



## FSV-aktuell STRAßE April 2024

Mitteilungen der Österreichischen Forschungsgesellschaft  
Straße • Schiene • Verkehr

### Editorial

Sehr geehrte Leserin,  
sehr geehrter Leser,

die Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr (FSV) konnte neue internationale Partner gewinnen. Da die FSV seit einigen Jahren einige ihrer Richtlinien auf Englisch übersetzt, wurde die nationale Organisation für Verkehrsinfrastruktur in Rumänien auf unsere Regelwerke aufmerksam. Sämtliche aktuelle Tunnel-RVS, die bisher auch in Eng-

lisch übersetzt wurden, werden demnächst nun auch in die rumänische Sprache übersetzt, um in Rumänien Anwendung zu finden.

Für uns ist das sehr erfreulich und beweist einmal mehr die Bedeutung Österreichs in Bezug auf exzellenter Arbeit im Bereich des Verkehrswesens. Mehr noch es bestärkt die FSV ihren Beitrag zur Standardisierung und den Stand der Technik ohne Pause fortzuschreiben. Auf diesem Weg möchte ich auf unser FSV-Wörterbuch Verkehr & Infrastruktur Deutsch-Englisch, Englisch-Deutsch hinweisen, welches versucht die übersetzten Begrifflichkeiten im Verkehrswesen zu vereinheitlichen.

In rund drei Monaten ist es wieder so weit, der FSV-Verkehrstag mit Fachausstellung steht einem breiten Publikum wieder zur Verfügung, um sich mit den neuesten Entwicklungen in den Arbeitsgruppen der FSV zu informieren. Themen, wie „Gefährliche Güter“, „E-Ladepunkte für Fahrräder“, „Eisenbahnkreuzungen“ und „Korrosionsschutz“, werden von den Expertinnen und Experten der FSV referiert. Die Fachausstellung ist auch schon gut gebucht, falls Sie auch ausstellen wollen, ein paar Restplätze gibt es noch.

Dipl.-Ing. Martin Car  
Generalsekretär der FSV

### FSV Preis

Im Rahmen der FSV-Tagung „FSV-Preis 2023 – wir gehen neue Wege, die Jugend geht mit“ bekamen sechs Master-/Diplomarbeiten bzw. Dissertationen, die sich mit verkehrsrelevanten Themen beschäftigen, einen Preis verliehen.

Die Verleihung der Preise erfolgte im November 2023. Aus den Einreichungen stellen wir heute zwei Masterarbeiten vor:

#### Geothermische Nutzung einer Bohrpfahlwand im Lainzer Tunnel – Numerische Modellierung, Vergleich mit Messdaten und grundlegende Einflüsse auf die statische Bemessung

Die Diplomarbeit behandelt die geothermische Nutzung einer Bohrpfahlwand im Lainzer Tunnel. Insbesondere wurde die numerische Modellierung eines Abschnitts des Lainzer Tunnels mit dem Finite-Elemente Programm COMSOL Multiphysics sowie der Vergleich mit Messdaten durchgeführt. Es erfolgte eine grundlegende Betrachtung der Einflüsse einer geothermischen Nutzung auf die statisch-konstruktive Bemessung eines Bohrpfahls. Dies soll die Planung und Ausführung künftiger Anlagen unterstützen.

Der Lainzer Tunnel ist das Verbindungsbauwerk zwischen der Weststrecke und dem Wiener Hauptbahnhof und somit einer der am stärksten frequentierten Bahnstrecken in Ös-

terreich. Der Tunnel wurde Anfang der 2000er-Jahre fertiggestellt. Für diese Untersuchungen war die geothermische Nutzung der Bohrpfahlwand im Bereich des LT24 (Art und Positionierung der Messsensoren) von Interesse, da es seit dem Jahr 2004 kontinuierliche

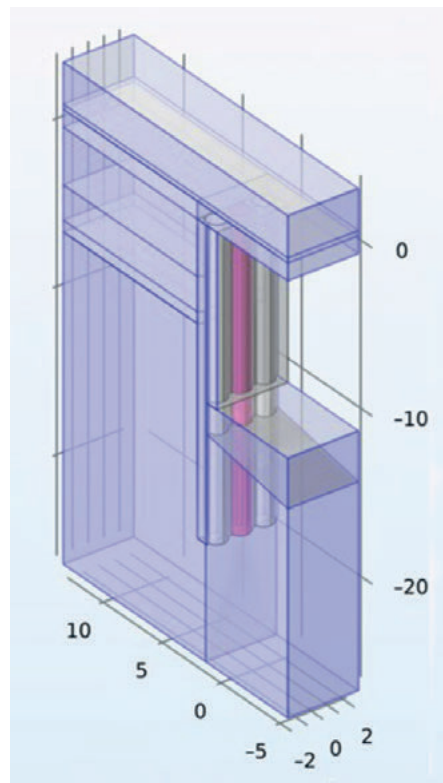


Bild 1: Übersicht des COMSOL-Modells

Messungen des Temperaturverhaltens gibt. Dieser Datensatz ist ein weltweites Alleinstellungsmerkmal. Es erfolgte eine Aufbereitung der Messdaten aus der Heizperiode 2005/06, welche als Referenzzeitraum für die weiteren Untersuchungen herangezogen wurde.



Dipl.-Ing.  
Nathalie Sagasser, BSc.

Es wurden die erforderlichen Parameter zur Modellierung eines Tunnelabschnitts mit COMSOL Multiphysics (Bild 1) festgelegt. Einerseits konnten bekannte Werte aus dem Bodengutachten, aus Messungen und Planunterlagen herangezogen werden. Dazu zählten der Bodenaufbau, die Außenlufttemperatur und die geometrischen Randbedingungen. Andererseits konnten einige Parameter auf Grundlage bekannter Werte, mittels Literaturrecherche sowie theoretischen Überlegungen angenommen werden, waren dadurch jedoch mit gewissen Unsicherheiten behaftet. Dazu zählten die Tunnelinnenlufttemperatur, die Vorlauftemperatur sowie die Strömungsgeschwindigkeit der Absorberflüssigkeit.

Anhand von über 20 Parametern wurde das Modell in einem iterativen best-fit Prozess kalibriert. Dabei dienten die Messdaten der Pfahltemperaturen der Modellvalidierung. Es konnte gezeigt werden, dass sich das Temperaturverhalten im Pfahl sehr gut durch die Modellierung abbilden ließ.

Bild 2: links: Gegenüberstellung des Temperaturverlaufs der Simulation (SI) mit den Messwerten (MW) für die Heizperiode 2005/06, erdseitig (E) und luftseitig (L) sowie die kalibrierte Tunnelinnenlufttemperatur (TILT); rechts: Leitungsschema des Energiepfahls, Markierung der Sensoren [1]

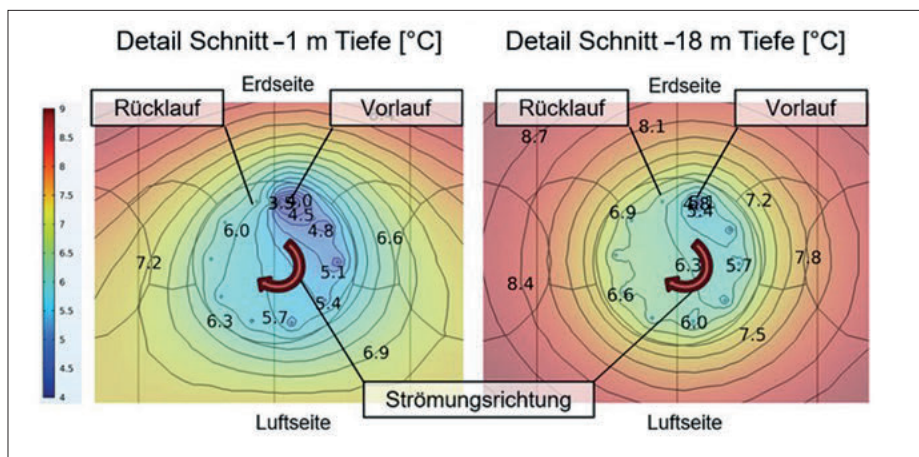
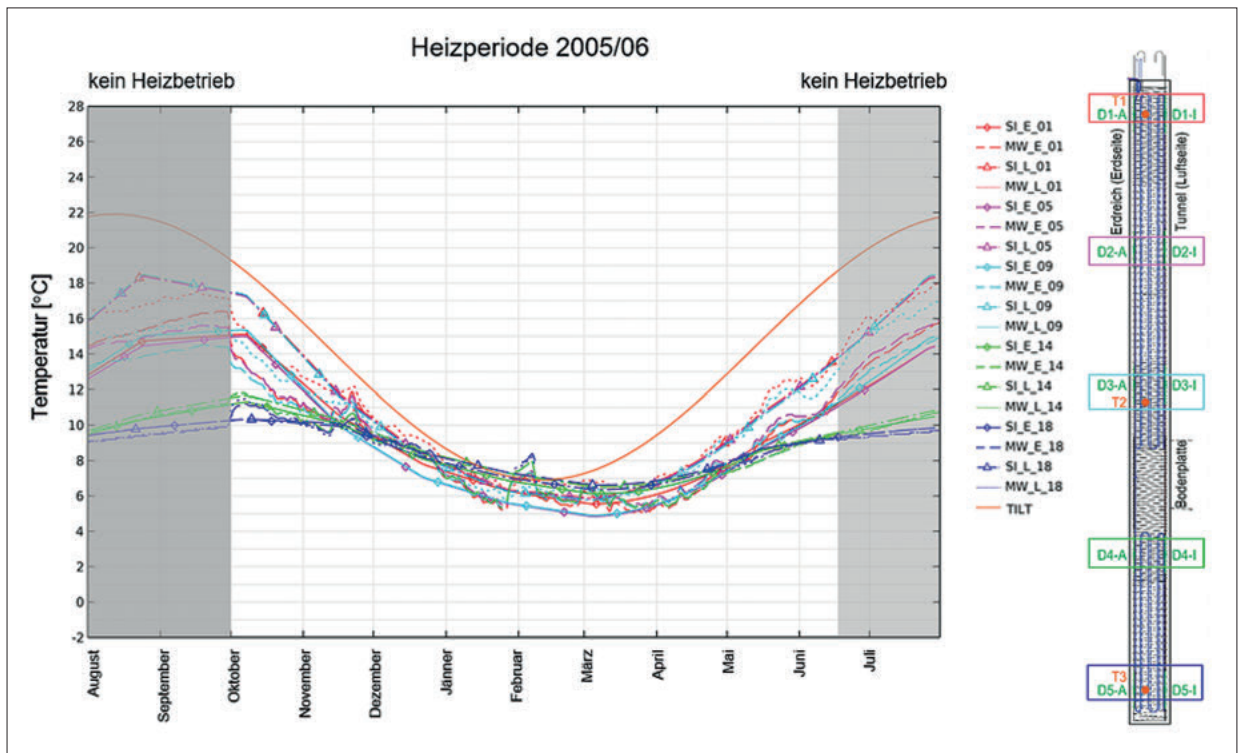


Bild 3: Detailschnitt Comsol-Modell in für den Zeitpunkt Anfang März in der Heizperiode 2005/06 (links: -1 m Tiefe, rechts: -18 m Tiefe)

Dies ist in Bild 2 zu erkennen. Das kalibrierte Modell kann somit zur Vordimensionierung weiterer Projekte herangezogen werden.

Eine wesentliche Erkenntnis der Simulationsberechnungen war das unterschiedliche Temperaturverhalten des Absorberkreises 1 (unter der Bodenplatte, Bohrpfahlwand auf beiden Seiten erdberührt) zu jenem des Absorberkreises 2 (oberhalb der Bodenplatte, Bohrpfahlwand mit Luft- und Erdseite). Der Absorberkreis 1 war außerhalb des Heizbetriebs deutlich weniger von den jahreszeitlichen Temperaturschwankungen abhängig. Auch unterschieden sich die Temperaturen an den erdseitigen und den luftseitigen Messpunkten deutlich weniger als im Bereich des Absorberkreises 2. Ein Schnitt durch den Energiepfahl während des Heizbetriebs An-

fang März ist in Bild 3 dargestellt. Anhand der Berechnungen ergab sich für den betrachteten Pfahl ein Energieertrag von etwa 38 W/m<sup>2</sup> als Dauerleistung im Vollbetrieb.

Der Kalibrierung nachfolgend wurde eine Parameterstudie durchgeführt, in der durch Variation einzelner Parameter (Tunnelinnenlufttemperatur, Vorlauftemperatur, Anfangstemperatur des Bodens, Strömungsgeschwindigkeit der Absorberflüssigkeit) deren Einfluss auf das Gesamtsystem gezeigt werden konnte. Es sei an dieser Stelle die Tunnelinnenlufttemperatur sowie die Vorlauftemperatur hervorgehoben, da diese den verhältnismäßig größten Einfluss auf das Temperaturverhalten hatten.

Im Abschnitt zum Einfluss einer geothermischen Nutzung von Bohrpfählen auf deren

statischkonstruktive Bemessung wurden eingangs alle in Österreich relevanten Normen und Richtlinien angeführt, die zur Bemessung eines Bohrpfahls ohne geothermischer Nutzung zu beachten sind. Anschließend erfolgten grundlegende Überlegungen zur Bemessung eines Bohrpfahls mit geothermischer Nutzung.

Abschließend wurden internationale Regelwerke betrachtet, die eine geothermische Nutzung von Massivabsorbern behandeln. Zusammenfassend ging aus diesen hervor, dass sich die geothermische Nutzung vornehmlich im Gebrauchstauglichkeitszustand auf die Statik auswirkt. Insbesondere sind an dieser Stelle die französische und die britische Richtlinie hervorzuheben, die die detailliertesten Ansätze zur statischen Berücksichtigung beinhalten. In Ersterer erfolgt ein Einfließen in die Bemessung über angepasste Kombinationsbeiwerte. In der Zweiten wird stattdessen ein exaktes Ansetzen der induzierten Temperaturen empfohlen. An dieser Stelle sei jedoch darauf hingewiesen, dass zu diesem Thema noch weiterer Forschungsbedarf besteht.

Dipl.-Ing. Nathalie Sagasser, BSc.  
nathalie.sagasser@oebb.at

Literaturverzeichnis

[1] Brunner, Adrian, et al. "Langzeiterfahrungen zur geothermischen Nutzung des LainzerTunnels in Wien." Bauingenieur, vol. 98, no. 7-8, 2023, pp. 243-56, <https://doi.org/10.37544/0005-6650-2023-07-08-65>

### Realistische Laboralterung und Analyse von Bitumen

Bitumen ist ein organisches Produkt, welches durch Destillation aus Erdöl gewonnen wird. Es wird zum Großteil als Bindemittel im Straßenbau verwendet und kommt auch als Abdichtungsmaterial in verschiedenen Fällen zum Einsatz. Grund für die hohe Nachfrage an Bitumen, sind vor allem die viskoelastischen Materialeigenschaften und die Resistenz gegen Wasser. Diese Eigenschaften verändern sich jedoch im Laufe der Zeit durch die Einwirkung verschiedener Umwelteinflüsse – man spricht von Alterung. Das Material wird steifer und spröder und kann den hohen Ansprüchen nicht mehr gerecht werden.

Die Alterung von Bitumen ist einer der Hauptverursacher für das frühzeitige Versagen des Werkstoffes. Der Prozess an sich ist äußerst komplex, weshalb es von großem Interesse ist, die Alterung von Bitumen im Labor zu simulieren, um die auftretenden Mechanismen besser verstehen zu können. Konventionelle Labormethoden zur Simulation der Langzeitalterung (LZA), wie beispielsweise das Pressure Aging Vessel (PAV), ermöglichen zwar eine schnelle Oxidation des Materials, weichen jedoch in einigen Aspekten von den Alterungsfaktoren in der Realität ab. Ausschlaggebend dabei ist vor allem das Vernachlässigen wesentlicher Einflussfaktoren wie z. B. reaktiver Sauerstoffspezies (ROS), UV-Strahlung und Feuchtigkeit. Eine Alternative zu den konventionellen Alterungsmethoden bietet die Viennese Bitumen Aging (VBA) Methode, bei welcher diese Einflussfaktoren in den Alterungsprozess mit einfließen.

Die Diplomarbeit beschäftigt sich zum einen mit der Durchführung von Alterungsstudien und zum anderen mit der Modifizierung, Erweiterung und genaueren Untersuchung des VBA-Aufbaus. Um den Inhalt dieses Artikels im Umfang nicht zu überziehen, wird im Wesentlichen nur auf die mehrfache ROS-Studie und der chemischen Gegenüberstellung von Feld- und einfach und mehrfach PAV-Alterungen genauer eingegangen. Für die durchgeführten Versuche wurden stets mehrere unterschiedliche Bitumen hinsichtlich ihrer Bitumenklasse und Ursprungs verwendet. Zur übersichtlichen Darstellung wird in den Ergebnissen lediglich die Bitumenprobe B1158 abgebildet, welche einer Bitumenklasse 70/100 eines Straßenbaubitumens entspricht und die Gesamtmenge der Proben im Allgemeinen gut repräsentiert.

Aufbauend auf einer einfachen ROS-Studie, welche einen erhöhten Alterungseffekt bei Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) feststellte, wurde im Rahmen der mehrfachen ROS-Studie untersucht, ob die Alterung durch die Zugabe von Ozon (O<sub>3</sub>) zusätzlich verstärkt wird. Wie schon bereits in der Vorgängerstudie, wurde die NO<sub>2</sub>-Konzentration anhand einer regulierbaren Gaszufuhr in

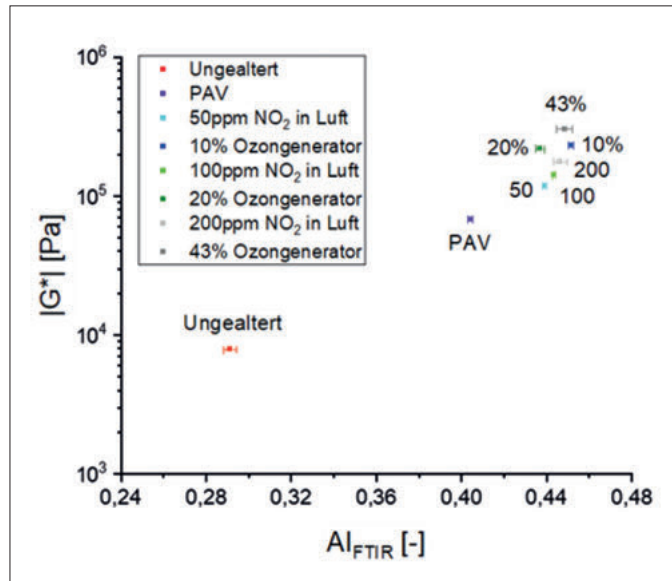


Bild 4: Chemo-mechanische Korrelation bezogen auf komplexes Schubmodul von B1158

der VBA-Zelle simuliert. Um das zusätzliche O<sub>3</sub> in die Zelle einzuleiten, wurde ein Ozongenerator verwendet. In Bild 4 wird die chemo-mechanische Korrelation der Probe B1158 dargestellt. Das komplexe Schubmodul |G\*| beschreibt die Steifigkeit des Bitumens und wird anhand eines dynamischen Scherrheometers (DSR) ermittelt. Der Alterungsindex Al<sub>FTIR</sub> beschreibt die Alterung auf chemischer Basis, welche auf die relative Sauerstoffaufnahme eines Werkstoffes beruht. Es gilt, je größer die beiden Werte, desto stärker gealtert ist das Bitumen. Zur übersichtlichen Darstellung wurden die Ergebnisse der jeweiligen NO<sub>2</sub>-Konzentration in Luft (einfache ROS-Studie) in einer hellen Farbe und die dazugehörigen NO<sub>2</sub>-Konzentrationen mit O<sub>3</sub> in einer dunklen Farbe (mehrfache ROS-Studie) dargestellt.

Bei der Betrachtung von |G\*| weist die Probe im Vergleich mit der Single ROS-Studie bei zusätzlichem O<sub>3</sub> bei allen Varianten einen Zuwachs auf. Bei einer Ozongenerator-Leistung von 43 % (entspricht ca. 14,5 g/m<sup>3</sup> O<sub>3</sub>) ist das höchste komplexe Schubmodul zu verzeichnen. Diese Unterschiede der einzelnen Alterungen mit unterschiedlichen Ozongenerator-Leistungen ist jedoch so gering, dass zu hinterfragen ist, ob eine Alterung mit mehr als 10 % Ozongenerator-Leistung (entspricht ca. 4,0 g/m<sup>3</sup> O<sub>3</sub>) sinnvoll ist. Ein etwas anderer Trend ist beim Alterungsindex Al<sub>FTIR</sub> festzustellen. Die gealterte Probe bei einer Ozongenerator-Leistung von 10 % weist den höchsten Al<sub>FTIR</sub> auf. Aufgrund der Tatsache, dass |G\*| relativ konstant bleibt, bei zunehmender Ozonkonzentration, kann jedoch

nicht davon ausgegangen werden, dass das zusätzliche O<sub>3</sub> eine verjüngende Auswirkung auf das Bitumen hat. Es wird vermutet, dass durch den definierten Alterungsindex Al<sub>FTIR</sub> der chemische Alterungsprozess dieser Alterungen nicht detektiert werden kann. Der Alterungsindex ist in Tabelle 1 definiert.

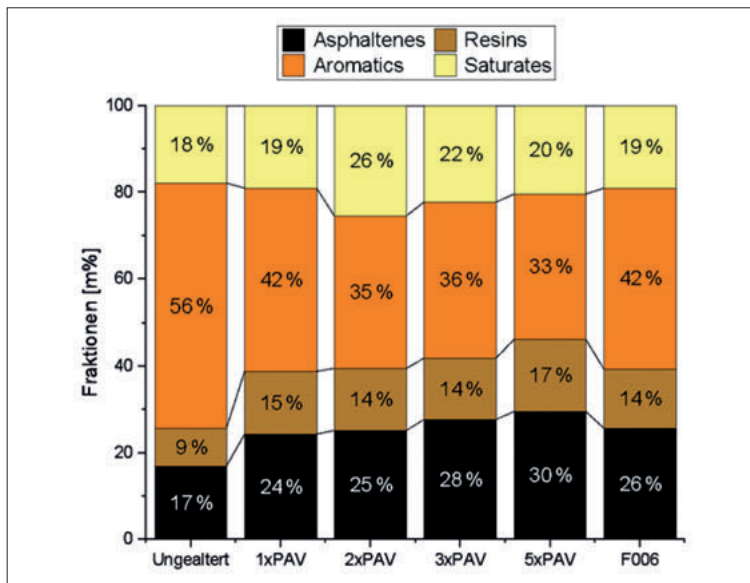
Zusammenfassend konnte aufgrund der mechanischen Eigenschaften beobachtet werden, dass NO<sub>x</sub> in Kombination mit O<sub>3</sub> ein höheres Alterungspotenzial aufweist als NO<sub>2</sub> in Luft allein. Ab einer zusätzlichen Menge von 4,0 g/m<sup>3</sup> O<sub>3</sub> sind mechanisch jedoch nur mehr geringe bis keine Veränderungen zu beobachten. Es stellt sich die Frage, ob sich bereits bei einer geringeren Ozonkonzentration ein solches Alterungspotential einstellt bzw. ob das Alterungspotential sogar steigt, wenn die Ozonkonzentration verringert wird.

Eine weitere Studie, welche im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt wurde, ist die Gegenüberstellung von einfach und mehrfach gealterten Proben mit verschiedenen Feldalterungen auf chemischer Basis. Zur Analyse wurde die SARA-Fraktionierung verwendet. Dabei handelt es sich um ein chromatografischen Trennverfahren, mit welchem Bitumen in vier Fraktionen (SARA ... Saturates, Aromatics, Resins und Asphaltenes) aufgetrennt wird. Die Fraktion, welche den größten Einfluss haben auf das physikalische Verhalten des Werkstoffes haben, sind die Asphaltenes. In Bild 5 sind die Ergebnisse der SARA-Fraktionierung von B1158 in unterschiedlichen Alterungszuständen dargestellt, wobei die Zahl vor „xPAV“ auf die Anzahl der

$Al_{FTIR} = \frac{Al_{CO} + Al_{SO}}{Al_{CH_3}}$	<p><b>Wellenzahlbereiche:</b></p> <p>Al Carbonyl: Al<sub>CO</sub> = 1800–1660 cm<sup>-1</sup></p> <p>Sulphoxide: Al<sub>SO</sub> = 1079–984 cm<sup>-1</sup></p> <p>Aliphatische Bande: Al<sub>CO</sub> = 1525–1350 cm<sup>-1</sup></p>
---	--

Tabelle 1: Definition des Alterungsindex Al<sub>FTIR</sub>

Bild 5:  
Prozentualer  
Anteil der  
einzelnen  
SARA-Fractionen  
von B1158



durchlaufenen PAV-Zyklen und die Zahl vor „F“ auf das Alter der Feldprobe in Monate hinweist. Das einfache PAV-Verfahren wies denselben Anteil an Saturates auf, als die sechs Monate alte Feldalterung, wobei die zweifache PAV-Alterung den höchsten verzeichnete. Die Aromaten nahmen mit der Anzahl der PAV-Zyklen ab. Gleich wie bei den Saturates, wies die einfache PAV-Alterung dieselbe Menge an Aromatics auf, als die sechsmonatige Feldalterung. Relativ gesehen, sind die größten Veränderungen bei den Resins zu beobachten. Vom ungealterten Zustand auf den einfachen PAV-Alterungszustand, wuchs der Resins-Gehalt um zwei Drittel. Mit zunehmenden Zyklen stieg der Anteil moderat an. Die Feldalterung wies denselben Anteil an Resins auf als die zweifache PAV-Alterung. Bei den Asphaltenes war derselbe Trend festzustellen, wobei die Feldalterung einen höheren Asphaltenes-Gehalt aufwies als die zweifache PAV-Alterung und einen niedrigeren als die dreifache.

Beim Vergleich aller Bitumenproben wurde festgestellt, dass in den meisten Fällen die Proben erst nach dem zweiten oder sogar dritten PAV-Zyklus den gleichen bzw. höheren Asphaltenes-Gehalt aufweist wie eine sechsmonatige Feldalterung. Der Resins-Anteil war meistens ungefähr derselbe, bei einer einfachen PAV-Alterung. Auf Bewertungsbasis der SARA-Fraktionierung kann somit zum Entschluss gekommen werden, dass die Alterung eines einfachen PAV-Verfahrens einer sechsmonatigen Feldalterung ähnelt oder in manchen Fällen sogar geringer ausfällt. Da eine Alterungssimulation von sechs

Monaten für Bitumen bei weitem nicht ausreichte, kann davon ausgegangen werden, dass eine einfache PAV-Alterung eine unzureichende Simulationsmethode für die LZA darstellt.

Zu den beiden oben genannten Alterungsstudien wurde die bis dato zur Kurzzeitalterung (KZA) verwendete PreVBA genauer untersucht und festgestellt, dass sich nach einer 75-minütigen Dauer eine wesentlich höhere Alterung einstellt als beim Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT). Ein weiteres Ziel der Arbeit war die Weiterentwicklung der VBA. Das Setup wurde mit einem Wassersprüh-System erweitert, welches zukünftig ermöglichen soll, Versuche unter dem Einflussfaktor der Feuchtigkeit durchzuführen und der Ozongenerator wurde kalibriert, um eine genauere Menge an Ozonkonzentration generieren zu können.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die VBA mit den bereits vorhandenen Einflussfaktoren bzw. Parametern wie Temperatur, Dauer, Durchfluss und das Implementieren weiterer wie Feuchtigkeit, verschiedener Gase und UV-Strahlung ein weites Spektrum an verschiedenen Alterungsmöglichkeiten bietet. Somit stellt die VBA ein gutes Grundgerüst für die realitätsnahe Alterung von Bitumen dar. Bis jedoch all diese Einflussfaktoren in Kombination zielgemäß in den Alterungsprozess mit einbezogen werden können, sind noch eine Reihe weiterer Untersuchungen notwendig.

Genauere Informationen zum theoretischen Hintergrund, Versuchsaufbau und zu den Ergebnissen der einzelnen Studien sind im Volltext der Diplomarbeit enthalten, welche unter dem folgenden Link frei zum Download zur Verfügung steht: <https://repositum.tuwien.at/handle/20.500.12708/20367>

Dipl.-Ing. Paul Schönauer  
paul.schoenauer@tuwien.ac.at



Dipl.-Ing.  
Paul Schönauer, BSc.

## Kommende Veranstaltungen und Seminare

### FSV-Tagung

FSV-Verkehrstag 2024 mit Fachausstellung  
20.6.2024  
Vienna Marriott Hotel, 1010 Wien

### FSV-Seminar

Standardisierte Leistungsbeschreibung  
Verkehr und Infrastruktur Version 6 –  
Basisseminar  
15.–16.4.2024  
FSV, 1040 Wien

### FSV-Schulung

Brückeninspektoren - Aufbaulehrgang  
22.–24.4.2024  
FSV, 1040 Wien

Verkehrssicherheitsauditoren  
und Road Safety  
Inspektoren – Fortbildungsseminar  
13.–15.5.2024  
FSV, 1040 Wien

Nähere Informationen zu diesen und weiteren  
Veranstaltungen und eine Online-Anmelde-  
möglichkeit finden Sie auf unserer Homepage  
[www.fsv.at](http://www.fsv.at).

## In der nächsten Ausgabe ...

... erwartet Sie ein Bericht über  
Brückenabdichtungen.

### FSV-aktuell Straße:

„Österreich-Teil“ und offizielles Organ des  
Bereichs Straße der Österreichischen For-  
schungsgesellschaft Straße – Schiene – Ver-  
kehr (FSV)

### FSV-Geschäftsstelle:

A-1040 Wien, Karlsgasse 5  
Tel.: +43 1 58 55 567  
Fax: +43 1 58 55 567-99  
E-Mail: [office@fsv.at](mailto:office@fsv.at)  
<http://www.fsv.at>

### Schriftleitung:

DI (FH) DI Ehrenfried Lepuschitz  
(Kommentare, Anregungen, Beitragsideen  
usw. erwünscht!)

Weitere Informationen und Bestellmöglich-  
keit der Publikationen der FSV auf  
[www.fsv.at](http://www.fsv.at).

Bei Bestellungen im EU-Raum bitte Ihre UID  
bekannt geben (in Deutschland = DE + 9  
Ziffern).

### Abonnementpreis

der Zeitschriften  
Straßenverkehrstechnik sowie  
Straße und Autobahn  
für FSV-Mitglieder ermäßigt!