

Pavement Management System

Sofern differenzierte Zustandsdaten aus der messtechnischen Erfassung ZEB zusammen mit Querschnittsdaten, Aufbaudaten und Verkehrsdaten flächendeckend zur Verfügung stehen, sind die Voraussetzungen für die Anwendung des objektbezogenen Pavement Management Systems (PMS) erfüllt. Dies trifft derzeit für die durchgehenden Fahrbahnen der Bundesautobahnen und Bundesstraßen zu (**s. ANHANG 1 – Datendokumentation**).

Das PMS wurde bereits für die Bedarfsermittlung der Fahrbahnbefestigungen im Rahmen der Prognose zum BVWP 2003 (*Hinsch, Krause, Maerschalk, Rübensam 2002*) und im Rahmen der Prognose zur Aktualisierung des Erhaltungsbedarfs für 2011 bis 2025 (*Maerschalk, Krause, Hinsch 2012*) herangezogen. Nachfolgend wird der Inhalt des für die Bedarfsprognose zum BVWP 2015 aktualisierten PMS zusammenfassend dargestellt.

Die Anwendung des Pavement Management Systems (PMS) ist im Detail mit allen zugehörigen Handbüchern dokumentiert in:

Maerschalk, G.; Krause, G.:

Erstanwendung der vorliegenden Algorithmen für die Erhaltungsplanung in ausgewählten Bauämtern. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 878. Bonn 2004.

Ergänzende Hinweise zur Anwendung des PMS finden sich in:

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen:

Richtlinien für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Straßenbefestigungen. RPE-Stra 01. Ausgabe 2001.

Die Erfassung und Bewertung der für die PMS-Anwendung essentiellen Zustandsdaten ist dokumentiert in:

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen:

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien zur Zustandserfassung und –bewertung von Straßen. ZTV ZEB-StB, Stand 2006 (derzeit in Überarbeitung für die seit 2015 gebräuchliche Zustandsbewertung).

Die nachfolgend zusammenfassend beschriebenen Inhalte des PMS sind hinterlegt im Setup einer kanadischen Treibersoftware

„dTims“ (in Europa: „VIAPMS“).

Details dazu finden sich bei

www.deighton.com

Inhalt

1	Datengrundlagen für die PMS-Anwendung.....	3
2	Verfahrensablauf des PMS	4
2.1	Bildung homogener Abschnitte.....	5
2.2	Zustandsprognose und Eingreifzeitraum	6
2.3	Schadensursachen und mögliche Erhaltungsmaßnahmen	10
2.4	Bewertung der möglichen Erhaltungsmaßnahmearten.....	11
2.5	Netzweite Optimierung der bewerteten Erhaltungsmaßnahmearten	17
	Literatur	20

1 Datengrundlagen für die PMS-Anwendung

In Abb. 1 sind zum besseren Verständnis der nachfolgenden Verfahrensbeschreibung die Datenanforderungen des PMS zusammengestellt. Detailliertere Erläuterungen und Dateninhalt finden sich in **ANHANG 1 – Datendokumentation**.

Datengruppen	Dateninhalte
Ordnungssystem	Netzknoten-/Stationierungssystem nach ASB
Leitdaten	Straßengattung und –nummer, Land, Niederlassung
Querschnittsdaten	Richtungsbezeichnung (bei zweibahnigen Straßen) Anzahl Fahrstreifen pro Richtung, Fahrbahn-/Fahrstreifenbreite
Aufbaudaten	Art, Dicke, Einbaujahr der Deckschicht, Binderschicht, gebundenen Tragschicht; Art der obersten ungebundenen Schicht
Erhaltungsdaten	Art und Jahr der letzten Instandsetzung bzw. Erneuerung
Verkehrsdaten	Verkehrsstärken (DTV, DTV-SV)
Zustandsdaten	Längs-/Querebenheit, Wassertiefe, Griffigkeit, Risse, Restschadensfläche

Abb. 1: Datenanforderungen des PMS

Neben den Sachdaten gemäß Abb. 1 sind für den PMS-Ablauf Parameterdaten und -funktionen erforderlich, die im „Setup“ des Systems hinterlegt werden. Anders als die Sachdaten, die in der Örtlichkeit gemessen oder gezählt werden können, stammen die Informationen zu diesen Modellparametern aus Expertenbefragungen, Analysen zur Erhaltungsgeschichte, punktuellen Langzeitbeobachtungen und Erhebungen bei Bauverwaltungen und Baufirmen im Rahmen von Forschungsarbeiten. Die Parameter gelten meist für Merkmalsgruppen oder „Familien“ von Straßenabschnitten, die, aufgrund der Ausprägungen der Sachdaten, eine ähnliche Charakteristik aufweisen. Die Modellparameter, die in Abb. 2 zusammenfassend aufgeführt sind, werden nachfolgend bei der Beschreibung des Verfahrensablaufs näher erläutert.

Modellparameter	Beschreibung der Parameter
Regeln für Zustandsbewertung	Umwandlung von Zustandsgrößen in Zustandswerte und die Verknüpfung zum Gebrauchs- und Substanzwert nach ZTV-ZEB
Regeln für Substanzbewertung	Funktionen zur Ermittlung des Substanzwerts-Bestand gemäß FGSV-Arbeitspapier Nr. 9/S zur Erhaltungsplanung. Reihe S.
Verlaufs-funktionen	Funktionstypen zur Beschreibung der zeitlichen Entwicklung der einzelnen Zustandsmerkmale und Standardfunktionen für verhaltenshomogene Gruppen
Mängelklassen	kategorisierte Schadensursachen aus Zustandskonstellationen
Erhaltungsmaßnahmen	Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmenarten (mit deutlich unterschiedlichen Kosten und Wirkungen)
Maßnahmekosten	Einheitskosten der Maßnahmenarten (z. B. Euro/m ²)
Maßnahmewirkungen	Rücksetzbereiche der Zustands- bzw. Teilzielwerte und Zustandsverläufe nach Maßnahmen (in Abhängigkeit der Mängelklassen)

Abb. 2: Modellparameter des PMS

2 Verfahrensablauf des PMS

Die in der benötigten Form strukturierten Sachdaten und Modellparameter werden im Verfahrensablauf über einen vorgegebenen Prognosezeitraum für die Ermittlung der möglichen und wirtschaftlich günstigsten Erhaltungsstrategien, der daraus resultierenden Zustandsentwicklung und des kurz-, mittel- und langfristigen Erhaltungsbedarfs eingesetzt. Ausgehend von den für homogene Abschnitte (s. Kap. 2.1) ermittelten Erhaltungsstrategien sind über Aggregationen auch netzbezogene Analysen zu den Auswirkungen auf den Gebrauchs- und Substanzwert möglich, die bei begrenzten Erhaltungsmitteln und, damit zusammenhängend, bei anspruchsvollen oder einfacheren Erhaltungsmaßnahmen bzw. bei zeitlich aufgeschobenen Erhaltungsmaßnahmen zu erwarten sind.

Der Verfahrensablauf ist in Abb. 3 modular in den Hauptschritten dargestellt. Modul 1 bezieht sich dabei auf die Bildung homogener Abschnitte (s. Kap. 2.1). Dieses Modul nimmt insofern eine Sonderstellung ein, als es unabhängig im Vorfeld angewendet wird und die Eingangsdatei für die restlichen Module des Verfahrensablaufs erzeugt.

Modul 1	Bildung von homogenen Abschnitten
Modul 2	Prognose der Zustandsänderungen
Modul 3	Auswahl der zur Erhaltung anstehenden Abschnitte
Modul 4	Mängelanalyse / Schadensursachen
Modul 5	Bautechnisch mögliche Erhaltungsmaßnahmen
Modul 6	Bewertung und Reihung der Maßnahmevarianten
Modul 7	Optimierung der Maßnahmevarianten für Finanzvorgaben oder Qualitätsziele
Modul 8	Erhaltungsprogramm / Erhaltungsbedarf

Abb. 3: Module des Pavement Management Systems (PMS)

2.1 Bildung homogener Abschnitte

Das jeweilige Analysenet (z. B: Bundesautobahnen, Bundesstraßen) wird mit einem vorliegenden und informationstechnisch aufbereiteten Algorithmus (*Rübensam, Schulze 1996*) in homogene Abschnitte eingeteilt. Die Bildung homogener Abschnitte mit diesem bei der BAST verfügbaren IT-Verfahren erfolgt separat im Vorlauf zur eigentlichen PMS-Anwendung.

Die Sachdaten werden bei der Aufbereitung für die Modellrechnungen zunächst ZEB-Auswerteabschnitten zugewiesen (100 m bzw. 20 m, s. **ANHANG 1 – Datendokumentation**). Hauptkriterium für die Abgrenzung der homogenen Abschnitte auf Basis dieser ZEB-Auswerteabschnitte ist der Zustand. Einbezogen werden auch die Deckenarten und die Verkehrsbelastungen. Nach entsprechenden Voreinstellungen können zusätzlich Netzknoten oder OD-Grenzen berücksichtigt werden. Außerdem können Mindestlängen (Autobahnen 500 m, Bundesstraßen 100 m) oder Maximallängen (Autobahnen 7.000 m, Bundesstraßen 6.000 m) vorgegeben werden. Bei der Vorgabe von Zwangspunkten (z. B. Netzknoten) lassen sich vor allem die Mindestlängen nicht immer einhalten.

Die homogenen Abschnitte weisen im Mittel eine Länge von ca. 2 km (Autobahnen) bzw. ca. 1 km (Bundesstraßen) auf. Sie können damit in Bezug auf Erhaltungsabschnitte der Praxis für die Autobahnen als eine Vorstufe, für die Bundesstraßen als eine sehr gute Annäherung angesehen werden. Für die homogenen Abschnitten werden im Ablauf des IT-Verfahrens zu ihrer Abgrenzung repräsentative Werte aller Sachdaten ermittelt (i. A. längengewichtete Mittelwerte oder häufigste Werte).

Die homogenen Abschnitte beziehen sich bei den Autobahnen auf Fahrstreifen, bei den Bundesstraßen auf Richtungsquerschnitte. Ein netzweit anwendbarer Algorithmus für eine realitätsnahe Abgrenzung von praxismgerechten Erhaltungsabschnitten, erforderlich vor allem für die Autobahnen, ist derzeit noch nicht verfügbar. Ein derartiger Algorithmus müsste, z. B. für eine Zusammenfassung mehrerer Fahrstreifen zu einem Erhaltungsabschnitt, neben den o. g. bestands- und zustandsbezogenen Faktoren auch ökonomische Kriterien, z. B. in Form von Gesamtkosten (Baulastträger-, Nutzer-, Umweltkosten), berücksichtigen. Eine reine Nachbildung der in der Erhaltungspraxis teilweise üblichen Abgrenzungen, z. B. unter starrer und unkritischer Einbeziehung vorhandener Überfahrten, ist ebenso wenig zielführend wie eine Übernahme von Handlungsweisen der Vergangenheit.

Bei PMS-Anwendungen zur Erstellung konkreter Erhaltungsprogramme für ein begrenztes Netz (z. B. eines Bundeslandes) und für einen begrenzten Zeitraum (z. B. 4 Jahre) werden, ausgehend von homogenen Abschnitten, Erhaltungsabschnitte in Abstimmung mit dem jeweiligen ortskundigen Auftraggeber gebildet. Diese Vorgehensweise ist für die gesamten Netze der Bundesfernstraßen und Prognosezeiträume von z. B. 15 Jahren vor allem aus Zeitgründen nicht möglich. Aus der Vielzahl von PMS-Anwendungen zur Erstellung konkreter Erhaltungsprogramme lässt sich ableiten, dass, bezogen auf Erhaltungsflächen, bei den

Bundesautobahnen eine Faktor von 2, bei den Bundesstraßen ein Faktor von 1,25 anzusetzen ist, um homogene Abschnitte den Erhaltungsabschnitten der Praxis anzunähern.

2.2 Zustandsprognose und Eingreifzeitraum

Der Prognosezeitraum bei Anwendung des PMS kann frei definiert werden, z. B. für Langfristprognosen mit 15 Jahren. Zusätzlich kann noch ein längerer Zeitraum (z. B. 25 Jahre) festgelegt werden, für den Zustandsentwicklungen und Maßnahmewirkungen (s. Kap. 2.4) betrachtet werden („Bewertungszeitraum“).

Der erste verfahrensinterne Schritt des PMS besteht darin, die aktuellen Ausprägungen der relevanten Zustandsmerkmale, wie sie sich aus der zuletzt durchgeführten ZEB ergaben, mit Hilfe von Verlaufsfunktionen über den Prognose- bzw. Bewertungszeitraum fortzuschreiben (Abb. 3 – Modul 2). Als Basis für alle späteren Analysen muss diese Zustandsprognose zunächst für den Bezugsfall „ohne Erhaltungsmaßnahme“ („Nichts-tun“-Fall“) durchgeführt werden. Der wahrscheinliche Verlauf der betrachteten Zustandsmerkmale wird spezifisch für jeden einzelnen homogenen Abschnitt abgeschätzt. Es kommen somit nur abschnittsbezogene und keine globalen generalisierten Verlaufsfunktionen zum Ansatz.

Als eine gesicherte Randbedingung für diese Beschreibung des Zustandsverlaufs kann angenommen werden, dass der Zustand einer Straßenbefestigung nach der Herstellung bzw. nach einer Erneuerung am besten ist: Die Straße ist komfortabel und sicher zu befahren, die Substanz ist intakt, zustandsbedingte Umweltbeeinträchtigungen sind vernachlässigbar. Der durch die einzelnen Merkmale charakterisierbare Zustand ändert sich im Laufe der Zeit, er wird schlechter. Das Ausmaß der künftigen Verschlechterung kann relativ zuverlässig abgeschätzt werden, wenn

- das Jahr der Herstellung bzw. der letzten Erneuerung bekannt ist,
- pro Merkmal mindestens eine Zustandsgröße bzw. ein bei der Bewertung normierter Zustandswert aus der letzten Zustandserfassung verfügbar ist und
- Erkenntnisse zum Typ der jeweiligen Verlaufsfunktion vorliegen (z. B. Gerade, Exponentialfunktion o. Ä.).

Wie am Beispiel der Abb. 4 für die Zustandswerte von 2 homogenen Abschnitten (X und Y) erläutert, lässt sich bei gegebenem Alter (= Jahr der Zustandserfassung - Jahr der Herstellung/Erneuerung mit Zustandswert 1,0) und bekanntem Funktionsverlauf die weitere Entwicklung abschätzen, indem die Koeffizienten der Verlaufsfunktion so geeicht werden, dass der betrachtete Zustandswert auf der Kurve liegt. Zu beachten ist dabei, dass, abhängig vom Alter der einzelnen Schichten, die Variable „Alter“ für die einzelnen Zustandsmerkmale durchaus verschieden sein kann. Während für bestimmte Merkmale (z. B. Längsebenheit) der Bestzustand wahrscheinlich nur durch eine Erneuerung erreicht werden kann, lassen sich andere Schäden (z. B. Spurrinnen, thermisch bedingte Risse) eventuell auch durch eine Instandsetzung der Deckschicht beheben. Bei der Altersbestimmung besteht somit die Möglichkeit und Notwendigkeit, neben dem Zeitpunkt der letzten Erneuerung auch das Jahr der

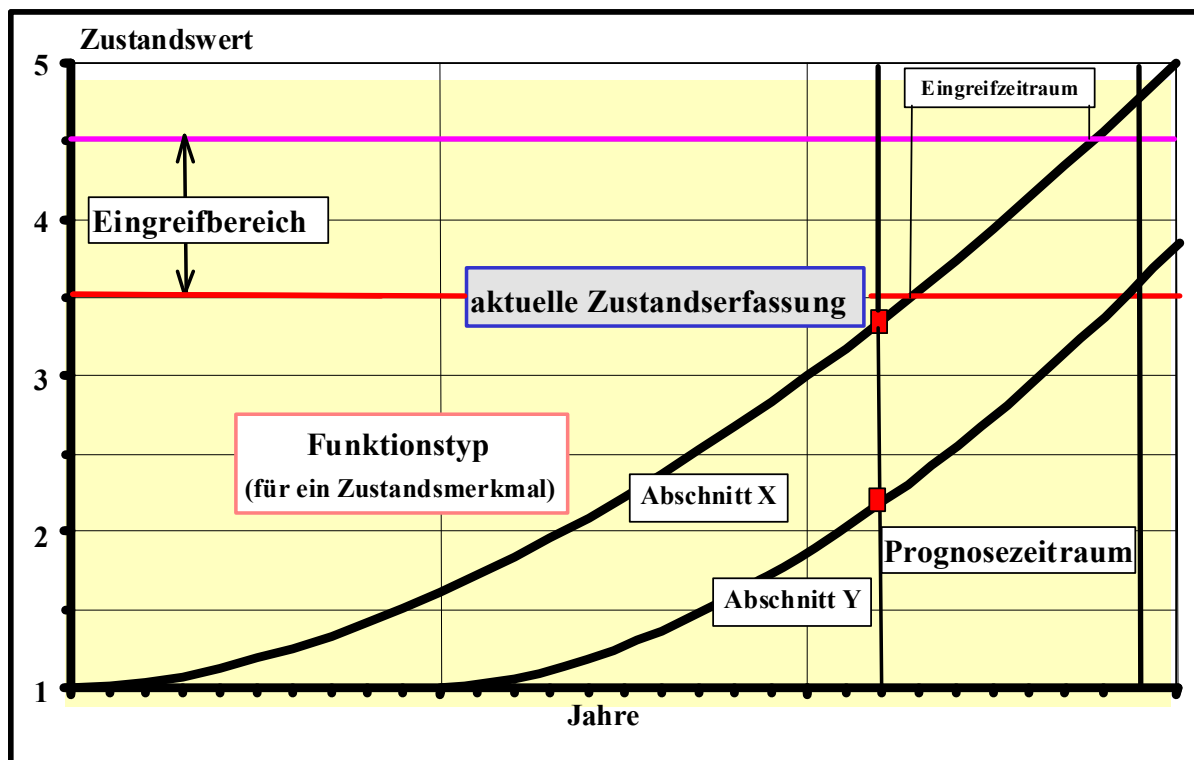


Abb. 4: Schematische Darstellung zur Abschätzung der Zustandsentwicklung und des Eingreifzeitraums auf Basis des Neubau-/letzten Maßnahmenjahrs und einer aktuellen Zustandserfassung

letzten Instandsetzung als Ausgangsgröße heranzuziehen, also schichtbezogen vorzugehen. Anstelle des Alters können nach entsprechender Umrechnung auch Nutzungseinheiten (kumulierte Achslasten o. Ä.) als unabhängige Variable für die Beschreibung der Zustandsentwicklung verwendet werden. Auch in diesem Fall ergeben sich keine grundsätzlichen Änderungen in der Verfahrensweise, selbst dann nicht, wenn der Zusammenhang zwischen Alter und Verkehrsentwicklung nicht linear sein sollte.

Bei der Zustandsprognose gemäß Abb. 4 wird angenommen, dass sich in den aktuellen merkmalspezifischen Zustandsgrößen bzw. -werten einer Straßenbefestigung alle Faktoren abbilden, die, wie z. B. die Bauweise, die Bemessung und der Ausbauzustand, die Qualität der Bauausführung oder die vorhandene Verkehrs- und Klimabeanspruchung, Einfluss auf die Zustandsentwicklung haben. Eine noch zuverlässigere Abschätzung des künftigen Zustandsverlaufs erscheint möglich, wenn neben dem Alter und den Zustandsdaten einer aktuellen Erhebung auch (historische) Zustandsdaten aus früheren Erfassungen vorliegen. In diesem Fall können die Koeffizienten der Verlaufsfunktionen mit Hilfe mathematisch-statistischer Verfahren ermittelt werden. Allerdings muss dabei sichergestellt sein, dass die Zeitreihen der Zustandsdaten an allen Abschnitten eine ungestörte Zustandsentwicklung repräsentieren und zumindest keine groben Erhebungsfehler aufweisen. Außerdem muss gewährleistet sein, dass die ZEB-Auswerteabschnitte verschiedener Kampagnen korrekt zugeordnet werden können. Dies ist derzeit noch problematisch.

Wenn das Befestigungsalter und ein Zustandswert oder mehrere zeitlich gestaffelte Zustandswerte bekannt sind, bereitet die Verlaufsprognose somit relativ geringe Probleme. Wenn weder das Alter noch der Zustand vorliegt, muss der betreffende Abschnitt aus den Analysen ausgeschlossen werden. Wenn, wie bei den derzeitigen Datengrundlagen öfter der Fall, nur einer der beiden Faktoren verfügbar ist, können mit Hilfe von standardisierten Verlaufsfunktionen für Merkmalsgruppen Aussagen zur Zustandsentwicklung abgeleitet werden (s. u.). Auch bei relativ neuen Fahrbahndecken, die zum Zeitpunkt einer Zustandserfassung (z. B. zwei Jahre nach einer Erneuerung) noch keinerlei Schäden zeigen (Zustandswert 1,0), müssen derartige Funktionen für die Zustandsprognose angesetzt werden.

Bisher vorliegende Untersuchungsergebnisse zu Verlaufsfunktionen, die Zustandsänderungen in Abhängigkeit von der Zeit oder Nutzungseinheiten (z. B. Achslastübergängen) beschreiben, deuten darauf hin, dass die Spurrinnenentwicklung i. A. konsolidierend verläuft, d. h. dass die Spurrinntiefen zwar zunehmen, die Zunahmen aber im Zeitablauf schwächer werden. Für die Längsebenheit sowie die Risse kann dagegen von einem progressiven Verlauf, d. h. einer immer schneller werdenden Zustandsverschlechterung, ausgegangen werden. Keine dezidierten Aussagen sind derzeit zur zeitlichen Entwicklung der Griffigkeit möglich. In Abb. 5 sind die qualitativen Annahmen zu den Verläufen der Verhaltensfunktionen zusammengestellt.

Zustandsmerkmal bzw. Merkmalsgruppe	Qualitativer Verlauf
Längsebenheit Querebenheit bei Betondecken	schwach progressiv
Spurrinntiefe (Asphaltdecken)	degressiv-konsolidierend
Fiktive Wassertiefe	bei gleichbleibender Längs-/ Querneigung abhängig von Spurrinnenentwicklung
Griffigkeit (derzeit keine Erkenntnisse – Annahme)	linear
Risse, Sonstige Schäden (Restschadensfläche)	stark progressiv

Abb. 5: Standardannahmen zu Funktionen für die Beschreibung der Zustandsentwicklung

Der Eichung der Koeffizienten für die Verlaufsfunktionen erfolgt bei entsprechenden Voraussetzungen (s. o.) separat für jeden einzelnen homogenen Abschnitt und jedes Zustandsmerkmal, so dass keine verallgemeinerten, sondern individuelle Funktionen angewendet werden (s. Abschnitte X und Y in Abb. 4). Diesem Eichvorgang liegt die folgende Beziehung zugrunde:

$$ZW_i(t) = 1 + a \cdot t^b$$

mit

ZW_i Zustandswert für das Merkmal i

t Zeit seit Neubau/letzter Erhaltung in Jahren,

a, b Verlaufs-Koeffizienten.

Als Grundlage zur Ermittlung der konkreten Verlaufsfunktion für einen bestimmten homogenen Abschnitt und ein bestimmtes Merkmal auf Basis der obigen Beziehungen dienen

Standardfunktionen zur Zustandsentwicklung, die in den RPE-Stra 01 aufgeführt sind. Diese Standardfunktionen beschreiben einen langsamen, mittleren, schnellen und sehr schnellen Verlauf der Zustandsverschlechterung und können damit als mittlere Verlaufslinien für 4 Verhaltensklassen angesehen werden. Bei der Ermittlung der abschnitts- und merkmalspezifischen Verlaufs-Koeffizienten a und b auf der Basis dieser Standardfunktionen wird wie folgt vorgegangen:

- Ausgehend von Neubaujahr oder dem Jahr der letzten Maßnahme (s. o.) wird die Zeit t_z (in Jahren) bis zum Jahr der aktuellen Zustandserfassung ermittelt.
- Der ermittelte Zustandswert aus der aktuellen Erfassung ZW_z wird mit den Zustandswerten ZW_s verglichen, die sich bei Anwendung der 4 Standardfunktionen der Verhaltensklassen s ($1 \leq s \leq 4$) ergeben, wenn die Zeit t_z eingesetzt wird.
- Die Standardfunktion, die zum erfassten Wert ZW_z bei t_z den geringsten Abstand aufweist, wird für die Ermittlung der spezifischen Verhaltenskurve verwendet. Die zugehörige Verhaltensklasse wird dabei für die spätere Beschreibung des Zustandsverlaufs nach Maßnahmen vorgehalten.
- Unter Beibehaltung des Exponenten b der ausgewählten Standardfunktion wird der Koeffizient a für das jeweilige Zustandsmerkmal und den betrachteten homogenen Abschnitt wie folgt berechnet:

$$a = (ZW_z - 1) / t_z^b$$

Die Verhaltensklassen mit ihren zugehörigen Standardfunktionen werden später für die Beschreibung des Zustandsverlaufs nach Erhaltungsmaßnahmen und die Ermittlung der Maßnahmewirkungen benötigt (s. Kap. 2.4). Die Standardfunktionen finden auch Verwendung, wenn für einen homogenen Abschnitt entweder der Zustand oder das Befestigungsalter fehlt (s. o.).

Im Gebrauchswert und im Substanzwert-Oberfläche sind verschiedene Zustandsmerkmale, verknüpft. Diese Teilwerte können für jedes Jahr des Prognosezeitraums neu berechnet werden, eine Verlaufsprognose ist daher nicht erforderlich.

Mit der abschnittsbezogenen Verlaufsprognose können die möglichen Eingreifjahre im Prognosezeitraum bestimmt werden (s. Abb. 4). Dazu muss ein Eingreifbereich festgelegt werden, der frei wählbar ist und für die Zustandsmerkmale und die Erhaltungsmaßnahmentearten unterschiedlich sein kann. Dieser Eingreifbereich liegt normalerweise zwischen dem Zustandswert 3,5 und dem Zustandswert 4,5.

Der Eingreifzeitraum umfasst die Jahre des Prognosezeitraums, für die Erhaltungsmaßnahmen untersucht werden. Da häufig mehrere Erhaltungsmaßnahmentearten möglich sind (vgl. Kap. 2.3), kann sich bei mehreren möglichen Eingreifjahren eine Vielzahl von Maßnahmentealternativen bzw. -varianten ergeben, die systemintern zu analysieren sind.

2.3 Schadensursachen und mögliche Erhaltungsmaßnahmen

Zur Bestimmung möglicher Erhaltungsmaßnahmearten werden durch Analyse der Zustandskonstellationen und der sonstigen Randbedingungen (z. B. Bauweise, Dimensionierungssituation) für jeden einzelnen homogenen Abschnitt die wahrscheinlichen Schadensursachen ermittelt (s. Abb. 3 – Modul 4). Mit dieser Diagnose der Schadensursachen und ihrer Typisierung in Mängelklassen wird eine Grundlage für die spätere Bewertung von Maßnahmewirkungen (s. Kap. 2.4) geschaffen. Schadensursachen und Mängelklassen können nur ermittelt werden, wenn die aktuell erfassten oder die prognostizierten Zustandswerte im kritischen Bereich liegen. Abb. 6 vermittelt einen Überblick über das Grundkonzept bei der Bildung von Mängelklassen (Krause 2000).

Zustandsbeschreibung	mögliche Schadensursachen	Mängelklasse (betroffene Schicht) Kurzbezeichnung
mangelnde Griffigkeit mit erhöhter Unfallgefahr (Griffigkeit > 3,5) schwach ausgeprägte Längs-/ Querunebenheiten und keine/vereinzelte Risse bzw. sonstige Oberflächenschäden	wenig polierresistente Mineralstoffe; unzureichende Mikro-/ Makrorauheit	(mangelnde) Griffigkeit (Deckschicht) GRO
unzureichende Oberflächenentwässerung (Fiktive Wassertiefe > 3,5) schwach ausgeprägte Längs-/Querunebenheiten und keine/vereinzelte Risse bzw. sonstige Oberflächenschäden	zu geringe Längs- und/oder Querneigung	konstruktiv bedingter Wasserrückhalt (Decke) WAS
stark ausgeprägte Spurrinnen aus Verdrängung und/oder Nachverdichtung (Spurrinnen > 3,5) Aufwölbungen in Längsrichtung (Waschbrett) keine/vereinzelte Risse od. sonst. Oberflächenschäden (Schadenswert ≤ 2,5)	unzureichender Widerstand gegen bleibende Verformungen (zu weiches Bitumen); mangelhafter Schichtenverbund	Schubverformungen (Deck- und Binderschicht) SVS
deutlich ausgeprägte Unebenheiten (2,5 < Ebenheitswert ≤ 3,5) verbreitete (Längs-/Quer-) Risse und sonstige Oberflächenschäden (Schadenswert > 3,5)	Biegezugs- bzw. Scherfestigkeitsüberschreitung der bituminös gebundenen Schichten	(mangelnde) Tragfähigkeit der gebundenen Schichten TGS TGE
schwach ausgeprägte Unebenheiten (Ebenheitswert ≤ 2,5) und stark ausgeprägte Spurrinnen (> 3,5) verbreitete (Längs-) Risse und/oder sonstige Oberflächenschäden (Schadenswert > 3,5)	(unzureichende Befestigungsdicke); zu geringe Dicke von Betonplatten	
stark ausgeprägte Unebenheiten (> 3,5) häufiger Risse (2,5 < Schadenswert ≤ 3,5)	Setzungen der ungebundenen Schichten; ungenügende Entwässerung; Erosion; instabile Böschung	(mangelnde) Tragfähigkeit der ungebundenen Schichten bzw. des Untergrunds/-baus NSU UOT
stark ausgeprägte Unebenheiten (> 3,5) verbreitet Netzrisse und/oder sonstige Oberflächenschäden (Schadenswert > 3,5)	Materialermüdung; ungenügende Frostsicherheit und/oder Entwässerungsmängel; Verformung, Erosion oder Zerstörung der Unterlage von Betonplatten	

Abb. 6: Allgemeine Zustandsbeschreibungen, mögliche Schadensursachen und daraus abgeleitete Mängelklassen (Krause 2000)

Bei der Ableitung wahrscheinlicher Schadensursachen und ihrer anschließenden Umsetzung in Mängelklassen gemäß Abb. 6 sind im Hinblick auf die Nachvollziehbarkeit starke Vereinfachungen erforderlich. Bei der Abgrenzung von Mängelklassen wird daher jeweils ein bestimmtes Zustandsmerkmal in den Mittelpunkt gestellt („Hauptbedingung“) und logisch mit den anderen Merkmalen („Nebenbedingungen“) verknüpft, die untereinander wiederum logisch verbunden sein können. In Abb. 6 dienen als Abgrenzungskriterien die Zustandswerte für Griffigkeit, Wasserrückhalt, Allgemeine Unebenheiten und Spurrinntiefen sowie der aus Rissen und der Restschadensfläche gebildete Schadenswert.

In Abhängigkeit der durch Mängelklassen typisierten wahrscheinlichen Schadensursachen und sonstiger Kriterien (z. B. einbezogene Fahrstreifen, Art der letzten Maßnahme) können die aus technologischer Sicht zulässigen Erhaltungsmaßnahmentearten der homogenen Abschnitte bestimmt werden (s. Abb. 3 – Modul 5). Die Erhaltungsmaßnahmentearten, die zur Wiederherstellung des Gebrauchswerts oder Erhaltung der Substanz von Fahrbahnbefestigungen durchgeführt werden, sind in vorliegenden Richtlinien und Merkblättern ausführlich dokumentiert (z. B. Beton: DIN 18316, Asphalt: DIN 18317). Getrennt zu betrachten sind nur Maßnahmentearten, die sich in ihren Kosten und/oder ihren Wirkungen deutlich unterscheiden.

2.4 Bewertung der möglichen Erhaltungsmaßnahmentearten

Die technisch möglichen Erhaltungsmaßnahmentearten im gewählten Prognosezeitraum gelten jeweils für das betrachtete Finanz- bzw. Qualitätsszenario. In einem PMS-Lauf können bis zu 5 Szenarien gleichzeitig behandelt werden.

Bei der Bewertung der für die homogenen Abschnitte technisch möglichen Erhaltungsmaßnahmentearten werden die Kosten und Nutzen des Planungsfalls „mit“ Maßnahme dem Vergleichsfall „ohne“ Maßnahme gegenübergestellt. Der Vergleichsfall „ohne“ Maßnahme („Nichts-tun“) beschreibt dabei eine Erhaltungspraxis, die zwar örtlich-punktuell oder kleinflächige Maßnahmen der baulichen Unterhaltung, aber keine größerflächigen Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahmen beinhaltet.

Im Mittelpunkt der Nutzenbewertung stehen in beiden Fällen die Änderungen, die sich im Zustand ergeben. Es wird geprüft, inwieweit die höheren Kosten im Planungsfall „mit“ Maßnahme durch die Verbesserungen im Zustand gegenüber dem Vergleichsfall „ohne“ Maßnahme gerechtfertigt sind (Abb. 3 – Modul 6).

Die Bewertung der Nutzen von Erhaltungsstrategien kann in monetärer Form oder qualitativ in Form einer Maßnahmewirksamkeit erfolgen. Die für die monetäre Bewertung von Ausbaumaßnahmen vorliegenden „Richtlinien für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (RAS-W)“ sind mit ihren derzeitigen Ansätzen noch nicht für den Bereich der Erhaltung verwendbar. Daher wird momentan eine qualitative Wirksamkeitsbewertung angewendet. Diese qualitative Bewertung kann durch einen Vergleich der durch die Verläufe der einzelnen Zustandsmerkmale ohne und mit Maßnahme abgegrenzten Flächen („unter den Verlaufskur-

ven“) vorgenommen werden. Die daraus abgeleitete Wirksamkeit von Erhaltungsmaßnahmen kann anschließend mit den jeweiligen Kosten verglichen werden.

Wie aus der nachfolgenden Abb. 7 erkennbar wird, enden die Zustandsverläufe der einzelnen Merkmale, anders als in der Realität, aufgrund der geschlossenen Skala für die Zustandsbewertung im Rahmen der ZEB (Noten 1 bis 5) für den Vergleichsfall ohne Maßnahme bei 5,0. Die Flächen „unter den Verlaufskurven“ werden abgeschnitten, so dass sich bei der darauf basierenden Ermittlung der Wirksamkeiten eine Überbetonung des Zustandsbereichs zwischen 1 und 5 ergibt. Dies wird abgeschwächt, wenn, wie derzeit vorgesehen, für die Zustandsprognose im PMS anstelle der Zustandswerte die Zustandsgrößen (z. B. mm) verwendet werden. Allerdings müssen auch dabei Grenzzustände definiert werden, die im Hinblick auf die Gebrauchsfähigkeit bzw. die Anforderungsgerechtigkeit der Befestigungssubstanz gerade noch (oder nicht mehr) hinnehmbar sind, da die Annahme einer unbegrenzten Zustandsverschlechterung bis zum Ende der Befahrbarkeit einer Straße als Vergleichsfall nicht realistisch ist. Die Definition dieser Grenzzustände für den Vergleichsfall, die auch bei einer monetären Bewertung (z. B. nach RAS-W) erforderlich ist, bereitet noch erhebliche Schwierigkeiten.

Der verzerrende Effekt der beim Zustandswert 5,0 abgeschnittenen Verlaufskurven wird dadurch erheblich gemildert, dass die damit ermittelten „Wirksamkeitsflächen“ ohne Maßnahmen als Vergleichsfall für die Bewertung aller Maßnahmealternativen eines homogenen Abschnitts angenommen werden.

Ermittlung der qualitativen Wirksamkeit

Bei der qualitativen Bestimmung der Wirksamkeit werden die Flächen „unter den Verlaufskurven“ der einzelnen Zustandsmerkmale für den „Nichts-tun“-Fall „ohne“ Maßnahme und für den Planungsfall „mit“ Maßnahme ermittelt und verglichen. Als qualitatives Maß für die Wirksamkeit einer Erhaltungsmaßnahme wird die Differenz dieser Flächen herangezogen, die das Ausmaß der Zustandsverbesserung von Zeitpunkt einer Maßnahme bis zum Ende des Betrachtungszeitraums kennzeichnet.

Die Zustandsverbesserungen nach der Maßnahmedurchführung lassen sich durch das Ausmaß bestimmen, in dem die Zustandsgrößen oder –werte der einzelnen Merkmale vom schlechteren zum besseren Zustandsbereich zurückgesetzt werden. Dieses Ausmaß der Verbesserungen kann am genauesten durch eine Zustandserfassung bei der Abnahme einer Maßnahme festgestellt werden. Bei prognostizierten Maßnahmevorschlägen werden Erfahrungswerte für das Zurücksetzen der Zustandswerte angenommen. Diese Rücksetzwerte sind empirisch relativ gut abgesichert (s. z. B. *Grätz 1997*).

Die Zustandsänderungen nach der Maßnahmedurchführung beschreiben, in welchem Ausmaß sich der Zustand der einzelnen Merkmale im Zeitablauf wieder verschlechtert und wann der kritische Zustandsbereich erneut erreicht wird. Empirisch abgesicherte Verlaufsfunktionen für die Zustandsentwicklung nach den einzelnen Erhaltungsmaßnahmearten können

derzeit noch nicht angegeben werden. Eine Möglichkeit, den Zustandsverlauf nach Maßnahmen für die einzelnen Merkmale zu bestimmen, besteht darin,

- eine Verhaltensklasse vor der Maßnahme mit ihrer zugehörigen Standardfunktion zu ermitteln und
- diese Verhaltensklasse in Abhängigkeit von der jeweiligen Maßnahmeart und dem Ausmaß, in dem die durch Mängelklassen gekennzeichneten Schadensursachen beseitigt werden, ggf. zu verändern. Für die Beschreibung des Zustandsverlaufs nach der Maßnahme kommt dann die Standardfunktion der veränderten Verhaltensklasse zum Ansatz.

Für den „Nichts-tun“-Fall ohne Maßnahme haben die Verlaufsfunktionen zur Beschreibung des Zustandsverlaufs die folgende Form:

$$Z_o(t) = 1 + a_o \cdot t^{b_o}$$

mit

$Z_o(t)$ Zustandsverlauf für die jeweiligen Merkmale ohne Maßnahme

t Zeit in Jahren,

a_o, b_o Verlaufs-Koeffizienten für „Nichts-tun“.

Die Verlaufs-Koeffizienten a_o und b_o nehmen konkrete Zahlenwerte an, unterscheiden sich aber für die einzelnen Merkmale und die homogenen Abschnitte. Wie Abb. 7 zeigt, ist die Fläche unter der Verlaufskurve ohne Maßnahme für die Wirksamkeitsermittlung ab dem Zeitpunkt t_m von Interesse, an dem eine Maßnahme eingeplant ist. Sie muss von diesem Zeitpunkt an bis zum Ende des Betrachtungszeitraums t_b , über den die Bewertung läuft und der den kürzeren Prognosezeitraum einschließt, bestimmt werden. Dafür gilt:

$$F_o = (t_b - t_m) \cdot (a_o \cdot (t_b^{b_o + 1} - t_m^{b_o + 1})) / (b_o + 1)$$

mit

F_o Fläche „unter der Verlaufskurve“ ohne Maßnahme

t_b letztes Jahr des Betrachtungszeitraums,

t_m Jahr der vorgesehenen Maßnahme,

a_o, b_o Verlaufs-Koeffizienten (für jeweiliges Zustandsmerkmal und den betrachteten homogenen Abschnitt)

Wird, wie in Abb. 7, der schlechtest mögliche Zustandswert 5,0 erreicht, verläuft die Verlaufskurve künftig auf diesem Wert. Der entsprechende Zeitpunkt t_5 kann wie folgt ermittelt werden:

$$t_5 = (4 / a_o)^{(1/b_o)}$$

mit

t_5 Zeitpunkt zu dem der Zustandswert 5,0 erreicht wird

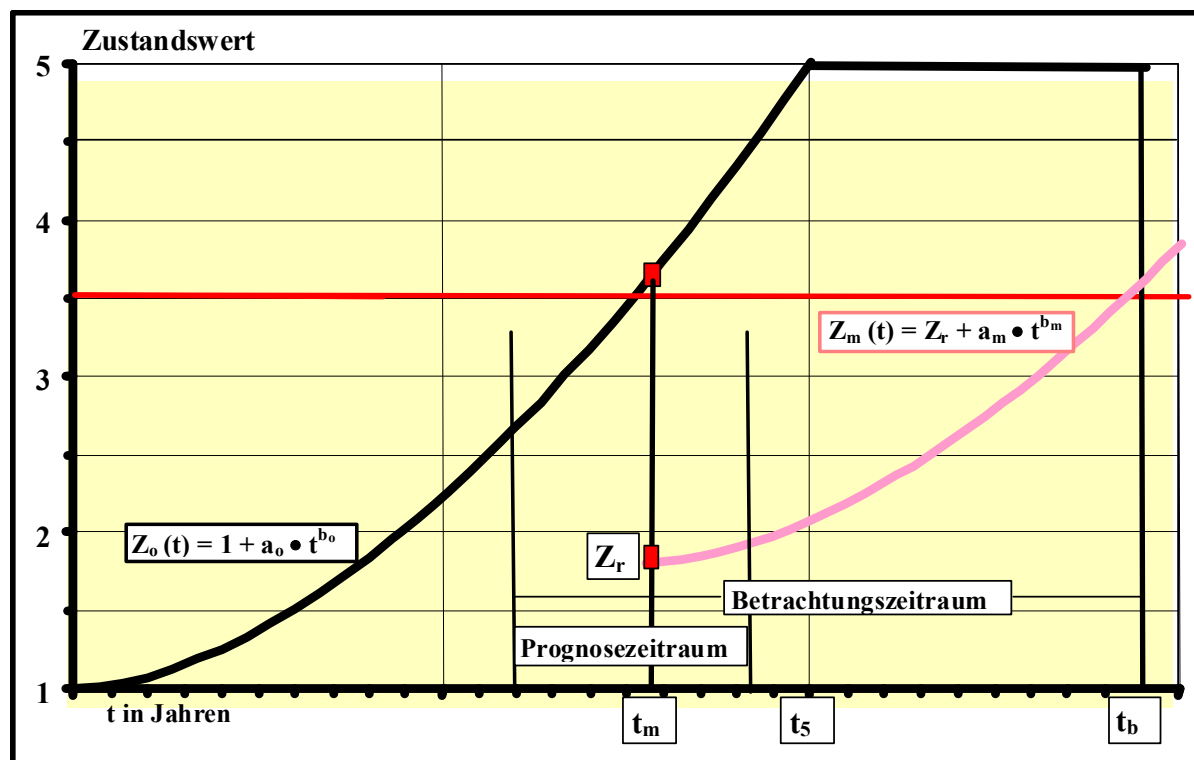


Abb. 7: Schematische Darstellung zum Zustandsverlauf ohne und mit Maßnahme

Für t_5 sind bei der Flächenermittlung folgende Sonderfälle zu betrachten
 (bei F_o ist in der obigen Beziehung jeweils t_b durch t_5 zu ersetzen):

1. $t_m < t_5 \leq t_b$: $F_o = F_o + (t_b - t_5) \cdot 5$
2. $t_5 \leq t_m$: $F_o = F_5 = (t_b - t_m) \cdot 5$

Die Fläche unter der Verlaufskurve mit Maßnahme ist abhängig vom zurückgesetzten Zustandswert Z_r und der Verlaufsfunktion nach der Maßnahme. Die von der Verhaltensklasse vorher und von der Mängelklasse abhängigen Standardfunktionen für die Zustandsverläufe Z_m nach Maßnahmen können wie folgt ermittelt werden (s. Abb. 7):

$$Z_m(t) = Z_r + a_m \cdot t^{b_m}$$

mit

$Z_m(t)$ Zustandsverlauf für die jeweiligen Merkmale mit Maßnahme

Z_r zurückgesetzter Zustandswert nach der Maßnahme

t Zeit in Jahren

a_m, b_m Verlaufs-Koeffizienten für die Standardfunktion nach Maßnahmen

Für die Fläche F_m unter der Verlaufskurve mit Maßnahme gilt:

$$F_m = (Z_r - 1) \cdot (t_b - t_m) + Z_r \cdot (t_b - t_m) + (a_m \cdot (t_b^{b_m + 1} - t_m^{b_m + 1})) / (b_m + 1)$$

mit

F_m	Fläche „unter der Verlaufskurve“ mit Maßnahme
t_b	letztes Jahr des Betrachtungszeitraums,
t_m	Jahr der vorgesehenen Maßnahme,
a_m, b_m	Verlaufs-Koeffizienten (für jeweiliges Zustandsmerkmal und den betrachteten homogenen Abschnitt)

Als Maß für die Wirksamkeit einer Maßnahme für ein Zustandsmerkmal i (und einen homogenen Abschnitt) kann gesetzt werden:

$$\Delta F_i = F_o - F_m$$

Die Maßnahme mit der größten Flächendifferenz ΔF_i bringt für den betrachteten homogenen Abschnitt und das jeweilige Zustandsmerkmal i die höchste Wirksamkeit. Wenn die Maßnahme gesucht wird, die für alle Merkmale zusammen die höchste Wirksamkeit bringt, müssen die Flächendifferenzen für die einzelnen Merkmale i addiert werden:

$$\Delta F = \sum \Delta F_i$$

Die Maßnahme mit der größten Gesamtlächendifferenz ΔF bringt für den betrachteten homogenen Abschnitt und alle Zustandsmerkmale die höchste Wirksamkeit. Dabei werden die Zustandsmerkmale als gleich wichtig eingestuft. Wenn diesbezüglich noch Unterschiede berücksichtigt werden sollen, kann alternativ der folgende gewichtete Ansatz gewählt werden:

$$\Delta F_i = g_1 \cdot \text{Max} (\Delta F_{\text{AUN}} ; \Delta F_{\text{SPT}}) + g_2 \cdot \Delta F_{\text{GRI}} + g_3 \cdot \Delta F_{\text{SUG}}$$

mit

ΔF_{AUN}	Flächendifferenz für die Allgemeinen Unebenheiten
ΔF_{SPT}	Flächendifferenz für die Spurrinnen
ΔF_{GRI}	Flächendifferenz für die Griffigkeit
ΔF_{SUG}	Flächendifferenz für den Substanzwert
g_j	Gewichtsfaktoren ($\sum g_j = 1$)

Bei der Ermittlung der Wirksamkeit nach der beschriebenen Verfahrensweise wurde im PMS die vor 2015 angewendete Zustandsbewertung durch das seit 2015 gebräuchliche Bewertungsverfahren ersetzt. Neben den Zustandsmerkmalen der ZEB, die im Wesentlichen den Zustand der Fahrbahnoberfläche beschreiben, wird bei der Wirksamkeitsbewertung auch der Substanzwert-Bestand berücksichtigt. Dieser Substanzwert-Bestand bewertet die tiefer liegenden Befestigungsschichten in Abhängigkeit der Schichtart und des Schichtalters in der Relation zur Schwerverkehrsbeanspruchung (FGSV 2003). Das PMS wurde auch im Hinblick auf den Substanzwert-Bestand entsprechend neueren Erkenntnissen (Krause, Maerschalk 2014) aktualisiert.

Ermittlung der Kosten

Zu den Kosten gehören grundsätzlich alle Aufwendungen, die für den Straßenbaulastträger anfallen. Die Straßenbaulastträgerkosten S werden wie folgt ermittelt:

$$S = \sum_{t=1}^n (B_t + U_t + I_t + E_t) + W_n$$

mit

- n Betrachtungszeitraum in Jahren
- B_t Kosten der Investitionsmaßnahmen (Baukosten) im Jahr t
- U_t Unterhaltungskosten im Jahr t
- I_t Instandsetzungskosten im Jahr t
- E_t Erneuerungskosten im Jahr t
- W_n Wertverlust am Ende des Untersuchungszeitraums.

Die Kosten für die bauliche Unterhaltung werden separat mit Hilfe von Pauschalsätzen (Euro pro m^2 und Jahr) ermittelt. Bei der Erhaltungsplanung werden die (Neu-) Baukosten B_t vernachlässigt, da sie meist lange vor Beginn des Prognosezeitraums angefallen und oft nur mit großen Schwierigkeiten rückwirkend ermittelbar sind. Sie spielen bei der abschnittswisen Bewertung der Strategien ohnehin keine Rolle, da sie für einen bestimmten Abschnitt jeweils gleich groß sind. Der Wertverlust W_n am Ende des Betrachtungszeitraums kann bei der Wahl einer Zeitspanne, die deutlich länger ist als der Prognosezeitraum (z. B. 25 Jahre bei einem 15-jährigen Prognosezeitraum), vernachlässigt werden. Da zudem im Prognosezeitraum i. A. nur eine Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahme anfällt, ergeben sich die Baulastträgerkosten S_E wie folgt:

$$S_E = \sum_{t=1}^n M_t$$

mit

- M_t Instandsetzungs-/Erneuerungsmaßnahme im Jahr t

Die Kosten für Instandsetzungs-/Erneuerungsmaßnahmen fallen normalerweise zu verschiedenen Zeitpunkten innerhalb des Prognosezeitraums an. Gleiche Kostenwerte, die unterschiedlichen Zeitpunkten zugeordnet sind, werden bei ökonomischen Kostenermittlungen i. A. verschieden bewertet. Diese zeitabhängigen Kostenveränderungen können durch einen inflationsbereinigten Diskontsatz (Verzinsung) berücksichtigt werden. Damit ergeben sich die „aktualisierten“ Baulastträgerkosten $S_{E,a}$ wie folgt:

$$S_{E,a} = S_E \cdot (1 + p)^{-t}$$

- mit p inflationsbereinigter Diskontsatz (z. B. 3 %).

Wenn eine Aktualisierung der Kosten erfolgt, müssen auch die Wirksamkeiten aktualisiert werden.

Die Absolutkosten $S_{E,a}$ für die Instandsetzung oder Erneuerung ergeben sich aus den vorgehaltenen Einheitspreisen der Erhaltungsmaßnahmen (in Euro pro Einheit, s. **ANHANG 1 - Datendokumentation**) nach einer Multiplikation mit den relevanten Abmessungen (Längen in m, Flächen in m^2 , Volumen in m^3) der jeweiligen homogenen Abschnitte.

2.5 Netzweite Optimierung der bewerteten Erhaltungsmaßnahmearten

Die Frage, ob bei der Betrachtung des gesamten Analysenetzes für jeden homogenen Abschnitt die Maßnahme mit dem jeweils besten Wirksamkeits-Kosten-Verhältnis vorgeschlagen wird, hängt von den verfügbaren Finanzmitteln des Erhaltungsbudgets ab. Wenn dieses Budget z. B. im Rahmen eines Finanzszenarios begrenzt ist, können in der Regel nicht die absolut günstigsten, sondern nur die im Budgetrahmen optimalen Maßnahmen vorgeschlagen werden. Für die objektive Auswahl dieser optimalen Maßnahmen muss bei größeren Analysenetzen ein Optimierungsverfahren angewendet werden.

Nach der Bewertung der Erhaltungsmaßnahmearten können für jeden einzelnen homogenen Abschnitt alle zulässigen Maßnahmealternativen nach dem Wirksamkeits-Kosten-Verhältnis gereiht werden („Alternativen- oder auch Variantenreihung“, Abb. 3 – Modul 6). Für jeden homogenen Abschnitt ergibt sich, gekennzeichnet durch Maßnahmeart und Maßnahmejahr, eine optimale Strategie, die für einen speziellen homogenen Abschnitt das günstigste Wirksamkeits-Kosten-Verhältnis hat.

Von Interesse ist normalerweise nicht so sehr, welche Strategien für die Einzelabschnitte optimal sind, sondern welche Strategien im Netzzusammenhang, d. h. bei gleichzeitiger Betrachtung aller Abschnitte, realisierbar sind. Dies wird im PMS-Ablauf mit einer netzbezogenen Optimierung entschieden (Abb. 3 – Modul 7).

Die Frage, ob bei Betrachtung des gesamten Analysenetzes die abschnittsbezogen optimalen, weiter hinten in den Variantenreihungen stehende oder eventuell überhaupt keine Maßnahme möglich sind, hängt von den verfügbaren Erhaltungsmitteln ab (Budget), die bei den sog. Finanzszenarios vorgegeben sind. Die netzbezogene Optimierung aller für die einzelnen Abschnitte ermittelten Maßnahmevarianten kann dann erfolgen unter

- Vorgabe der Zielfunktion „maximaler Wirksamkeitszuwachs bei ansteigenden Kosten“,
- Berücksichtigung von finanziellen Restriktionen aus den Budgetvorgaben.

Für die Optimierung werden die gemäß Kap. 2.4 ermittelten, noch nicht mit geometrischen Dimensionen (Abschnittslänge bzw. -fläche) normierten Wirksamkeitswerte ΔF mit den Verkehrsstärken (z. B. DTV in Kfz/24 h) und den Abschnittsflächen der homogenen Abschnitte multipliziert. Bei gleichen Wirksamkeitswerten ΔF wird damit Abschnitten mit stärkeren Verkehrsbelastungen eine höhere Priorität eingeräumt als Abschnitten mit niedrigeren Verkehrsstärken.



Abb. 8: „Konvex Einhüllende“ des Nutzen-Kosten-Profiles für sechs exemplarische Maßnahmen

Das Grundprinzip des Optimierungsverfahrens ist in Abb. 8 schematisch veranschaulicht (s. dazu *Heller, Bühler, Jeuthe 1997*). Auf der Abszisse eines zweidimensionalen Koordinatensystems werden dazu die Kostenwerte und auf der Ordinate die Wirksamkeitswerte von abschnittsbezogenen „Strategien“ aufgetragen (Strategie = Maßnahmengart + Maßnahmehjahr + Maßnahmekosten + Maßnahmewirksamkeit). Ausgehend vom Koordinatenursprung, der den „Nichts-tun“-Fall repräsentiert, werden damit alle Strategievarianten aller Abschnitte des betrachteten Analysenetzes in aufsteigender Rangfolge sortiert. Aus dieser Rangfolge können zunächst alle Strategien ausgeschlossen werden, die offensichtlich ineffektiv sind. Ineffektiv ist eine Strategievariante („S2“ in Abb. 8) dann, wenn mindestens eine andere Strategie existiert, die sowohl niedrigere Kosten als auch eine höhere Wirksamkeit aufweist („S1“ in Abb. 8).

Nach Ausschaltung der ineffektiven Strategievarianten kann ein Wirksamkeits-Kosten-Profil in Form einer „konvex Einhüllenden“ erstellt werden. Wenn bei einer relativ starken Kostenzunahme ein unterproportionaler Wirksamkeitszuwachs zu verzeichnen ist, entsteht, bezogen auf die konvex Einhüllende, eine konkave „Beule“ (Strategie „S4“ in Abb. 8, der durch die Steigung „S3 – S4“ repräsentierte Wirksamkeitszuwachs entspricht nicht dem durch die

Einhüllende bezeichneten Optimum). Im Sinne der Zielfunktion „maximaler Wirksamkeitszuwachs“ wäre auch diese Strategie auszuschließen; für bestimmte Fragestellungen, z. B. bei der möglichst vollständigen Ausschöpfung der verfügbaren Erhaltungsmittel, werden diese Varianten jedoch noch in Reserve gehalten. In der schematischen Darstellung in Abb. 8 erbringt Strategie „S6“ die maximale Wirksamkeit, wenn die Kosten durch das verfügbare Budget gedeckt sind. Ist dies nicht der Fall, kann sich im Netzbezug eine andere Strategie (z. B. „S 3“ in Abb. 8) als optimal erweisen.

Mit dem in Abb. 8 schematisch veranschaulichten Verfahren werden alle Strategien aller Abschnitte des Analysenetzes in eine Rangfolge gebracht. Die am besten bewertete Strategie im gesamten Netz wird auf den ersten Platz gesetzt, die zweitbeste Strategie auf den zweiten Platz usw. Dabei ist es möglich, dass aufeinanderfolgende Strategien (z. B. die erste und die zweite) für ein- und denselben Abschnitt ermittelt werden. Aus dieser Reihung aller Strategievarianten über den gesamten Prognosezeitraum für alle homogenen Abschnitte im Analysenet werden den Einzelabschnitten die optimalen Strategien zugewiesen. Dabei wird die Reihung in absteigender Folge durchlaufen, wobei die kumulierten Kosten des ausgewählten Strategieprogramms verfolgt und mit dem verfügbaren Budget verglichen werden. Eine für einen bestimmten Abschnitt ausgewählte Strategie ersetzt eine vorher gewählte Strategie für den betreffenden Abschnitt nur dann, wenn die zweite Strategie eine höhere Wirksamkeit erbringt und genügend Finanzmittel aus dem vorgegebenen Budget übrig sind. Je nach Höhe der vorgegebenen Mittel müssen dabei nicht immer die Strategien, die für die einzelnen Abschnitte das größte Wirksamkeits-Kosten-Verhältnis aufweisen, auch im netzweiten Zusammenhang optimal sein. Die Optimierung endet, wenn für alle zur Erhaltung anstehenden Abschnitte des Analysenetzes eine Strategie gewählt wurde oder die Mittel erschöpft sind. Im Endergebnis wird ein Maßnahmenprogramm ausgewiesen, das die optimalen Strategien aufzeigt, die im verfügbaren Budgetrahmen möglich sind.

Die Ergebnisse der je nach Finanz- bzw. Zielvorgaben erfolgten Optimierung werden in einer Ergebnisdatei des PMS abgelegt, die in Standardsoftware überführt werden kann (MS-Access oder MS-Excel). Die wesentlichen Ergebnisse des 3. Rechenlaufs finden sich in **ANHANG 3 – Ergebnisse**.

Literatur:

- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV 2003)
Arbeitsausschuss Systematik der Straßenerhaltung:
FGSV-Arbeitspapier Nr. 9/S zur Erhaltungsplanung. Reihe S Substanzwert (Bestand). Ausgabe 2003.
Köln.
- Grätz, B.(1997):
Rücksetzbereiche und Folgeverhaltensfunktionen von Erhaltungsmaßnahmen. FE 04.173 G95B im Auftrag des BMV, Versuchsanstalt für Straßenwesen der TH Darmstadt, 1997
- Heller, S.; Bühler, B.; Jeuthe, U. (1997):
Weiterentwicklung von Untersuchungsansätzen zur Optimierung der objektbezogenen Erhaltungsplanung in Teilnetzen unter Berücksichtigung finanzieller Restriktionen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik Heft 739. Bonn-Bad Godesberg, 1997.
- Hinsch, K.; Krause, G.; Maerschalk, G.; Rübensam, J (2002).:
Standardprognose des Erhaltungsbedarfs der Fernstraßeninfrastruktur bis 2015. Schlussbericht zum Projekt-Nr. 28.004/199/ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. München, Dezember 2002.
- Krause, G (2000):
Abgrenzung von Mängelklassen zur Kennzeichnung von Schadensursachen mit Hilfe meßtechnisch erfasster Bestands- und Zustandsmerkmale. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 790, Bonn-Bad Godesberg 2000.
- Krause, G.; Maerschalk, G. (2014):
Weiterentwicklung des Substanzwertes Gesamt im PMS. Schlussbericht zum Forschungs- und Entwicklungsprojekt FE 04.228/2009/MRB des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen. SEP Maerschalk, November 2014.
- Maerschalk, G.; Krause, G.; Hinsch, K. (2012):
Überprüfung und Aktualisierung der Erhaltungsbedarfsprognose der Bundesfernstraßen. Projekt-Nr. 28.0021/2007/ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. SEP Maerschalk, München, März 2012
- Rübensam, J.; Schulze, F. (1996):
Entwicklung einer Methodik zur zweckmäßigen Zusammenfassung maßnahmebedürftiger Abschnitte der BAB-Betriebsstrecken auf der Grundlage von Zustands- und Bestandsdaten. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 736. Bonn-Bad Godesberg, 1996.