



**Technische
Universität
Braunschweig**



Neue Wege zur Prüfung der Performance von Bitumen, Mastix und Asphalt

Michael P. Wistuba

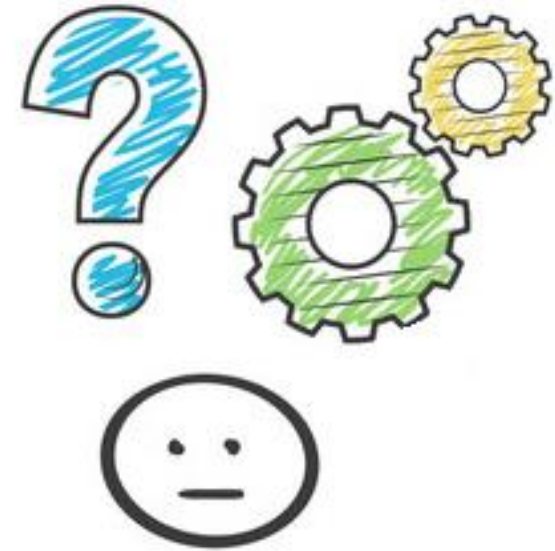
Asphalt-Performance in der Baupraxis

Was wollen wir erreichen?

Woran hakt es?

Wie machen wir weiter?

Was wollen wir erreichen?



Was wollen wir erreichen?

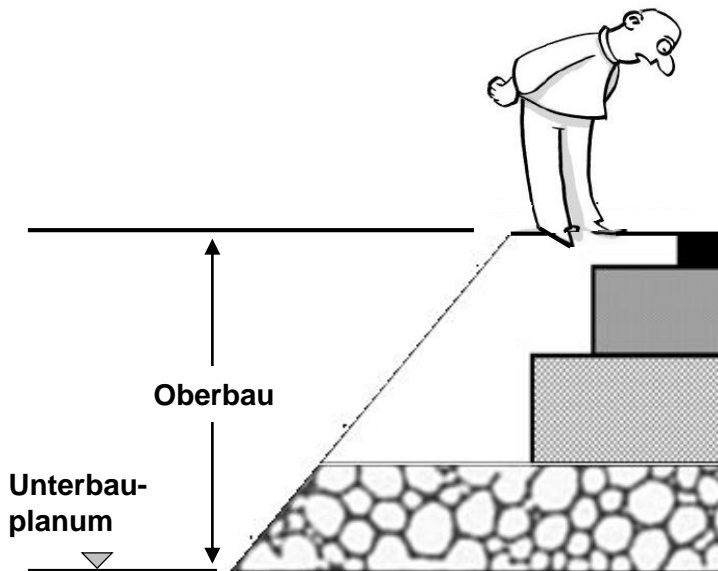
Asphalt-Performance seit über 50 Jahren

- H. J. Hense, 1932. *Temperaturmessungen in Teer- und Asphaltstraßendecken. Ausgeführt auf der Braunschweiger Versuchsstraße im Jahre 1929.* Dissertation, Technische Hochschule Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig.
- D. M. Burmister, 1943. *The General Theory of Stresses and Displacements in Layered Systems.* Journal of Applied Physics.
- Van der Poel, 1954. *A General System Describing the Visco-Elastic Properties of Bitumens and Its Relation to Routine Test Data.* Journal of Applied Chemistry, Vol. 4.
- L. W. Nijboer, 1955. *Dynamic investigations of road constructions.* Shell International Petroleum Company Ltd., London, 1955.
- W. Arand, 1961. *Untersuchungen über Gesetzmäßigkeiten der Bindemittelverteilung in bituminierten Mineral- und Kugelmischungen unter besonderer Berücksichtigung des Füllers.* Dissertation, Technische Universität Berlin.
- C. L. Monismith, G. A. Secor & E. Kenneth, 1965. *Temperature induced stresses and deformations in asphalt concrete.* Proc., Assoc. of Asphalt Paving Technologists, V34, Institute of Transportation and Traffic Engineering, Soil Mechanics and Bituminous Materials Research Laboratory, University of California, USA. <https://books.google.de/books?id=xdF5AAAAIAAJ>
- W. van Dijk, H. Moreaud, A. Quedeville & P. Ugé. 1972. *The fatigue of bitumen and bituminous mixes.* 3rd int. conf. on the structural design of asphalt pavements. Proc., Sept., 11-15, 1972, Grosvenor House, Park Lane, London, England, vol. 1, 354-366, The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, USA.
- B. F. Kallas & V. P. Puzinanskas, 1972. *Flexure Fatigue Tests on Asphalt Paving Mixtures.* Fatigue of Compacted Bituminous Aggregate Mixtures, American Society for Testing and Materials, ASTM STP 508, pp. 47-65.
https://books.google.de/books?id=bJPu3v_4qIEC
- R. Mais, 1973. *Zur Beanspruchung von bituminösen Fahrbahnbefestigungen. Ein Beitrag zur Ermittlung standardisierter Fahrbahnbefestigungen mit Hilfe der Mehrschichtentheorie.* Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 138, Bonn.
- L. Francken & J. Verstraeten, 1974. *Methods for Predicting Modulus and Fatigue Laws of Bituminous Mixes under Repeated Bending.* Transportation Research Record 515, Transportation Research Board.
- P. von Becker, 1976. *Zur Annahme wirklichkeitsnäherer E-Moduln als Kennwerte für das elastische Verformungsverhalten flexibler Straßenbefestigungen bei elastizitätstheoretischen Beanspruchungsrechnungen.* Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik des Bundesministeriums für Verkehr, Abteilung Straßenbau, Heft 204, Bonn-Bad Godesberg.
- F. Bonnaure, A. Gravois & J. Udron, 1977. *A New Method for Predicting the Fatigue Life of Bituminous Mixes.* Proc., Ass. of Asphalt Paving Technologies, Vol. 49.
- und viele viele andere

Was wollen wir erreichen?

Ziel der „Performance-Idee“ → technisch & wirtschaftlich effizienter Straßenbau

Gute Gebrauchsverhalten, d. h. ausreichende Leistungsfähigkeit bestimmt aus der Gesamtheit von Baustoff-, Schicht- und Oberbau-eigenschaften



ressourcen- (umwelt-) schonend, wiederverwertbar, kostenarm, instandhaltungsarm,

eben, griffig, lärmarm, entwässernd, reflexionsarm, abriebfest, witterungs-, alterungs-, verformungs-, riss-, haftbeständig,

zusammenhaltend, verbundstark, fest,

tragfähig, ermüdungsresistent, selbstheilend,

frostsicher, entwässernd, filterstabil, verformungsresistent,

u. a.

Was wollen wir erreichen?

Ziel der „Performance-Idee“ → technisch & wirtschaftlich effizienter Straßenbau

Gute Voraussetzungen für eine ausreichende Leistungsfähigkeit:

- **Baustoffqualitäten**
 - Haftverhalten/Wasserempfindlichkeit
 - Alterungsbeständigkeit
 - u. a.
- **Einbauqualität**
 - Verdichtung, Hohlraumgehalt
 - innere Struktur: Kornausrichtung, Hohlraum-Morphologie
 - u. a.
- **Strukturelle Dauerhaftigkeit**
 - Verformungswiderstand
 - Steifigkeit & Ermüdungswiderstand
 - Widerstand gegen Kälterissbildung
 - u. a.



Was wollen wir erreichen?

Ziel der „Performance-Idee“ → technisch & wirtschaftlich effizienter Straßenbau


Gute Voraussetzungen für eine ausreichende Leistungsfähigkeit:

- **Baustoffqualitäten**
 - Haftverhalten/Wasserempfindlichkeit
 - Alterungsbeständigkeit
 - u. a.
- **Einbauqualität**
 - Verdichtung, Hohlraumgehalt
 - innere Struktur: Kornausrichtung, Hohlraum-Morphologie
 - u. a.
- **Strukturelle Dauerhaftigkeit** ← allg. Asphalt-Performance genannt
 - Verformungswiderstand
 - Steifigkeit & Ermüdungswiderstand
 - Widerstand gegen Kälterissbildung
 - u. a.

Was wollen wir erreichen?

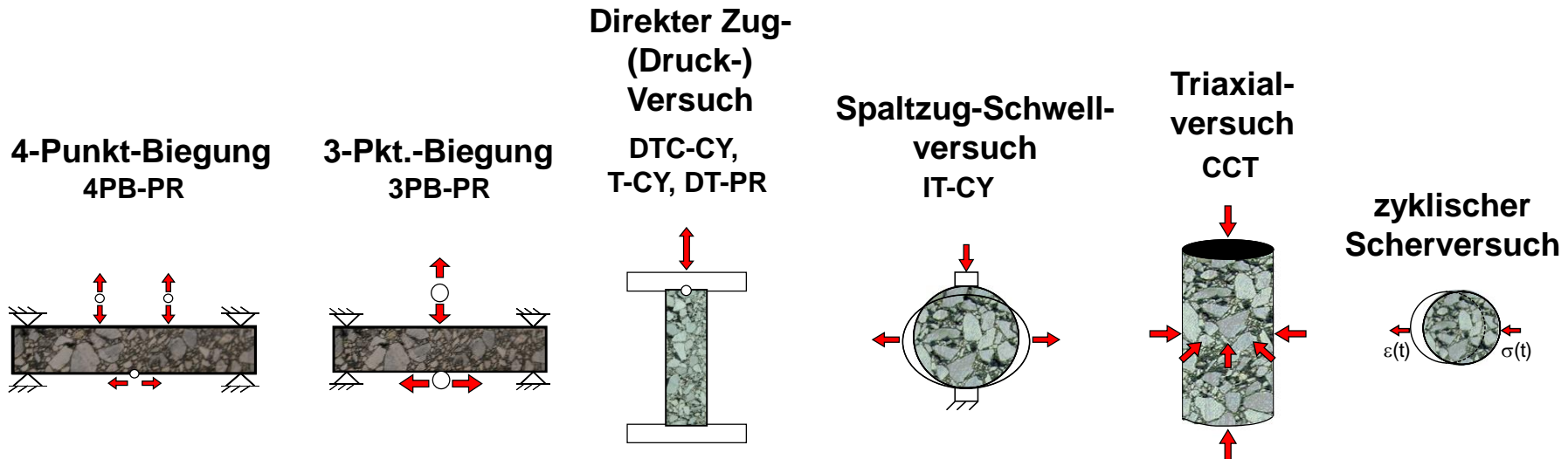
Definition Asphalt-Performance

Ad-hoc-Gruppe „Performance Asphalt“ 7.02 vom 20. Mai 2014

			
Widerstand gegen Kälterissbildung	Steifigkeit	Ermüdungs-widerstand	Verformungs-widerstand
infolge ver- bzw. behinderten thermischen Schrumpfens	komplexer E-Modul und komplexe Querdehnzahl	Widerstand gegen einen langsam voranschreitenden Schädigungsprozess durch Risse	Widerstand gegen irreversible Verformungen infolge wiederholter Verkehrsbelastung
EN 12697-46	EN 12697-26	EN 12697-24	EN 12697-25, -22

Was wollen wir erreichen?

Prüfung der Asphalt-Performance statisch und zyklisch



Ziele

- Erzeugung von physikalisch interpretierbaren **Materialparametern und Materialgesetzen** (Simulation)
- Abschätzung von **Leistungsfähigkeit** und Nachweis der Eignung eines Asphalts für den Gebrauchszweck
- Abschätzung der Dauerhaftigkeit und Prognose der zu erwartenden **Lebensdauer**

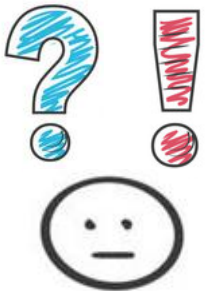
Was wollen wir erreichen?

Performance-Ansatz von Fachwelt i. a. für gut befunden



- Wechselwirkungen der Baustoff-Komponenten, Material- und Strukturverhalten → **Lerneffekt**
- kreativitätsfördernd: **Stärken der Asphaltbauweise** besser nutzen, technische und wirtschaftliche Optimierung möglich
- interessante Methoden wecken Interesse des **Ingenieurnachwuchses**

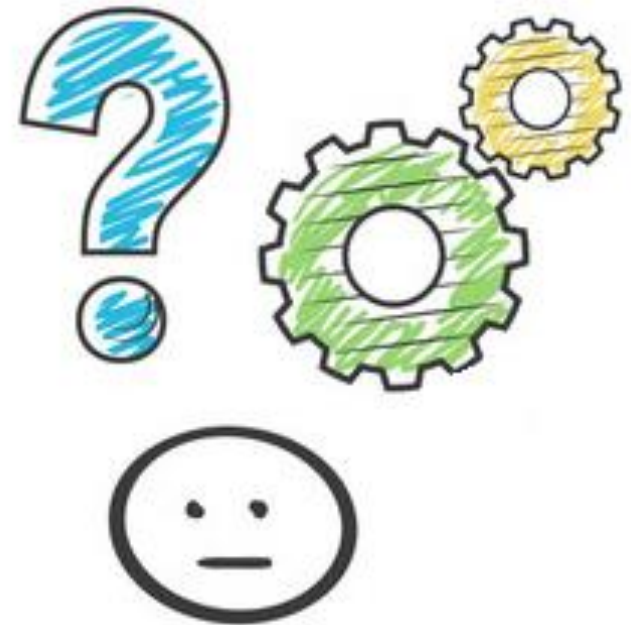
Ist Performance-Ansatz dennoch unbeliebt?



- Anwendung selten
- bei Großprojekten (PPP)
- von großen Bauunternehmen

Asphalt-Performance in der Baupraxis

Woran hakt es?



Woran hakt es?

Was sind mögliche Gründe für die zaghafte Umsetzung des Performance-Ansatzes in der Baupraxis?

Aufwändige **Gerätetechnik für zyklische Asphaltprüfungen**, komplexe Prüfmethoden, in der Baupraxis schwer umsetzbar

- unpraktikabler, hoher **Prüfaufwand** (inkl. Probenvorbereitung), bei iterativem Mix Design? (Dauer 4-6 Wochen, Kosten 20-30 k€)
- unterschiedliche temperaturabhängige **Beurteilungskonzepte**
 - tiefe Temperatur → Relaxationsvermögen
 - mittlere Gebrauchstemperatur → Ermüdungswiderstand
 - hohe Temperatur → Verformungswiderstand
- Bestimmung der Asphalt-Performance (lange) **vor dem Einbau** problematisch, weil Baustoffkomponenten tw. noch nicht bekannt (Ausbauasphalt)

Woran hakt es?

- für Routineprüfungen (**Kontrollprüfung**) ist Performance-Ansatz kaum umsetzbar
- komplexe **vertragliche** Regelungen
- Unternehmer-**Risiko** kaum abschätzbar
- Eingeschränktes Vertrauen wegen **fragwürdiger Zuverlässigkeit** von **Performance-Parametern**?
Viele Kolleginnen und Kollegen sehen insbesondere die rechnerische Dimensionierung mit großer **Skepsis**.

Woran hakt es?

- für Routineprüfungen (**Kontrollprüfung**) ist Performance-Ansatz kaum umsetzbar
- komplexe **vertragliche** Regelungen
- Unternehmer-**Risiko** kaum abschätzbar
- Eingeschränktes Vertrauen wegen **fragwürdiger Zuverlässigkeit** von **Performance-Parametern**?
Viele Kolleginnen und Kollegen sehen insbesondere die rechnerische Dimensionierung mit großer **Skepsis**.

berechtigte Skepsis?

Woran hakt es?

Mögliche Gründe für Skepsis

→ Streuung der Prüfergebnisse

Wistuba, M., Mollenhauer, K. & Walther, A. 2013. Ermittlung der Streuung dimensionierungsrelevanter Eingangsgrößen für Asphalte. Schlussbericht, Institut für Straßenwesen, Technische Universität Braunschweig, Forschungsprojekt FE 04.0204/2006/AGB i. A. des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, erschienen in: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1087. Kurzfassung erschienen in Straße und Autobahn, 5.2013, 366-376, Kirschbaum Verlag, Bonn.

Wistuba, M., Mollenhauer, K. & Walther, A. 2014. Unvermeidliche Schwankungen in den Asphalteigenschaften und ihre Auswirkung auf die Lebensdauerprognose der Straße. Straße und Autobahn, 5.2014, 347-353, Kirschbaum Verlag, Bonn.

Mollenhauer, K., Wistuba, M., Walther, A. & Lorenzl, H. 2010. Analysis of asphalt mix performance properties considering the discrepancy between mix design and in-field realization (Part I). Proc., 11th Int. Conf. On Asphalt Pavements, 2.3-73, August 1 to 6, 2010, Nagoya, Japan.

Walther, A., Wistuba, M. & Mollenhauer, K. 2010. Analysis of asphalt mix performance properties considering the discrepancy between mix design and in-field realization - Part II: Effect on asphalt pavement design. Proc., 11th Int. Conf. On Asphalt Pavements, 2.3-74, August 1 to 6, 2010, Nagoya, Japan.

Wistuba, M., Mollenhauer, K. & Walther, A. 2013. Scatter of asphalt mix characteristics and its effect on design life. Proc., 5th Int. Conf. of the European Asphalt Technology Association (EATA), 3-5 June 2013, Braunschweig, Germany.

Woran hakt es?

→ Streuung der Prüfergebnisse

- unpräzise Regelungen zu den Versuchen (Europ. Normen)
- uneinheitliche Prüfmethoden, Auswertemethoden
- mangelnde Homogenität von Probeplatten
 - kein einheitliches *Mischen* (Mischertyp, Mischdauer)
 - uneinheitliche *Verdichtung* (Gerät, Kornorientierung, innere Struktur)
 - unregelmäßige *Geometrie* von geschnittenen Probekörpern

Wistuba, M. & Mollenhauer, K. 2010. Harmonisierung der internationalen Normung zur Herstellung von Probekörpern für die fundamentale Asphaltprüfung. Straße und Autobahn, 4.2010, 217-224, Kirschbaum Verlag, Bonn.

Grönniger, J. 2018. Einfluss von innerer Struktur und Mörtelviskosität auf die Resistenz von Asphalt gegenüber Versagen. Dissertation, in Bearbeitung, Institut für Straßenwesen, Technische Universität Braunschweig.

Wistuba, M., Isailović, I., & Büchler, S. 2016. Zyklische Schersteifigkeits- und Scherermüdungsprüfung zur Bewertung und Optimierung des Schichtenverbundes in Straßenbefestigungen aus Asphalt. Schlussbericht Nr. 17634 BG/2. i. A. der AIF), Institut für Straßenwesen, Technische Universität Braunschweig.

Woran hakt es?

→ Spaltzug-Schwellversuch nicht optimal

- nur geringe Änderung der dissipierten Energie
 - im Versuchsverlauf ist Materialermüdung kaum nachweisbar
 - Bruchversagen des Probekörpers ist primär eine Folge von plastischen Zugdehnungen

Isailović, I., Cannone Falchetto, A., & Wistuba, M. 2015. Energy dissipation in asphalt mixtures observed in different cyclic stress-controlled fatigue tests. Proc., 8th RILEM Int. Symp. on Testing and Characterization of Sustainable and Innovative Bituminous Materials, Oct. 7-9, 2015, Ancona, Italy, RILEM Bookseries, Vol. 11, pp. 693-709, Springer.

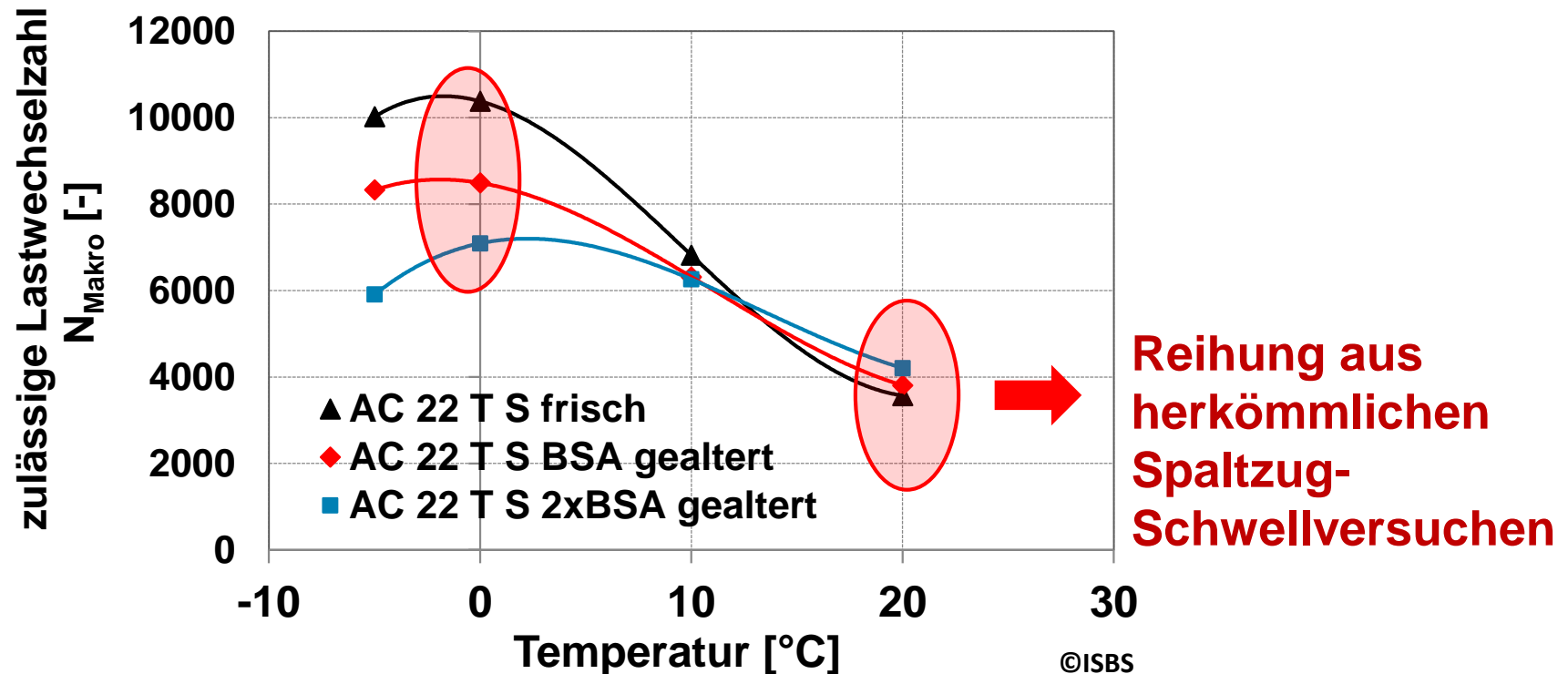
Isailović, I., Cannone Falchetto, A., & Wistuba, M. 2017. Veränderungen in den mechanischen Asphalteigenschaften bei verschiedenen spannungsgeregelten Ermüdungsprüfungen. Straße und Autobahn (mit Peer-Review), 68, S. 7-12, Kirschbaum Verlag.

Isailović, I. 2018. Laboratory investigation on asphalt fatigue and recovery properties. Dissertation, in Bearbeitung, Institut für Straßenwesen, Technische Universität Braunschweig.

Woran hakt es?

→ Spaltzug-Schwellversuch nicht optimal durchgeführt

- Bewertung des Ermüdungswiderstands allein bei 20 °C
- 1 Prüftemperatur ist nicht ausreichend, kann zur fehlerhaften Einschätzung der rechn. Lebensdauer mittels RDO-Asphalt führen



Woran hakt es?

→ Spaltzug-Schwellversuch nicht optimal durchgeführt

- Bewertung des Ermüdungswiderstands allein bei 20 °C
- 1 Prüftemperatur ist nicht ausreichend, kann zur fehlerhaften Einschätzung der rechn. Lebensdauer mittels RDO-Asphalt führen

Isailović, I. & Wistuba, M. 2016. Rechnerische Dimensionierung am Beispiel eines Asphalts AC 22 T S mit 3 Alterungsstufen. Vortrag, FGSV, Ad-hoc 7.02, 24. Nov. 2016, TU Braunschweig.

Isailović, I. & Wistuba, M. 2017. Neue Erkenntnisse zur Ermüdungsprüfung. Vortrag, Straßenbau-Aktuell, 16. Jan. 2017, Technische Universität Braunschweig.

Isailović, I. & Wistuba, M. 2017. Neue Erkenntnisse zur Ermüdungsprüfung. Vortrag, FGSV, Ad-hoc 7.02, 19. Okt. 2017, Bonn.

Isailović, I. & Wistuba, M. 2017. Sweep test protocol for fatigue evaluation of asphalt mixtures. J. of Road Materials and Pavement Design, submitted in Dec., 2017.

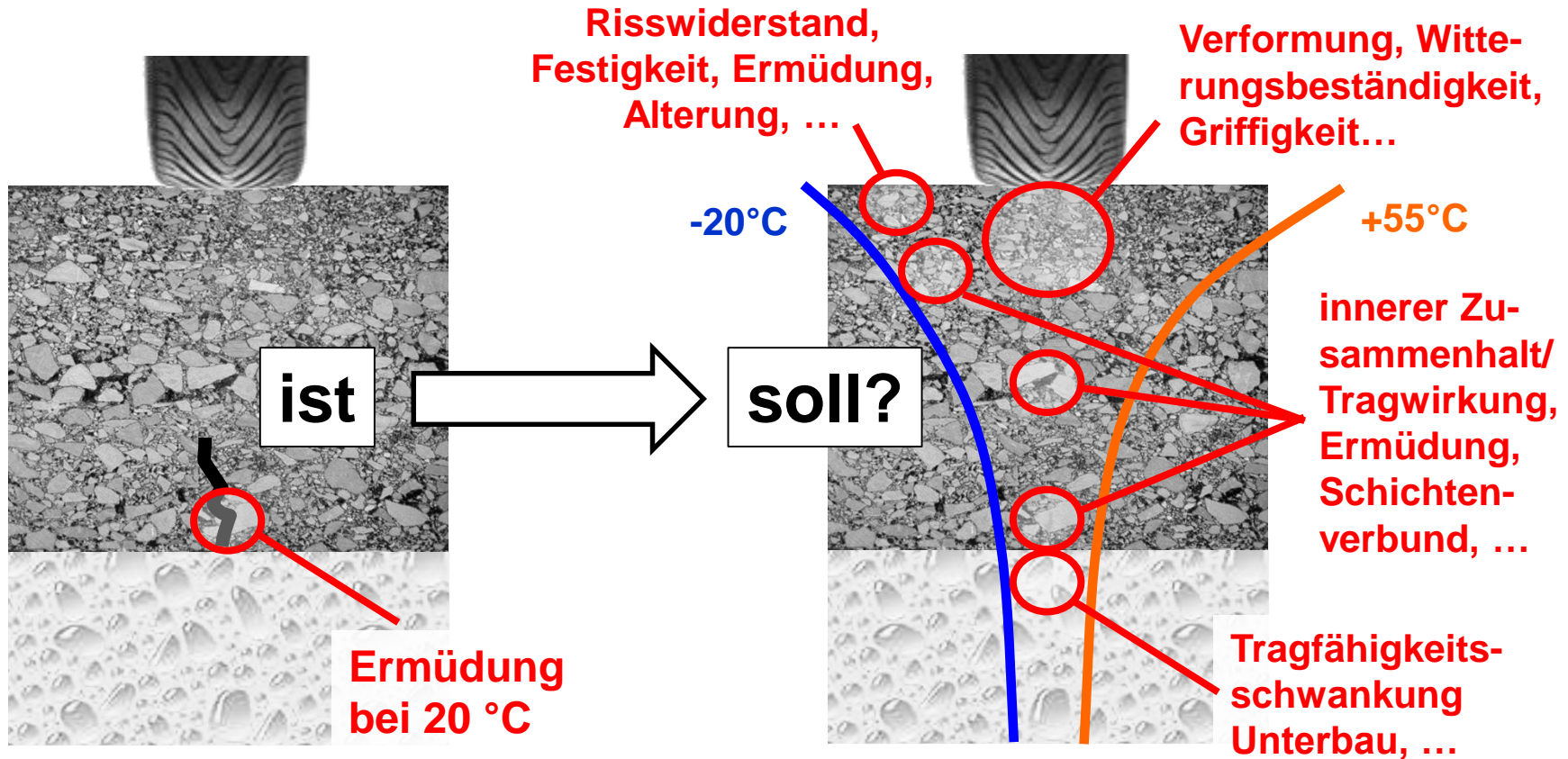
Isailović, I. 2018. Laboratory investigation on asphalt fatigue and recovery properties. Dissertation, in Bearbeitung, Institut für Straßenwesen, Technische Universität Braunschweig.

Arnold, K. 2017. Entwicklung einer neuen Prüfmethodik für die Beurteilung der Ermüdungseigenschaften von Asphalt. Masterarbeit, Institut für Straßenwesen, Technische Universität Braunschweig.

Woran hakt es?

→ Lebensdauerprognose mit RDO Asphalt

- Optimierung quasi ausschließlich im Hinblick auf Ermüdung
- Lebensdauer-Prognose für einen Schaden, der kaum noch auftritt?



Woran hakt es?

→ grobe Vereinfachungen in den RDO Modellannahmen

- keine zeitgenaue Erfassung der extremen Beanspruchungen



- stattdessen grobes Konzept mit Sicherheitsbeiwerten und Probabilistik
- Vernachlässigung von Nichtlinearität (Visko-Elastizität), Selbsterwärmung, Thixotropie, Skalierungseffekten

Walther, A. 2015. Rechnerische Dimensionierung von Asphaltstraßen unter Berücksichtigung stündlicher Beanspruchungszustände. Dissertation, Institut für Straßenwesen, Technische Universität Braunschweig.

Isailović, Wistuba, M., & Cannone Falchetto, A. 2017. Influence of rest period on asphalt recovery considering nonlinearity and self-heating. J. of Construction and Building Materials, Vol. 140, 321-327.

Isailović, I. & Wistuba, M. 2017. Einfluss der Lastpause auf Rückstellungseigenschaften von Asphalt unter Berücksichtigung von Nichtlinearität und Selbsterwärmung. Vortrag, Dresdner Asphalttage, 8. Dez. 2017, Dresden.

Isailović, I. 2018. Laboratory investigation on asphalt fatigue and recovery properties. Dissertation, in Bearbeitung, Institut für Straßenwesen, Technische Universität Braunschweig.

Woran hakt es?

→ **wenig vertrauenserweckende Software zur RDO**

- **alle Rechenfehler beseitigt? Support?**
- **Nachvollziehbarkeit (Black Box)?**
- **fehlende Dokumentation**

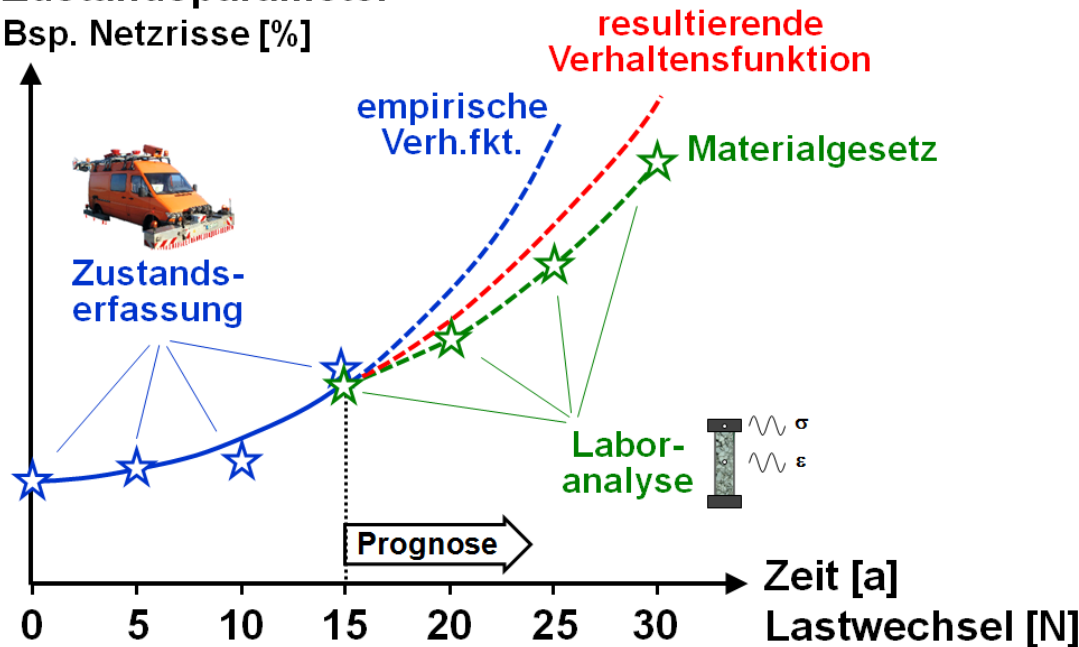
Woran hakt es?

→ Lebensdauerprognose mit RDO blendet „Erfahrung“ aus alternativer Ansatz in Erhaltungsplanung (PMS):

- Verhaltensfunktionen aus Zustandserfassung
- Kalibrierung mit Laborergebnissen aus Performance-Prüfungen

Zustandsparameter

Bsp. Netzrisse [%]



Wistuba, M., Weninger-Vycudil, A., Mladenovic, G., Alisov, A. & Litzka, J. 2013. InteMat4PMS - Integration of material-science based performance models into life-cycle analysis processed in the frame of pavement management systems. Final report, No 832708, ERA-NET ROAD II – Coordination and Implementation of Road Research in Europe, 7th Framework Program, European Community.

Wistuba, M. 2015. Die Lebensdauerprognose als zentrales Element der Erhaltungsplanung. Straßenbau Aktuell: Straßen-Management, Vortragsveranstaltung, Technische Universität Braunschweig, Haus der Wissenschaft, 19. Januar 2015, Braunschweig, Deutschland.

Woran hakt es?

→ fragwürdige Lehrsätze

- Aus Nichtwissen oder aus der Not heraus wurden in der Vergangenheit **pragmatische Festlegungen und Lösungen** erarbeitet und dann so oft propagiert, als wären es Fakten.
- Die Skepsis wird beflügelt durch **schlechte Dokumentation** sowie verhaltene fachliche Diskussion
 - Es sollte fundiert und breit vermittelt werden, wie Laborverfahren funktionieren, wie die Daten ausgewertet werden und wo Wissenslücken sind.
 - Es braucht eine offene Diskussion. Glaubwürdigkeit braucht Öffentlichkeit.
 - Wünschenswert wäre: fachlicher Konsens, systematischer Erkenntnisgewinn und solider Ausbau des Stand des Wissens

Asphalt-Performance in der Baupraxis

Sind wir auf dem richtigen Weg?
Wie machen wir weiter?



Wie machen wir weiter?

- Der Performance-Ansatz sollte noch viel mehr das **Ingenieurdenken** sowie **Regel- und Vertragswerk** durchdringen. Erweiterungen sind an vielen Stellen notwendig.
- Performance ist mehr als rechnerische Dimensionierung, mehr als Prognose der Lebensdauer
- Sinnvolle **Anwendungen** z. B.
 - **Produktklassifikation, Wareneingangskontrolle, Materialauswahl**
 - Wahl/Bestellung des besten, verfügbaren Bitumens
 - Ausschluss ungeeigneter Bitumen, Bitumen-Füller-Kombinationen
 - Prognose Bitumenalterung
 - Mischgutzusammensetzung (Mix Design)
 - **Asphaltrecycling**
 - Auswahl des optimalen Frischbindemittels
 - Bewertung von Modifikationsmitteln (Wirkung von Rejuvenatoren)
 - **Prognose Dauerverhalten** für: Baustoff, Schicht und Oberbau
 - Dimensionierung
 - Erhaltungsplanung

Wie machen wir weiter?

Notwendige Veränderungen in Laborprüfungen

- **Prüffehler, Streuung** verringern
- Performance-Prüfungen für die Baupraxis **vereinfachen!**
- **Zusammenhänge** in den Performance-Eigenschaften besser aufschlüsseln



Zur Reduktion des Prüfaufwandes:

Mollenhauer, K. & Wistuba, M. 2009. Fatigue resistance of hot mix asphalt at low temperatures - Is there a way to reduce the test efforts? Proc., 8th Int. Conf. on the Bearing Capacity of Roads, Railways & Airfields, Vol. I, 349-358, University of Illinois at Urbana-Champaign, June 29 - July 2, 2009, Champaign, Illinois, USA.

Neue Wege zur Prüfung der Performance

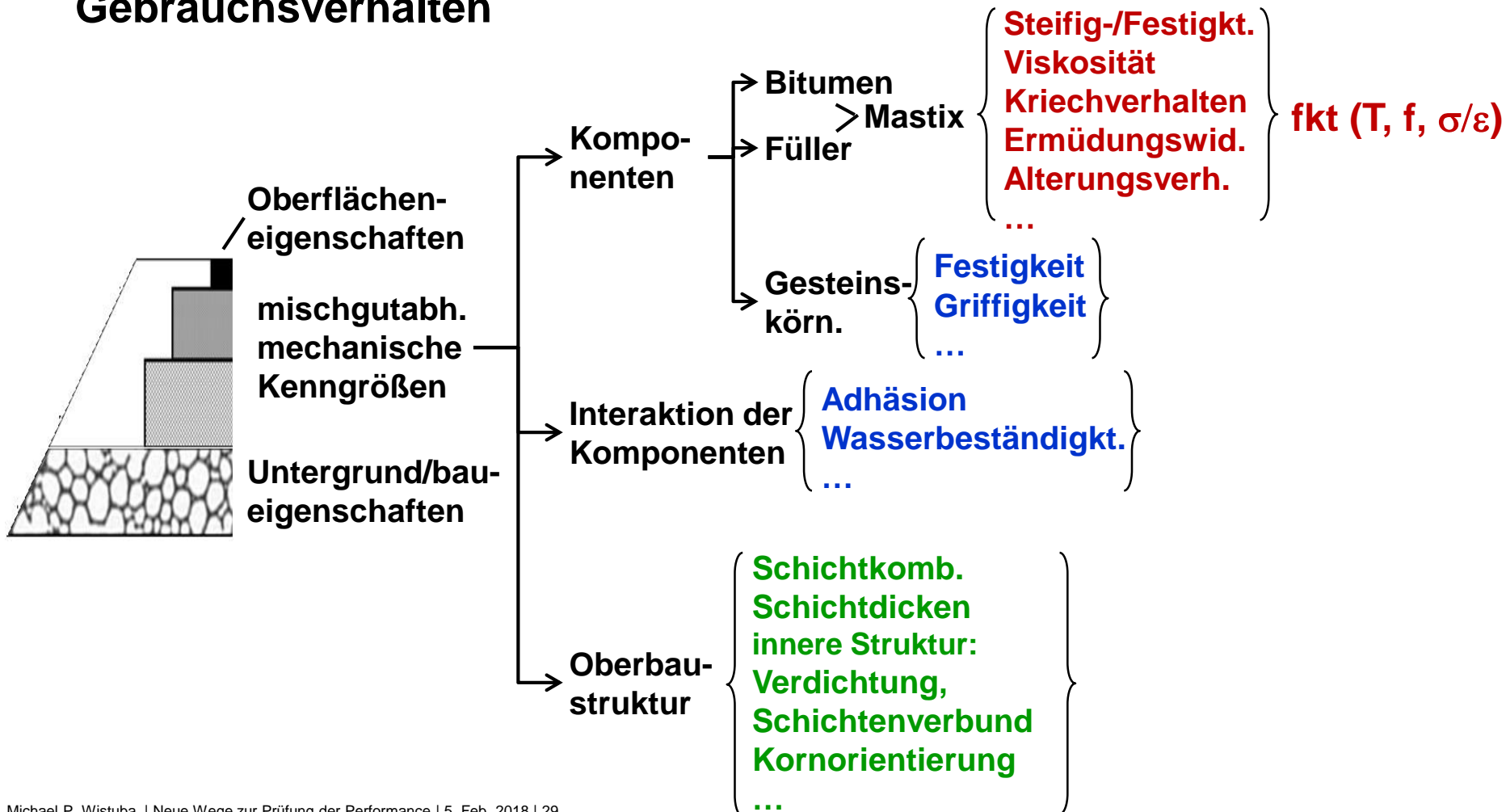
Forschung wünschenswert, u. a.

- ? Sensorik zur direkten, **zerstörungsfreien Performance-Prüfung** der Straße anstelle von Laborprüfungen
- ? Beschränkung auf definierte **Performance-Asphalte** mit eingeschränkter Wahl der Zusammensetzung
 - Performance-Belastungsklassen („Mischform“)
 - Performance-Anforderungen an die Mastix
- ? **Entwicklung von vereinfachten Performance-Prüfungen**
 - **ISBS Projekt „Bit-Q“**: Ganzheitliche Bewertung der Bitumen- und Mastixqualität im Asphaltstraßenbau anhand von (neuen) Performance-Kennwerten, Start 2014, unterstützt durch *Gerhard und Karin Matthäi Stiftung* und *PANalytical/Malvern*
 - **Int. Projekt „VEGAS“**: Vereinfachung der prüftechnischen Ansprache des Gebrauchsverhaltens von Asphalt, Start 2017, *D-A-CH Verkehrs-Infrastrukturforschung*, Projektpartner: TUBS, TU Wien, EMPA

Neue Wege zur Prüfung der Performance

Entwicklung von vereinfachten Performance-Prüfungen

- Ziel: zuverlässige, aber einfacher bestimmbare Indikatoren für das Gebrauchsverhalten



Neue Wege zur Prüfung der Performance

Entwicklung von vereinfachten Performance-Prüfungen

- Kennwerte der Bitumen-/Mastixperformance als zuverlässige **Indikatoren** für die Asphaltperformance?
- **Naheliegende Vermutung:** Asphaltperformance von Bitumenqualität (Rheologie) bzw. Mastixqualität (Füller-Bitumen-Interaktion) wesentlich mitbestimmt
- Die Ableitung von **Ermüdungs-Kennwerten** für die Bitumen-/Mastix-Performance als Indikatoren für die Asphaltperformance scheint gut möglich. DSR auch für Dauerversuche an Bitumen- und Mastixproben geeignet (Voraussetzung: geeignete Wahl der Prüfparameter, sh. Schrader, 2017)

Schrader, J. 2017. Einfluss der Bitumenqualität auf die Ermüdungsbeständigkeit von Asphalt. Masterarbeit, Institut für Straßenwesen, Technische Universität Braunschweig, ausgezeichnet mit dem KEMNA-Preis 2017.

Schrader, J. 2017. Von der Bitumen zur Asphaltperformance. Vortrag, Straßenbau Aktuell: Asphalt-Performance bei Einsatz von Recycling-Baustoffen, 16.01.2017, Technische Universität Braunschweig.

Neue Wege zur Prüfung der Performance

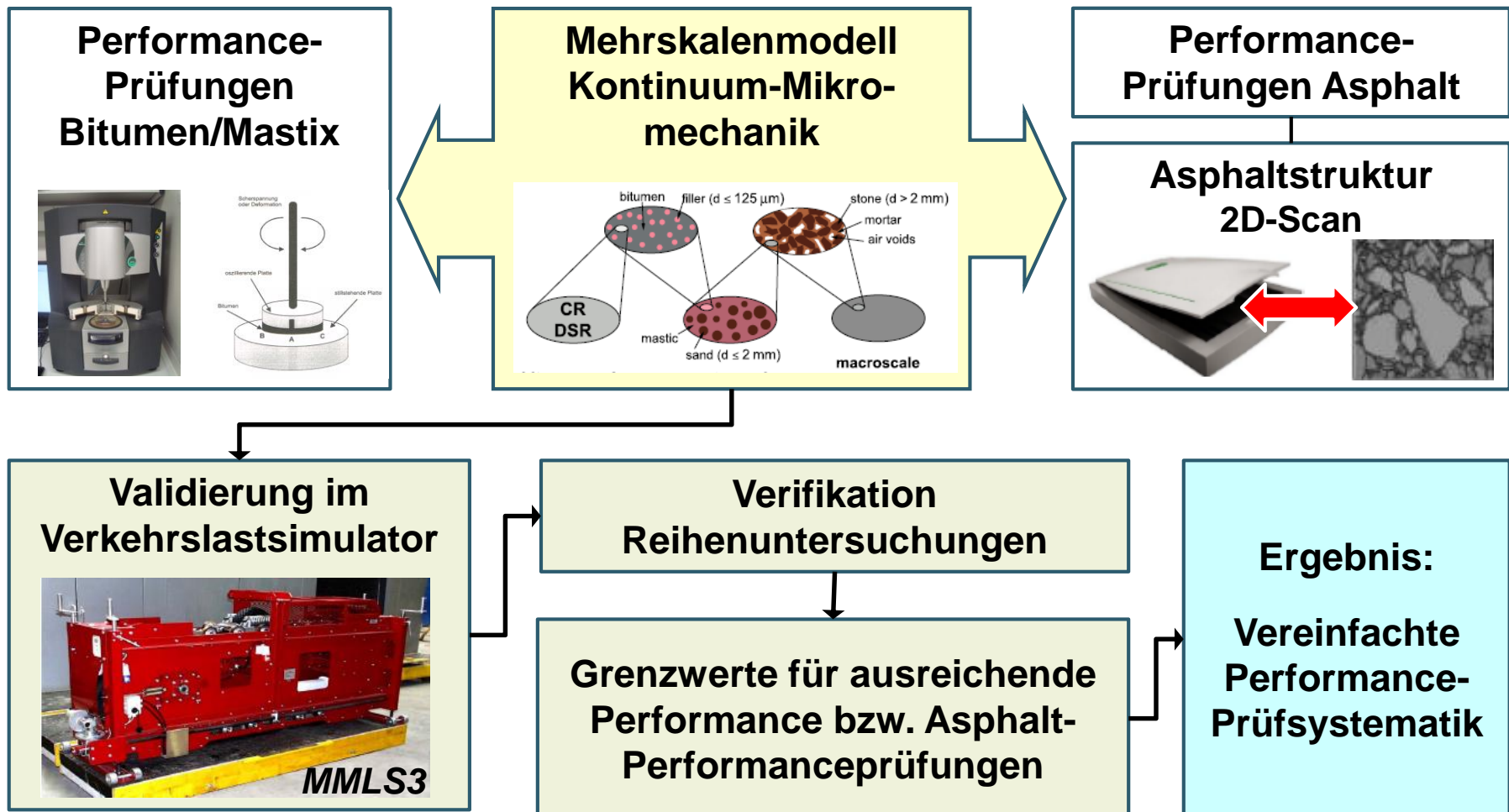
Entwicklung von vereinfachten Performance-Prüfungen

- **Performanceprüfungen am Bitumen / an der Mastix**
 - Einfluss unterschiedlicher Materialien (Bitumen bzw. Füller-Bitumen-Kombinationen) und deren Qualitäten auf die Asphaltperformance
- **Vorteile:**
 - wesentlich einfacher und schneller als Asphaltprüfungen
 - Analyse und Beurteilung über den gesamten Gebrauchstemperaturbereich
 - Reduzierung der notwendigen Prüfgeräte
 - vereinfachte Probenvorbereitung, reduzierte Probenmenge
- **Nachteile:**
 - keine Strukturbewertung der Asphaltschicht
 - neue Prüfverfahren (insbes. Ermüdung) sind erst zu entwickeln

Neue Wege zur Prüfung der Performance

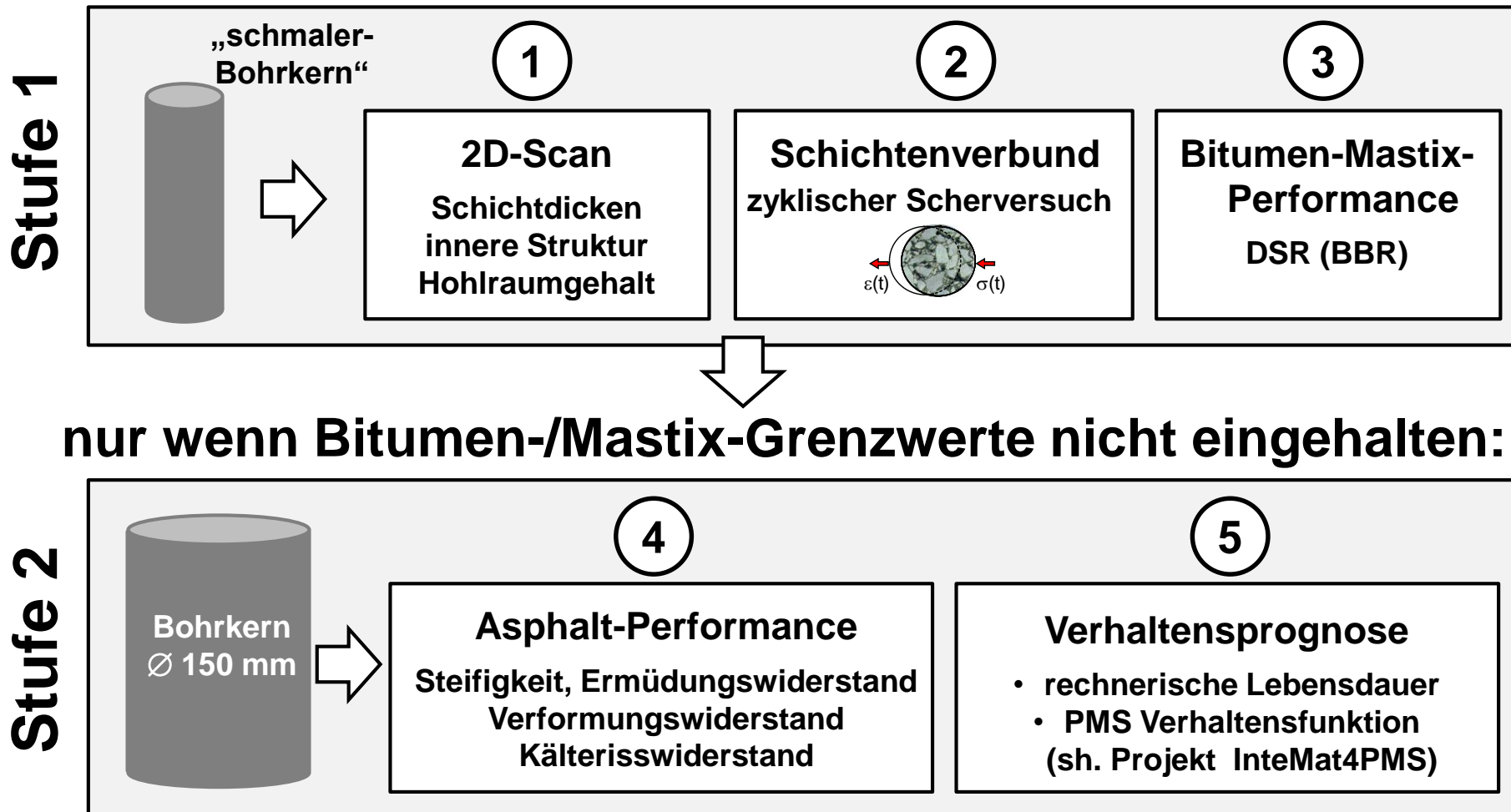
Entwicklung von vereinfachten Performance-Prüfungen

Vorgehensweise



Neue Wege zur Prüfung der Performance

Beispiel für vereinfachte Performance-Prüfung Stufenweises Vorgehen



Vielen Dank!

Ankündigung RILEM-CMB-Symposium:



International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures
(*Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, systèmes de construction et ouvrages*)



RILEM-CMB-SYMPOSIUM BRAUNSCHWEIG, GERMANY SEPTEMBER 17–18, 2018

CHEMO MECHANICAL CHARACTERIZATION OF BITUMINOUS MATERIALS

- Chemo-mechanical characterization
- Nanotechnology for asphalt materials
- Bitumen aging
- Recycling and rejuvenation
- Multiphase analysis of binders
- Microstructure and micro-mechanics
- Temperature dependent behavior

➡ rilem-cmb2018.de