

Rechnerische Potenzialermittlung bezüglich der Ermüdungs- und Verformungsresistenz von Decken aus Asphalt

FA 4.339

Forschungsstellen: GWT-TUD GmbH, Dresden

Technische Universität Dresden, Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau (Prof. Dr.-Ing. habil. A. Zeißler)

Bearbeiter: Zeißler, A. / Picht, A. / Weise, C. / Bremer, M.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: August 2024

1 Problemstellung

Die RDO Asphalt bietet ein rechnerisches Dimensionierungsverfahren zur Festlegung der Schichtdicken des Oberbaus basierend auf dem mechanischen Materialverhalten und realitätsnaher Verkehrsbelastung und Temperatur. Als maßgebender Nachweispunkt des Asphaltpakets wurde bislang nur die Unterseite der Asphalttragschicht in der Lastachse betrachtet. Der Ausfallzeitpunkt der Asphaltdecke aufgrund von "Top-Down-Cracking" fand im Zuge der Dimensionierung bislang keine umfängliche Berücksichtigung. Ein effizientes Erhaltungsmanagement erfordert die Kenntnis der Nutzungsdauer von Asphaltdeck- und Asphaltbinderschichten. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens erfolgt die Implementierung des erweiterten Berechnungsverfahrens für die Asphaltdecke.

Als Zielstellung in diesem Forschungsvorhaben wird eine Weiterentwicklung der Berechnungs- und Stoffmodelle verfolgt, die explizit die Alterung der Asphalte berücksichtigt und eine präzisere Einbeziehung der Verkehrsbelastung (Querverteilung des Schwerverkehrs) in den Dimensionierungs- und Prognoseprozess ermöglicht. Der Fokus liegt auf der Entwicklung einer Methode, die Alterung von Asphalt, Teilschädigungen durch Verkehrslasten sowie Frost-Tau-Wechsel (FTW) kombiniert. Ein Mehrschichtenmodell wird als bevorzugte Berechnungsmethode zur Bestimmung der Beanspruchungsgrößen verwendet, da es bei kürzeren Berechnungszeiten hinreichend genaue Ergebnisse liefert. Ein weiteres Ziel ist die Entwicklung einer Kalibrierprozedur für die Ermittlung des Potenzials von Asphaltdecken.

2 Untersuchungsmethodik

Die Literaturrecherche zu ozonbasierten Alterungsverfahren, Schadensbildern von Asphalt, den Einflüssen aus Frost-Tau-Wechseln und der Zugabe von Recyclingasphalt ergänzte die bestehenden Kenntnisse über die Alterungsmethoden und Berechnungsmodelle. Dabei wurden verschiedene Beanspruchungsarten auf Mikro-, Meso- und Makroebene betrachtet, um das

Alterungsverfahren zu optimieren und die Berechnungsmodelle für Asphaltdecken weiterzuentwickeln.

In Vorversuchen an reinem Bitumen konnte die Wirkungsweise des Alterungsverfahrens durch Ozon bei unterschiedlichen Temperaturen und Konditionierungsdauern abgeschätzt werden. Ebenfalls wurde die Auswahl des Ausgangsgases (Sauerstoff oder Luft) anhand chemischer und mechanischer Versuche bestimmt. Für die Bestimmung der Materialreaktion auf die Ozonisierung wurden die Proben mittels FTIR, Pyrolyse-GC/MC, Thermischer Analyse sowie im DSR untersucht. Die Untersuchungen ergaben, dass der Polymerabbau und die Oxidation von Bitumen bei der Alterung mit Ozon in Verbindung mit Sauerstoff schneller verlaufen als mit Ozon und Luft. Da jedoch bei der Nutzung von Luft zusätzliche Produkte durch reaktive Stickoxide entstehen, wurde die Ozonisierung von Asphalt mit Luft als Ausgangsmedium über die Dauer von 60 h bei 60 °C fortgesetzt. Performanceuntersuchungen zum Materialverhalten wurden durch Spaltzug-Schwellversuche und Abkühlversuche realisiert.

3 Untersuchungsergebnisse

Basierend auf den Vorversuchen wurde das angepasste Verfahren für die Hauptuntersuchungen an Asphalt angewendet. Die Ozonisierung der Probekörper mit der verwendeten Apparatur war erfolgreich. Trotz variierender Ozonverbräuche zeigten sich Tendenzen zwischen den Asphalten. Die Ergebnisse zeigten, dass nicht die Raumdichte, sondern die Zugänglichkeit der Poren entscheidend für die Ozonalterung ist. Die stärksten Reaktionen in Bezug auf den Walzasphalt traten an der Oberfläche und bis zu einer Tiefe von 0,5 cm auf. In einer separaten Reihe wurde das Materialverhalten durch Frost-Tau-Wechsel bei Lagerung in verschiedenen Lösungen untersucht. Für die Hauptuntersuchungen wurden die Performanceeigenschaften von vier unterschiedlichen Asphaltdeckschichtmaterialien aus realen Straßenbauprojekten bestimmt. Die Materialien wurden auf verschiedene Weise gealtert und die Materialparameter der Asphalte nach Ozonisierung (Bild 1 – Index 2) beziehungsweise Behandlung durch Frost-Tau-Wechsel (Bild 2 – Index 3) in unterschiedlichen Lösungen mit der unbehandelten Referenz (Index 1) verglichen. Dabei konnten Veränderungen im Steifigkeits-, Ermüdungs- und Tieftemperaturverhalten festgestellt werden.

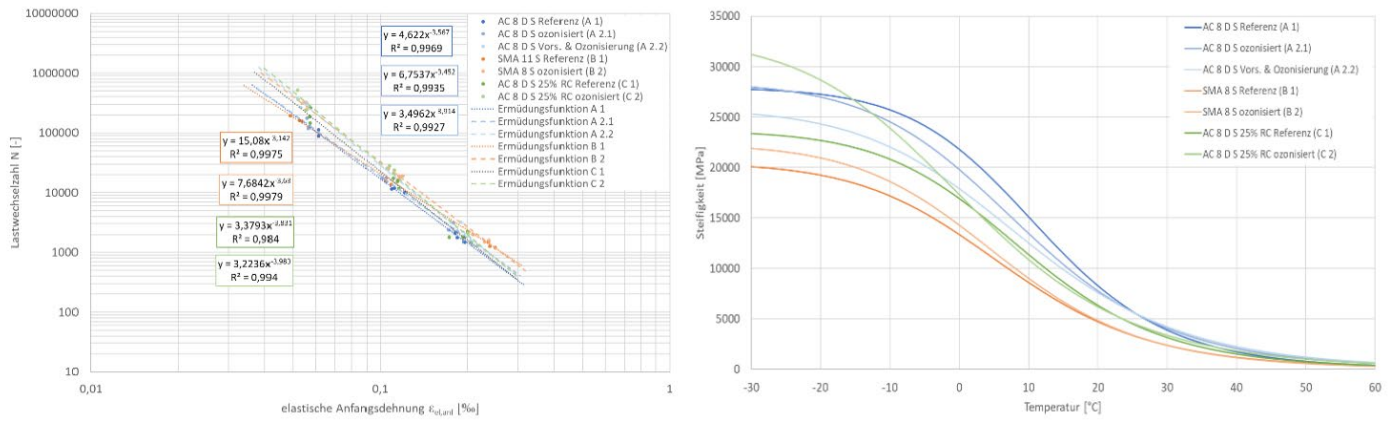


Bild 1: Ermüdungsfunktionen (links) und Steifigkeitsmodul-Temperatur-Funktion (rechts) nach Ozonisierung

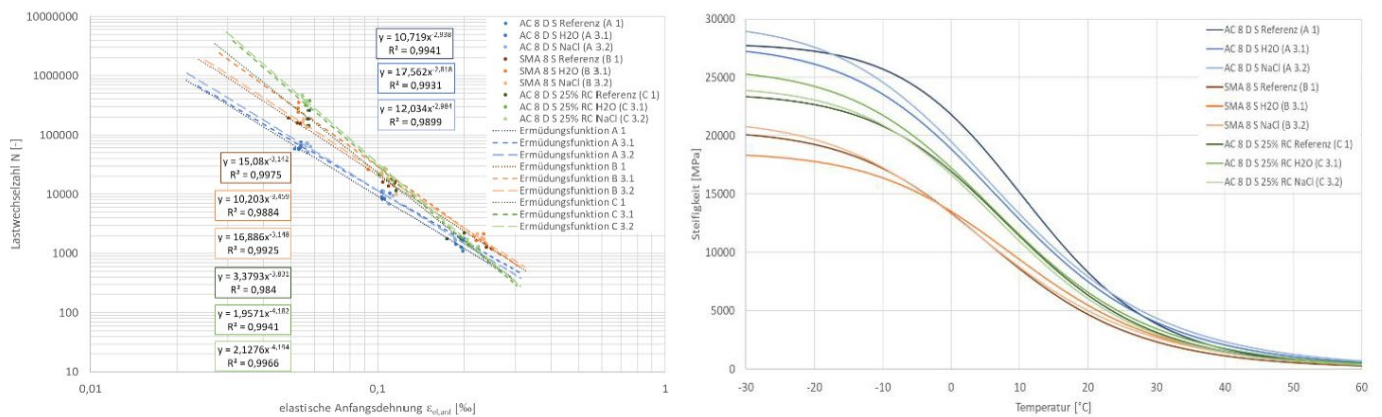


Bild 2: Ermüdungsfunktionen (links) und Steifigkeitsmodul-Temperatur-Funktion (rechts) nach Frost-Tau-Wechsel

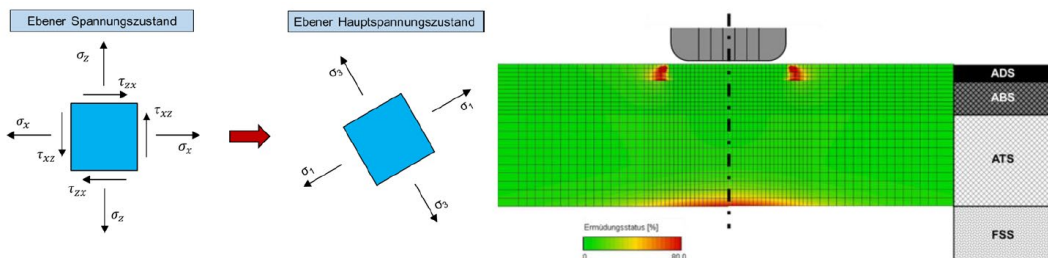


Bild 3: Transformation des Spannungszustands (links) und Darstellung berechneter Ermüdungsstatus (rechts)

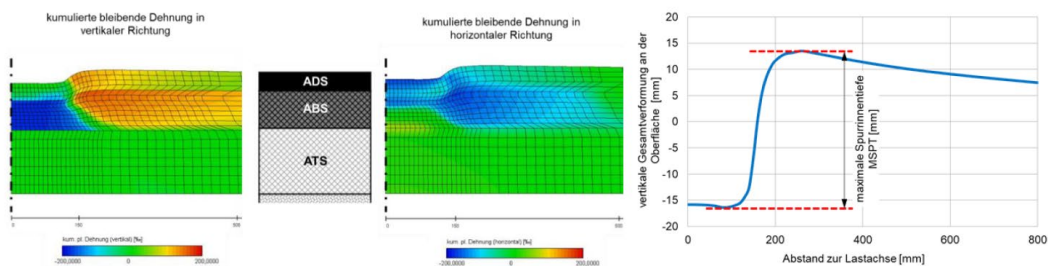


Bild 4: Exemplarische Darstellung der Gesamtverformung (links) und maximalen Spurrinnentiefe (rechts)

Für die Entwicklung des Verfahrens zur Potenzialermittlung mussten zusätzliche Einflussfaktoren und Definitionen sowie Material- und Berechnungsmodelle erstellt beziehungsweise erweitert werden. Dabei wurden Schadenkriterien für die Asphaltdecke definiert, wobei das Kriterium "Top-Down Cracking" als maßgebend für den Ausfall der Asphaltdecke identifiziert wurde. Im Gegensatz zum Nachweispunkt an der Unterseite der Asphalttragschicht muss für "Top-Down Cracking" der Bereich außerhalb der Lastachse berücksichtigt werden, wo im räumlichen und ebenen Spannungszustand maßgebliche Zugdehnungen und Verzerrungen auftreten. Die MINER-Schadenshypothese ist auf diesen Zustand nicht direkt anwendbar und erfordert eine Transformation in den Hauptspannungs- beziehungsweise Hauptdehnungszustand, bei der Schubspannungen und Verzerrungen zu Null werden (Bild 3). Bei isotropen Materialien fallen die Hauptspannungsebene und die Hauptdehnungsebene zusammen. Die Nachweispunkte in der Asphaltdeck- und Asphaltbinderschicht variieren materialspezifisch und werden für jede Berechnung individuell bestimmt und angegeben.

Aufbauend auf den Grundlagen aus vorherigen Forschungsvorhaben konnte das Prognoseverfahren für die Spurrinne für die vollständige Querschnittsanalyse erweitert werden. Dafür wurden die Elementverformungen summiert und auf das Spurrinnenmodell übertragen. Die resultierende Gesamtverformung ermöglicht die Bestimmung der maximalen Spurrinnentiefe und die Visualisierung des Spurrinnenmodells (Bild 4, links). Mit dem Verfahren zur Spurrinnenprognose kann weiterführend auch die maximale Spurrinnentiefe über die rechnerische Nutzungsdauer für jedes einzelne Nutzungsjahr ermittelt werden (Bild 4, rechts). Im Ergebnis wird eine Prognose der Spurrinnenentwicklung über die Nutzungsdauer möglich.

Mit den Erkenntnissen aus einem weiteren Forschungsprojekt (FE 04.0337/2021/ORB) konnte die Querverteilung des Schwerverkehrs in das Berechnungsmodell implementiert werden. Die Beanspruchungen aus verschiedenen Lastpositionen wurden entsprechend ihrer Häufigkeit gewichtet und überlagert. Dabei wurde eine Verteilung gewählt, die dem "Worst-Case-Szenario" (enggestufte Verteilungsfunktion) entspricht.

4 Verfahren zur Potenzialermittlung

Basierend auf den erweiterten Berechnungsmodellen und den Modellparametern zur Beschreibung des Materialverhalten aus Performanceuntersuchungen, wurde eine Kalibrierung der Anpassungsfaktoren für die Asphaltdecke durchgeführt. Der Referenzasphalt für die Deckschicht wurde als Material B (SMA 8 S) festgelegt, wobei die Parameter der Binder- und Tragschichtmaterialien aus der Datenbank des ISS ergänzt wurden. Die Kalibrierung der Anpassungsfaktoren erfolgte exemplarisch für einen Aufbau der Belastungsklasse 32 unter konstanten Randbedingungen, jedoch bei unterschiedlichen Bauweisen gemäß Tafel 1 RStO 12/24. Die Nutzungsdauern wurden für die Deckschicht auf zehn Jahre, die Binderschicht auf 20 Jahre und die

Tragschicht auf 30 Jahre festgelegt. Der gesamte Nutzungszeitraum beträgt 30 Jahre, wobei die Ermüdungsstatus der Schichten entsprechend skaliert werden. Nach Erreichen von 100 % Ermüdungsstatus erfolgt eine Instandsetzung der jeweiligen Schicht.

Tabelle 1: Auf die jeweilige Nutzungsdauer kalibrierte Anpassungsfaktoren (AF) und zugehörige berechnete Ermüdungsstatus der Asphaltschicht (Aufbau RStO Tafel 1, Bk 32)

| | Deckschicht | Binderschicht | Tragschicht |
|------------------------------------|-------------|---------------|-------------|
| Nutzungsdauer [Jahre] | 10 | 20 | 30 |
| Entsprechender Ermüdungsstatus [%] | 300 | 150 | 100 |
| AF Zeile 1 | 71 | 35 | 789 |
| Ermüdungsstatus berechnet | 300,9 | 148,68 | 99,97 |
| AF Zeile 2.1 | 145 | 60 | 3422 |
| Ermüdungsstatus berechnet | 297,77 | 147,71 | 100 |
| AF Zeile 2.2 | 109 | 49 | 1675 |
| Ermüdungsstatus berechnet | 291,03 | 151,39 | 99,98 |
| AF Zeile 2.3 | 104 | 44 | 1488 |
| Ermüdungsstatus berechnet | 290,25 | 151,16 | 100 |
| AF Zeile 3 | 119 | 58 | 2025 |
| Ermüdungsstatus berechnet | 289,64 | 150,2 | 100,01 |
| AF Zeile 4 | 133 | 68 | 2355 |
| Ermüdungsstatus berechnet | 289,02 | 150,76 | 99,99 |
| AF Zeile 5 | 119 | 57 | 1958 |
| Ermüdungsstatus berechnet | 288,85 | 149,16 | 100,02 |

Unter Verwendung der kalibrierten Anpassungsfaktoren aus Tabelle 1 wurden Berechnungen zum Ermüdungsstatus der anderen Deckschichtmaterialien für einen exemplarischen Aufbau durchgeführt. Dabei erfolgte ein Vergleich des Potenzials der verschiedenen Materialien basierend auf dem Ermüdungsstatus und der berechneten Nutzungsdauer (Tabelle 2). Es zeigte sich, dass der offenporige Asphalt das geringste Potenzial bezüglich des Ermüdungsstatus aufweist, wobei weder Ozonisierung noch FTW das Materialverhalten des PA 8 signifikant beeinflussten. Der Asphaltbeton mit einem Recyclinganteil von 25 M.-% erwies sich als das Material mit dem größten Potenzial, mit einer um 80 – 300 % höheren Nutzungsdauer im Vergleich zu dem für die Kalibrierung genutzten SMA. Nach der Ozonisierung verzeichneten sowohl beide Asphaltbetone als auch der Splittmastixasphalt einen verbesserten Ermüdungsstatus und eine längere Nutzungsdauer. Lediglich der Asphaltbeton mit einem Recyclinganteil und der Splittmastixasphalt zeigten ein erhöhtes Potenzial nach Frost-Tau-Wechseln.

Die Ergebnisse der Spurrinnenprognose ermöglichten einen Vergleich der Materialien in Bezug auf das Verformungsverhalten über das Intervall der Nutzungsdauer (Bild 5). Zudem konnte der Verformungsanteil pro Schicht in Bezug auf die Gesamtverformung ermittelt werden. Dargestellt werden kann die Entwicklung der Spurrinne über den Nutzungszeitraum und der auf die Schichten skalierte Anteil an der Gesamtverformung. Die Ergebnisse lassen auf ein besseres Verformungsverhalten des AC 8 D S ohne RC-Zugabe schließen.

Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass weder die Alterung durch Ozon, noch die Belastung durch FTW die Nutzungsdauer wesentlich verkürzen, da keine signifikanten

Verschlechterungen der Materialparameter festgestellt wurden. Das Potenzial der Deckschichten blieb größtenteils unverändert oder zeigte eine Verbesserung. Weitere Untersuchungen haben gezeigt, dass der Hauptfaktor für eine bedeutende Veränderung der Materialverhalten die Belastung durch Verkehr und Temperaturschwankungen ist. Experimente zum Einfluss von Temperatur auf das Steifigkeitsverhalten, verbunden mit Schädigungseinträgen, zeigten einen deutlichen Einfluss auf die Steifigkeit. Für die Weiterentwicklung der Stoffmodelle von Asphalt durch laborbasierte Versuchsanwendungen, insbesondere im Bereich des Steifigkeitsverhaltens, ist daher eine umfassende Untersuchung des Materialverhaltens nach Belastung in Verbindung mit Lastpausen und Temperaturänderungen erforderlich.

Tabelle 2: Errechnete Nutzungsdauer im Vergleich zum Kalibrierasphalt

| | AC 8 D S 50/70 | SMA 8 S 50/70 | AC 8 DS 50/70 mit 25 % RC | PA 8 RmB G 35/70-55 |
|--------------------------|----------------|---------------|---------------------------|---------------------|
| Referenz | 15,2 Jahre | 10,07 Jahre | 18,23 Jahre | 8,08 Jahre |
| Alterung Ozon | 14,1 Jahre | 17,36 Jahre | 32,13 Jahre | 8,17 Jahre |
| FTW mit H ₂ O | 7,25 Jahre | 17,35 Jahre | 31,35 Jahre | 7,71 Jahre |
| FTW mit NaCl | 9,18 Jahre | 13,80 Jahre | 26,01 Jahre | 7,12 Jahre |

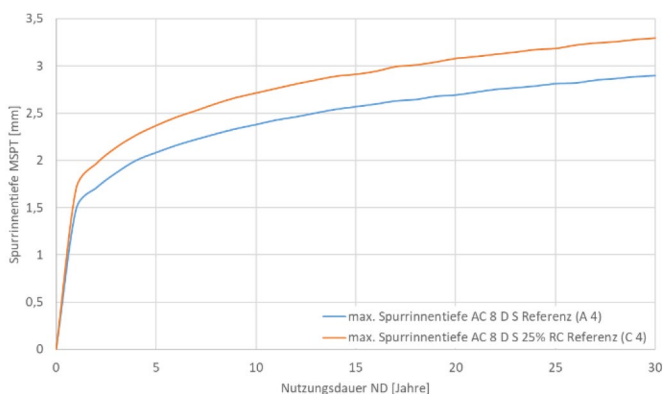


Bild 5: Entwicklung der Spurrinnentiefe AC 8 D S mit (C 4) und ohne (A 4) RC-Zugabe

