



Handbuch Pavement Management in Österreich

Version 2016

Wien, Österreich

Ausgearbeitet von:

Alfred Weninger-Vycudil, Barbara Brozek, Petra Simanek, Johann Litzka

Dezember 2016

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	5
1.1 Allgemeines	5
1.2 Hintergrund des Handbuches.....	5
1.3 Maßgebende Definitionen	8
1.3.1 Was ist Straßenerhaltung?.....	8
1.3.2 Was ist Pavement Management?	8
1.3.3 Was ist Asset Management?.....	9
2. Strategisches Erhaltungsmanagement	10
2.1 Aufgaben des Pavement Managements	10
2.2 Personen- und Interessensgruppen (Stakeholders).....	10
2.3 Strategische Erhaltungsziele	11
2.4 Strategische Ziele im ASFINAG-Asset Management	12
2.4.1 Entwicklung Erhaltungsstrategie ASFINAG	12
2.4.2 Überblick Erhaltungsstrategie ASFINAG	12
2.4.3 Berücksichtigung strategische Erhaltungsziele im PMS.....	15
3. Informationen und Daten für das Pavement Management.....	16
3.1 Einleitung.....	16
3.2 Beschreibung des Straßennetzes	16
3.2.1 Definition Straße aus der Sicht des PMS.....	16
3.2.2 Straßenschlüssel Richtungsfahrbahn	16
3.3 Bezugssystem zur Datenreferenzierung im PMS	18
3.3.1 Betriebskilometer	18
3.3.2 Referenzierung im Straßenquerschnitt.....	19
3.4 Inventardaten.....	20
3.4.1 Allgemeines.....	20
3.4.2 Oberbaudaten	21
3.4.3 Querschnittsdaten	23
3.5 Zustandsdaten.....	23
3.5.1 Begriffsdefinitionen	23
3.5.2 Einteilung der Zustandsmerkmale	24

3.5.3	Erfassung des Straßenzustandes.....	36
3.6	Verkehrsdaten und sonstige Beanspruchungen	37
3.6.1	Verkehrsstärken und Verkehrsentwicklung.....	37
3.6.2	Klimadaten	38
4.	Datenaufbereitung.....	40
4.1	Analyseabschnitte	40
4.1.1	Einteilung Analyseabschnitte	40
4.1.2	Abschnitte für Detaildaten.....	41
4.1.3	Maßnahmenabschnitte.....	42
4.2	Kennzahlen des Oberbaus.....	44
4.2.1	Einleitung	44
4.2.2	Bautypen der Oberbaukonstruktion	44
4.2.3	Tragfähigkeit von bituminösen Oberbaukonstruktionen	45
4.2.4	Tragfähigkeit von Betondecken	52
4.2.5	Zusätzliche Tragfähigkeitsuntersuchungen flexibler Oberbaukonstruktionen.....	55
4.3	Bewertung des Straßenzustandes.....	57
4.3.1	Einleitung	57
4.3.2	Randbedingungen für die Bewertung	58
4.3.3	Verfahrensbeschreibung.....	59
4.3.4	Zustandsgrößen und Zustandswerte (Normierung)	62
4.3.5	Gebrauchswert.....	67
4.3.6	Substanzwert	68
4.3.7	Gesamtwert	71
5.	Pavement Management Analysen	73
5.1	Lebenszyklusbewertung.....	73
5.2	Risikobewertung.....	75
5.3	Straßenzustandsprognose.....	76
5.3.1	Einleitung	76
5.4	Physikalischer Exkurs.....	77
5.5	Straßenzustandsprognose.....	81
5.5.1	Einleitung	81
5.5.2	Empirisch-deterministische Zustandsprognosemodelle.....	82
5.5.3	Vergleich Zustandsprognose und Messwerte.....	88
5.6	Erhaltungsmaßnahmen	93

5.6.2	Definition Erhaltungsstrategie	94
5.6.3	PMS-spezifische Festlegung von Erhaltungsmaßnahmen	95
5.6.4	Kosten von Erhaltungsmaßnahmen.....	97
5.6.5	Anwendungsgrenzen von Erhaltungsmaßnahmen.....	98
5.6.6	Wirkungen von Erhaltungsmaßnahmen	100
5.7	Wirtschaftlichkeitsuntersuchung und Optimierung.....	102
5.7.1	Allgemeines.....	102
5.7.2	Analysezeitraum und Maßnahmenzeitraum	103
5.7.3	Definition des Nutzens.....	103
5.7.4	Nutzen-Kosten-Untersuchung	106
5.7.5	Optimierung	108
6.	Praktische PMS-Anwendungen.....	110
6.1	Infrastruktur Management Tool (IMT).....	110
6.2	Pavement Management Software dTIMS.....	110
6.3	Ergebnisse der PMS-Analyse	112
6.3.1	Einteilung der Ergebnisse.....	112
6.3.2	Abschnittsbezogene Ergebnisse.....	113
6.3.3	Netzbezogene Ergebnisse	114
7.	Zusammenfassung und Ausblick	116

1. Einleitung

1.1 Allgemeines

Die Straßenerhaltung ist in den letzten Jahrzehnten zu einem wesentlichen Aufgabengebiet im Bereich der Straßeninfrastruktur geworden. Mit der Implementierung eines Pavement Management Systems (kurz PMS) wurde Ende der 90er-Jahre des letzten Jahrhunderts ein wesentlicher Schritt für die systematische Erhaltung des Straßenoberbaus gesetzt, der sich in der Zwischenzeit zu einem umfassenden, effizienten, objektiven und nachvollziehbaren Entscheidungsprozess entwickelt hat. Um die laufenden Änderungen der Anforderungen an die Straßenerhaltung sowie der beteiligten Personen und Interessensgruppen (Stakeholders) nachhaltig zu erfüllen, ist es notwendig, das Pavement Management System laufend weiterzuentwickeln und die Modelle und Verfahren zu verbessern. Mit dem gegenständlichen Handbuch wird diesem Umstand Rechnung getragen, da es die aktuellen Entwicklungen und Vorgaben enthält und somit die Grundlage für das österreichische Pavement Management darstellt.

Die im gegenständlichen Handbuch beschriebenen Grundlagen, Verfahren und Methoden gelten in erster Linie für die Autobahnen und Schnellstraßen können jedoch auch auf die Landesstraßennetze übertragen werden, wobei vor allem im Zuge der Bewertung des Straßenzustandes eine „sanftere Bewertung“ (flachere Normierungsfunktionen) vorzusehen ist. In welchem Ausmaß diese Grundlagen auf dem jeweiligen Landesstraßennetz übernommen werden, hängt von der Entscheidung der Landesstraßenverwaltungen ab.

1.2 Hintergrund des Handbuches

Die ersten Schritte in Richtung einer systematischen Erhaltung des Straßenoberbaus wurden in Österreich vor mehr als 35 Jahren unternommen. Dabei handelte es sich ausschließlich um Reihungsverfahren, die den zu untersuchenden Straßenabschnitten anhand einer visuellen Beurteilung eine entsprechende Dringlichkeit zuordneten.

Als ein Pionier auf diesem Gebiet muss Hofrat Langer vom Amt der Niederösterreichischen Landesregierung erwähnt werden. Das von ihm entwickelte Reihungsverfahren wurde ab den 80er Jahren in Niederösterreich flächendeckend zur Zustandsbeurteilung eines größeren Straßennetzes eingesetzt [1].

Den Weg vom Reihungsverfahren zum Optimierungsverfahren hat im deutschsprachigen Raum erstmalig Prof. Schmuck aus München eingeschlagen, der vor ca. 30 Jahren die wesentlichsten Grundlagen erarbeitet hat, die ein PMS heute kennzeichnen. Prof. Schmuck hat in seinen Arbeiten auch festgestellt, dass die einfachen Reihungsverfahren nur bedingt auf hochrangigen Straßen anzuwenden sind, da deren Ergebnisse deutliche Unterschiede zur optimalen und daher wirtschaftlichsten Lösung darstellen. Leider war die damalige Computertechnologie noch nicht so weit fortgeschritten, um seine Ideen auch in die Tat umzusetzen.

Anfang der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts tauchten die ersten computerunterstützten Managementsysteme auf, die eine Zustandsprognose ermöglichten und unterschiedliche Erhaltungsmaßnahmen einer Lebenszyklusanalyse unterzogen. Der Nachteil dieser Systeme bestand jedoch darin, dass sie meist Einzellösungen waren und nur mit hohem Aufwand, wenn überhaupt, auf andere Straßennetze mit anderen Anforderungen übertragen werden konnten. Es erschienen jedoch auch in dieser Zeit die ersten Ansätze für so genannte „offene“ (kommerzielle) Systeme, bei denen dem Anwender eine hohe Flexibilität (z.B. Eingabe von individuellen Erhaltungsmaßnahmen) zur Verfügung steht und eine individuelle Adaptierung an die örtlichen Randbedingungen möglich ist.

In Österreich wurden in dieser Zeit ausschließlich Reihungsverfahren angewandt, jedoch waren die Überlegungen bereits sehr weit fortgeschritten, ein PMS auf dem österreichischen Bundesstraßennetz einzuführen.

1998 war ein Meilenstein im Rahmen der systematischen Straßenerhaltung in Österreich. Die ASFINAG und das BMVIT (damals noch BMWA) investierten in ein offenes PMS und beauftragten das Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der TU-Wien unter der Leitung von Prof. Litzka mit der Implementierung dieses Systems.

Die Entscheidung fiel dabei zugunsten eines kanadischen Systems mit der Bezeichnung VIAPMS™ (dTIMS™ - kanadischer Originalname), das zu diesem Zeitpunkt bereits sehr

erfolgreich in Deutschland, in der Schweiz und natürlich im angloamerikanischen Raum aber auch in Australien und in Neuseeland eingesetzt wurde.

Der erste praktische Einsatz dieses Systems in Österreich erfolgte 1999 im Rahmen eines Pilotprojektes auf Teilabschnitten der A9 und der A10. Im Frühjahr 2000 wurde es erstmalig flächendeckend auf dem Netz der ASFINAG eingesetzt. Begleitet wurde die Implementierungsphase durch eine Reihe von Forschungsprojekten, gefördert vom BMVIT und der ASFINAG, die zur Entwicklung und Verbesserung der PMS-Modelle dienten und am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung durchgeführt wurden (z.B. [2]). Der erste flächendeckende Einsatz auf den damaligen Bundesstraßen der Kategorie B erfolgte mit Unterstützung des BMVIT ebenfalls im Jahr 2000.

Die sehr kurze Implementierungsphase hatte den Vorteil, dass bereits nach kurzer Zeit wichtige Erfahrungen im Rahmen der praktischen Anwendung zur Verfügung standen und diese wiederum in die Weiterentwicklung des Systems flossen.

Eine kurze Unterbrechung der Systemanwendung auf den ehemaligen Bundesstraßen der Kategorie B gab es nach der „Verlängerung“ im Jahr 2002, wobei bereits 2003 durch das Burgenland der Weg des BMVIT fortgesetzt wurde. Heute verwenden Oberösterreich, Tirol, Vorarlberg, Burgenland, Salzburg und Niederösterreich dieses System und es sind Überlegungen im Gange, VIAPMS™ auch in weiteren Bundesländern anzuwenden, um so die damit verbundenen Synergieeffekte optimal und effizient zu nutzen.

Im Zuge der Tätigkeiten der ASFINAG, des BMVIT und der Bundesländer haben sich auch Arbeitsgruppen in Form von Interessensgemeinschaften gebildet (AK VIAPMS), deren primäres Ziel darin besteht, die Entwicklungen der Systemelemente zu forcieren und die Erfahrungen gemeinsam in die Praxis umzusetzen.

Neben den Grundlagen, die in frühen 2000er Jahren entwickelt wurden, konnten im Rahmen der Verkehrsinfrastrukturforschung VIF in den letzten Jahren weitere Verbesserung bestimmter PMS-relevanter Bausteine vorgenommen werden, die natürlich in das aktuelle Handbuch eingeflossen sind.

1.3 Maßgebende Definitionen

1.3.1 Was ist Straßenerhaltung?

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

1.3.2 Was ist Pavement Management?

Die Abkürzung „PMS“ steht für den englischen Begriff „Pavement Management System“ und kann als „Managementsystem des Straßenoberbaus“ ins Deutsche übersetzt werden.

Wird heute der Begriff PMS verwendet, so handelt es sich um ein System, das unter Heranziehung einer Straßenzustandsprognose jene Erhaltungsmaßnahmen ermittelt, die unter bestimmten Randbedingungen die wirtschaftlich optimale Lösung darstellen. Diese komplexe Definition kann mit dem Begriff „Lebenszyklusanalyse Straßenoberbau“ umschrieben werden.

Von entscheidender Bedeutung ist die Prognose des Straßenzustandes, welche in den meisten Fällen durch eine Prognose einzelner Eigenschaften oder Charakteristika des Oberbaus vorgenommen wird. Anhand dieser Prognosen wird untersucht, welche Erhaltungsmaßnahmen (zeitlich und räumlich) die geringsten Kosten und/oder die geringsten negativen Auswirkungen – wie auch immer diese definiert werden – verursachen.

Heute sind Pavement Management Systeme weit verbreitet und können als (Mindest)Standards für die Erhaltung des Oberbaus auf den höherrangigen Straßennetzen in den industrialisierten Ländern angesehen werden. Viele Straßenverwaltungen in Europa und im angloamerikanischen Raum erstellen ihre Bauprogramme bzw. Erhaltungsprogramme daher ausschließlich auf der Grundlage der Ergebnisse von modernen Pavement Management Systemen.

Ein weitverbreiteter Irrglaube bei der PMS-Anwendung besteht darin, dass die Ergebnisse der Analyse einem „Bauprogramm“ entsprechen und somit direkt umgesetzt werden können. Die Ergebnisse der Analyse müssen jedoch in Abhängigkeit von den verwendeten Eingangsdaten mehr oder weniger intensiv durch den verantwortlichen Erhaltungsingenieur zunächst kontrolliert und anschließend nachbearbeitet werden. Diese sehr umfangreiche Aufgabe wird oft unterschätzt und führt daher auch zu einer „Fehlinterpretation“ der Ergebnisse einer PMS-Analyse. Aus diesem Grund beschäftigt sich im gegenständlichen Handbuch ein eigenes Kapitel mit der Nachbearbeitung und Interpretation der Ergebnisse einer PMS-Analyse vor dem Hintergrund der Erstellung eines kurz- bis mittelfristigen Bauprogramms.

1.3.3 Was ist Asset Management?

Asset Management (Anlagenmanagement) umfasst alle Tätigkeiten im Rahmen der Planung und Durchführung von baulichen Erhaltungsmaßnahmen im Bereich der Straßeninfrastruktur. Bauliche Erhaltungsmaßnahmen sind jene Aktivitäten im Bereich der Erhaltung, die entweder zu einer Verlangsamung von Schadensentwicklungen führen oder die Straßeninfrastruktur nachhaltig verbessern. In Abhängigkeit von der Intensität der baulichen Erhaltungsmaßnahme kann es sich dabei um Instandhaltungsmaßnahmen, Instandsetzungsmaßnahmen oder Erneuerungen handeln. Für den Bereich der baulichen Erhaltung der Anlagen werden auch die Begriffe Anlagenmanagement bzw. Asset Management in Österreich seit einigen Jahren vermehrt verwendet.

Eine Anlage (engl.: Asset) der Straßeninfrastruktur repräsentiert eine Gruppe von Objekten mit annähernd gleicher Struktur und Aufgabe. Typische Anlagen sind der Straßenober- und unterbau, Brücken, Tunnel, Mauern, Leiteinrichtungen, etc. Einzelne Anlagen können wieder in entsprechende Untergruppen (Anlagenteile, Bauteile oder Komponenten) gegliedert werden.

Seit einiger Zeit befassen sich auch internationale Standards mit dem Begriff Asset Management, wobei auf der Grundlage der britischen Richtlinie PAS 55 [3] der Internationale Standard ISO 55001:2014 [4] entstanden ist und sich mit dem Asset Management von Industrie- und Infrastrukturanlagen befasst. Die in dieser Richtlinie enthaltenen Vorgaben zeigen eine sehr hohe Kompatibilität mit den Vorgaben, Verfahren und Methoden im PMS. Darüber hinaus soll in den nächsten Jahren durch den Weltstraßenverband PIARC ein eigener Asset Management Guide für den Bereich der Straßen entwickelt und schrittweise publiziert werden.

2. Strategisches Erhaltungsmanagement

2.1 Aufgaben des Pavement Managements

Eine wesentliche Aufgabe eines PMS liegt einerseits in der Abschätzung des Erhaltungsbedarfs für das gesamte zu untersuchende Straßennetz (Netzebene) und andererseits in der Ausarbeitung von Erhaltungsvorschlägen für einzelne Straßenabschnitte oder Objekte. Diese sollen als Grundlage für detaillierte Untersuchungen und letztendlich für die Festlegung der durchzuführenden Erhaltungsmaßnahmen im Rahmen eines konkreten Projektes dienen (Projektebene). In diesem Sinn ist der Anwendungsbereich des PMS die **Netzebene mit Objektgenauigkeit** (abschnittsbezogene Maßnahmenvorschläge). Systeme, die nicht die notwendige Genauigkeit oder nicht den netzweiten Überblick aufweisen, sind nur bedingt für die oben aufgelisteten Anforderungen und Ziele geeignet. In diesem Sinne wurde auch die im Einsatz befindliche Software VIAPMS™ sowohl im Hinblick auf die Ziele und Anforderungen als auch im Hinblick auf die Vorgaben des Anwendungsbereichs ausgewählt.

2.2 Personen- und Interessensgruppen (Stakeholders)

Strategische Zielsetzungen im Bereich des Erhaltungsmanagements der ASFINAG in Form von unterschiedlichen Zielen (Kundenziele, Finanzziele, etc., siehe hierzu auch Kapitel 2.4.2), werden über Indikatoren, Randbedingungen und generelle Beschreibungen definiert, die die Bedürfnisse der Betroffenen und der unterschiedlichen Interessensgruppen wiedergeben. Dazu müssen in einem ersten Schritt diese als „Stakeholder“ bezeichneten Personen- und Interessensgruppen klar definiert werden. In Anlehnung an die Definitionen des Weltstraßenverbandes PIARC [5] wurden gemeinsam mit der ASFINAG und dem BMVIT im Rahmen eines Workshops folgende Personen- und Interessensgruppen als maßgebende Stakeholder definiert:

- **Kunde:** Benutzer des Straßennetzes der ASFINAG, der auch gleichzeitig die Erhaltung finanziert (über Vignette und LKW-Maut)
- **Betreiber und Eigentümer:** versteht sich als eine Einheit im Bereich des ASFINAG-Netzes, Vertreter der Republik sind das BMVIT (Verkehrsministerium) und das BMF (Finanzministerium), wobei grundsätzlich Einvernehmen zwischen der ASFINAG und den Vertretern der Republik herzustellen ist

- **Anwohner / Anrainer:** vor allem vor dem Hintergrund von Umweltaanforderungen im Bereich Lärm und Schadstoffe
- **Umwelt:** Anforderungen an Lärm- und Schadstoffemissionen werden über den Anwohner / Anrainer definiert, jedoch führen zusätzliche Umweltbelange (z.B. Recycling) bei einer zukunftsorientierten Betrachtung zu einem eigenständigen Interessensbereich
- **Gesellschaft:** verantwortlich für Rahmenbedingungen in Form von Gesetzen, Richtlinien, Verordnungen, etc.; übergeordneter Stakeholder (nicht als Einzelkategorie anwendbar)

2.3 Strategische Erhaltungsziele

Unter Bezugnahme auf die oben definierten Personen- und Interessensgruppen ist es möglich, unterschiedliche Bereiche für strategische Erhaltungsziele zu definieren. Diese Zielbereiche können danach mit den entsprechenden Indikatoren verknüpft werden. In Anlehnung an aktuelle europäische ERA-NET Road Forschungsprojekte wie PROCROSS [6] und EVITA [7] und natürlich die ASFINAG-Erhaltungsstrategie [8] lassen sich folgende Bereiche für Ziele auf Strategieebene definieren:

- **Kundenziele** zur Berücksichtigung der Netzqualität (Fahrsicherheit und Fahrkomfort), der Verfügbarkeit bzw. Verlässlichkeit, von Nutzerkosten, etc.
- **Finanzziele** zur Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit von Erhaltungsmaßnahmen, der Einbeziehung von budgetären Vorgaben und Restriktionen im Bereiche der Finanzierung, der Entwicklung des Anlagevermögens, etc.
- **Technische Ziele** für die Substanzerhaltung, die Einhaltung technischer Grenzwerte (EN, RVS, etc.), verkehrstechnische Vorgaben (z.B. Verkehrsführungen), etc.
- **Umweltziele** für die Optimierung der Nachhaltigkeit, Maximierung der Lärmreduktion, Berücksichtigung internationaler Vorgaben (z.B. CO₂), etc.
- **Sonstige Ziele** für weitere interne und externe Vorgaben

Die hier aufgelisteten Gruppen von Erhaltungszielen sollten auch im Bereich der ASFINAG-Erhaltungsstrategie, sofern nicht bereits implementiert, einen entsprechenden Eingang finden und auch als solche über Indikatoren (Grenzwerte) bzw. Randbedingungen quantifiziert werden. Dabei kann es sich um einen langfristigen Findungsprozess handeln.

2.4 Strategische Ziele im ASFINAG-Asset Management

2.4.1 Entwicklung Erhaltungsstrategie ASFINAG

Die permanente Anwendung des Verfahrens zur Bewertung des Straßenzustandes durch die ASFINAG erlaubte nach wenigen Jahren erstmalig die Formulierung von strategischen Erhaltungszielen unter Verwendung dieser technischen Teilwerte. Obwohl eine präzise Festlegung von zustandsbedingten Vorgaben in einem Strategiepapier zunächst nicht ausdrücklich vorgenommen wurde, erfolgte die Analyse der Straßenabschnitte unter der Zielsetzung, dass der Anteil des Gebrauchswertes „Sicherheit“ (siehe Abbildung 8, Kap. 4.3.3) in der Zustandsklasse 5 „sehr schlecht“ nicht mehr als 3% betragen darf und die vordefinierten Budgets einen bestmöglichen Substanzwert ergeben sollten. Dies bildet die Grundlage für die Bauprogrammerstellung (Infrastruktur-Investitionsprogramm, IIP). Eine quantitative Festlegung eines bestimmten Limits für den technischen Substanzwert wurde bis dato nicht vorgenommen. Diese derzeitigen Zielvorgaben sind stark technisch geprägt und decken daher nur einen Teil der Vorgaben und Anforderungen der unterschiedlichen Interessensgruppen ab.

Im Zuge der Rechnungshofprüfung des ASFINAG-EMS im Jahr 2011 wurde intensiv über die Notwendigkeit einer Präzisierung von strategischen Erhaltungszielen und auch eines Zielwertes für den technischen Substanzwert diskutiert. Grundsätzlich ist es möglich, einen Zielwert anhand der zur Verfügung stehenden Ergebnisse zu definieren, jedoch wurden Fragen aufgeworfen, die mit den zur Verfügung stehenden Daten und Ergebnissen derzeit nicht vollständig beantwortet werden können. Vor allem die Auswirkungen einer solchen Zielwertfestlegung auf die Netzverfügbarkeit und die Nachhaltigkeit aber auch bzgl. des Anlagewertes konnten nicht dargestellt werden. Die RH-Empfehlung für die Einführung von strategischen Erhaltungszielen ist daher nur dann effizient umsetzbar, wenn diese Eingangsgrößen zur Verfügung stehen.

Im Herbst 2011 wurde daher begonnen, eine Erhaltungsstrategie des ASFINAG-Netzes zu formulieren, welche eine wesentliche Grundlage für das gegenständliche Projekt darstellt.

2.4.2 Überblick Erhaltungsstrategie ASFINAG

Auf der Grundlage der Vorgaben der Konzernstrategie der ASFINAG wurde unter Heranziehung der aktuellen EMS-Verfahren und Prozesse im Frühjahr 2012 eine umfassende ASFINAG-Erhaltungsstrategie [8] entwickelt (siehe Abbildung 1).

Dieses Grundsatzpapier definiert auf unterschiedlichen Ebenen die strategischen Vorgaben für die Ausarbeitung bzw. Planung von Erhaltungsmaßnahmen für die im Bereich der ASFINAG zu erhaltenden Anlagen, wie

- Straßenoberbau
- Brückenanlagen
- Tunnelanlagen (baulich)
- Elektromaschinelle Einrichtung Tunnel

Diese strategischen Vorgaben sind besonders deshalb von hoher Bedeutung, weil sich die ASFINAG als ein wirtschaftlich agierendes Unternehmen sieht, welches sich ausschließlich durch seine Mauteinnahmen finanziert und daher eine hohe Verantwortung und Verpflichtung gegenüber dem Kunden (Benutzer) hat.



Abbildung 1: ASFINAG-Erhaltungsstrategie [8]

Die Mission der ASFINAG ist es, „ein verkehrssicheres Autobahnen- und Schnellstraßennetz mit hoher Verfügbarkeit den Kunden zur Verfügung zu stellen“ [8]. Den Inhalt der ASFINAG-Erhaltungsstrategie bilden daher folgende 2 Schwerpunkte [8]:

1. Bei den **Kundenzielen** wird das strategische Ziel der optimalen Netzverfügbarkeit (durch eine definierte Baustellenfreiheit) und Verkehrssicherheit (durch einen definierten Gebrauchswert „Sicherheit“) verfolgt.
2. Im Fokus der **Finanzziele** liegt ein nachhaltiger Einsatz von finanziellen Mitteln. Dazu wird die Nachhaltigkeit der Sanierungsmaßnahmen durch die Ausnutzung von Lebensdauern der Anlagen sichergestellt.

Der Aufbau der ASFINAG-Erhaltungsstrategie gliedert sich unter Bezugnahme auf diese Schwerpunkte in drei unterschiedliche Entscheidungsebenen:

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

Eine Präzisierung der Ziele auf allen drei Ebenen liefert genaue Vorgaben unter Heranziehung von bestimmten Indikatoren (inkl. Grenzwerten) oder generellen Vorgaben (siehe Abbildung 2).

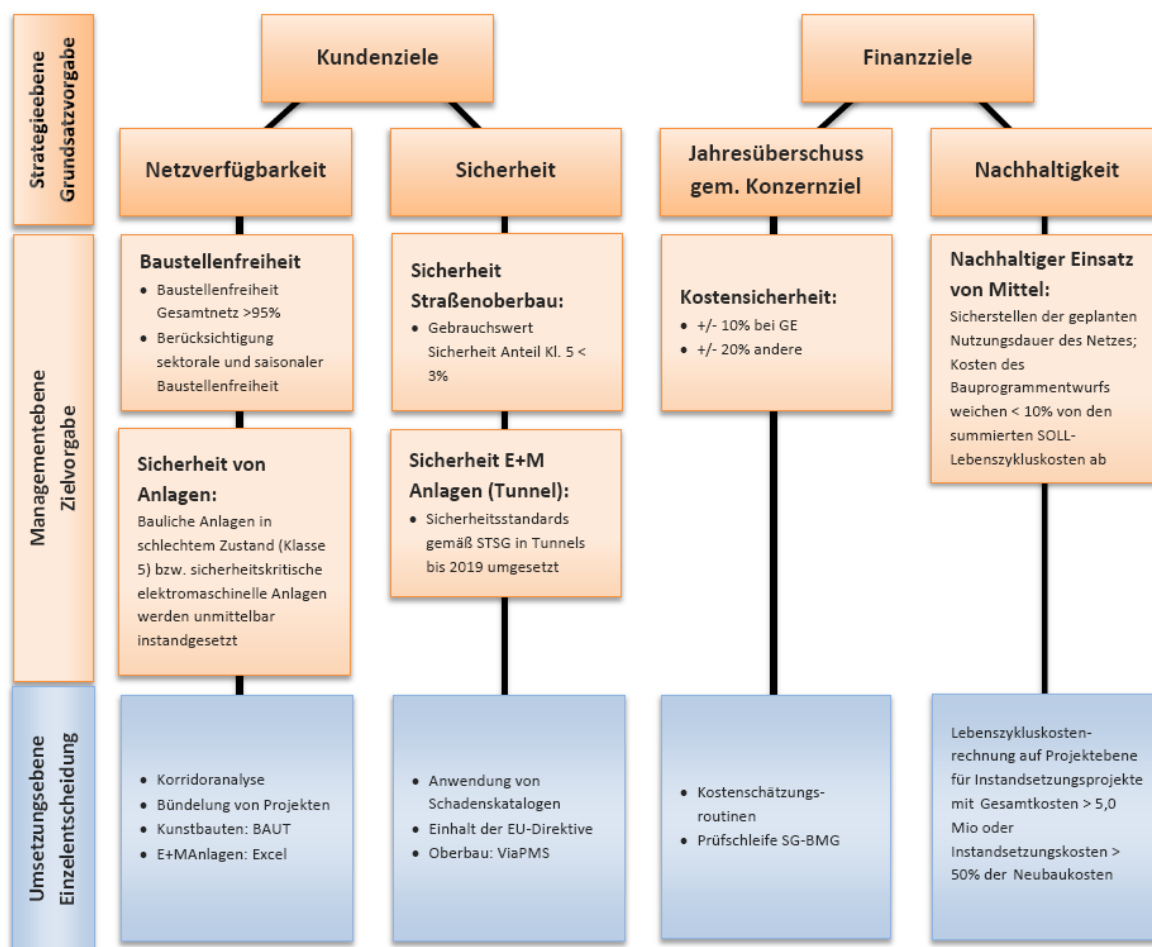


Abbildung 2: Strategische Zielvorgaben gegliedert nach Ebenen [8]

Diese Zielvorgaben unterliegen jedoch einer permanenten Überprüfung und in weiterer Folge auch einer Überarbeitung, sodass Änderungen auch jederzeit möglich sind.

Bei der Festlegung von Erhaltungszielen – unabhängig auf welcher Ebene und in welchem Teilbereich – müssen zunächst die Auswirkungen der Maßnahmen zur Erreichung der Ziele quantifiziert werden, da einzelne Ziele auch oft zu widersprüchlichen Ergebnissen führen können. Z.B. kann die Festlegung eines maximalen Anteils in einer bestimmten Zustandsklasse zu einer umfangreichen Erhaltungstätigkeit führen, die wiederum die Grenzwerte der Baustellenfreiheit überschreitet.

Darüber hinaus erscheint es sinnvoll und zweckmäßig, jene Mechanismen zu definieren, die zur Anwendung gelangen, wenn die Ziele nicht erreicht werden oder die Ziele zu „sanft“ definiert wurden, sodass eine Verschlechterung in gewissen Bereichen möglich ist.

Grundsätzlich ist es nicht die Aufgabe des Handbuches die strategischen Ziele zu definieren, sondern sie im System als Randbedingungen zu verankern.

2.4.3 Berücksichtigung strategische Erhaltungsziele im PMS

Strategische Erhaltungsziele werden im Asset Management der ASFINAG nicht direkt als Grenzwerte implementiert, die Ergebnisse werden jedoch auf Kompatibilität mit den Erhaltungszielen überprüft und Systemeinstellungen eventuell dementsprechend angepasst. Vor allem die Vorgaben im Bereich des Gebrauchswertes Sicherheit mit einem maximalen Anteil von 3% in der Zustandklasse 5 (sehr schlecht) ist ein solches Ziel, dass anhand der Ergebnisse der Analysen überprüft werden muss. Jedoch auch die Entwicklung des Substanzwertes und des Anlagevermögens sind Kenngrößen, die in den Ergebnissen darzustellen sind.

Die Wirtschaftlichkeit wird durch das Verfahren der Kosten-Wirksamkeitsanalyse sichergestellt, sodass nur jene Erhaltungsmaßnahmen ausgewählt werden, die auch ein gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis aufweisen. Eine sehr starke Bedingung ist natürlich das maximale Erhaltungsbudget, das als Randbedingung für die unterschiedlichen Budgetszenarien als fixe Eingangsgröße in der Optimierung Eingang findet.

3. Informationen und Daten für das Pavement Management

3.1 Einleitung

Die Daten und Informationen des zu untersuchenden Straßennetzes sind eine wesentliche Voraussetzung für die Durchführung von entsprechenden Auswertungen und Analysen. In den nachfolgenden Kapiteln wird deshalb detailliert erläutert, welche Informationen und Daten für die Anwendung des Pavement Management Systems der ASFiNAG erforderlich sind und wie diese im Rahmen der Analyse Berücksichtigung finden. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass neben der Vollständigkeit der Daten auch die Qualität einen wesentlichen Einfluss auf die Genauigkeit der Aussagen und somit die Akzeptanz der Ergebnisse hat.

3.2 Beschreibung des Straßennetzes

3.2.1 Definition Straße aus der Sicht des PMS

Bei einer Straße handelt es sich in der Regel um ein „lineares Infrastrukturobjekt“, welches in Abhängigkeit von den Anforderungen (Bedeutung, Verkehrsbelastung, Geschwindigkeit, etc.) errichtet wurde. Von besonderer Bedeutung im Rahmen der systematischen Straßenerhaltung ist die eindeutige und klare Zuordnung der Anlagen (Oberbau, Brücke, Tunnel, etc.) und der darauf basierenden Erhaltungsaufgaben entlang der Straße. Dies bedeutet, dass in einem ersten Schritt eindeutig definiert werden muss, um welche Straße es sich handelt bzw. welche Fläche im Rahmen der Erhaltungsplanung betrachtet werden muss. Bei Straßen mit baulicher Trennung der Richtungsfahrbahnen (z.B. Autobahnquerschnitt) müssen ggf. mehrere befestigte Flächen und Anlagen in einem Querschnitt untersucht werden.

3.2.2 Straßenschlüssel Richtungsfahrbahn

Auf der Grundlage der Erfahrungen der letzten 15 Jahre hat sich eine auf die befestigte Fläche bezogene Straßendefinition für das Asset Management als sinnvoll und zweckmäßig erwiesen, wobei bei getrennten baulichen Richtungsfahrbahnen zunächst jede Richtungsfahrbahn als individuelle Straße betrachtet wird. Vor diesem Hintergrund können somit 3 unterschiedliche Achsen einer Straße definiert werden:

- Zentralachse einer Straße

- Richtungsfahrbahnachse
- Rampenachse

Die Festlegung bzw. Beschreibung einer Straße (Achse) erfolgt dabei unter Verwendung eines sogenannten Straßenschlüssels, welcher die Straßenachse eindeutig identifiziert und somit auch das Straßennetz definiert. Der Straßenschlüssel besteht dabei aus folgenden Elementen:

- Straßenkategorie
- Straßennummer
- Zusatznummerierung bei Ästen
- Richtungsfahrbahnangabe bei Straßen mit baulicher Trennung der Richtungsfahrbahn
 - 1 in Richtung der aufsteigenden Kilometrierung (Betriebskilometer)
 - 2 entgegen der Richtung der aufsteigenden Kilometrierung

Eine detaillierte Beschreibung des für die Bundesstraßen (A- und S-Straßen) verwendeten Straßenschlüssels kann der Tabelle 1 entnommen werden.

Teilschlüssel	Nomenklatur	Beschreibung	Beispiel
Kategorie	A	Autobahn	
	S	Schnellstraße	
Straßennummer	##	Straßennummer, 2-stellig	01, 31
Zusatznummer	#	Nummer, 1-stellig	1
Richtungsfahrbahn	1	in Richtung Kilometrierung	1
	2	entgegen Kilometrierung	2

Tabelle 1: Straßenschlüssel ASFiNAG-Netz

Die Richtung der Kilometrierung ist dabei jene Richtung, in der die Kilometerzeichen wertmäßig ansteigen. Bei Bezügen zur Zentralachse entfällt natürlich die Bezeichnung der Richtungsfahrbahn, sodass die Zentralachse der A3 den Straßenschlüssel A03 aufweist, oder die Zentralachse des 1. Astes auf der A12 den Straßenschlüssel A121. Wird auf die Richtungsfahrbahn 2 der A121 bezogen, so ergibt sich ein Straßenschlüssel mit der Bezeichnung A121_2.

Um Verwechslungen zwischen der Straßennummer bzw. einer evtl. vorhandenen Zusatznummer zu vermeiden, wird zwischen der Straßennummer bzw. Zusatznummer und der

Richtungsfahrbahnnummer ein Unterstreichungszeichen „_“ eingefügt. Das Verwenden von Leerzeichen ist im Straßenschlüssel prinzipiell nicht erlaubt.

Wo genau die jeweilige Straßenachse einer Straße definiert ist, wird durch das GIS der ASFINAG festgelegt, sodass eine eindeutige Definition an dieser Stelle nicht erforderlich ist. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Zentralachse in der Mitte der Straße und die Richtungsfahrbahnachsen in der Mitte der Richtungsfahrbahnen oder der Fahrfläche verlaufen.

Die Straßenbezeichnungen auf den Landesstraßen sind sehr unterschiedlich und werden von Land zu Land in Abhängigkeit von den jeweiligen Anforderungen individuell festgelegt, sodass an dieser Stelle nicht auf alle Möglichkeiten eingegangen werden kann. Voraussetzung für einen guten Straßenschlüssel ist jedoch die Eindeutigkeit der Straßenbezeichnung, die auf alle Fälle sichergestellt werden muss.

3.3 Bezugssystem zur Datenreferenzierung im PMS

3.3.1 Betriebskilometer

Das Bezugssystem für straßenbezogene Daten ist die Grundlage für die Festlegung der Lokalität von Eigenschaften entlang einer Straße. Für die eindeutige Zuordnung wird in der Regel auf ein Betriebskilometersystem (BKS) zurückgegriffen, das als Bezugspunkte (BP) die vor Ort aufgestellten Kilometerzeichen (Kilometertafeln) verwendet. Die Aufnahme von Daten und Informationen erfolgt daher ausschließlich nach dem BKS.

Die sogenannte **Betriebskilometrierung** dient dabei zur eindeutigen Referenzierung von Straßeneigenschaften und Anlagen auf einer bestimmten Stelle an einer bestimmten Straße. Dabei ist aus Gründen der Vereinfachung eine Angabe der Betriebskilometrierung unter Verwendung eines numerischen Wertes (reelle Zahl) möglich, da im gesamten ASFINAG-Netz keine Doppelkilometrierungen mehr vorhanden sind. Fehlkilometer spielen dabei keine Rolle.

Besitzt eine Eigenschaft entlang einer Straße eine längenmäßige Ausdehnung, so müssen zumindest der Anfangspunkt (KM_von) als auch der Endpunkt (KM_bis) entsprechend dem Bezugssystem angegeben werden. Bei bestimmten Anlagentypen ist auch die Angabe einer Zentralstationierung (KM_Station) sinnvoll und zweckmäßig. Dies gilt auch für Punktinformationen (z.B. bei Knoten).

3.3.2 Referenzierung im Straßenquerschnitt

Neben der Zuordnung von Informationen entlang einer Straße ist es in vielen Fällen auch erforderlich, Daten einem bestimmten Fahrstreifen zuzuordnen. Hierfür muss zunächst die Bezeichnung bzw. die Reihenfolge der Fahrstreifen festgelegt werden. Grundsätzlich sind dabei zwischen Straßen mit und ohne bauliche Trennung der Richtungsfahrbahnen zu unterscheiden, wobei in beiden Fällen die Vorgehensweise unverändert ist, da auch bei keiner baulichen Trennung der entsprechende Abschnitt in jedem Fall einer Richtungsfahrbahn zugeordnet wird.

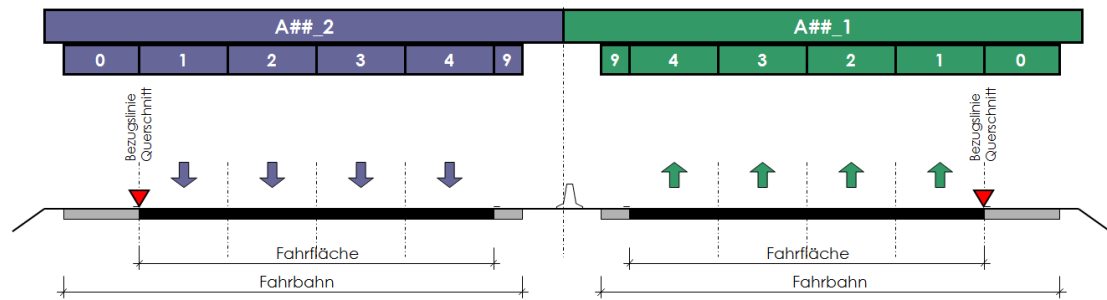
Als Bezugslinie für die Referenzierung von Querschnittselementen wird die rechte Randlinie in Fahrtrichtung definiert. Die Verwendung der rechten Randlinie (in Fahrtrichtung) hat den Vorteil, dass sie physisch in der Natur vorhanden ist und Beschleunigungs- bzw. Verzögerungstreifen die Fahrstreifennummerierung nicht beeinträchtigen, wie dies z.B. bei Verwendung des Fahrbahnrandes als Bezugslinie möglich wäre.

Die Bezeichnung bzw. Nummerierung der Fahrstreifen erfolgt ausschließlich von der Bezugslinie weg, wobei der direkt angrenzende Fahrstreifen (rechter Fahrstreifen im Sinne der Fahrtrichtung) immer die Nummer 1 erhält und die weiteren aufsteigend nummeriert sind. In der nachfolgenden Tabelle 2 und in der Abbildung 3 ist die entsprechende Nomenklatur dargestellt.

Querschnittselement	Nomenklatur	Beschreibung
Fahrstreifen	#	Fahrstreifennummer (1-stellig), Aufsteigende Nummerierung von 1 (rechter hauptbelasteter FStr. nach links in Fahrtrichtung betrachtet)
Äußerer befestigter Seitenstreifen	0	
Innerer befestigter Seitenstreifen	9	

Tabelle 2: Querschnittselemente Fahrstreifen

Bauliche Trennung der Richtungsfahrbahnen



Keine bauliche Trennung der Richtungsfahrbahnen

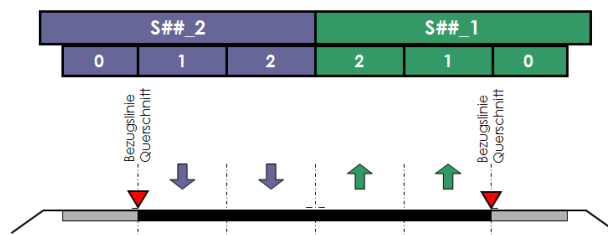


Abbildung 3: Definition Querschnittselemente

Beschleunigungs- oder Verzögerungstreifen werden entweder dem äußeren befestigten Seitenstreifen oder bereits der Rampe zugeordnet. Im letzteren Fall wird dieser als Fahrstreifen definiert. Bei größeren Knoten kann es auch zu einer Aufweitung auf mehrere Fahrstreifen vor dem Übergang zur Rampe kommen. In diesem Fall ist bis zum Beginn der Rampe der äußerst rechte Fahrstreifen (obwohl auf im abgebogen wird) als Hauptfahrstreifen (Nummer 1) zu führen. Ähnliches gilt bei der Zusammenführung von mehreren Fahrstreifen.

Ein Fahrstreifen gilt so lange als Fahrstreifen solange er auch entsprechend markiert ist oder eine volle Fahrstreifenbreite aufweist.

Auch hier können die entsprechenden Bezeichnungen auf den Landesstraßen deutlich abweichen, sodass die Bezeichnungen der jeweiligen Bundesländer im PMS übernommen werden müssen.

3.4 Inventardaten

3.4.1 Allgemeines

Inventardaten dienen zur Beschreibung der Eigenschaften, des Zustandes und der Beanspruchungen der Straßeninfrastruktur. Die Art der Inventardaten, die erhoben und im PMS

verwendet werden, können sehr unterschiedlich sein, wobei zumindest folgende Informationen zur Verfügung stehen sollten:

- Oberbaudaten zur Beschreibung der Baukonstruktion Oberbau
- Zustandsdaten zur Beschreibung des Zustandes des Straßenoberbaus
- Querschnittsdaten zur Definition der Breiten und Flächen
- Beanspruchungs- und Belastungsdaten zur Beschreibung der Beanspruchung des Oberbaus aus Verkehr und Klima

Neben achsbezogenen Daten, die in der Folge mit Oberbaudaten und Querschnittsdaten beschrieben werden, können auch Informationen über Nebenobjekte in die Datenbank aufgenommen werden. Eine enge Verknüpfung mit dem GIS ist auf jeden Fall sinnvoll.

3.4.2 Oberbaudaten

Oberbaudaten werden im Zuge von Maßnahmen historisch erfasst, das heißt mit Durchführung einer Erhaltungs- oder Neubaumaßnahme wird die gesamte Oberbauinformation in diesem Bereich aktualisiert. Grundlage für die Bildung weiterer Oberbaukennwerte bildet der Schichtaufbau, der mit möglichst hoher Genauigkeit zur Verfügung stehen sollte. Folgende Informationen werden für alle Schichten vorgehalten:

- Schichtart

Bezeichnung	Schichtart
DE_A	Deckschicht Asphaltbauweise
DE_B	Deckschicht Betonbauweise
DE_S	Deckschicht Sonderbauweise
GT_A	gebundene Tragschicht Asphalt
GT_B	gebundene Tragschicht Beton
GT_S	gebundene Tragschicht Sonderbauweise
GT_Z	gebundene Tragschicht ZStab
UOT	ungebundene obere Tragschicht
UUT	ungebundene untere Tragschicht

Tabelle 3: Schichtarten

- Schichtdicke in [cm]
- Herstellungsjahr der Schicht

- Schichtmaterial

Bezeichnung	Schichtmaterial
AC_binder	Binderschicht (BT HS)
AC_deck_A1	Asphaltbeton
AC_deck_A2	Asphaltbeton mit pmB
AC_deck_A3	Dünnschichtdecke
AC_trag_T1	bituminöse Tragschicht
AC_trag_T2	bituminöse Tragschicht
AC_trag_T3	bituminöse Tragschicht
BBTM	Lärmmindernde Dünnschichtdecke
Beton	Beton
GR	Gripbelag
MA	Gußasphalt
MAK	Makadamdecke
OBH	Oberflächenbehandlung
PA	Drainasphalt (P1 und P2)
PF	Pflaster
SMA_S1	Splittmastixasphalt (gröbere Sieblinie)
SMA_S2	Splittmastixasphalt (feinere Sieblinie)
SMA_S3	Splittmastixasphalt lärmmindernd
SONST	sonstiges Material
STAB_B	bituminös stabilisierte Tragschicht
STAB_BZ	mit Bitumen und Zement stab. Tragschicht
STAB_K	Kalkstabilisierte Tragschicht
STAB_Z	Zementstabilisierte Tragschicht
U_CK	gebrochene Körnung (ungeb. TS)
U_MK	gemischte Körnung (ungeb. TS)
U_PACK	Packlage (ungeb. TS)
U_RECY	Recyclingmaterial (ungeb. TS)
U_RK	gerundete Körnung (ungeb. TS)
U_ZGKK	Zentralgemischte Kantkörnung U1 (ungeb. TS)

Tabelle 4: Schichtmaterial

- Zusatzinformation zum Schichtmaterial

Liegen diese Daten nicht vor, so können anhand der vorhandenen Informationen Näherungen bzw. Ersatzwerte angenommen werden. Voraussetzung für die Ermittlung von Kenngrößen des Oberbaus ist jedoch ein Mindestmaß an Information, der ebenfalls auch Annahmen und Schätzungen zugrunde liegen können.

3.4.3 Querschnittsdaten

Für die systematische Straßenerhaltung müssen Informationen vorgehalten werden, die wesentlichen Einfluss auf die Maßnahmenentscheidung und zumeist in weiterer Folge auch auf die Maßnahmenkosten haben. Dies sind aus heutiger Sicht folgende:

- Fahrbahnbreite in [m]
- Fahrstreifenbreite in [m]
- Breite der befestigten Seitenstreifen in [m]
- Anzahl der Fahrstreifen

Grundsätzlich wird die PMS-Analyse fahrstreifenspezifisch durchgeführt (Zuordnung der Erhaltungsmaßnahmen auf den Hauptfahrstreifen und die Nebenfahrstreifen), daher sind sämtliche aufgelistete Daten erforderlich. Ist dies nicht möglich, können Erhaltungsmaßnahmen auf die gesamte Fahrbahnbreite (bei Kenntnis der Fahrbahnbreite) zugeordnet werden.

Ausgehend von dieser Information werden die Fläche des Hauptfahrstreifens, die Fläche des Nebenfahrstreifens und die Fläche der Fahrbahn gesamt gerechnet.

3.5 Zustandsdaten

3.5.1 Begriffsdefinitionen

Eine wichtige Voraussetzung für die systematische Straßenerhaltung liegt in der Erfassung von Daten, die den Ist-Zustand des Straßennetzes beschreiben. Der Zustand einer Straßenbefestigung wird in erster Linie über die Art und den Umfang eines aufgetretenen Schadens beschrieben, welcher im Zuge von Zustandserfassungen erhoben wird.

Der **Zustand** einer Straße ist im Sinne des Pavement Managements nach [2] der zu einem bestimmten Zeitpunkt aufgenommene Grad der Schädigung. Ein **Schaden** im Sinne des Pavement Managements bedeutet deshalb eine Veränderung der Eigenschaften eines Teils oder des gesamten Bauwerks Straße in Form einer Verschlechterung, wobei ein Schaden erkennbar oder auch nicht erkennbar sein kann (z.B. wenn er mit einer neuen Deckschicht überbaut wurde).

Im Zuge von Zustandserfassungen wird der Grad der Schädigung im Bezug auf bestimmte, ausgewählte Zustandsmerkmale aufgenommen. Ein **Zustandsmerkmal** dient dabei zur qualitativen und quantitativen Beschreibung des Straßenzustandes [9] und wird im Rahmen der Erfassung durch die **Messgrößen** oder die **Erfassungsgrößen** (Schadensausmaß und

Schadensschwere) definiert. Das **Schadensausmaß** bestimmt dabei den Umfang des erkennbaren Schadens (Fläche, Länge, Anzahl, etc.), die **Schadensschwere** hingegen die Intensität des erkennbaren Schadens (Breite von Rissen, Tiefe von Abplatzungen, etc.). Bei bestimmten Merkmalen wird ausschließlich die Schadensschwere erfasst (z.B. bei Spurrinnen).

Zustandsgrößen sind entweder physikalische Werte (z.B. m, m², m/km, etc.) oder Flächen- bzw. Längenbezugswerte (Prozentwert), die für einen bestimmten Abschnitt aus den Mess- oder Erfassungsgrößen gebildet werden und repräsentativ den Zustand für ein bestimmtes Zustandsmerkmal für einen vorgegebenen Abschnitt definieren. Die Länge eines solchen Abschnitts richtet sich nach der Art der Erfassung und dem Anwendungsbereich. Standardmäßig werden in Österreich für 50 m-Abschnitte die Zustandsgrößen berechnet, wobei jedoch auch kürzere Abschnitte möglich sind.

3.5.2 Einteilung der Zustandsmerkmale

Für die Beschreibung des Zustandes der Straßenoberfläche können eine Vielzahl von Zustandsmerkmalen erfasst werden, die zum Teil auch Abhängigkeiten zueinander aufweisen. Im Rahmen der praktischen Anwendung des österreichischen PMS auf den Bundes- und Landesstraßen haben sich deshalb folgende fünf „unabhängige“ Merkmale für den PMS-Einsatz als sinnvoll und zweckmäßig erwiesen:

- Spurrinnen
- Längsebenheit
- Griffigkeit
- Risse
- Oberflächenschäden

Die Erfassung und letztendlich die Bildung der Zustandsgrößen dieser Merkmale kann in Abhängigkeit von der Deckschicht deutliche Unterschiede aufweisen, da die verwendeten Mess- oder Erfassungsgrößen materialspezifische Eigenschaften besitzen (so kann z.B. Bindemittelaustritt als Eingangsgröße für Oberflächenschäden nur bei bituminösen Decken und nicht bei Betondecken vorkommen).

In der Regel werden neben den oben beschriebenen Zustandsmerkmalen auch noch weitere Zustandsdaten erhoben, die vor allem im Bereich der betrieblichen Erhaltung (z.B. als Grundlage für die Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen) herangezogen werden. Von

wesentlicher Bedeutung für das PMS ist hier nicht die Berücksichtigung der Daten in der PMS-Analyse sondern die Abspeicherung sämtlicher Informationen in der PMS-Datenbank (IMT-Datenbank Pavement), sodass die Anwender jederzeit auf diese Daten zurückgreifen können.

Gemäß den aktuellen RVS-Richtlinien hat sich zumindest auf dem Netz der ASFINAG der 50m-Zustandsabschnitt als kleinste bewertbare Einheit in den letzten Jahren durchgesetzt, sodass die 50m-Zustandsabschnitte auch die Grundlage für die Zustandsbewertung darstellen. Für die PMS-Analysen werden diese Zustandsabschnitte zu längeren Analyseabschnitten zusammengefasst, wobei die Verwendung der 50m-Zustandsdaten für den Betrieb von zentraler Bedeutung ist. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass die Rasterung auf den Landesstraßen (vor allem im Rahmen von visuellen Zustandserfassungen durch Begehungen) vom Standardraster abweichen kann.

Die oben aufgelisteten Zustandsmerkmale sind die derzeit in der PMS-Analyse herangezogenen maßgebenden Zustandsinformationen, sodass im gegenständlichen Handbuch diesen Informationen eine erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt werden muss. In den nachfolgenden Kapiteln ist daher eine genaue Beschreibung hinsichtlich der Zuordnung von Mess- und Erfassungsgrößen zu den oben aufgelisteten Zustandsmerkmalen enthalten.

Bei den derzeit systematisch erhobenen Zustandsmerkmalen, die nicht direkt in die PMS-Analyse (Lebenszyklusanalyse) einbezogen werden, handelt es sich um:

- Makrotextur (MPD-Wert)
- Rollgeräuschpegel nach RVS (aus Abnahmeprüfungen)

Die Informationen über diese Merkmale werden jedoch in der PMS-Datenbank abgespeichert bzw. verwaltet und stehen damit den PMS-Anwendern zur Verfügung.

3.5.2.1 Spurrinnen (Ebenheit in Querrichtung)

Ein wesentliches Merkmal im Hinblick auf die Fahrsicherheit und den Fahrkomfort stellt die Ebenheit der Straße in Querrichtung dar, welche durch das Zustandsmerkmal „Spurrinnen“ definiert wird.

Die Erfassung von Spurrinnen erfolgt für PMS-Zwecke im Rahmen messtechnischer Zustandserfassungen, die für dieses Merkmal in der RVS 11.06.67 [10] geregelt sind, sodass auf eine detaillierte Beschreibung der Vorgehensweise an dieser Stelle verzichtet werden kann. Die maßgebende Messgröße für die Ermittlung der Zustandsgröße ist die maximale Spurrinnentiefe

unterhalb der 2m-Latte, wobei jeweils der maximale Wert herangezogen wird, unabhängig ob dieser in der rechten und der linken Radspur auftritt. Die Bildung der Zustandsgröße „Spurrinnentiefe“ erfolgt dabei standardmäßig durch Mittelung der kurzen Messabschnitte (1m-Abstand) über eine Länge von 50 m.

$$ZG_{SR} = \max[\overline{MG}_{SR,links}; \overline{MG}_{SR,rechts}] \quad [\text{mm}] \text{ für } l = 50\text{m}$$

ZG_{SR} Zustandsgröße Spurrinnen [mm] für 50 m-Abschnitt

$MG_{SR,links}$ Messgröße Spurrinnen linke Radspur [mm]

$MG_{SR,rechts}$ Messgröße Spurrinnen rechte Radspur [mm]

Die fiktive Wassertiefe, die sich aus der Spurrinnentiefe und der Querneigung errechnen lässt, spielt vor allem für die Sicherheit im Rahmen der betrieblichen Erhaltung eine wesentliche Rolle, sodass es im Rahmen des strategischen Erhaltungsmanagements für die Detektierung von kritischen Abschnitten und der Zuordnung von Zwischensanierungen herangezogen wird.

3.5.2.2 Längsebenheit (Ebenheit in Längsrichtung)

Neben dem im vorigen Kapitel definierten Zustandsmerkmal „Spurrinnen“ ist der zweite Indikator zur Ebenheitsbeschreibung der in Längsrichtung messtechnisch erfasste „International Roughness Index“. Dieser Indikator basiert auf der theoretischen Ermittlung der Auswirkungen des erfassten Wellenspektrums der Straßenoberfläche in Längsrichtung bei der Überfahrt eines stark vereinfachten, standardisierten Fahrzeuges. Die Zustandsgröße wird für eine Mindestabschnittslänge von 50 m errechnet und besitzt die physikalische Einheit m/km. Die Erfassung sowie die Grundlagen für die Berechnung dieses Merkmals können der RVS 11.06.68 [11] entnommen werden.

Die Erfassung des Merkmals erfolgt nach dem Stand der Technik durch Lasermessseinrichtungen, die die Straßenoberfläche abtasten und so die entsprechenden Grundlagen liefern. Die Anzahl der Laser bzw. der Abstand der Laser kann dabei bei den unterschiedlichen Messsystemen deutlich variieren.

Neue Entwicklungen und Forschungen zeigen, dass eine bessere Bewertung der Ebenheit in Längsrichtung zukünftig durch das „Bewertete Längsprofil“ erfolgen sollte. Da bis zum jetzigen Zeitpunkt jedoch in Österreich noch keine Entscheidung für die Verwendung des Bewerteten

Längsprofils vorgenommen wurde, wird der International Roughness Index bis auf weiteres in den Analysen berücksichtigt.

3.5.2.3 Griffigkeit

Ein weiteres Merkmal, das vor allem im Hinblick auf die Fahrsicherheit eine wesentliche Rolle spielt, ist die Griffigkeit, die durch den Reibungsbeiwert an der Straßenoberfläche definiert wird. Dieses Merkmal wird im Zuge von messtechnischen Zustandserfassungen durch den Einsatz eines sogenannten „modifizierten Stuttgarter Reibungsmessers (SRM)“ ermittelt. Bei diesem Messsystem handelt es sich um ein Messrad (ähnlich einem PKW-Reifen, jedoch mit speziellem Profil), welches mit konstantem Schlupf auf der nassen Straßenoberfläche in der rechten Radspur mit einer Geschwindigkeit von 60 km/h gezogen wird (sh. Abb. 4). Aus dem konstanten Anpressdruck auf die Straßenoberfläche und der zum Ziehen notwendigen Kraft (aufgenommen über Kraftmessdosen) kann der dimensionslose Reibungsbeiwert μ_{SRM} ermittelt werden. Eine detaillierte Beschreibung des Messverfahrens kann der RVS 11.06.65 [12] entnommen werden.

Auch bei diesem Merkmal werden die in kurzen Abschnitten vorliegenden Messgrößen standardmäßig in 50m-Werte zusammengefasst.

Neben dem Verfahren „modifizierter Stuttgarter Reibungsmesser“ wird außerhalb von Österreich das SCRIM®- oder SKM-Verfahren sehr häufig eingesetzt, welches ein zur Fahrtrichtung „schräg“ stehendes Messrad verwendet und die Kraft ermittelt, die notwendig ist, um das Messrad in dieser Schrägstellung zu halten. Auch bei diesem Verfahren wird ein Reibungsbeiwert μ_{SKM} ermittelt, welcher jedoch nicht direkt mit dem Reibungsbeiwert μ_{SRM} verglichen



Abbildung 4: SRM-Einrichtung RoadSTAR
(Foto Arsenal Research)

werden kann. Ein entsprechender Bewertungshintergrund ist in den österreichischen Richtlinien nur für die Griffigkeitsmessung mit dem System RoadSTAR vorhanden.

Unabhängig welches der beiden Messverfahren zur Anwendung gelangt, ist der Anwendungsbereich aufgrund einer Mindestgeschwindigkeit von 30 km/h in erster Linie die freie Strecke und nicht das Ortsgebiet. Hier werden in letzter Zeit auch Kleingeräte angeboten,

die auch im Handbetrieb eine Aussage über die Griffigkeit zulassen (z.B. Griptester[®], siehe RVS 11.06.71 [13]).

3.5.2.4 Risse

Für die Beschreibung der strukturellen Beschaffenheit des Straßenoberbaus ist das Zustandsmerkmal Risse ein wesentlicher Indikator. Die Ursachen für die Bildung von Rissen können sehr unterschiedlich sein, wobei eine genaue Beurteilung bei Zustandserfassungen auf Netzebene mit den derzeit zur Verfügung stehenden Messmethoden und –verfahren nicht möglich ist.

Die Erhebung von Rissen erfolgt in den meisten Fällen durch visuelle Zustandserfassungen, wobei der Einsatz von Bild- oder Videosystemen zunehmend die Begehung oder Befahrung durch Erfassungsteams ersetzt. Die Auswertung von Bildern oder Videos wird auch in Österreich derzeit manuell durch Bewertungsteams vorgenommen, da die heute zur Verfügung stehenden automatisierten Auswertungssysteme nur bedingt die unterschiedlichen Arten von Rissen erkennen. Die zunehmende Effizienz und Genauigkeit von Bilderkennungssystemen wird wahrscheinlich in den nächsten Jahren zu einer häufigeren Verwendung von automatisierten Auswertungsmethoden führen und die zeit- und kostenintensive manuelle Beurteilung von Einzelbildern ersetzen.

Ungeachtet der Erfassungs- und Auswertemethode muss für die Beschreibung des Zustandsmerkmals Risse eine Unterscheidung zwischen Rissen in Asphaltdecken und Rissen auf Betondecken vorgenommen werden.

3.5.2.4.1 Risse Asphaltdecke

Eine Einteilung der unterschiedlichen, auf Asphaltdecken vorzufindenden Risse kann in Anlehnung an die RVS 13.01.11 [14] und RVS 13.01.16 [15] wie folgt vorgenommen werden:

- Einzelrisse (Längsrisse, Querrisse, unregelmäßige Risse)
- Offene Fugen, Nahrisse
- Netzsrisse

Die nachfolgende Tabelle 5 beschreibt für jedes der aufgelisteten Rissmerkmale die Bestimmung des Schadensausmaßes und der Schadensschwere auf Asphaltdecken nach [15].




Einzelmerkmal	Beschreibung	Ausmaß	Schwere
Einzelrisse (Längsrisse, Querrisse, unregelmäßige Risse) 	Vergossene oder sanierte Risse, Risse mit einer Rissbreite < 2 mm	m $(m^2)^*$ *) bei flächenhaften Rissausbreitungen	S1
	Offene Risse mit einer Rissbreite zwischen 2 und 10 mm		S2
	Offene Risse mit einer Rissbreite > 10 mm oder mehrfach parallele Risse		S3
Offene Fugen, Nahtrisse 	Fugen/Nahtrisse mit einer Rissbreite < 2 mm	m $(m^2)^*$ *) bei flächenhaften Rissausbreitungen	S1
	Offene Fugen/Nahtrisse mit einer Rissbreite zwischen 2 und 10 mm		S2
	Offene Fugen/Nahtrisse mit einer Rissbreite > 10 mm oder mehrfach parallele Risse		S3
Netzzrisse 	Offene Risse, die die Decke mosaikförmig zerteilen	m^2	S2
	Offene Risse, die die Decke mosaikförmig zerteilen mit ausgebrochenen Polygonecken		S3

Tabelle 5: Risse Asphaltdecken

Vergossene Risse werden in den meisten Fällen ebenfalls erfasst, da sie trotz Verguss einen strukturellen Schaden darstellen.

Als maßgebende Zustandsgröße wird in Österreich seit Mitte der 90er Jahre eine Schädigungsrate herangezogen, die sich auf eine bestimmte Beobachtungs- oder Bezugsfläche bezieht. Die Festlegung der Bezugsfläche richtet sich nach der Erfassungs- und Auswertemethode und kann von wenigen Quadratmetern (z.B. bei Bildauswertungen in der Größe von $3 \times 4 \text{ m} = 12 \text{ m}^2$) bis hin zu längeren Abschnitten reichen (z.B. $500 \text{ m} \times \text{Fahrstreifenbreite}$ bei Begehungen, wobei die Länge dem Regelabstand von km-Tafeln entspricht).

Die Berechnung der Zustandsgröße Risse für Asphaltdecken erfolgt durch Addition der Risslängen unter Berücksichtigung einer Einflussbreite von 0,5 m nach [16] und der geschädigten Flächen bei flächenhaften Rissausbreitungen in Abhängigkeit von der Schadensschwere in Relation zur betrachteten Fläche (Bezugsfläche). Das Ergebnis ist ein Prozentwert der geschädigten Fläche (Schädigungsrate).

$$ZG_{RI,Asphalt} = \frac{0,5 \cdot \sum_i (AML_{RI,i} \cdot G_{RI,i}) + \sum_i (AMA_{RI,i} \cdot G_{RI,i})}{A_B} \cdot 100 \text{ [\%]} \text{ mit } [0\% \leq ZG_{RI,Asphalt} \leq 100\%]$$

$ZG_{RI,Asphalt}$ Zustandsgröße Risse Asphaltdecke [%]

$AML_{RI,i}$ Schadensausmaß (Längenwert) des Merkmals i [m]

$AMA_{RI,i}$ Schadensausmaß (Flächenwert) des Merkmals i [m²]

$G_{RI,i}$ Gewicht Schadensschwere des Merkmals i (siehe Tabelle 6)

A_B Bezugsfläche in m²

Schadensschwere	Gewicht Schadensschwere
S1	0,4
S2	1,0
S3	4,0

Tabelle 6: Gewichte Schadensschwere Risse Asphaltdecken

3.5.2.4.2 Risse Betondecke

Die Einteilung der Risse auf Betondecken kann wiederum unter Heranziehung von RVS 13.01.11 [14] und RVS 13.01.16 [15] in die folgenden Einzelrissmerkmale vorgenommen werden:

- Einzelrisse (Längsrisse, Querrisse, unregelmäßige Risse)
- Eckabbrüche

Die nachfolgende Tabelle 7 beschreibt für jedes der aufgelisteten Einzelrissmerkmale die Bestimmung des Schadensausmaßes und der Schadensschwere auf Betondecken nach [15].



Einzelmerkmal	Beschreibung	Ausmaß	Schwere
Einzelrisse (Längsrisse, Querrisse, unregelmäßige Risse) 	Sanierte Risse	m	S1
	Offene Risse		S3
Eckabbrüche 	Sanierte Eckabbrüche	m	S1
	Offene Eckabbrüche		S3

Tabelle 7: Risse Betondecken

Sanierte Risse werden in der Regel ebenfalls erfasst, da sie trotz Sanierung einen strukturellen Schaden darstellen.

Die Berechnung der Zustandsgröße Risse für Betondecken erfolgt durch Addition der Risslängen unter Berücksichtigung einer Einflussbreite von 0,5m nach [16] in Abhängigkeit von der Schadensschwere in Relation zur betrachteten Fläche (Bezugsfläche). Das Ergebnis ist ein Prozentwert der geschädigten Fläche (Schädigungsrate).

$$ZG_{RI,Beton} = \frac{0,5 \cdot \sum_i (AML_{RI,i} \cdot G_{RI,i})}{A_B} \cdot 100 \text{ [%]} \text{ mit } [0\% \leq ZG_{RI,Beton} \leq 100\%]$$

$ZG_{RI,Beton}$ Zustandsgröße Risse Betondecke [%]

$AML_{RI,i}$ Schadensausmaß (Längenwert) des Merkmals i [m]

$G_{RI,i}$ Gewicht Schadensschwere des Merkmals i (siehe Tabelle 8)

A_B Bezugsfläche in m²

Schadensschwere	Gewicht Schadensschwere
S1	0,4
S2	1,0
S3	4,0

Tabelle 8: Gewichte Schadensschwere Risse Betondecke

3.5.2.5 Oberflächenschäden

Das Zustandsmerkmal Oberflächenschäden ist das einzige Merkmal, welches unterschiedliche Schadensarten zu einem einzigen Kennwert zusammenfasst, sodass auch bei diesem Merkmal eine Unterscheidung zwischen Oberflächenschäden auf Asphaltdecken und Oberflächenschäden auf Betondecken notwendig ist.

Die Zusammenführung von unterschiedlichen Oberflächenschäden zu einem einzigen Wert hat sich im Rahmen der praktischen Anwendung des österreichischen PMS als sinnvoll und zweckmäßig erwiesen, da einerseits die Erfassung deutlich vereinfacht werden kann und andererseits der Verwechslung von unterschiedlichen, jedoch sehr ähnlichen Schäden vorgebeugt werden kann. Die Zusammenfassung führt natürlich zu einer gewissen Ungenauigkeit im Hinblick auf die Auswahl von geeigneten Erhaltungsmaßnahmen.

3.5.2.5.1 Oberflächenschäden Asphaltdecken

In die Gruppe Oberflächenschäden Asphaltdecken können unter Heranziehung der RVS 13.01.11 [14] und der RVS 13.01.16 [15] folgende Einzelmerkmale zugeordnet werden:

- Ausmagerungen und (Korn)ausbrüche
- Flickstelle (oberflächlich)
- Bindemittelaustritt
- Ablösungen und Abplatzungen
- Schlaglöcher

Die nachfolgende Tabelle 9 beschreibt für jedes Einzelmerkmal die Bestimmung des Schadensausmaßes und der Schadensschwere unter Heranziehung der RVS 13.01.16 [15].






Einzelmerkmal	Beschreibung	Ausmaß	Schwere
Ausmagerung und (Korn)ausbrüche 	<u>Ausmagerung</u> : Flächenhafte Vergröberung der Oberfläche durch Herauslösen von bituminösem Mörtel und der damit verbundenen Freilegung der Mineralkörner <u>(Korn)ausbrüche</u> : Herauslösen von Gestein von der Oberfläche	m ²	S1
Flickstelle (oberflächlich) 	Oberflächliche Behandlung von Schadstellen	m ²	S1
Bindemittelaustritt 	Austritt von Bitumen an der Straßenoberfläche	m ²	S1
Ablösungen und Abplatzungen 	Örtlich begrenztes Ablösen einer Deckschicht oder Oberflächenbehandlung. Die Oberfläche der darunter liegenden Schicht ist klar erkennbar	m ²	S2
Schlaglöcher 	Löcher in der Fahrbahndecke und den darunter liegenden Schichten	m ²	S2

Tabelle 9: Oberflächenschäden Asphaltdecken

Reparaturstellen (z.B. infolge von Aufgrabungsarbeiten) werden in der Regel nicht berücksichtigt, da sie als sanierte Flächen angesehen werden können. Oberflächliche Flickstellen sind in den meisten Fällen kurzfristige Maßnahmen, die im Rahmen der Instandhaltung durchgeführt werden, um eine Ausbreitung des Schadens zu verhindern. Bei Letzteren wird angenommen, dass die ursprüngliche Schadensursache nicht tiefgreifend behoben wurde, sie werden daher als Schaden gewertet und erhoben.

Neben den Rissen wird auch das Zustandsmerkmal Oberflächenschäden in Form einer Schädigungsrate ausgedrückt, die sich auf eine bestimmte, in Abhängigkeit von der Erfassungsmethodik gewählte Bezugsfläche bezieht.

Die Berechnung der Zustandsgröße Oberflächenschäden für Asphaltdecken erfolgt durch Addition der geschädigten Flächen in Abhängigkeit von der Schadensschwere in Relation zur betrachteten Fläche. Das Ergebnis ist ein Prozentwert der geschädigten Fläche.

$$ZG_{OS,Asphalt} = \frac{\sum_i (AM_{OS,i} \cdot G_{OS,i})}{A_B} \cdot 100 \text{ [\%]} \text{ mit } [0\% \leq ZG_{OS,Asphalt} \leq 100\%]$$

$ZG_{OS,Asphalt}$ Zustandsgröße Oberflächenschäden Asphaltdecke in %

$AM_{OS,i}$ Schadensausmaß des Merkmals i in m²

$G_{OS,i}$ Gewicht Schadensschwere des Merkmals i (siehe Tabelle 10)

A_B Bezugsfläche in m²

Schadensschwere	Gewicht Schadensschwere
S1	1,0
S2	5,0

Tabelle 10: Gewichte Schadensschwere Oberflächenschäden Asphaltdecke

3.5.2.5.2 Oberflächenschäden Betondecken

In die Gruppe Oberflächenschäden Betondecken können unter Heranziehung der RVS 13.01.11 [14] und der RVS 13.01.16 [15] folgende Einzelmerkmale zugeordnet werden:

- Ablösungen, Abplatzungen und Ausbrüche
- Kantenschäden
- Reparaturstellen aus Asphalt

Reparaturstellen aus Asphalt im Bereich von Betondecken werden deshalb erfasst, da sie in den meisten Fällen kurzfristige Maßnahmen darstellen und eine deutliche Inhomogenität des Oberbaus mit möglichen Folgeschäden hinsichtlich Öffnung der benachbarten Fugen verursachen.

Die nachfolgende Tabelle 11 beschreibt für jedes Einzelmerkmal die Bestimmung des Schadensausmaßes und der Schadensschwere bei Betondecken nach RVS 13.01.16 [15].




Einzelmerkmal	Beschreibung	Ausmaß	Schwere
Ablösungen, Abplatzungen und Ausbrüche 	Ablösen oder Abplatzen von Beton an der Oberfläche bis hin zu Ausbrüchen mit größerer Tiefe	m ²	S2
Kantenschäden 	Muschelartige Ausbrüche oder Abplatzungen entlang der Plattenränder	m ²	S2
Reparaturstellen aus Asphalt 	Örtlicher Teil- oder Gesamtersatz von Betonfeldern durch den Einbau von Asphalt	m ²	S2

Tabelle 11: Oberflächenschäden Betondecken

Die Berechnung der Zustandsgröße erfolgt durch Addition der geschädigten Flächen unter Berücksichtigung der Schadensschwere in Relation zur betrachteten Fläche. Alle Oberflächenschäden an Betondecken werden der Schadensschwere S2 zugeordnet, dem entspricht ein Schadensgewicht 5, welches auch in der unterstehenden Formel berücksichtigt ist. Das Ergebnis ist ein Prozentwert der geschädigten Fläche.

$$ZG_{OS,Beton} = \frac{\sum_i AM_{OS,i} \cdot 5}{A_B} \cdot 100 \text{ [%]} \text{ mit } [0\% \leq ZG_{OS,Beton} \leq 100\%]$$

$ZG_{OS,Beton}$ Zustandsgröße Oberflächenschäden Betondecke in %

$AM_{OS,i}$ Schadensausmaß des Merkmals i in m²

A_B Bezugsfläche in m²

3.5.3 Erfassung des Straßenzustandes

3.5.3.1 Arten der Straßenzustandserfassung

Die Informationen über den Straßenzustand werden in Österreich im Rahmen von Zustandserfassungen gesammelt. Diese können wie folgt unterschieden werden:

- **Visuelle Straßenzustandserfassung**

Aufnahme und Begutachtung der sichtbaren Schäden direkt vor Ort oder durch eine Aufnahme der Schäden mit Film-, Bild-, Videosystemen, etc. und einer Begutachtung unabhängig vom Aufnahmeort (evtl. unter Zuhilfenahme von semi-automatischen Vorauswertesystemen).

- **Messtechnische Straßenzustandserfassung**

Aufnahme der Schäden mit Hilfe von automatischen oder halbautomatischen Messeinrichtungen (z.B. Messung der Griffigkeit mit dem Stuttgarter Reibungsmesser). Dabei wird zwischen Hochleistungsgeräten, die für eine Erfassung mit hoher Geschwindigkeit ausgelegt sind, und punktförmig einzusetzenden Geräten, die für eine Beurteilung auf Projektebene herangezogen werden, unterschieden.

Die Ergebnisse der Zustandserfassungen werden in Form von sogenannten **Mess- oder Erfassungsgrößen** ausgedrückt, die bei den meisten Merkmalen erst in einem weiteren Schritt in die Zustandsgröße umgerechnet werden. Die Mess- oder Erfassungsgrößen, welche wiederum aus Roh- oder Maschinendaten gebildet werden, können in Abhängigkeit von den eingesetzten Messeinrichtungen oder Erfassungsmethoden deutliche Unterschiede sowohl im Hinblick auf die Anzahl der erhobenen Werte (z.B. Schadensschwere, Schadensausmaß) als auch im Hinblick auf die erhobene Datendichte (5m-Einzelwerte, 50m-Einzelwerte, etc.) aufweisen.

In Österreich hat sich in den letzten 10 Jahren bei der messtechnischen Straßenzustandserfassung eine Bereitstellung der Messgrößen in Form von 50m-Abschnitten als optimale Lösung erwiesen. Diese Festlegung hat in der Zwischenzeit auch Eingang in die österreichischen Richtlinien gefunden. Die 50m-Messgrößen werden aus in kürzeren Abständen gemessenen, gemittelten Rohdaten gebildet, auf welche hier nicht näher eingegangen wird, da sie wesentlich von der Messeinrichtung abhängig sind.

Im Vergleich zur messtechnischen Zustandserfassung wurden bei der visuellen Zustandserfassung in Form von Begehungen oder Befahrungen die Mess- oder

Erfassungsgrößen über längere Abschnitte (bis zu 500 m) gebildet. Der Einsatz von Video- oder Bildsystemen führte jedoch zunehmend zur Einführung eines „50m-Rasters“ in Anlehnung an die messtechnische Erfassung, sodass auch für diese Art von Zustandsdaten der 50m-Raster als Standard angesehen werden kann. Diese Vorgehensweise vereinfacht die Darstellung der Ergebnisse der Zustandserfassungen (1 Datensatz enthält alle erhaltungsrelevanten Mess- und Erfassungsgrößen) und die Verwendung der Daten im PMS.

3.6 Verkehrsdaten und sonstige Beanspruchungen

3.6.1 Verkehrsstärken und Verkehrsentwicklung

Die Verkehrsbelastung stellt die wichtigste Einflussgröße der Straßenbeanspruchung dar, da vor allem der Schwerverkehr (Lastkraftwagen, Lastkraftwagen mit Anhänger, Busse, etc.) wesentlich für die Schädigung der Straße verantwortlich zeichnet.

Insofern ist es sinnvoll und zweckmäßig, möglichst aktuelle und zuverlässige Daten in das Pavement Management zu übernehmen. Auf dem Netz der ASFINAG wird automatisiert kontinuierlich der Verkehr gezählt und die Daten gesammelt. Über die Homepage (<http://www.asfinag.at/unterwegs/dauerzaehlstellen>) können die Ergebnisse der Dauerzählstellen heruntergeladen und direkt als aktueller Verkehrswert in die Applikation übertragen werden.

Die Verkehrsbelastung steht dann in Form von folgenden Verkehrsstärken zur Verfügung:

- Jährlich durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (JDTV) in Kfz/24h
- Jährlich durchschnittliche tägliche Lastverkehrsstärke (JDTLV) in Lkw/24h

Aus dem Vergleich des bisherigen Verkehrszuwachses und den aktuellen Verkehrsdaten kann eine Zuwachsrate für jeden einzelnen Verkehrsabschnitt ermittelt werden. Hierbei wird der Maximalwert von bisheriger Zuwachsrate und dem jährlichen Zuwachs aus Berücksichtigung der letzten Zählung (begrenzt mit einer maximalen Steigerung von 5%) herangezogen (gültig sowohl für Gesamtverkehr als auch für den Schwerverkehr). Dieser bildet die Grundlage für die Prognose der Verkehrsbelastung getrennt nach Lastverkehrsstärke und Verkehrsstärke. Gesamtverkehrsstärke. Liegen keine Daten für die Verkehrsprognose vor, so kann die in der RVS 03.08.63 [18] vorgeschlagene Zuwachsrate (2% für Autobahnen und Schnellstraßen, 1% für sonstige Straßen) herangezogen werden.

Da es sich um eine generelle Abschätzung der Entwicklung der Verkehrsbelastung handelt, wird aus Gründen der Vereinfachung die Verkehrsbelastung nachfolgendem Wachstumsmodell gem. RVS 03.08.63 [18] prognostiziert:

$$JDTV_{prog,t} = JDTV_{tn} \cdot \frac{q^{t-t_n} - 1}{(t-t_n) \cdot (q-1)} \quad \text{mit } q = \left(1 + \frac{p}{100}\right)$$

$JDTV_{prog,t}$ geschätzte jährlich durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke in [KFZ/24h] zum Zeitpunkt t

$JDTV_{tn}$ Jährlich durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke in [KFZ/24h] zum Zeitpunkt t_n der letzten Verkehrszählung

p Zuwachsrate in [%]

t_n ausgewählter Zeitpunkt n

t Zeitpunkt t der Prognose

Analog wird die Prognosefunktion für den Lastverkehr nach RVS 03.08.63 [18] angesetzt:

$$JDTLV_{prog,t} = JDTLV_{tn} \cdot \frac{q^{t-t_n} - 1}{(t-t_n) \cdot (q-1)} \quad \text{mit } q = \left(1 + \frac{p}{100}\right)$$

$JDTLV_{prog,t}$ geschätzte jährlich durchschnittliche tägliche Lastverkehrsstärke in [LKW/24h] zum Zeitpunkt t

$JDTLV_{tn}$ jährlich durchschnittliche tägliche Lastverkehrsstärke in [LKW/24h] zum Zeitpunkt t_n der letzten Verkehrszählung

p Zuwachsrate in [%]

t_n ausgewählter Zeitpunkt n

t Zeitpunkt t der Prognose

Ist die Anzahl der Schwerfahrzeuge innerhalb einer bestimmten Periode bekannt, können auf Basis der RVS 03.08.63 [18] die Bemessungs-Normlastwechsel für unterschiedliche Perioden bzw. Zeiträume ermittelt werden (siehe hierzu auch Kapitel 4.2.3 und 4.2.4).

3.6.2 Klimadaten

Die ersten flächendeckenden Kenngrößen des Klimas für den Straßenoberbau wurden vor ca. 10 Jahren erhoben und stellen einen wichtigen Datenbestand dar, welcher für die Prognose des Straßenzustandes herangezogen werden kann. Im Zuge des Straßenforschungsprojektes „Klimakenngrößen für den Straßenoberbau in Österreich“ [17] wurden zur Beschreibung der Klimaeinflüsse Temperatur, Frost und Wasser folgende maßgebende Klimakenngrößen für den Oberbau ausgewählt, die direkt in die Analysen miteinbezogen werden können:

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

4. Datenaufbereitung

4.1 Analyseabschnitte

4.1.1 Einteilung Analyseabschnitte

Von zentraler Bedeutung für die PMS-Analyse sind die PMS-Erhaltungsabschnitte, für die individuell die Lebenszyklusprognose vorgenommen wird. Die Definition der Analyseabschnitte hat einen maßgeblichen Einfluss auf das Ergebnis, da sie in weiterer Folge die Grundlage der Maßnahmenabschnitte bildet. Als PMS-Erhaltungsabschnitt oder Analyseabschnitt ist dabei jener Abschnitt definiert, der im Rahmen der PMS-Analyse (Lebenszyklusanalyse) einer Beurteilung 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 Abschnitteinteilung der Grundlageninformationen (homogene Datenabschnitte).

In den letzten Jahren hat sich gezeigt, dass die Ergebnisse der PMS-Analyse einerseits als Grundlage für eine weiterführende Beurteilung auf Projektebene herangezogen werden müssen andererseits in die strategische Erhaltungsplanung mit einbezogen werden und daher zeigen sollen, wo die zukünftigen größeren Baumaßnahmen zu setzen sind. 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 wird die „Schärfe“ der Ergebnisse, desto einfacher gestaltet sich jedoch die ingenieurmäßige Nachbearbeitung bzw. Beurteilung. Zu kurze Erhaltungsabschnitte sind deshalb ebenfalls zu vermeiden, da hier eine ingenieurmäßige Beurteilung äußerst aufwändig und unübersichtlich wird. Erhaltungsabschnitte sind aus diesen Gründen nicht mit Bauabschnitten bzw. Baulosen gleichzusetzen, können und sollten jedoch die Grundlage für deren Festlegung darstellen. Ein Bauabschnitt entsteht erst durch die Teilung und/oder Zusammenführung einzelner Erhaltungsabschnitte im Rahmen einer ingenieurmäßigen Beurteilung auf der Grundlage der Analyseergebnisse. Für die Definition von

Erhaltungsabschnitten sind in Anlehnung an [3] eine Reihe von Festlegungen erforderlich, die einen wesentlichen Einfluss auf die Genauigkeit der Ergebnisse ausüben. Je nach Aufgabenstellung wird eine unterschiedliche Herangehensweise an die Bildung der Analyseabschnitte gewählt.

Die grundlegenden Daten erlauben eine freie Wahl der Analyseabschnitte, wobei die oben beschriebenen Anforderungen für die Wahl maßgebend sind. Auf der Grundlage dieser Anforderungen und der Erfahrungen werden zwei Arten von Analyseabschnitten unterschieden:

- Abschnitte für Detaildaten mit detaillierten Informationen als Grundlage für eine weiterführende Beurteilung auf Projektebene
- Maßnahmenabschnitte als Grundlage für die netzweite Lebenszyklusanalyse

In den nachfolgenden Kapiteln wird beschrieben, wie diese Analyseabschnitte gebildet werden.

4.1.2 Abschnitte für Detaildaten

Ziel ist eine Abschnittsbildung, die Änderungen in erhaltungsrelevanten Eigenschaften berücksichtigt und auf welche alle vorhandenen Daten projiziert werden. Die folgenden Eigenschaften werden für die Abschnittsbildung berücksichtigt:

- Anzahl der Fahrstreifen
- Oberbaueigenschaften (Bautyp, Bauweise, Deckschichtart, Deckschichtmaterial, Deckschichtjahr, theoretisches Herstellungsjahr)
- Abschnitte des Bauprogramms
- Verkehrsstärke (JDTLV)
- Bauwerke
- Straßenerhalter

Das heißt, wann immer sich eines dieser Attribute ändert, wird eine Abschnittsgrenze eingezogen. Dies führt im Netz der ASFINAG derzeit zu einer Abschnittsanzahl von etwa 6.000-7.000.

In dieser Liste ist erkennbar, dass die 50m-Zustandsabschnitte bei der Bildung dieser Abschnitte keine Rolle mehr spielen. Umfangreiche Auswertungen der letzten Jahre haben gezeigt, dass vor allem die Oberbauabschnitte das maßgebende Kriterium für Erhaltungsabschnitte darstellen und dass auf den Oberbauabschnitten die Zustandsverläufe sehr homogen sind. Um

dennoch vor allem die kritischen Abschnitte in der Bewertung zu berücksichtigen, wird jedem Oberbauabschnitt die Länge der 50m-Abschnitte, die über dem Warnwert (Definition siehe Kapitel 4.3) liegen, übertragen und als „SI-kritische Länge“ (berücksichtigt substanzrelevante Schäden wie Risse und Oberflächenschäden) oder „GI-kritische Länge“ (berücksichtigt gebrauchungsverhaltensrelevante Größen wie Längsebenheit, Spurrinnen und Griffigkeit) ausgewiesen. Damit ist sichergestellt, dass Abschnitte mit einer starken Streuung der Mess- bzw. Erfassungsdaten anders bewertet werden als Abschnitte, die einen sehr homogenen Zustandsverlauf aufweisen.

Für die Transformation der 50m-Zustandsdaten auf die längeren Abschnitte der Detaildaten werden die in der nachfolgenden Tabelle 12 aufgelisteten Transformationsgesetze herangezogen.

Größe	Transformationsgesetz
Risse	längengewichteter Mittelwert
Oberflächenschäden	längengewichteter Mittelwert
Längsebenheit	längengewichteter Mittelwert
Spurrinnen	Mittelwert + Standardabweichung
Griffigkeit	Mittelwert - Standardabweichung

Tabelle 12: Transformationsgesetze für die Überführung der Zustandsdaten auf die Analyseabschnitte Detaildaten Technik

4.1.3 Maßnahmenabschnitte

Auf Grundlage der relativ kurzen Abschnitte der Detaildaten werden durch Zusammenfassen (automatisierte Homogenisierung) längere Maßnahmenabschnitte bzw. LCC-Analyseabschnitte gebildet. Der derzeit in Verwendung befindliche Homogenisierungsalgorithmus hat zum Ziel, einerseits sehr kurze Abschnitte aus den Detaildaten Technik (siehe 4.1.2) zu eliminieren und andererseits benachbarte Abschnitte, die einen ähnlichen Oberbau aufweisen miteinander zu kombinieren. Vor allem die kurzen Abschnitte werden auch bei der Erstellung von Bauprogrammen in die Baulose integriert, sodass ein bestimmter Anteil von Abschnitten im guten Zustand aufgrund der bautechnischen Abwicklung eines umfangreichen Erhaltungsprojektes nicht mehr als Einzelabschnitt maßgebend ist. In den letzten Jahren hat sich bei den Analysen immer wieder gezeigt, dass vor allem eine höhere Anzahl von kurzen Abschnitten einen wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis hat und auch die Wirkungen des Erhaltungsbudgets auf die tatsächliche Entwicklung des Straßenzustandes maßgebend

beeinflussen. Seit Einführung der längeren Maßnahmenabschnitte konnten diese Auswirkungen stark reduziert werden. Eine wesentliche Voraussetzung für die Verwendung von unterschiedlichen Abschnittseinteilungen liegt jedoch in der vergleichbaren Zustandsverteilung auf beiden Ebenen der Analyseabschnitte (Detaildaten Technik und Maßnahmenabschnitte), die auf jeden Fall sicher gestellt werden muss.

Das Zusammenfassen von Abschnitten wird dann durchgeführt, wenn folgende Bedingungen zutreffen:

- Bautyp des Folgeabschnitts entspricht Bautyp des vorangegangenen Abschnitts
- Unterschied theoretisches Herstellungsjahr Folgeabschnitt und vorangegangener Abschnitt maximal 5 Jahre
- Unterschied Jahr Deckschicht Folgeabschnitt und vorangegangener Abschnitt maximal 5 Jahre

Somit lässt sich die Zahl der Abschnitte auf etwa 2.000 bis 3.000 reduzieren, welchen dann effektiv Erhaltungsvorschläge zugewiesen werden können. Die Zustandsverteilung des Gesamtnetzes auf Grundlage der kurzen bzw. langen Abschnitte stellt sich als annähernd gleich dar.

Auch hier ist es notwendig, die unterschiedlichen Eigenschaften auf die LCC-Analyseabschnitte zu transformieren. Dabei kommen folgende Gesetzmäßigkeiten zur Anwendung:

Größe	Transformationsgesetz
Fahrbahnbreite	längengewichteter Mittelwert
Fläche der Fahrbahn	Summe der Einzelabschnitte
Bautyp, Bauweise	Wert mit größtem Längenanteil (most length)
Schichtdicke	längengewichteter Mittelwert
Schichtmaterial	Wert mit größtem Längenanteil (most length)
theoretisches Herstellungsjahr	längengewichteter Mittelwert
Verkehrsdaten	längengewichteter Mittelwert
Risse	längengewichteter Mittelwert
Oberflächenschäden	längengewichteter Mittelwert
Längsebenheit	längengewichteter Mittelwert
Spurrinnen	Mittelwert + Standardabweichung
Griffigkeit	Mittelwert - Standardabweichung

Tabelle 13: Transformationsgesetze für die Überführung von Basisdaten auf die LCC-Analyseabschnitte

4.2 Kennzahlen des Oberbaus

4.2.1 Einleitung

Die Beschreibung der unterschiedlichen Eigenschaften von Oberbaukonstruktionen erfolgt im PMS durch eine Vielzahl von charakterisierenden Einzelwerten. Diese Informationen beziehen sich einerseits auf die Eigenschaften der Straßenoberfläche, andererseits aber auch auf die Eigenschaften der einzelnen Schichten des Straßenoberbaus. Durch die Zusammenführung dieser Einzelinformationen zu beschreibenden Kennzahlen und Kennwerten ist es möglich, bestimmte generalisierte Erhaltungsziele zu definieren bzw. eine Grundlage zur Verfügung zu stellen, die letztendlich eine Aussage über den zukünftigen Erhaltungsbedarf ermöglicht.

Das gegenständliche Kapitel beschreibt die unterschiedlichen Kennzahlen und Kennwerte von Oberbaukonstruktionen unter der Voraussetzung, dass folgende Daten zur Verfügung stehen:

- Schichtart (Decke, gebundene Tragschicht, etc.)
- Schichtmaterial (SMA, Asphaltbeton, Beton, etc.)
- Schichtdicke
- Herstellungsjahr der Schichten

4.2.2 Bautypen der Oberbaukonstruktion

Die Zuordnung einer vorhandenen Befestigung zu einer bestimmten Bautype kann auf der Grundlage des Oberbaubemessungskatalogs RVS 03.08.63 [18] erfolgen. Im Rahmen von bereits durchgeführten Auswertungen und Untersuchungen [19, 20, 21] hat sich eine Erweiterung der RVS-Bautypen auf 9 unterschiedliche PMS-Typen (inkl. Berücksichtigung von bereits durchgeführten Erhaltungsmaßnahmen) als zweckmäßig erwiesen (siehe Tabelle 14).

Bauweise	Bautype	Beschreibung
Asphalt	AS_D	Asphaltbautype (Deckschichtmaßnahme)
Asphalt	AS_D_DD	Asphaltbautype (Deckschichtmaßnahme) mit Dünnschichtdecke (DD)
Asphalt	AS_N	Asphaltbautype (Neubaukonstruktion)
Asphalt	AS_N_DD	Asphaltbautype (Neubaukonstruktion) mit DD
Asphalt	AS_V	Asphaltbautype (Verstärkung)
Asphalt	AS_V_DD	Asphaltbautype (Verstärkung) mit DD
Beton	BE_D_D	Betonbautype (Deckschichtmaßnahme) mit bit. Decke
Beton	BE_N	Betonbautype (Neubaukonstruktion)
Beton	BE_N_D	Betonbautype (Neubaukonstruktion) mit bit. Decke

Tabelle 14: Bautypenfestlegung für PMS-Zwecke

4.2.3 Tragfähigkeit von bituminösen Oberbaukonstruktionen

4.2.3.1 Gesamtdicke gebundene Schichten und Gesamtdicke Oberbau

Auf der Grundlage der Dickeninformationen können zwei wesentliche Kenngrößen ermittelt werden:

- Gesamtdicke des Oberbaus
- Gesamtdicke der gebundenen Schichten

Die Gesamtdicke des Oberbaus ergibt sich über die Summe der Dicken aller Schichten des Oberbaus.

$$D_{\text{Oberbau}} = \sum_i S_i D$$

D_{Oberbau} Gesamtdicke Oberbau [cm]

$S_i D$ Schichtdicke Schicht i [cm]

Die Gesamtdicke der gebundenen Schichten errechnet sich über die Summe der Dicken der einzelnen gebundenen Schichten, wobei es sich um direkt aufeinander folgende gebundene Schichten handeln muss.

$$D_{\text{gebSch}} = \sum_i (S_i D \cdot S_i TS)$$

D_{gebSch} Gesamtdicke gebundene Schichten [cm]

$S_i TS$ Schichtzahl: gebundene Schicht = 1 (für $S_{i-1} TS > 0$, sonst 0), sonstige Schichten = 0, alte Asphalttragschichten mit $S_i D \geq S_{i-1} D + 20$ und $i \geq 4$, dann 0

$S_i D$ Schichtdicke Schicht i [cm]

Um den Einfluss von sehr alten Asphaltschichten, die als Unterlage für neue gebundene Schichten verwendet werden, auszuschließen, wird ein Alterskriterium verwendet, welches die Altersdifferenz zwischen den gebundenen Asphalttragschichten untersucht. Demnach werden nur jene gebundenen Schichten berücksichtigt, deren Altersdifferenz zur darüber liegenden Schicht nicht größer als 20 Jahre ist und die erst ab der 4. Schichtebene vorzufinden sind.

4.2.3.2 Rechnerisches Oberbaujahr

Das Herstellungsjahr des Oberbaus ist eine wesentliche Eingangsgröße für die Ermittlung der Tragfähigkeit. Oberbaukonstruktionen, deren Schichten zu einem einzigen Zeitpunkt errichtet wurden, ermöglichen eine klare und eindeutige Festlegung des Oberbualters im Vergleich zu Konstruktionen, die bereits ein- oder mehrmals während ihrer Liegedauer instandgesetzt bzw. überbaut wurden. Aus diesem Grund ist es notwendig, eine repräsentative Kenngröße zu ermitteln, die das Herstellungsjahr aller (gebundenen) Schichten berücksichtigt. Das „rechnerische Oberbaujahr“ eines Oberbaus ist daher das dickengewichtete Herstellungsjahr der direkt aufeinander folgenden gebundenen Schichten.

$$J_{\text{rechn}} = \frac{\sum (S_i D \cdot S_i J \cdot S_i TS)}{D_{\text{gebSch}}}$$

J_{rechn} rechnerisches Oberbaujahr [Jahr]

$S_i D$ Dicke Schicht i [cm]

$S_i J$ Herstellungsjahr Schicht i [Jahr]

$S_i TS$ Schichtzahl: gebundene Schicht = 1 (für $S_{i-1} TS > 0$, sonst 0), sonstige Schichten = 0,
alte Asphalttragschichten mit $S_i J \geq S_{i-1} J + 20$ und $i \geq 4$, dann 0

D_{gebSch} Gesamtdicke gebundene Schichten [cm]

4.2.3.3 Österreichische Tragfähigkeitszahl Zeitpunkt 0

Die Bewertung der Tragfähigkeit von Asphaltbefestigungen ist ein wesentlicher Bestandteil im PMS. Vor allem bei der Festlegung von strukturellen Erhaltungsmaßnahmen (z.B. Verstärkungen) ist es notwendig, den Bestand (vorhandener Oberbau) objektiv für ein großes Straßennetz zu beurteilen, ohne dass detaillierte Untersuchungen auf Projektebene (z.B. FWD-Messungen, Bohrkernanalysen, etc.) vorliegen und daher mitberücksichtigt werden können.

Für die Abschätzung der vorhandenen Tragfähigkeit von bituminösen Oberbaukonstruktionen wurde ein Verfahren entwickelt, das auf der im AASHTO-Guide [22] beschriebenen „Structural Number“ basiert. Die „Structural Number“ wurde dabei so erweitert, dass sie einerseits die in Österreich vorzufindenden Oberbaumaterialien berücksichtigt und andererseits auch für bereits ein- oder mehrmals instand gesetzte Oberbauten herangezogen werden kann. Das Ergebnis dieser Erweiterungen ist die „österreichische Tragfähigkeitszahl“.

Zum Zeitpunkt des rechnerischen Oberbaujahrs (=Zeitpunkt 0) errechnet sich die österreichische Tragfähigkeitszahl wie folgt:

$$TZ_0 = \sum_i (S_i \cdot D \cdot S_i \cdot K) + UG \quad [11 \leq TZ_0 \leq 25]$$

TZ_0 Tragfähigkeitszahl Zeitpunkt 0 [-]

$S_i K$ Schichtkoeffizient Schicht i (siehe Tabelle 15) [-]

UG Untergrundtragfähigkeit (Standardwert = 2,4) [-]

$S_i D$ Schichtdicke Schicht i [cm]

Schichtbezeichnung	Material der Schicht	Schichtkoeffizient
Deckschicht	AC_deck_A1, AC_deck_A3, BBTM, MAK, OBH	0,40
	AC_deck_A2	0,42
	MA, SMA_S1, SMA_S2, SMA_S3	0,44
bituminös geb. Tragschicht	AC_trag_T1-T3	0,40
	AC_binder	0,42
hydraulisch geb. Tragschicht	STAB_Z, STAB_K	0,24
obere ungebundene Tragschicht	KK	0,14
	MK	0,12
	RK	0,10
	ZGKK (U1)	0,16
	U_REC_Y	0,20
untere ungebundene Tragschicht	-	0,08

Tabelle 15: Schichtkoeffizienten

Der Zusammenhang zwischen den zulässigen Normlastwechseln (bezogen auf 10t-Normachslast) und der österreichischen Tragfähigkeitszahl für bituminöse Oberbaukonstruktionen zum Zeitpunkt 0 (rechnerisches Oberbaujahr) kann über die in der österreichischen Oberbaubemessungsrichtlinie RVS 03.08.63 [18] standardisierten Aufbauten hergestellt werden und ist in der nachfolgenden Gleichung dargestellt:

$$NLW_{zul,0} = 0,0000455 \cdot e^{0,741 \cdot TZ_0}$$

$NLW_{zul,0}$ zulässige Normlastwechsel zum Zeitpunkt 0 in Mio. [-]

TZ_0 Tragfähigkeitszahl Zeitpunkt 0 [-]

4.2.3.4 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. Der Verkehrsbelastungskoeffizient ist gemäß [19] als Quotient zwischen zulässiger Verkehrsbelastung einer Oberbaukonstruktion und der vorhandenen bzw. prognostizierten Verkehrsbelastung innerhalb der Bemessungsperiode definiert. Liegt der Verkehrsbelastungskoeffizient über 1, so ist der betrachtete Abschnitt überdimensioniert, ist der Koeffizient kleiner als 1, so ist der betrachtete Abschnitt unterdimensioniert, bei einem Koeffizienten gleich 1 wurde eine richtige Dimensionierung vorgenommen.

$$VBI = \frac{NLW_{zul,0}}{NLW_{kum,n}} \quad [0,5 \leq VBI \leq 3]$$

VBI Verkehrsbelastungskoeffizient [-]

$NLW_{kum,n}$ kumulierte Normlastwechsel innerhalb der Bemessungsperiode in Mio. [-]

$NLW_{zul,0}$ zulässige Normlastwechsel zum Zeitpunkt 0 in Mio. [-]

Die kumulierten Lastwechsel innerhalb einer Bemessungsperiode von 30 Jahren auf den Autobahnen und Schnellstraßen und von 20 Jahren auf den Landesstraßen können auf der Grundlage der RVS 03.08.63 [18] einfach ermittelt werden, wenn die aktuelle Verkehrsbelastung auf das rechnerische Oberbaujahr zurückgerechnet wird. Hierfür kann die im Kapitel 3.6.1 beschriebene Funktion herangezogen werden, wobei die Zeitdifferenz $t-t_n$ negativ wird.

4.2.3.5 Zustandsgröße Tragfähigkeit Oberbau in Asphaltbauweise

Wie bereits erwähnt, drückt der Verkehrsbelastungskoeffizient das Verhältnis zwischen zulässiger und vorhandener Verkehrsbelastung aus. Der Koeffizient kann daher für die Berechnung der Abweichung von der „Idealentwicklung“ des strukturellen (inneren) Zustandes der Oberbaukonstruktion herangezogen werden. Dies bedeutet, dass die Reduktion der Tragfähigkeit schneller voranschreitet, wenn der Oberbau unterdimensioniert ist, im Vergleich zu einer Oberbaukonstruktion, die richtig oder sogar überdimensioniert wurde.

Um das Ausmaß dieser Reduktion zu definieren, wird in einem ersten Schritt die strukturelle Ermüdung (Zustandsgröße „Tragfähigkeit“) der Oberbaukonstruktion in Relation zur „Idealentwicklung“ berechnet. Die „Idealentwicklung“ stellt dabei einen Verhältniswert dar und bezieht sich auf die statistische Auswertung der Lebensdauern von bituminösen Tragschichten (siehe [2]), welche in Relation zum Zustandsprognosemodell Risse (nach [21]) gebracht wurde. In der aktuellen RVS 03.08.63 erfolgte eine Änderung der Bemessungslebensdauer bei Asphaltkonstruktionen im Bereich der Autobahnen und Schnellstraßen von 20 auf 30 Jahre, daher ist es notwendig, diese auf 20 Jahre Bemessungslebensdauer bezogene Ermüdungsfunktion entsprechend zu kalibrieren, was durch die Einführung eines Faktors von $n/20$ für korrekt bemessene Oberbaukonstruktionen ($VBI \geq 0,7$, um auch eine entsprechende Streuung der Verkehrsbelastung und der Oberbaudaten zu berücksichtigen) vorgenommen wird. Da die Einführung der geänderten Bemessungslebensdauern erst im Juni 2016 erfolgte, liegen noch keine langjährigen Erfahrungen vor, um diese Funktion auch mit IST-Daten genau zu verifizieren, sodass diese Annahme zunächst getätigt werden muss. Der VBI-Faktor erscheint hier die geeignete Größe, da er genau diesen Aspekt der Dimensionierung beschreibt. Bei unterdimensionierten Oberbaukonstruktionen sowie bei einer Bemessungslebensdauer von 20 Jahren hat sich die Funktion nicht geändert. Lediglich der Faktor von 0,1 wurde in den letzten Jahren im Rahmen von Plausibilitätsuntersuchungen und Vergleichsrechnungen auf Projektebene geringfügig geändert. Die „theoretische aktuelle Tragfähigkeit“ kann daher als Prozentwert der „inneren“ Schädigung oder Ermüdung wie folgt definiert werden (siehe auch Abbildung 5):

$$ZG_{\text{Tragf}} = K_{\text{Tragf}} \cdot \frac{\exp[-3,6017 + 0,1 \cdot (J_{\text{akt}} - J_{\text{rechn}}) + \ln(J_{\text{akt}} - J_{\text{rechn}} + 0,01)]}{VBI \cdot \frac{n}{20}} \quad \text{für } VBI \geq 0,7$$

$$ZG_{\text{Tragf}} = K_{\text{Tragf}} \cdot \frac{\exp[-3,6017 + 0,1 \cdot (J_{\text{akt}} - J_{\text{rechn}}) + \ln(J_{\text{akt}} - J_{\text{rechn}} + 0,01)]}{VBI} \quad \text{für } VBI < 0,7$$

$$[0 \leq ZG_{\text{Tragf}} \leq 100]$$

mit

$$K_{\text{Tragf}} = K_{\text{Risse}}$$

$$[0,005 \leq K_{\text{Tragf}} \leq 0,7]$$

und

ZG_{Tragf} Zustandsgröße theoretische Tragfähigkeit [%]

K_{Tragf} Kalibrierfaktor Zustandsgröße Tragfähigkeit [-]
 K_{Risse} Kalibrierfaktor Risse (aus Zustandserfassung)
 J_{akt} aktuelles Jahr der Analyse bzw. Untersuchung [Jahr]
 J_{rechn} rechnerisches Oberbaujahr [Jahr]
 n Bemessungsperiode in Jahren (Autobahnen und Schnellstraßen = 30 Jahre, sonst 20 Jahre)

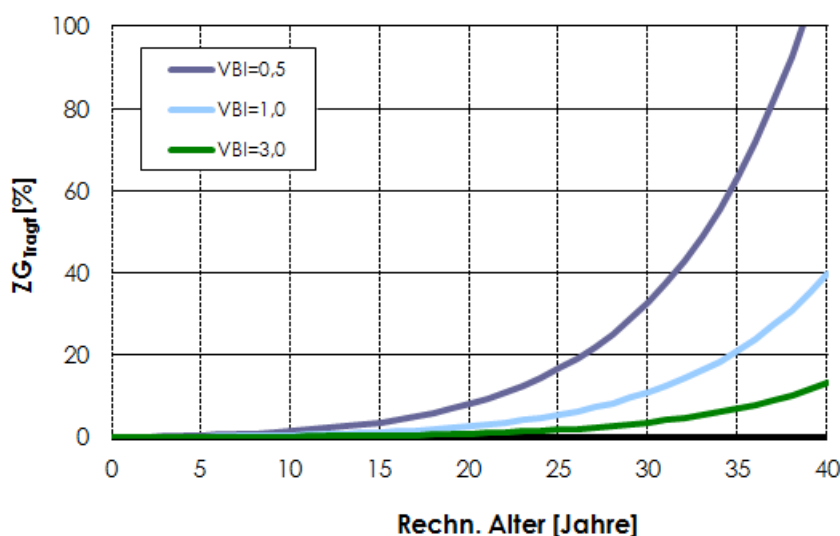


Abbildung 5: Zustandsgröße Tragfähigkeit für Oberbau in Asphaltbauweise mit $n=30$ Jahre Bemessungslebensdauer

Der in der Funktion enthaltene Kalibrierfaktor dient zur Berücksichtigung von zusätzlichen Informationen aus der visuellen Straßenzustandserfassung der Straßenoberfläche (Risse).

Über eine einfache lineare Transformation kann die so errechnete Zustandsgröße einerseits in einen Zustandswert (siehe Kapitel 4.3) und andererseits in einen wiederum auf die mittlere Lebensdauer bezogenen Reduktionsfaktor umgerechnet werden. Je höher der „Grad“ der inneren Beeinträchtigung des Zustandes, desto kleiner ist der Reduktionsfaktor, der in Anlehnung an die RVS 03.08.64 [23] mit einem unteren Grenzwert von 0,3 (30%-Resttragfähigkeit) begrenzt ist.

$$R_{\text{Tragf}} = 1 - 0,0392 \cdot ZG_{\text{Tragf}} \quad [0,3 \leq R_{\text{Tragf}} \leq 1]$$

R_{Tragf} Reduktionsfaktor Tragfähigkeit [-]
 ZG_{Tragf} Zustandsgröße theoretische Tragfähigkeit [%]

Die Änderung der Tragfähigkeit, ausgedrückt durch den Reduktionsfaktor Tragfähigkeit, kann für 3 unterschiedliche Verkehrsbelastungskoeffizienten der nachfolgenden Abbildung 6 entnommen werden.

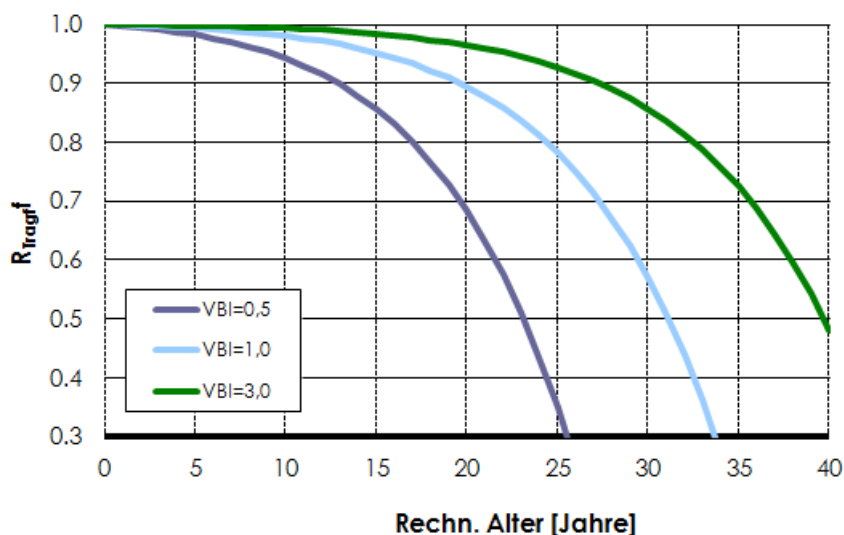


Abbildung 6: Reduktionsfaktor Tragfähigkeit, n=30 Jahre Bemessungslebensdauer

4.2.3.6 Tragfähigkeitszahl Zeitpunkt t

Auf der Grundlage des Reduktionsfaktors „Tragfähigkeit“ kann die Tragfähigkeitszahl zu jedem beliebigen Zeitpunkt „t“ errechnet werden.

$$TZ_t = TZ_0 \cdot R_{Tragf}$$

TZ_t Tragfähigkeitszahl Zeitpunkt t [-]

R_{Tragf} Reduktionsfaktor Tragfähigkeit [-]

Unter Verwendung des mathematischen Zusammenhanges zwischen der zulässigen Verkehrsbelastung und der Tragfähigkeitszahl zum Zeitpunkt 0 können auch für den Zeitpunkt t die zulässigen Normlastwechsel errechnet werden.

$$NLW_{zul,t} = 0,0000455 \cdot e^{0,741 \cdot TZ_t}$$

$NLW_{zul,t}$ zulässige Normlastwechsel zum Zeitpunkt t in Mio. [-]

4.2.4 Tragfähigkeit von Betondecken

In gleicher Weise wie beim Oberbau in Asphaltbauweise können auch für Betondecken entsprechende Kennzahlen und Kennwerte aus den zur Verfügung stehenden Schichtinformationen abgeleitet werden.

4.2.4.1 Gesamtdicke Betondecke

Die Gesamtdicke der Betondecke errechnet sich über die Summe der Dicken der einzelnen Betondeckenschichten (Unterbeton, Oberbeton), wobei es sich um direkt aufeinander folgende Betonschichten handeln muss. Bituminöse Überzüge werden in der Dickenberechnung nicht berücksichtigt, da sie keinen Einfluss auf die Tragfähigkeit der Betondecke ausüben:

$$D_{\text{Beton}} = \sum_i (S_i D \cdot S_i TS)$$

D_{Beton} Gesamtdicke Betondecke [cm]

$S_i D$ Schichtdicke Schicht i [cm]

$S_i TS$ Schichtzahl: Betondecke(schicht) = 1 (für $S_{i-1} TS > 0$ ausgenommen
 S_{i-1} = bituminöser Überzug, dann $S_i TS = 1$, sonst 0),
sonstige Schichten = 0

4.2.4.2 Rechnerisches Oberbaujahr

Das rechnerische Oberbaujahr (theoretisches Herstellungsjahr) des Oberbaus kann bei Betondecken dem Herstellungsjahr der obersten Schicht der Betondecke gleichgesetzt werden:

$$J_{\text{rechn}} = S_i J \cdot S_i TS$$

J_{rechn} rechnerisches Oberbaujahr [Jahr]

$S_i J$ Herstellungsjahr der obersten Schicht i mit $S_i TS = 1$ und S_i =
Betondecke(schicht) [Jahr]

$S_i TS$ Schichtzahl: Betondecke(schicht) = 1 (für $S_{i-1} TS > 0$ ausgenommen
 S_{i-1} = bituminöser Überzug, dann $S_i TS = 1$, sonst 0),
sonstige Schichten = 0

4.2.4.3 Zulässige Normlastwechsel Zeitpunkt 0

Die Berechnung der zulässigen Normlastwechsel (bezogen auf 10t-Normachslast) zum Zeitpunkt des rechnerischen Oberbaujahrs der Betondecke erfolgt über den Zusammenhang zwischen den Betondeckendicken der standardisierten Aufbauten (siehe RVS 03.08.63 [18]) und der zulässigen Verkehrsbelastung.

$$NLW_{zul,0} = 0,00548 \cdot e^{0,3592 D_{Beton}} \quad [0,4 \leq NLW_{zul,0} \leq 200]$$

$NLW_{zul,0}$ zulässige Normlastwechsel zum Zeitpunkt 0 in Mio. [-]

D_{Beton} Gesamtdicke Betondecke [cm]

4.2.4.4 Verkehrsbelastungskoeffizient

Der Verkehrsbelastungskoeffizient ist gemäß [19] als Quotient zwischen zulässiger Verkehrsbelastung einer Oberbaukonstruktion und der vorhandenen bzw. prognostizierten Verkehrsbelastung innerhalb der Bemessungsperiode von 30 Jahren für Betondecken definiert.

$$VBI = \frac{NLW_{zul,0}}{NLW_{kum,n}} \quad [0,5 \leq VBI \leq 3]$$

VBI Verkehrsbelastungskoeffizient [-]

$NLW_{zul,0}$ zulässige Normlastwechsel zum Zeitpunkt 0 in Mio. [-]

$NLW_{kum,n}$ kumulierte Normlastwechsel innerhalb der Bemessungsperiode in Mio. [-]

Die kumulierten Lastwechsel werden auch bei Betondecken auf der Grundlage der RVS 03.08.63 [18] errechnet. Auch hier kann die Verkehrsbelastung im Herstellungsjahr der Betondecke entsprechend den Formeln in Kapitel 3.6.1 berechnet werden.

4.2.4.5 Zustandsgröße Tragfähigkeit Betondecken

Um die Reduktion der Tragfähigkeit von Betondecken zu definieren, wird ebenfalls in einem ersten Schritt das Ausmaß der strukturellen Ermüdung (Zustandsgröße „theoretische Tragfähigkeit“) der Oberbaukonstruktion ermittelt und die Abweichung zur „Idealentwicklung“ festgestellt. Die „Idealentwicklung“ stellt dabei einen Verhältniswert dar und bezieht sich auf die statistische Auswertung der Lebensdauern von Betondecken (siehe [2]), welche in Relation zum Zustandsprognosemodell Risse Betondecken (nach [21]) gebracht wurden. Die

„theoretische aktuelle Tragfähigkeit“ wird wiederum als Prozentwert der „inneren“ Schädigung oder Ermüdung wie folgt definiert:

$$ZG_{\text{Tragf}} = K_{\text{Tragf}} \cdot \frac{\exp[-3,6017 + 0,1 \cdot (J_{\text{akt}} - J_{\text{rechn}}) + \ln(J_{\text{akt}} - J_{\text{rechn}} + 0,01)]}{VBI}$$

$$[0 \leq ZG_{\text{Tragf}} \leq 100]$$

mit

$$K_{\text{Tragf}} = K_{\text{Risse}}$$

$$[0,005 \leq K_{\text{Tragf}} \leq 0,7]$$

ZG_{Tragf} Zustandsgröße theoretische Tragfähigkeit [%]

K_{Tragf} Kalibrierfaktor Zustandsgröße Tragfähigkeit (Standardwert = 1)

J_{akt} aktuelles Jahr der Analyse bzw. Untersuchung [Jahr]

J_{rechn} rechnerisches Oberbaujahr [Jahr]

Über eine lineare Transformation wird aus der Zustandsgröße der Reduktionsfaktor Tragfähigkeit errechnet:

$$R_{\text{Tragf}} = 1 - 0,0392 \cdot ZG_{\text{Tragf}} \quad [0,3 \leq R_{\text{Tragf}} \leq 1]$$

R_{Tragf} Reduktionsfaktor Tragfähigkeit [-]

ZG_{Tragf} Zustandsgröße theoretische Tragfähigkeit [%]

Unter Verwendung des mathematischen Zusammenhanges zwischen der zulässigen Verkehrsbelastung und der Betondeckendicke zum Zeitpunkt 0 können auch für den Zeitpunkt t die zulässigen Normlastwechsel errechnet werden.

$$NLW_{\text{zul},t} = 0,00548 \cdot e^{0,3592 R_{\text{Tragf},t} \cdot D_{\text{Beton}}} \quad [0,4 \leq NLW_{\text{zul},t} \leq 200]$$

$NLW_{\text{zul},t}$ zulässige Normlastwechsel zum Zeitpunkt t in Mio. [-]

$R_{\text{Tragf},t}$ Reduktionsfaktor Tragfähigkeit zum Zeitpunkt t [-]

D_{Beton} Gesamtdicke Betondecke [cm]

4.2.5 Zusätzliche Tragfähigkeitsuntersuchungen flexibler Oberbaukonstruktionen

Im Zuge der praktischen Anwendung des österreichischen PMS hat sich gezeigt, dass die theoretische Beurteilung der Tragfähigkeit sowohl von flexiblen als auch von starren Oberbaukonstruktionen Unterschiede zum tatsächlichen Verhalten zeigt und daher weiterführende Untersuchungen notwendig sind. Dies ist einerseits auf den Umstand zurückzuführen, dass der in den vorangegangenen Kapiteln beschriebene Algorithmus in erster Linie auf theoretischen Überlegungen fundiert und die Verknüpfung mit den aufgenommenen Zustandsdaten fast ausschließlich die Oberfläche (Zustandsmerkmal Risse) der Befestigung berücksichtigt.

Aus diesem Grund wird von Straßenerhaltern oft der Wunsch nach detaillierten Untersuchungen der Tragfähigkeit geäußert, die jedoch mit den heute zur Verfügung stehenden Geräten bei Gesamtnetzbetrachtungen noch sehr teuer sind und daher nur auf Projektebene eingesetzt werden. Es erscheint jedoch sinnvoll und zweckmäßig, die Möglichkeiten aufzuzeigen, wie Daten und Informationen von Tragfähigkeitsuntersuchungen in den oben beschriebenen Algorithmus einfließen können. In diesem Zusammenhang werden zwei Vorgehensweisen beschrieben:

- Ermittlung der Resttragfähigkeit bzw. der Restlebensdauer über die Auswertung von Tragfähigkeitsmessungen (z.B. FWD) und zusätzliche Erhebungen (z.B. Bohrkernuntersuchungen)
- Ermittlung der Zustandsgröße Tragfähigkeit im Rahmen einer erweiterten visuellen Beurteilung des Oberbaus

Liegt die Restlebensdauer bzw. die Resttragfähigkeit als Prozentwert zur Bemessungslebensdauer vor, kann der Reduktionsfaktor Tragfähigkeit für die Ermittlung des im Kapitel 4.2.3.5 beschriebenen Kalibrierfaktors „Zustandsgröße Tragfähigkeit“ herangezogen werden. Das Verhältnis zwischen Restlebensdauer und Bemessungslebensdauer wurde auch im Rahmen der COST-Aktion 354 „Performance Indicators for Road Pavements“ [24] als geeignete Kennzahl zur Beurteilung der Tragfähigkeit vorgeschlagen.



Abbildung 7: Falling Weight Deflectometer (FWD, Foto Dynatest)

Der Kalibrierfaktor „Zustandsgröße Tragfähigkeit“ kann über den bestehenden mathematischen Zusammenhang ermittelt werden, wobei der Reduktionsfaktor Tragfähigkeit dem Prozentwert der Resttragfähigkeit bzw. der Restlebensdauer gleichgesetzt wird:

$$ZG_{RL} = \frac{\left(\frac{RL}{100} - 1\right)}{-0,0392} \quad [0 \leq ZG_{RL} \leq 100]$$

$$K_{Tragf} = \frac{ZG_{RL}}{\exp[-3,6017 + 0,1 \cdot (J_{akt} - J_{rechn}) + \ln(J_{akt} - J_{rechn} + 0,01)]}$$

$$[0,3 \leq K_{Tragf} \leq 1]$$

ZG_{RL} Zustandsgröße Restlebensdauer in [%]

RL Quotient aus Restlebensdauer (z.B. Normlastwechsel, Jahre) und Bemessungslebensdauer in [%]

K_{Tragf} Kalibrierfaktor Zustandsgröße Tragfähigkeit [-]

J_{akt} aktuelles Jahr der Analyse bzw. Untersuchung [Jahr]

J_{rechn} rechnerisches Oberbaujahr [Jahr]

Wie bereits erwähnt, sind Tragfähigkeitsmessungen zeit- und kostenintensiv und werden oft auf untergeordneten Straßennetzen durch ingenieurmäßige, visuelle Beurteilungen ersetzt. Unter Heranziehung der nachfolgenden Tabelle 16 ist eine Abschätzung der Zustandsgröße Tragfähigkeit über eine Klassifizierung möglich, wobei die ermittelte Zustandsklasse (Skala 1 bis 5) lediglich in die Zustandsgröße transformiert werden muss, um daraus wiederum den Kalibrierfaktor „Zustandsgröße Tragfähigkeit“ zu ermitteln.

Beschreibung der Situation	Zustandsklasse
keine Tragfähigkeitsprobleme erkennbar	1
keine Tragfähigkeitsprobleme erkennbar, strukturelle Schäden (z.B. Risse) sichtbar	2
Tragfähigkeit beeinträchtigt, jedoch keine Auswirkungen auf Nutzer	3
deutliche Beeinträchtigung der Tragfähigkeit, Auswirkungen auf Nutzer ersichtlich	4
Tragfähigkeit nicht mehr gegeben, Ende der strukturellen Lebensdauer erreicht	5

Tabelle 16: Definition Zustandsklassen Tragfähigkeit

$$ZG_{Zkl, Tragf} = \frac{Zkl_{Tragf} - 1}{0,2} \quad [0 \leq ZG_{Zkl, Tragf} \leq 100]$$

$$K_{Tragf} = \frac{ZG_{Zkl, Tragf} \cdot VBI \cdot \frac{n}{20}}{\exp[-3,6017 + 0,1 \cdot (J_{akt} - J_{rechn}) + \ln(J_{akt} - J_{rechn} + 0,01)]} \quad \text{für } VBI \geq 0,7$$

$$K_{Tragf} = \frac{ZG_{Zkl, Tragf} \cdot VBI}{\exp[-3,6017 + 0,1 \cdot (J_{akt} - J_{rechn}) + \ln(J_{akt} - J_{rechn} + 0,01)]} \quad \text{für } VBI < 0,7$$

$$[0,3 \leq K_{Tragf} \leq 1]$$

Zkl_{Tragf} Zustandsklasse Tragfähigkeit nach Tabelle 16

$ZG_{Zkl, Tragf}$ Zustandsgröße Tragfähigkeit auf der Grundlage der Zustandsklassen
Tragfähigkeit [%]

K_{Tragf} Kalibrierfaktor Zustandsgröße Tragfähigkeit

J_{akt} aktuelles Jahr der Analyse bzw. Untersuchung [Jahr]

J_{rechn} rechnerisches Oberbaujahr [Jahr]

VBI Verkehrsbelastungskoeffizient [-]

4.3 Bewertung des Straßenzustandes

4.3.1 Einleitung

Die Bewertung des Straßenzustandes ist jener Teil des PMS, der die erfassten oder erhobenen Daten und Informationen sowie die daraus errechneten Kennzahlen und Kennwerte mit bestimmten festgelegten Vorgaben und Anforderungen an das Straßennetz bzw. an den Oberbau verknüpft. Dazu ist es erforderlich, bestimmte, auf die Eigenschaften des Straßenoberbaus bezogene Grenzwerte und Standards festzulegen, die letztendlich auch die Erhaltungsziele repräsentieren.

Mit der Implementierung des PMS auf den österreichischen Autobahnen und Schnellstraßen ergab sich erstmalig 1999 die Notwendigkeit, ein Verfahren zur Bewertung des Straßenzustandes zu entwickeln, das aus Einzelinformationen charakteristische auf die Erhaltungsziele bezogene Kennwerte ermittelt. Darüber hinaus musste für die Festlegung des Zielkriteriums im Rahmen der Optimierung auch ein Wert gefunden werden, der einerseits

möglichst alle Eigenschaften des Oberbaus beinhaltet und andererseits die vorgegebenen Erhaltungsziele berücksichtigt.

Das österreichische Verfahren zur Bewertung des Straßenzustandes ist das Ergebnis einer mehrjährigen kontinuierlichen Entwicklungsarbeit, die sowohl die zunehmende Komplexität der Problemstellung berücksichtigt als auch die Erfahrungen der mehrjährigen praktischen Anwendung PMS beinhaltet.

4.3.2 Randbedingungen für die Bewertung

Die (strategischen) Erhaltungsziele, die letztendlich auch die Struktur des Verfahrens zur Bewertung des Straßenzustandes vorgeben, wurden in Österreich so gewählt, dass sowohl aus der Sicht des Straßennutzers als auch aus der Sicht des Straßenerhalters unter den vorgegebenen Randbedingungen (z.B. budgetäre Restriktionen) ein höchstmögliches Maß an Qualität des Straßenoberbaus zur Verfügung steht (Details siehe hierzu auch Kapitel 2.4). Die Erhaltungsziele können für den Straßenoberbau dabei wie folgt präzisiert werden:

- Erhaltung der Fahrsicherheit
- Erhaltung des Fahrkomforts
- Erhaltung der Substanz
- Minimierung negativer Umwelteinflüsse
- Minimierung der Verkehrsbeeinträchtigung der Nutzer

Für die praktische Anwendung eines Verfahrens zur Bewertung des Straßenzustandes wurden in Bezug auf die genannten Erhaltungsziele zunächst zwei Teilwerte definiert:

- **Gebrauchswert:** Teilwert zur Beschreibung der Fahrsicherheit und des Fahrkomforts
- **Substanzwert:** Teilwert zur Beschreibung der strukturellen Beschaffenheit der Oberbaukonstruktion

Zur Beschreibung der Umwelteinflüsse und der Nutzerkosten stehen derzeit noch keine eigenen Teilwerte im PMS zur Verfügung. Es ist jedoch sinnvoll und zweckmäßig, für die Belange der Umweltbeeinträchtigungen und der Nutzerkosten zukünftig auch Teilwerte zu definieren, die sowohl die positiven als auch die negativen Auswirkungen von Erhaltungsmaßnahmen beurteilen. Dazu laufen derzeit im Rahmen von CEDR entsprechende Forschungsvorhaben.

Für die Festlegung einer auf den Straßenzustand bezogenen Zielfunktion im Rahmen der Optimierung – bestmöglicher Straßenzustand unter vorgegebenen budgetären Restriktionen – können grundsätzlich die Teilwerte herangezogen werden. Es hat sich jedoch im Rahmen der praktischen Anwendung des Systems gezeigt, dass eine Kennzahl, die sowohl die Belange des Straßennutzers als auch die des Straßenerhalters berücksichtigt, eine bessere Grundlage für die Festlegung der Zielfunktion darstellt. Diese als **Gesamtwert** bezeichnete Kennziffer ist daher das Ergebnis der Zusammenführung der Teilwerte unter Berücksichtigung der Bedeutung der einzelnen Erhaltungsziele.

4.3.3 Verfahrensbeschreibung

Wie bereits erwähnt, stützt sich das Verfahren in seiner Struktur auf die zuvor beschriebenen Erhaltungsziele in Form von Teilwerten und einem Gesamtwert. Die Ermittlung der Teilwerte und folglich des Gesamtwertes kann unter dem Begriff „Wertsynthese“ zusammengefasst werden und besteht aus folgenden Einzelschritten:

- Normierung (Transformation): Die in der Regel dimensionsbehafteten Zustandsgrößen werden in eine dimensionslose Kennzahl – den Zustandswert – transformiert. Diese Transformation erfolgt durch die Anwendung von auf die Einzelmerkmale bezogenen Normierungsfunktionen.
- Teilwertermittlung: Die einzelnen Zustandswerte werden in Abhängigkeit von ihrer Bedeutung und ihren Eigenschaften über Gewichtungs- und Verknüpfungsvorschriften zu Teilwerten zusammengefasst.
- Gesamtwermittlung: Die beiden Teilwerte werden in Abhängigkeit von ihrer Bedeutung und ihren Eigenschaften über Gewichtungs- und Verknüpfungsvorschriften zum Gesamtwert zusammengefasst.

Die praktische Anwendung dieses Verfahrens erfolgt individuell für jeden zu untersuchenden Abschnitt. Auf die Definition bzw. Festlegung eines Erhaltungsabschnittes (Analyseabschnitt) wurde bereits im Kapitel 4.1 näher eingegangen.

Die Verknüpfung des gegenständlichen Verfahrens mit auf die Einzelmerkmale bezogenen Zustandsprognosemodellen (Verhaltensfunktionen) ermöglicht eine Anwendung für jedes Jahr oder jedes beliebige Intervall innerhalb der Untersuchungs- bzw. Analyseperiode, sodass als Ergebnis neben der Prognose der Einzelmerkmale (Risse, Oberflächenschäden, Spurrinnen, Längsebenheit und Griffbarkeit) auch eine Zeitreihe – und somit eine Prognose - für die Teilwerte und für den Gesamtwert zur Verfügung steht. Unabhängig vom Zeitpunkt bzw. Jahr der Analyse

wird immer der gleiche Berechnungsalgorithmus angewendet. Das nachfolgend beschriebene Verfahren gilt also für jeden beliebigen Zeitpunkt t innerhalb der Untersuchungsperiode. Lediglich die Änderung der Bauweise des Oberbaus (z.B. durch eine Erneuerungsmaßnahme) kann zu Änderungen innerhalb des Verfahrens führen.

Zur Sicherstellung einer netzweiten Anwendung kann dieses Verfahren auch für Abschnitte herangezogen werden, die bereits ein- oder mehrmals mit unterschiedlichen Erhaltungsmaßnahmen instandgesetzt wurden. Unterschiede im Rahmen der Bewertung ergeben sich für Asphaltbefestigungen und für Betonbefestigungen, sodass die Anwendung des Verfahrens grundsätzlich getrennt nach diesen beiden Bauweisen erfolgen muss.

Die nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 8 und Abbildung 9) zeigen schematisch das Verfahren zur Bewertung des Straßenzustandes auf den Bundes- und Landesstraßen für Asphalt- und für Betonbefestigungen. In den beiden Abbildungen ist auch ersichtlich, dass neben den 5 unabhängigen Zustandsmerkmalen (siehe hierzu Kapitel 3.5) auch die Kennzahlen und Kennwerte des Oberbaus berücksichtigt werden.

Im Zuge der Überarbeitung des Verfahrens zur Bewertung des Straßenzustandes im Jahr 2007 wurde in Anlehnung an aktuelle Forschungsergebnisse aus Deutschland (siehe [25]) und an die Ergebnisse der COST-Aktion 354 „Performance Indicators for Road Pavements“ [24] für die Verknüpfung von Einzelwerten ein erweitertes Maximalkriterium implementiert, welches die Streuung der restlichen Eingangswerte berücksichtigt. Damit wird verhindert, dass z.B. Wertepaare mit gleichem Maximalwert jedoch mit unterschiedlichen Minimalwerten zur gleichen Lösung im Rahmen der Verknüpfung führen. Jenes Wertepaar mit dem betragsmäßigen höheren Minimalwert wird demnach auch einen höheren verknüpften Wert aufweisen.

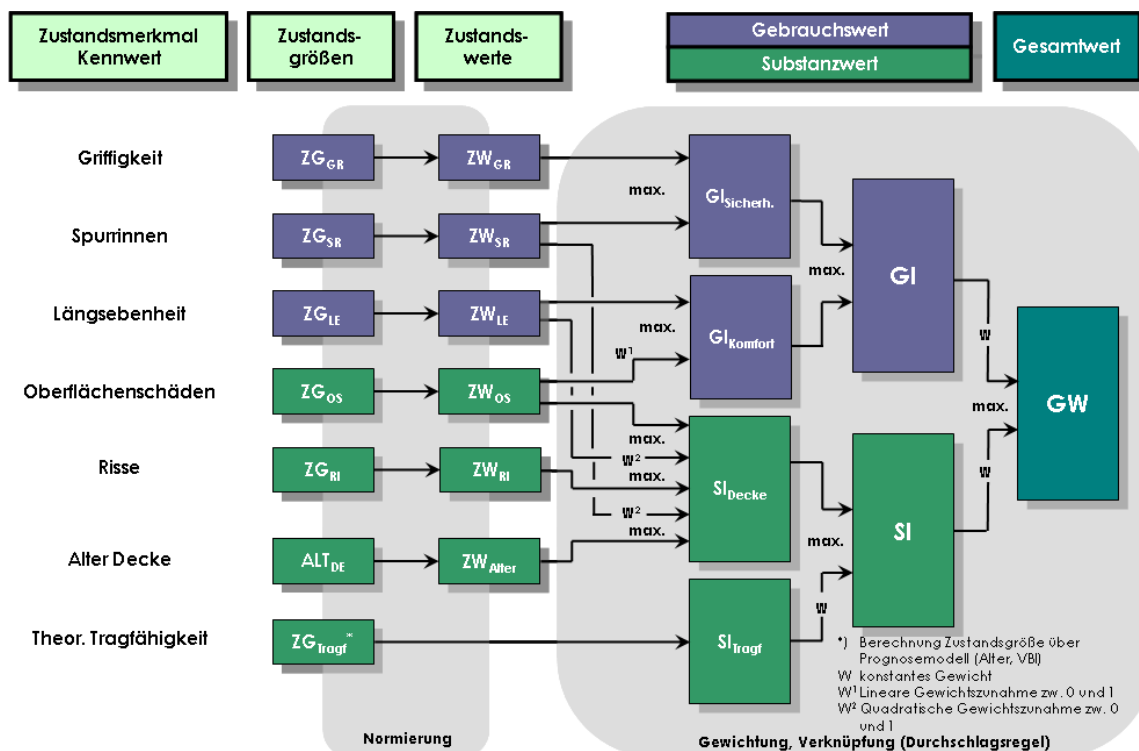


Abbildung 8: Bildung von Teilwerten und des Gesamtwertes für Asphaltbefestigungen

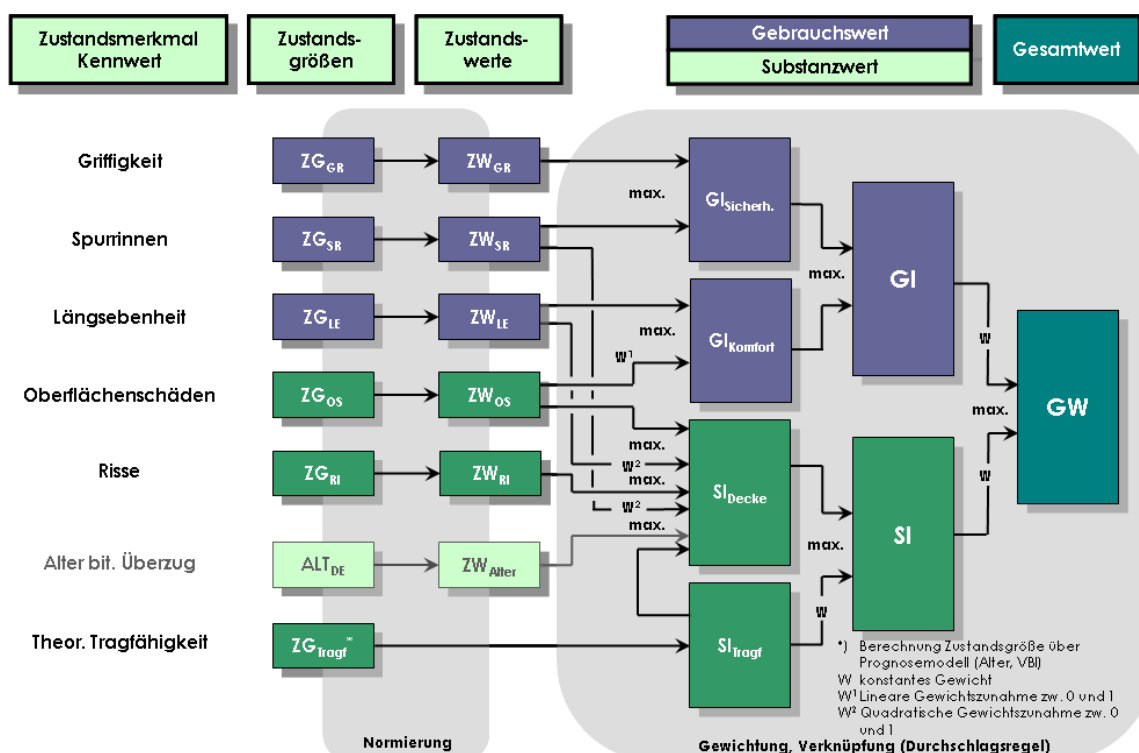


Abbildung 9: Bildung von Teilwerten und des Gesamtwertes für Betonbefestigungen

4.3.4 Zustandsgrößen und Zustandswerte (Normierung)

4.3.4.1 Grundlagen der Normierung

Die Zustandsgrößen ermöglichen noch keine eindeutige Aussage darüber, ob sich die Straße in einem vergleichsweise guten oder vergleichsweise schlechten Zustand befindet, da sie lediglich den Grad der Schädigung quantifizieren, diesen jedoch nicht beurteilen. Aus diesem Grund ist es erforderlich, die dimensionsbehafteten oder in Form einer Verhältniszahl (Anteil geschädigte Fläche) 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 [2]. Für die Transformation der Zustandsgrößen in die dimensionslosen Zustandswerte werden folgende Zustandsmerkmale herangezogen:

- Griffigkeit
- Spurrinnen
- Längsebenheit
- Oberflächenschäden
- Risse

Neben dem Zustandswert wird im Bewertungssystem auch eine 5-teilige Notenskala verwendet (siehe Tabelle 17):

Zustandsklasse	Klassenname	Zustandswert	Farbzuordnung
1	Sehr gut	[1,0 – 1,5)	Dunkelgrün (grün)
2	Gut	[1,5 – 2,5)	Hellgrün (grün)
3	Mittel	[2,5 – 3,5)	gelb
4	Schlecht	[3,5 – 4,5)	orange
5	Sehr schlecht	[4,5 – 5,0]	rot

Tabelle 17: Zustandswerte und Zustandsklassen nach [2]

Die Grenze zwischen Klasse 3 und 4 (Zustandswert 3,5) wird auch als **Warnwert** bezeichnet. Dies bedeutet, dass die Durchführung einer Erhaltungsmaßnahme in Erwägung gezogen werden sollte. Die Grenze zwischen Zustandsklasse 4 und 5 (Zustandswert 4,5) entspricht dem **Schwellenwert**, der den Übergang in einen kritischen Zustand darstellt. Vor allem bei sicherheitsrelevanten Merkmalen (Spurrinnen und Griffigkeit) sind bei Erreichen dieses Wertes

Sofortmaßnahmen zu setzen (z.B. Geschwindigkeitsreduktion) und kurzfristig Erhaltungsmaßnahmen vorzunehmen. Bei anderen Merkmalen ist ebenfalls eine kurzfristige Maßnahme in die Planungen mit einzubeziehen.

Für die Transformation stehen als maßgebende Grundlage die statistische Auswertung der Zustandserfassung 1995 [9], die Expertenerfahrungen der vor Ort tätigen Erhaltungsspezialisten sowie die statistischen Auswertungen weiterer Erfassungen zur Verfügung.

Bevor die Normierung vorgenommen werden kann, muss zunächst eine Klassifizierung der zu untersuchenden Abschnitte in Abhängigkeit von den Anforderungen an das jeweilige zu untersuchende Straßennetz vorgenommen werden. Dies bedeutet, dass die Anforderungen an die Autobahnen und Schnellstraßen aufgrund der Bedeutung und der höheren Geschwindigkeiten auch entsprechend höher zu definieren sind. Dzt. liegen ausschließlich für diese Straßenkategorie entsprechende Bewertungshintergründe vor, wobei eine Anpassung (Reduktion der Anforderungen im Hinblick auf eine wirtschaftlich umsetzbare Straßenerhaltung) an andere Straßennetze jederzeit vorgenommen werden kann. Das Verfahren ändert sich in seinem Grundsatz nicht.

Die allgemeine Formulierung einer Normierungsfunktion lautet wie folgt:

$$ZW_i = 1,0 + X \cdot ZG_i \quad [1,0 \leq ZW_i \leq 5,0]$$

ZW_iZustandswert Merkmal i [-]

ZG_iZustandsgröße Merkmal i

X.....Faktor Normierungsfunktion

Die aktuellen Grundlagen für die Normierung auf den Autobahnen und Schnellstraßen sind die RVS 13.01.15 [26] und RVS 13.01.16 [15]. Die gerundeten Zustandswerte in der RVS wurden durch lineare Funktionen ersetzt, wo der Schwellenwert den Fixpunkt darstellt. Die sich daraus ergebenden geringfügigen Abweichungen können vernachlässigt werden.

4.3.4.2 Normierungsfunktion Spurrinnen

Für die Normierung der Zustandsgröße Spurrinnen gilt für Autobahnen und Schnellstraßen in Österreich folgende Funktion:

$$ZW_{SR} = 1,0 + 0,175 \cdot ZG_{SR} \quad [1,0 \leq ZW_{SR} \leq 5,0]$$

ZW_{SR} Zustandswert Spurrinnen [-]

ZG_{SR} Zustandsgröße Spurrinnen (max. Spurrinnentiefe unter der 2m-Latte)
[mm]

Die nachfolgende Abbildung 10 zeigt die oben beschriebene mathematische Funktion in grafischer Form.

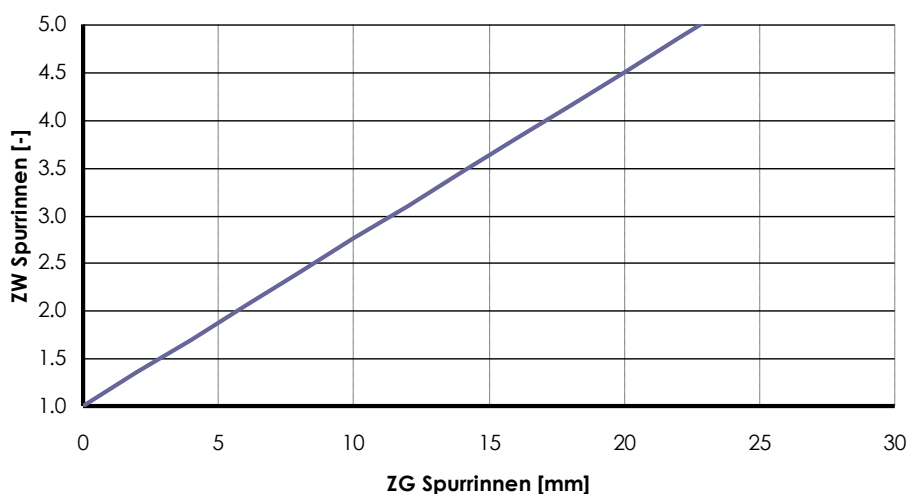


Abbildung 10: Normierungsfunktion Spurrinnen

4.3.4.3 Normierungsfunktion Griffigkeit

Für die Normierung der Zustandsgröße Griffigkeit gilt für Autobahnen und Schnellstraßen in Österreich folgende Funktion (siehe auch Abbildung 11):

$$ZW_{GR} = 9,9286 - 14,286 \cdot ZG_{GR} \quad [3,5 \leq ZW_{GR} \leq 5,0] \text{ und } [ZG_{GR} \leq 0,45]$$

$$ZW_{GR} = 6,5 - 6,6667 \cdot ZG_{GR} \quad [1,0 \leq ZW_{GR} < 3,5] \text{ und } [ZG_{GR} > 0,45]$$

ZW_{GR} Zustandswert Griffigkeit [-]

ZG_{GR} Zustandsgröße Griffigkeit (Reibungsbeiwert μ_{SRM}) [-]

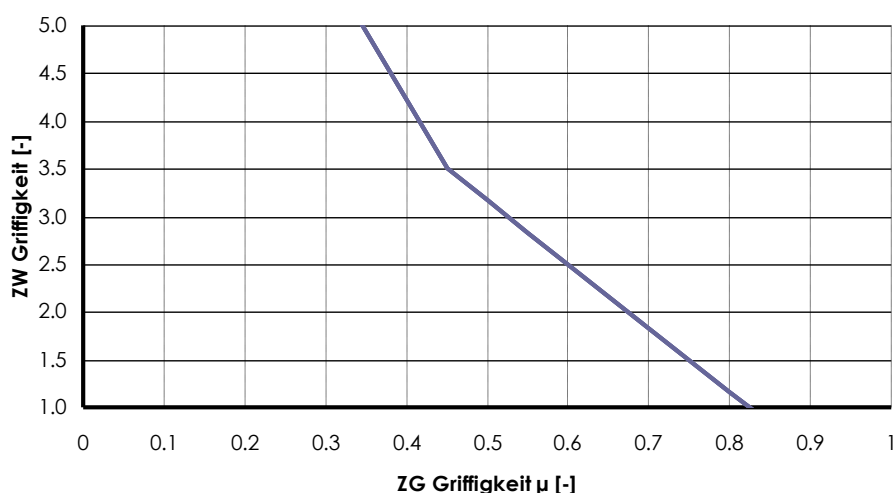


Abbildung 11: Normierungsfunktion Griffigkeit

4.3.4.4 Normierungsfunktion Längsebenheit

Für die Normierung der Zustandsgröße Längsebenheit gilt für Autobahnen und Schnellstraßen in Österreich folgende Funktion (siehe auch Abbildung 12):

$$ZW_{LE} = 1,0 + 0,7778 \cdot ZG_{LE} \quad [1,0 \leq ZW_{LE} \leq 5,0]$$

ZW_{LE} Zustandswert Längsebenheit [-]

ZG_{LE} Zustandsgröße Längsebenheit (International Roughness Index IRI) [m/km]

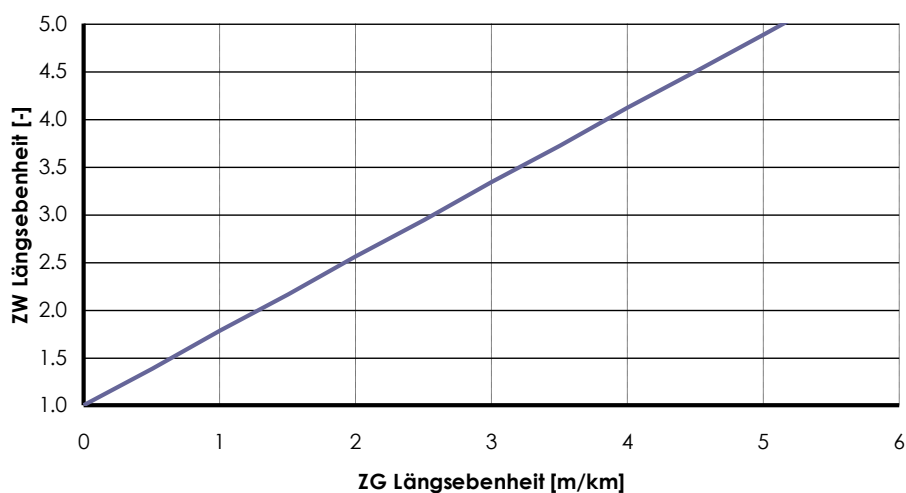


Abbildung 12: Normierungsfunktion Längsebenheit

4.3.4.5 Normierungsfunktion Risse

Für die Normierung der Zustandsgröße Risse gilt für Autobahnen und Schnellstraßen in Österreich folgende Funktion (siehe auch Abbildung 13):

$$ZW_{RI} = 1,0 + 0,35 \cdot ZG_{RI} \quad [1,0 \leq ZW_{RI} \leq 5,0]$$

ZW_{RI} Zustandswert Risse [-]

ZG_{RI} Zustandsgröße Risse [%]

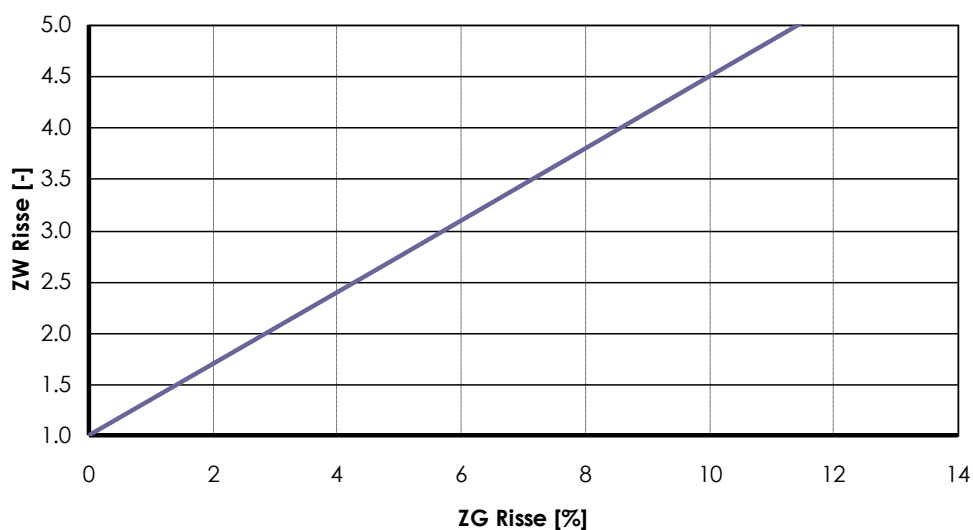


Abbildung 13: Normierungsfunktion Risse

4.3.4.6 Normierungsfunktion Oberflächenschäden

Für die Normierung der Zustandsgröße Oberflächenschäden gilt für Autobahnen und Schnellstraßen in Österreich folgende Funktion (siehe auch Abbildung 14):

$$ZW_{OS} = 1,0 + 0,0875 \cdot ZG_{OS} \quad [1,0 \leq ZW_{OS} \leq 5,0]$$

ZW_{OS} Zustandswert Oberflächenschäden [-]

ZG_{OS} Zustandsgröße Oberflächenschäden [%]

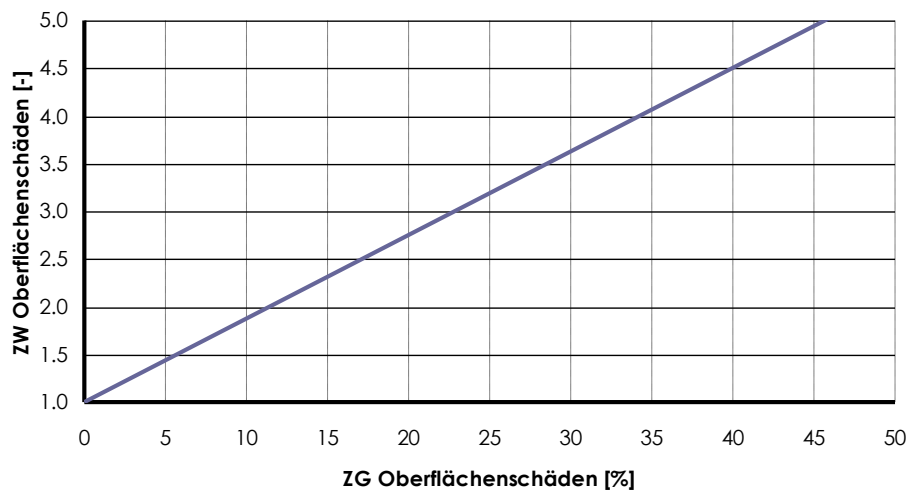


Abbildung 14: Normierungsfunktion Oberflächenschäden

4.3.5 Gebrauchswert

Wie bereits erwähnt, ist der Gebrauchswert GI jener Indikator, der die Fahrsicherheit und den Fahrkomfort charakterisiert. Aus diesem Grund werden für die Bildung des Gebrauchswertes in erster Linie Zustandsmerkmale herangezogen, die sich auf diese Anforderungen beziehen. Dabei muss sichergestellt werden, dass bereits die Beeinträchtigung durch ein einziges Merkmal (z.B. Spurrinnen) einen schlechten Gebrauchswert zur Folge hat (Verwendung einer Durchschlagsregel). Darüber hinaus muss jedoch auch das Ausmaß der Schädigung anderer Zustandsmerkmale Berücksichtigung finden, sodass für die Zusammenführung der Einzelwerte ein erweitertes Maximalkriterium zur Anwendung gelangt. Für die Berechnung des Gebrauchswertes werden sowohl für Asphalt- als auch für Betonbefestigungen folgende Zustandswerte bzw. -größen herangezogen:

- Zustandswert Griffigkeit ZW_{GR}
- Zustandswert Spurrinnen ZW_{SR}
- Zustandswert Längsebenheit ZW_{LE}
- Zustandsgröße Oberflächenschäden ZG_{OS}

Die Berücksichtigung des Zustandsmerkmals Oberflächenschäden erfolgt dabei in Abhängigkeit vom Schadensausmaß über eine auf die Zustandsgröße bezogene lineare Gewichtung (0% \Rightarrow Gewicht = 0; 40% \Rightarrow Gewicht = 1), wobei anschließend dieser Anteil der Normierung unterzogen wird. Daraus ergeben sich für die Berechnung des Gebrauchswertes für Asphalt- und Betonbefestigungen folgende Gleichungen:

4.3.5.1 Gebrauchsteilwert Sicherheit

Die nachfolgende Funktion beschreibt den Gebrauchsteilwert Sicherheit und beinhaltet die Zustandsmerkmale Spurrinnen und Griffigkeit:

$$GI_{\text{Sicherheit}} = \max(ZW_{\text{SR}}; ZW_{\text{GR}}) + 0,1 \cdot \min(ZW_{\text{SR}}; ZW_{\text{GR}}) - 0,1$$

$$[1,0 \leq GI_{\text{Sicherheit}} \leq 5,0]$$

4.3.5.2 Gebrauchsteilwert Fahrkomfort

Die nachfolgende Funktion beschreibt den Gebrauchsteilwert Fahrkomfort und beinhaltet die Zustandsmerkmale Längsebenheit und Oberflächenschäden:

$$GI_{\text{Komfort}} = \max(ZW_{\text{LE}}; 1 + 0,0021875 \cdot ZG_{\text{OS}}^2) +$$

$$+ 0,1 \cdot \min(ZW_{\text{LE}}; 1 + 0,0021875 \cdot ZG_{\text{OS}}^2) - 0,1 \quad [1,0 \leq GI_{\text{Komfort}} \leq 5,0]$$

4.3.5.3 Gebrauchswert gesamt

Der Gebrauchswert gesamt setzt sich aus den beiden Teilwerten für die Sicherheit und den Fahrkomfort wie folgt zusammen:

$$GI = \max(GI_{\text{Sicherheit}}; GI_{\text{Komfort}}) + 0,1 \cdot \min(GI_{\text{Sicherheit}}; GI_{\text{Komfort}}) - 0,1$$

$$[1,0 \leq GI < 5,0]$$

GI_{Komfort}	Gebrauchsteilwert Komfort [-]
$GI_{\text{Sicherheit}}$	Gebrauchsteilwert Sicherheit [-]
GI	Gebrauchswert (gesamt) [-]
ZW_{GR}	Zustandswert Griffigkeit [-]
ZW_{SR}	Zustandswert Spurrinnen [-]
ZW_{LE}	Zustandswert Längsebenheit [-]
ZG_{OS}	Zustandsgröße Oberflächenschäden [%]

4.3.6 Substanzwert

Der Substanzwert SI soll eine technisch-strukturelle Beurteilung des Oberbaus ermöglichen und wird für die Auswahl der geeigneten Erhaltungsmaßnahmen bzw. der Zuordnung zu den Maßnahmenklassen herangezogen. Die Berechnung wurde im Rahmen des VIF-Forschungsprojektes ELISA^{ASFINAG} [27] modifiziert, um auch eine realitätsnahe Altersbewertung zu gewährleisten. Hierbei wurde vor allem die Überbewertung des Alters bei älteren Decken ohne Schäden überarbeitet.

4.3.6.1 Substanzteilwert Decke für Asphaltdecken:

Der Substanzteilwert Decke für Asphaltbefestigungen berücksichtigt die Zustandsmerkmale Risse, Oberflächenschäden und mit einer entsprechenden Gewichtung die Merkmale Spurrinnen und Längsebenheit sowie das Alter der Deckschicht:

$$SI_{\text{Decke}} = \max \left\{ \begin{aligned} &\max(ZW_{\text{RI}}; ZW_{\text{OS}}) + 0,1 \cdot \min(ZW_{\text{RI}}; ZW_{\text{OS}}) - 0,1; \\ &\max \left[\min(1 + 0,00010938 \cdot ZG_{\text{SR}}^3; 5); \min(1 + 0,03840988 \cdot ZG_{\text{LE}}^3; 5) \right]; \\ &\min(0,08 \cdot ZW_{\text{RI}} + 0,61; 0,85) \cdot ZW_{\text{Alter,As}} \end{aligned} \right\}$$

$$[1,0 \leq SI_{\text{Decke}} \leq 5,0]$$

SI_{Decke} Substanzteilwert Decke [-]

ZW_{RI} Zustandswert Risse [-]

ZW_{OS} Zustandswert Oberflächenschäden [-]

ZG_{SR} Zustandsgröße Spurrinnen

(max. Spurrinnentiefe unter der 2m-Latte) [mm]

ZG_{LE} Zustandsgröße Längsebenheit (International Roughness Index IRI) [m/km]

Neben den hier aufgelisteten Zustandsmerkmalen ist für eine Beurteilung der Oberfläche und damit der Decke auch deren Alter von wesentlicher Bedeutung. Hierfür wird für Asphaltdecken auf der Grundlage der mittleren Lebensdauern nach [2] folgender Ansatz gewählt:

- Asphaltdecke mit einer Gesamtdicke > 2cm:

$$ZW_{\text{Alter,As}} = 0,21 \cdot \text{Alter}_{\text{Decke}} - 0,17 \quad [1,0 \leq SI_{\text{Alter,As}} \leq 5,0]$$

- Asphaltdecke mit einer Gesamtdicke ≤ 2cm:

$$ZW_{\text{Alter,As}} = 0,3 \cdot \text{Alter}_{\text{Decke}} - 0,17 \quad [1,0 \leq SI_{\text{Alter,As}} \leq 5,0]$$

- Offenporige Asphaltdecken (Drainasphalt):

$$ZW_{\text{Alter,As}} = 0,35 \cdot \text{Alter}_{\text{Decke}} - 0,17 \quad [1,0 \leq SI_{\text{Alter,As}} \leq 5,0]$$

$ZW_{\text{Alter,As}}$ Zustandswert Alter für Asphaltdecken [-]

$\text{Alter}_{\text{Decke}}$ Alter Deckschicht [Jahre]

4.3.6.2 Substanzteilwert Decke für Betondecken

Der Substanzteilwert Decke für Betondecken berücksichtigt die Zustandsmerkmale Risse, Oberflächenschäden und mit einer entsprechenden Gewichtung die Merkmale Spurrinnen und Längsebenheit sowie den Substanzteilwert Tragfähigkeit:

$$SI_{\text{Decke}} = \max \left\{ \max(ZW_{RI}; ZW_{OS}) + 0,1 \cdot \min(ZW_{RI}; ZW_{OS}) - 0,1; \right. \\ \left. \max \left[\min(1 + 0,00010938 \cdot ZG_{SR}^3; 5); \min(1 + 0,03840988 \cdot ZG_{LE}^3; 5) \right]; SI_{\text{Tragf}} \right\} \\ [1,0 \leq SI_{\text{Decke}} \leq 5,0]$$

SI_{Tragf} Substanzwert theoretische Tragfähigkeit [-]

ZW_{RI} Zustandswert Risse [-]

ZW_{OS} Zustandswert Oberflächenschäden [-]

ZG_{SR} Zustandsgröße Spurrinnen (max. Spurrinnentiefe unter der 2m-Latte)
[mm]

ZG_{LE} Zustandsgröße Längsebenheit (International Roughness Index IRI) [m/km]

4.3.6.3 Substanzteilwert Tragfähigkeit

Die Grundlagen für die Berechnung des Substanzwertes Tragfähigkeit können dem Kapitel 4.2.3 und dem Kapitel 4.2.4 entnommen werden. Die maßgebende Funktion lautet in diesem Zusammenhang wie folgt:

$$SI_{\text{Tragf}} = 1,0 + 0,35 \cdot ZG_{\text{Tragf}} \quad [1,0 \leq SI_{\text{Tragf}} \leq 5,0]$$

SI_{Tragf} Substanzwert theoretische Tragfähigkeit [-]

ZG_{Tragf} Zustandsgröße theoretische Tragfähigkeit [%]

4.3.6.4 Substanzwert gesamt

Die Berechnung des Substanzwertes gesamt erfolgt durch eine Zusammenführung von Substanzteilwert Decke und Substanzteilwert Tragfähigkeit.

$$SI_{\text{gesamt}} = \frac{SI_{\text{Decke}} \cdot Dicke_{\text{Decke}} + SI_{\text{Tragf}} \cdot Dicke_{\text{GebSchichten}}}{Dicke_{\text{GebSchichten}} + Dicke_{\text{Decke}}} \quad \text{für } Dicke_{\text{Decke}} < Dicke_{\text{GebSchichten}}$$

$$SI_{\text{gesamt}} = \frac{SI_{\text{Decke}} + SI_{\text{Tragf}}}{2} \quad \text{für } Dicke_{\text{Decke}} = Dicke_{\text{GebSchichten}} \text{ oder } Bautype = BE_N$$

$$[1,0 \leq SI_{\text{gesamt}} \leq 5,0]$$

SI_{gesamt} Substanzwert gesamt [-]

SI_{Tragf} Substanzteilwert Tragfähigkeit [-]

SI_{Decke} Substanzteilwert Decke [-]

$Dicke_{\text{Decke}}$ Dicke der Deckschicht [cm]

$Dicke_{\text{GebSchichten}}$ Gesamtdicke aller gebundenen Schichten [cm]

4.3.7 Gesamtwert

Das in Österreich eingesetzte computerunterstützte PMS mit der Bezeichnung VIAPMS™ verwendet ein heuristisches Optimierungsverfahren zur Findung der optimalen Erhaltungsstrategien für das zu untersuchende Straßennetz. Um ein solches Verfahren praktisch anwenden zu können, muss zunächst eine Zielfunktion definiert werden, die unter bestimmten Randbedingungen zum Minimum oder Maximum wird. Als häufigste Lösung kommt dabei die Maximierung des Nutzens einer Erhaltungsstrategie zur Anwendung, wobei der Nutzen als nicht monetäre Größe über die Wirkung einer Erhaltungsmaßnahme auf den Straßenzustand definiert wird. Im Vergleich zur monetären Bewertung des Nutzens (Berücksichtigung von externen Effekten) können die Wirkungen von Erhaltungsmaßnahmen auf unterschiedliche Zustandsmerkmale relativ einfach ermittelt werden, sodass die Optimierung ohne komplexe Zusammenhänge zwischen Straßenzustand und Nutzerkosten durchgeführt werden kann. Um den Einfluss einer Erhaltungsmaßnahme auf die einzelnen Zustandsmerkmale zu bewerten, muss ein Wert herangezogen werden, der aus allen Einzelinformationen gebildet wird, was letztendlich zum Gesamtwert führt. Die Zielfunktion der Optimierung ist daher die auf den Gesamtwert bezogene verkehrsgewichtete Wirkung einer Erhaltungsstrategie, wobei die budgetären Vorgaben die entsprechenden Restriktionen darstellen.

Der Gesamtwert, als Zusammenführung von Gebrauchs- und Substanzwert, soll sowohl die auf den Straßennutzer bezogenen Erhaltungsziele (Fahrkomfort und Fahrsicherheit), als auch jene

Vorgaben, die zusätzlich aus der Sicht des Straßenbetreibers anzustreben sind (Erhaltung der Substanz), gleichermaßen berücksichtigen. Zur Berücksichtigung dieser Forderungen erfolgt die Bildung des Gesamtwertes wiederum über ein Maximalkriterium, bei dem die Anteile des Substanzwertes und des Gebrauchswertes in Abhängigkeit von der Bedeutung und der Funktion der Straße mit einem Gewicht versehen sind. Die Gewichte wurden dabei so gewählt, dass durch deren Einfluss der Gesamtwert um maximal 1 Zustandsklasse reduziert werden kann.

$$GW = \max(W_{GI} \cdot GI; W_{SI} \cdot SI) \quad [1,0 \leq GW \leq 5,0]$$

GW Gesamtwert [-]

W_{GI} Gewicht Gebrauchswert [-] (siehe Tabelle 18)

W_{SI} Gewicht Substanzwert [-] (siehe Tabelle 18)

Straßenkategorie	W_{GI}	W_{SI}
Autobahnen und Schnellstraßen	1,00	0,89
Landesstraßen	1,00	0,80

Tabelle 18: Vorschlag Gewichte Berechnung Gesamtwert

Sobald Daten fahstreifenspezifisch (oder ein Datensatz für Hauptfahstreifen und ein Datensatz für Nebenfahstreifen) vorhanden sind, kann auch der Gesamtwert für jeden Fahstreifen ermittelt werden. Der gesamtwirksame Gesamtwert GW_{gesamt} ist das Maximum aller fahstreifenspezifischen Gesamtwerte auf dem betrachteten Abschnitt.

5. Pavement Management Analysen

5.1 Lebenszyklusbewertung

Die Lebenszyklusanalyse oder genauer gesagt die Lebenszykluskostenanalyse ist ein weltweit verbreitetes Verfahren zur Beurteilung von Erhaltungsaktivitäten technischer Einrichtungen. Die Auswahl einer optimalen Erhaltungsstrategie unter vorgegebenen Randbedingungen ist das oberste Ziel einer solchen Untersuchung, wobei als Randbedingungen entweder monetäre (budgetäre) Restriktionen oder Anforderungen an den Zustand definiert werden.

Im Zusammenhang mit der Erhaltung des Straßenzustandes hat sich die Lebenszyklusanalyse (englisch: LCC-analysis) als geeignetes Verfahren zur Beurteilung der Erhaltungsnotwendigkeiten erwiesen. Sie liefert die Grundlage für eine effiziente und nachvollziehbare Erhaltungsplanung. Heute kann die Lebenszyklusanalyse als „Stand der Technik“ für die Planung von baulichen Erhaltungsmaßnahmen auf sensiblen Straßennetzen angesehen werden.

Bei der Lebenszyklusanalyse handelt es sich um ein Vergleichsverfahren, bei welchem unterschiedliche, technisch sinnvolle Erhaltungsstrategien verglichen werden. Dabei werden einerseits die unterschiedlichen Möglichkeiten auf einem einzelnen Straßenabschnitt untersucht und andererseits die abschnittsbezogenen Strategien mit den Lösungen bzw. Strategien auf den anderen Abschnitten des gesamten zu untersuchenden Straßennetzes verglichen.



Abbildung 15: Erneuerung in Betonbauweise
(Foto Litzka, ISTU)

Der Lebenszyklus einer Straße bzw. des Straßenoberbaus lässt sich nur bedingt generell festlegen, da bereits bestimmte Erhaltungsmaßnahmen (z.B. strukturelle Verstärkung) einen

solchen Zyklus unterbrechen bzw. verlängern können. Der **theoretische Lebenszyklus** eines Straßenoberbaus kann als jene Periode definiert werden, für welche der Oberbau grundsätzlich bemessen wurde. In Österreich sind dies für Bundesstraßen A und S für Asphaltbefestigungen und für Betondecken jeweils 30 Jahre. Da nicht alle Oberbaukonstruktionen zum gleichen Zeitpunkt errichtet bzw. bemessen wurden, müsste genau genommen für jeden einzelnen Abschnitt eine individuelle Festlegung des Betrachtungszeitraumes vorgenommen werden. Darüber hinaus ist mit großer Wahrscheinlichkeit der rechnerische Lebenszyklus nicht gleich dem **tatsächlichen Lebenszyklus**, welcher durch Beanspruchungen und durchgeführte Erhaltungsmaßnahmen nachhaltig beeinflusst wird.

Die Erfahrungen haben gezeigt, dass zumindest mehr als die Hälfte der Bemessungsperiode eines Straßenoberbaus in der Analyse betrachtet werden sollte. Da es sich hierbei nicht mehr um den Lebenszyklus handelt, wird die Betrachtungsperiode als **Analyseperiode** definiert. Der Begriff Lebenszyklusanalyse hat sich erst in den letzten Jahren als „Modewort“ eingebürgert, obwohl in Zuge einer PMS-Analyse lediglich ein „Ausschnitt“ des Lebenszyklus betrachtet werden kann. Deshalb wurde früher ausschließlich von PMS-Analyse gesprochen, um möglichen Verwechslungen bzw. Fehlinterpretationen vorzubeugen (siehe auch [2]).

Neben der Festlegung des Betrachtungs- bzw. Analysezeitraums müssen für die Durchführung der PMS-Analyse eine Reihe von Komponenten und Grundlagen verfügbar sein:

- Daten zur Beschreibung der Eigenschaften und des Zustandes der Straße und des Straßenoberbaus
- Zustandsprognosemodelle zur Beschreibung der Entwicklung des Straßenzustandes
- Kennwerte von baulichen Erhaltungsmaßnahmen (Maßnahmenkatalog)
- Wirtschaftlichkeitsparameter zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Erhaltungsstrategien (z.B. bei Kostenwirksamkeitsuntersuchung)
- Optimierungsparameter zur Festlegung der Zielfunktionen und der Restriktionen

Die Daten zur Beschreibung der Eigenschaften und des Zustandes der Straße bzw. des Straßenoberbaus sowie die Zustandsprognose wurden in den vorangehenden Kapiteln im Detail beschrieben und bedürfen hier zunächst keiner zusätzlichen Erläuterung.

Neben dem Maßnahmenkatalog sowie den Wirtschaftlichkeitsparametern ist die Optimierung ein wichtiger Baustein in der Auswahl von optimalen Lösungen, wobei das Ergebnis der Optimierung als „optimierte Dringlichkeitsreihung“ bezeichnet werden kann. Es sei an dieser

Stelle bereits explizit darauf hingewiesen, dass die optimierte Dringlichkeitsreihung noch keinem „Bauprogramm“ entspricht, jedoch als Grundlage für die Erstellung eines Arbeits- bzw. Bauprogramms herangezogen werden kann. In einem eigenen Kapitel werden daher die unterschiedlichen Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse vorgestellt sowie Hinweise gegeben, wie diese für die Erstellung eines Bau- oder Arbeitsprogramms benützt werden können.

5.2 Risikobewertung

In den letzten Jahrzehnten wurden die Ansprüche an Sicherheit und Verfügbarkeit technischer Anlagen stetig höher, wodurch sich – zwangsläufig – auch die Instandhaltung immer aufwendiger gestaltete. Unabhängig von der Branche wurden ähnliche Strategien entwickelt, um die Instandhaltung laufend zu optimieren. Optimieren bedeutet in diesem Zusammenhang: Steigern von Effizienz (Verfügbarkeit), Sicherheit und Qualität bei gleichzeitiger Reduktion der Kosten für Betrieb und Instandhaltung.

Als besonders erfolgreich haben sich dabei risikobasierte Systeme herausgestellt, welche die Prioritätenreihung durch Einbindung der Risikobewertung erweitert. Das Risiko ist definiert durch die Kombination aus der Konsequenz eines Schadens oder Fehlers und der Wahrscheinlichkeit, dass ein derartiger Schaden eintritt. Diese beiden Informationen „spannen“ dabei die sogenannte Risikomatrix auf.

Das Risiko ist oftmals auch keine absolute Größe, sondern zumeist nur relativ für das betrachtete System anzusehen. Durch die Wahl geeigneter Kriterien und Grenzen kann eine Vergleichbarkeit hergestellt werden, wodurch sich eine Prioritätenreihung ergibt.

Im Rahmen des Projektes EINSTEIN [28] wurden für die charakteristischen Eigenschaften des AFINAG-Netzes Risikomatrizen generiert, die es ermöglichen, Wahrscheinlichkeiten für die Alterung (PoD-Values) sowie Wahrscheinlichkeiten des Funktionsverlustes (PoF-Values) zu ermitteln. Aus der Zusammenschau dieser Wahrscheinlichkeiten unter Anwendung der jeweiligen Risikomatrix kann ein Risiko für die Verfügbarkeit, sowie für die Wirtschaftlichkeit ermittelt werden.

5.3 Straßenzustandsprognose

5.3.1 Einleitung

Die zeitabhängige Änderung des Straßenzustandes ist ein entscheidender Faktor bei der Beurteilung von Erhaltungsmaßnahmen und -strategien im Rahmen der Lebenszyklusanalyse. Das Ziel der Zustandsprognose auf einer Straße besteht darin, jenen Zeitpunkt zu errechnen, bei welchem ein bestimmter kritischer Zustand erreicht wird und daher Erhaltungsmaßnahmen notwendig werden. Leider ist die Straßenzustandsprognose – wie jede andere Prognose auch – von den zur Verfügung stehenden Eingangsinformationen signifikant abhängig. Dies bedeutet, dass die Genauigkeit der Aussage von der Qualität und Quantität dieser Informationen wesentlich beeinflusst wird. Darüber hinaus sind in vielen Fällen die Eingangsgrößen selbst zeitlich veränderliche Variablen, die entsprechend hochgerechnet oder prognostiziert werden müssen, sodass es sich hier um eine äußerst komplexe Fragestellung handelt, die auch in diesem Handbuch kurz diskutiert werden sollte.

Wie im Kapitel 3.6 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** bereits erwähnt und beschrieben, hängt die Entwicklung des Straßenzustandes von der Art und Weise der Beanspruchung ab, wobei neben vorhersehbaren Beanspruchungen auch unvorhersehbare oder zufällige Ereignisse einen Einfluss haben können.

Bei einer generellen Betrachtung der Zustandsentwicklung eines gesamten Straßennetzes (z.B. Zustandsentwicklung Spurrinnen auf 2.000 km Autobahn und Schnellstraßen in Österreich) ist der Einfluss der zufälligen Ereignisse vernachlässigbar, da die Auswirkungen, wenn überhaupt, nur marginal das Ergebnis (z.B. Zustandsverteilung) beeinflussen.



Abbildung 16: Spurrinnen im Kreuzungsbereich
(Foto Litzka)

Bei einer Betrachtung auf Netzebene mit Objektgenauigkeit kann dieser Umstand nicht mehr vernachlässigt werden, da sich die Auswirkungen in den gemessenen oder erfassten Zustandsdaten ausdrücken. Der Zustand kann dabei innerhalb von kurzen Strecken stark variieren (z.B. Kreuzungsbereich – freie Strecke, siehe Abbildung 16).

Die im Rahmen der praktischen Anwendung des österreichischen PMS gewonnen Erkenntnisse erlauben demnach folgende Schlussfolgerung im Hinblick auf die Vorhersagbarkeit des Straßenzustandes:

„Die punktuelle (kleinräumige) Änderung des Grades der Schädigung einer Straße ist rein zufällig, da die Einflüsse und Beanspruchungen rein zufällig sind. Eine tendenzielle Entwicklung ist dann vorhersagbar und somit prognostizierbar, wenn der Grad der Schädigung zu bestimmten Zeitpunkten bekannt ist“.

Die Aussage bedeutet lediglich, dass nur mit gewissen Wahrscheinlichkeiten eine bestimmte Maßnahme zu einem bestimmten Zeitpunkt vorhersehbar ist. Keine seriöse Zustandsprognose kann dzt. exakt vorhersagen, dass im Jahr 2022 auf dem Abschnitt „X“ 17 mm Spurrinnen auftreten und daher die Deckschicht erneuert werden muss. Die hier beschriebene Zufälligkeit ist natürlich das Ergebnis von fehlenden Eingangsgrößen, die in ihrer Gesamtheit die Entwicklung beschreiben. Liegen diese zur Gänze vor, so lässt sich die Zufälligkeit aus dem System weitestgehend eliminieren.

Eine wesentliche Voraussetzung für eine gesicherte Prognose ist die Erfassung des Straßenzustandes. Ungeachtet der „Zufälligkeit“ des Straßenzustandes wird die Erfassung von einer Vielzahl von Einflüssen beeinträchtigt, die eine „exakte“ Ermittlung des Zustandes nur bedingt ermöglichen. Neben der notwendigen eindeutigen Zuordnung der Örtlichkeit der Messung oder Erfassung spielen die Mess- oder Aufnahmemethodik, die Genauigkeit der Messsysteme, der Einfluss von Temperatur und Feuchtigkeit, die Messgeschwindigkeit, etc. eine wesentliche Rolle (Stichwort „unscharfe Daten“, siehe [19]). Dies bedeutet, dass niemals mit 100% Sicherheit gesagt werden kann, ob der erhobene Zustand auch dem tatsächlichen entspricht Zustand.

5.4 Physikalischer Exkurs

Die zeitliche Änderung des Straßenzustandes kann als physikalisches Phänomen interpretiert werden, wobei auch chemische und thermische Einflüsse vorhanden sind und daher die Entwicklung beeinflussen. Der Grad der Schädigung einer Straße kann mit dem Grad der Unordnung in einem System beschrieben werden. Die im Rahmen des „Zweiten Hauptsatzes

der Thermodynamik“ definierte „Entropie“ drückt den Grad der Unordnung in einem System aus.

Ein neu errichteter bzw. erneuerter Oberbau besitzt ein größtmögliches Maß an Ordnung oder umgekehrt ausgedrückt, ein geringst mögliches Maß an Unordnung. Mit der Zeit nimmt die Unordnung – durch Beanspruchungen – zu, sodass die Unordnung nur dann reduziert werden kann, wenn Energie dem System – in unserem Fall z.B. eine Erhaltungsmaßnahme – zugeführt wird. D.h. die Entwicklung des Straßenzustandes ist vom Energiehaushalt abhängig, wobei auch Energiezufuhr zu einer Verschlechterung der Situation führen kann (z.B. Temperatur und Spurrinnen). Dies bedeutet, dass auch im Hinblick auf den Energiehaushalt zwischen positiv und negativ wirkender Energie unterschieden werden muss. Aus physikalischer Sicht muss daher der Energiehaushalt im Rahmen der Lebenszyklusanalyse untersucht werden.

Für einen Physiker ist natürlich diese Betrachtungsweise der richtige Ansatz einer Zustandsprognose, für einen Bauingenieur führt dies jedoch zu einer nicht notwendigen „Verkomplizierung“ der Problematik. Es empfiehlt sich daher, den physikalischen Ansatz in einen generellen straßenbautechnischen bzw. erhaltungstechnischen Ansatz umzuwandeln, wobei der Zustand einer Straße nicht durch ein Einzelmerkmal repräsentiert wird, sondern durch die Gesamtheit der Eigenschaften des Oberbaus.

In der einschlägigen Literatur (z.B. HDM 4 [29]) wird die Änderung des Straßenzustandes in mehrere Phasen unterteilt, die durch bestimmte Eigenschaften gekennzeichnet sind. In Anlehnung an diese Vorgehensweise lässt sich auch für eine österreichische Straße die Entwicklung des Straßenzustandes in mehrere Phasen „generell“ definieren (siehe hierzu auch Abbildung 17):

Phase 0 – schadensfreie Phase

Wie der Name schon besagt, können in dieser ersten Phase keine Schäden festgestellt werden bzw. die einzelnen Eigenschaften des Oberbaus befinden sich innerhalb der Bautoleranzen (z.B. festgelegt über Abnahmewerte). Das Ende der Phase ist dann erreicht, wenn eine bestimmte Eigenschaft der Straße außerhalb der Toleranz liegt bzw. ein Schaden festgestellt wurde.

Phase 1 – kontinuierliche Schadensentwicklungsphase

Die Zunahme der Schäden erfolgt über eine längere Phase (längere Trendbetrachtung) kontinuierlich, wobei die iterative Änderung des Grades der Schädigung (z.B. innerhalb eines Jahres oder zwischen zwei Messungen) deutlich variieren kann. Diese Variationen sind einerseits auf erste einfache Instandhaltungsmaßnahmen zurückzuführen und andererseits auf die Streuungen in den Beanspruchungen. Das Ende der Phase ist dann erreicht, wenn die kontinuierliche Schadenszunahme in eine progressive Entwicklung übergeht. Die genaue Festlegung des Übergangszeitpunkts ist oft nicht möglich und drückt sich in vielen Fällen durch eine deutliche Zunahme von Instandhaltungsaktivitäten aus. Bei ausreichenden budgetären Mitteln wird in dieser Übergangsphase eine erste Instandsetzungsmaßnahme vorgenommen. Bei nicht ausreichenden Geldmitteln erfolgt der Übergang in die Phase 2.

Phase 2 – progressive Schadensentwicklungsphase (kritischer Zustand)

Die Phase ist durch eine progressive Zunahme des Grades der Schädigung gekennzeichnet. Der Nutzer wird durch den schlechten Straßenzustand beeinträchtigt. Charakterisierend für diese Phase sind auch umfangreichere Instandhaltungsmaßnahmen, die den Zustand immer wieder aus dem kritischen Bereich führen. Dies kann jedoch in der Regel nur kurzfristig erreicht werden, sodass auch die progressive Schadensentwicklung nach der Instandhaltungsmaßnahme wieder auftritt (Stichwort „Hinausschieben der Instandsetzung“). Das Ende der Phase ist dann erreicht, wenn eine Instandsetzungsmaßnahme den Straßenzustand aus dem kritischen, progressiven Bereich führt oder wenn die Straße nicht mehr oder nur eingeschränkt dem Nutzer zur Verfügung steht. Der letztere Fall tritt in Österreich nur sehr selten auf.

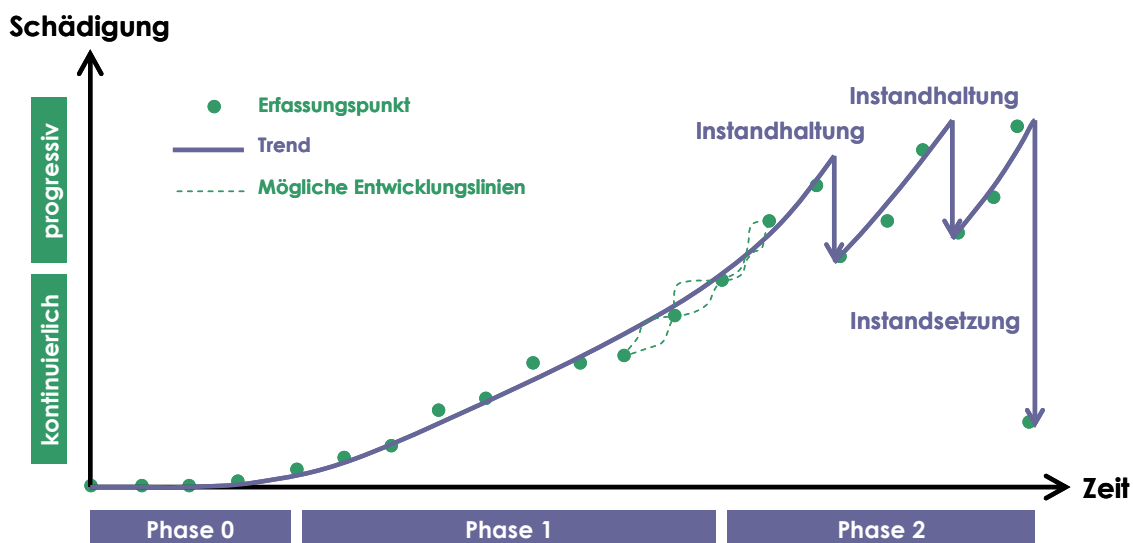


Abbildung 17: Generelle Betrachtung der Straßenzustandsentwicklung in Österreich

5.5 Straßenzustandsprognose

5.5.1 Einleitung

Mit Bezugnahme auf die im vorigen Kapitel beschriebenen Phasen der Zustandsentwicklung müssen in einem nächsten Schritt geeignete Methoden und Verfahren und damit verbundene Modelle ausgewählt werden, um die Entwicklung des Straßenzustandes auch mathematisch beschreiben zu können. Ein Vergleich der drei unterschiedlichen Phasen der Zustandsentwicklung (siehe Abbildung 17) zeigt, dass mit größter Wahrscheinlichkeit kein einziges Modell sämtliche Eigenschaften abbilden kann.

Es empfiehlt sich daher, die Zustandsprognose auf der Grundlage einer Prognose der Einzelmerkmale vorzunehmen, was zu einer deutlichen Vereinfachung des Problems führt und wofür die entsprechenden Grundlagen zur Verfügung stehen.

Die Erfahrungen aus der praktischen Anwendung des österreichischen PMS haben gezeigt, dass die eingesetzten Verfahren und die damit verbundenen Modelle folgende Anforderungen erfüllen sollten:

- Möglichst gute Annäherung an die tatsächlichen, im Rahmen von Messungen oder Erfassungen erhobenen Straßenzustände
- Flächendeckende Verfügbarkeit der Eingangsdaten
- Einfache Kalibrierung der Modelle an die örtlichen Gegebenheiten und Randbedingungen
- Mathematische Modellierbarkeit
- Nachvollziehbarkeit der Modellrechnungen und einfache Darstellung der Ergebnisse (Verhaltensfunktion)
- Im eingesetzten Softwaresystem VIAPMSTM anwendbar

Diese Anforderungen schränken natürlich wiederum die Möglichkeiten zur Modellierung der Entwicklung des Straßenzustandes ein, sind aber besonders für die praktische Anwendung des PMS unverzichtbare Vorgaben.

5.5.2 Empirisch-deterministische Zustandsprognosemodelle

5.5.2.1 Grundlage der Modelle

Im Rahmen der praktischen Anwendung des österreichischen PMS kamen auf den österreichischen Bundes- und Landesstraßen bis heute ausschließlich empirisch-deterministische Prognosemodelle, sogenannte Verhaltensfunktionen zum Einsatz. Diese wurden im Rahmen umfangreicher Forschungsarbeiten unter Einbeziehung der praktischen Erfahrungen entwickelt und auch durch eine ingenieurmäßige Beurteilung an die im Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** beschriebenen Anforderungen angepasst (siehe [19, 21 und 30]). Das Ergebnis dieser Untersuchungen sind folgende generelle Zustandsprognosemodelle, die auch den nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 18 bis Abbildung 22) entnommen werden können.

Die Modelle beinhalten auch die Faktoren oder Vektoren für die abschnittsbezogene Kalibrierung. Das Ziel der abschnittsbezogenen Kalibrierung liegt in der Definition einer abschnittsbezogenen Verhaltensfunktion. Aus diesem Grund muss das Zustandsprognosemodell mit den abschnittsbezogenen Informationen verknüpft werden. Dies geschieht einerseits durch die Eingabe der Werte der erklärenden Variablen und Modellparameter in das Modell und andererseits durch eine Anpassung des Verlaufs der Funktion unter Verwendung von auf diesem Abschnitt gemessenen evtl. gemittelten Zustandsgrößen. Nach [2] kann die „Adjustierung“ der Verhaltensfunktion an die abschnittsbezogene Zustandsgröße durch eine

- Änderung des Funktionsverlaufs mit Hilfe eines „Kalibrierfaktors KF_{zg} “ (Änderung der Krümmung) oder durch eine
- Verschiebung der Verhaltensfunktion mit Hilfe eines „Kalibriervektors KV_{zg} “

durchgeführt werden. Welche Methode verwendet wird, hängt von den zu beachtenden Randbedingungen des Zustandsmerkmals sowie von der Verhaltensfunktion selbst ab.

5.5.2.2 Verhaltensfunktion Risse

Die Verhaltensfunktion Risse wird über das Alter der Decke und den Verkehrsbelastungskoeffizienten definiert und setzt sich aus 2 Modellen zusammen, die die unterschiedlichen Phasen der Rissentwicklung charakterisieren. Das Modell kann der nachfolgenden Funktion bzw. Abbildung entnommen werden.

$$ZG_{RI,t} = K_{F_{RI}} \cdot \exp \left[-3,60517 + a \cdot \text{Alter}_{\text{Decke},t} + \ln(\text{Alter}_{\text{Decke},t} + 0,01) - 0,5 \cdot \ln \left(\text{VBI} \cdot \frac{n}{20} + 0,01 \right) \right]$$

für $ZG_{RI,t} \leq 8$ und Bauweise = Asphalt

$$ZG_{RI,t} = K_{F_{RI}} \cdot \exp \left[-3,60517 + a \cdot \text{Alter}_{\text{Decke},t} + \ln(\text{Alter}_{\text{Decke},t} + 0,01) - 0,5 \cdot \ln(\text{VBI} + 0,01) \right]$$

für $ZG_{RI,t} \leq 8$ und Bauweise = Beton

$$ZG_{RI,t} = ZG_{TI,t-1} + \max \left(0; \left(2 - \frac{ZG_{RI,t-1}}{20} \right) \right) \text{ für } ZG_{RI,t} > 8$$

$ZG_{RI,t}$ Zustandsgröße Risse zum Zeitpunkt t [%]

$\text{Alter}_{\text{Decke},t}$ Alter der Decke zum Zeitpunkt t

$K_{F_{Risse}}$ Kalibrierfaktor Risse

VBI Verkehrsbelastungskoeffizient

a Modellparameter

n Bemessungsperiode des Oberbaus

Für die Verhaltensfunktion Risse werden bautypenabhängig folgende Modellparameter herangezogen:

Bautype	Modellparameter a
AS_N	0,2008
AS_N_DD, AS_V_DD, AS_D_DD	0,2151
AS_V, AS_D	0,2085
BE_N	0,1916
BE_N_D, BE_D_D	0,2008
BE_D_D	0,2008

Tabelle 19: Modellparameter Verhaltensfunktion Risse

Für die Verhaltensfunktion Risse können folgende auf wiederholten statistischen Untersuchungen basierende Kalibrierfaktoren herangezogen werden:

Kriterium	Kalibrierfaktor KF
Minimum	0,005
Maximum BE_N	0,8
Maximum alle sonstigen Oberbauten	17,0
Standardwert BE_N	0,1
Standardwert AS mit ZStab	1,4
Standardwert alle sonstigen Oberbauten	0,7
Abminderung SMA und MA	$K_{F_{RI}} \cdot 0,8$

Tabelle 20: Werte Kalibrierfaktoren

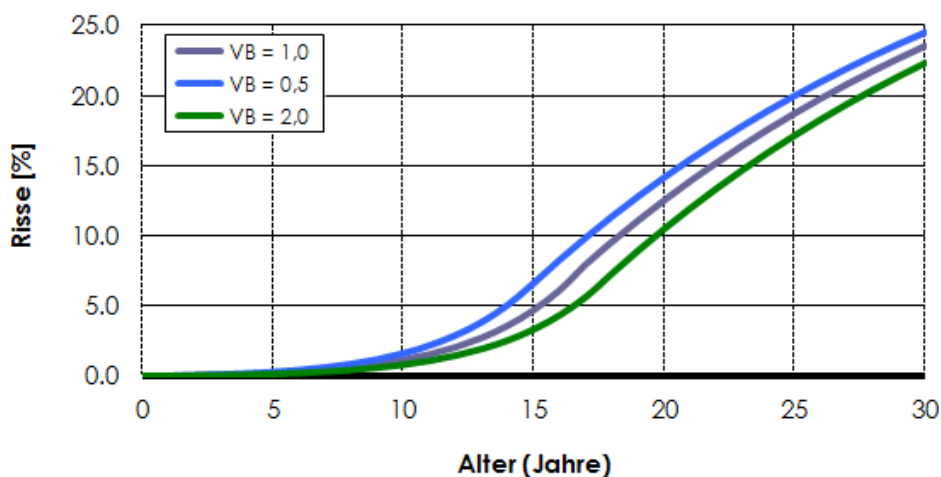


Abbildung 18: Verhaltensfunktion Risse Bautype AS_N (AC deck)

5.5.2.3 Verhaltensfunktion Oberflächenschäden

Die Verhaltensfunktion Oberflächenschäden wird über das Alter der Decke und den Frostindex definiert. Das Modell kann der nachfolgenden Funktion bzw. Abbildung entnommen werden.

$$ZG_{OS,t} = KV_{OS} + (-12,672 + a \cdot \text{Alter}_{\text{Decke},t} + 0,00066 \cdot \text{FIKh})$$

$ZG_{OS,t}$ Zustandsgröße Oberflächenschäden zum Zeitpunkt t [%]

$\text{Alter}_{\text{Decke},t}$ Alter der Decke

KV_{OS} Kalibriervektor

FIKh Frostindex [Kh]

a Modellparameter

Für die Verhaltensfunktion Oberflächenschäden werden folgende Modellparameter herangezogen:

Bautype	Modellparameter a
AS_N, AS_V, AS_D	1,0
AS_N_DD, AS_V_DD	4,0
Deckschicht PA	4,0
Deckschicht BBTM	3,0
BE_N	0,6667
BE_N_D, BE_D_D	2,0

Tabelle 21: Modellparameter Verhaltensfunktion Oberflächenschäden

Da es sich bei der Kalibrierung um die Anwendung eines Verschiebungsvektors handelt, gibt es für diesen Wert keine entsprechenden Einschränkungen oder Grenzwerte.

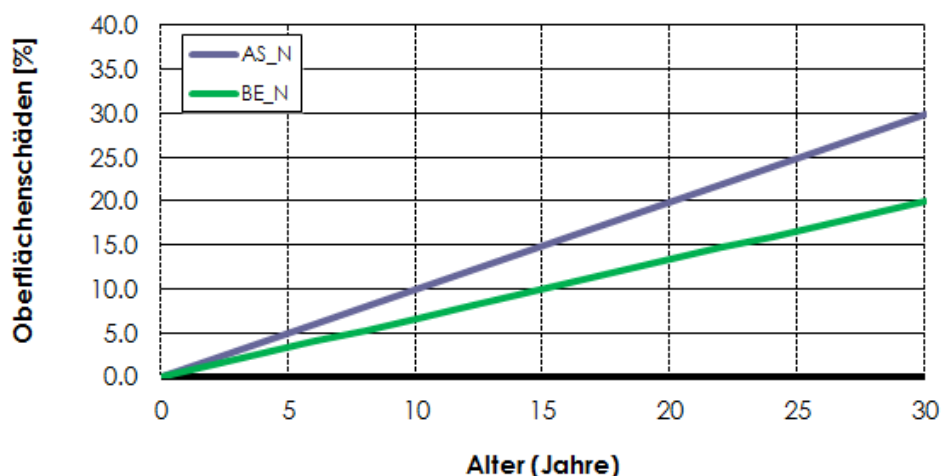


Abbildung 19: Verhaltensfunktion Oberflächenschäden

5.5.2.4 Verhaltensfunktion Spurrinnen

Die Verhaltensfunktion Spurrinnen wird über das Alter der Decke und die kumulierten Normlastwechsel definiert. Das Modell kann der nachfolgenden Funktion bzw. Abbildung entnommen werden.

$$Z_{SR,t} = K_{FSR} \cdot \left(a \cdot \text{Alter}_{Decke,t} + \frac{b \cdot NLW_{kum,t}}{100000} \right)$$

$Z_{SR,t}$ Zustandsgröße Spurrinnen zum Zeitpunkt t [mm]

$\text{Alter}_{Decke,t}$ Alter der Decke zum Zeitpunkt t

K_{FSR} Kalibrierfaktor Spurrinnen

$NLW_{kum,t}$ kumulierte Lastwechsel zum Zeitpunkt t in Mio.

a, b Modellparameter

Für die Verhaltensfunktion Spurrinnen werden folgende Modellparameter herangezogen:

Bautype	Modellparameter a	Modellparameter b
AS_N	0,6349	0,0159
AS_N_DD, AS_V_DD, AS_D, AS_D_DD	0,8016	0,0159
AS_V	0,7183	0,0159
BE_N	0,3175	0,0079
BE_N_D, BE_D_D	0,6349	0,0079

Tabelle 22: Modellparameter Verhaltensfunktion Spurrinnen

Für die Verhaltensfunktion Risse können folgende auf wiederholte statistische Untersuchungen basierende Kalibrierfaktoren herangezogen:

Kriterium	Kalibrierfaktor KF
Minimum	0,3
Maximum BE_N	0,6
Maximum alle sonstigen Oberbauten	3,1
Standardwert BE_N	0,4
Standardwert alle sonstigen Oberbauten	1,0
Abminderung SMA und MA	$KF_{SR} \cdot 0,7$

Tabelle 23: Werte Kalibrierfaktoren

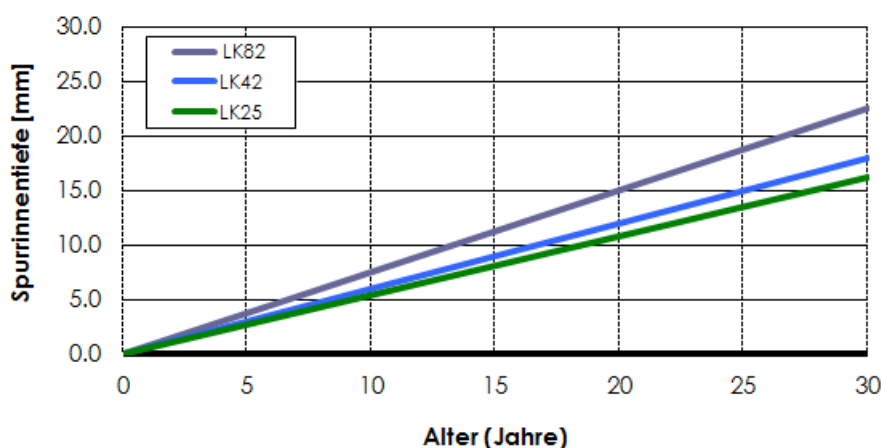


Abbildung 20: Verhaltensfunktion Spurrinnen AS_N (SMA)

5.5.2.5 Verhaltensfunktion Längsebenheit

Die Verhaltensfunktion Spurrinnen wird ebenfalls über das Alter der Decke und die kumulierten Normlastwechsel definiert. Das Modell kann der nachfolgenden Funktion bzw. Abbildung entnommen werden.

$$ZG_{LE,t} = KV_{LE} + \left(a \cdot Alter_{Decke,t} + \frac{b \cdot NLW_{kum,t}}{100000} \right)$$

$ZG_{LE,t}$ Zustandsgröße Längsebenheit (IRI) zum Zeitpunkt t [m/km]

$Alter_{Decke,t}$ Alter der Decke zum Zeitpunkt t

KV_{LE} Kalibrierfaktor Längsebenheit

$NLW_{kum,t}$ kumulierte Lastwechsel zum Zeitpunkt t in Mio.

a, b Modellparameter

Für die Verhaltensfunktion Längsebenheit werden folgende Modellparameter herangezogen:

Bautype	Modellparameter a	Modellparameter b
AS_N, AS_V	0,0603	0,0032
AS_N_DD, AS_V_DD, AS_D, AS_D_DD	0,0770	0,0032
BE_N	0,0437	0,0032
BE_N_D	0,0687	0,0032
BE_D_D	0,0603	0,0032

Tabelle 24: Modellparameter Verhaltensfunktion Längsebenheit

Da es sich bei der Kalibrierung um die Anwendung eines Verschiebungsvektors handelt, gibt es für diesen Wert keine entsprechenden Einschränkungen oder Grenzwerte.

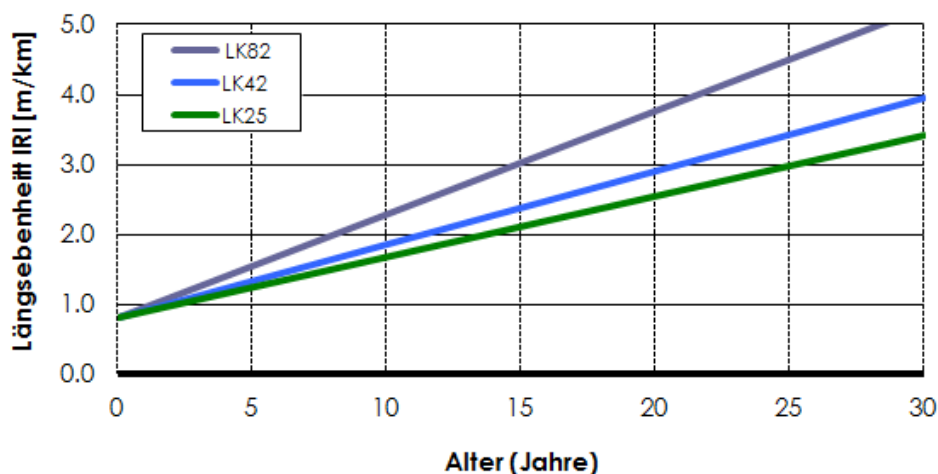


Abbildung 21: Verhaltensfunktion Längsebenheit AS_N

5.5.2.6 Verhaltensfunktion Griffigkeit

Die Verhaltensfunktion Griffigkeit ist ein relatives Modell, dessen Werte in Abhängigkeit vom letzten Wert unter Anwendung der Modellparameter berechnet werden. Das Modell kann der nachfolgenden Funktion bzw. Abbildung entnommen werden.

$$Z_{GR,t} = Z_{GR,t-1} - a$$

$Z_{GR,t}$ Zustandsgröße Griffigkeit zum Zeitpunkt t [-]

$Z_{GR,t-1}$ Zustandsgröße Griffigkeit zum Zeitpunkt t-1 [-]

a Modellparameter

Bautype	Modellparameter a
für alle Bautypen	0,0018

Tabelle 25: Modellparameter Verhaltensfunktion Griffigkeit

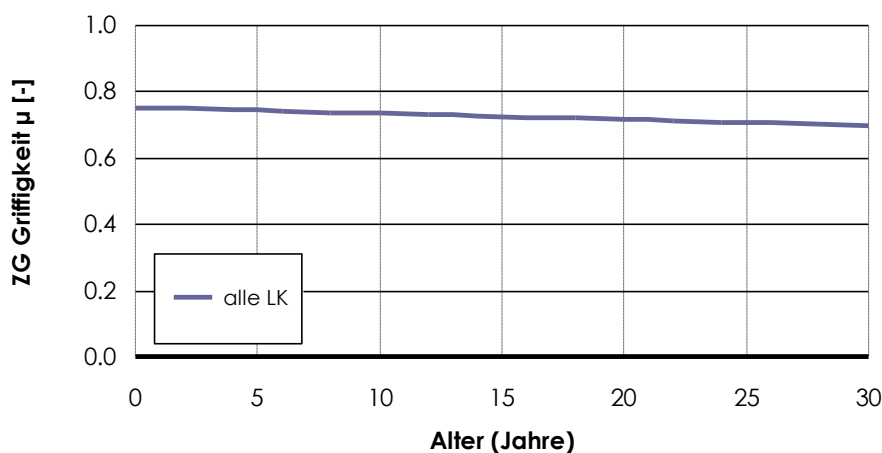


Abbildung 22: Verhaltensfunktion Griffigkeit Bautype AS_N (Bundesstraßen) nach [21]

5.5.3 Vergleich Zustandsprognose und Messwerte

Für die ersten Fahrstreifen des Autobahnen und Schnellstraßen-Netzes liegen derzeit Daten von historischen Zustandsmessungen aus den Jahren 1999, 2004, 2009 und 2014 vor, diese können als Grundlage für den Vergleich der Zustandsprognosefunktionen mit dem tatsächlichen Verlauf des Zustands herangezogen werden.

Grundsätzlich könnte von dem Zustand im Jahre 1999 ausgegangen werden (Situation Oberbau 1999 und Zustandsmessung 1999 aus den historischen Datentabellen), dieser wird mit den in VIAPMSTM implementierten Zustandprognosefunktionen von 2000 bis in das Jahr 2015 prognostiziert und die Verteilung der Deltawerte (prognostizierte Zustandsgröße minus gemessenen Zustandsgröße) kann dargestellt werden (siehe Abbildung 23). Diese Berechnung wird in weiterer Folge für die messtechnischen Zustandsgrößen Längsebenheit, Griffigkeit, Spurrinnentiefe und die visuellen Zustandsgrößen Oberflächenschäden und Risse durchgeführt.

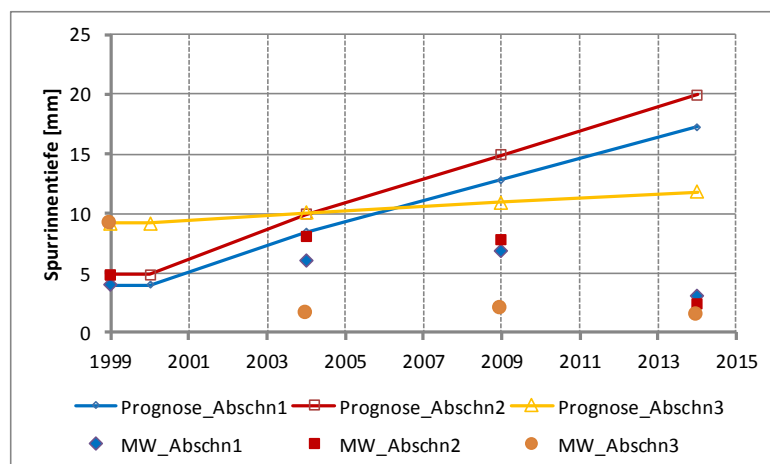


Abbildung 23: Vergleich Spurrinnentiefe Zustandsprognose und Messwert

In einem zweiten Schritt können die Kalibrierfaktoren so angepasst werden, dass der Deltawert (Unterschied zwischen Messung und Prognose) möglichst klein wird. Diese können in der Folge als Standardkalibrierfaktoren übernommen werden. Wobei die Auswertungen in Abbildung 24 und Abbildung 25 die Diskussion aufwerfen, für welche Zustandsgrößen die Kalibrierfaktoren zu ändern sind.

1. Durchgang Abschnitte ohne Maßnahmen seit 1999

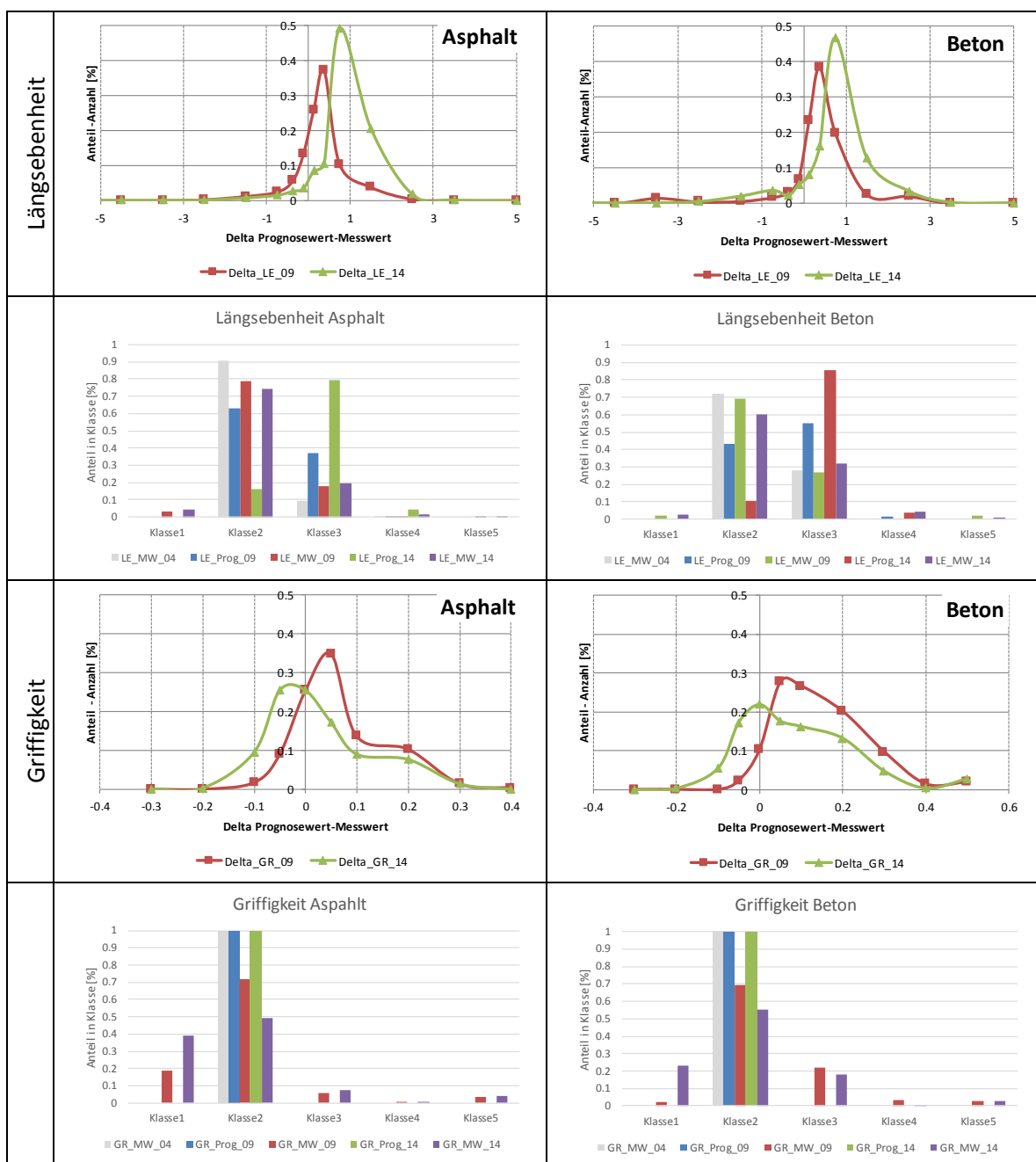
da die Zustandsdaten des Jahres 1999 in homogenisierter Form vorgehalten sind und die Verlässlichkeit dieser Daten nur in geringerem Maße gegeben ist, zeigt auch die Auswertung keine eindeutigen Ergebnisse. Daher wurde eine zweite Auswertung durchgeführt.

2. Durchgang Abschnitte ohne Maßnahmen seit 2004

die Abschnittsbildung wurde wie in Kapitel 4.1.2 beschrieben durchgeführt und für alle Abschnitte mit einem Deckschichtalter < 2004 konnten die Zustandsgrößen darauf transformiert werden. Daraus ergeben sich 1.557 Zustandsabschnitte mit einer Länge 1.135,8 km für welche die Prognose durchgeführt werden kann und des weiten auch Messdaten der nachfolgenden Kampagnen vorhanden sind. Da auch die Prognose selbst auf Basis der Detaildaten-Abschnitte durchgeführt wird, wurde auch die Auswertung auf dieselben Abschnitte bezogen. Das heißt der Messwert des Jahres 2004 entspricht auch dem Startwert für die Prognose und ist in der Abbildung grau dargestellt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 24 dargestellt. Bei allen Abschnitten, die rechts von der Mittelachse zu liegen kommen, kommt es durch die Prognose zu einer schlechteren Bewertung, als dann tatsächlich gemessen wird. Aufgrund dieser

Auswertung kann davon ausgegangen werden, dass die Prognosevariablen für die Entwicklung der messtechnischen Zustandsgrößen größtenteils gut mit den Messwertdaten übereinstimmen und hier keine weiteren Anpassungen vorgenommen werden müssen. Tiefergehende Untersuchungen sollten im Bereich der Spurrinnen (vor allem auf Asphaltabschnitten) und eventuell hinsichtlich einer Überprüfung der Streuung der Griffigkeitswerte vorgenommen werden.

Es ergeben sich folgende Verteilungen (Klassenwert ist in der Klassenmitte dargestellt):



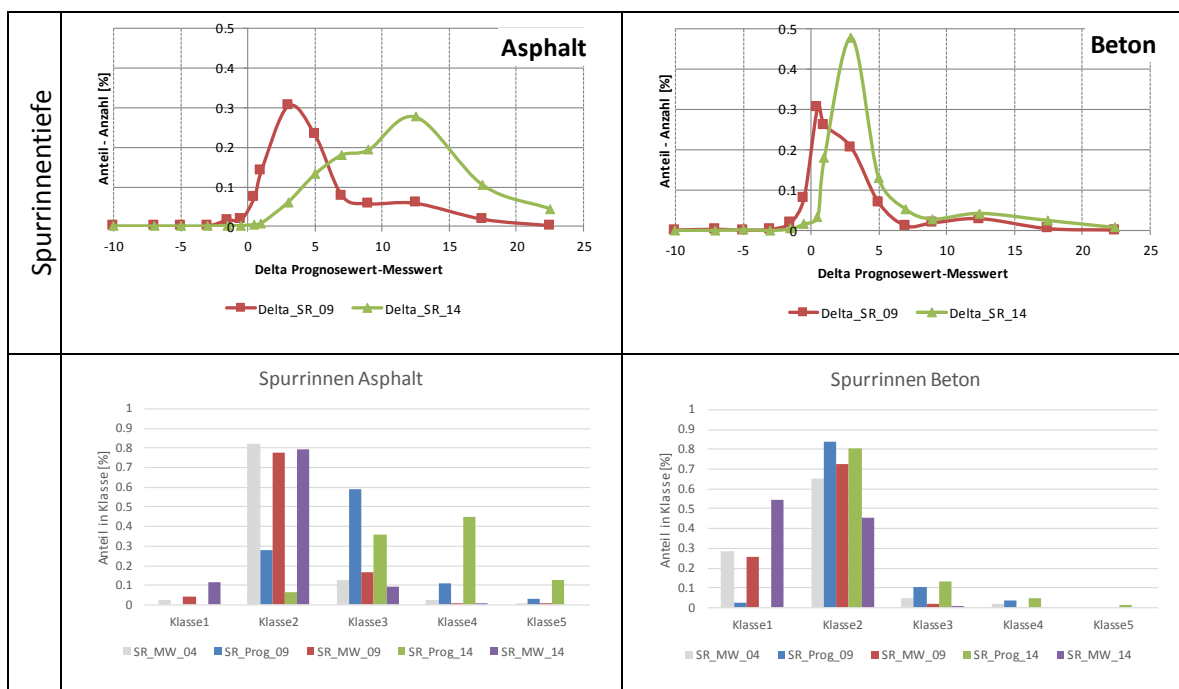


Abbildung 24: Vergleich Zustandsprognose und Messwert (Startwert 2004)

Bei der Prognose der Zustandsgröße Längsebenheit kommt es sowohl auf Asphalt wie auf Betonbefestigungen zu einer schlechteren Bewertung des Abschnitts als gemessen wurde. Das bedeutet, die Entwicklung von Längsunebenheiten verläuft auf den betrachteten Abschnitten langsamer, als prognostiziert. Dem ist jedoch entgegen zu halten, dass hier nur Streckenabschnitte abgebildet werden konnten, auf welchen seit 2004 keine Maßnahmen notwendig wurden.

Die Ausgangsdaten der Griffigkeitswerte sind für die betrachteten Abschnitte relativ gut und homogen, unter Anwendung der oben beschriebenen Verhaltensfunktion bleiben alle Abschnitte in der Klasse 2. Die Messwerte hingegen unterliegen deutlichen Schwankungen, so kommt es in der Klasse sehr gut zwischen den Messungen von 2009 und 2014 ohne zusätzlichen Maßnahmen zu einem Anstieg von 20%.

Bei der Entwicklung der Spurrinnen kann festgestellt werden, dass die Messdaten einen nahezu gleichbleibenden Zustand der Abschnitte abbilden, die Prognosedaten zeigen demgegenüber eine deutliche Verschlechterung. Auch hier muss darauf hingewiesen werden, dass nur Abschnitte ohne Maßnahmen (2004-2014) und dementsprechend ohne Zustandsprobleme in die Analyse aufgenommen wurden. Dennoch ist dies ein deutlicher Hinweis, dass die Prognoseentwicklung eventuell zu progressiv verläuft. Eventuell kann eine Änderung des Kalibrierfaktors einen besseren Abgleich erzielen, eine Anpassung muss aber für jedes Material im Detail verifiziert werden.

Ebenso wie für die messtechnischen Zustandsgrößen wurde die Gegenüberstellung der Prognosewerte und Messwerte auch für die visuellen Zustandsgrößen (Oberflächenschäden und Risse) durchgeführt. Ausgangswert sind die Messdaten des Jahres 2005 (Abschnittsbildung gleich wie bei messtechnischen Zustandsgrößen). Für die Jahre 2009 und 2014 können dann die Zustandsgrößen prognostiziert und mit den in diesen Jahren gemessenen Werten verglichen werden.

Es ergeben sich folgende Verteilungen (Klassenwert ist in der Klassenmitte dargestellt):

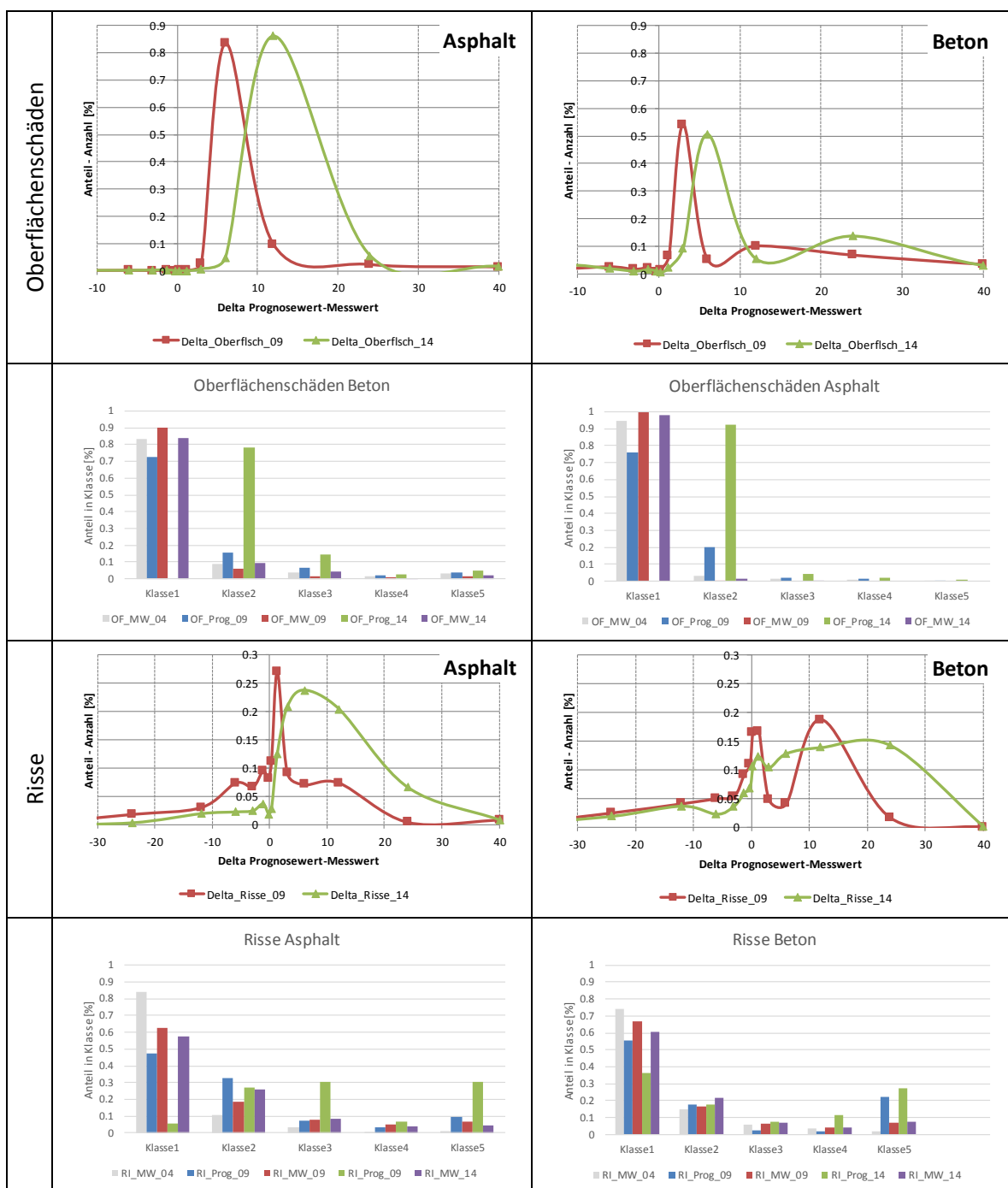


Abbildung 25: Vergleich Zustandsprognose und Messwert (Startwert 2004)

Bei Betrachtung der Messwerte der Zustandsgröße Oberflächenschäden kann keine deutliche Veränderung über die Zeit festgestellt werden. Die Prognosefunktion berücksichtigt jedoch schon eine Ausbreitung von Oberflächenschäden, hierdurch entstehen auch die Abweichungen der Delta-Werte.

Besonders markant ist die weite Streuung der Abweichungen der Zustandsgröße Risse verglichen mit dem Prognosewert über 10 Jahre. Dies beruht auf der progressiven Rissentwicklung, die durch die dargestellten Daten nicht nachgewiesen werden kann. Die Unterschiede ergeben sich vor allem, sobald der Abschnitt die prognostizierte Zustandsklasse 3 erreicht. (Diese Entwicklung ist an schlechten Straßenabschnitten (ev. Entwicklung nur zwischen 2009 und 2014) zu überprüfen.

Die Ergebnisse dieser Analysen zeigen, dass eine einfache Anpassung der derzeit verwendeten Verhaltensfunktionen anhand dieser statistischen Ergebnisse nicht zielführend ist. Es wird daher empfohlen, die Grundlage für die Zustandsprognosemodelle einer genaueren Bewertung zu unterziehen und andererseits die Auswirkungen von entsprechenden Anpassungen genau zu untersuchen.

5.6 Erhaltungsmaßnahmen

Bauliche Erhaltungsmaßnahmen werden sowohl zur Verbesserung des Straßenzustandes als auch zur Vermeidung einer progressiven Schadensentwicklung oder von Folgeschäden herangezogen, wobei im letzteren Fall der Schaden nicht zwangsweise behoben werden muss. In Anlehnung an die RVS 13.01.41 [31] können Erhaltungsmaßnahmen in die folgenden 3 Gruppen eingeteilt werden:

- Umfangreiche Instandhaltungen (Zwischensanierungen gem. ASFINAG)
- Instandsetzung
- Erneuerung

5.6.1.1 Umfangreiche Instandhaltung (Zwischensanierungen)

Unter Instandhaltung sind nach [31] 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, wenn möglich, zu beheben und das Entstehen von Folgeschäden zu vermeiden.

5.6.1.2 Instandsetzung

Unter Instandsetzungsmaßnahmen sind nach [31] alle großflächigen baulichen 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.



Abbildung 26: Deckschichtsanierung
(Foto MA28, Schönhofer, Rischer)

5.6.1.3 Erneuerung

Unter Erneuerung versteht man nach [31] Maßnahmen, die zur Wiederherstellung des Straßenaufbaus führen (unter Umständen mit Änderung der Anlageverhältnisse). 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.

5.6.2 Definition Erhaltungsstrategie

Eine Erhaltungsmaßnahme kann als „Einzelereignis“ betrachtet werden, welches zu einem bestimmten Zeitpunkt während der Analyseperiode auftreten kann. Die Erhaltungsmaßnahmen können sich dabei auf einen einzelnen Fahrstreifen, auf Fahrstreifenteile (z.B. Spurrinnensanierung in den Radspuren) oder auf die gesamte Fahrbahn erstrecken.

Unter einer **Erhaltungsstrategie** wird hingegen eine Abfolge einer oder mehrerer Erhaltungsmaßnahmen bzw. Einzelereignissen während der Analyseperiode verstanden, wobei auch die „Nullstrategie“ (Nichts-Tun-Strategie) zur Anwendung gelangen kann. Die Einzelmaßnahmen können dabei zu unterschiedlichen Zeitpunkten aber auch zum gleichen Zeitpunkt auftreten (z.B. Verstärkung im Tiefeinbau Hauptfahrstreifen und

Deckschichterneuerung auf dem Nebenfahstreifen). Erhaltungsstrategien können somit aus einer Vielzahl von unterschiedlichen Einzelereignissen bestehen, die entweder gleichzeitig und/oder zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführt werden, unabhängig um welche Art der Maßnahme es sich handelt.

5.6.3 PMS-spezifische Festlegung von Erhaltungsmaßnahmen

Die Festlegung bzw. Auswahl von Erhaltungsmaßnahmen im Rahmen der PMS-Anwendung sollte in Abhängigkeit von der Genauigkeit der zur Verfügung stehenden Daten und Informationen erfolgen. Anhand der langjährigen Erfahrungen im Rahmen der praktischen PMS-Anwendung hat sich gezeigt, dass die Anzahl der Maßnahmen niedrig gehalten werden sollte, da es sich hier um Entscheidungen auf Netzebene handelt, die ggf. auf Projektebene spezifiziert werden können oder müssen. Darüber hinaus ist die Anzahl von zu beurteilenden Erhaltungsstrategien von der Anzahl der Einzelmaßnahmen abhängig. Je mehr unterschiedliche Maßnahmen Berücksichtigung finden, desto komplexer oder schwieriger wird der Auswahlprozess einer optimalen Lösung.

Als Grundlage für die PMS-spezifische Festlegung von Erhaltungsmaßnahmen kann die RVS 13.01.41 [31] herangezogen werden, da sie in einem ersten Schritt eine Zuordnung zu bestimmten Maßnahmengruppen ermöglicht (siehe Tabelle 26).

Maßnahmengruppe	Beschreibung
Z	Umfangreiche Instandhaltungsmaßnahmen (Zwischensanierungen)
I	Instandsetzungsmaßnahmen
E	Erneuerungsmaßnahmen

Tabelle 26: Definition Maßnahmengruppen

Unter Heranziehung dieser Einteilung können nun einzelne Maßnahmen den Gruppen zugeordnet werden. In der nachfolgenden Tabelle 27 ist der derzeit im österreichischen PMS in Verwendung befindliche Maßnahmenkatalog beschrieben.

Gruppe	Abk. ¹⁾	Bezeichnung	Beschreibung
Z	Z_AS	Zwischensanierung Asphalt	Ausbesserung von lokalen Schädstellen, örtliche Reparatur, über den gesamten Querschnitt
Z	Z_BE	Zwischensanierung Beton	Ausbesserung von lokalen Schädstellen, örtliche Reparatur, über den gesamten Querschnitt
I	I_OB#	Instandsetzung Aufbringung Dünnschichtdecke	Aufbringen einer dünnen Deckschicht (DD, OBH) auf die bestehende Befestigung
I	I_DE#	Instandsetzung Erneuerung Decke	Fräsen der alten Deckschicht und Aufbringen einer neuen bituminösen Deckschicht
I	I_VT#	Instandsetzung Verstärkung im Tiefenbau oder teilweisen Tiefenbau	Fräsen der alten Deckschicht und eines Teils der geb. Tragschichten, Aufbringen einer neuen Trag- und Deckschicht
E	E_AS	Erneuerung Oberbau in Asphaltbauweise	Abtrag und Neubau des gesamten geb. Oberbaus in Asphaltbauweise
E	E_BE	Erneuerung Oberbau in Betonbauweise	Abtrag und Neubau des gesamten geb. Oberbaus in Betonbauweise

¹⁾ # = Hauptfahrstreifen (HFS) oder Nebenfahrstreifen (NFS) bei fahrfstreifenspezifischer Maßnahmenzuordnung; bei Zuordnung der Maßnahme auf die Fahrbahn kann die Nummer aus Gründen der Vereinfachung entfallen

Tabelle 27: PMS-Maßnahmenkatalog

Die Auswahl der Maßnahmen entspricht dabei den derzeit am häufigsten in Österreich durchgeführten baulichen Erhaltungsmaßnahmen. Es wurde auch darauf geachtet, dass Maßnahmen nicht die gleichen Anwendungsbereiche abdecken, sodass die Anzahl der möglichen Erhaltungsstrategien überschaubar bleibt.

Eine weitere oder zusätzliche Differenzierung im Maßnahmenkatalog ist nur dann notwendig, wenn die Maßnahmen einzelnen Fahrstreifen zugeordnet werden müssen (z.B. auf Autobahnen und Schnellstraßen). Hierbei erfolgt die Unterscheidung in Hauptfahrstreifen (HFS, entspricht dem 1. Fahrstreifen) und Nebenfahrstreifen (NFS, für alle weiteren vorhandenen Fahrstreifen) wobei der Maßnahmenkatalog im Hinblick auf die unterschiedlichen Arten der Maßnahmen und daher vom Umfang unverändert bleibt.

Im Zuge der Auswahl der Instandhaltungsmaßnahmen wurden nur jene Maßnahmen in den Katalog aufgenommen, die eine deutliche Auswirkung auf den Straßenzustand aufweisen und für die Beschreibung der Phase 2 der Zustandsentwicklung (siehe hierzu Kapitel 5.3)

verantwortlich zeichnen. Damit ist es möglich, das Hinausschieben von umfangreicheren Instandsetzungs- bzw. Erneuerungsmaßnahmen zu modellieren.

Wie bereits erwähnt, erfolgt die detaillierte Festlegung der Erhaltungsmaßnahme letztendlich auf Projektebene, sodass entsprechende Alternativen oder Spezifikationen nicht im Widerspruch zum gegenständlichen Katalog stehen, sondern eine Änderung aufgrund von zusätzlichen Informationen, die nicht im PMS berücksichtigt wurden, darstellen.

5.6.4 Kosten von Erhaltungsmaßnahmen

Für die wirtschaftliche Beurteilung von Erhaltungsstrategien ist es notwendig, zunächst die Kosten der einzelnen, dieser Strategie zugeordneten Einzelmaßnahmen zu ermitteln. Dabei muss der Zeitpunkt der Maßnahme berücksichtigt werden, sodass eine entsprechende Diskontierung erfolgen kann (siehe auch [2]). Die Kosten einer Erhaltungsmaßnahme errechnen sich auf der Grundlage des Einheitspreises nach folgender Funktion:

$$GK_{m,t,j} = EP_m \cdot Fläche_{j,FS} \cdot AF_j$$

$GK_{m,t,j}$	Gesamtkosten Maßnahme m auf dem Abschnitt j zum Zeitpunkt t
EP_m	Kosten/m ² für die Maßnahme m
$Fläche_{j,FS}$	Fläche des Abschnitts j je Fahrstreifen (Hauptfahrstreifen oder Nebefahrstreifen)
AF_j	Anteilsfaktor (bei vollflächigen Maßnahmen = 1, sonst in Abhängigkeit von der geschädigten Fläche, z.B. bei Z_AS oder Z_BE)
t	Zeitpunkt der Maßnahme [Jahr]

Die Diskontierung der Maßnahmenkosten erfolgt im Rahmen der Berechnung des Barwerts der Kosten einer gesamten Maßnahmenstrategie unter Anwendung der in der Analyse gewählten Diskontrate.

Die einer entsprechenden Erhaltungsmaßnahme zugeordneten Einheitspreise werden in der Regel individuell von jedem Erhalter festgelegt und sollten aus Gründen der Vereinfachung sämtliche anfallende Kosten, wie z.B. auch Nebenarbeiten, Verkehrsführungen, etc., enthalten. Darüber hinaus ist es sinnvoll und erforderlich, die verwendeten Einheitspreise laufend einer Überprüfung und Aktualisierung zu unterziehen.

Die Kosten von Verstärkungs- oder Erneuerungsmaßnahmen in Asphaltbauweise sind abhängig von der Gesamtdicke des neu aufzubringenden bzw. zu errichtenden gebundenen Schichtpakets. Dabei wurden auf der Grundlage der zur Verfügung stehenden Informationen bzgl. den Einheitspreisen einfache Funktionen ermittelt, die eine Abschätzung der Kosten in Abhängigkeit von der Verstärkungsdicke oder der Erneuerungsdicke zulassen, wobei auch diese Funktionen einer laufenden Überprüfung unterzogen werden sollten.

- Verstärkung im Tiefereinbau oder teilweisen Tiefereinbau (I_{VT})

$$EP_{I_{VT}} = \frac{EP_{I_{VT},12}}{29,7} \cdot (4,5 + 2,1 \cdot D_{\text{Verstärkung}})$$

$EP_{I_{VT}}$ Einheitspreis Verstärkung im Tiefereinbau oder teilweisen Tiefereinbau in [€/m²]

$EP_{I_{VT},12}$ Einheitspreis Verstärkung im Tiefereinbau oder teilweisen Tiefereinbau für Gesamtverstärkungsdicke von 12cm (Decke + geb. bit. TS) in [€/m²]

$D_{\text{Verstärkung}}$ Dicke Verstärkung in [cm]

- Erneuerung in Asphaltbauweise (E_{AS})

$$EP_{E_{AS}} = \frac{EP_{E_{AS},LK25}}{51,0} \cdot [1 + 2 \cdot (2,8289 \cdot \ln(BNLW) \cdot 1.000.000) - 23.113]$$

$EP_{E_{AS}}$ Einheitspreis Erneuerung in Asphaltbauweise [€/m²]

$EP_{E_{AS},LK25}$ Einheitspreis Erneuerung in Asphaltbauweise Lastklasse LK25 gem. RVS 03.08.63 [€/m²]

$BNLW$ Bemessungsnormlastwechsel in Mio. gem. RVS 03.08.63

Eine Abhängigkeit der Einheitspreise von der Dicke der Betondecke konnte anhand der zur Verfügung stehenden Daten und Informationen auf den Autobahnen und Schnellstraßen in Österreich nicht eindeutig nachgewiesen werden, da die Abhängigkeit von der Dicke deutlich innerhalb der Schwankungsbreite der Preise liegt. Auf eine Variation der Einheitspreise in Abhängigkeit von der Dicke der Betondecke kann daher aus pragmatischen Gründen verzichtet werden.

5.6.5 Anwendungsgrenzen von Erhaltungsmaßnahmen

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 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

Es hat sich als sinnvoll erwiesen, die Anwendungsgrenzen von Erhaltungsmaßnahmen möglichst offen zu gestalten, um eine gewisse Vielfalt von Lösungen zu beurteilen. Dabei wurden in Anlehnung an Festlegungen in Deutschland (dort Mängelklassen) so genannte **Anwendungsbereiche** definiert, die in Abhängigkeit von den oben genannten Kriterien jedem zu untersuchenden Abschnitt einen entsprechenden Anwendungsbereich zuordnen, sofern ein bestimmter (schlechter) Zustand erreicht wurde. In einem Anwendungsbereich können dann ein oder mehrere unterschiedliche Erhaltungsmaßnahmen zur Anwendung gelangen:

- Anwendungsbereich „O“: Maßnahmen an der Straßenoberfläche
- Anwendungsbereich „D“: Maßnahmen im Bereich der Decke
- Anwendungsbereich „T“: Maßnahmen zur Verbesserung der Tragfähigkeit
- Anwendungsbereich „Z“: Zwischensanierungsmaßnahmen

Die nachfolgende Tabelle 28 ist eine Zusammenstellung der derzeit verwendeten Kriterien für die Definition der Anwendungsbereiche. Dabei spielen die Zustandswerte (ZU), der Anteil der kritischen Flickstellen (ZU_krit_FL) und die jeweilige Bauweise eine wesentliche Rolle.

Bereich	Kriterium	Anwendungsgrenzen
O	-	$ZW_{GR} > 3,5$ und $ZW_{SR} \leq 3,5$ und $GI_{Komfort} \leq 3,5$ und $SI_{Decke} \leq 4$ und $SI_{Tragf} \leq 4$
D	BE_N	$((ZW_{GR} > 3,5$ und $ZW_{SR} > 3,5)$ oder $(ZW_{GR} \leq 3,5$ und $ZW_{SR} > 3,5)$ oder $GI_{Komfort} > 3,5)$ und $SI_{Decke} \leq 3,5$ und $SI_{Tragf} \leq 3,5$ und $Alter_{Decke} \geq 6$
	Sonst.	$((ZW_{GR} > 3,5$ und $ZW_{SR} > 3,5)$ oder $(ZW_{GR} \leq 3,5$ und $ZW_{SR} > 3,5)$ oder $GI_{Komfort} > 3,5$ oder $SI_{Decke} > 4)$ und $SI_{Tragf} \leq 3,5$ und $Alter_{Decke} \geq 6$
T	BE_N	$((((ZW_{GR} > 3,5$ und $ZW_{SR} > 3,5)$ oder $(ZW_{GR} \leq 3,5$ und $ZW_{SR} > 3,5)$ oder $GI_{Komfort} > 3,5)$ und $(SI_{Decke} > 3,5$ oder $SI_{Tragf} > 3,5))$ oder $SI_{Decke} > 3,5$ oder $SI_{Tragf} > 3,5)$ und $Alter_{Decke} \geq 6$
	Sonst.	$((((ZW_{GR} > 3,5$ und $ZW_{SR} > 3,5)$ oder $(ZW_{GR} \leq 3,5$ und $ZW_{SR} > 3,5)$ oder $GI_{Komfort} > 3,5$ oder $SI_{Decke} > 4)$ und $(SI_{Tragf} > 2$ Or $Alter_{Decke} > 20))$ oder $SI_{Tragf} > 3,5)$ und $Alter_{Decke} \geq 6$
Z	BE_N	$ZU_krit_FL > 5$
	Sonst.	$ZU_krit_FL > 5$

Tabelle 28: Anwendungsbereiche für Erhaltungsmaßnahmen

Die Zuordnung der im Maßnahmenkatalog beschriebenen Erhaltungsmaßnahmen (siehe Tabelle 27) zu den oben definierten Anwendungsbereichen kann der nachfolgenden Tabelle 29 entnommen werden.

Anwendungsbereich	Erhaltungsmaßnahme
O	I_OB
D	I_DE
T	I_DE, I_VT, E_AS, E_BE
Z	Z_AS, Z_BE

Tabelle 29: Zuordnung Erhaltungsmaßnahmen zu den Anwendungsbereichen

Neben der Zuordnung von Erhaltungsmaßnahmen zu bestimmten Anwendungsbereichen sind auch logische Einschränkungen zu tätigen, die sich vor allem auf die Bauweise des Oberbaus beziehen (z.B. Betonplattenauswechslung nur bei Betondecken) und hier nicht näher angeführt sind. Wie bereits erwähnt, können die Festlegungen der Anwendungsgrenzen von Erhalter zu Erhalter und von Netz zu Netz variieren, sodass eine detaillierte Beschreibung nicht repräsentativ wäre.

5.6.6 Wirkungen von Erhaltungsmaßnahmen

Das Ziel von Erhaltungsmaßnahmen liegt in der kurz-, mittel- oder langfristigen Verbesserung des gesamten Straßenzustandes oder einzelner Zustandsmerkmale, wobei die Wirkungen der einzelnen Maßnahmen auf den Straßenzustand deutliche Unterschiede zeigen. 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 folgende Werte:

- Zustandsgrößen
- Entwicklung des Straßenzustandes nach dem Durchführen der Maßnahme (Modellparameter der Verhaltensfunktionen, Kalibrierfaktoren, etc.)
- Kenngrößen der Oberbaukonstruktion (Dicke der Asphaltbefestigung, Tragfähigkeitszahl, Alter, etc.)

Die Wirkung einer Erhaltungsmaßnahme kann dazu führen, dass ein bestimmtes Merkmal auf einen bestimmten Wert (zurück)gesetzt wird, der unabhängig vom Ausgangswert festgelegt wurde. Es wird in diesem Zusammenhang von einem „absoluten“ Rücksetzwert gesprochen, im

Vergleich zu einem Rücksetzwert, der in Abhängigkeit vom Ausgangswert berechnet wird (z.B. %-Verbesserung). Diese Art von Rücksetzwert wird als „relativer“ Rücksetzwert oder relative Verbesserung definiert.

Rücksetzwerte wurden erstmalig im Rahmen von [2] einer detaillierten Untersuchung unterzogen und auf der Grundlage der gewonnenen Erfahrungen auch bereits mehrmals modifiziert. Vor allem die auf den Straßenzustand (Zustandsgrößen) bzw. auf die Straßenzustandsprognose bezogenen Werte (Modellparameter, Kalibrierwerte) sind wesentliche Parameter für die PMS-Analyse und in der nachfolgenden Tabelle 30 zusammengestellt.

	Erhaltungsmaßnahmen				
	I_OB	I_DE	I_VT	E_AS	E_BE
Zustandsgrößen					
Risse	0 (A)	0 (A)	0 (A)	0 (A)	0 (A)
Oberflächenschäden	0 (A)	0 (A)	0 (A)	0 (A)	0 (A)
Spurrinnen	0 (A)	0 (A)	0 (A)	0 (A)	0 (A)
Längsebenheit	0,5 (A)	0,5 (A)	0,5 (A)	0,5 (A)	0,5 (A)
Griffigkeit	0,8 (A)	0,8 (A)	0,8 (A)	0,8 (A)	0,8 (A)
Modellparameter	siehe Tabelle 19, Tabelle 21, Tabelle 22, Tabelle 24 und Tabelle 25				
Kalibrierfaktoren und -vektoren					
Risse	1 (A) ^{A)} 2 (A) ^{B)}	0,7 (A) ^{A)} 1,4 (A) ^{B)}	0,7 (A)	0,7 (A)	0,1 (A)
Oberflächenschäden	0 (A)	0 (A)	0 (A)	0 (A)	0 (A)
Spurrinnen	-	1,2 (A)	1,2 (A)	1,2 (A)	0,4 (A)
Längsebenheit	-0,7 (A)	-0,7 (A)	-0,7 (A)	-0,7 (A)	-0,7 (A)
Griffigkeit	-	-	-	-	

Legende: A) Asphaltbauweise B) Betonbauweise
(A) absoluter Rücksetzwert (R) relativer Rücksetzwert

Tabelle 30: Rücksetzwerte Zustand und Zustandsprognose

Für die Teilwerte und für den Gesamtwert müssen keine Rücksetzwerte explizit angegeben werden, da sie sich aus den zurückgesetzten Einzelwerten errechnen.

Neben den zustandsbezogenen Kennzahlen sind auch die Kenngrößen und beschreibenden Kennzahlen der Oberbaukonstruktion in Abhängigkeit von der jeweiligen Erhaltungsmaßnahme zurückzusetzen (siehe Tabelle 31). Die genauen Werte ergeben sich auf der Grundlage der detaillierten Festlegungen der Maßnahmen und sind hier nicht explizit aufgelistet.

	Erhaltungsmaßnahmen						
Kennwerte	Z_AS	Z_BE	I_OB	I_DE	I_VT	E_AS	E_BE
Alter Decke	(R)	(R)-	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)
Rechn. Oberbualter	-	(R)	(R)	(R)	(R)	(A)	(A)
Dicke Decke	-	-	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)
Dicke geb. TS	-	-	(R)	-	(R)	(A)	(A)
Dicke Oberbau	-	-	(R)	-	(R)	(A)	(A)
Bauweise	-	-	-	-	-	(A)	(A)
Bautyp	-	-	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)
Material Decke	-	-	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)
TZ	-	-	(R)	(R)	(R)	(A)	-
NLW _{zulässig}	-	-	(R)	(R)	(R)	(A)	(A)
NLW _{kumuliert}	-	-	(R)	(R)	(A)	(A)	(A)
VBI	-	-	-	-	(A)	(A)	(A)

Legende: (A) absoluter Rücksetzwert (R) relativer Rücksetzwert

Tabelle 31: Rücksetzwerte Oberbaukennzahlen und -werte

Die monetären Wirkungen von Erhaltungsmaßnahmen werden durch die Einheitspreise und die letztendlich damit verbunden Kosten definiert (siehe Kapitel 5.6.4), sodass sie hier nicht mehr explizit aufgelistet sind.

5.7 Wirtschaftlichkeitsuntersuchung und Optimierung

5.7.1 Allgemeines

Um eine technisch geeignete Erhaltungsstrategie für einen bestimmten Straßenabschnitt auszuwählen, muss diese nach [2] einer genauen Untersuchung im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit unterzogen werden. Das primäre Ziel dieser Vorgehensweise besteht in einem optimalen Einsatz der vorhandenen, in der Regel knapp bemessenen Geldmittel. Im Vergleich zu einfachen Reihungsverfahren, die jenen Abschnitt mit dem schlechtesten Zustand die höchste Dringlichkeit zuordnen (worst first), ermöglicht die Wirtschaftlichkeitsbeurteilung im Rahmen der Lebenszyklusanalyse eine wesentlich effizientere Ausnützung der Ressourcen und somit auch einen sichtbaren Vorteil (z.B. in der Zustandsentwicklung) gegenüber der einfachen Reihung.

Die Wirtschaftlichkeit von Erhaltungsstrategien 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 [2].

Die Wirtschaftlichkeit von Erhaltungsmaßnahmen bzw. -strategien wird i.A. durch Kenngrößen beschrieben, die das Verhältnis zwischen dem Nutzen und den Kosten darstellen.

Je größer das Verhältnis zwischen Nutzen und Kosten ist, desto wirtschaftlicher erscheint eine Erhaltungsmaßnahme. Diese Zahl wird nach [32] auch als makroökonomische Wirtschaftlichkeit bezeichnet. Nach welchen Kriterien der Nutzen einer Erhaltungsmaßnahme bzw. die Maßnahmenkosten bestimmt werden, wird in den nachfolgenden Kapiteln näher erläutert. 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.

5.7.2 Analysezeitraum und Maßnahmenzeitraum

Im Zuge einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung von Erhaltungsstrategien muss auch der Analysezeitraum neuerlich beurteilt bzw. konkretisiert werden. Der Analysezeitraum wurde nach Kapitel 5.3.1 als repräsentativer Zeitraum für den zu betrachtenden Lebenszyklus definiert. Darüber hinaus sollte der Analysezeitraum so gewählt werden, dass die Wirkung der zuletzt vorgeschlagenen Maßnahme nicht Null ist und auch der „Restwert“ einer ausreichenden Beurteilung unterzogen werden kann. Er muss also größer als die vorgesehene Phase für die Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen, dem sogenannten Maßnahmenzeitraum, gewählt werden.

5.7.3 Definition des Nutzens

Der Nutzen einer Erhaltungsstrategie beschreibt die positiven Auswirkungen auf den Straßennutzer und/oder den Straßenerhalter bzw. Baulastträger. Der Vergleich zwischen der „Nichts-Tun-Strategie“ (0-Strategie) und einer bestimmten Erhaltungsmaßnahme ermöglicht die Berechnung des Nutzens. Dieser Nutzen kann

- monetär durch die Ermittlung einzusparender Kosten oder

- nicht monetär, durch die Verwendung von auf den Straßenzustand bezogenen Verhältniszahlen

über die Analyseperiode 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 [2].

Aufgrund von umfassenden Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der monetären Bewertung des Nutzens (Straßennutzerkosten) in Österreich [33] steht hierfür ein Algorithmus zur Berechnung von Nutzerkosten auf Grundlage der im PMS vorgehaltenen Daten zur Verfügung. Die zustandsbedingten Nutzerkosten sowie die Baustellenfolgekosten wurden im Rahmen eines Pilotprojekts ermittelt und können grundsätzlich ebenso auf das beschriebene Datenmaterial angewandt werden.

Bei der zur Zeit angewandten Analysemethode bleiben die Nutzerkosten im Regelfall noch außer Betracht. Die bisher erfolgreich angewandte Methode, die auch unter dem Begriff „Kostenwirksamkeitsanalyse“ zusammengefasst werden kann, wird nachfolgend beschrieben.

Abbildung 27 zeigt schematisch, wie der Nutzen einer Erhaltungsstrategie über die berechenbare „Wirkungsfläche“ (auch als „Fläche zwischen den Kurven“ bezeichnet) in Form einer dimensionslosen Verhältniszahl ausgedrückt werden kann. Ist der technische, auf den Zustand bezogene Effekt der einzelnen Erhaltungsmaßnahmen groß, ergibt sich auch ein hoher Nutzen.

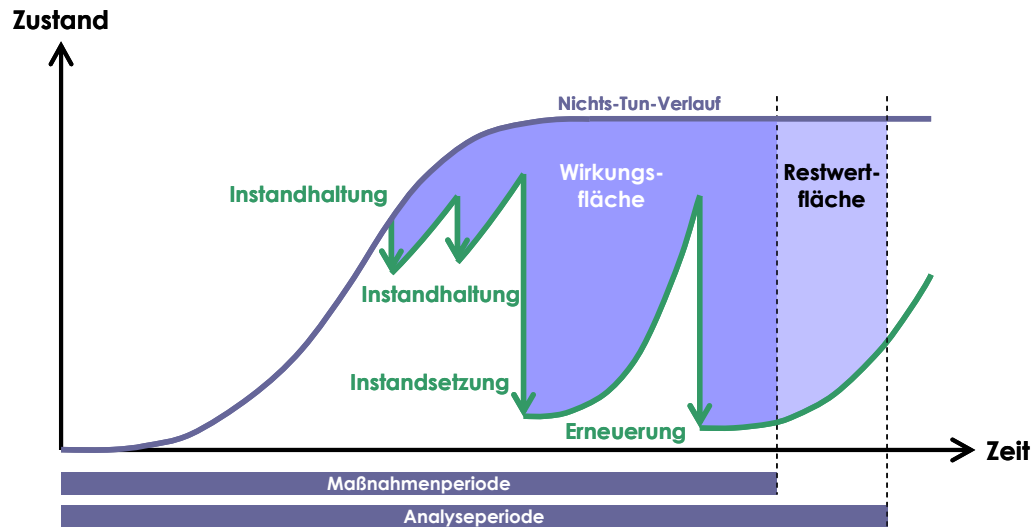


Abbildung 27: Nicht-monetäre Definition des Nutzens

Um sowohl die Auswirkungen der Maßnahmen auf den Baulastträger (Straßenverwaltung) als auch auf den Straßennutzer zu bewerten, empfiehlt es sich, den Gesamtwert als maßgebendes Zustandsmerkmal heranzuziehen. Der Gesamtwert beinhaltet sowohl den auf den Straßennutzer bezogenen Gebrauchswert als auch den auf den Baulastträger bezogenen Substanzwert.

Die Fläche muss in einem letzten Schritt lediglich mit der Anzahl der betroffenen Nutzer multipliziert werden, um jene Strategien höher zu bewerten, deren positive Auswirkungen auch mehr Straßennutzer betrifft. Dies kann dabei sowohl über die Verkehrsbelastung als auch über einen weiteren Verhältniswert erfolgen (Nutzenfaktor). Mathematisch wird der Nutzen daher wie folgt beschrieben:

$$N_i = \sum_{t=t_0}^{t_E} [(GW_{0,t} - GW_{i,t}) \cdot NF_t]$$

- N_i Nutzen der Erhaltungsstrategie i
 $GW_{0,t}$ Gesamtwert zum Zeitpunkt t der „Nichts-Tun-Strategie“
 $GW_{i,t}$ Gesamtwert zum Zeitpunkt t der Strategie i
 NF_t Nutzenfaktor zum Zeitpunkt t
 t_0 aktuelles Jahr
 t_E Endjahr der Maßnahmenperiode

Der Nutzenfaktor bestimmt, in welchem Ausmaß und Umfang der errechnete Nutzen in Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung einer Gewichtung unterzogen wird. Ist die Streuung

der Verkehrsbelastung auf dem zu untersuchenden Straßennetz sehr groß (z.B. auf Landesstraßennetzen), dann sollte nicht direkt die Verkehrsstärke für die Gewichtung herangezogen werden, da Strategien auf Abschnitten mit sehr geringer Belastung einen sehr kleinen Nutzen aufweisen und diese Abschnitte daher bei geringen budgetären Mitteln stets zurückgereiht würden. Ist hingegen die Streuung der Verkehrsbelastung gering (z.B. auf Autobahnen und Schnellstraßen) so kann die Verkehrsstärke direkt in die Berechnungen integriert werden (siehe Tabelle 32).

Anwendungsbereich	Nutzenfaktor NF
Autobahnen und Schnellstraßen	JDTV
Landesstraßen	NF = 2 für hohen Verkehr NF = 1 für geringen Verkehr

Tabelle 32: Definition Nutzenfaktoren

Wird der Nutzen als Verhältniszahl definiert, so kann auch der „Restwert“ (Wert des Oberbaus am Ende der Maßnahmenperiode) durch eine nicht monetäre Größe einfach und effizient über die Wirkungsfläche bestimmt werden. Hierzu empfiehlt es sich, die zu beurteilende Fläche über die Maßnahmenperiode so zu erweitern, dass eine aussagekräftige Beurteilung der Entwicklung nach dem Durchführen einer letzten Erhaltungsmaßnahme möglich ist (mind. 5 Jahre). Diese zusätzliche Fläche wird auch als „Restwertfläche“ bezeichnet (siehe Abbildung 27).

5.7.4 Nutzen-Kosten-Untersuchung

Das Ziel der Nutzen-Kosten-Untersuchung oder genauer gesagt der Kostenwirksamkeitsanalyse besteht nun darin, jene Strategien herauszufiltern, die aufgrund ihres günstigen Nutzen-Kosten-Verhältnisses für eine Optimierung herangezogen werden sollen. Alle anderen Strategien werden nicht näher betrachtet, da sie „unwirtschaftliche“ Lösungen darstellen. Dabei kann nach [34] und [35] das Verfahren des „inkrementellen“ Nutzen-Kosten-Verhältnisses“ INKV herangezogen werden. Das INKV ist dabei der Quotient aus der Nutzen- und Kostendifferenz zweier Erhaltungsmaßnahmen auf einem bestimmten Abschnitt (siehe Abbildung 28).

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“ - der grafischen Gegenüberstellung der Kosten und Nutzen - entlang einer abschnittsweise linearen Funktion,

die als „Effektivitätsgerade“ bezeichnet wird (umhüllende Gerade der Strategiepunkte). Jede Strategie ist in diesem Diagramm mit einem Punkt darstellbar (siehe Abbildung 28).

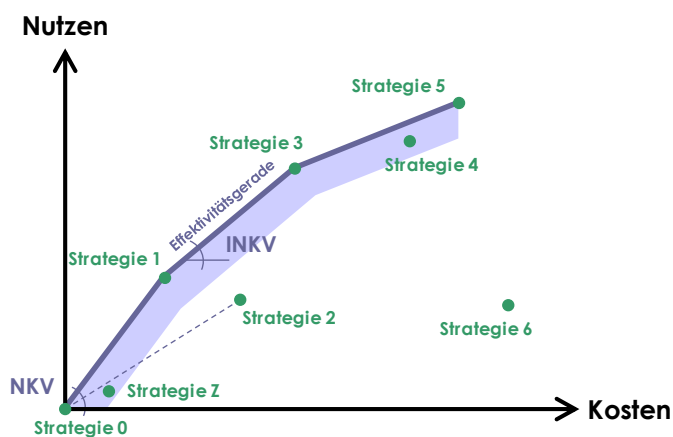


Abbildung 28: Schematische Darstellung Effektivitätsdiagramm

Die Kosten einer Strategie ergeben sich als Summe der auf das aktuelle Jahr diskontierten Kosten aller in der Strategie angeführten Einzelmaßnahmen:

$$SK_i = \sum_{t=t_0}^{t_E} \left[K_{mt} \cdot \left(1 + \frac{d}{100} \right)^{t_0-t} \right]$$

SK_s Strategiekosten der Erhaltungsstrategie i

$K_{m,t}$ Kosten der Maßnahme m zum Zeitpunkt t

d.....Diskontsatz

t_0 aktuelles Jahr

t_E Endjahr der Maßnahmenperiode

Die „Nichts-Tun-Strategie“ (Strategie 0 in Abbildung 28) verursacht keine Kosten und hat auch keinen Nutzen im Vergleich zur Zwischensanierungsstrategie (Strategie Z in Abbildung 28), die ausschließlich Instandhaltungsmaßnahmen beinhaltet und ebenfalls einer Bewertung unterzogen werden sollte.

Liegt eine Erhaltungsstrategie 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 Strategien ebenfalls im Zuge einer Optimierung berücksichtigt werden (siehe z.B. Strategie 4 in Abbildung 28).

5.7.5 Optimierung

Wurde für ein bestimmtes zu untersuchendes Straßennetz eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung durchgeführt, so muss in einem zweiten Schritt jene Strategie ausgewählt werden, die unter den gegebenen Randbedingungen eine bestimmte Kenngröße zum Optimum werden lässt. Die Zielfunktion des Entscheidungsproblems ist im Rahmen der Kostenwirksamkeitsuntersuchung der Nutzen der Erhaltungsstrategien, welcher unter vorgegebenen budgetären Restriktionen (Budgetszenarien) zum „Maximum“ gemacht werden soll. Um den Nutzen zu maximieren muss nach [2] die folgende Zielfunktion $Z(N)$ zum Maximum werden:

$$Z(N) = \sum_{j=1}^k \sum_{m=1}^n \sum_{t=1}^t (X_{jmt} \cdot N_{jmt}) \Rightarrow \max!$$

unter den Bedingungen:

$$\sum_{m=1}^n \sum_{t=1}^t X_{jmt} \leq 1 \quad \text{für } j=1, \dots, k$$

$$\sum_{m=1}^n \sum_{t=1}^t X_{jmt} \cdot K_{jmt} \leq B_t \quad \text{für } t=1, \dots, t$$

$$X_{jmt} \geq 0$$

- 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. Durch die zweite Randbedingung werden die maximalen jährlichen Erhaltungsbudgets festgelegt. Dabei können natürlich unterschiedliche

Budgetvorgaben (Budgetszenarien) herangezogen werden, die auch zu unterschiedlichen Lösungen führen.

Mathematisch gesehen, handelt es sich hier um eine komplexe Fragestellung, die auch spezielle mathematische Methoden zur Findung einer Lösung erfordert. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird hier auf die Formulierung von Lösungsansätzen verzichtet (z.B. lineare oder nicht-lineare Programmierung, dynamische Programmierung), sondern darauf verwiesen, dass die heute in Verwendung befindlichen Softwaresysteme, die eine Lebenszyklusanalyse durchführen können, dieses Optimierungsproblem lösen (z.B. über Näherungsverfahren). Auch die in Österreich verwendete Software VIAPMSTM enthält einen Modul für die Lösung dieser Optimierungsaufgabe.

6. Praktische PMS-Anwendungen

6.1 Infrastruktur Management Tool (IMT)

Im Rahmen des Aufbaus eines umfassenden Erhaltungsmanagementsystems (Asset Management System) für die Erhaltungsplanung der ASFINAG wurden auch die Aufgaben und die Rahmenbedingungen eines Infrastructure Management Tools (kurz IMT) definiert, welche wie folgt zusammengefasst werden können:

- Verwaltung der Daten aller Anlagen (Straßenbefestigung, Brücken, Tunnel, etc.) mit entsprechender Qualität und Quantität
- Darstellung des IST-Zustandes aller Anlagen
- Ermittlung des Erhaltungsbedarfes aller Anlagen auf der Grundlage von Lebenszyklusprognosen und/oder einfachen Prioritätenreihungen
- Erstellung der Grundlagen für das Infrastruktur-Investitionsprogramm (IIP)
- Durchführung von Objektkontrolle, Prüfungen und Ableitung von entsprechenden Baumaßnahmen

Das Pavement Management System der ASFINAG ist somit ein integrativer Bestandteil des gesamten IMT und wird auch organisatorisch unter dieser Prämisse verwaltet.

6.2 Pavement Management Software dTIMS

Für die praktische Durchführung der Lebenszyklusanalyse auf den Autobahnen und Schnellstraßen sowie auf einem Großteil der österreichischen Landesstraßen wird, wie bereits erwähnt, die Pavement Management Software VIAPMSTM (kanadischer Originalname: dTIMS_CTTM) seit 1998 erfolgreich eingesetzt. Dabei handelt es sich um ein spezielles Softwareprodukt, das aufgrund seiner offenen Struktur eine ingenieurmäßige Adaptierung an die örtlichen Randbedingungen und Vorgaben zulässt.

Die Analyse erfolgt auf Netzebene mit Objektgenauigkeit, sodass als Ergebnis abschnittsbezogene Erhaltungsstrategievorschlüsse zur Verfügung stehen (siehe Abbildung 29), die einerseits für eine Auswertung auf Netzebene zusammengefasst werden können (siehe Abbildung 30) und andererseits die Grundlagen für eine weiterführende Beurteilung auf Projektebene liefern.

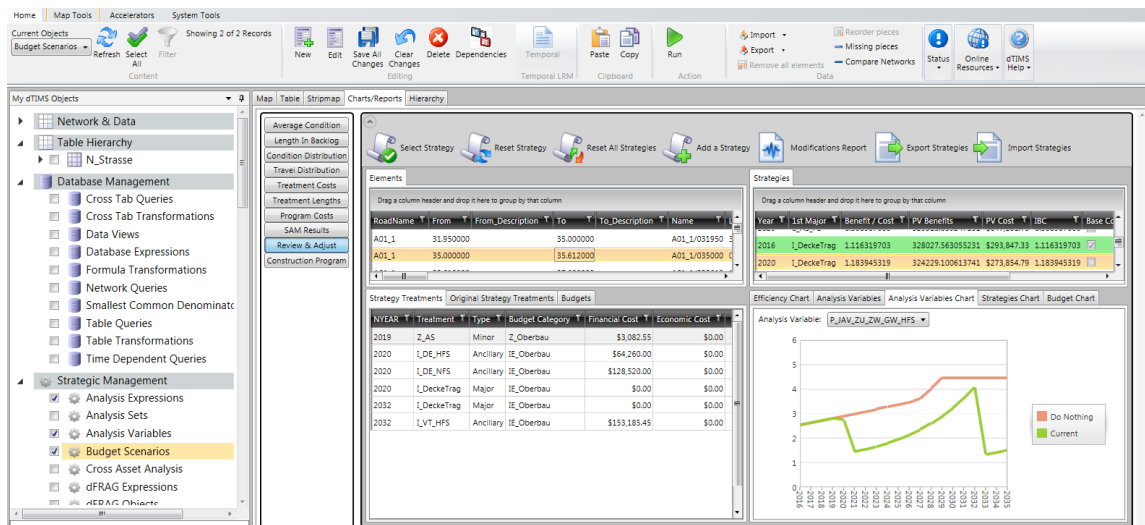


Abbildung 29: Beispiel Strategieliste VIAPMS™

Voraussetzung für die Durchführung der Lebenszyklusanalyse mit der Software VIAPMS™ ist die Erstellung einer speziellen Systemkonfiguration, die auf die österreichischen Verhältnisse bezogen, aus folgenden Hauptelementen besteht:

- Datenbankmodul für die Speicherung der erhaltungsrelevanten Daten (Oberbau, Zustand, Verkehr, etc.) oder Einrichtung eines Interfaces zur Datengrundlage (externe Datenbank)
- Implementierung eines Algorithmus zur Berechnung von Kennzahlen und Kennwerten der erhaltungsrelevanten Daten (Substanzwert Bestand, Kalibrierfaktoren Zustandsprognosemodelle, etc.)
- Implementierung des Verfahrens zur Bewertung des Straßenzustandes (Gebrauchswert, Substanzwert, Gesamtwert, etc.)
- Implementierung der Zustandsprognosemodelle und der Analysevariablen für die Berücksichtigung der zeitabhängigen Änderung bestimmter Merkmale
- Maßnahmenkatalog mit Kosten, Angaben zur Produktivität, Baustellenführung unter Berücksichtigung der Verkehrsbeeinträchtigung, etc. für unterschiedliche Erhaltungsmaßnahmen
- Definition des Optimierungsproblems und der Restriktionen

Die Software VIAPMS™ wird weltweit von einer großen Anzahl von Straßenverwaltungen, Konzessionsnehmern, Ingenieurbüros und Universitäten eingesetzt und ist somit ein bewährtes Instrumentarium für die Abschätzung des Erhaltungsbedarfs von Oberbaukonstruktionen. Eine genaue Beschreibung der Funktionalität und der Analyseprinzipien dieser Softwarelösung kann unter www.deighton.com nachgeschlagen werden, sodass aus Gründen der Übersichtlichkeit hier nicht näher auf die bei diesem Programm eingesetzten mathematischen Verfahren der Lebenszyklusanalyse sowie der Optimierung eingegangen wird.

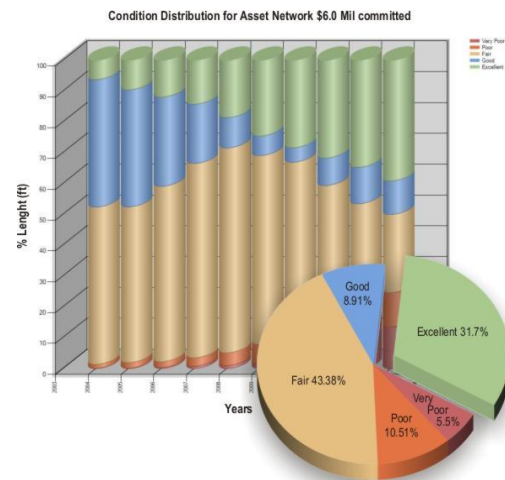


Abbildung 30: Bsp. Zustandsverteilung (Auswerteergebnis VIAPMS™)

6.3 Ergebnisse der PMS-Analyse

6.3.1 Einteilung der Ergebnisse

Die Ergebnisse der PMS-Analyse (Lebenszyklusanalyse) dienen als Grundlage für weitreichende Entscheidungen und sollten daher in Abhängigkeit von ihrer Bedeutung und Verwendung entsprechend aufbereitet werden. Neben den Ergebnissen der Untersuchungen stehen dem Anwender natürlich auch die für die Analyse verwendeten Eingangsdaten zur Verfügung, die insofern von Bedeutung sind, da sie einerseits die Grundlage für die Ergebnisse darstellen und andererseits auch für die Nachvollziehbarkeit der Resultate verantwortlich zeichnen. Auch diese Informationen sollten einer entsprechenden Aufbereitung unterzogen und ggf. mit den Ergebnissen verknüpft werden (gleichzeitige Darstellung Eingangs- und Ausgangsdaten).

Die Ergebnisse können in Abhängigkeit vom Detaillierungsgrad der Informationen in zwei Gruppen unterschieden werden [2]:

- Abschnittsbezogene Maßnahmenvorschläge für jeden untersuchten Straßenabschnitt (Objektgenauigkeit)
- Aussagen über Kosten- und Zustandsentwicklung, bezogen auf das gesamte untersuchte Straßennetz (Netzgenauigkeit)

Es sei hier nochmals explizit darauf hingewiesen, dass die Genauigkeit der Ergebnisse wesentlich von der Genauigkeit der Daten, der Modelle und der Analyseverfahren abhängig ist. Den größten Einfluss auf das Ergebnis nimmt dabei die Datengenauigkeit und –vielfalt ein. Neben den bereits erwähnten Einflussgrößen 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. In diesem Zusammenhang muss daher zwischen kurz-, mittel- und langfristigen Prognosen und Untersuchungsperioden unterschieden werden.

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 [2].

6.3.2 Abschnittsbezogene Ergebnisse

Bei den abschnittsbezogenen Ergebnissen handelt es sich um sogenannte „optimierte Dringlichkeitsreihungen“ des Teilbereichs Oberbau, die mit einer Vielzahl von Informationen versehen sind. Die wesentliche Aussage der abschnittsbezogenen Ergebnisse liegt in der Auswahl der optimalen Erhaltungsstrategie und den damit verbundenen Informationen (Kosten, Zeitpunkt, Wirkung, Ursache, etc.). Diese Ergebnisse können daher wie folgt zusammengefasst werden:

- 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.)
- Strategieliste und Maßnahmenliste (Beziehung 1:n)
- Abschnittsbezogene Eingangsdaten

Die abschnittsbezogenen Ergebnisse werden in der Regel tabellarisch aufbereitet oder in Form von Streckenbändern visualisiert und sind die Grundlage für die weiterführende Bearbeitung auf Projektebene bzw. für die Erstellung von Bau- oder Arbeitsprogrammen.

6.3.3 Netzbezogene Ergebnisse

Die Zusammenfassung der abschnittsbezogenen Ergebnisse und Daten für das gesamte zu untersuchende Straßennetz führt zu den Ergebnissen der Netzebene. Dabei richtet sich die Art der Darstellung nach dem jeweiligen Verwendungszweck und der Zielgruppe der Ergebnisse (Politik, Öffentlichkeit, Administration, etc.).

Die nachfolgende Liste soll einen Überblick von möglichen Ergebnisdarstellungen auf Netzebene zeigen, wie sie zumindest dem PMS-Anwender nach einer Analyse zur Verfügung stehen sollten:

- Aussage über die Entwicklung des Straßenzustandes für unterschiedliche Budgetszenarien bzw. –ansätze (siehe Abbildung 31).



Abbildung 31: Zustandsverteilung und -entwicklung für 2 unterschiedliche Szenarien (anonymisierte Daten)

- Zusammenhang Zustands- und Aufwandsentwicklung

- Aussage über die Verteilung des aufzuwendenden Erhaltungsbudgets über die Zeit (siehe Abbildung 32)

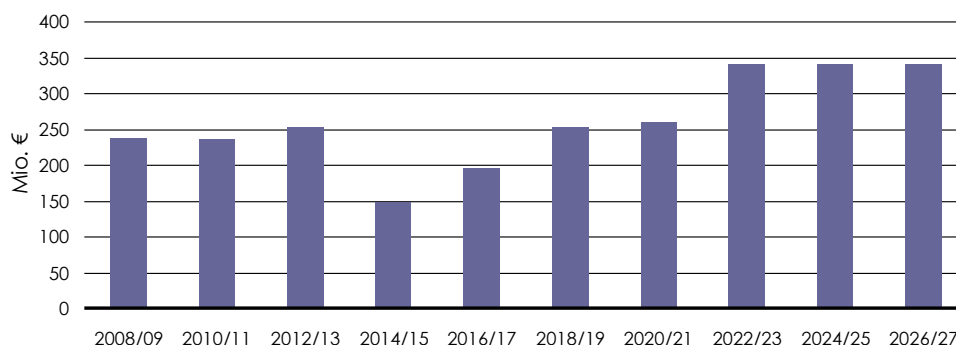


Abbildung 32: Zeitreihe erforderliche Investitionen (anonymisierte Daten)

- Aussage über die erforderlichen Geldmittel bei Vorgabe eines bestimmten Erhaltungszieles
- Zeit- und Kostenverteilung von Erhaltungsmaßnahmen in Abhängigkeit vom zur Verfügung gestellten Erhaltungsbudget (siehe Abbildung 33)

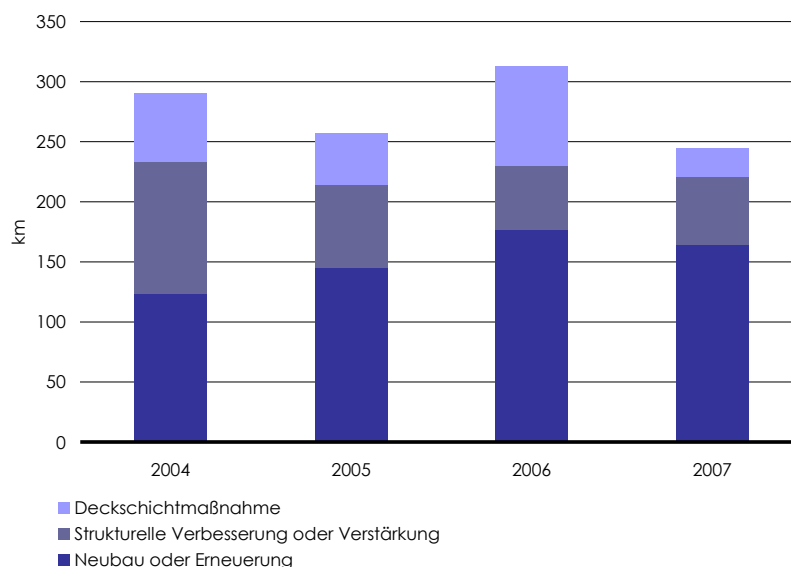


Abbildung 33: Kostenaufteilung Maßnahmen (anonymisierte Daten)

- Vergleich von Maßnahmenvorschlag und tatsächlich umgesetzten Maßnahmen (kurz- und langfristig)

Die netzbezogenen Ergebnisse werden in der Regel tabellarisch und grafisch aufbereitet oder in Form von Streckenbändern und Karten visualisiert und sind die Grundlage für strategische oder netzbezogene Entscheidungen.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Wie bereits in der Einleitung zu diesem Handbuch beschrieben, ist es notwendig, die aktuellen Grundlagen einer laufenden Kontrolle und Überprüfung zu unterziehen und diese entsprechend zu dokumentieren.

Das gegenständliche Handbuch Pavement Management in Österreich 2016 bezieht sich dabei in erster Linie auf die Festlegungen im Bereich der Autobahnen und Schnellstraßen, also dem Netz der ASFINAG. Diese können jedoch mit entsprechenden einfachen Anpassungen und Änderungen auch auf die Landesstraßen übertragen werden. Da in den letzten Jahren eine Reihe von neuen RVS-Richtlinien in diesem Bereich entwickelt wurden, verweist das Handbuch zunehmend auf diese Grundlagen, sodass auf eine sehr umfangreiche Darstellung dieser Grundlagen verzichtet werden kann.

Neben den technischen Details der Datenerfassung, Zustandsbewertung, Zustandsprognose und Lebenszyklusanalyse wurde dem Handbuch ein allgemeiner Teil zu strategischen Erhaltungszielen sowie ein Verweis zur internationalen Standardisierung im Rahmen der Richtlinie ISO 55001 [4] beigefügt. Dies bedeutet, dass das PMS einen Teil eines umfassenden Erhaltungsmanagementprozesses darstellt und somit ein integrativer Bestandteil des von der ASFINAG im Aufbau befindlichen Infrastructure Management Tool (IMT) geworden ist.

Die zunehmende Bedeutung des Erhaltungsmanagements im Bereich der Straßeninfrastruktur führt jedoch auch zu einer fortlaufenden Entwicklung und Implementierung von neuen Methoden und Verfahren zur Bewertung der Straßeninfrastruktur, sodass auch in den nächsten Jahren hier weitere Entwicklungs- und Verbesserungsarbeiten notwendig werden. Dazu ist es erforderlich die notwendigen Schritte kurzfristig zu setzen, die wie folgt definiert werden können:

- Aktualisierung und Erweiterung der Zustandsprognosemodelle
- Ergänzung des PMS im Bereich der Anlagenbewertung
- Implementierung eines risikobasierten Ansatzes in das PMS
- Verbesserung und Erweiterung der Datenaktualisierungsprozesse
- Anpassung der Softwarelösungen an die aktuellen Anforderungen und Vorgaben

Literatur und Referenzen

- [1] Langer W.: Erfahrungen mit der Anwendung eines PMS in Österreich. Beitrag zum Kolloquium Pavement Management Systeme, Heft 17, Mitteilungen des Institutes für Geotechnik und Verkehrswesen, Universität für Bodenkultur, Wien, 1989
- [2] Weninger-Vycudil A.: Entwicklung von Systemelementen für ein österreichisches PMS. Dissertation, ausgeführt am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung, Technische Universität Wien, 2001
- [3] PAS 55: 2008 Asset Management - British Standards Institutions (BSI), Publicly Available Specification, UK, 2008
- [4] ISO 55001: 2014 Asset Management: British Standards Institutions, UK 2014
- [5] Stakeholder gem. PIARC (Weltstraßenverband, Asset Management Gruppe, Zyklus 2008-11): Users (Benutzer), Owners & Operators (Eigentümer und Betreiber), Neighbours (Anwohner), Environment (Umwelt), Society (Gesellschaft)
- [6] Deix S., Weninger-Vycudil A., Litzka J., Maerschalk G., Bevc L., Alten K. and O'Connor A. J.: PROCROSS Deliverable No. 4, Final Report – Development of Procedures for Cross Asset Management Optimisation, ERA-NET Road, Vienna, 2012
- [7] Lepert P. and Weninger-Vycudil A.: EVITA: Environmental key performance indicators, ENR-project EVITA. Proceedings EPAM 4, Malmö, Sweden, 2012
- [8] Fromm A., Schinagl K., Eberl G., Neumann W., Liskounig R., Gabl T., Harbauer D., Gragger K. und Antony C.: ASFINAG-Erhaltungsstrategie. ASFINAG Service GmbH und ASFINAG Alpenstraßen GmbH, Wien, 2012
- [9] Molzer C. und Litzka J.: Auswertung und Analyse der Zustandserfassung 1995 – österreichisches Bundesstraßennetz. Mitteilungen des Instituts für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität Wien, Heft 8, Wien, 1997
- [10] RVS 11.06.67: Querebenheitsmessungen mit dem System RoadSTAR. Forschungsgesellschaft Straße, Schiene, Verkehr, Wien, 2004
- [11] RVS 11.06.68: Längsebenheitsmessungen mit dem System RoadSTAR. Forschungsgesellschaft Straße, Schiene, Verkehr, Wien, 2004
- [12] RVS 11.06.65: Griffigkeitsmessungen mit dem System RoadSTAR. Forschungsgesellschaft Straße, Schiene, Verkehr, Wien, 2002
- [13] RVS 11.06.71: Merkblatt Griptester. Forschungsgesellschaft Straße, Schiene, Verkehr, Wien, 2009
- [14] RVS 13.01.11: Zustandsbeschreibung und mögliche Schadensursachen von Asphalt- und Betonstraßen. Forschungsgesellschaft Straße, Schiene, Verkehr, Wien, 2009
- [15] RVS 13.01.16, Pavement Management, Bewertung von Oberflächenschäden und Rissen auf Asphalt- und Betondecken. Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Wien, 2012

- [16] OECD: OECD full-scale pavement test. Road Transport Research, Report prepared by an OECD scientific expert group, Paris, France, 1991
- [17] 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
- [18] RVS 03.08.63, Bautechnische Details, Oberbaubemessung. Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene - Verkehr, Wien, 2016
- [19] Molzer C., Felsenstein K., Viertl R., Litzka J. und Vycudil A.: Statistische Methoden zur Auswertung von Straßenzustandsdaten. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Schriftenreihe Straßenforschung Heft 499, Wien, 2000
- [20] 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
- [21] Molzer C., Felsenstein K., Weninger-Vycudil A., Litzka J. und Simanek P.: Statistische Auswertung der Zustandsdaten der messtechnischen Zustandserfassung 1999 und der visuellen Zustandserfassung 2000 auf dem ASFINAG-Netz. Auftrag der ASFINAG, Schlussbericht (unveröffentlicht), November 2002
- [22] American Association of State Highway and Transportation Officials: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. Washington D.C., 1993
- [23] RVS 03.08.64: Bautechnische Details, Oberbauverstärkung von Asphaltstraßen. Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene - Verkehr, Wien, 1992
- [24] COST European cooperation in the field of scientific and technical research: The way forward for pavement performance indicators across Europe – COST-Action 354 “Performance Indicators for Road Pavements”. Final Report, FSV – Austrian Transportation Research Association, COST, Vienna – Brussels, 2008
- [25] Oertelt S., Krause G. und Maerschalk G.: Verbesserung der praxisnahen Bewertung des Straßenzustandes. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik BMVBS, Heft 950, 2007
- [26] RVS 13.01.15, Pavement Management, Beurteilungskriterien für messtechnische Zustandserfassung mit dem System RoadSTAR. Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene - Verkehr, Wien, 2006
- [27] Weninger-Vycudil A., Brozek B., Litzka J., Petschacher M. und Maerschalk G.: ELISA ASFINAG, Schlussbericht (unveröffentlicht), Wien, 2014
- [28] EINSTEIN Risikobasiertes Entscheidungsmodell zur Ermittlung des optimalen Instandsetzungszeitpunktes von Infrastrukturbauten, Deliverables and Final Report, Verkehrsinfrastrukturforschung VIF 2013, Wien, 2016

- [29] 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
- [30] Molzer C., Felsenstein K., Weninger-Vycudil A., Litzka J. und Simanek P.: Statistische Auswertung der Zustandsdaten der visuellen Zustandserfassung 2000 auf den B-Straßen des österreichischen Bundesstraßennetzes. Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, Schlussbericht (unveröffentlicht), November 2002
- [31] RVS 13.01.41: Straßeninstandsetzung, Asphaltstraßen, Grundlagen zur Zustands- und Maßnahmenbeurteilung. Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene - Verkehr, Wien, 1988
- [32] Schierenbeck H.: Grundzüge der Betriebswirtschaftslehre. 10. Auflage, Oldenburg Verlag, München – Wien, 1989
- [33] Brozek B.: Entwicklung eines Nutzerkostenmoduls im österreichischen PMS. Dissertation, ausgeführt am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung, Technische Universität Wien, 2009
- [34] Deighton R. and DEIGHTON ASSOCIATES LTD: dTIMS© - Reference Manual. Bowmanville, Ontario, Kanada, 1998
- [35] Hill L. and Haas R.: Multi Year Prioritization - Advanced Course in Pavement Management. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, USA, 1991