

Aktuelle Erkenntnisse zum Alterungsverhalten von Bitumen und Asphalt

Bernhard Hofko, Markus Hospodka, Lukas Eberhardsteiner, Ronald Blab, Josef Füssl, Hinrich Grothe, Daniel Großegger und Florian Handle

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 wie 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.

Verfasserschriften:
Dipl.-Ing. Dr. B. Hofko,
Dipl.-Ing. M. Hospodka,
Dipl.-Ing. L. Eberhardsteiner,
Univ.-Prof. Dipl.-Ing.
Dr. R. Blab,
Technische Universität Wien,
Institut für Verkehrswissenschaften,
Forschungsbereich für Straßenwesen,
Gußhausstraße 28/E 230/3,
A-1040 Wien,
bernhard.hofko@tuwien.ac.at,
www.istu.tuwien.ac.at;
Dipl.-Ing. Dr. J. Füssl,
Technische Universität Wien,
Institut für Mechanik der Werkstoffe und Strukturen,
Karlsplatz 13,
A-1040 Wien,
Univ.-Prof. Dipl.-Chem.
Dr. H. Grothe, D. Großegger,
Dipl.-Ing. F. Handle,
Technische Universität Wien,
Institut für Materialchemie,
Getreidemarkt 9,
A-1060 Wien

Awareness rises that natural, financial and energy resources are scarce goods. Thus, there is an increasing demand for not only high quality but also efficient infrastructure. Efficiency, in this case, aims for optimization of cost and energy consumption over the complete life cycle of a construction. The objective is to build long lasting infrastructure with low maintenance demands and high recycling potential after having reached the end of its service-life. For bituminous bound materials, ageing of bitumen has a crucial impact on the durability and recyclability. Since bitumen is of organic nature, thermal and oxidative ageing by chemical and structural changes occur when producing and laying asphalt mixes, as well as over its service-life. Increasing stiffness and brittleness of the binder makes the pavement more prone to cracking due to dynamic (fatigue) and thermal loading. "Oekophalt", an interdisciplinary research project, works towards a better understanding of the physico-chemical fundamentals of bitumen ageing, as well as on the impact of binder ageing on the mechanical properties of bitumen and asphalt mixes. By extensive chemical and mechanical analyses, a new model has been developed to explain ageing on the physico-chemical level, as well as on the mechanical level to explain ageing comprehensively. Ageing can be determined mathematically by micro-mechanical modelling. On the basis of this model, improved methods for a differentiated analysis of bitumen ageing as well as optimized methods for lab ageing of compacted asphalt mix specimens have been developed.

1 Einleitung

1.1 Motivation

Die Frage nach der Effizienz von Verkehrsinfrastruktur – insbesondere der Straßenverkehrsinfrastruktur – 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 muss auch sein, Kosten und

Energieverbrauch nicht nur in Bezug auf den Zeitpunkt des Baus von Straßenaufbauten zu optimieren, sondern den gesamten Lebenszyklus des Bauwerks zu betrachten und durch langlebige Aufbauten 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. Diese Überlegungen finden auch in rechtlichen Rahmenbedingungen ihren Ausdruck. 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 entfällt ein Großteil der Wiederverwendung auf "Downcycling". Dabei wird hochwertiger Straßenaufbruch (aus bituminös gebundenen Schichten) für

Bild 1: Überblick über das erweiterte Mehrskalenmodell von Asphalt

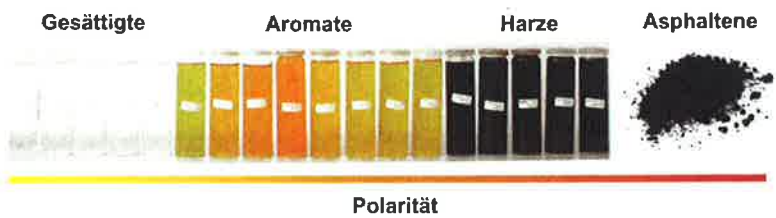
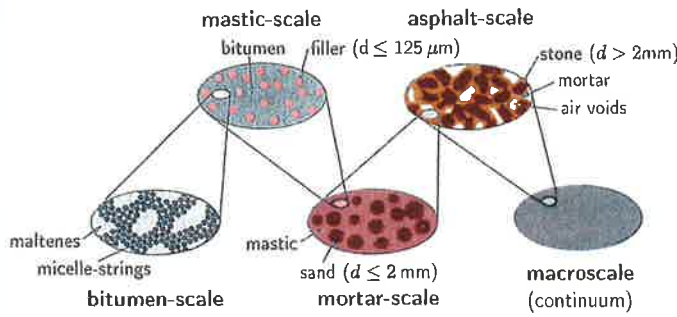


Bild 2: Darstellung der Bitumenaufreinigung nach Polarität der Bestandteile (Handle, 2013)

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 mit unbegrenzter Lebensdauer zu entwickeln, und/oder diese nach Ablauf ihrer Lebensdauer zu 100 % zu recyceln. 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 umsetzbar, obgleich zahlreiche Forschungsarbeiten „perpetual pavements“ (z. B. Tarefder, 2012; Amini, 2012) propagieren, welche in Bezug auf die Verkehrsbelastung eine unbegrenzte Lebensdauer aufweisen sollen. 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 kalte- und lastbedingten Rissen, was die Lebensdauer deutlich begrenzt. Alterungsbeständige Bindemittel erhöhen somit die Dauerhaftigkeit und damit die Kosten- und Energieeffizienz von Straßenaufbauten. Zudem begrenzt die Al-

terung 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 von 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 von 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 Ausbaumaterial so in Zukunft auch hochwertig

recykliert werden – also „Upcycling statt Downcycling“.

1.3 Projekt Ökophalt

Im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsprojekts, „Ökophalt – Chemisch-physikalische Grundlagen zur Bitumenalterung für ökonomisches 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. In diesem Projekt arbeiten drei Institute 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+Brauswetter GmbH, Swietelsky GmbH und Nievelt Labor GmbH, als Ko-Financier auftritt. Die interdisziplinäre Aufstellung des Projektteams stellt sicher, dass sowohl die chemisch-physikalischen Grundlagen als auch die Analyse des mechanischen Verhaltens, sowie die mikro-mechanische Modellierung umfassend in die Erarbeitung eines neuen, tieferen und ganzheitlichen Verständnisses der Bitumenalterung eingebracht werden. Das Projekt wurde mit Beginn des Jahres 2012 gestartet und läuft über 36 Monate. Während der Laufzeit werden umfassende Analysen von Bitumen- und Asphaltalterung im Feld und durch Laborverfahren durchgeführt. 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 daraus gewonnenen Erkenntnisse werden herangezogen, um die mikro-mechanische Modellierung (Mehrskalenmodellierung) in Bezug auf die molekulare Ebene und die Alterung zu erweitern (Eberhardsteiner, 2013). Einen Über-

blick über das erweiterte Mehrskalennmodell zeigt Bild 1.

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 Ausgangspunkt 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 die 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 vorge-

nommen. Dabei wurde grundsätzlich nach der ASTM D4124 (ASTM, 2009) vorgegangen, allerdings wurden die Proben in wesentlich kleinere Fraktionen unterteilt, wie Bild 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 ein, das im Abschnitt 2.2 näher erläutert wird.

Gut dokumentiert und argumentiert ist die Kurzzeitalterung von Bitumen, die während des Mischens und Einbaus während weniger Stunden vor sich geht. Hohe Temperaturen und große spezifische Oberflächen begünstigen die thermische Zersetzung metastabiler Moleküle und das Verdampfen verbleibender, leicht flüchtiger Bestandteile des Bitumens (thermische Alterung). Zudem laufen oxidative Vorgänge aufgrund der hohen Temperaturen und des guten Sauerstoffeintrags beschleunigt ab (oxidative Alterung) (Petersen, 2009). Die Langzeitalterung, die während der 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 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 Luft-sauerstoff nicht das einzige verfügbare Oxidans und damit möglicherweise nur von begrenzter Bedeutung für die Langzeitalterung. 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 das von relativ tragem Luftsauerstoff – zumindest bei den Temperaturen, die im Feld maximal auftreten (< 65 °C). Diese Gase erklären vor allem die Alterung von oberflächennahen Schichten. Durch wasserlösliche Oxidationsmittel, wie HNO_3 , H_2SO_4

Kommentar und Leitlinien

Vollständig überarbeitete und erweiterte 4. Auflage



Die vollständig überarbeitete und erweiterte **4. Auflage** des Handbuchs zum neuen Regelwerk **ZTV E-StB 09** bietet eine umfassende Kommentierung und stellt das Regelwerk in den gesamtheitlichen Zusammenhang der technischen Weiterentwicklung, des nationalen und europäischen Normenwerks sowie der Vertrags- und Vergaberegulungen. **Gut verständlich und übersichtlich ist das Handbuch in drei Teile gegliedert:**

Teil 1 – Leitlinien

beinhaltet die wichtigen Grundsätze und Zielorientierungen in den Bereichen Entwurfsplanung, Umweltschutz, Auftragswesen und Bauausführung und bietet Orientierungshilfe bei der Entscheidungsfindung und Auslegung der technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien.

Teil 2 – Kommentar mit Kompendium Erd- und Felsbau

erläutert die Regelungen der ZTV E-Neufassung im Einzelnen und in den Zusammenhängen untereinander.

Teil 3 – Anhänge

umfasst informative Arbeitshilfen, wie z. B. die bodenmechanischen Entwurfsgrundlagen und die Kenngrößen für Boden und Fels, sowie ein umfangreiches Stichwortverzeichnis.

Handbuch ZTV E-StB

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Rudolf Floss

4. Auflage 2011

724 Seiten, DIN B5, Hardcover

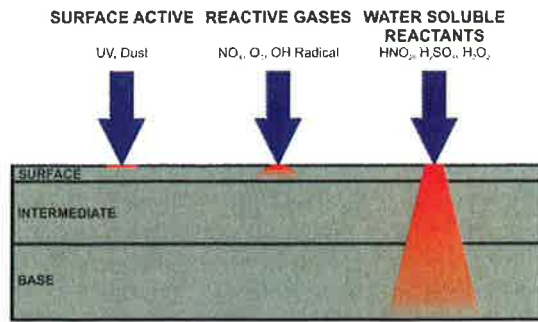
87,00 € inkl. MwSt. und Versand

ISBN 978-3-7812-1707-2



Weitere Infos unter www.kirschbaum.de

Bild 3: Verfügbare Oxidationsmittel als Alterungsquelle für Bitumen und Asphaltmischgut (Handle, 2013)



und auch H_2O_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 Bild 3.

2.2 Modell zur Alterung von Bitumen

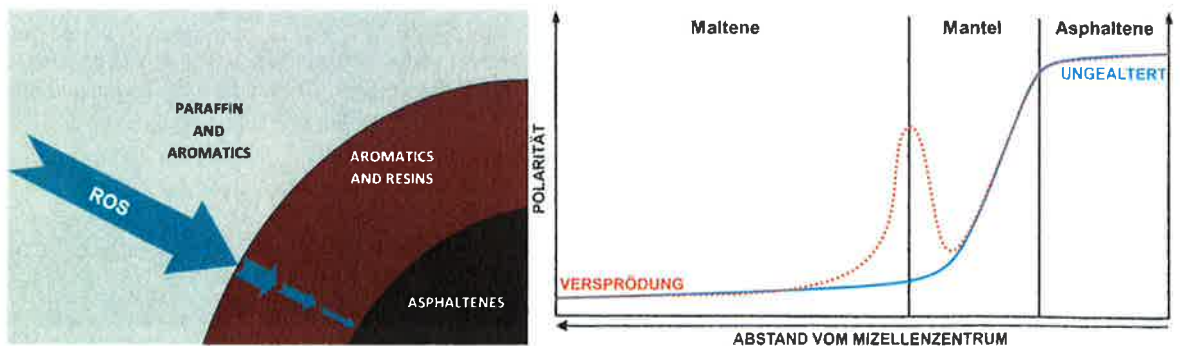
Zur strukturellen Zusammensetzung von Bitumen gibt es verschiedene Vorstellungen. Im Allgemeinen jedoch gilt das Mizellenmodell als gesichert. Dieses geht davon aus, dass es sich um eine Dispersion handelt, bei der unbegrenzt oder nur sehr begrenzt in einer Matrix lösliche Moleküle agglomerieren und Ausscheidungen, sogenannte Mizellen, bilden. Dieses Modell ist gut gesichert und die durchgeführten Fraktionierungsuntersuchungen (siehe Abschnitt 2.1) lieferten weitere über die Literatur hinausgehende Hinweise, dass hochpolare Asphaltene in einer niedropolaren Matrix (Maltenphase) aus Aromaten und gesättigten Verbindungen verteilt sind. Damit sich eine funktionierende Dis-

persion einstellt, müssen die Asphaltene von einem Mantel umgeben sein, der einen stetig verlaufenden Polaritätsgradienten zur niedropolaren Matrix herstellt. Dieser Zustand ist im rechten Diagramm des Bildes 4 für den ungealterten Zustand in blau qualitativ dargestellt.

Während die niedropolare Maltenphase sehr reaktionsträge in Bezug auf Oxidation ist, steigt das Oxidationspotenzial mit ansteigender Polarität. Da der hochpolare Asphaltkern durch den Mantel umgeben ist, greifen reaktive oxidative Spezies (ROS) zunächst den Mantel an. Mit fortlaufender Alterung wandert die Alterung schließlich bis in den Kern der Mizelle vor. Dieser Umstand ist links in Bild 4 dargestellt. Durch die fortschreitende Oxidation des Mantels kommt es zu einer ansteigenden Polarität des Mantels. Im linken Diagramm des Bildes 4 ist dieser Umstand rot gestrichelt 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 Bild 5 ist ein repräsentatives Volumelement (RVE) mit den Bestandteilen von ungealtertem Bitumen qualitativ dargestellt. Zum Aufbau und zur Validierung des mikromechanischen Modells von Bitumen, das auch Alterung einschließt, wurden zahlreiche Identifikationsversuche an sogenannten Fällungsbitumen durchgeführt. Dazu wurden in einem ersten Schritt Maltenen und Asphaltene durch n-Heptan-Extraktion voneinander getrennt und anschließend Mischungen mit unterschiedlichen Asphaltgehalten hergestellt. 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 (Rolling Thin Film Oven Test – RTFOT und Pressure Aging Vessel – PAV) Bindemittel durchgeführt. Aus den Ergebnissen von Scher kriechversuchen am DSR (Dynamischer Scherrheometer) (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. Dieser Effekt kann durch das mikromechanische Modell (Eberhardsteiner, 2013) nachvollzogen und abgebildet werden. Das Prinzip ist auch in Bild 5 dargestellt.

Bild 4: Angriff von Reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) im Bitumen (links) und chemische Modellvorstellung zur Alterung (rechts) (Handle, 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. Bild 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 bis 12 Jahren Liegedauer abgeschlossen ist. Danach scheint das Oxidationspotenzial der hier untersuchten Proben (polymermodifizierte Bindemittel) weitgehend 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 vonstatten geht, 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 zu erwartenden positiven Einflüsse auf verzögerte Langzeitalterung und damit einhergehend eine mögliche Verlängerung der Lebensdauer und eine höhere Qualität von Ausbaumasphalt 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

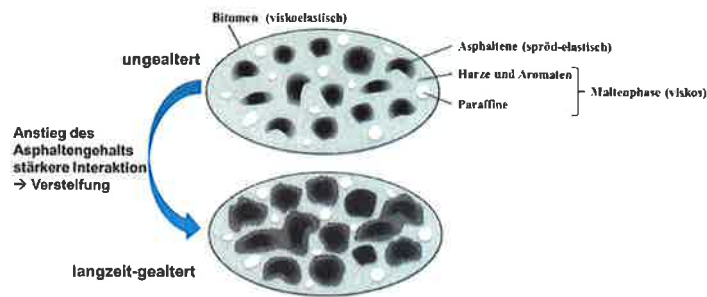


Bild 5: Mikro-mechanische Modellierung von Bitumenalterung (Eberhardsteiner, 2013)

mangelhaft sein (indem 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 (Parmegiani, 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 Steifigkeitsanstiege in Bezug auf die ungealterte Probe werden gegen die Prüftemperatur im DSR dargestellt. Ein Beispiel zeigt das rechte Diagramm in Bild 6. Während die thermischen oder destillativen Effekte hauptsächlich mit der Bitumenqualität in Verbindung zu bringen sind, werden die oxidativen Effekte durch die Bedingungen beim Mischen und beim 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.

3.1 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, wie 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 chemische Reaktionen, wie z. B. Oligomerisierungs- und Polymerisierungsreaktionen gegenüber Zerfallsreaktionen begünstigen, welche vermutlich im Feld bevorzugt auftreten. 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

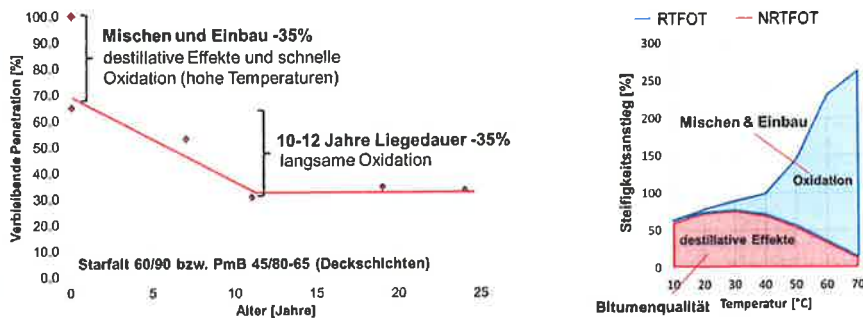


Bild 6: Verlauf der verbleibenden Penetration mit der Liegedauer (links) und Differenzierung von oxidativer und destillativer Kurzzeitalterung (rechts)

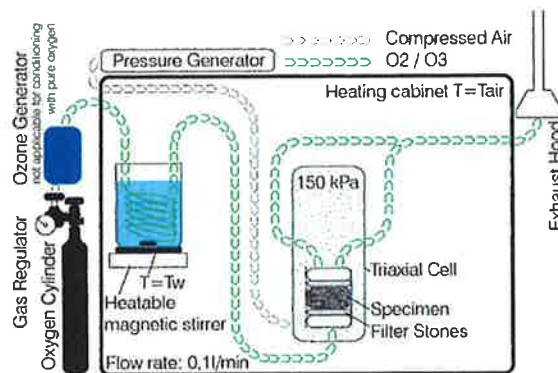


Bild 7: Schema zum Wiener Verfahren zur Laboralterung von Asphaltprobekörpern

Asphaltprobekörpern können wiederum für die Feldalterung atypische chemische Reaktionen begünstigen. 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 °C bis 85 °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 (Bild 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 geografischen (da klimatischen) Bedingungen abhängt. Bild 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 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.

4 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. Die Alterung von Bitumen, im mechanischen Sinne die Verhärtung und Versprödung des Materials, wird einerseits durch Oxidation des Mantels von Asphalt-Mizellen und damit eine geringere Kompatibilität der Dispersion aus Asphaltene und Maltenen hervorgerufen (Versprödung) und andererseits durch einen Anstieg des Asphaltengehalts mit einhergehende stärkerer Interaktion der Asphalt-Mizellen (Verhärtung).
 - Die Langzeitalterung von Asphaltmischgut wird überbewertet. 50 % der Alterung erfolgen 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 realitätsnah 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.

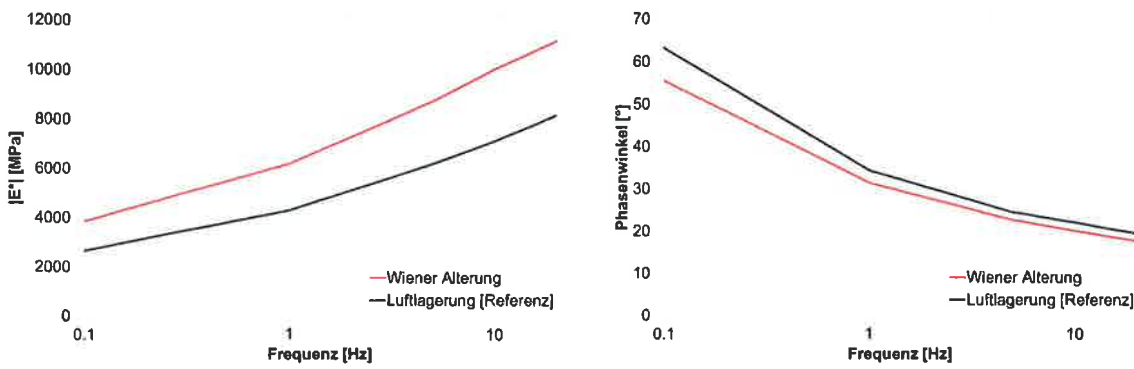


Bild 8: Auswirkung des Wiener Alterungsverfahrens auf mechanische Kennwerte von Asphaltprobekörpern; ermittelt im Spaltzugschwellversuch bei + 10 °C; links: dynamische Steifigkeit, rechts: Phasenwinkel

Danksagungen

Die Autoren bedanken sich herzlich bei der FFG sowie den Industriepartnern des Projekts „Ökophalt“ für die Ko-Finanzierung der Forschungsarbeiten.

Literaturverzeichnis

Amini, A. A.; Mashayekhi, M.; Ziarai, H. (2012): Life cycle cost comparison of highways with perpetual and conventional pavements, International Journal of Pavement Engineering, Volume 12, Issue 6.
 ASTM D4124 (2009): Standard Test Method for Separation of Asphalt into Four Fractions
 Bell, C. A.; AbWahab, Y.; Cristi, M. E.; Sosnovske, D. (1994): Selection of Laboratory

Ageing Procedures for Asphalt Aggregate Mixtures, Strategic Highway Research Program, Washington D. C.
 Eberhardsteiner, L.; Hofko, B.; Füssl, J.; Hospodka, M.; Blab, R.; Grothe, H.; (2013): Experimental investigation and micromechanical modeling, Composites Science and Technology (submitted).
 Europäisches Parlament, Europäischer Rat (2008): 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.
 Handle, F. (2013): Bitumen Structure and Bitumen Ageing, Proceedings of the 15th Austrian Chemistry Days, Graz, 2013.
 Hofko, B.; Hospodka, M.; Blab, R.; Eberhardsteiner, L.; Füssl, J.; Grothe, H.;

Handle, F. (2014): Impact of Field Ageing of Binder on Performance Hot Mix Asphalt, Proceedings of ISAP 2014, Raleigh, NC (submitted).
 Parmeggiani, G. (2000): Nitrogen Rolling Thin Film Oven Test, Proceedings of the 2nd Euroasphalt and Eurobitume Congress, Session 2: Development in Bituminous products and techniques.
 Petersen, J. C. (2009): A Review of the Fundamentals of Asphalt Oxidation – Chemical, Physicochemical, Physical Property, and Durability Relationships, Transport Research Circular E-C140, Washington D. C.
 Tarefder, R. A., Bateman, D. (2012): Design of Optimal Perpetual Pavement Structure, Journal of Transportation Engineering, Volume 128, Issue 2.
 Zellner R. [Hrsg.] (2011): Chemie über den Wolken: ... und darunter, John Wiley & Sons.

Handbuch und Kommentar

Aktuell kommentiert in der 4. Auflage

Walter Eger
Hans-Josef Ritter
Gernot Rodehack
Heiner Schwarting

ZTV/TL Beton-StB

Handbuch und Kommentar mit Kompendium Bauliche Erhaltung

4. Auflage

KIRSCHBAUM

In der 4. Auflage wurden die eingetretenen Änderungen bei den Betonbauweisen im Regelwerk berücksichtigt. Die Inhalte der neuen Regelwerke ZTV-, TL Beton-StB und Erhaltung der Betonbauweisen wurden kommentiert und für die Praxis verdeutlicht. Erweitert wurden die Kommentierungen um die Teile **Fugen bei der Betonbauweise** sowie einschlägige Kapitel zur **baulichen Erhaltung bei Fahrbahndecken** aus Beton. Die Regelwerke zu den **hydraulischen Bauweisen** – dem Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und dem Bau von Fahrbahndecken aus Beton – werden in der Kommentierung ausführlich erläutert.

Das Handbuch gliedert sich in die Teile „Lieferung“, „Herstellung und Einbau“ sowie „Erhaltung von Betonfahrbahnen“.

Die Erfahrungen der Autoren aus den Bereichen Verwaltung, Wissenschaft und Wirtschaft tragen dazu bei, dass sich die interessierte und fachkundige Leserschaft zu zentralen Themen der Betonbauweisen und über neue Sachverhalte informieren kann.

ZTV/TL Beton-StB

Prof. Dr.-Ing. Walter Eger, Dipl.-Ing. Hans-Josef Ritter, Dipl.-Ing. Gernot Rodehack, Dipl.-Ing. Heiner Schwarting
 4. Auflage 2010
 640 Seiten, DIN B5, Hardcover
 84,90 € inkl. MwSt. und Versand
 ISBN 978-3-7812-1651-8

Weitere Infos unter www.kirschbaum.de