



Sonderdruck aus der „asphalt 6|2019“

(„asphalt“ wird herausgegeben von der Stein-Verlag Baden-Baden GmbH, www.stein-verlagGmbH.de)

Teil 3: Vergleichsstudie zur Wirkungsweise unterschiedlicher Rejuvenatoren

Wirksamkeit und Performance von Rejuvenatoren

Im Rahmen der vorangegangenen Beiträge zum Thema Rejuvenatoren [1] [2] konnte herausgearbeitet werden, dass der Einsatz von (wirksamen) Rejuvenatoren jetzt und vor allem auch in Zukunft die Möglichkeit bietet, Asphaltgranulat im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes, d. h. in der höchsten Form und nahezu in allen Asphaltsschichten, wiederzuverwenden und somit einen entscheidenden Beitrag zum Thema Nachhaltigkeit im Asphaltstraßenbau zu liefern. Darüber hinaus bietet die hochwertige Wiederverwendung von Asphaltgranulat u. a. Möglichkeiten, in Prozesse global nachhaltiger Kommunen, wie beispielsweise Klimaanpassungskonzepte oder Klimaschutzprogramme, einzufließen.

Von Dr.-Ing. Daniel Gogolin und Tim Lümekemann, B. Sc.

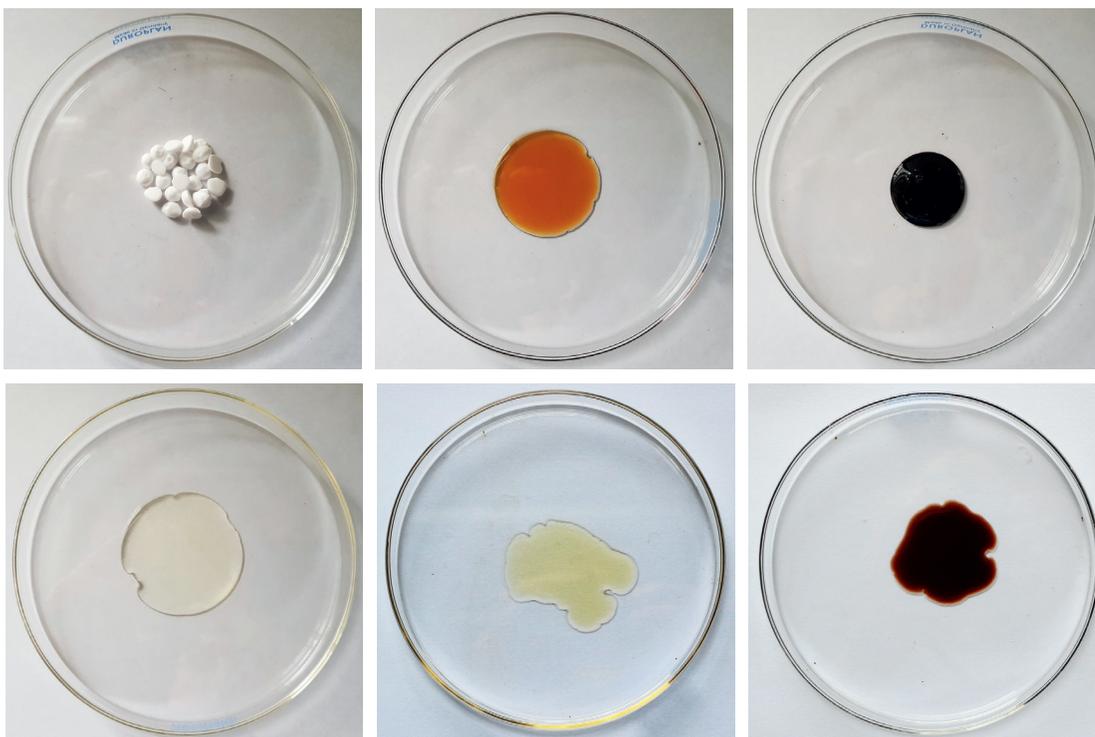


Abbildung 1: Im Rahmen der Vergleichsstudie untersuchte Rejuvenatoren (Quelle: Ingenieurgruppe PTM)

2 Schwerpunkt: Rejuvenatoren

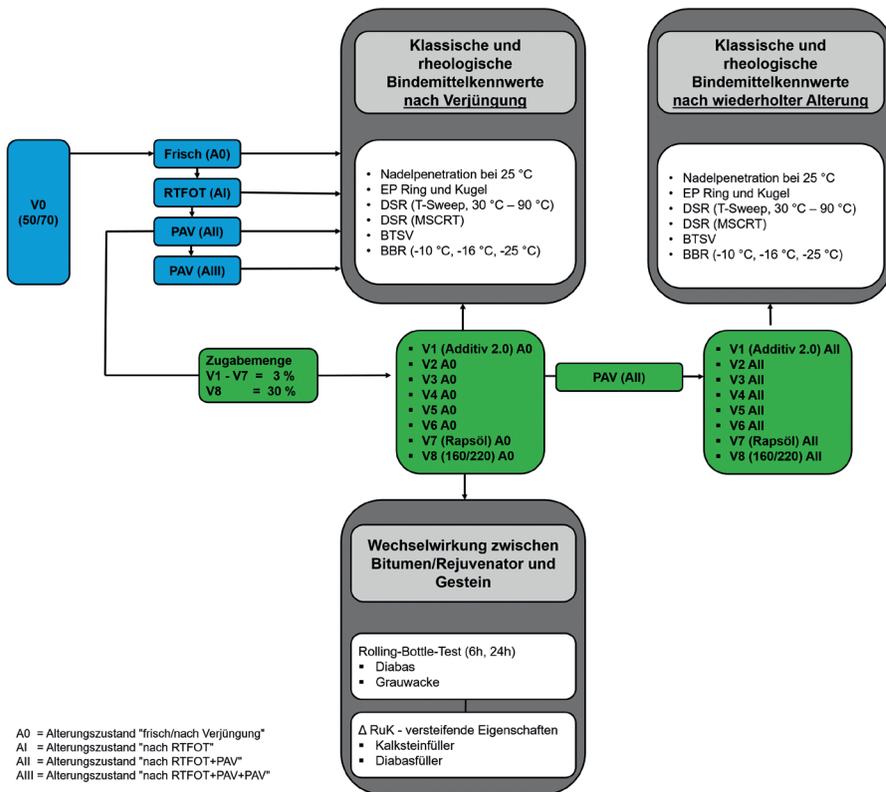


Abbildung 2: Flussdiagramm zum Untersuchungsprogramm

Zum Erreichen der zuvor genannten Ziele spielt die Wirksamkeit der hierbei eingesetzten Rejuvenatoren eine entscheidende Rolle. Aufbauend auf den Erkenntnissen aus [1] und [2] wurde in diesem Kontext eine Vergleichsstudie zur Wirkungsweise unterschiedlicher Rejuvenatoren im Labor der Ingenieurgesellschaft PTM Dortmund mbH durchgeführt.

Die dieser Vergleichsstudie zugrunde liegende Untersuchungsmethodik und die sich daraus ergebenden wesentlichen Erkenntnisse werden in den nachfolgenden Ausführungen näher erläutert.

Untersuchungsmethodik und Untersuchungsprogramm

Im Rahmen der Studie wurden insgesamt sechs verschiedene Rejuvenatoren unterschiedlicher Hersteller hinsichtlich ihrer Wirkungsweise untersucht. Die Konsistenz von fünf der sechs verwendeten Produkte ist zwischen flüssig und zähflüssig einzuordnen. Nur ein Produkt wies hierbei eine feste Konsistenz auf. Die untersuchten Rejuvenatoren sind in Abbildung 1 dargestellt.

Um eine vergleichbare Basis zur Bewertung der Wirkungsweise der einzelnen Rejuvenatoren zu schaffen, kam neben einer konstanten Zugabemenge der Rejuvenatoren von 3 M.-% für alle Varianten immer das gleiche Straßenbaubitumen 50/70 (Basisbindemittel) zum Einsatz. Im unmittelbaren Vergleich zu den sechs Rejuvenatoren wurde als weitere Variante Rapsöl mit einer Zugabe von 3 M.-% verwendet.

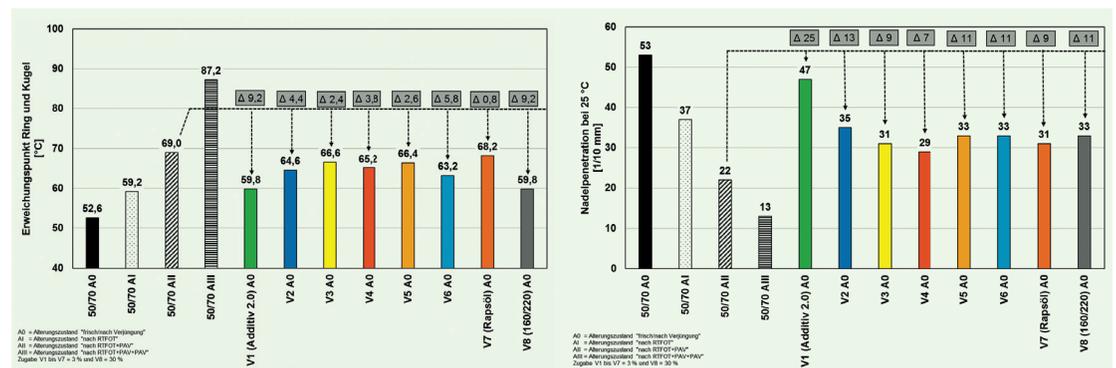
Zusätzlich zu den eigentlichen Rejuvenator-Produkten wurde ein Straßenbaubitumen 160/220 (gemäß der TL Bitumen-StB 07/13) mit einem Zugabeanteil von 30 M.-% eingesetzt (Zwei-Sorten-Sprung). Im Rahmen der vorangegangenen Untersuchungen hat sich gezeigt, dass bei dieser Zugabemenge für das RTFOT- und PAV-gealterte Basisbitumen 50/70 ein vergleichbarer Erweichungspunkt Ring und Kugel (bisheriger Zielwert Bauvertrag) ergibt, wie bei Zugabe von 3 M.-% Additiv 2.0.

Anzumerken ist an dieser Stelle allerdings, dass die ermittelten Werte bei 10-facher Zugabemenge des 160/220 im Rahmen der Studie den idealisierten Fall einer hundertprozentig homogenen Einarbeitung des Bitumens in ein vollständig aufgeschlossenes Asphaltgranulat darstellen. Mögliche Probleme, die bei einer Asphaltmischgutherstellung mit hohen Anteilen an Asphaltgranulat, wie z. B. durch Doppelumhüllung/heterogene Verteilung etc., entstehen könnten, finden im Rahmen dieser Studie keine Berücksichtigung.

Für die Untersuchungen im Rahmen der Studie haben sich somit folgende neun Basisvarianten ergeben:

- 50/70 (V0)
- 3 % Rejuvenator 1/Additiv 2.0 (V1)
- 3 % Rejuvenator 2 (V2)
- 3 % Rejuvenator 3 (V3)
- 3 % Rejuvenator 4 (V4)

Abbildung 3: Ergebnisse EP RuK (links) und NP (rechts) nach der Verjüngung (A0)



- 3 % Rejuvenator 5 (V5)
- 3 % Rejuvenator 6 (V6)
- 3 % Rapsöl (V7)
- 30 % 160/220 (V8)

Um die Alterungsstufe/-zustand des jeweiligen Bindemittels zu kennzeichnen, wurden folgende Indizes eingeführt: Für den Anlieferungszustand des Basisbitumens bzw. Zustand nach Zugabe des Rejuvenators wird die Abkürzung A0 und für den Alterungszustand „nach RTFOT und PAV“ jeweils AII verwendet. Die Alterungsstufe „nach RTFOT und 2 x PAV“ wird AIII genannt.

Das bereits in [1] zur Anwendung gekommene Untersuchungsprogramm wurde um die entsprechenden Varianten erweitert und ist in Abbildung 2 in Form eines Flussdiagramms dargestellt.

Wie aus dem Flussdiagramm ersichtlich wird, wurde das Untersuchungsprogramm in drei Teilgebiete gegliedert. Im ersten Untersuchungsschritt wurden die klassischen und rheologischen Kennwerte der einzelnen Varianten, unmittelbar nach der Verjüngung (A0), bestimmt. Anschließend wurden diese Bitumenkennwerte nach

einer wiederholten Alterung der verjüngten Varianten ermittelt (AII). Im dritten Teilschritt wurde die Wechselwirkung zwischen Bitumen/Rejuvenator und Gestein anhand des Adhäsionsverhaltens und der versteifenden Eigenschaften geprüft. Die wesentlichen Ergebnisse aus den Laboruntersuchungen werden im Nachfolgenden dargestellt und bewertet.

Bindemittelkennwerte nach der Verjüngung

Wie der Abbildung 3 zu entnehmen ist, führt die Kurz- und Langzeitalterung (RTFOT + PAV) des Basisbindemittels 50/70 zu einer Gesamterhöhung des Erweichungspunkts Ring und Kugel von 52,6 °C auf 69,0 °C (Δ 17,4 °C). Die Varianten V1 und V8 zeigen bei einer Zugabe von 3 % hierbei die größte Reduzierung des EP RuK (Δ 9,2 °C) und liegen somit nahezu wieder auf dem Niveau des kurzzeitgealterten Basisbitumens. Bei den Varianten V2 bis V6 liegt die Reduzierung zwischen 5,8 °C und 2,4 °C. Das Rapsöl zeigt an dieser Stelle die geringste Wirkung mit einem resultierenden EP RuK von 68,2 °C (Δ 0,8 °C).

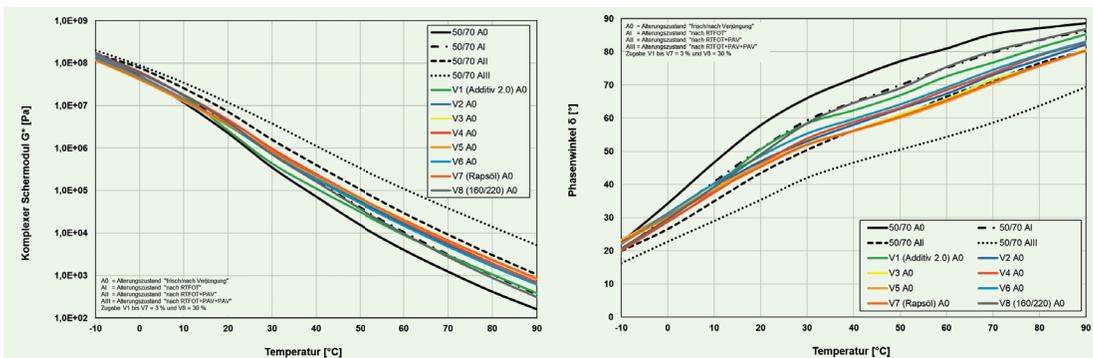


Abbildung 4: Ergebnisse Komplexer Schermodul (links) und Phasenwinkel (rechts) nach der Verjüngung (A0)

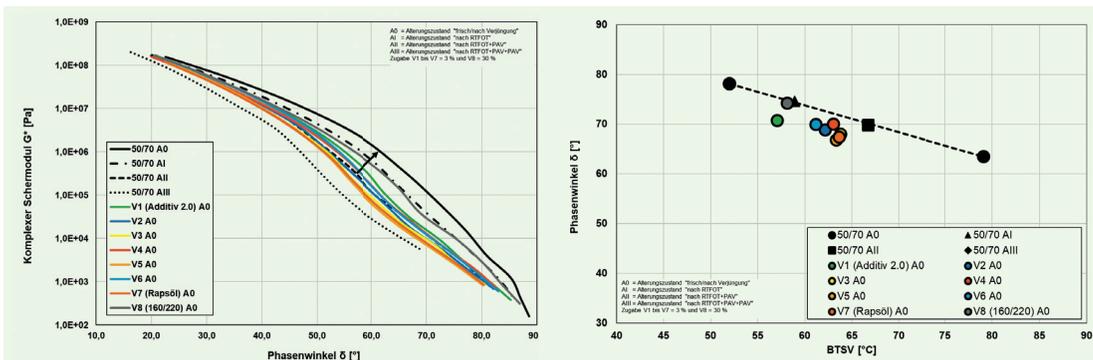


Abbildung 5: Ergebnisse Black-Diagramm (links) und BTSV (rechts) nach der Verjüngung (A0)

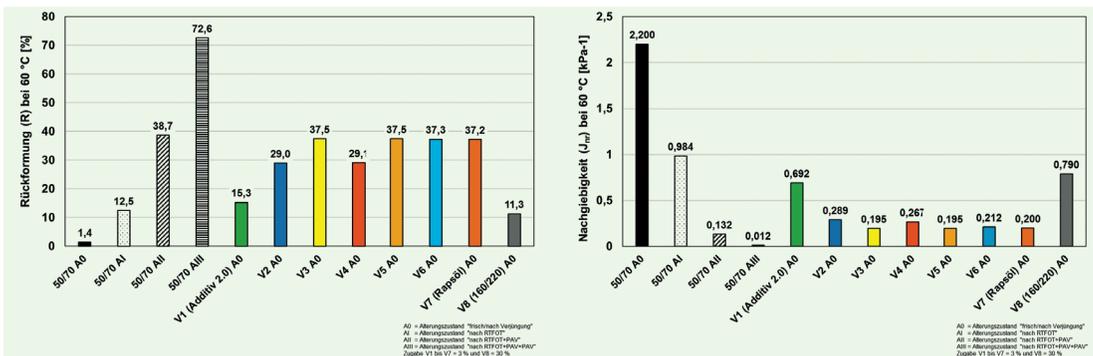
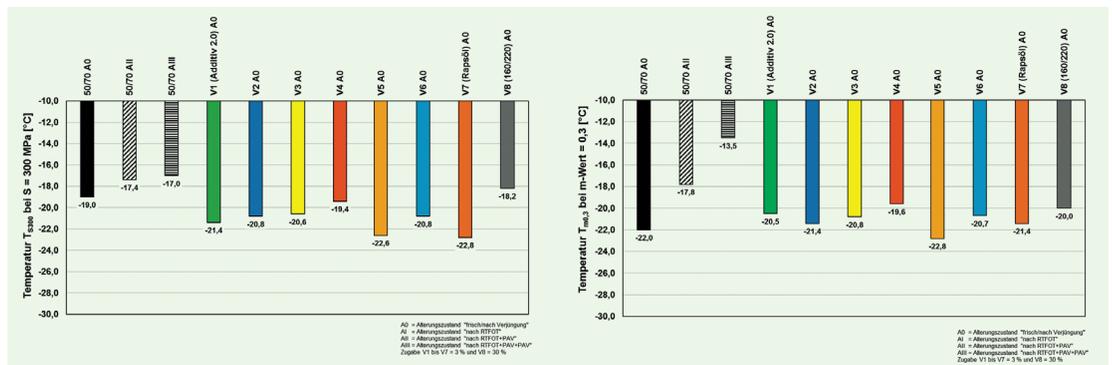


Abbildung 6: Ergebnisse MSCRT-Rückformung (links) und MSCRT-Nachgiebigkeit (rechts) nach der Verjüngung (A0)

Abbildung 7: Ergebnisse BBR-Tm0,3 (links) und BBR-TS300 (rechts) nach der Verjüngung (A0)



Die Auswertung der Ergebnisse der Nadelpenetration (Abb. 3) lässt mit Ausnahme der Variante 1 für alle übrigen Varianten eine Erhöhung der Nadelpenetration auf RTFOT-Niveau erkennen. Bei der Variante 1 konnte an dieser Stelle nahezu der Ausgangswert des ungealterten Basisbitumens erreicht werden.

Beispielhaft für den EP RuK lässt sich – jeweils bezogen auf einen Zugabeanteil von 1 % – folgendes Wirkungs-Ranking aufstellen:

- **V1/V8** reduziert den EP RuK um -3,1 °C
- **V6** reduziert den EP RuK um -1,9 °C
- **V2** reduziert den EP RuK um -1,5 °C
- **V3** reduziert den EP RuK um -1,3 °C
- **V5** reduziert den EP RuK um -0,9 °C
- **V4** reduziert den EP RuK um -0,8 °C
- **V7** reduziert den EP RuK um -0,3 °C

Die in den Abbildungen 4 bis 7 dargestellten Ergebnisse der durchgeführten rheologischen Bindemitteluntersuchungen umfassen im Einzelnen die Bestimmung des temperaturabhängigen Verformungsverhaltens (DSR, T-Sweep) anhand der Kennwerte Komplexer Schermodul G^* , Phasenwinkel δ und BTSV, die Bestimmung der Rückformung R und Nachgiebigkeit J_{nr} im Kriechversuch (MSCRT) und die Bestimmung des Tieftemperaturverhaltens anhand der Steifigkeit S und des m -Werts (BBR).

Die Auswertung der DSR-Analytik hinsichtlich des Komplexen Schermoduls ergab ein vergleichbares Bild zu den Ergebnissen aus den Untersuchungen des EP RuK. Grundsätzlich zeigen alle geprüften Varianten eine Reduzierung des Komplexen Schermoduls. Die Gesamtbetrachtung lässt an dieser Stelle allerdings eine deutliche Gruppierung der Ergebnisse zu. Die Varianten V1 und V8 konnten das RTFOT-Niveau erreichen, wohingegen die übrigen Varianten auf einem zueinander vergleichbarem, aber insgesamt deutlich geringeren Wirkungsniveau liegen. Bei der Betrachtung der Phasenwinkel fällt auf, dass die Varianten V3, V5 und V7 speziell ab ca. 30 °C nahezu keine Veränderung im Phasenwinkel herbeiführen, die Varianten V2, V4 und V6 eine leichte Erhöhung des Phasenwinkels zur Folge haben und dass Variante V8 gefolgt von V1 jeweils eine deutliche Erhöhung des Phasenwinkels bewirken.

Das Black-Diagramm vergleicht (temperaturunabhängig) den Komplexen Schermodul G^* jeweils in Abhängigkeit des Phasenwinkels δ der einzelnen Varianten mit

einander. Nach dem bisherigen Stand des Wissens führt ein echter/wirksamer Rejuvenator (Definition siehe [1]) zu einer Erhöhung des Phasenwinkels bei gleichzeitiger Verringerung des Komplexen Schermoduls (vgl. Abbildung 5, schwarzer Pfeil). An dieser Stelle zeigen die Ergebnisse deutlich, dass von den eingesetzten Produkten nach dieser Definition nur die Varianten V1, V4, V6 und V8 die Charakteristika eines echten Rejuvenators aufweisen. Die Variante V2 zeigt nahezu keine Veränderung zum gealterten Basisbitumen (50/70 AII) und die Varianten V3, V5 und V7 weisen sogar eine Verschlechterung im Black-Diagramm auf. Beim BTSV erkennt man nach der Verjüngung deutlich, dass sich auch hier zwei Wirkungsgruppen bilden lassen, so liegen die Varianten V1 und V8 im näherungsweisen Bereich vom 50/70 AI (RTFOT), wohingegen alle anderen Varianten zwischen dem 50/70 AII (RTFOT + PAV) und 50/70 AI einzuordnen sind.

Laut Definition der AL-DSR-Prüfung (MSCRT) beschreibt die Rückformung (R) den Anteil der viskoelastischen Dehnung an der maximalen Dehnung eines Probekörpers nach einem Kriech- und Erholungszyklus und die Nachgiebigkeit (J_{nr}) die bleibende Dehnung nach einem Kriech- und Erholungszyklus, bezogen auf die aufgebraachte Scherspannung. Die Abbildung 6 fasst die Ergebnisse für die Rückformung und Nachgiebigkeit aller Varianten zusammen.

Anhand der Untersuchungen des Basisbitumens 50/70 hat sich gezeigt, dass der Anteil der viskoelastischen Dehnung an der Gesamtdehnung – die Rückformung – infolge von Alterung (hier: AII) ansteigt. Als Konsequenz hieraus muss ein wirksamer Rejuvenator den Anteil der viskoelastischen Dehnung an der Gesamtdehnung in Richtung des Ursprungswerts verringern. Analog zu den Betrachtungen der Rückformung kann auch die Nachgiebigkeit im Hinblick auf eine Reduzierung infolge Alterung entsprechend bewertet werden. Die hier ermittelten Ergebnisse können an dieser Stelle nahezu analog zum BTSV beschrieben werden.

Die Abbildung 7 fasst jeweils vergleichend die Temperaturen der einzelnen Varianten nach den Untersuchungen im BBR hinsichtlich der Grenzwerte für die Steifigkeit S bzw. den m -Wert zusammen ($S = 300$ MPa und m -Wert = 0,3). Bezogen auf die Steifigkeit S und den m -Wert weisen alle eingesetzten Produkte eine Verbesserung der

Abbildung 8: Ergebnisse EP RuK (links) und NP (rechts) nach wiederholter Alterung (AI)

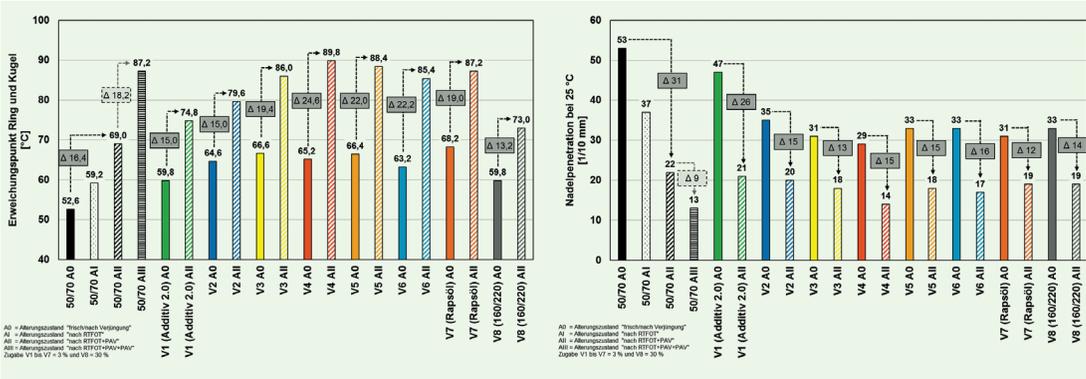


Abbildung 9: Ergebnisse Komplexer Schermodul (links) und Phasenwinkel (rechts) nach wiederholter Alterung (AI)

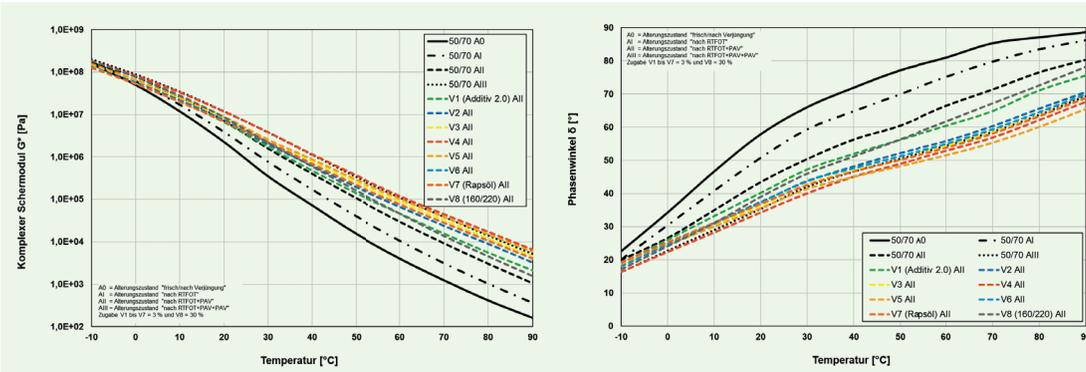


Abbildung 10: Ergebnisse Black-Diagramm (links) und BTVS (rechts) nach wiederholter Alterung (AI)

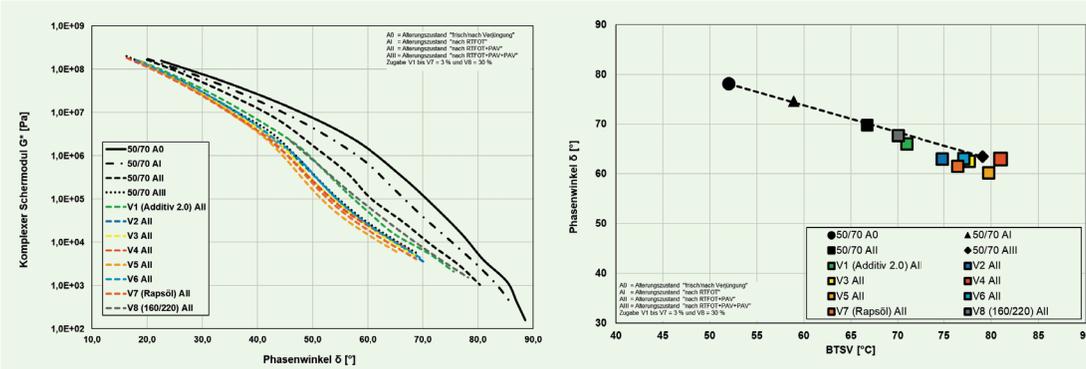


Abbildung 11: Ergebnisse MSCRT-Rückformung (links) und MSCRT-Nachgiebigkeit (rechts) nach wiederholter Alterung (AI)

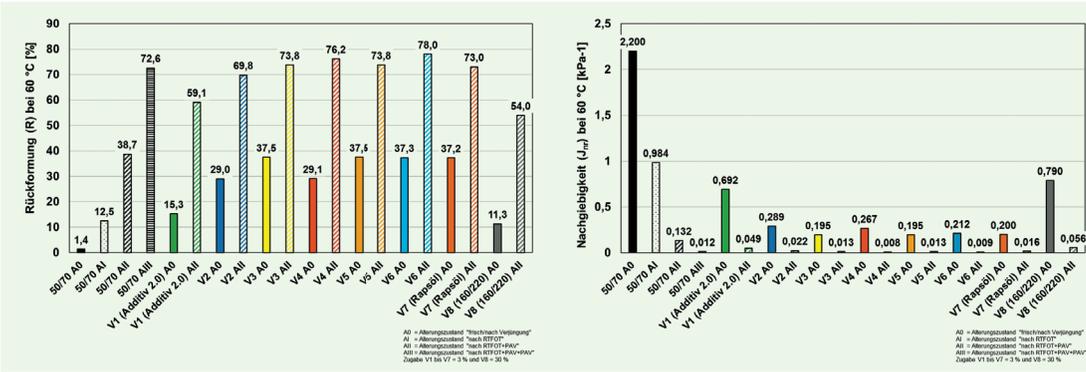


Abbildung 12: Ergebnisse BBR-Tm0,3 (links) und BBR-TS300 (rechts) nach wiederholter Alterung (AI)

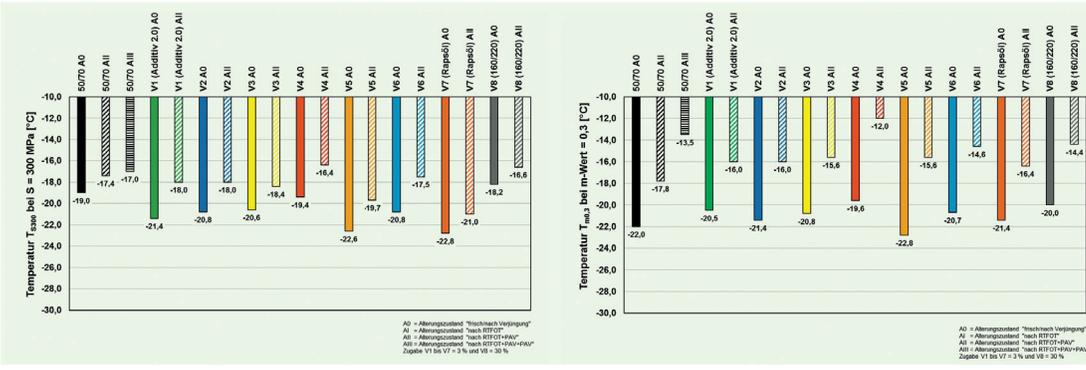


Abbildung 13: R/N-Diagramm zur Beschreibung der rheologischen Wirksamkeit eines Rejuvenators nach Verjüngung A0 (links) und wiederholter Alterung AII (rechts)

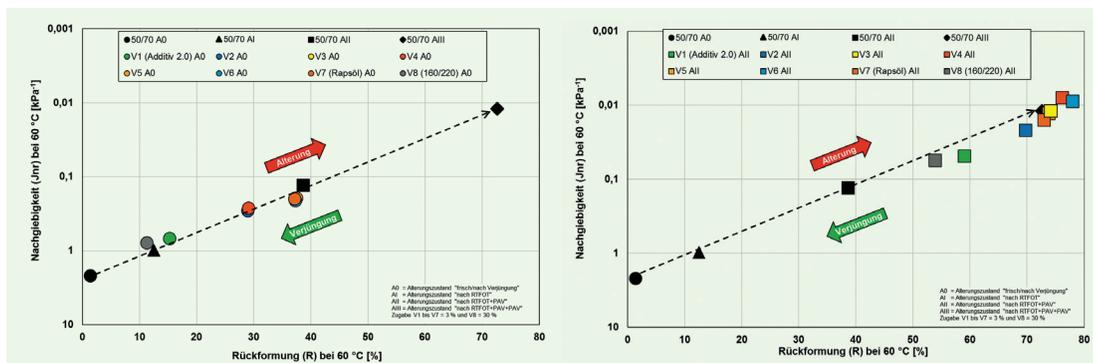
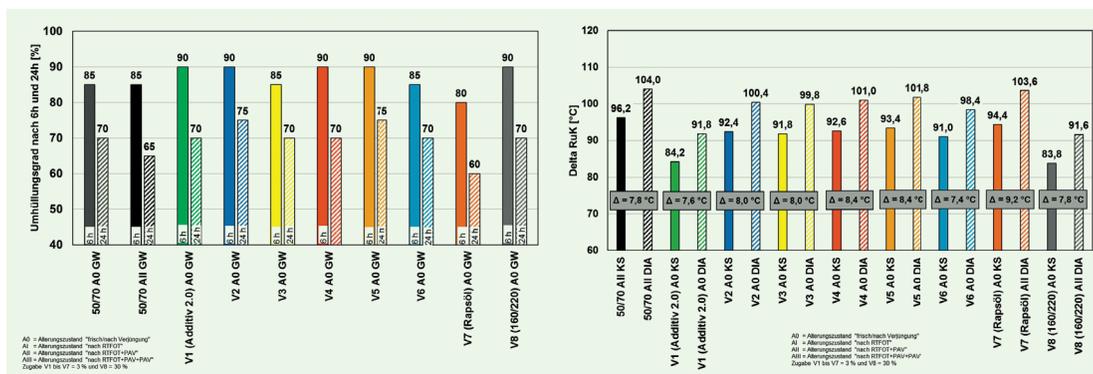


Abbildung 14: Ergebnisse Umhüllungsgrad für Grau- wacke (links) und Delta RuK (rechts)



Kälteeigenschaften bezogen auf das gealterte Basisbitumen bzw. auch das frische Basisbitumen auf.

Veränderung der Bindemittelkennwerte verjüngter Bitumen nach wiederholter Alterung

Die Abbildung 8 präsentiert die EP RuK für alle Varianten sowohl nach der Verjüngung als auch nach wiederholter Alterung mittels RTFOT und PAV (Alterungszustand AII).

Aus den Ergebnissen wird deutlich, dass es bei den verschiedenen Varianten zum Teil signifikante Unterschiede bei der Zunahme des EP RuK infolge einer wiederholten Alterung nach der vorangegangenen Verjüngung gibt.

Ausgehend von einer Zunahme von +16,4 °C bei Alterung des 50/70 zeigen gerade die Varianten V3, V4, V5 und V6 eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber thermisch-oxidativen Alterungsprozessen (Beschleunigung). Dem hingegen weisen die Varianten V1, V2 und V8 im Vergleich zum Basisbitumen sogar eher eine leicht alterungshemmende Wirkung auf. Ausgehend von einer Abnahme der NP um 31 0,1 mm bei Alterung des 50/70 zeigen alle eingesetzten Produkte grundsätzlich eine geringere Abnahme. Bis auf Variante V4 liegen nach der Alterung nahezu alle Varianten auf einem vergleichbaren Niveau.

Im Hinblick auf die rheologische Betrachtung der Bindemittel nach der wiederholten Alterung zeigen vor allem das Black-Diagramm, das BTSV-Diagramm und die MSCRT-Kennwerte (Abbildungen 9 bis 11) deutlich Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten. Es zeichnet sich an dieser Stelle analog zu den Ergebnissen EP RuK ab, dass die Alterung der verjüngten Bindemittel stellen-

weise zu einer Beschleunigung der Alterungsprozesse führt. So konnten hier am Beispiel der BTSV-Ergebnisse drei Wirkungsgruppen identifiziert werden. Die Varianten V4 und V5 sind stärker gealtert als das ursprüngliche Bitumen bei gleicher Alterungsstufe (AII), die Varianten V2, V7, V6 und V3 liegen knapp vor diesem Bereich und die Varianten V8 und V1 sind wesentlich weniger stark gealtert und vom Alterungsstatus nur leicht hinter der Alterungsstufe 50/70 AII einzustufen.

Bezüglich des Tieftemperaturverhaltens (BBR) liegen nach der wiederholten Alterung mit Ausnahme der Variante V4 alle Produkte auf einem vergleichbaren hohen Niveau und auch allgemein günstiger als das gealterte Basisbitumen (Abbildung 12).

Die beiden Bitumenkennwerte Rückformung (R) und Nachgiebigkeit (J_{nr}) stehen unmittelbar in einem Zusammenhang miteinander und können genutzt werden, um das Verhalten eines Bitumens infolge einer Kriechbelastung zu beschreiben. Hierzu wurde in Abbildung 13 jeweils nach der Verjüngung (links) und der wiederholten Alterung (rechts) die bleibende Dehnung (Nachgiebigkeit) logarithmisch in Abhängigkeit des Anteils der viskoelastischen Dehnung (Rückformung) im R/N-Diagramm dargestellt.

Die Darstellungsform der Ergebnisse der Kriechversuche (MSCRT) im R/N-Diagramm eröffnet die Möglichkeit einer einfachen und prüftechnisch schnell umzusetzenden Beschreibung der rheologischen Wirksamkeit eines Rejuvenators nach Verjüngung und wiederholter Alterung. Anhand dieser Darstellung konnten nahezu alle bisherigen Feststellungen aus den rheologischen Bitumenanalysen bestätigt werden.

Wechselwirkungen zum Gestein

Die Abbildung 14 stellt auszugsweise die Ergebnisse der Untersuchungen zur Wechselwirkung zwischen Bitumen/ Rejuvenator und Gestein zusammen. Mit Ausnahme von Variante V7 (Rapsöl) lässt sich an dieser Stelle festhalten, dass die geprüften Varianten zu keiner Veränderung bzw. teilweise zu einer leichten Verbesserung des Haftverhaltens führen. Aufgrund der Ergebnisse zur Untersuchung der Wechselwirkung der verschiedenen Bitumenvarianten mit zwei unterschiedlichen Füllern (Kalkstein- und Diabasfüller) kann für alle geprüften Varianten attestiert werden, dass die Wirkung durch die beiden eingesetzten Füller nicht beeinflusst wird.

Vergleichende Bewertung der Rejuvenatoren

Zur Visualisierung der Ergebnisse und zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse untereinander wurden die Kennwerte in Netzdiagramme (Area Spider) überführt. Hierbei werden die ermittelten Bindemittelkennwerte in drei Temperaturbereiche unterteilt:

- **Bereich der hohen Gebrauchstemperatur (60 °C)**
 - Erweichungspunkt Ring und Kugel
 - Rückformung R bei 60 °C (MSCRT, DSR)
 - Komplexer Schermodul G* bei 60 °C (T-Sweep, DSR)
 - Phasenwinkel δ bei 60 °C (T-Sweep, DSR)
- **Bereich der mittleren Gebrauchstemperatur (20 °C bis 30 °C)**
 - Nadelpenetration bei 25 °C
 - Komplexer Schermodul G* bei 20 °C (T-Sweep, DSR)
 - Phasenwinkel δ bei 20 °C (T-Sweep, DSR)
- **Bereich der niedrigen Gebrauchstemperatur (-10 °C bis -25 °C)**
 - Temperatur T_{S300} (BBR)
 - Temperatur T_{m0,3} (BBR)

Die dargestellten Ergebnisse zeigen die prozentuale Wiederherstellung der physikalischen und rheologischen Kennwerte des gealterten Basisbitumens nach der Verjüngung bezogen auf das Basisbitumen 50/70 im Frischzustand (A0). Bei der Bewertung der Wiederherstellung der Kennwerte entspricht das Frischbitumen 50/70 (A0) somit 100 % und das gealterte Bitumen 50/70 (All) 0 %. Hierbei lässt sich anhand der Größe der ausgefüllten Flächen die Wirksamkeit der einzelnen Produkte für die einzelnen Temperaturbereiche ablesen (große Fläche = große Wirksamkeit).

Die 100 % bedeuten an dieser Stelle die vollständige Wiederherstellung eines Kennwerts oder sogar eine darüber hinaus verbessernde Wirkung des Verjüngungsmittels. Die Abbildung 15 zeigt beispielhaft das Netzdiagramm für das Frischbitumen 50/70 (A0) und die Abbildung 16 stellt vergleichend die Netzdiagramme für das 50/70 im Zustand frisch (A0) und gealtert (All) und die jeweils verjüngten Bitumen dar.

Zusammenfassung und Hinweise

Im Rahmen dieser Vergleichsstudie wurden insgesamt sechs Rejuvenatoren, ein Rapsöl und ein weiches Straßenbaubitumen hinsichtlich ihrer verjüngenden Wirkung auf ein im Labor kurz- und langzeitgealtertes Straßenbaubitumen 50/70 untersucht. Hierbei waren Veränderungen der physikalischen und rheologischen Kennwerte nach der Zugabe und nach einer wiederholten Alterung und das allgemeine Verhalten in Kombination mit unterschiedlichen Füllern von besonderer Bedeutung.

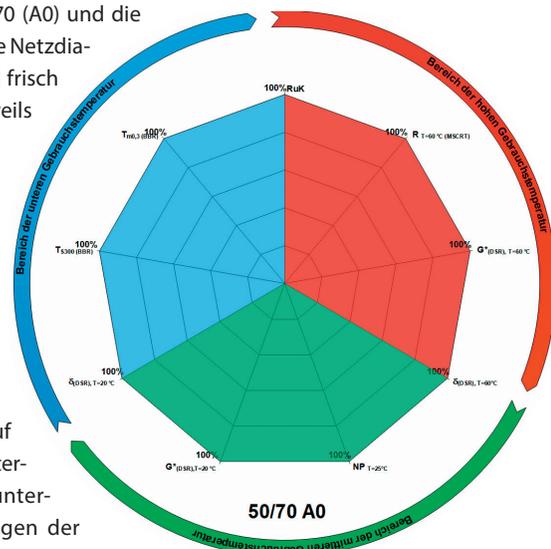


Abbildung 15: Beispielhaftes Netzdiagramm des 50/70 A0 (Area Spider)

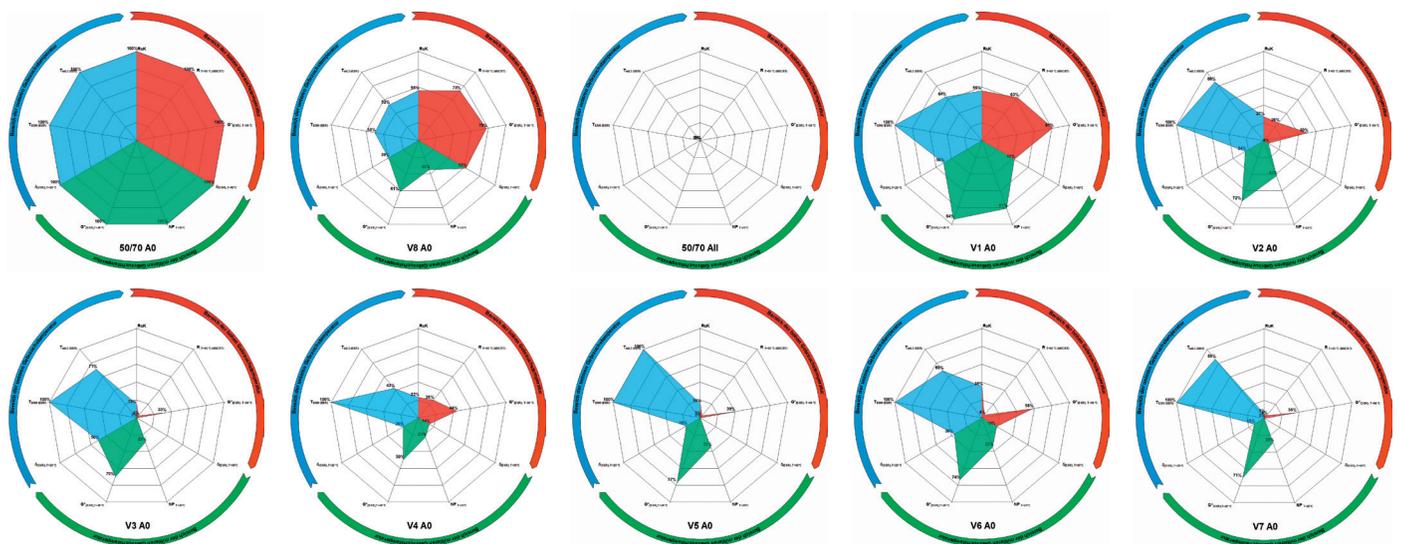


Abbildung 16: Netzdiagramme (AreaSpider) zur Darstellung der prozentualen Wiederherstellung der physikalischen und rheologischen Kennwerte des gealterten Basisbitumens 50/70 (All) nach der Verjüngung (A0)

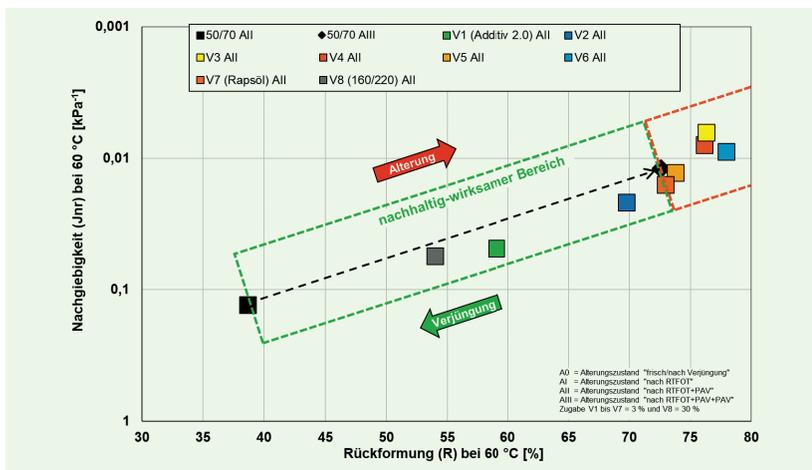


Abbildung 17: R/N-Diagramm zur Darstellung der Nachhaltigen Wirksamkeit von Rejuvenatoren

Damit ein Rejuvenator als wirksam eingestuft werden kann ist es erforderlich, dass dieser über das gesamte Temperaturspektrum (hoher, mittlerer und tiefer Bereich der Gebrauchstemperatur) die Kennwerte des Frischbitumens wiederherstellt. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass zum Teil erhebliche Unterschiede in der Wirkungsweise der einzelnen Rejuvenatoren bei gleicher Zugabemenge bestehen.

Die aus der Vergleichsstudie abgeleiteten wesentlichen Erkenntnisse sind im Folgenden zusammenfassend aufgeführt.

- Im Rahmen der Untersuchungen wurde keine der Varianten durch die eingesetzten Füller in ihrer Wirkung negativ beeinflusst.
- Die einzelnen Varianten haben ebenso keinen (negativen) Einfluss auf das Haftverhalten zwischen Gestein und Bitumen (Adhäsion).
- Die Rejuvenatoren V1 (bei 3 % Zugabe) und V8 (bei 30 % Zugabe) liefern die größte und über alle drei Temperaturbereiche gleichmäßigste Wiederherstellung der rheologischen und physikalischen Kennwerte. Die anderen Varianten zeigen zumeist auch sehr gute Ergebnisse im Bereich des unteren Gebrauchstemperaturbereichs, haben aber bei einer 3-%-Zugabe stellenweise nur einen geringen Einfluss auf den hohen und mittleren Gebrauchstemperaturbereich.
- Die wiederholte Alterung bzw. die Alterung des zuvor verjüngten Bitumens führte mit Ausnahme der Varianten V1, V2 und V8 bei allen anderen Varianten zu einer signifikanten Beschleunigung der Alterungsprozesse.

Die Ergebnisse aus der Vergleichsstudie machen deutlich, dass nicht nur allein die Bindemittelkennwerte direkt nach der Zugabe eines Rejuvenators hinsichtlich der Wirksamkeit bewertet werden sollten, sondern vielmehr auch die nach Zugabe resultierenden Alterungseigenschaften des Bindemittelgemisches zwingend in die Beurteilung mit einfließen müssen. Ein zugegebener Rejuvenator darf in keinem Fall die Alterungsprozesse eines Bitumens so stark beschleunigen, dass das ursprüngliche Bitumen (ohne Rejuvenator) nach Alterung

vergleichbare oder bessere Werte aufweist als ein verjüngtes Bitumen mit demselben Alterungsstatus. In diesem Kontext spielt der Begriff *Nachhaltige Wirksamkeit* eines Rejuvenators eine entscheidende Rolle. Ein Rejuvenator gilt hierbei nur dann als nachhaltig wirksam, wenn dieser nach vergleichbarer Alterung (hier: PAV nach Verjüngung bzw. RTFOT + 2x PAV des Basisbitumens) zum Basisbitumen deutlich günstigere Bindemittelkennwerte aufweist. Zur Bewertung der Nachhaltigen Wirksamkeit hat sich das im Rahmen dieser Studie entwickelte *R/N-Diagramm* als zielführend erwiesen (vgl. Abbildung 17). Das Diagramm zeigt an dieser Stelle deutlich, dass sich fünf der acht Varianten nicht im nachhaltig wirksamen Bereich befinden.

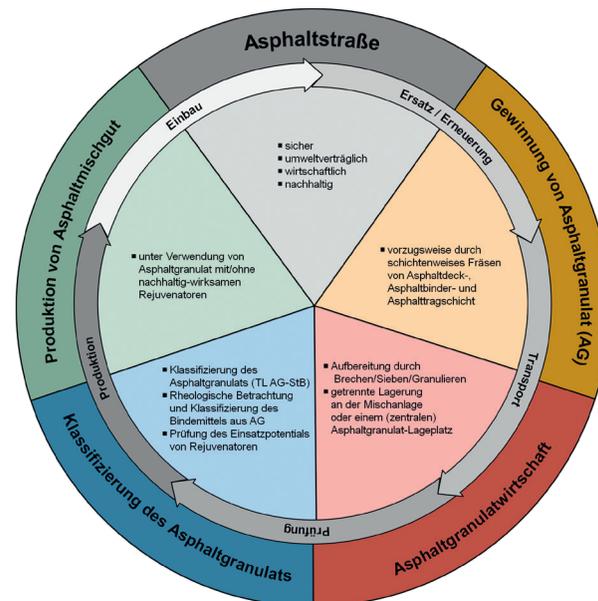


Abbildung 18: Idealer Kreislauf zur Wiederverwendung von Asphaltgranulat (in Anlehnung an DAV) (Quelle: DAV)

Zusammenfassend hat die Vergleichsstudie gezeigt, dass eine Verjüngung eines gealterten Bindemittels, also die Wiederherstellung der ursprünglichen Bindemittelkennwerte, durch nachhaltig wirksame Rejuvenatoren möglich ist. Mit nachhaltig wirksamen Rejuvenatoren kann somit auch in Zukunft weiterhin im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes nachhaltig und in höchster Form Asphaltgranulat wiederverwendet werden (Abbildung 18).

AUTOREN

Dr.-Ing. Daniel Gogolin
 Ingenieurgesellschaft PTM
 Dortmund mbH
 Frische Luft 155
 44319 Dortmund-Wickede
 www.ptm.net
 daniel.gogolin@ptm.net

Tim Lümekemann, B. Sc.
 Ingenieurgesellschaft PTM
 Dortmund mbH
 Frische Luft 155
 44319 Dortmund-Wickede
 www.ptm.net
 tim.luemekemann@ptm.net

LITERATUR

- [1] Wirksamkeit und Performance von Rejuvenatoren, Teil 1: Laboruntersuchungen, Fachzeitschrift asphalt Heft 2/2019
- [2] Wirksamkeit und Performance von Rejuvenatoren, Teil 2: Praxiserprobung und Bedeutung für das Erhaltungsmanagement, Fachzeitschrift asphalt Heft 4/2019