

# Alles altert - Aktuelle Erkenntnisse zum Alterungsverhalten von Bitumen und Asphalt

B. Hofko, M. Hospodka, R. Blab, L. Eberhardsteiner

*Technische Universität Wien, Institut für Verkehrswissenschaften, Wien, Österreich*

J. Füssl

*Technische Universität Wien, Institut für Mechanik der Werkstoffe und Strukturen, Wien, Österreich*

H. Grothe, F. Handle

*Technische Universität Wien, Institut für Materialchemie, Wien, Österreich*

Knapper werdende natürliche, finanzielle und energetische Ressourcen verstärken den Bedarf an effizienter Verkehrsinfrastruktur. Effizienz zielt dabei vor allem auf Optimierung von Kosten- und Energieverbrauch während der gesamten Lebensdauer ab. Langlebige Straßen mit geringem Erhaltungsaufwand und hohem Recycling-Potenzial nach Ende der Lebensdauer sind erklärtes Ziel. Wesentlichen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit und die Recycling-Fähigkeit von Asphaltmischgut hat Bitumenalterung. Aufgrund seines organischen Ursprungs unterliegt Bitumen während der Mischgutproduktion und des Einbaus, als auch während der Liegedauer thermischer und oxidativer Alterung durch chemische und strukturelle Änderungen. Es kommt zu Verhärtung und Versprödung des Bindemittels, was die Rissbildung unter dynamischer Belastung (Ermüdung) und bei Kälteeinwirkung begünstigt. Oekophalt, ein interdisziplinäres Forschungsprojekt, beschäftigt sich mit den chemisch-physikalischen Grundlagen zu Bitumenalterung, sowie mit den Auswirkungen auf die mechanischen Eigenschaften von Bitumen und Asphaltmischgut. Durch eingehende Analysen wurde ein neues Modell zur Alterung entwickelt, das sowohl auf chemisch-physikalischer, als auch auf mechanischer Ebene Erklärungen zu den Abläufen während der Alterung bietet. Alterung kann durch mikromechanische Modellierung mathematisch erfasst werden. Auf Grundlage dieses Modells wurden verbesserte Methoden zur differenzierten Analyse von Bitumenalterung, sowie neue Methoden zur Alterung von Asphaltprobekörpern im Labor entwickelt.

## 1 EINLEITUNG

### 1.1 Motivation

Effizienz von Verkehrsinfrastruktur - und da vor allem von Straßenverkehrsinfrastruktur - dieses Thema war viele Jahre geprägt von der Diskussion über ausreichende Trag- und Leistungsfähigkeit von Querschnitten zur Aufnahme der stetig steigenden Verkehrsbelastung in Gesamtzahl und Anteil des Schwerverkehrs. Unter den Vorzeichen von begrenzten natürlichen, finanziellen und energetischen Ressourcen ist die Fragestellung der Effizienz um eine wichtige Ebene erweitert worden. Ziel ist es nun auch, Kosten und Energieverbrauch nicht nur in Bezug auf den Zeitpunkt des Baus von Straßenbauten zu optimieren, sondern den gesamten Lebenszyklus des Bauwerks zu betrachten, und durch langlebige Bauten, Kosten und Energieverbrauch während der Lebensdauer zu minimieren. Zudem soll durch hohe Recyclingfähigkeit sichergestellt werden, dass Asphaltmischgut nach dem Ende ihrer Lebensdauer hochwertig (das heißt wiederum in bitumengebundenen Schichten) wiederverwendet werden können. Auch der rechtliche Rahmen weist in diese Richtung. So verlangt die Abfallrahmenrichtlinie der Europäischen Union (2008/98/EG) [EU, 2008],

- Abfälle möglichst zu vermeiden,
- was nicht vermeidbar ist, wiederzuverwenden,

- den Anteil, der nicht recyclingfähig ist, sonstiger Verwertung (z.B. energetisch) zuzuführen und
- Restmassen zu beseitigen, also zu deponieren.

Bis Ende 2020 sollen 70% von Bau- und Abbruchabfällen rezykliert werden. Für die etwa 1,5 Mio. Tonnen Straßenaufbruch, der in Österreich jährlich anfällt, ist diese Quote auf den ersten Blick bereits erfüllt. Allerdings geschieht ein Großteil der Wiederverwendung durch "Downcycling". Dabei wird hochwertiger Straßenaufbruch (aus bituminös gebundene Schichten) für untergeordnete, ungebundene Schichten verwendet. Damit endet die Wiederverwendung bereits nach dem ersten Zyklus. Nachhaltiges Recycling sieht jedoch vor, hochwertiges Ausbaumaterial auch in hochwertigen neuen Produkten zu verwenden ("Upcycling") und so mehrere Zyklen von Wiederverwendung zu ermöglichen.

Geht man nach den Prioritäten der Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG vor, so wäre das Hauptziel Aufbauten zu entwickeln, die eine unendliche Lebensdauer erreichen. Damit könnte Abfall zu 100% vermieden werden. Aufgrund der Belastung durch Klima und Verkehr und die damit verbundene fortschreitende Schädigung des Materials (Ermüdung) ist diese Forderung nicht umzusetzen, obgleich zahlreiche Forschungsarbeiten "perpetual pavements" [z.B. TAREFDER, 2012; AMINI, 2012] propagieren. Einen wesentlichen Anteil an der steigenden Anfälligkeit von bituminös gebundenen Schichten gegen Rissbildung hat jedoch die Alterung des Bindemittels. Durch fortschreitende Verhärtung und Versprödung steigt die Gefahr von kälte- und lastbedingten Rissen, was die Lebensdauer deutlich begrenzt. Alterungsbeständige Bindemittel erhöhen somit die Dauerhaftigkeit und damit Kosten- und Energieeffizienz von Straßenaufbauten. Zudem begrenzt die Alterung von Bitumen und damit einhergehenden Veränderungen der Bitumeneigenschaften auch die Recyclingfähigkeit des Mischguts. Auch hier gilt, dass alterungsbeständige Bindemittel zu einer höheren Recyclingquote beitragen können. Damit kann die zweite Priorität der Abfallrahmenrichtlinie besser erfüllt werden.

## 1.2 Fragestellungen und Ziele

Die in der Motivation genannten Problemstellungen zeigen, dass der Bitumenalterung eine zentrale Rolle zukommt, wenn es darum geht, Straßenaufbauten kosten- und energieeffizient zu gestalten. Daraus ergibt sich eine Reihe an Fragen:

- Was sind die Ursachen von Bitumenalterung? Diese Frage muss sowohl auf chemisch-physikalischer Ebene beantwortet werden, als auch auf mechanischer.
- Wie wirkt sich die Alterung Bitumen auf das Verhalten von Asphaltmischgut aus?
- Ist der bisher bestehende Bewertungshintergrund zur Untersuchung der Alterungsbeständigkeit von Bitumen ausreichend? Wie können Methoden zur Laboralterung von Asphaltmischgut konzipiert werden, um der Realität auf der Straße möglichst gerecht zu werden?

Wenn diese Fragen beantwortet werden, kann die Lebensdauer von Straßenaufbauten optimiert und eine hohe Recyclingquote erzielt werden. Zudem kann Ausbauasphalt so in Zukunft auch hochwertig rezykliert werden - also "Upcycling statt Downcycling".

## 1.3 Projekt Oekophalt

Im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsprojekt, "Oekophalt - Chemisch-physikalische Grundlagen zur Bitumenalterung für ökonomischen Recycling von Asphaltmischgut", werden die genannten Fragestellungen eingehend untersucht und Lösungsansätze entwickelt. Das Projekt ist ein von der FFG (Forschungsförderungsgesellschaft) gefördertes Bridge-Projekt, in dem ein Brückenschlag zwischen Grundlagenforschung und angewandter Forschung, sowie zwischen Wissenschaft und Praxis vorgenommen werden soll. Das Projekt setzt sich aus drei Instituten der Technischen Universität Wien zusammen: das Institut für Verkehrswissenschaften, das Institut für Materialchemie, sowie das Institut für Mechanik der Werkstoffe und Strukturen. Zudem wird das Projekt durch die Industrie mitgetragen, indem die Gestrata ("Gesellschaft zur Pflege der Straßenbautechnik mit Asphalt"), vertreten durch Pittel+Braswetter GmbH, Swietelsky GmbH, Nievelt Labor GmbH und OMV, als Ko-Financier auftritt. Durch die Zusammensetzung des Projektteams ist sichergestellt, dass sowohl die chemisch-physikalischen Grundlagen, als auch die Analyse des mechanischen Verhaltens, sowie die mikromechanische Modellierung umfassend abgedeckt werden.

Das Projekt wurde mit Beginn des Jahres 2012 gestartet und läuft über 36 Monate. Während der Laufzeit beschäftigt es sich vor allem mit der umfassenden Analyse von Bitumen- und Asphaltalterung im Feld und durch Laborverfahren. Dazu wurden zahlreiche Probestrecken identifiziert, die eine Liegedauer zwischen 3 und 24 Jahren aufweisen und zudem in unterschiedlich gutem Zustand vorliegen. Von diesen Strecken wurde Material entnommen und eingehend untersucht. Zudem wurde im

September 2012 ein Probefeld angelegt, um die Feldalterung von sowohl unmodifizierten, als auch polymermodifizierten Bitumen und Asphaltmischgütern engmaschig untersuchen zu können [HOFKO, 2014]. Die sich ergebenden Erkenntnisse werden herangezogen, um die mikromechanische Modellierung (Mehrskalenmodellierung) in Bezug auf die molekulare Ebene und die Alterung zu erweitern [EBERHARDSTEINER, 2013]. Einen Überblick über das erweiterte Mehrskalenmodell zeigt Abbildung 1.

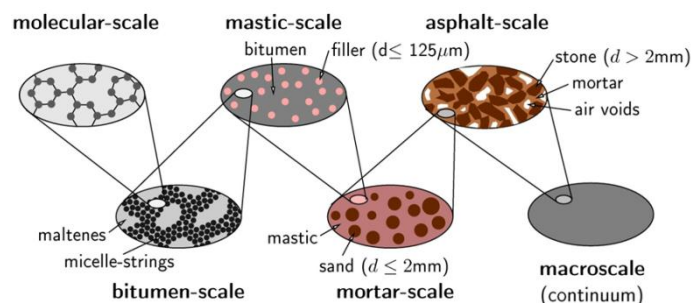


Abbildung 1: Überblick über das erweiterte Mehrskalenmodell von Asphalt

## 2 EIN NEUER ZUGANG ZUR ALTERUNG VON BITUMEN

### 2.1 Potenziale und Quellen für Bitumenalterung

Die Suche nach Ursachen von Bitumen- und damit auch Asphaltalterung ist Ausgangspunkte vieler Forschungsbemühungen auf diesem Gebiet [PETERSON, 2009]. Dennoch wurde die Fragestellung auch in dieses Projekt aufgenommen, um Lücken zu schließen und vor allem die chemisch-physikalischen Grundlagen fundiert darstellen zu können.

Dazu ist zunächst die Frage nach den Potenzialen und Quellen für Bitumenalterung zu klären. Unter Potenzialen versteht sich Möglichkeit zur Alterung aufgrund der Zusammensetzung und internen Struktur von Bitumen. Neben zahlreichen anderen Analysen, wurde dazu eine detaillierte Auftrennung verschiedener Bitumenproben nach ihrer Polarität vorgenommen. Dabei wurde grundsätzlich nach der ASTM D4124 [ASTM, 2009] vorgegangen, allerdings wurden die Proben in wesentlich kleinere Fraktionen unterteilt, wie Abbildung 2 zeigt. So wurden mehr als 20 Fraktionen mit unterschiedlichen spektroskopischen und mikroskopischen Verfahren chemisch analysiert. Die Ergebnisse flossen in ein vollkommen überarbeitetes Modell zur Bitumenalterung, das im Abschnitt 2.2 näher erläutert wird.



Abbildung 2: Darstellung der Bitumenauftrennung nach Polarität der Bestandteile [HANDLE, 2013]

Gut dokumentiert und argumentiert ist die Kurzzeitalterung von Bitumen, die während des Mischens und Einbaus während weniger Stunden vor sich geht. Durch hohe Temperaturen und eine große spezifische Oberfläche verdampfen verbleibende, leicht flüchtige Bestandteile des Bitumens (thermische Alterung). Zudem laufen oxidative Vorgänge aufgrund der hohen Temperaturen beschleunigt ab (oxidative Alterung) [PETERSEN, 2009]. Die Langzeitalterung, die während Liegedauer von Asphalt im Feld auftritt, ist weniger gut argumentiert dargelegt.

Überlegungen anhand der Atmosphärenchemie waren Ausgangspunkte zur Suche nach im Feld verfügbaren Quellen, die Langzeitalterung beeinflussen [ZELLNER, 2011]. Häufig ist in der Literatur dargestellt, dass der in der Luft vorhandene Sauerstoff, sowie UV-Strahlung Hauptquellen für Alterung sind. Dazu ist anzumerken, dass sich Alterung von UV-Strahlung nur auf die oberen Nano- bis Mikrometer beschränken kann. Zudem ist Luftsauerstoff nicht die einzig verfügbare Quelle für Oxida-

tion und damit Alterung. Auch andere reaktive Gase, wie Stickoxide, vor allem aber auch Ozon, sind in der Atmosphäre vorhanden. Zwar liegen die Konzentrationen weit unter dem Niveau von Luftsauerstoff im Bereich von ppb, jedoch ist das Oxidationspotenzial vor allem von Ozon deutlich höher als der von relativ trägem Luftsauerstoff - zumindest bei den Temperaturen, die im Feld maximal auftreten ( $<65^{\circ}\text{C}$ ). Diese Gase erklären vor allem die Alterung von oberflächennahen Schichten. Durch wasserlösliche Oxidationsmittel, wie  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  und auch  $\text{H}_2\text{O}_2$ , können alterungsaktive Substanzen tiefer in die Konstruktion eindringen. Auch hier gilt, dass die Konzentrationen zwar gering sind, die Aufenthaltsdauer jedoch unter Umständen hoch sein kann, und damit Alterungsvorgänge auch in tiefer liegenden Schichten ausgelöst werden können. Eine Übersicht über Alterungsquellen und deren Bedeutung für die Schichten eines Aufbaus zeigt Abbildung 3.

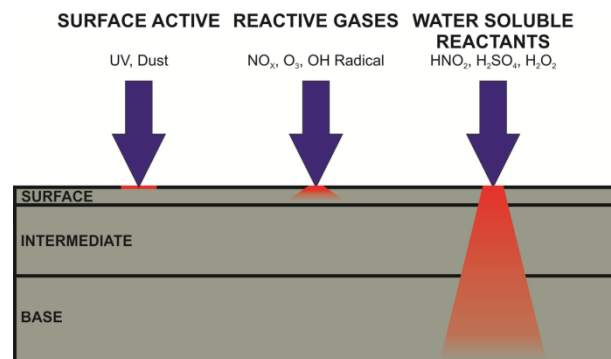


Abbildung 3: Verfügbare Oxidationsmittel als Alterungsquelle für Bitumen und Asphaltmischgut [HANDLE, 2013]

## 2.2 Modell zur Alterung von Bitumen

Zur strukturellen Zusammensetzung von Bitumen gibt es verschiedene Vorstellungen. Als relativ gesichert kann man davon ausgehen, dass es sich um eine Dispersion handelt, bei der entweder niederpolare (Gesättigte) Mizellen in einer höherpolaren Matrix, oder hochpolare (Asphaltene) in einer niederpolaren Matrix dispergiert sind. Auf Basis der Fraktionierungsuntersuchungen (siehe Abschnitt 2.1) wird der zweiten Vorstellung der Vorzug gegeben, das heißt, dass hochpolare Asphaltene in einer niederpolaren Matrix (Maltenphase) aus Aromaten und gesättigten Verbindungen verteilt sind. Damit sich eine funktionierende Dispersion einstellt, müssen die Asphaltene von einem Mantel umgeben sein, der einen stetig verlaufenden Polaritätsgradienten zur niederpolaren Matrix herstellt. Dieser Zustand ist im rechten Diagramm der Abbildung 4 für den ungealterten Zustand in blau qualitativ dargestellt.

Während die niederpolare Maltenphase sehr reaktionsträge in Bezug auf Oxidation ist, steigt das Oxidationspotenzial mit ansteigender Polarität. Da der hochpolare Asphaltkern durch den Mantel umgeben ist, greifen sämtliche reaktive Sauerstoffspezies (ROS) zunächst den Mantel an. Mit fortlaufender Alterung wandert die Alterung schließlich bis in den Kern der Mizelle vor. Dieser Umstand ist links in Abbildung 4 dargestellt. Durch die fortschreitende Oxidation des Mantels kommt es zu einer ansteigenden Polarität des Mantels. Im linken Diagramm der Abbildung 4 ist dieser Umstand rot strichliert dargestellt. Durch diese Veränderung in der Polarität kommt es zu einer abnehmenden Kompatibilität zwischen Mizellen und Maltenen - es bildet sich quasi eine Sollbruchstelle am Interface zwischen Mantel und Maltenmatrix aus. Mechanisch zeigt sich diese Verschiebung im Polaritätsverlauf durch zunehmende Versprödung des Materials.

Auch mechanisch lässt sich dieses Modell umsetzen, und so weitere Effekte, die mit Bitumenalterung einhergehen, beschreiben. Im oberen Teil von Abbildung 5 ist ein repräsentatives Volumenelement (RVE) mit den Bestandteilen von ungealtertem Bitumen qualitativ dargestellt. Zum Aufbau und Validierung des mikromechanischen Modells von Bitumen, das auch Alterung einschließt, wurden zahlreiche Identifikationsversuche an so genannten Fällungsbitumen durchgeführt. Dazu wurden in einem ersten Schritt Maltene und Asphaltene durch n-Heptan Fraktionierung voneinander getrennt und anschließend mit unterschiedlichen Asphaltgehalten wieder zusammengesetzt. Diese wurden durch statische Kriechversuche am dynamischen Scherrheometer untersucht. Die Daten dienen als Eingangsparameter zum Aufbau des Modells. Dadurch konnten die Anteile von Maltenen und Asphaltene am viskoelastischen Gesamtverhalten von Bitumen bestimmt werden, sowie der Einfluss des Asphaltgehalts auf das Verhalten untersucht werden. Analoge Untersuchungen wurden auch an einem

langzeitgealterten (RTFOT+PAV) Bindemittel durchgeführt. Aus den Ergebnissen der Modellierung [EBERHARDSTEINER, 2013] zeigt sich, dass für die Verhärtung des Bindemittels während der Alterung ausschließlich der Anstieg des Asphaltgehalts in Verbindung mit einer dadurch zusammenhängenden stärkeren Interaktion der Asphaltmizellen verantwortlich ist. Das Prinzip ist auch in Abbildung 5 dargestellt.

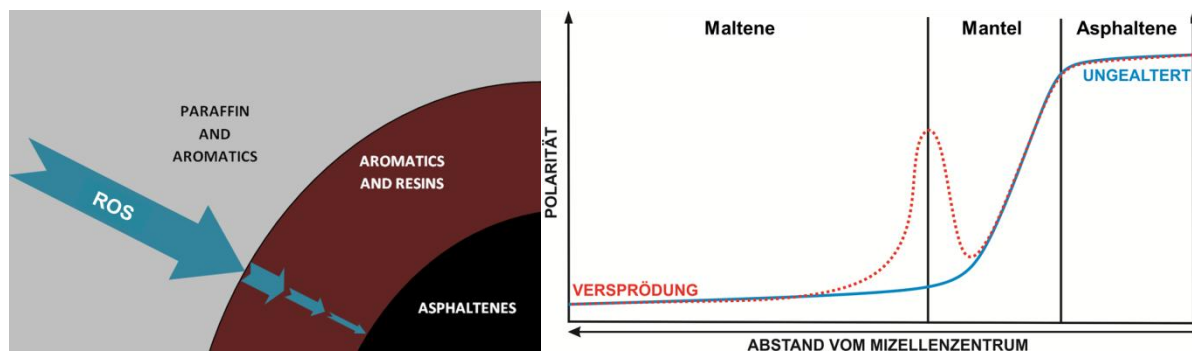


Abbildung 4: Angriff von Reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) im Bitumen (links) und chemische Modellvorstellung zur Alterung (rechts) [HANDLE, 2013]

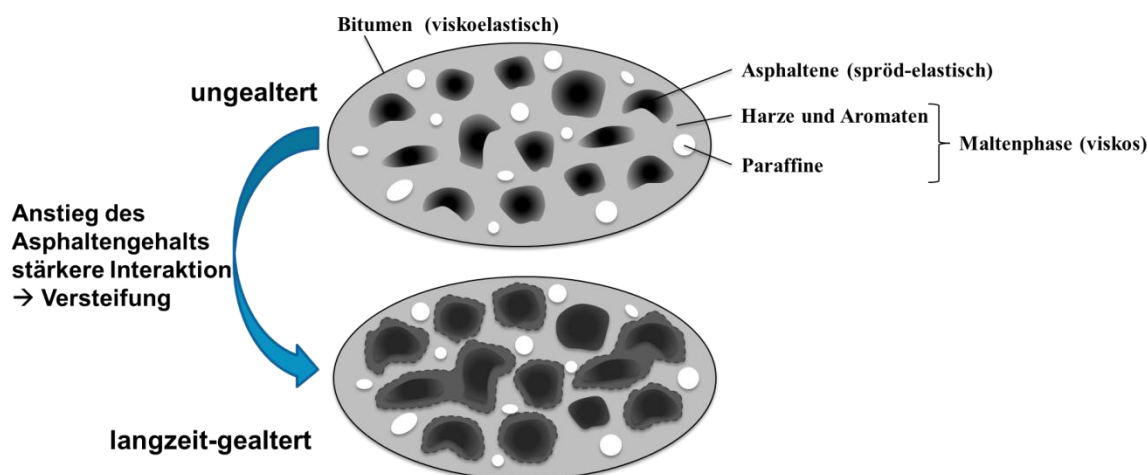


Abbildung 5: Mikromechanische Modellierung von Bitumenalterung [EBERHARDSTEINER, 2013]

### 3 OPTIMIERTE BEWERTUNG DER ALTERUNGSBESTÄNDIGKEIT VON BITUMEN

Auf Basis der oben genannten Erkenntnisse und Thesen, können weitere, anwendungsnahe Fragestellungen fundiert untersucht werden. Eine wesentliche Frage betrifft die Bewertung von Bitumen hinsichtlich der Kurzzeit- und Langzeitalterungsbeständigkeit. Dazu ist zunächst interessant, beispielhaft den Einfluss von fortlaufender Bindemittelalterung auf die relevanten Eigenschaften von Bitumen zu betrachten. Abbildung 6 (links) zeigt dazu Versuchsdaten aus Bindemitteln, die aus feldgealterten Proben unterschiedlicher Liegedauer rückgewonnen wurden. Dargestellt ist im Diagramm die verbleibende Penetration über die Liegedauer. Klar ersichtlich wird, dass die Hälfte der Alterung schon während des Mischens und Einbaus passiert, während die andere Hälfte der Alterung nach 10-12 Jahren Liegedauer abgeschlossen ist. Danach scheint das Oxidationspotenzial der hier untersuchten Proben (polymermodifizierte Bindemittel) erschöpft zu sein. Die Langzeitalterung mit langsam ablaufender Oxidation scheint ein schwer zu beeinflussender Vorgang, da es kaum möglich ist, den Straßenaufbau vor in der Atmosphäre vorkommenden Oxidationsmitteln zu schützen. Die Kurzzeitalterung, die durch hohe Temperaturen in Verbindung mit Kontakt zu Luftsauerstoff vonstattengeht, kann jedoch durch Maßnahmen während der Herstellung mitbestimmt werden. Als Beispiele seien die inzwischen verbreitet eingesetzten Produkte und Technologien für Niedertemperaturasphalt oder auch die Herstellung unter Schutzgasatmosphäre (Stickstoff) zu nennen. Beide Beispiele zeigen, dass das Oxidationspotenzial und damit die Kurzzeitalterung verringert werden können. Bisher unzureichend untersucht wurden die daraus erwartbaren positiven Einflüsse auf verzögerte Langzeitalterung und damit einhergehend

mögliche Verlängerung von Lebensdauer und höhere Qualität von Ausbaurasphalt für Recycling-Zwecke.

Klar ersichtlich aus den Untersuchungen im Rahmen des Projekts ist, dass vorzeitige Bitumenverhärtung vor allem durch überhöhte Kurzzeitalterung ausgelöst wird. Vorzeitige Bitumenverhärtung während der Kurzzeitalterung kann jedoch zwei unterschiedliche Ursachen haben: zum einen kann die Bitumenqualität mangelhaft sein (in dem etwa hohe Anteile an leicht flüchtigen Bestandteilen vorhanden sind), oder das Bitumen wurde durch zu hohe Herstellungstemperaturen des Mischguts übermäßig thermisch und damit oxidativ belastet. Wesentlich scheint, diese Effekte auch bei der Bewertung der Alterungsbeständigkeit zu trennen. Dazu wird im Rahmen des Projekts an einer verbesserten Bewertungsmethode gearbeitet. Zu diesem Zweck werden Bitumen unterschiedlicher Alterungsbeständigkeit sowohl einer RTFOT-Alterung, als auch einer sogenannten NRTFOT-Alterung [Parmeggiani, 2000] ausgesetzt. Bei der NRTFOT-Alterung wird anstatt von Luft, Stickstoff in den Ofen eingeblasen. Damit werden rein thermische Alterungseffekte ausgelöst, während es zu keinen Oxidationsvorgängen kommen kann. Anschließend werden Proben aus beiden Alterungen mit dem DSR in einem breiten Temperatur- und Frequenzspektrum untersucht. Die sich ergebenden Steifigkeitsanstiegen in Bezug auf die ungealterte Probe werden gegen die Prüftemperatur im DSR dargestellt. Ein Beispiel zeigt das rechte Diagramm in Abbildung 6. Während die thermischen oder destillativen Effekte hauptsächlich mit der Bitumenqualität in Verbindung zu bringen sind, werden die oxidativen Effekte durch die Bedingungen bei Mischen und Einbau beeinflusst. Durch derzeit laufende Reihenuntersuchungen wird ein Bewertungshintergrund geschaffen, der es in Zukunft erlaubt, Grenzwerte für beide Effekte einzuführen und im Schadensfall (durch vorzeitige Bitumenverhärtung) auch besser beurteilen zu können, woher die Verhärtung stammt.

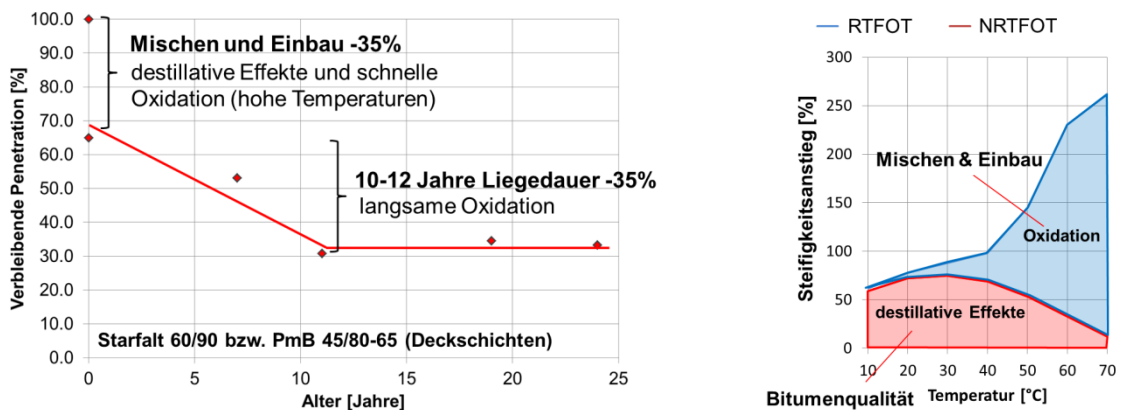


Abbildung 6: Verlauf der verbleibenden Penetration mit der Liegedauer (links) und Differenzierung von oxidativer und destillativer Kurzzeitalterung (rechts)

#### 4 WIENER VERFAHREN ZUR LABORALTERUNG VON ASPHALTMISCHGUT

In den letzten Jahrzehnten wurden mehr als 30 verschiedene Alterungsversuche für loses Asphaltmischgut oder verdichtete Asphaltprobekörper entwickelt. Dabei wird das Material unter erhöhten Temperaturen (30°C bis >100°C) über mehrere Stunden-Tage-Wochen gelagert, um so die oxidativen Vorgänge durch Luftsauerstoff zu beschleunigen. Teilweise wird reiner Sauerstoff als Oxidationsmittel verwendet, teilweise auch zusätzlich Überdruck eingeführt, um die Reaktionsgeschwindigkeit zu erhöhen. Einige Kritikpunkte an den Verfahren sollen hier angeführt werden:

- Bei Alterung von losem Mischgut vor Verdichtung und Probekörpergewinnung ist die Frage zu stellen, weit stark die Bitumenalterung die Verdichtbarkeit bzw. die Kohäsions- und Adhäsionsqualität verändert. Es kann nicht sichergestellt werden, dass die Effekte, die bei anschließender Prüfung von verdichteten Asphaltprobekörpern festgestellt werden, auf Alterung und nicht (zum Teil) durch Alterung hervorgerufene (in der Praxis jedoch nicht auftretende) Mängel in der Verdichtung zurückzuführen sind.
- Die hohen Temperaturen, die vor allem bei der Alterung von losem Mischgut teilweise eingesetzt werden, können zusätzliche thermische Effekte (Abdampfen von weiteren leichter flüchtigen Bestandteilen) auslösen, die im Feld nicht auftreten können. Zudem können hohe Temperaturen kata-

lytische Wirkung haben, und chemische Reaktionen auslösen, die im Feld ebenfalls nicht ablaufen können.

- Die Dauer von Alterungsverfahren für verdichtete Asphaltprobekörper ist teils sehr hoch (mehrere Wochen) - das wirft Fragen nach der praktischen Verwendbarkeit auf.
- Die teilweise verwendeten hohen Drücke bei der Alterung von verdichteten Asphaltprobekörpern können wiederum katalytische Wirkung haben und zu Vorgängen im Asphalt führen, die im Feld nicht auftreten können.

Aus den genannten Gründen, wurde im Rahmen des Projekts auch intensiv an der Entwicklung von verbesserten Methoden zur Laboralterung von verdichteten Asphaltprobekörpern gearbeitet. Dabei ist das Wiener Verfahren zur Laboralterung von Asphaltprobekörpern entstanden. Es ist eine Weiterentwicklung eines Verfahrens, das auch während eines SHRP-Projekts [BELL, 1994] im Einsatz war.

Mit dem Verfahren ist es möglich Asphaltprobekörper innerhalb weniger Tage in den Zustand einer Langzeitalterung in Bezug auf oxidative Alterung zu bringen. Dazu wird ein Asphaltprobekörper in einer Triaxialzelle, wie sie auch für Durchlässigkeitsversuche von ungebundenen Schichten und Böden verwendet wird, unter einem leichten Überdruck mit einem Oxidationsmittel (wahlweise reiner Sauerstoff oder ozonangereicherter Sauerstoff) durchströmt (erzwungene Durchströmung). Die Triaxialzelle befindet sich dabei in einem Wärmeschrank, um durch erhöhte Temperatur ( $45^{\circ}\text{C}$ - $85^{\circ}\text{C}$ ) die Oxidationsrate zu beschleunigen. Gleichzeitig wird das Oxidationsmittel in einem Durchlauferhitzer zusätzlich erwärmt. Durch die Verwendung von Sauerstoff bzw. ozonangereichertem Sauerstoff wird die Konzentration des Oxidationsmittels im Vergleich zur Umgebungsluft deutlich erhöht und damit die Oxidationsrate weiter gesteigert.

Durch das Wiener Alterungsverfahren (siehe Abbildung 7) wird im Vergleich zu anderen Methoden einerseits sichergestellt, dass die Probekörperform erhalten bleibt, da der Druck in der Triaxialzelle das Gerüst des Probekörpers stützt. Zudem erfolgt durch die erzwungene Durchströmung eine homogene Alterung des Mischguts. Das Verfahren ist bis zu einem minimalen Hohlraumgehalt von 5 Vol.-% anwendbar. Durch die Variationsmöglichkeit von Temperatur, Zeitdauer und Oxidationsmittel (bzw. Konzentration des Oxidationsmittels) kann das Verfahren sehr gut an die Feldalterung angepasst werden, die ihrerseits wiederum von den geographischen (da klimatischen) Bedingungen abhängt.

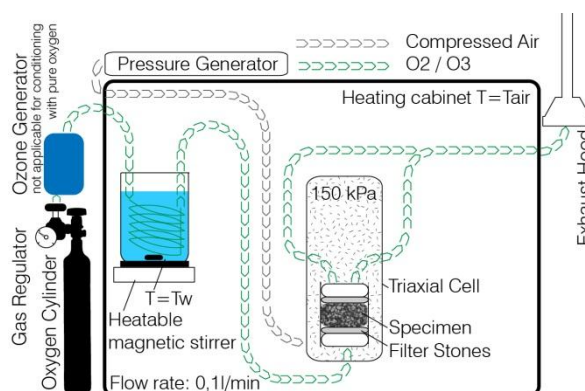


Abbildung 7: Schema zum Wiener Verfahren zur Laboralterung von Asphaltprobekörpern

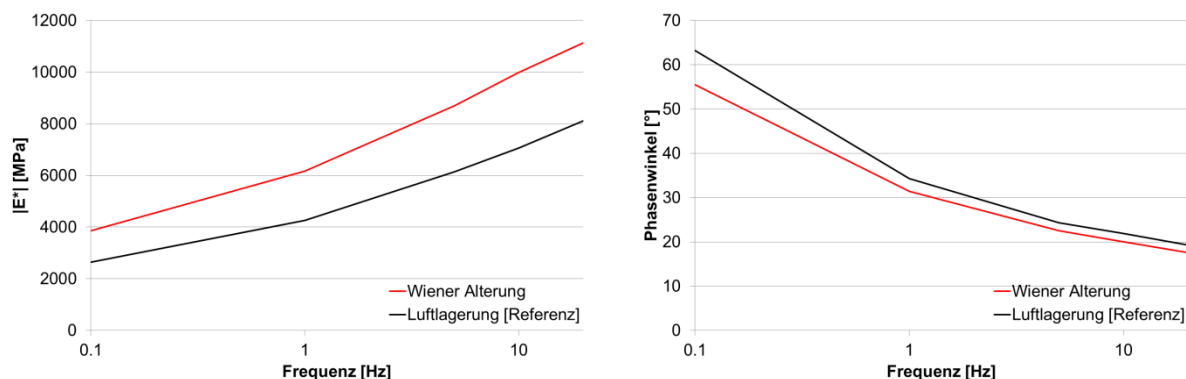


Abbildung 8: Auswirkung des Wiener Alterungsverfahrens auf mechanische Kennwerte von Asphaltprobekörpern; ermittelt im Spaltzugschwellversuch bei  $+10^{\circ}\text{C}$ ; links: dynamische Steifigkeit, rechts: Phasenwinkel.

Abbildung 8 zeigt die Veränderung des mechanischen Verhaltens eines dichten Asphaltprobekörpers (AC 11, ca. 5% Hohlraumgehalt) nach 7 Tage Alterung bei +45°C. Das linke Diagramm stellt die Steifigkeit, das rechte Diagramm den Phasenwinkel des Referenzmaterials (luftgelagert) und des gealterten Materials dar; geprüft im Spaltzugschwellversuch bei +10°C zwischen 0,1 Hz und 20 Hz. Es zeigt sich, dass sich selbst bei niedrigen Alterungstemperaturen nach bereits 7 Tagen ein Steifigkeitszuwachs von über 40% ergibt. Der Phasenwinkel nimmt in diesem Zeitraum um etwa 10% ab.

## 5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Erkenntnisse, die im Rahmen des Projekts bisher gewonnen wurden, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Insgesamt konnte ein tiefergehendes Verständnis zu Alterungsmechanismen von Bitumen erreicht werden. Alterung von Bitumen, im mechanischen Sinne die Verhärtung und Versprödung des Materials, wird einerseits durch Oxidation des Mantels von Asphalten-Mizellen und damit eine geringere Kompatibilität der Dispersion aus Asphaltenen und Maltenen hervorgerufen (Versprödung) und andererseits durch einen Anstieg des Asphaltgehalts mit einhergehenden stärkerer Interaktion der Asphalten-Mizellen (Verhärtung).
- Die Langzeitalterung von Asphaltmischgut wird überbewertet. 50% der Alterung passieren schon während der ersten Stunden bei Herstellung und Einbau des Mischguts. Die Reduktion dieser Kurzzeitalterung durch verfügbare innovative Produkte und Technologien hat großes Potenzial, die Lebensdauer und die Recyclingfähigkeit von Mischgut zu erhöhen.
- Alterung realitätsnahe im Labor zu simulieren bedeutet zunächst eine genaue Analyse der Potenziale (im Bitumen) und Quellen (in der Atmosphäre) für Alterung. Dadurch konnte eine verbesserte, effiziente Methode zur Simulation der Langzeitalterung von verdichteten Asphaltprobekörpern im Labor entwickelt werden (Wiener Alterungsverfahren).

Zwei Aspekte sind wesentliche Fragestellungen, die durch zukünftige Forschungsarbeiten näher beleuchtet werden müssen:

- Entwicklung von neuen und Beurteilung von bestehenden Maßnahmen zur Reduktion der Kurzzeitalterung während Mischen und Einbauen → Alterung reduzieren.
- Entwicklung von maßgeschneiderten Regenerationsmitteln (Rejuvenatoren) auf Basis der Erkenntnisse des Projekts, um Bitumenalterung im Zuge von Recyclingbauweisen rückstellen zu können → Alterung kompensieren.

## 6 DANKSAGUNGEN

Die Autoren bedanken sich herzlich bei der FFG, sowie den Industriepartnern des Projekts "Oe-kophalt" für die Ko-Finanzierung der Forschungsagenden.

## 7 QUELLEN

[AMINI, 2012]

Amini, A.A., Mashayekhi, M., Ziarai, H.

Life cycle cost comparison of highways with perpetual and conventional pavements  
International Journal of Pavement Engineering, Volume 12, Issue 6, 2012.

[ASTM, 2009]

ASTM D4124

Standard Test Method for Separation of Asphalt into Four Fractions

[BELL, 1994]

Bell C.A., AbWahab Y., Cristi M.E., Sosnovske D.

Selection of Laboratory Ageing Procedures for Asphalt Aggregate Mixtures  
Strategic Highway Research Program  
Washington DC, 1994.



[EBERHARDSTEINER, 2013]

Eberhardsteiner L. et al.  
Experimental investigation and micromechanical modeling  
Composites Science and Technology, 2013 [eingereicht]

[EU, 2008]

Europäisches Parlament, Europäischer Rat  
RICHTLINIE 2008/98/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 19. November  
2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien  
Amtsblatt der Europäischen Union, 2008.

[HANDLE, 2013]

Handle F.  
Überarbeitete Vorstellung zum Alterungsverhalten von Bitumen  
Präsentation zur Zwischenevaluierung des Projekts "Oekophalt"  
Wien, 2013.

[HOFKO, 2014]

Hofko B., Hospodka M., Blab R., Eberhardsteiner L., Füssl J., Grothe H., Handle F.  
Impact of Field Ageing of Binder on Performance Hot Mix Asphalt  
Proceedings of ISAP 2014, Raleigh, NC. 2014 [eingereicht]

[PARMEGGIANI, 2000]

Parmeggiani, G.  
Nitrogen Rolling Thin Film Oven Test  
Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Euroasphalt and Eurobitume Congress, Session 2: Development in Bituminous products  
and techniques, 2000.

[PETERSEN, 2009]

Petersen J. C.  
A Review of the Fundamentals of Asphalt Oxidation - Chemical, Physicochemical, Physical Property, and Durability Relationships  
Transport Research Circulare E-C140  
Washington DC, 2009.

[TAREFDER, 2012]

Tarefder, R.A., Bateman, D.  
Design of Optimal Perpetual Pavement Structure  
Journal of Transportation Engineering, Volume 128, Issue2, 2012.

[ZELLNER, 2011]

Zellner R. [Hrsg.]  
Chemie über den Wolken: ... und darunter  
John Wiley & Sons, 2011.