

Bewertung der strukturellen Substanz nach dem Verfahren der RSO Asphalt

Dr.-Ing. Dirk Jansen, Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, 51427 Bergisch Gladbach
Tel. 02204 43 7700, jansen@bast.de

Mit den sogenannten RSO steht in Deutschland perspektivisch erstmals eine Regelwerksreihe zur Verfügung, die ein systematisches Vorgehen bei der Substanzbewertung auf Projektebene beschreibt. Zielgruppe sind sowohl öffentliche Straßenbaulastträger als auch private Betreiber. Für die Asphaltbauweise ist das Verfahren vollständig beschrieben, für die Betonbauweise befindet sich das Regelwerk in der Erstellung. Das Verfahren beruht auf den Prinzipien der rechnerischen Dimensionierung und erfordert die Prüfung an Bohrkernen innerhalb vorab definierter strukturell homogener Abschnitte. Zur Bildung der Abschnitte kommen insbesondere zerstörungsfreie Messverfahren zum Einsatz, die zukünftig auch eine stärkere Rolle bei der Beurteilung erhalten sollen. Die Übertragung der für die Anwendung auf Projektebene beschriebenen Prinzipien auf die Netzebene ist ein Ziel, dass in laufenden Forschungsprojekten verfolgt wird.

1 Einleitung

Das Straßennetz in Deutschland zählt zu den dichtesten und am stärksten belasteten weltweit. Die Verfügbarkeit der Infrastruktur besitzt daher eine übergeordnete Bedeutung. Die angemessene und ökonomische Planung und Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen ist unabdingbar. Hierzu bedarf es allerdings auch Methoden, die entsprechende Entscheidungen vorbereiten. Neben der Erfassung und Bewertung des Oberflächenzustandes gehört insbesondere die Substanzbewertung, also die Prognose der Restnutzungsdauer dazu. Mit dem neuen Regelwerk ‚Richtlinien zur Bewertung der strukturellen Substanz des Oberbaus‘ (RSO) wird hierzu erstmals ein standardisiertes Verfahren zur Verfügung stehen.

2 Das Regelwerk RSO

Die RSO sind ein nach den Bauweisen Asphalt und Beton getrenntes Regelwerk. Während der Entwurf der RSO Asphalt bereits fertiggestellt ist und sich vor der offiziellen Einführung in einer umfangreichen Testphase befindet, sind die RSO Beton noch im Entstehen.

Die RSO sind für die Anwendung auf Projekt- bzw. Objektebene konzipiert und können theoretisch auch zur Bewertung einer Bauleistung, bezogen auf die erreichbare Nutzungsdauer, zum Beispiel im Rahmen von Öffentlich Privaten Partnerschaften (ÖPP)-Projekten eingesetzt werden. Der Einsatz auf Netzebene ist ebenso theoretisch möglich, aber aufgrund des notwendigen Beprobungs- und Prüfungsaufwandes hinsichtlich Kosten und Nutzen gesondert zu bewerten. Im Rahmen von Forschungsprojekten wird derzeit geprüft, wie ein modifiziertes Verfahren zur Anwendung auf Netzebene aussehen könnte.

Die Bewertung ist üblicherweise nur für den am stärksten belasteten Fahrstreifen, dies ist in der Regel der rechte Fahrstreifen, durchzuführen. Sind Hinweise vorhanden, die eine Bewertung eines oder weiterer Fahrstreifen sinnvoll erscheinen lassen, so ist entsprechend zu verfahren. Das RSO-Verfahren ist prinzipiell für alle Straßenklassen und Verkehrsflächen anwendbar.

3 Die RSO Asphalt

Das nach den RSO Asphalt definierte Vorgehen lässt sich grob in vier Prozessschritte gliedern, siehe auch Abbildung 1. Zunächst werden strukturell homogene Abschnitte definiert, anschließend erfolgt eine Beprobung mittels Bohrkernentnahmen in jedem der strukturell homogenen Abschnitte. Die Bohrkern werden anschließend im Labor auf ihr Ermüdungsverhalten, ihre Steifigkeit sowie auf

Schichtenverbund geprüft. Abschließend erfolgt die Modellbildung, aus der dann die Restnutzungsdauer abgeleitet wird.

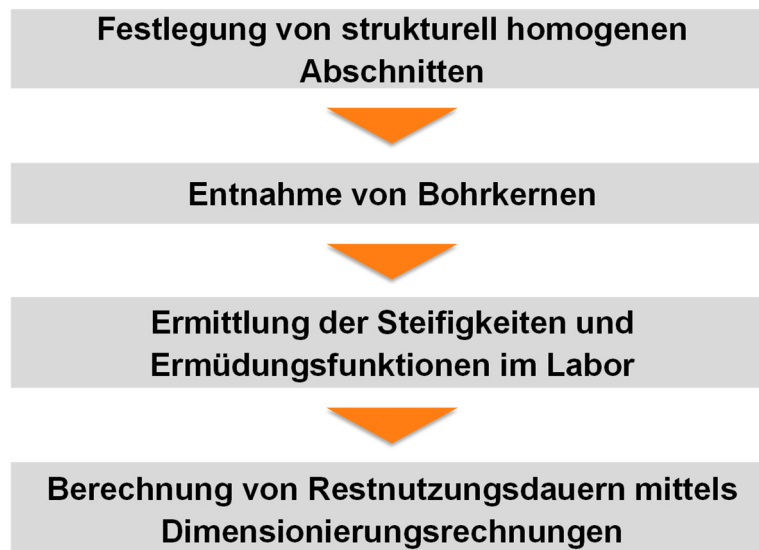


Abbildung 1: Prozessschritte RSO Asphalt

3.1 Bildung strukturell homogener Abschnitte

Es ist anzunehmen, dass Straßenabschnitte gleicher Bauweise, gleichen Alters, gleicher Verkehrsbelastung, mit gleichen Materialien und weiteren gleichen Kenngrößen in ähnlicher Weise über den bereits ertragenen Nutzungszeitraum sehr ähnlich geschädigt wurden, bzw. an Substanz verloren haben. Somit kann dann ein als strukturell homogen identifizierter Abschnitt des Gesamtprojektes einer über dessen Länge gleichen Bewertung zugeführt werden.

Die Herausforderung liegt darin, die strukturell homogenen Abschnitte zu identifizieren. Um es vorweg zu nehmen, sei angemerkt, dass dieser Prozessschritt sowohl von hoher Bedeutung ist, als auch ein hohes Maß an ingenieurtechnischem Sachverstand zur Bewertung verlangt, das heißt, dass reine rechtechnische und programmtechnische Betrachtungen derzeit nicht zu einem belastbaren Ergebnis führen. Im Fokus stehen bei der Abschnittsbildung insbesondere solche Kennwerte, die im Zusammenhang mit der Ermüdungsrissbildung, bzw. der Größe horizontaler Dehnungen an der Unterseite des Asphaltpaketes stehen, da hierauf das darauffolgende Bewertungsverfahren beruht. Somit sind zum Beispiel Oberflächenmerkmale nicht oder nur bedingt sinnvoll für die Abschnittsbildung zu verwenden. Diese sollten allenfalls zur Ursachenklärung verwendet werden.

Viele der notwendigen Daten können aus Bauakten und Straßendatenbanken entnommen werden. Es empfiehlt sich aber ausdrücklich Messungen in situ durchzuführen. Zu diesen Messungen gehören Tragfähigkeitsmessungen und Georadarmessungen. Hierbei ist darauf zu achten, dass geeignete Messparameter gewählt werden. Des Weiteren ist bei der Durchführung von Messungen auf eine exakte und eindeutige Georeferenzierung zu achten.

So ist bei stationär arbeitenden Tragfähigkeitsmessungen ein Messpunktabstand von maximal 25 m sinnvoll, kontinuierlich messende Verfahren, wie zum Beispiel das Traffic Speed Deflectometer (TSD), können ebenfalls eingesetzt werden. Die Messungen sind mit einer Belastung von 50 kN in der rechten Rollspur durchzuführen. Für die Bewertung, hinsichtlich der Abschnittsbildung, sind Kennwerte zu wählen, die zu dem oben erläuterten Versagenskriterium passend sind. Dies können zum Beispiel der SCI_{300} -Wert sein, der in Relation zur Dehnung an der Unterseite des Asphaltpaketes steht sowie Kennwerte zur Beschreibung der Untergrundtragfähigkeit.

Messungen mit dem Georadar (GPR) sind ebenfalls in der rechten Rollspur durchzuführen. Die Antennenmittelfrequenz sollte so gewählt werden, dass der gebundene Oberbau in ausreichender Qualität abgebildet wird. Üblicherweise sind 2 GHz-Antennen zu wählen. Die Scanrate sollte

mindestens 10 Samples/Meter betragen. Für die Bildung strukturell homogener Abschnitte ist die Bewertung der Radargramme ohne Bohrkerne zur Kalibrierung ausreichend, d.h. es kann zum Beispiel eine Permittivität von 7,0 angenommen werden. Eine Kalibrierung der GPR-Daten wird zu einem späteren Zeitpunkt erforderlich. Es sind daher gegebenenfalls repräsentative Bohrkernentnahmestellen bei der GPR-Auswertung zu definieren, die dann mit den Entnahmestellen für die Substanzbewertung zusammenfallen können, um die Anzahl der Bohrkerne zu optimieren, d.h. zu minimieren.

Die für die Abschnittsbildung gesammelten Daten sind jeweils in strukturell homogene Abschnitte zu unterteilen. Als Hilfsmittel kann hierfür das Verfahren der kumulierten Summe verwendet werden, welches mögliche Abschnittswechsel durch signifikante Abweichung vom Mittelwert, bzw. durch Steigungsänderung der Summenkurve der Abweichungen anzeigt, siehe Abbildung 2. Ein Signifikanztest (t-Test) wird zusätzlich zur weiteren Eingrenzung verwendet. Das Verfahren ist aber lediglich als Hilfsmittel zu verstehen, das heißt, dass die Ergebnisse ingenieurtechnisch zu prüfen sind. Die auf diese oder auch andere Weise hergeleiteten Abschnittsgrenzen werden für alle Datensätze bestimmt und anschließend vergleichend in grafischer Form dargestellt. Basierend darauf erfolgt die ingenieurtechnische Festlegung der strukturell homogenen Abschnitte durch Kombination der Merkmale, vgl. Abbildung 3.

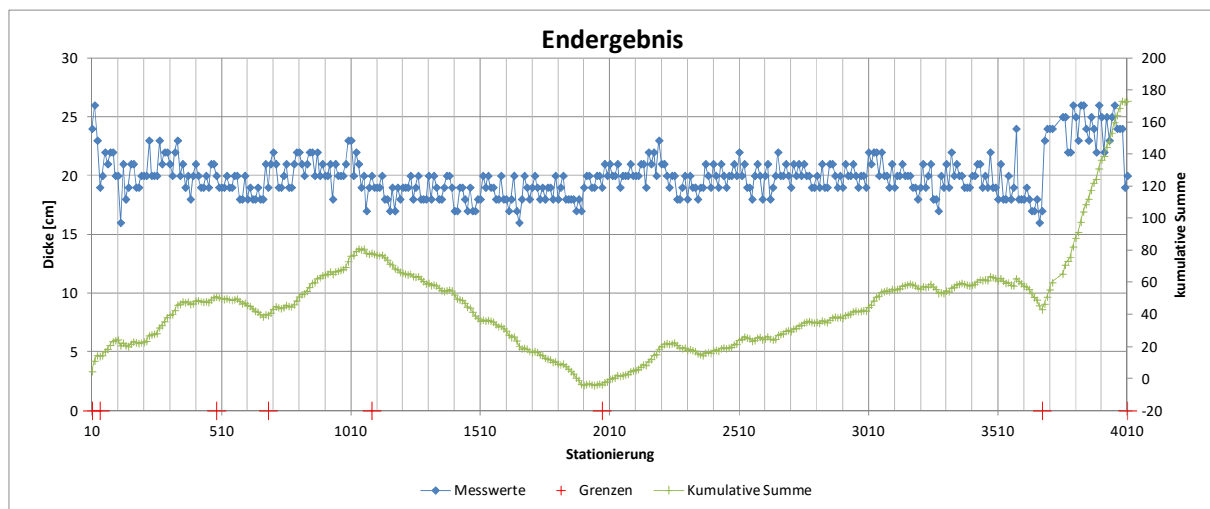


Abbildung 2: Beispiel für die Bildung strukturell homogener Abschnitte mit dem Verfahren der kumulativen Summe. Dargestellt sind Ergebnisse einer Georadarmessung (blau), die zugehörige kumulative Summenkurve (grün) sowie die vermuteten Abschnittsgrenzen nach Signifikanztest (rote Kreuze).

Dabei ist unter anderem auch auf die sinnvolle Zusammenführung gleichartiger oder sehr kurzer Abschnitte zu achten. Dies betrifft zum Beispiel auch den Fall, in dem ein möglicherweise zusammenhängender Abschnitt durch ein Brückenbauwerk getrennt wird. Für die Zusammenführung von Abschnitten sind dann auch die Datengrundlage im Original, also die Werteniveaus und andere Merkmale, zu betrachten.

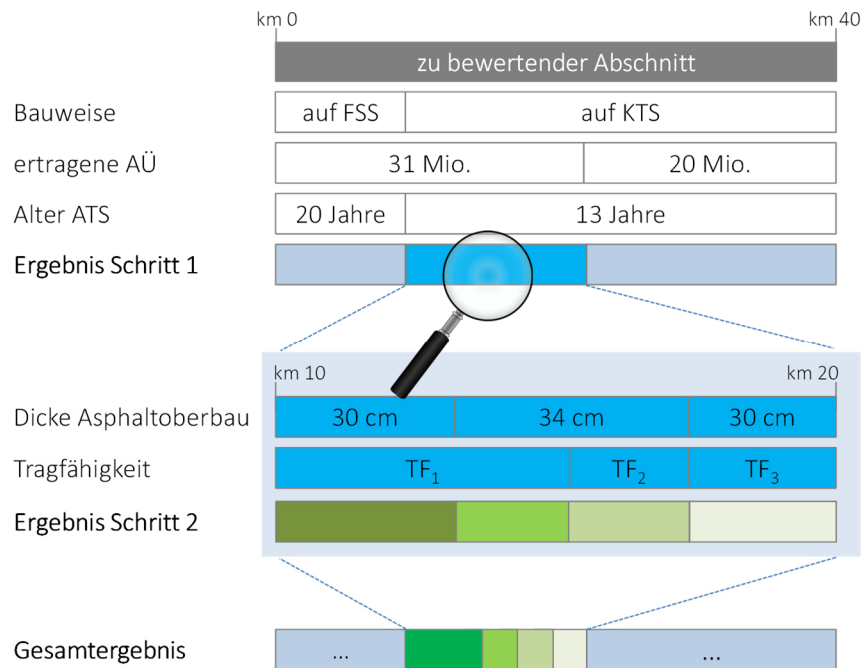


Abbildung 3: Beispiel und schematische Darstellung der kombinierten Auswertung zur Festlegung strukturell homogener Abschnitte

3.2 Entnahme von Bohrkernen

Pro strukturell homogenen Abschnitt ist eine Mindestzahl von Bohrkernen zu entnehmen. Für den ersten Kilometer eines Abschnitts sind mindestens 16 Bohrkern, für jeden weiteren Kilometer fünf Bohrkern zu entnehmen.

Die Beprobung kann als Abschnittsbeprobung oder Querschnittsbeprobung durchgeführt werden, siehe Abbildung 4. Bei der Abschnittsbeprobung werden die Bohrkern zufällig über den gesamten Abschnitt verteilt. Die Entnahmen erfolgen in der rechten Rollspur. Bei der Querschnittsbeprobung werden alle Bohrkern nahe der rechten Rollspur direkt und eng hinter- bzw. nebeneinander entnommen. Die Abschnittsbeprobung ist aus statistischen Gründen der Querschnittsbeprobung vorzuziehen, kann aber beispielsweise im Falle der Beprobung von Neubaulosen ausreichend sein.

Es sind jeweils Bohrkern auf voller Tiefe des Asphaltpaketes zu entnehmen. Ist kein Schichtenverbund mehr vorhanden, so sind nach Möglichkeit trotzdem alle Schichten bzw. Lagen zu entnehmen. Die Bohrkern müssen ohne Risse sein, ansonsten sind sie durch weitere Bohrungen zu ersetzen. Der bislang vorhandene Erfahrungshintergrund zeigt, dass eine sorgfältige Planung der Bohrkernentnahmestellen, die sowohl Aspekte der Verkehrssicherung als auch die Ergebnisse der zerstörungsfreien Untersuchungen berücksichtigt, wesentlich zur erzielbaren Tagesleistung und Klärung der Gesamtsituation beiträgt. So können zum Beispiel die gezogenen Bohrkern zur Schichtdickenkalibrierung der Georadarmessungen verwendet werden, und zur Klärung von lokalen Tragfähigkeitsproblemen, die nicht zur Abschnittsbildung geführt haben, dienlich sein.

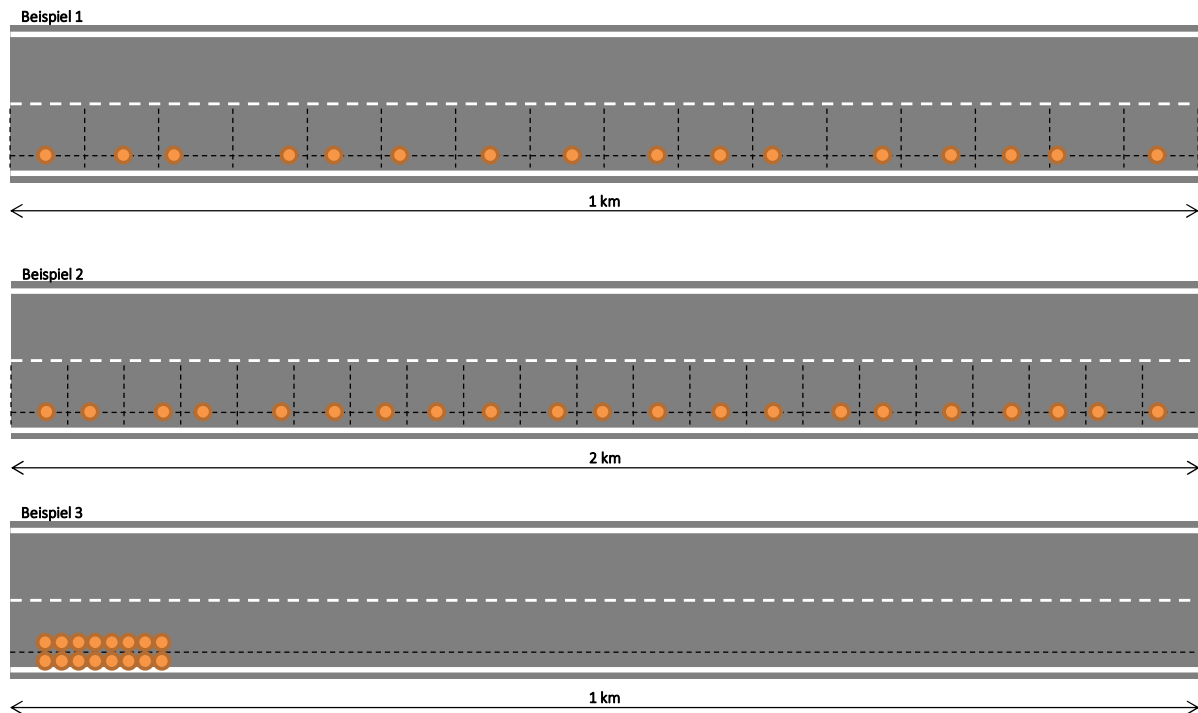


Abbildung 4: Beispiele für die Anzahl und Verteilung von Bohrkernentnahmepositionen: Beispiel 1 = Abschnittsbeprobung (16 Bohrkernentnahmepositionen) auf 1 km; Beispiel 2 = Abschnittsbeprobung (21 Bohrkernentnahmepositionen) auf 2 km; Beispiel 3 = Querschnittsbeprobung (16 Bohrkernentnahmepositionen) auf 1 km

Da die Substanz der Straße durch die Beprobung nicht geschädigt werden soll, ist auf einen hochwertigen Verschluss der Entnahmestellen zu achten. Im Falle der Beprobung von Neubaumaßnahmen kann die Entnahme auch vor dem Einbau der Deckschicht auf der Binderschicht erfolgen. Für die Bewertung sind dann geeignete Annahmen für die Deckschicht zu treffen.

3.3 Laborprüfungen

Mittels dynamischem Spaltzug-Schwellversuch erfolgt die Bestimmung der Temperatur-StEIFIGKEITS-Funktion für jede einzelne der entnommenen Asphalt-schichten. Mit demselben Prüfverfahren wird zudem an weiteren Probekörpern die Ermüdungsfunktion für die unterste wirksame Schicht oder Lage bestimmt. Dies ist die Lage bzw. Schicht, die als letzte nach oben hin vollständigen Schichtenverbund besitzt, also an ihrer Unterseite auf Ermüdung beansprucht wird. Zur Durchführung der Laborprüfungen gelten die Vorgaben der RDO Asphalt sowie die TP Asphalt-StB Teil 24 und 26.

3.4 Substanzbewertung

Die Berechnung der Restnutzungsdauer erfolgt analog dem in den RDO Asphalt beschriebenen Verfahren der rechnerischen Dimensionierung. Wesentlichster Unterschied dabei ist die Berücksichtigung anderer Sicherheiten. Dies wird dadurch begründet, dass Temperatur-StEIFIGKEITS-funktion, Ermüdungsfunktion und Schichtdicken denen der beprobten Straße entsprechen. Die Unsicherheiten der Dimensionierung bei Konzeptionierung und Prüfung vor der Bauausführung fallen also hierbei weitestgehend weg.

Für die Bestimmung der Restnutzungsdauer, bzw. der noch ertragbaren Lastwechsel, wird die Straßenbefestigung zunächst als Mehrschichtenmodell modelliert. Dabei wird das Asphaltpaket nach vorgegebenem Schema in Subschichten zerlegt sowie die weiteren gebundenen und ungebundenen Schichten jeweilig als vollständige Schicht belassen. Zudem werden für den Ort der Straße typische Temperaturgradienten und deren relative Auftretenswahrscheinlichkeit für den Prognosezeitraum bestimmt. Die relative Auftretenswahrscheinlichkeit von 26 Achslastklassen, mit jeweils einer Breite von einer Tonne im Bereich von 1 bis 26 Tonnen, wird ebenfalls bestimmt. Die Verfahren hierfür, Temperaturen und Lasten, werden dem korrespondierenden Regelwerk zur rechnerischen Dimensionierung, RDO Asphalt, entnommen.

Für den Verformungsmoduln und Steifigkeiten auf dem Planum und der darüber liegenden Schichten, außer dem Asphaltpaket, werden geeignete Annahmen gemäß den RDO Asphalt getroffen. Die Subschichten des Asphaltpaketes erhalten jeweils eine Steifigkeit, die aus den gegebenen Temperaturgradienten und der Temperatur-Steifigkeits-Funktion abgeleitet wird.

Das Mehrschichtenmodell wird mit einer Topflast, $r = 150$ mm, belastet. Die Größe der Last ergibt sich aus dem Maximum der jeweiligen Achslastklasse. Aus der Überlagerung von 13 Temperaturfällen und den 26 Lastfällen, ergeben sich somit 338 Berechnungsfälle für das Mehrschichtensystem, bei dem jeweils die maximale Dehnung an der Unterseite der maßgebenden Schicht oder Lage berechnet wird. Mittels der bekannten Ermüdungsfunktion werden dann für jeden Berechnungsfall die zulässige Anzahl der Lastwechsel bestimmt. Aus dem Quotienten aus prognostizierter Anzahl von Lastwechseln und zulässiger Anzahl von Lastwechseln, ergibt sich ein Summand nach Miner, der für jeden Belastungsfall berechnet wird. Die prognostizierte Anzahl von Lastwechseln, die verknüpft mit der Verkehrsbelastung (Fahrzeuge pro Zeiteinheit) die Restnutzungsdauer ergibt, ist dabei für den Fall zu bestimmen, bei dem die Miner-Summe kleiner oder gleich eins ist.

Das Verfahren kann sowohl deterministisch als auch probabilistisch verwendet werden. Bei deterministischer Vorgehensweise ist der oben erläuterte Berechnungsgang mit für den Abschnitt konstanten Steifigkeiten und Schichtdicken durchzuführen. Bei Anwendung des probabilistischen Verfahrens sind sowohl die Steifigkeiten, die Ermüdungsfunktionen als auch die Schichtdicken in Klassen zu überführen, die einer Häufigkeit zugeordnet sind. Der Berechnungsgang ist dann für alle Kombinationen der Klassen durchzuführen und daraus die Ausfallwahrscheinlichkeit des Abschnittes zu berechnen. Ein Abschnitt gilt als ausgefallen, wenn die Ausfallwahrscheinlichkeit 10 % (bei Autobahnen) übersteigt.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Mit den RSO wird in Deutschland erstmals ein systematisches Verfahren zur Substanzbewertung von Straßen auf Objektebene zur Verfügung stehen. Gestützt auf einem wachsenden Erfahrungshintergrund wird das Regelwerk weiterentwickelt. So soll beispielsweise zukünftig das Mehrschichtenverfahren durch FEM ersetzt werden. Ein entsprechendes Forschungsvorhaben ist in Bearbeitung, mit dem Ziel angemessene Berechnungszeiten bei gleichzeitiger Anwendung der Probabilistik zu erreichen. Des Weiteren wurden erste Schritte zur Anwendung des RSO-Prinzips auf Netzebene begonnen. Dies soll mittels Annahme typischer, klassifizierter Ermüdungs- und Steifigkeitsfunktionen erzielt werden. Es ist anzunehmen, dass zerstörungsfreie Messungen hierbei eine Rolle bei der Klassifizierung einnehmen werden.