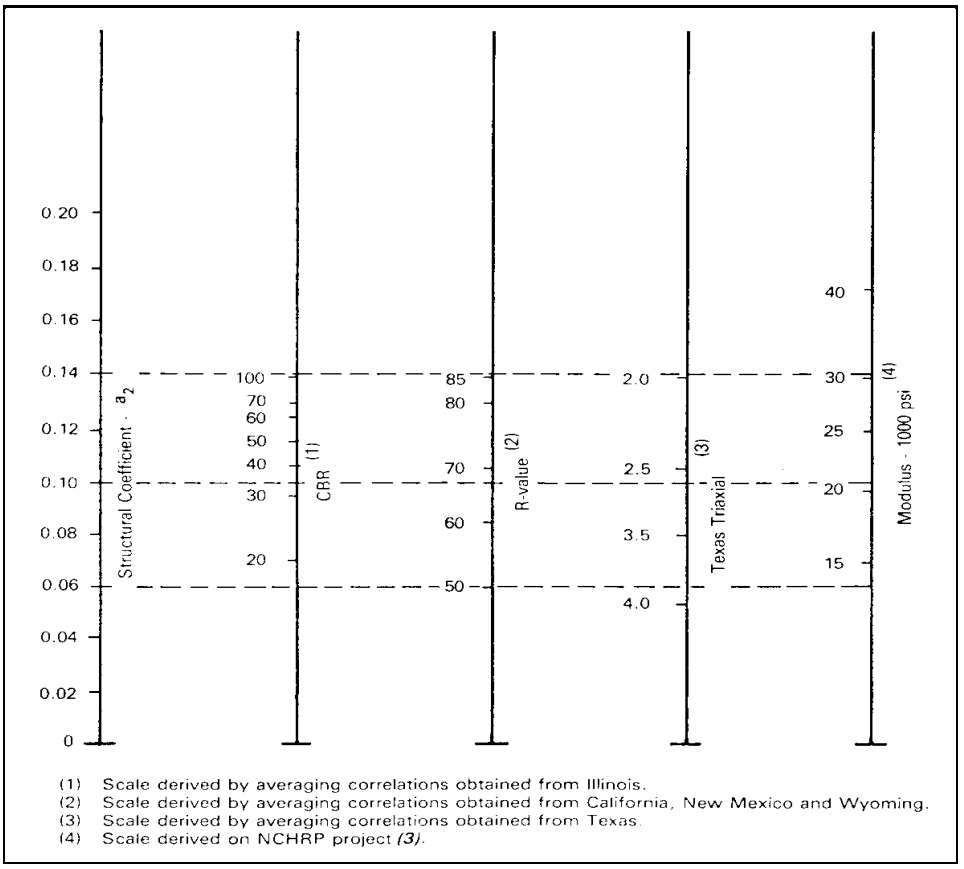


Abbildung 35: Zusammenhang E-Modul und Schichtkoeffizient für ungebundene obere Tragschichten nach [26]

5.2.2.4 Modifizierte strukturelle Kennzahl der Weltbank

In leicht modifizierter Form verwendet auch das Pavement Management System der Weltbank HDM-III (Highway Design and Maintenance Standards Model [28]) bzw. HDM-4 (Highway Development and Management System [29]) die strukturelle Kennzahl für eine Vielzahl von Berechnungen und Modellen, darunter auch für die Abschätzung der Tragfähigkeit. Im Vergleich zur strukturellen Kennzahl des AASHTO-Guides [25] findet im HDM-III bzw. HDM-4 die Untergrundtragfähigkeit durch einen zusätzlichen Term Berücksichtigung, sodass aus der strukturellen Kennzahl die „modifizierte" strukturelle Kennzahl mit folgender Definition entwickelt wurde:

$$SNC = 0{,}394 \cdot \sum_{i=1}^{n} (a_i \cdot h_i) + SN_{sg} \qquad \text{(Gl. 5.3)}$$

mit: SNC.....Modifizierte strukturelle Kennzahl (modified structural number)
a_i.....Schichtkoeffizient der Schicht i
h_i.....Schichtdicke der Schicht i [cm]
n.....Anzahl der Schichten der Oberbaukonstruktion
SN_{sg}.....Korrekturfaktor für den Einfluss des Untergrundes (structural number subgrade)

Der vorangestellte Multiplikator von 0,394 dient dabei zur Umrechnung der Schichtdicken von *inch* in *cm*. Im HDM-4 werden darüber hinaus die Tragfähigkeitsänderungen der Schichten während des Jahres berücksichtigt, sodass aus der „modifizierten" strukturellen Kennzahl die „angepasste strukturelle Kennzahl" abgeleitet wurde. Für die Berechnung der Schichtkoeffizienten werden in erster Linie die Ergebnisse von in-situ CBR-Messungen herangezogen, die in [29] für die verschiedenen Schichten bzw. Schichtarten dargestellt sind.

5.2.2.5 Österreichische modifizierte strukturelle Kennzahl

In Anlehnung an die modifizierte strukturelle Kennzahl des HDM-III wurde auch für die österreichischen Verhältnisse im Rahmen der statistischen Auswertung der Zustandsdaten der bundesweiten Zustandserfassung 1995 [22] eine „österreichische" modifizierte strukturelle Kennzahl definiert, die sich lediglich durch das Fehlen des vorangestellten Multiplikators von der modifizierten strukturellen Kennzahl des HDM-III unterscheidet. Sie wird damit wie folgt definiert:

$$SNC_A = \sum_{i=1}^{n} (a_i \cdot h_i) + SN_{sg} \qquad \text{(Gl. 5.4)}$$

mit: SNC_A.....(österreichische) modifizierte strukturelle Kennzahl
a_i.....Schichtkoeffizient der Schicht i
h_i.....Schichtdicke der Schicht i [cm]
n.....Anzahl der Schichten der Oberbaukonstruktion
SN_{sg}.....Korrekturfaktor für den Einfluss des Untergrundes

Da es sich bei dem Umrechnungsfaktor im HDM-III um eine konstante Größe handelt, musste der Anteil der Untergrundtragfähigkeit durch diesen Wert dividiert werden. Die additive Konstante für die Tragfähigkeit des Untergrundes lässt sich nach [22] über das Mindestmaß der Untergrundtragfähigkeit nach RVS 3.63 [10], ausgedrückt durch den Verformungsmodul von E_{v1} = 35 MN/m^2, über in-situ CBR-Versuche und den Zusammenhang, dass der dynamische E-Modul nach [30] im Mittel dem 10-fachen CBR-Wert entspricht, herleiten. Dabei wird die kritische Frühjahrs-Tauperiode als maßgebende Beobachtungsperiode angesehen, sodass für den Untergrund ein Standardwert von SN_{sg} = 0,93 nach folgender Gleichung errechnet werden kann:

$$SN_{sg} = 3{,}51 \cdot \log_{10} CBR - 0{,}85 \cdot (\log_{10} CBR)^2 - 1{,}43 \qquad \text{(Gl. 5.5)}$$

mit:

$$CBR_{Frühjahr} = 10 \cdot E_{dyn,\,Frühjahr} = \frac{1}{5} \cdot E_{V1} \qquad \text{(Gl. 5.6)}$$

und:

CBR.....In-situ CBR-Wert
E_{V1} .....Verformungsmodul aus Lastplattenversuch [MN/m^2]
E_{dyn} .....dynamischer E-Modul [MN/m^2]

Durch Division des Anteils der Untergrundtragfähigkeit mit dem Umrechnungswert der Längeneinheiten von 0,394 (von *Inch* auf *cm*) ergibt sich ein Wert von SN_{sg} = 2,4.

Für die in Österreich verwendeten Materialien wurden darüber hinaus in Anlehnung an die Schichtkoeffizienten des AASHTO-Guides [25] spezielle Koeffizienten abgeleitet (siehe Tabelle 2). Bei der Ableitung dieser Werte ging es im Wesentlichen auch darum, die strukturelle Gleichwertigkeit, welche durch die Lastklassen der RVS 3.63 charakterisiert wird, abzubilden. Aus diesem Grund entstanden geringfügige Unterschiede zu [25]. Diese Koeffizienten können nun für eine Umrechnung verschiedener Aufbauten in das „Bewertungsschema der RVS 3.63“ [10] verwendet werden [22].

Schichtbezeichnung	Material der Schicht	Schichtkoeffizient
Bituminöse Deck- oder Tragschicht	AB, BT, BTD, etc.	0,40
Obere ungebundene Tragschicht	Kantkörnung	0,14
Obere ungebundene Tragschicht	Rundkörnung	0,10
Obere ungebundene Tragschicht	Zentralgemischte Kantkörnung	0,20
Obere ungebundene Tragschicht	RA Material	0,20
Obere Tragschicht	Zementstabilisierung	0,24
Untere ungebundene Tragschicht	-	0,08

Tabelle 2: Schichtkoeffizienten zur Berechnung der strukturellen Kennzahl nach [22]

Unter Zugrundelegung dieser Annahmen konnten für die Bautypen 1 bis 4 der RVS 3.63 [10] die modifizierten strukturellen Kennzahlen errechnet und somit in Relation zu den zugehörigen Bemessungsnormlastwechseln gestellt werden (siehe Tabelle 3).

Bautype	**LK S**	**LK I**	**LK II**	**LK III**	**LK IV**	**LK V**
zulässige Verkehrsbelastung in Mio. NLW						
BT 1-4	25,0	10,0	4,0	1,3	0,4	0,1
modifizierte strukturelle Kennzahlen für Oberbauten nach RVS 3.63 [10]						
BT 1-3	17,6	16,8	15,6	14,0	12,8	11,6
BT 4	18,0	17,2	16,0	14,0	12,8	10,8

Tabelle 3: Modifizierte strukturelle Kennzahlen und zulässige Verkehrsbelastung für Asphaltbefestigungen gemäß [10] nach [22]

Für Aufbauten, deren modifizierte strukturelle Kennzahlen Werte zwischen jenen der Standardaufbauten gemäß RVS 3.63 [10] annehmen, lässt sich die zulässige Verkehrsbelastung (ausgedrückt in Bemessungsnormlastwechsel *BNLW*) durch lineare Interpolation nach folgender Gleichung berechnen [22]:

$$BNLW = 10^{\log BNLW_{LK_k} + \left(\log BNLW_{LK_g} - \log BNLW_{LK_k}\right)\frac{SNC_A - SNC_{A,LK_k}}{SNC_{LK_g} - SNC_{LK_k}}} \qquad \text{(Gl. 5.7)}$$

mit:

BNLW .....zulässige Verkehrsbelastung des betrachteten Oberbaus
$BNLW_{LKk}$.....zulässige Verkehrsbelastung des entsprechend nächstdünneren Regelaufbaus gemäß RVS 3.63 [10]
$BNLW_{LKg}$.....zulässige Verkehrsbelastung des entsprechend nächstdickeren Regelaufbaus gemäß RVS 3.63 [10]
SNC_A.....(österreichische) modifizierte strukturelle Kennzahl des betrachteten Oberbaus
$SNC_{A,LKk}$ .....(österreichische) modifizierte strukturelle Kennzahl des nächstdünneren Regelaufbaus gemäß RVS 3.63 [10]
$SNC_{A,LKg}$.....(österreichische modifizierte strukturelle Kennzahl des nächstdickeren Regelaufbaus gemäß RVS 3.63 [10]

Die Annahmen im Zuge der Festlegung der österreichischen modifizierten strukturellen Kennzahl SNC_A ermöglichen auch ohne genaue Information über den CBR-Wert bzw. den E-Modul der einzelnen Schichten eine Abschätzung der Tragfähigkeit der untersuchten Oberbaukonstruktion im Neuzustand. Da dieses Verfahren ausschließlich für einen Einsatz auf neuwertigen Oberbaukonstruktionen anwendbar ist und eine Vielzahl der zu analysierenden Abschnitte bereits ein- oder mehrmals instandgesetzt wurden, muss auf eine erweiterte Methode für VIAPMS_AUSTRIA zurückgegriffen werden (siehe Kapitel 5.2.2.6).

5.2.2.6 Österreichische Tragfähigkeitszahl

5.2.2.6.1 Allgemeines

Wie angeführt, gilt die nach Kapitel 5.2.2.5 berechnete modifizierte strukturelle Kennzahl nur für neue Oberbaukonstruktionen im Zuge von Neubauten oder Erneuerungen zum Zeitpunkt der Herstellung. Da jedoch die Berechnung der vorhandenen Tragfähigkeit einer bestehenden Konstruktion auch für die Anwendung von Verstärkungsmaßnahmen (Überprüfung der Anwendbarkeit und der Wirtschaftlichkeit) und die Prognose der Straßenzustandsentwicklung (VB-Koeffizient, siehe Kapitel 5.3.3) erforderlich ist, muss das Verfahren auch auf jene Oberbaukonstruktionen erweitert werden, die bereits mehrere Erhaltungsmaßnahmen aufweisen.

5.2.2.6.2 Zusammenhang Tragfähigkeit und Aufbaugeschichte Oberbau

In [22] wird für diese Art der Oberbaukonstruktionen auf die RVS 3.64 [31] verwiesen, die in Abhängigkeit vom Zustand der Oberfläche einen Reduktionsfaktor c_i für die Berechnung einer wirksamen Dicke D_w vorsieht (siehe Tabelle 4). Die wirksame Dicke lässt sich dabei über folgende Gleichung berechnen:

$$D_w = c_i \cdot D_{vorh} \qquad \text{(Gl. 5.8)}$$

mit: D_w.....wirksame Dicke der Asphaltschicht
c_i.....Reduktionsfaktor
D_{vorh}.....vorhandene Dicke der Asphaltschicht

Zustand der bituminösen Schicht (Heißmischgut)	**c_i**
ausgedehnte Rissbildungen, stark zerstörte Asphaltschicht, beträchtliche Zerbröckelungen	0,3 – 0,5
zahlreiche Einzel- und größere Netzrissbereiche	0,5 – 0,7
einige Einzelrisse sowie vereinzelt kleine Netzrissbereiche	0,7 – 0,9
im Wesentlichen rissfrei	0,9 – 1,0

Tabelle 4: Reduktionsfaktoren c_i zur Umrechnung vorhandener bituminös gebundener Schichten auf die wirksame Dicke D_w gemäß [31]

Ist der Zustand der Oberfläche zum Zeitpunkt der zuletzt durchgeführten Instandsetzungsmaßnahme bekannt, so kann diese Methode für eine Abminderung der Tragfähigkeit direkt herangezogen werden. Dies gilt jedoch ausschließlich für jene Fälle, in denen die beurteilte bituminöse Schicht (i.A. Deckschicht) nicht abgetragen sondern lediglich überbaut wird.

Da jedoch in den meisten Fällen weder der Zustand der Oberfläche noch der „innere" Zustand der Oberbaukonstruktion zum Zeitpunkt der zuletzt durchgeführten Instandsetzungsmaßnahme aus den zur Verfügung stehenden Informationen abgeleitet werden kann, liegen für die Anwendung der genormten „Reduktionsmethode" keine Grundlagen vor. Es muss in diesem Fall von einer allgemeineren Betrachtungsweise ausgegangen werden. Dies kann natürlich zu Ungenauigkeiten im Rahmen der Abschätzung der Tragfähigkeitseigenschaften der Konstruktion führen.

In Anlehnung an die derzeit verwendeten Ermüdungskriterien zur Dimensionierung von Oberbaukonstruktionen kann davon ausgegangen werden, dass in erster Linie die gebundenen Tragschichten für eine strukturelle Veränderung infolge Ermüdung verantwortlich zeichnen. So können die ungebundenen Tragschichten im Bezug auf eine Altersreduktion weitgehend unberücksichtigt bleiben. Unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Informationen lässt sich ausschließlich über das Alter der gebundenen Tragschicht zum Zeitpunkt einer Instandsetzungsmaßnahme (=Altersdifferenz gebundene Tragschicht und zuletzt aufgebrachte Deckschicht) eine Reduktion der Tragfähigkeit ableiten und damit die Abschätzung der „Resttragfähigkeit" durchführen. Dabei müssen jedoch einige Randbedingungen berücksichtigt werden:

- Wird eine bituminöse Deckschicht innerhalb des Gewährleistungszeitraumes der Tragschicht (i.A. 3 Jahre) errichtet, gilt dies als Neubaukonstruktion. Eine Abminderung der Tragfähigkeit der bituminösen Tragschichten ist in diesem Fall nicht erforderlich.
- In Anlehnung an die RVS 3.64 [31] wird den gebundenen Tragschichten eine „Resttragfähigkeit" von mind. 30% der Tragfähigkeit der neuwertigen Befestigung zugeordnet. Diese Festlegung ist damit zu begründen, dass auch eine stark geschädigte Oberbaukonstruktion noch ein gewisses Maß an Tragfähigkeit aufweist.

Auf der Grundlage dieser Festlegungen nimmt der zu definierende Reduktionsfaktor analog zur RVS 3.64 [31] einen Wert zwischen 1,0 und 0,3 ein. Der Unterschied besteht jedoch darin, dass nicht das Schadensbild die Größe bestimmt, sondern das Alter der bituminösen Tragschichten zum Zeitpunkt der Überbauung bzw. Instandsetzung. Die so erhaltene Altersdifferenz $D_{Alter,i,j}$ zwischen der zuletzt aufgebrachten Schicht (i.A. Deckschicht) und den darunter liegenden gebundenen Tragschichten (auf dem Abschnitt j) bestimmt die zu erwartende Tragfähigkeit des Oberbaus (zum Zeitpunkt t=0). Der Verlauf zwischen dem Maximalwert von 1,0 und dem „Restwert" von 0,3 sollte dabei so gewählt werden, dass das Alter der darunter liegenden Tragschichten berücksichtigt wird.

In VIAPMS_AUSTRIA, Version 2.0 (Stand: Dezember 2000) [24]), wurde in einer ersten Näherung auf die RVS 3.63 [10] zurückgegriffen, die für neue bituminöse Oberbaukonstruktionen eine Bemessungslebensdauer von 20 Jahren vorsieht. Ordnet man dem Ende der Bemessungslebensdauer den Wert von 0,3 zu und dem Ende der Gewährleistungszeit (3 Jahre) den Wert von 1,0, so ergibt sich unter der Annahme eines linearen Funktionsverlaufs von c_i folgender Zusammenhang zwischen der Altersdifferenz $D_{Alter,i,j}$ und dem Reduktionsfaktor (siehe Abbildung 36):

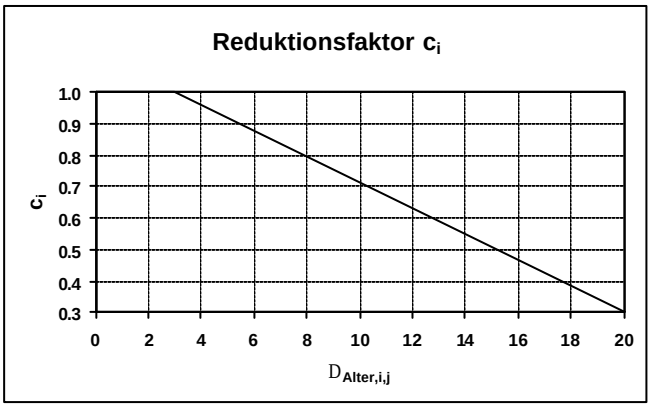


Abbildung 36: Reduktionsfaktor c_i nach [24]

$$c_i = -0{,}0412 \cdot \Delta_{Alter,i,j} + 1{,}1235 \quad \text{für } \left[3 \le \Delta_{Alter,i,j} \le 20\right] \qquad \text{(Gl. 5.9)}$$

mit: c_i .....Reduktionsfaktor der Schicht i
$\Delta_{Alter,i,j}$.....Altersdifferenz zwischen der zuletzt aufgebrachten Schicht und der Schicht i [Jahre]

Diese Festlegung erfolgt ausschließlich auf der Grundlage der Bemessungslebensdauer gemäß RVS 3.63 [10]. Die tatsächliche Altersstruktur der bituminösen Tragschichten kann aber davon abweichen. Aus diesem Grund erscheint es sinnvoll, den Funktionsverlauf des Reduktionsfaktors in Abhängigkeit von der empirischen Verteilung der Liegedauer der bituminösen Tragschichten (Altersstruktur) der österreichischen Bundesstraßen zu definieren. Die Liegedauer einer Schicht *i* ist dabei jener Zeitraum, der zwischen der Errichtung und dem Abtrag dieser Schicht *i* vergeht, unabhängig ob diese Schicht ein- oder mehrmals strukturell verstärkt bzw. überbaut wurde. Um einer Verwechslung der beiden Reduktionsfaktoren vorzubeugen, wird in der gegenständlichen Arbeit der Reduktionsfaktor mit dem Begriff „Alter" kombiniert, sodass für eine Schicht *i* auf dem Abschnitt *j* die Bezeichnung $r_{A,i,j}$ verwendet wird.

Die Ermittlung des Zusammenhanges zwischen der Liegedauer und dem Reduktionsfaktor Alter $r_{A,i,j}$ sollte getrennt nach Bundesstraßen der Kategorie B und der Kategorie A bzw. S (Autobahnen und Schnellstraßen) erfolgen, da hier möglicherweise deutliche Unterschiede in den Verteilungen vorhanden sind. Die nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 37 für Bundesstraßen der Kategorie B, und Abbildung 38 für Bundesstraßen der Kategorie A und S) zeigen die empirischen Verteilungen der Liegedauer bituminöser Tragschichten in Form des Histogramms.

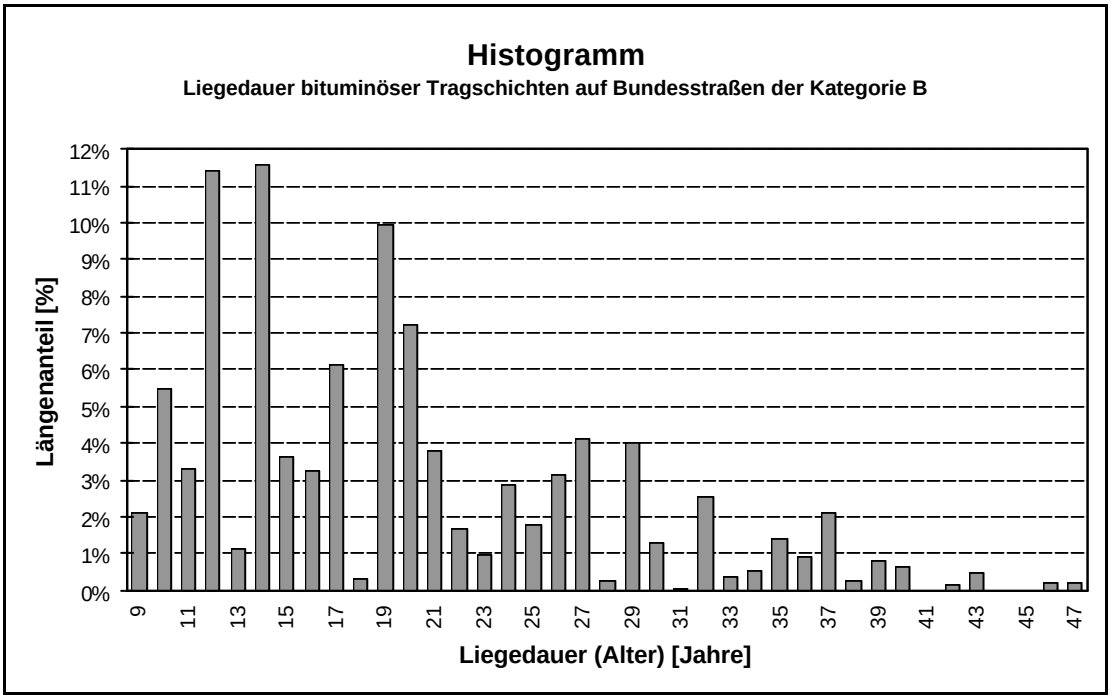


Abbildung 37: Histogramm über die Liegedauer bituminöser Tragschichten auf Bundesstraßen der Kategorie B

Die geringe Anzahl von Datensätzen auf Bundesstraßen der Kategorie A und S lässt eine weiterführende statistische Auswertung als nicht zweckmäßig erscheinen, sodass für diese Bundesstraßenkategorien die Ergebnisse der Auswertung der B-Straßen in einer ersten Näherung herangezogen werden müssen. Liegen neue bzw. überarbeitete Daten vor, so kann in analoger Weise eine Auswertung vorgenommen werden. Darüber hinaus zeigte die statistische Auswertung der Daten der Bundesstraßen B, dass bei bituminösen Tragschichten der Längenanteil mit einer Lebensdauer <9 Jahre unplausibel hoch ist. Um mögliche Einflüsse fehlerhafter Daten auszuschließen, blieben diese Werte in der Analyse daher unberücksichtigt.

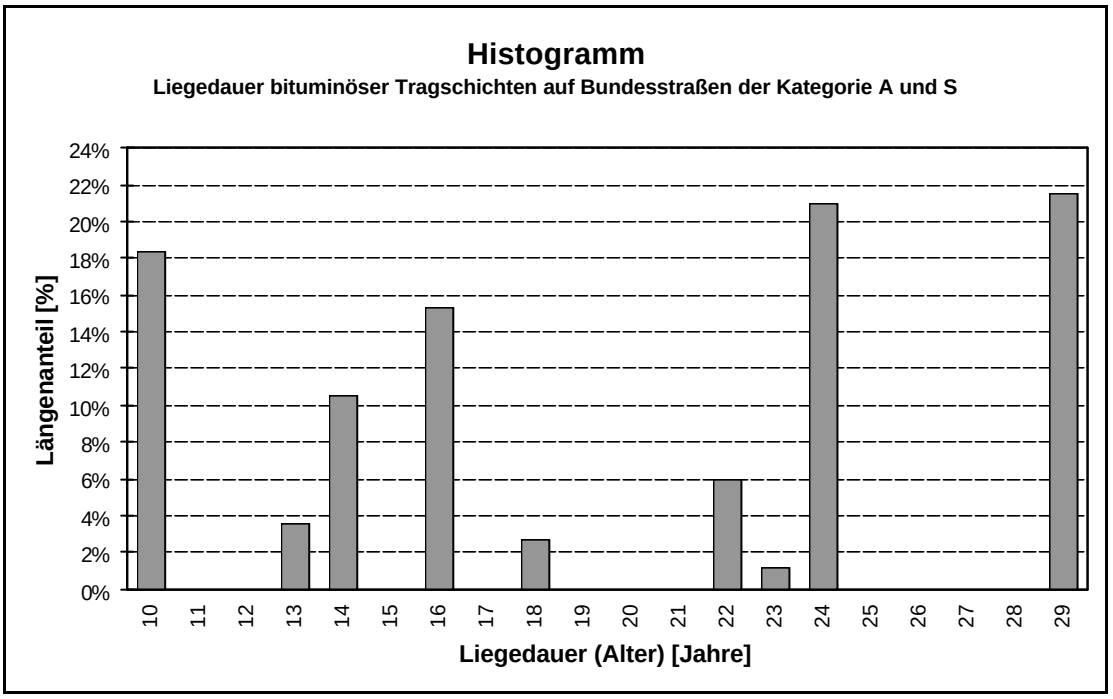


Abbildung 38: Histogramm über die Liegedauer bituminöser Tragschichten auf Bundesstraßen der Kategorie A und S

Für die Festlegung des Verlaufs des Reduktionsfaktors Alter $r_{A,i,j}$ zwischen 1,0 und 0,3 kann die empirische Verteilung der Liegedauer der bituminösen Tragschichten herangezogen werden (siehe Abbildung 37 bzw. 40). Für den unteren Grenzwert des Reduktionsfaktors (0,3) wird auf der Grundlage dieser Verteilung nicht wie bisher [24] die technische Lebensdauer von 20 Jahren für bituminöse Befestigungen nach RVS 3.63 [10] definiert, sondern die 90%-Perzentile der empirischen Verteilung herangezogen, die einerseits die Streuung der Werte berücksichtigt und andererseits vorhandene Ausreißer nicht in die Berechnungen einfließen lässt. Der Verlauf von $r_{A,i,j}$ zwischen 1,0 und 0,3 muss jedoch mit der Verteilung der Daten übereinstimmen. In einem ersten Schritt wird dabei das Histogramm als Summenlinie (Summenpolygon) dargestellt, über welche die Perzentilwerte einfach abgelesen werden können (siehe Abbildung 39). Zur Herleitung eines Zusammenhanges zwischen der empirischen Verteilung und dem Wertebereich von $r_{A,i,j}$ ist lediglich innerhalb der zuvor beschriebenen Grenzwerte (9 Jahre = 2,13%-Perzentile und 90%-Perzentile) eine gleichmäßige Aufteilung der Perzentilwerte (entspricht der Fläche unterhalb der empirischen Verteilungsfunktion) vorzunehmen. In diesem Fall wurden 7 Teilintervalle gewählt, die eine Schrittweite von

12,6% Längenanteile (0,1-Intervall von $r_{A,i,j} = 0{,}3$ bis $r_{A,i,j} = 1{,}0$) ergeben (siehe Abbildung 39).

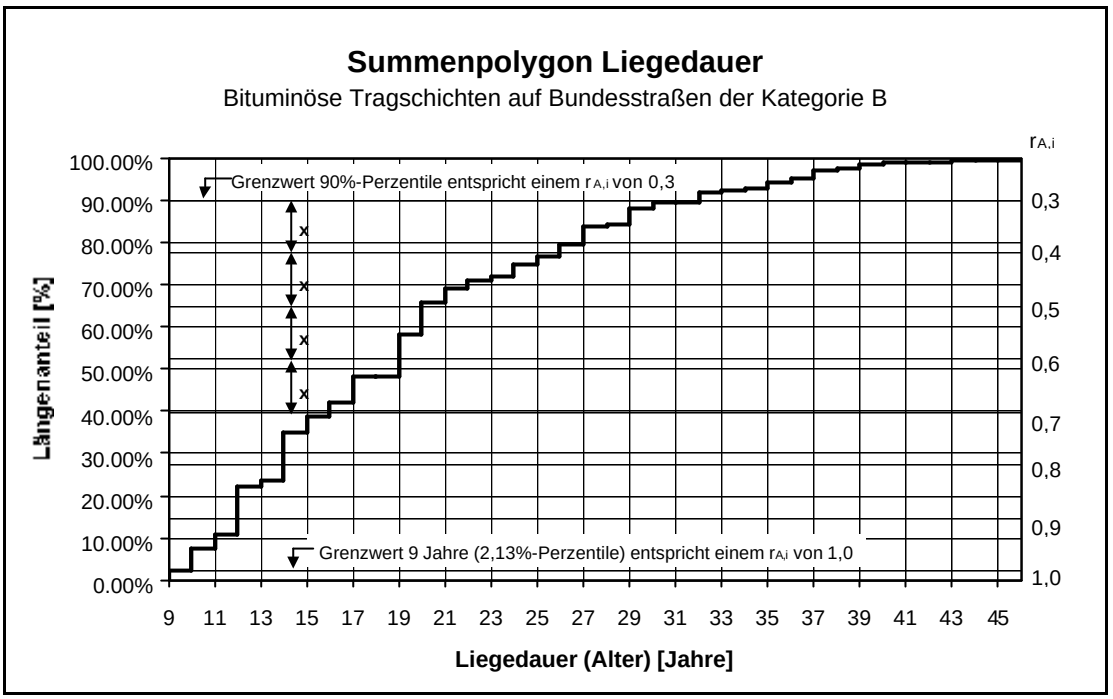


Abbildung 39: Summenpolygon der Liegedauer bituminöser Tragschichten auf Bundesstraßen der Kategorie B

Jedem gewählten Wert zwischen 0,3 und 1,0 kann nun ein entsprechender Perzentilwert und letztendlich eine Liegedauer zugeordnet werden. Das Ergebnis dieser Zuordnung kann der Abbildung 40 entnommen werden, wobei die Summenlinie als Abgangsfunktion dargestellt ist (Differenz zu 100% Längenanteil).

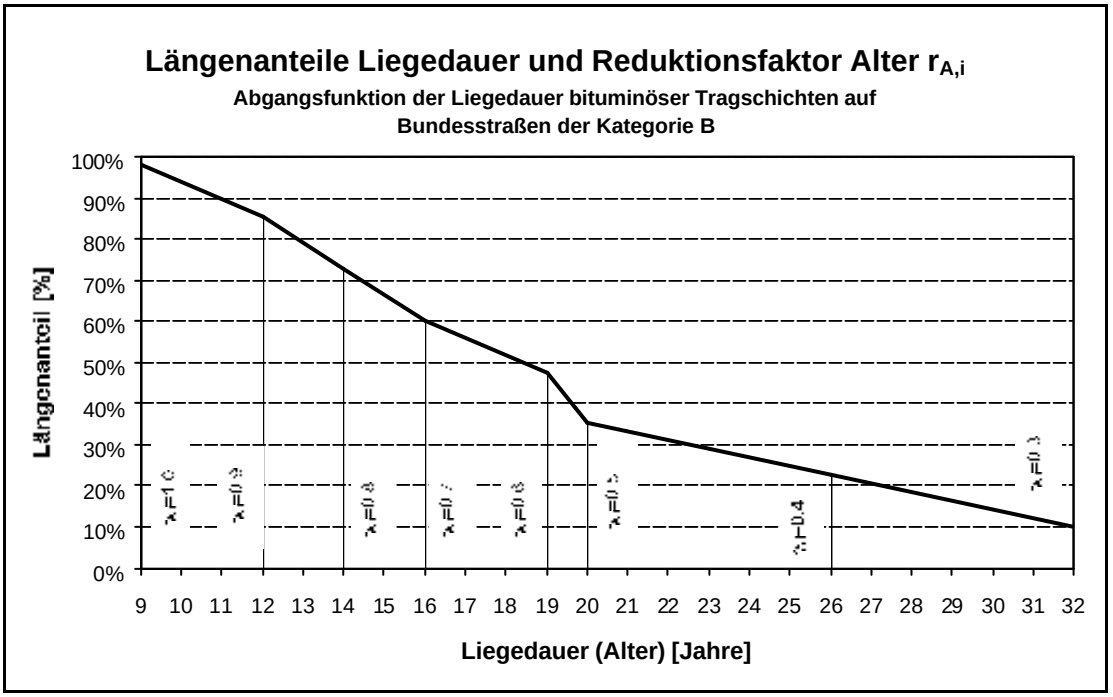


Abbildung 40: Abgangsfunktion der Liegedauer und Reduktionsfaktor Alter bituminöser Tragschichten auf Bundesstraßen der Kategorie B

Die geringfügigen Unterschiede zwischen dem Summenpolygon und der Abgangsfunktion entstehen durch die sinnvolle Zuordnung der Teilintervalle von $r_{A,i,j}$ auf ganzzahlige Jahreswerte. Die gleiche Vorgangsweise wird auch für die Berücksichtigung des Alters im Rahmen der Bewertung des Straßenzustandes verwendet (siehe Kapitel 5.4.5).

Da es sich bei der untersuchten Verteilung um eine empirische Verteilung handelt, die in ihrem Verlauf Unstetigkeiten aufweisen kann, wird der funktionelle Zusammenhang zwischen der Liegedauer und dem Reduktionsfaktor Alter $r_{A,i,j}$ aus Gründen der Vereinfachung durch eine lineare Funktion ersetzt. Die Anwendung einer linearen Regressionsgeraden führt zu geringen Änderungen des Alters, ab dem die Endtragfähigkeit erreicht wird (0,3). Das Bestimmtheitsmaß der Regressionsgeraden besitzt einen Wert von *R=0,95*. Unter Anwendung der linearen Regressionsgleichung ergibt sich für den Reduktionsfaktor Alter $r_{A,i,j}$ (zum Zeitpunkt des Aufbringens einer neuen Deck- bzw. Tragschicht t=0) folgende mathematische Beziehung:

$$r_{A,i,j} = -0{,}0315 \cdot Alter_{i,j,t=0} + 1{,}234 \quad \text{für } [7 < Alter_{i,j,t=0} < 30] \qquad \text{(Gl. 5.10)}$$

mit: $r_{A,i,j}$.....Reduktionsfaktor Alter der Tragschicht i auf dem Abschnitt j
$Alter_{i,j,t=0}$ .....Alter der Tragschicht i auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t=0

Die nachfolgende Abbildung 41 stellt den Zusammenhang zwischen der Liegedauer und dem Reduktionsfaktor Altersdifferenz $r_{A,i,j}$ graphisch dar.

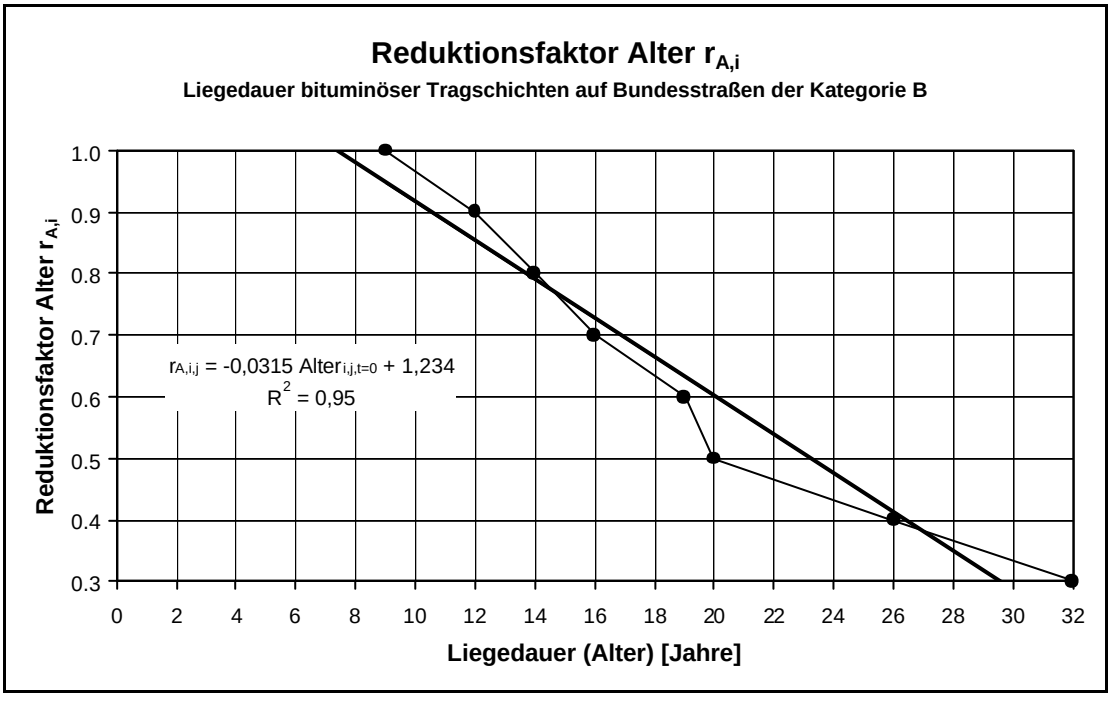


Abbildung 41: Reduktionsfaktor Alter $r_{A,i,j}$ auf Bundesstraßen der Kategorie B

5.2.2.6.3 Definition österreichische Tragfähigkeitszahl

Ist die zulässige Tragfähigkeit einer bituminösen Oberbaukonstruktion auf jedem zu analysierenden Abschnitt zu jedem beliebigen Zeitpunkt *t* während der Analyse bekannt, so kann auch die Anwendbarkeit von strukturellen Verstärkungsmaßnahmen zu jedem beliebigen Zeitpunkt *t* überprüft werden. Dies bedeutet, dass im Vergleich zu Kapitel 5.2.2.3 und 5.2.2.4 eine allgemeinere Formulierung der strukturellen Kennzahl erforderlich ist. Es wird in diesem Zusammenhang auch auf die Bezeichnung dieser Kennzahl als „strukturelle Kennzahl" verzichtet, da dies einerseits zu Verwechslungen führt und andererseits der angloamerikanische Name nicht mit der deutschen Nomenklatur übereinstimmt.

Grundlage für die Festlegung einer als „Tragfähigkeitszahl" *TZ* definierten Größe, ist die österreichische modifizierte strukturelle Kennzahl nach [22], die für folgende Bedingungen erweitert werden soll:

- Die Tragfähigkeitszahl ist für alle bituminösen Oberbaukonstruktionen anwendbar, unabhängig ob der Oberbau bereits mehrmals instandgesetzt wurde oder ob die Oberbaukonstruktion eine neuwertige Befestigung darstellt.
- Die Tragfähigkeitszahl ist eine vom Zustand der Oberfläche und der strukturellen Beschaffenheit abhängige veränderliche Größe $TZ = f(t) \rightarrow TZ_t$.

Die Formulierung der Tragfähigkeitszahl TZ_t wird in diesem Kapitel zunächst nur für den Zeitpunkt $t=0$ durchgeführt, da für eine zeitabhängige Darstellung zusätzliche Einflussgrößen erforderlich sind, die im Kapitel 5.4 (Bewertung des Straßenzustandes) erst näher erläutert werden.

Als Zeitpunkt $t=0$ wird – wie bereits angeführt – jener Zeitpunkt definiert, bei dem die zuletzt bekannte Instandsetzung, Erneuerung oder der Neubau des betrachteten Oberbauabschnittes durchgeführt wurde. Insbesondere wird der in Kapitel 5.2.2.6.2 definierte Reduktionsfaktor Alter $r_{A,i,j}$ zur Berücksichtigung der Aufbaugeschichte eingeführt. Die so erhaltene Tragfähigkeitszahl $TZ_{t,j}$ auf dem Abschnitt *j* wird wie folgt definiert:

$$TZ_{t=0,j} = \sum_{i=1}^{n} \left(D_{i,j} \cdot a_i \cdot r_{A,i,j} \right) + TZ_{Ug} \qquad \text{(Gl. 5.11)}$$

mit:
- $TZ_{t=0,j}$.....Tragfähigkeitszahl zum Zeitpunkt t=0 auf dem Abschnitt j
- a_i.....Schichtkoeffizient der Schicht (siehe Tabelle 5)
- $r_{A,i,j}$.....Reduktionsfaktor Alter der Schicht i auf dem Abschnitt j
- $D_{i,j}$.....Schichtdicke der Schicht i auf dem Abschnitt j [cm]
- n.....Anzahl der Schichten der Oberbaukonstruktion
- TZ_{Ug}.....Tragfähigkeitszahl für den Untergrund

Die Festlegungen der Schichtkoeffizienten und des Anteils der Untergrundtragfähigkeit nach [22] werden beibehalten, sodass für die Berechnung der Tragfähigkeitszahl $TZ_{t=0,j}$ die nachfolgende Tabelle 5 verwendet werden kann.

Aufgrund von fehlenden Daten und Aufzeichnungen über das Verhalten von zementstabilisierten Tragschichten unter Verkehrsbelastung werden für diese Schichtart

in einer ersten Näherung die gleichen Festlegungen wie für bituminöse Schichten angenommen. Es kann auf jeden Fall davon ausgegangen werden, dass mit zunehmender Beanspruchung der Schicht eine Reduktion der Tragfähigkeit auftritt.

Schichtkoeffizienten und Reduktionsfaktoren Altersdifferenz			
Schichtbezeichnung	**Material der Schicht**	**Schichtkoeffizient a_i**	**Reduktionsfaktor Altersdifferenz $r_{A,i}$**
bituminöse Deckschicht	AB, SMA, GA, DA, etc.	0,40	$r_{A,i,j}$=1 für die oberste Schicht der Oberbaukonstruktion und für $Alter_{i,j,t=0}$=7
			$r_{A,i,j} = -0{,}0315 \cdot Alter_{i,j,t=0} + 1{,}234$ für $[7 < Alter_{i,j,t=0} < 30]$
			$r_{A,i,j}$=0,3 für $Alter_{i,j,t=0}$=30
bituminöse Tragschicht	BT, BTD, BT HS, etc.	0,40	$r_{A,i,j}$=1 für die oberste Schicht der Oberbaukonstruktion und für $Alter_{i,j,t=0}$=7
			$r_{A,i,j} = -0{,}0315 \cdot Alter_{i,j,t=0} + 1{,}234$ für $[7 < Alter_{i,j,t=0} < 30]$
			$r_{A,i,j}$=0,3 für $Alter_{i,j,t=0}$=30
zementstab. Tragschicht	-	0,24	$r_{A,i,j}$=1 für $Alter_{i,j,t=0}$=7
			$r_{A,i,j} = -0{,}0315 \cdot Alter_{i,j,t=0} + 1{,}234$ für $[7 < Alter_{i,j,t=0} < 30]$
			$r_{A,i,j}$=0,3 für $Alter_{i,j,t=0}$=30
Obere ungebundene Tragschicht	KK	0,14	$r_{A,i,j}$=1 für alle Schichten
	RK	0,10	$r_{A,i,j}$=1 für alle Schichten
	ZGKK	0,20	$r_{A,i,j}$=1 für alle Schichten
	RA-Mat.	0,20	$r_{A,i,j}$=1 für alle Schichten
untere ungebundene Tragschicht	-	0,08	$r_{A,i,j}$=1 für alle Schichten

Anteil Untergrundtragfähigkeit TZ_{UG}
2,4

Tabelle 5: Schichtkoeffizienten, Reduktionsfaktoren Altersdifferenz und Anteil Untergrundtragfähigkeit zur Berechnung der Tragfähigkeitszahl

Für Oberbaukonstruktionen der Kategorie „Neubau“ (Herstellungsjahr aller Schichten innerhalb von 3 Jahren) kann die Gleichung 5.11 durch eine Zusammenfassung der bituminösen Schichten in folgende Form transformiert werden:

$$TZ_{t=0,j} = D_{Asphalt,j} \cdot a_{Asphalt} + \sum_{m=1}^{n} \left(D_{m,j} \cdot a_m\right) + TZ_{Ug} \qquad \text{(Gl. 5.12)}$$

mit: $TZ_{t=0,j}$.....Tragfähigkeitszahl zum Zeitpunkt t=0 auf dem Abschnitt j
$D_{Asphalt,j}$.....Schichtdicke des bituminösen Schichtpakets auf dem Abschnitt j (siehe 5.2.2.2)
$a_{Asphalt}$.....Schichtkoeffizient Asphalt (siehe Tabelle 5)
a_m.....Schichtkoeffizient der Schicht m unterhalb des bituminösen Schichtpakets (siehe Tabelle 5)
D_m.....Schichtdicke der Schicht m unterhalb des bituminösen Schichtpakets [cm]

Die Definition der Tragfähigkeitszahl für beliebige bituminöse Oberbaukonstruktionen ermöglicht in einem nächsten Schritt die Berechnung der zulässigen Verkehrsbelastung zu jedem Zeitpunkt *t* während der Analyse. Dabei wird auf den unter Kapitel 5.2.2.5 abgeleiteten Zusammenhang zwischen der modifizierten strukturellen Kennzahl

und den zulässigen Normlastwechseln zurückgegriffen (siehe Gleichung 5.7). Aus Gründen der Vereinfachung lässt sich diese mathematische Beziehung durch eine einfachere exponentielle Regressionsfunktion ersetzen, deren Bestimmtheitsmaß von *R=0,99* nur geringe Abweichungen erkennen lässt (siehe Abbildung 42). Die Gleichung für die Berechnung der zulässigen Verkehrsbelastung einer bituminösen Oberbaukonstruktion lautet demnach:

$$NLW_{zul,t,\,j} = 4{,}6996 \cdot e^{0{,}8774 \cdot TZ_{t,j}} \qquad \text{(Gl. 5.13)}$$

mit: $NLW_{zul,t,j}$ ..zulässige Normlastwechsel zum Zeitpunkt t auf dem Abschnitt j
$TZ_{t,j}$.....Tragfähigkeitszahl zum Zeitpunkt t

Die weitere Vorgangsweise zur Überprüfung der Anwendbarkeit von strukturellen Verstärkungsmaßnahmen kann dem Kapitel 6.3.4.2 entnommen werden. Es sei jedoch vorweg erwähnt, dass über den Vergleich zwischen der zulässigen Verkehrsbelastung zum Zeitpunkt *t* und der prognostizierten Verkehrsbelastung ab dem Zeitpunkt *t* eine Aussage über die erforderliche Verstärkungsdicke möglich ist. In einem weiteren Schritt, der Kostenwirksamkeitsanalyse, wird überprüft, ob diese Vorgangsweise auch bestimmten wirtschaftlichen Rahmenbedingungen entspricht (z.B. Nutzen-Kosten-Verhältnis). Neben der Anwendbarkeit von Verstärkungsmaßnahmen hat auch das Verhältnis der zulässigen Verkehrsbelastung zur vorhandenen Verkehrsbelastung (ausgedrückt über den VB-Koeffizienten, siehe Kapitel 5.3.3) einen wesentlichen Einfluss auf die zeitliche Entwicklung des Straßenzustandes für bestimmte Zustandsmerkmale (z.B. Spurrinnen, siehe Kapitel 7.3.4.4).

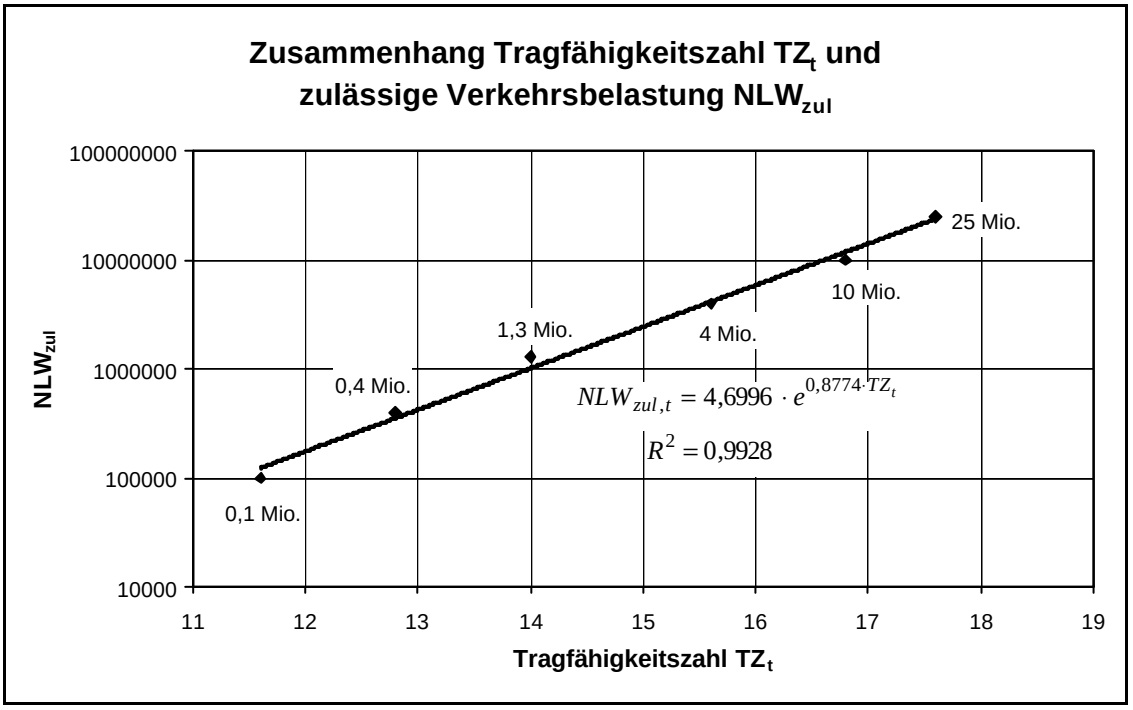


Abbildung 42: Zusammenhang Tragfähigkeitszahl und zulässige Verkehrsbelastung

5.2.3 Tragfähigkeit von Betondecken

5.2.3.1 Allgemeines

Da die Ermittlung der zulässigen Verkehrsbelastung von Betondecken in erster Linie für die Prognose der Straßenzustandsentwicklung (Kategorisierung des Oberbaus in über-, unter-, oder richtig-dimensionierte Aufbauten, VB-Koeffizient, siehe Kapitel 5.3.3) und für die Abschätzung der erforderlichen Betondeckendicke bei Erneuerungsmaßnahmen herangezogen wird, kann auch hier auf ein Näherungsverfahren zurückgegriffen werden. Dabei stellt die Dicke der Betondecke den maßgebenden Einflussfaktor dar.

5.2.3.2 Dicke der Betondecke

Im Gegensatz zu den Asphaltbefestigungen, in der die Dicke des bituminösen Schichtpakets nur eine Hilfsgröße zur Ermittlung der Tragfähigkeit der Oberbaukonstruktion darstellt, wird die Tragfähigkeit einer Betondecke mit oder ohne bituminösem Überzug praktisch ausschließlich von der Dicke der Betondecke (D_{Beton}) bestimmt. Zwar haben auch bei Betondecken die ungebundenen Tragschichten einen Einfluss auf die Tragfähigkeit der Betondecke, jedoch ist dieser im Vergleich zu den bituminösen Oberbaukonstruktionen wesentlich geringer. Darüber hinaus erlaubt auch der zur Verfügung stehende Datenbestand wiederum keine genauen Berechnungen der zulässigen Tragfähigkeit durch die Anwendung analytischer Bemessungsmodelle.

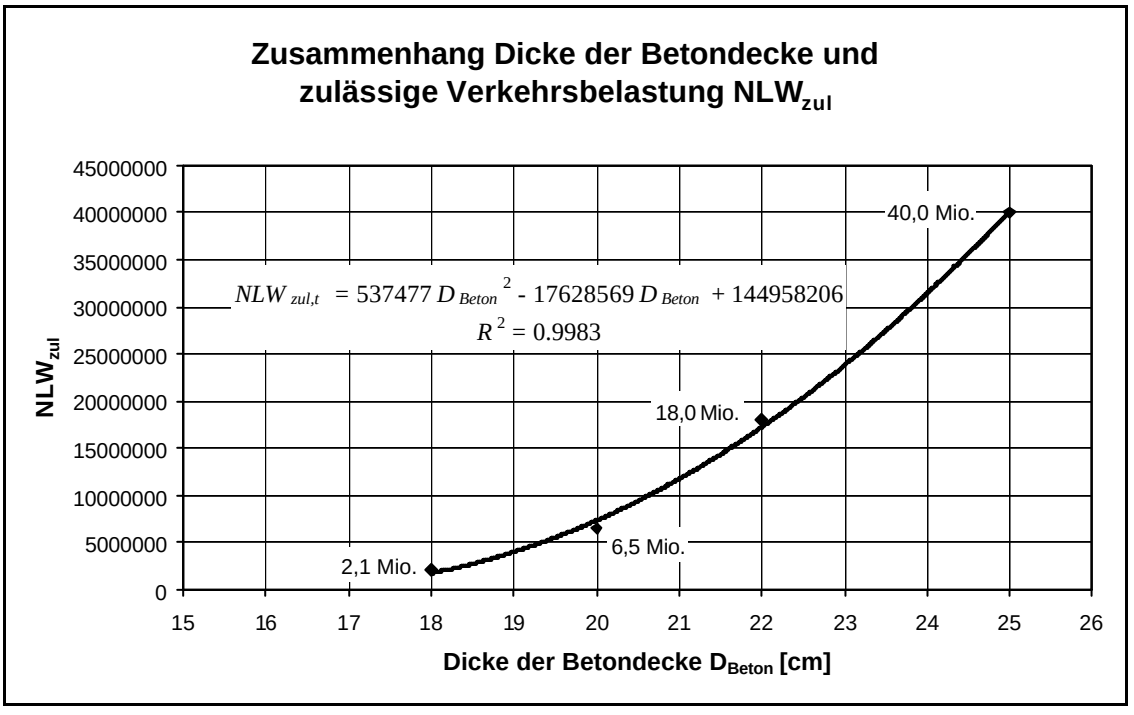


Abbildung 43: Zusammenhang Dicke Betondecke (verdübelt) und zulässige Verkehrsbelastung

Der funktionelle Zusammenhang zwischen Dicke der Betondecke (verdübelt) und der zulässigen Verkehrsbelastung von Betondecken wird daher in Anlehnung an die

RVS 3.63 [10] mittels linearer Regressionsrechnung definiert (siehe Abbildung 43). Das errechnete Bestimmtheitsmaß von *R = 0,998* zeigt, dass die nachfolgende Gleichung für die Abschätzung der Tragfähigkeit eine ausgezeichnete Genauigkeit besitzt.

$$NLW_{zul,t,j} = 537.477 \cdot D^2_{Beton,j} - 17.628.569 \cdot D_{Beton,j} + 144.958.206 \qquad \text{(Gl. 5.14)}$$

mit: $NLW_{zul,t,j}$ ..zulässige Normlastwechsel zum Zeitpunkt t auf dem Abschnitt j
$D_{Beton,j}$.....Dicke der Betondecke auf dem Abschnitt j in [cm]

5.3 Kenngrößen der Verkehrsbelastung

Wie bereits in Kapitel 4.5 erwähnt, ist die Schwerverkehrsbelastung der Oberbaukonstruktion der maßgebende Einflussfaktor für

- die Wahl von Erhaltungsmaßnahmen (Anwendungsgrenzen), die
- Beurteilung der Entwicklung des Straßenzustandes (Straßenzustandsprognosemodelle), die
- Bewertung des strukturellen Zustandes und die
- Abschätzung der Kosten für die Erhaltungsmaßnahmen.

Die Gesamtverkehrsbelastung (alle Fahrzeuge) wird darüber hinaus für die Berechnung des Nutzens einer Maßnahme herangezogen, der wiederum ein grundlegendes Entscheidungskriterium im Rahmen der Optimierung darstellt.

5.3.1 Verkehrsstärken und Fahrzeugkategorien

Für die Datenanalyse werden die Werte der Verkehrsstärken aus den händischen Verkehrszählungen ab dem Jahr 1985 entnommen. Diese Verkehrsdaten (1985, 1990 und 1995) stellen mit Ausnahme jener Bereiche, wo automatische Zählstellen situiert sind, den aktuellsten Stand an „flächendeckenden" Informationen über das österreichische Bundesstraßennetz dar. Aus den vorhandenen Verkehrsdaten werden folgende Verkehrsstärken entnommen bzw. berechnet:

- Jährlich durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (JDTV)
- Jährlich durchschnittliche tägliche Lastverkehrsstärke (JDTLV)
- Anteil der Fahrzeugkategorien des Schwerverkehrs

Jährlich durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke

Die jährlich durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (JDTV) in KFZ/24h kann direkt aus den Daten der händischen Verkehrszählungen entnommen werden.

Jährlich durchschnittliche tägliche Lastverkehrsstärke

Die jährlich durchschnittliche tägliche Lastverkehrsstärke (JDTLV) in LKW/24h kann nicht direkt aus den Daten der händischen Verkehrszählung entnommen werden, sondern errechnet sich mit Hilfe der Verkehrsstärken einzelner Fahrzeugkategorien nach folgender Gleichung:

$$JDTLV_j = GV_j - LW_j + BUS_j \qquad \text{(Gl. 5.15)}$$

mit: $JDTLV_j$.....jährlich durchschnittliche tägliche Lastverkehrsstärke auf dem Abschnitt j in [LKW/24h]
GV_j .....Güterverkehr auf dem Abschnitt j in [Güterverkehr/24h]
LW_j.....Lieferwagen auf dem Abschnitt j in [Lieferwagen/24h]
BUS_j .....Busse auf dem Abschnitt j in [Busse/24h]

Anteil der Fahrzeugkategorien des Schwerverkehrs

Der Anteil der Fahrzeugkategorien des Schwerverkehrs wird in Prozent am Gesamtverkehr errechnet. Im Vergleich zu den Berechnungen zur Oberbaudimensionierung, wo die Schwerverkehrsbelastung in Form der $JDTV_{i,j}$-Werte (*i* für die entsprechende Fahrzeugkategorie) direkt einfließt, werden im Zuge der Datenanalyse auch die Prozentanteile der Fahrzeugkategorien verwendet:

$$FK_{i,j} = \frac{JDTV_{i,j}}{JDTV_j} \cdot 100 \quad [\%] \qquad \text{(Gl. 5.16)}$$

mit: $FK_{i,j}$ .....Anteil der Fahrzeugkategorie i auf dem Abschnitt j am Gesamtverkehr in [%]
$JDTV_j$ .....jährlich durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke auf dem Abschnitt j in [KFZ/24h]
$JDTV_{i,j}$.....jährlich durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke der Fahrzeugkategorie i auf dem Abschnitt j in [KFZ_i/24h]

Dabei werden in Anlehnung an die RVS 3.63 [10] folgende Fahrzeugkategorien des Schwerverkehrs berücksichtigt:

- Lastkraftwagen ohne Anhänger
- Lastkraftwagen mit Anhänger und Sattelzüge
- Busse

5.3.2 Normlastwechsel und kumulierte Normlastwechsel

5.3.2.1 Normlastwechsel

Neben der Verkehrsstärke in Form des JDTV- bzw. JDTLV-Wertes spielt bei der Berechnung von Kennzahlen der Verkehrsbelastung die Anzahl der Lastwechsel durch Fahrzeugachsen eine wesentliche Rolle. Da der Oberbau durch eine Vielzahl unterschiedlicher Achslasten beansprucht wird, müssen diese Achsübergänge für Vergleichszwecke auf eine äquivalente Anzahl von Übergängen einer Bezugs- oder Normachslast (z.B. 10 t) umgerechnet werden. Diese Umrechnung erfolgt mit Hilfe von sogenannten Achslastäquivalenzfaktoren. Diese sind in der österreichischen Richtlinie zur Bemessung des Straßenoberbaus RVS 3.63 [10] getrennt nach Fahrzeugkategorien oder für das gesamte Schwerverkehrskollektiv festgelegt.

5.3.2.2 Bemessungsnormlastwechsel

Die Ermittlung der maßgebenden Verkehrsbelastung zur Auswahl einer geeigneten Oberbaukonstruktion erfolgt unter Berücksichtigung von

- Straßenquerschnitt,
- richtungsmäßiger Aufteilung des Schwerverkehrs,

- Fahrspurvariation,
- Bemessungsperiode und
- Zuwachsfaktor.

Das Ergebnis wird in Bemessungsnormlastwechsel $BNLW_j$ ausgedrückt. Die Berechnung der Bemessungsnormlastwechsel auf einem Abschnitt *j* erfolgt dabei nach dem Näherungsverfahren der RVS 3.63 [10] unter Anwendung folgender Funktion:

$$BNLW_j = NLW_{tägl,j} \cdot R_j \cdot V_j \cdot S_j \cdot 365 \cdot n \cdot z_j \qquad \text{(Gl. 5.17)}$$

mit: $NLW_{tägl,j}$...durchschnittlich tägliche Normlastwechsel zum Zeitpunkt der Verkehrsfreigabe auf dem Abschnitt j
R_j .....Richtungsfaktor für die Aufteilung des Lastverkehrs auf die Fahrtrichtungen auf dem Abschnitt j gemäß Tabelle 8
V_j .....Faktor zur Berücksichtigung der Verteilung des Lastverkehrs auf mehrere Richtungsfahrstreifen auf dem Abschnitt j
S_j.....Faktor zur Berücksichtigung der Fahrspurverteilung innerhalb des Fahrstreifens auf dem Abschnitt j gemäß Tabelle 9
n.....Bemessungsperiode in Jahren
z_j .....Zuwachsfaktor auf dem Abschnitt j unter Berücksichtigung einer jährlichen Zuwachsrate p (%)

Die Berechnung der täglichen Normlastwechsel kann entweder unter Zugrundelegung der jährlich durchschnittlichen täglichen Lastverkehrsstärke $JDTLV_{ges}$ oder bei Kenntnis der Verkehrsstärken der einzelnen Fahrzeugkategorien des Schwerverkehrs über die jährlich durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke $JDTV_i$ der jeweiligen Fahrzeugkategorie *i* erfolgen [10]:

$$NLW_{tägl,j} = JDTLV_{ges,j} \cdot Ä_{JDTLV} \qquad \text{(Gl. 5.18)}$$

oder

$$NLW_{tägl,j} = \sum_i \left(JDTV_{i,j} \cdot Ä_i \right) \qquad \text{(Gl. 5.19)}$$

mit: $JDTLV_{ges,j}$ ...jährlich durchschnittliche tägliche Lastverkehrsstärke zum Zeitpunkt der Verkehrsfreigabe auf dem Abschnitt j
$JDTV_{i,j}$.....jährlich durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke der Fahrzeugkategorie i zum Zeitpunkt der Verkehrsfreigabe auf dem Abschnitt j
$Ä_{JDTLV}$.....mittlerer Äquivalenzwert des DTLV-Kollektivs gemäß Tabelle 6
$Ä_i$ .....mittlerer Äquivalenzwert der jeweiligen Fahrzeugkategorie i gemäß Tabelle 7

Straßenkategorie	**$Ä_{JDTLV}$**
Autobahnen und Schnellstraßen	1,00
Sonstige Straßen	0,90

Tabelle 6: mittlere Äquivalenzwerte des DTLV-Kollektivs für verschiedene Straßenkategorien gemäß [10]

Fahrzeugkategorie	$Ä_i$
LKW ohne Anhänger	0,70
LKW mit Anhänger bzw. Sattelzüge	1,20
Busse	0,60

Tabelle 7: mittlere Äquivalenzwerte für verschiedene Fahrzeugkategorien gem. [10]

Die Aufteilung des Verkehrs auf die Fahrtrichtungen erfolgt mit Hilfe des Richtungsfaktors *R.* Dabei ist zu beachten, dass die Verkehrsdaten von Autobahnen und Schnellstraßen getrennt nach Richtungsfahrbahn in der Straßendatenbank vorliegen, sodass eine Aufteilung nach RVS 3.63 [10] nur mehr bei den Bundesstraßen der Kategorie B erforderlich ist, sofern diese nicht als richtungsgetrennte Einbahnen vorliegen.

Straßenkategorie	R
Autobahnen, Schnellstraßen und Einbahnen bei Bundesstraßen der Kategorie B	1,0
Bundesstraßen der Kategorie B gemäß [10]	0,5

Tabelle 8: Richtungsfaktoren für verschiedene Straßenkategorien

Die Anzahl der Richtungsfahrstreifen ist die Eingangsgröße zur Bestimmung des Verteilungsfaktors *V* und damit zur Festlegung der Verkehrsbelastung auf dem höchstbelasteten Fahrstreifen. Für 1 bis 2 Richtungsfahrstreifen kann gemäß RVS 3.63 [10] ein Wert von 1,0 und für 3 oder mehr Richtungsfahrstreifen ein Wert von 0,9 in Rechnung gestellt werden. Derzeit stehen für die Anzahl der Fahrstreifen auf den österreichischen Bundesstraßen flächendeckend keine Werte zur Verfügung, sodass nur eine Abschätzung möglich ist. Deshalb wird für die Datenanalyse bis auf weiteres generell ein Wert von 1,0 als wahrscheinlichste Größe angenommen.

Die Festlegung der Spurvariation *S* erfolgt in Abhängigkeit von der Fahrstreifenbreite gemäß RVS 3.63 [10]. Wie bei der Anzahl der Richtungsfahrstreifen stehen auch für die Fahrstreifenbreiten derzeit keine flächendeckenden Daten zur Verfügung, sodass eine genaue Festlegung der Spurvariation *S* nicht möglich ist. Deshalb wird bis auf weiteres empfohlen, mit den Werten der Tabelle 9 zu arbeiten.

Straßenkategorie	S
Autobahnen und Schnellstraßen	0,80
Bundesstraßen der Kategorie B	0,85

Tabelle 9: Empfehlungen für die Festlegung der Spurvariation in Abhängigkeit von der Straßenkategorie

Die Bemessungsperiode *n* ist in Abhängigkeit vom Bautyp der Oberbaukonstruktion zu wählen und beträgt für flexible und halbstarre Befestigungen (Bautyp 1 bis 4 gemäß RVS 3.63 [10]) 20 Jahre und für starre Befestigungen (Bautyp 5 und 6 gemäß RVS 3.63 [10]) 30 Jahre. Diese Werte können direkt aus der RVS 3.63 übernommen werden.

Für die Berechnung des Zuwachsfaktors *z* während der Bemessungsperiode kann folgende Beziehung gemäß RVS 3.63 [10] verwendet werden:

$$z = \frac{q^n - 1}{n \cdot (q-1)} \text{ mit } q = 1 + \frac{p}{100} \qquad \text{(Gl. 5.20)}$$

mit: p.....mittlere jährliche Zuwachsrate [%]

Grundsätzlich sind für den Ansatz der Zuwachsfaktoren Ergebnisse von Verkehrszählungen bzw. Verkehrsprognosen heranzuziehen. Ist dies aufgrund fehlender Informationen nicht möglich, ist von einer mittleren jährlichen Zuwachsrate bei Autobahnen und Schnellstraßen von p = 3% und bei Bundesstraßen der Kategorie B von p = 1% auszugehen [10].

5.3.2.3 Kumulierte Normlastwechsel

Im Gegensatz zu den Bemessungsnormlastwechseln, die ausschließlich für eine prognostizierte Gesamtbelastung innerhalb der Bemessungsperiode von neuwertigen Oberbaukonstruktionen berechnet werden, ist unter den kumulierten Normlastwechseln jene Lastwechselanzahl zu verstehen, die aufgrund der tatsächlich vorhandenen Verkehrsbelastung innerhalb einer bestimmten Periode von t_A bis t_E bereits aufgetreten ist. Dies bedeutet, dass man Oberbaukonstruktionen, die bereits vor mehreren Jahren errichtet wurden, eine tatsächliche - aufgrund der vorhandenen Verkehrsbelastung ermittelte - Anzahl von bereits erfolgten Normlastwechseln zuordnen kann. Dabei besteht einerseits die Möglichkeit, dass die zugrundegelegte Bemessungsperiode zum Betrachtungszeitpunkt bereits überschritten wurde oder andererseits, dass ein Ende dieser Bemessungsperiode noch nicht erreicht ist. Beim letzteren Fall muss für den Rest der Bemessungsperiode wiederum eine Prognose durchgeführt werden.

Die Definition der kumulierten Normlastwechsel $NLW_{kum,j}$ für einen bestimmten Abschnitt j erfolgt dabei allgemein für eine Periode t_A bis t_E (siehe Abbildung 44) über folgende Gleichung:

$$NLW_{kum,\,j} = \sum_{A=1}^{E} \left[\frac{1}{2} \cdot \left(JDTLV_{ges,\,A,\,j} + JDTLV_{ges,\,A+1,\,j} \right) \cdot \left(t_{A+1} - t_A \right) \right] \cdot \ddot{A}_{JDTLV} \cdot R \cdot V \cdot S \cdot 365$$

(Gl. 5.21)

mit: $NLW_{kum,j}$ .....kumulierte Normlastwechsel auf dem Abschnitt j
$JDTLV_{ges,A,j}$.....jährlich durchschnittliche tägliche Lastverkehrsstärke auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt A
t_A.....Zeitpunkt A der Verkehrszählung

Liegen die Verkehrsstärken getrennt für die einzelnen Fahrzeugkategorien vor, so können auch die kumulierten Lastwechsel mit diesen Werten in analoger Weise berechnet werden, wobei allerdings der Rechenaufwand wesentlich erhöht wird.

$$NLW_{kum,\,j} = \sum_{i=1}^{n} \left\{ \sum_{A=1}^{E} \left[\frac{1}{2} \cdot \left(JDTV_{i,\,A,\,j} + JDTV_{i,\,A+1,\,j} \right) \cdot \left(t_{A+1} - t_A \right) \right] \cdot \ddot{A}_i \right\} \cdot R \cdot V \cdot S \cdot 365$$

(Gl. 5.22)

mit: $JDTV_{i,A,j}$ .....jährlich durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke der Fahrzeugkategorie i auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt A

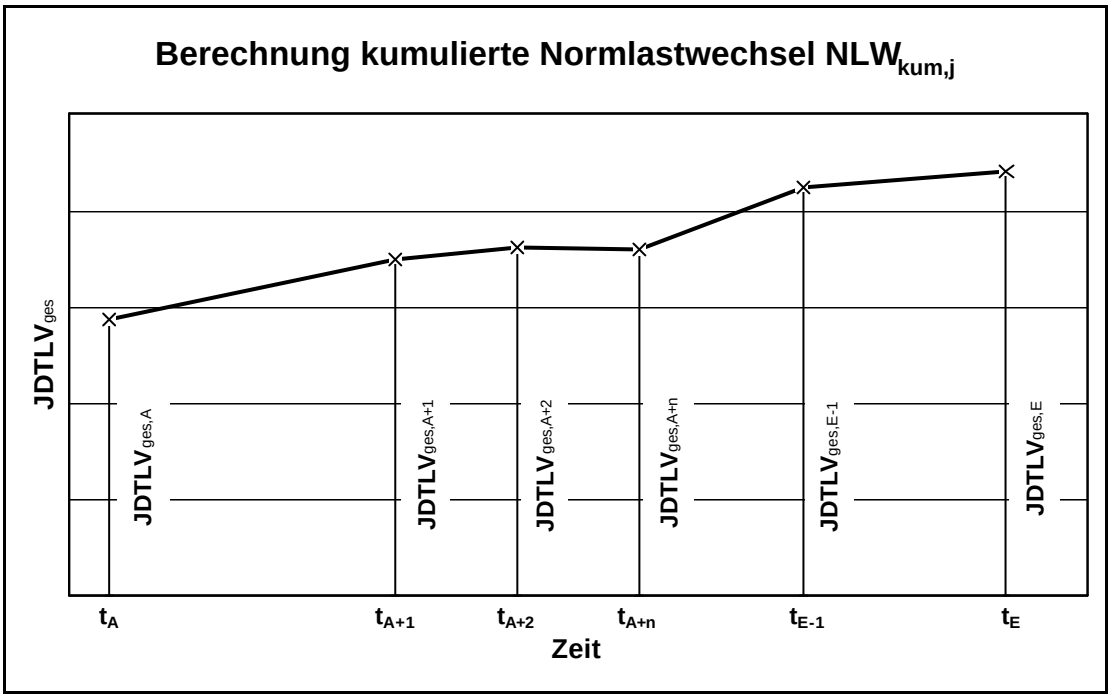


Abbildung 44: Schematische Darstellung zur Berechnung der kumulierten Normlastwechsel

Die Verwendung der Verkehrsstärke der einzelnen Fahrzeugkategorien des Schwerverkehrs oder des Gesamt-Schwerverkehrs hängt vom Umfang der zur Verfügung stehenden Daten sowie von den weiterführenden Berechnungen ab. Die Verwendung der gesamten Lastverkehrsstärke $JDTLV_{ges,A,j}$ für die Berechnung des Verkehrsbelastungskoeffizienten (siehe Kapitel 5.3.3), liefert für die Zwecke des Pavement Managements eine ausreichende Genauigkeit.

In den meisten Fällen stimmt der Anfangs- und/oder der Endzeitpunkt der zu untersuchenden Periode nicht mit dem Zeitpunkt einer Verkehrserhebung überein. Ist dies der Fall, so muss entweder zwischen zwei Werten geradlinig interpoliert werden, bzw. wenn der Anfangs- und/oder der Endzeitpunkt außerhalb der Erfassungsperiode liegt, extrapoliert werden. Für die Inter- bzw. Extrapolation sind für einen Abschnitt *j* mindestens zwei Werte erforderlich.

Die Interpolation erfolgt dabei für die gesamte Lastverkehrsstärke $JDTLV_{ges,A,j}$ und für die Verkehrsstärke der Fahrzeugkategorie *i* nach folgenden Gleichungen:

$$JDTLV_{ges,A,j} = JDTLV_{ges,A-1,j} + \frac{JDTLV_{ges,A+1,j} - JDTLV_{ges,A-1,j}}{t_{A+1} - t_{A-1}} \cdot \left(t_A - t_{A-1}\right) \quad \text{(Gl. 5.23)}$$

$$JDTV_{i,A,j} = JDTV_{i,A-1,j} + \frac{JDTV_{i,A+1,j} - JDTV_{i,A-1,j}}{t_{A+1} - t_{A-1}} \cdot \left(t_A - t_{A-1}\right) \quad \text{(Gl. 5.24)}$$

Für die Extrapolation der Verkehrsstärken am Anfang und am Ende der zu untersuchenden Periode müssen einige Randbedingungen festgelegt werden, die mit geringfügigen Abweichungen zu [22] wie folgt definiert sind (siehe Abbildung 45):

- Der minimale Zuwachs der Verkehrsbelastung wird nach unten hin mit einem Wert von 0% beschränkt. Verkehrsstärken, die vor der ersten in der Straßendatenbank implementierten Verkehrszählung (1985) berechnet werden, können daher nur einen Wert annehmen, der kleiner oder gleich jenem der ersten Verkehrszählung ist. Verkehrsstärken, die nach der letzten Verkehrszählung berechnet werden, können entweder den gleichen oder einen höheren Wert, als jenen der letzten Erhebung annehmen. D.h. die extrapolierte Verkehrsbelastung steigt entweder oder stagniert.
- Um bei der Extrapolation eine negative Verkehrsbelastung für den Zeitbereich vor der ersten in der Straßendatenbank implementierten Verkehrszählung (1985) zu vermeiden, wird die kleinste mögliche Verkehrsstärke für die Extrapolation mit 10% der Verkehrsbelastung der ersten in der Straßendatenbank implementierten Verkehrszählung nach unten beschränkt. Die Festlegung einer maximalen Zuwachsrate ist für diesen Bereich daher nicht erforderlich.
- Der jährliche Zuwachs für eine prognostizierte Verkehrsbelastung beträgt maximal 5% (der zuletzt erhobenen Verkehrsbelastung).
- Für die Extrapolation von Verkehrsdaten sollten in der Regel 3 Werte aus hintereinander liegenden Verkehrszählungen verwendet werden (Berechnung eines mittleren Anstiegs). Sind nur zwei Zählwerte vorhanden, so wird mit diesen Werten eine einfache lineare Extrapolation durchgeführt. Ist nur ein einziger Wert vorhanden, so wird in Anlehnung an die RVS 3.63 [10] eine jährliche Zuwachsrate auf Autobahnen und Schnellstraßen mit 3% und auf Bundesstraßen mit 1% der erhobenen Verkehrsstärke linear extrapoliert.

Die Berechnung des jährlichen Anstiegs der gesamten Lastverkehrsstärke $DJDTLV_{ges,A,,j}$ bzw. des jährlichen Anstiegs der Verkehrsstärke der Fahrzeugkategorie i $DJDTV_{i,A,,j}$ auf dem Abschnitt j für eine Extrapolation vor der ersten in der Datenbank implementierten Verkehrszählung (Zeitpunkt t_{A+1}) ergibt sich durch:

$$\Delta JDTLV_{ges,A,j} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{JDTLV_{ges,A+2,j} - JDTLV_{ges,A+1,j}}{t_{A+2} - t_{A+1}} + \frac{JDTLV_{ges,A+3,j} - JDTLV_{ges,A+2,j}}{t_{A+3} - t_{A+2}} \right)$$
$$\text{mit } \left[\Delta JDTLV_{ges,A,j} \geq 0 \right] \qquad \text{(Gl. 5.25)}$$

$$\Delta JDTV_{i,A,j} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{JDTV_{i,A+2,j} - JDTV_{i,A+1,j}}{t_{A+2} - t_{A+1}} + \frac{JDTV_{i,A+3,j} - JDTV_{i,A+2,j}}{t_{A+3} - t_{A+2}} \right)$$
$$\text{mit } \left[\Delta JDTV_{i,A,j} \geq 0 \right] \qquad \text{(Gl. 5.26)}$$

Daraus errechnet sich die Verkehrsbelastung auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t_A mit:

$$JDTLV_{ges,A,j} = JDTLV_{ges,A+1,j} - \Delta JDTLV_{ges,A,j} \cdot (t_{A+1} - t_A)$$
$$\text{mit } \left[JDTLV_{ges,A,j} \geq 0{,}1 \cdot JDTLV_{ges,A+1,j} \right] \quad \text{(Gl. 5.27)}$$

$$JDTV_{i,A,j} = JDTV_{i,A+1,j} - \Delta JDTV_{i,A,j} \cdot (t_{A+1} - t_A)$$
$$\text{mit } \left[JDTV_{i,A,j} \geq 0{,}1 \cdot JDTV_{i,A+1,j} \right] \quad \text{(Gl. 5.28)}$$

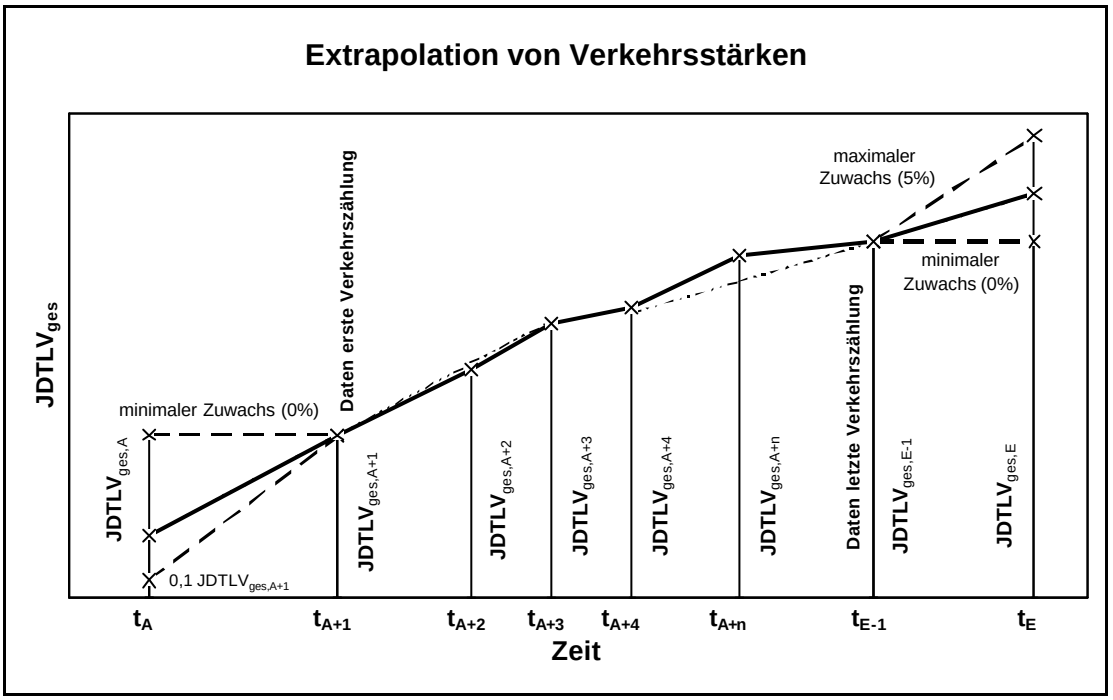


Abbildung 45: Schematische Darstellung zur Extrapolation von Verkehrsstärken

Die Berechnung des jährlichen Anstiegs der gesamten Lastverkehrsstärke $DJDTLV_{ges,E,,j}$ bzw. des jährlichen Anstiegs der Verkehrsstärke der Fahrzeugkategorie i $DJDTV_{i,E,,j}$ auf dem Abschnitt j für eine Extrapolation nach der zuletzt durchgeführten Verkehrszählung (Zeitpunkt t_{E-1}) kann in analoger Weise vorgenommen werden.

$$\Delta JDTLV_{ges,E,j} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{JDTLV_{ges,E-1,j} - JDTLV_{ges,E-2,j}}{t_{E-1} - t_{E-2}} + \frac{JDTLV_{ges,E-2,j} - JDTLV_{ges,E-3,j}}{t_{E-2} - t_{E-3}} \right)$$
$$\text{mit } \left[0 \leq \Delta JDTLV_{ges,E,j} \leq 0{,}05 \cdot JDTLV_{ges,E-1,j} \right] \quad \text{(Gl. 5.29)}$$

$$\Delta JDTV_{i,E,j} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{JDTV_{i,E-1,j} - JDTV_{i,E-2,j}}{t_{E-1} - t_{E-2}} + \frac{JDTV_{i,E-2,j} - JDTV_{i,E-3,j}}{t_{E-2} - t_{E-3}} \right)$$
$$\text{mit } \left[0 \leq \Delta JDTV_{i,A,j} \leq 0{,}05 \cdot JDTV_{i,E-1,j} \right] \quad \text{(Gl. 5.30)}$$

Daraus errechnet sich die Verkehrsbelastung auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t_E mit:

$$JDTLV_{ges,E,j} = JDTLV_{ges,E-1,j} + \Delta JDTLV_{ges,E,j} \cdot (t_E - t_{E-1}) \quad \text{(Gl. 5.31)}$$

$$JDTV_{i,E,j} = JDTV_{i,E-1,j} + \Delta JDTV_{i,E,j} \cdot (t_E - t_{E-1}) \quad \text{(Gl. 5.32)}$$

Eine genaue Definition der einzelnen im Rahmen der Datenanalyse erforderlichen Normlastwechsel erfolgt über die Festlegung der Zeitperiode. Dabei handelt es sich um folgende zwei Kennwerte:

- **$NLW_{vorh,n,j}$**: Diese Kennzahl gibt die Anzahl der Normlastwechsel an, die ab dem Zeitpunkt der Verkehrsfreigabe bis zum Ende der technischen (theoretischen) Lebensdauer der Oberbaukonstruktion auf dem Abschnitt *j* auftreten. Die zu untersuchende Periode ist in diesem Fall die Bemessungsperiode *n* der Oberbaukonstruktion, wobei für bituminöse Oberbaukonstruktionen eine Periode von *n = 20* Jahre ($NLW_{vorh,20,j}$) und bei Betondecken bzw. Betondecken mit bituminösen Überzügen eine Periode von *n = 30* Jahre ($NLW_{vorh,30,j}$) in Rechnung gestellt wird. Wurde die Oberbaukonstruktion seit ihrer Errichtung bereits ein- oder mehrmals instandgesetzt, so ist das Ende der Bemessungsperiode *n* auf das Herstellungsjahr der Tragschicht zu beziehen.
- **$NLW_{vorh,0,j}$**: Diese Kennzahl gibt auf der Grundlage der vorhandenen Verkehrsbelastung die Anzahl der kumulierten Normlastwechsel an, die ab dem Zeitpunkt der Verkehrsfreigabe bis zum Beginn der Datenanalyse (t_0) auf dem Abschnitt *j* auftraten.

5.3.3 Verkehrsbelastungskoeffizient

Der Verkehrsbelastungskoeffizient wird zur Kategorisierung einer Oberbaukonstruktion in über-, richtig- und unterdimensionierte Aufbauten verwendet und stellt somit eine wesentliche Eingangsgröße für die Prognose der Zustandsentwicklung dar (siehe Kapitel 7.3). Ein unterdimensionierter Oberbau zeigt i.A. eine progressivere Zustandsverschlechterung als eine richtig- oder überdimensionierte Konstruktion.

Der Verkehrsbelastungskoeffizient VB_j für einen Straßenabschnitt *j* ist nach [22] der Quotient aus der tatsächlichen Anzahl an Normlastwechsel $NLW_{vorh,n,j}$ und der zulässigen Anzahl an Normlastwechsel $NLW_{zul,t,j}$ der Oberbaukonstruktion:

$$VB_j = \frac{NLW_{zul,t,j}}{NLW_{vorh,n,j}} \quad \text{(Gl. 5.33)}$$

mit: $NLW_{zul,t,j}$ .....Anzahl der zulässigen Normlastwechsel der Oberbaukonstruktion
$NLW_{vorh,n,j}$...Anzahl der vorhandenen Normlastwechsel in der Periode n

Die tatsächlich vorhandene Verkehrsbelastung, ausgedrückt durch die Kennzahl $NLW_{vorh,n,j}$ (siehe Kapitel 5.3.2.3), wird dabei aus den Ergebnissen der Verkehrszählungen, den Annahmen der RVS 3.63 [10] und eventuellen Schätzungen über den Zuwachs des Schwerverkehrs für die Bemessungsperiode ermittelt. Die zulässige Verkehrsbelastung der Oberbaukonstruktion wird unter Zuhilfenahme der Tragfähig-

keitszahl $TZ_{t,j}$ (siehe Kapitel 5.2.2.6.3) bei flexiblen Oberbaukonstruktionen oder der Dicke der Betondecke $D_{Beton,j}$ (siehe 5.2.3.1) bei starren Oberbaukonstruktionen berechnet.

Liegt der Verkehrsbelastungskoeffizient VB_j über 1, so ist der betrachtete Abschnitt überdimensioniert, ist der Koeffizient kleiner als 1, so ist der betrachtete Abschnitt unterdimensioniert. Zur Diskretisierung wurden folgende Gruppen gebildet, welche eine Unterdimensionierung (Gruppe D-), eine technisch richtige Dimensionierung (Gruppe D0) bzw. eine Überdimensionierung (Gruppe D+) symbolisieren sollen (siehe Tabelle 10) [22].

Gruppe	**VB_j**
D-	<0,5
D0	0,5 – 2,0
D+	> 2,0

Tabelle 10: Kategorisierung Verkehrsbelastungskoeffizient nach [22]

5.4 Bewertung des Straßenzustandes

5.4.1 Allgemeines

Die Bewertung des Straßenzustandes bildet die Grundlage für die Feststellung des Erhaltungsbedarfs. Dazu werden die aktuellen oder prognostizierten Zustandsinformationen mit den Oberbaudaten verknüpft, sodass während der Analyse eine Aussage über den Zustand des Straßenabschnitts oder des Straßennetzes zu einem bestimmten Zeitpunkt möglich ist. Die Anwendung dieses Bewertungsverfahrens erfolgt für jedes Jahr innerhalb der zuvor festgelegten Analyseperiode, sodass als Ergebnis einer mehrjährigen Betrachtung eine Zeitreihe für ein bestimmtes Merkmal zur Verfügung steht. Unabhängig vom Zeitpunkt wird immer der gleiche Berechnungsalgorithmus angewendet. Das nachfolgend beschriebene Bewertungsverfahren gilt also für jeden Zeitpunkt *t* innerhalb der Analyseperiode.

Ein einzelnes Zustandsmerkmal beschreibt nur eine bestimmte Eigenschaft der Straßenoberfläche und ermöglich noch keine eindeutige Aussage über den „Gesamtzustand“ der Straße. Erst die Kombination der einzelnen Zustandsmerkmale sowie die Informationen der Oberbaukonstruktion (Material, Alter, Schichtdicken, etc.) ermöglichen eine präzisere Aussage über den Zustand der Straße zu jedem bestimmten Zeitpunkt *t*. Es ist daher erforderlich und sinnvoll, diese Informationen zu Teil- und Gesamtwerten zusammenzufassen. Dies ist vor allem bei der Optimierung von Vorteil, da mathematisch nur nach einem einzigen Wert optimiert werden kann, der somit die Informationen möglichst vieler Eigenschaften des Bauwerks Straße enthalten soll. Zum Beispiel liefert das Zustandsmerkmal Spurrinnen alleine keine eindeutige Aussage über den Straßenzustand, da es nur einen „Teilaspekt“ berücksichtigt. Auch die anderen Zustandsmerkmale und die Oberbaukonstruktion (z.B. Schichtalter) sind bei der Beurteilung von entscheidender Bedeutung.

Für die Festlegung von Teilwerten ist ein Vergleich mit den Teilzielen der systematischen Straßenerhaltung sinnvoll, die ebenfalls einen Teilaspekt berücksichtigen. Solche Teilziele sind in Anlehnung an [35]:

- Erhaltung der Fahrsicherheit
- Erhaltung des Fahrkomforts
- Erhaltung der Substanz

Die Zustandsmerkmale und Oberbauinformationen können dabei entweder einem bestimmten oder mehreren Teilzielen zugeordnet werden. Welches Zustandsmerkmal bzw. welche Oberbauinformation einem bestimmten Teilziel zugeordnet wird, hängt vom Eigenschaftsbereich der Information ab. Das Zustandsmerkmal Griffigkeit beschreibt zum Beispiel den Aspekt Fahrsicherheit, während Risse für eine strukturelle Beurteilung eine entscheidende Aussage liefern. Für die Bewertung des Straßenzustandes werden in Bezug auf die genannten Teilziele zwei Teilwerte für jeden Abschnitt *j* definiert:

- Substanzwert (Substanzindex) SI_j: Teilwert zur Beschreibung der strukturellen Beschaffenheit der Oberbaukonstruktion
- Gebrauchswert (Gebrauchsindex) GI_j: Teilwert zur Beschreibung der Fahrsicherheit und des Fahrkomforts der Oberbaukonstruktion

Die Zusammenführung der einzelnen Zustandsmerkmale und Oberbauinformationen zu diesen Teilzielen ist in den nachfolgenden Kapiteln genau erläutert, wobei eine wesentliche Differenzierung zwischen bituminösen Oberbaukonstruktionen und Betondecken bzw. Betondecken mit bituminösem Überzug erfolgt.

Zu unterscheiden sind bei der Bewertung des Straßenzustandes zwei Hauptschritte, die nach [35] als funktionsabhängige Normierung und Wertsynthese bezeichnet werden.

- Die funktionsabhängige Normierung führt die Zustandsgröße eines Zustandsmerkmals in einen dimensionsfreien Zustandswert über. Damit wird die Vergleichbarkeit mit anderen Zustandswerten und somit die Zusammenführung zu Teilwerten ermöglicht.
- Um die Auswirkungen der einzelnen Zustandswerte auf die Teilziele bzw. Teilwerte abschätzen zu können, ist eine Wertsynthese erforderlich. Dies geschieht mit Hilfe von Gewichtungs- und Verknüpfungsvorschriften.

Die Bildung dieser Teilwerte stellt jedoch nicht das endgültige Ziel der Wertsynthese dar, sondern ist lediglich eine Zwischenstufe. Das Endergebnis der Bewertung soll eine Kennziffer sein, welche die Information über den Gesamtzustand eines Abschnitts darstellt und nach dem auch optimiert werden kann. Diese als Gesamtwert GW_j eines Abschnitts j bezeichnete Kennziffer ist daher das Ergebnis der Zusammenführung der Teilwerte unter Berücksichtigung der Bedeutung der zuvor beschriebenen Teilziele. Die Bildung des Gesamtwertes, getrennt nach flexiblen und starren Befestigungen, kann dem Kapitel 5.4.7 entnommen werden. Die nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 46 und Abbildung 47) zeigen schematisch die Zusammenführung der Zustandsmerkmale und Oberbauinformationen zu den Teilwerten Substanzwert SI_j und Gebrauchswert GI_j sowie das Endergebnis dieses Verfahrens in Form des Gesamtwertes GW_j.

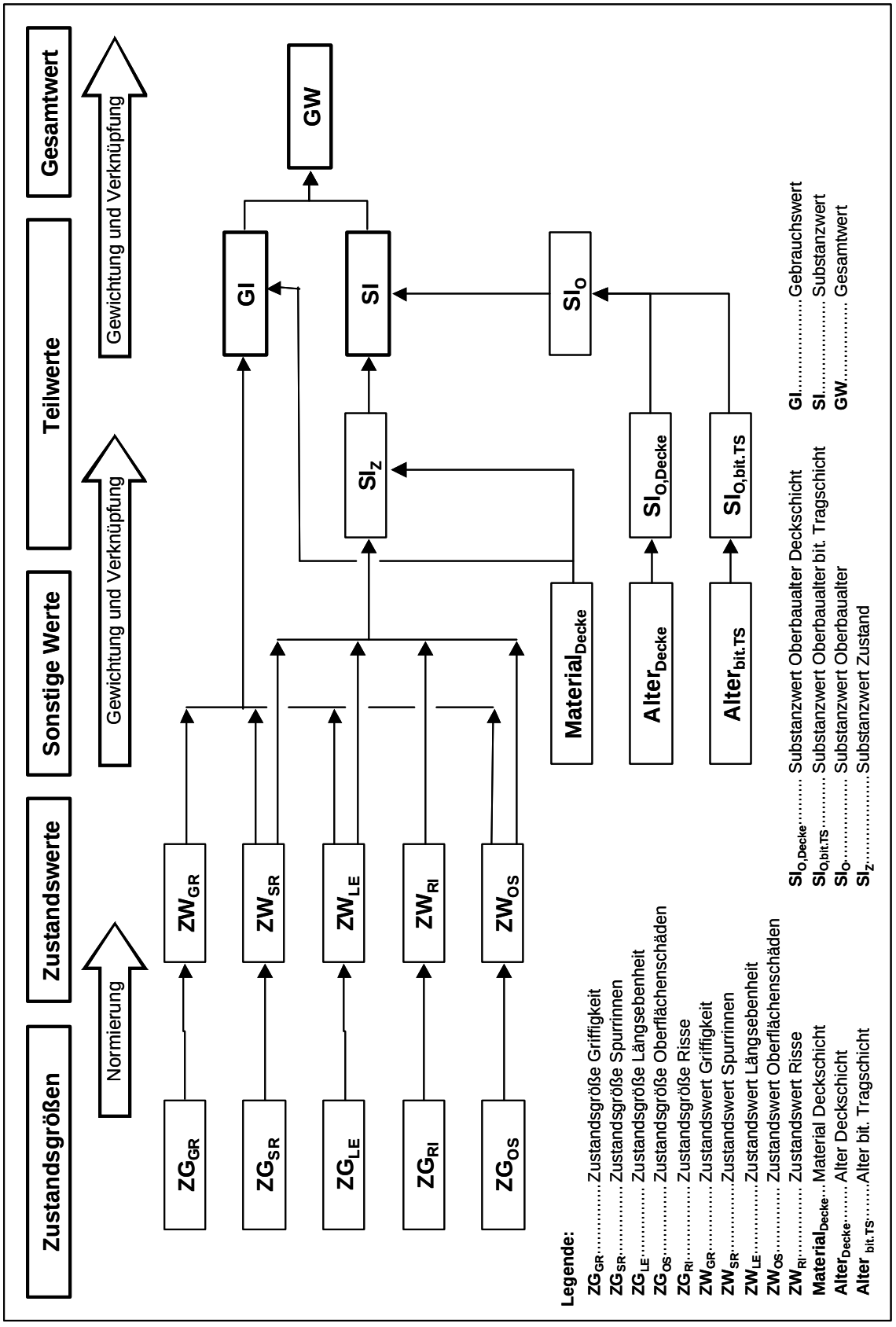


Abbildung 46: Schematische Darstellung zur Bildung der Teilwerte und des Gesamtwertes für bituminöse Befestigungen

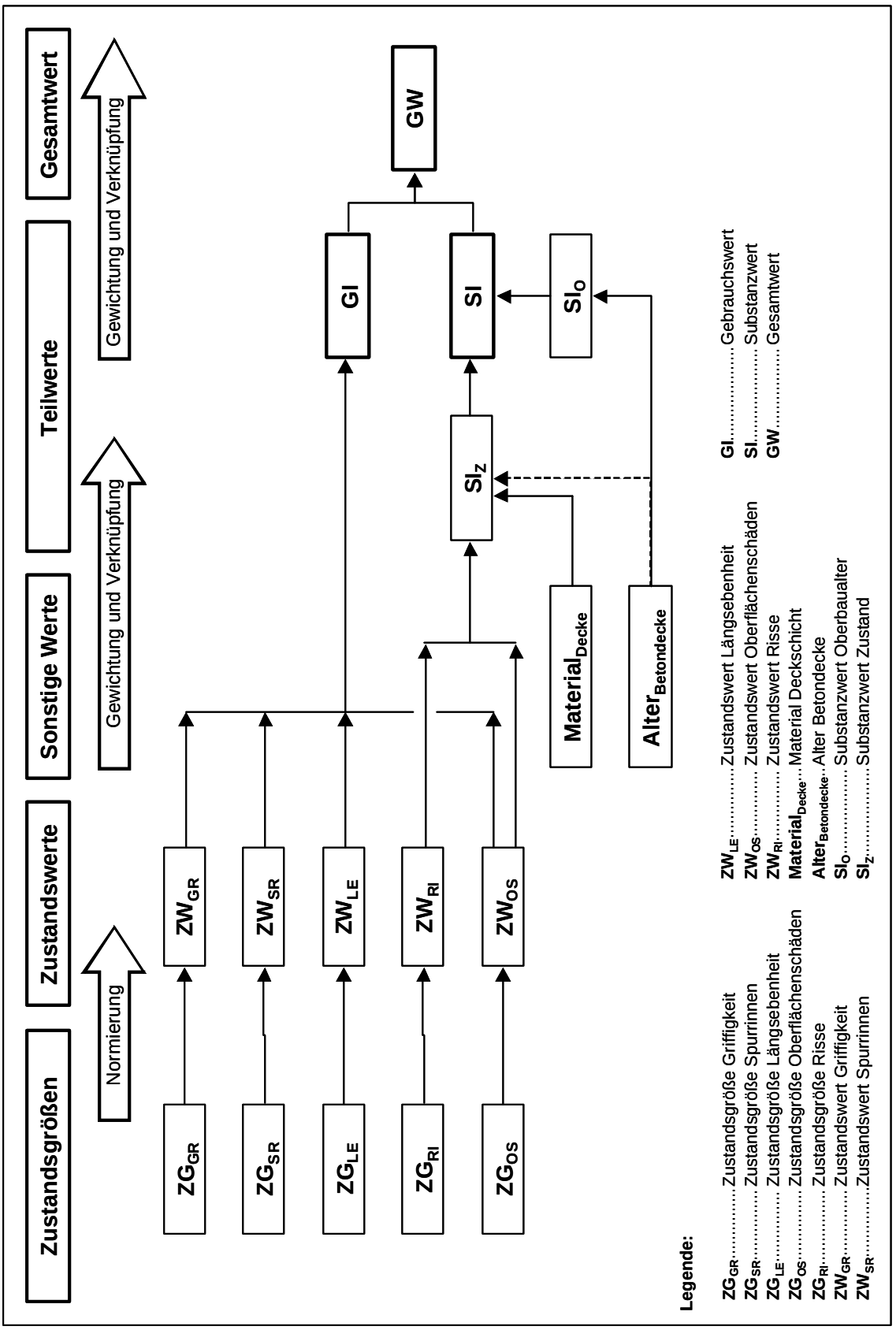


Abbildung 47: Schematische Darstellung zur Bildung der Teilwerte und des Gesamtwertes für Betondecken und Betondecken mit bituminösem Überzug

5.4.2 Auswahl von Zustandsmerkmalen

Die Auswahl von bestimmten Zustandsmerkmalen zur Beschreibung des Straßenzustandes ist von folgenden Randbedingungen abhängig:

- Verfügbarkeit der Zustandsinformationen
- Art und Umfang der Straßenzustandserfassungen
- Anwendungsbereich (Netz- oder Projektebene)

Je größer die Anzahl der in Betracht gezogenen Zustandsmerkmale ist, desto höher ist der Detaillierungsgrad der Informationen, desto geringer ist jedoch in der Regel der Flächendeckungsgrad dieser Informationen. Für ein PMS auf Netzebene sollten daher nur jene Zustandsmerkmale in der Analyse verwendet werden, die auch auf dem gesamten Straßennetz zur Verfügung stehen. Die Zustandsmerkmale für ein PMS auf Netzebene sollten dabei aber so ausgewählt werden, dass möglichst jeder Teilaspekt des Straßenzustandes durch mindestens ein Zustandsmerkmal beschrieben wird. Liegen für einen dieser Teilbereiche mehrere Informationen vor, so ist es zur Vereinfachung des Systems umgekehrt auch sinnvoll, diese „Einzelmerkmale“ zu einem „übergeordneten“ Zustandsmerkmal zusammenzufassen (z.B. Einzelrisse und Netzrisse zum Zustandsmerkmal Risse).

Aus den in Österreich von 1995 bis 2000 messtechnisch und visuell durchgeführten Zustandserfassungen konnten 5 übergeordnete Zustandsmerkmale für die Bewertung auf Netzebene definiert werden, die hinsichtlich des Schadensbildes sehr unterschiedlich sind. Es sind dies:

- Oberflächenschäden
- Risse
- Ebenheit in Querrichtung (Spurrinnen)
- Ebenheit in Längsrichtung (Längsebenheit)
- Griffigkeit

5.4.3 Zustandsgrößen

5.4.3.1 Definition Zustandsgröße

Zustandsgrößen werden zur qualitativen oder quantitativen Beschreibung von Zustandsmerkmalen herangezogen. Es handelt sich bei Zustandsgrößen entweder um physikalische Werte (z.B. m, m^2, m/km, etc.) oder um Flächen- bzw. Längenbezugswerte (Prozentwert), die für einen bestimmten Abschnitt aus Mess- oder Erfassungsgrößen gebildet werden. Eine Zustandsgröße ist somit immer auf einen bestimmten Abschnitt bezogen und für diesen repräsentativ, unabhängig welche Länge dieser aufweist. Wurden die Informationen der Mess- oder Erfassungsabschnitte zu längeren „homogenen“ Abschnitten zusammengefasst, so werden die resultierenden qualitativen oder quantitativen Informationen als repräsentative Zustandsgrößen bezeichnet (siehe Kapitel 4.6.4).

5.4.3.2 Berechnung von Zustandsgrößen

Die Berechnung der Zustandsgrößen erfolgt entweder durch eine Zusammenfassung der Erfassungsgrößen von Einzelmerkmalen (z.B. Risse) oder durch die Transformation von Messgrößen (auf kurzen Messabschnitten) auf homogene Zustandsabschnitte unter bestimmten Transformationsgesetzen (z.B. Mittelwert, Mittelwert plus Standardabweichung, etc.)

Erfassungsgrößen liefern in den meisten Fällen neben der Angabe des Schadensausmaßes (flächen- oder längenmäßige Ausbreitung) auch eine Information über die Schwere des Schadens (Grad der Schädigung). Ein Riss mit einer Länge von 1 m kann entweder als kaum erkennbarer Haarriss oder bereits als klaffender Riss vorliegen. Das Schadensausmaß ist in diesem Fall zwar identisch, jedoch die Schadensschwere ermöglicht erst eine Unterscheidung dieser Risse.

Die nachfolgende Abbildung 48 zeigt schematisch die Berechnung der Zustandsgrößen der Zustandsmerkmale Risse, Oberflächenschäden, Spurrinnen, Längsebenheit und Griffigkeit für die Verwendung im Analysesystem VIAPMS_AUSTRIA. Die Grundlage für die in den nachfolgenden Kapiteln dargestellten Verfahren zur Berechnung der Zustandsgrößen der 5 übergeordneten Zustandsmerkmale sind die letztgültigen Festlegungen für die messtechnische und visuelle Zustandserfassung auf den österreichischen Bundesstraßen [15, 16].

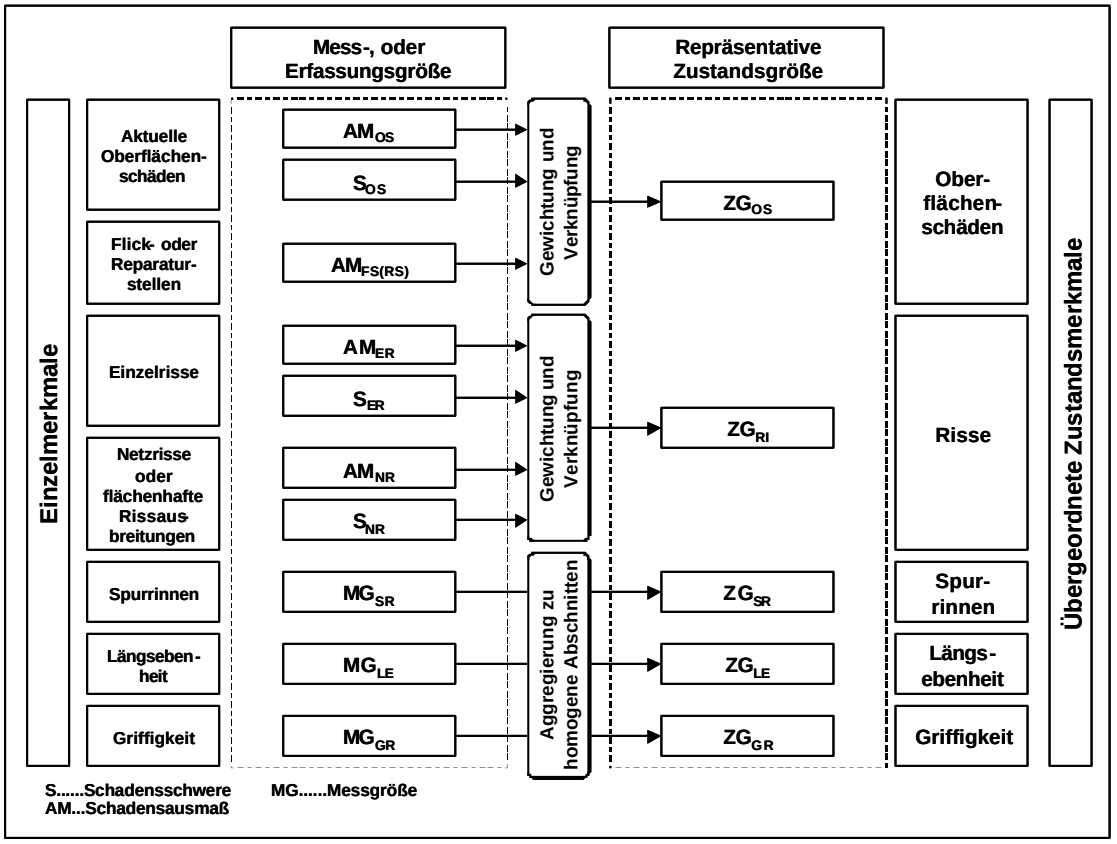


Abbildung 48: Schematische Darstellung zur Berechnung der Zustandsgrößen für das Analysesystem VIAPMS_AUSTRIA

5.4.3.3 Zustandsgröße Oberflächenschäden

5.4.3.3.1 Zustandsgröße Oberflächenschäden für bituminöse Befestigungen

Die Berechnung der Zustandsgröße „Oberflächenschäden“ für bituminöse Befestigungen (Asphaltstraßen) erfolgt durch Zusammenführung der Erfassungsgrößen der Einzelmerkmale

- aktuelle Oberflächenschäden und
- oberflächliche Flickstellen (behobene Oberflächenschäden).

Das Einzelmerkmal „aktuelle Oberflächenschäden“ wird bei bituminösen Befestigungen nach [16] durch das Ausmaß folgender Schäden definiert:

- Bindemittelaustritt
- Ausmagerungen
- Kornausbrüche
- Ablösungen und Abplatzungen
- Schlaglöcher

Neben dem Schadensausmaß wird für dieses Einzelmerkmal auch die Schadensschwere (S1 – geringe Ausprägung bis S3 – starke Ausprägung) bewertet. Die Schadensschwere ist dabei mit dem Schaden kombiniert, sodass z.B. Schlaglöcher ausnahmslos eine Schadensschwere S3 besitzen, im Vergleich zu Ablösungen, die sowohl über eine Schadensschwere S2 (Ablösen einer Oberflächenbehandlung) als auch über eine Schadensschwere S3 (Abplatzung einer Deckschicht) charakterisiert werden können.

Für das Zustandsmerkmal „oberflächliche Flickstellen“ wurde im Rahmen von [16] keine Schadensschwere definiert.

Das Schadensausmaß ist für beide Einzelmerkmale durch den Prozentwert der geschädigten Fläche im Verhältnis zu einer Bezugsfläche des Abschnitts definiert und besitzt daher keine physikalische Dimension. Ist der Abschnitt nicht geschädigt, werden das Schadensausmaß und die Schadensschwere mit dem Wert *0* beurteilt.

Die Zustandsgröße Oberflächenschäden $ZG_{OS,A,j}$ von bituminösen Befestigungen wird durch Addition der gewichteten Schadensausmaße der Oberflächenschäden und der oberflächlichen Flickstellen berechnet. Die Festlegung der Gewichtung erfolgt beim Einzelmerkmal „aktuelle Oberflächenschäden“ in Abhängigkeit von der Schadensschwere und beim Einzelmerkmal „oberflächliche Flickstellen“ über ein generelles Gewicht (siehe Tabelle 11). Daraus ergibt sich folgende Gleichung:

$$ZG_{OS,A,j} = AM_{OS,j} \cdot G_{S,OS,A} + AM_{FS,j} \cdot G_{FS,A} \qquad \text{(Gl. 5.34)}$$

mit: $ZG_{OS,A,j}$.....Zustandsgröße Oberflächenschäden der bituminösen Befestigung auf dem Abschnitt j in [%]
$AM_{OS,j}$ .....Schadensausmaß Oberflächenschäden der bituminösen Befestigung auf dem Abschnitt j in [%]

$G_{S,OS,A}$.....Gewicht Schadensschwere Oberflächenschäden bei bituminösen Befestigungen (siehe Tabelle 11)
$AM_{FS,j}$.....Schadensausmaß oberflächliche Flickstellen der bituminösen Befestigung auf dem Abschnitt j in [%]
$G_{FS,A}$ .....Gewicht oberflächliche Flickstellen bei bituminösen Befestigungen (siehe Tabelle 11)

5.4.3.3.2 Zustandsgröße Oberflächenschäden für Betondecken und Betondecken mit bituminösem Überzug

Bei Betondecken bzw. Betondecken mit bituminösem Überzug erfolgt die Berechnung der Zustandsgröße „Oberflächenschäden“ über folgende Einzelmerkmale:

- aktuelle Oberflächenschäden
- Reparaturstellen aus Asphalt

Das Einzelmerkmal „aktuelle Oberflächenschäden“ wird nach [16] durch die Schäden Ausbrüche und Ablösungen charakterisiert, wobei eine Differenzierung wiederum über die Schadensschwere vorgenommen wird. Das Schadensausmaß der beiden Einzelmerkmale ist – wie bei den bituminösen Befestigungen – das Verhältnis zwischen der geschädigten Fläche und der Bezugsfläche des Abschnitts. Auch bei Betondecken bzw. Betondecken mit bituminösem Überzug wird die Zustandsgröße Oberflächenschäden $ZG_{OS,B,j}$ über eine differenzierte Gewichtung aus den Oberflächenschäden und den Reparaturstellen aus Asphalt gebildet:

$$ZG_{OS,B,j} = AM_{OS,j} \cdot G_{S,OS,B} + AM_{RS,j} \cdot G_{RS,B} \qquad \text{(Gl. 5.35)}$$

mit: $ZG_{OS,B,j}$.....Zustandsgröße Oberflächenschäden der Betondecke mit oder ohne bituminösem Überzug auf dem Abschnitt j in [%]
$AM_{OS,j}$ .....Ausmaß Oberflächenschäden der Betondecke mit oder ohne bituminösem Überzug auf dem Abschnitt j in [%]
$G_{S,OS,B}$.....Gewicht Schadensschwere Oberflächenschäden bei Betondecken mit oder ohne bituminösem Überzug (siehe Tabelle 11)
$AM_{RS,j}$.....Ausmaß Reparaturstellen aus Asphalt bei Betondecken mit oder ohne bituminösem Überzug auf dem Abschnitt j in [%]
$G_{RS,B}$.....Gewicht Reparaturstellen aus Asphalt bei Betondecken mit oder ohne bituminösem Überzug (siehe Tabelle 11)

Reparaturstellen aus Beton (Plattenauswechslungen und oberflächliche Reparaturstellen) werden nicht berücksichtigt, da sie in der Regel strukturell voll wirksam sind. Allerdings wird durch das Auswechseln einzelner Platten die Längsebenheit beeinträchtigt, was aber im Rahmen der messtechnischen Aufnahme des Zustandsmerkmals Längsebenheit ersichtlich wird.

5.4.3.3.3 Gewichtung der Einzelmerkmale der Zustandsgröße Oberflächenschäden

Um eine Gewichtung festlegen zu können, muss vorweg die Auswirkung der Schadensschwere auf die Notwendigkeit von Instandsetzungsmaßnahmen des betrach-

teten Abschnitts definiert werden. Dies kann über festgelegte Grenzwerte (Warn- bzw. Schwellenwert, Definition siehe Kapitel 5.4.4.1) erfolgen. Der Warnwert stellt dabei den unteren Grenzwert dar, ab dem eine Instandsetzungsmaßnahme mittelfristig eingeplant werden sollte.

Folgende Randbedingungen werden bei der Ermittlung der Gewichte der Zustandsgröße Oberflächenschäden berücksichtigt

- Liegt ein Oberflächenschaden auf mehr als 50% der betrachteten Fläche auf Bundesstraßen der Kategorie A oder S vor, so sollten zumindest mittelfristig Instandsetzungsmaßnahmen in Betracht gezogen werden. Dies bedeutet, dass in diesem Fall unabhängig von der Schadensschwere das Zustandsmerkmal Oberflächenschäden einen Zustandswert über dem Warnwert aufweisen sollte. Der Warnwert (25% Schädigung auf Bundesstraßen der Kategorie A oder S) wird bei 50% Schädigung mit einer Schadensschwere von S1 bei einem Gewicht von 0,5 gerade erreicht.
- Liegt ein Oberflächenschaden auf mehr als 80% der betrachteten Fläche auf Bundesstraßen der Kategorie B vor, so sollten zumindest mittelfristig Instandsetzungsmaßnahmen in Betracht gezogen werden. Dies bedeutet, dass in diesem Fall unabhängig von der Schadensschwere das Zustandsmerkmal Oberflächenschäden einen Zustandswert über dem Warnwert aufweisen sollte. Der Warnwert (40% Schädigung auf Bundesstraßen der Kategorie B) wird bei 80% Schädigung mit einer Schadensschwere von S1 bei einem Gewicht von 0,5 gerade erreicht.
- Liegt ein Oberflächenschaden auf weniger als 5% der betrachteten Fläche auf Bundesstraßen der Kategorie A oder S vor, so sollte dies nicht zu einer kurz- oder mittelfristigen Instandsetzungsmaßnahme führen, es sei denn es handelt sich um die Gefahr einer progressiven Zustandsverschlechterung. Dies bedeutet, dass in diesem Fall auch bei Schadensschwere S3 das Zustandsmerkmal Oberflächenschäden einen Zustandswert aufweisen sollte, der maximal dem Warnwert entspricht. Der Warnwert (25% Schädigung auf Bundesstraßen der Kategorie A oder S) wird bei 5% Schädigung mit einer Schadensschwere von S3 bei einem Gewicht von 5,0 gerade erreicht.
- Liegt ein Oberflächenschaden auf weniger als 8% der betrachteten Fläche auf Bundesstraßen der Kategorie B vor, so sollte dies nicht zu einer kurz- oder mittelfristigen Instandsetzungsmaßnahme führen, es sei denn es handelt sich um die Gefahr einer progressiven Zustandsverschlechterung. Dies bedeutet, dass in diesem Fall auch bei Schadensschwere S3 das Zustandsmerkmal Oberflächenschäden einen Zustandswert aufweisen sollte, der maximal dem Warnwert entspricht. Der Warnwert (40% Schädigung auf Bundesstraßen der Kategorie B) wird bei 8% Schädigung mit einer Schadensschwere von S3 bei einem Gewicht von 5,0 gerade erreicht.

Die Anwendung dieser Randbedingungen führt zu folgenden Festlegungen (siehe Tabelle 11):

Bautyp	Gewichte für Zustandsgröße Oberflächenschäden				
	Oberflächenschäden			oberflächliche Flickstellen	Reparatur-stellen aus Asphalt
	Schadensschwere				
	S1	S2	S3		
BT13, BT4, BT1D, BT4D, BT1V, BT4V	0,5	1,0	5	0,5	-
BT56, BT5D	0,5	1,0	5	-	1,0

Tabelle 11: Gewichte Zustandsgröße Oberflächenschäden

5.4.3.4 Zustandsgröße Risse

5.4.3.4.1 Beschreibung von Rissen

Das Rissbild einer Straße setzt sich in vielen Fällen aus unterschiedlichen Rissen zusammen, die sowohl eine lineare Ausbreitung (z.B. Einzelrisse, Reflexionsrisse, offene Fugen, Nahtrisse, etc.) als auch eine flächenhafte Ausbreitung (z.B. Netzrisse) haben können. Da auch im Rahmen der visuellen Zustandserfassung 2000 nach [16] auf diesen Umstand Rücksicht genommen wurde, muss zur Bestimmung der Zustandsgröße Risse eine Zusammenführung der unterschiedlichen Rissschäden (Einzelmerkmale) erfolgen. Alle Einzelmerkmale sind neben dem Schadensausmaß auch mit einer Schadensschwere hinterlegt (S1 – S3) [16].

Die einfachste Methode für die Zusammenführung einer linearen Schadensausbreitung mit einer flächenhaften Schadensausbreitung liegt in der Umrechnung des linearen Wertes in eine adäquate Fläche. Dies bedeutet, dass jedem Meter Einzelrisslänge eine „fiktive“ Breite zugeordnet wird, die in Abhängigkeit von der Schadensschwere variierbar sein sollte. Als Grundlage für die Festlegung einer Breite dient hierfür die internationale Studie „OECD Full-scale Pavement Test“ [32], die eine Einflussbreite für Einzelrisse von ca. 0,5 m in Rechnung stellt. Darüber hinaus wird, wie bereits erwähnt, über die Schadensschwere des Risses die Einflussbreite entweder erhöht oder vermindert (Gewichtung), sodass ausgeprägte Risse eine größeres Schadensausmaß besitzen als kaum erkennbare Risse bzw. vergossene Risse. Das Einzelmerkmal Netzrisse bzw. flächenhafte Rissausbreitung ist als Verhältniszahl zwischen geschädigter Fläche und betrachteter Fläche (Bezugsfläche) in Prozent angegeben. Bei der Zusammenführung müssen zunächst die Einzelrisse auf einen Flächenwert transformiert und dann als Verhältniswert ausgedrückt werden.

5.4.3.4.2 Zustandsgröße Risse für bituminöse Befestigungen

Für die Bestimmung der Zustandsgröße Risse bei bituminösen Befestigungen werden das Schadensausmaß und die Schadensschwere der Einzelmerkmale

- Einzelrisse,
- offene Fugen und
- Nahtrisse

mit jenen der Einzelmerkmale

- Netzrisse und
- flächenhafte Rissausbreitung

kombiniert. Unter Zugrundelegung der zuvor beschriebenen Randbedingungen ergibt sich folgende Gleichung für die Berechnung der Zustandsgröße Risse $ZG_{RI,A,j}$ für bituminöse Befestigungen:

$$ZG_{RI,A,j} = \frac{AM_{ER,j} \cdot 0{,}5 \cdot G_{S,ER,A}}{L_j \cdot B_j} + AM_{NR,j} \cdot G_{S,NR,A} \qquad \text{(Gl. 5.36)}$$

mit: $ZG_{RI,A,j}$.....Zustandsgröße Risse der bituminösen Befestigung auf dem Abschnitt j in [%]
$AM_{ER,j}$ .....Ausmaß Einzelrisse der bituminösen Befestigung auf dem Abschnitt j in [m]
$G_{S,ER,A}$.....Gewicht Schadensschwere Einzelrisse bei bituminösen Befestigungen (siehe Tabelle 12)
$AM_{NR,j}$ .....Ausmaß Netzrisse der bituminösen Befestigung auf dem Abschnitt j in [%]
$G_{S,OS,A}$.....Gewicht Schadensschwere Netzrisse bei bituminösen Befestigungen (siehe Tabelle 12)
L_j .....Länge des betrachteten Abschnitts j in [m]
B_j .....Breite des betrachteten Abschnitts j in [m]

5.4.3.4.3 Zustandsgröße Risse für Betondecken und Betondecken mit bituminösem Überzug

Bei Betondecken bzw. Betondecken mit bituminösem Überzug wird ebenfalls durch Zusammenfassung von Schadensausmaß und Schadensschwere der linearen Rissausbreitungen mit den flächenhaften Rissausbreitungen die Zustandsgröße Risse $ZG_{RI,B,j}$ errechnet:

$$ZG_{RI,B,j} = \frac{AM_{ER,j} \cdot 0{,}5 \cdot G_{S,ER,B}}{L_j \cdot B_j} + AM_{FR,j} \cdot G_{S,FR,B} \qquad \text{(Gl. 5.37)}$$

mit: $ZG_{RI,B,j}$.....Zustandsgröße Risse der Betondecke mit oder ohne bituminösem Überzug auf dem Abschnitt j in [%]
$AM_{ER,j}$ .....Ausmaß Einzelrisse der Betondecke mit oder ohne bituminösem Überzug auf dem Abschnitt j in [m]
$G_{S,ER,B}$.....Gewicht Schadensschwere Einzelrisse bei Betondecken mit oder ohne bituminösem Überzug (siehe Tabelle 12)
$AM_{FR,j}$.....Ausmaß flächenhafte Rissausbreitung der Betondecke mit oder ohne bituminösem Überzug auf dem Abschnitt j in [%]
$G_{S,FR,B}$.....Gewicht Schadensschwere flächenhafte Rissausbreitung bei Betondecken mit oder ohne bituminösem Überzug (siehe Tabelle 12)

5.4.3.4.4 Gewichtung Einzelmerkmale Zustandsgröße Risse

Auch hier werden wie bei den Oberflächenschäden in Abhängigkeit vom Warnwert einige zusätzliche Randbedingungen geschaffen, die zu einer Festlegung der Gewichte führen. Folgende Randbedingungen werden bei der Ermittlung der Gewichte der Zustandsgröße Risse berücksichtigt:

- Liegt ein Rissschaden auf mehr als 20% der betrachteten Fläche auf Bundesstraßen der Kategorie A oder S vor, so sollten zumindest mittelfristig Instandsetzungsmaßnahmen in Betracht gezogen werden. Dies bedeutet, dass in diesem Fall unabhängig von der Schadensschwere das Zustandsmerkmal Risse einen Zustandswert über dem Warnwert aufweisen sollte. Der Warnwert (8% Schädigung auf Bundesstraßen der Kategorie A oder S) wird bei 20% Schädigung mit einer Schadensschwere von S1 bei einem Gewicht von 0,4 gerade erreicht.
- Liegt ein Rissschaden auf mehr als 60% der betrachteten Fläche auf Bundesstraßen der Kategorie B vor, so sollten zumindest mittelfristig Instandsetzungsmaßnahmen in Betracht gezogen werden. Dies bedeutet, dass in diesem Fall unabhängig von der Schadensschwere das Zustandsmerkmal Risse einen Zustandswert über dem Warnwert aufweisen sollte. Der Warnwert (25% Schädigung auf Bundesstraßen der Kategorie B) wird bei 60% Schädigung mit einer Schadensschwere von S1 bei einem Gewicht von 0,4 gerade erreicht.
- Liegt ein Rissschaden auf weniger als 2% der betrachteten Fläche auf Bundesstraßen der Kategorie A oder S vor, so sollte dies nicht zu einer kurz- oder mittelfristigen Instandsetzungsmaßnahme führen, es sei denn, es handelt sich um die Gefahr einer progressiven Zustandsverschlechterung. Dies bedeutet, dass in diesem Fall auch bei Schadensschwere S3 das Zustandsmerkmal Risse einen Zustandswert aufweisen sollte, der maximal dem Warnwert entspricht. Der Warnwert (8% Schädigung auf Bundesstraßen der Kategorie A oder S) wird bei 2% Schädigung mit einer Schadensschwere von S3 bei einem Gewicht von 4 gerade erreicht.
- Liegt ein Rissschaden auf weniger als 6% der betrachteten Fläche auf Bundesstraßen der Kategorie B vor, so sollte dies nicht zu einer kurz- oder mittelfristigen Instandsetzungsmaßnahme führen, es sei denn, es handelt sich um die Gefahr einer progressiven Zustandsverschlechterung. Dies bedeutet, dass in diesem Fall auch bei Schadensschwere S3 das Zustandsmerkmal Risse einen Zustandswert aufweisen sollte, der maximal dem Warnwert entspricht. Der Warnwert (25% Schädigung auf Bundesstraßen der Kategorie B) wird bei 6% Schädigung mit einer Schadensschwere von S3 bei einem Gewicht von 4 gerade erreicht.

Die Anwendung dieser Randbedingungen führt zu folgenden Festlegungen (siehe Tabelle 12):

Bautyp	Gewichte für Zustandsgröße Risse					
	Einzelrisse			Netzrisse/flächenhafte Rissausbreitung		
	Schadensschwere			Schadensschwere		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
BT13, BT4, BT1D, BT4D, BT1V, BT4V	0,4	1,0	4	0,4	1,0	4
BT56, BT5D	0,4	1,0	4	0,4	1,0	4

Tabelle 12: Gewichte Zustandsgröße Risse

5.4.3.5 Zustandsgröße Spurrinnen

Die Querebenheit einer Straße ist über die Messung der maximalen Spurrinnentiefe unter der 2 m Latte sowohl auf bituminösen Befestigungen als auch auf Betondecken festgelegt [33]. Für die weiterführenden Berechungen im Rahmen der Bewertung des Straßenzustandes (z.B. Normierung) kann direkt die repräsentative Zustandsgröße der Spurrinnen herangezogen werden.

5.4.3.6 Zustandsgröße Längsebenheit

Die Längsebenheit als Maß für den Fahrkomfort wurde erstmalig im Zuge der visuell-sensitiven Zustandserfassung 1995 über eine Erfassungsgröße definiert, die den Einfluss von Straßenunebenheiten in Längsrichtung auf den Erfasser bzw. das Erfassungsteam beschreiben soll. Um die Subjektivität dieser Aufnahmemethode zu eliminieren, wurde die Längsebenheit 1999 mit einem Messverfahren bestimmt, dessen Ergebnis der international gebräuchliche Längsebenheitskennwert IRI (International Roughness Index, siehe auch [34] und [57], Einheit m/km oder inch/miles) darstellt. Auch bei diesem Merkmal kann auf die repräsentativen Zustandsgröße zurückgegriffen werden, ohne dass eine zusätzliche Verknüpfung bzw. Gewichtung erforderlich ist.

5.4.3.7 Zustandsgröße Griffigkeit

Für die Beschreibung der Zustandsgröße Griffigkeit wird die tangentiale (in Fahrtrichtung wirkende) Komponente des Reibungsbeiwertes μ der Straßenoberfläche herangezogen. Dieser Wert, der das Verhältnis zwischen übertragbarer Umfangskraft und vertikaler Radlast eines Reifens auf der nassen Fahrbahn darstellt, beschreibt im eigentlichen Sinne keinen Schaden, sondern direkt den Zustand der Oberfläche (griffig, nicht griffig).

Auf dem österreichischen Bundesstraßennetz wird der Reibungsbeiwert µ mit dem Stuttgarter Reibungsmesser bei einem konstanten Schlupf (Relativbewegung zwischen Reifen und Fahrbahn) von 18% und einer Geschwindigkeit von 60 km/h gemessen. Zur Berechnung der Zustandsgröße Griffigkeit werden auch für dieses Merkmal die auf kurzen Messabschnitten vorliegenden Messgrößen in repräsentative Zustandsgrößen transformiert (siehe Kapitel 4.6.4.3.2), die als Eingangsgröße für weiterführende Berechnungen herangezogen werden können.

5.4.4 Zustandswerte und Normierung

5.4.4.1 Definition Zustandswert

Die im Rahmen des Kapitels 5.4.3 beschriebenen Zustandsgrößen ermöglichen noch keine eindeutige Aussage darüber, ob sich die Straße in einem guten oder vergleichsweise schlechten Zustand befindet. Die Zustandsgröße quantifiziert lediglich den Grad der Schädigung, beurteilt diesen aber nicht. Aus diesem Grund ist es erforderlich, die dimensionsbehafteten oder in Form einer Verhältniszahl vorliegenden Zustandsgrößen einer Beurteilung zu unterziehen. D.h. es muss eine Bewertung des Schadens in Relation zur Auswirkung auf den Straßennutzer oder den Straßenerhalter festgelegt werden. Dieser Vorgang wird als Normierung bezeichnet. Die Zuordnung einer bestimmten Zustandsgröße zu einem bestimmten Bewertungswert - dem sogenannten **Zustandswert** - erfolgt dabei unter Anwendung von Normierungs- bzw. Transformationsfunktionen.

In Deutschland [35] und in Österreich [33] hat sich basierend auf dem Schulnotensystem ein 5-teiliges Bewertungssystem als zweckmäßig erwiesen. Dabei entspricht der Notenwert 1 einem „sehr guten“ Zustand (oder Teilzustand), der Notenwert 2 einem „guten“ Zustand, der Notenwert 3 einem „mittelmäßigen“ Zustand, der Notenwert 4 einem „schlechten“ Zustand und der Notenwert 5 einem „sehr schlechten“ Zustand. Diese Notenbereiche werden auch als **Zustandklassen** bezeichnet (siehe Abbildung 49). Zusätzlich werden den Grenzen der Zustandsklassen bestimmte Zustandswerte (reelle Zahlen) zugeordnet, wovon folgende drei Werte hervorzuheben sind [33]:

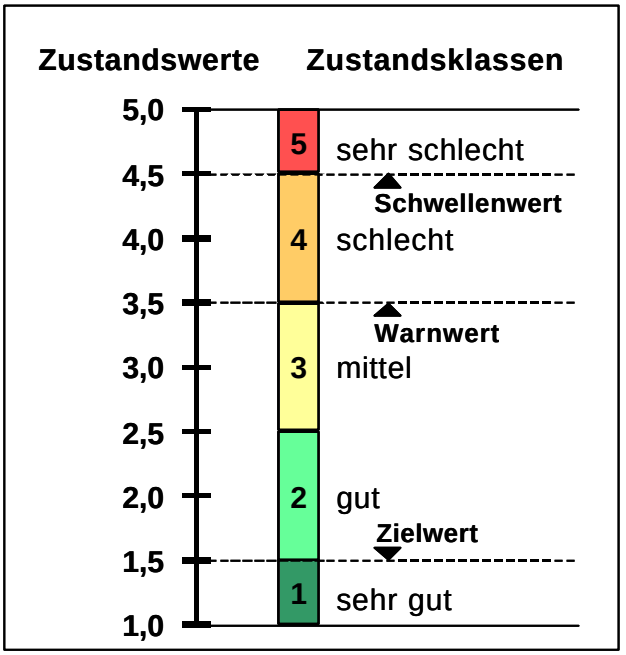


Abbildung 49: Definition Zustandswerte und -klassen

- Zielwert (1,5): Der Zielwert (Grenze Zustandsklasse 1 und 2) entspricht einem Wert, der nach dem Durchführen der Erhaltungsmaßnahme erreicht werden sollte (evtl. Abnahmewert).
- Warnwert (3,5): Der Warnwert (Grenze Zustandsklasse 3 und 4) beschreibt einen Zustand, der Anlass geben sollte zu einer Analyse der Ursachen der Zustandsverschlechterung und der Einplanung von zweckmäßigen Erhaltungsmaßnahmen.

- Schwellenwert (4,5): Der Schwellenwert (Grenze Zustandsklasse 4 und 5) charakterisiert den Zustand, dessen Auswirkungen die Einleitung von Erhaltungsmaßnahmen oder verkehrsbeschränkenden Maßnahmen erfordert.

Die nachfolgende Tabelle 13 zeigt die Definition der Grenzen der einzelnen Zustandsklassen bezogen auf die Zustandswerte:

Zustandsklasse	Zustandswert	Farbzuordnung
1	[1,0 - 1,5)	dunkelgrün (blau)
2	[1,5 - 2,5)	hellgrün
3	[2,5 – 3,5)	gelb
4	[3,5 – 4,5)	orange
5	[4,5 – 5,0]	rot

Tabelle 13: Zustandswerte und Zustandsklassen

Im angloamerikanischen Raum ist die Notenskala, sofern ein derartiges Bewertungssystem verwendet wird, meist umgekehrt. D.h. je größer der Zustandswert, desto besser ist der Straßenzustand (siehe z.B. Present Serviceability Rating PSR [36]).

5.4.4.2 Normierungsfunktionen

Die Normierungsfunktion für ein bestimmtes Zustandsmerkmal kann unterschiedliche Formen aufweisen, von einer einfachen linearen Funktion über den gesamten relevanten Bereich der Zustandsgröße (vom Zielwert bis zum Schwellenwert) bis zu einer abschnittsweise stetigen Funktion auf einem Teilintervall der Zustandsgröße.

Die Ermittlung von Normierungsfunktionen bzw. des Bewertungshintergrundes kann dabei auf zwei verschiedene Arten erfolgen, die hier nur im Überblick vorgestellt werden:

1) Ableitung von Normierungsfunktionen über eine statistische Auswertung der Zustandsgrößen durch Zuordnung von Perzentilwerten der Summenhäufigkeit (empirische Verteilungsfunktion) auf den Warn- und Schwellenwert.
2) Ableitung von Normierungsfunktionen aus Untersuchungsergebnissen, Erfahrungswerten oder Expertenbefragungen bzgl. der Auswirkungen auf den Straßennutzer und –erhalter.

In Deutschland werden für die meisten Normierungsfunktionen abschnittweise lineare Funktionen verwendet, die zwischen dem Zielwert und dem Warnwert sowie zwischen dem Warnwert und dem Schwellenwert stetig sind [35] (siehe Abbildung 50).

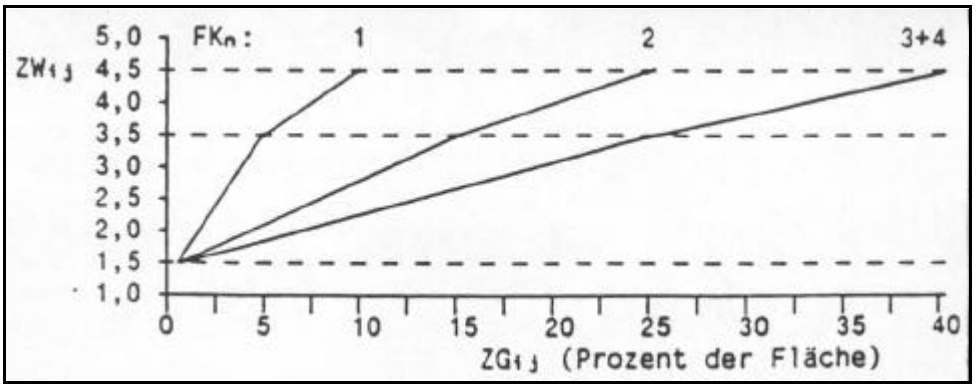


Abbildung 50: Normierungsfunktionen gemäß [35] – Teil 2

In Österreich [33] werden ebenfalls abschnittsweise lineare Funktionen verwendet, die sich aufgrund der Festlegung von Erfassungsklassen mit runden Grenzwerten in bis zu vier stetige Bereiche unterteilen. Als maßgebende Grundlage für die Entwicklung dieser Normierungsfunktionen diente die statistische Auswertung der Zustandserfassung 1995 [33] sowie die Expertenerfahrungen im Rahmen der Auswertungen der Messkampagne 1999 [18] (Normierungsfunktion Zustandsmerkmal Längsebenheit).

Im Folgenden sind die Normierungsfunktionen für die Zustandsmerkmale Oberflächenschäden, Risse, Spurrinnen, Längsebenheit und Griffigkeit in Abhängigkeit von der funktionellen Bedeutung der Straße (ÜAS-Klassen gemäß RVS 3.7 [37]) aufgelistet. Die ÜAS-Klasse I entspricht dabei der Bundesstraßenkategorie A bzw. S und die ÜAS-Klassen II-IV der Kategorie B.

Zur Vereinfachung der Transformationen für die weiterführenden Berechnungen in VIAPMS_AUSTRIA ist es sinnvoll, die vier stetigen Bereiche zwischen dem Zustandswert 1,0 und dem Schwellenwert 4,5 durch nur eine einzige lineare Transformationsfunktion (Näherung) zu ersetzen. Die sich daraus ergebende Verfälschung des Zustandswerts kann mit Ausnahme des Zustandsmerkmals Griffigkeit vernachlässigt werden. Für das Zustandsmerkmal Griffigkeit wird zwar ebenfalls eine Näherung durch eine einzige lineare Funktion angewendet, jedoch ist dies auf einen anderen Umstand zurückzuführen (näheres siehe dazu Kapitel 6.4.2.6).

Die allgemeine Form der Normierungsfunktionen n_i eines Zustandsmerkmals i lautet:

$$n_i : [a_i, b_i] \rightarrow R \qquad ZW_i = d_i + k_i \cdot ZG_i \qquad \text{(Gl. 5.38)}$$

mit: n_i .....Normierungsfunktion des Zustandsmerkmals i
a_i, b_i .....Intervall der Zustandsgröße
R.....reelle Zahl
ZW_i.....Zustandswert des Zustandsmerkmals i
ZG_i.....Zustandsgröße des Zustandsmerkmals i
d_i, k_i .....Parameter der Normierungsfunktion für das Zustandsmerkmal i

In der nachfolgenden Tabelle 14 sind die Werte für die beiden Parameter d_i und k_i sowohl für die jeweiligen Intervalle als auch für die verwendete Näherung über ein Intervall zwischen dem Zustandswert 1,0 und dem Schwellenwert 4,5 aufgelistet.

Zustandsmerkmal	Intervall		d	k
	a	b		
Oberflächenschäden (Kat. A u. S)	0%	25%	1	0,1
	25%	40%	1,8333	0,06667
Näherung	0%	40%	1	0,0875
Oberflächenschäden (Kat B)	0%	10%	1	0,05
	10%	40%	0,8333	0,06667
Näherung	40%	60%	1,5	0,05
	0%	60%	1	0,0583
Risse (Kat A und S)	0%	1%	1	0,5
	1%	10%	1,1667	0,3333
Näherung	0%	10%	1	0,35
Risse (Kat B)	0%	15%	1	0,1
	15%	30%	0,5	0,1333
Näherung	0%	30%	1	0,1167
Spurrinnen (Kat A und S)	0 mm	5 mm	1	0,1
	5 mm	20 mm	0,5	0,2
Näherung	0 mm	20 mm	1	0,175
Spurrinnen (Kat B)	0 mm	5 mm	1	0,1
	5 mm	15 mm	0,5	0,2
	15 mm	25 mm	2	0,1
Näherung	0 mm	25 mm	1	0,14
Längsebenheit (Kat A und S)	0 m/km	1,0 m/km	1	0,5
	1,0 m/km	1,8 m/km	0,25	1,25
	1,8 m/km	3,0 m/km	1	0,8333
	3,0 m/km	4,5 m/km	1,5	0,6667
Näherung	0 m/km	4,5 m/km	1	0,7778
Längsebenheit (Kat B)	0 m/km	1,2 m/km	1	0,4167
	1,2 m/km	2,3 m/km	0,4091	0,9091
	2,3 m/km	3,8 m/km	0,9667	0,6667
	3,8 m/km	6 m/km	1,7727	0,4545
Näherung	0 m/km	6,0 m/km	1	0,5833
Griffigkeit (Kat A, S und B)	1,0	0,75	3,0	-2,00
Näherung (siehe Kapitel 6.4.2.6)	0,75	0,59	6,1875	-6,25
	0,59	0,45	6,7143	-7,1429
	0,45	0,38	9,9286	-14,2857

Tabelle 14: Normierungsfunktionen gemäß [33] und [18]

Die nachfolgende Abbildung 51 zeigt die in Österreich derzeit verwendeten Normierungsfunktionen für die Zustandsmerkmale Oberflächenschäden, Risse, Spurrinnen, Längsebenheit und Griffigkeit samt den Näherungsfunktionen in Abhängigkeit von der Bundesstraßenkategorie gemäß [18] und [33].

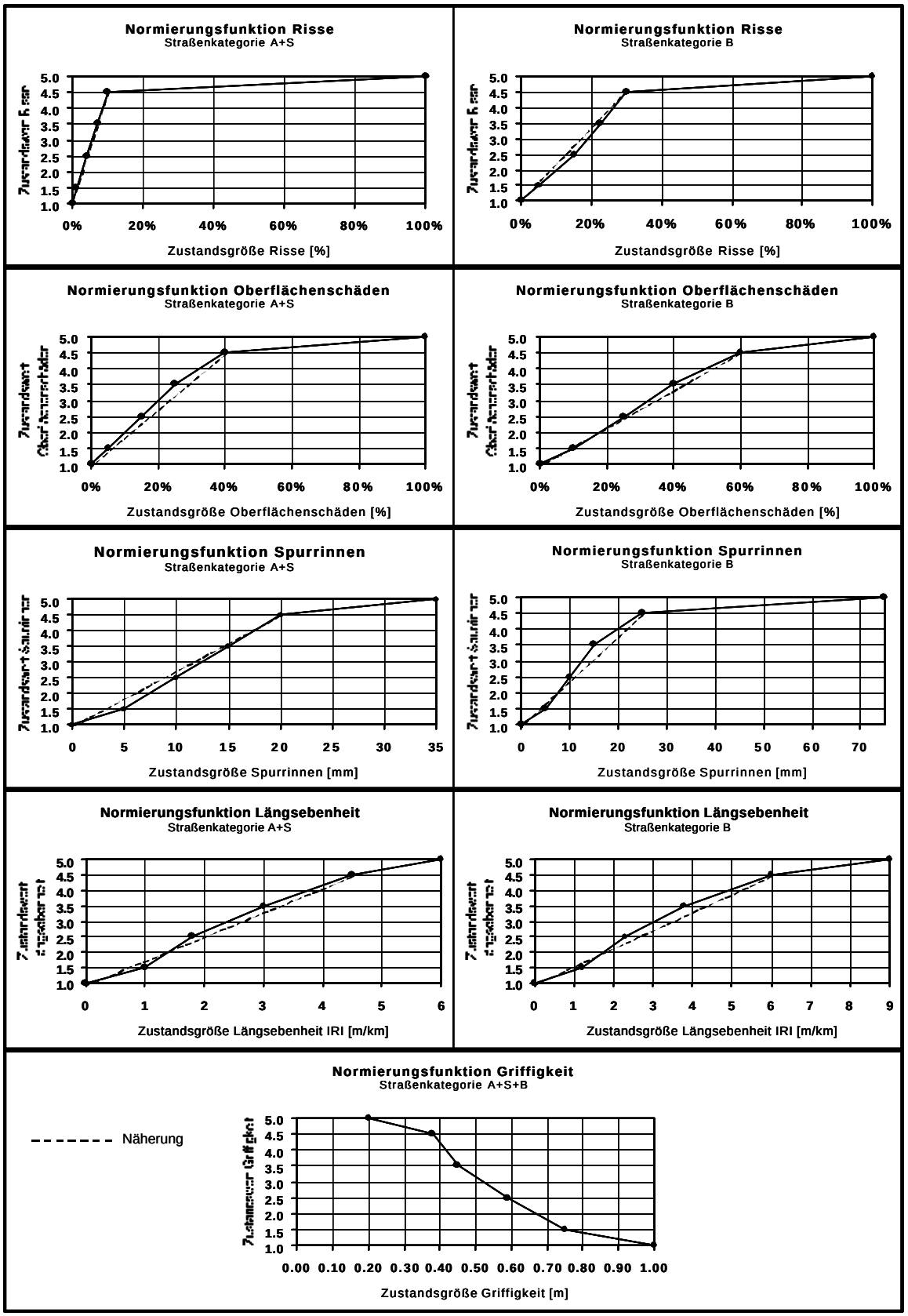


Abbildung 51: Normierungsfunktionen gemäß [33] und [18]

5.4.5 Substanzwert - strukturelle Bewertung des Oberbaus

5.4.5.1 Allgemeines

Die strukturelle Bewertung der Oberbaukonstruktion ist in einem PMS ein wesentlicher Baustein für die Auswahl von Instandsetzungs- bzw. Erneuerungsmaßnahmen, da in den meisten Fällen die auszuwählenden Maßnahmen und die dadurch entstehenden Kosten bzw. Aufwändungen stark vom strukturellen Zustand des Oberbaus zum Zeitpunkt der Maßnahme abhängig sind. Mit der Bewertung des Straßenzustandes soll versucht werden, eine Aussage über die strukturelle Beschaffenheit der Oberbaukonstruktion zu jedem Zeitpunkt *t* innerhalb des Analysezeitraums zu treffen. Dabei spielen bei der Berechnung repräsentativer Kennwerte eine Vielzahl von Einflussgrößen eine wichtige Rolle, die zum Teil schwer oder nur unzureichend erfasst werden können. Einen Überblick über verschiedene Einflussgrößen, die im Rahmen einer strukturellen Bewertung berücksichtigt werden sollten, gibt die nachfolgende Liste, wobei keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit besteht:

- Visuell erfassbarer Zustand (Risse, Oberflächenschäden, etc.)
- Schichtaufbau (starrer Aufbau, flexibler Aufbau, Schichtdicken, etc.)
- Materialkennwerte der einzelnen Schichten (Größtkorn, Sieblinie, Bindemittelgehalt, E-Modul, etc.)
- Aufbaugeschichte des Oberbaus (Schichtalter, durchgeführte Maßnahmen samt Zeitpunkt, laufende Instandhaltung, etc.)
- Untergrundeigenschaften (Materialeigenschaften, Untergrundtragfähigkeit, etc.)
- Beanspruchung durch Verkehrsbelastung (Verkehrsstärke, Achslasten, etc.)
- Beanspruchung durch Klima (Temperatur, Niederschlag, etc.)
- Bedingungen während der Herstellung der Oberbaukonstruktion (Einbautemperatur, Verdichtung, etc.)
- Geometrie der Straße (Längsneigung, Krümmung, etc.)

Bei genauer Betrachtung der einzelnen Einflussgrößen wird bereits ersichtlich, dass einerseits die große Anzahl der verschiedenen Einflussfaktoren und andererseits die Erfassbarkeit dieser Informationen die praktische Handhabung eines Bewertungsverfahrens deutlich erschweren. Die Beurteilung im Rahmen eines PMS muss sich daher auf jene Einflussgrößen beschränken, über die Basisinformationen vorliegen (Inventardaten, Verkehr, etc.) und auf solche, die bei der generellen Zustandserfassung beurteilt werden können. Eine genauere Analyse (z.B. inkl. Materialuntersuchungen) bleibt der Bearbeitung auf Projektebene vorbehalten.

Die Bewertung der strukturellen Beschaffenheit von Oberbaukonstruktionen erfolgt auf Netzebene durch Bildung eines dimensionslosen Substanzwertes. Es handelt sich beim Substanzwert um eine zeit- und belastungsabhängige Größe, die alle strukturellen Veränderungen (z.B. Instandsetzungsmaßnahmen, Ermüdung, etc.) während der

Lebensdauer der Konstruktion berücksichtigt. Dieser Wert wird analog zu den Zustandswerten mit einer Skala von 1 (sehr gut) bis 5 (sehr schlecht) definiert.

Das nachfolgend dargestellte Verfahren zur Berechnung eines auf einen Erhaltungsabschnitt (Definition siehe Kapitel 4.8) bezogenen Substanzwertes für die Oberbaukonstruktion verwendet als Grundlage jene Informationen, die derzeit in Österreich in elektronischer Form in der Straßendatenbank VIABASE_AUSTRIA vorliegen und für einen Großteil des österreichischen Bundesstraßennetzes auch zur Verfügung stehen (ca. 80% der Netzlänge, Stand Jänner 2001). In diesem Zusammenhang sei nochmals darauf hingewiesen, dass dieses Verfahren ausschließlich für eine Bewertung auf Netzebene mit abschnittsbezogenen Maßnahmenvorschlägen herangezogen wird und bei einer genauen bzw. detaillierten Untersuchung auf Projektebene (z.B.: Tragfähigkeitsuntersuchungen, detaillierte Materialanalysen, etc.) Abweichungen bzgl. Maßnahmenentscheidungen möglich sind.

Für die Betrachtung auf Netzebene werden in Abhängigkeit von der Oberbaukonstruktion zwei differenzierte Verfahren unterschieden, die in den nachfolgenden Kapiteln 5.4.5.2 und 5.4.5.4 detailliert beschrieben werden:

- Verfahren zur strukturellen Bewertung von bituminösen (flexiblen) Oberbaukonstruktionen
- Verfahren zur strukturellen Bewertung von Betondecken und Betondecken mit bituminösen Überzügen

5.4.5.2 Strukturelle Bewertung von bituminösen Oberbaukonstruktionen

5.4.5.2.1 Allgemeines

Für die Berechnung des Substanzwertes für bituminöse Befestigungen können basierend auf den in Österreich vorhandenen straßenrelevanten Daten folgende Einflussgrößen primär herangezogen werden:

- Zustandswerte
- Schichtaufbau
- Altersstruktur der Oberbaukonstruktion
- Aufbaugeschichte der Oberbaukonstruktion

Als Grundlage für die Berechnung des Substanzwertes für bituminöse Befestigungen dient eine Methode, die durch Zusammenführung der einzelnen, zum Teil normierten Einflussgrößen, über Verknüpfungs- und Gewichtungsvorschriften einen Kennwert errechnet, der die strukturelle Beschaffenheit der Oberbaukonstruktion zu jedem bestimmten Zeitpunkt *t* definiert bzw. beschreibt.

Die laufende Beanspruchung des Oberbaus durch Verkehr, Temperatur, Niederschlag, etc. führt zu einer strukturellen Veränderung der Oberbaukonstruktion, die sich

einerseits in Form von Schäden an der Straßenoberfläche und andererseits in einer nicht sichtbaren Schädigung des Oberbaumaterials der Trag- und Deckschichten (z.B.: Risse an der Unterseite des bituminösen Schichtpakets, Verhärtung des Bindemittels, etc.) vollzieht. Diese unterschiedlichen Erscheinungsformen der strukturellen Beeinträchtigung können anhand zweier Kennwerte beschrieben werden, die zugleich die zuvor aufgelisteten Einflussgrößen beinhalten. Es handelt sich dabei um den

- Substanzwert Zustand $SI_{Z,(Asphalt)t}$, der den Einfluss des Zustandes der Straßenoberfläche, ausgedrückt durch Zustandswerte beinhaltet, sowie um den
- Substanzwert Oberbaualter $SI_{O,(Asphalt)}$, der den Schichtaufbau, die Altersstruktur (Herstellungsjahr der einzelnen Schichten) und die Aufbaugeschichte (bereits durchgeführte Erhaltungsmaßnahmen) der Oberbaukonstruktion berücksichtigt.

Über eine entsprechende Verknüpfungsvorschrift wird aus den beiden „Teilsubstanzwerten" schließlich der Substanzwert für die bituminöse Oberbaukonstruktion $SI_{(Asphalt)}$ gebildet (siehe Kapitel 5.4.5.2.4).

5.4.5.2.2 Substanzwert Zustand für bituminöse Befestigungen $SI_{Z,(Asphalt)}$

Die im Rahmen von messtechnischen oder visuellen Zustandserfassungen leicht aufzunehmenden Schäden an der Oberfläche der Straße können nun direkt in die Bildung des Substanzwertes für bituminöse Oberbaukonstruktionen einfließen. Dabei stellt sich jedoch die Frage, welche Zustandsmerkmale als Indikatoren für eine strukturelle Bewertung des Straßenoberbaus herangezogen werden müssen. Auch die vorhandene Literatur zeigt keine einheitlichen Vorgangsweisen, was zum Teil auf das Fehlen von Bewertungsverfahren aber auch auf regionale Randbedingungen zurückzuführen ist. So sieht zum Beispiel das System HDM-III [28] bzw. HDM-4 [29] der Weltbank in der Längsebenheit den entscheidenden Parameter zur Bewertung der strukturellen Beschaffenheit (Tragfähigkeit), im Vergleich zum deutschen Bewertungsverfahren [35], wo die Längsebenheit keinerlei Einfluss auf den Substanzwert von bituminösen Oberbaukonstruktionen nimmt. Untersuchungen im Rahmen von [23] zeigten, dass auch die Art der bituminösen Decke einen wesentlichen Einfluss auf die im Rahmen der Beurteilung zu verwendenden Zustandsmerkmale nimmt. Hohlraumreiche Decken (Drainasphaltdecken) sind dabei anders zu bewerten als dichte Deckentypen. Oberflächenschäden weisen bei hohlraumreichen Decken eine progressive Zunahme der Schädigung auf, die sich zuerst in Form von Kornausbrüchen zeigt und gegen Ende der Lebensdauer zu plötzlich auftretenden großflächigen Abplatzungen führt [23]. Da diese Zustandsentwicklung kaum Zeit für vorbeugende Erhaltungsmaßnahmen zulässt, kann mit einer Beeinträchtigung der Fahrsicherheit gerechnet werden, sodass die Oberflächenschäden bei hohlraumreichen Decken dem Gebrauchswert zugeordnet werden müssen. Darüber hinaus werden im österreichischen Oberbaubemessungskatalog (RVS 3.63 [10]) Drainasphaltdecken nur mit 50% ihrer tatsächlichen Schichtdicke auf die Dicke des erforderlichen bituminösen Schichtpakets angerechnet, sodass der Einfluss auf die strukturelle Beschaffenheit gegenüber den dichten Deckentypen wesentlich geringer ausfällt. Um einer falschen strukturellen

Beurteilung von Oberbaukonstruktionen mit hohlraumreichen Decken vorzubeugen, wird daher das Zustandsmerkmal Oberflächenschäden bei der Bildung des Substanzwertes Zustandes $SI_{Z,(Asphalt)}$ nicht berücksichtigt. Diese vorläufige Festlegung ist jedoch im Rahmen weiterführender Sensitivitätsuntersuchungen zu verifizieren.

In Anlehnung an [10], [23] und [35] werden für die österreichischen Verhältnisse ausschließlich folgende Zustandsmerkmale für die strukturelle Bewertung von bituminösen Oberbaukonstruktionen herangezogen:

- Risse
- Oberflächenschäden (nicht bei hohlraumreichen Decken)
- Längsebenheit (bedingt berücksichtigt)
- Spurrinnen (bedingt berücksichtigt)

Da weder bei Längsebenheits- noch bei Spurrinnenmessungen auf Netzebene Informationen über die Schadensursache aufgenommen werden, kann die Berücksichtigung dieser beiden Zustandsmerkmale zu einer Fehlinterpretation der strukturellen Beschaffenheit der Oberbaukonstruktion führen. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass durch diese Zustandsmerkmale ab einem gewissen Grad der Schädigung eine Beeinträchtigung der Struktur vorhanden ist. Eine sehr schlechte Längsebenheit bei bituminösen Oberbaukonstruktion ist in den meisten Fällen auf eine mangelhafte oder ungleichmäßige Tragfähigkeit der ungebundenen Tragschichten oder des Untergrundes zurückzuführen. Die resultierende dynamische Belastung erhöht die strukturelle Beanspruchung des Oberbaus. Auch Spurrinnen beeinträchtigen ab einer gewissen Tiefe die Tragfähigkeit der Oberbaukonstruktion, da massive Verformungen im Bereich der Radspuren auch eine Schwächung des bituminösen Schichtpakets zur Folge haben. Um diese Einflüsse im Zuge der strukturellen Bewertung zu berücksichtigen, werden beide Zustandsmerkmale bei Überschreiten des Schwellenwertes (Zustandswert $\geq 4{,}5$) in die Berechnungen miteinbezogen.

Bei der Zusammenführung der einzelnen Zustandsmerkmale wird ein Maximalkriterium angewendet. Beispielhaft werden die Gleichungen für die Berechung des Substanzwertes Zustand $SI_{Z,(Asphalt)}$ für jene Fälle, bei denen sowohl der Zustandswert Längsebenheit als auch der Zustandswert Spurrinnen den Schwellenwert überschritten haben, explizit dargestellt. Alle möglichen Fälle sind in der nachfolgenden Tabelle 15 aufgelistet.

$$SI_{Z,j,t,(Asphalt-dicht)} = \max\left(ZW_{RI,j,t}; ZW_{OS,j,t}; ZW_{LE,j,t}; ZW_{SR,j,t}\right) \quad \text{für } \left[ZW_{LE,j,t} \geq 4{,}5 \text{ und } ZW_{SR,j,t} \geq 4{,}5\right] \qquad \text{(Gl. 5.39)}$$

$$SI_{Z,j,t,(Asphalt-hohlraumreich)} = \max\left(ZW_{RI,j,t}; ZW_{LE,j,t}; ZW_{SR,j,t}\right) \quad \text{für } \left[ZW_{LE,j,t} \geq 4{,}5 \text{ und } ZW_{SR,j,t} \geq 4{,}5\right] \qquad \text{(Gl. 5.40)}$$

mit: $SI_{Z,j,t,(Asphalt)}$.....Substanzwert Zustand für den bituminösen Oberbau auf Abschnitt j zum Zeitpunkt t
$ZW_{RI,j,t}$.....Zustandswert Risse auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t
$ZW_{OS,i,t}$.....Zustandswert Oberflächenschäden auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t

$ZW_{LE,j,t}$ .....Zustandswert Längsebenheit auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t
$ZW_{SR,j,t}$ .....Zustandswert Spurrinnen auf dem Abschnitt i zum Zeitpunkt t

Deckentyp	**Zustandswert**		**Substanzwert Zustand** $SI_{Z,j,t,(Asphalt)}$
	Längsebenheit	**Spurrinnen**	
dicht	<4,5	<4,5	$\max(ZW_{RI,j,t};ZW_{OS,j,t})$
	≥4,5	<4,5	$\max(ZW_{RI,i,t};ZW_{OS,i,t};ZW_{LE,i,t})$
	<4,5	≥4,5	$\max(ZW_{RI,j,t};ZW_{OS,j,t};ZW_{SR,j,t})$
	≥4,5	≥4,5	$\max(ZW_{RI,j,t};ZW_{OS,j,t};ZW_{LE,j,t};ZW_{SR,j,t})$
hohlraumreich	<4,5	<4,5	$ZW_{RI,j,t}$
	≥4,5	<4,5	$\max(ZW_{RI,i,t};ZW_{LE,i,t})$
	<4,5	≥4,5	$\max(ZW_{RI,j,t};ZW_{SR,j,t})$
	≥4,5	≥4,5	$\max(ZW_{RI,j,t};ZW_{LE,j,t};ZW_{SR,j,t})$

Tabelle 15: Berechnung Substanzwert Zustand für bituminöse Befestigungen

5.4.5.2.3 Substanzwert Oberbaualter für bituminöse Befestigungen $SI_{O,(Asphalt)}$

Die Veränderung der strukturellen Beschaffenheit der Oberbaukonstruktion kann sich, wie bereits erwähnt, einerseits durch eine Verschlechterung des visuelle erfassbaren Zustandes und andererseits durch eine Änderung der Material- und Struktureigenschaften in der Oberbaukonstruktion vollziehen. Liegt ein erkennbarer struktureller Schaden der Straßenoberfläche vor, so hat dieser einen maßgebenden Einfluss auf die strukturelle Beschaffenheit des Oberbaus. Sind keine erkennbaren Schäden vorhanden, so kann dies bedeuten:

1. der Oberbau bzw. die oberste Schicht wurde neu errichtet oder
2. der Oberbau weist nach einer bestimmten Liegedauer noch keine sichtbaren Schäden auf.

Würde ausschließlich der visuell erfassbare Zustand in die strukturelle Bewertung einfließen, so hätten beide Oberbaukonstruktionen den gleichen Substanzwert, was folglich zu falschen Erhaltungsmaßnahmenentscheidungen führen kann. Um dennoch eine Unterscheidung zu ermöglichen, müssen bei Oberbaukonstruktionen, die keine sichtbaren Schäden aufweisen aber bereits über eine längere Periode durch Verkehr beansprucht wurden, zusätzliche beschreibende Kenngrößen herangezogen werden.

Um die unterschiedlichen Anforderungsprofile der einzelnen - zum Teil sehr unterschiedlichen - Schichten zu berücksichtigen, erfolgt eine Bewertung getrennt nach Schichtart bzw. Schichttyp. Zuvor muss jedoch festgestellt werden, ob überhaupt ein Einfluss der jeweiligen Schicht vorhanden ist. Die Frage eines möglichen Einflusses stellt sich in erster Linie bei den ungebundenen Tragschichten bzw. dem Untergrund, wo derzeit kaum Erfahrungen bzgl. Ermüdungsverhalten vorliegen.

Ungebundene Tragschichten und Untergrund

Die Veränderung der strukturellen Beschaffenheit von ungebundenen Tragschichten könnte in Form von Materialverlusten (Ausspülen von Feinteilen und folglich Änderung der Sieblinie) bzw. durch eine Verfeinerung des Materials beschrieben bzw. quantifiziert werden. Da dieser Umstand auch bei Oberbauermüdungsmodellen derzeit nicht bzw. nur am Rande Berücksichtigung findet und keine Informationen über die Zusammensetzung der ungebundenen Tragschichten vorliegen, bleibt dieser Einfluss - sofern vorhanden - unberücksichtigt.

Für die Untergrundtragfähigkeit auf Bundesstraßen kann in fast allen Fällen davon ausgegangen werden, dass der Mindestwert des Verformungsmoduls aus dem Lastplattenversuch $E_{V1} = 35\ MN/m^2$ zu jedem Zeitpunkt während der Bemessungsperiode vorhanden ist. Eine gesonderte Berücksichtigung erscheint in diesem Fall nicht zweckmäßig, da auch hier keinerlei Informationen über das Material, die Zusammensetzung und dessen Eigenschaften zur Verfügung stehen.

Aus diesem Grund beschränkt sich die Substanzbeurteilung auf die bituminösen Deck- und Tragschichten.

Bituminöse Deck- und Tragschichten

Die Berücksichtigung einer strukturellen Schädigung von bituminös gebundenen Schichten, die sich nicht in Form von erkennbaren Schäden an der Straßenoberfläche dokumentiert, erfolgt auf der Grundlage mehrerer Überlegungen.

Wie bereits erwähnt, besteht eine wesentliche Überlegung darin, dass eine Oberbaukonstruktion, die bereits mehrere Jahre einer Beanspruchung durch Verkehr, Temperatur, Niederschlag, etc. ausgesetzt wurde und keine sichtbaren Schäden aufweist, dennoch eine schlechtere strukturelle Beschaffenheit besitzt, als eine neuwertige Befestigung. D.h. es vollzieht sich im „Inneren“ des bituminösen Schichtpakets eine Veränderung (Verhärtung des Bindemittels, Mikrorisse, Risse an der Unterseite der bituminösen Tragschicht, etc.), die erst dann erkennbar wird, wenn der Schaden an der Oberfläche (i.A. Risse) zutage tritt. Mit dem Auftreten dieses ersten Schadens an der Oberfläche kann zwar eine Aussage über die strukturelle Schädigung getätigt werden, jedoch ist dies nicht unbedingt mit der „inneren Schädigung“ der bituminösen Konstruktion gleich zu setzen, deren Schädigung möglicherweise bereits weiter fortgeschritten ist. Würde diese innere Schädigung des bituminösen Schichtpakets unberücksichtigt bleiben und nur die sichtbaren Schäden an der Oberfläche in die strukturelle Bewertung einfließen, so ergäbe sich in vielen Fällen eine falsche (zu gute) Bewertung der Struktur. Die Schäden an der Oberfläche sind dabei nur ein Erscheinungsbild der strukturellen Schädigung des gesamten bituminösen Oberbaus.

Die Entwicklung der Schädigung sowohl an der Oberfläche als auch im Inneren der Konstruktion hat erst dann ein Ende, wenn die geschädigten Schichten instandgesetzt bzw. erneuert werden. Erfolgt die Instandsetzung dabei nur an der Deckschicht, so bleibt die Schädigung der bituminösen Tragschicht vorhanden, obwohl die Schäden an der Oberfläche für eine gewisse Zeit nicht mehr sichtbar sind. Der Substanzwert Oberbaualter $SI_{O,(Asphalt)}$ muss diesen Umstand jedoch berücksichtigen. Aus diesem Grund ist es erforderlich, eine Bewertung getrennt nach bituminöser Deck- und Tragschicht

durchzuführen. Dies ermöglicht auch die Berücksichtigung der Aufbaugeschichte der Oberbaukonstruktion in Bezug auf Instandsetzungsmaßnahmen.

Eine wesentliche Einflussgröße für die Geschwindigkeit des Fortschreitens der strukturellen Schädigung im Inneren des bituminösen Schichtpakets stellt die Relation der vorhanden Verkehrsbelastung zur Bemessungsverkehrsbelastung der Oberbaukonstruktion dar. Eine Oberbaukonstruktion mit einem hohen Verkehrsbelastungskoeffizienten VB_j (überdimensioniert) hat eine wesentlich höhere Lebensdauer und weist damit eine langsamere Zunahme der Schädigung auf, als eine Konstruktion mit einem niedrigen Wert (unterdimensioniert).

Um eine erste Aussage über die zeitbezogene Entwicklung der inneren strukturellen Schädigung von bituminösen Trag- und Deckschichten zu erhalten, könnte der Substanzwert Oberbaualter $SI_{O,(Asphalt)}$ über die Bemessungsperiode der bituminösen Befestigungen, die im Normalfall 20 Jahre beträgt, definiert werden. Da jedoch die tatsächliche Liegedauer (=Zeitraum zwischen der Errichtung und der Abtragung der Schicht) von der Schichtart abhängig ist und die Bemessungsperiode durch die tatsächliche Liegedauer der Schicht in fast allen Fällen bei Tragschichten über- und bei Deckschichten deutlich unterschritten wird, muss wiederum eine separate Betrachtung der einzelnen Schichten durchgeführt werden. Die Definition der zeitlichen Änderung des Substanzwertes Oberbaualter $SI_{O,(Asphalt)}$ kann aufgrund dieser Feststellung in Abhängigkeit vom tatsächlichen Alter der einzelnen Schichten erfolgen. Als Grundlage für den funktionellen Zusammenhang dient dabei die statistische Auswertung bzw. Untersuchung der österreichischen Oberbaudaten in Bezug auf die Liegedauer der Schichten. Diese Auswertung wurde für bituminöse Tragschichten bereits im Zuge der Festlegungen eines Reduktionsfaktors für die Tragfähigkeitszahl (siehe Kapitel 5.2.2.6) verwendet und musste lediglich um die Deckschichten erweitert werden.

Bei der Auswertung der Ergebnisse zeigte sich überraschenderweise, dass die Klassifizierung der Werte nach dem Verkehrsbelastungskoeffizienten VB_j bei Deckschichten die zuvor beschriebene Annahme einer verkehrsbedingten Abhängigkeit nicht bestätigt. Im statistischen Mittel weisen unterdimensionierte Oberbaukonstruktionen eine geringfügig höhere Liegedauer auf, als richtig dimensionierte Befestigungen. Diese Tatsache ist möglicherweise auf mehrere Umstände bzw. Einflussfaktoren zurückzuführen. Einerseits erfolgt die Berechnung von VB_j nach theoretischen Annahmen (Extrapolation Verkehrsbelastung, Berechnung der zulässigen Verkehrsbelastung über die abstrakte Tragfähigkeitszahl $TZ_{t,j}$, etc.), andererseits ist auch nicht unbedingt immer die strukturelle Schädigung der Konstruktion der Auslöser für Erneuerungen bzw. Instandsetzungsmaßnahmen. Auch Verformungen (z.B. in Form von Spurrinnen), Materialmängel und/oder Beeinträchtigungen der Verkehrssicherheit und des Fahrkomforts sind in vielen Fällen der Grund für Sanierungsmaßnahmen. Nachdem über Abschnitte, die bereits instandgesetzt oder erneuert wurden, keine Informationen bzgl. des Grundes der Sanierung vorliegen, wurde auf eine Klassifizierung der Werte in Abhängigkeit von VB_j verzichtet.

Wie bereits im Zuge der Auswertung der bituminösen Tragschichten festgestellt werden konnte, ist auch bei bituminösen Deckschichten (Kategorie B) der Längenanteil mit einer Lebensdauer <6 Jahre unplausibel hoch. Diese Tatsache wird wiederum auf

fehlerhafte Daten und mangelnde Aufzeichnungen der Aufbaugeschichte (z.B. über stufenweisen Ausbau) zurückgeführt. Diese nicht plausiblen Werte bleiben in der Analyse unberücksichtigt.

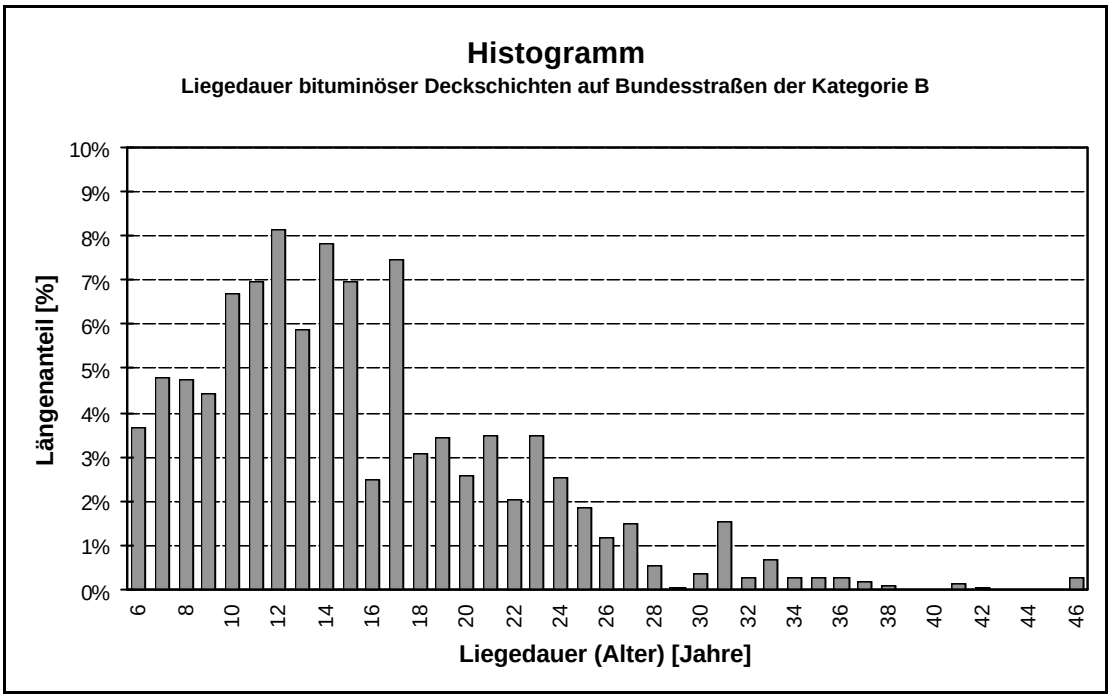


Abbildung 52: Histogramm der Liegedauer bituminöser Deckschichten auf Bundesstraßen der Kategorie B

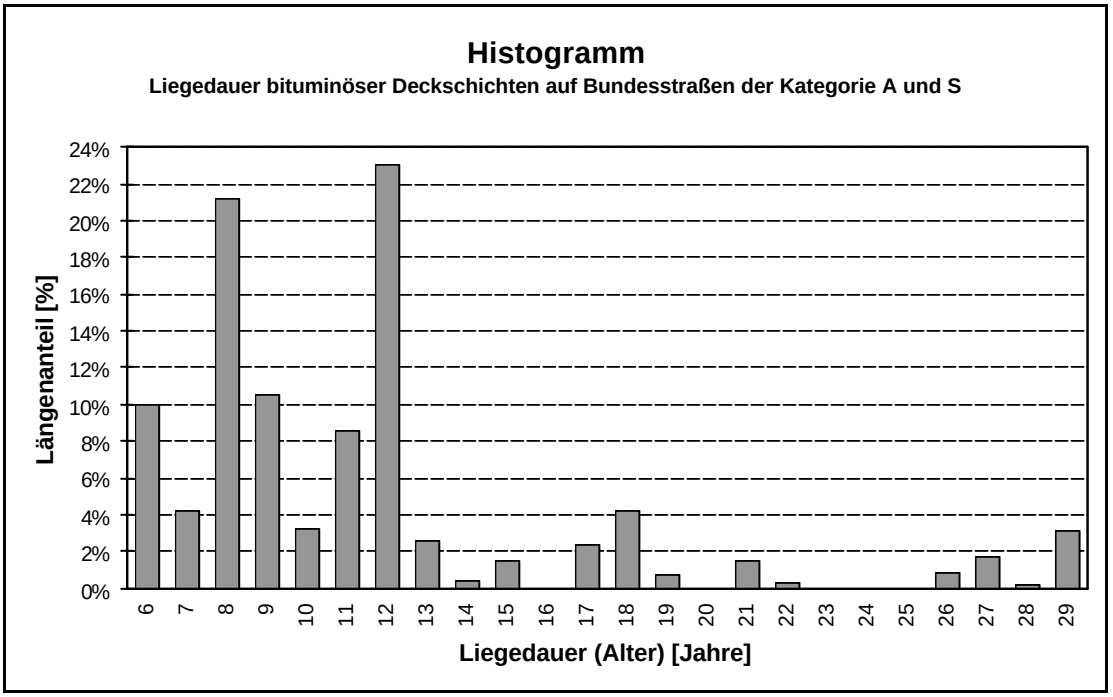


Abbildung 53: Histogramm der Liegedauer bituminöser Deckschichten auf Bundesstraßen der Kategorie A und S

Für die Berechnung eines Zusammenhangs zwischen Substanzwert Oberbaualter $SI_{O,(Asphalt)}$ und der Liegedauer der einzelnen Schichten wird in Abhängigkeit von der

Straßenkategorie – wie bereits im Zuge der Berechnung des Reduktionsfaktors Alter $r_{A,i,j}$ für die österreichische Tragfähigkeitszahl (siehe Kapitel 5.2.2.6) – die empirische Verteilung der Liegedauer herangezogen (siehe Abbildung 52 für Deckschichten der Bundesstraßenkategorie B und Abbildung 53 für Deckschichten der Bundesstraßenkategorien A und S; Histogramm für Tragschichten siehe Abbildung 37 – Kapitel 5.2.2.6).

Die Festlegung eines oberen Grenzwertes, bei der das Alter der Schicht den Schwellenwert (4,5) erreicht, stellt wiederum den ersten Schritt zur Ableitung dieses Zusammenhanges dar. Es muss dabei berücksichtigt werden, dass in erster Linie der visuell erfassbare Zustand der Auslöser für strukturelle Erhaltungsmaßnahmen sein sollte. Es ist daher sinnvoll, den Grenzwert sehr hoch anzusetzen, da das Schichtalter nur dann auch zur maßgebenden Einflussgröße werden soll, wenn der visuell erfassbare Zustand keinen Rückschluss auf die strukturelle Beschaffenheit zulässt oder ein Abschnitt vorhanden ist, dessen Schadenszunahme sehr langsam verläuft. Aus diesem Grund wird die 90%-Perzentile der empirischen Verteilung zur Festlegung des oberen Grenzwertes herangezogen. Um dennoch keine vorzeitigen Erhaltungsmaßnahmen nur infolge eines hohen Alters einer Schicht auszulösen, muss der Substanzwert Oberbaualter nach oben mit 4,5 begrenzt werden (Schwellenwert ist zugleich der Grenzwert für mittel- und kurzfristige Erhaltungsmaßnahmen). Eine Erhaltungsmaßnahme wird erst dann erforderlich, wenn erkennbare Schäden an der Straßenoberfläche den Schwellenwert überschreiten.

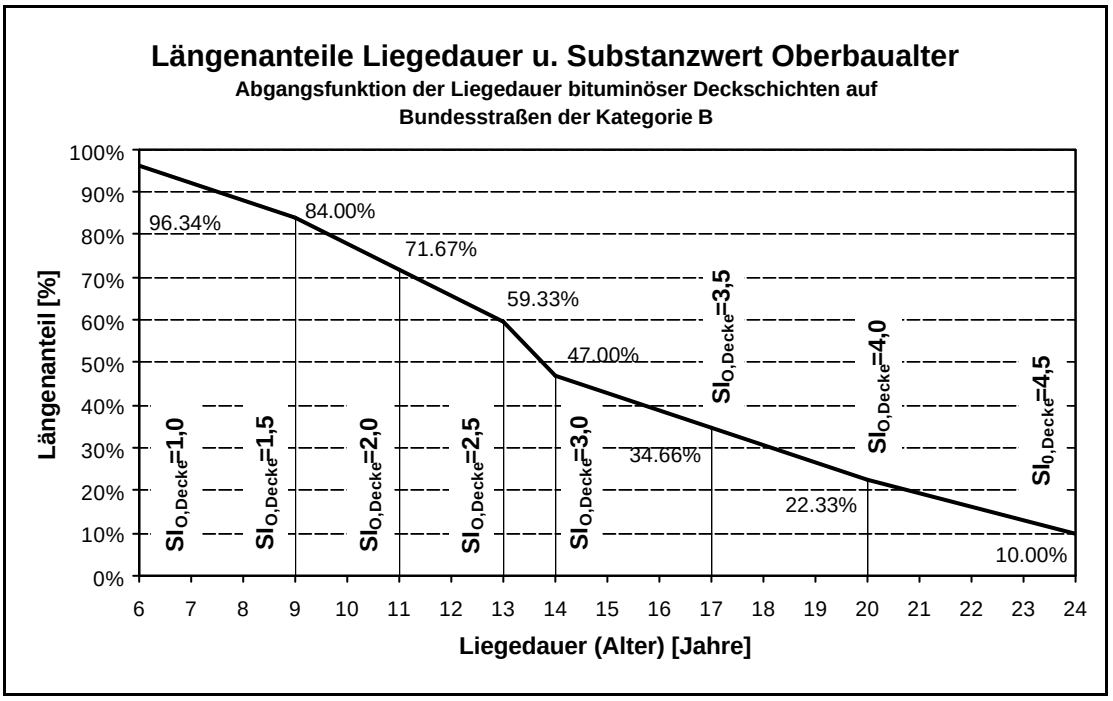


Abbildung 54: Abgangsfunktion der Liegedauer bituminöser Deckschichten auf Bundesstraßen der Kategorie B

Der funktionelle Verlauf des Zusammenhangs (Liegedauer und Substanzwert Oberbaualter) muss der empirischen Verteilung entsprechen, was durch eine gleichmäßige Aufteilung der Flächen unterhalb der Verteilungsfunktion bzw. durch eine Teilung des Summenpolygons der Liegedauern in 7 gleiche Perzentilintervalle (0,5-Intervall von $SI_{O,(Asphalt)}$ = 1,0 bis $SI_{O,(Asphalt)}$ = 4,5) zwischen den Grenzwerten (6 Jahre und 90%-Per-

zentile) erzielt werden kann (siehe Abbildung 55, Deckschichten der Bundesstraßenkategorie B). Eine genaue Beschreibung dieses Verfahrens kann dem Kapitel 5.2.2.6 entnommen werden.

Die Zuordnung der Skalenwerte (1,0 bis 4,5) des Substanzwertes Oberbaualter $SI_{O,(Asphalt)}$ zu den Liegedauern der Schichten führt zur gesuchten Beziehung (siehe Abbildung 55).

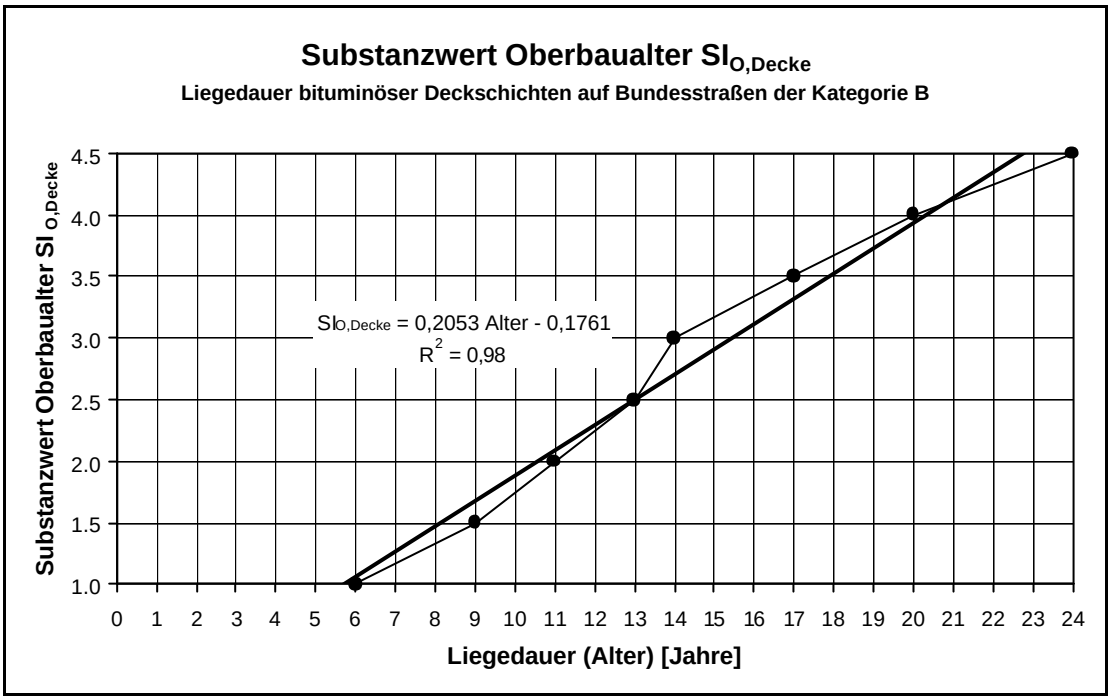


Abbildung 55: Zusammenhang Liegedauer und Substanzwert Oberbaualter $SI_{O,Decke}$ bituminöser Deckschichten auf Bundesstraßen der Kategorie B

Aus Gründen der Vereinfachung (empirische Verteilungsfunktion kann Unstetigkeiten aufweisen) wird der Zusammenhang durch eine lineare Regressionsfunktion ersetzt (siehe Abbildung 55). Das Bestimmtheitsmaß besitzt im dargestellten Fall (bituminöse Deckschichten auf Bundesstraßen der Kategorie B) einen Wert von *R=0,98*.

In den nachfolgenden Abbildungen sind diese Zusammenhänge für die Deckschichten der Kategorie A und S (Abbildung 56) sowie für die Tragschichten der Kategorie B (Abbildung 57) dargestellt (vgl. Kapitel 5.2.2.6). Die geringe Anzahl von zur Verfügung stehenden Daten über Tragschichten erlaubt auf Bundesstraßen der Kategorie A und S keine gesicherte Auswertung der Daten. Es werden daher auch für diese Bundesstraßenkategorien die Ergebnisse der B-Straßen in einer ersten Näherung für die weiterführenden Berechnungen herangezogen.

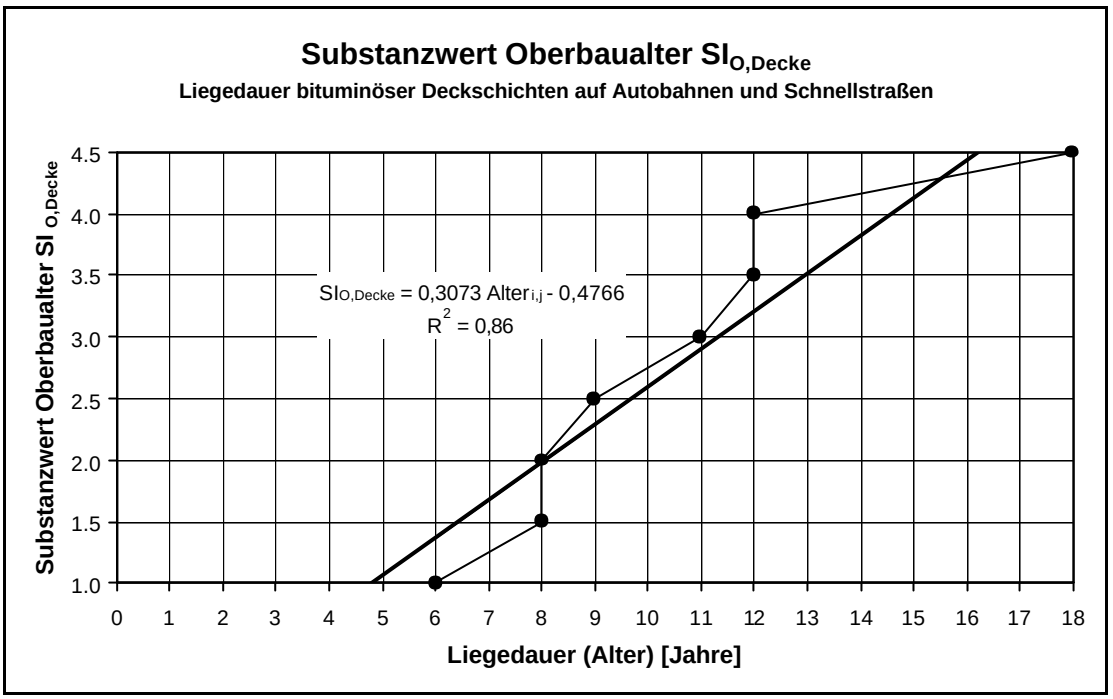


Abbildung 56: Zusammenhang Liegedauer und Substanzwert Oberbaualter $SI_{O,Decke}$ bituminöser Deckschichten auf Bundesstraßen der Kategorie A und S

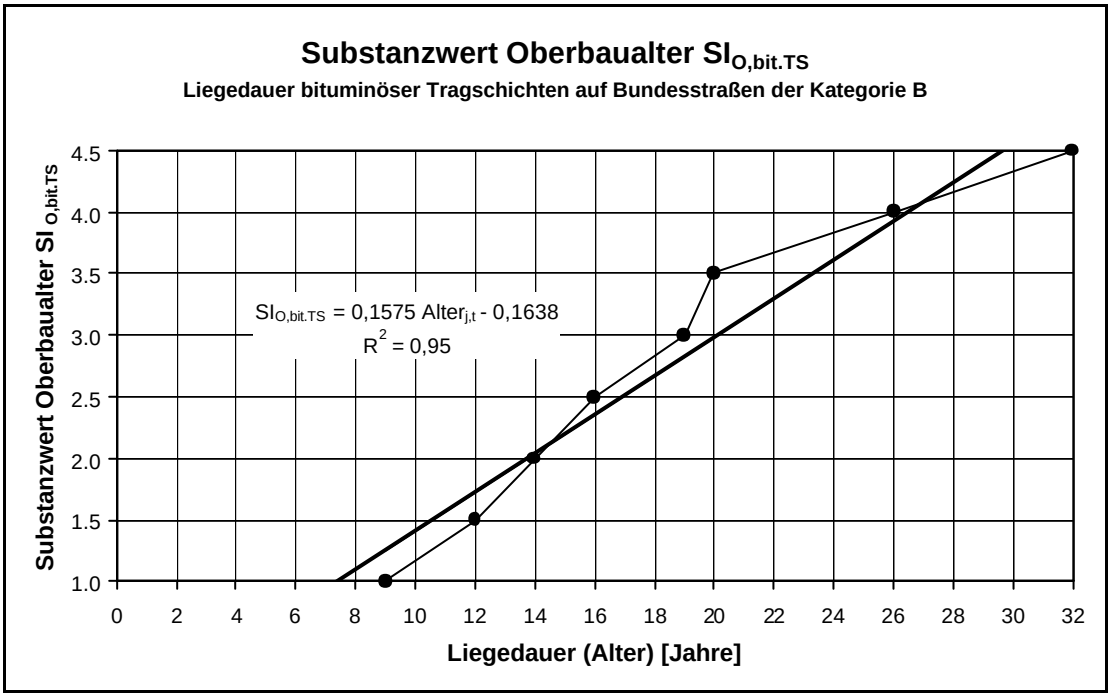


Abbildung 57: Zusammenhang Liegedauer und Substanzwert Oberbaualter $SI_{O,bit.TS}$ bituminöser Tragschichten auf Bundesstraßen der Kategorie B

Für die Berechnung des gesuchten Zusammenhanges wird hier festgehalten, dass die Eingangsgröße $Alter_{i,t}$ als Differenz zwischen einem bestimmten Jahr t während der Analyse und dem Herstellungsjahr der Schicht i definiert ist. Daraus ergeben sich für die Ermittlung der schichtbezogenen Substanzwerte Oberbaualter ($SI_{O,Decke}$, $SI_{O,bit.TS}$) für bituminöse Trag- und Deckschichten folgende funktionelle Zusammenhänge:

$$SI_{O,j,t,Decke,(Kat.B)} = 0{,}2053 \cdot Alter_{Decke,j,t} - 0{,}1761 \quad \text{für } \lfloor 5 \le Alter_{i,j} \le 23 \rfloor \qquad \text{(Gl. 5.41)}$$

$$SI_{O,j,t,Decke,(Kat.A/S)} = 0{,}3073 \cdot Alter_{Decke,j,t} - 0{,}4766 \quad \text{für } \lfloor 4 \le Alter_{i,j} \le 17 \rfloor \qquad \text{(Gl. 5.42)}$$

$$SI_{O,j,t,bit.TS} = 0{,}1575 \cdot Alter_{bit.TS,j,t} - 0{,}1638 \quad \text{für } \lfloor 7 \le Alter_{i,j} \le 30 \rfloor \qquad \text{(Gl. 5.43)}$$

mit: $SI_{O,j,t,Decke}$.....Substanzwert Oberbaualter für bituminöse Deckschichten auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t
$SI_{O,j,t,bit.TS}$.....Substanzwert Oberbaualter für bituminöse Tragschichten auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t
$Alter_{Decke,j,t}$...Alter der bituminösen Deckschicht auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t
$Alter_{bit.TS,j,t}$...Alter der bituminösen Tragschicht auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t

Die separate strukturelle Bewertung der bituminösen Deck- und Tragschichten erfordert für eine Gesamtbeurteilung der strukturellen Beschaffenheit des Oberbaus eine Zusammenführung der Einzelwerte zu einem für das gesamte bituminöse Schichtpaket repräsentativen Substanzwert Oberbaualter $SI_{O,(Asphalt)}$. Für eine Beurteilung der Anwendbarkeit von Erhaltungsmaßnahmen (Anwendungsgrenzen, siehe Kapitel 6.3) sollten jedoch in erster Linie die Einzelwerte der Schichten herangezogen werden ($SI_{O,Decke}$, $SI_{O,bit.TS}$), da der Umfang der Erhaltungsmaßnahme vom Zustand der einzelnen Schichten abhängig ist (Verstärkungsmaßnahmen vom Zustand der bit. Tragschicht und Deckschichtmaßnahmen vom Zustand der Decke).

Die Verknüpfung der schichtbezogenen Substanzwerte Oberbaualter ($SI_{O,Decke}$, $SI_{O,bit.TS}$) kann über das Verhältnis der Schichtdicken zwischen Deck- und bituminöser Tragschicht erfolgen. Die bituminöse Tragschicht, die in erster Linie für die strukturelle Beschaffenheit der Oberbaukonstruktion verantwortlich zeichnet, nimmt dabei auch den betragsmäßig höheren Anteil ein. Es ergibt sich daher folgender funktionelle Zusammenhang zur Berechnung des Substanzwertes Oberbaualter für bituminöse Befestigungen ($SI_{O,(Asphalt)}$):

$$SI_{O,j,t,(Asphalt)} = \frac{SI_{O,j,t,Decke} \cdot D_{Decke,j} + SI_{O,j,t,bit.TS} \cdot D_{bit.TS,j}}{D_{Decke,j} + D_{bit.TS,j}} \qquad \text{(Gl. 5.44)}$$

mit: $SI_{O,j,t,(Asphalt)}$.....Substanzwert Oberbaualter für den bituminösen Oberbau auf Abschnitt j zum Zeitpunkt t
$SI_{O,j,t,Decke}$.....Substanzwert Oberbaualter für die bituminöse Decke auf Abschnitt j zum Zeitpunkt t

$SI_{O,j,t,bit.TS}$.....Substanzwert Oberbaualter für die bituminöse Tragschicht auf Abschnitt j zum Zeitpunkt t
$D_{Decke,j}$.....Dicke der bituminösen Deckschicht auf dem Abschnitt j
$D_{bit.TS,j}$.....Dicke der bituminösen Tragschicht auf dem Abschnitt j

Handelt es sich um eine hohlraumreiche bituminöse Deckschicht, so dürfen darüber hinaus maximal 50% der Schichtdicke in Rechnung gestellt werden. (vgl. RVS 3.63 – Drainasphalt [10])

5.4.5.2.4 Bildung des Substanzwertes für bituminöse Befestigungen

Für die Bildung des Substanzwertes für bituminöse Befestigungen $SI_{(Asphalt)}$ wird der Substanzwert Zustand $SI_{Z,(Asphalt)}$ mit dem Substanzwert Oberbaualter $SI_{O,(Asphalt)}$ verknüpft. Die Verknüpfung erfolgt dabei unter der Bedingung, dass der maßgebende Einzelwert auch den Substanzwert bestimmt. Unter Anwendung eines Maximalkriteriums wird für die Berechnung des Substanzwertes für bituminöse Befestigungen $SI_{j,t,(Asphalt)}$ auf dem Abschnitt *j* zum Zeitpunkt *t* folgende grundsätzliche Beziehung definiert:

$$SI_{j,t,(Asphalt)} = \max\left(SI_{Z,j,t,(Asphalt)}; SI_{O,j,t,(Asphalt)}\right) \qquad \text{(Gl. 5.45)}$$

mit: $SI_{j,t,(Asphalt)}$.....Substanzwert für den bituminösen Oberbau auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t
$SI_{Z,j,t,(Asphalt)}$.....Substanzwert Zustand für den bituminösen Oberbau auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t
$SI_{O,j,t,(Asphalt)}$.....Substanzwert Oberbaualter für den bituminösen Oberbau auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t

Durch die Festlegung einer oberen Grenze des Substanzwertes Oberbaualter $SI_{O,(Asphalt)}$ mit 4,5 (Schwellenwert ist zugleich Grenzwert für mittel- und kurzfristige Erhaltungsmaßnahmen) ist dabei auch sichergestellt, dass dringende Erhaltungsmaßnahmen primär nur durch einen schlechten visuell erfassten Zustand ausgelöst werden können.

5.4.5.3 Einfluss des Substanzwertes für bituminöse Befestigungen auf die Tragfähigkeitszahl

Für die Überprüfung der Anwendbarkeit von strukturellen Verstärkungsmaßnahmen zu jeden bestimmten Zeitpunkt *t* muss die zulässige Tragfähigkeit einer bituminösen Oberbaukonstruktion zu jedem Zeitpunkt *t* bekannt sein.

Die Änderung der strukturellen Beschaffenheit infolge an der Straßenoberfläche sichtbarer Schäden und Schäden im Inneren des Oberbaus führt zu einer Verminderung der vorhandenen Tragfähigkeit, ausgedrückt in einer Reduktion der zulässigen Normlastwechsel. Jene Einflussgrößen, die auch zu einer wertmäßigen Erhöhung des Substanzwertes für bituminöse Befestigungen $SI_{(Asphalt)}$ führen (vgl. Kapitel 5.4.5.2), können auch für eine Reduktion der Tragfähigkeit herangezogen werden. Dies bedeutet, dass die zeitabhängige Tragfähigkeitszahl von folgenden Größen abhängig ist:

$$TZ_{t,j} = f\left(TZ_{t=0,j}; SI_{j,t,(Asphalt)}\right) \quad \text{(Gl. 5.46)}$$

mit: $TZ_{t,j}$.....Tragfähigkeitszahl zum Zeitpunkt t auf dem Abschnitt j
$TZ_{t=0,j}$.....Tragfähigkeitszahl zum Zeitpunkt t=0 auf dem Abschnitt j

Die in Kapitel 5.2.2.6.3 definierte Tragfähigkeitszahl $TZ_{t,j}$ wurde dabei für die „Ausgangslage" *t=0*, welche den Zeitpunkt der letzten Instandsetzung oder der Errichtung der Oberbaukonstruktion darstellt, über folgende Gleichung definiert:

$$TZ_{t=0,j} = \sum_{i=1}^{n}\left(D_{i,j} \cdot a_i \cdot r_{A,i,j}\right) + TZ_{Ug} \quad \text{(Gl. 5.11)}$$

mit: a_i.....Schichtkoeffizient der Schicht (siehe Tabelle 5)
$r_{A,i,j}$.....Reduktionsfaktor Alter der Schicht i auf dem Abschnitt j
$D_{i,j}$.....Schichtdicke der Schicht i auf dem Abschnitt j [cm]
n.....Anzahl der Schichten der Oberbaukonstruktion
TZ_{Ug}.....Tragfähigkeitszahl für den Untergrund

Für die Definition einer zeitabhängigen Tragfähigkeitszahl müssen die Einflussgrößen auf einen Wert transformiert werden, der zu einer betragsmäßigen Verminderung der Tragfähigkeitszahl $TZ_{t,j}$ und somit zu einer Verminderung der zulässigen Normlastwechsel führt (Reduktionsfaktor Substanzwert r_{SI}). Da die Tragfähigkeitszahl zum Ausgangszeitpunkt *t=0* ($TZ_{t=0,j}$) mit einem Reduktionsfaktor versehen ist, der einen Wertebereich zwischen 1,0 und 0,3 einnimmt, muss der Substanzwert für bituminöse Befestigungen lediglich auf diesen Wertebereich transformiert werden. Dies geschieht dabei durch eine lineare Transformationsfunktion mit den Randbedingungen, dass der Reduktionsfaktor bei einem Substanzwert $SI_{(Asphalt)}$ von 1,0 ebenfalls einen Wert von 1,0 aufweist und bei einem Substanzwert $SI_{(Asphalt)}$ von 5,0 einen Wert von 0,3 annimmt. Auf der Grundlage dieser Überlegung ergibt sich für den Reduktionsfaktor Substanzwert $r_{SI,j}$ folgende mathematische Funktion:

$$r_{SI,j,t} = -0{,}175 \cdot SI_{j,t,(Asphalt)} + 1{,}175 \quad \text{(Gl. 5.47)}$$

mit: $r_{SI,j,t}$.....Reduktionsfaktor Substanzwert auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t
$SI_{j,t(Asphalt)}$.....Substanzwert Oberbau für die bituminöse Decke auf Abschnitt j zum Zeitpunkt t

Die zeitabhängige Tragfähigkeitszahl $TZ_{t,j}$ für den Abschnitt *j* lässt sich nun unter Anwendung des Reduktionsfaktors Substanzwert $r_{SI,A,j}$ über folgende Gleichung berechnen:

$$TZ_{t,j} = TZ_{t=0,j} - a_{Asphalt} \cdot D_{Decke,j} - a_{Asphalt} \cdot D_{bit.TS,j} \cdot r_{A,bit.TS,j} + a_{Asphalt} \cdot D_{Decke,j} \cdot r_{SI,j,t} + a_{Asphalt} \cdot D_{bit.TS,j} \cdot r_{SI,j,t} \quad \text{(Gl. 5.48)}$$

Durch Vereinfachung ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$TZ_{t,j} = TZ_{t=0,j} + a_{Asphalt} \cdot D_{Decke,j} \cdot (r_{SI,j,t} - 1) + a_{Asphalt} \cdot D_{bit.TS,j} \cdot (r_{SI,j,t} - r_{A,bit.TS,j}) \quad \text{(Gl. 5.49)}$$

mit: $a_{Asphalt}$.....Schichtkoeffizient für Asphaltschichten (siehe Tabelle 5)
$r_{A,bit.TS,j}$.....Reduktionsfaktor Alter der bituminösen Tragschicht auf dem Abschnitt j
$D_{Decke,j}$.....Schichtdicke der Deckschicht auf dem Abschnitt j [cm]
$D_{bit.TS,j}$.....Schichtdicke der bituminösen Tragschicht auf dem Abschnitt j [cm]

Auf der Grundlage dieser Beziehung kann nun für jeden Zeitpunkt *t* während der Analyse die zulässige Tragfähigkeit der zu untersuchenden Oberbaukonstruktion ermittelt und für die Berechnungen von erforderlichen Verstärkungsdicken herangezogen werden.

5.4.5.4 Strukturelle Bewertung von Betondecken und Betondecken mit bituminösen Überzügen

5.4.5.4.1 Allgemeines

Für die Festlegung eines Substanzwertes von Betondecken bzw. Betondecken mit bituminösen Überzügen wird grundsätzlich nach der gleichen Methodik vorgegangen, die für eine strukturelle Beurteilung von bituminösen Oberbaukonstruktionen angewendet wurde (siehe Kapitel 5.4.5.2). Die Unterschiede der beiden Verfahren sind nur in den Einflussfaktoren bzw. im unterschiedlichen Aufbau zu sehen, der eine differenzierte Betrachtung dieses Oberbautyps erfordert. Als Sonderfall müssen auch jene Betondecken untersucht werden, die mit einer bituminösen Deckschicht überzogen sind, d.h. bereits ein- oder mehrmals oberflächlich instandgesetzt wurden. Für die strukturelle Bewertung von Betondecken werden daher folgende Einflussfaktoren berücksichtigt:

- Zustandswerte
- Altersstruktur der Oberbaukonstruktion (Berücksichtigung von evtl. vorh. bituminösen Überzügen)

Die Beeinträchtigung der Betondecke durch Verkehr, Temperatur, Niederschlag, etc. zeigt sich auch bei starren Befestigungen durch eine Schädigung an der Straßenoberfläche sowie durch eine nicht sichtbare Schädigung infolge Ermüdung der Betondecke und/oder einer Veränderung der Auflagerbedingungen im Laufe der Lebensdauer bzw. Liegezeit. Es kann also wiederum ein

- Substanzwert Zustand $SI_{Z,(Beton)}$, der den sichtbaren Zustand der Straßenoberfläche, ausgedrückt durch Zustandswerte, und die Verkehrsbelastung beinhaltet, sowie ein
- Substanzwert Oberbaualter $SI_{O,(Beton)}$, der die Eigenschaften der Betondecke und die Altersstruktur der Oberbaukonstruktion berücksichtigt,

definiert werden.

5.4.5.4.2 Substanzwert Zustand für Betondecken und Betondecken mit bituminösem Überzug $SI_{Z,(Beton)}$

Für die Bewertung des visuell erfassbaren Zustandes von Betondecken und Betondecken mit bituminösem Überzug im Hinblick auf die strukturelle Beschaffenheit können unterschiedliche Zustandsmerkmale herangezogen werden. Dabei muss jedoch unterschieden werden, ob die Betondecke bereits durch eine Instandsetzungsmaßnahme in Form eines bituminösen Überzugs saniert wurde oder nicht. Ist dies der Fall, so ergibt sich das Problem, dass nicht der Zustand der Betondecke zustandsmäßig erfasst vorliegt, sondern der Zustand der bituminösen Decke, der nur bedingt einen Rückschluss auf die tatsächliche strukturelle Beschaffenheit der Betondecke zulässt.

Betondecken ohne bituminösem Überzug

Für die strukturelle Bewertung von Betondecken ohne bituminösem Überzug werden in Anlehnung an [35] und [23] folgende Zustandsmerkmale herangezogen:

- Risse
- Oberflächenschäden
- Längsebenheit

Das Zustandsmerkmal Risse stellt bei Betondecken ohne bituminösen Überzug das wichtigste Merkmal zur Beschreibung einer strukturellen Schädigung der Betondecke dar, während die Längsebenheit für eine Charakterisierung der Auflagerbedingungen der Betondecke herangezogen werden kann. Im Gegensatz zu den Festlegungen im Rahmen von VIAPMS_AUSTRIA, Version 2.0, [23] in welcher das Zustandsmerkmal Oberflächenschäden aufgrund der nicht eindeutigen Definition im Zuge der visuellen Zustandserfassung 1995 nicht berücksichtigt wurde, werden nunmehr sehr wohl die Oberflächenschäden herangezogen. Die Beschreibung bzw. Definition des Zustandsmerkmals Oberflächenschäden für Betondecken nach [16] und nach Kapitel 5.4.3.3 zeigt, dass Oberflächenschäden in Form von Abplatzungen, Eckab- bzw. Eckausbrüchen und als bituminöse Reparaturstellen ein Kennzeichen der strukturellen Beschaffenheit darstellen und daher zu berücksichtigen sind.

Diese Festlegungen führen zu folgender Definition des Substanzwertes Zustand $SI_{Z,j,t,(Beton)}$ von Betondecken ohne bituminösem Überzug:

$$SI_{Z,j,t,(Beton)} = \max\left(ZW_{RI,j,t}; ZW_{OS,j,t}; ZW_{LE,j,t}\right) \qquad \text{(Gl. 5.50)}$$

mit: $SI_{Z,j,t,(Beton)}$ ....Substanzwert Zustand für Betondecken ohne bituminösem Überzug auf Abschnitt j zum Zeitpunkt t
$ZW_{RI,j,t}$ .....Zustandswert Risse auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t
$ZW_{OS,i,t}$ .....Zustandswert Oberflächenschäden auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t
$ZW_{LE,j,t}$ .....Zustandswert Längsebenheit auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t

Betondecken mit bituminösem Überzug

Die tatsächliche strukturelle Beschaffenheit der Betondecke unterhalb der bituminösen Deckschicht kann nur anhand jener Oberflächenschäden definiert werden, die einen eindeutigen Einfluss durch die Betondecke erkennen lassen. Dies bedeutet, dass in Anlehnung an [35] und [23] zwei Zustandsmerkmale zu berücksichtigen sind:

- Risse
- Längsebenheit

Risse, die an der Oberfläche erkennbar sind, müssen in Bezug auf die Ursache in zwei Kategorien unterschieden werden, die für die weiterführenden Berechnungen sehr wesentlich sind. Es sind dies:

- Reflexionsrisse über Fugen in der Betondecke
- Reflexionsrisse über Rissen in der Betondecke

Die erste Art der Risse entsteht durch die Bewegungen der Betonplatten im Bereich der Fugen und tritt ausschließlich als Schaden im bituminösen Überzug auf, während die zweite Art von Rissen auf eine strukturelle Schädigung der Betondecke zurückzuführen sind. Das Problem im Rahmen der Beurteilung der Risse besteht im Fehlen jener Information, die eindeutig erkennen lassen, ob es sich um einen Reflexionsriss infolge Fugen oder infolge Risse in der Betondecke handelt. Umgekehrt ist es jedoch auch möglich, dass Risse, die in der Betondecke vorhanden sind, zum Zeitpunkt der Erfassung noch nicht als Reflexionsrisse auftreten, was ebenfalls über die Informationen aus der Erfassung nicht geklärt werden kann. D.h. der auf der Straßenoberfläche erfasste Zustandswert „Risse“ kann nicht für die strukturelle Beurteilung herangezogen werden. Die nachfolgende Abbildung 58 soll diese Problematik anhand der Darstellung der Verhaltensfunktionen auf einem Abschnitt, der mit einem bituminösen Überzug instandgesetzt wurde, verdeutlichen.

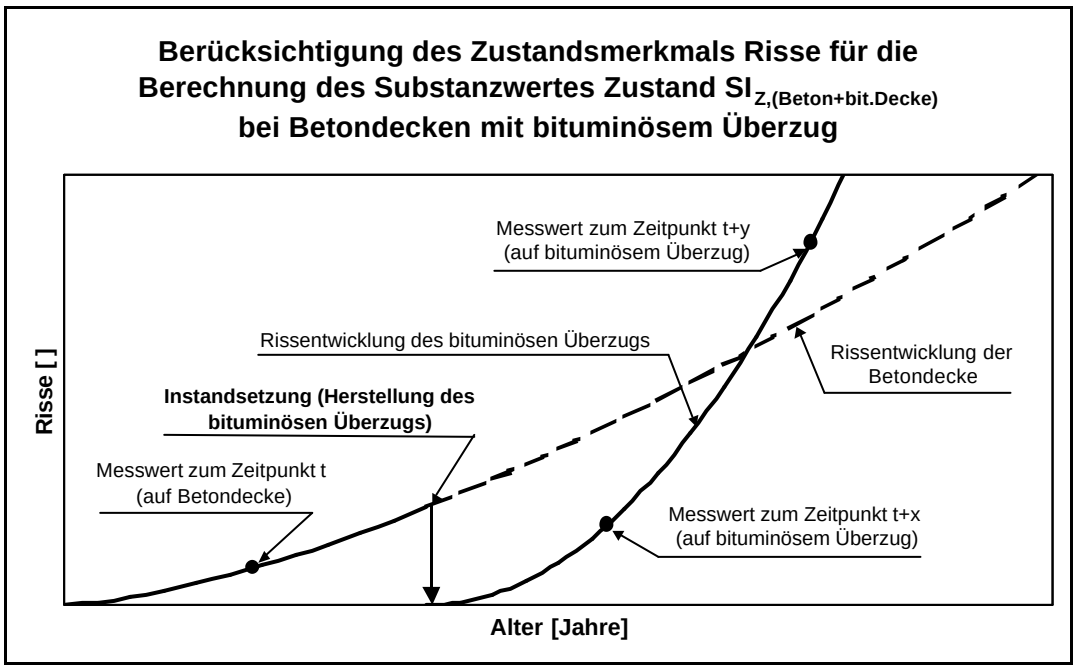


Abbildung 58: Rissentwicklung Substanzwert Zustand $SI_{Z,(Beton+bit.Decke)}$ bei Betondecken mit bituminösem Überzug

Der für eine Beurteilung des Zustandes erfasste Messwert kann in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Erfassung entweder unterhalb (Zeitpunkt $t+x$) oder oberhalb (Zeitpunkt $t+y$) der tatsächlichen Rissentwicklung der Betondecke liegen. Aus der Abbildung wird ersichtlich, dass für die Berücksichtigung des Zustandsmerkmals Risse die Rissentwicklung der Betondecke maßgebend ist, und nicht die des bituminösen Überzugs. Liegen Informationen aus einer Zustandserfassung vor dem Zeitpunkt der Instandsetzungsmaßnahme vor (Zeitpunkt t), so kann auf der Grundlage dieser Information eine Extrapolation der Rissentwicklung mit Hilfe des Zustandsprognosemodells (abschnittsbezogene Verhaltensfunktion) erfolgen, sodass zum Zeitpunkt der Beurteilung ein Zustandswert Risse $ZW_{RI,Beton,j}$, der sich auf die Betondecke bezieht, vorliegt. Sind keine Informationen über die Betondecke vor der Instandsetzung vorhanden, so kann dennoch eine Berechnung eines Zustandswertes über eine auf dem Abschnitt nicht kalibrierte Verhaltensfunktion erfolgen (Verhaltensfunktionen siehe Kapitel 7.3, Kalibrierung siehe Kapitel 7.3.3). Die Genauigkeit ist in diesem Fall wesentlich geringer. Der auf den bituminösen Überzug bezogene repräsentative Zustandswert der Merkmals Risse kann jedoch nicht für die Berechnung des Substanzwertes Zustand $SI_{Z,(Beton+bit.Decke)}$ herangezogen werden. Der Substanzwert Zustand $SI_{Z,j,t,(Beton+bit.Decke)}$ für Betondecken mit bituminösem Überzug auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t wird daher durch folgende Gleichung beschrieben:

$$SI_{Z,j,t,(Beton+bit.Decke)} = \max\left(ZW_{RI,(Beton),j,t}; ZW_{LE,j,t}\right) \qquad \text{(Gl. 5.51)}$$

mit: $SI_{Z,j,t,(Beton+bit.Decke)}$ ....Substanzwert Zustand für Betondecken mit bituminösem Überzug auf Abschnitt j zum Zeitpunkt t
$ZW_{RI,(Beton),j,t}$ .....extrapolierter Zustandswert Risse der Betondecke auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t
$ZW_{LE,j,t}$ .....Zustandswert Längsebenheit auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t

5.4.5.4.3 Substanzwert Oberbaualter für Betondecken und Betondecken mit bituminösem Überzug $SI_{O,(Beton)}$

Auch bei Betondecken kann sich die Änderung der strukturellen Beschaffenheit durch eine sichtbare Schädigung an der Straßenoberfläche und durch eine Änderung der Materialeigenschaften in der Betondecke bzw. in den darunter liegenden Schichten vollziehen, die nicht im Zuge einer visuellen oder messtechnischen Zustandserfassung aufgenommen werden können. Sind die strukturellen Schäden erkennbar, so werden sie im Rahmen der Berechnung des Substanzwertes Zustand $SI_{Z,(Beton)}$ berücksichtigt. Sind keine derartigen Schäden an der Straßenoberfläche sichtbar und wurde die Betondecke bereits über einen längeren Zeitraum durch Verkehr, Temperatur, Niederschlag, etc. beansprucht, so müssen zusätzliche beschreibende Kenngrößen für die strukturelle Bewertung herangezogen werden.

Analog zu den bituminösen Befestigungen gibt es bei Betondecken kaum Informationen über die Änderung der Materialeigenschaften von ungebundenen bzw. zementstabilisierten Tragschichten infolge Belastung bzw. Beanspruchung. Mit Ausnahme einer Änderung der Lagerungsbedingungen der Betondecken, die sich durch eine Änderung der Längsebenheit (z.B. Stufenbildung im Bereich der Fugen) verdeutlicht

und daher im Zuge der Berechnung des Substanzwertes Zustandes $SI_{Z,(Beton)}$ berücksichtigt wird, werden keine Einflüsse der Schichten unterhalb der Betondecke berücksichtigt. Die Beurteilung der „inneren“ strukturellen Beschaffenheit von Betondecken bzw. Betondecken mit bituminösem Überzug erfolgt daher ausschließlich über die Betondecke selbst. Betondecken mit bituminösem Überzug sind bei der Untersuchung der nicht sichtbaren Schädigung der Struktur den Betondecken ohne Deckschichtmaßnahmen gleichzusetzen. Eine Beeinflussung auf die „strukturelle“ Beschaffenheit durch das Aufbringen eines bituminösen Überzugs ist praktisch nicht vorhanden und kann daher vernachlässigt werden.

Die zeitabhängige Veränderung der strukturellen Beschaffenheit von Betondecken wird analog zu den bituminösen Oberbaukonstruktionen in Abhängigkeit von der tatsächlichen Liegedauer der Betondecke über einen Substanzwert Oberbaualter für Betondecken $SI_{O,(Beton)}$ definiert. Abweichend von den bituminösen Oberbaukonstruktionen, wo eine Unterscheidung zwischen bituminöser Deck- und Tragschicht erforderlich war, kann hier ausschließlich die Altersstruktur der Betondecke herangezogen werden (siehe Abbildung 59). Die statistische Auswertung der Lebensdauer der Betondecken kann nur mit einer geringen Anzahl von Datensätzen durchgeführt werden (ausschließlich Bundesstraßen der Kategorie A), sodass die Aussagekraft des Ergebnisses nur eine geringe Genauigkeit besitzt. Diese Tatsache ist auf den Umstand zurückzuführen, dass erst wenige Kilometer Betondecke in Österreich erneuert wurden.

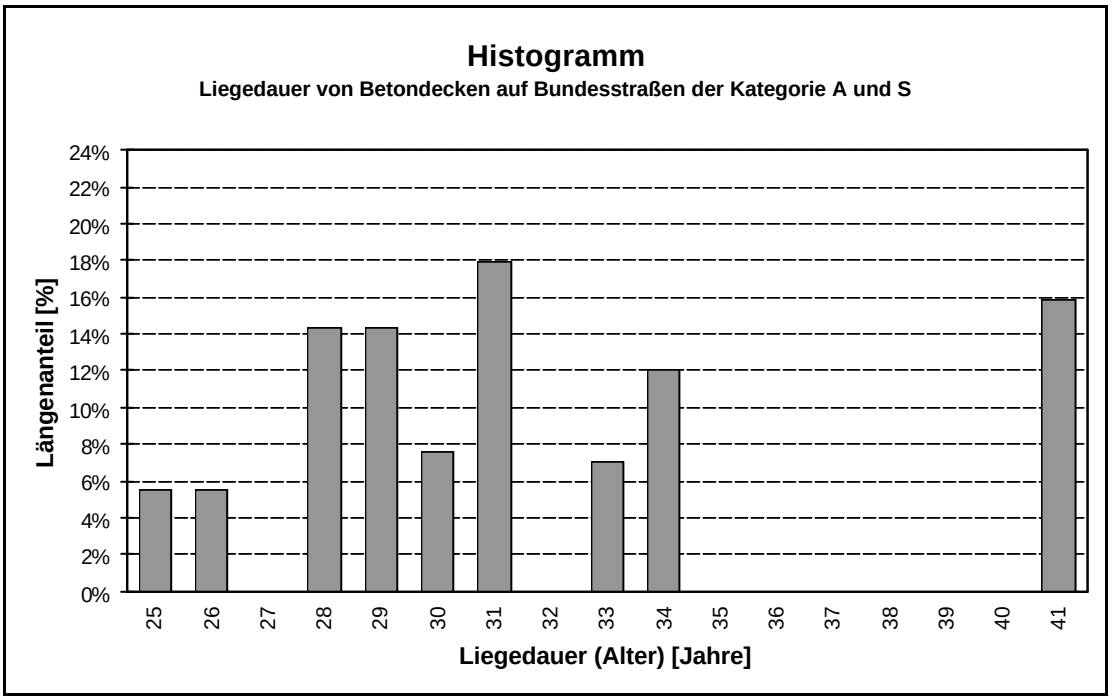


Abbildung 59: Histogramm der Liegedauer von Betondecken auf Bundesstraßen der Kategorie A und S

Für die Ableitung eines funktionellen Zusammenhanges zwischen dem Alter der Betondecke und dem Substanzwert Oberbaualter $SI_{O,(Beton)}$ wird die gleiche Vorgangsweise gewählt, wie bei den bituminösen Befestigungen. Der obere Grenzwert (Schwellenwert) des Substanzwertes Oberbaualter $SI_{O,(Beton)}$ wird auch bei den Beton-

decken mit der 90%-Perzentile der empirischen Verteilung festgelegt. Eine Überschreitung des Schwellenwertes wird durch die Begrenzung des Substanzwertes Oberbaualter $SI_{O,(Beton)}$ mit 4,5 ebenfalls ausgeschlossen, sodass ausschließlich erkennbare Schäden kurzfristige Erhaltungsmaßnahmen auslösen können. Die Zuordnung der Werteskala des Substanzwertes Oberbaualter $SI_{O,(Beton)}$ erfolgt über eine gleichmäßige Aufteilung der Fläche unterhalb der empirischen Verteilung zwischen 25 Jahren und 90%. Die mit den Wahrscheinlichkeiten der Verteilung korrelierenden Liegedauern der Betondecken liefern diesen funktionellen Zusammenhang (siehe Abbildung 60).

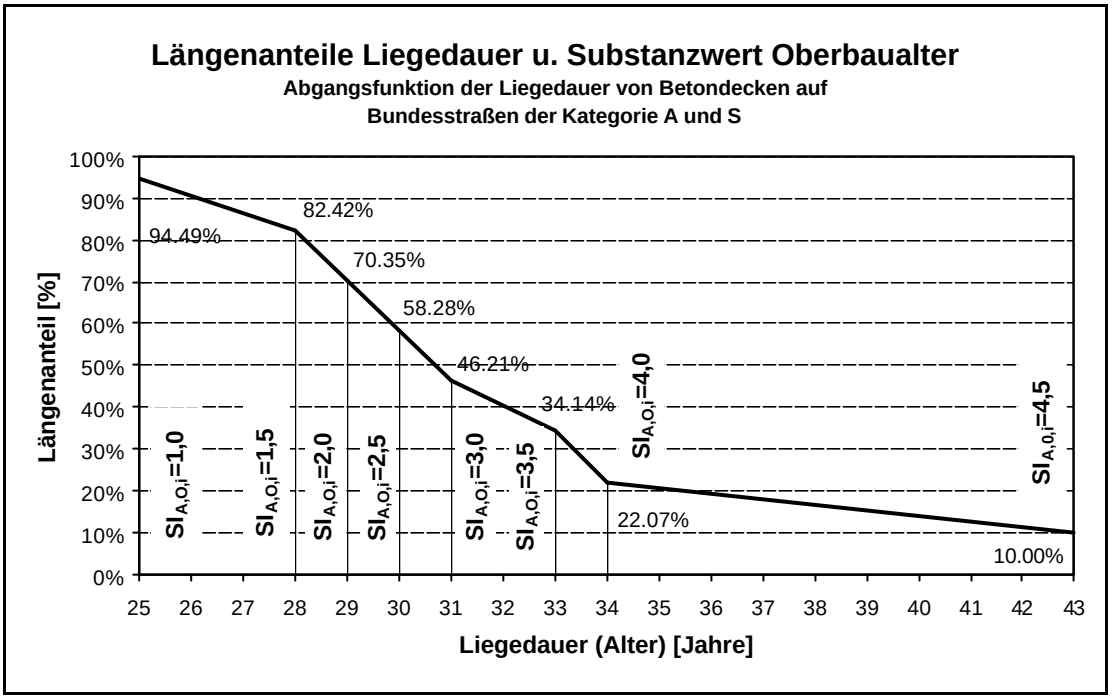


Abbildung 60: Abgangsfunktion der Liegedauer von Betondecken auf Bundesstraßen der Kategorie A und S

Aus Gründen der Vereinfachung wird auch hier die unstetige Verteilung durch eine Regressionsgerade ersetzt, deren Bestimmtheitsmaß den Wert 0,83 besitzt (siehe Abbildung 61). Der mathematische Zusammenhang zwischen dem Alter der Betondecke zu einem bestimmten Zeitpunkt *t* und dem Substanzwert Oberbaualter $SI_{O,j,(Beton)}$ auf einem Abschnitt *j* ist definiert durch:

$$SI_{O,j,t,(Beton)} = 0{,}2072 \cdot Alter_{Beton,j,t} - 3{,}8038 \quad \text{für } \lfloor 23 \le Alter_{Beton,j,t} \le 40 \rfloor \qquad \text{(Gl. 5.52)}$$

mit: $SI_{O,j,t,(Beton)}$.....Substanzwert Oberbaualter für Betondecken auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t

$Alter_{Beton,j,t}$ .....Alter der Betondecke auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t

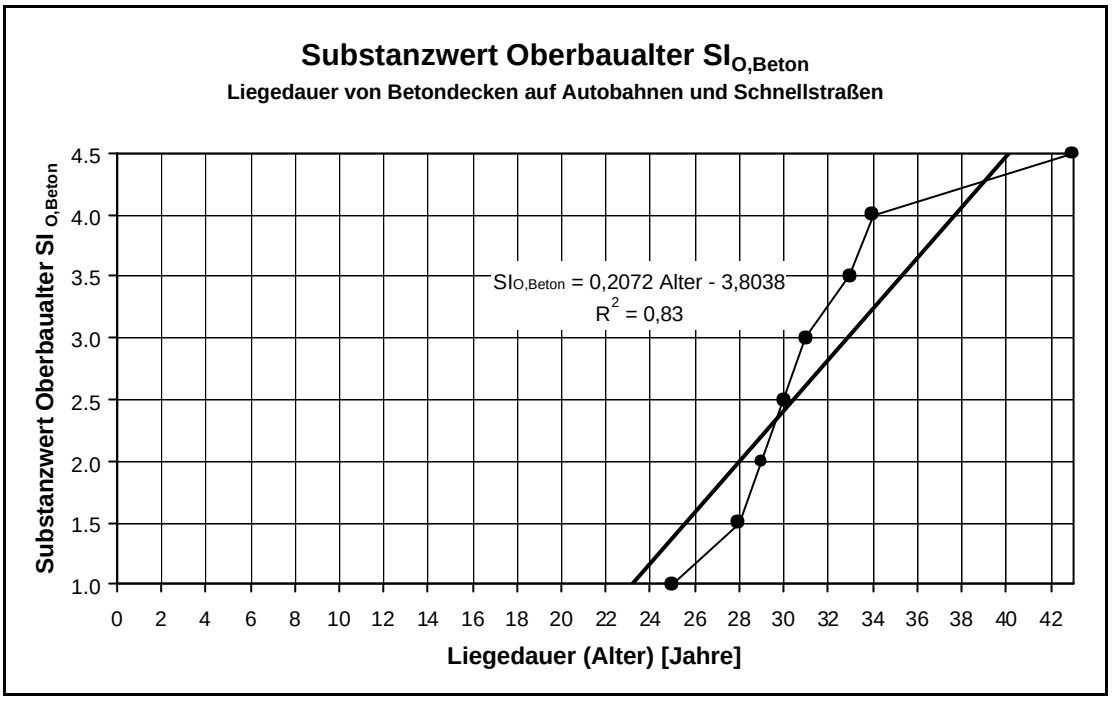


Abbildung 61: Zusammenhang Lebensdauer und Substanzwert Oberbaualter $SI_{O,Beton}$ von Betondecken auf Bundesstraßen der Kategorie A und S

5.4.5.4.4 Bildung des Substanzwertes für Betondecken und Betondecken mit bituminösem Überzug

Für die Zusammenführung der einzelnen Komponenten gelten die gleichen Überlegungen wie bei den bituminösen Befestigungen, sodass auch hier der maßgebende Wert des Substanzwertes Zustand $SI_{Z,(Beton)}$ und des Substanzwertes Oberbaualter $SI_{O,(Beton)}$ den Substanzwert für Betondecken $SI_{(Beton)}$ bestimmt. Die Zusammenführung erfolgt unter Anwendung eines Maximalkriteriums über die nachfolgend dargestellte Gleichung:

$$SI_{j,t,(Beton)} = \max\left(SI_{Z,j,t,(Beton)}; SI_{O,j,t,(Beton)}\right) \qquad \text{(Gl. 5.53)}$$

mit: $SI_{j,t,(Beton)}$.....Substanzwert für Betondecken auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t

$SI_{Z,j,t,(Beton)}$....Substanzwert Zustand für Betondecken auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t

$SI_{O,j,t,(Beton)}$....Substanzwert Oberbaualter für Betondecken auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t

Durch die Festlegung einer oberen Grenze des Substanzwertes Oberbaualter $SI_{O,(Beton)}$ mit 4,5 (Schwellenwert ist zugleich Grenzwert für mittel- und kurzfristige Erhaltungsmaßnahmen) ist dabei auch sichergestellt, dass dringende Erhaltungsmaßnahmen primär nur durch einen schlechten visuell erfassten Zustand ausgelöst werden können.

5.4.6 Gebrauchswert – Beurteilung von Fahrkomfort und Fahrsicherheit

5.4.6.1 Allgemeines

Neben der strukturellen Beschaffenheit einer Oberbaukonstruktion, ausgedrückt durch den Substanzwert, ist vor allem die Fahrsicherheit und der Fahrkomfort der entscheidende bzw. auslösende Parameter für die Durchführung von Instandsetzungsmaßnahmen auf einem bestimmten Abschnitt. Die beschreibende Kenngröße der Fahrsicherheit bzw. des Fahrkomforts ist der Gebrauchswert, der in der Einleitung zu diesem Kapitel bereits vorgestellt wurde (siehe Kapitel 5.4.1).

Mit wenigen Ausnahmen, die vor allem spezielle Deckenarten betreffen, sind die Einflussfaktoren für den Gebrauchswert sowohl für Betondecken als auch für bituminöse Oberbaukonstruktionen identisch. Eine ausreichende Griffigkeit muss auf einem Abschnitt mit einer bituminösen Decke ebenso gewährleistet sein, wie auf einem Abschnitt mit einer Betondecke. Ungeachtet dessen wird aus Gründen einer übersichtlichen Gliederung die Berechnung des Gebrauchswertes sowohl für bituminöse Oberbaukonstruktionen als auch für Betondecken bzw. Betondecken mit bituminösem Überzug getrennt dargestellt.

Neben der Festlegung der einzelnen in die Berechnung einfließenden Parameter, muss auch die unterschiedliche Bedeutung dieser Einflussgrößen berücksichtigt werden. Das im Gebrauchswert enthaltene Teilziel Fahrsicherheit ist dem Teilziel Fahrkomfort überzuordnen, da die Fahrsicherheit aufgrund der Auswirkungen auf den Straßennutzer (Unfallgeschehen) einen wesentlich höheren Stellenwert besitzt. Dies bedeutet, dass sämtliche den Fahrkomfort beschreibenden Zustandsmerkmale mit einem geringeren Gewicht zu versehen sind, als jene der Fahrsicherheit. Berechnungen im Zuge von [23] haben gezeigt, dass ein schlechter Fahrkomfort kein maßgebendes Kriterium für einen dringenden Erhaltungsbedarf sein sollte. Um dennoch Erhaltungsmaßnahmen im Hinblick auf den Fahrkomfort nicht vollständig auszuschließen, sollten zumindest mittelfristige Maßnahmenplanungen möglich sein. Multipliziert man einen Zustandswert von 4,5 (Schwellenwert) mit einem Faktor von 0,78, so ergibt sich daraus ein Zustandswert von 3,5, was dem Warnwert entspricht. Der Schwellenwert ergibt sich als Lösung, wenn ein Zustandswert von 5,0 mit 0,9 multipliziert wird. Auf Grundlage dieser Überlegungen sollte daher das Gewicht einen Wert zwischen 0,78 und 0,9 einnehmen. Für die Berücksichtigung des Teilziels Fahrkomforts bei der Bildung des Gesamtwertes wird daher ein Gewicht von 0,8 in Rechnung gestellt.

5.4.6.2 Gebrauchswert von bituminösen Oberbaukonstruktionen

Für die Bewertung der Fahrsicherheit und des Fahrkomforts auf bituminösen Oberbaukonstruktionen werden im Rahmen der Datenanalyse in Anlehnung an [24] und [35] folgende Zustandsmerkmale herangezogen:

- Spurrinnen
- Griffigkeit

- Längsebenheit
- Oberflächenschäden

Die Zustandsmerkmale Spurrinnen und Griffigkeit werden dabei dem Kriterium Fahrsicherheit und die Zustandsmerkmale Längsebenheit und Oberflächenschäden dem Kriterium Fahrkomfort zugeordnet. Wie bereits unter 5.4.6.1 erwähnt, erfolgt die Berücksichtigung der unterschiedlichen Teilziele, die dem Gebrauchswert zugeordnet werden, durch das Ansetzen eines Gewichtes. Es ergibt sich daher folgende Gleichung für die Berechnung des Gebrauchswertes einer bituminösen Oberbaukonstruktion $GI_{j,t,(Asphalt)}$ auf dem Abschnitt j:

$$GI_{j,t,(Asphalt)} = \max\left[ZW_{SR,j,t}; ZW_{GR,j,t}; \left(G_{FK} \cdot ZW_{LE,j,t}\right); \left(G_{FK} \cdot ZW_{OS,j,t}\right)\right] \quad \text{(Gl. 5.54)}$$

mit: $GI_{j,t,(Asphalt)}$....Gebrauchswert für bituminöse Oberbaukonstruktionen auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t
$ZW_{SR,j,t}$ .....Zustandswert Spurrinnen auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t
$ZW_{GR,j,t}$.....Zustandswert Griffigkeit auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t
$ZW_{LE,j,t}$ .....Zustandswert Längsebenheit auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t
$ZW_{OS,i,t}$.....Zustandswert Oberflächenschäden auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t
G_{FK} .....Gewicht Anteil Fahrkomfort (= 0,8)

Untersuchungen im Rahmen von [23] haben gezeigt, dass Oberflächenschäden bei hohlraumreichen Decken (Drainasphalt) aufgrund des plötzlichen Auftretens von Schlaglöchern, großflächigen Abplatzungen und Kornausbrüchen die Fahrsicherheit beeinträchtigen können. Aus diesem Grund wird für die Berechnung des Gebrauchswertes einer bituminösen Oberbaukonstruktion mit einer Drainasphaltdecke $GI_{j,t,(Drainasphalt)}$ auf dem Abschnitt j folgende Gleichung verwendet:

$$GI_{j,t,(Drainasphalt)} = \max\left[ZW_{SR,j,t}; ZW_{GR,j,t}; ZW_{OS,j,t}; \left(G_{FK} \cdot ZW_{LE,j,t}\right)\right] \quad \text{(Gl. 5.55)}$$

Eine zusätzliche Berücksichtigung der Oberflächenschäden in Bezug auf den Fahrkomfort ist nicht mehr erforderlich, da dieser Term aufgrund der Gewichtung kein maßgebendes Kriterium mehr darstellen kann.

5.4.6.3 Gebrauchswert von Betondecken und Betondecken mit bituminösem Überzug

Analog zu den flexiblen Oberbaukonstruktionen werden auch bei Betondecken folgende Zustandsmerkmale für die Bewertung des Straßenzustandes im Hinblick auf Fahrsicherheit und Fahrkomfort definiert:

- Spurrinnen
- Griffigkeit

- Längsebenheit
- Oberflächenschäden

Auch hier werden die Zustandsmerkmale Längsebenheit und Oberflächenschäden dem Teilziel Fahrkomfort zugeordnet, sodass sich für die Berechnung des Gebrauchswert einer Betondecke $GI_{j,t,(Beton)}$ auf dem Abschnitt *j* folgende grundlegende Beziehung ergibt:

$$GI_{j,t,(Beton)} = \max\left\lfloor ZW_{SR,j,t}; ZW_{GR,j,t}; \left(G_{FK} \cdot ZW_{LE,j,t}\right); \left(G_{FK} \cdot ZW_{OS,j,t}\right)\right\rfloor \quad \text{(Gl. 5.56)}$$

mit: $GI_{j,t,(Beton)}$ .....Gebrauchswert für Betondecken auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t
$ZW_{SR,j,t}$ .....Zustandswert Spurrinnen auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t
$ZW_{GR,j,t}$.....Zustandswert Griffigkeit auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t
$ZW_{LE,j,t}$ .....Zustandswert Längsebenheit auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t
$ZW_{OS,i,t}$.....Zustandswert Oberflächenschäden auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t
G_{FK} .....Gewicht Anteil Fahrkomfort (= 0,8)

Neben den Betondecken sind bei den starren Oberbaukonstruktionen auch die Betondecken mit einem bituminösem Überzug zu beurteilen. Hier wird davon ausgegangen, dass die gleichen Zustandsmerkmale für die Bewertung des Fahrkomforts und der Fahrsicherheit herangezogen werden. Betondecken, deren bituminöser Überzug aus Drainasphalt besteht, sind wie bituminöse Oberbaukonstruktionen mit Drainasphaltdecken zu bewerten.

5.4.7 Bildung eines Gesamtwertes

5.4.7.1 Allgemeines

Der letzte Schritt im Rahmen der Wertsynthese zur Bewertung des Straßenzustandes liegt in der Bildung des Gesamtwertes der Oberbaukonstruktion. Für die Zusammenführung der Teilwerte Substanzwert und Gebrauchswert sind jedoch die unterschiedlichen Betrachtungsweisen der Teilziele des Straßennutzers und des Straßenerhalters zu beachten. Der Straßennutzer sieht sein primäres Ziel in der Sicherstellung der Fahrsicherheit und des Fahrkomforts. Solange eine strukturelle Schädigung keinen wesentlichen Einfluss auf die Fahrsicherheit und den Fahrkomfort ausübt, solange ist aus der Sicht des Straßennutzers kein dringender Erhaltungsbedarf gegeben. Für den Straßenerhalter ist hingegen die strukturelle Beschaffenheit ein wesentlicher Aspekt bei der Planung von Erhaltungsmaßnahmen, da die Straßenverwaltung für die Erhaltung der Bausubstanz verantwortlich zeichnet. Das Nichtberücksichtigen der strukturellen Schädigung eines Abschnittes, der kein fahrsicherheits- und fahrkomfortspezifisches Problem aufweist, wird daher als Versäumnis verstanden, das sich nachhaltig sehr wohl auf den Gesamtzustand (auch Fahrsicherheit und Fahrkomfort) des Abschnitts auswirkt.

Die ausschließliche Berücksichtigung der Fahrsicherheit bei der Bildung des Gesamtwertes führt darüber hinaus zu einer Verminderung des kurz- und mittelfristig erforderlichen Erhaltungsbudgets, da Instandsetzungsmaßnahmen zur Verbesserung der Fahrsicherheitseigenschaften i.A. billiger sind als strukturelle Maßnahmen. Dieses Ergebnis haben auch Sensitivitätsuntersuchungen im Rahmen von [23] gezeigt. Dies bedeutet, dass eine Vernachlässigung der Struktur mittel- und langfristig einen enormen Erhaltungsbedarf verursachen kann (vgl. A1-Westautobahn).

Die unterschiedlichen Prioritäten der Straßennutzer und der Straßenerhalter im Hinblick auf die Teilziele sind jedoch kein Widerspruch, sondern erfordern lediglich eine Erweiterung bzw. Ergänzung der beiden Sichtweisen. Dies bedeutet, dass bei der Bildung des Gesamtwertes das primäre Teilziel der Straßennutzer durch jenes der Straßenverwaltungen ergänzt werden muss. Mathematisch kann dies nicht mehr ausschließlich über eine Gewichtung der Teilwerte erfolgen, sondern es muss auch hier zusätzlich ein Maximalkriterium angewendet werden, wobei folgende Festlegungen in Bezug auf die Teilziele zu beachten sind:

- Liegt auf dem zu untersuchenden Abschnitt ein Mangel der Fahrsicherheit vor (Zustandsklasse 5), so ist sowohl aus der Sicht des Straßennutzers als auch aus der Sicht der Straßenverwaltung ein dringender Erhaltungsbedarf gegeben.
- Liegt auf dem zu untersuchenden Abschnitt ein struktureller Schaden vor (Zustandsklasse 5), so ist aus der Sicht der Straßenverwaltung ein dringender Erhaltungsbedarf gegeben. In diesem Zusammenhang wird davon ausgegangen, dass mittelfristig auch ein fahrkomfort- bzw. fahrsicherheitsspezifisches Problem auftreten kann.
- Ist auf einem Abschnitt kein dringender Erhaltungsbedarf bzgl. der Fahrsicherheit oder der strukturellen Beschaffenheit der Oberbaukonstruktion gegeben, so ist für eine vorausschauende (präventive) Erhaltungsplanung die Fahrsicherheit gegenüber der strukturellen Beschaffenheit zu bevorzugen.

Um die hier aufgelisteten Randbedingungen zu erfüllen, muss eine Differenzierung der Bewertung in Abhängigkeit vom Schwellenwert erfolgen, der die Grenze zwischen einem dringenden (Zustandsklasse 5) und einem mittelfristigen Erhaltungsbedarf (Zustandsklasse 4) darstellt. Ist der Zustandswert eines der beiden Teilwerte betragsmäßig höher als der Schwellenwert (4,5), so ergibt sich aus den Bedingungen die Erfordernis eines Maximalkriteriums für die Berechnung des Gesamtwertes. Eine unterschiedliche Gewichtung der beiden Teilwerte ist jedoch dann notwendig, wenn der Substanzwert den Schwellenwert nicht überschreitet. Bei der Wahl eines geeigneten Gewichtes ist jedoch zu beachten, dass ein Überschreiten des Schwellenwertes durch den Substanzwert nicht mit einem plötzlichen Übergang von der Zustandklasse 3 (Wert unterhalb des Warnwertes, kein Erhaltungsbedarf) in die Zustandsklasse 5 des Gesamtwertes verbunden sein darf. Um dies zu vermeiden, muss das Gewicht so gewählt werden, dass vor dem Überschreiten des Schwellenwertes durch den Substanzwert der Gesamtwert eine Zustandsklasse 4 aufweist (Gebrauchswert ist betragsmäßig kleiner als der Warnwert). Multipliziert man den Schwellenwert (4,5) mit einem Faktor von 0,78,

so ergibt sich daraus der Warnwert (3,5). Um die zuvor definierten Randbedingung zu erfüllen muss das Gewicht zumindest einen Wert von 0,78 aufweisen. Aus Gründen der Vereinfachung wird für den Fall $SI < 4{,}5$ ein Gewicht von 0,8 in Rechnung gestellt, das einerseits die zuvor festgelegte Randbedingung erfüllt, andererseits aber auch das plötzliche Auftreten eines dringenden Erhaltungsbedarfs verhindert (4,5 x 0,8 = 3,6).

Die mathematische Beschreibung der Verknüpfung der Teilziele Gebrauchswert und Substanzwert zum Gesamtwert eines Abschnitts erfolgt in analoger Weise zu den vorherigen Kapiteln getrennt nach bituminösen Oberbaukonstruktionen und Betondecken bzw. Betondecken mit bituminösem Überzug.

5.4.7.2 Gesamtwert von bituminösen Oberbaukonstruktionen

Der Gesamtwert einer bituminösen Oberbaukonstruktion $GW_{j,t,(Asphalt)}$ auf einem Abschnitt *j* zum Zeitpunkt *t* errechnet sich nach folgender Gleichung:

$$GW_{j,t,(Asphalt)} = \max\left(GI_{j,t,(Asphalt)}; SI_{j,t,(Asphalt)}\right) \quad \text{für } SI_{j,t,(Asphalt)} \geq 4{,}5 \qquad \text{(Gl. 5.57)}$$

$$GW_{j,t,(Asphalt)} = \max\left[GI_{j,t,(Asphalt)}; \left(G_{SI} \cdot SI_{j,t,(Asphalt)}\right)\right] \quad \text{für } SI_{j,t,(Asphalt)} < 4{,}5 \qquad \text{(Gl. 5.58)}$$

mit: $GW_{j,t,(Asphalt)}$....Gesamtwert für bituminöse Oberbaukonstruktionen auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t
$GI_{j,t,(Asphalt)}$.....Gebrauchswert für bituminöse Oberbaukonstruktionen auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t
$SI_{j,t,(Asphalt)}$.....Substanzwert für bituminöse Oberbaukonstruktionen auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t
G_{SI} .....Gewicht Anteil Substanzwert (=0,8)

5.4.7.3 Gesamtwert von Betondecken und Betondecken mit bituminösem Überzug

Der Gesamtwert einer Betondecke bzw. Betondecke mit bituminösem Überzug $GW_{j,t,(Beton)}$ auf einem Abschnitt *j* zum Zeitpunkt *t* errechnet sich nach folgender Gleichung:

$$GW_{j,t,(Beton)} = \max\left(GI_{j,t,(Beton)}; SI_{j,t,(Beton)}\right) \quad \text{für } SI_{j,t,(Beton)} \geq 4{,}5 \qquad \text{(Gl. 5.59)}$$

$$GW_{j,t,(Beton)} = \max\left[GI_{j,t,(Beton)}; \left(G_{SI} \cdot SI_{j,t,(Beton)}\right)\right] \quad \text{für } SI_{j,t,(Beton)} < 4{,}5 \qquad \text{(Gl. 5.60)}$$

mit: $GW_{j,t,(Beton)}$...Gesamtwert für Betondecke bzw. Betondecke mit bituminösem Überzug auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t
$GI_{j,t,(Beton)}$.....Gebrauchswert für Betondecke bzw. Betondecke mit bituminösem Überzug auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t
$SI_{j,t,(Beton)}$.....Substanzwert für Betondecke bzw. Betondecke mit bituminösem Überzug auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t
G_{SI} .....Gewicht Anteil Substanzwert (=0,8)

6 Maßnahmen der baulichen Straßenerhaltung

6.1 Erhaltungsmaßnahmen und Budget

6.1.1 Allgemeines

Neben einer Aussage über die zukünftige Entwicklung des Straßenzustandes soll das PMS auch einen Lösungsansatz bzgl. der Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen liefern, um die von der jeweiligen Entscheidungsebene festgelegten Ziele zu erreichen. Die in Kapitel 2.1.2 definierten Maßnahmen der baulichen Straßenerhaltung müssen für das zu untersuchende Straßennetz soweit konkretisiert werden, dass der monetär bewertete Erhaltungsbedarf als Ergebnis der Analyse für weiterführende Entscheidungen herangezogen werden kann. Um dies zu ermöglichen, ist ein entsprechender Erhaltungsmaßnahmenkatalog in das System zu implementieren, der grundsätzlich folgende Arten von Erhaltungsmaßnahmen beinhalten kann bzw. sollte:

- Instandhaltungsmaßnahmen
- Instandsetzungsmaßnahmen
- Erneuerungsmaßnahmen

Welche Art von Erhaltungsmaßnahmen in diesen Katalog aufgenommen wird, hängt von der Strukturierung der Maßnahmenplanung für das Straßennetz ab. In Österreich werden kurz-, mittel- und langfristig nur Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen geplant und budgetiert, während Instandhaltungsmaßnahmen in den meisten Fällen aufgrund einer aktuellen Notwendigkeit durchgeführt werden und keiner konkreten Maßnahmenplanung entstammen. Im Analysesystem VIAPMS_AUSTRIA werden daher nur jene Maßnahmen behandelt, für die ein eigenes Budget zur Verfügung steht. Instandhaltungsmaßnahmen bleiben daher unberücksichtigt. Diese Regelung steht auch

im Einklang mit der österreichischen Zustandserfassung, deren Mess- bzw. Erfassungsgrößen sich auf Straßenabschnitte beziehen, die einer laufenden oder periodischen Instandhaltung unterzogen werden. Würde die Instandhaltung als eigene Maßnahme in den Maßnahmenkatalog aufgenommen, so müssten die Zustandsprognosemodelle derart geändert werden, dass der Verlauf für einen nicht instandgehaltenen Abschnitt in die Beurteilungen einfließt. Eigene Zustandsprognosemodelle von nicht instandgehaltenen Abschnitten stehen derzeit in Österreich jedoch nicht zur Verfügung.

Nachfolgend werden die für die Behandlung im Rahmen von VIAPMS in Betracht kommenden Erhaltungsmaßnahmen detailliert beschrieben. Aus Gründen der Vollständigkeit wird dabei auch auf Instandhaltungsmaßnahmen im Überblick eingegangen, sodass bei einer eventuellen Änderung der Strukturierung der Maßnahmenplanung auch dieser Baustein im Zuge der Analyse aktiviert werden kann. Die Einteilung folgt dabei grundsätzlich den in Österreich festgelegten Definitionen [2, 3], berücksichtigt aber auch die in der Analysesoftware vorgegebene Gliederung [38].

6.1.2 Instandhaltungsmaßnahmen

Instandhaltungsmaßnahmen können wie folgt unterschieden werden [38]:

- Laufende Instandhaltungsmaßnahme: In Abhängigkeit vom Straßenzustand über eine bestimmte Teilfläche eines Abschnitts, ein- oder mehrmals im Jahr durchgeführte Maßnahme (z.B. Schlaglochsanierung)
- Periodische Instandhaltungsmaßnahme: In Abhängigkeit vom Straßenzustand auf dem gesamten Abschnitt, periodisch (max. 1 mal pro Jahr) durchgeführte Maßnahme (z.B. jährliches Ausbessern einer Oberflächenbehandlung mit teilweisen Kornverlust)

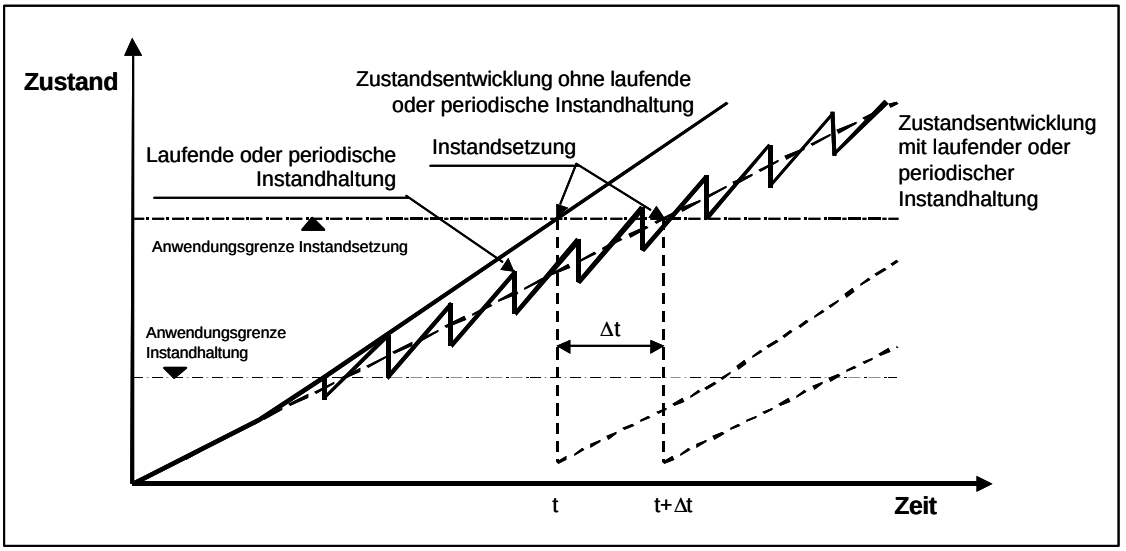


Abbildung 62: Schematische Darstellung des Zustandsverlaufes eines Abschnittes mit und ohne Instandhaltung

Instandhaltungsmaßnahmen führen zu einer Veränderung (i.A. Verbesserung) der Zustandsentwicklung, die sich in einem flacheren Verlauf der Verhaltensfunktion ausdrückt (siehe Abbildung 62). Dies bedeutet, dass Instandsetzungsmaßnahmen erst zu einem späteren Zeitpunkt ($t+Dt$) erforderlich werden und die Gesamtkosten für die Straßenerhaltung dadurch reduziert werden können. Die Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen ist dabei jedoch einzig auf technische Anwendungskriterien beschränkt und nicht das Ergebnis der Optimierung.

6.1.3 Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen

Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen sind kosten- und nutzenwirksame Maßnahmen, die maximal einmal im Jahr durchgeführt werden und im Rahmen der Analyse einer Kostenwirksamkeitsuntersuchung und einer nachfolgenden Optimierung unterzogen werden. Das Ergebnis der PMS-Analyse ist in Abhängigkeit von den zur Verfügung gestellten Geldmitteln (Budget) ein abschnittsbezogener Vorschlag einer oder mehrerer zeitlich abgestimmter Maßnahmen. Dabei können folgende Maßnahmen unterschieden werden (Maßnahmengruppen):

- Oberflächenmaßnahme: Diese Maßnahme wird an der Oberfläche der Straße durchgeführt und dient zur Verbesserung der Oberflächeneigenschaften. Dabei handelt es sich um Maßnahmen wie „Aufrauen Asphalt“, „Oberflächenbehandlung“, „Aufbringen von Dünnschichtbelägen“, „Fräsen Deckschicht“, „Dünnschichtdecke auf Beton“, etc. Oberflächenmaßnahmen sind sowohl bei bituminösen Befestigungen als auch bei Betondecken möglich.
- Deckschichtmaßnahme: Im Zuge dieser Instandsetzungsmaßnahme wird die Deckschicht einer (bituminösen) Oberbaukonstruktion erneuert. Dabei kann die Deckschicht entweder entfernt oder überbaut werden. Folgende Maßnahmen können dieser Gruppe zugeordnet werden: „Profilieren und Decke“, „Fräsen Deckschicht und Aufbringen einer neuen Deckschicht“, „Remix“, etc.
- Verstärkungsmaßnahmen: Bei dieser Maßnahme wird die vorhandene bituminöse Tragschicht mit einer neuen Tragschicht überbaut. In der Regel wird zuvor die alte Deckschicht entfernt. Verstärkungsmaßnahmen werden ausschließlich bei bituminösen Oberbaukonstruktionen angewendet.
- Erneuerungsmaßnahme: Bei dieser Maßnahme wird das gesamte gebundene Schichtpaket durch einen neuen Aufbau ersetzt. Das Endprodukt kommt einer neuwertigen Oberbaukonstruktion gleich. Erneuerungen können sowohl in flexibler Bauweise als auch in starrer Bauweise ausgeführt werden.

Auf welche Teilziele die einzelnen Maßnahmen eine Wirkung haben, soll die nachfolgende Tabelle 16 verdeutlichen:

Maßnahmengruppe	Auswirkung auf Teilziele		
	Fahrsicherheit	Fahrkomfort	Struktur
Oberflächenmaßnahme	hoch bis mittel	mittel	keine
Deckschichtmaßnahme	hoch	hoch bis mittel	gering bis keine
Verstärkungsmaßnahmen	hoch	hoch	hoch bis mittel
Erneuerungsmaßnahme	hoch	hoch	hoch

Tabelle 16: Auswirkungen der Maßnahmengruppen auf die Teilziele des PMS

Umgekehrt verhält sich der Zusammenhang zwischen den Kosten und den Maßnahmengruppen. Maßnahmen, die eine geringere Wirkung auf eines der Teilziele ausüben sind i.A. auch kostengünstigere Maßnahmen. Ein deutlicher Unterschied ist in diesem Zusammenhang bei jenen Maßnahmen zu erkennen, die eine strukturelle Verbesserung der Oberbaukonstruktion zur Folge haben. Dies sind in erster Linie Verstärkungs- und Erneuerungsmaßnahmen. Die nachfolgende Abbildung 63 soll einen Zusammenhang zwischen den Kosten und der Wirkung der Maßnahmen, definiert durch den Begriff „Nutzen“ (näheres siehe Kapitel 8.2.3), verdeutlichen.

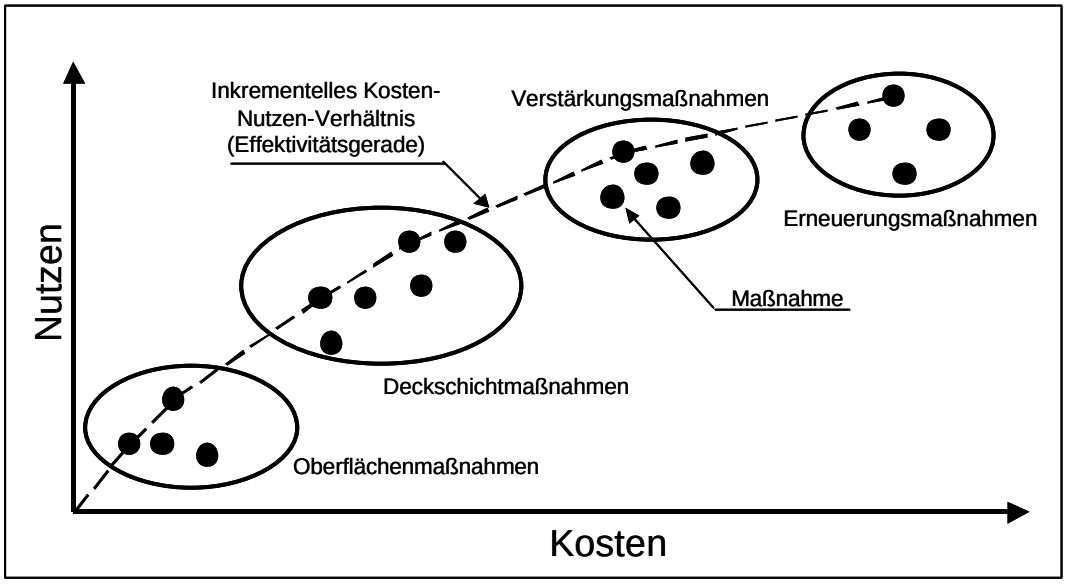


Abbildung 63: Zusammenhang Kosten und Wirkung (Nutzen) der unterschiedlichen Maßnahmengruppen

Im Zuge der Auswahl von Maßnahmen für den Maßnahmenkatalog sollte darauf geachtet werden, dass von jeder Maßnahmengruppe, wenn möglich, nur eine einzige Maßnahme implementiert wird, sofern nicht die Anwendungsbereiche der Maßnahmen deutliche Unterschiede aufweisen. Maßnahmen, die für den gleichen Anwendungsbereich definiert sind, werden auch einer vergleichenden Untersuchung (Kosten-Nutzen) unterzogen, sodass mit großer Wahrscheinlichkeit nur eine dieser Maßnahmen als mögliche Erhaltungsstrategie zur Anwendung gelangt.

Für die genaue Definition einer Instandsetzungs- bzw. Erneuerungsmaßnahme muss eine Reihe von Parametern festgelegt werden, die den Inhalt des Maßnahmenkatalogs

darstellen. Dabei sind für jede Maßnahme folgende Kennzahlen und Kennwerte anzugeben:

- Zuordnung der Maßnahme zu einer Maßnahmengruppe (Beschreibung der Maßnahme)
- Technische Eigenschaften der Maßnahme
- Netto- und/oder Bruttokosten der Maßnahme
- Zuordnung der Maßnahme zu einer Budgetkategorie
- Produktivität der Maßnahme
- Anwendungskriterien bzw. –grenzen der Maßnahme
- Auswirkung der Maßnahme auf den Straßenzustand zum Zeitpunkt der Durchführung der Maßnahme (Rücksetzwerte)
- Auswirkung der Maßnahme auf die Straßenzustandsprognose

6.1.4 Budgetkategorie und Budgetvorgaben

Eine Budgetkategorie ist eine monetäre Quelle für Erhaltungsmaßnahmen (Budgettopf), die für eine Zuteilung der notwendigen monetären Erhaltungsmittel festgelegt wurde. In Österreich können entsprechend der gegebenen Praxis drei Budgetkategorien unterschieden werden:

- Budgetkategorie für Instandhaltungsmaßnahmen
- Budgetkategorie für Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen
- Budgetkategorie für Neubau

Jede im Rahmen des Erhaltungsmanagements festgelegte Maßnahme muss zumindest einer bestimmten Budgetkategorie angehören. Erhaltungsmaßnahmen, die in VIAPMS_AUSTRIA Anwendung finden, werden ausschließlich der Budgetkategorie „Instandsetzung- und Erneuerung“ zugeteilt, da für diese Maßnahmen eine separate Zuteilung der Geldmitteln (Budgetierung) erfolgt.

Budgetvorgaben sind monetäre Randbedingungen für die Analyse mit VIAPMS© und werden durch die Festlegung eines jährlichen Maximalwertes an zur Verfügung stehenden Geldmitteln in jeder Budgetkategorie definiert. Sie stellen die wichtigste Randbedingung im Rahmen der Optimierung dar (siehe Kapitel 8.3). Werden mehrere monetäre Randbedingungen für ein Jahr festgelegt, so spricht man von unterschiedlichen Budgetszenarien (z.B. 0-Szenario, Status-Quo-Szeanrio, Unbegrenztes-Szenario, etc.).

6.2 Monetäre Bewertung von Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen

6.2.1 Ermittlung von Maßnahmenkosten

Die monetäre Bewertung von Instandhaltungs- und Erneuerungsmaßnahmen erfolgt durch die Festlegung von flächen- oder längenbezogenen Kosten (€/m oder €/m^2), die entstehen, wenn eine bestimmte Maßnahme durchgeführt wird. Bei diesen Kosten handelt es sich entweder um Nettokosten (exkl. aller anfallenden Steuern und Abgaben) oder um Bruttokosten, die sämtliche Abgaben und Steuern beinhalten.

Die Höhe der Kosten einer bestimmten Erhaltungsmaßnahme hängt von einer Vielzahl von Einflussfaktoren ab, die hier nur in Form eines Auszugs aufgelistet sind:

- Maßnahmenart
- Verwendete Materialien
- Materialkosten
- Lohnkosten
- Baustellengemeinkosten
- Transportwege
- Topographie und Geländeverhältnisse
- Herstellungstechniken
- etc.

Diese Einflussfaktoren führen dazu, dass eine genaue Abschätzung der tatsächlich durch eine Maßnahme entstehenden Kosten nahezu unmöglich erscheint. Um dennoch diese wichtige Information im PMS verwenden zu können, kann aus einer Vielzahl von bereits durchgeführten und kostenmäßig erfassten Maßnahmen ein Mittelwert errechnet werden, der jedoch einer laufenden Kontrolle bzw. Nachjustierung unterzogen werden muss. Um die Genauigkeit der Analyseergebnisse zu erhöhen, sollten dennoch regionale Unterschiede berücksichtigt werden. Dies ist unbedingt dann erforderlich, wenn die Analyse über einen größeren Bereich durchgeführt wird, der eine differenzierte Topographie oder Siedlungsstruktur aufweist (Gebirge, Flachland, Stadtgebiet, etc.). Es kann zwar mit einem überregionalen Mittelwert für die Kosten gerechnet werden, jedoch muss dieser unter Anwendung von entsprechenden Faktoren an die regionalen Gegebenheiten angepasst werden.

$$K_{m,regional} = F_{K,regional} \cdot K_{m,überregional} \qquad \text{(Gl. 6.1)}$$

mit: $K_{m,regional}$ .....Regionale Kosten für die Maßnahme m
$K_{m,überregional}$.....Überregionale Kosten für die Maßnahme m
$F_{K,regional}$.....Regionaler Kostenfaktor

Als Basiswert für den Kostenfaktor wird ein Wert von 1,0 verwendet, der jedoch individuell von den Erhaltern in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten festgelegt werden kann. Die nachfolgende Tabelle 17 zeigt einen Vorschlag für regionale Kostenfaktoren. Die Grundlage für die Berechnung der Kostenfaktoren konnte den Unterlagen der Kostenerfassung zur Erstellung eines Maßnahmenkatalogs für VIAPMS_AUSTRIA (Version 1.0) entnommen werden, die 1998 durch den Arbeitskreis VIAPMS durchgeführt wurde. Als überregionale Kosten (Bezugswert) wurden dabei jene Maßnahmenkosten verwendet, die durch das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (vormals Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten) im Rahmen dieses Arbeitskreises zur Verfügung gestellt wurden (Preisbasis 1998).

Erhalter	**Regionale Kostenfaktoren für Erhaltungsmaßnahmen auf**	
	bit. Befestigungen	Betondecken
ÖSAG	0,7	0,7
ASG	0,9*	0,8*
Wien	1,0**	1,0**
Niederösterreich	0,7	0,9
Burgenland	0,7*	0,9*
Steiermark	0,9	0,7
Oberösterreich	0,7	0,7*
Salzburg	0,8	0,6
Kärnten	0,8*	0,8*
Tirol	0,9	0,8*
Vorarlberg	0,9*	0,8*

*) ....Der Kostenfaktor wurde aufgrund von fehlenden Preisinformationen an die benachbarten Erhalter angepasst

**) ..Der Kostenfaktor wurde aufgrund von fehlenden Preisinformationen mit 1,0 festgelegt (dies entspricht den Kostenvorschlägen des BMVIT)

Tabelle 17: Regionale Kostenfaktoren für Erhaltungsmaßnahmen

Die laufende genaue Kostenerfassung und –analyse wird zukünftig zur notwendigen Verbesserung bzw. Modifikation dieser Regionalfaktoren führen.

6.2.2 Abgrenzung von Maßnahmenkosten

Im Zuge der Festlegung bzw. Berechnung von mittleren Kosten für eine Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahme ist auch der Leistungsumfang der Maßnahme zu definieren (Abgrenzung der Kosten). Es muss daher die Frage beantwortet werden, ob die Kosten ausschließlich für die Errichtung der neuen Straßenkonstruktion gelten oder ob bereits Nebenarbeiten, wie Baustellenabsicherungen, Verkehrsumlegungen, etc., ebenfalls in diesen Kosten enthalten sind. Für die Berücksichtigung von Nebenarbeiten, die zusätzliche Kosten verursachen, können in VIAPMS© zwei verschiedene Varianten angewendet werden:

- Berücksichtigung der Kosten der Nebenarbeiten bei den Maßnahmenkosten

- Anwendung einer zusätzlichen Kostengruppe für Hilfs- oder Zusatzmaßnahmen in Abhängigkeit von den Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahmen. Als Hilfs- oder Zusatzmaßnahmen werden jene Maßnahmen definiert, die sämtliche Nebenarbeiten im Zuge der Instandsetzung oder Erneuerung beinhalten.

Die Anwendung einer zusätzlichen Kostengruppe für Hilfs- oder Zusatzmaßnahmen ist dann von Vorteil, wenn Straßen unterschiedlicher Bedeutung bzw. Kategorie gleichzeitig analysiert werden (z.B. Autobahnen und Landesstraßen). Hier ergeben sich deutliche Unterschiede bei den Kosten von Nebenarbeiten bzw. Nebenleistungen (z.B. Verkehrsumlegung, Leiteinrichtungen, etc.). Ist dies nicht der Fall, so können die Kosten der Nebenarbeiten in die Kosten der Instandsetzung oder Erneuerung eingerechnet werden.

6.2.3 Maßnahmen- und Kostenkatalog für VIAPMS_AUSTRIA

Wie bereits im Kapitel 6.2.1 erwähnt, wurde für die erste österreichische Applikation von VIAPMS_AUSTRIA eine Kostenerfassung für verschiedene Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen durchgeführt. Das Ziel dieser Arbeiten bestand in der Entwicklung eines für VIAPMS_AUSTRIA geeigneten Maßnahmen- bzw. Kostenkatalogs. Als Preisbasis für diesen Katalog wurden im Einvernehmen mit allen Erhaltern die durch das Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie erhobenen Kosten festgelegt, die auch für die Versionen 1.0 und 2.0 Verwendung fanden (siehe [24]). In Anlehnung an diesen ersten Maßnahmenkatalog wurde ein leicht modifizierter Maßnahmen- und Kostenkatalog entwickelt (bessere Abgrenzung der Instandsetzungsmaßnahmen), der in der nachfolgenden Tabelle 18 dargestellt ist.

Erhaltungsmaßnahmen für bituminöse Befestigungen				
Abk.	**Erhaltungsmaßnahme**	**Beschreibung**	**Maßn.-gruppe**	**Nettokosten in EURO/m²**
FR_A	Fräsen Asphalt	Abfräsen eines Teils oder der gesamten Deckschicht	O	3,-
OB_A	Oberflächenbehandlung auf Asphalt	Oberflächenbehandlung auf bestehender Asphaltbefestigung	O	5,-
DD_A	Dünnschichtdecke auf Asphalt	Aufbringen einer Dünnschichtdecke auf die bestehende Asphaltbefestigung	O	12,-
FD_A	Fräsen, Aufbringen neue Deckschicht auf Asphalt	Fräsen der alten Deckschicht und Aufbringen einer neuen bituminösen Deckschicht	D	15,-
FV_A	Fräsen, Verstärkung Asphalt	Fräsen der alten Deckschicht und Aufbringen einer neuen Trag- und Deckschicht	V	30,- für D_{Verst}=12 cm
EN_A	Erneuerung in Asphaltbauweise	Abtrag und Neubau des gesamten Oberbaus in Asphaltbauweise (Bautyp 1 gem. RVS 3.63)	E	51,- für LK S

O.....Oberflächenmaßnahmen, D ...Deckschichtmaßnahmen, V...Verstärkungsmaßnahmen, E .....Erneuerungsmaßnahmen

Tabelle 18a: Aktueller Maßnahmen- und Kostenkatalog für VIAPMS_AUSTRIA

Erhaltungsmaßnahmen für Betondecken				
Abk.	**Erhaltungsmaßnahme**	**Beschreibung**	**Maßn.-gruppe**	**Nettokosten in EURO/m²**
FR_B	Fräsen Beton	Feinfräsen der Betondeckenoberfläche	O	3,-
DD_B	Dünnschichtdecke auf Beton	Aufbringen einer Dünnschicht-decke auf die bestehende Betondecke	O	12,-
FDDB	Fräsen, Dünnschicht-decke auf Beton	Fräsen der alten Dünnschicht-decke und Aufbringen einer neuen Dünnschichtdecke auf die bestehende Betondecke	O	13,-
FD_B	Fräsen, Aufbringen neue Deckschicht auf Beton	Fräsen der alten bit. Decke und Aufbringen einer neuen bit. Decke auf die bestehende Betondecke	D	15,-
EN_B	Erneuerung in Betonbauweise	Abtrag und Neubau des gesamten Oberbaus in Betonbauweise (Bautyp 5 gem. RVS 3.63)	E	58,- für LK S

O.....Oberflächenmaßnahmen, D ...Deckschichtmaßnahmen, V...Verstärkungsmaßnahmen, E .....Erneuerungsmaßnahmen

Tabelle 18b: Aktueller Maßnahmen- und Kostenkatalog für VIAPMS_AUSTRIA (Fortsetzung)

Neben den in Kapitel 6.2.1 auszugsweise aufgelisteten Einflussfaktoren von Maßnahmenkosten ist bei Verstärkungs- und Erneuerungsmaßnahmen eine starke Abhängigkeit durch die Verkehrsbelastung gegeben. Da die Dicke der Verstärkungs- oder Erneuerungsmaßnahme in Abhängigkeit von der prognostizierten Verkehrsbelastung berechnet wird (siehe Kapitel 6.3.4), steigen die Kosten der Maßnahme ebenfalls proportional mit zunehmender Verkehrsbelastung. Die Kosten der Maßnahme sind daher auf die erforderliche Verstärkungs- oder Erneuerungsdicke des bituminösen Schichtpaketes bzw. der Betondecke zu beziehen. In Anlehnung an die im Arbeitskreis VIAPMS ermittelten Kosten für unterschiedliche Verstärkungs- und Erneuerungsdicken, konnten unter Anwendung einer linearen Regressionsrechnung folgende Funktionen ermittelt werden [24] (siehe Abbildung 64):

$$K_{Verstärkung,(Asphalt)} = 4{,}5 + 2{,}1 \cdot D_{Verstärkung} \quad \text{in } [€/m^2] \qquad \text{(Gl. 6.2)}$$

$$K_{Erneuerung,(Asphalt)} = 1 + 2 \cdot D_{Asphalt} \quad \text{in } [€/m^2] \qquad \text{(Gl. 6.3)}$$

$$K_{Erneuerung,(Beton)} = 33 + D_{Beton} \quad \text{in } [€/m^2] \qquad \text{(Gl. 6.4)}$$

mit:
- $K_{Verstärkung,(Asphalt)}$.....Kosten für Verstärkungsmaßnahme in Asphaltbauweise in [€/m²]
- $K_{Erneuerung,(Asphalt)}$.....Kosten für Erneuerungsmaßnahme in Asphaltbauweise in [€/m²]
- $K_{Erneuerung,(Beton)}$.....Kosten für Erneuerungsmaßnahme in Betonbauweise in [€/m²]
- $D_{Verstärkung}$.....Dicke der erforderlichen Verstärkung in [cm]
- $D_{Asphalt}$ .....Dicke des bituminösen Schichtpakets in [cm]
- D_{Beton} .....Dicke der Betondecke in [cm]

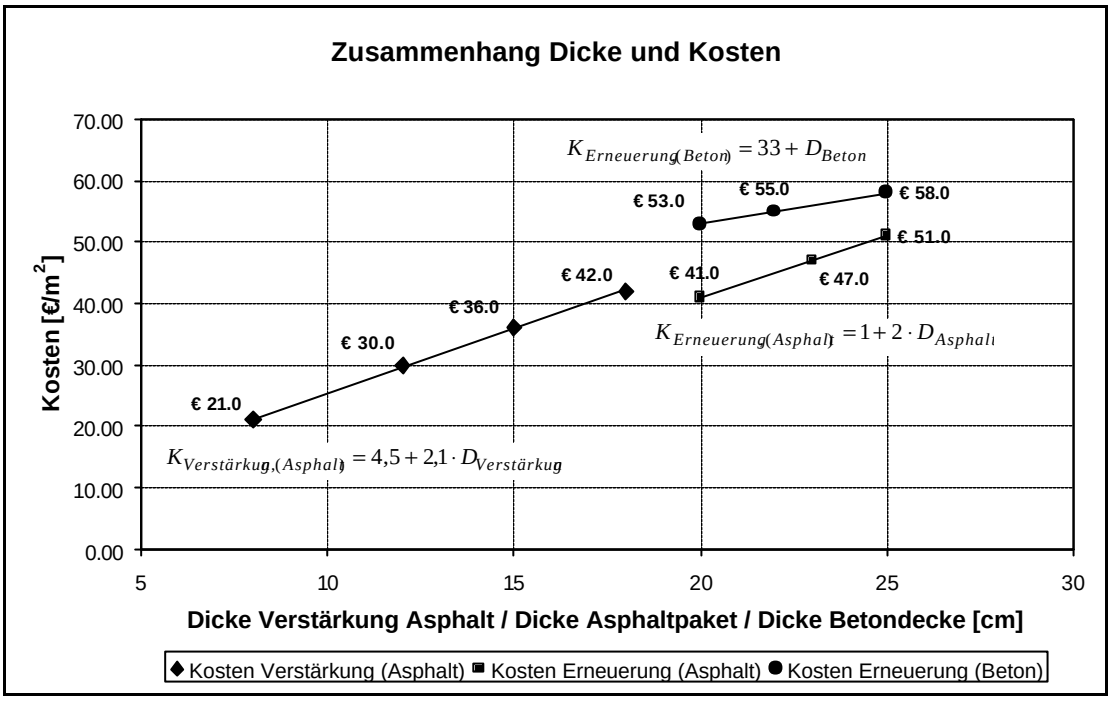


Abbildung 64: Zusammenhang Dicke und Kosten

6.2.4 Vergleich von Maßnahmenkosten

Werden Kosten von Maßnahmen über einen längeren Zeitraum untersucht, so müssen die auftretenden monetären Maßnahmenwirkungen mit Hilfe der Diskontierung vergleichbar gemacht werden, da auch die Straßenverwaltungen zumindest nach betriebswirtschaftlich orientierten Entscheidungen arbeiten. Die Festlegung der (volkswirtschaftlichen) Diskontrate erfolgt entweder im Rahmen einer politischen Vorgabe oder in Anlehnung an den mittleren Realzins bzw. die erwartete oder angestrebte mittlere Wachstumsrate des realen Bruttosozialproduktes. Es ist deshalb sinnvoll, von konstanten Kosten (Preisen) auszugehen und gleichzeitig die Diskontrate als inflationsbereinigten Wert anzusetzen [1]. Die zeitabhängige Wertveränderung der Zahlungen wird durch die Verzinsung vorgenommen. Dies bedeutet, dass mit dem Zins auch die Zeit bewertet wird (dynamische Investitionsrechnung).

Der Vergleich einer Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahme mit anderen Maßnahmen erfolgt unter Anwendung der Kapitalwertmethode. Der Kapitalwert einer Investition ist dabei die Summe aller auf einen Bezugszeitpunkt auf- und/oder abgezinsten Zahlungen, die mit der Investition in Verbindung stehen [1]. Als Bezugszeitpunkt wird im Analysesystem VIAPMS© jener Zeitpunkt gewählt, ab dem eine Maßnahme vorgeschlagen werden kann. Dies entspricht dem Zeitpunkt des Beginns der Analyse t_0. Der Vergleich der Kosten erfolgt deshalb über die Berechnung der Gegenwartswerte (Barwerte) aller für einen Abschnitt j vorgeschlagenen Maßnahmen, wobei sich der Gegenwartswert $K_{0,t,m}$ einer Maßnahme m im Jahr t nach folgender Gleichung berechnet:

$$K_{0,t,m} = K_{t,m} \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^{-n} \quad \text{mit } n = t - t_0 \qquad \text{(Gl. 6.5)}$$

mit: $K_{0,t,m}$ .....Gegenwartswert zum Zeitpunkt t_0 der Maßnahme m im Jahr t
$K_{t,m}$ .....Kosten der Maßnahme m im Jahr t
p.....Zinsfuß in [%]
t.....Zeitpunkt der Maßnahme [Jahr]
t_0 .....Beginn der Analyse [Jahr]

Neben dem Zinsfuß, der zur Kapitalwertermittlung dient, ist für die Berechnung der Kosten einer Maßnahme zum Zeitpunkt *t* die Inflationsrate zu berücksichtigen. Dabei errechnen sich die Kosten $K_{t,m}$ einer mit der Inflationsrate *i* verzinsten Maßnahme *m* über folgenden mathematischen Zusammenhang:

$$K_{t,m} = K_{t_0,m} \cdot \left(1 + \frac{i}{100}\right)^n \text{ mit } n = t - t_0 \qquad \text{(Gl. 6.6)}$$

mit: $K_{t_0,m}$ ....Kosten der Maßnahme m im Jahr t_0
i.....Inflationsrate in [%]

Voraussetzung für die Berechnung der Kosten einer bestimmten Maßnahme zum Zeitpunkt *t* ist die Kenntnis der Kosten über die gleiche Maßnahme am Beginn der Analyseperiode. Da der Beginn der Analyseperiode (Definition siehe Kapitel 8.2.2) in den meisten Fällen mit dem aktuellen Untersuchungsjahr übereinstimmt, können als Grundlage die aktualisierten Mittelwerte von bereits durchgeführten Maßnahmen herangezogen werden.

Die Festlegung der Inflationsrate und des „richtigen" Zinsfußes für öffentliche Investitionen ist, wie bereits SCHMUCK [1] schreibt, nicht unumstritten, da verschiedene Arten von Theorien zur Berechnung dieser Werte herangezogen werden. In Österreich können als Grundlage für die Berechnung der Inflationsrate *i* die Veränderungen der Baupreisindizes Straßenbau lt. ÖSTAT herangezogen werden bzw. für die Berechnung des Zinsfußes *p* die Sekundärmarktrendite für Bundesanleihen lt. Österr. Nationalbank. Die Diskontrate (=Differenz zwischen Zinsfuss *p* und Inflationsrate *i*) ist zum Teil starken jährlichen Schwankungen ausgesetzt, die z.B. zwischen 1985 und 1997 in einem Bereich zwischen 2,0 und 7,7% lagen. Das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie empfiehlt in diesem Zusammenhang bis auf weiteres mit einer Diskontrate (Diskontierungszinssatz) von 3,5% im Bereich der Straßenerhaltung zu rechnen [39].

Die direkte Einbeziehung der Diskontierungsrate für die Berechnung des Gegenwartswertes $K_{0,t,m}$ einer Maßnahme *m* im Jahr *t* führt zu einer Reduktion des Rechenaufwandes (Reduktion auf einen Rechenschritt) und bietet dennoch eine ausreichende Genauigkeit für die nachfolgende Nutzen-Kosten-Untersuchung. Für die Analyse in VIAPMS© wird daher folgende Funktion verwendet:

$$K_{0,t,m} \approx K_{t_0,m} \cdot \left(1 + \frac{d}{100}\right)^{-n} \text{ mit } n = t - t_0 \text{ und } d = p - i \qquad \text{(Gl. 6.7)}$$

mit: d .....Diskontrate in [%] (=3,5%)

6.3 Anwendungsgrenzen von Maßnahmen

6.3.1 Allgemeines

Anwendungsgrenzen von Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen definieren unter welchen Kriterien eine Maßnahme auf einem bestimmten Abschnitt angewendet werden darf. Es handelt sich dabei um technische Einsatzkriterien und nicht um eine wirtschaftliche Abwägung der Maßnahme, die im Zuge der Nutzen-Kosten-Untersuchung (Kostenwirksamkeitsanalyse) durchgeführt wird. Die Anwendung oder Eignung einer Erhaltungsmaßnahme ist daher von folgenden Einflussgrößen abhängig:

- Straßenzustand zum Zeitpunkt des Durchführens der Erhaltungsmaßnahme
- Eignung der Erhaltungsmaßnahme hinsichtlich der Oberbaukonstruktion
- Eignung der Erhaltungsmaßnahme hinsichtlich der Verkehrsbelastung

Anwendungsgrenzen sollen die Vielzahl der möglichen Erhaltungsstrategien einschränken, um einerseits die Effizienz der Analyse zu erhöhen und um andererseits auch die Berechnungsdauer zu reduzieren.

6.3.2 Anwendungsbereiche hinsichtlich Straßenzustand

Anwendungsbereiche von Erhaltungsmaßnahmen hinsichtlich des Straßenzustandes definieren jenen Grad der Schädigung der Straßenoberfläche bzw. der strukturellen Beschaffenheit, ab welchem eine Maßnahme technisch sinnvoll angewendet werden kann. Die Anwendungsgrenzen können sich dabei entweder auf die Einzelmerkmale und/oder auf die Teilwerte bzw. auf den Gesamtwert des Straßenzustandes beziehen. Handelt es sich um Erhaltungsmaßnahmen, die nur einen Teilaspekt des Straßenzustandes berücksichtigen bzw. beeinflussen, so empfiehlt sich eine einzelwertbezogene Definition, im Unterschied zu Maßnahmen, die einen teilzielbezogenen Nutzen aufweisen (z.B. Verbesserung der Struktur und/oder des Fahrkomforts bzw. der Fahrsicherheit).

Die Anwendungsgrenzen der einzelnen Maßnahmengruppen unterscheiden sich in Abhängigkeit von der Wirkung der Maßnahme auf den Straßenzustand. Es ist technisch und wirtschaftlich nicht sinnvoll eine Maßnahme durchzuführen, die keine bzw. nur eine sehr geringe Wirkung auf den zu behebenden Schaden ausübt. Dies bedeutet, dass der Grad der Schädigung die Anwendungsgrenzen der Erhaltungsmaßnahmen bestimmt, sodass jeder Maßnahme eine obere und untere Anwendungsgrenze zugeordnet werden kann. Abbildung 65 zeigt schematisch den Zusammenhang zwischen den Anwendungsbereichen der Maßnahmengruppen und dem Grad der Schädigung der Straße.

Eine in Österreich gebräuchliche Form der Definition der Anwendungsbereiche von Erhaltungsmaßnahmen liegt in der Festlegung von Grenzwerten des Substanz- und des Gebrauchswertes (vgl. [40] und [41]). Diese teilwertbezogene Definition ermöglicht einerseits eine einfache und nachvollziehbare Darstellung der Anwendungsbereiche in Matrizenform (siehe Abbildung 66) und verknüpft andererseits die Erhaltungsmaßnahmen direkt mit den Teilzielen des Systems.

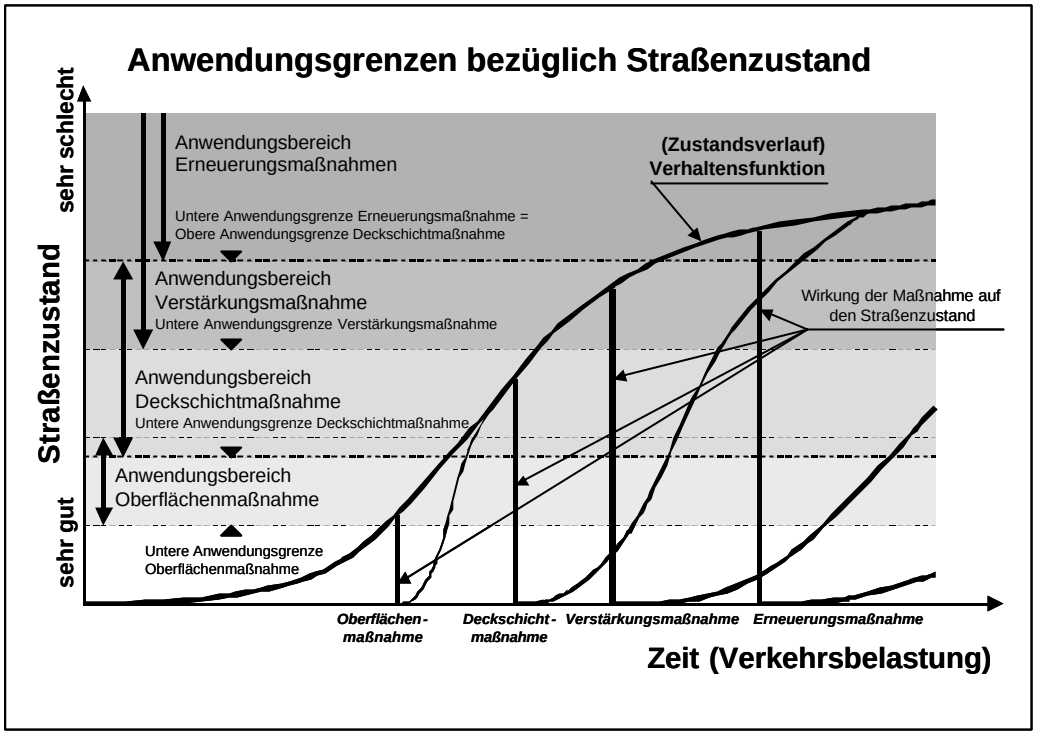


Abbildung 65: Schematische Darstellung des Straßenzustandes und der Anwendungsbereiche der Erhaltungsmaßnahmen

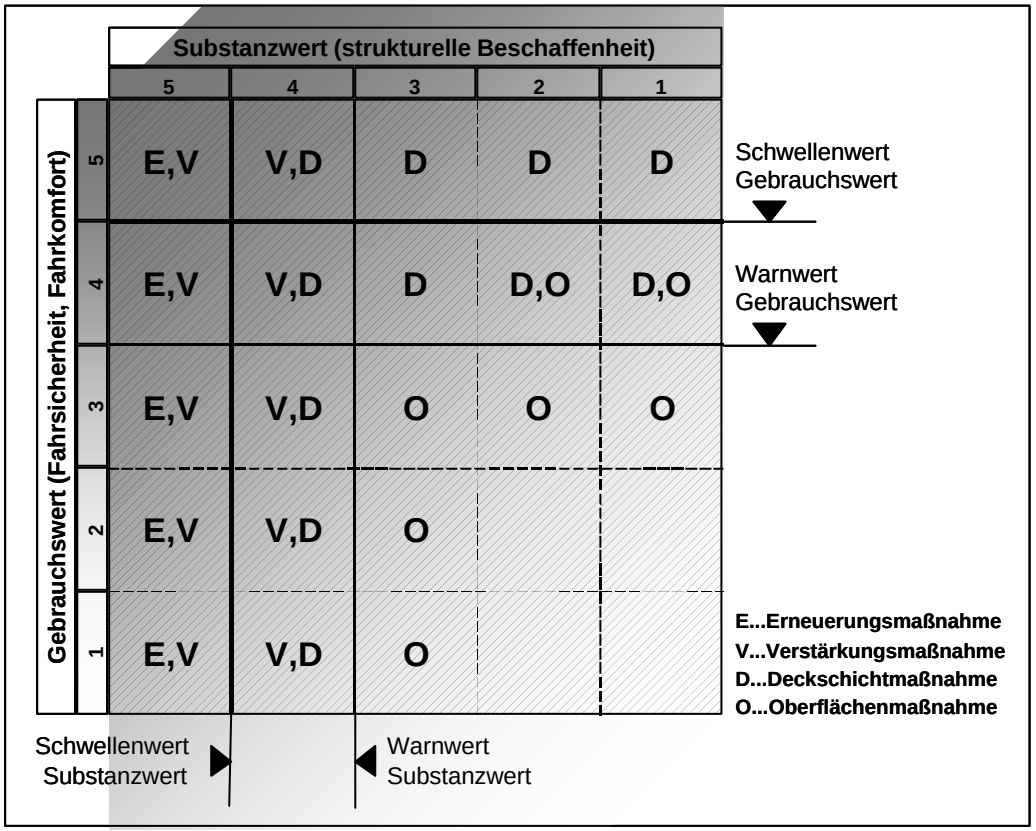


Abbildung 66: Beispiel für die Festlegung von Anwendungsbereichen (bituminöser Oberbau) in Abhängigkeit von Teilwerten

Durch die Festlegung bzw. Definition des Warn- und des Schwellenwertes im Rahmen einer Bewertung des Straßenzustandes (siehe Kapitel 5.4.4) sind auch die Anwendungsbereiche der Erhaltungsmaßnahmen zu definieren. Dies bedeutet, dass Straßenabschnitte, deren Gebrauchs- und Substanzwert unterhalb des Warnwertes (3,5) liegt, noch keiner Erhaltungsmaßnahme bedürfen, sofern nicht die Möglichkeit der Anwendung von Präventivmaßnahmen besteht. Präventivmaßnahmen sind dabei Erhaltungsmaßnahmen, die aufgrund des gegenwärtigen Straßenzustandes nicht unbedingt erforderlich sind, jedoch die progressive Zunahme von Schäden vermindern (z.B. Oberflächenbehandlung). Die nachfolgende Tabelle 19 zeigt die in VIAPMS_AUSTRIA definierten Anwendungsbereiche bezüglich des Straßenzustandes für den in Kapitel 6.2.3 beschriebenen Maßnahmenkatalog.

Abk.	Erhaltungsmaßnahme	GI	*Bed.*	SI	*Bed.*	Sonst.
Bituminöse Befestigungen						
FR_A	Fräsen Asphalt	>= 3,5	u.	< 3,5		
OB_A	Oberflächenbehandlung auf Asphalt	> 2,5 u. < 3,5	o.	> 2,5 u. < 3,5	o.	ZW_{GR} >= 4,5
DD_A	Dünnschichtdecke auf Asphalt	>= 3,5	u.	< 4,5	u.	ZW_{SR} < 3,5
FD_A	Fräsen, Aufbringen neue Deckschicht auf Asphalt	>= 3,5	o.	>= 3,5	o.	$SI_{O,Decke}$ >= 3,5
FV_A	Fräsen, Verstärkung Asphalt			>= 4	o.	$SI_{O,bit.TS}$ >= 4,0
EN_A	Erneuerung in Asphaltbauweise			>= 4,5	o.	$SI_{O,bit.TS}$ = 4,5
Betondecken						
FR_B	Fräsen Beton	>= 3,5	u.	< 3,5		
DD_B	Dünnschichtdecke auf Beton	>= 3,5	u.	< 4,5		
FDDB	Fräsen, Dünnschichtdecke auf Beton	>= 3,5	u.	< 4,5		
FD_B	Fräsen, Aufbringen neue Deckschicht auf Beton	>= 3,5	o.	>= 3,5		
EN_B	Erneuerung in Betonbauweise			>= 4,5		

Bed. ....Bedingung für Verknüpfung (u...und, o...oder)
GI .....Gebrauchswert
SI .....Substanzwert

Tabelle 19: Teilwertbezogene Anwendungsgrenzen für Erhaltungsmaßnahmen in VIAPMS_AUSTRIA

Diese sehr allgemein gehaltenen Anwendungsgrenzen ermöglichen eine Vielzahl von Lösungsmöglichkeiten, die im Zuge einer vergleichenden Wirtschaftlichkeitsberechnung näher untersucht werden (siehe Kapitel 8.2). Werden Maßnahmen bereits im Rahmen der technischen Beurteilung durch Anwendungskriterien soweit eingeschränkt, dass praktisch keine Alternativen zur Verfügung stehen, so kann neben der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung auch auf die Optimierung verzichtet werden. Bei der Festlegung von Anwendungsgrenzen hinsichtlich des Straßenzustandes sollte aus diesem Grund jede einzelne Maßnahme explizit untersucht werden. Dabei ist es in vielen Fällen sinnvoll, neben der teilwertbezogenen Festlegung der Anwendungsgrenzen auch einzelwertbezogene Grenzen maßnahmenspezifisch anzugeben. Es muss jedoch unbedingt darauf geachtet werden, dass alle möglichen Straßenzustände durch mindestens eine Erhaltungsmaßnahme abgedeckt sind, sofern ein kritischer Zustandswert (z.B. Warnwert) überschritten wurde. Die in der Tabelle 19 aufgelisteten Anwen-

dungsgrenzen erfüllen dieses Kriterium und eignen sich daher für eine Anwendung im Analysesystem VIAPMS_AUSTRIA.

6.3.3 Anwendungsbereiche hinsichtlich Oberbaukonstruktion

Ob eine Erhaltungsmaßnahme auf einer bestehenden Oberbaukonstruktion zur Anwendung gelangt, hängt neben dem Straßenzustand und der vorhandenen bzw. prognostizierten Verkehrsbelastung auch vom Bautyp der vorhandenen Befestigung ab. Nicht jede Erhaltungsmaßnahme ist im gleichen Ausmaß für jeden Bautyp geeignet. Die nachfolgende Tabelle 20 zeigt in Anlehnung an den Maßnahmenkatalog nach Kapitel 6.2.3 die in VIAPMS_AUSTRIA geltenden Anwendungsbereiche hinsichtlich des Bautyps der Oberbaukonstruktion (durch x gekennzeichnet). Die Klassifizierung der Oberbaukonstruktionen erfolgt dabei nach den in Kapitel 5.2.1 festgelegten Bautypen.

Abk.	**Erhaltungsmaßnahme**	**Bautyp**			
		BT13(V,D)	**BT4(V,D)**	**BT56**	**BT5D**
Bituminöse Befestigungen					
FR_A	Fräsen Asphalt	X	X		X
OB_A	Oberflächenbehandlung auf Asphalt	X	X		
DD_A	Dünnschichtdecke auf Asphalt	X	X		
FD_A	Fräsen, Aufbringen neue Deckschicht auf Asphalt	X	X		
FV_A	Fräsen, Verstärkung Asphalt	X	X		
EN_A	Erneuerung in Asphaltbauweise	X	X	X	X
Betondecken					
FR_B	Fräsen Beton			X	
DD_B	Dünnschichtdecke auf Beton			X	
FDDB	Fräsen, Dünnschichtdecke auf Beton				X
FD_B	Fräsen, Aufbringen neue Deckschicht auf Beton				X
EN_B	Erneuerung in Betonbauweise	X	X	X	X

Tabelle 20: Anwendungsbereiche hinsichtlich Oberbaukonstruktion

6.3.4 Anwendungsbereiche hinsichtlich Verkehrsbelastung

Die Eignung einer Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahme hinsichtlich der Verkehrsbelastung erfolgt durch eine Abschätzung der erforderlichen Dicke des bituminösen Schichtpaketes bzw. der Betondecke in Abhängigkeit von der prognostizierten Verkehrsbelastung über die Bemessungslebensdauer. Der Grund für eine Dickenuntersuchung dieser Form liegt dabei in erster Linie in der Abschätzung der Kosten für die Maßnahme und nicht in der genauen Dimensionierung der Oberbau-

konstruktion. Dafür sind jedenfalls weiterführende Untersuchungen (z.B. Tragfähigkeitsmessungen) auf Projektebene erforderlich.

Instandsetzungsmaßnahmen bestimmter Maßnahmengruppen führen ausschließlich zu einer Verbesserung der Oberflächeneigenschaften der Oberbaukonstruktion und nur zu einer geringen, in den meisten Fällen vernachlässigbaren Verbesserung der Tragfähigkeit. Dies bedeutet, dass eine Abschätzung der Dicken ausschließlich bei folgenden Maßnahmengruppen erforderlich ist:

- Erneuerungsmaßnahmen
- Verstärkungsmaßnahmen bei bituminösen Befestigungen

6.3.4.1 Dickenabschätzung von Erneuerungsmaßnahmen

Für die Berechnung der Konstruktionsdicke von Erneuerungsmaßnahmen kann auf den derzeit in Österreich gültigen Oberbaubemessungskatalog RVS 3.63 [10] zurückgegriffen werden. Die Auswahl einer geeigneten Oberbaukonstruktion erfolgt durch einen Vergleich zwischen der zulässigen Verkehrsbelastung des Oberbaus (Lastklasse) und der im Rahmen eines Näherungsverfahrens prognostizierten Verkehrsbelastung über eine bestimmte Bemessungsperiode (Bemessungsnormlastwechsel). Die sich daraus ergebende Dicke des bituminösen Schichtpakets führt schließlich über die in Kapitel 6.2.3 angegebenen Funktionen zu den Kosten der Erneuerungsmaßnahme. Um eine Vielzahl von lastklassenbezogenen Einzelmaßnahmen im Maßnahmenkatalog zu vermeiden, wird die Dicke der Asphaltbefestigung bzw. der Betondecke mit den zulässigen Bemessungsnormlastwechseln als mathematischer Zusammenhang (Näherung) für die Bautypen 1 und 5 nach RVS 3.63 [10] dargestellt. Dabei ergibt sich für bituminöse Befestigungen der Bautype 1 nach RVS 3.63 [10] folgender Zusammenhang (siehe auch Abbildung 67):

$$D_{Asphalt,t,j} = 2{,}8289 \cdot \ln\left(BNLW_{t,j}\right) - 23{,}113 \quad \text{mit } \left[10 \le D_{Asphalt,t,j} \le 25\right] \qquad \text{(Gl. 6.8)}$$

mit: $D_{Asphalt,t,j}$ .....erforderliche Dicke der Asphaltbefestigung zum Zeitpunkt t auf dem Abschnitt j
$BNLW_{t,j}$ .....Bemessungsnormlastwechsel zum Zeitpunkt t auf dem Abschnitt j

Da sich die Dicke der ungebundenen Oberen und Unteren Tragschicht bei der Bautype 1 nach RVS 3.63 [10] nicht in Abhängigkeit der Lastklasse ändert, kann hier der Zusammenhang ausschließlich über die Dicke der Asphaltbefestigung hergestellt werden. Die sich durch diese Näherung ergebenden Abweichungen zu den Dickenfestlegungen gemäß RVS 3.63 [10] können vernachlässigt werden.

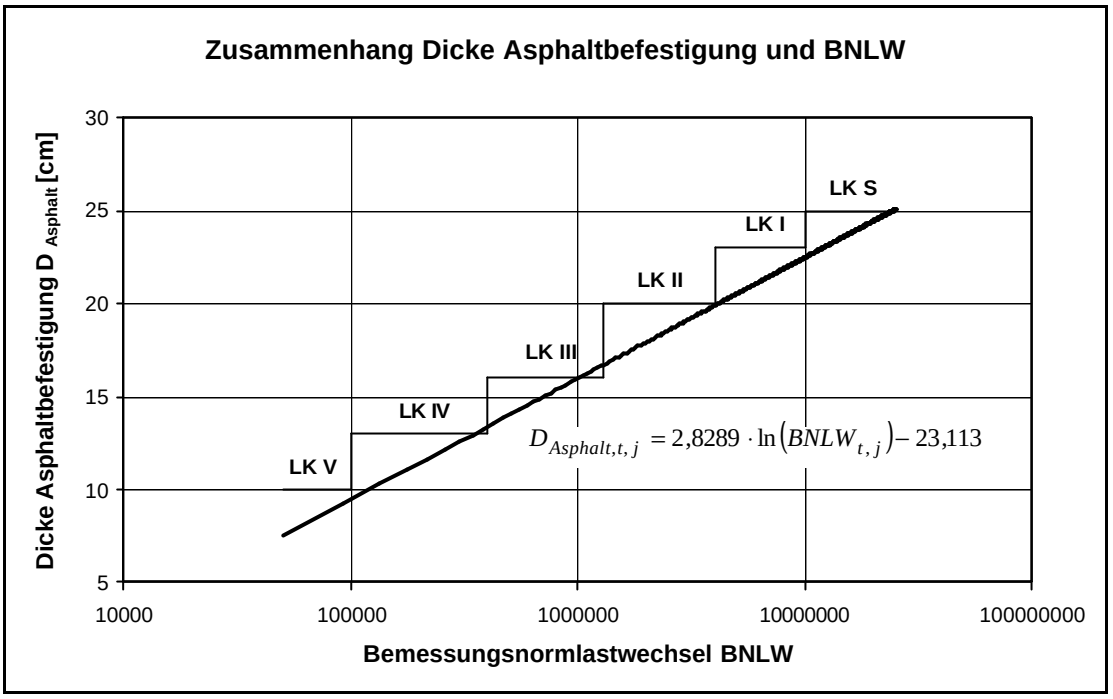


Abbildung 67: Näherungsweiser Zusammenhang zwischen Dicke derAsphaltbefestigung und Bemessungsnormlastwechsel für die Bautype 1 gem. RVS 3.63 [10]

Die gleiche Vorgangsweise kann auch bei Betondecken angewendet werden. Der Zusammenhang zwischen der Betondeckendicke und den Bemessungsnormlastwechseln wurde bereits in Kapitel 5.2.3 (Tragfähigkeit von Betondecken) vorgestellt. Durch Umformung der Gleichung 5.14 ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$D_{Beton,t,j} = 16{,}399 + \sqrt{\frac{BNLW_{t,j}}{537.477} - 0{,}762} \quad \text{mit } \left[18 \le D_{Beton,t,j} \le 25\right] \qquad \text{(Gl. 6.9)}$$

mit: $D_{Beton,t,j}$.....Dicke der Betondecke zum Zeitpunkt t auf dem Abschnitt j

6.3.4.2 Dickenabschätzung von Verstärkungsmaßnahmen bei bituminösen Befestigungen

Im Gegensatz zu Erneuerungsmaßnahmen, bei denen in der Regel der gesamte gebundene Schichtaufbau entfernt und neu errichtet wird, werden bei Verstärkungsmaßnahmen die „alten“ gebundenen Tragschichten mit neuen Tragschichten bzw. einer neuen Deckschicht überbaut. D.h. für eine Abschätzung der Tragfähigkeit von Verstärkungsmaßnahmen ist die vorhandene strukturelle Beschaffenheit der Oberbaukonstruktion von wesentlichem Einfluss, da sie die Verstärkungsdicke der Erhaltungsmaßnahme bestimmt. Die Tragfähigkeit der vorhandenen Oberbaukonstruktion ist dabei durch die Tragfähigkeitszahl $TZ_{t,j}$ definiert, welche neben dem Schichtaufbau auch das Alter und der Zustand der einzelnen Schichten berücksichtigt.

Ein Vergleich zwischen der vorhandenen Resttragfähigkeit und der erforderlichen Tragfähigkeit (über die Bemessungslebensdauer) zum Maßnahmenzeitpunkt *t* ermöglicht eine Aussage über die notwendige Verstärkungsdicke. Die zum Zeitpunkt *t*

vorhandene Tragfähigkeit der Oberbaukonstruktion unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die Deckschicht abgefräst wird, errechnet sich nach folgender Gleichung:

$$TZ_{t,\,j,(\,gefräst)} = TZ_{t,\,j} - D_{Decke,\,j} \cdot a_{Asphalt} \cdot r_{SI\,,\,j} \qquad \text{(Gl. 6.10)}$$

mit: $TZ_{t,j,(gefräst)}$....Tragfähigkeitszahl zum Zeitpunkt t auf dem Abschnitt j nach Abfräsen der Deckschicht
$TZ_{t,j}$.....Tragfähigkeitszahl zum Zeitpunkt t auf dem Abschnitt j (gem. Kapitel 5.4.5.3)
$D_{Decke,j}$.....Dicke der Decke auf dem Abschnitt j
$a_{Asphalt}$.....Schichtkoeffizient Asphalt (siehe Tabelle 2)
$r_{SI,j}$.....Reduktionsfaktor Substanzwert (gem. Kapitel 5.4.5.3)

Die erforderliche Tragfähigkeit der zukünftigen Oberbaukonstruktion ergibt sich durch Umformen der Gleichung 5.13 (siehe Kapitel 5.2.2.6.3):

$$TZ_{erf\,,t,\,j} = \frac{\ln\left(\frac{BNLW_{t,\,j}}{4{,}6996}\right)}{0{,}8774} \qquad \text{(Gl. 6.11)}$$

mit: $TZ_{erf,t,j}$.....erforderliche Tragfähigkeitszahl zum Zeitpunkt t
$BNLW_{t,j}$.....Bemessungsnormlastwechsel zum Zeitpunkt t auf dem Abschnitt j (siehe Kapitel 5.3.2.2)

Um den Wert der erforderlichen Tragfähigkeit zu erreichen, muss die tatsächliche Tragfähigkeit um folgenden Wert erhöht werden:

$$\Delta TZ_{t,\,j} = TZ_{erf\,,t,\,j} - TZ_{t,\,j,(gefräst)} \qquad \text{(Gl. 6.12)}$$

mit: $\Delta TZ_{t,j}$.....Differenzbetrag Tragfähigkeitszahl zum Zeitpunkt t auf dem Abschnitt j

Der Differenzbetrag zwischen der tatsächlichen und der erforderlichen Tragfähigkeit bestimmt die Verstärkungsdicke der zusätzlichen Asphaltbefestigung $D_{Verstärkung}$ mit:

$$D_{Verstärkung} = \frac{\Delta TZ_{t,\,j}}{a_{\,Asphalt}} \quad \text{mit } \left[8 \le D_{Verstärkung} \le 20\right] \qquad \text{(Gl. 6.13)}$$

Um eine technisch sinnvolle Anwendung von Verstärkungsmaßnahmen zu gewährleisten, ist die Verstärkungsdicke aus Gründen der Wirtschaftlichkeit nach oben mit einer Dicke von 20 cm (darüber Anwendung von Erneuerungsmaßnahmen) und nach unten aus Gründen der Anwendbarkeit mit 8 cm (5 cm bit.TS + 3 cm bit. Decke) begrenzt.

6.4 Auswirkung von Erhaltungsmaßnahmen auf die Oberbaukonstruktion

6.4.1 Allgemeines

Das Ziel von Erhaltungsmaßnahmen liegt in der kurz-, mittel- oder langfristigen Verbesserung des gesamten Straßenzustandes oder einzelner Zustandsmerkmale [24], wobei die Wirkungen der einzelnen Maßnahmen bzw. Maßnahmegruppen auf den Straßenzustand deutliche Unterschiede zeigen. Das Ziel der im Rahmen eines modernen PMS durchgeführten Nutzen-Kosten-Untersuchung (siehe Kapitel 8.2) liegt in der Beurteilung der Wirkung von Erhaltungsmaßnahmen bzw. in einer Gegenüberstellung der Aufwendungen mit dem Nutzen einzelner Erhaltungsstrategien. Die Festlegung bzw. Definition der Maßnahmenwirkung auf die Oberbaukonstruktion erfolgt durch das „Rücksetzen" bestimmter Kenn- und Zustandsgrößen auf einen i.A. verbesserten Wert. Die Wirkungen von Erhaltungsmaßnahmen beziehen sich dabei auf folgenden Systemelemente:

- Zustandswerte
- Kenngrößen der Oberbaukonstruktion (Dicke der Asphaltbefestigung, Tragfähigkeitszahl, etc.)
- Zukünftige Entwicklung des Straßenzustandes (Modellparameter der Verhaltensfunktionen)

Vergleicht man die einzelnen Systemelemente, so zeigt sich, dass die Erhaltungsmaßnahme entweder eine unmittelbare Wirkung auf die Straßenkonstruktion ausübt (z.B. Verbesserung der Zustandswerte, Änderung der Oberbaukonstruktion, etc.) oder die zukünftige Entwicklung des zu untersuchenden Abschnitts beeinflusst. Aus thematischen Gründen und zur Gewährleistung einer übersichtlichen Gliederung der gegenständlichen Arbeit werden die längerfristigen Auswirkungen von Erhaltungsmaßnahmen in diesem Kapitel nicht näher erläutert und dem Kapitel „Straßenzustandsprognosemodelle" zugeordnet (siehe Kapitel 7).

6.4.2 Auswirkungen von Erhaltungsmaßnahmen auf den Straßenzustand

6.4.2.1 Randbedingungen zur Festlegung von Rücksetzwerten

Die Anwendung einer Erhaltungsmaßnahme führt i.A. zu einer Verbesserung des Straßenzustandes. In welchem Ausmaß sich diese vollzieht, hängt in erster Linie von der Maßnahmenart ab, sodass die Wirkung maßnahmenspezifisch definiert werden muss. Die Festlegung bzw. Definition erfolgt dabei durch die Angabe von „Rücksetzwerten", die entweder als

- absolute Rücksetzwerte oder als
- relative Rücksetzwerte

Eingang in die Berechnungen finden. Absolute Rücksetzwerte sind dabei unabhängig vom gegenwärtigen Straßenzustand definierte Verbesserungen, während relative Rücksetzwerte die Verbesserung „relativ“ zum vorhandenen Zustand ausdrücken. Welche Art von Rücksetzwert angewendet werden muss, hängt einerseits von der Erhaltungsmaßnahme und andererseits vom Zustandsmerkmal ab.

Bei der Festlegung von Rücksetzwerten hinsichtlich des Straßenzustandes werden folgende Randbedingungen angeführt:

- Die Rücksetzwerte müssen sich auf die Einzelmerkmale beziehen. Durch die Verknüpfung der einzelnen Zustandswerte zu Teil- bzw. Gesamtwerten wirkt sich der Rücksetzwert automatisch auf das übergeordnete Merkmal (z.B. Gebrauchswert) aus. Eine Anwendung von Rücksetzwerten ausschließlich auf die Teil- und Gesamtwerte führt zu keiner Verbesserung der Einzelmerkmale.
- Der Rücksetzwert muss so definiert sein, dass er die Wirkung der Maßnahme direkt nach deren Durchführung bis zu einem maximalen Zeitraum von 3 Jahren (Gewährleistungszeitraum) beschreibt.
- Die Rücksetzwerte sollen den tatsächlich auftretenden Maßnahmenwirkungen des zu analysierenden Straßennetzes entsprechen (Festlegung der Rücksetzwerte über statistische Auswertungen von Abnahme- und Messwerten).

Die ersten beiden Randbedingungen sind ohne Einschränkungen anwendbar, im Gegensatz zur dritten Randbedingung, in der aufgrund von fehlenden Aufzeichnungen und Regelungen bzgl. Abnahmewerten (z.B. Griffigkeit) nur auf die Informationen der bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt durchgeführten Zustandserfassungen zurückgegriffen werden kann. Dies bedeutet auch, dass die Ermittlung von relativen Rücksetzwerten nur bedingt möglich ist (keine Aufzeichnungen des Straßenzustandes vor und nach Durchführung der Erhaltungsmaßnahme).

6.4.2.2 Rücksetzwerte für Oberflächenschäden

Es ist davon auszugehen, dass nach Vornahme einer Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahme auf dem instandgesetzten Abschnitt keine Oberflächenschäden zu erkennen sind. Dies bedeutet, dass für Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen ein absoluter Rücksetzwert von 1,0 (Zustandswert) in Rechnung gestellt werden kann. Ob diese Annahme der Praxis entspricht, kann anhand der statistischen Auswertung der Zustandserfassung für das Zustandsmerkmal Oberflächenschäden auf Abschnitten, die unmittelbar vor der Zustandserfassung einer Sanierung unterzogen wurden, gezeigt werden.

Bei den Ergebnissen dieser Untersuchung (siehe Abbildung 68 und Abbildung 69) zeigt sich, dass die getroffene Annahme in hohem Ausmaß zutrifft. Maßnahmen auf bituminösen Oberbaukonstruktionen weisen mit einer Wahrscheinlichkeit von mehr als 70% bei Neubau- bzw. Erneuerungsmaßnahmen und von mehr als 80% bei

Verstärkungs- und Deckschichtmaßnahmen eine vollkommene Behebung des Schadens auf. Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahmen auf Betondecken mit und ohne bituminösem Überzug sogar eine Wahrscheinlichkeit von über 90%.

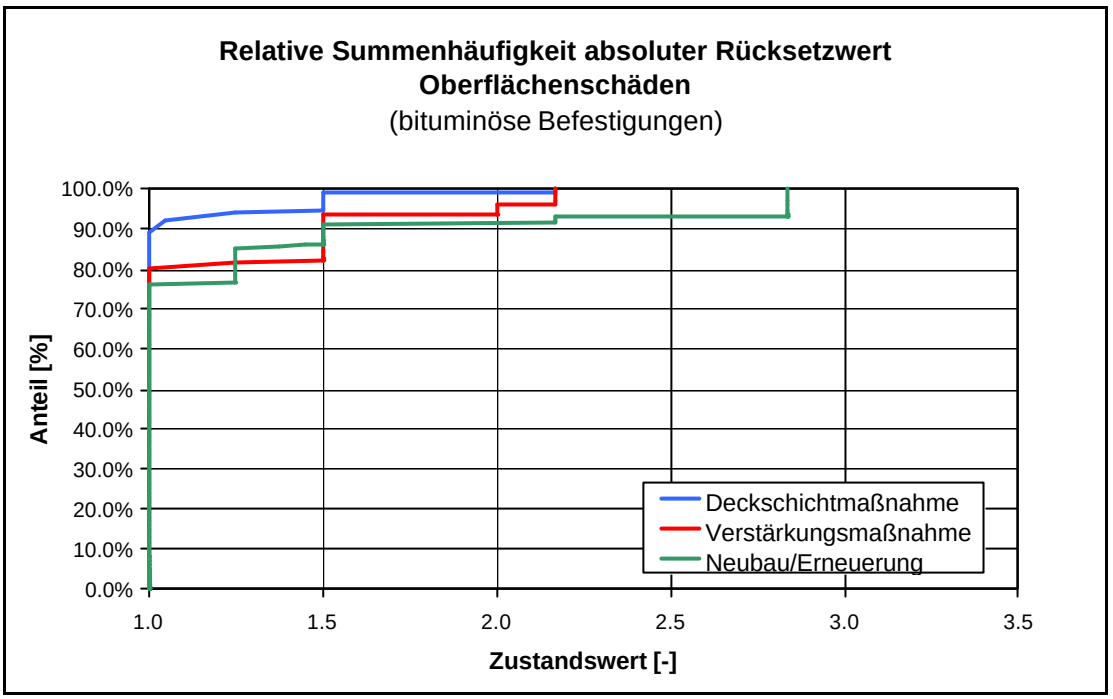


Abbildung 68: Relative Summenhäufigkeit des Zustandswertes Oberflächenschäden nach Maßnahmen auf bit. Befestigungen (abs. Rücksetzwert)

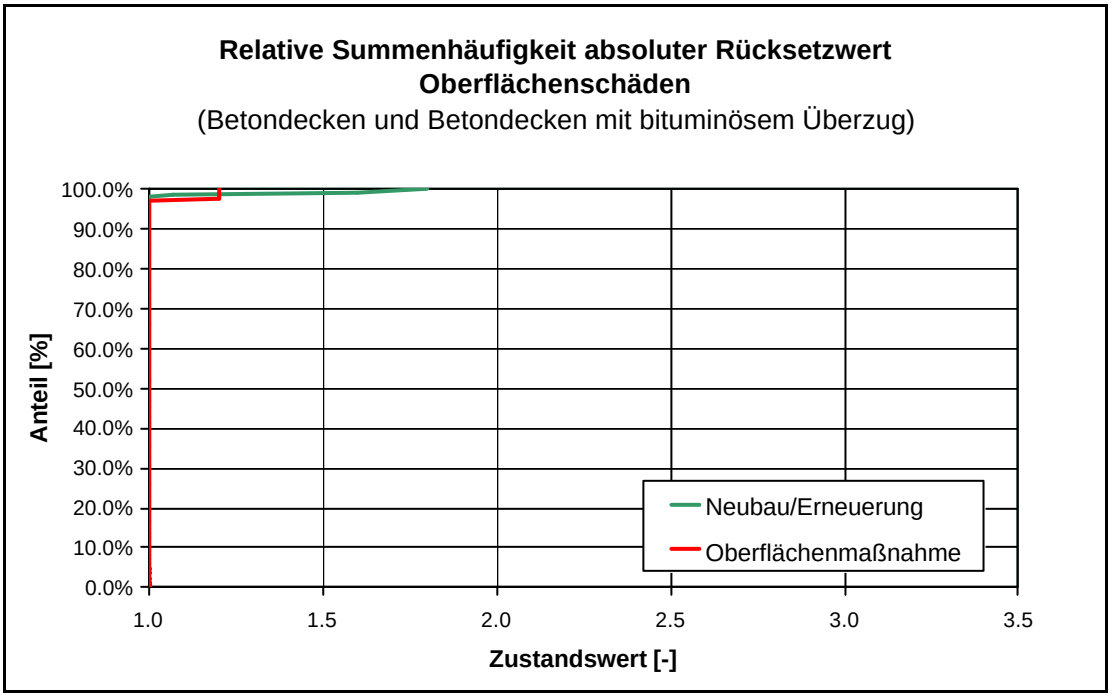


Abbildung 69: Relative Summenhäufigkeit des Zustandswertes Oberflächenschäden nach Maßnahmen auf Betondecken (abs. Rücksetzwert)

Legt man dem Rücksetzwert den Median (50%-Perzentile) dieser Häufigkeitsverteilung zugrunde, ergibt sich für diese Erhaltungsmaßnahmen eine absoluter Rücksetzwert von 1,0 (Zustandswert). Der Median als Grundlage für den Rücksetzwert ist insofern geeignet, da zumindest 50% der Abschnitte unterhalb und maximal 50% der Abschnitte über diesen Wert liegen.

Erhaltungsmaßnahmen, die keine neue Überbauung aufweisen (z.B. Aufrauen, Fräsen, etc.), zeigen keine positive Wirkung auf Oberflächenschäden und sollten daher einen relativen Rücksetzwert von 0 aufweisen, sofern nicht überhaupt mit einer Verschlechterung gerechnet werden muss.

6.4.2.3 Rücksetzwerte für Risse

Auch beim Zustandsmerkmal Risse muss davon ausgegangen werden, dass direkt nach dem Durchführen einer Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahme auf dem betroffenen Abschnitt keine Risse zu erkennen sind (absoluter Rücksetzwert des Zustandswertes von 1,0). Um diese Annahme zu verifizieren, wurden auch für dieses Zustandsmerkmal die Häufigkeitsverteilungen von in der Datenbank erfassten Abschnitten untersucht, die in einem Zeitraum von max. 1 Jahr nach dem Durchführen einer Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahme einer Zustandserfassung unterzogen wurden (siehe Abbildung 70 und Abbildung 71).

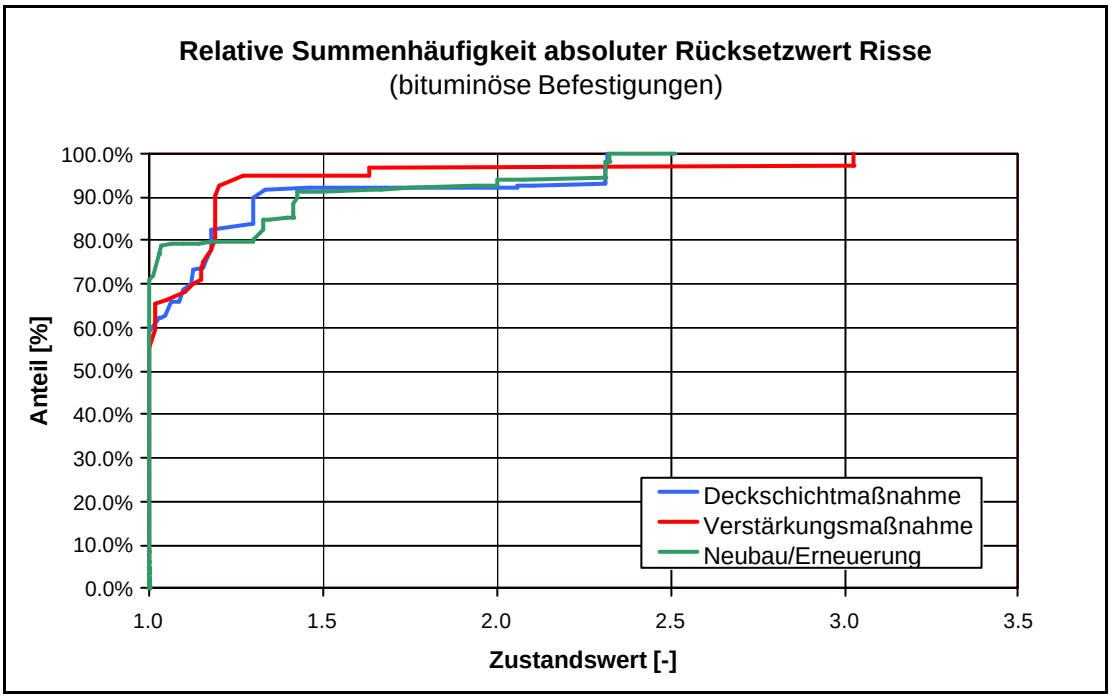


Abbildung 70: Relative Summenhäufigkeit des Zustandswertes Risse nach Maßnahmen auf bit. Befestigungen (abs. Rücksetzwert)

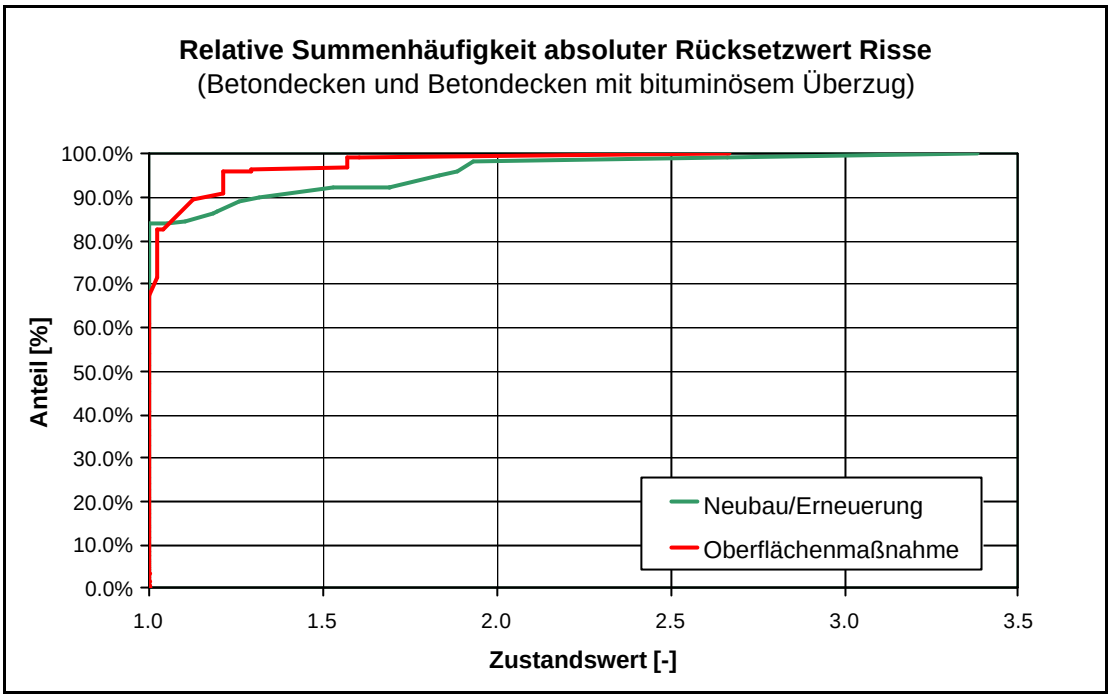


Abbildung 71: Relative Summenhäufigkeit des Zustandswertes Risse nach Maßnahmen auf Betondecken (abs. Rücksetzwert)

Die Wahrscheinlichkeiten des Zutreffens der Annahmen sind zwar im Vergleich zu den Oberflächenschäden geringer, bestätigen jedoch ebenfalls in hohem Ausmaß die getätigte Annahme. Dies bedeutet, dass für diese Erhaltungsmaßnahmen unmittelbar nach Herstellung ein absoluter Rücksetzwert von 1,0 (Zustandswert) für das Zustandsmerkmal Risse zulässig ist.

Auch hier sind Erhaltungsmaßnahmen, wo die alte Deckschicht nicht überbaut wird und eine Wirkung hinsichtlich des Zustandsmerkmals Risse nicht vorhanden ist, gesondert zu betrachten (relativer Rücksetzwert 0).

6.4.2.4 Rücksetzwerte für Spurrinnen

Im Gegensatz zu den Zustandsmerkmalen Oberflächenschäden und Risse, wo als Ergebnis einer Erfassung unmittelbar nach dem Durchführen von Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahmen „keine“ Schäden vorhanden sind, muss diese Aussage beim Zustandsmerkmal Spurrinnen bzw. Querebenheit nicht unbedingt zutreffen. Abschnitte, die einer Instandsetzung unterzogen wurden, können aufgrund der Herstellungsbedingungen auch nach der Maßnahme ein gewisses Maß an Unebenheiten in Querrichtung aufweisen. Dies bedeutet, dass ein absoluter Rücksetzwert von 1,0 (Zustandswert) für dieses Zustandsmerkmal nicht vorausgesetzt werden kann. Um die Rücksetzwerte für dieses Zustandsmerkmal zu bestimmen, muss wiederum die Wirkung von Erhaltungsmaßnahmen einer statistischen Beurteilung unterzogen werden. Um eventuelle Ungenauigkeiten durch eine Glättung der Messgrößen bei der Bildung von homogenen Abschnitten zu vermeiden, werden für die rechte Radspur diese Auswertungen auf der Grundlage der Messgrößen der messtechnischen Zustandserfassung 1999 vorgenommen (Spurrinnentiefe der rechten Radspur unter der 2 m – Latte).

Die nachfolgende Abbildung 72 zeigt die relative Summenhäufigkeit des Zustandsmerkmals Spurrinnen (rechte Radspur) für unterschiedliche Maßnahmen.

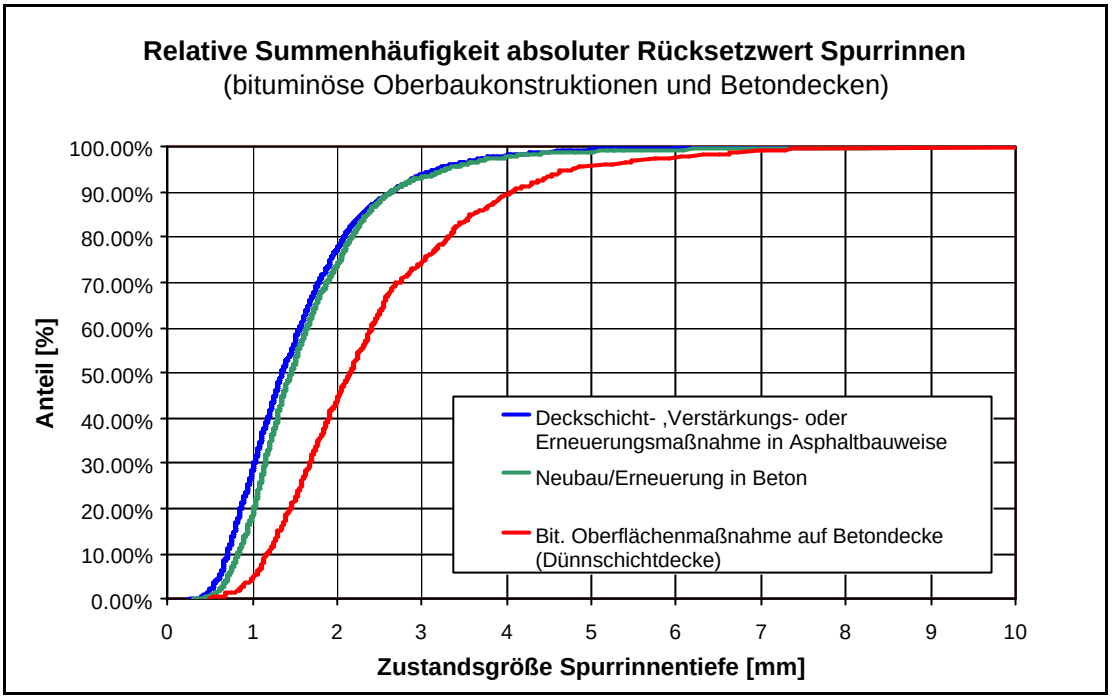


Abbildung 72: Relative Summenhäufigkeit der Messgröße Spurrinnen (rechte Radspur) nach Maßnahmen (abs. Rücksetzwert)

Analog zu den Zustandsmerkmalen Oberflächenschäden und Rissen wird auch hier die 50%-Perzentile in Rechnung gestellt. Die Ergebnisse sind in Abhängigkeit vom Bautyp der Oberbaukonstruktion in der nachfolgenden Tabelle 21 zusammenfassend dargestellt:

Absoluter Rücksetzwert Spurrinnentiefe		
Bautyp Oberbau	**Zustandsgröße [mm]**	**Zustandswert [-]**
Bituminöse Befestigung BT13(V,D) und BT4(V,D)	1,3	1,1
Betondecke BT56	1,4	1,1
Betondecke mit bituminösem Überzug BT5D	2,2	1,2

Tabelle 21: Absolute Rücksetzwerte Spurrinnen

6.4.2.5 Rücksetzwerte für Längsebenheit

Zur Bestimmung der Rücksetzwerte des Zustandsmerkmals Längsebenheit werden ebenfalls die Messabschnitte der messtechnischen Zustandserfassung 1999 auf dem ASFINAG-Netz herangezogen. Dabei kann mit hoher Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass die Messgröße (bzw. Zustandsgröße) dieses Merkmals auf einem Abschnitt, der kürzlich instandgesetzt wurde, nicht den Zustandswert 1,0 annimmt. Dies ist in erster Linie auf die Herstellungsmethoden bzw. auf die Bauweisen der Oberbaukonstruktion zurückzuführen. Es muss auch davon ausgegangen werden, dass bei

Deckschichtmaßnahmen mit Dünnschichtdecken ein gewisser Einfluss der Längsebenheit der Unterlage vorhanden ist, jedoch kann dieser aufgrund von fehlenden Zustandsdaten bzw. einer lückenhaften historischen Aufzeichnung der Aufbaugeschichte der Oberbaukonstruktion derzeit nicht festgestellt werden (Definition eines relativen Rücksetzwertes). Es wird daher für alle Oberbaukonstruktion auf die statistische Auswertung des Zustandsmerkmals Längsebenheit auf jene Abschnitte zurückgegriffen, die kurz vor der Zustandserfassung instandgesetzt oder erneuert wurden (Zeitraum < 1 Jahr). Eine genauere Festlegung von Rücksetzwerten nach Instandsetzungsmaßnahmen ist nur nach einer neuerlichen Zustandserfassung unter Verwendung des IRI (International Roughness Index) als Längsebenheitsmessgröße möglich.

Die nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 73 und Abbildung 74) zeigen die relative Summenhäufigkeit der absoluten Rücksetzwerte des Zustandsmerkmals Längsebenheit für kürzlich instandgesetzte oder erneuerte Oberbaukonstruktionen.

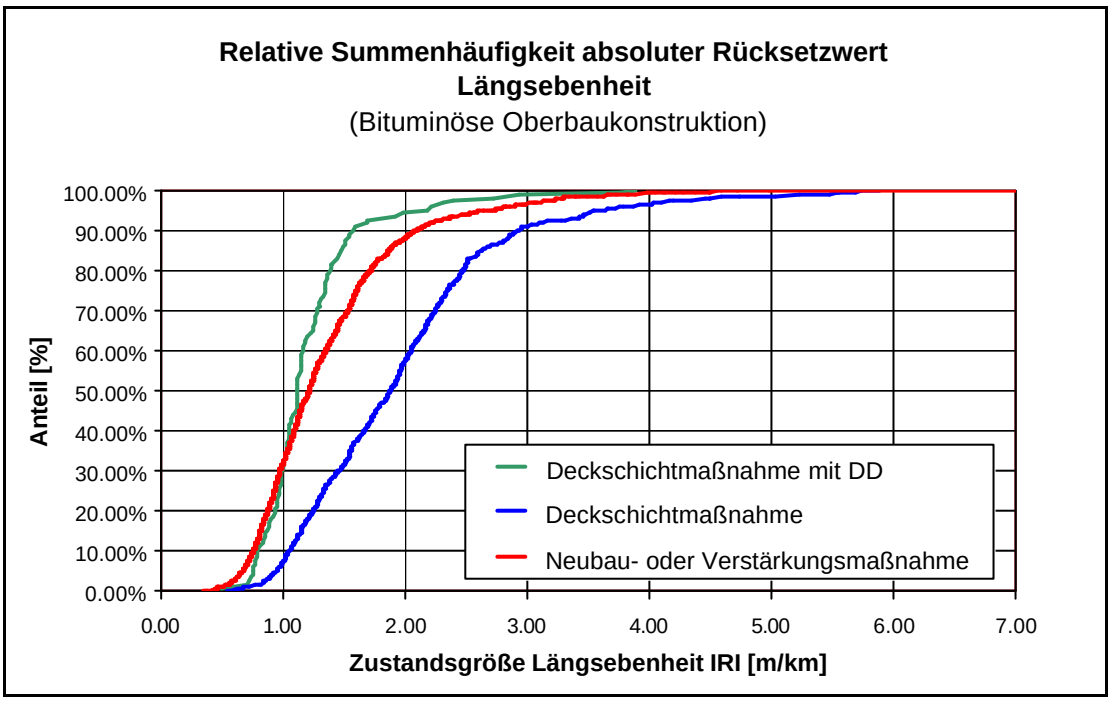


Abbildung 73: Relative Summenhäufigkeit der Messgröße Längsebenheit nach Maßnahmen auf bit. Befestigungen (abs. Rücksetzwert)

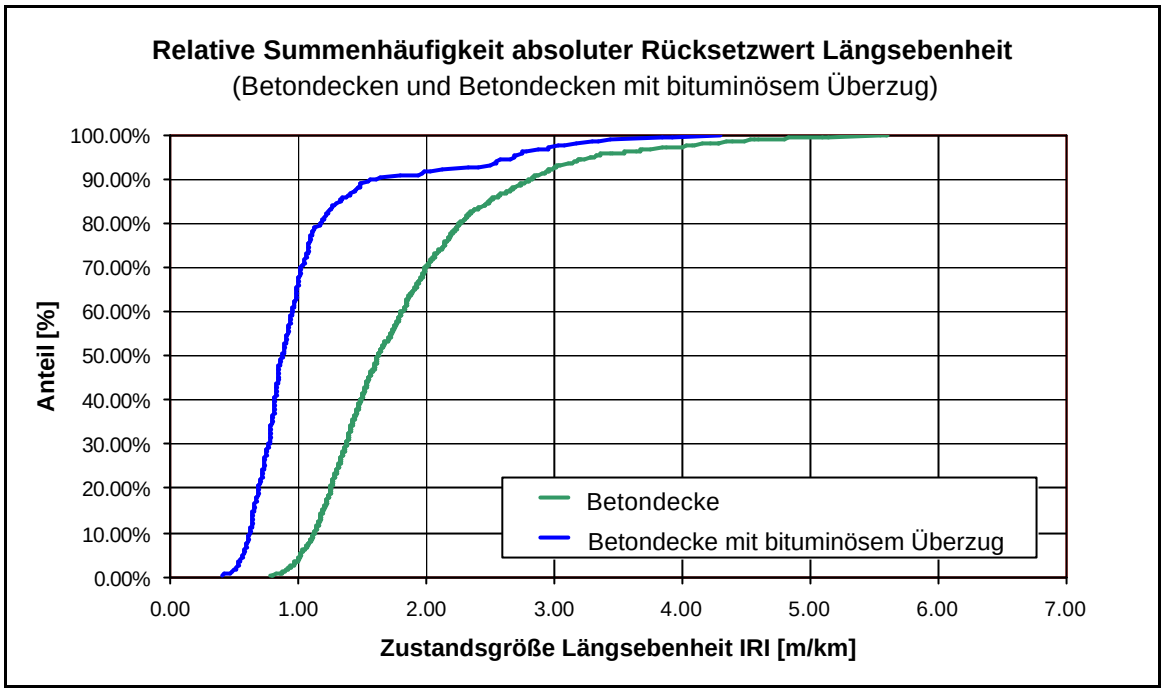


Abbildung 74: Relative Summenhäufigkeit der Messgröße Längsebenheit nach Maßnahmen auf Betondecken (abs. Rücksetzwert)

Die statistische Auswertung der Summenhäufigkeitslinien ist in der nachfolgenden Tabelle 22 dargestellt. Bei genauer Betrachtung der Ergebnisse wird ersichtlich, dass bei einigen Erhaltungsmaßnahmen sehr hohe Werte der 50%-Perzentile des absoluten Rücksetzwertes aufscheinen (z.B. Deckschichtmaßnahmen, Erneuerung mit Beton). Es sind dies Maßnahmen, wo erwartet werden müsste, dass der absolute Rücksetzwert nach dem Durchführen der Erhaltungsmaßnahme sehr niedrig ist. Umgekehrt verhält sich der Fall bei Maßnahmen mit Dünnschichtdecken, wo eine eventuell vorhandener Einfluss durch die Längsebenheit der Unterlage höhere absolute Rücksetzwerte zu Folge haben müsste. Da mit den zur Verfügung stehenden Datensätzen eine genauere Untersuchung derzeit nicht möglich ist, werden diese Ergebnisse vorerst nur als Richtwerte herangezogen. Die Festlegung der Rücksetzwerte erfolgt daher in erster Linie in Anlehnung an die in [24] getroffenen Annahmen, die ebenfalls in Tabelle 22 aufgelistet sind.

Rücksetzwerte Längsebenheit				
Erhaltungsmaßnahme	**Ergebnis statistische Auswertung**		**Rücksetzwert gem. [24]**	**Festlegung**
	ZG_{LE} [m/km]	ZW_{LE} [-]*	ZW_{LE} [-]	ZW_{LE} [-]
Bituminöse Befestigung				
Verstärkung od. Erneuerung in Asphaltbauweise	1,2	1,7	1,0	**1,4** (~0,5 m/km*)
Deckschichtmaßnahme (konvent.)	1,9	2,6	-2,0 (R)	**-2,0 (R)**
Deckschichtmaßnahme mit Dünnschichtdecke	1,1	1,6	-1,0 (R)	**-1,0 (R)**

*). .....Gültig für Bundesstraßenkategorie A und S
(R) .....Relativer Rücksetzwert

Tabelle 22a: Rücksetzwerte Längsebenheit, bituminöse Befestigungen

Rücksetzwerte Längsebenheit				
Erhaltungsmaßnahme	**Ergebnis stat. Auswertung**		**Rücksetzwerte gem. [24]**	**Festlegung**
	ZG_{LE} [m/km]	ZW_{LE} [-]*	ZW_{LE} [-]	ZW_{LE} [-]
Betondecke				
Erneuerung in Betonbauweise	1,6	2,2	1,3	**1,8** (~1,0 m/km*)
Dünnschichtdecke auf Beton	0,9	1,4	-1,5 (R)	**-1,5 (R)**

*). .....Gültig für Bundesstraßenkategorie A und S
(R) .....Relativer Rücksetzwert

Tabelle 22b: Rücksetzwerte Längsebenheit, Beton

6.4.2.6 Rücksetzwerte für Griffigkeit

Die Griffigkeit einer Oberbaukonstruktion wird ausschließlich vom Reibungsbeiwert auf der Oberfläche der Deckschicht bestimmt. D.h. jede Erhaltungsmaßnahme, die mit einer Änderung des Oberflächenzustandes verbunden ist, muss eine Auswirkung auf das Zustandsmerkmal Griffigkeit aufweisen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Griffigkeit vor der Erhaltungsmaßnahme keinen Einfluss auf den (neuen) Reibungsbeiwert nach der Erhaltungsmaßnahme besitzt. Für die Definition von Rücksetzwerten für das Zustandsmerkmal Griffigkeit werden daher ausschließlich absolute Rücksetzwerte verwendet.

6.4.2.6.1 Rücksetzwert Griffigkeit für bituminöse Deckschichten

Untersuchungen von HUSCHEK [42] haben gezeigt, dass neue bituminöse Deckschichten zum Teil eine geringe Anfangsgriffigkeit besitzen, die sich nach einer gewissen Liegedauer verbessert. Dies ist auf den Umstand zurückzuführen, dass ein Bindemittelfilm das Gesteinsgerüst an der Oberfläche bedeckt und somit die geringen Werte verursacht. Aus diesem Grund wird für die Festlegung der Rücksetzwerte des Zustandsmerkmals Griffigkeit nicht nur das Jahr nach der Erhaltungsmaßnahme herangezogen, sondern auch das Ende der Gewährleistungsfrist (Jahr 3 nach der Maßnahme). Die Prognose des Reibungsbeiwertes sollte wenn möglich bei einem Wert beginnen, der die Eigenschaften der Mikrotextur des Gesteinmaterials und der Makrotextur der Oberfläche berücksichtigt.

Die nachfolgende Abbildung 75 zeigt die relative Summenhäufigkeit der absoluten Rücksetzwerte für das Zustandsmerkmal Griffigkeit auf bituminösen Deckschichten (statistische Auswertung der messtechnischen Zustandserfassung 1999 auf dem ASFINAG-Netz). Die empirische Verteilung bestätigt dabei die in [42] beschriebene Annahme, dass die „Anfangsgriffigkeit“ geringer ist, als jene am Ende der Gewährleistungszeit. In diesem Fall erscheint es daher zweckmäßig, die 50%-Perzentile der Summenhäufigkeit am Ende der Gewährleistungszeit für die Festlegung eines absoluten Rücksetzwertes heranzuziehen. Für den Reibungsbeiwert auf neuen bituminösen Deckschichten ergibt dies einen Wert von 0,68.

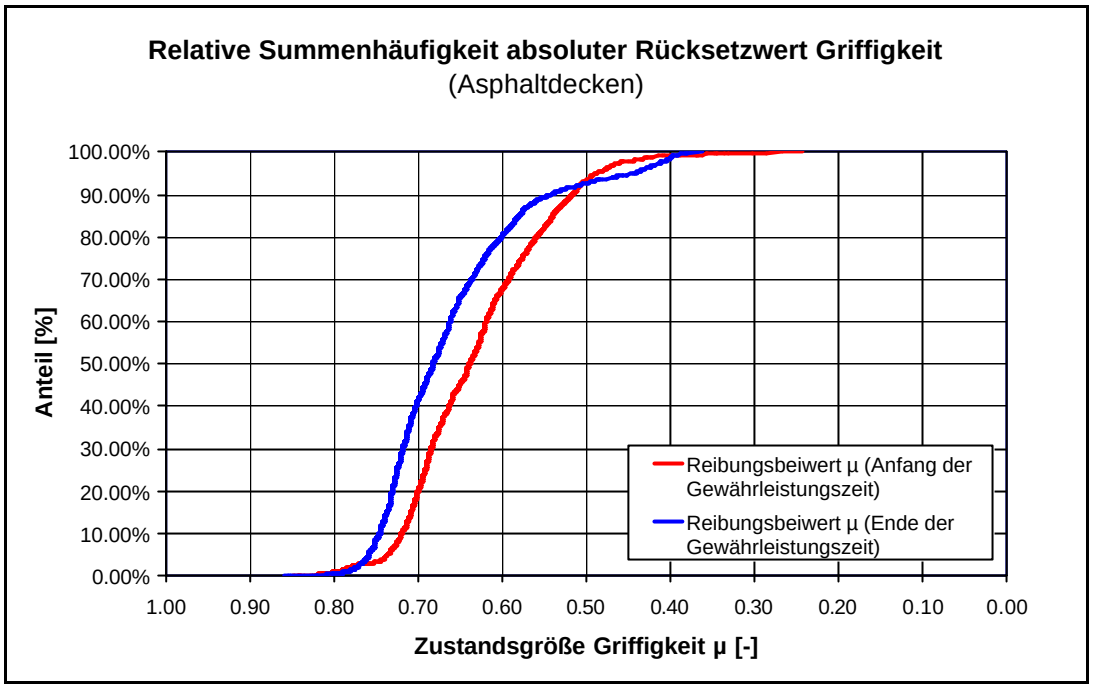


Abbildung 75: Relative Summenhäufigkeit der Messgröße Griffigkeit nach bit. Maßnahmen (abs. Rücksetzwert)

6.4.2.6.2 Rücksetzwert Griffigkeit für Betondecken

In analoger Weise wird auch für die Bestimmung des Rücksetzwertes des Zustandsmerkmals Griffigkeit auf Betondecken vorgegangen. Das Ergebnis der statistischen Untersuchung der Messgrößen der messtechnischen Zustandserfassung 1999 auf dem ASFINAG-Netz führt dabei zu den in Abbildung 76 dargestelltem Ergebnis. Wiederum wurden nur Abschnitte untersucht, die kurz zuvor erneuert wurden.

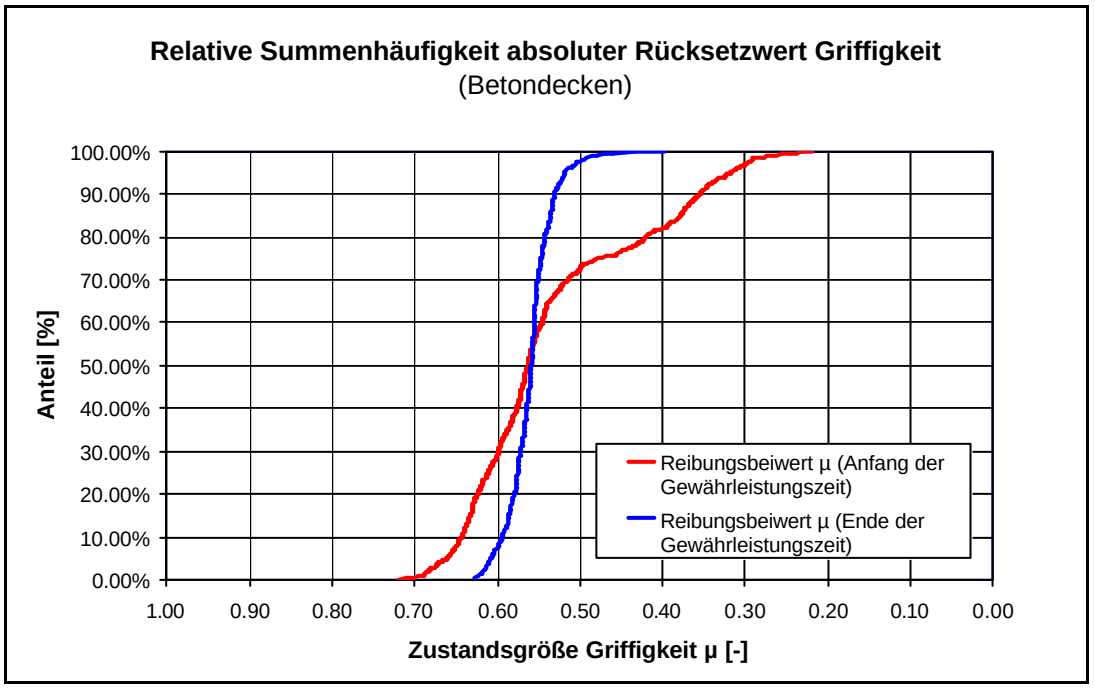


Abbildung 76: Relative Summenhäufigkeit der Messgröße Griffigkeit nach Neubau/Erneuerung mit Beton (abs. Rücksetzwert)

Die dargestellten Summenhäufigkeiten weisen große Unterschiede auf, zeigen jedoch, dass der Bereich der 50%-Perzentille nahezu unverändert bleibt. Die große Streuung der Werte kurz nach der Erhaltungsmaßnahme verändert sich zu einer enggestuften Verteilung am Ende der Gewährleistungszeit. Vor allem der hohe Anteil an Abschnitten mit einem Reibungsbeiwert unter 0,5 (ca. 28%) nimmt bis zum Ende der Gewährleistungszeit deutlich ab (ca. 2%). Im Gegensatz dazu, weist aber auch der Anteil der Abschnitte mit einem Reibungsbeiwert über 0,6 (ca. 30%) am Ende der Gewährleistungszeit nur mehr einen Anteil von ca. 8% auf. Diese deutliche Reduktion der Streuung ist womöglich auf einen ähnlichen Effekt wie bei den bituminösen Decken zurückzuführen, mit dem Unterschied, dass nicht der Bindemittelfilm am Gestein abgefahren wird, sondern die Zementschlämme an der Oberfläche. Dies würde eine Erklärung für die Verbesserung der Reibungsbeiwerte darstellen. Die Verschlechterung (im unteren Bereich) könnte auf Betondecken zurückzuführen sein, deren Oberflächentextur durch Besenstrich oder Jutetuch hergestellt wurde. Diese Form der Oberflächenbehandlung führt zu einer Erhöhung der Makrorauhigkeit, die sich in Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung verschlechtert. Genaue Daten zur Untermauerung dieser Annahmen (Unterscheidung Waschbetonoberfläche – Jutetuch – Besenstrich) liegen derzeit keine vor.

Unabhängig von der Veränderung der Summenhäufigkeit kann ein absoluter Rücksetzwert des Zustandsmerkmals Griffigkeit auf Betondecken von 0,56 in beiden Fällen aus der 50%-Perzentile abgelesen werden.

6.4.2.6.3 Normierungsfunktion Griffigkeit

Wird die 50%-Perzentile sowohl für bituminöse Decken als auch für Betondecken als Rücksetzwert herangezogen, so ergibt sich als Folge einer Erhaltungsmaßnahme für das Zustandsmerkmal Griffigkeit bei bituminösen Decken eine Zustandsklasse 2 und für Betondecken sogar nur eine Zustandsklasse 3. Durch die hohe Bewertung des Teilziels Fahrsicherheit, wo die Griffigkeit einen entscheidenden Einfluss besitzt, wirkt sich dieser Umstand auch auf den Gesamtwert aus. D.h. die Wirkung einer Erhaltungsmaßnahme auf den Straßenzustand (Nutzen) wird so weit reduziert, dass auch nach einer Erhaltungsmaßnahme kein Abschnitt einen Gesamtwert von zumindest 1,5 erreicht. Auch bei einem sehr hohen budgetären Aufwand ergäbe sich womöglich keine Verbesserung des Straßenzustandes.

Die Ursache der geringen Wirkung bzw. Bewertung von Erhaltungsmaßnahmen auf das Zustandsmerkmal Griffigkeit ist womöglich in der Normierungsfunktion selbst zu sehen. Entsprechend der Definition des Zustandswertes von 1,5 als Zielwert, müssten fast alle Erhaltungsmaßnahmen diesen Wert erreichen. Der Zielwert entspricht dabei einem Reibungsbeiwert von 0,75, der wiederum der 70%-Perzentile der Summenhäufigkeitsverteilung der Griffigkeitsmessungen 1991 bis 1996 auf den österreichischen Bundesstraßen entspricht (für V = 60 km/h) [43]. Da nur 8% der Asphaltdecken und keine einzige Betondecke nach einer Instandsetzungsmaßnahme diesen Zielwert erreichen, stellt sich die Frage, ob dieser Wert überhaupt als Zielwert angesehen werden kann.

Im Vergleich zu den Zustandsmerkmalen Oberflächenschäden, Risse und Spurrinnen, bei denen eine Erhaltungsmaßnahme den Schaden tatsächlich zur Gänze beseitigt, wird die Griffigkeit des instandgesetzten bzw. erneuerten Abschnitts lediglich auf ein bestimmtes Niveau gesetzt, das realistischerweise nicht einem Reibungsbeiwert von 1,0 (Zustandwert 1,0) entspricht. Welches Griffigkeitsniveau erreicht werden kann oder muss, ist jedoch von den Anforderungen der Straßenbetreiber bzw. –verwaltung auf dem zu untersuchenden Straßenabschnitt abhängig. In Deutschland werden diese Anforderungen durch die Festlegung eines bestimmten Abnahmewertes geregelt (siehe [44]), der bei Übertragung auf die österreichischen Verhältnisse (Griffigkeit gemessen mit dem Stuttgarter Reibungsmesser) einem Reibungsbeiwert von 0,59 entspricht. Auch in Österreich sind derzeit Überlegungen im Gange, das erforderliche Griffigkeitsniveau nach Erhaltungsmaßnahmen über einen bestimmten Abnahmewert zu definieren. Aus diesem Grund erscheint es sinnvoll, unabhängig von der tatsächlichen Verteilung der Reibungsbeiwerte auf instandgesetzten Asphalt- oder Betondecken, den Rücksetzwert mit dem vorgeschlagenen Abnahmewert (0,59) [45] zu verknüpfen. Da der Abnahmewert voll den Anforderungen genügt, wird er aus methodischen Gründen für die Anwendung in VIAPMS_AUSTRIA mit dem Zielwert von 1,5 (Definition siehe Kapitel 5.4.4.1) bewertet und nicht entsprechend den deutschen Regelungen mit einem Zustandswert von 2,5.

Die aus dem Bewertungshintergrund Griffigkeit [43] abgeleitete Normierungsfunktion kann daher ausschließlich für einen Bereich zwischen $\mu = 0{,}20$ (Zustandswert 5,0) und $\mu < 0{,}59$ (Zustandswert < 2,5) herangezogen werden. Der Reibungsbeiwert $\mu = 0{,}59$ wird für die Zustandsbewertung mit dem Zustandswert 1,5 (Zielwert) für alle Bautypen gleichgesetzt (siehe Abbildung 77). Dies bedeutet, dass alle Instandsetzungs- bzw. Erneuerungsmaßnahmen hinsichtlich des Zustandsmerkmals Griffigkeit zumindest die Zustandsklasse 2 (guter Straßenzustand) erreichen.

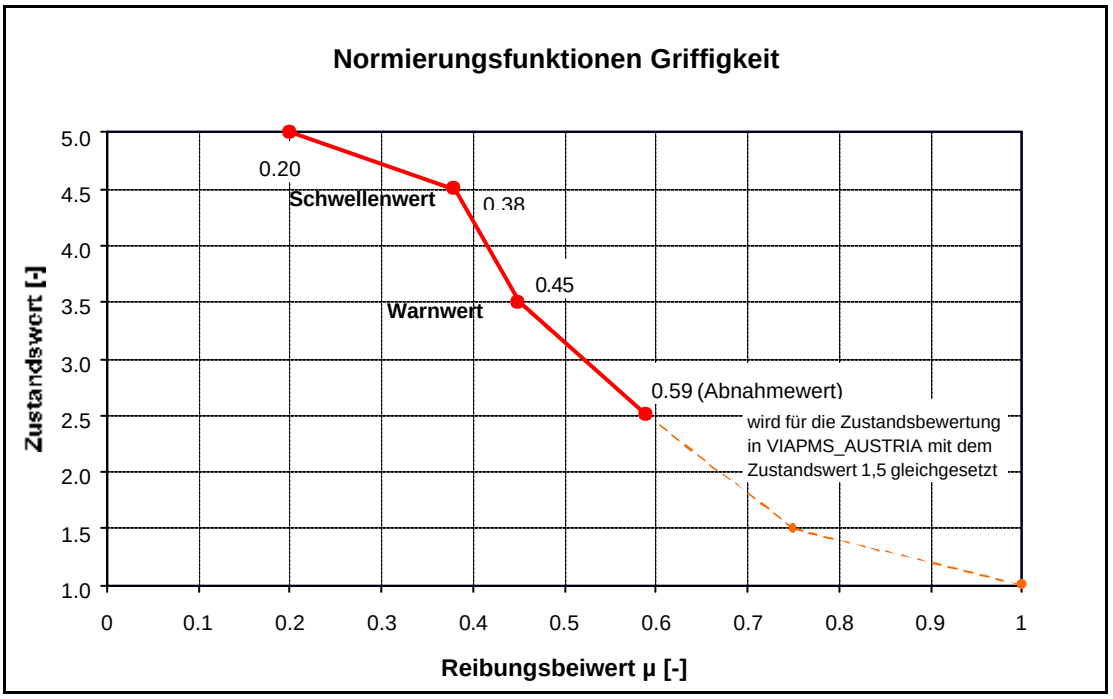


Abbildung 77: Normierungsfunktionen Griffigkeit

Die nachfolgende Tabelle 23 zeigt zusammenfassend die absoluten Rücksetzwerte des Zustandsmerkmals Griffigkeit in Abhängigkeit von der Art der Deckschicht.

Absoluter Rücksetzwert Griffigkeit (μ)		
Bautyp Oberbau	**Zustandsgröße [-]**	**Zustandswert**
Bituminöse Decke BT13(V,D), BT4(V,D), BT5D	0,59	1,5
Betondecke BT56	0,59	1,5

Tabelle 23: Absolute Rücksetzwerte Griffigkeit

Unabhängig davon, wäre auf der Grundlage der Ergebnisse der Griffigkeitsmessungen 1999 (A+S-Straßen) eine Überarbeitung des Bewertungshintergrundes zu überlegen. Die Abbildung 78 zeigt, dass tatsächlich im Bereich der Zustandsklassen I, IV und V eine deutliche Abnahme der Längenanteile erkennbar ist, was zu einer wesentlichen Änderung der Häufigkeitsverteilung führt.

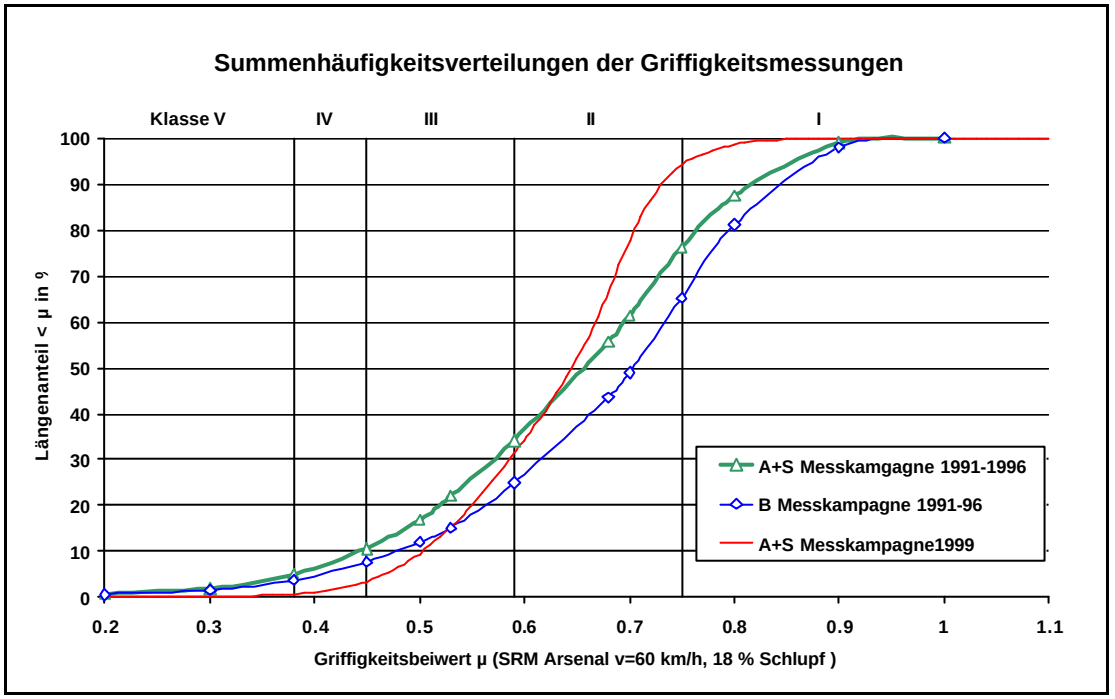


Abbildung 78: Summenhäufigkeitsverteilungen der Griffigkeitsmessungen [45]

6.4.3 Auswirkungen von Erhaltungsmaßnahmen auf die Kenngrößen der Oberbaukonstruktion

Neben den Zustandsgrößen und Zustandswerten wirkt sich eine Erhaltungsmaßnahme auch auf die einzelnen Kenngrößen der Oberbaukonstruktion aus. Die Auswirkungen müssen wiederum in Abhängigkeit von der Art der Erhaltungsmaßnahme definiert werden und sind durch eine Aktualisierung folgender Kenngrößen zu quantifizieren:

- Bautype der Oberbaukonstruktion
- Dicke der Asphaltbefestigung oder der Betondecke
- Tragfähigkeit der Oberbaukonstruktion (Tragfähigkeitszahl, zulässige Normlastwechsel, etc.)
- Kumulierte Verkehrsbelastung (bei Erhaltungsmaßnahmen, die mit einer Änderung der Tragfähigkeit verbunden sind)
- Verkehrsbelastungskoeffizient

Die wertmäßige Änderung dieser Kenngrößen erfolgt durch die Eingabe von maßnahmenspezifischen Werten, die wiederum als Rücksetzwerte bezeichnet werden können. Im Vergleich zu den Zustandsdaten beziehen sich diese Rücksetzwerte jedoch auf die Inventardaten des Systems und werden daher in erster Linie als absolute Kenngrößen definiert (z.B. Bautyp, Dicke, etc.).

7 Straßenzustandsprognosemodelle

7.1 Allgemeines

Ein wesentlicher Schritt von einem Reihungsverfahren zu einem Optimierungsverfahren in einem modernen PMS liegt in der Anwendung von Straßenzustandsprognosemodellen. Die statische Beurteilung auf der Grundlage des gegenwärtigen IST-Zustandes beim Reihungsverfahren wird in einem modernen PMS durch die Anwendung von Prognosen hinsichtlich des Straßenzustandes ersetzt, sodass der Bewertung von Erhaltungsmaßnahmen eine zeitabhängige (dynamische) Beurteilung zugrunde liegt. D.h. es muss der Versuch unternommen werden, den zukünftigen Zustand einer Straßenbefestigung unter dem Einwirken von verschiedenen Einflüssen (Verkehr, Umwelt, Erhaltungsmaßnahmen, etc.) vorauszusagen [22]. Die hierfür verwendeten Funktionen und Modelle werden in diesem Sinn als Straßenzustandsprognosemodelle bezeichnet.

In diesem Kapitel wird in erster Linie die praktische Anwendung von geeigneten Zustandsprognosemodellen im österreichischen Analysesystem behandelt. Ein kurzer Überblick über mögliche (aktuelle) Methoden zur Ableitung bzw. Entwicklung von Zustandsprognosemodellen wird daher nur aus Gründen der Vollständigkeit gegeben. Dieser Bereich wird derzeit von aktuellen Forschungsprojekten behandelt, die unter Anwendung statistischer Auswerteverfahren geeignete Zustandsprognosemodelle ableiten und detailliert die einzelnen Methoden beschreiben (siehe „Statistische Auswertung von Straßenzustandsdaten“ [22] und Folgeprojekte).

Um ein Straßenzustandsprognosemodell in einem Optimierungsverfahren verwenden zu können, muss das Modell zwei wesentliche Aussagen ermöglichen:

- Voraussage des Straßenzustandes zu einem bestimmten Zeitpunkt

- Voraussage über die Entwicklung des Straßenzustandes über einen bestimmten Zeitraum

Dabei werden nach [22] in Abhängigkeit von der Entwicklung bzw. Herleitung des Modells folgende Kategorien unterschieden:

- Mechanistische (analytische) Modelle basieren auf der theoretischen Ermittlung der Primärwirkungen (Dehnungen und Spannungen) unter äußeren Einwirkungen (Lasten, Temperatur, etc.) und deren Anwendung auf – meist in Laborversuchen ermittelten – Verhaltensgesetze.
- Empirische Modelle hingegen basieren auf der Beobachtung des tatsächlichen Verhaltens der Straßenbefestigungen und versuchen einen kausalen Zusammenhang zwischen verschiedenen Einflussgrößen und der zeitlichen Veränderung des Straßenzustandes zu finden.

Aufgrund der Komplexität und der Vielzahl von notwendigen Eingangsgrößen ist die direkte Anwendung von mechanistischen/analytischen Prognosemodellen in einem PMS aus heutiger Sicht nicht möglich. Sie können jedoch für die Beurteilung verschiedener Einflussgrößen eine wesentliche Hilfestellung bieten. Dies bedeutet, dass für die Abschätzung von Langzeiteffekten ausschließlich empirische Modelle in Frage kommen [46]. Empirische Straßenzustandsprognosemodelle können in Abhängigkeit vom gewählten statistischen Auswerteverfahren zusätzlich wie folgt unterschieden werden [22]:

- Stochastische Modelle: Diese sagen die Wahrscheinlichkeitsverteilung des zukünftigen Straßenzustandes voraus und nehmen somit auf Unsicherheiten und die Unschärfe von Daten Rücksicht.
- Deterministische Modelle: Diese versuchen die exakte Zustandsgröße bzw. den exakten Zustandswert (abhängige Variable) in Abhängigkeit von gewissen Einflussgrößen (unabhängige Variablen) zu jedem zukünftigen Zeitpunkt vorauszusagen. Der funktionelle Zusammenhang zwischen den abhängigen und unabhängigen Variablen wird dabei als „Verhaltensfunktion“ bezeichnet.

Grundsätzlich ist den stochastischen Modellen gegenüber den deterministischen Modellen der Vorzug zu geben, da sie einerseits die Eigenschaften der Daten berücksichtigen und andererseits die Anwendung von stochastischen Entscheidungshilfemodellen ermöglichen. Der Nachteil dieser Modelle liegt jedoch in einem Fehlen geeigneter (kommerziell verfügbarer) Softwareprodukte, die auf der Grundlage stochastischer Modelle ihre Berechnungen durchführen. Auch das in Österreich verwendete Softwaresystem VIAPMS© ist ausschließlich für die Anwendung deterministischer Verhaltensfunktionen geeignet. Aus diesem Grund wird nur ein kurzer Einblick in die Methodik von stochastischen Modellen gegeben und der Schwerpunkt auf die Anwendung von deterministischen Verhaltensfunktionen gelegt.

7.2 Stochastische Straßenzustandsprognosemodelle

Im Vergleich zu den deterministischen Verhaltensfunktionen, wo jedem Zeit- bzw. Belastungspunkt eine exakte Zustandsgröße zugeordnet wird, erfolgt die Festlegung des Zustandes bei stochastischen Modellen durch die Angabe von Wahrscheinlichkeiten zu einem bestimmten Zeitpunkt. Die Verknüpfung zwischen Zustandsklasse und der Wahrscheinlichkeit des Erreichens dieses Zustandes zu einem bestimmten Zeitpunkt liefert eine Aussage über die Entwicklung des Straßenzustandes.

Die Entwicklung eines Zustandsmerkmals, das zu bestimmten (diskreten) Zeitpunkten beobachtet wird, kann mit Hilfe sogenannter Markoff-Ketten beschrieben werden [47],[48]. Dazu wird der Wert des Zustandsmerkmals durch einen Vektor $\vec{x}$, der *N* Komponenten besitzt, beschrieben [22]:

$$\vec{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_N \end{pmatrix}^T = (x_1,...,x_N) \qquad \text{(Gl. 7.1)}$$

Die 1,...,*N* Komponenten des Vektors definieren den Zustand des Merkmals, wobei jede Komponente einen Wert zwischen 0 und 1 annehmen kann. Hat das Merkmal einen bestimmten Zustand *i* eingenommen, so nimmt die *i*-te Komponente den Wert 1 an und alle übrigen den Wert 0, sodass sich nach [22] folgender Vektor ergibt:

$$\vec{x} = \begin{pmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}^T = (0,...,0,1,0,...,0) \qquad \text{(Gl. 7.2)}$$

Eine deterministische Entwicklung des Zustandes würde als Ergebnis einen Vektor liefern, der genau an einer Stelle 1 stehen hätte und an allen anderen Stellen den Wert 0. Dies führt dazu, dass lediglich der Ausgangszustand zum Zeitpunkt 0 durch einen Vektor dieser Form definiert wird $\vec{x}^{(0)}$.

In Anlehnung an [49], [50], [51], [52] und [22] wird der Straßenzustand über eine 10-teilige Skala beschrieben wobei der Zustand 1 den besten Zustand und der Zustand 10 den schlechtesten Zustand darstellt (diese Einteilung entspricht nicht dem österreichischen 5-stufigen Klassifizierungssystem!). Für die Zustandsbeschreibung zum Zeitpunkt *n* ergibt sich daher ein Vektor der Dimension 10, dessen Komponenten die Wahrscheinlichkeiten $w_1^{(n)},...,w_{10}^{(n)}$ der entsprechenden Zustände sind:

$$\vec{x}^{(n)} = \begin{pmatrix} w_1^{(n)} \\ \vdots \\ w_{10}^{(n)} \end{pmatrix}^T = \left(w_1^{(n)}, ..., w_{10}^{(n)} \right) \qquad \text{(Gl. 7.3)}$$

Für die Zahlen $w_1^{(n)},...,w_{10}^{(n)}$ (Wahrscheinlichkeitsverteilung der Zustände) muss zusätzlich gelten:

$$0 \le w_i \le 1 \quad \text{für} \quad i = 1,...10 \quad \text{mit} \sum_{i=1}^{10} w_i^{(n)} = 1$$

Die Zustandsvektoren für die verschiedenen Zeitpunkte *n* erhält man durch die Angabe sogenannter Einschritt-Übergangswahrscheinlichkeiten $p_{i,j}$, wobei *i* und *j* alle Werte aus {1,...10} annehmen können. Die Wahrscheinlichkeit $p_{i,j}$ bezeichnet dabei die Wahrscheinlichkeit, dass ein betrachtetes System innerhalb einer betrachteten Zeiteinheit vom Zustand *i* in den Zustand *j* übergeht. Symbolisch geschrieben erhält man so eine Matrix *P* [22]:

$$P = \begin{pmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & \cdots & p_{1,10} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & \cdots & p_{2,10} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{10,1} & p_{10,2} & \cdots & p_{10,10} \end{pmatrix} \qquad \text{(Gl. 7.4)}$$

Der Zustand nach *n* Zeiteinheiten errechnet sich ausgehend vom Zustand zum Zeitpunkt *0* ($\vec{x}^{(0)}$) unter der Voraussetzung, dass die Einschritt-Übergangswahrscheinlichkeiten nicht von der Zeit abhängen (homogene Markoff-Ketten) nach folgender Gleichung [22]:

$$\vec{x}^{(n)} = \vec{x}^{(0)} \cdot P^n \qquad \text{(Gl. 7.5)}$$

mit:

$$P^n = P \cdot P \cdots P \quad (n \text{ Faktoren}) \qquad \text{(Gl. 7.6)}$$

Für die Berechnung der Übergangswahrscheinlichkeiten der Übergangsmatrix können alternativ zwei Methoden angewendet werden, die aufgrund ihrer Komplexität und schwierigen EDV-technischen Anwendung derzeit nur für Forschungszwecke in Betracht gezogen werden. Es handelt sich dabei um die

- Methode der linearen Programmierung und die
- Plausibilitätsmethode.

Die Methode der linearen Programmierung wurde im Rahmen von [22] lediglich an einem Beispieldatensatz angewendet, sodass für die österreichischen Straßenzustandsdaten derzeit keine Übergangswahrscheinlichkeiten zur Verfügung stehen. Zur näheren Erläuterung der mathematischen Grundlagen wird auf [22] und [53] verwiesen.

Die Plausibilitätsmethode kann nach [22] nur dann verwendet werden, wenn es die zugrundeliegenden Daten ermöglichen, den exakten Zeitpunkt zu bestimmen, zu dem

ein Abschnitt von einem Zustand in den nächsten gewechselt ist. Da dies in der Mehrzahl der Fälle nicht möglich ist, muss auf die Methode der nicht-linearen Optimierung zurückgegriffen werden. Mathematische Grundlagen der Plausibilitätsmethode können [22] und [48] entnommen werden.

Wie bereits in der Einleitung zu diesem Kapitel erwähnt, wird aufgrund des Fehlens geeigneter computerunterstützter Managementsysteme die stochastische Straßenzustandsprognose derzeit ausschließlich für Forschungszwecke verwendet.

7.3 Deterministische Straßenzustandsprognosemodelle

7.3.1 Definition Verhaltensfunktion

Deterministische Straßenzustandsprognosemodelle beschreiben die Veränderung des Straßenzustandes über einen funktionellen Zusammenhang (Verhaltensfunktionen) zwischen der Zustandsgröße (abhängige Variable) und den verschiedenen Einflussgrößen (erklärende Variablen), wovon mindestens eine Größe eine Zeitabhängigkeit aufweisen muss. In Ausnahmefällen können auch Zustandswerte als abhängige Variablen verwendet werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass Zustandswerte auf einen bestimmten Wertebereich beschränkt sind und keine physikalischen Größen darstellen. Die Verhaltensfunktion eines Zustandsmerkmals *i* auf einem Abschnitt *j* kann daher wie folgt definiert werden:

$$Y \in [a,b] \rightarrow R \qquad Y_{i,j} = f(X_1(t), X_2, ..., X_n) \qquad \text{(Gl. 7.7)}$$

mit: $Y_{i,j}$.....Funktionswert der Verhaltensfunktion in Form der Zustandsgröße (oder des Zustandwertes) des Zustandsmerkmals i auf dem Abschnitt j (abhängige Variable)
$X_1(t)$.....zeitabhängige Einflussgröße (erklärende Variable)
X_n .....sonstige Einflussgröße (erklärende Variable)

Zu einem bestimmten Zeitpunkt *t* nimmt die Funktion des Merkmals *i* die Zustandgröße $ZG_{i,j}$ auf dem Abschnitt *j* ein:

$$Y_{i,j}(t) = ZG_{i,j}(t) \qquad \text{(Gl. 7.8)}$$

mit: $ZG_{i,j}$ .....Zustandsgröße des Zustandsmerkmals i auf dem Abschnitt j

Enthält die Verhaltensfunktion direkt die Zeit als erklärende Variable (z.B. Jahre, Monate, etc.), so kann von einer direkten Verhaltensfunktion gesprochen werden, im Gegensatz zu indirekten Verhaltensfunktionen, wo die Zeitkomponente z.B. über die Änderung der Verkehrsbelastung oder die kumulierten Normlastwechsel ausgedrückt wird. Im Rahmen des Erhaltungsmanagements sind daher zwei Arten von Verhaltensfunktionen gebräuchlich:

- Zeitabhängige Verhaltensfunktionen: Die Zeitkomponente ist als erklärende Variable in der Funktion enthalten
- Belastungsabhängige Verhaltensfunktion: Die zeitabhängige Größe wird durch die Verkehrsbelastung in Form von Normlastwechseln definiert. Durch einen in der Regel bekannten mathematischen Zusammenhang zwischen der Verkehrsbelastung und der Zeit, kann die belastungsabhängige Verhaltensfunktion in eine zeitabhängige Verhaltensfunktion transformiert werden.

Um für die Entwicklung von deterministischen Verhaltensfunktionen entsprechende Stichproben zu erhalten, müssen gezielte Beobachtungen durchgeführt werden. Diese „empirischen" Beobachtungen liefern dabei die erforderliche Datengrundlage. In Abhängigkeit von Beobachtungsbereich bzw. der Beobachtungsdauer werden grundsätzlich zwei verschiedene Arten der empirischen Datenerfassung für die Entwicklung von deterministischen Verhaltensfunktionen unterschieden:

- Die Beobachtung erfolgt auf wenigen nach speziellen Kriterien ausgewählten Straßenabschnitten über einen bestimmten Zeitraum. Als Ergebnis der Beobachtung liegt eine Zeitreihe der beobachteten Größe vor. Diese Art der Datenerfassung wurde bzw. wird im Rahmen des SHRP-Programmes durchgeführt. Der Vorteil dieser Methode liegt in einer genauen Kenntnis möglicher Einflussgrößen auf das Verhalten der Zustandsmerkmale (z.B. genaue Kenntnis der Mischgutrezeptur, der Einbaubedingungen, der Verkehrsbelastung, etc.). Der Nachteil ist hingegen im hohen Zeitaufwand und in einer nur bedingten Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Abschnitte zu sehen.
- Die zweite Methodik der Datenerfassung liefert Informationen über das gesamte Straßennetz zu einem bestimmten Zeitpunkt. Für die Analyse liegt in diesem Fall keine Zeitreihe vor, sondern eine Vielzahl von mehr oder weniger vergleichbaren Einzelmessungen (Punktwolke). Nachdem im Rahmen eines Erhaltungsmanagementsystems der Straßenzustand für ein Straßennetz periodisch erfasst wird, kann ohne zusätzlichen Aufwand auf diese Daten zurückgegriffen werden. Der Nachteil dieser Methodik ist oft in einem Fehlen von erforderlichen Detailinformationen zu sehen, was sich wesentlich auf die Genauigkeit der Modelle auswirkt (siehe z.B. Modelle des Projekts PARIS [56]).

Als optimale Lösung für die Entwicklung von deterministischen Verhaltensfunktionen ist eine Kombination von beiden Erfassungsmethoden anzustreben. Die Detailinformationen über bestimmte Einflussgrößen aus der Zeitreihenuntersuchung und die Vielzahl der Daten aus der Netzerfassung ermöglichen einerseits eine bessere Klassifizierung und andererseits eine Erhöhung der Genauigkeit der Modelle.

7.3.2 Herleitung von deterministischen Verhaltensfunktionen

Die Ableitung oder Entwicklung von deterministischen Verhaltensfunktionen, die auf der Grundlage empirischer Untersuchungen basieren, erfolgt in der Regel mittels Regressionsrechnung bzw. Regressionsanalyse. Dabei wird auf der Grundlage von Beobachtungen der Versuch unternommen, einen möglichen Zusammenhang zwischen der Zufallsvariablen Y und der (Zufalls)variablen X zu erkennen und objektiv aufzuzeigen. Die einfachste Form der Regression ist die lineare Regression zwischen der abhängigen Variablen Y und einer einzigen erklärenden Variablen X. Der funktionelle

Zusammenhang ist in diesem Fall linear, also über eine Gerade des zweidimensionalen Raums bestimmt.

Liegt eine Stichprobe von *n* Beobachtungen

$$(x_1, y_1), (x_2, y_2), ..., (x_n, y_n)$$

aus einer zweidimensionalen Grundgesamtheit vor, so ist es möglich, jene Gerade zu finden, die sich dem Verlauf der Punktfolge in der xy-Ebene möglichst gut anpasst (siehe Abbildung 79).

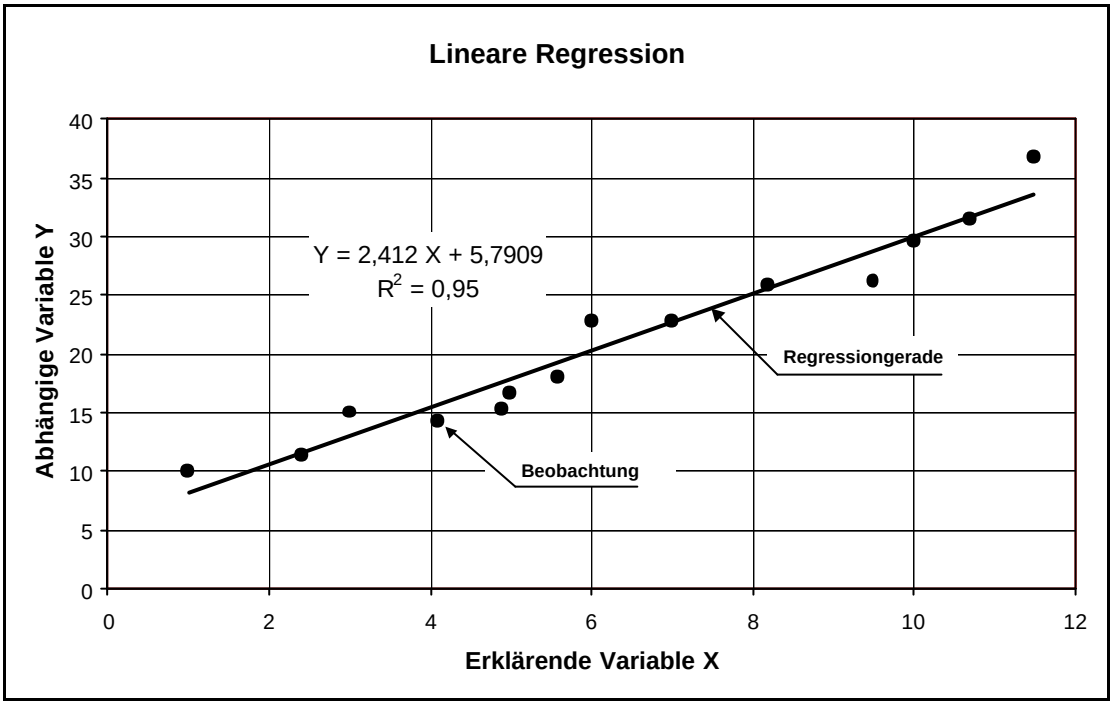


Abbildung 79: Schematische Darstellung der linearen Regression

Eine objektive Methode zur Findung dieser Geraden ist mit dem Gaußschen Prinzip der kleinsten Quadrate möglich. Die Gerade ist dabei so zu legen, dass die Summe der Quadrate aller Abstände der Punkte von der Geraden möglichst klein wird [54] (entspricht einer geometrischen Kurvenanpassung). Aus rechentechnischen Gründen sowie zur Vereinfachung des Problems wird der vertikale Abstand zur „Regressions-geraden“ verwendet. Die Gerade ist definiert durch:

$$Y = q_0 + q_1 \cdot x \qquad \text{(Gl. 7.9)}$$

mit Y.....abhängige Variable
x.....erklärende Variable
θ_1.....Anstieg der Geraden (Parameter)
θ_0.....Konstante (Parameter)

Die Abstände zwischen den Beobachtungen y_i und der Regressionsgeraden heißen Residuen und sind definiert durch:

$$res_i = y_i - q_0 - q_1 \cdot x_i \qquad \text{(Gl. 7.10)}$$

Die Summe der Abstandsquadrate ist also:

$$a = \sum_{i=1}^{n} \left(y_i - q_0 - q_1 \cdot x_i \right)^2 \qquad \text{(Gl. 7.11)}$$

Damit diese Funktion ein Minimum hat, muss folgende Bedingung erfüllt sein:

$$\frac{\partial a}{\partial q_0} = -2 \cdot \sum_{i=1}^{n} \left(y_i - q_0 - q_1 \cdot x_i \right) = 0 \quad \text{und} \quad \frac{\partial a}{\partial q_1} = -2 \cdot \sum_{i=1}^{n} \left[x_i \cdot \left(y_i - q_0 - q_1 \cdot x_i \right) \right] = 0 \qquad \text{(Gl. 7.12)}$$

Mit

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i \quad \text{und} \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} y_i \qquad \text{(Gl. 7.13)}$$

ergibt sich für die Parameter der Geraden (Anstieg und Konstante) folgendes Ergebnis:

$$q_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(x_i \cdot y_i \right) - n \cdot \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - n \cdot \bar{x}^2} \qquad \text{(Gl. 7.14)}$$

$$q_0 = \bar{y} - q_1 \cdot \bar{x} \qquad \text{(Gl. 7.15)}$$

Die einfachste geometrische Anpassung ist durch eine lineare Funktion mit einer erklärenden Variablen gegeben. In analoger Weise können auch andere Funktionen bzw. Regressionskurven untersucht werden. Neben der Geraden sind nach [70] für die Prognose des Straßenzustandes folgende Funktionen gebräuchlich:

- Exponentialfunktion:

$$Y = q_0 \cdot e^x \qquad \text{(Gl. 7.16)}$$

- Potenzfunktion:

$$Y = q_0 \cdot x^{q_1} \qquad \text{(Gl. 7.17)}$$

- Hyperbolische Funktion:

$$Y = q_0 + q_1 \cdot \frac{1}{x} \qquad \text{(Gl. 7.18)}$$

- Polynom *k*-ter Ordnung:

$$Y = q_0 + q_1 \cdot x + q_2 \cdot x^2 + ... + q_k \cdot x^k \qquad \text{(Gl. 7.19)}$$

Das Polynom 1. Ordnung entspricht dabei der Geraden.

Die Qualität der geometrischen Anpassung wird durch das Bestimmtheitsmaß

$$r = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} res_i^2}{\sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y}_n)^2} \qquad \text{(Gl. 7.20)}$$

gemessen. Ist die Anpassung durch die Kurve perfekt, dann ist r=1. Bei r=0 gibt es keine brauchbare Erklärung durch den Regressor [22].

Die Gemeinsamkeit der hier vorgestellten (Verhaltens)funktionen ist darin zu sehen, dass sie nur eine erklärende Variable beinhalten. Diese sollte darüber hinaus noch eine Zeitabhängigkeit aufweisen. In der Regel hängt die Änderung des Straßenzustandes von einer Vielzahl von möglichen Einflussgrößen ab, die natürlich in dem Modell als erklärende Variablen aufscheinen sollten.

Eine weitverbreitete Methode zur Untersuchung von Beobachtungen mit mehreren Einflussgrößen (Regressoren) stellen nach [22] wiederum lineare Modelle dar, die mit Hilfe der zuvor beschriebenen Ausgleichsrechnung berechnet werden können. Liegt noch kein empirisch „abgesichertes“ Modell vor, wird zunächst geprüft, ob wirklich alle Einflussgrößen (Regressoren) zur Erklärung der abhängigen Variablen beitragen. Dies erfolgt durch die Anwendung eines statistischen Testverfahren mit der Bezeichnung t-Test, auf das hier nicht näher eingegangen wird. Sind k Regressoren bekannt, kann das Modell definiert werden.

$$Y = q_0 + q_1 \cdot x_1 + q_2 \cdot x_2 + ... + q_k \cdot x_k \qquad \text{(Gl. 7.21)}$$

Ausgehend von n Beobachtungen $y_1, y_2, ..., y_n$ und zugehörigen Regressoren $(x_{11}, ..x_{1n}), (x_{21}, ..., x_{2n}), ...$ können die Parameter, ausgedrückt durch den Parametervektor $q=(q_1, ..., q_n)$, wiederum durch eine Minimierung der Quadratabstände

$$\sum_{i=1}^{n} (y_i - q_0 - q_1 \cdot x_{1i} - q_2 \cdot x_{2i} - ...)^2 \qquad \text{(Gl. 7.22)}$$

berechnet werden. Auch hier kann die Qualität der geometrischen Anpassung durch das Bestimmtheitsmaß gemessen werden. Für die Anwendung der Regressionsanalyse mit mehreren erklärenden Variablen (mulitvariate Regressionsanalyse) stehen eine Vielzahl von anwenderfreundlichen Softwareprodukten zur Verfügung, sodass hier auf eine weiterführende Erklärung der mathematischen Grundlagen verzichtet und auf [22] verwiesen wird.

7.3.3 Kalibrierung von Zustandsprognosemodellen

7.3.3.1 Allgemeines

Zustandsprognosemodelle, die auf der Grundlage erfasster Daten entwickelt wurden, können für einen bestimmten Bereich als repräsentative Modelle angesehen werden, sofern die Daten für diesen Bereich repräsentativ erhoben wurden. In Abhängigkeit von der Größe des Untersuchungsbereiches können zwei Arten von Zustandsprognosemodellen unterschieden werden:

- **Überregionale Zustandsprognosemodelle**: Die Grundlagen für die Entwicklung dieser Modelle beruhen auf internationalen Untersuchungen oder Forschungen mit einer Vielzahl von erhobenen überregionalen Informationen und einer Vielzahl möglicher, überregional auftretender Einflussgrößen (z.B. Zustandsprognosemodelle des HDM III bzw. des HDM 4, Projekt PARIS [56], etc.)
- **Regionale Zustandsprognosemodelle**: Die Grundlagen für die Entwicklung dieser Modelle sind auf regionale Erhebungen und regionale Einflussgrößen beschränkt (z.B. Zustandsprognosemodelle nach [22]).

Die Anwendung der jeweiligen Modelle hängt in erster Linie vom Einsatzbereich des PMS ab. Das Pavement Management System HDM wurde zum Beispiel für einen weltweiten Einsatz entwickelt und beinhaltet natürlich überregional entwickelte Zustandsprognosemodelle im Vergleich zu VIAPMS_AUSTRIA, wo mit regionalen Zustandsprognosemodellen das Auslangen gefunden wird. Überregionale Zustandsprognosemodelle besitzen den Vorteil, dass sie für regionale Einsatzbereiche kalibriert oder adjustiert werden können. Der Nachteil von überregionalen Zustandsprognosemodellen liegt jedoch in der Komplexität der Modelle bzw. oft in einem Fehlen einer für eine bestimmte Region wesentlichen Einflussgröße. Die Grenze von überregionalen und regionalen Zustandsprognosemodellen kann in vielen Fällen nicht eindeutig definiert werden, da sie entweder verwaltungsspezifisch, geographisch oder politisch gelegt wird. Die Anwendung von regionalen Zustandsprognosemodellen sollte jedenfalls in Abstimmung mit dem Untersuchungsbereich des PMS erfolgen.

Für das Analysesystem VIAPMS_AUSTRIA werden jene regionalen Modelle verwendet, die mit den Zustandsinformationen des Bundesstraßennetzes entwickelt wurden. Dies bedeutet, dass der Erfassungsbereich der Zustandsdaten (=Grundlagenbereich der Modelle) mit dem PMS-Bereich übereinstimmt.

Bei einer abschnittsbezogenen Betrachtung von Erhaltungsmaßnahmen sind jedoch auch regionale Zustandsprognosemodelle, unabhängig ob es sich dabei um kalibrierte überregionale Modelle oder um bereits regional entwickelte Modelle handelt, nicht mehr ausreichend genau, da die abschnittsbezogenen Zustandsgrößen bzw. –werte in den meisten Fällen deutlich von den prognostizierten Werten abweichen. Dies ist auf den Umstand zurückzuführen, dass eine Vielzahl von abschnittsbezogenen Einflussgrößen, die wesentlich den Verlauf der Verhaltensfunktion beeinflussen (Bauaus-

führung, Baustoffeigenschaften, Einbautemperatur, etc.), derzeit nicht erfasst werden und auch zukünftig realistischerweise nicht lückenlos erfasst werden können (siehe Kapitel 7.1). Aus diesem Grund ist im Rahmen einer abschnittsbezogenen Betrachtung der Zustandsentwicklung eine zusätzliche Adjustierung oder Kalibrierung der Zustandsprognosemodelle erforderlich. In Abhängigkeit von den verwendeten Zustandsprognosemodellen (überregionale oder regionale) können folgende zwei Stufen der Kalibrierung unterschieden werden:

- **Kalibrierungsstufe 1 - regionale Kalibrierung**

  Im Rahmen einer regionalen Kalibrierung werden die überregionalen Zustandsprognosemodelle an die regionalen Randbedingungen angepasst bzw. kalibriert. Es entstehen durch diese Kalibrierung regionale Zustandsprognosemodelle

- **Kalibrierungsstufe 2 - abschnittsbezogene Kalibrierung**

  Die regionalen Zustandsprognosemodelle werden auf der Grundlage der für einen bestimmten Straßenabschnitt erfassten straßenrelevanten Daten (Oberbaudaten, Zustandsgrößen, Verkehrsdaten, etc.) so verändert, dass der Verlauf der Verhaltensfunktion mit den gemessenen Zustandsinformationen übereinstimmt.

Dabei können unterschiedliche Methoden der Kalibrierung zur Anwendung kommen, die einerseits vom Zustandsprognosemodell selbst und andererseits von den zur Verfügung stehenden Informationen abhängig sind. Nach [55] können für die Kalibrierung von überregionalen Zustandsprognosemodellen folgende Methoden angewandt werden, die mit zunehmender Genauigkeit auch eine deutliche Steigerung der Anforderung an Daten, Zeiterfordernis und folglich auch Geldmitteln für die Kalibrierung erfordern. Ziel dieser Kalibrierung ist die Definition regionaler Zustandsprognosemodelle.

- **Kalibrierung aufgrund von Dateninformationen:** Bei dieser Form der Kalibrierung werden anhand von Aufzeichnungen bzw. Datenbeständen (z.B. Klimaaufzeichnungen, Verkehrsstatistiken, Erhaltungsmaßnahmenkatalogen, etc.) die wesentlichsten Parameter und erklärenden Variablen (Regressoren) der Verhaltensfunktionen bestimmt.
- **Kalibrierung aufgrund von Dateninformationen und Untersuchungen vor Ort:** Diese Form der Kalibrierung benötigt neben den zuvor erwähnten Datenbeständen zusätzliche Informationen durch begrenzte Untersuchungen vor Ort (z.B. Temperaturmessungen, Schichtdickenbestimmungen, etc.)
- **Kalibrierung aufgrund von wissenschaftlichen Untersuchungen:** Diese Kalibrierungsmethode erfordert neben umfassenden Untersuchungen vor Ort zusätzliche kontrollierte Experimente (Entwicklung analytischer Grundlagen) zur Verbesserung der Modelle selbst. Diese Form der Kalibrierung kann soweit führen, dass neue regionale Zustandsprognosemodelle entwickelt werden.

Die nachfolgende Abbildung 80 zeigt die unterschiedlichen Methoden bei der Kalibrierung von überregionalen Zustandsprognosemodellen in Abhängigkeit von der Zeiterfordernis und dem Umfang der Kalibrierungsarbeiten.

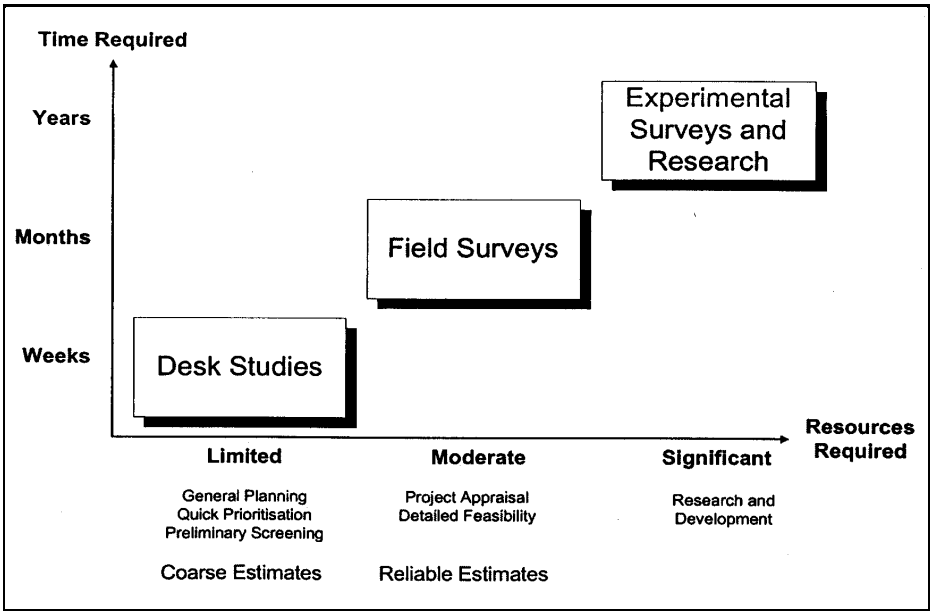


Abbildung 80: Erfordernis von Zeit- und Geldmitteln für die Kalibrierung [55]

Für eine netzweite Abschätzung der Zustandsentwicklung ist oft eine Anwendung der Kalibrierungsstufe 1 ausreichend, im Gegensatz zu einer abschnittsbezogenen Betrachtung mit abschnittsbezogenen Maßnahmenvorschlägen, wo eine Anwendung der Kalibrierungsstufe 1 zu einem falschen oder ungenauen Ergebnis führen würde. Für die Analyse mit VIAPMS_AUSTRIA, dessen Ziel in einem Vorschlag abschnittsbezogener Maßnahmen zu sehen ist, wird eine Kalibrierung der Stufe 2 (abschnittsbezogene Kalibrierung) angestrebt, die allerdings erst nach weiteren Schritten tatsächlich realisiert werden kann (nach Vorliegen der 2. Phase der statistischen Auswertung).

7.3.3.2 Abschnittsbezogene Kalibrierung von deterministischen Verhaltensfunktionen

7.3.3.2.1 Allgemeines

Pavement Management Systeme, die für die Ermittlung des Erhaltungsbedarfes eines Straßennetzes einzelne Erhaltungsabschnitte analysieren, benötigen hierfür auch abschnittsbezogene Zustandsprognosemodelle. Die Verwendung einer „allgemeinen" regionalen Verhaltensfunktion ist für die Analyse zu ungenau und würde in den meisten Fällen (abhängig von der Streuung der Zustandsdaten) zu einer Verfälschung des prognostizierten Straßenzustandes des zu analysierenden Abschnitts führen und somit zu einer falschen Maßnahmen- und Kostenentscheidung.

Das Ziel der abschnittsbezogenen Kalibrierung liegt in der Definition einer abschnittsbezogenen Verhaltensfunktion. Aus diesem Grund muss das Zustands-

prognosemodell mit den abschnittsbezogenen Informationen verknüpft werden. Dies geschieht einerseits durch die Eingabe der Werte der erklärenden Variablen (Regressoren) in das Modell und andererseits durch eine Kalibrierung der Modellparameter, sodass der Verlauf der Funktion mit auf diesem Abschnitt gemessenen evtl. gemittelten und normierten Zustandsgrößen übereinstimmt. Im Rahmen der abschnittsbezogenen Kalibrierung von Verhaltensfunktionen sind in Abhängigkeit von der Anzahl der zur Verfügung stehenden Zustandsinformationen bzw. Messergebnisse zwei Arten der Kalibrierung zu unterscheiden:

- Abschnittsbezogene Kalibrierung auf der Grundlage einer Messreihe
- Abschnittsbezogene Kalibrierung auf der Grundlage der zuletzt durchgeführten Messung

Unabhängig davon, welche Methode der Kalibrierung des Zustandsprognosemodells herangezogen wird, müssen die Ergebnisse zusätzlichen Randbedingungen entsprechen und dürfen nicht durch eine Kalibrierung von diesen abweichen (z.B. Spurrinnen auf einer neu hergestellten Deckschicht sind nicht zulässig, d.h. das Modell darf durch die Kalibrierung nicht zum Zeitpunkt t=0 eine Spurrinnentiefe >0 berechnen).

Die abschnittsbezogene Kalibrierung sollte in der Regel anhand der Zustandsgrößen ZG_i erfolgen, da einerseits Fehler bei der Kalibrierung durch unstetige Normierungsfunktionen ausgeschlossen werden können und andererseits Zustandsgrößen physikalische Größen darstellen (z.B. mm, m/km, etc.). Eine Kalibrierung anhand von Zustandswerten empfiehlt sich nur dann, wenn die Verhaltensfunktion zustandswertbezogen entwickelt oder abgeleitet wurde. Dies kommt ausschließlich bei sehr einfachen Modellen vor, die nur eine erklärende Variable beinhalten. Problematisch wird die Kalibrierung von zustandswertbezogenen Verhaltensfunktionen, wenn der Zustandswert eines Abschnitts den Maximalwert (5) erreicht, da hier der Zusammenhang zwischen der Zustandsgröße und dem Zustandswert nicht mehr gegeben ist. Der Zustandswert 5 kann z.B. bei Spurrinnen auf Bundesstraßen der Kategorie B eine Spurrinnentiefe von 25 mm bedeuten, jedoch auch eine Spurrinnentiefe von 50 mm. Dies bedeutet, dass eine Kalibrierung der zustandswertbezogenen Verhaltensfunktion ein anderes Ergebnis liefert, als eine zustandsgrößenbezogene Kalibrierung.

7.3.3.2.2 Abschnittsbezogene Kalibrierung auf der Grundlage einer Messreihe

Voraussetzung für die Anwendung dieses Kalibrierungsverfahrens ist das Vorliegen einer Reihe von Messergebnissen, die über eine bestimmte Zeitperiode auf einem Abschnitt erfasst wurden (Zeitreihe). Unter Berücksichtigung der Vorinformationen des regionalen Zustandsprognosemodells (z.B. erklärende Variablen, Modellfunktion, etc.) kann mittels Regressionsrechnung eine abschnittsbezogene Verhaltensfunktion berechnet werden. Die nachfolgende Abbildung 81 zeigt anhand eines Beispiels die abschnittsbezogene Kalibrierung eines Zustandsprognosemodells auf der Grundlage einer Messreihe.

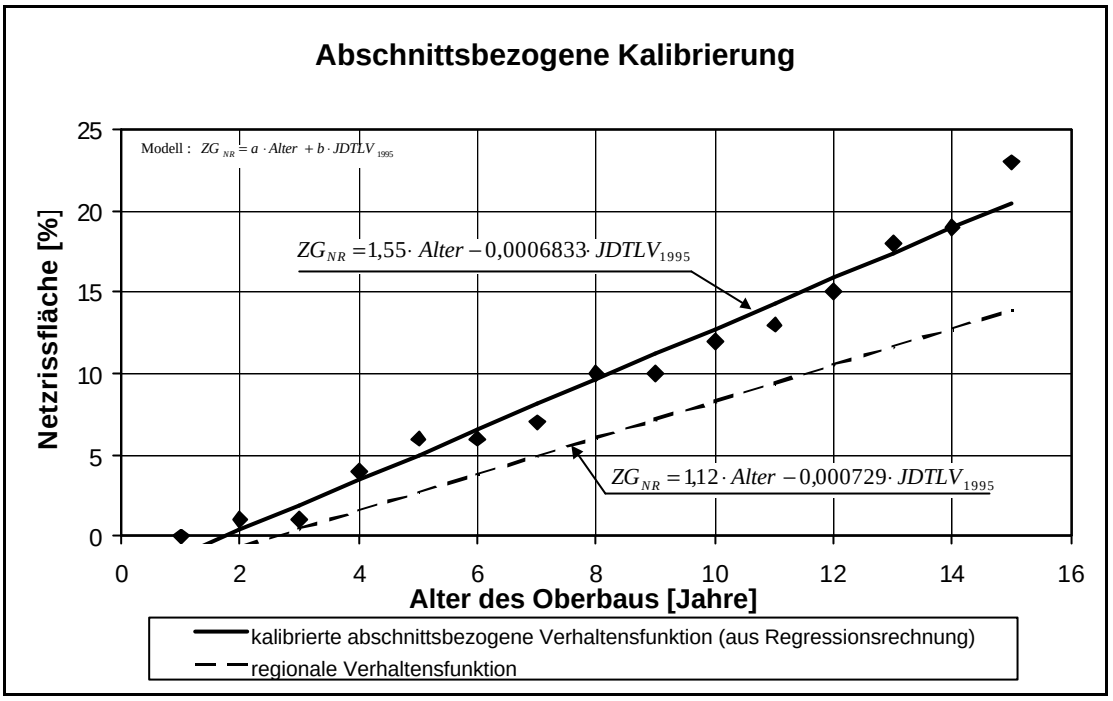


Abbildung 81: Abschnittsbezogene Kalibrierung auf der Grundlage einer Messreihe

Bei diesem Verfahren sind folgende Randbedingungen zu beachten:

- Keine Unstetigkeiten in der Zeitreihe (z.B. durch zwischenzeitliche Erhaltungsmaßnahmen)
- Keine Änderung des Mess- oder Aufnahmeverfahrens
- Mindestens 3 Erfassungen (abhängig vom Modell, bei einem linearen Modell reichen bereits zwei Erfassungen).

Zusätzlich spielt auch für die Genauigkeit des Ergebnisses die Streuung der Messwerte eine entscheidende Rolle. Es ist davon auszugehen, dass mit großer Wahrscheinlichkeit die gemessenen Werte nicht mit dem Verlauf der Funktion übereinstimmen, was bei geringen Abweichungen vernachlässigbar ist. Bei starken saisonalen Schwankungen der Messwerte kann es zu beträchtlichen Abweichungen zwischen dem zuletzt erfassten Messwert und den auf der Grundlage der Verhaltensfunktion errechneten Wert kommen.

Die Anwendung dieses Verfahrens ist daher wesentlich vom zeitlichen Abstand der Messungen und der Anzahl der zur Verfügung stehenden Messergebnisse abhängig. In Österreich, wo in einem Abstand von ca. 5 Jahren eine Zustandserfassung auf dem Bundesstraßennetz erfolgt, würde dies einen Beobachtungszeitraum von mind. 10 Jahren bedeuten (3 Messergebnisse). Da in Österreich zum jetzigen Zeitpunkt erst zwei flächendeckende Zustandserfassungen auf dem Bundesstraßennetz durchgeführt wurden und die Messmethoden bzw. Messverfahren sich zum Teil verändert haben, ist diese Form der abschnittsbezogenen Kalibrierung derzeit nur bedingt anwendbar (z.B. für das Zustandsmerkmal Griffigkeit).

7.3.3.2.3 Abschnittsbezogene Kalibrierung auf der Grundlage der zuletzt durchgeführten Messung

Im Vergleich zur Methode der Kalibrierung mit Hilfe einer Messreihe ist bei diesem Verfahren nur ein einziger Messwert auf dem zu untersuchenden Abschnitt erforderlich. Als Ergebnis dieser Form der Kalibrierung muss die aus den zuletzt erfassten Messgrößen berechnete Zustandsgröße $ZG_{i,j}^{*}$ des Zustandsmerkmals *i* auf dem Abschnitt *j* ein Element des Funktionsverlaufs der Verhaltensfunktion darstellen.

$$ZG_{i,j}^{*} \in Y_{i,j}^{*} \qquad \text{(Gl. 7.23)}$$

mit: $Y_{i,j}^{*}$ .....abschnittsbezogene Verhaltensfunktion für das Zustandsmerkmal i auf dem Abschnitt j
$ZG_{i,j}^{*}$ .....Zustandsgröße des Zustandsmerkmals i auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt der letzten Zustandserfassung t^{*}

Die Adjustierung der Verhaltensfunktion an die abschnittsbezogene Zustandsgröße kann dabei durch eine

- Änderung des Funktionsverlaufs mit Hilfe eines „Kalibrierfaktors K_{ZG}“ oder durch eine
- Verschiebung der Verhaltensfunktion mit Hilfe eines „Kalibriervektors $\vec{K}_{ZG}$“

durchgeführt werden (siehe Abbildung 82). Welche Methode verwendet wird, hängt von den zu beachtenden Randbedingungen des Zustandsmerkmals sowie von der Verhaltensfunktion selbst ab.

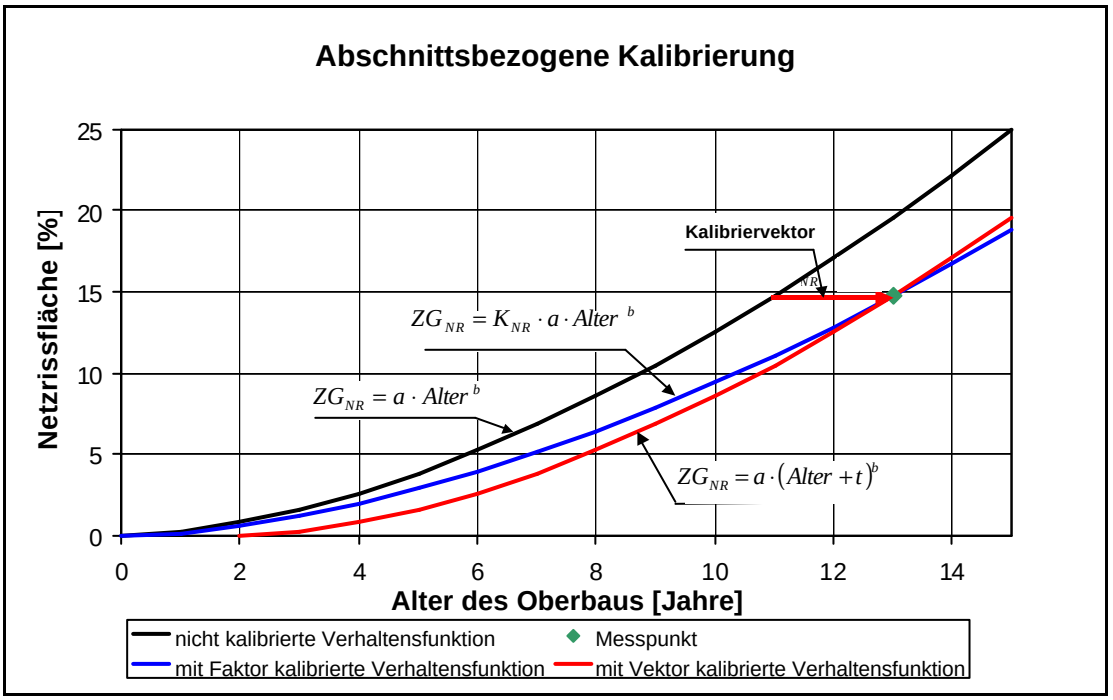


Abbildung 82: Abschnittsbezogene Kalibrierung auf der Grundlage eines Messpunkts (zuletzt durchgeführte Messung)

Liegen bereits mehrere Messwerte auf dem zu untersuchenden Abschnitt vor, so kann diese Form der Kalibrierung zu deutlichen Abweichungen zwischen der Messreihe und der Verhaltensfunktion führen, da das regionale Zustandsprognosemodell nur mit dem zuletzt erfassten Messwert kalibriert wird und die anderen Informationen nicht berücksichtigt werden. In vielen Pavement Management Systemen spielen jedoch diese Differenzen nur eine untergeordnete Rolle. Das Hauptaugenmerk liegt in der Prognose und nicht in einem Nachvollziehen der bereits bekannten Zustandsentwicklung. Mit jedem neuen Messergebnis kann bzw. muss eine Korrektur der Kalibrierung durchgeführt werden, sodass für kurzfristige Maßnahmenentscheidungen diese Form der Kalibrierung eine ausreichende Genauigkeit besitzt. Im Vergleich zur Kalibrierung mit Hilfe von Messreihen ist diese Methode jedoch deutlich empfindlicher gegenüber saisonalen Schwankungen der Messergebnisse. Der Grund hierfür liegt wiederum in der Berücksichtigung nur eines einzigen Messwerts, wobei durch eine Festlegung und Einhaltung der Messbedingungen während der Erfassung (z.B. gleicher Zeitraum, annähernd gleiche klimatische Verhältnisse, etc.) diesem ungewollten Einfluss entgegengewirkt werden kann.

7.3.3.3 Abschnittsbezogene Kalibrierung von Straßenzustandsprognosemodellen im österreichischen Analysesystem

Das österreichische Analysesystem verwendet für die abschnittsbezogene Kalibrierung der deterministischen Verhaltensfunktionen in erster Linie die Kalibrierung auf der Grundlage der zuletzt durchgeführten Messung. Der Grund hierfür liegt einerseits im Fehlen von notwendigen Messreihen, aber auch in einer unzureichenden Vergleichbarkeit der Messergebnisse der Zustandserfassungen 1991 bis 1996 mit jenen der Erfassung 1999/2000. Mit Ausnahme des Zustandsmerkmals Griffigkeit, das im Rahmen beider Messkampagnen mit dem selben System erfasst wurde, werden für die Kalibrierung sowohl Faktoren als auch Verschiebungsvektoren verwendet. Welche Methode bei einem bestimmten Zustandsmerkmal Anwendung findet, kann dem Kapitel 7.3.4 entnommen werden.

7.3.3.3.1 Berechnung von Kalibrierfaktoren

Die kalibrierte Verhaltensfunktion eines Zustandsmerkmals *i* auf dem Abschnitt *j* ist definiert durch:

$$Y^*_{i,j} = K_{i,j} \cdot Y_{i,j} \qquad \text{(Gl. 7.24)}$$

mit: $Y^*_{i,j}$ .....kalibrierte Verhaltensfunktion für das Zustandsmerkmal i auf dem Abschnitt j
$K_{i,j}$.....Kalibrierfaktor für das Zustandsmerkmal i auf dem Abschnitt j
$Y_{i,j}$.....Verhaltensfunktion für das Zustandsmerkmal i auf dem Abschnitt j

Die Berechnung des am Abschnitt *j* benötigten Kalibrierfaktors erfolgt mit Hilfe der zum Zeitpunkt t^* erfassten Messgröße bzw. der daraus berechneten Zustandsgröße $ZG^*_{i,j}$ des Zustandsmerkmals *i*:

$$K_{i,j} = \frac{ZG^*_{i,j}}{Y_{i,j}\left(t^*\right)} \qquad \text{(Gl. 7.25)}$$

mit: $ZG^*_{i,j}$.....Zustandsgröße des Zustandsmerkmals i auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t^*

$Y_{i,j}(t^*)$ .....Funktionswert der Verhaltensfunktion Y zum Zeitpunkt t* des Zustandsmerkmals i auf dem Abschnitt j

Über diesen Zusammenhang lässt sich die abschnittsbezogene Verhaltensfunktion beschreiben mit:

$$Y^*_{i,j} = \frac{ZG^*_{i,j}}{Y_{i,j}\left(t^*\right)} \cdot Y_i \qquad \text{(Gl. 7.26)}$$

Die sich ergebende kalibrierte abschnittsbezogene Verhaltensfunktion ist zur nicht kalibrierten Verhaltensfunktion ähnlich. Die Form der Verhaltensfunktion wird unabhängig von der Funktion bzw. dem Modell durch die Kalibrierung nicht verändert.

Handelt es sich um eine lineares Modell, das mittels linearer Regression berechnet wurde, so verursacht der Kalibrierfaktor eine Änderung der Werte des Parametervektors. Der Parametervektor $q_{i,j}$ wird dabei durch die Multiplikation mit dem Kalibrierfaktor (Skalar) in $q^*_{i,j} = \left(K_{i,j} \cdot q_0, K_{i,j} \cdot q_1, K_{i,j} \cdot q_2, K_{i,j} \cdot q_3, \ldots, K_{i,j} \cdot q_n\right)$, einen kalibrierten Parametervektor transformiert.

Bei nichtlinearen Verhaltensfunktionen werden durch die Verwendung eines Kalibrierfaktors nur jene Modellparameter wertmäßig verändert, die direkt mit dem Faktor multipliziert werden können. Dies bedeutet, dass Parameter, die z.B. als Exponenten im Modell bzw. in der Funktion enthalten sind, bei dieser Form der Kalibrierung unberücksichtigt bleiben.

Exponentielle Modellparameter von deterministischen Verhaltensfunktionen haben einen wesentlichen stärkeren Einfluss auf den Anstieg einer Funktion als multiplikative Parameter. Aus diesem Grund kann es zweckmäßig sein, auch diese Parameter einer Kalibrierung zu unterziehen. Vor allem bei sehr einfachen Modellen, die nur eine geringe Anzahl von erklärenden Variablen beinhalten, hat sich diese Form der Kalibrierung als geeignete Lösung erwiesen (z.B. VIABASE_AUSTRIA, Version 2.0). Die Methode zur Berechnung des Kalibrierfaktors eines exponentiellen Modellparameters hängt wesentlich von der mathematischen Funktion der Verhaltensfunktion ab. Beispielhaft wird sie nachfolgend für eine nichtlineare Verhaltensfunktion in Form eines Polynoms beschrieben. Die Anwendung eines exponentiellen Kalibrierfaktors verändert die Form der Verhaltensfunktion, die Ähnlichkeit ist nicht mehr gegeben.

Gegeben sei eine nichtlineare Verhaltensfunktion des Zustandsmerkmals *i* auf dem Abschnitt *j* der Form:

$$Y_{i,j} = q_0 + q_1 \cdot X_1 + q_2 \cdot X_2^{q_{21}} + \ldots + q_m \cdot X_m^{q_{m1}} + \ldots + q_u \cdot X_u^{q_{u1}} \qquad \text{(Gl. 7.27)}$$

Die Kalibrierung des Modellparameters q_{m1} ergibt die kalibrierte abschnittsbezogene Verhaltensfunktion des Zustandsmerkmals *i* auf dem Abschnitt *j*:

$$Y^*_{i,j} = q_0 + q_1 \cdot X_1 + q_2 \cdot X_2^{q_{21}} + \ldots + q_m \cdot X_m^{K^e_{i,j} \cdot q_{m1}} + \ldots + q_u \cdot X_u^{q_{u1}} \qquad \text{(Gl. 7.28)}$$

Durch Umformen der Gleichung 7.28 und Einsetzen der zum Zeitpunkt *t** erfassten Messgröße und daraus berechneten Zustandsgröße $ZG^*_{i,j}$ als Funktionswert in die kalibrierte Verhaltensfunktion mit $Y^*_{i,j}(t^*)=ZG^*_{i,j}$ errechnet sich der Kalibrierfaktor des exponentiellen Modellparameters q_{m1} mit:

$$K^e_{i,j} = \frac{\ln\left(\frac{ZG^*_{i,j} - q_0 - q_1 \cdot X_1 - q_2 \cdot X_2^{q_{21}} - \ldots - q_{m-1} \cdot X_{m-1}^{q_{m-1,1}} - q_{m+1} \cdot X_{m+1}^{q_{m+1,1}} - \ldots - q_u \cdot X_u^{q_{u1}}}{q_m}\right)}{q_{m1} \cdot \ln X_m}$$

(Gl. 7.29)

mit: $ZG^*_{i,j}$.....zum Zeitpunkt t^* erfasste und berechnete Zustandsgröße des Zustandsmerkmals i auf dem Abschnitt j

$K^e_{i,j}$.....exponentieller Kalibrierfaktor für das Zustandsmerkmal i auf dem Abschnitt j

Welcher exponentielle Modellparameter für die Kalibrierung herangezogen wird, hängt von der bezugnehmenden erklärenden Variablen ab. Die abschnittsbezogene Kalibrierung kann jedoch nur an einem einzigen Modellparameter vorgenommen werden, da bereits durch einen einzigen Kalibrierfaktor die Bedingung $ZG^*_{i,j} \in Y^*_{i,j}$ erfüllt wird.

7.3.3.3.2 Berechnung des Kalibriervektors

Im Vergleich zur Anwendung eines Kalibrierfaktors, der die Modellparameter der Verhaltensfunktion ändert, wird bei der Verwendung eines Kalibriervektors die Verhaltensfunktion nicht verändert. Die Kalibrierung erfolgt durch eine Verschiebung der nicht kalibrierten deterministischen Verhaltensfunktion in die aus den zuletzt erfassten Messgrößen berechnete Zustandsgröße eines bestimmten Abschnitts. Die Grundlage für die Berechnung eines Verschiebungsvektors liegt in der Definition der Verhaltensfunktion in Form eines Vektors. Dabei muss die Verhaltensfunktion über mehr als eine reelle veränderliche Größe beschrieben werden. Als reelle veränderliche Größen werden dabei jene erklärenden Variablen bezeichnet, deren Wert sich zeitabhängig ändert (z.B. Alter des Oberbaus, kumulierte Normlastwechsel, JDTV, etc.). Auch der Funktionswert stellt eine veränderliche (zeitabhängige) Größe dar, sofern mindestens eine der erklärenden Variablen eine reelle veränderliche Größe ist. Die Verhaltensfunktion des Zustandsmerkmals *i* mit *n* reellen Veränderlichen kann daher als Spaltenvektor der Dimension *n* wie folgt definiert werden:

$$\vec{Y}_i = \begin{pmatrix} X_1(t) \\ X_2(t) \\ X_3(t) \\ \vdots \\ X_n(t) = Y_i \end{pmatrix} \qquad \text{(Gl. 7.30)}$$

Liegt zum Erfassungszeitpunkt t^* eine aus den Messgrößen berechnete Zustandsgröße $ZG^*_{i,j}$ vor, so kann durch eine entsprechende Verschiebung der Verhaltensfunktion $\vec{Y}_{i,j}(t^*)$ zum Zeitpunkt t^* in die Zustandsgröße $ZG^*_{i,j}$ die Verhaltensfunktion kalibriert werden. Die Verschiebung wird dabei durch den Verschiebungsvektor oder Kalibriervektor $\vec{K}_{ZG}$ definiert. Dies bedeutet, dass auch die abschnittsbezogene Zustandsgröße in Vektorschreibweise definiert werden muss:

$$\vec{ZG}^*_{i,j} = \begin{pmatrix} X_1(t^*) \\ X_2(t^*) \\ X_3(t^*) \\ \vdots \\ X_n(t^*) = ZG^*_{i,j} \end{pmatrix} \qquad \text{(Gl. 7.31)}$$

Durch Subtraktion des Wertes der Verhaltensfunktion $\vec{Y}_{i,j}(t^*)$ von der abschnittsbezogenen Zustandsgröße $\vec{ZG}^*_{i,j}$ errechnet sich der Kalibriervektor nach folgender Form:

$$\vec{K}_{ZG} = \overrightarrow{ZG}^*_{i,j} - \vec{Y}_{i,j}(t^*) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ ZG^*_{i,j} - Y_{i,j}(t^*) \end{pmatrix} \qquad \text{(Gl. 7.32)}$$

Die kalibrierte abschnittsbezogene Verhaltensfunktion errechnet sich daher wie folgt:

$$\vec{Y}^*_{i,j} = \vec{Y}_{i,j} + \vec{K}_{ZG} = \begin{pmatrix} X_{1,j}(t) \\ X_{2,j}(t) \\ X_{2,j}(t) \\ \vdots \\ Y_{i,j} + \left(ZG^*_{i,j} - Y_{i,j}(t^*)\right) \end{pmatrix} \qquad \text{(Gl. 7.33)}$$

Legt man die gebräuchliche Darstellungsform von deterministischen Verhaltensfunktionen mit der x-Achse als Zeit- bzw. Verkehrsbelastungsachse und der y-Achse als Zustandsachse der Vektorschreibweise zugrunde, so ergibt sich durch diese Form der Kalibrierung eine vertikale Verschiebung der Verhaltensfunktion. Da ein Straßenabschnitt keine negative Zustandsgröße aufweisen kann, wird durch eine Verschiebung nach unten (gemessene Zustandsgröße ist kleiner als prognostizierte Zustandsgröße) der kontinuierliche Anstieg vom Zeitpunkt *t=0* (Zeitpunkt der letzten wirksamen Instandsetzungsmaßnahme) unterbrochen. Die Randbedingungen werden jedoch nicht verletzt. Anders stellt sich die Situation dar, wenn die Verhaltensfunktion nach oben verschoben wird. Hier kann es passieren, dass die evtl. vorhandene Bedingung $ZG_{i,j}(t=0)=0$ nach der Kalibrierung nicht erfüllt ist. Dies bedeutet, dass die Anwendung eines vertikalen

Verschiebungsvektors nur dann möglich ist, wenn die entsprechenden Randbedingungen nicht verletzt werden.

Eine zweite Möglichkeit für die Kalibrierung einer deterministischen Verhaltensfunktion mit Hilfe eines Verschiebungsvektors liegt in der zeit- und/oder verkehrsbelastungsabhängigen Verschiebung der Funktion in die abschnittsbezogene Zustandsgröße. In Anlehnung an die gebräuchlichen Darstellungsformen von Verhaltensfunktionen (siehe [56]) empfiehlt es sich, entweder das Alter der Oberbaukonstruktion oder die Verkehrsbelastung in Form von Normlastwechseln als Verschiebungsvektor zu verwenden. Eine gleichzeitige Anwendung von mehreren reellen zeitabhängigen Veränderlichen führt mathematisch zu keinem eindeutigen Ergebnis.

Der Kalibriervektor bei einer horizontalen Verschiebung der deterministischen Verhaltensfunktion errechnet sich aus der Differenz zwischen dem Zeitpunkt t^* (Zeitpunkt der letzten Zustandserfassung) und dem Zeitpunkt t' (= jener Zeitpunkt bei dem die Verhaltensfunktion $\dot{Y}_i$ den Wert $Y_i=ZG^*_{i,j}$ annimmt):

$$\vec{K}_{ZG} = \dot{ZG}^*_{i,j} - \vec{Y}_{i,j}(t') = \begin{pmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ X_{n,j}(t^*) - X_{n,j}(t') \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \qquad \text{(Gl. 7.34)}$$

Die kalibrierte abschnittsbezogene Verhaltensfunktion errechnet sich wie folgt:

$$\vec{Y}^*_{i,j} = \vec{Y}_{i,j} + \vec{K}_{ZG} = \begin{pmatrix} X_{1,j}(t) \\ \vdots \\ X_{n-1,j}(t) \\ X_{n,j}(t) + \left(X_{n,j}(t^*) - X_{n,j}(t')\right) \\ X_{n+1,j}(t) \\ \vdots \\ Y_{i,j} \end{pmatrix} \qquad \text{(Gl. 7.35)}$$

Die horizontale Verschiebung der Verhaltensfunktion in die gemessene, evtl. über die Abschnittslänge gemittelte Zustandsgröße führt entweder zu einem zeit- bzw. belastungsabhängigen Hinausschieben des prognostizierten Zustandes oder zu einem frühzeitigen Erreichen des tatsächlich aufgetretenen Zustandes. Diese Form der Kalibrierung ist im Vergleich zur vertikalen Verschiebung der Verhaltensfunktion praxisnäher und sollte der vertikalen Verschiebung vorgezogen werden, wobei auch hier evtl. vorhandene Randbedingungen unbedingt einzuhalten sind.

Mit Ausnahme von linearen Verhaltensfunktionen, wo sowohl die vertikale als auch die horizontale Verschiebung der Funktion zum gleichen Ergebnis führt, ist die Auswahl der Methode in Abhängigkeit folgender Kriterien zu wählen:

- Zustandsmerkmal
- Mathematische Funktion
- Randbedingungen
- Anzahl der reellen (zeitabhängigen) Veränderlichen

Eine Kombination zwischen einer vertikalen und horizontalen Verschiebung der deterministischen Verhaltensfunktion führt nur unter Festlegung weiterer Bedingungen zu einem mathematisch eindeutigen Ergebnis.

7.3.4 Praktische Anwendung von Verhaltensmodellen

7.3.4.1 Allgemeines

Für die praktische Anwendung von deterministischen Verhaltensfunktionen in der Analysesoftware VIAPMS© kann sowohl auf nationale als auch auf internationale Forschungsprojekte zurückgegriffen werden. Dem Vorzug wird in diesem Zusammenhang nationalen Untersuchungen gegeben, da sie einfacher auf die österreichischen Verhältnisse anwendbar sind und direkt aus den österreichischen Daten abgeleitet werden konnten, mit denen auch eine Analyse durchgeführt wird. Im Zuge des nationalen Forschungsprojekts „Statistische Auswertung von Straßenzustandsdaten“ [22] wurde in den Jahren 1998 bis 2000 ein wichtiger Baustein für die Straßenzustandsprognose entwickelt, der aufgrund seiner Aktualität auch den derzeitigen Stand der nationalen Forschungsergebnisse darstellt. Es wird daher nur in Ausnahmefällen auf andere Forschungsprojekte (z.B. Auswertung von Langzeitbeobachten in der BRD nach [46] oder Projekt PARIS [56]) zurückgegriffen. Im Rahmen von [22] wurden für neuwertige bituminöse Oberbaukonstruktionen aus den Daten der

- visuellen Zustandserfassung 1995, der
- messtechnischen Zustandserfassung 1991 bis 1996, der
- österreichischen SHRP-Strecken und den Ergebnissen einer
- Expertenbefragung

für die Zustandsmerkmale

- Einzelrisse
- Netzrisse
- Oberflächenschäden und
- Spurrinnen

deterministische Verhaltensfunktionen abgeleitet. Diese Ergebnisse können für eine Anwendung im österreichischen Analysesystem herangezogen werden. Für die nicht behandelten Zustandsmerkmale Griffigkeit und Längsebenheit muss auf internationale

Untersuchungen bzw. auf Auswertungen, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführt wurden, zurückgegriffen werden.

Durch die Möglichkeit der abschnittsbezogenen Kalibrierung (siehe Kapitel 7.3.3.2) können Verhaltensfunktionen so verändert werden, dass eine Abhängigkeit von der Instandsetzungsmaßnahme berücksichtigt wird. Deshalb können Verhaltensfunktionen, die z.B. ausschließlich für Neubaukonstruktion entwickelt wurden, prinzipiell auch für bereits ein- oder mehrmals instandgesetzte Abschnitte herangezogen werden.

Für Betondecken und Betondecken mit bituminösem Überzug liegen auf nationaler und internationaler Ebene nur sehr wenige Forschungsergebnisse vor, sodass auch hier in einer ersten Näherung auf die Modelle des Forschungsprojektes „Statistische Auswertung von Straßenzustandsdaten“ [22] zurückgegriffen werden muss. Durch die abschnittsbezogene Kalibrierung ist es auch bei dieser Art der Befestigung möglich, den Fehler sehr gering zu halten.

Die aktuellen Forschungen in diesem Bereich konzentrieren sich derzeit auf die Ableitung verbesserter Verhaltenfunktionen für die „fehlenden“ Zustandsmerkmale Längsebenheit und Griffigkeit sowie für starre Befestigungen und für Oberbaukonstruktionen, die im Zuge ihrer Liegedauer mit unterschiedlichen Erhaltungsmaßnahmen ein- oder mehrmals instandgesetzt wurden. Die vorhandenen Modelle sollen mit den Daten der messtechnischen Zustandserfassung 1999 auf dem ASFINAG-Netz und denen der visuellen Zustandserfassung 2000 verbessert werden. Mit ersten Ergebnissen kann bei diesem Forschungsprojekt im Frühjahr 2002 gerechnet werden, sodass diese Modelle bis Ende 2002 in das Analysesystem implementiert werden könnten.

Die nachfolgenden Kapitel beschreiben die Modelle der einzelnen im österreichischen Analysesystem derzeit verwendeten Zustandsmerkmale auf der Grundlage der beschriebenen Untersuchungen.

7.3.4.2 Verhaltensfunktionen Risse

Im Zuge einer ersten Bewertung bzw. Beurteilung des Zustandsmerkmals Risse werden die Messgrößen, die in Form von Einzelrissen und Netzrissen vorliegen, zum Zustandsmerkmal Risse zusammengefasst (siehe Kapitel 5.4.3.4). Dies geschieht durch eine Umrechnung der Einzelrisse in eine äquivalente geschädigte Netzrissfläche, sodass die Zustandsgröße einen auf die Beobachtungsfläche bezogenen Prozentwert darstellt. Aus diesem Grund werden für das Zustandsmerkmal Risse die Verhaltensfunktionen für Netzrisse nach [22] herangezogen.

Die Entwicklung von Netzrissen auf bituminösen Befestigungen kann durch die Regressoren *Alter* und den Verkehrsbelastungskoeffizienten *VB* (Kenngröße für die Dimensionierung) beschrieben werden. Dabei stellt das Alter bei diesem logarithmischen Modell die entscheidende Einflussgröße dar:

$$Y_{RI} = e^{-3{,}9266+0{,}3028\cdot Alter+0{,}1531\cdot\ln(Alter+0{,}01)-0{,}7577\cdot\ln VB} - 0{,}01 \quad \text{(Gl. 7.36)}$$

mit: Alter .....Alter der Oberbaukonstruktion [Jahre]
VB .....Verkehrsbelastungskoeffizient nach Kapitel 5.3.3

Die nachfolgende Abbildung 83 zeigt den Verlauf des Zustandsmerkmals Risse für über-, unter- und richtig dimensionierte Oberbaukonstruktionen [22]:

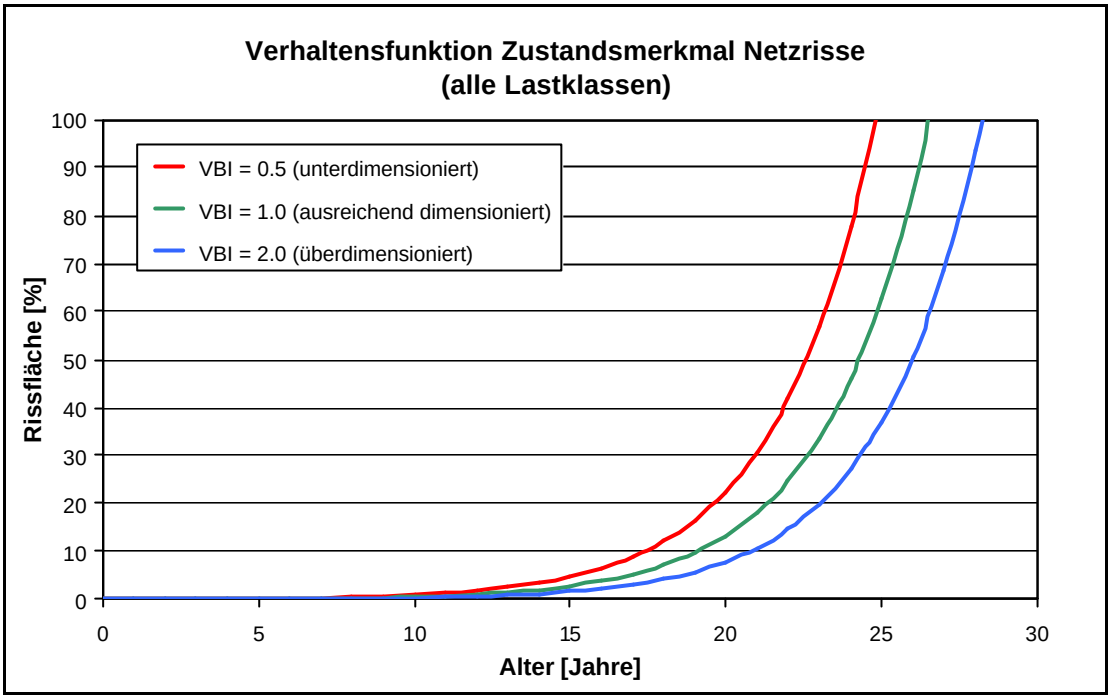


Abbildung 83: Verhaltensfunktionen Zustandsmerkmal Risse nach [22]

Bei einer Anwendung dieser Verhaltensfunktion auf einen Straßenabschnitt *j* wird ein Kalibrierfaktor verwendet. Die sich ergebende abschnittsbezogene Verhaltensfunktion wird durch folgende Gleichung definiert:

$$Y^{*}_{RI,j} = K_{RI,j} \cdot \left(e^{-3{,}9266+0{,}3028\cdot Alter\ +0{,}1531\cdot \ln(Alter+0{,}01)-0{,}7577\cdot \ln VB} - 0{,}01\right) \qquad \text{(Gl. 7.37)}$$

mit: $K_{RI,j}$.....Kalibrierfaktor Risse auf dem Abschnitt j

Zur Vermeidung von unplausiblen hohen und niedrigen Werten des Kalibrierfaktors wird der Wertebereich durch einen oberen und unteren Grenzwert eingeschränkt. Die Grenzwerte werden mit der 90% und 10%-Perzentile der empirischen Verteilung der Kalibrierfaktoren festgelegt, sodass kein Kalibrierfaktor diesen Wert über- bzw. unterschreiten kann. In der nachfolgenden Abbildung 84 ist die empirische Verteilung der errechneten Kalibrierfaktoren auf den österreichischen Bundesstraßen für bituminöse Befestigungen und für Betondecken dargestellt.

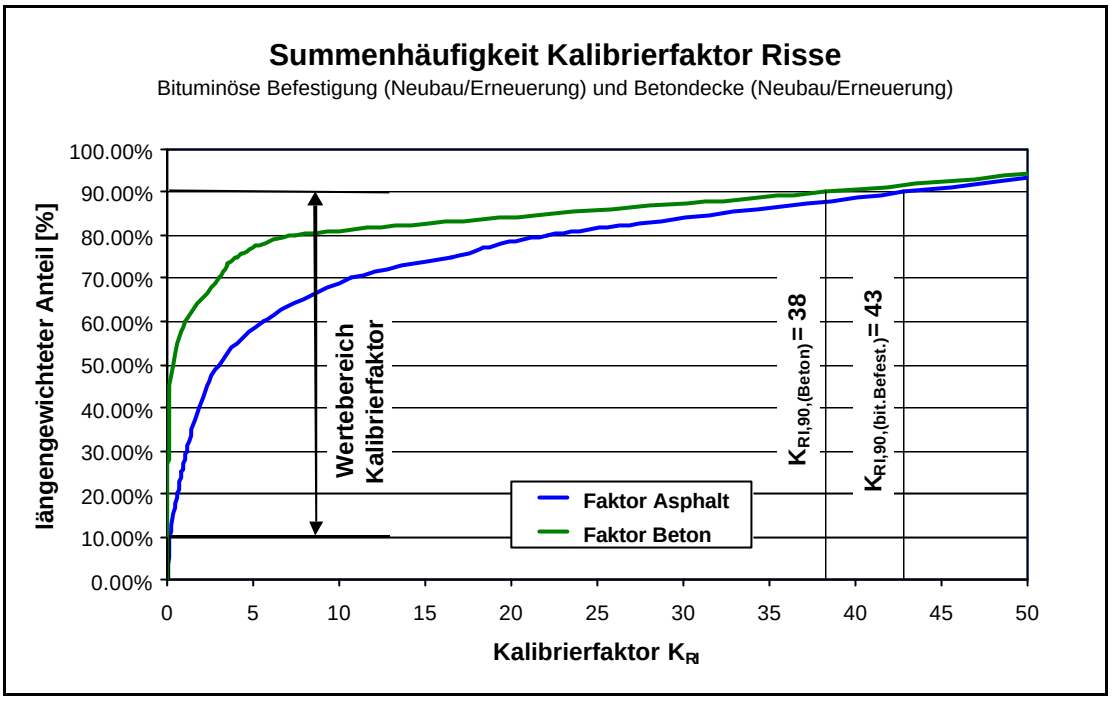


Abbildung 84: Summenhäufigkeit Kalibrierfaktor Risse für bituminöse Befestigungen und für Betondecken (Neubaukonstruktionen)

Auf der Grundlage dieser Festlegungen ergeben sich für den Kalibrierfaktor des Zustandsmerkmals Riss folgende Einschränkungen:

- Bituminöse Oberbaukonstruktion (Neubau):

$$[0{,}12 \leq K_{RI,j,(bit.Befestigung)} \leq 43]$$

- Betondecke:

$$[0{,}005 \leq K_{RI,j,(Betondecke)} \leq 38]$$

7.3.4.3 Verhaltensfunktionen Oberflächenschäden

Die Entwicklung von Oberflächenschäden von bituminösen Befestigungen kann nach [22] allein durch den Regressor *Alter* beschrieben werden. Das Modell ergab sich im wesentlichen auf der Grundlage der Vorinformationen durch die Daten der SHRP-Strecken:

$$Y_{OS} = -8{,}3246 + 2{,}4522 \cdot Alter \qquad \text{(Gl. 7.38)}$$

mit: Alter .....Alter der Oberbaukonstruktion (Deckschicht) [Jahre]

Die nachfolgende Abbildung 85 zeigt den Verlauf des Zustandsmerkmals Oberflächenschäden nach [22]:

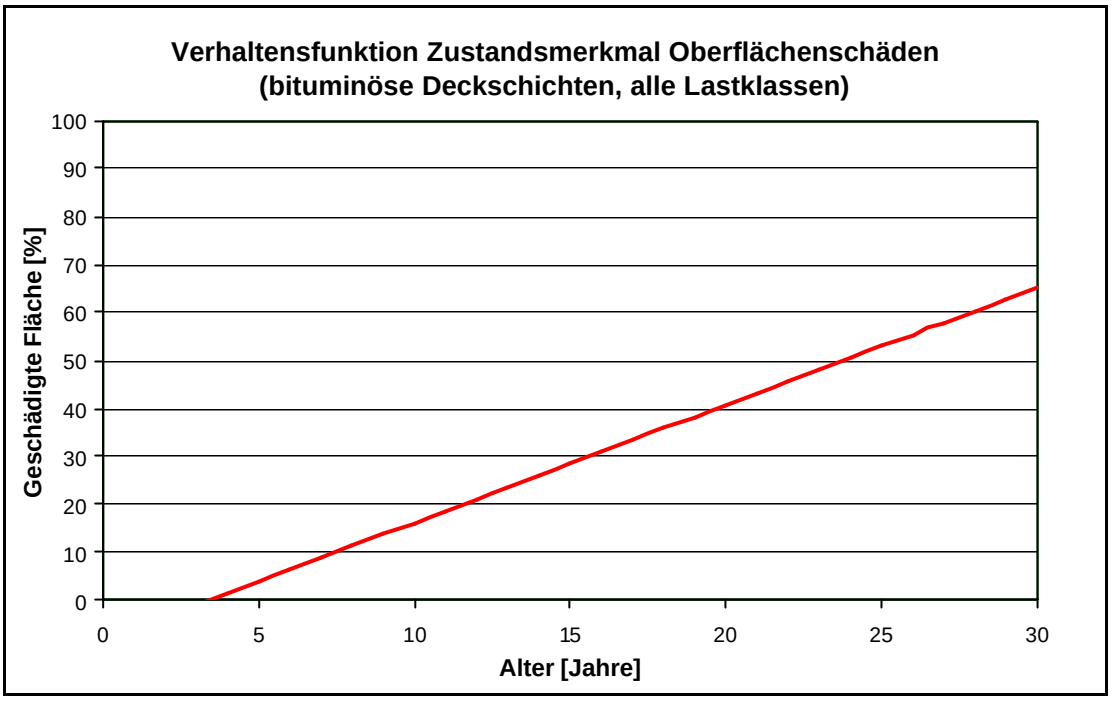


Abbildung 85: Verhaltensfunktion Zustandsmerkmal Oberflächenschäden für bituminöse Deckschichten nach [22]

Für die abschnittsbezogene Kalibrierung dieser Verhaltensfunktion wird ein vertikaler Verschiebungsvektor verwendet, der die Verhaltensfunktion in die Zustandsgröße des Abschnitts verschiebt. Die Anwendung eines Kalibrierfaktors würde zu einer Änderung der Neigung dieser linearen Verhaltensfunktion führen. In diesem Fall wäre bei allen Abschnitten der Zeitpunkt vorgegeben (ca. 3,5 Jahre, Schnittpunkt Verhaltensfunktion mit x-Achse) bei dem die ersten Schäden auftreten. Eine falsche Beurteilung der Entwicklung wäre die Folge. Es muss jedoch davon ausgegangen werden, dass der Zeitpunkt des ersten Auftretens eines Schadens die unbekannte Variable darstellt. Diese Überlegung gilt für alle Oberbaukonstruktionen mit einer bituminösen Deckschicht. Die abschnittsbezogene Verhaltensfunktion ist daher definiert durch:

$$Y^{*}_{OS,\,j,(bit.Decke)} = K_{OS,\,j} - 8{,}3246 + 2{,}4522 \cdot Alter_{\,j} \qquad \text{(Gl. 7.39)}$$

mit: $K_{OS,j}$.....Kalibriervektor Oberflächenschäden auf dem Abschnitt j

Die Neigung der linearen Verhaltensfunktion wurde explizit für bituminöse Oberbaukonstruktionen abgeleitet und kann daher in dieser Form nicht für Betondecken herangezogen werden. Bei Oberflächenschäden auf Betondecken handelt es sich in erster Linie um Schäden im Bereich der Fugen (Fugenausbrüche, Abplatzungen im Bereich der Fugen, etc.) und nur vereinzelt um große flächenhafte Abplatzungen (z.B. bei bewehrten Betondecken). Ein Fortschreiten des Schadens erfolgt aus diesem Grund in der Regel langsamer als bei bituminösen Deckschichten. Oberflächenschäden erreichen auf Betondecken in der Regel auch nicht jenes Ausmaß wie auf bituminösen Deckschichten. Zur Beschreibung der Zustandsentwicklung von Oberflächenschäden auf Betondecken muss daher der Anstieg der Schädigung in Abhängigkeit von den Werten der Zustandserfassung definiert werden. Um dies zu ermöglichen, wird hier in

einer ersten Näherung die lineare Funktion der bituminösen Decken durch ein Polynom 3-ter Ordnung unter Anwendung eines Kalibrierfaktor ersetzt (siehe Abbildung 86):

$$Y^{*}_{OS,\,j,(Betondecke)} = K_{OS,\,j,(Betondecke)} \cdot \left(0{,}0023 \cdot Alter_j^{3} + 0{,}1221 \cdot Alter_j^{2} + 0{,}5305 \cdot Alter_j\right) \qquad \text{(Gl. 7.40)}$$

mit: $K_{OS,j,Betondecke}$ ..... Kalibrierfaktor Oberflächenschäden Betondecke auf dem Abschnitt j

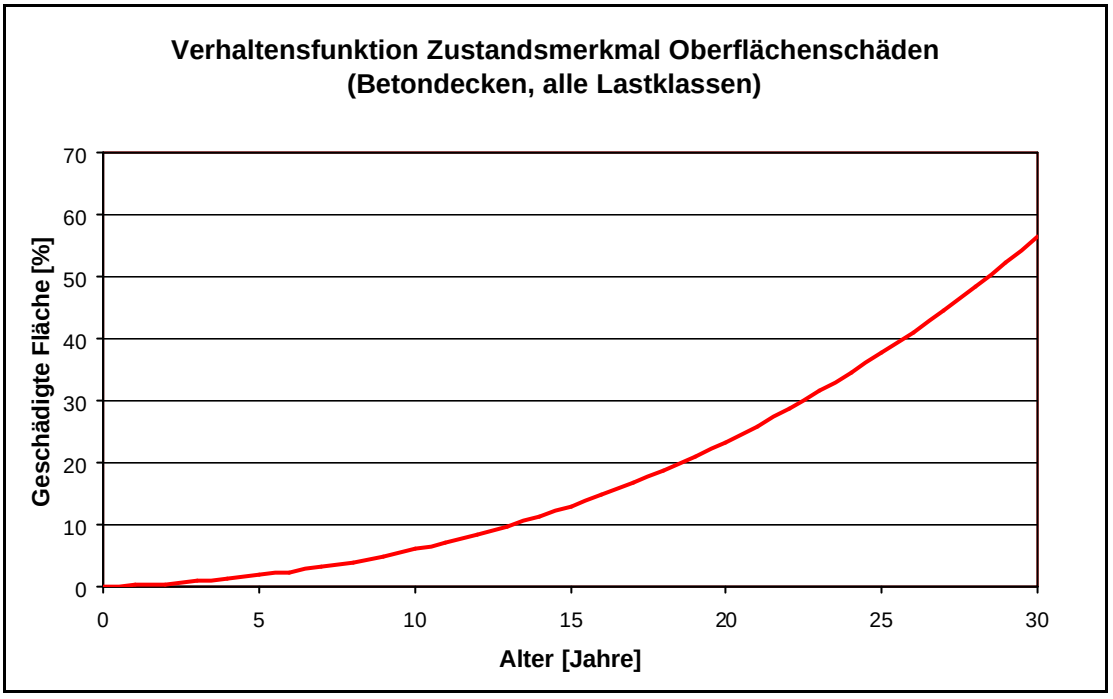


Abbildung 86: Verhaltensfunktion Zustandsmerkmal Oberflächenschäden für Betondecken

Zur Vermeidung von unplausiblen hohen und niedrigen Werten des Kalibrierfaktors für die abschnittsbezogene Verhaltensfunktion Oberflächenschäden auf Betondecken, muss auch hier der Wertebereich eingeschränkt werden. Der obere und untere Grenzwert ergibt sich wiederum durch die 90% und 10%-Perzentile der empirischen Verteilung des Kalibrierfaktors auf dem österreichischen Bundesstraßennetz mit:

$$[0{,}03 \le K_{OS,\,j,(Betondecke)} \le 1{,}4]$$

7.3.4.4 Verhaltensfunktionen Spurrinnen

Die Entwicklung des Zustandsmerkmals Spurrinnen auf bituminösen Oberbaukonstruktionen kann nach [22] durch die Regressoren *Alter*, Verkehrsbelastungskoeffizient *VB* und kumulierte Normlastwechsel NLW_{kum} beschrieben werden. Dabei stellt auch für dieses Zustandsmerkmal das *Alter* die entscheidende Einflussgröße dar:

$$Y_{SR} = Alter^{0{,}999} \cdot VB^{-0{,}0619} \cdot NLW_{kum}^{0{,}0685} \qquad \text{(Gl. 7.41)}$$

mit: Alter .....Alter der Oberbaukonstruktion
VB .....Verkehrsbelastungskoeffizient nach Kapitel 5.3.3
NLW_{kum}....Kumulierte Normlastwechsel in 100.000 nach Kapitel 5.3.2.3

Die nachfolgende Abbildung 87 zeigt den Verlauf des Zustandsmerkmals Spurrinnen für richtig dimensionierte Oberbaukonstruktionen in Abhängigkeit von den Lastklassen [22]:

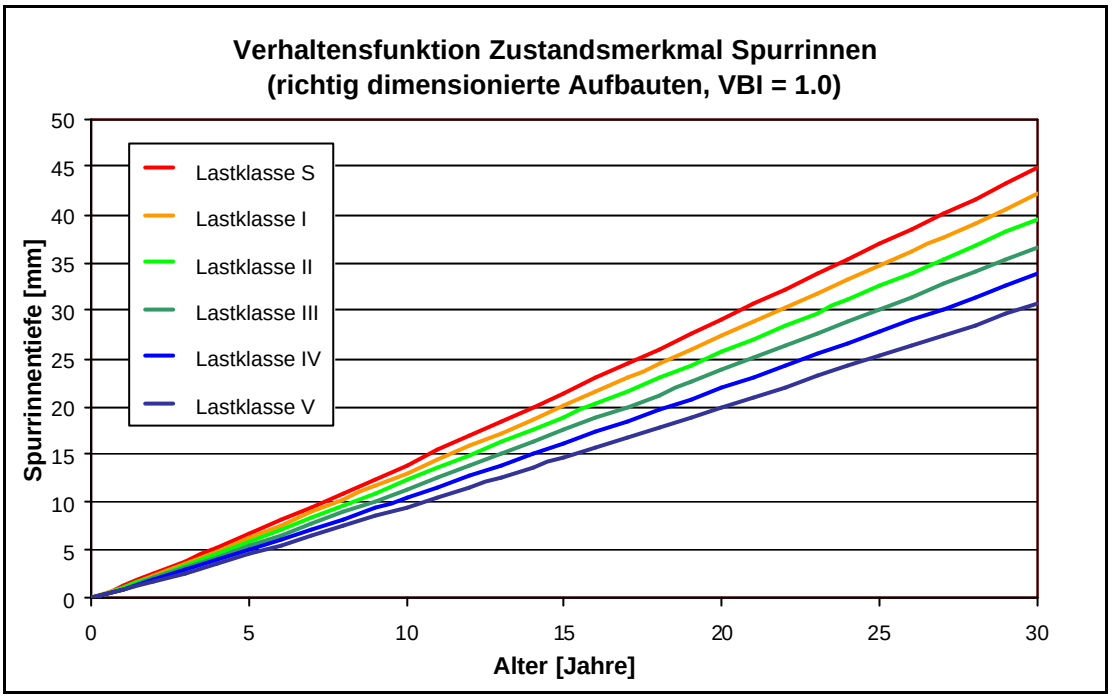


Abbildung 87: Verhaltensfunktionen Zustandsmerkmal Spurrinnen nach [22]

Zur Gewährleistung der Randbedingungen wird für das Zustandsmerkmal Spurrinnen ein Kalibrierfaktor herangezogen, der zu folgender abschnittsbezogener Verhaltensfunktion führt:

$$Y^{*}_{SR,j} = K_{SR,j} \cdot \left(Alter_j^{0,999} \cdot VB_j^{-0,0619} \cdot NLW_{kum,j}^{0,0685} \right) \qquad \text{(Gl. 7.42)}$$

mit: $K_{SR,j}$.....Kalibrierfaktor Spurrinnen auf dem Abschnitt j

Die 10%- und 90%-Perzentile sollen wiederum zur Vermeidung einer unrealistisch hohen und niedrigen Werten des Kalibrierfaktors eine Abgrenzung ermöglichen. Grundlage ist auch hierfür die statistische Auswertung der Kalibrierfaktoren auf dem österreichischen Bundesstraßennetz, sodass in Abhängigkeit vom Bautyp der Oberbaukonstruktion folgendes gilt:

- Bituminöse Oberbaukonstruktion (Neubau):

$$[0,2 \le K_{SR,j,(bit.Befestigung)} \le 1,2]$$

- Betondecke:

$$[0,12 \le K_{SR,j,(Betondecke)} \le 0,74]$$

7.3.4.5 Verhaltensfunktionen Griffigkeit

Für das Zustandsmerkmal Griffigkeit liegen derzeit keine Untersuchungsergebnisse zur Definition von Verhaltensfunktionen vor. Um dieses sehr wichtige Einzelmerkmal im Rahmen der Analyse dennoch berücksichtigen zu können, wird auf die Messreihe jedes einzelnen Abschnittes zurückgegriffen. Die Anwendung des gleichen Messsystems und des gleichen Messfahrzeuges im Rahmen der messtechnischen Zustandserfassung 1991 bis 1996 und der messtechnischen Zustandserfassung 1999 auf dem ASFINAG-Netz ermöglicht eine Ableitung der Schadensentwicklung an Hand einer Zeitreihenuntersuchung. Geringfügige Änderungen zwischen den Messungen (z.B. Messreifen, Messspur, etc.) werden im Zuge der Untersuchungen vernachlässigt.

Diese Vorgangsweise ist derzeit ausschließlich für das Zustandsmerkmal Griffigkeit möglich, da 1991 bis 1996 für das Zustandsmerkmal Spurrinnen ein anderes Messsystem verwendet wurde und das Zustandsmerkmal Längsebenheit in diesem Zeitraum nur visuell-sensitiv und nicht messtechnisch erfasst wurde.

Als mathematische Funktion wird in Anlehnung an [24] aufgrund von fehlenden wissenschaftlich nachgewiesenen Zusammenhängen für eine erste Näherung eine Gerade gewählt. Liegen auf einem Abschnitt j zwei Messwerte zu unterschiedlichen Zeitpunkten t_1 und t_2 vor, so ergibt sich für einen Zeitpunkt $t>t_2$ unter der Bedingung, dass zwischen t_1 und t keine Instandsetzungsmaßnahme durchgeführt wurde folgende Zustandsgröße Griffigkeit (siehe Abbildung 88):

$$ZG_{GR,j}(t) = Y^{*}_{GR,j} = ZG_{GR,j}(t_2) + K_{GR,j} \cdot (t - t_2) \qquad \text{(Gl. 7.43)}$$

mit:

$$K_{GR,j} = \Delta m = \frac{ZG_{GR,j}(t_2) - ZG_{GR,j}(t_1)}{t_2 - t_1} \qquad \text{(Gl. 7.44)}$$

und: $ZG_{GR,j}(t)$ ...Zustandsgröße Griffigkeit zum Zeitpunkt t auf dem Abschnitt j
$K_{GR,j}$.....Kalibrierfaktor Griffigkeit auf dem Abschnitt j (Steigung der Geraden bzw. jährliche Änderung der Reibungsbeiwertes $\Delta\mu$)
t_1, t_2.....Erfassungszeitpunkte

Da langfristige Verbesserungen des Reibungsbeiwertes ohne bauliche Maßnahmen auszuschließen sind, wird der untere Grenzwert aus Plausibilitätsgründen mit 0 festgelegt. Eine Erklärung für die Verbesserung des Reibungsbeiwertes kann dem Kapitel 6.4.2.6 entnommen werden. Die 10%-Perzentile der empirischen Verteilung (entspricht einer Normalverteilung) der jährlichen Änderung des Reibungsbeiwertes $D\mu$ auf den Autobahnen und Schnellstraßen liefert den oberen Grenzwerte des Anstiegs. Für den Kalibrierfaktor Griffigkeit ergeben sich daher folgende Randbedingungen.

- Bituminöse Deckschichten:

$$[-0{,}024 \le K_{GR,j,(bit.Decke)} < 0]$$

- Betondecken:

$$[-0{,}027 \leq K_{GR,\,j,(Betondecke)} < 0]$$

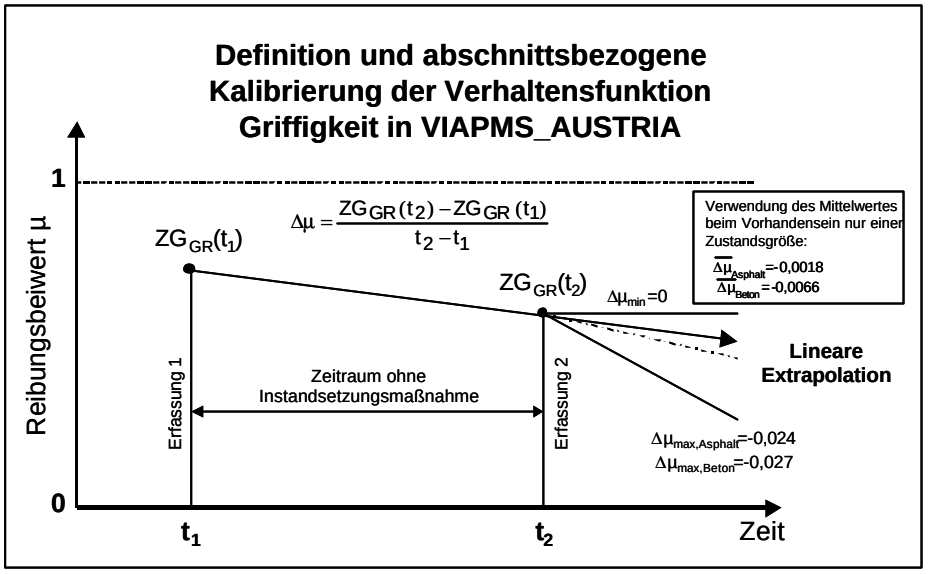


Abbildung 88: Schematische Darstellung zur Berechnung der Verhaltensfunktion für das Zustandsmerkmal Griffigkeit

Die nachfolgende Abbildung 89 zeigt die Dichtefunktion der jährlichen Änderung des Reibungsbeiwertes *Dμ* in Abhängigkeit von der Deckschicht (bit. Deckschicht oder Betondecke):

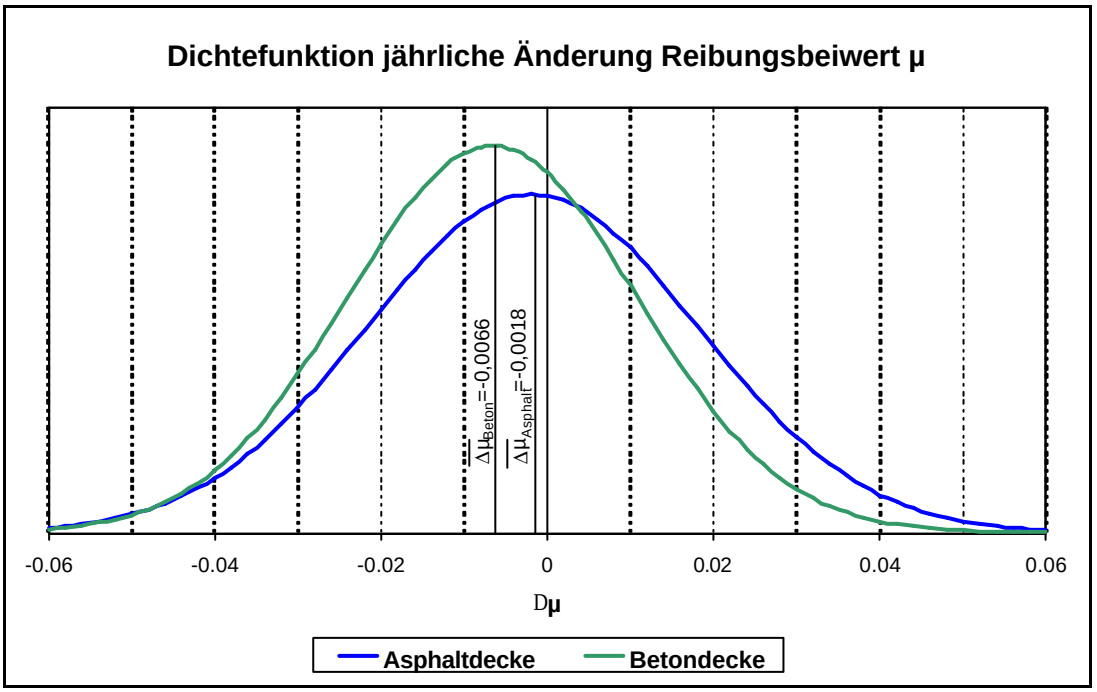


Abbildung 89: Verteilung der jährlichen Änderung des Reibungsbeiwertes μ

Liegen auf dem zu untersuchenden Abschnitt keine zwei Messwerte vor oder wurde dieser Abschnitt zwischen den Messungen instandgesetzt, ist eine Kalibrierung über die Zeitreihe nicht mehr möglich. In diesem Fall wird auf der Grundlage der Verteilung der jährlichen Änderung des Reibungsbeiwertes $D\mu$ die 50%-Perzentile herangezogen, sodass sich für einen Abschnitt j in Abhängigkeit vom Bautyp folgende Verhaltensfunktion ergibt:

- Bituminöse Deckschicht

$$ZG_{GR,j,(bit.Decke)}(t) = Y^{*}_{GR,j} = ZG_{GR,j}(t_2) - 0{,}0018 \cdot (t - t_2) \quad \text{(Gl. 7.45)}$$

- Betondecke:

$$ZG_{GR,j,(Betondecke)}(t) = Y^{*}_{GR,j} = ZG_{GR,j}(t_2) - 0{,}0066 \cdot (t - t_2) \quad \text{(Gl. 7.46)}$$

Diese Annahme kann nur im Zuge einer neuerlichen Griffigkeitsmessung verifiziert werden.

Die Griffigkeit hat im Rahmen der Prognose der Zustandsentwicklung nur eine sehr geringe Bedeutung, da sie eine sehr moderate zeitabhängige Änderung aufwiest. Für eine schlechte Griffigkeit zeichnet daher in vielen Fällen bereits die Ausgangssituation (Reibungsbeiwert in den ersten Jahren nach der Herstellung der Deckschicht) verantwortlich.

7.3.4.6 Verhaltensfunktion Längsebenheit

Für das Zustandsmerkmal Längsebenheit, das im Rahmen der messtechnischen Zustandserfassung 1999 erstmalig in Form des IRI-Wertes (International Roughness Index, [m/km]) erfasst wurde, liegen noch keine Untersuchungsergebnisse für Verhaltensfunktionen vor. Die Änderung der Erfassungsmethodik von der Zustandserfassung 1995 auf die messtechnische Erfassung 1999 verhindert auch eine Zeitreihenanalyse, wie sie beim Zustandsmerkmal Griffigkeit angewendet wurde. Es muss daher bei diesem Zustandsmerkmal auf internationale oder nationale Untersuchungen anderer europäischer Länder zurückgegriffen werden.

Im Zuge des PARIS-Projekts [56], bei dem auch Österreich eingebunden war, wurde auch das Zustandsmerkmal Längsebenheit einer statistischen Untersuchung unterzogen. Die Ergebnisse sind jedoch für eine praktische Anwendung in einem PMS nicht ausreichend genau, was vor allem auf die große Streuung der verwendeten Daten zurückzuführen ist. Es wird bei diesem Zustandsmerkmal lediglich die Form der Verhaltensfunktion definiert, die bei bituminösen Befestigungen einer Geraden entsprechen sollte.

Bessere Ergebnisse im Hinblick auf die Ableitung einer Prognose des Zustandsmerkmals Längsebenheit liefern die Untersuchungen nach [46], wo anhand einer Vielzahl von Messungen ein funktioneller Zusammenhang zwischen dem Zuwachs der Längsunebenheit und der Zeit abgeleitet werden konnte. Der Hauptunterschied zwischen den deterministischen Verhaltensfunktionen nach [46] und den österreichischen Längsebenheitsmesswerten ist in der Dimension der Messergebnisse zu finden. Wird in Österreich seit 1999 die Längsebenheit über den international

gebräuchlichen *IRI* definiert, so werden in Deutschland die Kennwerte der Längsebenheit durch die spektrale Dichte $F_h(W_o)$ in [cm^3] oder durch die dimensionslose Längsneigungsvarianz *SV* ausgedrückt. Für eine Anwendung dieser Forschungsergebnisse im österreichischen Analysesystem muss daher in einem ersten Schritt eine Umrechnung der spektralen Dichte bzw. der Längsneigungsvarianz in den IRI-Wert durchgeführt werden. Die Daten der deutschen Untersuchungen nach [46] bezogen sich in erster Linie auf die Längsneigungsvarianz und wurden nur über eine näherungsweise Umrechnung in die spektrale Dichte transformiert. Zur Gewährleistung einer ausreichenden Genauigkeit wird daher die Längsneigungsvarianz für die Bestimmung eines Zusammenhangs (Transformationsfunktion) herangezogen. Die Längsneigungsvarianz *SV* ist nach [57] wie folgt definiert (siehe auch):

$$SV = \frac{1}{n-1} \cdot \left[\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \frac{1}{n} \cdot \left(\sum_{i=1}^{n} x_i \right)^2 \right] \qquad \text{(Gl. 7.47)}$$

mit: n.....Anzahl der Werte der i.A. alle 30 cm gemessenen Neigung
x_i.....i-te Neigungsermittlung (‰)

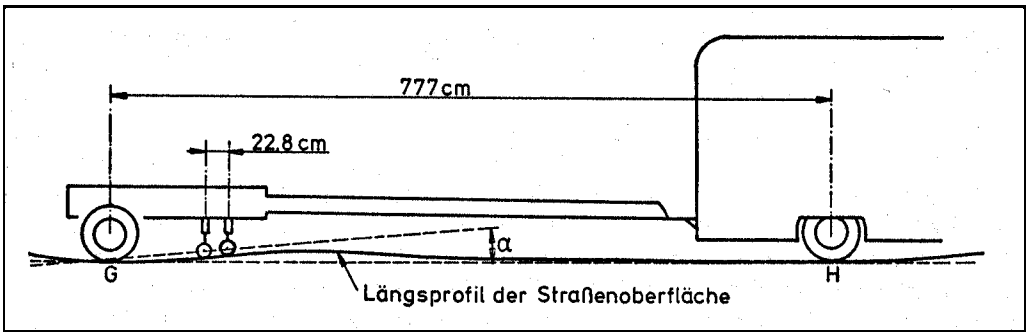


Abbildung 90: Schematische Darstellung der Messung der Längsneigungsvarianz nach [57] mit dem Profilometer

Ein Zusammenhang zwischen der Längsneigungsvarianz *SV* und dem *IRI* ist nur indirekt über einen speziellen „Befahrbarkeitswert“ möglich, der den subjektiven Einfluss der Längsebenheit auf den Fahrer bzw. das Fahrzeug beinhaltet. Dieser Befahrbarkeitswert PSI (Present Serviceability Index) wurde nach [57] erstmalig am Rande der Hauptuntersuchungen des AASHO-Straßentestprojekts mit der Längsneigungsvarianz korreliert. Grundlage für die erhaltene Funktion bildeten statistische Auswertungen des subjektiven Längsebenheitsempfindens von Testfahrern auf mehr als 120 Teststrecken. Dieser funktionelle Zusammenhang wurde im Zuge von [57] zur Bestimmung einer „Wahrnehmungsstärke“ der Längsebenheit auf die österreichischen Verhältnisse übertragen. Dabei wird vorausgesetzt, dass neben einem ständigen Kontakt zwischen Rad und Fahrbahn ausschließlich die infolge der Straßenoberfläche hervorgerufenen Vertikalbeschleunigungen einen Einfluss besitzen.

Der so erhaltene Befahrbarkeitswert PSI ergibt sich nach [57] in Abhängigkeit vom Bautyp der Oberbaukonstruktion über folgende Gleichungen:

$$PSI_{(bit.Oberbau)} = 5{,}03 - 1{,}91 \cdot \log(1 + SV) \qquad \text{(Gl. 7.48)}$$

$$PSI_{(Betondecke)} = 5{,}41 - 1{,}80 \cdot \log(1 + SV) \qquad \text{(Gl. 7.49)}$$

mit: PSI.....Present Serviceability Index

Um den gewünschten Zusammenhang zu erhalten, muss nun der Befahrbarkeitswert *PSI* mit dem *IRI* in Verbindung gebracht werden. Dabei kann auf Vergleichsuntersuchungen zwischen unterschiedlichen Längsebenheitskennwerten und dem IRI-Wert im Rahmen der Entwicklung des Pavement Management Systems HDM III [58] zurückgegriffen werden. Dieser lautet:

$$IRI \approx 5{,}5 \cdot \ln\left(\frac{5{,}0}{PSI}\right) \qquad \text{(Gl. 7.50)}$$

mit: IRI .....International Roughness Index [m/km]

Es ergibt sich daher für die Umrechnung der Längsneigungsvarianz *SV* in den *IRI* in Abhängigkeit von der Bautype des Oberbaus folgende Näherung:

$$IRI_{(bit.Oberbau)} \approx 5{,}5 \cdot \ln\left[\frac{5{,}0}{5{,}03 - 1{,}91 \cdot \log(1 + SV)}\right] \qquad \text{(Gl. 7.51)}$$

$$IRI_{(Betondecke)} \approx 5{,}5 \cdot \ln\left[\frac{5{,}0}{5{,}41 - 1{,}80 \cdot \log(1 + SV)}\right] \qquad \text{(Gl. 7.52)}$$

Dieser nur als Näherung definierte Zusammenhang ermöglicht dennoch eine Anwendung der deutschen Untersuchungen im österreichischen Analysesystem, da auch bei diesem Zustandsmerkmal eine abschnittsbezogene Kalibrierung durchgeführt wird. Die für unterschiedliche Bereiche (Damm, Einschnitt und geländegleiche Lage) und Bautypen definierten Verhaltensfunktionen müssen lediglich im Bezug auf die erklärenden Variablen auf die österreichischen Verhältnisse angepasst werden. Da die österreichischen Daten keine Informationen über den Bereich der Straße (Damm, Einschnitt und geländegleiche Lage) und die Querneigung beinhalten, wird aus Sicherheitsüberlegungen der Dammbereich mit einer mittleren Querneigung von 2,5% (entspricht Querneigung in der Geraden) gewählt. Für bituminöse Befestigungen ergibt sich nach [46] folgende Verhaltensfunktion für den Zuwachs der Längsneigungsvarianz:

$$\Delta SV_{(bit.Oberbau)} = 7{,}16 \cdot 10^{-7} \cdot NLW_{kum} + 0{,}08322 \cdot Alter - 0{,}765 + 0{,}25 \cdot AZSV \qquad \text{(Gl. 7.53)}$$

mit: ΔSV.....Zuwachs Längsneigungsvarianz [-]
NLW_{kum}....Kumulierte Normlastwechsel nach Kapitel 5.3.2.3
Alter .....Alter der Deckschicht [Jahre]
AZSV.....Längsneigungsvarianz am Prognosebeginn [-]

Um diese Verhaltensfunktion in die gemessene Zustandsgröße des Abschnitts *j* zu verschieben, wird ein vertikaler Kalibriervektor verwendet, der es erlaubt, die letzten

beiden Terme (additive Konstante) der Verhaltensfunktion nach [46] zu streichen. Für das Zustandsmerkmal Längsebenheit in Form des IRI-Wertes ergibt sich folgende abschnittsbezogene Verhaltensfunktion:

$$Y^{*}_{LE,\,j,(bit.Oberbau)} = 5{,}5 \cdot \ln\left[\frac{5}{5{,}03 - 1{,}91 \cdot \log(1 + 7{,}16 \cdot 10^{-7} \cdot NLW_{kum,\,j} + 0{,}08322 \cdot Alter_{Decke,\,j})}\right] + K_{LE,\,j}$$

(Gl. 7.54)

mit: $K_{LE,j}$.....Kalibrierfaktor Längsebenheit auf dem Abschnitt j

Die nachfolgende Abbildung 91 zeigt die Verhaltensfunktion für das Zustandsmerkmal Längsebenheit in Abhängigkeit von den einzelnen Lastklassen (NLW_{kum}) für bituminöse Oberbaukonstruktionen. Eine Verbesserung und Vereinfachung der Verhaltensfunktionen des Zustandsmerkmals Längsebenheit wird im Rahmen der Weiterführung des Forschungsprojekts „Statistische Auswertung von Straßenzustandsdaten“ [22] durchgeführt, sodass diese Funktionen derzeit nur eine erste Näherung darstellen.

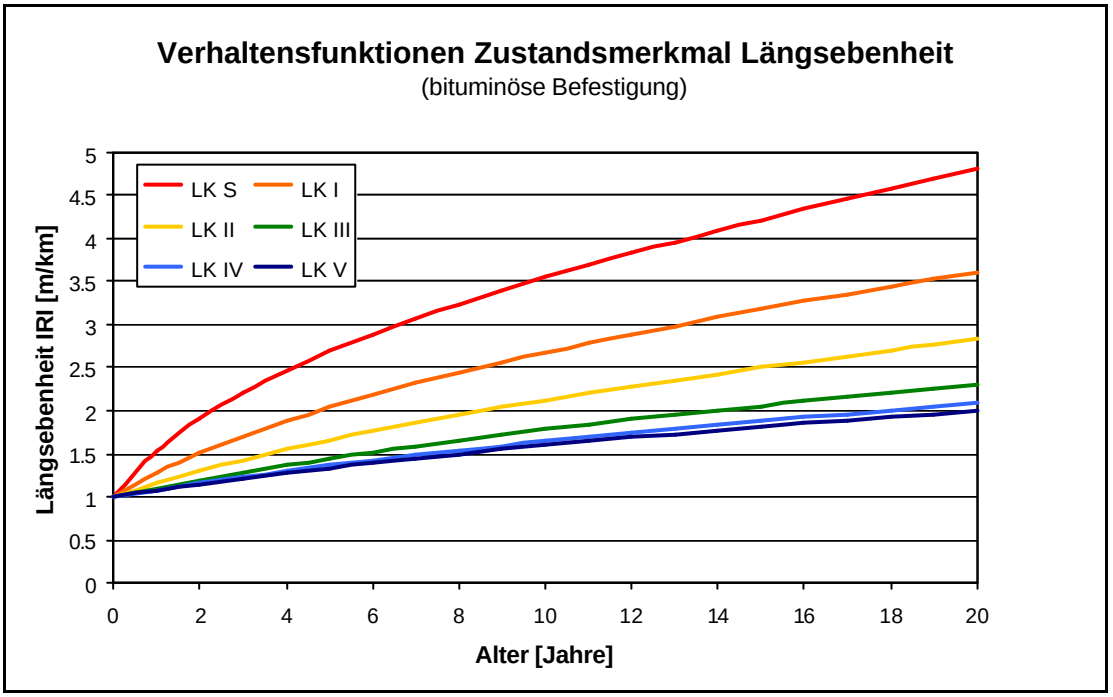


Abbildung 91: Verhaltensfunktionen Zustandsmerkmal Längsebenheit für bituminöse Oberbaukonstruktionen

Im Gegensatz zu den bituminösen Befestigungen, wo das Alter eine wesentliche Rolle spielt, wird der Zuwachs der Längsneigungsvarianz bei Betondecken ausschließlich über die kumulierten Normlastwechsel definiert. Die nachfolgende Gleichung wurde nach [46] für eine Normachslast von 8,2 t ermittelt und muss daher über das 4-te Potenzgesetz auf die in Österreich verwendete 10 t Normachslast umgerechnet werden:

$$\Delta SV_{(Betondecke)} = 8{,}79 \cdot 10^{-23} \cdot NLW_{kum}{}^{3} \cdot \left(\frac{10}{8{,}2}\right)^{4} + 0{,}49 = 1{,}94 \cdot 10^{-22} \cdot NLW_{kum}{}^{3} + 0{,}49$$

(Gl. 7.55)

Die abschnittsbezogene Verhaltensfunktion für das Zustandsmerkmal Längsebenheit (IRI-Wert) auf dem Abschnitt *j* ist definiert durch:

$$Y^{*}_{LE,j,(bit.Oberbau)} = 5{,}5 \cdot \ln\left[\frac{5}{5{,}41 - 1{,}80 \cdot \log(1 + 1{,}94 \cdot 10^{-22} \cdot NLW^{3}_{kum,j})}\right] + K_{LE,j}$$

(Gl. 7.56)

Die nachfolgende Abbildung 92 zeigt die Verhaltensfunktion für das Zustandsmerkmal Längsebenheit für Betondecken und Betondecken mit bituminösem Überzug der Lastklassen S, I und II:

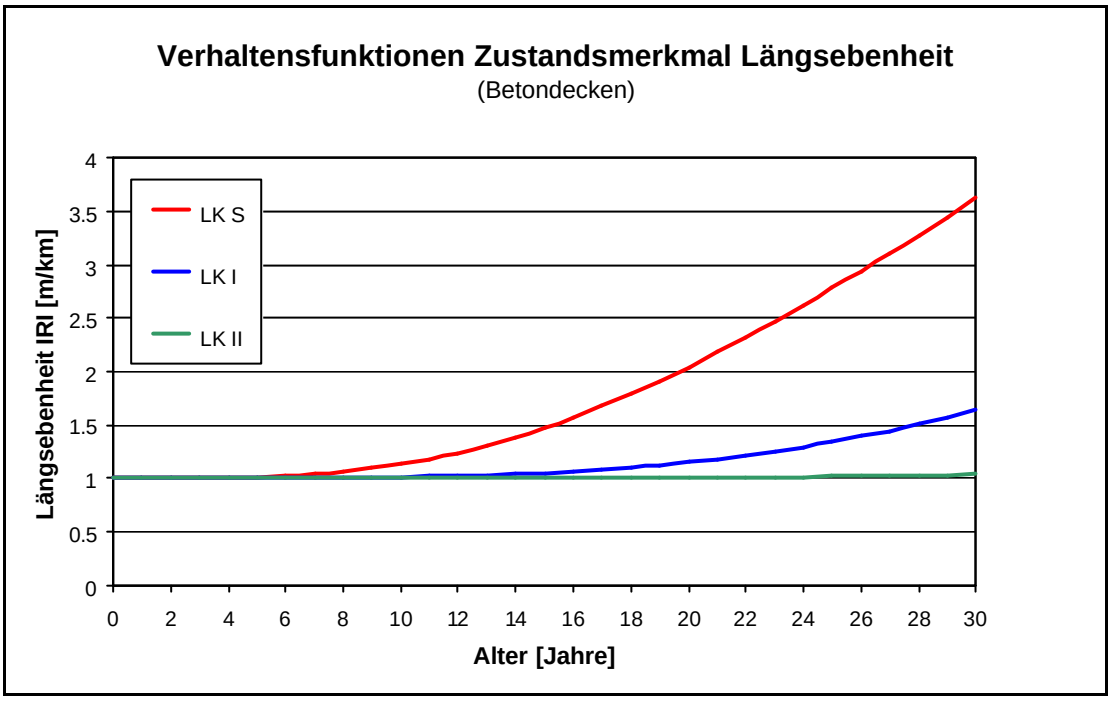


Abbildung 92: Verhaltensfunktionen Zustandsmerkmal Längsebenheit für Betondecken und Betondecken mit bituminösem Überzug

7.3.5 Extrapolation von Zustandsgrößen

In den meisten Fällen ist das gegenwärtige Jahr, ab dem die Prognose oder Untersuchung begonnen werden soll (Startjahr), nicht das Jahr der Erfassung eines Zustandsmerkmals. Um einen Fehler aus der Zeitdifferenz zwischen dem gegenwärtigen Jahr und dem Jahr der Erfassung zu vermeiden, muss die Zustandsgröße auf das gegenwärtige Jahr extrapoliert werden. Eine Extrapolation ist dann möglich, wenn die Prognose des Zustandsmerkmals möglich ist, also wenn eine Verhaltensfunktion definiert werden konnte. Für die Extrapolation muss die abschnittsbezogene (kalibrierte) Verhaltensfunktion verwendet werden. Die nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 93 und Abbildung 94) zeigen in Abhängigkeit von der durchgeführten Kalibrierung die Ermittlung von extrapolierten Eingangswerten (Zustandsgrößen) für die Analyse.

Die extrapolierte Zustandsgröße ergibt sich durch die Berechnung der abhängigen Variablen des Zustandsmerkmals i für den Zeitpunkt t_0 (Beginn der Analyse) unter Anwendung der kalibrierten Verhaltensfunktion.

$$ZG_{i,j,0} = Y^*_{i,j}(t_0) \quad \text{oder} \quad ZW_{i,j,0} = \overline{Y}^*_{i,j}(t_0) \qquad \text{(Gl. 7.57)}$$

mit: t_0 .....Zeitpunkt des Beginns der Analyse

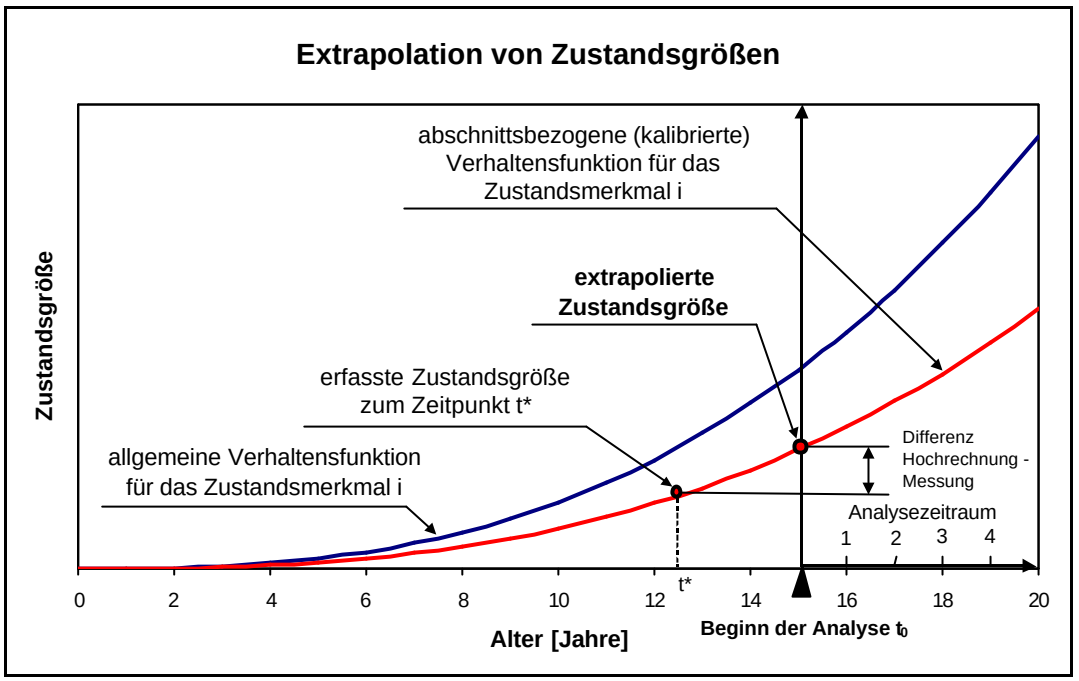


Abbildung 93: Extrapolation von Zustandsgrößen von Verhaltensfunktionen (kalibriert mit einem Kalibrierfaktor)

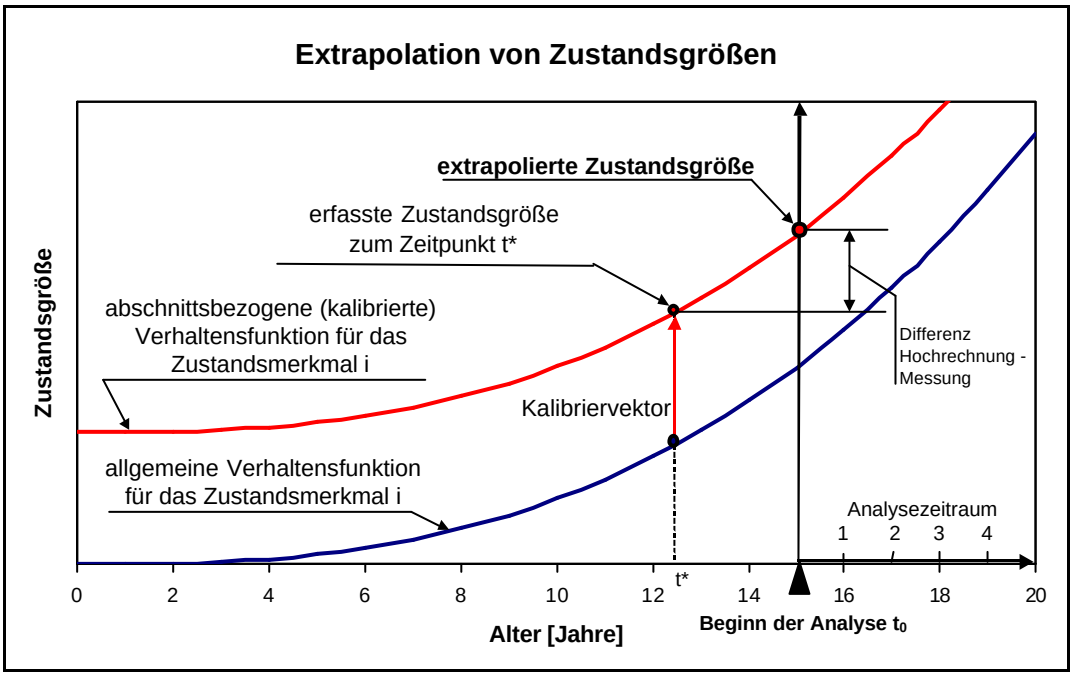


Abbildung 94: Extrapolation von Zustandsgrößen von Verhaltensfunktionen (kalibriert mit einem Kalibriervektor)

7.3.6 Verhaltensfunktionen nach Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahmen

7.3.6.1 Allgemeines

Um Erhaltungsmaßnahmen miteinander vergleichen zu können, müssen die Auswirkungen im Hinblick auf die Baulastträgerkosten, den Straßenzustand oder die Nutzerkosten untersucht werden. Dabei ist neben der Verbesserung des Straßenzustandes zum Zeitpunkt der Durchführung der Maßnahme, ausgedrückt z.B. über Rücksetzwerte, auch die nachfolgende Zustandsentwicklung von entscheidender Bedeutung. Eine Erhaltungsmaßnahme, die nur eine kurzzeitige Verbesserung des Straßenzustandes verursacht, wird einen geringeren Nutzen aufweisen, als eine Maßnahme, die eine länger wirksame Zustandsänderung zur Folge hat. Wird der Nutzen von Erhaltungsmaßnahmen über den Straßenzustand berechnet, so hat die Entwicklung des Straßenzustandes nach dem Durchführen einer Erhaltungsmaßnahme einen wesentlichen Einfluss auf die Nutzen-Kosten-Untersuchung, unabhängig ob der Nutzen monetär (über Nutzerkosten) oder nicht monetär bewertet wird.

Die Entwicklung des Straßenzustandes nach Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahmen ist dabei von folgenden Einflussgrößen abhängig:

- Erhaltungsmaßnahme
- Straßenzustand vor dem Durchführen der Erhaltungsmaßnahme
- Zustandsentwicklung vor dem Durchführen der Erhaltungsmaßnahme
- Verbesserter Straßenzustand nach dem Durchführen der Erhaltungsmaßnahme (Rücksetzwert)
- Aufbaugeschichte der Oberbaukonstruktion (wurde der Abschnitt bereits ein- oder mehrmals instandgesetzt)

Die Zustandsentwicklung zwischen dem Jahr der letzten Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahme (evtl. Neubaumaßnahme) und dem Beginn der Analyseperiode t_0 wird durch die abschnittsbezogene (kalibrierte) Verhaltensfunktion bestimmt, die sich auf der Grundlage von Erfassungs- oder Messgrößen ergibt. Die Zustandsentwicklung nach einem Maßnahmenvorschlag in der Analyseperiode (Definition siehe Kapitel 7.3.6.2) muss durch eine neue oder „weiterführende“ Verhaltensfunktion unter Zugrundelegung der beschriebenen Einflussgrößen beschrieben werden. Eine Beurteilung dieser Einflussgrößen erfolgt für jedes Einzelmerkmal separat. Die Entwicklung des Gesamtstraßenzustandes ist wiederum das Ergebnis einer Beurteilung und Zusammenfassung der Einzelmerkmale zu jedem bestimmten Zeitpunkt t.

7.3.6.2 Zeitbegriffe für Verhaltensfunktionen

Zur Gewährleistung einer eindeutigen Definition und Ansprache der unterschiedlichen Verhaltensfunktionen müssen verschiedene Zeitbegriffe bzw. Zeitperioden unterschieden werden. Dabei handelt es sich um folgende Definitionen:

- **Analysezeitraum:** Dies ist jener Zeitraum, in dem Auswirkungen von Maßnahmen (Zustandsentwicklung, Nutzenberechnung, etc.) berücksichtigt bzw. berechnet werden. Der Analysezeitraum ist i.A. größer als der Maßnahmenzeitraum, da die Wirkungen einer oder mehrerer Maßnahmen über eine längere Periode zu analysieren sind. Der Beginn des Analysezeitraums wird mit der Kurzbezeichnung t_0 beschrieben.
- **Maßnahmenzeitraum:** Dies ist jener Zeitraum, der für das Durchführen von Maßnahmen vorgesehen ist. Die Wirkungen von Maßnahmen können dabei über den Maßnahmenzeitraum hinaus gehen (siehe Analysezeitraum). Der Beginn des Maßnahmenzeitraums ist mit dem Beginn des Analysezeitraum identisch.
- **Alter des Oberbaus:** Das Alter des Oberbaus ist der Zeitraum zwischen dem Jahr der letzten Maßnahme vor dem Beginn der Analyseperiode (vor Zeitpunkt t_0) und einem bestimmten Zeitpunkt innerhalb der Analyseperiode. Das „Alter des Oberbaus“ wird mit der Kurzbezeichnung *Alter* beschrieben. In einigen Fällen ist es notwendig, das Alter der einzelnen Schichten des Oberbaus getrennt zu betrachten. In diesem Fall wird die Kurzbezeichnung um den Index der Schichtbezeichnung erweitert (z.B. Alter der Tragschicht mit $Alter_{TS}$).
- **Alter ab Instandsetzung:** Dies beschreibt den Zeitraum zwischen dem Jahr, indem eine Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahme vorgeschlagen wird (innerhalb des Analyse- bzw. Maßnahmenzeitraums) und einem bestimmten Zeitpunkt innerhalb der Analyseperiode. Das „Alter ab Instandsetzung“ wird in Anlehnung an [38] mit *AlterInst* abgekürzt. Auch hier kann es vorkommen, dass eine schichtspezifische Angabe dieses Zeitbegriffs notwendig ist.

7.3.6.3 Möglichkeiten der Zustandsentwicklung nach Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahmen

7.3.6.3.1 Allgemeines

Wird der Zustand einer Straße durch eine Instandsetzungsmaßnahme verändert, i.A. verbessert, so ändert sich neben dem zurückgesetzten Zustandswert (siehe Kapitel 6.4) unter Umständen auch die Verhaltensfunktion. Dabei können in Abhängigkeit von der durchgeführten Maßnahme folgende Änderungen der Zustandsentwicklung auftreten:

- Die Zustandsentwicklung ändert sich deutlich gegenüber der gegenwärtigen Entwicklung
- Die Zustandsentwicklung ist identisch mit der gegenwärtigen Entwicklung (keine Änderung)
- Die Zustandsentwicklung zeigt für eine bestimmte Periode eine Abweichung gegenüber der gegenwärtigen Entwicklung

Wird der Schaden durch eine Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahme zur Gänze behoben, so verschiebt sich die Verhaltensfunktion mit ihrem Ursprung in den zurückgesetzten Zustandswert (siehe Abbildung 95).

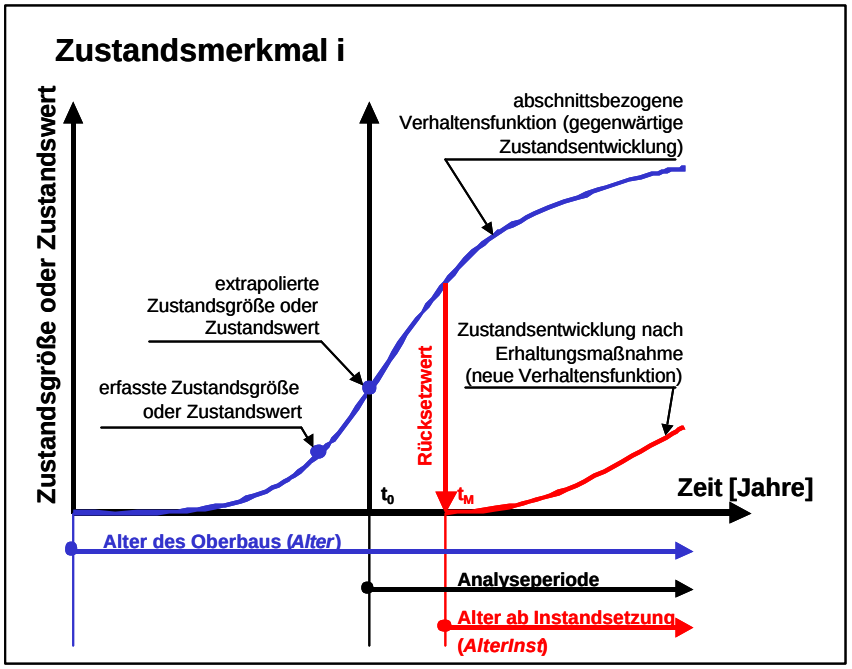


Abbildung 95: Schematische Darstellung der Wirkung von Erhaltungsmaßnahmen auf die Zustandsentwicklung (neue Verhaltensfunktion)

Die Zustandsentwicklung entspricht dabei einer neuen Verhaltensfunktion, deren Altersvariable sich auf den Zeitpunkt t_M dieser Maßnahme bezieht (*AlterInst*). Die Maßnahme kann dabei so weitreichende Auswirkungen besitzen, dass kein Zusammenhang zwischen der gegenwärtigen Zustandsentwicklung und jener nach der Erhaltungsmaßnahme besteht (z.B. Änderung der Funktionsvariablen bei Erneuerungsmaßnahmen).

Bewirkt eine Instandsetzungsmaßnahme lediglich eine Verbesserung der Zustandsgröße oder des Zustandswertes, jedoch keine Veränderung der Tendenz in der Zustandsentwicklung, so muss die Verhaltensfunktion nach der Erhaltungsmaßnahme einen parallelen Verlauf zur gegenwärtigen Zustandsentwicklung aufweisen (siehe Abbildung 96). Die Verhaltensfunktion wird vertikal nach unten verschoben Die Altersvariable für die neue Verhaltensfunktion ist nach wie vor das „Alter des Oberbaus“ (*Alter*).

Ein spezieller Fall ist in diesem Zusammenhang das Durchführen einer Maßnahme ohne direkte Wirkung auf das Zustandsmerkmal (Rücksetzwert=0, z.B. Wirkung der Maßnahme Aufrauen auf das Zustandsmerkmal Risse). In diesem Fall ist keine Änderung der gegenwärtigen Zustandsentwicklung erkennbar. (siehe Abbildung 97).

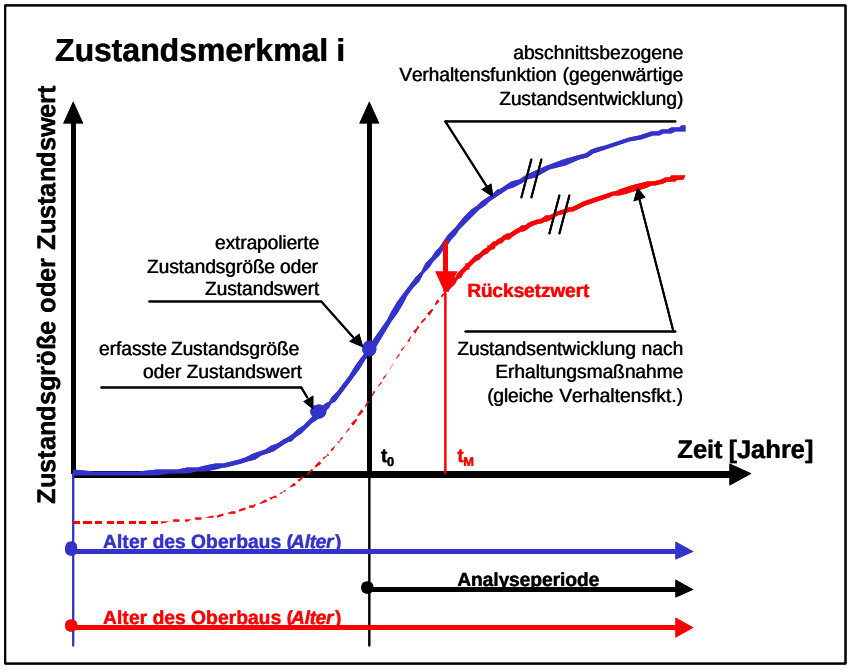


Abbildung 96: Schematische Darstellung der Wirkung von Erhaltungsmaßnahmen auf die Zustandsentwicklung (parallele Verhaltensfunktion)

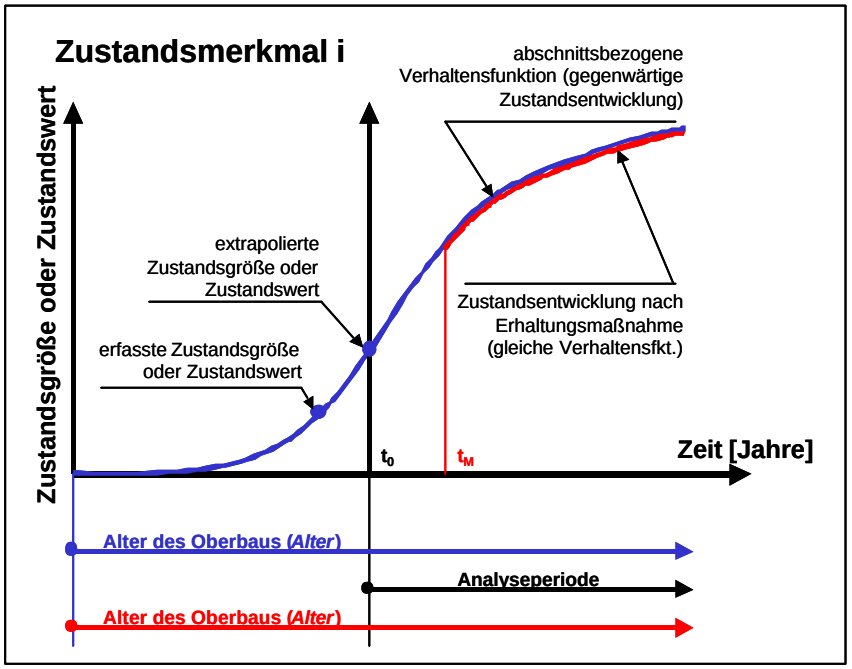


Abbildung 97: Schematische Darstellung der Wirkung von Erhaltungsmaßnahmen auf die Zustandsentwicklung (0-Wirkung)

Zeigt sich nach der Durchführung einer Instandsetzungsmaßnahme nur eine kurzfristige Änderung der Zustandsentwicklung, sodass nach einer gewissen Zeit die vorherige Zustandsentwicklung wieder maßgebend wird, kann die Beschreibung dieser Zeitperiode durch eine „eingefügte“ neue Verhaltensfunktion erfolgen (siehe Abbildung 98). Die Altersvariable dieser Verhaltensfunktion ist das „Alter ab Instandsetzung“ (*AlterInst*) im Vergleich zur darauffolgenden Verhaltensfunktion (alte Zustandsentwicklung), wo das „Alter des Oberbaus“ (*Alter*) wiederum die Zeitvariable darstellt.

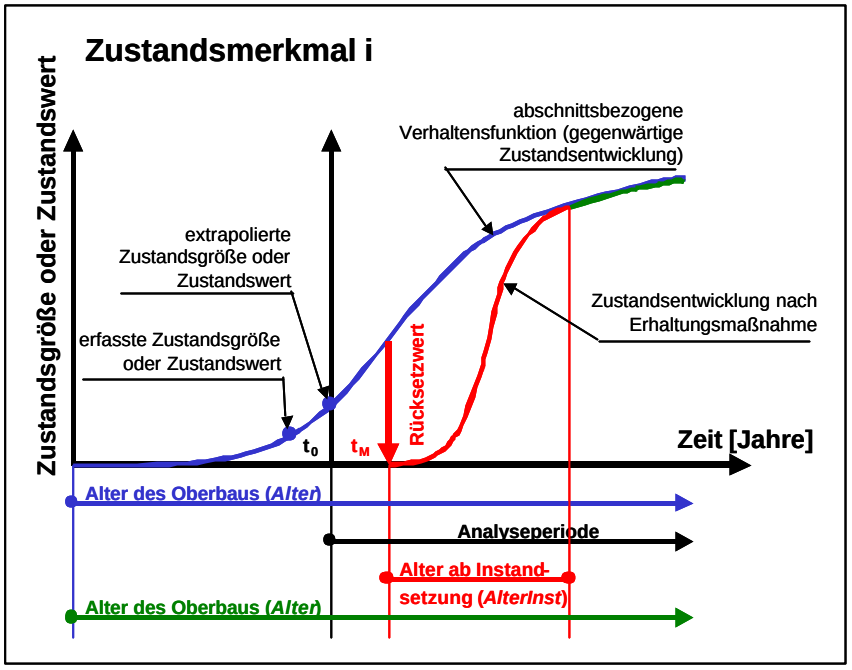


Abbildung 98: Schematische Darstellung der Wirkung von Erhaltungsmaßnahmen auf die Zustandsentwicklung (eingefügte Verhaltensfunktion)

Um eine Aussage über den anzuwendenden Fall bei einer bestimmten Instandsetzungsmaßnahme zu erhalten, müssten einzelne Abschnitte über eine längere Zeitperiode beobachtet und untersucht werden. Ist die Erhaltungsmaßnahme bekannt, lässt sich aus der Zeitreihe für jedes einzelne Zustandsmerkmal die Auswirkung der Maßnahme berechnen. Wie bereits im Zuge der Festlegung von Rücksetzwerten festgestellt werden konnte, sind derartige Informationen in Österreich nicht verfügbar. Aus diesem Grund wird wiederum auf eine im Zuge dieser Arbeit durchgeführte statistische Auswertung der Oberbau- und Zustandsdaten des österreichischen Bundesstraßennetzes zurückgegriffen. Das Ziel dieser Auswertungen besteht in einer genauen Untersuchung der Kalibrierfaktoren in Abhängigkeit von der Erhaltungsmaßnahme. Dabei wird für jeden Maßnahmentyp und jedes Zustandsmerkmal die empirische Verteilung der Kalibrierfaktoren des österreichischen Bundesstraßennetzes untersucht. Aus dem Vergleich der Kalibrierfaktoren zwischen neuwertigen Oberbaukonstruktionen und Oberbauten, die bereits ein- oder mehrmals instandgesetzt wurden, kann die Änderung der Zustandsentwicklung abgeleitet werden.

Die nachfolgende Abbildung 99 zeigt beispielhaft die Summenhäufigkeitslinien des Kalibrierfaktors Risse von Abschnitten mit neuwertigen Oberbaukonstruktionen (Neubau/Erneuerungen) und Abschnitten, die im Rahmen einer Oberflächenmaßnahme zumindest einmal instandgesetzt wurden. Um eine Aussage über die weiterführende Verhaltensfunktion nach dem Durchführen einer Oberflächenmaßnahme auf einem noch nicht instandgesetzten Abschnitt zu erhalten, ist ein Vergleich zwischen bestimmten Kennwerten der empirischen Verteilungen der Kalibrierfaktoren erforderlich. Als Kennwerte können dabei der Mittelwert oder der Median (50%-Perzentile) der Verteilungen herangezogen werden, wobei dem Median der Vorzug gegeben wird, da er direkt aus der Verteilung abgeleitet wird. Dies bedeutet, dass für

jede Maßnahmengruppe ein spezieller Kennwert der Verteilung (in Form des Medians) vorliegt. Diese können nun in Abhängigkeit von der Ausgangssituation und der Erhaltungsmaßnahme in Relation gebracht werden. Im gegenständlichen Beispiel stellt sich daher die Frage der Relation zwischen einem erneuerten bzw. neu gebauten Abschnitt (Ausgangssituation) und einem mit einer Oberflächenmaßnahme instand-gesetzten Abschnitt. Der Median der empirischen Verteilung des Kalibrierfaktors ändert sich beim Wechsel der Maßnahmengruppe (=Durchführung der Maßnahme) um einen Faktor von ca. 2,8 (von 2,98 auf 8,27, siehe Abbildung 99). Dies bedeutet, dass statistisch betrachtet der Anstieg der Verhaltensfunktion nach dem Durchführen dieser Maßnahme ca. 3x größer ist als vor der Maßnahme.

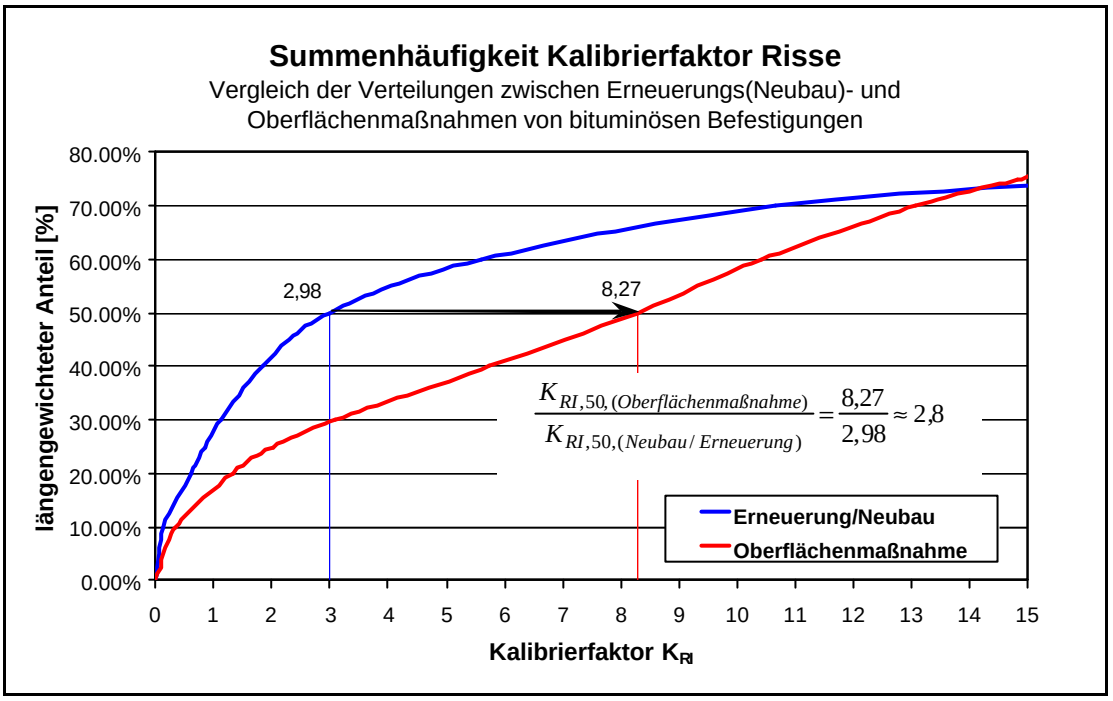


Abbildung 99: Vergleich der Verteilungen zwischen Erneuerungs - und Oberflächenmaßnahmen von bituminösen Befestigungen des Kalibrierfaktors Risse

Der Verlauf der neuen Verhaltensfunktion für das Zustandsmerkmal Risse wird jedoch nur so lange andauern, bis die ursprüngliche Zustandsentwicklung wieder den Verlauf bestimmt (Darstellung siehe Abbildung 98, eingefügte Verhaltensfunktion). Mathematisch kann dies über ein Minimalkriterium zwischen der ursprünglichen und der neuen Verhaltensfunktion gelöst werden:

$$ZG_{RI,(nach\,OM)} = \min[\ 2,8 \cdot Y^{*}_{RI}(AlterInst); Y^{*}_{RI}(Alter)] \qquad \text{(Gl. 7.58)}$$

mit: $ZG_{RI,(nach\ OM)}$.....Wert der Zustandsgröße Risse nach dem Durchführen einer Oberflächenmaßnahme
Y_{RI}^{*}(AlterInst)...Verhaltensfunktion Risse bezogen auf das Alter ab der Instandsetzungsmaßnahme
Y_{RI}^{*}(Alter).....Verhaltensfunktion Risse bezogen auf das Alter des Oberbaus

Neben dem Vergleich der Verteilungen der Kalibrierfaktoren muss jedoch die schichtspezifische Wirkung der Maßnahme berücksichtigt werden. Eine Oberflächenmaßnahme führt zu keiner Verbesserung der Eigenschaften der Tragschichten und darf deshalb auch zu keiner Änderung des Verlaufs der Verhaltensfunktion der bituminösen Tragschicht führen. Dies bedeutet, dass insbesondere für das Zustandsmerkmal Risse eine getrennte Betrachtung der Zustandsentwicklung für Trag- und Deckschichten erforderlich ist. In der nachfolgenden Tabelle 24 werden für das beschriebene Beispiel die Verhaltensfunktionen nach dem Durchführen der Oberflächenmaßnahme getrennt für Deck- und Tragschichten dargestellt (Spalte „Oberflächenmaßnahme“ und Zeile „Erneuerung“). Im Rahmen der Bewertung des Straßenzustandes (Bildung von Teilwerten und dem Gesamtwert, siehe Kapitel 5.4) muss dieser Tatsache auch Rechnung getragen werden. Für die Bildung des Substanzwertes ist daher in erster Linie die Zustandsentwicklung der Tragschicht maßgebend.

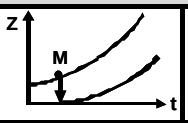
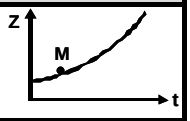
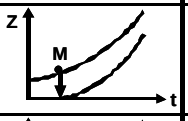
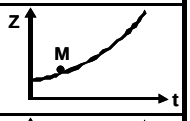
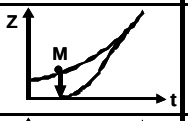
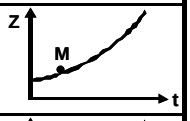
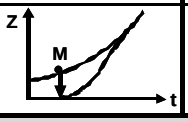
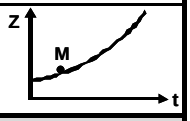
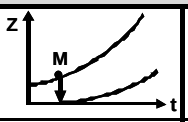
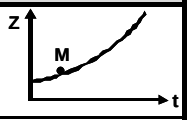
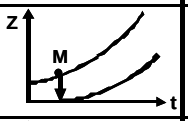
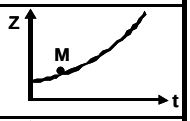
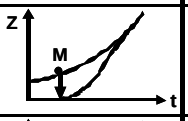
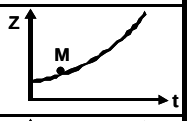
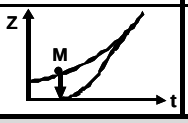
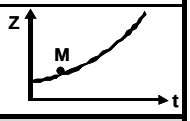
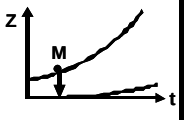
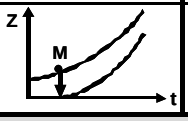
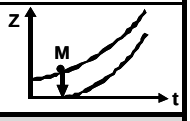
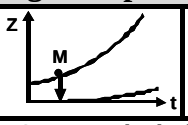
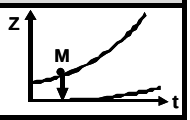
Bei der Festlegung von Verhaltensfunktionen nach Erhaltungsmaßnahmen ergeben sich eine Vielzahl von unterschiedlichen Relationen, die in Abhängigkeit von den Zustandsmerkmalen und den Bautypen in den nachfolgenden Tabellen dargestellt sind. Dabei wird immer in Abhängigkeit von der bestehenden Maßnahmensituation die Änderung des Funktionsverlaufs nach dem Durchführen der Erhaltungsmaßnahme definiert. Wird eine Schädigung durch die Maßnahme zur Gänze beseitigt, so wird die Verhaltensfunktion einer neuwertigen Oberbaukonstruktion herangezogen. Diese Verhaltensfunktion wird danach für das Zustandsmerkmal *i* mit $Y_{E,i}$ bezeichnet.

Zur besseren Erläuterung dieser Vorgangsweise wird folgendes Beispiel im Hinblick auf das Zustandsmerkmal Risse beschrieben:

Im Zuge der Bewertung des Straßenzustandes zeigt sich, dass auf einem Abschnitt, der bereits einmal mit einer neuen Deckschicht instandgesetzt wurde, eine neuerliche Instandsetzung erforderlich wird. Entsprechend den technischen und wirtschaftlichen Anwendungskriterien wird eine Oberflächenmaßnahme als optimale Lösung ausgewählt. Die abschnittsbezogene Verhaltensfunktion des Zustandsmerkmals Risse Y^*(Alter) der Deckschicht wird nach dem Durchführen der Maßnahme durch eine Verhaltensfunktion ersetzt, die einen rascheren Anstieg aufweist und durch die Funktion 1,4Y^*(AlterInst) definiert wird. Neben der Änderung des Anstiegs der Funktion wird auch die Altersvariable auf den Realisierungszeitpunkt der Oberflächenmaßnahme gesetzt (AlterInst). Die Verhaltensfunktion der Tragschicht bleibt hingegen unverändert, da die Maßnahme keinerlei Wirkung auf die Tragschicht ausübt.

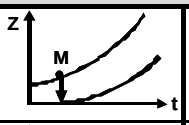
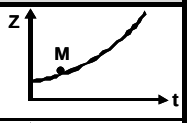
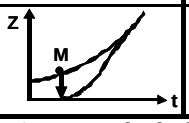
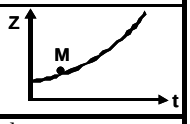
7.3.6.3.2 Zustandsmerkmal Risse

Die nachfolgenden Tabellen (Tabelle 24 und Tabelle 25) definieren für jeden Maßnahmentyp in Abhängigkeit von der Ausgangssituation und Bautype die zu verwendende Verhaltensfunktion nach dem Durchführen einer Erhaltungsmaßnahme:

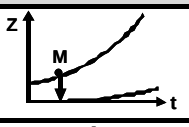
Ausgangs-situation	Erhaltungsmaßnahme			
	Verhaltensfunktion nach Erhaltungsmaßnahme (DS)	**Skizze (DS)**	**Verhaltens-funktion nach Erhaltungs-maßn. (TS)**	**Skizze (TS)**
	Oberflächenmaßnahme			
Oberflächen-behandlung	$Y^*(AlterInst)$		$Y^*(Alter)$	
bituminöse Deckschicht	$1{,}4Y^*(AlterInst)$		$Y^*(Alter)$	
bituminöse Verstärkung	$\min[1{,}8Y^*(AlterInst);Y^*(Alter)]$		$Y^*(Alter)$	
Erneuerung oder Neubau in Asphalt	$\min[2{,}8Y^*(AlterInst);Y^*(Alter)]$		$Y^*(Alter)$	
	Deckschichtmaßnahme			
Oberflächen-behandlung	$0{,}7Y^*(AlterInst)$		$Y^*(Alter)$	
bituminöse Deckschicht	$Y^*(AlterInst)$		$Y^*(Alter)$	
bituminöse Verstärkung	$\min[1{,}3Y^*(AlterInst);Y^*(Alter)]$		$Y^*(Alter)$	
Erneuerung oder Neubau in Asphalt	$\min[2{,}0Y^*(AlterInst);Y^*(Alter)]$		$Y^*(Alter)$	
	Verstärkung			
Oberflächen-behandlung, bituminöse Deckschicht, Verstärkung	$Y_E(AlterInst)$		$Y_E(AlterInst)$	
Erneuerung oder Neubau in Asphalt	$1{,}5Y^*(AlterInst)$		$1{,}5Y^*(AlterInst)$	
	Erneuerung in Asphaltbauweise			
alle bit. Ober-baukonstruk-tionen	$Y_E(AlterInst)$		$Y_E(AlterInst)$	

Y_E .....Verhaltensfunktion für Erneuerungsmaßnahme; DS.....Deckschicht; TS.....Tragschicht; M .....Maßnahme; Z .....Zustand; t.....Zeit

Tabelle 24: Verhaltensfunktionen nach Erhaltungsmaßnahmen für das Zustandsmerkmal Risse (bituminöse Oberbaukonstruktion)

Ausgangs-situation	Erhaltungsmaßnahme			
	Verhaltensfunktion nach Erhaltungsmaßnahme (DS)	Skizze (DS)	Verhaltens-funktion nach Erhaltungs-maßn. (TS)	Skizze (TS)
	Oberflächenmaßnahme			
bit. Überzug auf Betondecke	$Y^*(AlterInst)$		$Y^*(Alter)$	
Betondecke	$\min[38Y^*(AlterInst); Y^*(Alter)]$		$Y^*(Alter)$	

Y_E .....Verhaltensfunktion für Erneuerungsmaßnahme; DS.....Deckschicht; BD.....Betondecke; M .....Maßnahme; Z .....Zustand; t.....Zeit

Ausgangssituation	Erhaltungsmaßnahme	
	Verhaltensfunktion nach Erhaltungsmaßnahme	Skizze
	Erneuerung in Betonbauweise	
bit. Überzug auf Betondecke, Betondecke	$0{,}27\,Y_E(AlterInst)$	

Y_E .....Verhaltensfunktion für Erneuerungsmaßnahme; M.....Maßnahme; Z .....Zustand; t.....Zeit

Tabelle 25: Verhaltensfunktionen nach Erhaltungsmaßnahmen für das Zustandsmerkmal Risse (Betondecken und Betondecken mit bituminösem Überzug)

Bei einigen Erhaltungsmaßnahmen ist für die strukturelle Bewertung der Oberbaukonstruktion eine getrennte Betrachtung von Deck- und Tragschicht sowohl bei bituminösen Befestigungen als auch bei Betondecken durchzuführen. Bei dünnen Deckschichten wird davon ausgegangen, dass nach einer bestimmten Liegezeit das Rissbild der Tragschicht bzw. der Unterlage wieder an der Oberfläche sichtbar wird. Deshalb wird für diesen Zeitraum eine Verhaltensfunktion mit einem höheren Anstieg gewählt, die jedoch nicht die bestehende Entwicklung überschreiten soll (eingefügte Verhaltensfunktion).

Die gewählte Verhaltensfunktion für Erneuerungen bei bituminösen Befestigungen Y_E ist die nicht kalibrierte Verhaltensfunktion des Zustandsmerkmals Risse. Bei Betondecken wird entsprechend der Verteilung der Kalibrierfaktoren auf Betondecken ein Wert von 0,27 in Rechnung gestellt (50%-Perzentile).

7.3.6.3.3 Zustandsmerkmal Oberflächenschäden

Die Kalibrierung des Zustandsmerkmals Oberflächenschäden bei bituminösen Befestigungen erfolgt durch die Anwendung eines vertikalen Verschiebungsvektors. Aus diesem Grund wird die Verhaltensfunktion in ihrer Form und in ihrem Verlauf nicht verändert und es kann unabhängig von der durchgeführten Erhaltungsmaßnahme die in Kapitel 7.3.4.3 beschriebene Funktion verwendet werden.

Die abgeleitete Verhaltensfunktion für Betondecken wurde durch eine Annäherung der linearen Funktion für bituminöse Befestigungen bestimmt (siehe Kapitel 7.3.4.3). Es

ergibt sich daher bei einer Anwendung dieses Polynoms ohne eine entsprechende Kalibrierung ein Verlauf, der einer bituminösen Befestigung entsprechen würde. Aus diesem Grund wird für die Festlegung einer Verhaltensfunktion für neuwertige Betondecken die 50%-Perzentile der empirischen Verteilung des Kalibrierfaktors für Betondecken verwendet (siehe Tabelle 26). Im Zuge der statistischen Auswertung der Summenhäufigkeitsverteilung des Kalibrierfaktors Oberflächenschäden für Betondecken (analoge Vorgangsweise wie bei den Kalibrierfaktoren des Zustandsmerkmals Risse, vgl. Abbildung 99)ergibt sich dabei für die 50%-Perzentile ein Wert von 0,3 (= $K_{OS,50;Beton}$).

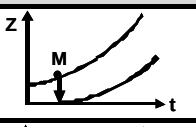
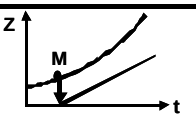
Ausgangssituation	**Erhaltungsmaßnahme**	
	Verhaltensfunktion nach Erhaltungsmaßnahme	**Skizze**
	Oberflächenmaßnahme	
bit. Überzug auf Betondecke	$Y^*(AlterInst)$	
Betondecke	$Y_{E,(bit.Decke)}(AlterInst)$	
	Erneuerung in Betonbauweise	
bit. Überzug auf Betondecke, Betondecke	$0{,}3Y_E(AlterInst)$	
Y_E ....Verhaltensfunktion für Erneuerungsmaßnahme; M .....Maßnahme; Z.....Zustand; t.....Zeit		

Tabelle 26: Verhaltensfunktionen nach Erhaltungsmaßnahmen für das Zustandsmerkmal Oberflächenschäden (Betondecken und Betondecken mit bituminösem Überzug)

Für Betondecken, die mit einer Deckschichtmaßnahme instandgesetzt werden, wird die Verhaltensfunktion für bituminöse Decken herangezogen.

7.3.6.3.4 Zustandsmerkmal Spurrinnen

Die nachfolgenden Tabellen (Tabelle 27 und Tabelle 28) definieren für jeden Maßnahmentyp in Abhängigkeit von der Ausgangssituation und Bautype die zu verwendende Verhaltensfunktion nach dem Durchführen einer Erhaltungsmaßnahme:

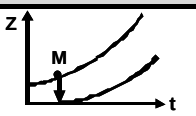
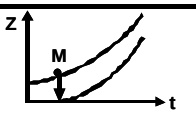
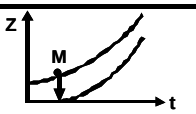
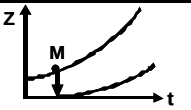
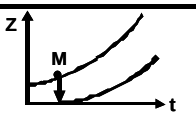
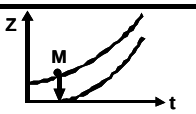
Ausgangssituation	Erhaltungsmaßnahme	
	Verhaltensfunktion nach Erhaltungsmaßnahme	Skizze
	Oberflächenmaßnahme	
Oberflächenbehandlung	$Y^*(AlterInst)$	
instandgesetzte Deckschicht	$1{,}3Y^*(AlterInst)$	
Verstärkung, Erneuerung oder Neubau in Asphalt	$1{,}6Y^*(AlterInst)$	
	Deckschichtmaßnahme	
Oberflächenbehandlung	$0{,}8Y^*(AlterInst)$	
instandgesetzte Deckschicht	$Y^*(AlterInst)$	
Verstärkung, Erneuerung oder Neubau in Asphalt	$1{,}6Y^*(AlterInst)$	
	Verstärkung oder Erneuerung in Asphaltbauweise	
alle bit. Oberbaukonstruktionen	$Y_E(AlterInst)$	
Y_E .... Verhaltensfunktion für Erneuerungsmaßnahme; M ..... Maßnahme; Z ..... Zustand; t ..... Zeit		

Tabelle 27: Verhaltensfunktionen nach Erhaltungsmaßnahmen für das Zustandsmerkmal Spurrinnen (bituminöse Oberbaukonstruktion)

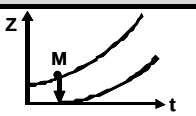
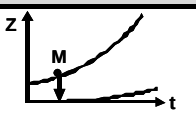
bestehende Maßnahme	Erhaltungsmaßnahme	
	Funktion	Skizze
	Deckschichtmaßnahme	
bit. Überzug auf Betondecke, Betondecke	$Y^*(AlterInst)$	
	Erneuerung in Betonbauweise	
bit. Überzug auf Betondecke, Betondecke	$0{,}33Y_{E,(bit.Oberbau)}(AlterInst)$	
Y_E .... Verhaltensfunktion für Erneuerungsmaßnahme; M ..... Maßnahme; Z ..... Zustand; t ..... Zeit		

Tabelle 28: Verhaltensfunktionen nach Erhaltungsmaßnahmen für das Zustandsmerkmal Spurrinnen (Betondecken und Betondecken mit bituminösem Überzug)

Für die Festlegung der Verhaltensfunktion nach Erneuerungsmaßnahmen in Betonbauweise wird wiederum die empirische Verteilung der Kalibrierfaktoren auf

Betondecken herangezogen (analoge statistische Auswertung wie bei den Kalibrierfaktoren für Betondecken des Zustandsmerkmals Oberflächenschäden), da die verwendete Verhaltensfunktion ausschließlich auf der Grundlage von Daten bituminöser Abschnitte entwickelt wurde (siehe [11]). Die Verwendung dieser Verhaltensfunktion ohne entsprechenden Kalibrierfaktor für erneuerte Erhaltungsabschnitte würde zu einer falschen Prognose (zu rascher Anstieg der Spurrinnentiefe) führen. Der errechnete Faktor entspricht wiederum der 50%-Perzentile der empirischen Verteilung des Kalibrierfaktors auf Betondecken der österreichischen Bundesstraßen ($K_{SR,50;Beton}$ = 0,33).

7.3.6.3.5 Zustandsmerkmal Griffigkeit

Eine Unterscheidung der Zustandsentwicklung nach dem Durchführen einer Erhaltungsmaßnahme erfolgt hier ausschließlich in Abhängigkeit vom Typ der Deckschicht (siehe Tabelle 29).

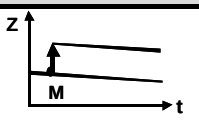
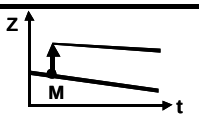
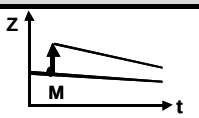
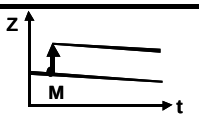
Ausgangssituation Deckschicht	**Erhaltungsmaßnahme**	
	Verhaltensfunktion nach Erhaltungsmaßnahme	**Skizze**
	Erhaltungsmaßnahme mit bit. Decke	
bituminöse Deckschicht	$Y_{E,(bit.Decke)}(AlterInst)$	
Betondecke	$Y_{E,(bit.Decke)}(AlterInst)$	
	Erneuerung in Betonbauweise	
bituminöse Deckschicht	$Y_{E,(Betondecke)}(AlterInst)$	
Betondecke	$Y_{E,(Betondecke)}(AlterInst)$	
Y_E .... Verhaltensfunktion für Erneuerungsmaßnahme; M ..... Maßnahme; Z ..... Zustand; t ..... Zeit		

Tabelle 29: Verhaltensfunktionen nach Erhaltungsmaßnahmen für das Zustandsmerkmal Griffigkeit

Für die Verhaltensfunktion nach dem Durchführen der Maßnahme wird die 50%-Perzentile der Verteilung der jährlichen Änderung des Reibungsbeiwertes herangezogen. Diese Verhaltensfunktion entspricht bei bituminösen Decken der Gleichung 7.45 und bei Betondecken der Gleichung 7.46, wobei der Zeitpunkt t_2 dem Zeitpunkt der Maßnahme t_M entspricht.

7.3.6.3.6 Zustandsmerkmal Längsebenheit

Die nachfolgenden Tabellen (Tabelle 30 und Tabelle 31) definieren für jeden Maßnahmentyp in Abhängigkeit von bestehender Maßnahmensituation und Bautype die

zu verwendende Verhaltensfunktion nach dem Durchführen einer Erhaltungsmaßnahme:

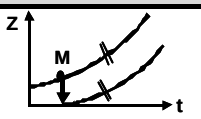
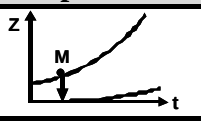
Ausgangssituation	Erhaltungsmaßnahme	
	Verhaltensfunktion nach Erhaltungsmaßnahme	Skizze
	Oberflächenmaßnahme	
alle bituminösen Oberbaukonstruktionen	$Y^*(Alter)$	
	Verstärkung oder Erneuerung in Asphaltbauweise	
alle bituminösen Oberbaukonstruktionen	$Y_E(AlterInst)$	
Y_E ....Verhaltensfunktion für Erneuerungsmaßnahme; M .....Maßnahme; Z.....Zustand; t .....Zeit		

Tabelle 30: Verhaltensfunktionen nach Erhaltungsmaßnahmen für das Zustandsmerkmal Längsebenheit (bituminöse Oberbaukonstruktion)

Eine Änderung der Zustandsentwicklung wird bei diesem Zustandsmerkmal ausschließlich durch Verstärkungs- und Erneuerungsmaßnahmen erreicht. Diese Erhaltungsmaßnahmen verbessern die Tragfähigkeit der Oberbaukonstruktion und somit auch die Entwicklung dieses Zustandsmerkmals. Durch die Anwendung eines Kalibriervektors konnte auf die statistische Untersuchung bei diesem Zustandsmerkmal verzichtet werden.

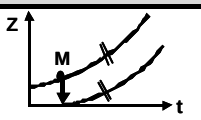
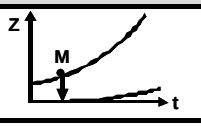
Ausgangssituation	Erhaltungsmaßnahme	
	Verhaltensfunktion nach Erhaltungsmaßnahme	Skizze
	Oberflächenmaßnahme	
bit. Überzug auf Betondecke, Betondecke	$Y^*(Alter)$	
	Erneuerung in Betonbauweise	
bit. Überzug auf Betondecke, Betondecke	$Y_E(AlterInst)$	
Y_E ....Verhaltensfunktion für Erneuerungsmaßnahme; M .....Maßnahme; Z.....Zustand; t .....Zeit		

Tabelle 31: Verhaltensfunktionen nach Erhaltungsmaßnahmen für das Zustandsmerkmal Längsebenheit (Betondecken und Betondecken mit bituminösem Überzug)

7.3.7 Aktualisierung von deterministischen Verhaltensfunktionen

Eine laufende oder periodische Aktualisierung der Straßenzustandsinformationen (Zustandserfassung) ermöglicht auch eine Aktualisierung der deterministischen Verhaltensfunktionen. Bei der Regressionsanalyse muss die Berechnung der neuen Modelle jeweils unter Einbeziehung der alten Daten erfolgen. Der Aufwand zur Aktualisierung bzw. Speicherung der Daten ist aus diesem Grund äußerst arbeits- und rechenintensiv. Zweckmäßiger erscheint hingegen eine Methode, die ausschließlich das alte Ergebnis und die neuen Datensätze verwendet, ohne die alten Datensätze einer neuerlichen Datenanalyse zu unterziehen. Dies kann durch die Anwendung des Bayes-Verfahrens erfolgen. Voraussetzung ist die Kenntnis über die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Parameter des Modells (Bayes-Schätzer) aus der vorangegangen Zustandserfassung bzw. Modellrechnung [59].

Die Wahrscheinlichkeitsverteilung $W_0(q_n)$ des Parameters q_n, einer deterministischen Verhaltensfunktion beinhaltet die Vorkenntnisse oder die Vorinformationen der vorausgegangenen Beobachtungen (Zustandserfassung 1995, Zustandsinformationen der SHRP-Strecken, etc.) und wird deshalb als „A-priori-Verteilung von q_n" bezeichnet. Das Ziel bei der Aktualisierung von Verhaltensfunktionen besteht nun darin, die neuen bzw. zusätzlichen Erkenntnisse über q_n aus den Ergebnissen einer aktuell durchgeführten Zustandserfassung in das Modell der Verhaltensfunktion einfließen zu lassen. Die Vereinigung der Vorkenntnisse und der zusätzlichen Erkenntnisse ergibt das Ergebnis der verbesserten Erkenntnisse mit der Wahrscheinlichkeitsverteilung $W_1(q_n)$ des Parameters q_n, was als „A-posteriori-Verteilung von q_n" bezeichnet wird (siehe Abbildung 100).

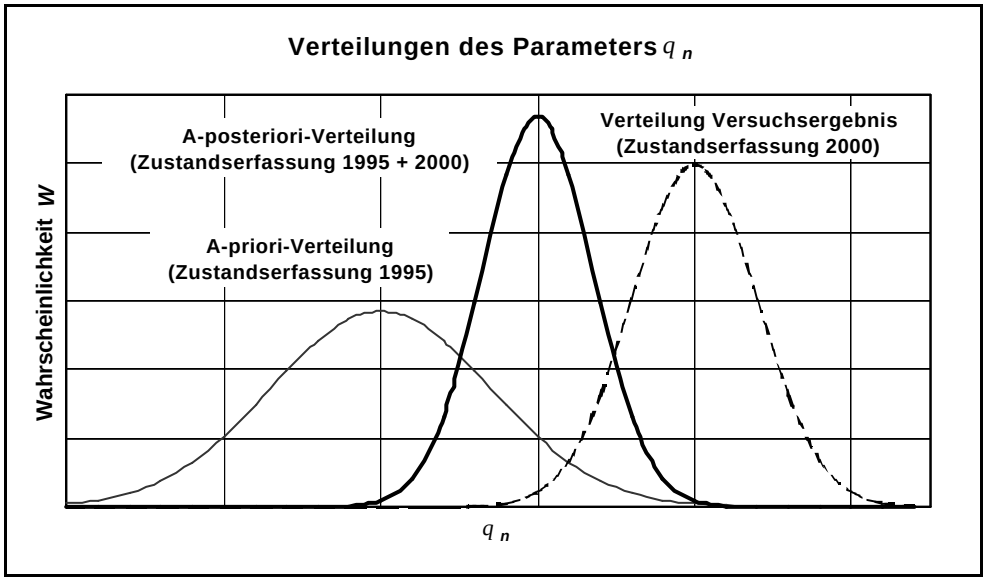


Abbildung 100: A-priori- und a-posteriori-Verteilungen eines Parameters θ_n

Das Bayes-Verfahren ermöglicht unter Verwendung der „Bayes'schen Formel" die Berechnung der A-posteriori-Wahrscheinlichkeit für q_{ni} mit der bedingten Wahrscheinlichkeit $W(A|q_{ni})$ für das Versuchsergebnis A mit:

$$W_1(q_{ni}) = W(q_{ni}|A) = \frac{W_0(q_{ni}) \cdot W(A|q_{ni})}{\sum_i W_0(q_{ni}) \cdot W(A|q_{ni})} \qquad \text{(Gl. 7.59)}$$

mit: $W(A|\theta_{ni})$...Bedingte Wahrscheinlichkeit des Parameters θ_{ni} des Zustandsmerkmals i aus den Informationen des Versuchs A
$W_1(\theta_{ni})$.....A-posteriori-Wahrscheinlichkeit des Parameters θ_{ni} des Zustandsmerkmals i
$W_0(\theta_{ni})$.....A-priori-Wahrscheinlichkeit des Parameters θ_{ni} des Zustandsmerkmals i

In der Folge ist es nun möglich, die hieraus gewonnene Verteilung $W_1(q_n)$ als Ausgangsinformation (a-priori-Information) für einen zweiten Versuch (weitere Zustandserfassung) heranzuziehen, die zum Ergebnis $W_2(q_n)$ verbessert wird usw. Im Grunde genommen beschreibt das Verfahren die Arbeitsweise, die bei der Forschung allgemein üblich ist, wobei man bereits vorhandene Kenntnisse laufend durch neue Versuche oder Beobachtungen verbessert [60].

Genaue Informationen über die Grundlagen des Bayes-Verfahren sowie deren praktische Anwendung können [22] und [60] entnommen werden. In [22] wird auch ein Berechnungsalgorithmus für die Aktualisierung von deterministischen Verhaltensfunktionen unter Anwendung des Bayes-Verfahrens vorgestellt, der es dem Anwender ermöglicht, dieses Verfahren auch ohne intensive wahrscheinlichkeitstheoretische Vorkenntnisse einzusetzen. Auf eine genaue Beschreibung des „Updatingprozesses" wird deshalb in dieser Arbeit verzichtet.

8 Datenanalyse

8.1 Allgemeines

Die Datenanalyse stellt jenen Prozess im System dar, der im wesentlichen automatisiert im Rahmen der Anwendung der Software VIAPMS© durchgeführt wird. Es handelt sich dabei in erster Linie um Prozesse, die nur geringfügige Eingriffe durch den Anwender zulassen. Aus diesem Grund werden in den nachfolgenden Kapiteln im Überblick nur jene Methoden und Grundlagen beschrieben, nach denen in VIAPMS© gerechnet wird. Die programmtechnische Entwicklung der Software VIAPMS© hat das vorrangige Ziel, auch diese Komponenten dem Benutzer zu öffnen und individuelle Einstellungen zu ermöglichen (dTIMS™ CT, VIAPMS© 7.0). Dies bedeutet aber auch, dass sich der Benutzer mittelfristig intensiv mit diesen Bausteinen auseinandersetzen muss.

Das Ziel der Datenanalyse liegt in der Anwendung der in den Kapiteln 5, 6 und 7 beschriebenen Modelle und Berechnungsalgorithmen auf die Daten des zu untersuchenden Straßennetzes. Vorausgesetzt, dass die Vollständigkeit dieser Daten auf diesen Abschnitten gewährleistet ist, können unter den gegebenen Randbedingungen zwei unabhängige Schritte im Zuge der Datenanalyse durchgeführt werden:

1. Wirtschaftlichkeitsuntersuchung: Auswahl der wirtschaftlichsten Erhaltungsmaßnahmen bzw. –strategien auf jedem zu untersuchenden Straßenabschnitt
2. Optimierung: Auswahl der optimalen Erhaltungsmaßnahme bzw. –strategie aus den wirtschaftlichsten Strategien für einen bestimmten Straßenabschnitt unter Vorgabe bestimmter Randbedingungen.

8.2 Wirtschaftlichkeit von Erhaltungsmaßnahmen

8.2.1 Allgemeines

Um eine technisch geeignete Erhaltungsmaßnahme bzw. Erhaltungsstrategie (mehrere in einer bestimmten zeitlichen Reihenfolge durchzuführenden Einzelmaßnahmen) für einen bestimmten Straßenabschnitt auszuwählen, muss diese einer genauen Untersuchung im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit unterzogen werden. Die Wirtschaftlichkeit von Erhaltungsmaßnahmen wird in der Regel durch eine Gegenüberstellung der positiven und negativen Auswirkungen sowohl auf den Straßennutzer als auch auf den Straßenerhalter bzw. Baulastträger definiert. Positive Effekte auf den Straßenzustand oder einzusparende Kosten werden als Nutzen der Erhaltungsmaßnahme bezeichnet, im Vergleich zu den negativen Auswirkungen, die in erster Linie in Form von Maßnahmenkosten und Folgekosten aufscheinen.

Die Wirtschaftlichkeit von Erhaltungsmaßnahmen bzw. -strategien wird i.A. durch Kenngrößen beschrieben, die das Verhältnis zwischen dem Nutzen und den Kosten darstellen (Quotientenkriterium [1]), oder aus der Differenz des Nutzens zu den Kosten abgeleitet werden (Differenzenkriterium [1]). Wird das Differenzenkriterium angewendet, müssen sowohl die Kosten als auch der Nutzen die gleiche (monetäre) Einheit aufweisen. Bei der Anwendung des Quotientenkriteriums ist dies nicht Voraussetzung, sodass in erster Linie diese Form der Beurteilung einer Maßnahme in Hinblick auf ihre Wirtschaftlichkeit im Zuge eines PMS zur Anwendung gelangt. Der Quotient aus dem Nutzen und den Maßnahmenkosten wird als Nutzen-Kosten-Verhälnis *NKV* bezeichnet.

$$NKV_m = \frac{N_m}{K_m} \qquad \text{(Gl. 8.1)}$$

mit: NKV_m.....Nutzen-Kosten-Verhältnis der Erhaltungsmaßnahme m
N_m.....Nutzen der Erhaltungsmaßnahme m
K_m.....Kosten der Erhaltungsmaßnahme m

Je größer das Verhältnis zwischen Nutzen und Kosten ist, desto wirtschaftlicher erscheint eine Erhaltungsmaßnahme. Diese Zahl wird nach [61] auch als makroökonomische Wirtschaftlichkeit bezeichnet. Nach welchen Kriterien der Nutzen einer Erhaltungsmaßnahme bzw. die Maßnahmenkosten bestimmt werden, wird in den nachfolgenden Kapiteln 8.2.3 und 8.2.4 näher erläutert.

Die Auswahl einer geeigneten Erhaltungsmaßnahme hat dabei nach [62] unter Beachtung gesamtwirtschaftlicher Grundsätze zu erfolgen im Gegensatz zur praktischen Durchführung, die – wenn möglich – auf der Grundlage betriebswirtschaftlicher Überlegungen erfolgen sollte. Für die Festlegung von Erhaltungsmaßnahmen im Hinblick auf Maßnahmentyp, Zeitpunkt und Örtlichkeit muss ein (gesamt)wirtschaftliches Ziel formuliert werden, das entweder den Nutzen maximiert oder die Kosten minimiert.

Randbedingungen für dieses Erhaltungsziel ergeben sich aus dem verfügbaren Erhaltungsbudget und/oder aus der Formulierung eines angestrebten Straßenzustandes (z.B. kein Abschnitt über dem Schwellenwert).

8.2.2 Analysezeitraum

Im Zuge einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung von Erhaltungsmaßnahmen bzw. –strategien muss auch der Analysezeitraum festgelegt werden. Als Analysezeitraum wurde nach Kapitel 7.3.6.2 jene Zeitperiode definiert, in welcher Auswirkungen von Erhaltungsmaßnahmen bzw. –strategien untersucht werden. Dieser sollte dabei so gewählt werden, dass die Wirkung der zuletzt vorgeschlagenen Maßnahme nicht 0 ist. Er muss also größer als der Maßnahmenzeitraum (Zeitperiode in welcher Maßnahmen vorgeschlagen werden können) gewählt werden. Nach [38] und [24] sowie den Erfahrungen im Rahmen der ersten Anwendung des österreichischen Analysesystems [23] sollte das Ende des Analysezeitraums mit 10 Jahren nach dem Ende des Maßnahmenzeitraumes angenommen werden. Die Dauer des Maßnahmenzeitraums hängt davon ab, ob neben kurz- und mittelfristigen Maßnahmenvorschlägen auch langfristige Bedarfsprognosen untersucht werden. In der Regel werden für den Maßnahmenzeitraum 20 Jahre veranschlagt (beinhaltet kurz-, mittel- und langfristige Prognosen). Es ergibt sich daher auf der Grundlage dieser Überlegungen ein Analysezeitraum von 30 Jahren.

8.2.3 Nutzen

8.2.3.1 Allgemeines

Wie bereits definiert, beschreibt der Nutzen einer Erhaltungsmaßnahme oder Erhaltungsstrategie die positiven Auswirkungen auf den Straßennutzer und/oder den Straßenerhalter bzw. Baulastträger. Der Vergleich zwischen der „0-Strategie“ (Nichts-Tun-Strategie) und einer bestimmten Erhaltungsmaßnahme ermöglicht die Berechnung des Nutzens. Dieser Nutzen kann dabei

- monetär durch die Ermittlung einzusparender Kosten oder
- nicht monetär, durch die Verwendung von auf den Straßenzustand bezogenen Verhältniszahlen

über eine bestimmte Zeitperiode festgelegt werden.

Voraussetzung für die Berechnung des Nutzens ist die Kenntnis der Entwicklung des Straßenzustandes über die betrachtete Zeitperiode. Bei einer monetären Bewertung ist darüber hinaus ein Zusammenhang zwischen Straßenzustand und Kosten, sowohl auf Seiten des Straßennutzers als auch auf Seiten des Straßenerhalters erforderlich. Liegt dieser Zusammenhang nicht vor, ist eine monetäre Bewertung des Nutzens nicht möglich. Das Bewertungsverfahren zur Beurteilung einer Erhaltungsmaßnahme wird als

- Nutzen-Kosten-Analyse bezeichnet, wenn der Nutzen monetär bewertet wird und als
- Kostenwirksamkeitsanalyse, wenn der Nutzen nicht monetär bewertet wird.

8.2.3.2 Monetäre Bewertung des Nutzens

Für die monetäre Bewertung des Nutzens müssen in einem ersten Schritt Kosten berechnet werden, die entstehen, wenn eine Erhaltungsmaßnahme auf einem Straßenabschnitt durchgeführt wird und eine Änderung des Straßenzustandes damit verbunden ist. Diese Kosten werden als

- Straßenbaulastträgerkosten bezeichnet, wenn sie vom Straßenerhalter getragen werden oder als
- Straßennutzerkosten, wenn sie dem Nutzer der Straße zuzuordnen sind.

8.2.3.2.1 Straßenbaulastträgerkosten

Unter Straßenbaulastträgerkosten versteht man nach [62] jene Kosten, welche bei Bau und Erhaltung von Straßen notwendigerweise anfallen. In diesem Fall beschränken sich die Bau- und Erhaltungskosten auf den Bereich der Oberbaukonstruktion, sodass folgende Unterteilung möglich ist:

- Kosten Neubau K_n: Diese entstehen bei der Errichtung der Oberbaukonstruktion
- Kosten Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahme K_m: Diese entstehen bei der Instandsetzung oder der Erneuerung der Oberbaukonstruktion
- Kosten Instandhaltungsmaßnahmen K_h: Diese entstehen bei der Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen

Die gesamten Straßenbaulastträgerkosten errechnen sich nach [1] durch Summation der Teilkosten über den Analysezeitraum mit:

$$BK = \sum_{t=1}^{n} \left(K_n + K_m + K_i\right) + W_n \qquad \text{(Gl. 8.2)}$$

mit: BK .....Baulastträgerkosten
K_n .....Neubaukosten
K_m.....Kosten Instandsetzung/Erneuerung
K_h .....Kosten Instandhaltung
W_n.....Wertverlust am Ende des Untersuchungs- oder Analysezeitraums

Zur Bestimmung der einzelnen Kosten wird in der Regel auf Abrechnungen, Ausschreibungen, Kostenschätzungen und dgl. zurückgegriffen, sodass im Vergleich zu den Straßennutzerkosten relativ genaue Werte für die Berechnungen zur Verfügung stehen. Für Instandsetzungs-, Erneuerungs- und Instandhaltungsmaßnahmen kann in diesem Zusammenhang auf das Kapitel 6.2 bzw. auf [1] verwiesen werden.

8.2.3.2.2 Straßennutzerkosten

Dem Straßenbenützer entstehen beim Befahren der Straße neben jenen Kosten, welche er bereits über öffentliche Abgaben, insbesondere über Kraftfahrzeug-,

Mineralölsteuer und Straßenbenützungsgebühren (z.B. Maut, Vignette) zu tragen hat, weitere Kosten, die infolge einer Minderung des Straßenzustandes entstehen [1],[62]. Um die maßgeblichen (zusätzlichen) Straßennutzerkosten *NK* zu berechnen, müssen die gesamten Straßennutzerkosten NK_{ges} um jenen Anteil reduziert werden, der sich bei einem idealen Ausgangszustand ergibt. Nach [1] und [62] können die maßgebenden Straßennutzerkosten über bestimmte Teilkosten berechnet werden:

- Zeitkosten NK_t: Diese entstehen durch einen erhöhten Zeitaufwand beim Befahren einer Straße mit Baustellen und/oder schlechtem Straßenzustand
- Betriebskosten NK_b: Diese entstehen durch einen erhöhten Treibstoffbedarf bzw. durch eine erhöhte Wartungs- und Reparaturaktivität am Fahrzeug beim Befahren einer Straße mit Baustellen und/oder schlechtem Straßenzustand
- Unfallkosten NK_u: Diese entstehen durch ein erhöhtes Unfallgeschehen beim Befahren einer Straße mit Baustellen und/oder schlechtem Straßenzustand.

Die maßgeblichen (zusätzlichen) Nutzerkosten ergeben sich wiederum durch Summation der Teilkosten über den Analysezeitraum mit:

$$NK = \sum_{t=1}^{n} \left(NK_t + NK_b + NK_u \right) \qquad \text{(Gl. 8.3)}$$

mit: NK.....maßgebenden Straßennutzerkosten
NK_t.....Zeitkosten
NK_b.....Betriebskosten
NK_u.....Unfallkosten

Kosten, die durch die Beeinträchtigung der Umwelt entstehen, können ebenfalls den Straßennutzerkosten zugeordnet werden oder als eigenständige Kosten in der Berechnung Berücksichtigung finden (z.B. nach [62]). Es handelt sich dabei in erster Linie um Umweltkosten infolge erhöhtem Schadstoffausstoß der Fahrzeuge und infolge erhöhter Lärmemissionen beim Befahren von Straßen mit Baustellen und/oder schlechtem Straßenzustand. Ein erhöhter Schadstoffausstoß ist in der Regel auch mit einem erhöhten Treibstoffverbrauch verbunden, sodass dieser Anteil bereits bei den Betriebskosten enthalten ist. Kosten infolge erhöhter Lärmemission sind derzeit nicht zu quantifizieren und müssen vorläufig unberücksichtigt bleiben.

Im Vergleich zu den Straßenbaulastträgerkosten, die auf der Grundlage unterschiedlicher Aufzeichnungen ermittelt werden können, ist die Berechnung der Straßennutzerkosten deutlich schwieriger und komplexer.

Erhöhte Zeitkosten durch Baustellen können über Staulängen- bzw. Stauzeitberechnungen ermittelt werden, sofern genaue Informationen über die geplante Baustellensituation vorliegen (Verkehrsführung, Geschwindigkeit im Baustellenbereich, exakte Dauer der Erhaltungsmaßnahmen, etc., siehe z.B. [63]). Erhöhte Zeitkosten infolge eines schlechten Straßenzustandes werden in erster Linie auf einen schlechten Fahrkomfort zurückgeführt, der über die Längsebenheit definiert wird [62]. Um eine Kostenwirksamkeit zu erhalten, muss durch die schlechte Längsebenheit ein Zeitverlust nach-

gewiesen werden. Neueste, zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht veröffentlichte Untersuchungen in Deutschland zeigen, dass erst ab einen *IRI* von ca. 9 m/km ein quantifizierbarer Zeitverlust gegeben ist. Da in einem Industriestaat wie Österreich ein so schlechter Straßenzustand praktisch ausgeschlossen werden kann, ist hier keine Kostenwirksamkeit gegeben. Der Straßenabschnitt mit dem schlechtesten im Rahmen der messtechnischen Erfassung 1999 aufgenommene *IRI* weist im Vergleich dazu einen Wert von ca. 7 m/km auf.

Zeitkosten infolge eines schlechten Straßenzustandes ergeben sich vor allem in nicht industriealisierten Ländern, wo ein hoher Anteil von nicht oder nur unzureichend befestigten Straßen vorhanden ist. Vor allem die Pavement Management Systeme der Weltbank HDM III und HDM 4 ermitteln ihre Straßennutzerkosten über diesen Zusammenhang. Ob HDM 4, das mit einem ähnlichen Ansatz arbeitet, für Industriestaaten verwendet werden kann, muss in diesem Zusammenhang jedoch hinterfragt werden.

Auf bessere Grundlagen kann bei der Ermittlung von Betriebskosten zurückgegriffen werden, die in Deutschland nach RAS – W (Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen [64]) bzw. in Österreich nach RVS 2.21 [65] berechnet werden können.

Schwierig zu quantifizieren sind auch die Kosten zusätzlicher Unfälle im Bereich von Baustellen und/oder durch einen schlechten Straßenzustand. Im Vergleich zu Unfällen infolge Baustellenbehinderung, wo auf Erfahrungen nach [66] zurückgegriffen werden kann, sind die Zusammenhänge nach SCHULZE [67] zwischen Griffigkeit und Unfallhäufigkeit bzw. Spurrinnen und Unfallhäufigkeit nur bedingt anwendbar. Aktuelle Untersuchungen in Österreich [68] zeigen keinen derartigen Zusammenhang im Gegensatz zu deutschen Untersuchungen, wo bei einem Vergleich der Griffigkeitsverteilung in unfallauffälligen Bereichen mit Griffigkeiten im gesamten untersuchten Straßennetz nachgewiesen werden konnte, dass das Griffigkeitsniveau einen erheblichen Einfluss auf Unfallhäufungen bei Nässe hat [69].

8.2.3.2.3 Gesamtkosten

Die Gesamtkosten zu einem bestimmten Zeitpunkt *t* errechnen sich durch Addition der Straßenbaulastträgerkosten und der Straßennutzerkosten (evtl. auch Umweltkosten, falls vorhanden und separat betrachtet):

$$GK_t = BK_t + NK_t (+ UK_t) \qquad \text{(Gl. 8.4)}$$

mit: GK_t .....Gesamtkosten zum Zeitpunkt t
BK_t .....Baulastträgerkosten zum Zeitpunkt t
NK_t .....Straßennutzerkosten zum Zeitpunkt t
UK_t .....Umweltkosten zum Zeitpunkt t

Um eine vergleichende Berechnung von Gesamtkosten zu ermöglichen, müssen diese entsprechend diskontiert werden (Berechnung des Gegenwarts- oder Barwertes).

8.2.3.2.4 Berechnung des Nutzens

Die Berechnung der Wirksamkeit einer Erhaltungsmaßnahme bzw. –strategie zu einem bestimmten Zeitpunkt *t* ergibt sich durch den Vergleich mit der „0-“ oder „Nichts-Tun-Strategie“. Da in beiden Fällen sowohl Baulastträger- als auch Straßennutzerkosten entstehen, kann der monetäre Nutzen *N** auf einem Abschnitt *i* mit einer Erhaltungsmaßnahme *k* über folgende Gleichung berechnet werden:

$$N^*_i = \sum_{t=1}^{n} GK_{t,0,i} - \sum_{t=1}^{n} GK_{t,k,i} = \sum_{t=t_k}^{n} GK_{t,0,i} - \sum_{t=t_k}^{n} GK_{t,k,i} \qquad \text{(Gl. 8.5)}$$

mit: N^*_i.....monetär bewerteter Nutzen aus den Gesamtkosten auf dem Abschnitt i
$GK_{t,0,i}$.....Gegenwartswert der Gesamtkosten zum Zeitpunkt t der „0-Strategie“ auf dem Abschnitt i
$GK_{t,k,i}$.....Gegenwartswert der Gesamtkosten zum Zeitpunkt t der Erhaltungsmaßnahme k auf dem Abschnitt i
t_k .....Zeitpunkt des Durchführens der Erhaltungsmaßnahme k
n.....Untersuchungs- bzw. Analysezeitraum

Eine Vereinfachung dieser Funktion ergibt sich durch eine ausschließliche Betrachtung des Analysezeitraums ab dem Zeitpunkt des Durchführens der Erhaltungsmaßnahme (t_k). Dies ist deshalb möglich, da sich die Kosten vor diesem Zeitpunkt aufheben und daher die Neubaukosten nicht berechnet bzw. vorgehalten werden müssen.

Eine zweite Möglichkeit der Berechnung des Nutzens besteht in der ausschließlichen Berücksichtigung der Komponente der Straßennutzerkosten (z.B. nach [38]). Der monetär bewertete Nutzen ergibt sich dabei wie folgt:

$$\overline{N}^*_i = \sum_{t=t_k}^{n} NK_{t,0,i} - \sum_{t=t_k}^{n} NK_{t,k,i} \qquad \text{(Gl. 8.6)}$$

mit: $\overline{N}^*_i$.....monetär bewerteter Nutzen aus den Straßennutzerkosten auf dem Abschnitt i
$NK_{t,0,i}$.....Gegenwartswert der Straßennutzerkosten zum Zeitpunkt t der „0-Strategie“ auf dem Abschnitt i
$NK_{t,k,i}$.....Gegenwartswert der Straßennutzerkosten zum Zeitpunkt t der Erhaltungsmaßnahme k auf dem Abschnitt i

In diesem Zusammenhang muss darauf hingewiesen werden, dass der monetär bewertete Nutzen auch negativ werden kann. Dies ist dann der Fall, wenn aufgrund einer Verbesserung des Straßenzustandes bzw. des Unfallgeschehens die einzusparenden Kosten wesentlich geringer sind, als die Kosten, die durch die Baumaßnahme entstehen. In diesem Fall ist die wirtschaftlichste Lösung die „0-Strategie“.

Ein weiterer Nachteil bei der Berücksichtigung von Straßennutzerkosten ist die Tatsache, dass nicht alle Zustandsmerkmale Nutzerkosten verursachen. Jene Merkmale,

die keinen Einfluss auf die Zeit- und/oder Unfallkosten besitzen (z.B. Risse, evtl. Oberflächenschäden), werden daher nicht berücksichtigt. Liegt ein Abschnitt vor, der ausschließlich durch Risse geschädigt ist, wird der Nutzen einer Erhaltungsmaßnahme ebenfalls einen negativen Wert annehmen und die „0-Strategie“ bevorzugt. Erst der Einfluss auf die Längsebenheit führt zu einer Änderung der Situation. Eine monetäre Bewertung des Nutzens führt daher zu einer fast ausschließlichen Berücksichtigung der Ziele des Straßennutzers.

Wird ein direkter Vergleich zwischen zwei Erhaltungsmaßnahmen durchgeführt, so kann der Nutzen, den eine Maßnahme gegenüber der anderen besitzt, über die Differenz der Gesamtkosten bzw. der Straßennutzerkosten definiert werden. Vor allem bei einer genauen Untersuchung (z.B. auf Projektebene) zwischen zwei unterschiedlichen Erhaltungsstrategien (z.B. Beton- oder Asphaltbauweise) ist diese Form der Nutzenberechnung zielführend (vgl. [65]). Der Nutzen ergibt sich z.B. bei Berücksichtigung der Gesamtkosten aus:

$$N^{*}_{k-l,i} = \sum_{t=1}^{n} GK_{t,k,i} - \sum_{t=1}^{n} GK_{t,l,i} \qquad \text{(Gl. 8.7)}$$

mit: $N^{*}_{k-l,i}$.....monetär bewerteter Nutzen zwischen den Erhaltungsmaßnahmen k und l aus den Gesamtkosten auf dem Abschnitt i
$GK_{t,l,i}$ .....Gegenwartswert der Gesamtkosten zum Zeitpunkt t der Erhaltungsmaßnahme k auf dem Abschnitt i
$GK_{t,k,i}$.....Gegenwartswert der Gesamtkosten zum Zeitpunkt t der Erhaltungsmaßnahme l auf dem Abschnitt i

Ist in diesem Beispiel der Nutzen positiv, so ist den geringeren Gesamtkosten der Erhaltungsmaßnahme *l* der Vorzug zu geben.

8.2.3.3 Nicht monetäre Bewertung des Nutzens

Wird der Nutzen einer Erhaltungsmaßnahme nicht über eine monetäre Größe definiert, so können unabhängig von einer vorhandenen bzw. nicht vorhandenen Kostenwirksamkeit die Auswirkungen der Erhaltungsmaßnahme auf den Straßenzustand beurteilt werden. In diesem Fall muss der Nutzen über eine Verhältniszahl beschrieben werden.

Die Wirkung einer Erhaltungsmaßnahme im Vergleich zur „0-Strategie“ drückt sich in einer Änderung des Verlaufs der Verhaltensfunktion aus. Der Straßenzustand ist nach dem Durchführen dieser Maßnahme in der Regel besser als zuvor. Ist die Wirkung der Maßnahme sehr groß, so wird über einen längeren Zeitraum der verbesserte Straßenzustand auch vorhanden sein. Der Nutzen kann daher über jene Fläche beschrieben werden, die sich zwischen der Verhaltensfunktion der „0-Strategie“ und jener der zu untersuchenden Maßnahme ergibt. Der Nutzen einer Erhaltungsmaßnahme ist umso größer, je mehr Fahrzeuge von dieser Maßnahme profitieren. Dies bedeutet, dass bei einer nicht monetären Berechnung des Nutzens auch dieser Umstand berücksichtigt werden muss. Wird die Fläche zwischen der Verhaltensfunktion der „0-Strategie“ und

der Verhaltensfunktion einer bestimmten Erhaltungsmaßnahme für die Beurteilung des Nutzens herangezogen, so muss diese zusätzlich mit der Verkehrsbelastung gewichtet werden. Für eine Erhaltungsmaßnahme *m* auf dem Abschnitt *j* ergibt sich daher folgender Nutzen im Hinblick auf das Zustandsmerkmal *i*:

$$N_{m,i,j} = JDTV \cdot \left(\int_{t_m}^{t_n} Y_{i,0,j}(t)dt - \int_{t_m}^{t_n} Y_{i,m,j}(t)dt \right) \qquad \text{(Gl. 8.8)}$$

mit: $N_{m,i,j}$.....nicht monetär bewerteter Nutzen zwischen der „0-Strategie“ und der Erhaltungsmaßnahme m des Zustandsmerkmals i auf dem Abschnitt j
$Y_{i,0,j}$.....Verhaltensfunktion des Zustandsmerkmals i auf dem Abschnitt j der „0-Strategie“
$Y_{i,m,j}$.....Verhaltensfunktion des Zustandsmerkmals i auf dem Abschnitt j mit der Erhaltungsmaßnahme m
t_m .....Zeitpunkt des Durchführens der Erhaltungsmaßnahme m
t_n .....Zeitpunkt des Endes der Analyse- oder Untersuchungsperiode

Die nachfolgende Abbildung 101 zeigt die Definition des Nutzens als Fläche zwischen den Verhaltensfunktionen der „0-Strategie“ und verschiedener Erhaltungsmaßnahmen auf einen bestimmten Straßenabschnitt.

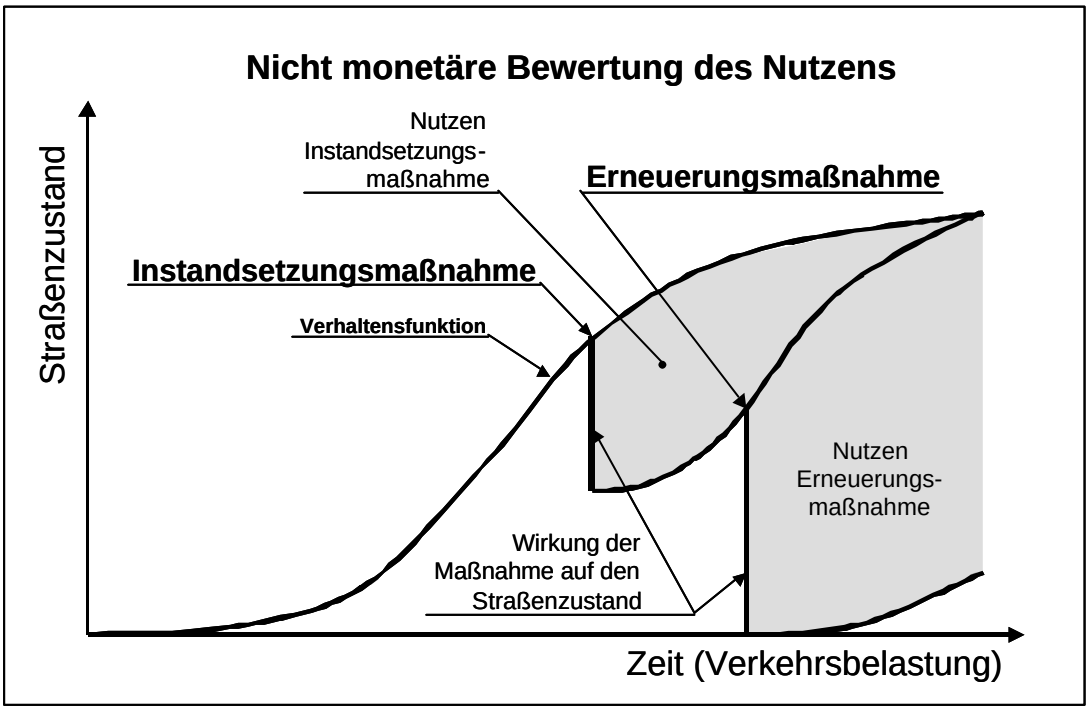


Abbildung 101: Schematische Darstellung des Nutzens bei einer nicht monetären Bewertung

Die Berechnung des Nutzens kann für jedes Zustandsmerkmal *i*, das im Analysesystem Verwendung findet, durchgeführt werden. Die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung ist jedoch nur für ein Merkmal möglich. Es empfiehlt sich daher, den Nutzen über einen Teilwert (Teilziel) oder über den Gesamtwert zu bestimmen. Dabei steht es dem

Anwender frei, nach welchen Kriterien er den Nutzen wählt. Soll der Nutzen in erster Linie die Auswirkungen auf den Straßennutzer beschreiben, so empfiehlt sich eine Definition des Nutzens über den Gebrauchswert im Vergleich zum Substanzwert, der eine Bezogenheit auf den Baulastträger bzw. Erhalter bedeuten würde.

Für die praktische Berechnung des Nutzens in VIAPMS_AUSTRIA wird derzeit der Gesamtwert herangezogen. Der Verlauf des Gesamtwertes wird dabei durch die Zustandsentwicklung der Einzelgrößen bestimmt. Dies bedeutet, dass über die in Kapitel 5.4.7 beschriebenen Gewichtungs- und Verknüpfungsvorschriften sowohl der Straßennutzer als auch der Baulastträger mit ihren Teilzielen in der Beurteilung berücksichtigt werden.

8.2.4 Kosten der Erhaltungsmaßnahme

Neben dem Nutzen werden, wie bereits erwähnt, die Kosten der Erhaltungsmaßnahme bzw. –strategie für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung herangezogen. Dieser Begriff bzw. die Berechnung dieses Wertes wurde bereits ausführlich im Kapitel 6.2 und im Zuge der Definition des monetär bewerteten Nutzens durchgeführt. Es wird hier jedoch noch einmal darauf hingewiesen, dass für einen Vergleich unterschiedlicher Erhaltungsmaßnahmen bzw. -strategien die Kosten auf den gleichen Zeitpunkt bezogen werden müssen. Dies bedeutet, dass hierfür ausschließlich die Gegenwarts- oder Barwerte anzuwenden sind.

8.2.5 Effektivität von Erhaltungsmaßnahmen

Wird ein Straßenabschnitt einer genauen Untersuchung im Hinblick auf zukünftige Erhaltungsmaßnahmen unterzogen, so werden für den Zeitraum, wo Maßnahmen vorgesehen sind (Maßnahmenzeitraum), eine Vielzahl von technisch möglichen Erhaltungsmaßnahmen zur Verfügung stehen. Das Ziel der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung besteht nun darin, jene Maßnahmen herauszufiltern, die aufgrund ihres günstigen Nutzen-Kosten-Verhältnisses für eine Optimierung herangezogen werden sollen. Würden in einer Optimierung alle möglichen Erhaltungsmaßnahmen Berücksichtigung finden, so führt dies zu einem enormen Rechenaufwand, der in der Regel nur jene Maßnahmen als mögliche Lösung zulässt, deren Wirtschaftlichkeit sehr günstig ist.

Die erste Möglichkeit bei der Auswahl geeigneter Maßnahmen besteht durch die Festlegung eines Grenzwertes des Nutzen-Kosten-Verhältnisses. Alle Maßnahmen, die ein geringeres Verhältnis ausweisen, sind dabei auszuscheiden bzw. in der Optimierung nicht zu berücksichtigen. Dies ist jedoch nur dann möglich, wenn auch der Nutzen monetär bewertet wird.

Die nicht monetäre Bewertung des Nutzens erfordert eine andere Vorgangsweise, da das Nutzen-Kosten-Verhältnis ebenfalls eine Verhältniszahl darstellt (nach [1] auch als Kostenwirksamkeit bezeichnet). Um dennoch die unwirtschaftlichen Maßnahmen auszuscheiden, muss der Vergleich zwischen den einzelnen Maßnahmen erfolgen. Dabei kann nach [38] und [70] das Verfahren des „inkrementellen“ Nutzen-Kosten-

Verhältnisses *INKV* herangezogen werden, das auch in des Software VIAPMS© Anwendung findet. Das inkrementelle Nutzen-Kosten-Verhältnis ist dabei der Quotient aus der Nutzen- und Kostendifferenz zweier Erhaltungsmaßnahmen auf einem bestimmten Abschnitt, wobei die Kosten der Maßnahme *l* geringer sind als jene der Maßnahme *k*:

$$INKV_{k-l} = \frac{N_k - N_l}{K_k - K_l} \quad \text{mit } K_k > K_l \qquad \text{(Gl. 8.9)}$$

mit: $INKV_{k-l}$.....inkrementelles Nutzen-Kosten-Verhältnis zwischen der Erhaltungsmaßnahme l und der Erhaltungsmaßnahme k
N_k .....Nutzen der Erhaltungsmaßnahme k
N_l.....Nutzen der Erhaltungsmaßnahme l
K_k .....Kosten der Erhaltungsmaßnahme k
K_l.....Kosten der Erhaltungsmaßnahme l

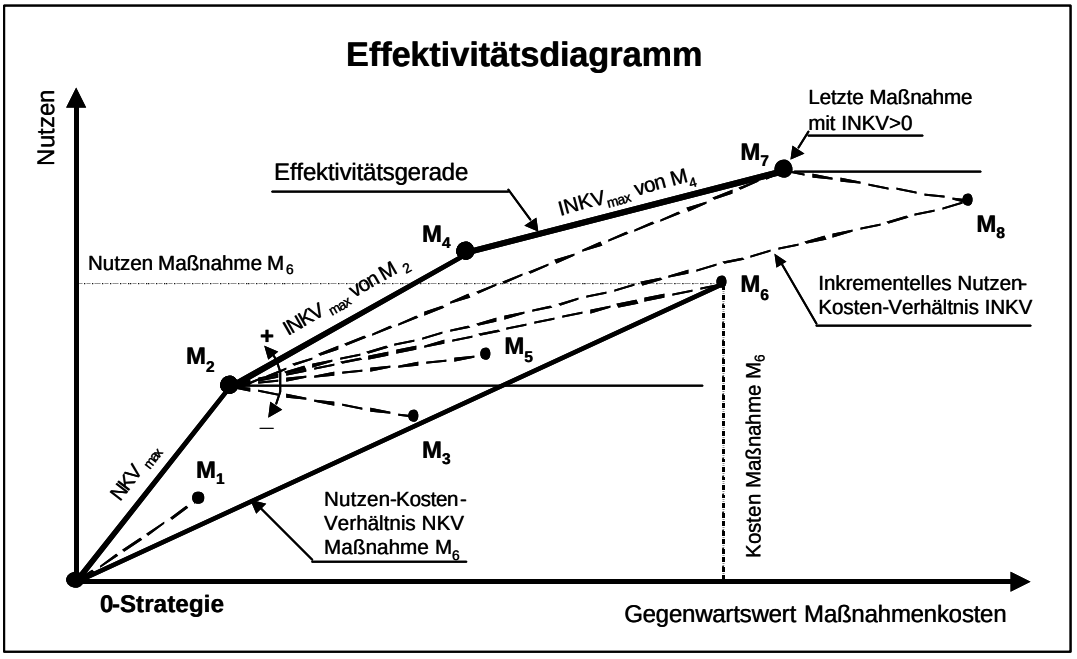


Abbildung 102: Schematische Darstellung des Effektivitätsdiagramms

Als effektive Maßnahmen werden jene Maßnahmen bezeichnet, die im Vergleich zu allen anderen Maßnahmen ein günstiges (hohes) inkrementelles Nutzen-Kosten-Verhältnis aufweisen. Diese Maßnahmen liegen im „Effektivitätsdiagramm" entlang einer abschnittsweise linearen Funktion, die als „Effektivitätsgerade" bezeichnet wird. Das Effektivitätsdiagramm ist dabei die graphische Gegenüberstellung der Kosten (x-Achse) und des Nutzens (y-Achse) einer Erhaltungsmaßnahme. Jede technisch mögliche Maßnahme ist in diesem Diagramm mit einem Punkt darstellbar (siehe Abbildung 102).

Die Effektivitätsgerade bzw. -kurve ist in diesem Diagramm die umhüllende Gerade aller Maßnahmenpunkte. Alle Maßnahmen, die unterhalb dieser Geraden liegen, können als unwirtschaftlich eingestuft werden, da ihr inkrementelles Nutzen-Kosten-Verhältnis zu gering ist. Maßnahmen, die auf der Geraden liegen, weisen hingegen das höchste inkrementelle Nutzen-Kosten-Verhältnis auf. Zur Bestimmung der Effektivitätsgeraden

auf einem bestimmten Straßenabschnitt kann nach [38] wie folgt vorgegangen werden (siehe auch Abbildung 102):

- Für alle technisch mögliche Erhaltungsmaßnahmen wird das Nutzen-Kosten-Verhältnis berechnet.
- Die „0-Strategie“ wird als erste mögliche Maßnahme definiert (sofern gewünscht und zugelassen)
- Die Erhaltungsmaßnahme mit dem höchsten Nutzen-Kosten-Verhältnis stellt den ersten Teil der Effektivitätsgeraden dar (lineare Verbindung zwischen „0-Strategie“ und Maßnahme M_2)
- Das inkrementelle Nutzen-Kosten-Verhältnis zwischen dieser Maßnahme und allen anderen Erhaltungsmaßnahmen, deren Kosten höher sind, wird in einem nächsten Schritt berechnet.
- Die Effektivitätsgerade wird zu jener Maßnahme fortgesetzt, dessen inkrementelles Nutzen-Kosten-Verhältnis den höchsten (positiven) Wert aufweist (Maßnahme M_4).
- Nun wird von dieser Maßnahme aus das inkrementelle Nutzen-Kosten-Verhältnis zu allen anderen Maßnahmen berechnet. Die Kosten der Maßnahmen müssen größer sein als jene der zuletzt ausgewählten. Die Fortsetzung der Effektivitätsgeraden erfolgt wiederum durch die Auswahl der Maßnahme mit dem größten (positiven) inkrementellen Nutzen-Kosten-Verhältnis (Maßnahme M_7).
- Dieser Vorgang wird so lange fortgesetzt, bis keine Maßnahme mehr vorhanden ist, deren Kosten höher sind als jene der zuletzt gewählten Maßnahme, oder deren inkrementelles Nutzen-Kosten-Verhältnis einen positiven Wert aufweist.

Liegt eine Erhaltungsmaßnahme knapp unterhalb der Effektivitätsgerade, so würde sie nach diesem Verfahren als unwirtschaftlich von einer Optimierung ausgeschlossen. Da jedoch die Berechnungen der Kosten und des Nutzens gewisse Ungenauigkeiten aufweisen, wird in der Regel ein Bereich unterhalb der Effektivitätsgeraden angegeben, dessen Maßnahmen ebenfalls im Zuge einer Optimierung berücksichtigt werden. Dieser Bereich kann dabei in Abhängigkeit vom Nutzen der „effektiven“ Maßnahmen definiert werden (i.A. 10%-Bereich), wobei diesen Maßnahmen das inkrementelle Nutzen-Kosten-Verhältnis der darüber liegenden Effektivitätsgerade zugeordnet wird (erforderlich für die Optimierung).

Mit diesem Verfahren ist es möglich, ohne die Angabe von Grenzwerten, jene Erhaltungsmaßnahmen zu bestimmen, die als „wirtschaftlich“ eingestuft werden können und die auch im Zuge einer Optimierung als mögliche Lösungen zur Verfügung stehen sollten.

8.3 Optimierung

8.3.1 Formulierung des Entscheidungsmodells

Wurde für ein bestimmtes zu untersuchendes Straßennetz eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung durchgeführt, so muss in einem zweiten Schritt jene Maßnahme ausgewählt werden, die unter den gegebenen Randbedingungen eine bestimmte Kenngröße zum Optimum werden lässt. Als Kenngrößen werden dabei entweder der

- Nutzen, die
- Straßennutzerkosten oder die
- Gesamtkosten

verwendet.

Im Allgemeinen lassen sich Entscheidungsprobleme dieser Form auf das nachfolgend beschriebene Grundmodell zurückführen [71].

Gegeben sei eine Menge M der möglichen Entscheidungsalternativen und eine Abbildung der Menge der Entscheidungsalternativen in die reellen Zahlen

$$Z : M \rightarrow \mathrm{IR} \qquad \text{(Gl. 8.10)}$$

die jeder Entscheidungsalternative eine reelle Zahl zuordnet. Diese Abbildung heißt Zielfunktion. Weiter sei die Teilmenge $T \subseteq M$ der zulässigen Entscheidungen gegeben.

Gesucht wird eine Alternative $x \in M$, sodass

1. die Zielfunktion einen möglichst großen (oder möglichst kleinen) Wert annimmt mit

$$Z(x) \Rightarrow \max! \ (\min!) \qquad \text{(Gl. 8.11)}$$

2. und die Entscheidung durch

$$x \in T \qquad \text{(Gl. 8.12)}$$

zulässig ist.

Die Zielfunktion des Entscheidungsproblems wird in unserem Fall entweder durch die Kosten (Gesamtkosten oder Straßennutzerkosten) oder den Nutzen der wirtschaftlichsten Erhaltungsmaßnahmen definiert. Diese stellen alle zulässigen Entscheidungen, also die Teilebene dar.

Zur Lösung solcher komplexer Aufgaben wird die „Mathematische Programmierung“ herangezogen [38]. Dabei können vier Verfahren unterschieden werden, die als Ergebnis die tatsächliche optimale Lösung errechnen:

- Lineare Programmierung
- Nicht lineare Programmierung
- Ganzzahl Programmierung
- Dynamische Programmierung

Als Lösungsansatz für die Aufgabenstellung in einem PMS wird nach [70] die „Lineare Programmierung“ vorgeschlagen, sodass hier auf die anderen Verfahren nicht näher eingegangen wird. Die sehr allgemein gehaltene Formulierung des Linearen Programmierungsmodells kann für die Optimierung in einem PMS deutlich vereinfacht werden, führt aber dennoch zu einem hohen Rechenaufwand, sodass für die praktische Lösung dieses Problems in erster Linie Näherungsverfahren verwendet werden. Aus Gründen der Vollständigkeit wird sowohl für die Maximierung des Nutzens als auch für die Minimierung der Gesamtkosten die Formulierung des Entscheidungsmodells nach [70] unter Anwendung der Linearen Programmierung dargestellt.

8.3.2 Formulierung des Linearen Programmierungsmodells für ein PMS

Gegeben sei ein Straßennetz mit j=1,...,k Abschnitten, wobei jeder Abschnitt m=1,...,n wirtschaftlich alternative Erhaltungsmaßnahmen aufweist, die in einem Zeitraum von t Jahren (Maßnahmenzeitraum) anwendbar sind. Um den Nutzen zu maximieren muss die folgende Zielfunktion $Z(N)$ zum Maximum werden:

$$Z(N) = \sum_{j=1}^{k} \sum_{m=1}^{n} \sum_{t=1}^{t} \left(X_{jmt} \cdot N_{jmt} \right) \Rightarrow \max! \qquad \text{(Gl. 8.13)}$$

unter den Bedingungen:

$$\sum_{m=1}^{n} \sum_{t=1}^{t} X_{jmt} \leq 1 \quad \text{für } j = 1,...,k \qquad \text{(Gl. 8.14)}$$

$$\sum_{m=1}^{n} \sum_{t=1}^{t} X_{jmt} \cdot K_{jmt} \leq B_t \quad \text{für } t = 1,...,t \qquad \text{(Gl. 8.15)}$$

$$X_{jmt} \geq 0 \qquad \text{(Gl. 8.16)}$$

mit:
- X_{jmt} .....Entscheidungsvariable des Abschnitts j der Erhaltungsmaßnahme m im Jahr t des Maßnahmenzeitraums
- N_{jmt} .....Gegenwartswert des jährlichen Nutzens des Abschnitts j der Erhaltungsmaßnahme m im Jahr t (diskontiert auf das Jahr 1 unter Berücksichtigung der jeweiligen Diskontierungsrate)
- K_{jmt} .....Tatsächliche Kosten der Erhaltungsmaßnahme m im Jahr t auf dem Abschnitt j
- B_t .....Erhaltungsbudget für das Jahr t

Um eine jeweilige Maßnahmenkombination nur einmal in der Berechnung zu berücksichtigen, wird die Entscheidungsvariable verwendet. Es muss dabei gewährleistet sein, dass z.B. zwei Erhaltungsmaßnahmen nicht auf einen bestimmten Abschnitt zum gleichen Zeitpunkt vorhanden sein dürfen. Durch die Gleichung 8.15 wird die Randbedingung des maximalen jährlichen Erhaltungsbudgets festgelegt.

In analoger Weise kann auch die Zielfunktion zur Minimierung der Kosten definiert werden. Gegeben sei wiederum ein Straßennetz mit j=1,...,k Abschnitten, wobei jeder

Abschnitt m=1,...,n wirtschaftlich alternative Erhaltungsmaßnahmen aufweist, die in einem Zeitraum von t Jahren (Maßnahmenzeitraum) anwendbar sind. Um die Gesamtkosten zu minimieren muss die folgende Zielfunktion $Z(N)$ zum Minimum werden:

$$Z(N) = \sum_{j=1}^{k} \sum_{m=1}^{n} \sum_{t=1}^{t} \left(X_{jmt} \cdot GK_{jmt} \right) \Rightarrow \min! \qquad \text{(Gl. 8.17)}$$

unter den Bedingungen:

$$\sum_{m=1}^{n} \sum_{t=1}^{t} X_{jmt} \leq 1 \quad \text{für } j = 1,...,k \qquad \text{(Gl. 8.18)}$$

$$\sum_{m=1}^{n} \sum_{t=1}^{t} X_{jmt} \cdot K_{jmt} \leq B_t \quad \text{für } t = 1,...,t \qquad \text{(Gl. 8.19)}$$

$$X_{jmt} \geq 0 \qquad \text{(Gl. 8.20)}$$

mit: GK_{jmt} .....Gegenwartswert der jährlichen Gesamtkosten des Abschnitts j der Erhaltungsmaßnahme m im Jahr t (diskontiert auf das Jahr 1 unter Berücksichtigung der jeweiligen Diskontierungsrate)

Zur Lösung dieser komplexen mathematischen Formulierung wurden spezielle Verfahren entwickelt, die durch einen hohen mathematischen Rechenaufwand geprägt sind (z.B. Simplex-Verfahren [71]) und daher nur bedingt für eine praktische Anwendung auf einem großen Straßennetz geeignet sind. Aus diesem Grund wird bei kommerziell vertriebenen PMS-Softwareprodukten in der Regel auf Näherungsverfahren zurückgegriffen (heuristische Optimierung).

8.3.3 Heuristische Optimierung

Wie bereits zu Beginn dieses Kapitels erwähnt, ist es sinnvoll, für größere Straßennetze auf heuristische Optimierungsverfahren zurückzugreifen, die zwar nicht die exakte Lösung für das Optimierungsproblem liefern, deren Genauigkeit jedoch für die Belange der systematischen Straßenerhaltung ausreichend ist. In diesem Kapitel soll in erster Linie jenes Näherungsverfahren beschrieben werden, das auch in der Software VIAPMS© zur Anwendung gelangt.

Das nach [70] unter der Bezeichnung „Prioritätenprogrammierungsmethode“ bekannte Verfahren verwendet für die Berechnung das inkrementelle Nutzen-Kosten-Verhältnis (Definition siehe Kapitel 8.2.5) der als wirtschaftlich eingestuften Erhaltungsmaßnahmen bzw. –strategien.

Die Festlegung der optimalen Erhaltungsmaßnahmen bzw. –strategien für bestimmte budgetäre Randbedingungen (maximales jährliches Erhaltungsbudget) erfolgt unter Anwendung folgender Einzelschritte:

- Auswahl der Erhaltungsmaßnahmen bzw. –strategien mit einem positiven inkrementellen Nutzen-Kosten-Verhältnis (Bereich der wirtschaftlichsten Strategien) für alle zu untersuchenden Abschnitte

- Reihung dieser Erhaltungsmaßnahmen bzw. –strategien nach der Höhe des inkrementellen Nutzen-Kosten-Verhältnisses
- Auswahl jener Maßnahme, die das höchste Verhältnis aufweist
- Maßnahmenfestlegung in Abhängigkeit von den zur Verfügung stehenden Geldmitteln. Sind ausreichend Geldmittel vorhanden, so wird die Maßnahme für diesen Abschnitt als mögliche Lösung festgelegt. Ist dies nicht der Fall, so wird die 0-Strategie als Maßnahme festgelegt.
- Reduktion des Erhaltungsbudgets um die Kosten dieser Maßnahme
- Wiederholung dieses Vorganges für die nachfolgend in der Liste angeführten Erhaltungsmaßnahmen bzw. –strategien bis ein Abschnitt erreicht wird, wo bereits eine Erhaltungsmaßnahme bzw. –strategie ausgewählt wurde.
- Überprüfung der Erhaltungsmaßnahme bzw. –strategie mit dem geringeren Nutzen-Kosten-Verhältnis im Hinblick auf die zur Verfügung stehenden Geldmitteln. Stehen für diese Maßnahme ausreichende Geldmittel zur Verfügung, wird die zuvor festgelegte Maßnahme verworfen und diese Maßnahme als mögliche Lösung festgelegt
- Reduktion des Erhaltungsbudgets um die Kosten dieser Maßnahme
- Dieser Vorgang wird so lange wiederholt, bis entweder keine Maßnahmen mehr vorhanden sind (=Ende der Liste erreicht) und/oder das jährliche Erhaltungsbudget überschritten wird.

Zur besseren Ausnützung der vorhandenen Geldmittel sollte der Vorgang ein zweites mal wiederholt werden, da womöglich durch die wiederholte Auswahl von Maßnahmen Geldmittel für ein bestimmtes Jahr frei geworden sind. Eine mathematisch optimale Lösung ist dann gegeben, wenn dieser Vorgang so lange wiederholt wird, bis keine Änderungen mehr möglich sind. Dies würde jedoch einen enormen Zeit- und Rechenaufwand mit sich bringen.

Das Ergebnis dieser Analyse ist ein Maßnahmenvorschlag für jeden untersuchten bzw. analysierten Straßenabschnitt. Mit diesen Einzelergebnissen kann nun eine Berechnung des gesamten Erhaltungsbedarfes erfolgen, der mit einem bestimmten (mittleren) Straßenzustand in Korrelation steht. Wurde die Optimierung für mehrere Budgetszenarien durchgeführt, so kann auch die Frage nach dem erforderlichen Erhaltungsbudget für einen bestimmten Straßenzustand (innerhalb einer bestimmten Zeitperiode) beantwortet werden. So ist es möglich, ein über den Straßenzustand definiertes Erhaltungsziel mit einem erforderlichen Erhaltungsbudget zu verknüpfen.

Ein anderer Ansatz zur Optimierung von Kosten (z.B. Gesamtkosten) liegt in der Findung des optimalen Erhaltungsintervalls auf einem Abschnitt (nach [62]). In diesem Fall müssen die (aktualisierten) Gesamtkosten als Funktion des Instandsetzungsintervalls definiert werden.

$$GK = f(i) \qquad \text{(Gl. 8.21)}$$

mit i.....Instandsetzungsintervall

Das Instandsetzungsintervall für eine einzige Erhaltungsstrategie muss in diesem Fall jedoch konstant gehalten werden. Das optimale Intervall ergibt sich dabei durch:

$$\frac{dGK(i)}{di} = 0 \qquad \text{(Gl. 8.22)}$$

Die nachfolgende Abbildung 103 zeigt schematisch die aktualisierten Gesamtkosten als Funktion des Instandsetzungsintervalls *i* nach [62]. Liegt für jeden untersuchten Straßenabschnitt dieses Ergebnis vor, so kann auf dieser Grundlage eine Abschätzung des Erhaltungsbedarfs durchgeführt werden.

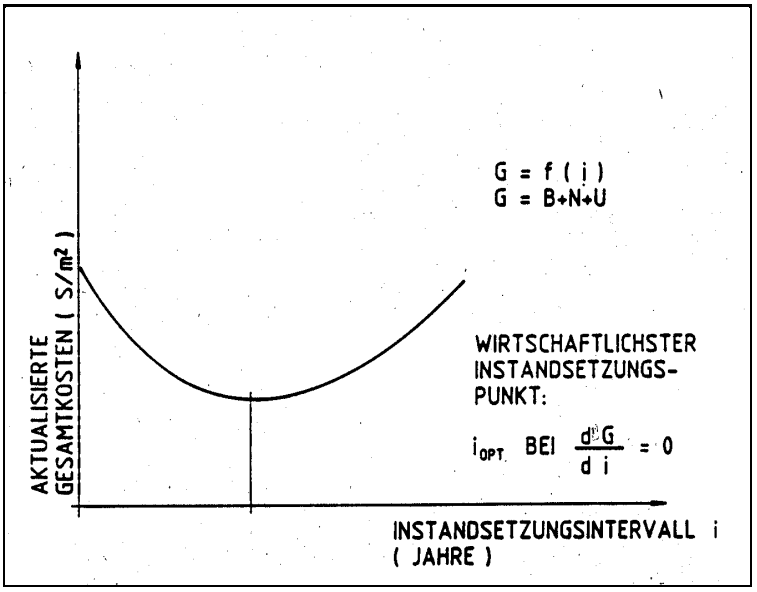


Abbildung 103: Schematische Darstellung der Gesamtkosten in Abhängigkeit vom Instandsetzungsintervall für einen Straßenabschnitt

Da in der Regel die Instandsetzungsintervalle auf einem Straßenabschnitt nicht konstant sind und auch verschiedene Erhaltungsmaßnahmen in der zeitlichen Reihenfolge durchgeführt werden, ist dieser Optimierungsansatz in erster Linie für langfristige Prognosen auf Netzebene anwendbar.

8.4 Ergebnisse der Datenanalyse

8.4.1 Unterscheidung der Ergebnisse

Wurden die Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen und die Optimierung auf die Daten eines Straßennetzes angewendet, so stehen dem Erhalter neben den verwendeten Eingangsgrößen auch die vorgeschlagenen Lösungen des Analyseprozesses zur Verfügung. Diese Ergebnisse können in Abhängigkeit vom Detaillierungsgrad der Informationen in zwei Gruppen unterschieden werden:

- Abschnittsbezogene Maßnahmenvorschläge für jeden untersuchten Straßenabschnitt
- Aussagen über Kosten- und Zustandsentwicklung, bezogen auf das gesamte untersuchte Straßennetz (Netzebene)

Es handelt sich also bei diesem Verfahren um eine Untersuchung auf Netzebene, die zur Erhöhung der Ergebnisgenauigkeit eine abschnittsbezogene Analyse der einzelnen Straßenabschnitte durchführt. Die Genauigkeit der Ergebnisse dieser Analyse ist natürlich wesentlich von der Genauigkeit der Daten, der Modelle und der Analyseverfahren abhängig. Den größten Einfluss auf das Ergebnis nimmt dabei die Datengenauigkeit und –vielfalt ein. Neben den bereits erwähnten Einflussgrößen auf die Ergebnisgenauigkeit spielt natürlich der Zeitpunkt, bei dem eine Erhaltungsmaßnahme vorgeschlagen wird, eine entscheidende Rolle. Je näher die Maßnahme beim Ausgangszeitpunkt t_0 liegt (Beginn der Analyse), desto wahrscheinlicher ist die Prognose und desto genauer ist das Ergebnis. In diesem Zusammenhang muss daher zwischen kurz-, mittel- und langfristigen Prognosen und Untersuchungsperioden unterschieden werden. Als mögliche Grenze zwischen der kurz- und mittelfristigen Untersuchungsperiode kann das Intervall der periodischen Zustandserfassungen herangezogen werden. Die nachfolgende Tabelle 24 soll dies veranschaulichen:

Untersuchungsperiode	Intervall	Anmerkung
kurzfristig	[1 – 5]	Ergebniswahrscheinlichkeit hoch
mittelfristig	(5-10]	Ergebniswahrscheinlichkeit mittel (Aktualisierung der Daten erforderlich), laufende Überprüfung abschnittsbezogener Maßnahmenvorschläge
langfristig	>10	Ergebniswahrscheinlichkeit gering (mehrmalige Aktualisierung der Daten erforderlich), für Erhaltungsbedarfsabschätzung ausreichend

Tabelle 32: Unterscheidung zwischen kurz-, mittel- und langfristigen Untersuchungsergebnissen

Obwohl die Aussagen auf Netzebene das primäre Ziel der Untersuchung darstellen, liefert die abschnittsbezogene Beurteilung eine wichtige Grundlage für die Erstellung

von Bauprogrammen und/oder weiterführenden Untersuchungen auf Projektebene. Es kann anhand der abschnittsbezogenen Ergebnisse ein erster Vorschlag für ein Sanierungs- bzw. Bauprogramm erstellt werden, das durch eine Verknüpfung mit den Analyseergebnissen der Straßenbauwerke (Tunnel, Brücke, Lärmschutzwände) und detaillierten Untersuchungen auf Projektebene zu einem umfassenden Erhaltungsprogramm erweitert werden kann (näheres siehe Kapitel 8.5).

8.4.2 Netzbezogene Ergebnisse

Die nachfolgende Liste soll einen Überblick von möglichen Ergebnisdarstellungen auf Netzebene zeigen, wie sie dem Anwender der Analysesoftware VIAPMS© nach dem Durchführen einer Analyse zur Verfügung stehen. Zur Verbesserung der Anschaulichkeit werden einige Ergebnisse mit graphischen Darstellungen hinterlegt, die im Rahmen von [23] erstellt wurden. Folgende Informationen stehen dem Anwender auf Netzebene zur Verfügung:

- Aussage über die Entwicklung des Straßenzustandes für unterschiedliche Budgetszenarien bzw. –ansätze (siehe Abbildung 104).

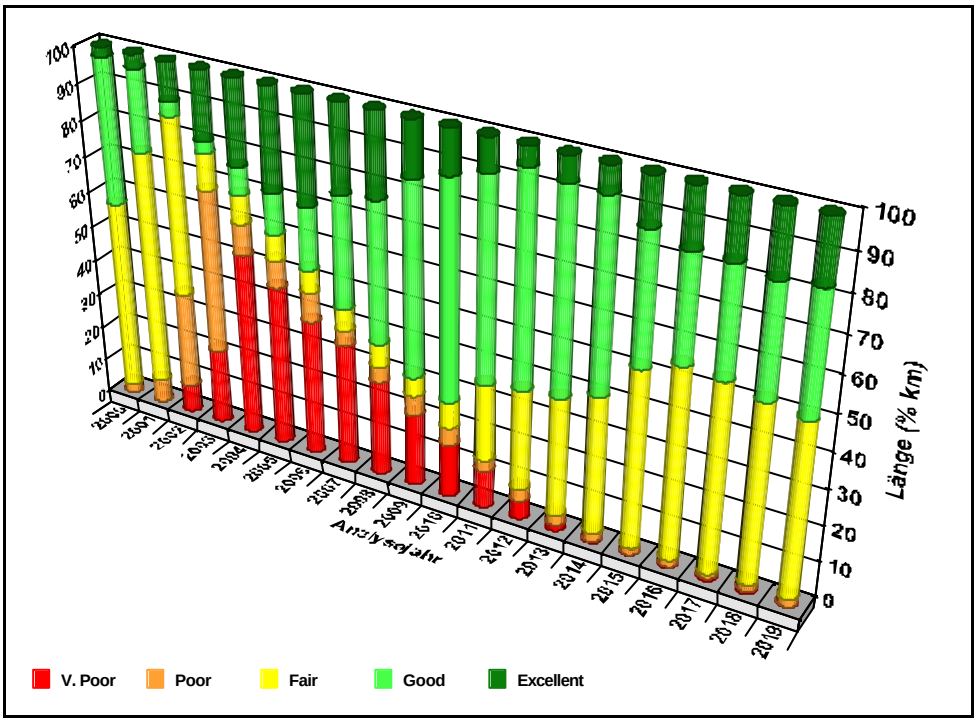


Abbildung 104: Zustandsverteilung und –entwicklung für ein bestimmtes Budgetszenario nach [23]

- Zusammenhang Zustands- und Aufwandsentwicklung (siehe Abbildung 105)

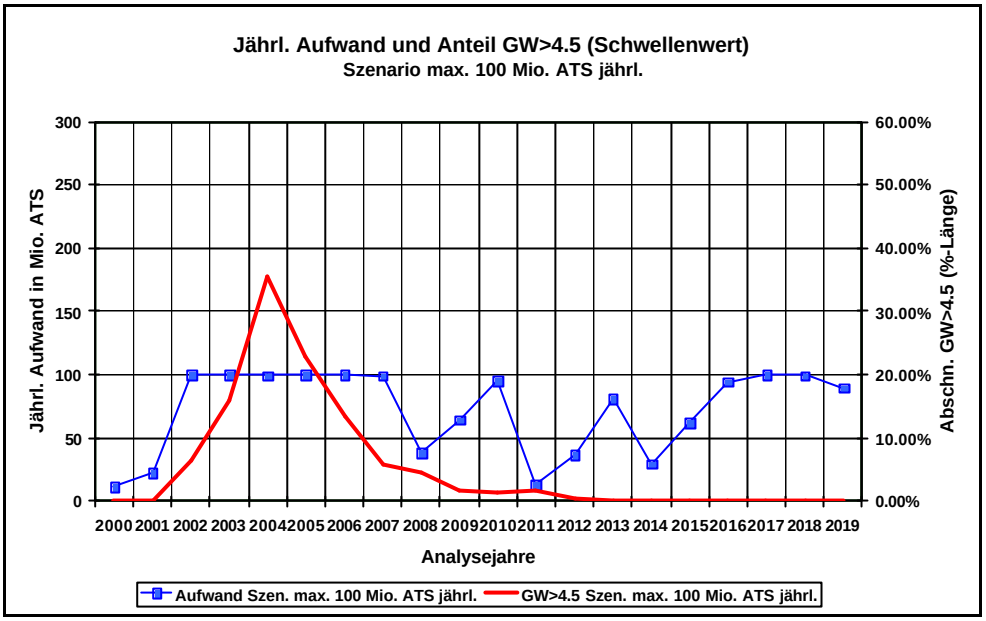


Abbildung 105: Auswirkung des jährl. Erhaltungsaufwandes auf den Straßenzustand (Gesamtwert>4.5, Schwellenwert) für ein bestimmtes Szenario nach [23]

- Aussage über die Verteilung des aufzuwendenden Erhaltungsbudgets über die Zeit (siehe Abbildung 106)

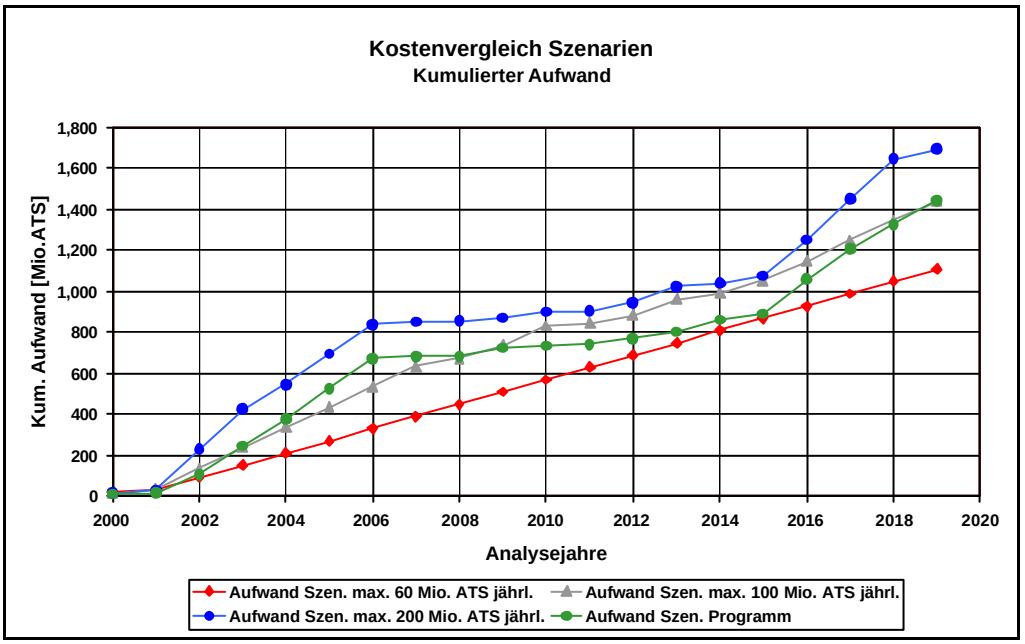


Abbildung 106: Kostenvergleich Szenarien, kumulierter Aufwand nach [23]

- Aussage über die erforderlichen Geldmittel bei Vorgabe eines bestimmten Erhaltungszieles

- Zeit- und Kostenverteilung von Erhaltungsmaßnahmen in Abhängigkeit vom zur Verfügung gestellten Erhaltungsbudget (siehe Abbildung 107)

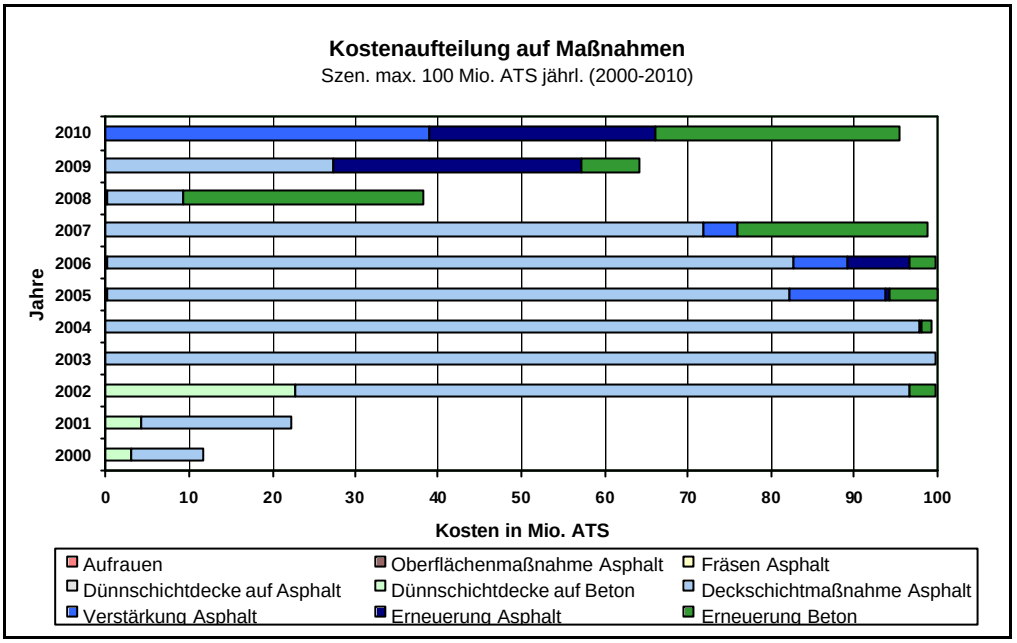


Abbildung 107: Kostenaufteilung Maßnahmen nach [23]

8.4.3 Abschnittsbezogene Ergebnisse

Nachdem die Ergebnisse der Netzebene auf der Grundlage von abschnittsbezogenen Maßnahmen zusammengefasst werden, ist es natürlich auch möglich, die abschnittsbezogenen Ergebnisse der Datenanalyse zu betrachten. Die Liste der möglichen Erhaltungsmaßnahmen bzw. –strategien für jeden untersuchten Straßenabschnitt kann, wie bereits erwähnt, als Teilinformation für die Erstellung eines Bauprogramms herangezogen werden. Um ein, für einen bestimmten Zeitraum gültiges Bauprogramm zu erhalten, bedarf es jedoch zusätzlicher Untersuchungen auf Projektebene sowie einer Verknüpfung der Ergebnisse mit den Lösungen des Erhaltungsmanagements der Bauwerke (siehe Kapitel 8.5).

Bei den abschnittsbezogenen Ergebnissen handelt es sich um sogenannte „optimierte Dringlichkeitsreihungen“ des Teilbereichs Oberbau, die mit einer Vielzahl von Informationen versehen sind. Diese Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden (Grundlage System VIAPMS©):

- Vorschlag von Erhaltungsmaßnahmen für jeden untersuchten Straßenabschnitt in Abhängigkeit vom zur Verfügung gestellten Erhaltungsbudget
- Aussage über die Entwicklung des Straßenzustandes für jedes Zustandsmerkmal auf jedem untersuchten Straßenabschnitt
- Aussage über die Änderung des Straßenzustandes infolge Erhaltungsmaßnahmen für jedes Zustandsmerkmal auf jedem untersuchten Straßenabschnitt
- Abschnittsbezogene Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung (Kosten, Nutzen, Nutzen-Kosten-Verhältnis, Effektivitätsdiagramm, etc.)

8.5 Verknüpfung mit Aspekten des Bauwerksmanagements

Die optimierte Dringlichkeitsreihung der Maßnahmen des Straßenoberbaus als Ergebnis einer abschnittsbezogenen Datenanalyse stellt nur einen Teilaspekt der Straßenerhaltung dar. Nachdem ein Straßenzug nicht nur aus der Oberbaukonstruktion sondern auch aus anderen Elementen, wie Brücken, Tunnel, Lärmschutzwänden, etc. besteht, müssen die Ergebnisse der Oberbauuntersuchung mit den Ergebnissen der Erhaltungsplanungen der anderen Elemente verknüpft werden. Dieser ganzheitlichen Betrachtung des Infrastrukturobjekts Straße entspricht auch ein ganzheitliches Erhaltungsprogramm. Aus dem auf den Oberbau bezogenen Pavement Management System (PMS) wird ein „Erhaltungsmanagementsystem“ (EMS).

Die gebirgige Topographie in Österreich drückt sich vor allem in der hohen Anzahl an Kunstbauten (Brücken und Tunnel) aus, deren Anteil an den Erhaltungskosten auf den Autobahnen und Schnellstraßen derzeit ca. 40% beträgt. Dieser hohe Kostenanteil für die Erhaltung erfordert auch in diesem Bereich der Infrastruktur eine effiziente Erhaltungsplanung mit modernen Datenbank- und Managementsystemen.

Unabhängig vom Straßenoberbau werden derzeit in Österreich folgende Straßenelemente im Hinblick auf eine Erhaltungsplanung speziell untersucht bzw. analysiert:

- Brückenbauwerke: Datenverwaltung in einer speziellen Bauwerksdatenbank (BAUT) kombiniert mit einer Datenbank zur Kontrolle und Beurteilung des Zustandes (BAUT-K). Eine Abschätzung des Erhaltungsbedarfes für Brücken ist mit diesen Informationen möglich.
- Tunnelbauwerke und Galerien: Implementierung in die Bauwerksdatenbank (BAUT) vorgesehen bzw. zum Teil vollzogen, getrennte Betrachtung der elektro-maschinellen Ausrüstung
- Lärmschutzwände: als Bestandteil der BAUT vorgesehen
- Überkopfwegweiser und Wegweiserbrücken: ebenfalls als Bestandteil der BAUT vorgesehen.

Stehen die Informationen von sämtlichen Einzelelementen zur Verfügung, kann ein umfassendes mehrjähriges Erhaltungsprogramm ingenieurmäßig entwickelt werden. Die Einflüsse der einzelnen Elemente auf dieses Programm ergeben sich aus einer Vielzahl möglicher Randbedingungen, die mit einem Computersystem nur schwer zu quantifizieren sind. In einigen Fällen wird das Bauwerk der primäre Grund für Erhaltungsmaßnahmen sein, in anderen Fällen die Oberbaukonstruktion. Auch der Einfluss der Verkehrsführung und –umlegung im Baustellenbereich sowie die Länge der Baustellen sind wichtige Einflussgrößen. Aus diesem Grund sollte die Erstellung eines umfassenden mehrjährigen Erhaltungsprogramms derzeit ausschließlich durch die vor Ort tätigen Erhaltungsingenieure durchgeführt werden. In den meisten Fällen ist dabei eine fächerübergreifende Kommunikation erforderlich. Steht dieses mehrjährige Erhaltungs-

programm zur Verfügung, so kann für jedes Jahr ein bestimmtes Arbeitsprogramm (jährliches Bauprogramm) festgelegt werden, das letztendlich zur Verwirklichung der Ziele führen soll.

Die nachfolgende Abbildung 108 soll schematisch den Prozess für die Erstellung eines ganzheitlichen Bauprogramms auf einem kurzen Straßenzug darstellen.

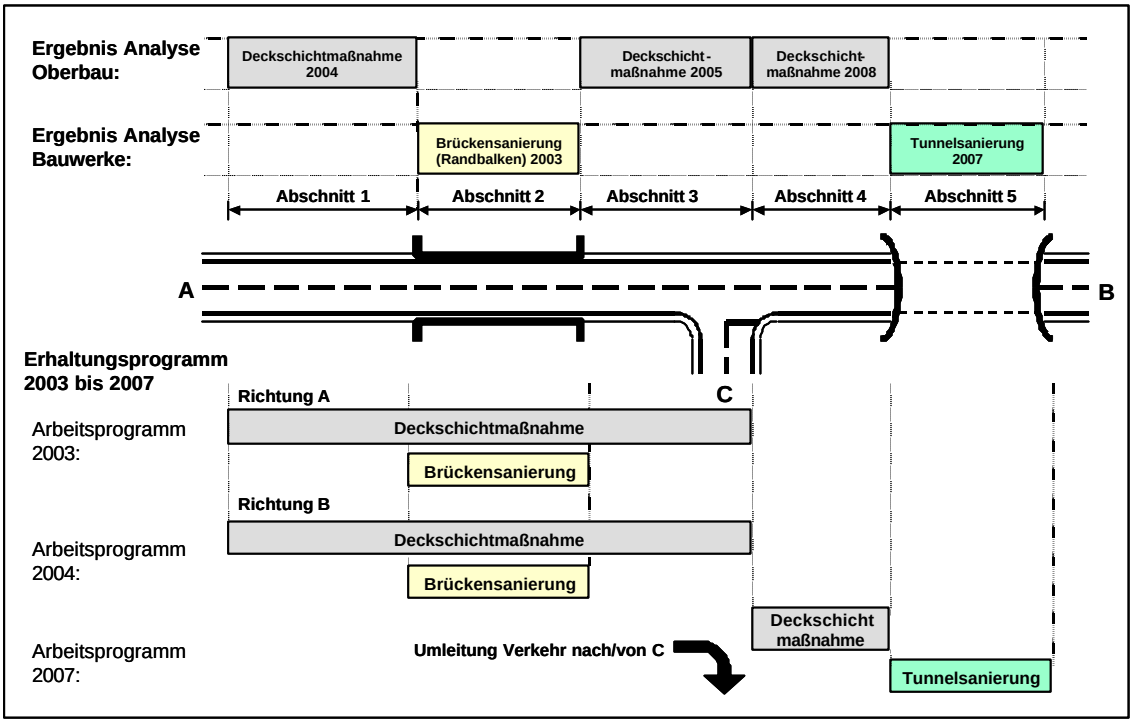


Abbildung 108: Zusammenführung von Teilergebnissen zu einem mehrjährigen Arbeitsprogramm (schematisch)

9 Zusammenfassung

Die zunehmende gesellschaftspolitische Bedeutung der Straßen infolge der ständig zunehmenden Verkehrsbelastungen führt auch in Österreich zu einem steigenden Handlungsbedarf im Hinblick auf die Verbesserung und den Ausbau des Straßennetzes. Straßen werden im Gegensatz zu anderen Bauwerken in einem vergleichsweise hohen Ausmaß beansprucht, sodass eine laufende Verbesserung bzw. Wartung mit hohen Investitionen bzw. Kosten verbunden ist. Der Bereich des Straßenbaus, der sich mit dieser Thematik beschäftigt, wird dabei als Straßenerhaltung bezeichnet. Zur Gewährleistung eines objektiven, optimalen und nachvollziehbaren Einsatzes vorhandener Mittel wurden für die Straßenerhaltung bereits vor mehr als 20 Jahren in den USA und seit kurzer Zeit auch in Österreich sogenannte Straßenerhaltungsmanagementsysteme entwickelt. Die Aufgabe dieser auch als „Pavement Management Systeme“ (kurz PMS) bezeichneten Verfahren ist dabei in der Systematisierung und Optimierung der Effizienz von Erhaltungsmaßnahmen in bezug auf den monetären Mitteleinsatz bzw. den Straßenzustand zu sehen.

Der erste praktische Schritt in eine zukunftsorientierte Erhaltungsplanung unter der Nutzung eines modernen Pavement Management Systems wurde 1998 durch die ASFINAG (Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft) und das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie gesetzt. Die Aufgabe des Institutes für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität Wien und somit auch das Ziel der gegenständlichen Arbeit besteht dabei in der Entwicklung und Implementierung verschiedener Systembausteine für ein bundesweit einheitliches Pavement Management System in Österreich.

Das für Untersuchungen und Entscheidungen auf dem gesamten Straßennetz (Netzebene) verwendete System bedient sich dabei eines Optimierungsverfahrens, das im Vergleich zu einfachen Reihungsverfahren aus der Vielzahl möglicher Erhaltungs-

strategien unter bestimmten Randbedingungen diejenige Lösung findet, in der ein Parameter zum Optimum (Minimum oder Maximum) wird. Untersucht werden ausschließlich Instandsetzungs- und Erneuerungsstrategien, für die eine gesonderte Budgetierung in Österreich durchgeführt wird. Instandhaltungsmaßnahmen (i.A. nicht im voraus geplante und budgetierte Maßnahmen kleineren Umfangs) werden derzeit nicht berücksichtigt.

Ein modernes Pavement Management System stellt ein komplexes System dar, das in folgende eng miteinander verknüpfte Elemente strukturiert werden kann:

- Datenbank zur Speicherung der erhaltungsrelevanten Daten
- Randbedingungen für die Datenanalyse (Maßnahmenkatalog, Budgetvorgaben, etc.)
- Modelle des PMS (Zustandsprognosemodelle, Kostenmodelle, etc.)
- Analysesystem für die Durchführung der Optimierungsaufgabe
- Darstellung der Analyseergebnisse

Die Datenbank im PMS ist jenes Element, in der sämtliche für die Berechnungen erforderlichen Informationen in elektronischer Form gespeichert werden. Aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften können die einzelnen Informationen wie folgt unterschieden werden:

- Inventardaten zur Definition des Bauwerks Straße (Straßenbezeichnung, Datenbezugssysteme, Oberbaudaten, etc.)
- Zustandsdaten zur quantitativen und qualitativen Beschreibung des Straßenzustandes (Oberflächenschäden, Risse, etc.)
- Beanspruchungsdaten zur Beschreibung der Belastungen auf das Bauwerk Straße (Verkehr, Temperatur, etc.)

Die Erfassung der erforderlichen erhaltungsrelevanten Informationen erfolgt auf der Grundlage unterschiedlicher Erfassungs- und Messmethoden, die in erster Linie vom Typ bzw. von den Eigenschaften der Daten abhängig sind. Straßenzustandsdaten können z.B. entweder messtechnisch oder visuell sensitiv erfasst werden, wobei die Qualität der Erfassung wesentlich von der Erfassungsmethodik abhängig ist. Besonders die hohe Anzahl von kurzen Messabschnitten im Rahmen von messtechnischen Zustandserfassungen führt oftmals zu einer sehr schwer handhabbaren Anzahl von Datensätzen, sodass Daten dieser Form durch entsprechende Verfahren (z.B. Trendanalysen) in längere homogene Abschnitte zusammengefasst und mit repräsentativen Zustandswerten hinterlegt werden. Neben den Zustandsdaten müssen auch Verkehrs- und Oberbaudaten einer laufenden oder periodischen Erfassung und somit einer Aktualisierung unterzogen werden. Die notwendigen Erfassungsgrundlagen (z.B. Schadenskatalog, Erfassungsanweisungen, etc.) stellen dabei wesentliche Bausteine eines umfassenden PMS dar.

Das österreichische PMS verwendet für die Speicherung dieser Daten eine spezielle kanadische Datenbanksoftware mit der Bezeichnung VIABASE©. Diese Datenbank

wurde dabei in Anlehnung an die in Österreich zur Verfügung stehenden Daten strukturiert und beinhaltet folgende für die Analyse notwendigen Informationen:

- Daten des Straßennetzes: Straßenbezeichnung, Kilometrierung, Netzknoten
- Daten der Straßengeometrie: Fahrbahnbreite, Anzahl der Fahrstreifen, etc.
- Straßenzustandsdaten: Spurrinnen, Griffigkeit, etc.
- Oberbaudaten: Schichtdicke, Herstellungsjahr, Schichtmaterial, etc.
- Verkehrsdaten: JDTV, JDTLV, etc.
- Klimadaten: Frostindex, Niederschlag, etc.
- Informationen über Brücken und Tunnel

Die Vielzahl an zur Verfügung stehenden Einzelinformationen aus den Erfassungen bzw. Aktualisierungen werden in einem nächsten Schritt – zum Teil in der Datenbank und zum Teil im Analysesystem – bewertet und in entsprechende Kenngrößen zusammengefasst. Dies ist deshalb notwendig, um einerseits die Eingangsgrößen zu einer geringen und überschaubaren Anzahl zu reduzieren und um andererseits die Effizienz der Berechnungen zu erhöhen.

Vor allem die hohe Anzahl der Oberbauinformationen kann über entsprechende Kennwerte deutlich reduziert werden. Dabei sind neben der Zuordnung zu verschiedenen Bau- und Maßnahmentypen auch die Kenngrößen der Tragfähigkeit von besonderer Bedeutung (z.B. Dicke der Asphaltbefestigung, Tragfähigkeitszahl, zulässige Normlastwechsel, etc.), da sie einen wesentlichen Einfluss auf die Kosten und Anwendbarkeit möglicher Erhaltungsstrategien besitzen. Die österreichische Tragfähigkeitszahl wurde speziell für alle bituminösen Oberbaukonstruktionen entwickelt, unabhängig davon, ob der Oberbau bereits mehrmals instandgesetzt wurde oder ob die Oberbaukonstruktion eine neuwertige Befestigung darstellt. Sie stellt im Vergleich zur häufig verwendeten „strukturellen Kennzahl“ erstmalig eine zeitabhängige Größe dar und wurde mit den Informationen der Altersstruktur der österreichischen Oberbaukonstruktionen (statistische Untersuchung) an die österreichischen Verhältnisse angepasst.

Auch bei den Verkehrsdaten müssen aus der Vielzahl der zur Verfügung stehenden Informationen bestimmte Kennzahlen errechnet werden, die repräsentativ für einen Abschnitt die Belastungssituation beschreiben. Dabei kann die Verkehrsbelastung entweder über die Anzahl der Fahrzeuge oder über die Anzahl der Übergänge einer Normachslast (Normlastwechsel) definiert werden. Von entscheidendem Einfluss ist dabei die Prognose der Verkehrsbelastung, die über die Zeitreihen der einzelnen Verkehrserhebungen abgeleitet werden kann. Die Verkehrsbelastung kann daher für unterschiedliche Zeitpunkte während des Analyse- bzw. Prognosezeitraums berechnet und somit für die Maßnahmenentscheidung herangezogen werden (z.B. Bemessungsnormlastwechsel). Für die Straßenzustandsprognose ist das Verhältnis zwischen vorhandener Verkehrsbelastung und zulässiger Verkehrsbelastung des Oberbaus – ausgedrückt durch den sogenannten Verkehrsbelastungskoeffizienten – ein wesentlicher Einflussfaktor. Unterdimensionierte Oberbaukonstruktionen weisen in der Regel eine schnellere bzw. progressive Zustandsverschlechterung auf als richtig dimensionierte oder überdimensionierte Oberbauten.

Die Bewertung des Straßenzustandes bildet die Grundlage für die Festlegung des Erhaltungsbedarfs. Dazu werden die aktuellen oder prognostizierten Zustandsinformationen mit anderen Einflussgrößen (z.B. Oberbaukennzahlen) verknüpft, sodass zu einem bestimmten Zeitpunkt während der Analyse eine Aussage über den Straßenzustand möglich ist. Unabhängig vom Betrachtungszeitpunkt wird immer der gleiche Berechnungsalgorithmus angewendet.

Da ein einzelnes Zustandsmerkmal nur eine Eigenschaft des Straßenzustandes beschreibt, ist es sinnvoll, alle erfassten Zustandsgrößen in dimensionslose Werte überzuführen (Normierung, Umwandlung von Zustandsgrößen in Zustandswerte) und zu Teilwerten bzw. zu einem Gesamtwert zusammenzufassen (Wertsynthese). Dies ist vor allem im Zuge der Zustandsoptimierung erforderlich, da mathematisch nur nach einem Wert optimiert werden kann, der zugleich die Informationen aller Zustandsmerkmale (Oberflächenschäden, Risse, Spurrinnen, Längsebenheit und Griffigkeit) beinhalten soll. Bei der Bildung von Teilwerten ist zu beachten, dass nicht jedes Zustandsmerkmal beliebig mit einem anderen Zustandsmerkmal verknüpft werden darf. Grundsätzlich können die Teilwerte in eine die Struktur bzw. Substanz beschreibende Größe – den Substanzwert – und in eine die Wirkung auf den Straßennutzer (Fahrsicherheit und Fahrkomfort) beschreibende Größe – den Gebrauchswert – unterschieden werden. Eine Veränderung der strukturellen Beschaffenheit kann sich einerseits durch eine Verschlechterung des visuell erkennbaren Zustandes vollziehen, andererseits auch durch eine nicht visuelle erkennbare Änderung der Material- und Struktureigenschaften in der Oberbaukonstruktion. Deshalb muss bei der Bildung des Substanzwertes neben den Zustandsmerkmalen auch das Alter der einzelnen Schichten berücksichtigt werden. Der Einfluss des Oberbaualters wurde in gleicher Weise wie bei der Bildung der Tragfähigkeitszahl über die empirische Verteilung der Altersstruktur der österreichischen Oberbaukonstruktionen abgeleitet. Aus beiden Teilwerten wird schließlich über entsprechende Verknüpfungsvorschriften der Gesamtwert abgeleitet. Die Festlegung dieser Teilwerte erfolgte dabei in Anlehnung an die Teilziele der Straßenerhaltung (Erhaltung der Fahrsicherheit, des Fahrkomforts und der Substanz).

Eine wesentliche Randbedingung im Rahmen der Datenanalyse stellen die möglichen Erhaltungsmaßnahmen auf einem bestimmten Straßenabschnitt dar. Die Kombination verschiedener Erhaltungsmaßnahmen zu unterschiedlichen Zeitpunkten führt zu unterschiedlichen Erhaltungsstrategien, deren Wirkungen letztendlich einer vergleichenden Untersuchung unterzogen werden (Nutzen-Kosten-Untersuchung).

Für die österreichischen Verhältnisse konnte auf der Grundlage bestimmter Vorarbeiten (z.B. Kostenerfassungen) ein Maßnahmenkatalog sowohl für die Asphalt- als auch für die Betonbauweise entwickelt werden, der die häufigsten Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen beinhaltet. Die monetäre Bewertung der Erhaltungsmaßnahmen erfolgt durch die Festlegung von flächenbezogenen Kosten, die entstehen, wenn eine bestimmte Maßnahme durchgeführt wird. Werden Kosten von Maßnahmen über einen längeren Zeitraum untersucht, so müssen die auftretenden monetären Maßnahmenwirkungen mit Hilfe der Diskontierung unter Anwendung der Kapitalwertmethode vergleichbar gemacht werden. Neben der monetären Wirkung ist jede Erhaltungsmaßnahme durch die Wirkungen auf den Straßenzustand und die Oberbau-

konstruktion gekennzeichnet (Rücksetzwerte). Da in Österreich derzeit keine gesonderten Untersuchungen über die Wirkung von Erhaltungsmaßnahmen auf den Straßenzustand vorliegen, musste anhand der statistischen Auswertung der Zustandswerte bzw. Zustandsgrößen auf neu instandgesetzten Abschnitten die Beurteilung der Maßnahmenwirkung auf jedes Zustandsmerkmal neu abgeleitet werden. Die so gewonnenen Erkenntnisse definieren die Wirkung auf das Einzelmerkmal und durch die Zusammenführung im Rahmen der Wertsynthese letztendlich auf den Gesamtwert.

Anwendungsgrenzen von Erhaltungsmaßnahmen definieren, unter welchen Kriterien eine Maßnahme auf einem bestimmten Abschnitt angewendet werden darf. Es handelt sich dabei um technische Einsatzkriterien und nicht um eine wirtschaftliche Abwägung der Maßnahme, die im Zuge der Nutzen-Kosten-Untersuchung (Kostenwirksamkeitsanalyse) durchgeführt wird. Anwendungsgrenzen von Erhaltungsmaßnahmen können sich auf den Straßenzustand, die vorhandene Oberbaukonstruktion und/oder die Verkehrsbelastung (zulässige Normlastwechsel) beziehen.

Neben den Informationen über die Erhaltungsmaßnahmen sind die Budgetvorgaben die zweite wesentliche Randbedingung während der Datenanalyse. Budgetvorgaben sind monetäre Randbedingungen, die durch die Festlegung eines jährlich zur Verfügung stehenden Erhaltungsbudgets definiert werden. Werden mehrere monetäre Randbedingungen für ein Jahr festgelegt, so spricht man von unterschiedlichen Budgetszenarien.

Ein entscheidender Schritt von einem einfachen Reihungsverfahren zu einem Optimierungsverfahren liegt in der Anwendung von Straßenzustandsprognosemodellen, die eine Aussage über die mögliche Entwicklung des Straßenzustandes zulassen. Dazu sind neben den Daten zur Entwicklung der Modelle auch die Informationen der einzelnen Einflussgrößen vorzuhalten. Modelle, die eine Vielzahl von kaum erfassbaren Eingangsgrößen beinhalten, sind zu vermeiden. Dies bedeutet, dass für die Abschätzung von Langzeiteffekten ausschließlich empirische Modelle in Frage kommen. Empirische Modelle können in Abhängigkeit vom gewählten statistischen Auswerteverfahren in stochastische Modelle (Aussage über die zukünftige Wahrscheinlichkeitsverteilung des Straßenzustandes) und deterministische Modelle unterschieden werden. Grundsätzlich ist den stochastischen Modellen gegenüber den deterministischen Modellen der Vorzug zu geben, da sie einerseits die Eigenschaften der Daten berücksichtigen und andererseits die Anwendung von stochastischen Entscheidungshilfemodellen ermöglichen. Der Nachteil dieser Modelle liegt jedoch in einem Fehlen geeigneter (kommerziell verfügbarer) Softwareprodukte. Aus diesem Grund werden derzeit ausschließlich deterministische Modelle verwendet. Deterministische Straßenzustandsprognosemodelle beschreiben die Veränderung des Straßenzustandes über einen funktionellen Zusammenhang (Verhaltensfunktion) zwischen der Zustandsgröße (abhängige Variable) und den verschiedenen Einflussgrößen (erklärende Variable), wovon mindestens eine Größe eine Zeitabhängigkeit aufweisen muss. In Österreich kann für jedes Zustandsmerkmal auf eine individuelle Verhaltensfunktion zurückgegriffen werden, die entweder aus den Daten der österreichischen Zustandserfassungen unter Anwendung von Regressionsanalysen (geometrische Anpassung) abgeleitet werden konnte, oder im Zuge von statistischen Auswertungen in Deutschland ermittelt wurde (z.B. Längsebenheit). Um

die Genauigkeit der Prognose deutlich zu verbessern, wird jede Funktion im Zuge der konkreten Anwendung einer abschnittsbezogenen Kalibrierung (Kalibriervektor oder Kalibrierfaktor) unter Verwendung der zuletzt erfassten Mess- oder Erfassungsgröße unterzogen.

Neben der laufenden oder periodischen Aktualisierung der Eingangsgrößen für die Modelle, müssen auch die Modelle selbst einer periodischen Wartung (Verbesserung) unterzogen werden. Als zweckmäßig erscheint in diesem Zusammenhang eine Methode, die ausschließlich das alte Ergebnis und die neuen Datensätze verwendet, ohne die alten Datensätze einer neuerlichen Analyse zu unterziehen. Dieser Vorteil kann durch die Anwendung des Bayes-Verfahrens ausgenützt werden.

Die Durchführung einer Erhaltungsmaßnahme verursacht in der Regel eine direkte Verbesserung des Straßenzustandes, ausgedrückt über die Rücksetzwerte, beeinflusst jedoch auch die zukünftige Entwicklung des Straßenzustandes. Eine Erhaltungsmaßnahme, die nur eine kurzzeitige Verbesserung des Straßenzustandes verursacht, wird einen geringeren Nutzen (Wirkung der Maßnahme auf den Gesamtwert) aufweisen, als eine Maßnahme, die eine längere wirksame Zustandsänderung zur Folge hat. Da auch über diese Form der Maßnahmenwirkungen derzeit keine expliziten Untersuchungen vorliegen, wurde zur Lösung dieses Problems auf die statistische Auswertung der Kalibrierfaktorenwerte zurückgegriffen. Der Vergleich der Summenhäufigkeitsverteilungen der Kalibrierfaktoren unterschiedlicher Erhaltungsmaßnahmen ermöglicht für jedes Zustandsmerkmal eine Aussage über die Änderung des Funktionsverlaufs nach dem Durchführen einer Maßnahme. Für die unterschiedlichsten Kombinationen (bestehende Maßnahmensituation und geplante Erhaltungsmaßnahme) konnten Verhältniswerte angegeben werden, die entweder zu einer langsameren, gleichbleibenden oder schnelleren Zustandsverschlechterung führen.

Die Datenanalyse stellt jenen Prozess im System dar, bei dem die Daten bzw. die daraus abgeleiteten Kennwerte, die Modelle und die Randbedingungen (Maßnahmenkatalog, Budgetvorgaben) im Rahmen einer Nutzen-Kosten-Untersuchung und einer anschließenden Optimierung verknüpft werden. Für die praktische Anwendung wird auf ein computerunterstütztes System aus Kanada zurückgegriffen (VIAPMS©), das ein heuristisches Optimierungsverfahren für die Wahl der optimalen Erhaltungsstrategie verwendet. Die voran gestellte Wirtschaftlichkeitsuntersuchung (Kostenwirksamkeitsanalyse) soll aus den technisch möglichen Erhaltungsstrategien nur jene Maßnahmen für die Optimierung auswählen, die ein vergleichsweise günstiges Nutzen-Kosten-Verhältnis aufweisen. Der Nutzen einer Erhaltungsstrategie ist dabei durch die verkehrsgewichtete Wirkung der Strategie auf den Gesamtwert definiert. Als Auswahlkriterium wird der Quotient aus Nutzen zu Kosten zwischen den einzelnen Strategien herangezogen, der auch als inkrementelles Nutzen-Kosten-Verhältnis bezeichnet wird. Die Auswahl der optimalen Erhaltungsstrategie erfolgt während der Optimierung durch eine vergleichende und iterative Untersuchung des inkrementellen Nutzen-Kosten-Verhältnisses mit den zur Verfügung stehenden Budgetmitteln.

Die Ergebnisse der Datenanalyse können in Abhängigkeit vom Detaillierungsgrad der Informationen in abschnittsbezogene Maßnahmenvorschläge und in Aussagen über Kosten- und Zustandsentwicklungen auf dem gesamten untersuchten Straßennetz unterschieden werden. Genau genommen handelt es sich um ein System der Netzebene, das zur Erhöhung der Ergebnisgenauigkeit eine abschnittsbezogene Analyse durchführt.

Netzbezogene Ergebnisse sind in erster Linie für politische Entscheidungsträger oder die oberste Verwaltungsebene eine wichtige Argumentations- oder Dokumentationsgrundlage, da sie eine Aussage über die zukünftige Entwicklung des Straßenzustandes, der Kosten, etc. auf dem gesamten Straßennetz ermöglichen. Abschnittsbezogene Maßnahmenvorschläge (optimierte Dringlichkeitsreihung) sind hingegen Ergebnisse, die für die operative Ebene zur Weiterverarbeitung in Bauprogrammen oder mehrjährigen Arbeitsprogrammen Anwendung finden.

Die Genauigkeit der Ergebnisse ist natürlich wesentlich von der Genauigkeit der Daten, der Modelle und der verwendeten Analyseverfahren abhängig. Auch der Realisierungszeitpunkt des Maßnahmenvorschlags hat aufgrund der Prognosewahrscheinlichkeit einen wesentlichen Einfluss auf die Genauigkeit. Je näher eine Maßnahme beim Ausgangszeitpunkt liegt (=Beginn der Analyse), desto wahrscheinlicher ist die Prognose und desto genauer ist das Ergebnis.

Liegen abschnittsbezogene Maßnahmevorschläge vor, so kann durch eine Kombination (ingenieurmäßige Zusammenführung) mit den Ergebnissen der Erhaltungsplanung von Bauwerken (Tunnel, Brücken, Galerien, etc.) ein umfassendes Arbeits- oder Bauprogramm erstellt werden. Aus dem auf den Oberbau bezogenen Pavement Management System (PMS) wird ein ganzheitliches Erhaltungsmanagementsystem (EMS).

Literaturverzeichnis

[1] SCHMUCK A.: Straßenerhaltung mit System, Grundlagen des Managements. Kirschbaum Verlag, Bonn, 1987

[2] BREYER G., FUCHS M. und PICHLER W.: Pavement Management System für österreichische Bundesstraßen. Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 356, Wien, 1988

[3] RVS 13.541: Straßeninstandsetzung, Asphaltstraßen, Grundlagen zur Zustands- und Maßnahmenbeurteilung. Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau, Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr, Wien, 1988

[4] MAURER F. and OFSTEAD E.: Minnesota's Pavement Management System: How It Came About and the Steps Taken. Proc., Second North American Conference on Managing Pavements, Vol. 3, Toronto, 1987

[5] STROHMAIER S.: Dringlichkeitsreihung 1999 – Landesstraßen. Amt der Kärntner Landesregierung, Abt. 17 BT – Bautechnik, Klagenfurt, 2000

[6] VYCUDIL A. und LITZKA J.: Schritte zur Implementierung eines PMS für das österreichische Bundesstraßennetz. Straßenbau und Straßenerhaltung, Tagungsband Spittal 1999, Technikum Kärnten, 1999

[7] VYCUDIL A. und WISTUBA M.: Handbuch zur Systemkonfiguration der Datenbank VIABASE_AUSTRIA, Version 5.0. Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität Wien, unveröffentlicht, Wien, 2000

[8] BMVIT (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie): Abschnittsverzeichnis der österreichischen Bundesstraßen. Wien, 1999

[9] RVS 5.011, Verkehrsinformationssysteme – Grundlagen, Bezugssystem für Straßen. Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau, Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr, Wien, 1999

[10] RVS 3.63, Bautechnische Details, Oberbaubemessung. Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau, Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr, Wien, 1998

[11] MOLZER C., FUSSEIS W., LITZKA J. und STEIERWALD G.: Auswirkung von Achslasterhöhungen auf das Bundesstraßennetz. Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Schriftenreihe Straßenforschung Heft 450, Wien, 1995

[12] EMS-ASFINAG-Kernteam: Anleitung zur Aktualisierung der Oberbaudaten des ASFINAG-Netzes in der Straßendatenbank VIABASE_AUSTRIA, Bauliche Erhaltungsmaßnahmen. Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität Wien, unveröffentlicht, Wien, 1999

[13] ÖSTERREICHISCHES STATISTISCHES ZENTRALAMT (ÖSTAT): Straßenverkehrszählung 1995 – Bundesstraßen. Beiträge zur österreichischen Statistik, Heft 1319, Wien, 2000

[14] BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, INNOVATION UND TECHNOLOGIE (vormals Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten): Automatische Straßenverkehrszählung, Jahresauswertung 1998. Band 1, Wien, 1999

[15] LITZKA J., VYCUDIL A. und STRECKEL C.: Österreichischer Schadenskatalog für Asphalt- und Betonstraßen. Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität Wien im Auftrag der ASFINAG, unveröffentlicht, Wien, 2000

[16] LITZKA J., VYCUDIL A. und STRECKEL C.: Arbeitsanweisung zur Durchführung der visuellen Straßenzustandserfassung 2000 auf den österreichischen Bundesstraßen. Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität Wien im Auftrag des BMVIT, unveröffentlicht, Wien, 2000

[17] STRECKEL C.: Ausarbeitung von Grundlagen für die Erstellung eines Schadenskataloges zur Erfassung erhaltungsrelevanter Zustandsmerkmale von Straßen. Diplomarbeit, Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität Wien, 2000

[18] LITZKA J. und VYCUDIL A.: Aufbereitung und Implementierung der Zustandsdaten der Messkampagne 1999 in die VIABASE-Datenbank der ASFINAG. Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität Wien im Auftrag der ASFINAG, Technischer Bericht, unveröffentlicht, Wien, 2000

[19] RÜBENSAM J und SCHULZE F.: Entwicklung einer Methodik zur zweckmäßigen Zusammenfassung maßnahmebedürftiger Abschnitte der BAB-Betriebsstrecken auf der Grundlage von Zustands- und Bestandsdaten. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 736, Bundesministerium für Verkehr, Bonn-Bad Godesberg, 1996

[20] THOMAS F.: Partitioning a road into homogeneous sections based on road surface measurements. 1st European Pavement Management System Conference, Budapest, 2000

[21] WISTUBA M., LITZKA J. und BLAB R.: Klimakenngrößen für den Straßenoberbau in Österreich. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Schriftenreihe Straßenforschung Heft 507, Wien, 2001

[22] C. MOLZER, K. FELSENSTEIN, R. VIERTL, J. LITZKA und A. VYCUDIL: Statistische Methoden zur Auswertung von Straßenzustandsdaten. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Schriftenreihe Straßenforschung Heft 499, Wien, 2000

[23] VYCUDIL A. und LITZKA J.: Pilotanwendung des österreichischen Pavement Management Systems VIAPMS_AUSTRIA, Version 2.0. Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität Wien im Auftrag der ASFINAG, Technischer Bericht, unveröffentlicht, Wien, 2000

[24] VYCUDIL A.: Handbuch zur Systemkonfiguration des Pavement Management Systems VIAPMS_AUSTRIA, Version 2.0. Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität Wien, unveröffentlicht, Wien, 2000

[25] AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, Washington D.C., 1993

[26] VAN TIL C.J., McCULLOUGH B.F., VALLERGA B.A. and HICKS R.G.: Evaluation of AASHO Interim Guides for Design of Pavement Structures. NCHRP Report 128, USA, 1972

[27] RADA G. and WITCZAK M.W.: A Comprehensive Evaluation of Laboratory Resilient Moduli Results for Granular Material. TRB Papers, USA, 1981

[28] WATANATADA T., HARRAL C.G., PATERSON W.D.O., DHARESHWAR A.M., BHANDARI A. and TSUNOKAWA K.: The Highway Design and Maintenance Standards Model. Volume One: Description of the HDM-III Model, The Highway Design and Maintenance Standards Series, John Hopkins University Press, Baltimore, USA, 1987

[29] ODOKI J.B. and KERALI H.G.R.: HDM-4 Highway Development & Management. Volume Four: Analytical Framework and Model Descriptions, The World Road Association (PIARC), Version 1.0, The Highway Development and Management Series, 2000

[30] KERKOVEN R.E. und DORMON G.M.: Einige Betrachtungen über das CBR-Verfahren für den Entwurf flexibler Decken. Bitumen 4/53 (73-81), 1953

[31] RVS 3.64, Bautechnische Details, Oberbauverstärkung von Asphaltstraßen. Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau, Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr, Wien, 1992

[32] OECD: OECD full-scale pavement test. Road Transport Research, Report prepared by an OECD scientific expert group, Paris, France, 1991

[33] MOLZER C. und LITZKA J.: Auswertung und Analyse der Zustandserfassung 1995 – österreichisches Bundesstraßennetz. Mitteilungen des Institutes für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität Wien, Heft 8, Wien, 1997

[34] SAYERS M. und KARAMIHAS S.: The Little Book of Profiling – Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles. National Highway Institute, USA, 1998

[35] FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR DAS STRASSEN UND VERKEHRSWESEN: Arbeitspapier Nr. 9/D – Systematik der Straßenerhaltung, Teil D, Zustandsbewertung, Köln, 1989.

[36] HAAS R., HUDSON W.R. and ZANIEWSKI J.: Modern Pavement Management. Krieger Publishing Company, Florida, USA, 1994

[37] RVS 3.7: Überprüfung der Anlageverhältnisse von Straßen. Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau, Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr, Wien, 1994

[38] DEIGHTON R. and DEIGHTON ASSOCIATES LTD: dTIMS© - Reference Manual. Bowmanville, Ontario, Kanada, 1998

[39] TIEFENBACHER H.: Wirtschaftlichkeitsuntersuchung von Oberbaukonstruktionen; Richtlinie; Erfahrungssammlung. Informationsschreiben des Bundesministeriums für wirtschaftliche Angelegenheiten an die österreichischen Straßenverwaltungen, unveröffentlicht, Wien, 1997

[40] LITZKA J., ÖFPZ ARSENAL und GEST: A1-Westautobahn, Generelle Zustandserfassung und Bewertung auf Netzebene 1998. Erstellt im Auftrag der ASFINAG, Wien, 1998

[41] LITZKA J. und PEJRIMOVSKY D.: Generelle Zustandserfassung und –bewertung A9 und A10. Studie im Auftrag der ÖSAG, Wien, 1995

[42] HUSCHEK S.: Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe, Straße und Autobahn, Heft 3/95, Kirschbaum Verlag, Bonn, 1995

[43] BFPZ Arsenal: Bericht über Griffigkeits- und Spurrinnenmessungen im Bundesstraßennetz und deren Auswertung, Messkampagne 1995/1996. Wien, 1997, unveröffentlicht

[44] ZTV Asphalt – StB 01: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Asphaltstraßen, Bonn, 2001

[45] TIEFENBACHER H.: Erfahrungen mit der Straßengriffigkeit in Österreich. Beitrag zur Jahrestagung FSV 2001, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 2001

[46] RÜBENSAM J. und SCHULZE F.: Auswertung von Langzeitbeobachtungsdaten zur Beantwortung von Fragestellungen des Managements der Straßenerhaltung. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 712, Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Straßenbau, Bonn-Bad Godesberg, 1995

[47] KIJIMA M.: Markov Processes for Stochastic Modelling. Chapman and Hall, London, 1997

[48] VIERTL R.: Einführung in die Stochastik mit Elementen der Bayes-Statistik und Ansätzen für die Analyse unscharfer Daten. Springer Verlag, Wien, 2. Auflage, 1997

[49] BUTT A., SHANIN M., FEIGHAN K. und CARPENTER S.: Pavement Performance Prediction Models Using the Markov Process. Transportation Research Board, TRR 1123, Washington D.C., 1987

[50] MBWANA J. und MEYBURG A.: Practical Insights in Pavement Performance Modelling Using Markov Chains. 76th Annual Meeting Trasportation Research Board, Paper No. 971300, Washington D.C., 1997

[51] NINGYUAN L., HUOT M., XIE W. und HAAS R.: Applied Reliability and Markov Process Approach to Modelling Pavement Deterioration. XXth World Road Congress, Individual Papers 20.52.E, Permanent International Association of Road Congress PIARC, 1995

[52] NINGYUAN L., HAAS R. und XIE W.: Investigation of the Relationship Between Deterministic and Probabalisitic Models in Pavement Management. 76th Annual Meeting, Transportation Research Board, Paper No. 970171, Washington D.C., 1997

[53] KÜNZI H., KRELLE W., VON RANDOW R. und OETTLI W.: Nichtlineare Programmierung. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1979

[54] KREYSZIG E.: Statistische Methoden und ihre Anwendung. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, 1975

[55] BENNET C.R. and PATERSON W.D.O.: HDM-4 Highway Development & Management. Volume Five: A Guide to Calibration and Adaptation, The World Road Administration (PIARC), Version 1.0, The Highway Development and Management Series, 2000

[56] EUROPEAN COMMISSION: PARIS – Performance Analysis of Road Infrastructure – Final Report. Transport Research, 4th Framework Programme, Road Transport (Transport DG-109), Brussels, 1999

[57] AUGUSTIN H. und PIPPICH J.: Zerstörungsfreie Bestimmung von Kenngrößen der Straße mit den Geräten des Messfahrzeuges zum Zweck der Kontrolle und Abnahme durch die Baubehörde, BMwA, Straßenforschung, Heft 174, Wien, 1981

[58] PATERSON W.: Road Deterioriation and Maintenance Effects, Models for Planning and Management. The Highway Design and Maintenance Standards Series, World Bank, Johns Hopkins University Press, London, 1987

[59] LITZKA J., VYCUDIL A. und WISTUBA M.: Wissenschaftliche Vorarbeiten für die Umsetzung eines Pavement Management Systems in Österreich. Symposium Herausforderung Straßenerhaltung, Mitteilungen des Instituts für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität Wien, Heft 10, 1999

[60] STANGE K.: Bayes-Verfahren, Schätz- und Testverfahren bei Berücksichtigung von Vorinformationen, Springer-Verlag; Berlin 1977

[61] SCHIERENBECK H.: Grundzüge der Betriebswirtschaftslehre. 10. Auflage, Oldenburg Verlag, München – Wien, 1989

[62] PICHLER W.: Betriebswirtschaftliche Komponente beim Management der Straßenerhaltung. Habilitationsschrift, Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung, Technische Universität Wien, 1994

[63] BECKMANN A. und 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, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Abteilung Straßenbau, Bonn, 2001

[64] RAS-W: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen. Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Verkehrsplanung, Richtlinie für die Anlage von Straßen (RAS), Köln, 1986

[65] RVS 2.21: Entscheidungshilfen – Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Oberbaukonstruktionen im Straßenbau. Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau, Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr, Wien, 2001

[66] RESSL W.: Diagramme zur Ermittlung von Straßennutzerkosten. Informationen des Institutes für Straßenwesen und Verkehrsplanung, Heft 31, Universität für Bundeswehr, München, 1989

[67] SCHULZE K.H.: Unfalldaten und Straßengriffigkeit. Untersuchungen über die Verkehrssicherheit bei Nässe. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 189, Bundesministerium für Verkehr, Bonn – Bad Godesberg, 1975

[68] TIEFENBACHER H.: Beurteilung von Griffigkeitsmessungen. Vortrag im Rahmen des Straßenbautechnischen Seminars, Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität Wien, 2000

[69] STEINAUER B., MAYER G. und VAN DER SLUIS S.: Signifikante Griffigkeitswerte aus Verkehrssicherheitssicht. Forschungsauftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Wohnungswesen; bearbeitet am Institut für Straßenwesen, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, BRD, 2000

[70] HILL L. and HAAS R.: Multi Year Prioritization. Advanced Course in Pavement Management. U.S. Departement of Transportation, Federal Highway Administration, USA, 1991

[71] KISTNER K.: Optimierungsmethoden, Einführung in die Unternehmensforschung für Wirtschaftswissenschaftler. Physica-Verlag, 2. Auflage, Heidelberg, 1993

Anhang: Glossar

Abschnitt	Teilbereich einer Straße
Abschnittsbezogene Ergebnisse	Auf einzelne Straßenabschnitte bezogene Ergebnisse der PMS-Analyse
Abschnittsbezogene Kalibrierung	Adaptierung von Modellen an abschnittsbezogene Randbedingungen
Abschnittsinformation	Auf eine bestimmte Länge der Straße bezogene Information
Abschnittsverzeichnis (AVZ)	Liste der österreichischen Bundesstraßenabschnitte, herausgegeben vom BMVIT
Alter ab Instandsetzung	Zeitraum zwischen dem Jahr, indem eine Erhaltungsmaßnahme vorgeschlagen wird und einem bestimmten Zeitpunkt innerhalb der Analyseperiode
Alter des Oberbaus	Zeitraum zwischen dem Jahr der Herstellung einer Schicht und dem gegenwärtigen Jahr
Analyse	Siehe Datenanalyse
Analyseergebnisse	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung und der Optimierung in einem PMS
Analysezeitraum	Zeitraum zur Berechnung von Maßnahmenwirkungen
Anwendungsbereich	Technischer Einsatzbereich von Erhaltungsmaßnahmen (Zustand, Verkehr, etc.)
Anwendungsgrenze	Grenzwert für den technischen Einsatzbereich einer Erhaltungsmaßnahme
A-posteriori-Wahrscheinlichkeit	Zutreffenswahrscheinlichkeit eines Modellparameters nach der Modellaktualisierung
A-priori-Wahrscheinlichkeit	Zutreffenswahrscheinlichkeit eines Modellparameters der Ausgangssituation
Arbeitsprogramm	Siehe Bauprogramm
Aufbaugeschichte des Oberbaus	Angabe über die historische Abfolge der Anordnung der Oberbauschichten
Barwert	Siehe Gegenwartswert
Basisbezugspunkt (BP)	In der Natur eindeutig identifiziertes Zeichen oder Ort
Bauliche Straßenerhaltung	Sicherung des Straßenbestandes und der Aufrechterhaltung von Verkehrssicherheit und Fahrkomfort durch bauliche Maßnahmen aller Art und unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit
Baulos	Festgelegter Straßenabschnitt für die Durchführung einer Baumaßnahme
Bauprogramm	Plan für die Durchführung von Baumaßnahmen auf einem Straßennetz für einen bestimmten Zeitraum
Bayes-Verfahren	Statistisches Verfahren zur Aktualisierung von (Straßenzustandsprognose)Modellen

Beanspruchungsdaten	Daten zur Beschreibung der Belastungen bzw. Beanspruchungen des Bauwerks Straße
Betriebliche Straßenerhaltung	Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit ohne bauliche Maßnahmen (z.B. Winterdienst, Wartung von Leiteinrichtungen, etc.)
Betriebskosten (zusätzlich)	Kosten des Straßennutzers, die durch eine erhöhte Kfz-Wartungs- und Reparaturtätigkeit beim Befahren einer Straße mit Baustellen und/oder schlechtem Straßenzustand entstehen
Bewertungshintergrund	Festlegungen zur Beurteilung bzw. Benotung von Informationen
Bezugspunkt	Punkt zur eindeutigen Referenzierung von Straßeneigenschaften auf einer bestimmten Straße (vgl. Basisbezugspunkt, Netzbezugspunkt)
Bezugssystem	System zur Referenzierung von Straßendaten
Bituminöser Überzug	Dünne bituminöse Deckschicht auf Betondecken
Bruttokosten	Maßnahmenkosten inkl. aller anfallenden Steuern und Abgaben
Budgetkategorie	Monetäre Quelle für Erhaltungsmaßnahmen
Budgetvorgaben	Monetäre Vorgaben für Bauvorhaben bzw. Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen (Randbedingung)
Bundesstraßenkategorie	Hierarchische Einteilung der Bundestrassen in Autobahnen (A), Schnellstraßen (S) und sonstige Bundesstraßen (B)
Datenanalyse	Anwendung der Modelle und Algorithmen des PMS auf die Daten des zu untersuchenden Straßennetzes
Datenbank	Soft- und/oder Hardware zur Speicherung von Informationen und Daten
Datenbankinhalt	Informationen, die in einer Datenbank gespeichert sind
Datenbankstruktur	Gliederung der Datenbank
Datenfeld	Strukturelement einer Datenbank zur Speicherung von Daten bzw. Informationen
Datenmanagement	Systematische Verwaltung und Bearbeitung von Daten
Datentransformation	Übertragung von Dateneigenschaften
Deckschichtmaßnahme	Erhaltungsmaßnahme, die mit der Herstellung einer neuen Deckschicht (Dicke > 3 cm) verbunden ist
Deterministische Straßenzustandsprognosemodelle	Straßenzustandsprognosemodelle mit einem funktionellen Zusammenhang zwischen Zustandsgrößen (-werten) und Einflussgrößen. Wird in der Regel zur Darstellung des Zustandes in Abhängigkeit von der Zeit verwendet.
Differenzenkriterium	Differenz Maßnahmenkosten und –nutzen

Diskontierung	Verfahren zur Berechnung von monetären Maßnahmenwirkungen zu einem bestimmten Bezugszeitpunkt
Diskontrate	Differenz zwischen Zinssatz und Inflationsrate
Doppelkilometer	Mehrfachstationierung entlang einer Straße
Dynamische Programmierung	Mathematisches Verfahrung zur Lösung des Optimierungsproblems
Dynamische Segmentierung	Verknüpfung von Daten ohne Verlust der Datenschärfe bzw. –genauigkeit
Effektivität	Beurteilung von Erhaltungsmaßnahen im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit
Effektivitätsgerade	Grenzgerade von Erhaltungsmaßnahmen mit den größten (inkrementellen) Nutzen- Kosten-Verhältnis für einen bestimmten Straßenabschnitt
Einzelmerkmal	Qualitative und/oder quantitative Beschreibung eines einzigen Merkmals des Straßenzustandes
Empirische Straßenzustandsprognosemodelle	Straßenzustandsprognosemodelle auf der Grundlage von Laborversuchen oder Beobachtungen auf der Straße
Entität	Eigenschaft eines Straßenobjekts oder –merkmals
Entscheidungsebene	Hierarchisch organisierter Bereich der Verwaltungsstruktur
Erfassungsabschnitt	Abschnittsfestlegung im Rahmen einer visuell-sensitiven Datenerfassung (vgl. Messabschnitt)
Erfassungsgröße	Wert oder Größe einer Entität (eines Zustandsmerkmals) auf einem Erfassungsabschnitt im Zuge einer visuellen Zustandserfassung
Ergebniswahrscheinlichkeit	Wahrscheinlichkeit des Zutreffens einer Prognose im PMS
Erhaltungsabschnitt	Abschnitt, der im Rahmen der PMS-Analyse einer Beurteilung bzw. Bewertung unterzogen wird
Erhaltungsbudget	Monetäre Aufwendung zur Sicherstellung eines zuvor festgelegten Erhaltungsziels
Erhaltungsmanagementsystem (EMS)	System zur Kombination der Ergebnisse aus PMS und Bauwerksbeurteilung (ganzheitliches Managementsystem)
Erneuerung(smaßnahmen)	Sonderform der Instandsetzung, die zur Wiederherstellung des Straßenaufbaus (Oberbaus) führt
Fahrkomfort	Teilziel der Straßenerhaltung, welches den Einfluss der Ebenheit auf den Straßennutzer auf berücksichtigt
Fahrsicherheit	Teilziel der Straßenerhaltung, welches die Auswirkung des Unfallgeschehens auf den Straßennutzer berücksichtigt

Fehlkilometer	Fehlstationierung entlang einer Straße (Sprungstelle der Kilometrierung mit zwei Kilometerwerten)
Ganzzahlprogrammierung	Mathematisches Verfahrung zur Lösung des Optimierungsproblems
Gebrauchswert(Gebrauchsindex)	Teilwert zur Beschreibung der Fahrsicherheit und des Fahrkomforts einer Straße
Gegenwartswert	Gegenwärtiger Wert einer zu einem späteren Zeitpunkt durchzuführenden Zahlung
Gesamtkosten	Summe aus Straßennutzer- und Baulastträgerkosten
Gesamtwert	Zustandswert für die Beurteilung des Gesamtzustandes
Gewicht	Zahlenwert, welcher den Einfluss der verschiedenen Zustandsmerkmale auf die Teilziele bzw. Ziele definiert
Glättungsfilter	Funktion zur Reduktion der Streuung hintereinander liegender Messgrößen
Gleitender Mittelwert	Mittelwert über eine bestimmte Anzahl hintereinander liegender Mess- oder Erfassungsgrößen
Griffigkeit	Zustandsmerkmal, beschrieben durch den Reibungsbeiwert μ der Straßenoberfläche
Heuristische Optimierungsverfahren	Optimierungsverfahren unter Anwendung von Näherungsverfahren
Hilfsmaßnahme, Nebenmaßnahme	Nebenarbeiten im Zuge von Erhaltungsmaßnahmen
Homogener Datenabschnitt	Abschnitt einer Straße, der für eine Entität einen konstanten Wert bzw. Größe aufweist (vgl. repräsentativer homogener Datenabschnitt).
Inflationsrate	Zeitabhängige Änderung von Geldwerten
Inkrementelles Nutzen-Kosten-Verhältnis (INKV)	Änderung des Nutzen- Kosten-Verhältnisses zwischen zwei Erhaltungsmaßnahmen
Instandhaltung(smaßnahmen)	Bauliche Maßnahmen kleineren Umfangs, die nicht im voraus geplant und budgetiert werden, und zur Behebung von Schäden und Vermeidung von Folgeschäden durchgeführt werden.
Instandsetzung(smaßnahmen)	Großflächige bauliche Maßnahmen, die über einen längeren Zeitraum geplant und budgetiert werden, und zur Verbesserung der Befahrbarkeit bzw. der Bausubstanz dienen.
Interventionszeitraum	Zeitlich festgelegter Bereich, in welchem eine Erhaltungsmaßnahme erfolgen kann.
Inventardaten	Daten zur Definition des Bauwerks Straße
IRI (International Roughness Index)	Physikalische Messgröße zur Beschreibung der Längsebenheit
Kalibrierfaktor	Faktor zur Kalibrierung von deterministischen Straßenzustandsprognosemodellen
Kalibrierstufe	Schrittweise Kalibrierung von Modellen

Kalibrierung	Adaptierung von Modellen an Randbedingungen
Kalibriervektor	Verschiebungsvektor zur Kalibrierung von deterministischen Straßenzustandsprognosemodellen
Kapitalwert	Summe aller auf einen Bezugszeitpunkt auf- und/oder abgezinsten Zahlungen
Kapitalwertmethode	Verfahren zur Berechnung der Gegenwartswerte
Kosten	Monetäre Aufwendungen bei der Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen
Kostenmodelle	Modelle zur Beschreibung von Kostenveränderungen in Abhängigkeit vom Straßenzustand
Kosten-Nutzen-Untersuchung	Wirtschaftlichkeitsberechnung mit einer Gegenüberstellung der Kosten und des Nutzens
Kosten-Nutzen-Verhältnis	Quotient aus Nutzen und Kosten
Kostenwirksamkeitsanalyse	Bewertungsverfahren von Erhaltungsmaßnahmen mit nicht monetär bewertetem Nutzen
Kumulierte (Norm)Lastwechsel	Bis zu einem bestimmten Zeitpunkt aufsummierte Anzahl von Lastübergängen (einer Normachslast)
Längsebenheit	Zustandsmerkmal zur Beschreibung der Ebenheit in Fahrtrichtung
Längsneigungsvarianz	Messgröße zur Beschreibung der Längsebenheit mit dem Profilometer
Liegedauer	Zeitraum zwischen der Errichtung und dem Abtrag einer Schicht
Lineare Programmierung	Mathematisches Verfahren zur Lösung des Optimierungsproblems
Logische Datengruppe	Strukturelement der Datenbank VIABASE©
Makroökonomische Wirtschaftlichkeit	Siehe Nutzen-Kosten-Verhältnis
Markoff-Ketten	Verfahren zur Definition von stochastischen Straßenzustandsprognosemodellen
Maßnahmengruppe	Zusammenfassung von ähnlichen Erhaltungsmaßnahmen im Hinblick auf Eigenschaft und Wirkung
Maßnahmengruppe	Klassifizierung von Maßnahmen in Abhängigkeit von der Maßnahmenwirkung
Maßnahmenkatalog	Katalog zur Definition von Erhaltungsmaßnahmen
Maßnahmenkosten	Kosten einer Erhaltungsmaßnahme
Maßnahmenzeitraum	Zeitraum für die Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen
Mechanistische Straßenzustandsprognosemodelle	Straßenzustandsprognosemodelle auf der Grundlage der theoretischen Ermittlung von Dehnungen und Spannungen und deren Anwendung auf Verhaltensgesetze

Messabschnitt	Abschnittsfestlegung im Rahmen einer Datenmessung (vgl. Erfassungsabschnitt)
Messgröße	Wert oder Größe einer Entität auf einem Messabschnitt (messtechnische Zustandserfassung)
Messreihe	Siehe Zeitreihe
Modelle des PMS	Theoretischer Hintergrund mit bzw. nach denen eine Analyse durchgeführt wird
Modernes Pavement Management System	PMS unter Anwendung eines Optimierungsverfahrens
Modifizierte Strukturelle Kennzahl (SNC)	Siehe Strukturelle Kennzahl (SN)
Mulit-Year-Prioritization	Mehrjährige Reihungsverfahren
Nettokosten	Maßnahmenkosten exkl. aller anfallenden Steuern und Abgaben
Netzbezugspunkt (NP)	Punkt auf einem Verkehrsweg zur systematischen Untergliederung
Netzebene	Entscheidungsebene mit einem Detaillierungsgrad an Informationen, der netzbezogene Entscheidungen (gesamtes Straßennetz oder Teilnetz) zulässt.
Nicht Lineare Programmierung	Mathematisches Verfahrung zur Lösung des Optimierungsproblems
Normierung	Überführung der Zustandsgröße in den Zustandswert
Normierungsfunktion	Mathematischer Zusammenhang zwischen Zustandsgröße und Zustandswert
Nutzen	Positiv (monetär) bewertete Wirkung von Erhaltungsmaßnahmen
Nutzen-Kosten-Analyse	Bewertungsverfahren von Erhaltungsmaßnahmen mit monetär bewerteten Nutzen
Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV)	Gegenüberstellung von Maßnahmennutzen zu Maßnahmenkosten (Quotientenkriterium)
Oberbaualter	Siehe Alter des Oberbaus
Oberbaudaten	Daten über den Aufbau der Straßenkonstruktion
Oberflächenmaßnahme	Erhaltungsmaßnahme zur Verbesserung der Oberflächeneigenschaften
Oberflächenschäden	Zustandsmerkmal zur Beschreibung von Schäden der Straßenoberfläche
Optimierte Dringlichkeitsreihung	Reihung von Straßenabschnitten als Ergebnis eines Optimierungsverfahrens
Optimierung	Mathematisches Verfahren für die Maximierung oder Minimierung einer Zielfunktion

Optimierungsverfahren	Ablaufplan für Erhaltungsmaßnahmen auf der Grundlage der Optimierung eines Parameters (Zustand, Kosten, etc.) unter Einbeziehung einer Zustandsprognose, siehe „reine Optimierungsverfahren“ und „heuristische Optimierungsverfahren“
Pavement Management System (PMS)	System zur objektiven und nachvollziehbaren Entscheidungsfindung für Erhaltungsmaßnahmen oder Erhaltungsstrategien (Bereich Straße) auf der Grundlage objektiv erfasster Straßeninformationen
Perspektive	Oberstes Strukturelement der Datenbank VIABASE© (Verzeichnis)
PMS-Analyse	Beurteilung und Bewertung von Daten bzw. Informationen in einem PMS
PMS-Erhaltungsabschnitt	Siehe Erhaltungsabschnitt
Politikebene	Entscheidungsebene mit einem Detaillierungsgrad an Informationen, der Entscheidungen auf politischer oder oberster Verwaltungsebene zulässt.
Prioritätenanalyse	Kombination der Dringlichkeitsreihung von Straße und Bauwerken
Prioritätenprogrammierungsmethode	Heuristisches Optimierungsverfahren
Produktivität	Zeitbezogene Leistung für die Durchführung einer Maßnahme
Projektebene	Entscheidungsebene mit einem Detaillierungsgrad an Informationen, der abschnittsbezogene detaillierte Entscheidungen zulässt.
PSI (Present Serviceability Index)	Kennwert zur Beschreibung der Befahrbarkeit einer Straße
Punktinformation	Information tritt an einer bestimmten Stelle der Straße auf
Quotientenkriterium	Siehe Nutzen-Kosten-Verhältnis
Randbedingungen der PMS-Analyse	Fixierte Einflussgrößen im Zuge der PMS-Analyse (z.B. Maßnahmenkosten, Budgetvorgaben, etc.)
Regionale Kalibrierung	Adaptierung von Modellen an regionale Randbedingungen
Regionale Zustandsprognosemodelle	Straßenzustandsprognosemodell mit regionalen Modellgrundlagen
Regression (linear)	Statistisches Verfahren zur Herleitung von (linearen) funktionellen Zusammenhängen aus Beobachtungen
Reihungsverfahren	Ablaufplan für Erhaltungsmaßnahmen in Form einer Reihung von Abschnitten oder Straßenzügen nach unterschiedlichen Kriterien (ausgehend vom vorhandenen Zustand, ohne Prognosemodelle)
Reine Optimierungsverfahren	Optimierungsverfahren unter Anwendung der mathematischen Programmierung

Repräsentative Zustandsgröße	Physikalischer, Flächen- oder Längenbezugswert zur quantitativen und/oder qualitativen Beschreibung von (übergeordneten) Zustandsmerkmalen auf einem homogenen Datenabschnitt
Repräsentativer homogener Datenabschnitt	Nach bestimmten Kriterien zusammengefasste (vereinfachte) homogene Erfassungs- oder Messabschnitte
Risse	Zustandsmerkmal zur Beschreibung von Rissschäden
Rücksetzwert	Quantifizierbare Auswirkung einer Erhaltungsmaßnahme auf eine Entität
Schaden	Verschlechterung einer Eigenschaft des Bauwerks Straße
Schadensausmaß	Flächen- oder längenmäßige Ausbreitung eines Schadens
Schadenskatalog	Auflistung möglicher Schädigungen der Straße
Schadensschwere	Grad der Schädigung der Straße bzw. der Oberbaukonstruktion
Schwellenwert	Grenzwert (Zustandswert) für die Einleitung von Erhaltungsmaßnahmen
Single-Year-Prioritization	Einjährige Reihungsverfahren
Spektrale Dichte	Physikalische Rechengröße zur Beschreibung der Längsebenheit
Spurrinnen	Zustandsmerkmal zur Beschreibung der Querebenheit
Stationierung	Kilometerbezug entlang der Straße
Stochastische Straßenzustandsprognosemodelle	Straßenzustandsprognosemodelle auf der Grundlage von Wahrscheinlichkeiten der Zustandsänderung
Straßenbaulastträgerkosten	Kosten, die beim Bau und der Erhaltung von Straßen für den Straßenerhalter anfallen
Straßenbezugssystem	Siehe Bezugssystem
Straßenerhaltung	Laufende oder periodische Verbesserung bzw. Wartung des Infrastrukturobjekts Straße
Straßenerhaltungsmanagementsystem	siehe Pavement Management System (PMS)
Straßengeometriedaten	Daten über den Verlauf des Bauwerks Straße
Straßennutzerkosten	Kosten, die dem Straßennutzer beim Befahren der Straße zugeordnet werden können
Straßenschlüssel	Eigenschaft eines Straßenobjektes zur Identifizierung dieses Objekts
Straßenzustand	Grad der Schädigung des Bauwerks Straße (zu einem bestimmten Zeitpunkt)
Straßenzustandsbewertungsmodelle	Modelle zur Berechnung charakteristischer Zustandskenngrößen (Teilwerte, Gesamtwert)
Straßenzustandserfassung	Vorgang zur Erfassung des Straßenzustandes (visuell, sensitiv oder messtechnisch)

Straßenzustandsprognosemodell	Modell zur Beschreibung bzw. Vorhersage der Entwicklung des Straßenzustandes
Strategie	Erhaltungsmaßnahme auf einem Straßenabschnitt unter Berücksichtigung technischer Einsatzkriterien
Strategieliste	Auflistung möglicher Erhaltungsmaßnahmen und-strategien auf einem Straßenabschnitt unter Berücksichtigung technischer Einsatzkriterien
Strukturelle Kennzahl (SN)	Kennzahl zur Beschreibung der Tragfähigkeit von flexiblen Oberbaukonstruktionen
Substanzerhaltung	Erhaltung der Oberbaukonstruktion (Teilziel der Straßenerhaltung)
Substanzwert(index)	Teilwert zur Beschreibung der strukturellen Beschaffenheit der Oberbaukonstruktion
Teilwert	Zustandswert für die Beurteilung des Zustandes im Hinblick auf ein ausgewähltes Teilziel
Teilziel	Ziel der systematischen Straßenerhaltung für einen bestimmten Teilaspekt oder Teilbereich (Fahrsicherheit, Fahrkomfort, etc.)
Tragfähigkeitszahl	Kennzahl zur Beschreibung der Tragfähigkeit von flexiblen Oberbaukonstruktionen (Erweiterung der strukturellen Kennzahl)
Übergangswahrscheinlichkeit	Wahrscheinlichkeit der Veränderung eines Zustandsmerkmals
Übergeordnetes Zustandsmerkmal	Aus Einzelmerkmalen zusammengesetztes Zustandsmerkmal
Überregionale Zustandsprognosemodelle	Straßenzustandsprognosemodelle mit überregionalen Modellgrundlagen
Unfallkosten	Kosten für den Straßennutzer bzw. für die Allgemeinheit, die durch ein erhöhtes Unfallgeschehen beim Befahren einer Straße mit Baustellen und/oder schlechtem Straßenzustand entstehen
Variationsbreite	Schwankungsbreite für einen bestimmten Wert
Verhaltensfunktion (deterministisch)	Siehe deterministische Straßenzustandsprognosemodelle
Verkehrsbelastungskoeffizient	Kennzahl zur Beschreibung der Tragfähigkeit der Oberbaukonstruktion als Verhältnis zwischen der zulässigen und der tatsächlichen Verkehrsbelastung einer Oberbaukonstruktion
Verkehrsdaten	Daten über die Verkehrsbelastung der Straße bzw. des Straßenabschnitts
Verkehrszählung	Erfassung von Verkehrsdaten
Verknüpfung	Zusammenfassung von Zustandswerten zu Teil- und Gesamtwerten

Verstärkungsmaßnahme	Erhaltungsmaßnahme zur Verbesserung der Tragfähigkeit einer Oberbaukonstruktion
Verzinsung	Zeitabhängige Wertänderung von Zahlungen
Warnwert	Grenzwert (Zustandswert) für die Einplanung von Erhaltungsmaßnahmen.
Wirtschaftlichkeit von Erhaltungsmaßnahmen	Beurteilung von Erhaltungsmaßnahmen hinsichtlich Kosten und Nutzen
Zeitkosten	Kosten des Straßennutzers, die durch einen erhöhten Zeitaufwand beim Befahren einer Straße mit Baustellen und/oder schlechtem Straßenzustand entstehen
Zeitreihe	Zeitliche Abfolge von hintereinander erfassten Mess- oder Erfassungsgrößen
Zielfunktion	Funktion die optimiert werden soll
Zielwert	Auf Zustandswert bezogenes Ziel einer Erhaltungsmaßnahme
Zustand	Siehe Straßenzustand
Zustandklasse	Auf den Zustandswert bezogene Benotung eines Zustandsmerkmals
Zustandsdaten	Daten zur quantitativen und qualitativen Beschreibung des Zustands des Bauwerks Straße
Zustandserfassung	Aufnahme der Ist-Zustände von Entitäten
Zustandsgröße	Physikalischer, Flächen- oder Längenbezugswert zur quantitativen und/oder qualitativen Beschreibung von (übergeordneten) Zustandsmerkmalen
Zustandsmerkmal	Merkmal zur qualitativen und/oder quantitativen Beschreibung des Straßenzustandes
Zustandsprognosemodell	Siehe Straßenzustandsprognosemodell
Zustandswert	Über Normierung der Zustandsgrößen gewonnener dimensionsloser Wert für Zustandsmerkmale