

## Abschätzung des Restwertes im PMS am Ende des Bewertungszeitraumes

FA 4.207

Forschungsstellen: Hochschule Karlsruhe, Technik und Wirtschaft (Prof. Dr.-Ing. M. Stöckner)

Technische Universität Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau (Prof. Dr.-Ing. habil. F. Wellner)

IB Krause, Rietschen

HELLER Ingenieurgesellschaft mbH, Darmstadt

Bearbeiter: Komma, C. / Wellner, F. / Stöckner, M. / Krause, G. / Blasl, A. / Sagnol, L. / Brzuska, A. / Sommer, V.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: November 2019

### 1 Aufgabenstellung

Ziel des Forschungsvorhabens war es, durch die realitätsnähere Ermittlung des strukturellen Substanzwerts, auf Grundlage der Entwurfsfassung der "Richtlinien zur Bewertung der strukturellen Substanz des Oberbaus von Verkehrsflächen in Asphaltbauweise" (RSO Asphalt) anstelle des momentan angewendeten Arbeitspapiers 9, Reihe S (AP 9/S), die Ergebnisqualität der rechnergestützten Erhaltungsplanung netzweit und objektscharf zu erhöhen, die Erhaltung nachhaltig zu planen und den Straßenzustand durch zielgerichteten und wirtschaftlichen Einsatz der verfügbaren Erhaltungsmittel langfristig verbessern zu können.

Mit dem direkten Vergleich der Berechnungsergebnisse nach dem AP 9/S und der RSO Asphalt sollte das Verbesserungspotenzial für netzweite Betrachtungen abgeschätzt und die Einsatzmöglichkeiten für Asphaltbefestigungen anhand geeigneter Untersuchungen an beprobten Straßenabschnitten aufgezeigt werden. Die Berechnungsergebnisse nach den RSO Asphalt waren für den netzweiten Praxiseinsatz mit dem Pavement Management System (PMS) aufzubereiten.

Der direkte Vergleich der beiden Verfahren erfolgte auf Objektebene. Die Ergebnisse der Berechnungen mit der RSO-Methodik wurden den nach dem AP 9/S ermittelten Substanzwerten für die beprobten Strecken gegenübergestellt.

Zur Einbindung der RSO Asphalt in den PMS-Prozess waren zunächst Datenanforderungen, Schnittstellen und Art der Integration innerhalb des Gesamtkonzepts zu definieren, um danach eine möglichst automatisierte Berechnung nach den RSO Asphalt vornehmen und die Ergebnisse in das PMS übernehmen zu können. Zur Berücksichtigung zusätzlicher Informationen und Kennzahlen waren Anpassungen in der Konfiguration des PMS erforderlich. Für den netzweiten praktischen Einsatz waren Anforderungen zur Erweiterung des Input/Output-Moduls für das PMS (PMS I/O) zu formulieren.

Parallel zur Erarbeitung der theoretischen und verfahrenstechnischen Grundlagen wurde ein geeignetes Analysenetzt ausgewählt und die erforderlichen Grunddaten zusammengestellt.

Basierend darauf wurden die Berechnungen nach den RSO Asphalt vorgenommen und das PMS in der neuen (adaptierten) sowie in der ursprünglichen Konfiguration auf das Analysenetzt angewendet. Dieses Vorgehen ermöglichte die vergleichende Bewertung der Auswirkungen der verschiedenen Verfahren auf die Ergebnisse der PMS-Rechnung und die Erhaltungsplanung.

### 2 Methodik

Um die oben genannten Ziele und Aufgaben im Rahmen des Projekts erfüllen zu können, musste zunächst eine ausführliche Literaturanalyse zu Themen rund um die Restwertabschätzung im PMS durchgeführt werden. Dazu wurde in den folgenden Bereichen recherchiert: systematisches Erhaltungsmanagement, PMS, Datenerfassung, Aufbereitung und Analyse im Bereich des Erhaltungsmanagements sowie strukturelle Bewertung von Straßenbefestigungen. Auf Grundlage der Literaturanalyse wurden zwei Grundmodelle zur Berücksichtigung der RSO Asphalt in einem PMS entwickelt (Abschnitt 3.1).

In einem weiteren Schritt wurden sogenannte "allgemeingültige Materialeigenschaften" als Grundlage für die RSO-Berechnungen des zuvor definierten synthetischen Analysenetzes, bestehend aus rund 500 realen Abschnitten, ermittelt (Abschnitt 3.2). Auf Grundlage des AP 9/S und der RSO Asphalt wurden für das Analysenetzt Nutzungs- und Restnutzungsdauern ermittelt, um darauf aufbauend einen PMS-Rechenlauf durch Nutzung eines der entwickelten Grundmodelle durchzuführen.

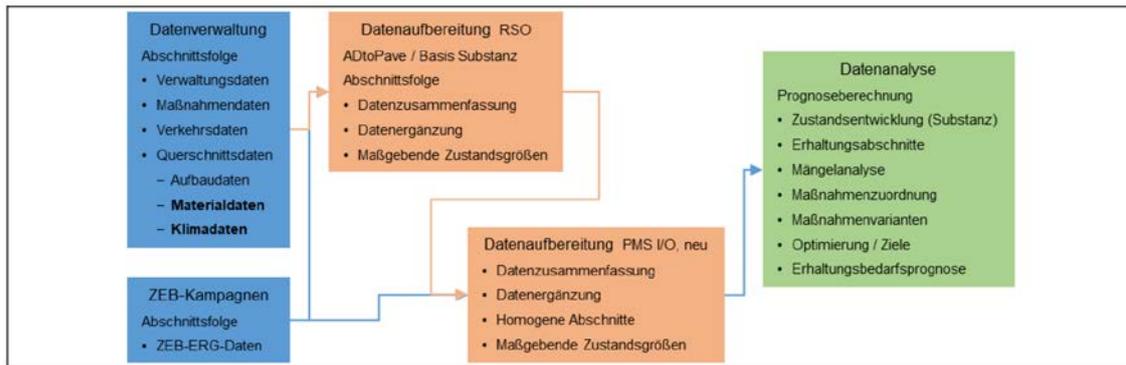
### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Grundmodell zur Berücksichtigung der RSO Asphalt in einem PMS

Im derzeitigen PMS werden als Kriterium für die Bewertung der Substanz eines Befestigungsaufbaus die Rechenergebnisse des AP 9/S verwendet. Grundgedanke des Forschungsauftrags war es, das Verfahren des AP 9/S direkt durch das Bewertungsverfahren der RSO Asphalt zu ersetzen. Ausgehend von den bisherigen Erkenntnissen waren dabei folgende Grundanforderungen im gesamten Verfahrensablauf (Datenhaltung, Datenaufbereitung, PMS-Berechnung) zu berücksichtigen:

- In der Datenbank müssen abschnittsbezogen, zusätzlich zu den Aufbaudaten, auch materialbezogene Daten für Asphaltbefestigungen vorgehalten werden.
- Bei der Bewertung der Berechnungsergebnisse, ermittelt auf der Grundlage der RSO Asphalt, muss ein Bewertungshintergrund aufgestellt werden, der im Idealfall der Wertesynthese der Zustandserfassung und -bewertung entspricht. Dies hängt im Detail jedoch von der tatsächlichen Integration der RSO Asphalt in den gesamten Berechnungsablauf ab, der nicht zwingend analog zum bisherigen Berechnungsablauf sein muss.
- Das Verfahren muss in den Berechnungsablauf des PMS integriert werden.

Dabei fiel die Wahl zwischen direktem und indirektem Ersatz des AP 9/S durch die RSO Asphalt in dem Forschungsvorhaben auf den direkten Ersatz (Bild 1).



**Bild 1: Struktur des Erhaltungsmanagements mit direkter Einbindung der RSO**

Der direkte Ersatz des AP 9/S ist im derzeitigen Programm PMS I/O nicht ohne eine Programmerweiterung möglich, weshalb wie folgt vorgegangen wurde:

- Die abschnittsbezogenen Daten werden in das Programm ADtoPave übernommen und es wird abschnittsweise die jeweilige Restnutzungsdauer des Aufbaus nach den RSO Asphalt berechnet. Ergebnis ist eine abschnittsbezogene Datei mit den wesentlichen Kenngrößen zur Substanzbewertung.
- Diese Datei wird in das PMS I/O übernommen, dort wird der Substanzwert (RSO Asphalt) berechnet und die gesamten Daten werden analog zum bisherigen Verfahren weiterverarbeitet.
- Im Rechenalgorithmus des PMS müssen an verschiedenen Stellen Änderungen beziehungsweise Modifikationen durchgeführt werden. Dies betrifft in erster Linie die Beschreibung der Zustandentwicklung für den Substanzwert (RSO Asphalt) sowie darauf aufbauend Modifikationen bei der Maßnahmenzuordnung, den Maßnahmenvarianten und der Optimierung.

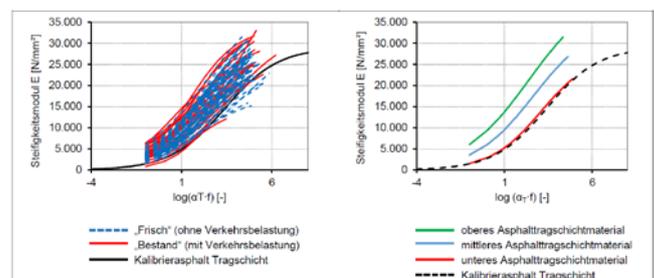
3.2 "Allgemeingültige Materialeigenschaften"

Um den durch objektspezifische Beprobungen notwendigen zeitlichen und finanziellen Aufwand für eine Restsubstanzbewertung von Asphaltbefestigungen nach den RSO Asphalt auf Netzebene zu reduzieren, wurden im Rahmen des Forschungsprojekts "allgemeingültige Materialeigenschaften" für das Steifigkeitsverhalten von Asphaltdeck-, -binder- und -tragschichten sowie für das Ermüdungsverhalten von Asphalttragschichten (ATS) auf Grundlage aller den Autoren zugänglichen Materialuntersuchungen ermittelt.

Dazu wurden, getrennt nach Schichtart sowie Steifigkeits- und Ermüdungskriterium, (repräsentiert durch Masterfunktionen, auch Hauptkurven genannt, und Ermüdungsfunktionen) die Ergebnisse aller als "brauchbar" eingestuft Datensätze zu Funktionsscharen zusammengefasst (Bild 2 (links), beispielhaft für die Hauptkurven der ATS). Um materialspezifische Ausrichtungen einzelner Funktionsscharen herauszuarbeiten, wurden weitere Kriterien einbezogen. Dabei wurden Materialien aus dem Bestand ("Bestand" (mit Verkehrsbelastung) und Materialien, die noch keine Verkehrsbelastung ertragen haben ("Frisch") untersucht. Ergebnis dieser Untersuchung war, dass der Bereich für die untersuchten Fälle, die in "blau" und "rot" dargestellten Funktionen, (Bild 2 (links))

weitestgehend deckungsgleich liegen. Das heißt, dass die natürlichen Streubreiten der Hauptkurven und Ermüdungsfunktionen der "frischen" Materialien, bedingt durch deren unterschiedliche Gemischzusammensetzungen (das heißt durch die verwendete Bindemittelart und -sorte, die volumetrische Zusammensetzung und anschließende Verdichtung), denen der bereits vorbelasteten Materialien (trotz zusätzlich ertragener Verkehrsbelastungen und verschiedener Alterungsprozesse) sehr ähnlich sind.

Aufgrund der ähnlichen Streubreiten der Materialgruppen wurde beschlossen, für nachfolgende Bearbeitungsschritte innerhalb des Forschungsvorhabens lediglich eine Differenzierung hinsichtlich der Materialart (bezogen auf die Schichtart) zu berücksichtigen. Die in einem Diagramm dargestellten Funktionen wurden somit jeweils einer Materialschar zugeordnet, die als Grundlage zur Ableitung "allgemeingültiger Materialeigenschaften" dient. Unter "allgemeingültigen Materialeigenschaften" sind innerhalb des Forschungsvorhabens materialspezifische Funktionen wie Hauptkurven und Ermüdungsfunktionen zu verstehen, die die erarbeiteten Funktionsscharen in definierte Bereiche einteilen und somit verschiedene Qualitätsstufen repräsentieren. Folglich wurden drei Funktionen unterschiedlichen Verhaltens selektiert (sowohl Hauptkurven als auch Ermüdungsfunktionen). Einzelne sichtlich abweichende Funktionen in den Randbereichen wurden nicht berücksichtigt. Die ausgewählten Funktionen werden nachfolgend als "obere", "mittlere" beziehungsweise als "untere" Funktionen bezeichnet und stehen für "vergleichsweise hohe/mittlere/geringe Steifigkeiten oder Ermüdungsfunktionen" (Bild 2 (rechts)).



**Bild 2: Hauptkurven aller in Betracht gezogenen Asphalttragschichtgemische (links), ausgewählte Hauptkurven für das Asphalttragschichtmaterial (rechts)**

## 3.3 Ergebnisse Vergleichsrechnungen

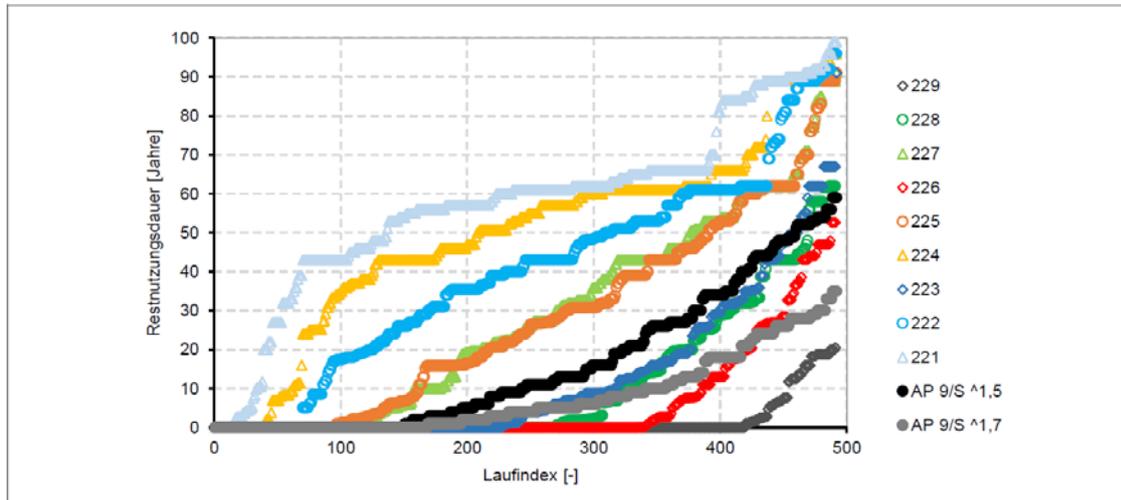
Bild 3 zeigt exemplarisch einen direkten Vergleich der nach den RSO Asphalt und dem AP 9/S berechneten Restnutzungsdauern, wobei sich die den RSO Asphalt zugrundeliegenden Berechnungsvarianten in der Wahl der ATS-Materialien (ATS\_1...ATS\_9) in den jeweils maßgebenden Asphalttragschichten und die AP 9/S-Berechnungen in der Wahl der Prognosefunktion unterscheiden. Der Bezeichnung der dargestellten Restnutzungsdauern kann die Kombination der "allgemeingültigen Materialeigenschaften" entnommen werden. Die erste Ziffer kennzeichnet das Asphaltdeckschichtmaterial (ADS\_2), die zweite Ziffer das Asphaltbinderschichtmaterial (ABS\_2), jeweils mit einer mittleren Steifigkeit, und die dritte Ziffer beschreibt die Kreuzkombination aus hoher, mittlerer und geringer Steifigkeit mit hoher, mittlerer und geringer Ermüdungsbeständigkeit in der ATS (Tabelle 1).

Der weitestgehend gleichmäßige Verlauf der beiden AP 9/S-Berechnungsergebnisse in Bild 3 resultiert aus dem in dem AP 9/S verwendeten Abschreibungsmodell (material- und zeitabhängige Abminderung der Schichtdicken). Die Verläufe der RSO-Berechnungsergebnisse weisen hingegen deutlich größere Unterschiede an möglichen (Rest-)Nutzungsdauern auf. Dies ist auf die unterschiedlichen Materialqualitäten zurückzuführen.

Nach derzeitigem Kenntnisstand ist es nicht möglich, die einzelnen Untersuchungsabschnitte des Analysenetzes jeweils einer Modellvariante auf Grundlage lokaler Gegebenheiten zuzuordnen. Eine eindeutige Zuordnung ist nur durch eine Beprobung der Einzelabschnitte im Sinne der RSO Asphalt möglich. Folglich können für die ausgewählten Untersuchungsabschnitte keine belastbaren Aussagen hinsichtlich der zu erwartenden Nutzungs- beziehungsweise Restnutzungsdauern getroffen werden

**Tabelle 1: Erläuterung der untersuchten Kombination der Materialeigenschaften in Bild 3**

Eigenschaften Asphaltmaterialien	„allgemeingültige Materialeigenschaft“								
Steifigkeitsmodul Deckschicht	mitte								
Steifigkeitsmodul Binderschicht	mitte								
Steifigkeitsmodul Tragschicht	oben			mitte			unten		
Ermüdungsfunktion Tragschicht	oben	mitte	unten	oben	mitte	unten	oben	mitte	unten
<b>Bezeichnung Legende</b>	221	222	223	224	225	226	227	228	229



**Bild 3: Beispielhafte Restnutzungsdauern aller Untersuchungsabschnitte**

## 3.4 Ergebnisse PMS-Berechnungen

Der Einfluss ausgewählter Kombinationen der Materialkennwerte auf die PMS-Ergebnisse wurde anhand verschiedener Vergleichsrechnungen untersucht. Als Standardkonfiguration wurde das aktuelle PMS-Setup mit dem Substanzwert (Bestand) nach dem AP 9/S verwendet. Zusätzlich zur Standardkonfiguration wurden die im Forschungsbericht erarbeiteten Parameter und Bedingungen in das PMS implementiert. Die Berechnungen erfolgten für das definierte Analysenet mit hinsichtlich der RSO Asphalt erweiterten Berechnungseingangswerten. Zur

Beurteilung der Ergebnisse wurden die zeitlichen Veränderungen (Zustandsentwicklung) des Gebrauchswerts, des Substanzwerts (Oberfläche), des Substanzwerts (Bestand) und der Restnutzungsdauern sowie die Flächenanteile der verschiedenen Maßnahmenkategorien für beide Konfigurationsvarianten des PMS gegenübergestellt und bewertet. Mit den Rechenläufen wurde nachgewiesen, dass die Methodik unter Berücksichtigung der nach den RSO Asphalt berechneten Restnutzungsdauern im PMS grundsätzlich anwendbar ist.

#### 4 Schlussfolgerungen für die praktische Anwendung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens konnte die Einbindung der RSO Asphalt in ein PMS ermöglicht und erstmalig angewendet werden. Aufgrund der geringen Anzahl an realen Beprobungsstrecken war es im Rahmen des Forschungsvorhabens nicht möglich, das Verfahren zu validieren. Um jedoch in Zukunft die Qualität der Ergebnisse der rechnergestützten Erhaltungsplanung netzweit und objektscharf erhöhen, die Erhaltung nachhaltig planen und den Straßenzustand durch zielgerichteten und wirtschaftlichen Einsatz der verfügbaren Erhaltungsmittel langfristig verbessern zu können, ist es notwendig, die realitätsnahe Ermittlung des strukturellen Substanzwerts voranzutreiben. Während die objektspezifische Bewertung der strukturellen Substanz von Asphaltbefestigungen nach den RSO Asphalt erfolgen kann, ist es für die realitätsnahe Ermittlung des strukturellen Substanzwerts auf Netzebene notwendig, eine statistisch hinreichende Anzahl beprobter Strecken zu analysieren, damit eine Verifizierung der netzweit anzuwendenden Materialkennwerte vorgenommen werden kann. Realitäts- und praxisnahe Ergebnisse sind nur zu erwarten, wenn abschnittsspezifisch ermittelte Materialkennwerte zugrunde gelegt werden und damit eine realistische Verteilung der Restnutzungsdauern errechnet wird.