

Schlussbericht

der Forschungsstelle(n)

Nr. 1, TU Dresden, Professur für Straßenbau

zu dem über die



im Rahmen des Programms zur
Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF)

vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

geförderten Vorhaben **15624 BR**

***Einfluss der Zusammensetzung von Asphaltgemischen auf ihre primären
Gebrauchseigenschaften***

(Bewilligungszeitraum: 01.09.2008 - 31.12.2010)

der AiF-Forschungsvereinigung

Deutsches Asphaltinstitut (DAI) e. V.

Dresden, **30. März 2011**
Ort, Datum


Prof. Dr.-Ing. habil. Frohmur Wellner
Name und Unterschrift des/der Projektleiter(s)
an der/den Forschungsstelle(n)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Schlussbericht zum AiF-Projekt Nr. 15624 BR/1:

**„Einfluss der Zusammensetzung von Asphaltgemischen auf ihre
primären Gebrauchseigenschaften“**

Antragsteller:	Deutsches Asphaltinstitut e.V. Schieffelingsweg 6 53123 Bonn
Forschungsnehmer:	Technische Universität Dresden Institut für Stadtbauwesen und Verkehr Professur Straßenbau George-Bähr-Str. 1 01069 Dresden
Projektleiter:	Prof. Dr.-Ing. habil. Frohmuth Wellner
Sachbearbeiterin:	Dipl.-Ing. (FH) Ines Dragon
Kontakt:	Web: www.strassenbau.tu-dresden.de E-Mail: Ines.Dragon@tu-dresden.de Tel.-Nr.: +49 (351) 463 35 414 Fax: +49 (351) 463 37 705

Zusammenfassung

Deutschland hat sich bei der Einführung des Europäischen Normenwerkes auf dem Gebiet der Asphaltspezifikation für die Empirische Spezifikation entschieden. Bei dieser Spezifikation werden die Asphalteigenschaften nur indirekt angesprochen, z. B. durch den Bindemittelgehalt, die Korngrößenverteilung und den Hohlraumgehalt, für welche im deutschen Regelwerk Anforderungen existieren. Die traditionellen Prüfverfahren der indirekten Ansprache der Asphalteigenschaften reichen jedoch oft nicht mehr aus, um die technischen Eigenschaften und das Gebrauchsverhalten von im Straßenbau eingesetzten Asphalten zuverlässig prognostizieren zu können. Daher ist im neuen europäischen Normenwerk auch die sogenannte fundamentale Spezifikation enthalten. Bei dieser Spezifikation werden die technischen Eigenschaften von Asphalten durch gebrauchsverhaltensorientierte Prüfverfahren direkt angesprochen. Bisher fehlt jedoch der Bewertungshintergrund auf dem Gebiet der fundamentalen Spezifikation.

Das Ziel ist aus diesem Grund, den Einfluss der Zusammensetzung von Asphaltgemischen auf deren primäre Gebrauchseigenschaften zu bestimmen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollte zunächst der Einfluss kompositioneller Merkmale von Asphalttragschichtgemischen untersucht werden, da das Gebrauchsverhalten einer Asphalttragschicht bei der rechnerischen Dimensionierung einer Asphaltbefestigung entscheidend für die Nachweisführung des Schadenskriteriums Ermüdungsrissbildung ist. Mit den versuchstechnisch gewonnenen Materialeigenschaften erfolgten Dimensionierungsberechnungen gemäß den RDO Asphalt 09. In Auswertung der Untersuchungs- und Berechnungsergebnisse wurde ein System der Asphaltkonzeption unter Verwendung von gebrauchsverhaltensorientierten Asphaltprüfungen vorgeschlagen. Des Weiteren wurden Empfehlungen für die fundamentale Asphaltspezifikation im Rahmen der Europäisierung des Deutschen Normenwerkes gegeben.

Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.

Die Förderung dieses Forschungsvorhabens erfolgte aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) und das Deutsche Asphaltinstitut e.V. (DAI) unter der IGF-Vorhaben-Nr. 15624 BR.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Allgemeines.....	5
1.2	Wissenschaftlich-technische Problemstellung.....	5
1.3	Zielstellung	6
2	Stand der Forschung.....	8
2.1	Einfluss der Zusammensetzung auf die Gebrauchseigenschaften von Asphalttragschichtgemischen.....	8
2.1.1	Allgemeines	8
2.1.2	Einfluss der Zusammensetzung auf die Ermüdungsbeständigkeit von Asphaltgemischen	9
2.1.3	Einfluss der Zusammensetzung auf das Steifigkeitsverhalten von Asphaltgemischen	10
2.2	Anforderungen an die Gebrauchseigenschaften von Asphaltgemischen	11
2.2.1	Allgemeines	11
2.2.2	Anforderungen an die Steifigkeit und die Ermüdungsbeständigkeit von Asphaltgemischen nach EN 13108-1.....	11
2.2.3	Umsetzung der EN 13108-1 am Beispiel Österreich	13
2.2.4	Bisherige Erkenntnisse bezüglich der Gebrauchseigenschaften von Asphalttragschichtgemischen	14
2.3	Das Entwerfen von Asphaltmischgutkompositionen.....	18
2.3.1	Allgemeines	18
2.3.2	Marshall-Methode am Beispiel Deutschland.....	20
2.3.3	Superpave-Methode am Beispiel Norwegen.....	22
2.3.4	Diskussion der populärsten Methoden für das Entwerfen von Asphaltmischgutkompositionen	25
3	Lösungsweg zum Erreichen des Forschungszieles	27
3.1	Vorgehen	27
3.1.1	Eingesetzte Materialien	28
3.1.2	Einführung eines Zahlencodes	29
3.1.3	Ergebnisse der Erstprüfung	31
3.2	Herstellung der Asphaltprobekörper.....	32
3.2.1	Herstellung des Asphalttragschichtmischgutes.....	32
3.2.2	Herstellung der Asphaltplatten mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät	33
3.2.3	Herstellung der Asphaltprobekörper	34
3.2.4	Kontrolluntersuchungen der Asphaltmischgutzusammensetzung.....	35

3.3	Versuchsdurchführung	38
3.3.1	Allgemeines	38
3.3.2	Das Prinzip des Spaltzug-Schwellversuches	38
3.3.3	Durchführung der Spaltzug-Schwellversuche	39
3.4	Dimensionierungsberechnungen.....	46
3.4.1	Allgemeines	46
3.4.2	Annahmen für die Dimensionierungsberechnungen	47
4	Untersuchungsergebnisse.....	52
4.1	Ergebnisse der Spaltzug-Schwellversuche	52
4.1.1	Einfluss der Zusammensetzung von Asphalttragschichtgemischen auf deren Ermüdungsfunktion.....	52
4.1.2	Einfluss der Zusammensetzung von Asphalttragschichtgemischen auf deren Steifigkeitsverhalten.....	62
4.2	Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen.....	74
4.2.1	Einfluss des Bindemittelgehaltes von Asphalttragschichtgemischen auf das Ermüdungsverhalten der Fahrbahnbefestigungen	77
4.2.2	Einfluss der Korngrößenverteilung von Asphalttragschichtgemischen auf das Ermüdungsverhalten der Fahrbahnbefestigungen	79
4.2.3	Einfluss der Bindemittelviskosität von Asphalttragschichtgemischen auf das Ermüdungsverhalten der Fahrbahnbefestigungen	81
4.2.4	Einfluss des Bindemittelherstellers von Asphalttragschichtgemischen auf das Ermüdungsverhalten der Fahrbahnbefestigungen	82
5	Empfehlungen und Ausblick	85
5.1	Empfehlungen für die Gebrauchseigenschaften von Asphalttragschichtgemischen.....	85
5.2	Empfehlungen für ein System der Asphaltkonzeption unter Verwendung von gebrauchsverhaltensorientierten Asphaltprüfungen	86
5.3	Ausblick.....	95
6	Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen der Ergebnisse.....	97
7	Beabsichtigte Umsetzung der Forschungsergebnisse; erfolgte und geplante Veröffentlichungen	98
	Literaturverzeichnis	100
	Abbildungsverzeichnis	108
	Tabellenverzeichnis	114
	Anlagen	117

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

Die Beanspruchung der Straßenbefestigungen in Deutschland wird aufgrund der Verkehrsentwicklung in den nächsten Jahren weiter sehr drastisch zunehmen. Die prognostizierte Steigerung des Schwerverkehrsanteils im Bundesfernstraßennetz, die Erhöhung der zulässigen Achslasten, die Nutzung von Singlereifen mit hohen Reifeninnendrücken sowie langsam- und spurfahrender Schwerverkehr mit häufigen Brems- und Beschleunigungsvorgängen, insbesondere in den innerstädtischen Straßennetzen, bewirken immer höhere Beanspruchungen der Straßenbaustoffe. Es wird immer dringender, deren optimierte Zusammensetzung zu leistungsfähigen Baustoffgemischen hinsichtlich ihrer Gebrauchseigenschaften auf das Verhalten in der Befestigung hin auszurichten. Insbesondere die sog. primären Gebrauchseigenschaften sind hierfür von sehr großer Bedeutung. Primäre Gebrauchseigenschaften von Asphalten für Verkehrsflächenbefestigungen sind die Beständigkeit gegen bleibende Verformung sowie gegen Ermüdung infolge wiederholter Belastung und die Rissbeständigkeit bei tiefen Temperaturen.

1.2 Wissenschaftlich-technische Problemstellung

Bisher werden in Deutschland Verkehrsflächenbefestigungen auf der Grundlage empirisch gewonnener Erkenntnisse aufgebaut, das heißt, die Dimensionierung der Dicken der gebundenen und ungebundenen Schichten von Straßenbefestigungen erfolgt unter Anwendung der RStO [RStO 01]. Ein langwieriger Prozess der Erfahrungssammlung führte schließlich u. a. bei der Asphaltbauweise zu der sog. empirischen Asphaltspezifikation [TL Asphalt-StB 07]. Diese Spezifikation beruht auf Anforderungen bezüglich der Zusammensetzung und des Hohlraumgehaltes der einzelnen Asphaltgemische bzw. -schichten. Des Weiteren werden die Gebrauchseigenschaften der Asphalte durch einige wenige leistungsbezogene Prüfverfahren beschrieben (z. B. Spurbildungsversuch). Im neuen europäischen Normenwerk der Asphaltspezifikation ist neben der bekannten empirischen Spezifikation auch die fundamentale Asphaltspezifikation enthalten [DIN EN 13108-1]. Hier werden die Asphalteigenschaften verstärkt durch gebrauchsverhaltensorientierte (leistungsbasierende) Versuche (z. B. Biege-Wechselversuch, Druck-Schwellversuch, Zug-Schwellversuch, Triaxialer Schwellversuch mit Zug-/Druckbeanspruchung und Spaltzug-Schwellversuch) direkt angespro-

chen. Im Gegensatz zum empirischen Ansatz existieren nur geringe bzw. keine Anforderungen hinsichtlich der Zusammensetzung bzw. des Hohlraumgehaltes für die einzelnen Asphalte.

Während für die Anwendung der fundamentalen Spezifikation in Deutschland bisher kein ausreichender Erfahrungs- und Bewertungshintergrund u. a. bezüglich der Anforderung an die gebrauchsverhaltensorientierten Asphalteigenschaften existiert, haben bereits einige Länder der Europäischen Union (z. B. Niederlande und Österreich) neben dem empirischen auch den fundamentalen Ansatz für Asphaltgemische eingeführt. Da die Zukunft in Europa in Richtung fundamentale Asphaltspezifikation geht, werden die Anforderungen an die gebrauchsverhaltensorientierten Eigenschaften der Asphalte sowie die zugehörigen Prüfverfahren immer mehr an Bedeutung gewinnen. Aus diesem Grund besteht für Deutschland erheblicher Forschungsbedarf auf dem Gebiet der fundamentalen Spezifikation.

1.3 Zielstellung

Das Ziel besteht in der Bestimmung des Einflusses der Zusammensetzung von Asphaltgemischen auf deren primäre Gebrauchseigenschaften.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens soll zunächst der Einfluss der kompositionellen Merkmale an ausgewählten Asphalttragschichtgemischen untersucht werden, da das Gebrauchsverhalten einer Asphalttragschicht bei der rechnerischen Dimensionierung einer Asphaltbefestigung entscheidend für die Nachweisführung des Schadenskriteriums Ermüdungsrisssbildung an der Unterseite der Tragschicht ist (Abschnitt 2.1.1). Mit den versuchstechnisch gewonnenen Materialeigenschaften sind an Beispielen Dimensionierungsberechnungen durchzuführen. In der Auswertung der Untersuchungs- und Berechnungsergebnisse soll versucht werden, ein neues System der Asphaltkonzeption unter Verwendung von gebrauchsverhaltensorientierten Asphaltprüfungen zu entwickeln. Des Weiteren soll mit dem Forschungsvorhaben die Erfahrungssammlung auf dem Weg der Einführung fundamentaler Spezifikationen im Rahmen der Europäisierung des Deutschen Normenwerkes unterstützt werden.

Außerdem wird erwartet, dass klein- und mittelständige Unternehmen (kmU) die Erkenntnisse aus dem Forschungsvorhaben nutzen können, um ihre Chancen auf Auf-

tragserteilung bei der Ausschreibung von Baumaßnahmen im Rahmen von Funktionsbauverträgen und PPP-Modellen zu verbessern. Bisher war es schwierig, ohne die rechnerische Prognose des Gebrauchsverhaltens von Asphaltbefestigungen, den tatsächlichen Erhaltungsaufwand für einen Vertragszeitraum von 20 bis 30 Jahren abzuschätzen. Aus diesem Grund haben sich nur wenige kmU an der Ausschreibung von Funktionsbauverträgen bzw. PPP-Projekten beteiligen können. Da u. a. die Qualität der eingesetzten Baustoffe für den Substanzerhalt des Straßenoberbaus eine bedeutende Rolle spielt, wird ein Bauunternehmen daran interessiert sein, die Straßenbefestigung hinsichtlich ihrer leistungsbasierenden Merkmale zu optimieren, um den Erhaltungsaufwand zu minimieren.

2 Stand der Forschung

2.1 Einfluss der Zusammensetzung auf die Gebrauchseigenschaften von Asphalttragschichtgemischen

2.1.1 Allgemeines

Bei der rechnerischen Dimensionierung ist der Nachweis des Schadenkriteriums Ermüdungsrisssbildung für eine Asphaltbefestigung an der Stelle mit den größten Biegezugdehnungen zu erbringen. Diese treten i. d. R. an der Unterseite der Asphalttragschicht im Bereich der Lastachse auf. Berechnungen mit der Methode der Finiten Elemente bestätigen dies [WELLNER/LEUTNER et. al. 2007]. Abbildung 2.1 zeigt einen 1,5 m breiten Ausschnitt einer 26 cm dicken Asphaltbefestigung auf einer 59 cm dicken Frostschutzschicht. Der linke Bildrand stellt dabei die Lastachse des Systems und somit die Symmetrieachse dar. Es ist deutlich zu erkennen, dass im Bereich der Lastachse die Biegezugspannungen an der Unterseite des Asphaltpaketes (blaue Fläche) am größten und die Biegedruckspannungen an der Oberseite der Befestigung (rote Fläche) am höchsten sind. Für den Nachweis sind daher gemäß den RDO Asphalt die Biegezugdehnungen an der Unterseite einer Asphalttragschicht heranzuziehen [RDO Asphalt 09]. Um den Nachweis des Schadenkriteriums Ermüdungsrisssbildung für eine Asphaltbefestigung führen zu können, werden die Ermüdungsfunktion des zum Einsatz kommenden Asphalttragschichtgemisches und die Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion der Asphalttrag-, -binder- und Deckschicht benötigt.

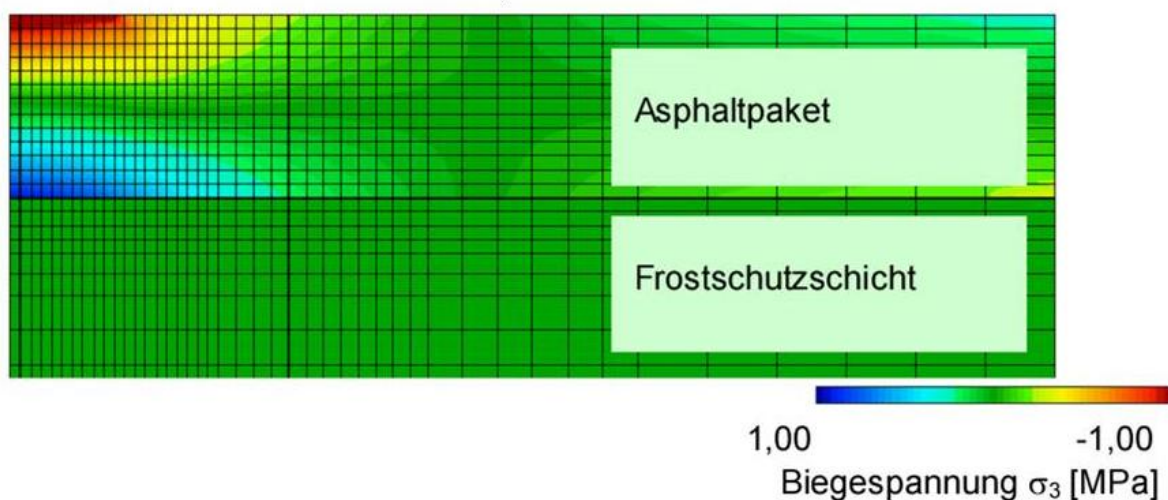


Abbildung 2.1: Verlauf der Biegespannungen σ_3 in einer Asphaltbefestigung bei $-12,5\text{ °C}$ Oberflächentemperatur [WELLNER/LEUTNER et. al. 2007]

In zahlreichen Forschungsvorhaben [u. a. ARAND et. al. 1996, ARAND et. al. 2000, ERLINGSSON 2000, LEUTNER et. al. 2000, LIPKE et. al. 2009] konnte bereits nachgewiesen werden, dass die Zusammensetzung der Asphaltgemische die gebrauchsvorhaltensorientierten Eigenschaften dieser beeinflusst. Im Wesentlichen ist aus diesen Forschungsvorhaben abzuleiten, dass die Bindemittleigenschaften und -mengen, der Verdichtungsgrad/Hohlraumgehalt der Asphaltgemische, die Adhäsion zwischen Bindemittel und Gestein, die Gesteinseigenschaften sowie die Korngrößenverteilung der Gesteinskörnungen wesentliche Einflussfaktoren darstellen. Da in dem hier durchgeführten Forschungsvorhaben nur Asphalttragschichtgemische untersucht wurden, zu deren primären Gebrauchseigenschaften vorwiegend das Steifigkeitsverhalten und die Ermüdungsbeständigkeit gehören, wird im Folgenden der Einfluss der Asphaltzusammensetzung nur auf diese Materialeigenschaften beschrieben. Dabei kann das Steifigkeitsverhalten und die Ermüdungsbeständigkeit von Asphalten anhand von verschiedenen Prüfverfahren mit zyklischer Belastung, wie z. B. Biege-Wechselversuch, einaxialer Zug-Schwellversuch, Triaxialer Schwellversuch mit Zugbeanspruchung und Spaltzug-Schwellversuch, angesprochen werden. Das durchgeführte Forschungsvorhaben beschränkte sich entsprechend der Vorgehensweise der RDO Asphalt auf den Spaltzug-Schwellversuch.

2.1.2 Einfluss der Zusammensetzung auf die Ermüdungsbeständigkeit von Asphaltgemischen

In einer Vielzahl von Forschungsarbeiten [u. a. ARAND et. al. 1996, ARAND et. al. 2000, LEUTNER et. al. 2000] erfolgte die Untersuchung des Einflusses der Zusammensetzung (u. a. Bindemittelgehalt, Bindemittelviskosität, Korngrößenverteilung) und des Hohlraumgehaltes bzw. des Verdichtungsgrades auf die Ermüdungsbeständigkeit von unterschiedlichen Asphalten, wie beispielsweise Asphaltbeton, Splittmastixasphalt sowie Asphaltbinder. Für diese Asphalte ergaben sich bei Variation der Zusammensetzung folgende Auswirkungen auf die Beständigkeit gegen Ermüdungsrissbildung:

- Die Zunahme des Bindemittelgehaltes bewirkt eine Erhöhung der ertragbaren Lastwechselzahlen bei Asphaltbetonen und Splittmastixasphalten, bei Splittmastixasphalten bis zu einem Maximum [ARAND et. al. 1996a, ARAND et. al. 2000].
- Der Einfluss der Bindemittelviskosität auf die Ermüdungsbeständigkeit von Asphalten ist temperaturabhängig, das Maximum der Bruchlastwechselzahl des untersuch-

ten Asphaltbetons [ARAND et. al. 1996a] mit dem weichen Bindemittel liegt dabei bei einer tieferen Temperatur, als bei Asphalten mit Bindemitteln mittlerer Viskosität. Anhand von Spaltzug-Schwellversuchen bei 20 °C konnte Erlingsson [ERLINGSSON 2000] bei kleinen elastischen horizontalen Anfangsdehnungen ($< 0,045 \text{ ‰}$) bei Verwendung von weichen Straßenbaubitumen im Asphaltbeton eine höhere ertragbare Lastwechselzahl nachweisen, als bei harten Straßenbaubitumen.

- Ein Asphalt mit einer feinen Korngrößenverteilung des Gesteinskorngemisches, d. h. mit hohem Feinkornanteil und entsprechend niedrigem Gehalt an groben Gesteinskörnungen, erträgt eine höhere Anzahl an Lastwechseln bis zum Bruch als ein Asphaltgemisch mit grober Korngrößenverteilung (Asphaltbeton) [ARAND et. al. 1996a, MEISSNER 2007].
- Eine Abnahme des Hohlraumgehaltes bzw. Zunahme des Verdichtungsgrades, ohne die Zusammensetzung des Asphaltgemisches (Bindemittelgehalt und Gesteinskörnungsgemisch) zu verändern, führt zu einer Erhöhung der ertragbaren Bruchlastwechselzahl [LEUTNER et. al. 2000, HARVEY et. al. 1996].

2.1.3 Einfluss der Zusammensetzung auf das Steifigkeitsverhalten von Asphaltgemischen

Hohe Steifigkeitsmoduln der in den verschiedenen Asphaltschichten verwendeten Asphalte bewirken die Verringerung der für die Ermüdung maßgebenden Dehnungen an der Unterseite der Asphaltbefestigung. Durch die gezielte Beeinflussung der Asphaltgemischzusammensetzung und der daraus resultierenden Steifigkeit der Asphalte kann demnach die Ermüdungsresistenz einer Befestigung verbessert werden. Die Veränderung der Asphaltzusammensetzung wirkt sich auf den Steifigkeitsmodul von Asphalttragschichtgemischen wie folgt aus [LIPKE et. al. 2009]:

- Mit steigendem Bindemittelgehalt kann zunächst eine Zunahme des Steifigkeitsmoduls bis zu einem bestimmten – optimalen – Bindemittelgehalt, bei dem ein Maximum der Steifigkeit erreicht wird, festgestellt werden. Die Lage des Maximums ist jedoch temperatur- und gesteinsabhängig. Das bedeutet, dass in Abhängigkeit von der Temperatur und der Gesteinssorte die Maxima der Steifigkeitsmoduln bei unterschiedlichen Bindemittelgehalten auftreten können.
- Eine Verringerung des Hohlraumgehaltes bzw. eine Zunahme des Verdichtungsgrades des Asphalttragschichtmaterials, ohne jedoch seine Zusammensetzung (Binde-

mittelgehalt und Gesteinskörnungsgemisch) zu verändern, bewirkt eine Zunahme des Steifigkeitsmoduls.

- Durch die Verwendung eines härteren Straßenbaubitumens, beispielsweise 30/45 anstatt 50/70, erhöht sich der Steifigkeitsmodul. Dieser Einfluss ist jedoch geringer, als der Einfluss der Bindemittelherkunft. Bei den Untersuchungen der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen einer Sorte, jedoch unterschiedlicher Herkunft, wurden deutliche Spreizungen hinsichtlich der Steifigkeiten der Asphalte festgestellt.

2.2 Anforderungen an die Gebrauchseigenschaften von Asphaltgemischen

2.2.1 Allgemeines

Bisher existieren gemäß den EN 13108-1 bei Anwendung des fundamentalen Ansatzes für Asphaltbetone Anforderungen bezüglich Steifigkeit, Beständigkeit gegen bleibende Verformung sowie gegen Ermüdung [DIN EN 13108-1]. Sie werden auch als grundsätzliche Anforderungen im genannten Regelwerk bezeichnet. Weil die Bestimmung dieser Materialeigenschaften mittels gebrauchsverhaltensorientierten Prüfverfahren erfolgt, werden diese Anforderungen im Folgenden als gebrauchsverhaltensorientierte (GVO) Anforderungen bezeichnet.

2.2.2 Anforderungen an die Steifigkeit und die Ermüdungsbeständigkeit von Asphaltgemischen nach EN 13108-1

Die Bestimmung der Steifigkeit von Asphaltbetonen wird nach der EN 12697-26 durchgeführt [DIN EN 12697-26]. Dabei dürfen gemäß EN 13108-20 folgende GVO-Prüfverfahren verwendet werden [DIN EN 13108-20]:

- Zweipunkt-Biegeprüfung an trapezförmigen Probekörpern oder an prismatischen Probekörpern,
- Dreipunkt- oder Vierpunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern,
- Indirekte Zugprüfung an zylindrischen Probekörpern,
- Direkte Zug- und Druckprüfung an zylindrischen Probekörpern,
- Direkte Zugprüfung an zylindrischen oder prismatischen Probekörpern.

Die ermittelte Steifigkeit von Probekörpern muss Höchst- bzw. Mindestwerte aus den vorgegebenen Kategorien ($S_{\min}$ bzw. $S_{\max}$) der EN 13108-1 einhalten. Die Prüfbedingungen, wie Temperatur und Frequenz, sind dabei abhängig vom Prüfverfahren. Die folgende Tabelle enthält zur Verdeutlichung Auszüge aus der Europäischen Norm.

Tabelle 2.1: Mindeststeifigkeit $S_{\min}$ und Höchststeifigkeit $S_{\max}$, Auszug [DIN EN 13108-1]

Mindeststeifigkeit [MPa]	Kategorie $S_{\min}$	Höchststeifigkeit [MPa]	Kategorie $S_{\max}$
21 000	$S_{\min 21\,000}$	30 000	$S_{\max 30\,000}$
17 000	$S_{\min 17\,000}$	25 000	$S_{\max 25\,000}$
14 000	$S_{\min 14\,000}$	21 000	$S_{\max 21\,000}$
...	...	...	...
1 800	$S_{\min 1\,800}$	9 000	$S_{\max 9\,000}$
1 500	$S_{\min 1\,500}$	7 000	$S_{\max 7\,000}$
keine Anforderung	$S_{\max NR}$	keine Anforderung	$S_{\max NR}$

Die Prüfung der Ermüdungsbeständigkeit ist gemäß EN 13108-20 mit den folgenden GVO-Prüfverfahren der EN 12697-24 durchzuführen [DIN EN 12697-24]:

- Zweipunkt-Biegeprüfung an trapezförmigen Probekörpern,
- Vierpunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern.

Das Ergebnis ist die dehnungsbasierte Ermüdungsfunktion anhand derer die elastische Dehnung ε bei einer Lastwechselzahl N von 10^6 abgeschätzt wird und einer in der EN 13108-1 aufgeführten Kategorie ε_6 entsprechen muss. Tabelle 2.2 enthält zur Verdeutlichung Auszüge aus der EN 13108-1.

Tabelle 2.2: Beständigkeit gegen Ermüdung ε_6 , Auszug [DIN EN 13108-1]

Beständigkeit gegen Ermüdung [$\mu\text{m/m}$]	Kategorie ε_6
310	$\varepsilon_6\text{-}310$
260	$\varepsilon_6\text{-}260$
220	$\varepsilon_6\text{-}220$
...	...
60	$\varepsilon_6\text{-}60$
50	$\varepsilon_6\text{-}50$
keine Anforderung	$\varepsilon_6\text{-}NR$

Hat sich ein EU Mitgliedsstaat für die Anwendung der GVO-Asphaltspezifikation entschieden, so ist aus den in der Europäischen Norm angegebenen Kategorien für die jeweilige Asphalteigenschaft die entsprechende Kategorie auszuwählen. Welche davon

in Frage kommen, ist u. a. von klimatischen Bedingungen sowie Verkehrsbelastungen abhängig.

2.2.3 Umsetzung der EN 13108-1 am Beispiel Österreich

In Österreich wurden für Asphaltbetongemische für Asphaltdeck-, -binder- und -tragschichten bereits Anforderungen hinsichtlich der GVO-Asphalteigenschaften festgelegt [KAPPL 2009]. Die Mischguttypenbezeichnung erfolgt dabei zum einen entsprechend der Hauptbeanspruchung (FR = Fundamental Risse, FV = Fundamental Verformung, FE = Fundamental Ermüdung) sowie unter der Angabe von Ziffern, welche an das Schulnotenprinzip angelehnt sind. Wie aus Abbildung 2.2 bis Abbildung 2.4 entnommen werden kann, ist eine niedrige Ziffer beispielsweise einer hohen Beständigkeit gegen bleibende Verformung und eine hohe Ziffer einer geringen Verformungsbeständigkeit zuzuordnen. Weiterhin wird aus den Abbildungen deutlich, dass in Österreich bereits Anforderungen an die Asphalte bezüglich der Rissbeständigkeit bei tiefen Temperaturen gestellt werden, ausgedrückt durch die Bruchtemperatur T_c . Diese Anforderung ist bisher nicht in der Europäischen Norm EN 13108-1 enthalten.

Niedrige Ziffer = hohe Beständigkeit = Schulnotenprinzip							
Anforderung / Beständigkeit gegen	FR1	FR2	FR3	FR4	FR5	FR6	FR7
Verformungen	$f_{cmax0,2}$		$f_{cmax0,4}$		$f_{cmax0,6}$		
Ermüdungsrisse	ε_{6-NR}						
Tieftemperaturrisse	T_{c-30}	T_{c-25}	T_{c-30}	T_{c-25}	T_{c-20}	T_{c-25}	T_{c-20}
Steifigkeitsverhalten	nur Werte angeben, keine Leistung gefordert KLF						

Abbildung 2.2: Einteilung der Asphaltdeckschichtmischgutsorten zu einzelnen Mischguttypen mit Anforderungskategorien gemäß Schulnotensystem [KAPPL 2009]

Anforderung / Beständigkeit gegen	FV1	FV2	FV3	FV4
Verformungen	$f_{cmax0,2}$		$f_{cmax0,4}$	
Ermüdungsrisse	ε_{6-130}			
Tieftemperaturrisse	T_{c-25}	T_{c-20}	T_{c-25}	T_{c-20}
Steifigkeitsverhalten	nur Werte angeben, keine Leistung gefordert KLF			

Abbildung 2.3: Einteilung der Asphaltbinderschichtmischgutsorten zu einzelnen Mischguttypen mit Anforderungskategorien gemäß Schulnotensystem [KAPPL 2009]

Anforderung/ Beständigkeit gegen	FE1	FE2	FE3	FE4	FE5	FE6
Verformungen	$f_{\text{cmax0},4}$		$f_{\text{cmax0},6}$			f_{cmaxNR}
Ermüdungsrisse	ε_{6-190}	ε_{6-130}	ε_{6-190}	ε_{6-130}	ε_{6-100}	
Tieftemperaturrisse	T_{c-20}					T_{c-NR}
Steifigkeitsverhalten	nur Werte angeben, keine Leistung gefordert KLF					

Abbildung 2.4: Einteilung der Asphalttragschichtmischgutsorten zu einzelnen Mischguttypen mit Anforderungskategorien gemäß Schulnotensystem [KAPPL 2009]

2.2.4 Bisherige Erkenntnisse bezüglich der Gebrauchseigenschaften von Asphalttragschichtgemischen

Für das Forschungsvorhaben erfolgte im Rahmen von Voruntersuchungen die Bestimmung der Ermüdungsfunktionen und Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktionen von drei – damals - nach ZTV T-StB [ZTV T-StB 95/02] zusammengesetzten Asphalttragschichtgemischen, welche in Abbildung 2.5 und Abbildung 2.6 dargestellt sind. Mit den versuchstechnisch bestimmten Materialkennwerten wurden von Wellner Dimensionierungsberechnungen für Fahrbahnbefestigungen gemäß Tafel 1, Zeile 1.1 der RStO [RStO 01] vorgenommen [WELLNER 2007]. Die Ergebnisse der Schichtdickenanpassungen, anhand derer das Ermüdungsverhalten von Asphaltbefestigungen beurteilt werden kann, sind Tabelle 2.3 zu entnehmen. Die Berechnungen ergaben, dass die Asphaltbefestigung der Bauklasse I mit dem Asphalttragschichtgemisch ATS 02 das günstigste und die mit dem Asphalttragschichtgemisch ATS 01 das ungünstigste Ermüdungsverhalten besitzt. Bei einem Fahrbahnaufbau der Bauklasse III weist demgegenüber die Befestigung mit dem Asphalttragschichtgemisch ATS 03 das ungünstigste Ermüdungsverhalten auf. Die Ursache ist in den deutlich kleineren Steifigkeitsmoduln der ATS 03 im Vergleich zu den anderen beiden Asphalttragschichtmaterialien zu suchen (Abbildung 2.6), durch welche sich größere Dehnungen im Asphaltpaket ergeben und somit die Anzahl der ertragbaren Lastwechselzahlen bei gleicher Belastung verringert wird. Eine geringe Steifigkeit in Kombination mit einer hohen Ermüdungsbeständigkeit des einen Asphalttragschichtgemisches kann sich im Vergleich zu einer hohen Steifigkeit in Kombination mit einer niedrigen Ermüdungsbeständigkeit eines anderen Asphalttragschichtgemisches somit auf das Ermüdungsverhalten einer Asphaltbefestigung insgesamt negativ auswirken. Resümierend wird daher geschlussfolgert, dass die Beurteilung der Ermüdungsbeständigkeit eines Asphaltgemisches lediglich anhand der Ermüdungsfunktion zu möglichen Fehlinterpretationen führen würde.

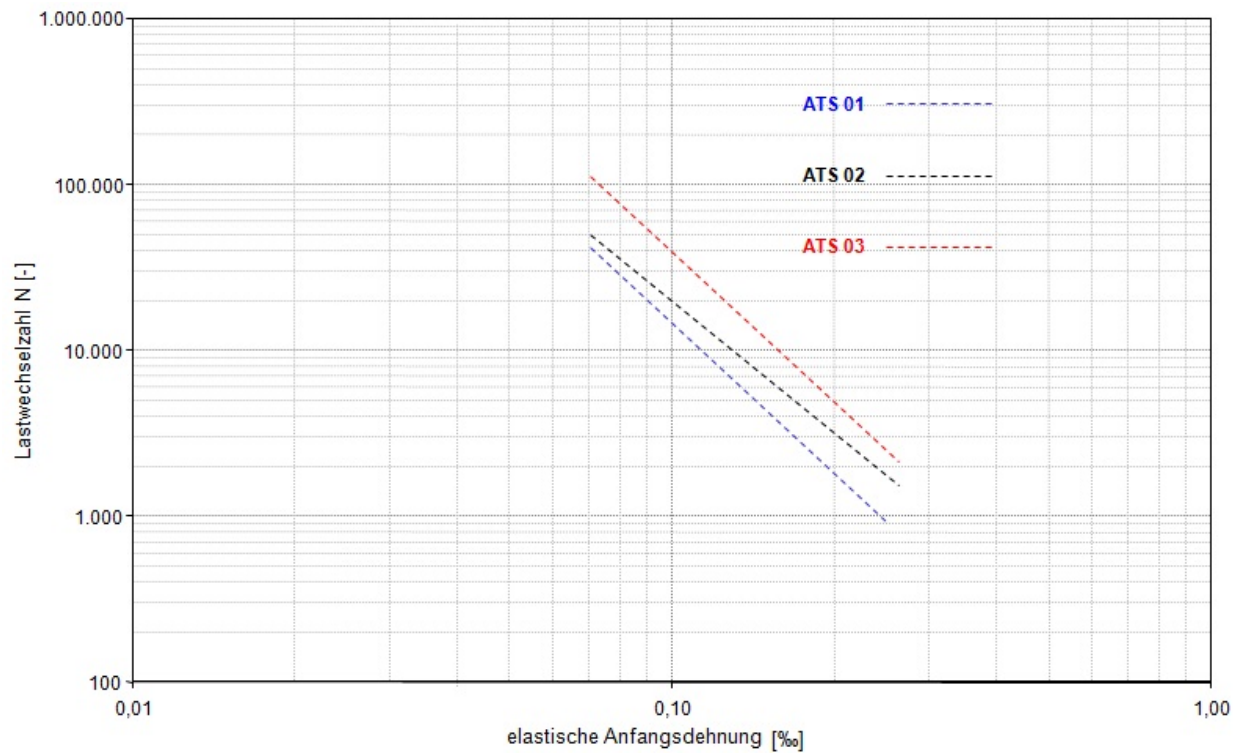


Abbildung 2.5: Ermüdungsfunktionen Vorversuche Asphalttragschichtgemische [WELLNER 07]

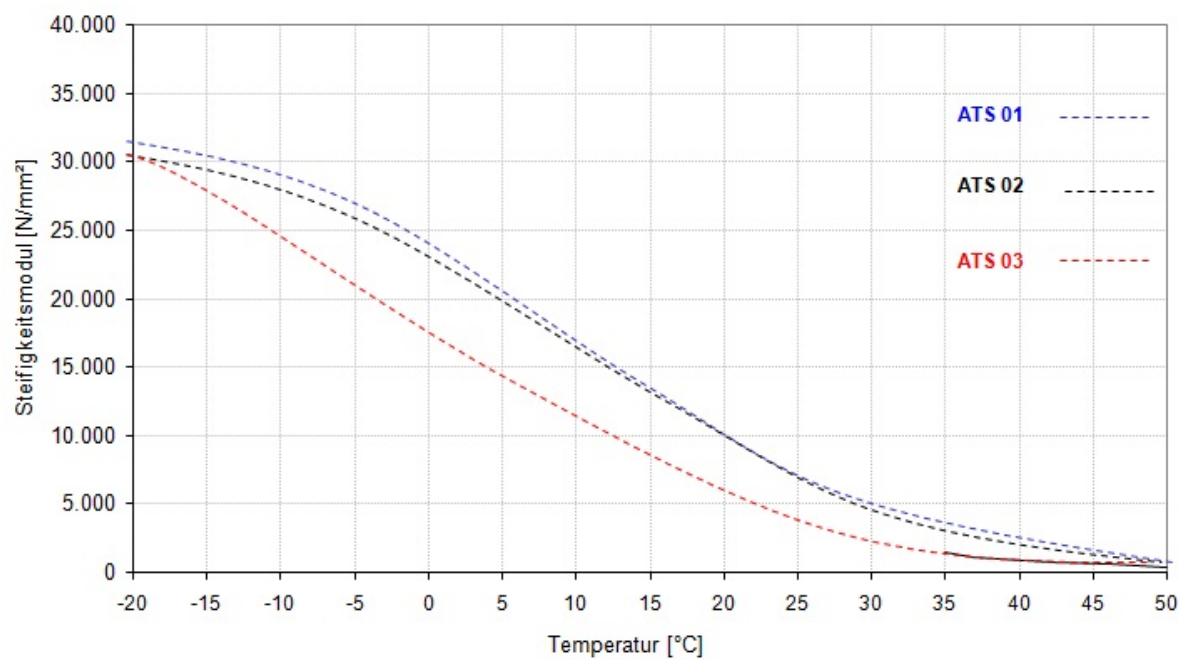


Abbildung 2.6: Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktionen Vorversuche Asphalttragschichtgemische [WELLNER 07]

Tabelle 2.3: Ergebnisse der Schichtdickenanpassungen für Asphaltbefestigungen [WELLNER 2007] unter Verwendung von drei unterschiedlichen Asphalttragschichtgemischen, zusammengesetzt nach [ZTV T-StB 95/02]

Asphalttrag- schichtgemisch	Schichtdickenanpassung für Asphaltbefestigung, Dicke der Asphalttragschicht	
	Bauklasse I [cm]	Bauklasse III [cm]
ATS 01	21	14
ATS 02	16	10
ATS 03	20	15

Weitere Erkenntnisse hinsichtlich der Einschätzung der Ermüdungsbeständigkeit von Asphalttragschichtgemischen können anhand der Untersuchungsergebnisse von Lipke erläutert werden [LIPKE et. al. 2009]. Wie bereits in Abschnitt 2.2.2 erklärt, wird entsprechend der EN 13108-1 für die Bewertung dieser Gebrauchseigenschaft aus der dehnungsabhängigen Ermüdungsfunktion lediglich die Kategorie ε_6 anhand der elastische Dehnung ε bei einer Lastwechselzahl N von 10^6 abgeleitet [DIN EN 13108-1]. Abbildung 2.7 verdeutlicht nochmals die Herangehensweise der Europäischen Norm. Entsprechend dieses Prinzips würden die von Lipke untersuchten Asphalte bezüglich ihrer Ermüdungsbeständigkeit folgende Reihung aufweisen: ATS C (höchste Ermüdungsbeständigkeit), dann ATS B und ATS A (niedrigste Ermüdungsbeständigkeit). Kritisch bei Anwendung dieser Methode zur Beurteilung der Beständigkeit gegen Ermüdung nach EN ist, dass nicht nur die Bedeutung des Steifigkeitsverhaltens vernachlässigt wird, sondern auch die Materialparameter und damit der Verlauf der Ermüdungsfunktion selbst unberücksichtigt bleiben, welche ebenfalls einen entscheidenden Einfluss auf die Ermüdungsverhalten einer Asphaltbefestigung haben. So sind entsprechend der mit Hilfe von BISAR [LEUTNER et. al. 2005] durchgeführten Berechnungen auf der Grundlage der Mehrschichtentheorie zur Abschätzung der Beanspruchung in Asphaltbefestigungen an der Unterseite der Asphalttragschicht elastische Zugdehnungen von 0,050 bis 0,100 ‰ für einen Fahrbahnaufbau der Bauklasse SV nach Tabelle 1, Zeile 1 der RStO [RStO 01] und von 0,100 bis 0,300 ‰ für einen Fahrbahnaufbau der Bauklasse III nach Zeile 1 und Zeile 4 ermittelt worden. Bei einem Vergleich der Ermüdungsfunktionen der drei von Lipke untersuchten Asphalttragschichtgemische ergäbe sich zunächst nach dem nach EN vorgegebenen Verfahren, die oben genannte Reihung der Asphalttragschichtmaterialien bezüglich der Ermüdungsbeständigkeit. Im Dehnungsbereich von 0,050 bis 0,100 ‰ ändert sich diese Reihung bereits, denn hier erträgt die ATS B die meisten Lastwechsel bis zum Versagen bei gleicher Dehnung vor ATS A und ATS C. Im Dehnungsbereich von 0,100 bis 0,300 ‰ ändert sich dies erneut. Bei

gedachter Verlängerung der Ermüdungsfunktionen ergibt sich hier die Reihung der Asphaltgemische bezüglich der ertragbaren Lastwechsel bei gleicher Dehnung zu ATS A vor ATS C und ATS B. Die Ursache hierfür ist in den Materialparametern C1 und C2 der Ermüdungsfunktion (Potenzfunktion, siehe Gleichung (3.6)) zu suchen. Bei der Darstellung im doppelt-logarithmischen Diagramm beschreibt C2 den Anstieg der Ermüdungsfunktion und C1 eine Parallelverschiebung der Ermüdungsfunktion. Bei einem Vergleich der ertragbaren Lastwechsel von zwei Asphalten anhand der Ermüdungsfunktionen bei konstantem C2 (Anstieg) würde der Asphalt mit dem größeren Materialparameter C1 bei gleicher elastischer Dehnung die höhere Anzahl an Lastwechsel ertragen als der mit dem kleineren C1. Bei der Beurteilung zweier Asphalte mit Ermüdungsfunktionen bei konstantem Materialparameter C1 würde für das Asphaltgemisch mit dem stärkeren Anstieg C2 im Bereich kleiner elastischer Dehnungen eine höhere Anzahl an ertragbaren Lastwechseln ermittelt werden als für das Asphaltgemisch mit dem niedrigeren Anstieg C2, im Bereich großer elastischer Dehnungen ist dies umgekehrt.

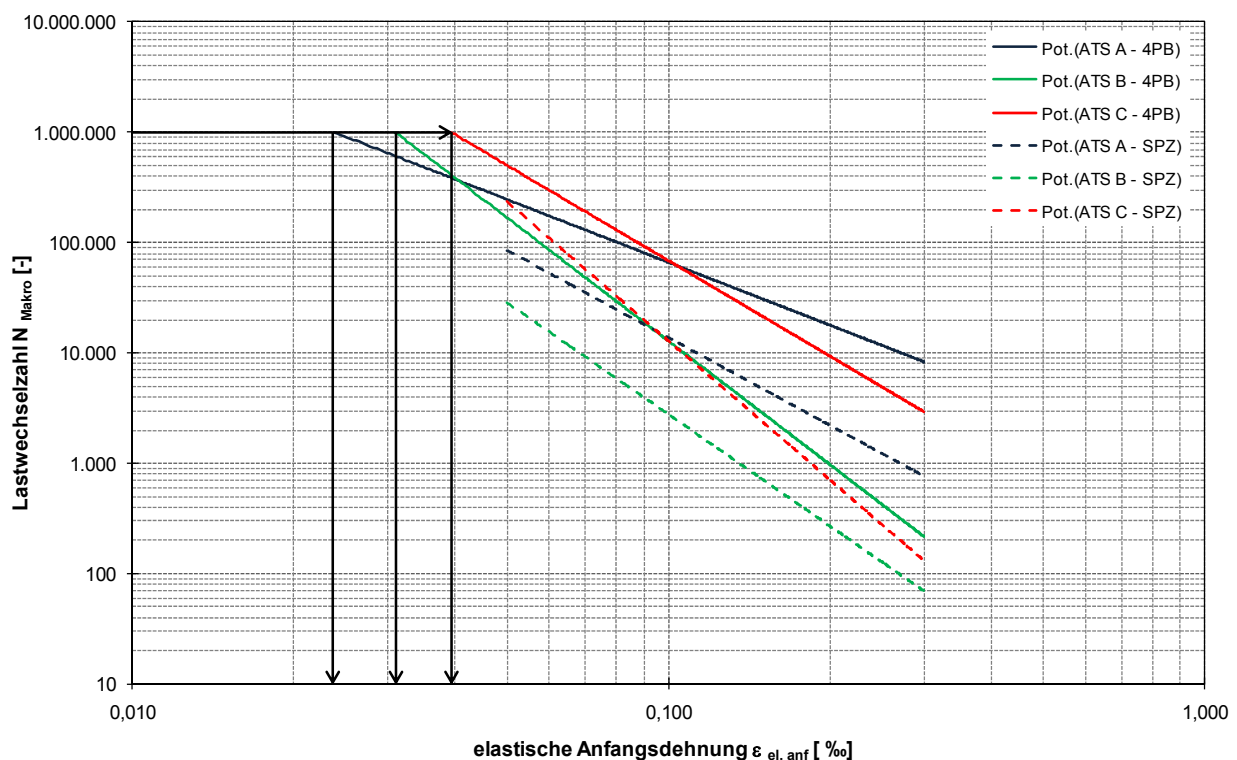


Abbildung 2.7: Ermüdungsfunktionen von Asphalttragschichtgemischen aus [LIPKE et. al. 2009], bestimmt mittels Vierpunkt-Biege-Wechselprüfung bei 30 Hz (4PB) und Spaltzug-Schwellversuch bei 10 Hz (SPZ).

Weiterhin wurden von Lipke Vergleichsuntersuchungen unterschiedlicher GVO-Prüfverfahren anhand von Ermüdungsfunktionen vorgenommen, da gemäß der Europäischen Normung [DIN EN 13108-20] die Ermüdungsfunktion mit der Vierpunkt-Biege-Wechselprüfung an prismatischen Probekörpern nach der EN 12697-24 ermittelt wird, in Deutschland aber im Zusammenhang mit der Dimensionierungsberechnung nach den RDO Asphalt bisher der Spaltzug-Schwellversuch für die Bestimmung der Ermüdungsfunktion von Asphaltgemischen angewendet wird. Abbildung 2.7 zeigt, dass in dem Bereich der in der Straßenbefestigung auftretenden Dehnungen an der Unterseite der Asphalttragschichten die Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichtgemische bei Anwendung beider Versuchsarten mit guter Näherung als parallel verlaufend angesehen werden können. Weiterhin stellte Lipke fest, dass die Lastwechselzahlen bis zum Makroriss, welche sich aus der Vierpunkt-Biege-Wechselprüfung ergaben, etwa dem Fünffachen der Lastwechselzahlen entsprechen, welche mit dem Spaltzug-Schwellversuch ermittelt wurden [LIPKE et. al. 2009]. Die Überprüfung der Allgemeingültigkeit dieser Aussage steht jedoch noch aus.

2.3 Das Entwerfen von Asphaltmischgutkompositionen

2.3.1 Allgemeines

Beim Entwerfen einer Asphaltmischgutkomposition werden die zwei grundsätzlichen Materialkomponenten, das Gestein und das Bindemittel, und das optimale Verhältnis zwischen den beiden Stoffen mit dem Ziel ausgewählt, ein Asphaltgemisch mit möglichst optimierten Gebrauchseigenschaften zu erhalten [WOZNIAK 2009]. Es existieren mehrere Methoden mithilfe derer das Entwerfen einer Asphaltmischgutkomposition durchgeführt wird. Die Marshall-Methode, die Hveem-Methode und die Superpave-Methode sind dabei am weitesten in der Welt verbreitet. Unabhängig von der Methode sind die Grundprinzipien bei dem Entwurf einer Asphaltmischgutkomposition gleich:

- Auswahl des Gesteins und Entwurf der Kornzusammensetzung des Gesteinskörnungsgemisches;
- Auswahl des Bindemittels;
- Bestimmung des optimalen Bindemittelgehaltes.

Der Bindemittelgehalt wird üblicher Weise in Masseprozent angegeben und beschreibt das Verhältnis des im Probekörper vorhandenen Bindemittels zum Gesamtgewicht in

Prozent. Aufgrund der großen Unterschiede der Rohdichten der für Asphalt zur Anwendung kommenden Gesteinssorten kann der Anteil des Bindemittels in Masseprozent stark variieren. Eine geeignetere Beschreibung des Parameters erfolgt mit der Angabe des volumetrischen Bindemittelgehaltes (Volumen des Bindemittels bezogen auf das Gesamtvolumen in Prozent). Diesem Aspekt wurde mit der Einführung des Korrekturfaktors a zur Ermittlung des rechnerischen Mindestbindemittelgehaltes unter Berücksichtigung der resultierenden Rohdichte des Gesteinskörnungsgemisches innerhalb der TL Asphalt Rechnung getragen [TL Asphalt-StB 07]. Die Veränderung der Materialkomponenten des Asphaltes sowie die Veränderung des Verhältnisses zwischen Gestein und Bindemittel wirken sich dabei tiefgreifend auf das Gebrauchsverhalten des Asphaltes aus.

Um den optimalen Bindemittelgehalt für ein Asphaltmischgut festlegen zu können, wird unabhängig von den o. g. Methoden wie folgt vorgegangen:

- Herstellung von Asphaltprobemischungen mit verschiedenen Bindemittelgehalten;
- Verdichten dieser Asphaltprobemischungen im Labor mittels eines Verfahrens, welches die Feldverdichtung simuliert;
- Durchführung von Laborversuchen, um die Eigenschaften der Asphaltproben zu untersuchen;
- Auswahl des optimalen Bindemittelgehaltes, welcher das Ziel des Entwurfes der Asphaltmischgutkomposition am besten erfüllt.

Die Marshall-Methode sowie die Superpave-Methode sind für die Entwicklung von Asphaltmischgutkompositionen in Europa die populärsten Verfahren und werden deshalb in den nächsten Abschnitten anhand von Beispielen erläutert. Die Hveem-Methode hat sich in Europa nicht durchgesetzt. Auf die Beschreibung dieses Verfahrens wird daher an dieser Stelle verzichtet.

2.3.2 Marshall-Methode am Beispiel Deutschland

Die Grundprinzipien der Marshall-Methode entwickelte Bruce Marshall bereits im Jahre 1939 in den Vereinigten Staaten [WOZNIAK 2009]. Diese Methode ist der empirischen Asphaltspezifikation zuzuordnen. Mit Hilfe der Marshall-Methode wird in Deutschland die Erstprüfung von Asphaltgemischen zur Erstellung der Asphaltmischgutkomposition realisiert.

Bei der Wahl der Materialkomponenten und der Zusammensetzung des Asphaltmischgutes sind Randbedingungen, wie u. a. Verkehrsbelastung, Dicken der vorgesehenen Schichten und örtliche, klimatische sowie topografische Verhältnisse zu beachten. Die ZTV Asphalt empfiehlt dabei in Abhängigkeit von den zu erwartenden Beanspruchungen zweckmäßige Asphaltmischgutarten und -sorten sowie Bindemittelarten und -sorten [ZTV Asphalt-StB 07]. Dies bedeutet, dass dem Ingenieur, welcher ein Asphaltgemisch zu entwerfen hat, die Auswahl der Asphaltmischgutsorte und der Bindemittelsorte bereits abgenommen wird.

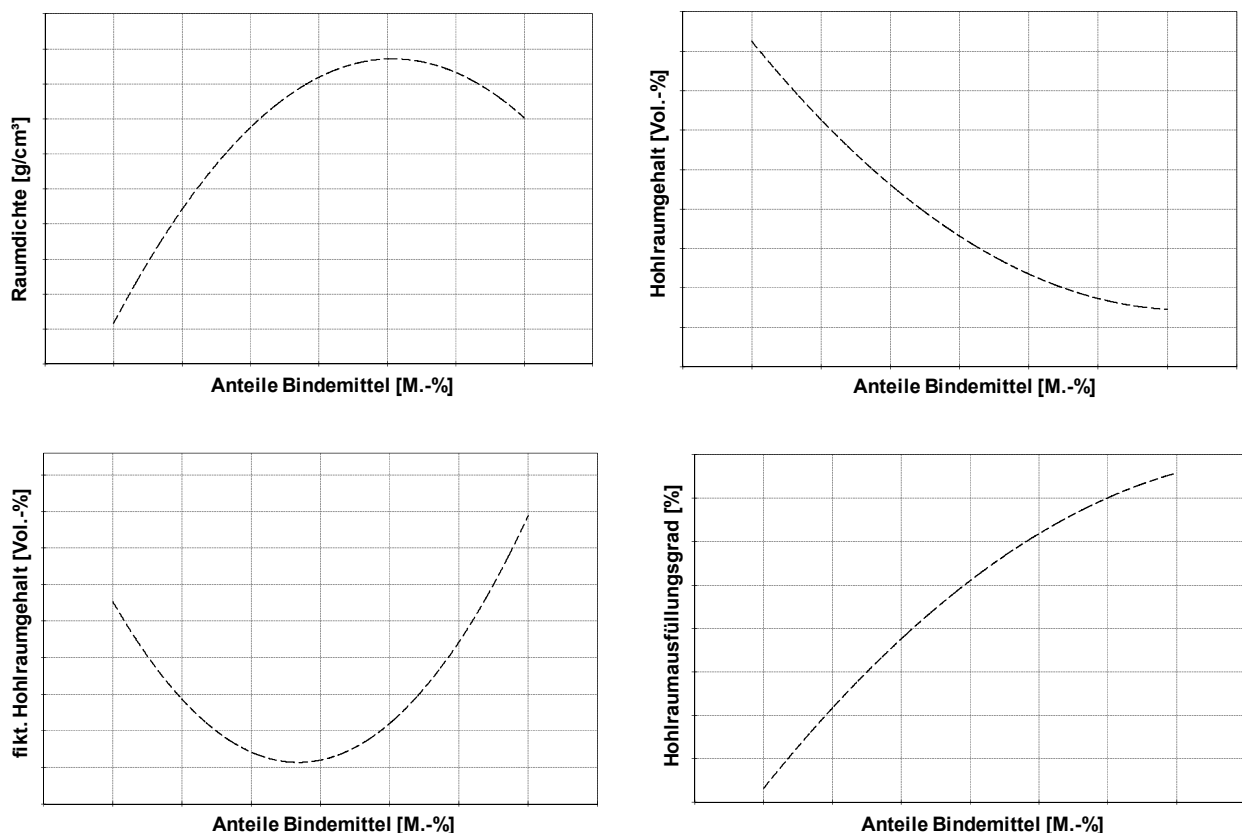


Abbildung 2.8: Schema für die Optimierung des Bindemittelgehaltes, nachempfunden aus [BEECKEN et. al. 1994]

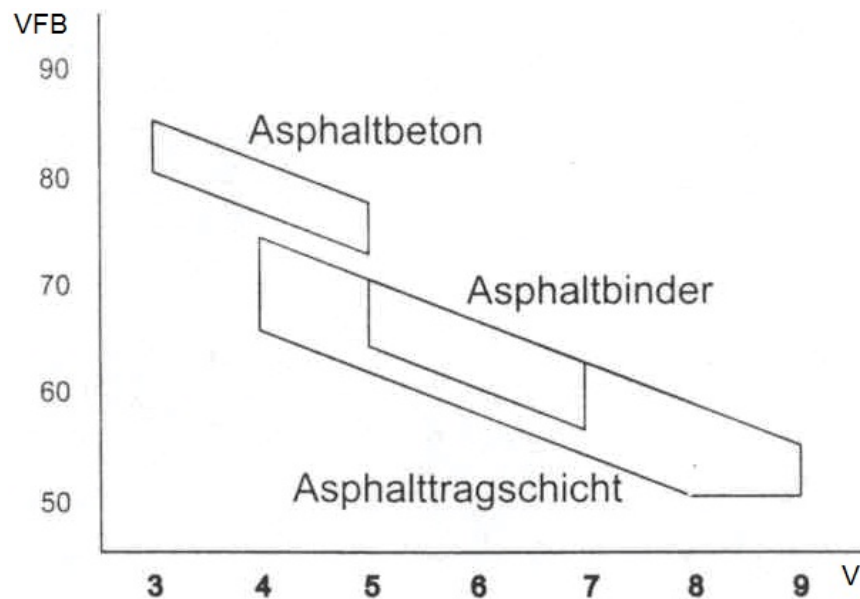


Abbildung 2.9: Optimale Bereiche für den Hohlraumausfüllungsgrad VFB nach [HUTSCHENREUTHER et. al. 1998]

Voraussetzung für die Durchführung der Erstprüfung ist, dass die zu verwendenden Baustoffe die jeweils geltenden Anforderungen, welche in Deutschland aktuell in den TL Gestein [TL Gestein-StB 04/07] und den TL Bitumen [TL Bitumen-StB 07] niedergeschrieben sind, erfüllen. Wie bereits in Abschnitt 2.3.1 erwähnt, wird zunächst die Kornzusammensetzung des Gesteinskörnungsgemisches des Asphaltes festgelegt. Hier sind das Größtkorn sowie die Sieblinie zu wählen. Das Größtkorn ist dabei durch die Asphaltmischgutsorte vorgegeben. Es muss demzufolge nur noch die Sieblinie des Asphaltgemisches festgelegt werden. Im deutschen Regelwerk existieren hierfür Anforderungen in Abhängigkeit von der Asphaltmischgutart und -sorte. Dies bedeutet, dass die bevorzugte Korngrößenverteilung innerhalb des Sieblinienbandes der herzustellenden Asphaltart nach den TL Asphalt liegen muss. Mit dem ausgesuchten Gemisch aus Gesteinskörnungen sind bei Variation des Bindemittelgehaltes der vorgegebenen Bindemittelsorte verschiedene Asphaltgemische zu erzeugen und daraus anschließend Marshall-Probekörper mit dem Marshall-Verdichtungsgerät gemäß TP Asphalt [TP Asphalt 30/2007] herzustellen. An diesen Probekörpern muss der Hohlraumgehalt V für die Ermittlung des optimalen Bindemittelgehaltes des Asphaltmischgutes bestimmt werden. Dabei dürfen die in den TL Asphalt formulierten Anforderungswerte bezüglich Mindestbindemittelgehalte und Hohlraumgehalte nicht unter- und/oder überschritten werden. Weiterhin sollte bei der Festlegung der optimalen Bindemittelmenge des Asphaltgemisches beachtet werden, dass aus Gründen der Stand-

festigkeit der fiktive Hohlraumgehalt VMA des verdichteten Gesteinskörnungsgemisches möglichst gering ist. Abbildung 2.8 zeigt den Zusammenhang zwischen den genannten volumetrischen Kennwerten eines Asphaltmischgutes in Abhängigkeit vom Bindemittelgehalt. In Abbildung 2.9 sind Bereiche für Ausfüllungsgrade von Asphaltbetondeckschichten, -binderschichten sowie -tragschichten nach heutigem Erkenntnisstand dargestellt.

Vor der Einführung der aktuellen [TL Asphalt-StB 07] erfolgte an den Probekörpern aus Asphalttragschichtmischgut sowie Asphalttragdeckschichtmischgut zusätzlich die Durchführung des Marshall-Versuchs zur Ermittlung der Stabilität und des Fließverhaltens [DIN 1996-11]. Auch für diese leistungsbezogenen Materialkennwerte waren im früheren Regelwerk Anforderungswerte vorhanden [ZTV T-StB 95/02]. Heute wird der Marshall-Probekörper nur noch für die Bestimmung der volumetrischen Kennwerte von Asphaltgemischen verwendet. Weiterhin wird mit der Raumdichte des Marshall-Probekörpers eines Asphaltgemisches und der Raumdichte der zugehörigen Ausbauprobe der Verdichtungsgrad k ermittelt.

2.3.3 Superpave-Methode am Beispiel Norwegen

Die Superpave-Methode entstand in den USA auf der Grundlage des Strategic Highway Research Program (SHRP) [BELLIN 1995, BELLIN 1997]. Das Programm hatte seiner Zeit das Ziel, die Auswahl der Baustoffe und das Entwerfen von Asphaltmischgutkompositionen zu verbessern. Während bei der Marshall- und der Hveem-Methode die Auswahl des Bindemittels nicht zum Entwerfen einer Asphaltmischgutkomposition gehört, ist dies bei der Superpave-Methode der integrale Teil der Asphaltmischgutoptimierung. Darüber hinaus berücksichtigt diese Methode auch die Klima- und Verkehrsbelastungen. Die gesammelten Erfahrungen gelten als Grundlage für die weiteren Entwicklungen dieser Design-Methode in mehreren europäischen Ländern. Anhand eines in Norwegen durchgeführten Forschungsprojektes (PROKAS) [LERFALD et. al. 2006], wird die Verfahrensweise im Folgenden erläutert. Ziel des Forschungsvorhabens war, eine am Gebrauchsverhalten orientierte Spezifikation der Norwegischen Asphaltgemische zu entwickeln.

Im ersten Schritt des neu entwickelten Systems der norwegischen Asphaltkonzeption wird anhand der Entwurfparameter Klima, Verkehr, Dicke der Fahrbahnbefestigung

und den Anforderungen an den Belag (u. a. Reibung, Lärm, Lichtreflexion, Entwässerung) die Art des Asphaltmischgutes gewählt. Welche Art zum Einsatz kommt, ist abhängig davon, welche Anforderungen an die funktionalen Eigenschaften gestellt werden (siehe Tabelle 2.4).

Tabelle 2.4: Funktionale Eigenschaften von in Norwegen verwendeten Asphaltmischgutarten [LERFALD et. al. 2006]

Funktionale Eigenschaften	Asphaltmischgutart				
	SMA*)	AC*)	PA*)	ACg**)	Flexibler AC***)
Widerstand gegen Verformung	+	+	-	0	-
Steifigkeit	0	0	-	0	0
Flexibilität	0	0	0	+	+
Reibkraft	+	+	+	+	0
Verschleißwiderstand	+	0	-	0	-
Drainage-Vermögen	0	-	+	-	-
Lärmreduzierung	0	0	+	0	0
Niedrigtemperatur-Eigenschaften	0	0	0	+	+
Lichtreflexion	0	0	+	0	0

+... gut; 0...mittel; -...schlecht

*)... SMA = Splittmastixasphalt; AC = Asphaltbeton; PA = offenporiger Asphalt

**)... ACg = Asphaltbeton mit Kies

***)... flexible AC = Asphaltgemisch mit einer Korngrößenverteilung ähnlich wie AC mit Kies und weichem Bitumen (Viskosität bei 60 °C im Bereich von 350 bis 12500 mm²/s)

Um eine Asphaltmischgutkomposition entwerfen zu können, müssen die einzelnen Baustoffe (Bindemittel, Zuschlagstoffe und evtl. Additive) sorgfältig ausgewählt werden. Die Auswahl des Bindemittels, welches im Rahmen des PROKAS-Projektes zum Einsatz kam, erfolgte erstmals nach einem neuen System, welches auf der Superpave-Methode basiert [BELLIN 1995] und für die norwegischen Bedingungen modifiziert wurde. Bei dieser Methode wird anhand der höchsten 7-Tage Lufttemperatur die höchste Temperatur, welche in 20 mm Tiefe der Fahrbahnoberfläche zu erwarten ist, ermittelt. Diese Temperatur wird verwendet, um die klimatische Klassifikation auszuwählen. Auf der Basis der klimatischen Klassifikation und des Verkehrsvolumens wird der Wert der Nadelpenetration des Bitumens festgelegt. Mit dieser Vorgehensweise soll die Beständigkeit gegenüber der Verformung berücksichtigt werden. Im letzten

Schritt des Verfahrens der Bindemittelauswahl wird überprüft, ob das Bitumen das Kriterium bei tiefen Temperaturen erfüllt. Hierfür wird die sog. kritische Tieftemperatur in der Asphaltbefestigung bestimmt, welche anschließend in den Anforderungswert für den Brechpunkt nach Fraaß umgerechnet wird. Der Brechpunkt nach Fraaß des gewählten Bitumens muss diesem vorgegebenen Wert entsprechen.

Bei der Auswahl der Zuschlagstoffe sind folgende Materialeigenschaften entscheidend:

- Los Angeles-Wert,
- Kornformkennzahl,
- nordischer Abriebwert,
- Anteil an gebrochenen Körnern,
- die Korngrößenverteilung,
- PSV-Wert.

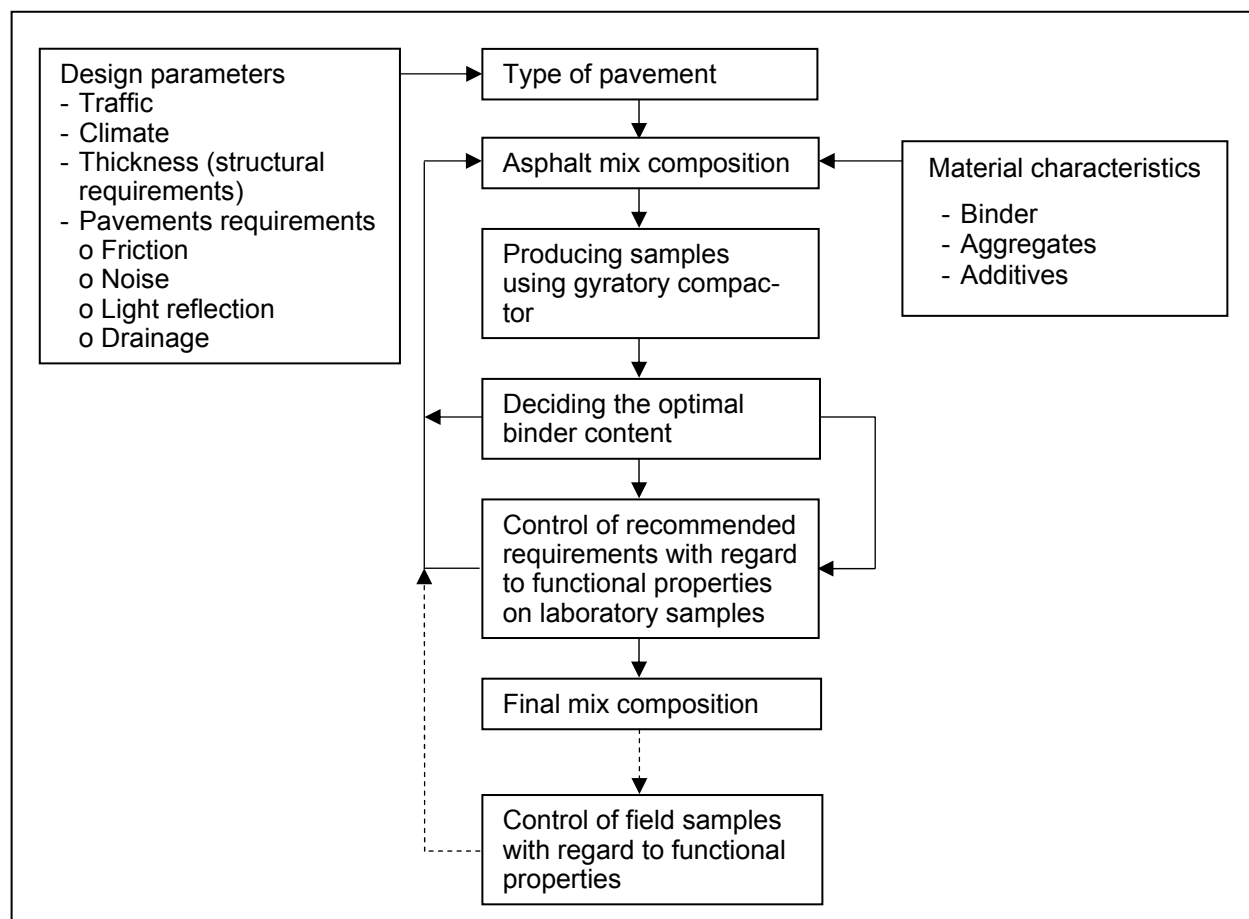


Abbildung 2.10: Ablauf des neuen norwegischen Systems zur Asphaltkonzeption [LERFALD et. al. 2006]

Nachdem die Auswahl des Bindemittels und der Zuschlagstoffe erfolgt ist, sind verschiedene Probemischungen mit dem Gyrator-Verdichter herzustellen und zu beurteilen. Anhand des Hohlraumgehaltes der Gyrator-Probekörper bei 80 Umdrehungen, für welchen es Vorgaben in Abhängigkeit von der Asphaltart gibt, ist dann der optimale Bindemittelgehalt festzulegen. Anschließend sind mit der gewählten Zusammensetzung des Asphaltgemisches die Gebrauchseigenschaften des Asphaltes an weiteren Labor-Probekörpern zu überprüfen. Dafür sind die Probekörper ebenfalls mit dem Gyrator-Verdichter herzustellen und die Steifigkeit, der Verformungswiderstand und die Dauerhaftigkeit sind zu ermitteln. Die Steifigkeit wird mit dem indirekten Zugversuch an zylindrischen Probekörpern (Spaltzug-Schwellversuch) im Nottingham Asphalt Tester, das Verformungsverhalten mit dem einaxialen Druck-Schwellversuch mit Behinderung der Querdehnung und die Dauerhaftigkeit mit dem Cantabro-Test [DIN EN 12697-17] geprüft.

Am Ende des PROKAS-Projektes konnten anhand der Ergebnisse der Untersuchungen Anforderungen bezüglich der Steifigkeit, des Verformungswiderstandes und der Dauerhaftigkeit für Labor- und Feldprobekörper festgelegt werden. Die Anforderungen sind bisher nur abhängig von der Verkehrsbelastung, jedoch nicht abhängig von der Asphaltmischgutart. LERFALD gibt diesbezüglich den Hinweis, dass mit wachsender Erfahrung die festgelegten Anforderungen sicherlich angepasst werden müssen und dass es ebenso Unterschiede hinsichtlich der Anforderungswerte zwischen den einzelnen Asphaltmischgutarten geben muss [LERFALD et. al. 2006]. Wie Abbildung 2.10 zeigt, ist die Zusammensetzung eines Asphaltgemisches neu zu optimieren, wenn die Anforderungen an die Gebrauchseigenschaften durch die o. g. Prüfungen nicht erfüllt werden. Weiterhin sind die Eigenschaften an Bohrkernen aus einer Asphaltbefestigung nachzuweisen.

2.3.4 Diskussion der populärsten Methoden für das Entwerfen von Asphaltmischgutkompositionen

Die beschriebenen Methoden für das Entwerfen von Asphaltmischgutkompositionen weisen jeweils Vor- und Nachteile auf, die zu einer Bewertung der beiden Methoden herangezogen werden sollen. In Tabelle 2.5 sind die Vor- und Nachteile beider Verfahren gegenübergestellt sowie die wesentlichen Merkmale der Marshall-Methode und der Superpave-Methode zusammengefasst.

Tabelle 2.5: Bewertung der populärsten Methoden für das Entwerfen von Asphaltmischgutkompositionen

		Marshall-Methode	Superpave-Methode
Spezifikation	-	empirisch	fundamental (GVO)
Anforderungen	Zusammensetzung (Korngrößenverteilung, Bindemittelgehalt)	Sieblinienband zw. Mindest- und Höchstwerten des prozentualen Siebdurchganges, Mindestbindemittelgehalt abhängig von Asphaltart und -sorte	Sieblinienband zw. Mindest- und Höchstwerten des prozentualen Siebdurchganges, Mindestbindemittelgehalt $\geq 3,0$ M.-%
	Hohlraumgehalt	Höchst- und Mindestwert	keine Anforderungen
	GVO-Eigenschaften	nein	ja
Erfahrungshintergrund	Vorteil	vorhanden	-
	Nachteil	-	nicht ausreichend
Auswahl Asphalt-sorte/ Binde-mittelsorte	Vorteil	einfach, da im Regelwerk entspr. Verkehrsbelastung und Dicke vorgegeben ist	Berücksichtigung Entwurfsparemeter Verkehr und Dicke über Auswahl Asphalt-sorte, Berücksichtigung des Entwurfspareparameters Klima über Binde-mittelauswahl
	Nachteil	keine Berücksichtigung des Entwurfspareparameters Klima	-
Labor-Ausrüstung	Vorteil	einfach, Marshall-Hammer in jedem Asphaltlabor vorhanden	-
	Nachteil	-	Umfangreiche Ausrüstung erforderlich für Probekörperherstellung und Durchführung der GVO-Prüfungen, meist nur an Universitäten vorhanden
Probekörperherstellung	Vorteil	einfach und schnell, wenige Probekörper erforderlich	knetende Verdichtung des Gy-rators simuliert Verdichtung durch Walze
	Nachteil	schlagende Verdichtung, nicht praxis-adäquat	viele Probekörper erforderlich für GVO-Prüfungen
Ansprache der GVO-Eigenschaften	Vorteil	-	direkt möglich, da GVO-Prüfungen durchgeführt werden
	Nachteil	nicht möglich	Steifigkeiten von Gyrator-Probekörper sind ca. doppelt so hoch wie von Bohrkernen aus Asphaltbefestigung [HUNTER 2009]

3 Lösungsweg zum Erreichen des Forschungszieles

3.1 Vorgehen

Die Untersuchungen erfolgten, wie bereits in Abschnitt 1.3 erwähnt, an Asphaltmischgut für Tragschichten, der Sorte AC 22 T S, da diese gemäß den ZTV Asphalt in Deutschland für hoch belastete flexible Oberbauten für Verkehrsflächen der Bauklassen I bis III und SV überwiegend zum Einsatz kommen können.

Tabelle 3.1: Anzahl der Asphaltvarianten (= Asphaltgemische) aus dem Antrag des Forschungsvorhabens

Lösungsschritt-Nr.	Haupteinflussgröße (Beschreibung)	Antrag Forschungsvorhaben Anzahl Asphaltgemische
A	Hohlraumgehalt	3
B	Korngrößenverteilung	4
C	Gesteinsart	2
D	Bindemittelgehalt	2
E	Bindemittelsorte	3
Σ Asphaltgemische		14

Tabelle 3.2: Anzahl der tatsächlich untersuchten Asphaltvarianten (= Asphaltgemische)

Korngrößenverteilung	Bindemittelsorte	Bindemittelhersteller	Anzahl Bindemittelgehalte
mittel	50/70	A	5
grob			3
fein			4
	30/45	3	
	50/70	B	3
Σ Asphaltgemische:			18

Für die Bearbeitung des Forschungsvorhabens war ursprünglich vorgesehen, den Einfluss des Bindemittelgehaltes, der Korngrößenverteilung, der Gesteinsorte, der Bindemittelsorte und des Hohlraumgehaltes auf die Gebrauchseigenschaften von Asphalttragschichtmischgut zu untersuchen. Dabei sollte neben dem Einfluss auf das Steifigkeitsverhalten und die Ermüdungsbeständigkeit auch der Einfluss auf das Tieftemperaturverhalten mit der Durchführung von Abkühlversuchen zur Bestimmung der Bruchtemperatur sowie der Bruchspannung ermittelt werden. In Abstimmung mit den Fachbetreuern des Projektbegleitenden Ausschusses wurde der angedachte Versuchsplan

jedoch abgeändert. Zum einen erfolgte keine Überprüfung der Einflussgröße Gesteinsart. Zum anderen fand die Einflussgröße Hohlraumgehalt indirekt bei den Einflussgrößen Bindemittelgehalt und Korngrößenverteilung Berücksichtigung. Weiterhin wurde auf die Abkühlversuche verzichtet, da die Ergebnisse dieser für die Unterscheidung der Ermüdungsbeständigkeit zwischen den einzelnen Asphalttragschichtmischgutvarianten im Rahmen der rechnerischen Dimensionierung nicht ausschlaggebend sind. Im Ausgleich dafür konnte eine weitere Asphaltvariante untersucht werden. Tabelle 3.1 kann die Anzahl der Asphaltvarianten (= Asphaltgemische), welche gemäß Forschungsantrag geplant waren, entnommen werden. Die tatsächlich untersuchten Asphalttragschichtgemische, vereinbart mit den Fachbetreuern des Projektbegleitenden Ausschusses, sind in Tabelle 3.2 zusammengefasst.

3.1.1 Eingesetzte Materialien

Die Auswahl der eingesetzten Gesteinskörnungen und der verwendenden Bindemittel erfolgte in Abstimmung mit den Fachbetreuern des Projektbegleitenden Ausschusses. Die Gesteinskörnungen stammten aus einem sächsischen Steinbruch, um Transportwege zu verkürzen. Weiterhin kam ausschließlich Straßenbaubitumen zum Einsatz.

Zunächst wurden jeweils die Rohdichten sowie die Korngrößenverteilungen von den verwendeten Lieferkörnungen des Gesteins Amphibolit bestimmt, um die Korngrößenverteilung des Gesteinskörnungsgemisches sowie den Mindestbindemittelgehalt des Asphalttragschichtmischgutes (siehe Abschnitt 3.1.3) festlegen zu können. Eine Zusammenfassung der eingesetzten Lieferkörnungen und der ermittelten Gesteinsroh-dichten kann Tabelle 3.3 entnommen werden.

Bei den verwendeten Bindemitteln handelt es sich um Straßenbaubitumen 50/70 zweier Bindemittelhersteller sowie um Straßenbaubitumen 30/45 eines Bindemittelproduzenten. Die Ergebnisse der Überprüfung der physikalischen Kennwerte Penetration, Erweichungspunkt Ring und Kugel sowie Dichte dieser Bitumen sind in Tabelle 3.4 dargestellt.

Tabelle 3.3: Ausgewählte Gesteinskörnungen und die zugehörigen Rohdichten

Gesteinssorte		Lieferkörnung [mm]	Rohdichte [g/cm³]
Amphibolit	Füller	0/0,063	2,880
	feine Gesteinskörnung	0/2	2,841
	grobe Gesteinskörnung	2/5	2,850
		5/8	2,877
		8/11	2,880
		11/16	2,842
		16/22	2,828

Tabelle 3.4: Physikalische Kennwerte der ausgewählten Bindemittel

Bindemittel-sorte	Bindemittel-hersteller	Penetration [1/10 mm]	Erweichungspunkt Ring und Kugel [°C]	Dichte [g/cm³]
50/70	A	51	50,2	1,023
30/45	A	43	58,4	1,022
50/70	B	55	50,6	1,021

3.1.2 Einführung eines Zahlencodes

Aufgrund des relativ hohen Probenumfangs mit den unterschiedlichen Variationen ist es sinnvoll einen Zahlencode zur Bezeichnung der Asphaltmischgutvarianten einzuführen. Damit können die einzelnen Parameter in einer kompakten Form dargestellt werden. Für eine spätere Auswertung in Tabellen und Abbildungen ist somit eine einheitliche und eindeutige Beschriftung der einzelnen Varianten möglich.

Der gewählte Zahlencode orientiert sich an den folgenden Parametern:

- Bindemittelhersteller
- Korngrößenverteilung des Gesteinskörnungsgemisches
- Bindemittelsorte
- Bindemittelgehalt
- Probekörpernummer.

Da die Untersuchungen an nur einer Asphaltmischgutsorte, AC 22 T S, durchgeführt wurden, wird auf die Darstellung dieser im Zahlencode verzichtet. In Tabelle 3.5 und Tabelle 3.6 sind die jeweiligen Parameter sowie die zugehörigen Zahlencodes aufgelistet.

tet. Für die Darstellung des gewählten Zahlencodes ergibt sich also folgende Kombination:

[Bindemittelhersteller] [Korngrößenverteilung des Gesteinskörnungsgemisches] [Bindemittelsorte] [Bindemittelgehalt]-[Probekörpernummer]

Beispiel für die Beschriftung der Asphaltmischgutvarianten bzw. Probekörper:

A321-05

Aus diesem Zahlencode lassen sich folgende Parameter ablesen:

Bindemittelhersteller: A
 Korngrößenverteilung: 3 - fein
 Bindemittelsorte: 2 - 30/45
 Bindemittelgehalt: 1 - $B_{\min}$
 Probekörper-Nr.: 05

Tabelle 3.5: Bindemittelhersteller und Zahlencode für die Bindemittelsorte

Bindemittelhersteller-Code	Bindemittelsorte	Code für Bindemittelsorte
A	50/70	1
B	30/45	2

Tabelle 3.6: Zahlencode für die Korngrößenverteilung und den Bindemittelgehalt

Korngrößenverteilung	Code	Bindemittelgehalt	Code
mittlere	1	$B_{\min}$	1
		$B_{\min} + 0,5 \text{ M.-%}$	2
grobe	2	$B_{\min} + 1,0 \text{ M.-%}$	3
		$B_{\min} + 1,5 \text{ M.-%}$	4
feine	3	$B_{\min} + 2,0 \text{ M.-%}$	5
		$B_{\min} + 3,0 \text{ M.-%}$	7

3.1.3 Ergebnisse der Erstprüfung

Die Erstellung der Asphaltmischgutkompositionen erfolgte gemäß der Marshall-Methode nach den TL Asphalt [TL Asphalt-StB 07] (siehe Abschnitt 2.3.2). Dies beinhaltet im Einzelnen zunächst die Wahl der Korngrößenverteilung des Gesteinskörnungsgemisches des Asphalttragschichtmischgutes. Da der Einfluss der Sieblinie des Asphalttragschichtgemisches auf sein Steifigkeitsverhalten und seine Ermüdungsbeständigkeit untersucht werden sollte, wurden drei verschiedene Korngrößenverteilungen festgelegt. Tabelle 3.7 kann entnommen werden, dass der Siebdurchgang der „mittleren Korngrößenverteilung“ (mKGV) des Gesteinskörnungsgemisches bei 0,063 mm, 2,0 mm und 16,0 mm genau mittig im geforderten Toleranzbereich der TL Asphalt liegt und dass sich die Sieblinie des Gesteinskörnungsgemisches der „groben Korngrößenverteilung“ (gKGV) auf der unteren Grenze und die Sieblinie der „feinen Korngrößenverteilung“ (fKGV) auf der oberen Grenze des Sieblinienbereiches einer AC 22 T S befindet.

Tabelle 3.7: Gewählte Korngrößenverteilungen (KGV) der Gesteinskörnungsgemische für die Asphalttragschichtgemische

Siebweite [mm]	Durchgang [M.-%]			
	fKGV	mKGV	gKGV	Soll
31,5	100,0	100,0	100,0	100,0
22,4	99,7	99,5	99,3	90,0-100,0
16,0	90,0	82,5	75,1	75,0-90,0
2,0	40,0	32,5	25,1	25,0-40,0
0,125	12,9	8,4	4,3	4,0-14,0
0,063	9,0	5,5	2,4	2,0-9,0

Der erforderliche Mindest-Bindemittelgehalt $B_{\min}$ ergibt sich gemäß der TL Asphalt auf der Grundlage der ermittelten Rohdichte des verwendeten Gesteinskörnungsgemisches (Amphibolit) für alle Korngrößenverteilungen zu $B_{\min 3,5}$ [TL Asphalt-StB 07]. Die Ergebnisse der Erstprüfungen aller Asphalttragschichtmischgutvarianten sind in Anlage A1.1 aufgeführt. In Tabelle 3.8 sind sämtliche Parameter sowie die zugehörigen Asphaltkennwerte der untersuchten Asphalttragschichtgemische zusammengefasst.

Tabelle 3.8: Zusammenfassung der Parameter und Asphaltkennwerte der Asphalttragschichtmischgutvarianten

Asphalt	KGV	Bindemittelgehalt B [M.-%]	Rohdichte φ_m [g/cm ³]	Raumdichte ¹⁾ φ_{bMPK} [g/cm ³]	Hohlraumgehalt V_{MPK} [Vol.-%]
A111	mittel	3,53	2,681	2,383	11,1
A112	mittel	4,03	2,659	2,406	9,5
A113	mittel	4,53	2,637	2,446	7,2
A114	mittel	5,03	2,615	2,465	5,7
A115	mittel	5,53	2,594	2,455	5,4
A211	grob	3,54	2,677	2,354	12,1
A213	grob	4,54	2,633	2,436	7,5
A215	grob	5,54	2,590	2,443	5,7
A311	fein	3,53	2,683	2,392	10,8
A313	fein	4,53	2,638	2,454	7,0
A315	fein	5,53	2,595	2,477	4,6
A317	fein	6,53	2,554	2,538 ²⁾ /2,486	0,6/2,7
A321	fein	3,53	2,682	2,385	11,1
A323	fein	4,53	2,638	2,445	7,3
A325	fein	5,53	2,595	2,469	4,9
B311	fein	3,53	2,682	2,406	10,3
B313	fein	4,53	2,638	2,464	6,6
B315	fein	5,53	2,595	2,478	4,5

¹⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007²⁾ gemäß Verfahren B der TP Asphalt 06/2007

3.2 Herstellung der Asphaltprobekörper

3.2.1 Herstellung des Asphalttragschichtmischgutes

Die Herstellung des Asphalttragschichtmischgutes erfolgte gemäß TP Asphalt im Labor [TP Asphalt-StB 07, Teil 35]. Dies erforderte, die einzelnen Kornfraktionen des verwendeten Gesteins einschließlich des Bitumens gemäß der Erstprüfung (siehe Abschnitt 3.1.3) in einen Laborzwangsmischer zu geben und darin solange zu mischen, bis die Gesteinskörnungen vollständig mit Bitumen umhüllt waren und das Asphaltmischgut augenscheinlich homogen aussah. Die Mischdauer betrug dabei maximal drei Minuten.

3.2.2 Herstellung der Asphaltplatten mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät

Da die Walzsektor-Verdichtung der Walzverdichtung auf der Baustelle relativ nahe kommt, erfolgte die Herstellung der für die Durchführung der Ermüdungs- und Steifigkeitsversuche notwendigen Probekörper aus Asphaltplatten, verdichtet im Walzsektor-Verdichtungsgerät. Dies erforderte zur Gewährleistung der Verdichtungstemperatur von 135 °C, das Asphalttragschichtmischgut nach dem Mischen in einem Wärmeschränk vorzutemperieren. Um die vorgegebene Plattenhöhe, welche von der Höhe der Probekörper $h \pm 2 \text{ mm}$ abhängig ist (siehe Abschnitt 3.3.3), zu erreichen, wurden abweichend von der TP Asphalt [TP Asphalt-StB 07, Teil 33] die Asphaltplatten mit den Abmessungen von $B \times L = 260 \text{ mm} \times 320 \text{ mm}$ weggeregelt verdichtet. In Abbildung 3.1 sind die wesentlichen Teile des Walzsektor-Verdichtungsgerätes schematisch dargestellt.

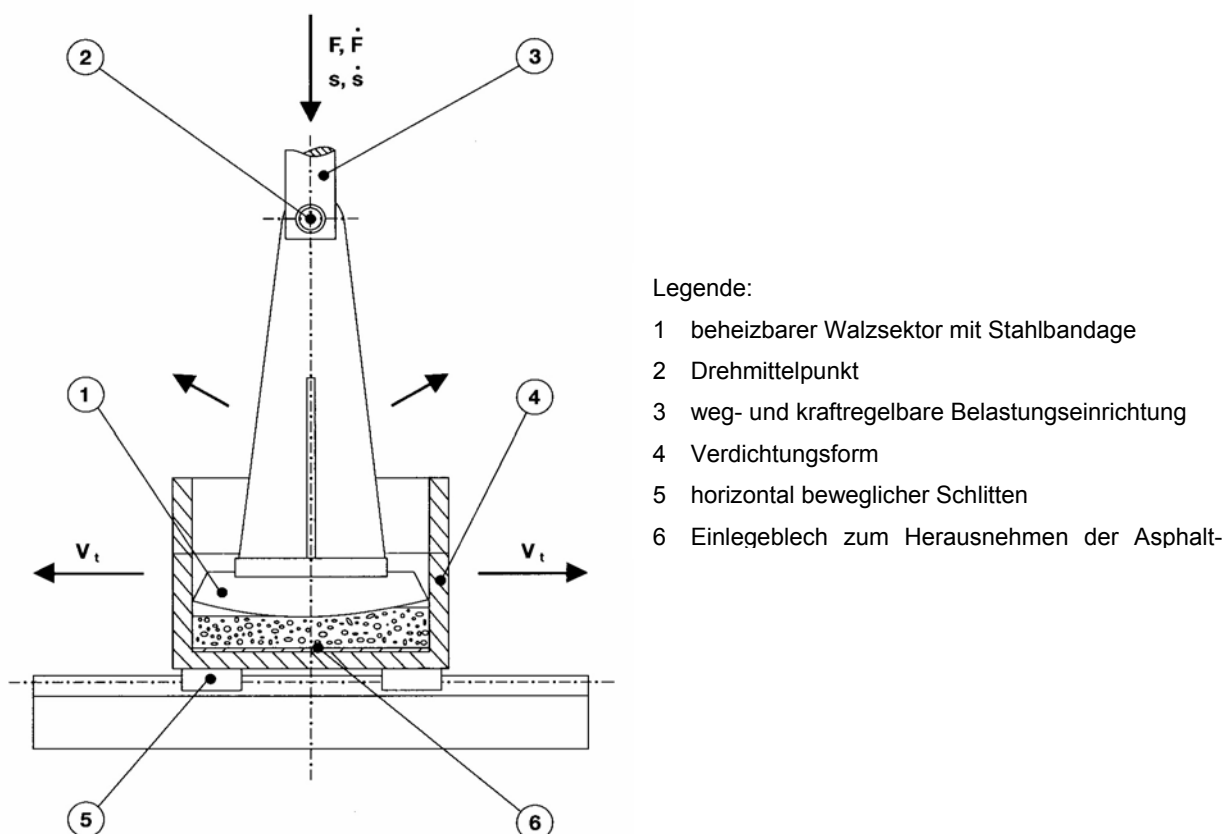


Abbildung 3.1: Schematische Darstellung des Walzsektor-Verdichtungsgerätes [TP Asphalt-StB 07, Teil 33]

3.2.3 Herstellung der Asphaltprobekörper

Im Rahmen des Forschungsvorhabens erfolgte die Bestimmung der Ermüdungs- und Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktionen der zu untersuchenden Asphalttragschichtgemische anhand von Spaltzug-Schwellversuchen gemäß AL Sp-Asphalt (siehe Abschnitt 3.3) [AL Sp-Asphalt 09]. Entsprechend der Arbeitsanleitung sind für Asphaltgemische mit einem Größtkorn von 22,4 mm kreiszylindrische Probekörper mit einem Durchmesser von 150 mm und einer Höhe von 60 mm erforderlich. Die Probekörper wurden aus den Asphaltplatten durch Bohren herausgetrennt. Aus einer Asphaltplatte konnten damit jeweils zwei Probekörper gewonnen werden, was sich besonders bei den Asphalttragschichtgemischen mit der mittleren und feinen Korngrößenverteilung im Gesteinskörnungsgemisch und einem Bindemittelgehalt von 3,5 M.-% (A111, A311, A321 und B311) als sehr schwierig erwies. Eine große Anzahl von Probekörpern dieser Asphaltgemischvariationen war aufgrund ihrer Beschaffenheit nicht für die Durchführung von Spaltzug-Schwellversuchen geeignet. Abbildung 3.2 zeigt stellvertretend zwei Probekörper dieser Asphalttragschichtgemische, welche augenscheinlich bereits bei der Herstellung als zu bindemittelarm eingeschätzt werden mussten. Dies erforderte, für die betreffenden Asphaltgemische insgesamt 36 Platten mehr herzustellen, damit die notwendige Anzahl an Probekörpern für die Spaltzug-Schwellversuche bereitgestellt werden konnte. Bei zwei der vier Asphalttragschichtgemische gelang selbst dies trotz intensiver Bemühungen nicht (A111 und A321), da einige Lieferkörnungen der zur Verfügung stehenden Mengen an Gesteinsmaterial, deren Beschaffung zu Beginn des Projektes erfolgte, erschöpft waren.

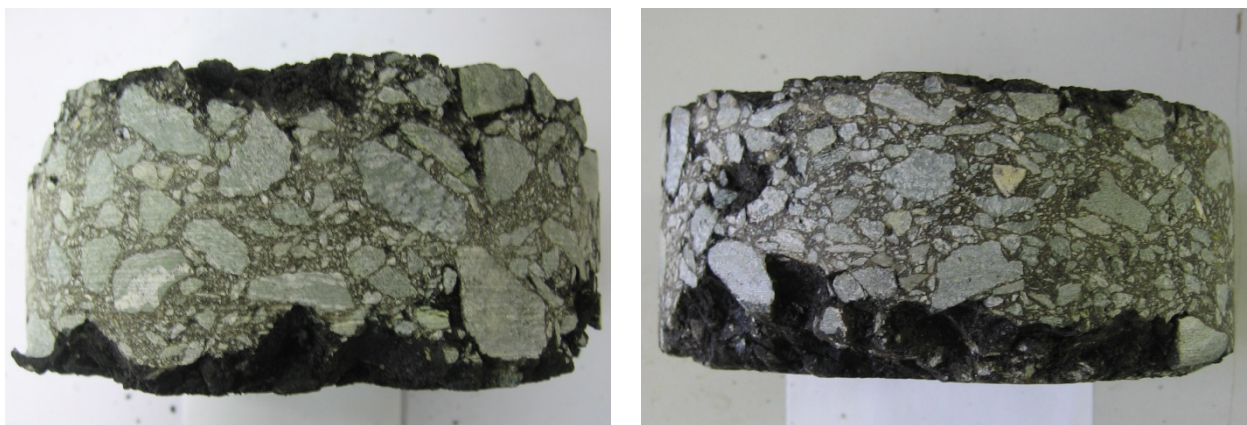


Abbildung 3.2: Probekörper A111-06 (links) und Probekörper A311-11 (rechts)



Abweichend davon konnten die Herstellungsprobleme dieser Asphalttragschichtgemische bei der Asphaltmischgutvariante A211 (grobe Korngrößenverteilung und 3,5 M.-% Bindemittelgehalt) nicht beobachtet werden. In Abbildung 3.3 ist ein repräsentativer Probekörper dieses Asphaltgemisches zu sehen.

Abbildung 3.3: Probekörper A211-07

Weiterhin war es notwendig, von jedem einzelnen Probekörper, die Abmessungen (mittlere Höhe und mittlerer Durchmesser) sowie die Raumdichte zu ermitteln. Die Spannweite der Raumdichten der zu untersuchenden Probekörper einer Versuchsreihe darf gemäß AL Sp-Asphalt maximal $0,03 \text{ g/cm}^3$ betragen. Diese Anforderung wurde von den verwendeten Probekörpern erfüllt (siehe Anlage A1.3). Sofern erforderlich, mussten die Probekörper nach dem Herausbohren aus den Platten gereinigt werden. Die Bestimmung der Raumdichte und Durchführung der Spaltzug-Schwellversuche erfolgte nur an Probekörpern, welche bei Raumtemperatur bis zur Massekonstanz getrocknet wurden. Anlage A1.3 enthält sämtliche Probekörperdaten.

3.2.4 Kontrolluntersuchungen der Asphaltmischgutzusammensetzung

Die Zusammensetzung des Asphalttragschichtmischgutes wurde für alle Asphaltvarianten jeweils an drei für die Ermüdungs- und Steifigkeitsuntersuchungen verwendeten Probekörpern kontrolliert. An dem aufgeschmolzenen Asphaltmischgut dieser Probekörper erfolgte die Bestimmung der Rohdichte, des Bindemittelgehaltes, der Korngrößenverteilung, der Penetration (Pen) und des Erweichungspunktes Ring und Kugel (EP RuK). Eine detaillierte Darstellung der Kontrollprüfungsergebnisse kann Anlage A1.2 entnommen werden. In Tabelle 3.9 und Tabelle 3.10 sind diese noch einmal zusammengefasst.

Auffällig ist, dass bei allen Asphaltmischgutvarianten infolge der Herstellung der Asphalttragschichtgemische, der Herstellung der Asphaltplatten und des Herausbohrens

Tabelle 3.9: Erzielte Korngrößenverteilungen (KGV) der Gesteinskörnungsgemische für die Asphalttrag-schichtmischgutvarianten

Asphalt	Durchgang [M.-%] bei Siebweite					
	0,063 mm	0,125 mm	2,0 mm	16,0 mm	22,4 mm	31,5 mm
A111	8,3	11,6	35,8	83,3	98,9	100,0
A112	8,3	11,3	34,1	81,7	99,5	100,0
A113	8,2	11,1	32,1	80,8	100,0	100,0
A114	7,7	11,1	33,9	82,1	98,1	100,0
A115	7,9	11,2	33,9	85,0	100,0	100,0
A211	4,4	6,0	27,7	81,1	99,1	100,0
A213	5,0	6,9	26,2	79,9	100,0	100,0
A215	4,8	6,7	28,5	81,3	100,0	100,0
A311	9,4	14,6	42,3	88,3	99,4	100,0
A313	10,9	15,5	44,8	90,5	100,0	100,0
A315	10,5	15,8	41,3	91,4	100,0	100,0
A317	10,1	15,5	41,7	89,6	100,0	100,0
A321	10,5	16,2	45,0	92,4	100,0	100,0
A323	10,6	16,1	44,4	90,2	99,6	100,0
A325	10,5	15,9	42,7	92,0	99,6	100,0
B311	12,5	17,6	46,6	90,7	100,0	100,0
B313	11,9	16,3	43,4	90,0	99,1	100,0
B315	12,6	17,7	48,1	92,0	100,0	100,0

Tabelle 3.10: Kennwerte des zurückgewonnenen Bindemittels aus dem Asphaltmischgut und Asphalt-kennwerte der Asphaltprobekörper

Asphalt	EP RuK [°C]	Pen [1/10 mm]	Bindemittel- gehalt B [M.-%]	Rohdichte φ_{mPK} [g/cm³]	Raumdichte ¹⁾ φ_{bPK} [g/cm³]	Hohlraumgehalt V_{PK} [Vol.-%]
A111	58,2	29	3,9	2,668	2,368	11,3
A112	62,4	23	4,3	2,655	2,388	10,1
A113	59,6	27	4,6	2,640	2,443	7,5
A114	58,6	28	5,3	2,609	2,462	5,6
A115	56,6	33	5,8	2,591	2,468	4,7
A211	56,4	31	3,6	2,676	2,354	12,0
A213	59,0	27	4,7	2,628	2,453	6,7
A215	55,0	34	5,8	2,585	2,462	4,7

Asphalt	EP RuK [°C]	Pen [1/10 mm]	Bindemittel- gehalt B [M.-%]	Rohdichte ρ_{mPK} [g/cm³]	Raumdichte ¹⁾ ρ_{bPK} [g/cm³]	Hohlraumgehalt V_{PK} [Vol.-%]
A311	58,6	27	3,8	2,671	2,381	10,9
A313	59,6	25	4,7	2,633	2,464	6,4
A315	58,6	31	5,4	2,604	2,473	5,0
A317	56,0	35	6,8	2,546	2,529 ²⁾ /2,472	0,7/2,9
A321	66,8	22	3,8	2,672	2,384	10,8
A323	66,0	22	5,0	2,616	2,439	6,8
A325	64,6	25	5,8	2,583	2,472	4,3
B311	62,4	23	3,4	2,693	2,391	11,2
B313	62,8	23	4,4	2,648	2,453	7,4
B315	62,0	23	5,5	2,600	2,474	4,8

¹⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

²⁾ gemäß Verfahren B der TP Asphalt 06/2007

der Probekörper aus den Asphaltplatten Kornanreicherungen im Füllergehalt (von 0,4 bis 3,6 M.-%) und teilweise im Gehalt der feinen Gesteinskörnung (von 0,5 bis 4,5 M.-%) sowie Kornverfeinerungen im Gehalt der groben Gesteinskörnung (von -1,1 bis -8,4 M.-%) und zum Teil im Grobkornanteil (-0,2 bis -6,0 M.-%) am Asphaltmischgut aufgetreten sind. Ein Einfluss der Veränderung der Korngrößenverteilung durch den Herstellungsprozess der Probekörper auf das absolute Ergebnis der Materialeigenschaften kann an dieser Stelle nicht ausgeschlossen werden. Da jedoch innerhalb einer Asphaltgemischserie (A111 bis A115; A211 bis A215; A311 bis A317, A321 bis A325 und B311 bis B313) die einzelnen Asphaltgemische hinsichtlich der Korngrößenverteilung und der Bindemittelkennwerte vergleichsweise homogen zusammengesetzt sind, wird angenommen, dass dies für die relative Betrachtung der Materialeigenschaften der Asphalttragschichtgemische von untergeordneter Bedeutung ist. Weiterhin fällt die sehr starke Alterung des Bitumens 50/70 des Bindemittelherstellers B gegenüber A auf und dies, obwohl die Asphaltmischgut- und Asphaltplattenherstellung genauso wie bei den Asphaltgemischen des Bindemittelherstellers A erfolgte. Die generelle verstärkte Zunahme der Viskosität der verwendeten Bitumen beider Bindemittelproduzenten infolge des Herstellungsprozesses der Probekörper ist ebenfalls nicht erklärbar, da die Vorgaben der jeweiligen Technischen Prüfvorschrift [TP Asphalt-StB 07, Teil 33 und TP Asphalt-StB 07, Teil 35] hinsichtlich der Temperierung der Ausgangsstoffe und des Asphaltmischgutes eingehalten wurden.

3.3 Versuchsdurchführung

3.3.1 Allgemeines

Das Steifigkeitsverhalten und die Ermüdungsbeständigkeit von Asphalten kann anhand verschiedener Prüfverfahren mit wiederholter Belastung, wie z. B. Biege-Wechselversuch, einaxialer Zug-Schwellversuch, Triaxialversuch mit Schwellbelastung und Spaltzug-Schwellversuch, angesprochen werden (siehe Abschnitt 2.2.2). Der Spaltzug-Schwellversuch stellt dabei ein relativ einfaches, schnelles und kostengünstiges Prüfverfahren dar [LIPKE et. al. 2009]. Des Weiteren können mit diesem Versuch die realen Spannungsverhältnisse einer Verkehrsflächenbefestigung näherungsweise gut simuliert werden. Somit besteht die Möglichkeit, mit dem Spaltzug-Schwellversuch die benötigten Eingangswerte für die rechnerische Dimensionierung von Asphaltbefestigungen in Bezug auf das Schadenskriterium Ermüdungsrissbildung (Ermüdungsfunktion sowie Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion) zu bestimmen. Diese Materialeigenschaften der Asphalttragschichtgemische wurden daher im Rahmen des Forschungsvorhabens anhand von Spaltzug-Schwellversuchen gemäß AL Sp-Asphalt [AL Sp-Asphalt 09] ermittelt.

3.3.2 Das Prinzip des Spaltzug-Schwellversuches

Im Spaltzug-Schwellversuch wird ein kreiszylindrischer Probekörper zwischen zwei diametral gegenüberliegenden Lasteinleitungstreifen belastet (Abbildung 3.4). Dabei entsteht im Probekörper, ein zweidimensionaler Spannungszustand aus horizontalen Zugspannungen und vertikalen Druckspannungen (Abbildung 3.5). Anhand von Berechnungen mit der FEM konnte gezeigt werden, dass in der Mitte des Probekörpers über einen Bereich von $\sim 0,7 D$ die horizontale Zugspannung nahezu konstant ist [WELLNER/LEUTNER et. al. 2007].

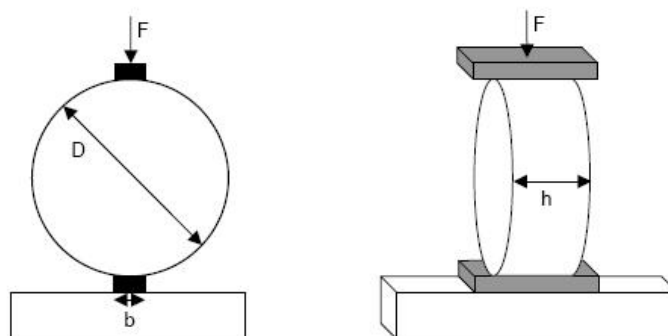


Abbildung 3.4: Prinzip des Spaltzug-Schwellversuches [WELLNER/LEUTNER et. al. 2007]

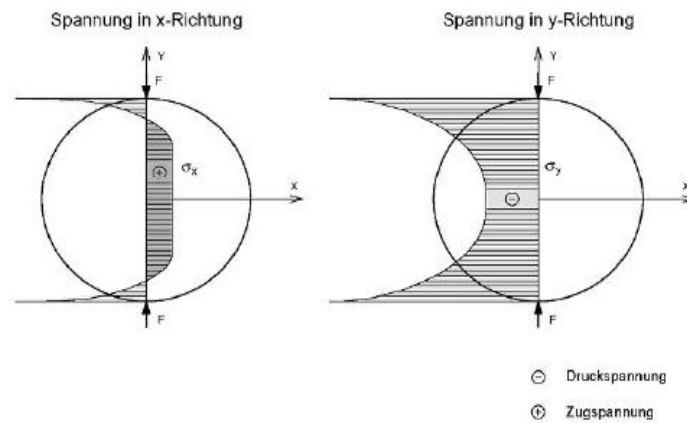


Abbildung 3.5: Spannungszustand im Probekörper beim Spaltzug-Schwellversuch [WELLNER/LEUTNER et. al. 2007]

3.3.3 Durchführung der Spaltzug-Schwellversuche

Allgemeines

Die Durchführung der Spaltzug-Schwellversuche erfolgte in einer servo-hydraulischen Prüfmaschine. Bei jedem Versuch wurde ein trockener temperierter Prüfkörper mit definierten Abmessungen in die Temperaturkammer der Prüfmaschine zwischen den Lastverteilungsstreifen eingesetzt.

Tabelle 3.11: Allgemeine Prüfbedingungen für die Durchführung der Spaltzug-Schwellversuche

Prüfbedingung	Einheit	nach AL Sp-Asphalt
Probekörperhöhe	mm	60,0 ± 2,0
Probekörperdurchmesser	mm	150,0 ± 3,0
Lasteintragungsschiene Breite	mm	75,0 ± 1,0
Lasteintragungsschiene Krümmungsradius	mm	19,1 ± 0,2
Lasteintragungsschiene Länge	mm	110,5
Belastungsverlauf	-	kraftgeregelt, sinusförmig
Unterspannung	MPa	0,035
Lastpause	s	keine
Abbruchkriterium max. Verformung vertikal	mm	10,0
Abbruchkriterium max. Verformung horizontal	mm	3,75

Während des Versuches musste gewährleistet sein, dass die Lastverteilungstreifen diametral gegenüber liegend angebracht sind. Die Belastung des Probekörpers bei der Versuchsdurchführung entsprach einer sinusförmigen Druckschwellbelastung mit definierter Ober- und Unterlast. Der Halterahmen mit den induktiven Wegaufnehmern zur Messung der horizontalen Querverformung war dabei am Probekörper angebracht. In Tabelle 3.11 sind die allgemeinen Prüfbedingungen für alle Spaltzug-Schwellversuche zusammengefasst. Die jeweils geltenden Prüfbedingungen für die Versuche zur Bestimmung der Ermüdungsfunktion und Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion sind in den entsprechenden Abschnitten dargestellt.

Auswertung der Ergebnisse

Die maximale horizontale Spannung im Probekörpermittelpunkt ergibt sich zu:

$$\sigma = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot d \cdot h} \quad (3.1)$$

σ	Horizontalspannung im Probekörpermittelpunkt [N/mm ²]
F	Last [N]
d	Probekörperdurchmesser [mm]
h	Probekörperhöhe (-länge) [mm]

Der Steifigkeitsmodul wird als Absolutbetrag des komplexen E-Moduls berechnet und ergibt sich somit aus dem Verhältnis von Spannungs- zu Dehnungsamplitude. Zur Berechnung des Steifigkeitsmoduls aus den Versuchsergebnissen wird ein ebener Spannungszustand und ein räumlicher Dehnungszustand am Probekörper (Kreisscheibe, Dicke = 0) vorausgesetzt. Unter Berücksichtigung der maximalen Querdehnung des Probekörpers im Mittelpunkt der Kreisscheibe ergibt sich dann aus den Versuchsparametern [AL Sp-Asphalt 09]:

$$|E| = \frac{\Delta F \cdot (0,274 + \mu)}{h \cdot \Delta u} \quad (3.2)$$

$ E $	Steifigkeitsmodul in Abhängigkeit von der Temperatur [N/mm ²]
ΔF	Differenz zwischen minimaler und maximaler Kraft [N]
μ	Querdehnzahl (temperaturabhängig) [-]
Δu	Differenz zwischen gemessener minimaler und maximaler Horizontalverformung [mm]

Die Querdehnzahl μ ist temperaturabhängig und errechnet sich nach Witczak [WITCZAK et. al. 1994] zu:

$$\mu = 0,15 + \frac{0,35}{1 + e^{\left[3,1849 - 0,04233 \cdot \left(\frac{9}{5}T + 32\right)\right]}} \quad (3.3)$$

T Temperatur [°C]

Die elastische horizontale Dehnung in Probekörpermitte ergibt sich nach folgender Gleichung aus der am Probekörper gemessenen Querdehnung:

$$\varepsilon_{el} = \frac{\sigma \cdot (1 + 3\mu)}{|E|} \quad (3.4)$$

ε_{el} elastische horizontale Dehnung in Probekörpermitte [‰]

Bestimmung der Ermüdungsfunktion

Die Ermüdungsbeständigkeit eines Asphaltes kann durch die Ermüdungsfunktion beschrieben werden. Für die Bestimmung der Ermüdungsfunktion war es erforderlich, für jede Asphalttragschichtmischgutvariante je drei Einzelversuche bei einer vorgegebenen Prüftemperatur und Prüffrequenz bei drei verschiedenen Spannungsamplituden durchzuführen. Die aufzubringenden Oberspannungen wurden so festgelegt, dass die sog. elastischen horizontalen Anfangsdehnungen im Probekörpermittelpunkt einen zulässigen Bereich erreichten bzw. nicht überschritten. Die während des Versuches aufgebrachte Unterspannung aus Tabelle 3.11 war dabei zur Lagesicherung des Probekörpers notwendig. In Tabelle 3.12 sind die Prüfbedingungen für die Durchführung der Versuche zur Bestimmung der Ermüdungsfunktion zusammengefasst.

Tabelle 3.12: Prüfbedingungen für die Durchführung der Spaltzug-Schwellversuche zur Ermittlung der Ermüdungsfunktion

Prüfbedingung	Einheit	nach AL Sp-Asphalt
Prüftemperatur	°C	20,0
Prüffrequenz	Hz	10
zulässiger Bereich für die elastischen horizontalen Anfangsdehnungen	‰	0,05 bis 0,30

Das Kriterium für die Ermüdung wird durch die Lastwechselzahl N_{Makro} bis zum Eintreten des Makrorisses definiert. Diese Methode, entwickelt von Hopman, basiert auf dem Prinzip des dissipierten Energieverhältnisses [HOPMAN et. al. 89]. Bei diesem Verfahren wird zunächst die sog. „Energy Ratio“ ER als Produkt aus der Lastwechselzahl N und dem für N berechneten Steifigkeitsmodul $|E(N)|$ definiert:

$$ER(N) = |E(N)| \cdot N \quad (3.5)$$

N	Lastwechselzahl [-]
$ E(N) $	Steifigkeitsmodul bei betrachteter Lastwechselzahl $[N/mm^2]$
$ER(N)$	Energy Ratio $[N/mm^2]$

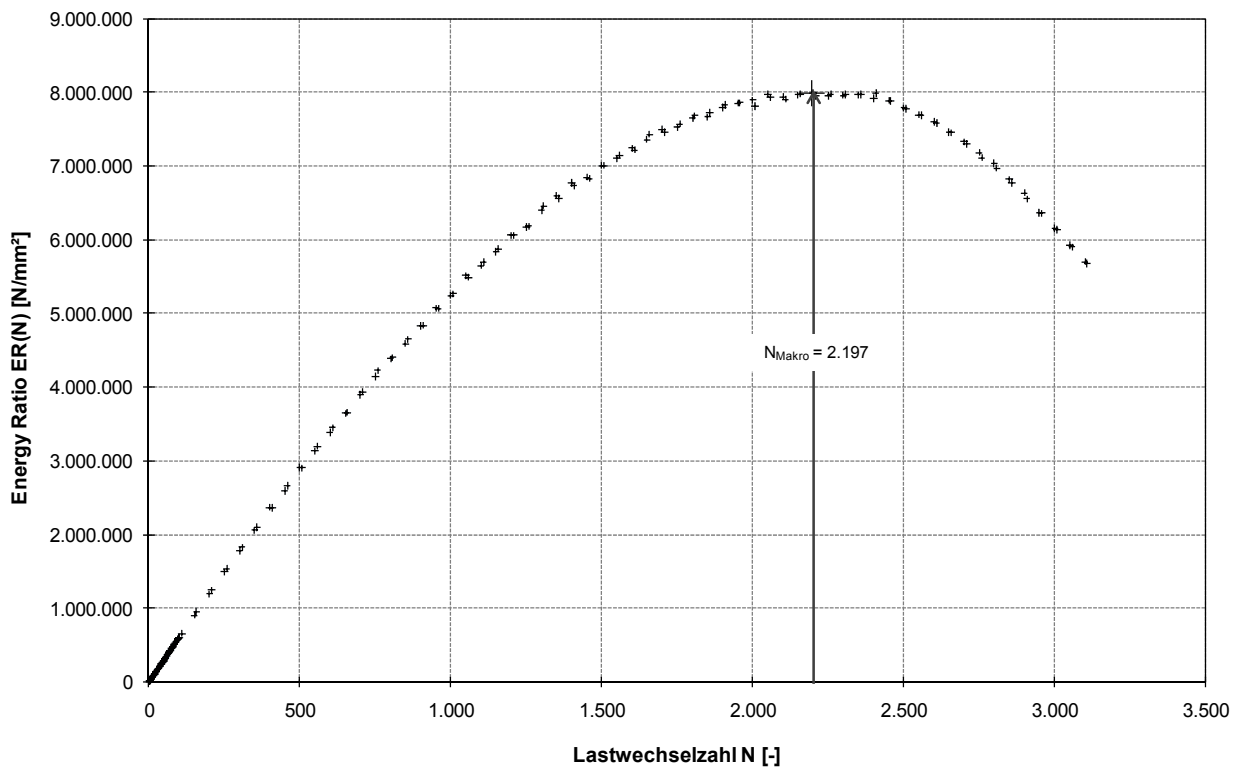


Abbildung 3.6: Beispiel für die Bestimmung der Lastwechselzahl N_{Makro} bis zum Kriterium „Makroriss“ [HOPMAN et. al. 89]

Wird $ER(N)$ als Funktion von N dargestellt, kann anhand des Verlaufs dieser Funktion die Ermüdungslastwechselzahl für das Kriterium Makroriss N_{Makro} bei dem Maximum der $ER(N)$ ermittelt werden (Abbildung 3.6). Damit ist es möglich, anhand der in den Versuchen gemessenen elastischen horizontalen Anfangsdehnungen $\epsilon_{\text{el,anf}}$ und den ermittelten Lastwechselzahlen N_{Makro} bis zum Erreichen des Makrorisses mittels Regression zu der materialspezifischen Ermüdungsfunktion unter Anwendung der Methode der kleins-

ten Fehlerquadrate zu approximieren (Abbildung 3.7). Die Ermüdungsfunktion wird dabei wie folgt angegeben:

$$N_{Makro} = C_1 \cdot \varepsilon^{C_2} \quad (3.6)$$

N Lastwechselzahl [-]
 $\varepsilon_{el, anf}$ elastischen horizontalen Anfangsdehnungen [‰]
 C_1, C_2 materialspezifische Parameter

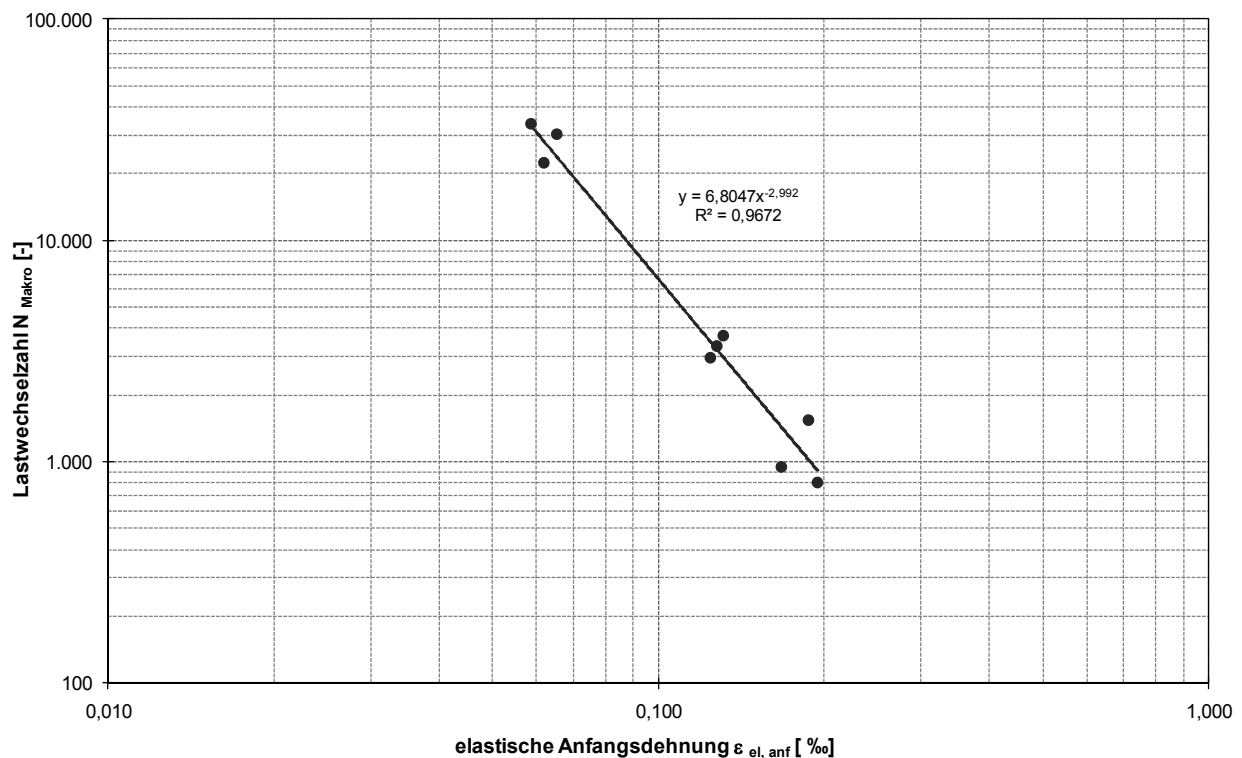


Abbildung 3.7: Beispiel einer Ermüdungsfunktion

Bestimmung der Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion

Das Steifigkeitsverhalten wird durch die Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion beschrieben. Die Bestimmung der Steifigkeitsmoduln erfolgte für jede Asphalttragschichtmischgutvariante mit Multistage-Versuchen bei vier verschiedenen Prüftemperaturen mit Variation der Prüffrequenz. Die aufzubringenden Oberspannungen wurden jeweils so festgelegt, dass die sog. elastischen horizontalen Anfangsdehnungen im Probekörpermittelpunkt einen zulässigen Bereich erreichten bzw. nicht überschritten. Die während des Versuches aufgebrauchte Unterspannung aus Tabelle 3.11 war dabei zur Lagesicherung des Probekörpers notwendig. In Tabelle 3.13 sind die Prüfbedin-

ungen für die Durchführung der Versuche zur Bestimmung des Steifigkeitsverhaltens zusammengefasst.

Tabelle 3.13: Prüfbedingungen für die Durchführung der Spaltzug-Schwellversuche zur Ermittlung der Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion

Prüfbedingung	Einheit	nach AL Sp-Asphalt
Prüftemperatur	°C	-10,0 / 0,0 / 10,0 / 20,0
Prüffrequenz	Hz	0,5 / 1 / 3 / 10
Zulässiger Bereich für die elastischen horizontalen Anfangsdehnungen	‰	0,05 bis 0,10

Auf der Grundlage der bei den verschiedenen Prüftemperaturen und Prüffrequenzen durchgeführten Versuche ließ sich unter Zuhilfenahme der Temperatur-Frequenz-Äquivalenz die Hauptkurve für ein jedes Asphalttragschichtgemisch ermitteln (siehe Abbildung 3.8), mit welcher die Möglichkeit bestand, für alle notwendigen Kombinationen aus Temperatur und Belastungsfrequenz die Steifigkeitsmoduln (Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion) zu prognostizieren [HÜRTGEN 1982, KAPPL 2007].

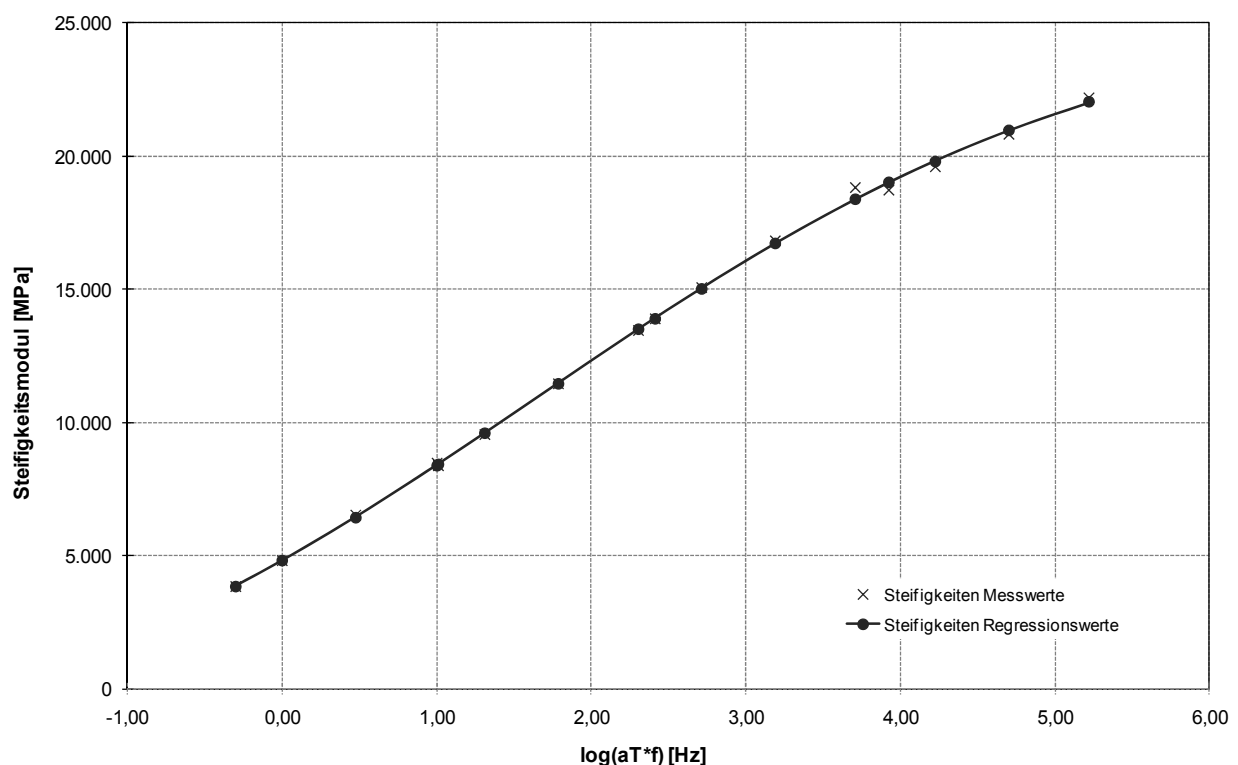


Abbildung 3.8: Beispiel einer Hauptkurve eines Asphaltgemisches

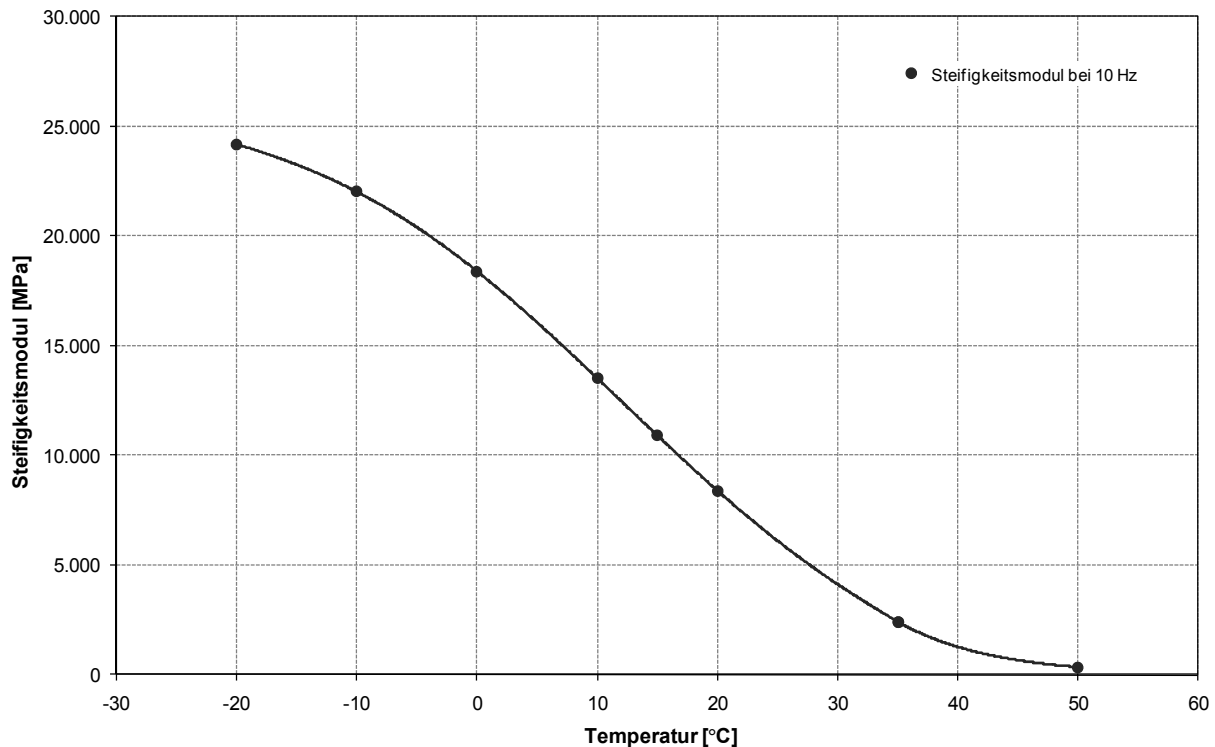


Abbildung 3.9: Beispiel einer Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion für eine Frequenz von 10 Hz

Bedingt durch das Verfahren der Steifigkeitsmodulbestimmung bei Temperaturen von -10 °C bis $+20\text{ °C}$ und der Kopplung mit der in der AL Sp-Asphalt beschriebenen Temperatur-Frequenz-Äquivalenz ist nur für den Definitionsbereich von -10 °C bis 20 °C eine abgesicherte Bestimmung der Steifigkeitsmoduln möglich. Außerhalb dieses Definitionsbereiches wurden die Steifigkeitsmoduln durch Extrapolation ermittelt. Weiterhin kann bei Prüftemperaturen von -10 °C aufgrund der hohen Probekörpersteifigkeit im Vergleich zur Prüfvorrichtung insbesondere bei hohen Prüffrequenzen ein Einfluss der Prüftechnik auf den aus den Messergebnissen berechneten Steifigkeitsmodul nicht ausgeschlossen werden. Die genannten Punkte müssen bei der Interpretation der Versuchsergebnisse berücksichtigt werden. Abbildung 3.9 zeigt beispielhaft eine Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion für eine Frequenz von 10 Hz, welche im Rahmen der rechnerischen Dimensionierung nach den RDO Asphalt [RDO Asphalt 09] als Eingangswert verwendet wird.

3.4 Dimensionierungsberechnungen

3.4.1 Allgemeines

Um das Ermüdungsverhalten von Asphaltbefestigungen mit den untersuchten Asphalttragschichtmischgutvarianten unterschiedlicher Zusammensetzung bewerten zu können, war es notwendig mit den jeweils ermittelten Materialeigenschaften Dimensionierungsberechnungen von fiktiven Asphaltbefestigungen durchzuführen. Die Berechnungen erfolgten mit dem Berechnungsprogramm PaDesTo [KIEHNE 2008], auf der Grundlage der RDO Asphalt. Für die Abschätzung der Nutzungsdauer einer Asphaltbefestigung hinsichtlich des Dimensionierungskriteriums Ermüdungsrisssbildung werden gemäß RDO Asphalt die Zugdehnungen an der Unterseite einer Asphalttragschicht herangezogen (siehe Abschnitt 2.1). Bei der Nachweisführung „wird vorausgesetzt, dass bis zu einer bestimmten Anzahl an ertragenen Lastwechseln bei einer bestimmten Biegezugdehnung (Grenzlastwechselzahl) Risse auszuschließen sind. ... Verschiedene Dehnungen bedingen unterschiedlich große Grenzlastwechselzahlen. ... Die verschiedenen Dehnungen werden durch unterschiedliche Achslasten und verschiedene Temperaturzustände ... hervorgerufen. Es wird vorausgesetzt, dass die Teilschädigung infolge ertragener Lastwechsel bei den unterschiedlichen Dehnungen anhand der Hypothese von Miner ... zur Gesamtschädigung akkumuliert werden können. ... Die zu erwartenden Lastwechsel (vorh N_i) bei den unterschiedlichen Beanspruchungszuständen sind durch Überlagerung der Häufigkeit des Auftretens verschiedener Achslasten zugeordnet zu Achslastklassen mit der Häufigkeit des Auftretens der verschiedenen Temperaturverläufe zu ermitteln und der ertragbaren Lastwechselzahl gegenüberzustellen. Der Nachweis gilt als erfüllt, wenn die Summe der Quotienten aus der für den geplanten Nutzungszeitraum des Oberbaus zu erwartenden und den ertragbaren Lastwechseln kleiner oder gleich 1 ist“ [RDO Asphalt 09].

$$\Sigma_{MINER} = \sum_{i=1}^n \frac{vorh N_i}{zul N_i} \leq 1 \quad (3.7)$$

vorh N	die zu erwartende Anzahl an Lastwechseln infolge von Achsübergängen in dem geplanten Nutzungszeitraum [-]
zul N	die (zulässige) Anzahl an Lastwechseln infolge von Achsübergängen in dem geplanten Nutzungszeitraum (Grenzlastwechselzahl) [-]
n	Anzahl an zu berücksichtigenden Beanspruchungszuständen [-]

Für jede Kombination aus Achslast und Temperaturzustand (Beanspruchungszustand) wird die zulässige Lastwechselzahl $zulN$ nach folgender Gleichung bestimmt [RDO Asphalt 09]:

$$zulN = \frac{SF}{F} \cdot a \cdot \varepsilon^k \quad (3.8)$$

$zulN$	zulässige Lastwechselzahl [-]
ε	elastische horizontale Dehnung [‰]
a, k	materialspezifische Parameter der Ermüdungsfunktion [-], bestimmt nach [AL Sp-Asphalt 09]
SF	Shiftfaktor [-], für Spaltzug-Schwellversuch mit $SF = 1.500$ anzunehmen
F	Sicherheitsbeiwert [-]

Die Berechnungsverfahren nach den RDO Asphalt wurden dazu über den Sicherheitsbeiwert F anhand von Laborversuchen und Kalibrierrechnungen an den Schichtdicken der RStO 01, Tafel 1, kalibriert. Die Einführung des Shiftfaktors SF erfolgte dabei zur Anpassung der mit Spaltzug-Schwellversuchen ermittelten Lastwechselzahlen bis zum Makroriss an die Rissentstehung und –entwicklung in der Realität.

3.4.2 Annahmen für die Dimensionierungsberechnungen

Für die Dimensionierungsberechnungen wurden 2 Befestigungsaufbauten aus Tafel 1 der RStO 01 ausgewählt. In Tabelle 3.14 sind die angenommenen Eingangswerte für die Dimensionierungsberechnungen dieser fiktiven Fahrbahnbefestigungen aus Asphalt aufgeführt.

Die Verkehrsbelastung, simuliert durch die Achslasthäufigkeitsverteilung „BAB-Fernverkehr“, ist für die berechnete Fahrbahnbefestigung A in Abbildung 3.10 dargestellt. Für den Fahrbahnaufbau B kann die Achslasthäufigkeitsverteilung „S 242 Hartmannsdorf“ Abbildung 3.11 entnommen werden. Der Jahrestemperaturverlauf entsprach für beide Fahrbahnbefestigungen der Standardhäufigkeitsverteilung gemäß Abbildung 3.12.

Die Berechnungen erfolgten bei sonst identischen Vorgaben jeweils mit den untersuchten Asphalttragschichtmischgutvarianten. Zwischen den gebundenen Schichten wurde der Schichtenverbund auf 100 %, zwischen gebundenen Schichten und ungebundenen Schichten auf 0 % festgelegt.

Tabelle 3.14: Eingangswerte für die Dimensionierungen

Kenngröße	Einheit	Eingangswerte Befestigungsaufbau	
		A	B
DTV	[kfz/24 h]	18.753	2.812
SV-Anteil	[%]	20	20
Nutzungszeitraum	[a]	30	30
Fahrstreifenanzahl ¹⁾	[-]	4	2
Fahrstreifenbreite	[m]	> 3,75	3,25 bis < 3,75
Steigung	[%]	2	2
Straßenklasse	[-]	Bundesautobahn	Landes- u. Kreisstraße
Gewählter Achslastfaktor	[-]	4,2	3,1
Achslasthäufigkeitsverteilung	[-]	BAB-Fernverkehr	S 242 Hartmannsdorf
Gewählte q_B -Zahl ²⁾	[-]	0,26	0,18
Verkehrssteigerung ³⁾	[%]	3,0	3,0
B-Zahl	[AÜ (10 t)]	32.007.936	2.995.085
Bauklasse	[-]	SV	III
Frostempfindlichkeitsklasse	[-]	F3	F3
Frosteinwirkungszone	[-]	Zone III	Zone III
Dicke des frostsicheren Oberbaus ⁴⁾	[cm]	90	85
Gewählte Temperaturverteilung	[-]	Zone 3	Zone 3
Dicke Asphaltdeckschicht	[cm]	4	4
Dicke Asphaltbinderschicht	[cm]	8	4
Dicke Asphalttragschicht	[cm]	22	14
Frostschuttschicht E_{V2} -Wert	[N/mm ²]	120	120
Planum E_{V2} -Wert auf	[N/mm ²]	45	45

1) in beiden Fahrtrichtungen erfasst

2) q_{BM} -Zahl der [RStO 01]

3) ab dem zweiten Nutzungsjahr

4) Lage der Gradienten: Einschnitt, Anschnitt, Damm $\leq 2,0$ m (ausgen. geschl. Ortschaften)
Wasserverhältnisse: ungünstig gemäß ZTV-E StB
Ausführung Randbereiche: außerhalb geschlossener Ortschaften, sowie innerhalb mit wasserdurchlässigen Randbereichen

Für die im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens hergestellten Asphalttragschichtgemische wurden, wie bereits in Abschnitt 3.1 beschrieben, keine Versuche zur Bestimmung der kryogenen Spannungen durchgeführt, da die Ergebnisse dieser für die Unterscheidung der Ermüdungsbeständigkeit zwischen den einzelnen Asphalttragschichtmischgutvarianten im Rahmen der rechnerischen Dimensionierung als nicht ausschlaggebend einzuschätzen sind. Auf der Grundlage der Untersuchungen von Lipke [LIPKE et. al. 2009], vorgestellt von Wellner [WELLNER 2009], konnten jedoch die kryogene Zugspannungen trotzdem berücksichtigt werden. Entsprechend Abbildung 3.13 erfolgte in Abhängigkeit von der Steifigkeit die Berechnung der kryogenen Zugdehnungen nach Gleichung (3.9).

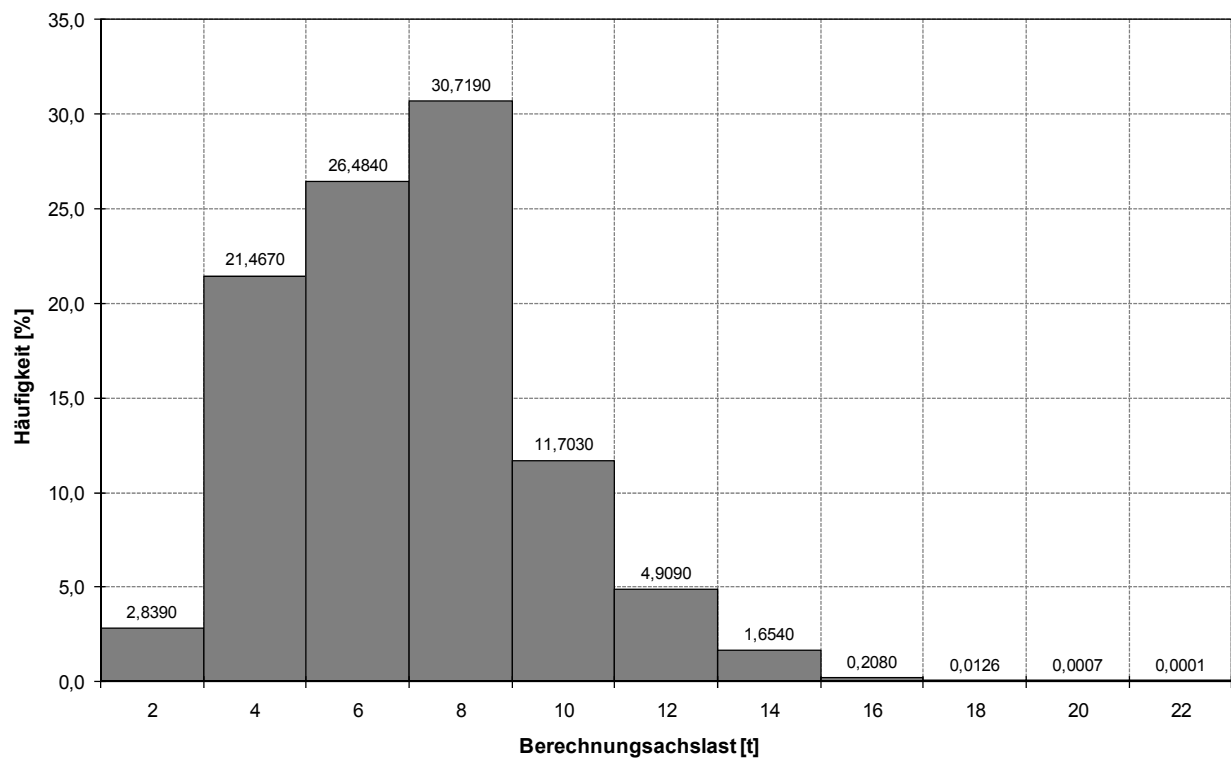


Abbildung 3.10: Achslasthäufigkeitsverteilung „BAB-Fernverkehr“ [RDO Asphalt 09] für Befestigungsaufbau A

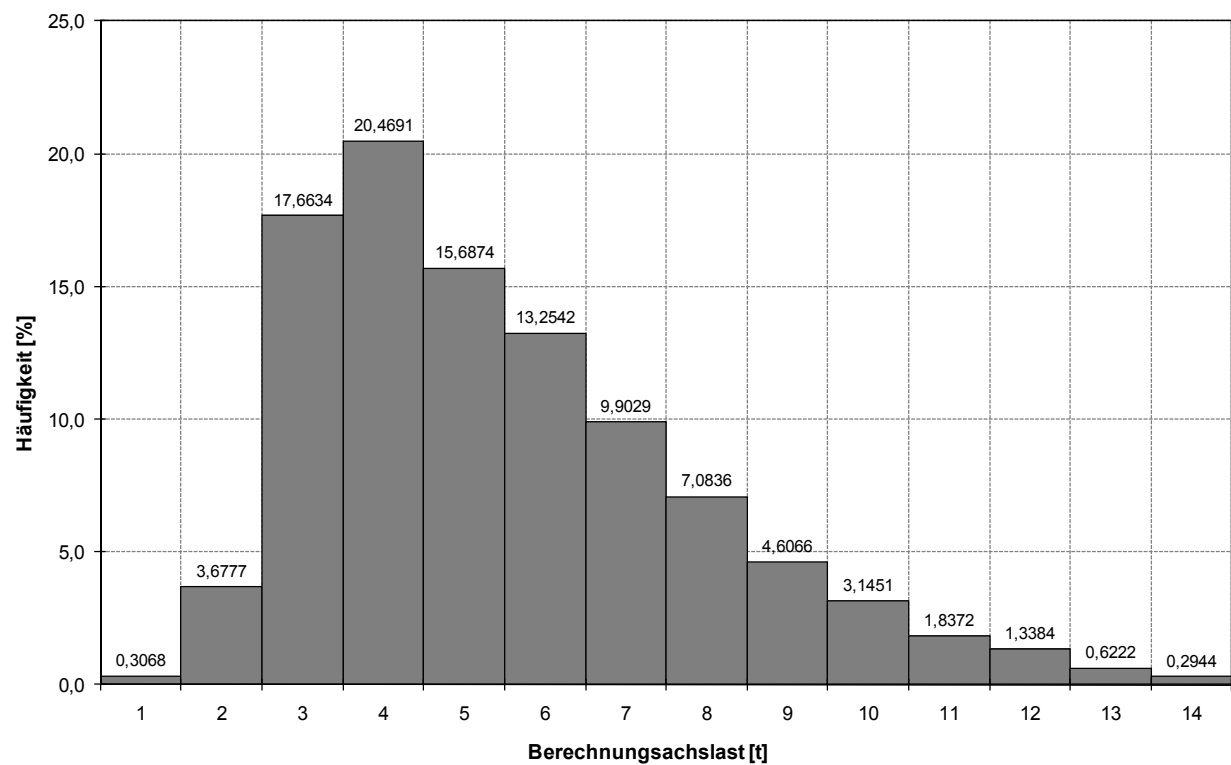


Abbildung 3.11: Achslasthäufigkeitsverteilung „S242, Hartmannsdorf“ Befestigungsaufbau B [HENNING 2009]

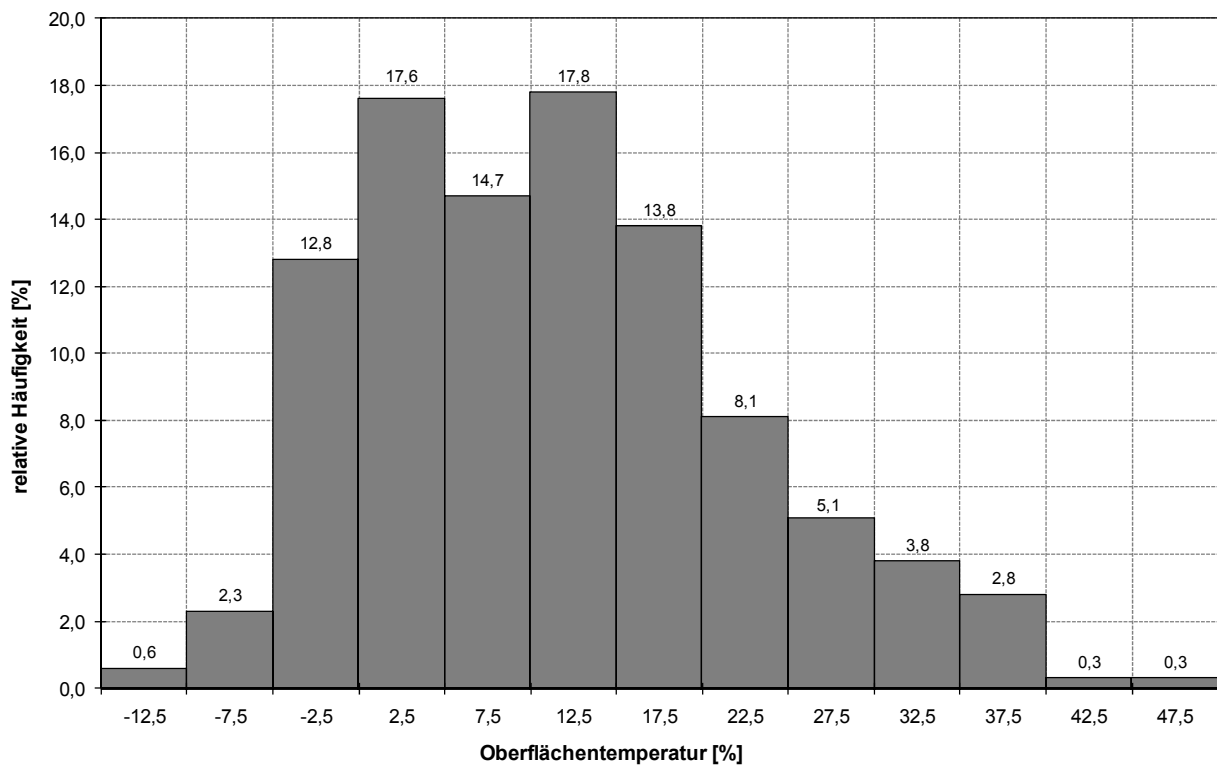


Abbildung 3.12: Standardtemperaturverteilung – Temperaturzone 3 [RDO Asphalt 09]

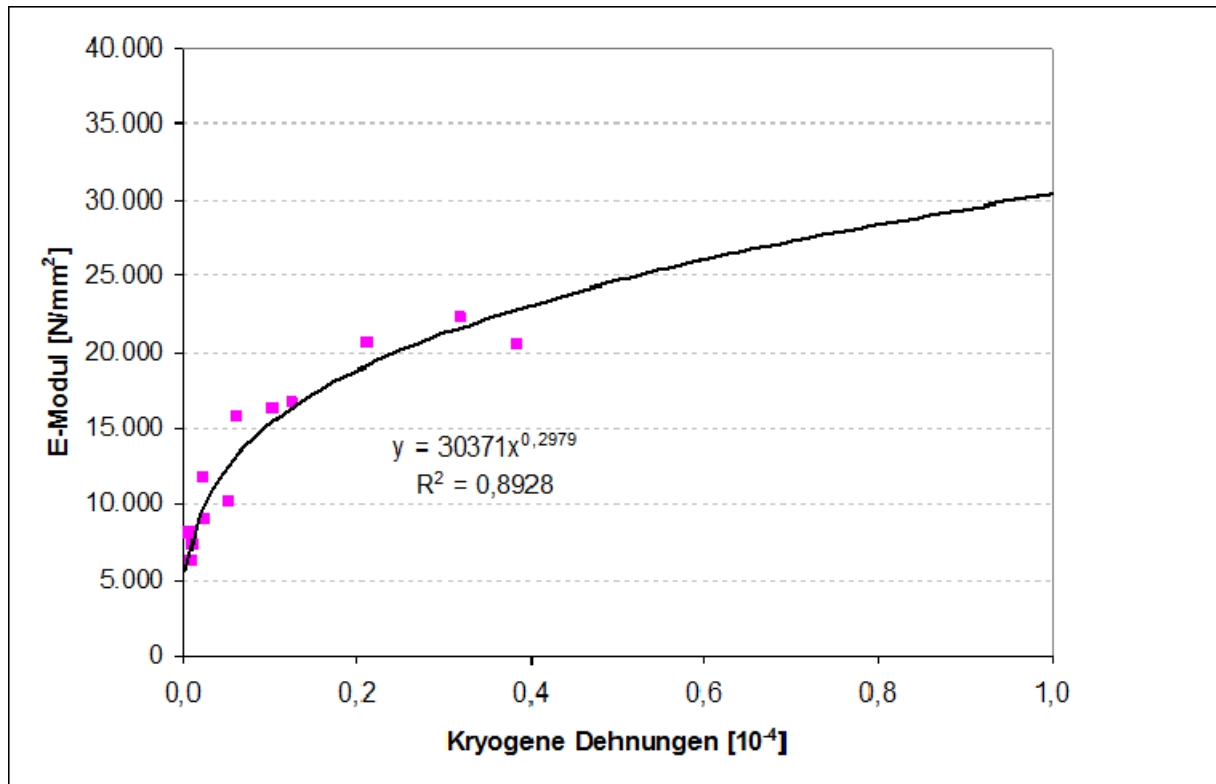


Abbildung 3.13: Kryogene Dehnungen in Abhängigkeit von der Steifigkeit [WELLNER 2009]

$$E(\varepsilon) = 30.371 \cdot \varepsilon^{0,2979} \quad (3.9)$$

E Steifigkeitsmodul [N/mm²]
 ε kryogene Dehnung [10⁻⁴]

Mit diesem Verfahren war eine überschlägliche Berücksichtigung der Erhöhung der kryogenen Spannungen für die hier durchzuführenden Berechnungen mit zunehmender Steifigkeit möglich. Die Durchführung von Abkühlversuchen nach [TP A 1994] insbesondere für die Ansprache des Tieftemperaturverhaltens in Deck- und Binderschichten kann damit jedoch nicht ersetzt werden. Die für die Dimensionierungen verwendeten kryogenen Zugspannungen können Anlage A2.3 entnommen werden.

4 Untersuchungsergebnisse

4.1 Ergebnisse der Spaltzug-Schwellversuche

4.1.1 Einfluss der Zusammensetzung von Asphalttragschichtgemischen auf deren Ermüdungsfunktion

Die Tabellen der Anlage A2.1 enthalten die ermittelten Lastwechselzahlen N_{Makro} bis zum Erreichen des Makrorisses sowie die zugehörigen gemessenen elastischen horizontalen Anfangsdehnungen $\varepsilon_{\text{el,anf}}$ der durchgeführten Ermüdungsversuche für jede Asphalttragschichtmischgutvariante. Weiterhin sind die materialspezifischen Ermüdungsfunktionen aller untersuchten Asphalttragschichtgemische dieser Anlage zu entnehmen. Zusammengefasst sind sie nochmals in Abbildung 4.1 dargestellt.

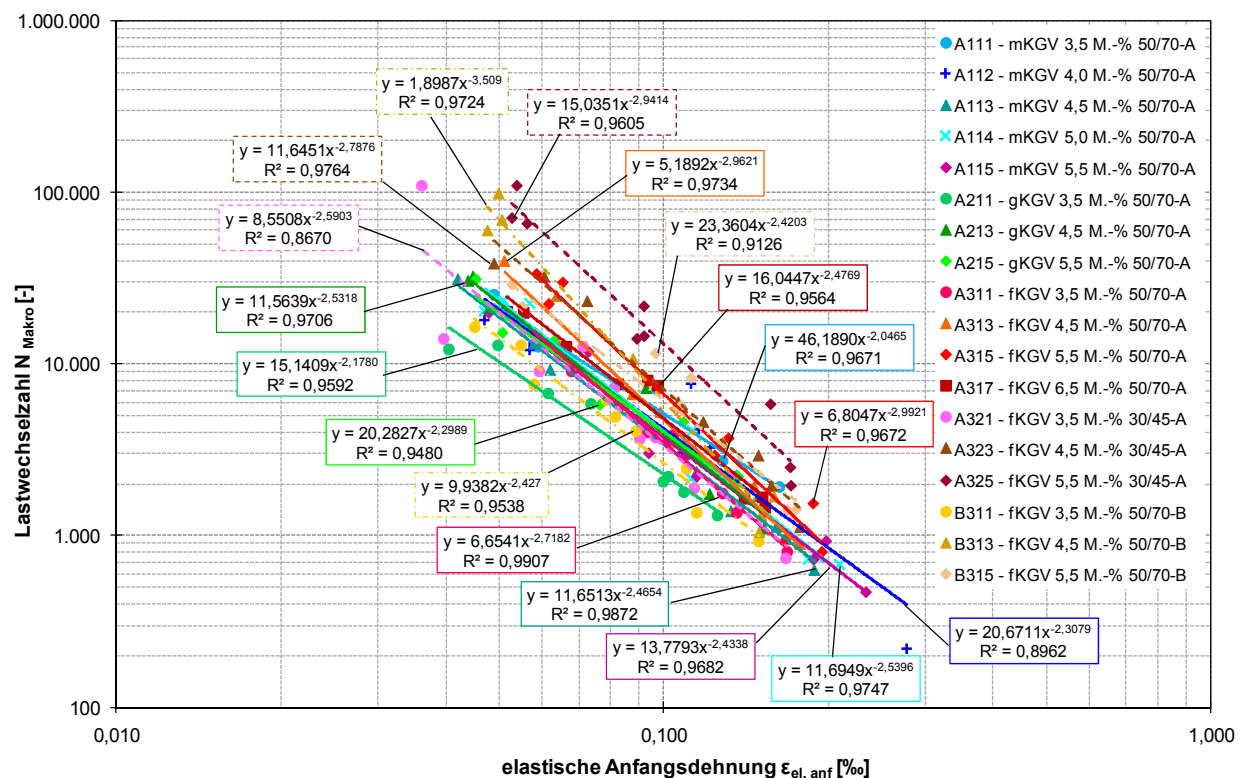


Abbildung 4.1: Ermüdungsfunktionen der untersuchten Asphalttragschichtgemische bei 20 °C und 10 Hz

Einfluss des Bindemittelgehaltes

In Abbildung 4.2 bis Abbildung 4.4 sind die Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichtgemische mit Straßenbaubitumen 50/70 des Bindemittelherstellers A bei Variation des Bindemittelgehaltes für die Korngrößenverteilungen fein, mittel und grob dargestellt. In Abbildung 4.5 sind die Ermüdungsfunktionen der Asphaltvarianten mit Bitumen 30/45 des Bindemittelherstellers A und unterschiedlichen Bindemittelgehalten für die feine Korngrößenverteilung enthalten. Abbildung 4.6 zeigt die Ermüdungsfunktionen

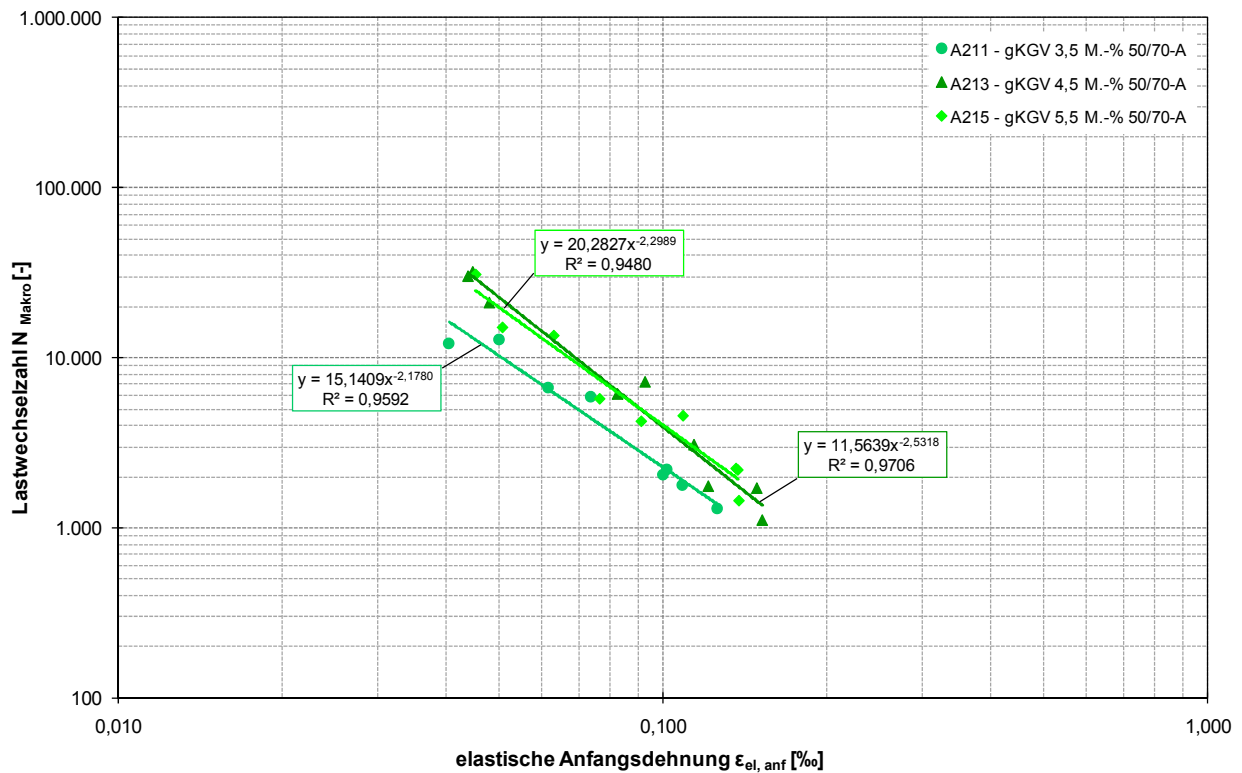


Abbildung 4.2: Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller A, grobe Korngrößenverteilung bei Variation des Bindemittelgehaltes bei 20 °C und 10 Hz

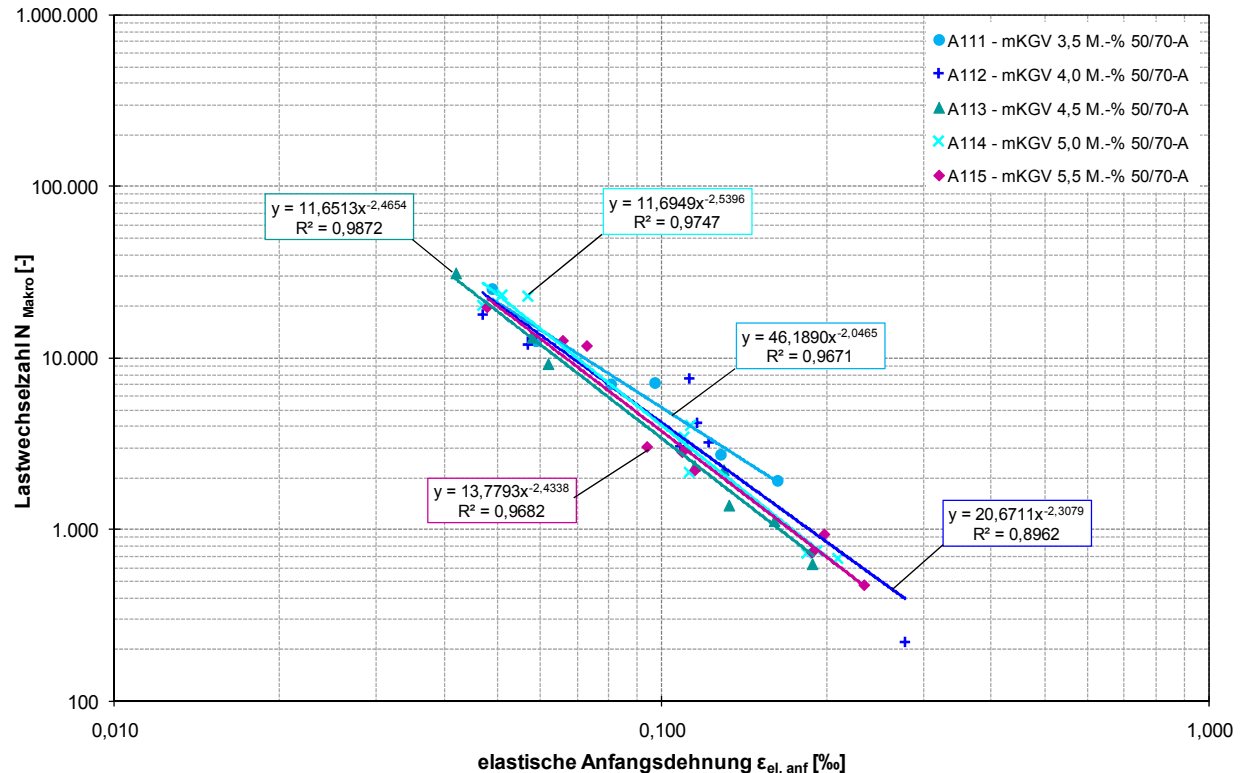


Abbildung 4.3: Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller A, mittlere Korngrößenverteilung bei Variation des Bindemittelgehaltes bei 20 °C und 10 Hz

nen der Asphalttragschichtgemische mit Straßenbaubitumen 50/70 des Bindemittelherstellers B.

Eine Erhöhung des Bindemittelgehaltes in einem Asphalttragschichtgemisch hat zur Folge, dass sich die Ermüdungsbeständigkeit verbessert [Lipke et. al. 2009]. Diese Aussage wird im Wesentlichen anhand Abbildung 4.2, Abbildung 4.4 bis Abbildung 4.6 bestätigt, jedoch nicht unbegrenzt. Diese Abbildungen zeigen, dass sich mit steigendem Bindemittelgehalt die Ermüdungsfunktion zunächst in Richtung der Ordinatenachse „nach oben“ verschiebt, teilweise verbunden mit einer leichten Veränderung des Anstieges der Ermüdungsfunktionen. In Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Korngrößenverteilung sowie der Bindemittelsorte und -hersteller ist dies jedoch nur bis zu einem bestimmten (optimalen) Bindemittelgehalt zu beobachten. Bei einer weiteren Zunahme des Bindemittelanteils verringert sich dann wieder die Anzahl der ertragbaren Lastwechsel bei gleichen elastischen Anfangsdehnungen.

So ist anhand der Ermüdungsfunktionen der groben Korngrößenverteilung des Bindemittelherstellers A (Abbildung 4.2) zu erkennen, dass die Ermüdungsfunktionen der Bindemittelgehalte von 4,5 M.-% und 5,5 M.-% nahezu aufeinanderliegen, aber „über“ der Ermüdungsfunktion des Bindemittelgehaltes von 3,5 M.-%. Hier wird vermutet, dass sich der optimale Bindemittelgehalt bezüglich der Ermüdungsbeständigkeit zwischen diesen beiden Werten befindet. Für die Asphalttragschichtgemische mit der feinen Korngrößenverteilung und dem Bitumen 50/70 des Bindemittelherstellers A werden in einem Dehnungsbereich $< 0,18 ‰$ für den Bindemittelgehalt von 6,5 M.-% kleinere Lastwechselzahlen N_{Makro} bis zum Erreichen des Makrorisses anhand der Ermüdungsfunktion berechnet, als für das Asphalttragschichtgemisch gleicher Sieblinie sowie gleicher Bindemittelsorte und gleichem Hersteller mit einem Bindemittelanteil von 5,5 M.-% (Abbildung 4.4). Aus Abbildung 4.3, welche die Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller A und mittlerer Korngrößenverteilung darstellt, ist die Abhängigkeit zwischen Bindemittelgehalt und Ermüdungsverhalten nicht so eindeutig erkennbar. Lediglich bei elastischen Anfangsdehnungen $\leq 0,05 ‰$ ist dieser Zusammenhang zu beobachten. Bei dem Asphalttragschichtgemisch mit dem Bitumen 30/45 wurde bis zu einem Bindemittelgehalt von 5,5 M.-% noch kein Optimum gefunden (Abbildung 4.5). Die Ermüdungsfunktionen der Bindemittelgehalte 4,5 M.-% und 5,5 M.-% der Asphalttragschichtgemische mit der feinen Korngrö-

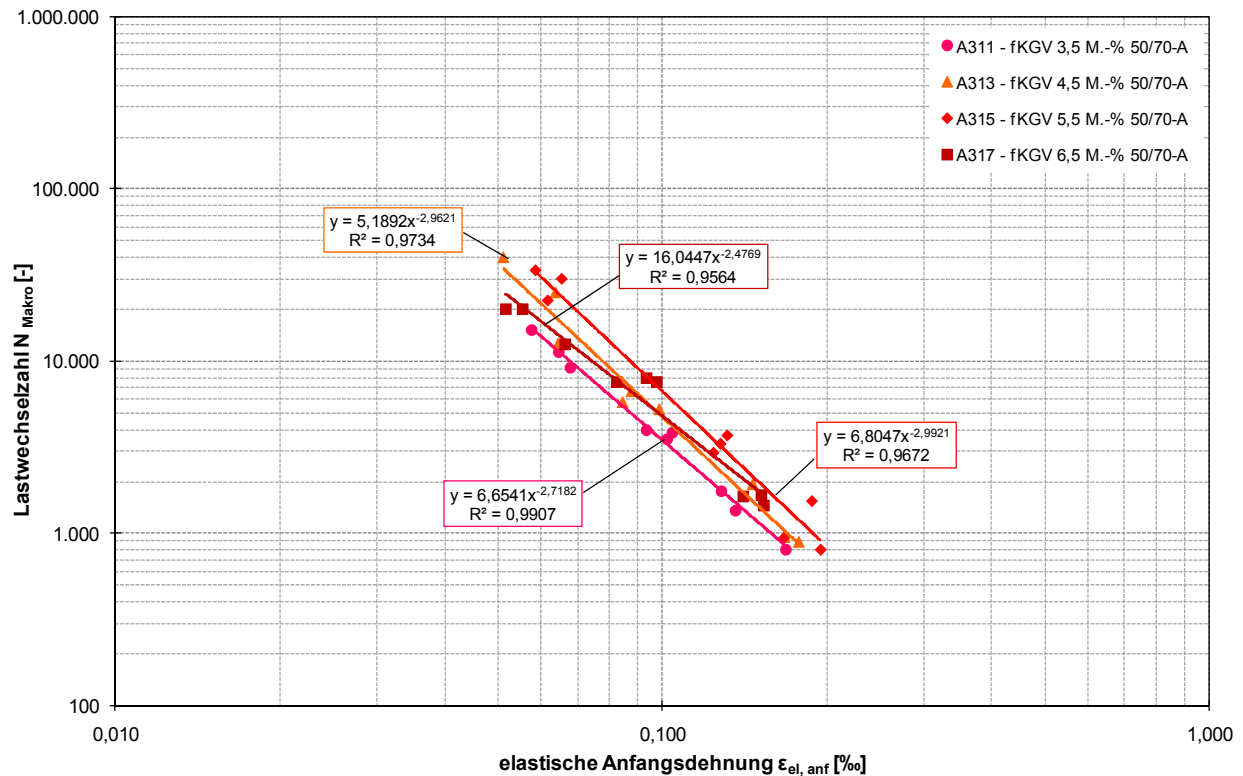


Abbildung 4.4: Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller A, feine Korngrößenverteilung bei Variation des Bindemittelgehaltes bei 20 °C und 10 Hz

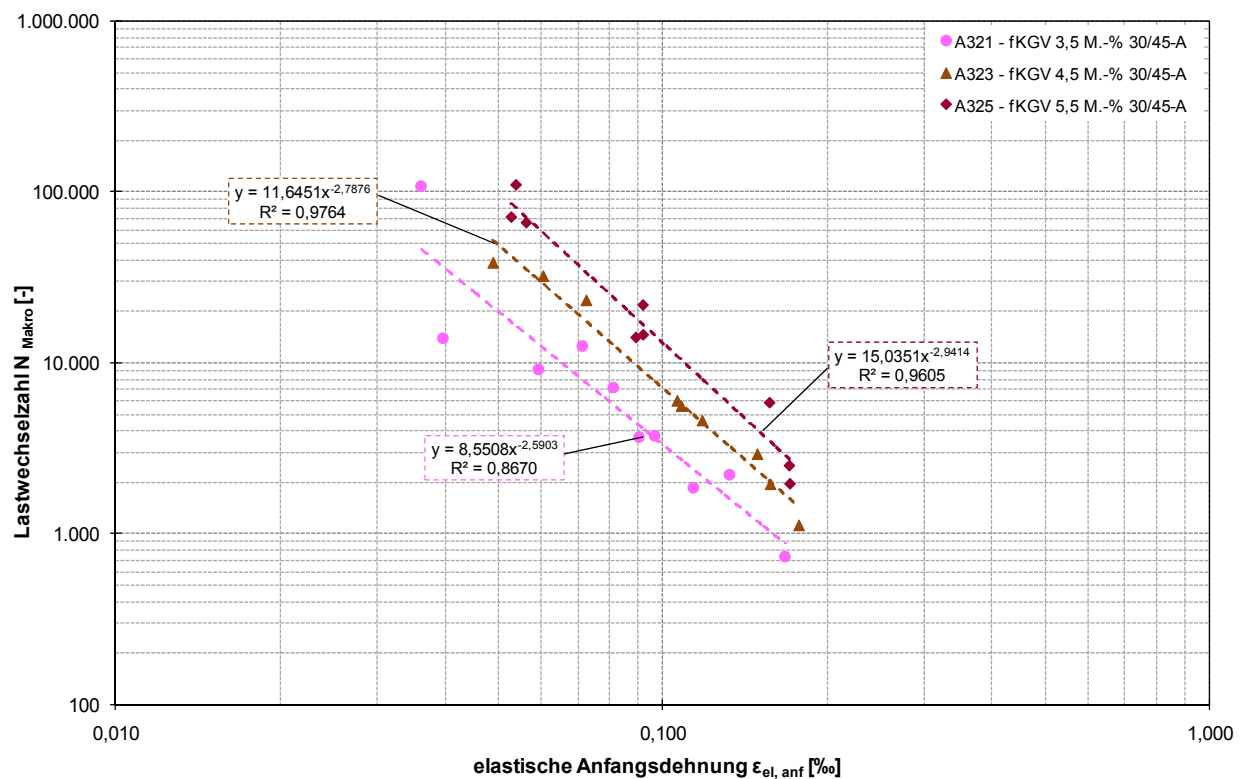


Abbildung 4.5: Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 30/45, Bindemittelhersteller A, feine Korngrößenverteilung bei Variation des Bindemittelgehaltes bei 20 °C und 10 Hz

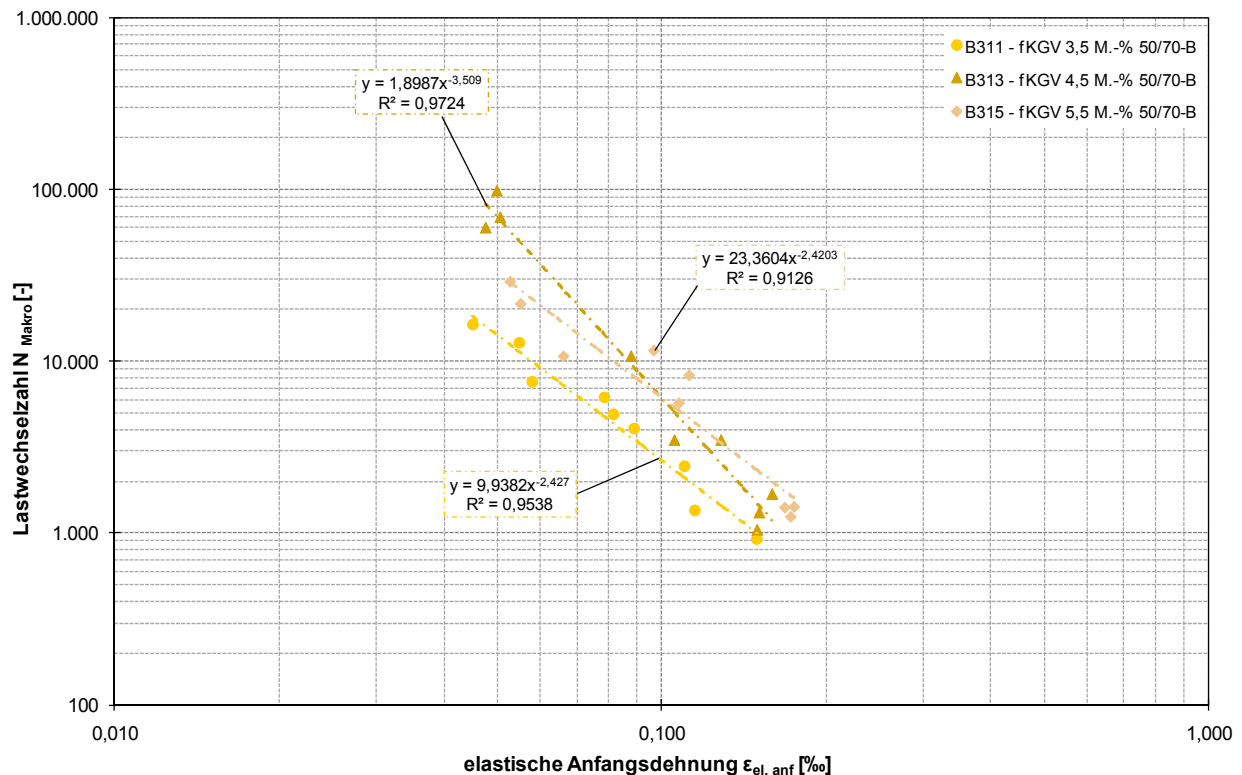


Abbildung 4.6: Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller B, feine Korngrößenverteilung bei Variation des Bindemittelgehaltes bei 20 °C und 10 Hz

ßenverteilung und dem Bitumen 50/70 des Bindemittelherstellers B schneiden sich bei einer elastischen Anfangsdehnungen von ca. 0,10 ‰ (Abbildung 4.6). Damit werden in einem Dehnungsbereich $< 0,10 \text{ ‰}$ für den Bindemittelgehalt von 4,5 M.-% größere Lastwechselzahlen N_{Makro} im Vergleich zu 5,5 M.-% ermittelt. In dem Dehnungsbereich $> 0,10 \text{ ‰}$ erträgt wiederum das bindemittelreichere Asphalttragschichtgemisch eine größere Anzahl an Lastwechsel bis zum Bruch.

Anhand dieser Ergebnisse kann geschlussfolgert werden, dass es hinsichtlich der Ermüdungsbeständigkeit einen optimalen Bindemittelgehalt gibt und dass dieser Zusammenhang von der Korngrößenverteilung und der Bindemittelsorte des Asphalttragschichtgemisches sowie der Bindemittelprovenienz und der Herstellungsprozedur (Bindemittelhersteller) beeinflusst wird. Ergänzend wird darauf hingewiesen, dass sich wahrscheinlich auch die Verwendung anderer Füller- und Gesteinssorten auf die Höhe des optimalen Bindemittelgehaltes bezüglich der Ermüdungsbeständigkeit auswirken können.

Einfluss der Korngrößenverteilung

Abbildung 4.7 bis Abbildung 4.9 sind die Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichtgemische mit Straßenbaubitumen 50/70 des Bindemittelherstellers A bei Variation der Korngrößenverteilung für die Bindemittelgehalte 3,5 M.-%, 4,5 M.-% und 5,5 M.-% zu entnehmen.

Eine eindeutige Tendenz hinsichtlich des Einflusses der Korngrößenverteilung auf die Ermüdungsbeständigkeit lässt sich vorerst nicht erkennen. So ergeben sich aufgrund der Lage der Ermüdungsfunktion des Asphalttragschichtgemisches mit der Sieblinie mittig im Toleranzband der TL Asphalt [TL Asphalt-StB 07 bei einem Bindemittelgehalt von 3,5 M.-% über einen relativ breiten Dehnungsbereich höhere Lastwechselzahlen N_{Makro} im Vergleich zu den Asphalttragschichtgemischen mit der feinen bzw. groben Sieblinie. Dabei weist das grobe Asphalttragschichtgemisch hier die geringere Ermüdungsbeständigkeit von beiden auf (Abbildung 4.7). Der Abbildung 4.8 ist wiederum zu entnehmen, dass bei dem untersuchten Bindemittelgehalt von 4,5 M.-% das Asphalttragschichtgemisch mit der feinen Korngrößenverteilung die höchste Anzahl Lastwechsel bis zum Erreichen des Makrorisses bei gleicher elastischen Anfangsdehnungen erträgt und das Asphalttragschichtgemisch mit der mittleren Sieblinie die niedrigste. Ähnliches zeigt sich bei dem Bindemittelgehalt von 5,5 M.-% in Abbildung 4.9. Die Ermüdungsfunktionen der mittleren und groben Asphalttragschichtgemische liegen hier nahezu beieinander, die Ermüdungsfunktion des feinen Asphalttragschichtgemisches über diesen.

Vergleicht man nur die Ermüdungsfunktionen der im Forschungsvorhaben untersuchten Asphalttragschichtgemische mit der groben und der feinen Sieblinie des Gesteinskörnungsgemisches, so können die von Arand [ARAND et. al. 1996a] gemachten Beobachtungen, dass ein Asphalt mit einem hohen Feinkornanteil und entsprechend niedrigem Gehalt an groben Gesteinskörnungen eine höhere Anzahl an Lastwechseln bis zum Bruch erträgt als ein Asphaltgemisch mit grober Korngrößenverteilung, bestätigt werden. Dies trifft jedoch nur für elastische horizontale Anfangsdehnungen von ca. $< 0,15 \text{ ‰}$ zu. Da sich in diesem Bereich der Dehnung die Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichtgemische mit der groben und der feinen Korngrößenverteilung schneiden, werden bei elastische Anfangsdehnungen von ca. $> 0,15 \text{ ‰}$ dann für die

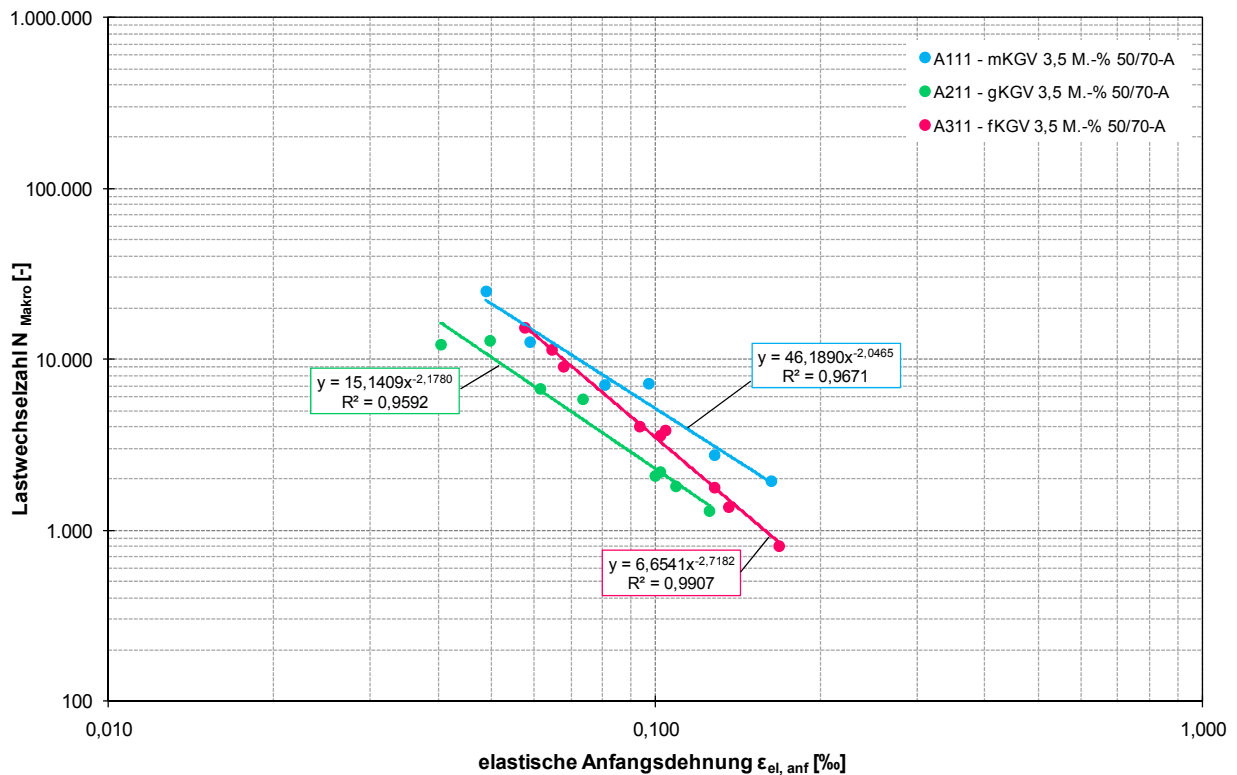


Abbildung 4.7: Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller A, 3,5 M.-% Bindemittelgehalt bei Variation der Korngrößenverteilung bei 20 °C und 10 Hz

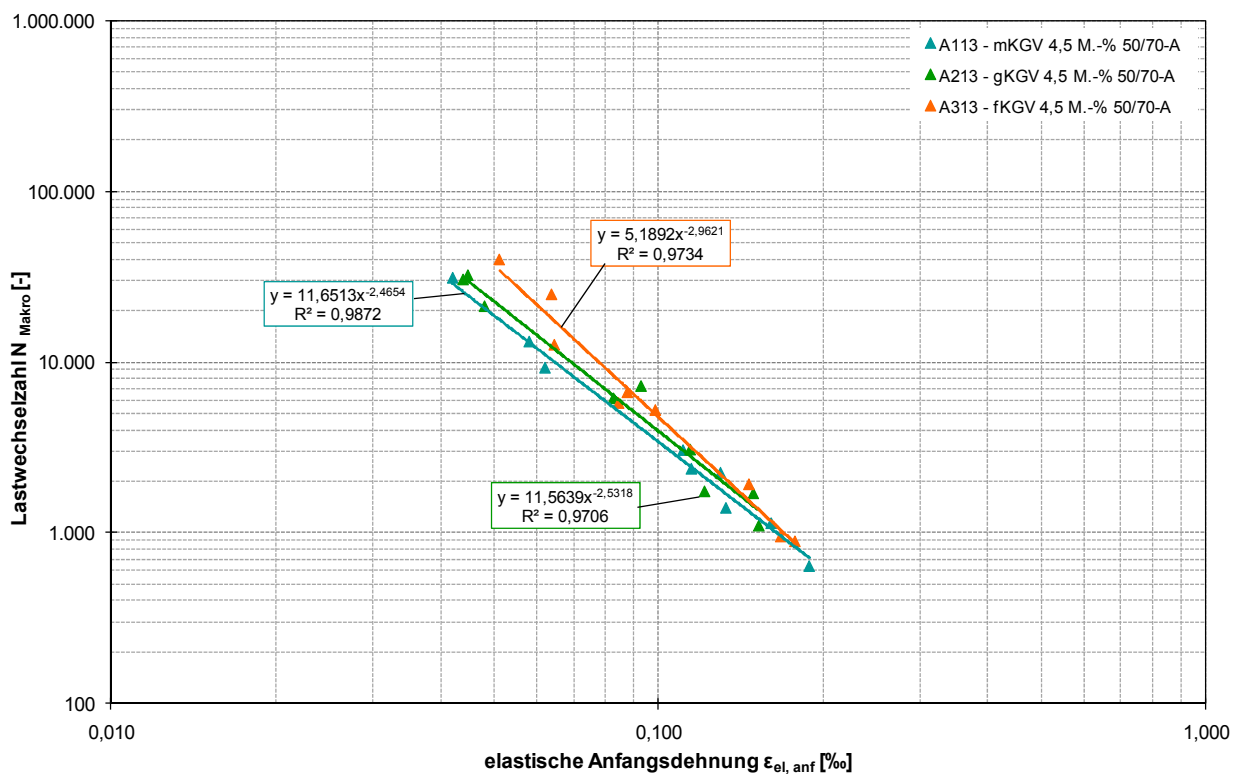


Abbildung 4.8: Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller A, 4,5 M.-% Bindemittelgehalt bei Variation der Korngrößenverteilung bei 20 °C und 10 Hz

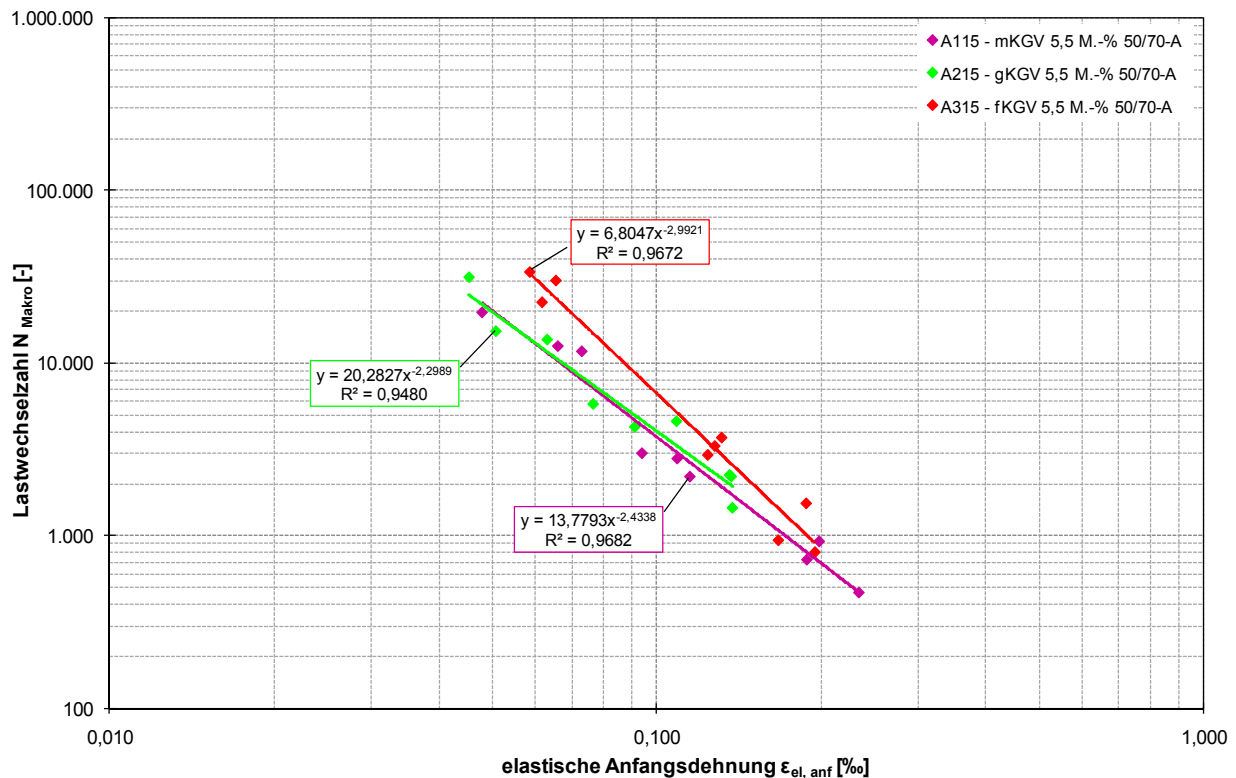


Abbildung 4.9: Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller A, 5,5 M.-% Bindemittelgehalt bei Variation der Korngrößenverteilung bei 20 °C und 10 Hz

Asphalttragschichtgemische mit der groben Sieblinie höhere Lastwechselzahlen N_{Makro} ermittelt als für die Asphalttragschichtgemische mit der feinen Sieblinie.

Einfluss der Bindemittelviskosität

In Abbildung 4.10 sind die Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichtgemische mit der Korngrößenverteilung auf der oberen Grenze des Sieblinienbereiches der TL Asphalt [TL Asphalt-StB 07] bei Variation der Bindemittelviskosität des Bindemittelherstellers A dargestellt.

Wie diese Abbildung zeigt, liegen die Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichtgemische mit 3,5 M.-% Bitumen 50/70 und 30/45 nahezu aufeinander. Bei Zunahme des Bindemittelgehaltes (4,5 M.-% und 5,5 M.-%) ertragen die Asphalttragschichtgemische mit dem Bitumen 30/45 mehr Lastwechsel N_{Makro} bei gleichen elastischen Anfangsdehnungen als die Asphalttragschichtgemische mit dem 50/70, ausgedrückt durch die Verschiebung die Ermüdungsfunktionen in Richtung der Ordinatenachse nach oben. Weiterhin ist zu erkennen, dass der Abstand zwischen den Ermüdungsfunktionen des Bi-

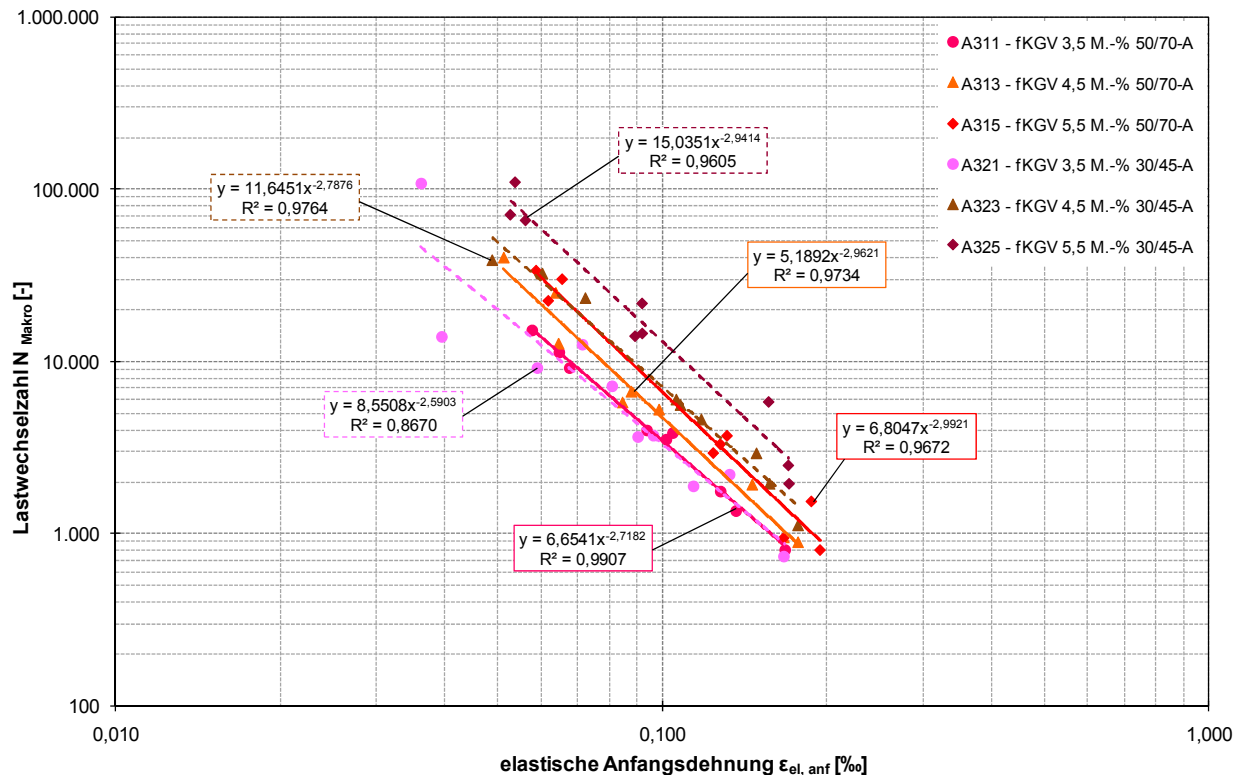


Abbildung 4.10: Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichtgemische mit feiner Korngrößenverteilung, den Bindemittelgehalten von 3,5 M.-%, 4,5 M.-% und 5,5 M.-% bei Variation der Bindemittelviskosität des Bindemittelherstellers A bei 20 °C und 10 Hz

tumens 50/70 und 30/45 bei einem höheren Bindemittelgehalt (5,5 M.-%) größer ist im Vergleich zu einem niedrigen Bindemittelgehalt (4,5 M.-%).

Die im Rahmen des Forschungsvorhabens erzielten Ergebnisse können die Beobachtungen von Erlingsson [ERLINGSSON 2000], dass anhand von Spaltzug-Schwellversuchen bei 20 °C durch die Verwendung von weichen Straßenbaubitumen im Asphaltbeton eine höhere ertragbare Lastwechselzahl bei kleinen elastischen horizontalen Anfangsdehnungen ($< 0,045 \text{ ‰}$) erzeugt werden als mit harten Straßenbaubitumen, nicht bestätigen, denn selbst bei kleinen Dehnungen ($< 0,04 \text{ ‰}$) werden mittels der Ermüdungsfunktionen der untersuchten Asphalttragschichtgemische mit den Bindemittelgehalten von 4,5 M.-% und 5,5 M.-% höhere Lastwechselzahlen N_{Makro} mit dem Bitumen 30/45 als mit dem 50/70 berechnet. Wiederum bekräftigen die Ergebnisse die Erkenntnisse von Heukelom [HEUKELOM 1964], dass Asphalte mit einem Bitumen höherer Viskosität ermüdungsbeständiger sind als Asphalte mit einem Bitumen niedriger Viskosität. Da zum einen die in der Literatur gefundenen Untersuchungsergebnisse bezüglich des Einflusses der Bindemittelviskosität auf die Ermüdungsbeständigkeit von

Asphaltgemischen zum Teil im Widerspruch zu einander stehen und zum anderen die in den Kontrollprüfungen gefundene stärkere Zunahme der Viskosität des Bitumens 50/70 des Bindemittelherstellers B im Vergleich zu dem des Herstellers A (siehe Abschnitt 3.2.4) keine generelle Verbesserung der Ermüdungsbeständigkeit der Asphalttragschichtgemische mit dem Bitumen des Bindemittelproduzenten B bewirkte (siehe nächster Abschnitt), wird empfohlen, weitere Untersuchungen zum Einfluss der Bindemittelviskosität durchzuführen.

Einfluss des Bindemittelherstellers

Abbildung 4.11 sind die Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichtgemische mit feiner Korngrößenverteilung, Straßenbaubitumen 50/70 bei Variation des Bindemittelherstellers für die Bindemittelgehalte 3,5 M.-%, 4,5 M.-% und 5,5 M.-% zu entnehmen.

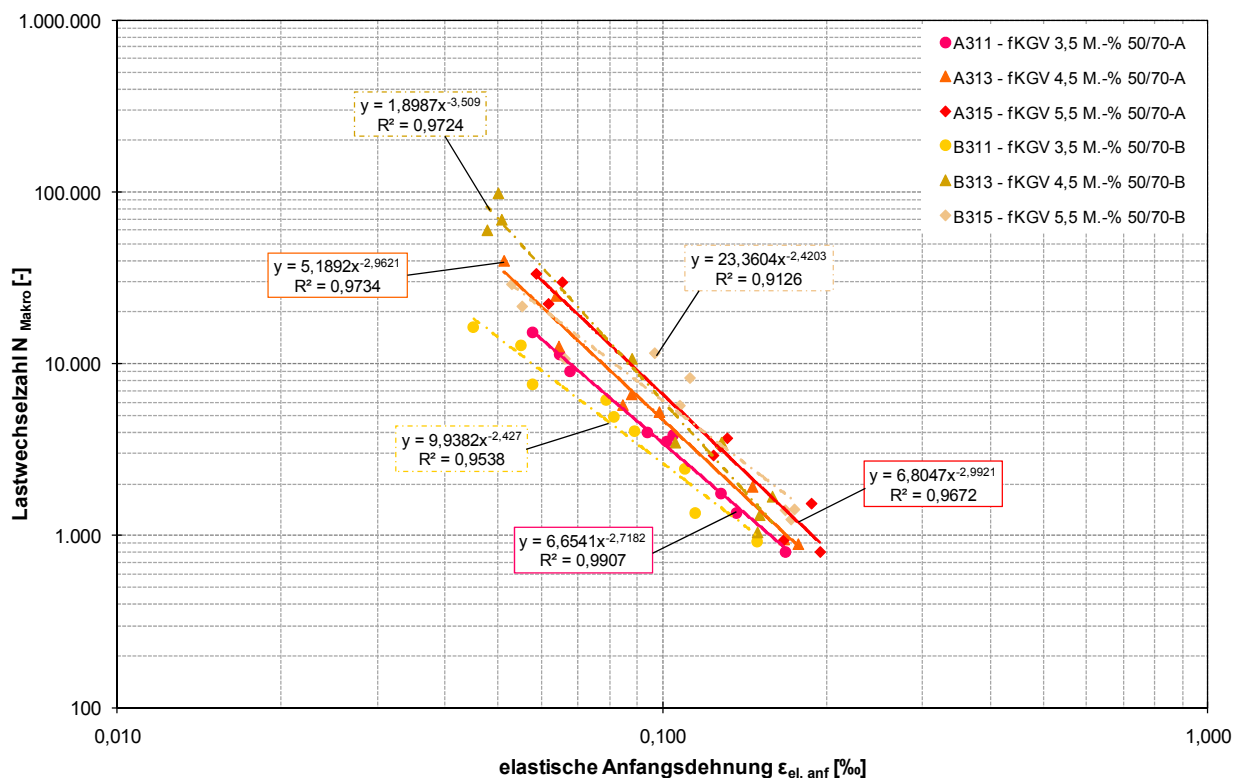


Abbildung 4.11: Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichtgemische mit feiner Korngrößenverteilung und Bitumen 50/70, den Bindemittelgehalten von 3,5 M.-%, 4,5 M.-% und 5,5 M.-% bei Variation des Bindemittelherstellers, bei 20 °C und 10 Hz

Aus Abbildung 4.11 geht hervor, dass bei einem Bindemittelgehalt von 3,5 M.-% das Asphalttragschichtgemisch mit dem Bindemittel des Herstellers A mehr Lastwechsel bei gleichen elastischen Anfangsdehnungen erträgt als die Asphalttragschichtmischgutvariante mit dem Bindemittel des Herstellers B. Die Ermüdungsfunktionen der As-

phaltragschichtgemische mit einem Bindemittelgehalt von 4,5 M.-% schneiden sich bei einer elastischen Anfangsdehnung von ca. 0,15 ‰. Damit werden in einem Dehnungsbereich $< 0,15 \text{ ‰}$ für den Asphalt mit dem Bindemittel der Herkunft B größere Lastwechselzahlen N_{Makro} im Vergleich zu A ermittelt. In dem Dehnungsbereich $> 0,15 \text{ ‰}$ erträgt wiederum das Asphalttragschichtgemisch A eine größere Anzahl an Lastwechsel bis zum Bruch. Wie Abbildung 4.11 weiterhin zeigt, weist die Ermüdungsfunktion der Asphalttragschichtmischgutvariante mit 5,5 M.-% Bitumen 50/70 des Herstellers A einen stärkeren Anstieg auf als die der Variante mit dem Bitumen des Herstellers B. Bis zu einem Dehnungsbereich von ca. $< 0,11 \text{ ‰}$ werden somit für das Asphalttragschichtgemisch A größere zulässige Lastwechselzahlen berechnet, für elastische Anfangsdehnungen von $> 0,11 \text{ ‰}$ wiederum für das Asphalttragschichtgemisch B.

Anhand dieser Ergebnisse lässt sich zusammenfassen, dass zwar ein Einfluss des Bindemittelherstellers/der Lieferstelle und somit vermutlich auch der Provenienz auf die Ermüdungsbeständigkeit festzustellen ist, dieser Einfluss jedoch keine eindeutige Tendenz aufweist, da bei den drei untersuchten Bindemittelgehalten die Asphalttragschichtgemische mit dem Bindemittel des einen Herstellers nicht generell ermüdungsbeständiger sind als die mit dem Bindemittel des zweiten Herstellers.

4.1.2 Einfluss der Zusammensetzung von Asphalttragschichtgemischen auf deren Steifigkeitsverhalten

Die Tabellen der Anlage A2.2 enthalten die Ergebnisse der Multistage-Versuche bei vier verschiedenen Prüftemperaturen (-10 °C , 0 °C , 10 °C und 20 °C) mit Variation der Prüffrequenz ($0,5 \text{ Hz}$, 1 Hz , 3 Hz und 10 Hz), die Ermittlung der Hauptkurve ($T_0 = 20 \text{ °C}$) sowie die daraus prognostizierten Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktionen für eine Frequenz von 10 Hz für alle Asphalttragschichtmischgutvarianten. Die Ergebnisse sind in Abbildung 4.12 als Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion der untersuchten Asphaltgemische dargestellt.

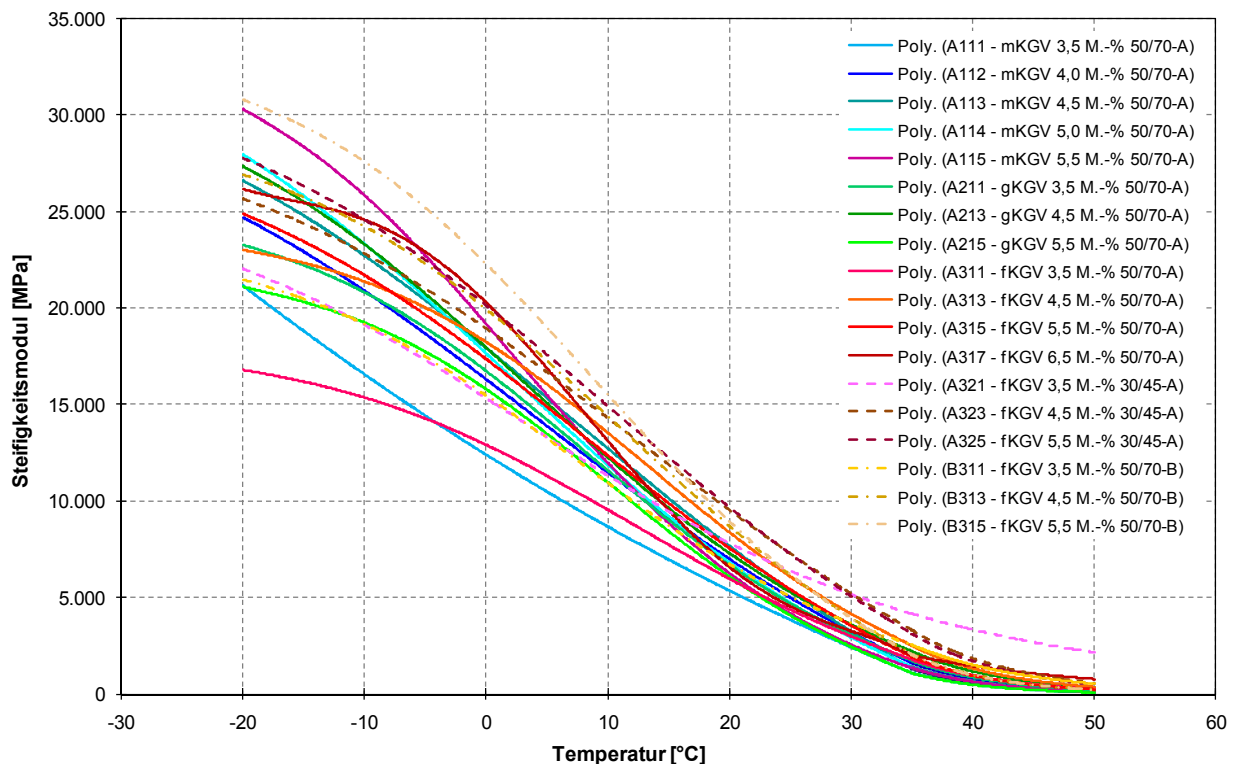


Abbildung 4.12: Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktionen der untersuchten Asphalttragschichtgemische für eine Belastungsfrequenz von $f = 10$ Hz, ermittelt auf der Grundlage der Multistageversuche

Einfluss des Bindemittelgehaltes

In Abbildung 4.13 bis Abbildung 4.15 sind die Steifigkeitsmoduln (für $T = -10$ °C, 0 °C, 10 °C und 20 °C) der Asphalttragschichtgemische mit Straßenbaubitumen 50/70, des Bindemittelherstellers A bei Variation des Bindemittelgehaltes für die Korngrößenverteilungen fein, mittel und grob dargestellt. Abbildung 4.16 und Abbildung 4.17 sind die entsprechenden Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtmischgutvarianten mit dem Bitumen 30/45 des Herstellers A sowie mit dem Bitumen 50/70 des Herstellers B und unterschiedlichen Bindemittelgehalten für die feine Korngrößenverteilung zu entnehmen. Die abgebildeten Steifigkeitsmoduln wurden auf der Grundlage der Hauptkurve ($T_0 = 20$ °C) eines jeden Asphaltgemisches für eine Frequenz von 10 Hz ermittelt.

Aus Abbildung 4.13 bis Abbildung 4.17 ist zu erkennen, dass sich durch Regression der Steifigkeitsmoduln je Korngrößenverteilung, Bindemittelviskosität, Bindemittelhersteller und Temperatur der optimale Bindemittelgehalt jeweils an der Stelle des größten Steifigkeitsmoduls ergibt. In Tabelle 4.1 sind diese ermittelten optimalen Bindemittelgehalte B_{opt} dargestellt. Für die Bitumen 30/45 des Herstellers A und 50/70 des Herstellers B wurden weiterführend die Untersuchungen an Asphalttragschichtgemischen mit

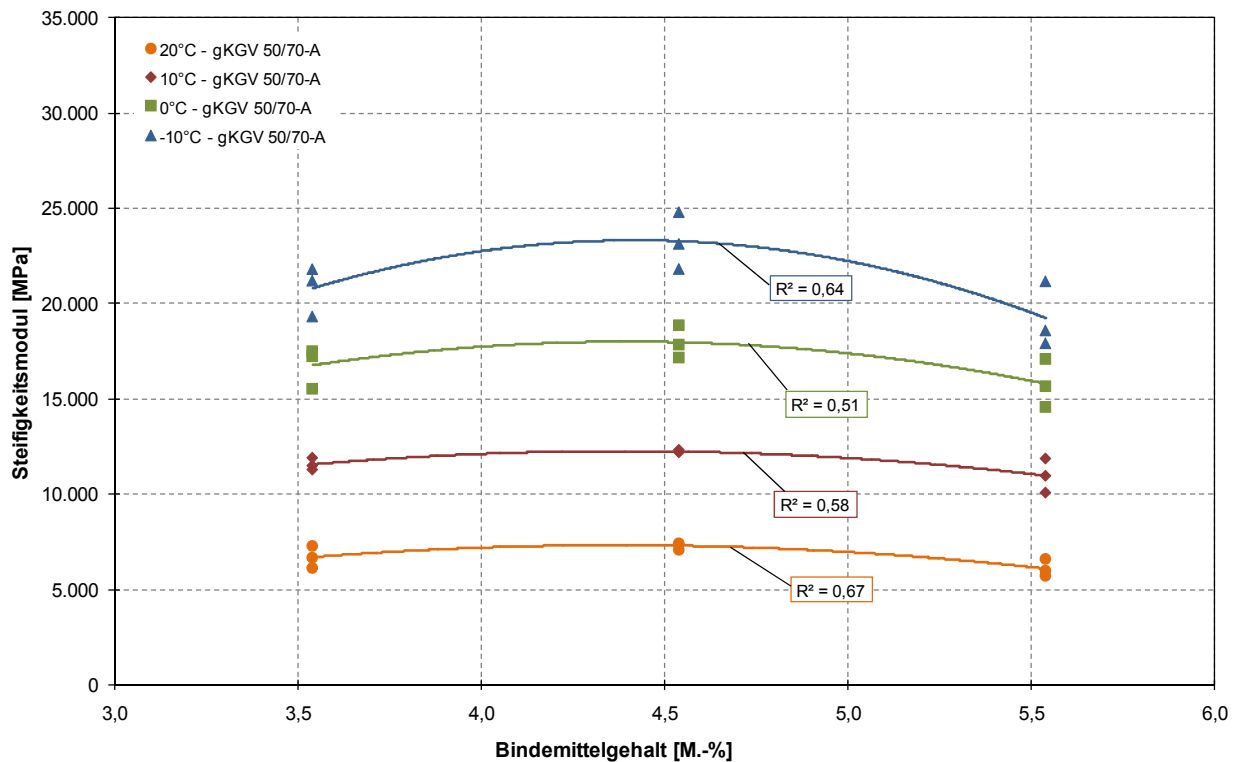


Abbildung 4.13: Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller A, grobe Korngrößenverteilung bei Variation des Bindemittelgehaltes für eine Belastungsfrequenz von $f = 10$ Hz für die Temperaturen von -10 °C, 0 °C, 10 °C, 20 °C

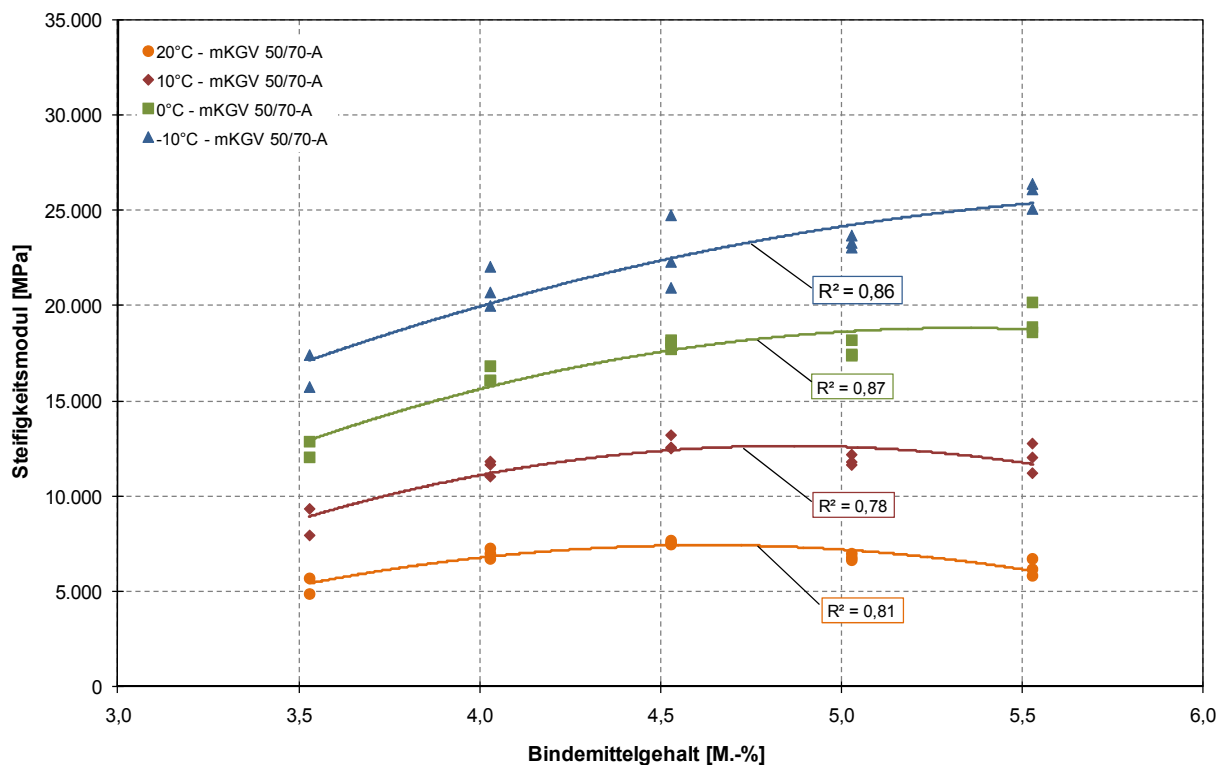


Abbildung 4.14: Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller A, mittlere Korngrößenverteilung bei Variation des Bindemittelgehaltes für eine Belastungsfrequenz von $f = 10$ Hz für die Temperaturen von -10 °C, 0 °C, 10 °C, 20 °C

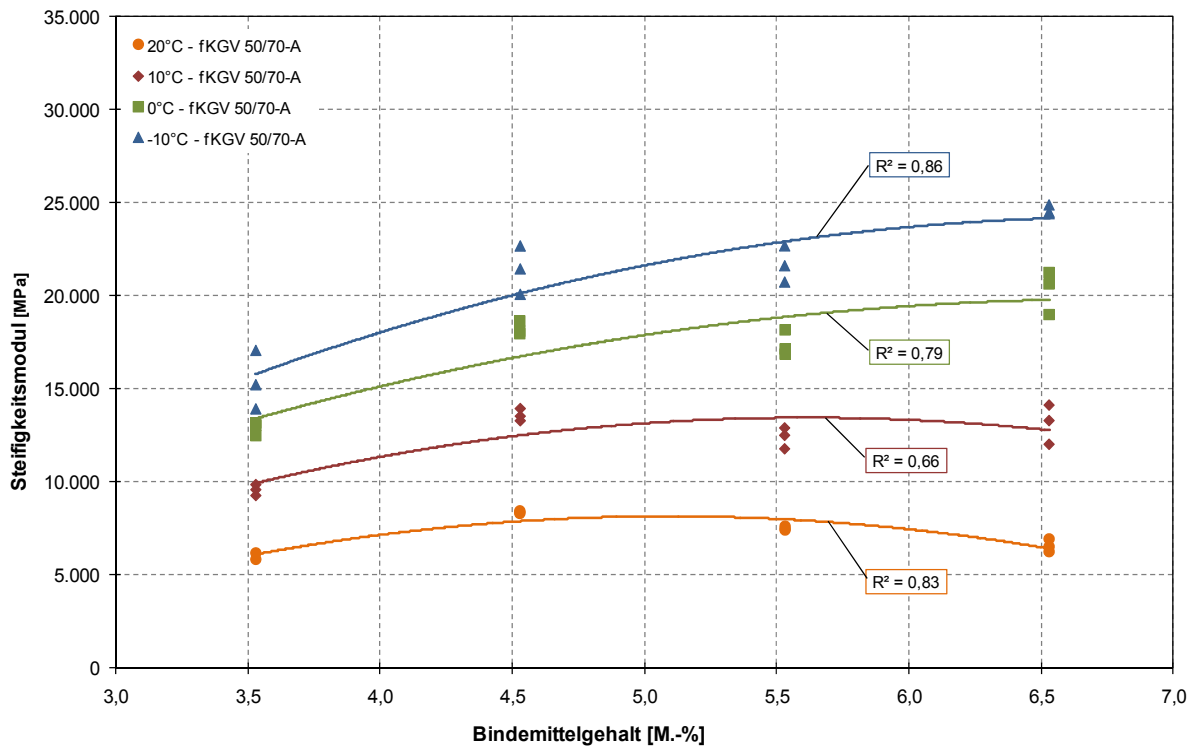


Abbildung 4.15: Steifigkeitsmodul der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller A, feine Korngrößenverteilung bei Variation des Bindemittelgehaltes für eine Belastungsfrequenz von $f = 10$ Hz für die Temperaturen von -10 °C, 0 °C, 10 °C, 20 °C

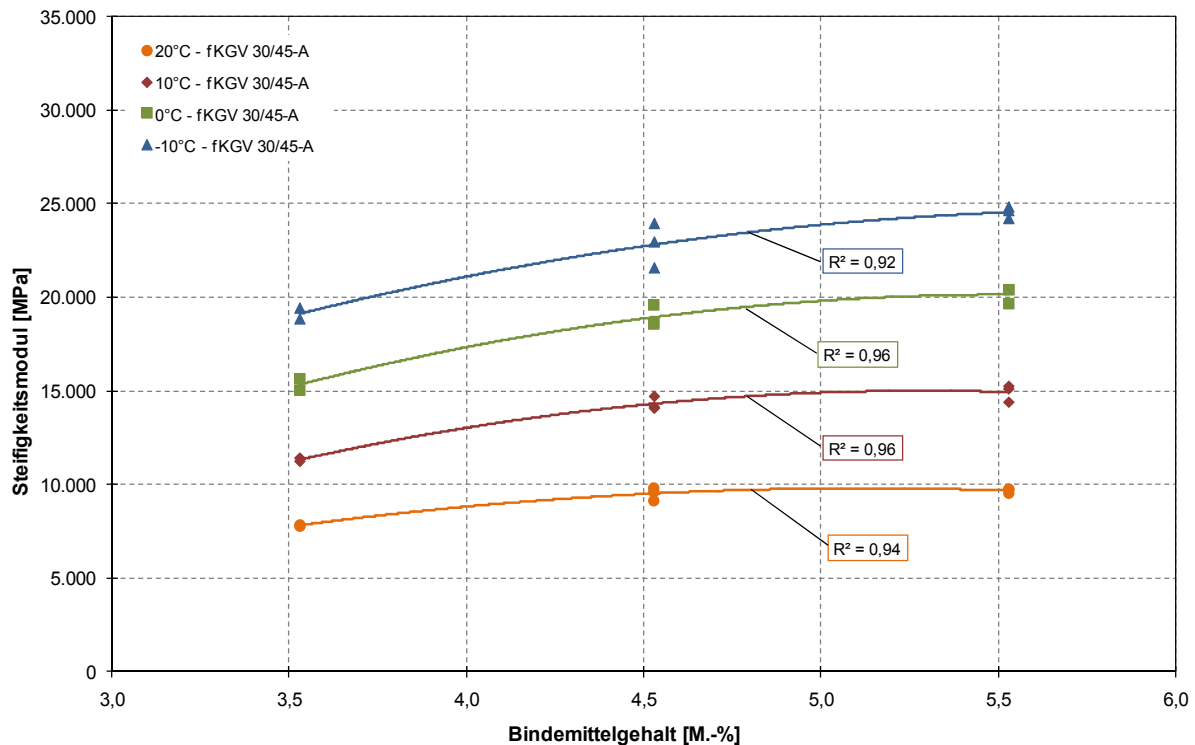


Abbildung 4.16: Steifigkeitsmodul der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 30/45, Bindemittelhersteller A, feine Korngrößenverteilung bei Variation des Bindemittelgehaltes für eine Belastungsfrequenz von $f = 10$ Hz für die Temperaturen von -10 °C, 0 °C, 10 °C, 20 °C

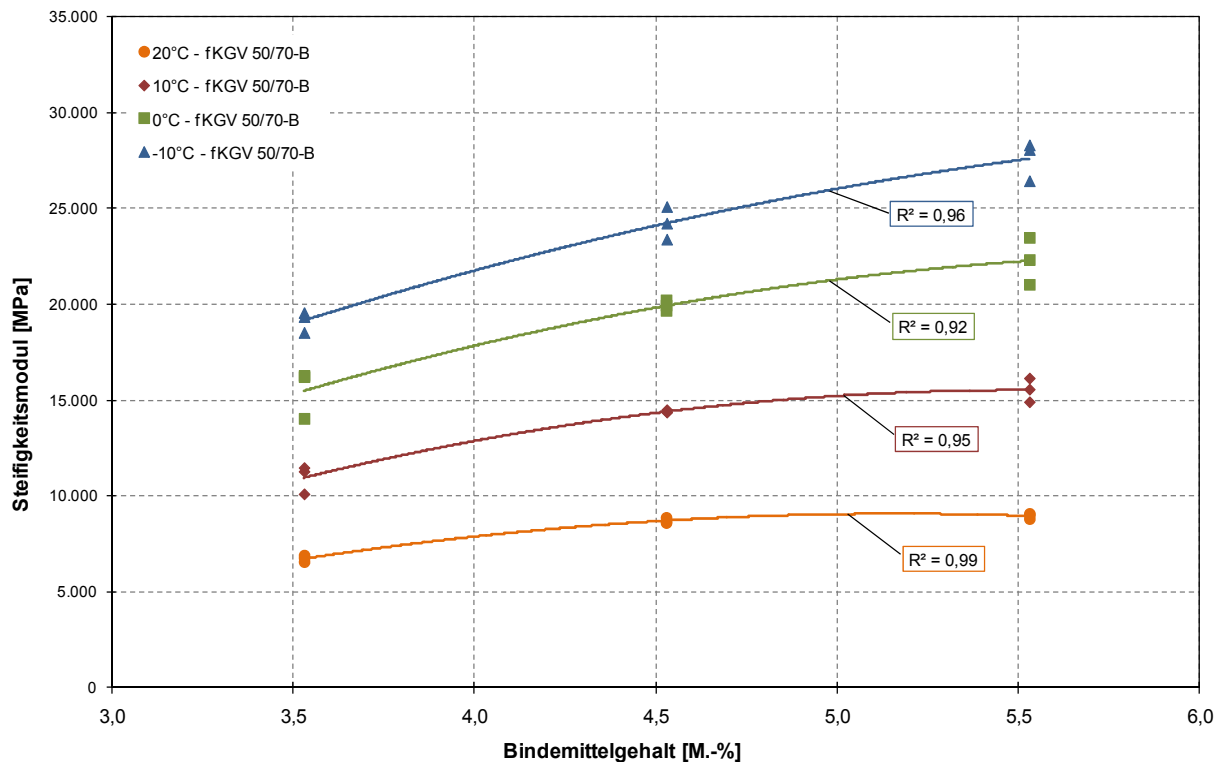


Abbildung 4.17: Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller B, feine Korngrößenverteilung bei Variation des Bindemittelgehaltes für eine Belastungsfrequenz von $f = 10$ Hz für die Temperaturen von -10 °C, 0 °C, 10 °C, 20 °C

der feinen Sieblinie und einem Bindemittelgehalt von 6,5 M.-% durchgeführt [DRAGON 2011]. Die optimalen Bindemittelgehalte aus Tabelle 4.1 konnten für diese beiden Bindemittel mit den von Dragon gefundenen Regressionsgleichungen bestimmt werden.

Aus Tabelle 4.1 wird deutlich, dass der Bindemittelbedarf zur Erlangung des maximalen Steifigkeitsmoduls mit der Zunahme der Feinheit der Gesteinskörnungsgemische steigt. Weiterhin befindet sich der optimale Bindemittelgehalt hinsichtlich der Steifigkeit bei tiefen Temperaturen bei einem höheren Bindemittelgehalt als im Vergleich zu höheren Temperaturen. Eine Ausnahme stellt das hier untersuchte grobe Asphalttragschichtgemisch dar, für welches sich der optimale Bindemittelgehalt bezüglich des Steifigkeitsverhaltens bei allen vier Temperaturen zu ca. 4,4 M.-% ergibt. Die Ergebnisse bestätigen demnach im Wesentlichen die Erkenntnisse von Lipke [LIPKE et. al. 2009], auch wenn in der Arbeit von Lipke das Gesteinskörnungsgemisch hinsichtlich der Gesteinsart variiert wurde.

Tabelle 4.1: Ermittelte optimale Bindemittelgehalte B_{opt} für die Steifigkeitsmoduln in Abhängigkeit von der untersuchten Korngrößenverteilungen, Bindemittelsorten und Temperatur

Korngrößen- verteilung	Bindemittel- sorte	Bindemittel- hersteller	optimaler Bindemittelgehalt B_{opt} [M.-%]			
			-10 °C	0 °C	10 °C	20 °C
grob	50/70	A	4,4	4,4	4,4	4,4
mittel	50/70	A	6,2	5,3	4,8	4,6
fein	50/70	A	6,8	6,8	5,6	5,1
fein	30/45	A	6,4	6,2	5,4	5,0
fein	50/70	B	5,7	5,6	5,0	5,0

Tabelle 4.1 kann weiterhin entnommen werden, dass sowohl die Bindemittelviskosität als auch die Bindemittelprovenienz sowie der Herstellungsprozess (Bindemittelhersteller) den optimalen Bindemittelgehalt hinsichtlich der Steifigkeit beeinflusst. So lässt sich beispielsweise der optimale Bindemittelgehalt für den Steifigkeitsmodul bei einer Temperatur von 0 °C für das Bitumen 50/70 des Herstellers A mittels der Regressionsgleichung bei 6,8 M.-%, für das Bitumen 30/45 des Herstellers A bei 6,2 M.-% und für das Bitumen 50/70 des Herstellers B bei 5,6 M.-% bestimmen.

Anhand dieser Ergebnisse kann zusammengefasst werden, dass der optimale Bindemittelgehalt bezüglich der Steifigkeit von der Zusammensetzung des Gesteinskörnungsgemisches, von der Bindemittelviskosität, und der Temperatur abhängig ist. Die Provenienz sowie die Herstellungsprozedur des jeweiligen Bindemittels aus Erdöl und damit die chemische Zusammensetzung beeinflussen ebenfalls deutlich den optimalen Bindemittelgehalt, was sich in den Unterschieden der Asphalteigenschaften in Abhängigkeit von dem verwendeten Bindemittel (Bindemittelhersteller bzw. Lieferstelle) zeigt. Außerdem wird dabei ebenfalls deutlich, dass die Klassifizierung der Bindemittel auf der Grundlage herkömmlicher Prüfverfahren (hier Erweichungspunkt Ring und Kugel, Nadelpenetration) keine ausreichende Grundlage für die Einschätzung der Auswirkung der Bindemittleigenschaften auf die Asphalteigenschaften darstellt!

Einfluss der Korngrößenverteilung

Abbildung 4.18 bis Abbildung 4.20 sind die Steifigkeitsmoduln (für $T = -10\text{ °C}$, 0 °C , 10 °C und 20 °C) der Asphalttragschichtgemische mit Straßenbaubitumen 50/70 bei Variation der Korngrößenverteilung für die Bindemittelgehalte 3,5 M.-%, 4,5 M.-% und 5,5 M.-% zu entnehmen. Grundlage der abgebildeten Steifigkeitsmoduln für eine Fre-

quenz von 10 Hz ist ebenfalls die Hauptkurve der Asphalttragschichtgemische bei $T_0 = 20\text{ °C}$.

Während der Steifigkeitsmodul mit Zunahme des Feinkornanteils und entsprechender Abnahme des Gehaltes an groben Gesteinskörnungen bei einem Bindemittelgehalt von 3,5 M.-% der Tendenz nach abnimmt (siehe Abbildung 4.18), steigt dieser bei einem Bindemittelgehalt von 4,5 M.-% an (außer bei -10 °C). Jedoch sind die Unterschiede der Steifigkeiten zwischen den Asphalttragschichtgemischen mit unterschiedlicher Korngrößenverteilung bei einem Bindemittelgehalt von 4,5 M.-% vergleichsweise sehr gering ($< 10\%$), wie Abbildung 4.19 zeigt. Betrachtet man die Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtgemische bei einem Bindemittelgehalt von 5,5 M.-% (siehe Abbildung 4.20), so weist das Asphalttragschichtgemisch mit der mittleren Korngrößenverteilung bei den Temperaturen von -10 °C und 0 °C die größten Steifigkeitsmoduln auf.

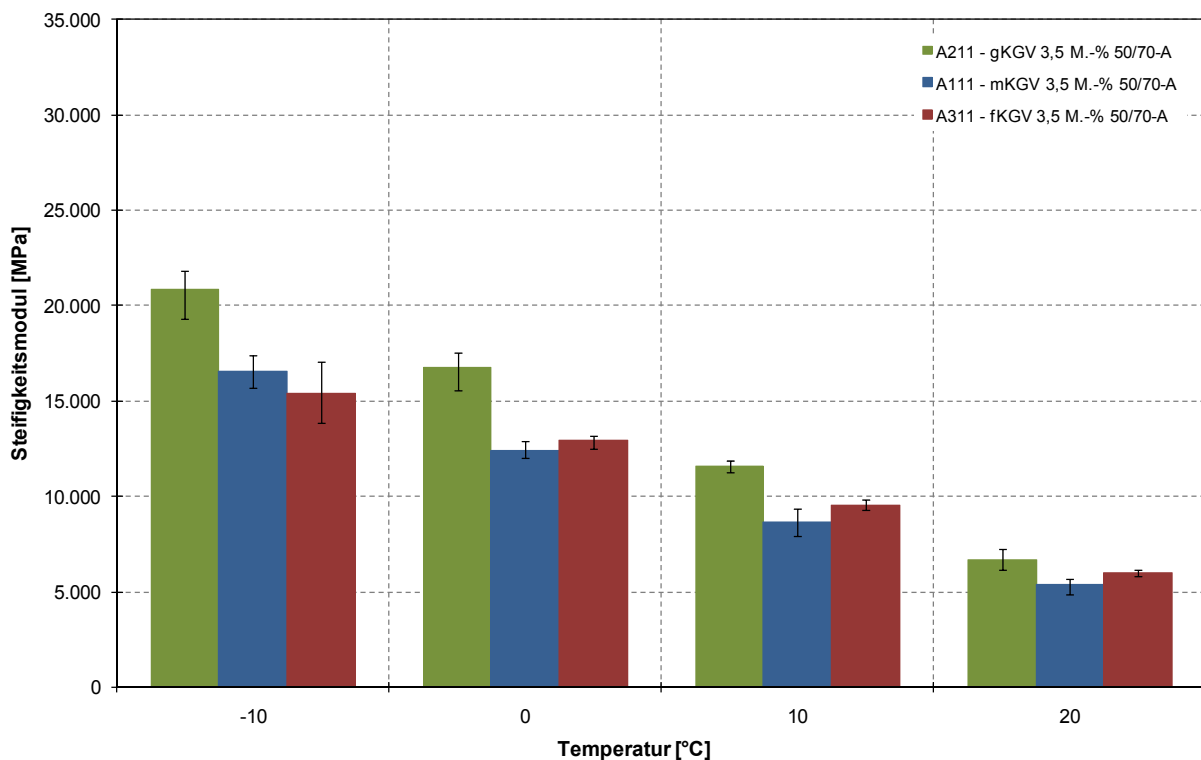


Abbildung 4.18: Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller A, 3,5 M.-% Bindemittelgehalt bei Variation der Korngrößenverteilung für eine Belastungsfrequenz von $f = 10\text{ Hz}$ für die Temperaturen von -10 °C , 0 °C , 10 °C , 20 °C

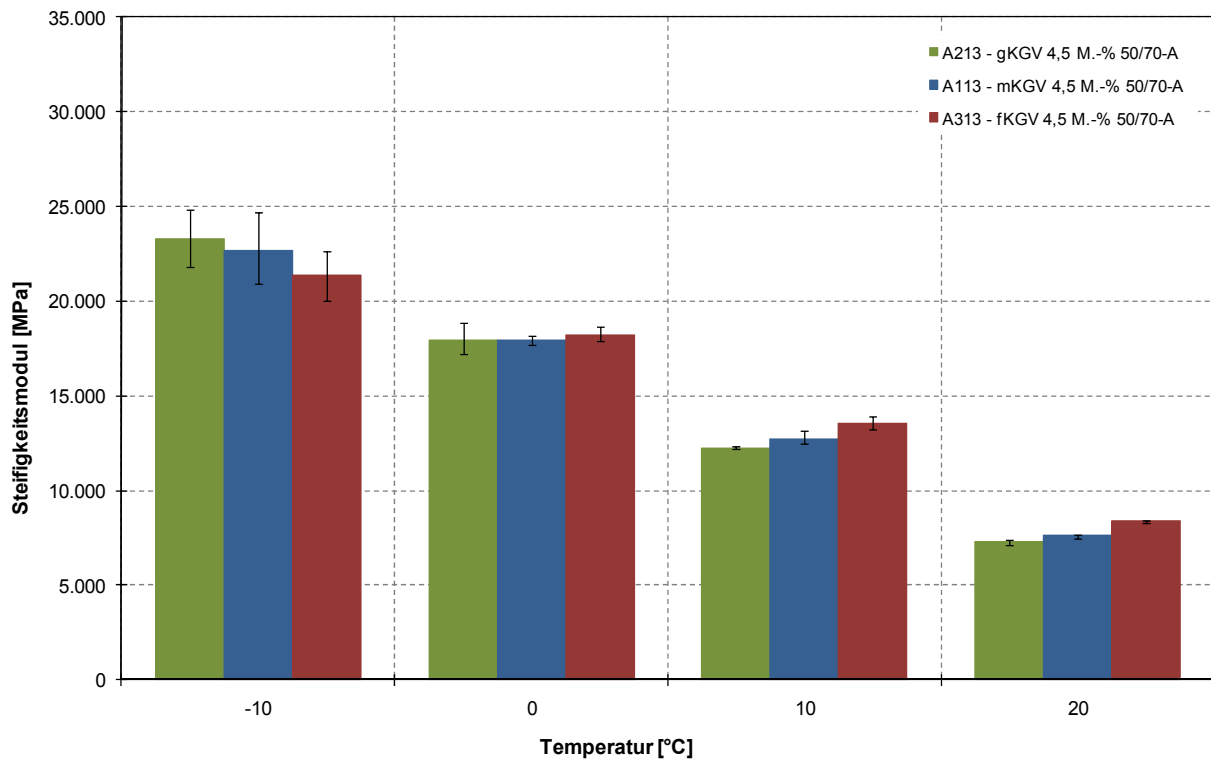


Abbildung 4.19: Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller A, 4,5 M.-% Bindemittelgehalt bei Variation der Korngrößenverteilung für eine Belastungsfrequenz von $f = 10$ Hz für die Temperaturen von -10 °C, 0 °C, 10 °C, 20 °C

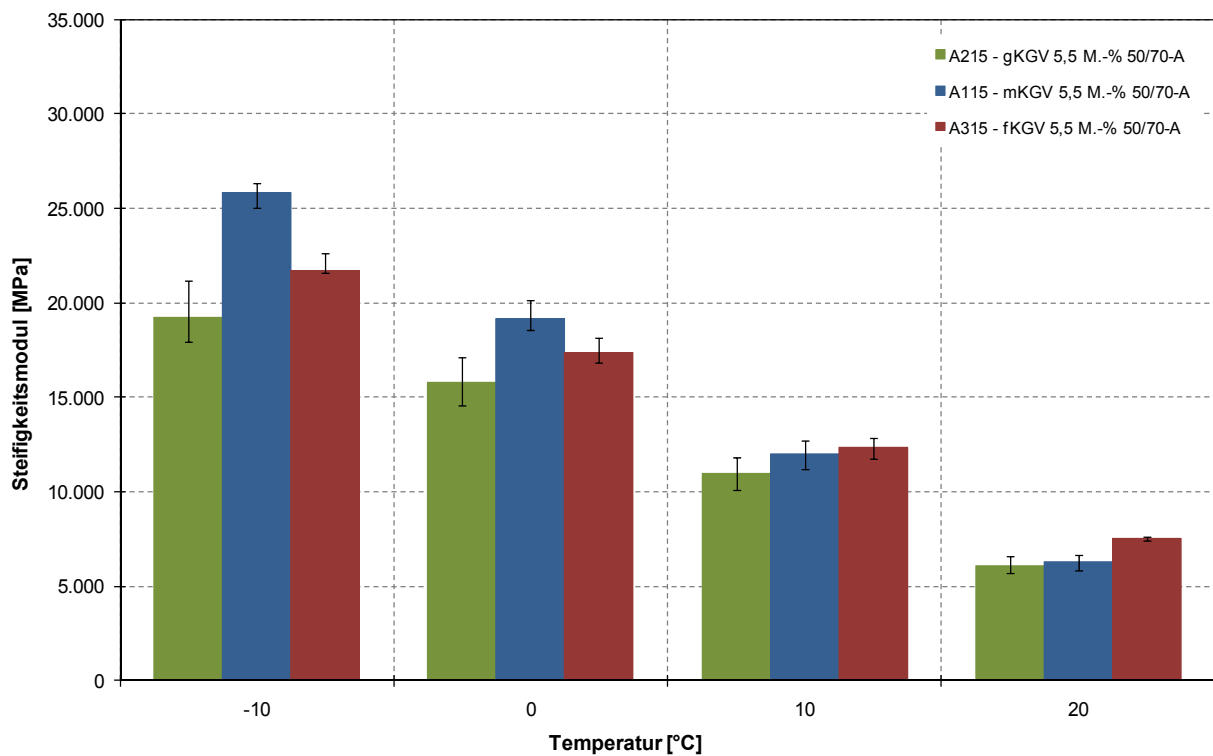


Abbildung 4.20: Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller A, 5,5 M.-% Bindemittelgehalt bei Variation der Korngrößenverteilung für eine Belastungsfrequenz von $f = 10$ Hz für die Temperaturen von -10 °C, 0 °C, 10 °C, 20 °C

Bei der Temperatur von 10 °C sind zwischen den Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtgemische wiederum nur geringfügige Unterschiede festzustellen. Bei einer Temperatur von 20 °C besitzt unterdessen das feine Asphalttragschichtgemisch die höchste Steifigkeit der drei Asphalttragschichtmischgutvarianten.

Ein eindeutiger Zusammenhang hinsichtlich des Einflusses der Korngrößenverteilung der im Rahmen des Forschungsvorhabens untersuchten Asphalttragschichtgemische auf ihr Steifigkeitsverhalten lässt sich somit für den betrachteten Temperaturbereich sowie die betrachtete Frequenz nicht erkennen.

Einfluss der Bindemittelviskosität

In Abbildung 4.21 bis Abbildung 4.23 sind die Steifigkeitsmoduln (für $T = -10\text{ °C}$, 0 °C , 10 °C und 20 °C) der Asphalttragschichtgemische mit Straßenbaubitumen der Herkunft A und feiner Korngrößenverteilung bei Variation der Bindemittelviskosität dargestellt.

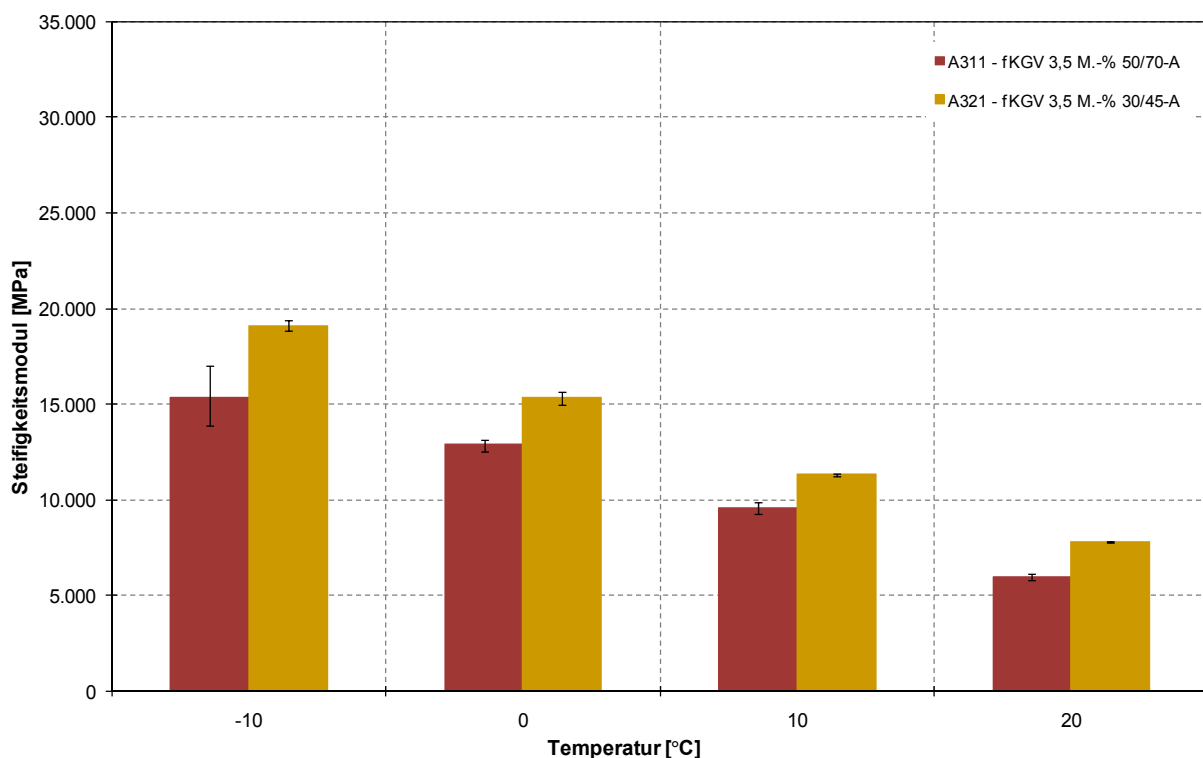


Abbildung 4.21: Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtgemische mit feiner Korngrößenverteilung, 3,5 M.-% Bindemittelgehalt bei Variation der Bindemittelviskosität des Bindemittelherstellers A für eine Belastungsfrequenz von $f = 10\text{ Hz}$ für die Temperaturen von -10 °C , 0 °C , 10 °C , 20 °C

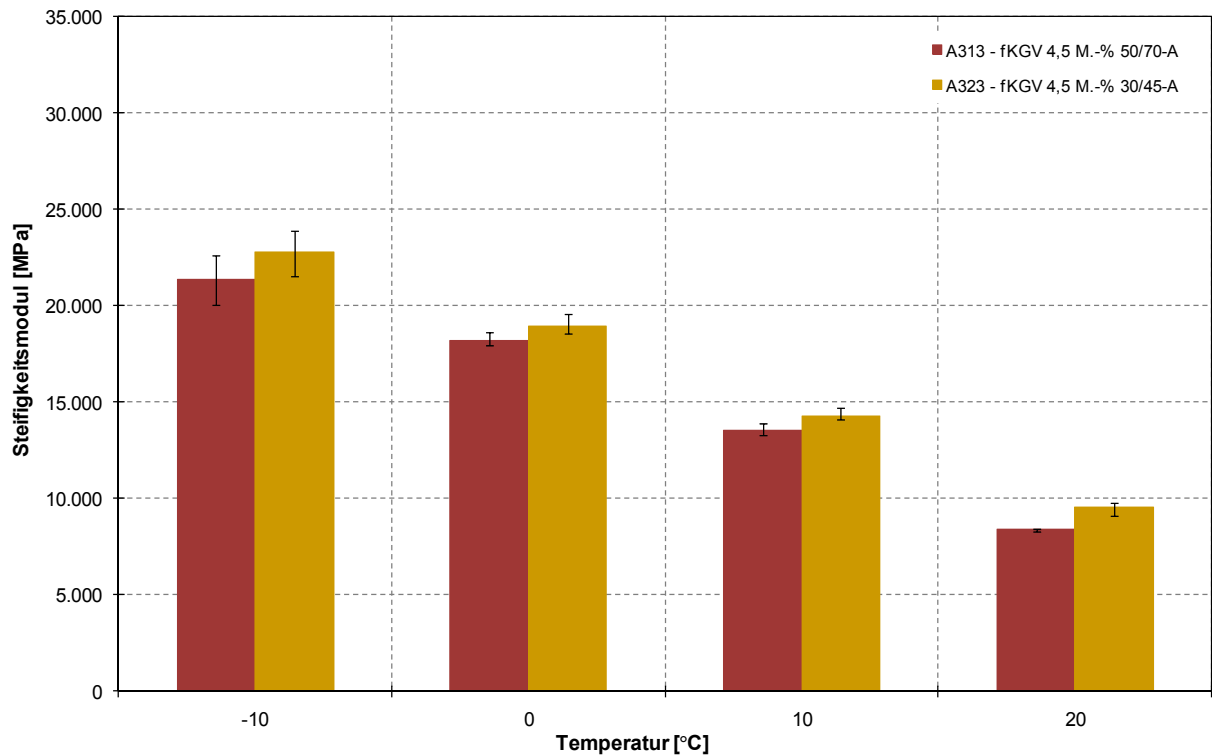


Abbildung 4.22: Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtgemische mit feiner Korngrößenverteilung, 4,5 M.-% Bindemittelgehalt bei Variation der Bindemittelviskosität des Bindemittelherstellers A für eine Belastungsfrequenz von $f = 10$ Hz für die Temperaturen von -10 °C, 0 °C, 10 °C, 20 °C

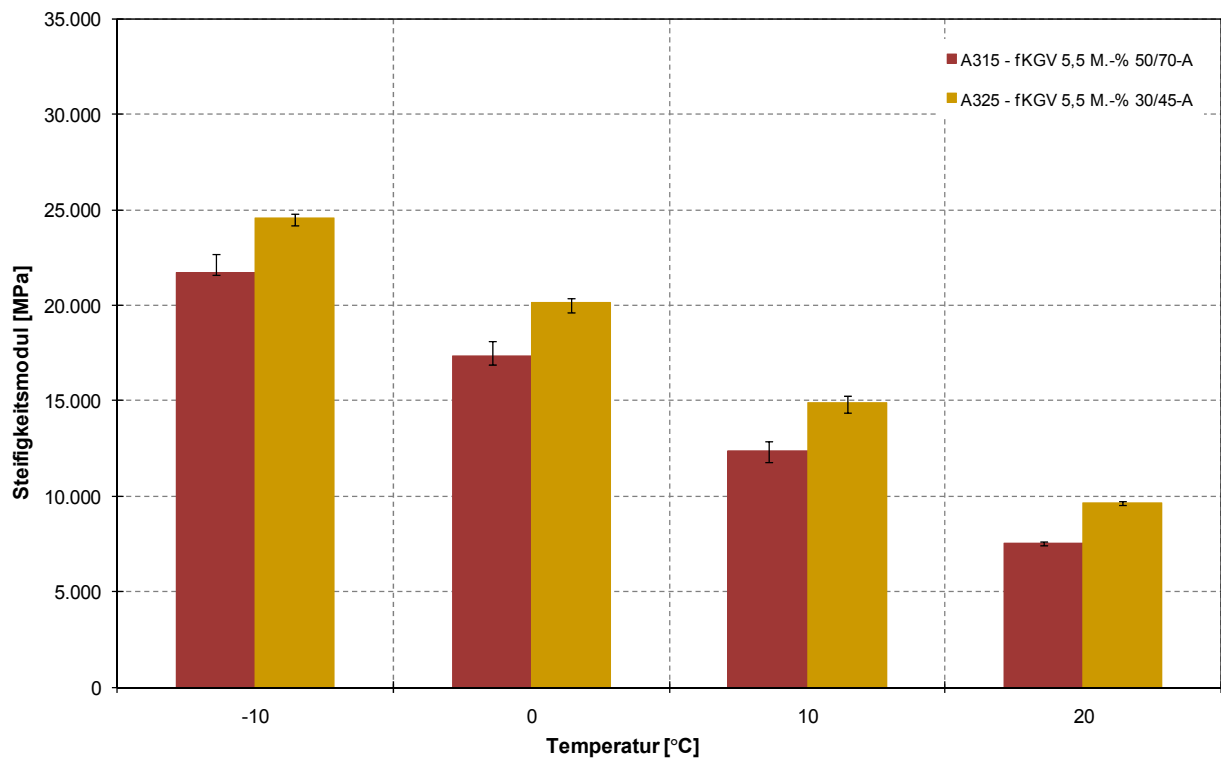


Abbildung 4.23: Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtgemische mit feiner Korngrößenverteilung, 5,5 M.-% Bindemittelgehalt bei Variation der Bindemittelviskosität des Bindemittelherstellers A für eine Belastungsfrequenz von $f = 10$ Hz für die Temperaturen von -10 °C, 0 °C, 10 °C, 20 °C

Im gesamten betrachteten Temperaturbereich weisen alle Asphalttragschichtmischgutvarianten mit dem Bitumen 30/45 höhere Steifigkeitsmoduln auf als die Varianten mit dem Bitumen 50/70. Lediglich bei dem Bindemittelgehalt von 4,5 M.-% sind die Unterschiede der Steifigkeitsmoduln zwischen den Asphaltgemischen mit Bindemitteln unterschiedlicher Viskosität vergleichsweise sehr gering ($< 10 \%$), wie Abbildung 4.22 zeigt (außer bei $20\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Die im Rahmen des Forschungsvorhabens erzielten Ergebnisse bestätigen somit die Beobachtungen von Lipke, dass sich durch die Verwendung eines Bindemittels höherer Viskosität der Steifigkeitsmodul erhöht [LIPKE et. al. 2009].

Einfluss des Bindemittelherstellers

Abbildung 4.24 bis Abbildung 4.26 sind die Steifigkeitsmoduln (für $T = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $20\text{ }^{\circ}\text{C}$) der Asphalttragschichtgemische mit Straßenbaubitumen 50/70 und der feinen Korngrößenverteilung für die Bindemittelgehalte 3,5 M.-%, 4,5 M.-% und 5,5 M.-% bei Variation des Bindemittelherstellers zu entnehmen. Die abgebildeten Steifigkeitsmoduln wurden ebenfalls auf der Grundlage der Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) einer jeden Asphalttragschichtmischgutvariante für eine Frequenz von 10 Hz ermittelt.

Innerhalb des betrachteten Temperaturbereiches besitzen die Asphalttragschichtgemische mit dem Bitumen 50/70 des Herstellers B und den Bindemittelgehalten 3,5 M.-% und 5,5 M.-% höhere Steifigkeitsmoduln als die Asphalttragschichtgemische mit dem Bitumen 50/70 des Herstellers A. Wie Abbildung 4.25 zeigt, sind bei dem Bindemittelgehalt von 4,5 M.-% die Unterschiede der Steifigkeitsmoduln zwischen den Asphalttragschichtgemischen mit Bindemitteln unterschiedlicher Hersteller vergleichsweise sehr gering ($< 10 \%$), außer bei $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Eine mögliche Erklärung für die höheren Steifigkeiten könnte die in Abschnitt 3.2.4 beschriebene verstärkte Alterung des Bitumens des Herstellers B infolge der Probekörperherstellung sein.

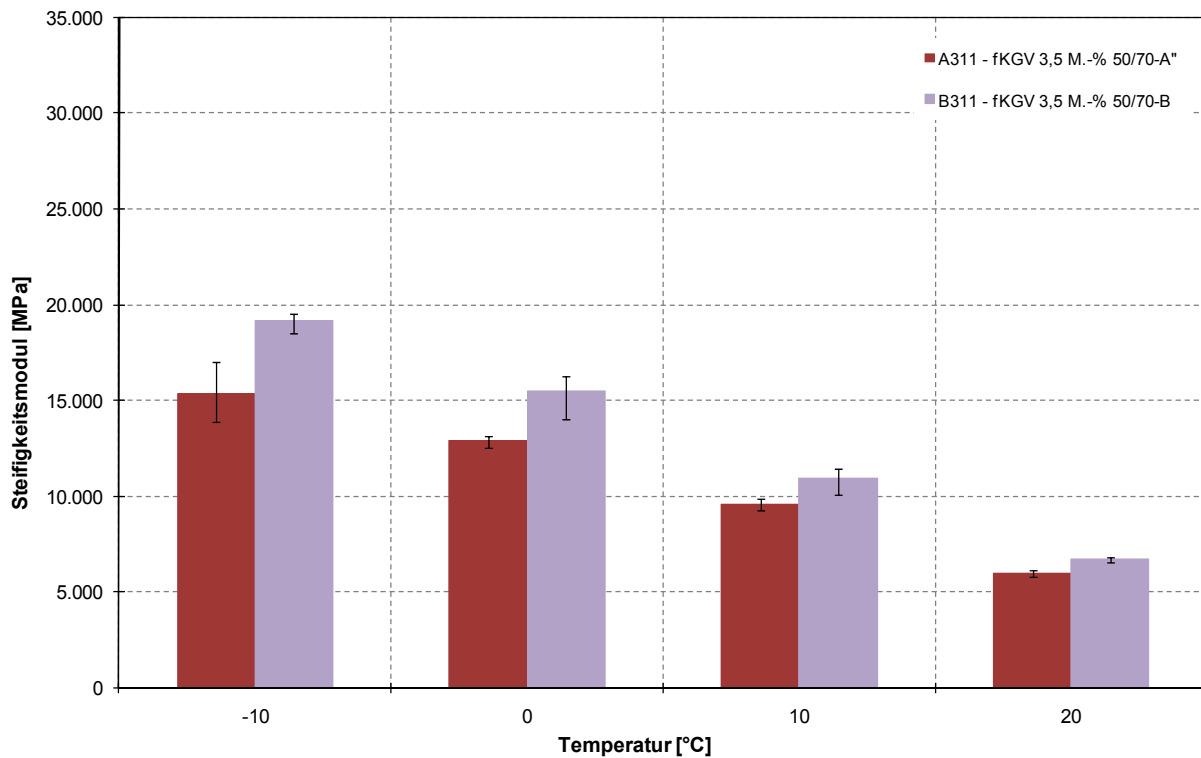


Abbildung 4.24: Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtgemische mit feiner Korngrößenverteilung, Straßenbaubitumen 50/70, 3,5 M.-% Bindemittelgehalt bei Variation des Bindemittelherstellers für eine Belastungsfrequenz von $f = 10$ Hz für die Temperaturen von -10 °C, 0 °C, 10 °C, 20 °C

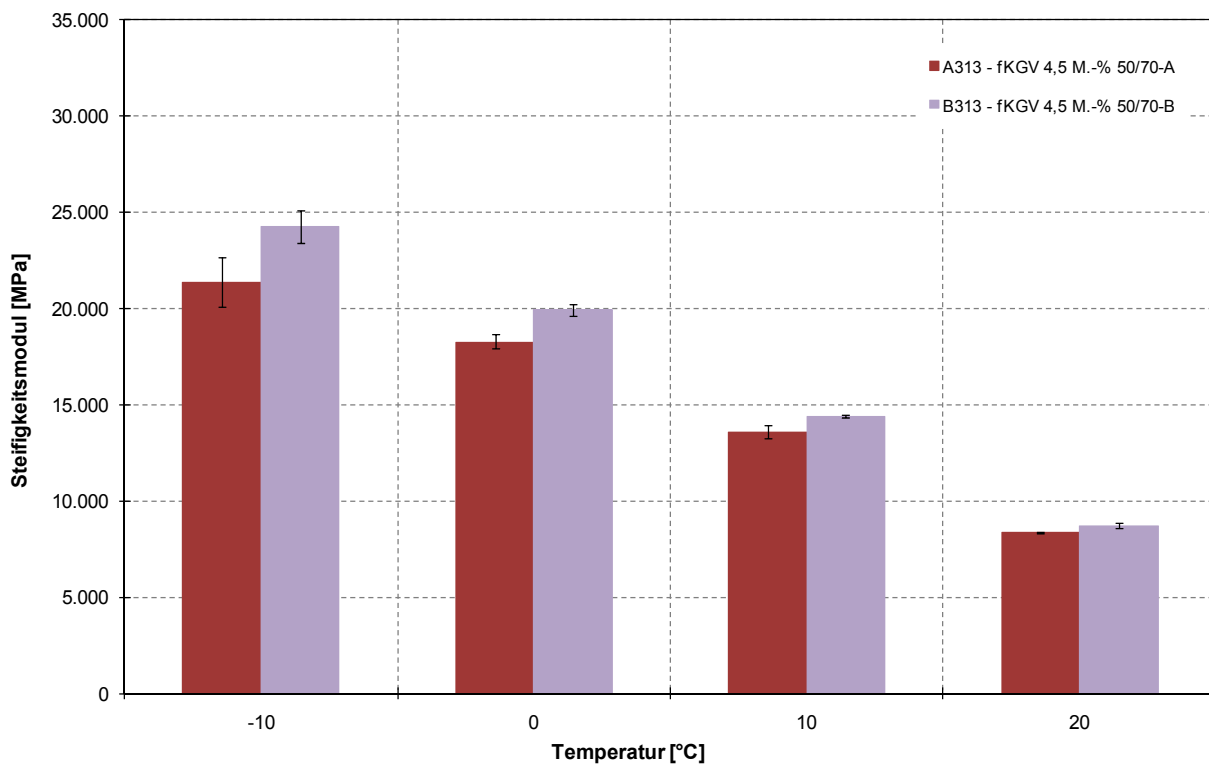


Abbildung 4.25: Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtgemische mit feiner Korngrößenverteilung, Straßenbaubitumen 50/70, 4,5 M.-% Bindemittelgehalt bei Variation des Bindemittelherstellers für eine Belastungsfrequenz von $f = 10$ Hz für die Temperaturen von -10 °C, 0 °C, 10 °C, 20 °C

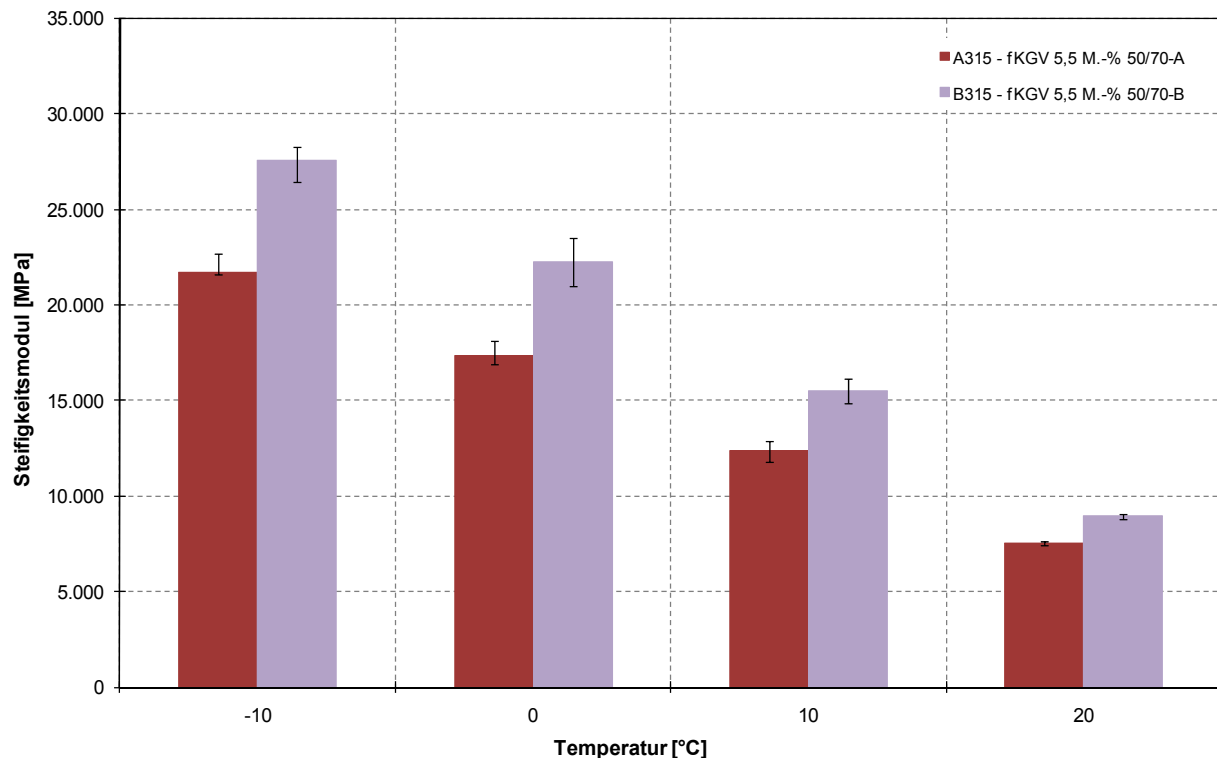


Abbildung 4.26: Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtgemische mit feiner Korngrößenverteilung, Straßenbaubitumen 50/70, 5,5 M.-% Bindemittelgehalt bei Variation des Bindemittelherstellers für eine Belastungsfrequenz von $f = 10$ Hz für die Temperaturen von -10 °C, 0 °C, 10 °C, 20 °C

4.2 Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen

Die Ergebnisse der entsprechend der RDO Asphalt [RDO Asphalt 09] und dem Abschnitt 3.4 durchgeführten Dimensionierungsberechnungen aller untersuchten Asphalttragschichtgemische sind in Abbildung 4.27 und Abbildung 4.28 dargestellt.

Wie diesen Abbildungen entnommen werden kann, wurde für die fiktiven Fahrbahnbefestigungen der Bauklassen SV und III, den angenommenen Verkehrsbelastungen sowie den gewählten klimatischen Bedingungen ein Ermüdungsstatus von ≤ 100 %, lediglich von dem Asphalttragschichtgemisch A325 bei der Bauklasse SV und den Asphalttragschichtgemischen A323 und A325 bei der Bauklasse III ermittelt. Damit würde nur für die Asphaltbefestigungen aus diesen Asphalttragschichtgemischen das Erreichen des vorgegebenen Nutzungszeitraumes von 30 Jahren prognostiziert werden. Erfahrungsgemäß sollten jedoch mehr der untersuchten Asphalttragschichtgemischvarianten bei den angenommenen Verkehrsbelastungen die geplante Nutzungsdauer erzielen können. Die Überprüfung der Kalibrierung des Verfahrens der RDO Asphalt war jedoch

nicht Gegenstand des mit vorliegendem Forschungsbericht abgeschlossenen Vorhabens und wird deshalb auch nicht weiter betrachtet.

Da die untersuchten Asphalttragschichtgemische aber nur untereinander verglichen werden sollen, ist das tatsächliche Ergebnis der Dimensionierungsberechnungen von untergeordneter Bedeutung. Die Darstellung der ermittelten Ermüdungsstatus-Werte in Abhängigkeit von den einzelnen Komponenten der Zusammensetzung erfolgt daher in den nachstehenden Abschnitten relativ. Dabei entspricht der Ermüdungsstatus des Asphalttragschichtgemisches A325 einem Wert von 100 %.

Weiterhin müssten entsprechend den Erkenntnissen von Arand [ARAND et. al. 1996a] erwartungsgemäß bei gleichem Bindemittelgehalt die Asphaltbefestigungen mit den Asphalttragschichtgemischen der groben Korngrößenverteilung jeweils ein ungünstigeres Ermüdungsverhalten, ausgedrückt durch einen hohen Wert des Ermüdungsstatus, aufweisen als Asphalttragschichtgemische mit mittlerer Korngrößenverteilung und diese wiederum als mit feiner Korngrößenverteilung. Dies trifft jedoch nur bei den berech-

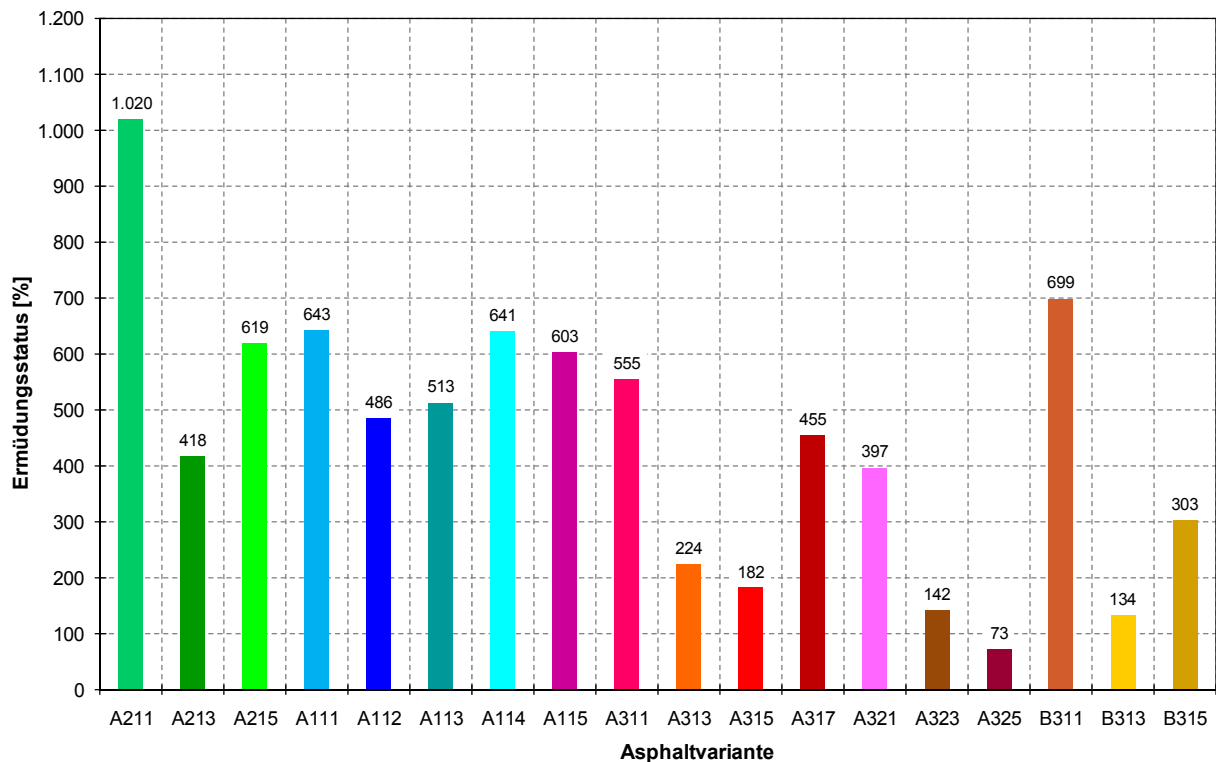


Abbildung 4.27: Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen (Ermüdungsstatus) der untersuchten Asphalttragschichtgemische für den Befestigungsaufbau A

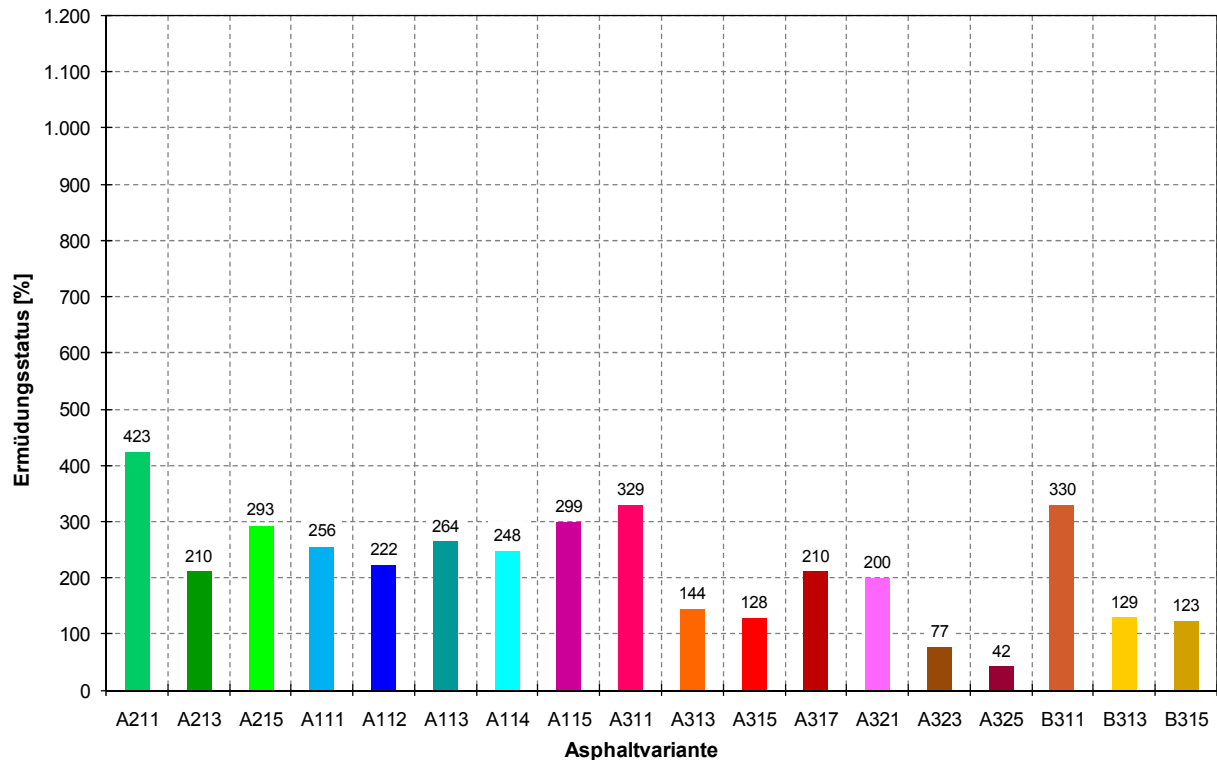


Abbildung 4.28: Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen (Ermüdungsstatus) der untersuchten Asphalttragschichtgemische für den Befestigungsaufbau B

berechneten Ermüdungsstatus-Werten der Bauklasse SV (Abbildung 4.27) bei einem Vergleich der Asphalttragschichtmischgutvarianten A211, A111 und A311 bei einem Bindemittelgehalt von 3,5 M.-% zu. In den anderen Fällen ergaben sich für die mittlere Korngrößenverteilung größere Ermüdungsstatus-Werte als für die grobe und feine Korngrößenverteilung (Bauklasse III und SV, Vergleich bei Bindemittelgehalt 4,5 und 5,5 M.-%). Wegen der auf der Grundlage der Versuche berechneten nicht plausiblen Tendenzen hätten alle 5 Asphalttragschichtmischgutvarianten nochmals untersucht werden müssen. Leider konnten die Untersuchungen an den 5 Asphalttragschichtgemischen der mittleren Korngrößenverteilung nicht wiederholt werden, da hierfür nicht mehr ausreichend Gesteinskörnungsmaterial zur Verfügung stand. In den folgenden Abschnitten müssen daher die Asphalttragschichtgemische der mittleren Korngrößenverteilung von den Betrachtungen ausgeschlossen bleiben.

4.2.1 Einfluss des Bindemittelgehaltes von Asphalttragschichtgemischen auf das Ermüdungsverhalten der Fahrbahnbefestigungen

Abbildung 4.29 und Abbildung 4.30 sind die berechneten Ermüdungsstatus-Werte der fiktiven Asphaltbefestigungen A und B mit den Asphalttragschichtgemischen der groben und feinen Korngrößenverteilung in Abhängigkeit vom Bindemittelgehalt dargestellt.

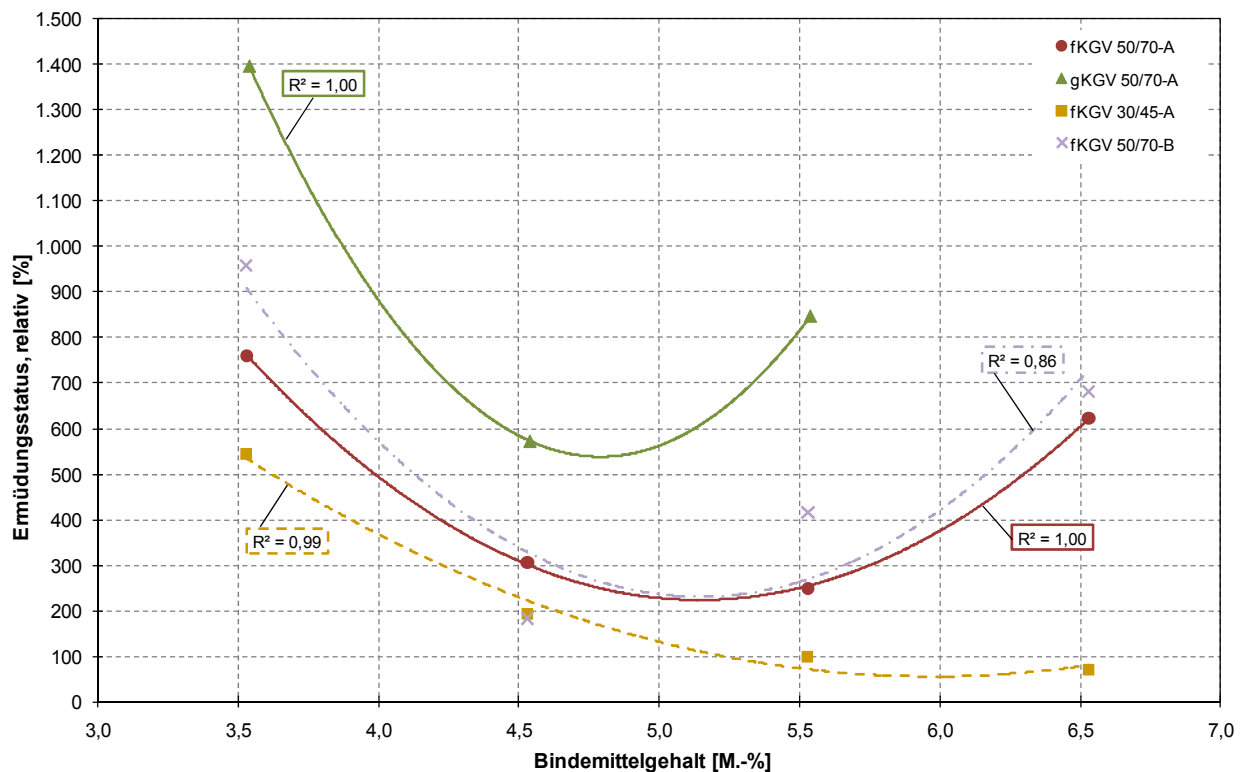


Abbildung 4.29: Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen (Ermüdungsstatus in relativer Darstellung) der Asphalttragschichtgemische für den Befestigungsaufbau A (Bauklasse SV) in Abhängigkeit vom Bindemittelgehalt

Aus Abbildung 4.29 und Abbildung 4.30 ist zu erkennen, dass sich mit steigendem Bindemittelgehalt der Asphalttragschichtgemische das Ermüdungsverhalten der Befestigung zunächst verbessert, was durch eine Abnahme des Ermüdungsstatus-Wertes gekennzeichnet ist. In Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Korngrößenverteilung sowie der Bindemittelsorte ist dies jedoch nur bis zu einem bestimmten (optimalen) Bindemittelgehalt zu beobachten. Mit Hilfe der Bestimmung einer Funktion durch Regression für die berechneten Ermüdungsstatus-Werte der Befestigungen mit den aus den Versuchen bestimmten Materialparametern der verschiedenen Asphalttragschichtgemische je Korngrößenverteilung, Bindemittelviskosität und Bindemittelhersteller lässt sich der optimale Bindemittelgehalt jeweils an der Stelle mit dem niedrigsten

Wert des Ermüdungsstatus bestimmen. Für die Bitumen 30/45 des Herstellers A und 50/70 des Herstellers B erfolgten weitere Untersuchungen an Asphalttragschichtgemischen mit der feinen Sieblinie und einem Bindemittelgehalt von 6,5 M.-% [DRAGON 2011], welche ebenfalls in den Abbildungen aufgeführt sind.

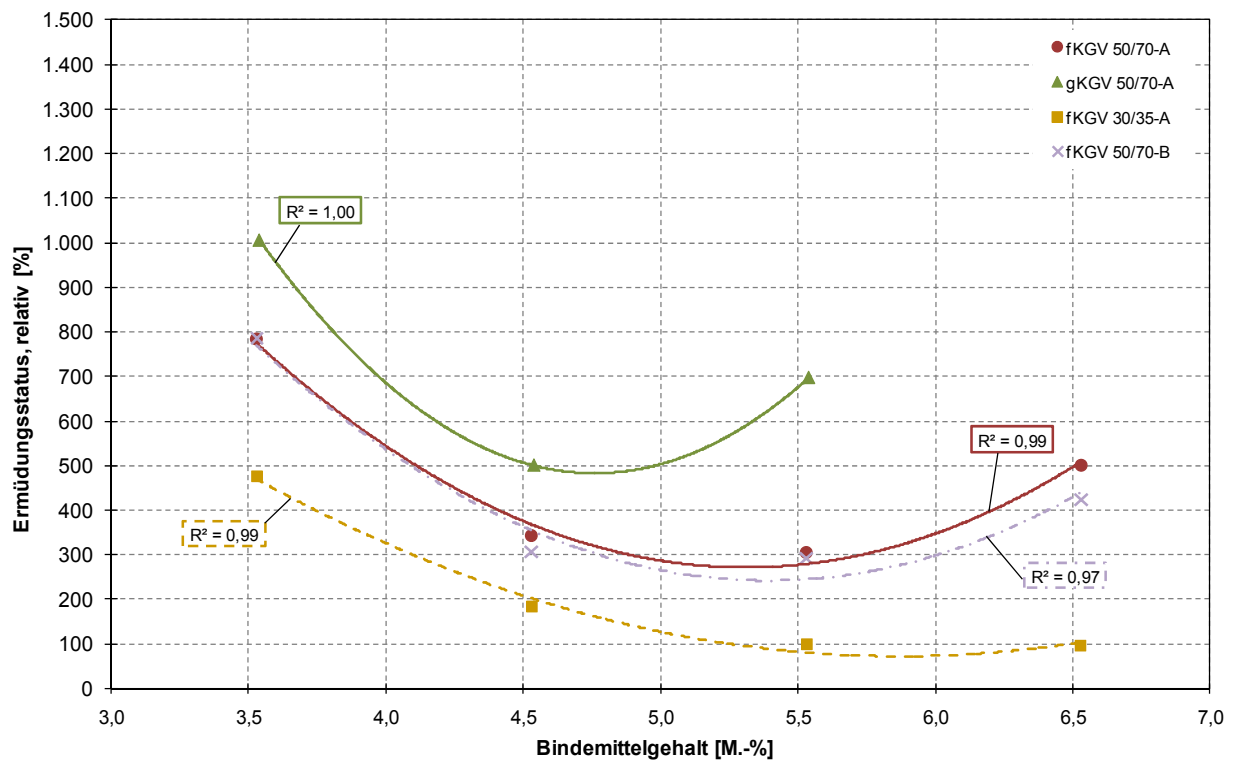


Abbildung 4.30: Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen (Ermüdungsstatus in relativer Darstellung) der Asphalttragschichtgemische für den Befestigungsaufbau B (Bauklasse III) in Abhängigkeit vom Bindemittelgehalt

Tabelle 4.2 zeigt die mittels Regression gefundenen optimalen Bindemittelgehalte B_{opt} für die Fahrbahnbefestigungen A und B. Es wird deutlich, je feiner das Gesteinskörnungsgemisch des Asphalttragschichtgemisches zusammengesetzt ist, umso mehr Bindemittel ist für das optimale Ermüdungsverhalten der Asphaltbefestigung erforderlich. Weiterhin kann Tabelle 4.2 entnommen werden, dass auch die Bindemittelviskosität die Lage des optimalen Bindemittelgehaltes hinsichtlich des Ermüdungsverhaltens beeinflusst. So wurde beispielsweise der optimale Bindemittelgehalt für das Bitumen 50/70 des Herstellers A bei 5,1 bzw. 5,2 M.-%, für das Bitumen 30/45 des Herstellers A jedoch bei 6,0 bzw. 5,8 M.-% ermittelt. Ein Einfluss der Bindemittelprovenienz sowie der Herstellungsprozedur (Bindemittelhersteller) auf die Lage des optimalen Bindemittelgehaltes konnte nicht aufgezeigt werden, obwohl sich die Ermüdungsstatus-Werte der einzelnen Varianten teilweise unterscheiden (siehe Abschnitt 4.2.4), was aber ggf. auf Materialinhomogenitäten (siehe Abschnitt 3.2.4) zurückzuführen sein kann.

Anhand der Ergebnisse lässt sich zusammenfassen, dass die Aussage von Lipke bezüglich der Verbesserung des Ermüdungsverhaltens von Asphaltbefestigungen bei Erhöhung des Bindemittelgehaltes des Asphalttragschichtgemisches [Lipke et. al. 2009] nur eingeschränkt bestätigt werden kann. Es existiert ein optimaler Bindemittelgehalt bezüglich des Ermüdungsverhaltens, dessen Lage von der Zusammensetzung des Gesteinskörnungsgemisches des Asphalttragschichtgemisches sowie von der Viskosität des verwendeten Bindemittels abhängig ist.

Tabelle 4.2: Ermittelte optimale Bindemittelgehalte B_{opt} der Asphalttragschichtgemische bzgl. des Ermüdungsverhaltens der fiktiven Asphaltbefestigungen für die untersuchten Korngrößenverteilungen und Bindemittelsorten

Korngrößenverteilung	Bindemittelsorte	Bindemittelhersteller	optimaler Bindemittelgehalt B_{opt} [M.-%]	
			Aufbau A	Aufbau B
Grob	50/70	A	4,8	4,7
Fein	50/70	A	5,1	5,2
Fein	30/45	A	6,0	5,8
Fein	50/70	B	5,2	5,2

4.2.2 Einfluss der Korngrößenverteilung von Asphalttragschichtgemischen auf das Ermüdungsverhalten der Fahrbahnbefestigungen

Abbildung 4.31 und Abbildung 4.32 sind die Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen der Asphaltbefestigungen mit den Asphalttragschichtgemischen mit Straßenbaubitumen 50/70 bei Variation der Korngrößenverteilung für die Bindemittelgehalte 3,5 M.-%, 4,5 M.-% und 5,5 M.-% zu entnehmen.

Es wird deutlich, dass die Asphaltbefestigungen mit den Asphalttragschichtgemischen mit der groben Sieblinie bei den drei untersuchten Bindemittelgehalten jeweils ein ungünstigeres Ermüdungsverhalten aufweisen als die mit der feinen Sieblinie, was sich durch einen größeren Wert des Ermüdungsstatus darstellt. Die von Meissner gefundenen Erkenntnisse hinsichtlich der Verbesserung des Ermüdungsverhaltens durch die Erhöhung des Feinkornanteils [MEISSNER 2007] können somit bestätigt werden.

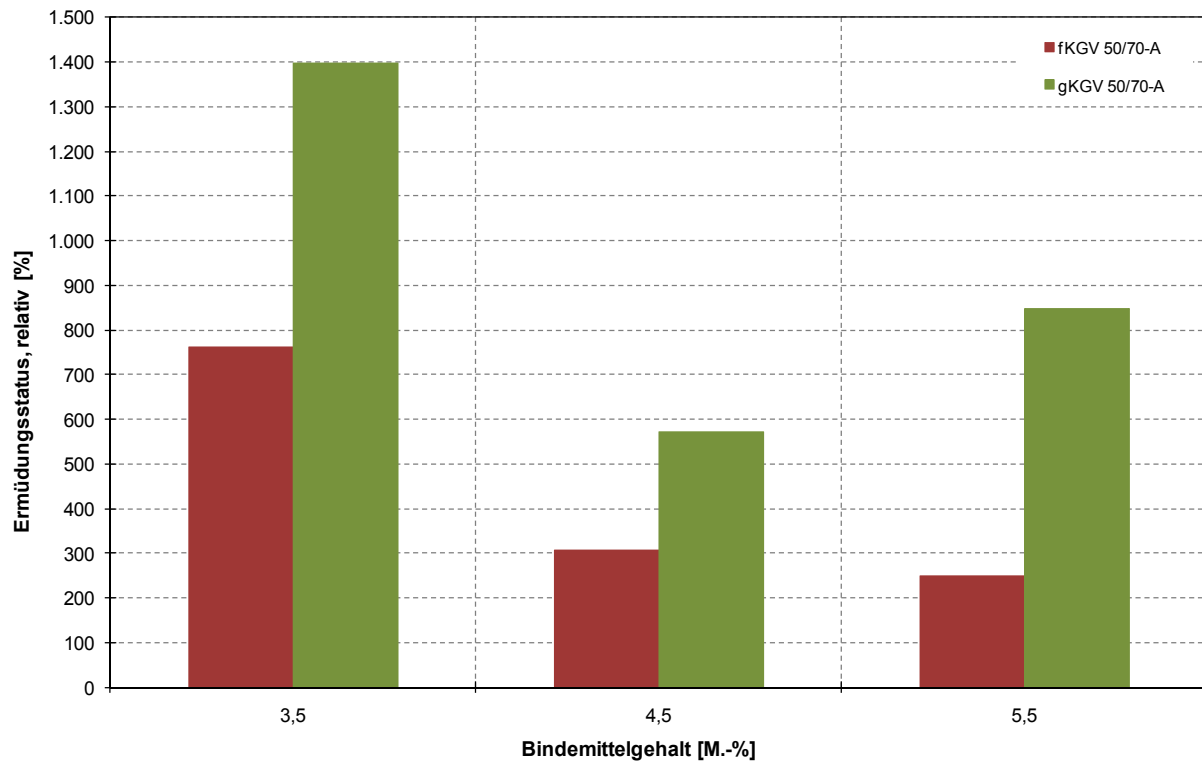


Abbildung 4.31: Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen (Ermüdungsstatus in relativer Darstellung) der Asphalttragschichtgemische mit Straßenbaubitumen 50/70 des Herstellers A für den Befestigungsaufbau A (Bauklasse SV) bei Variation der Korngrößenverteilung

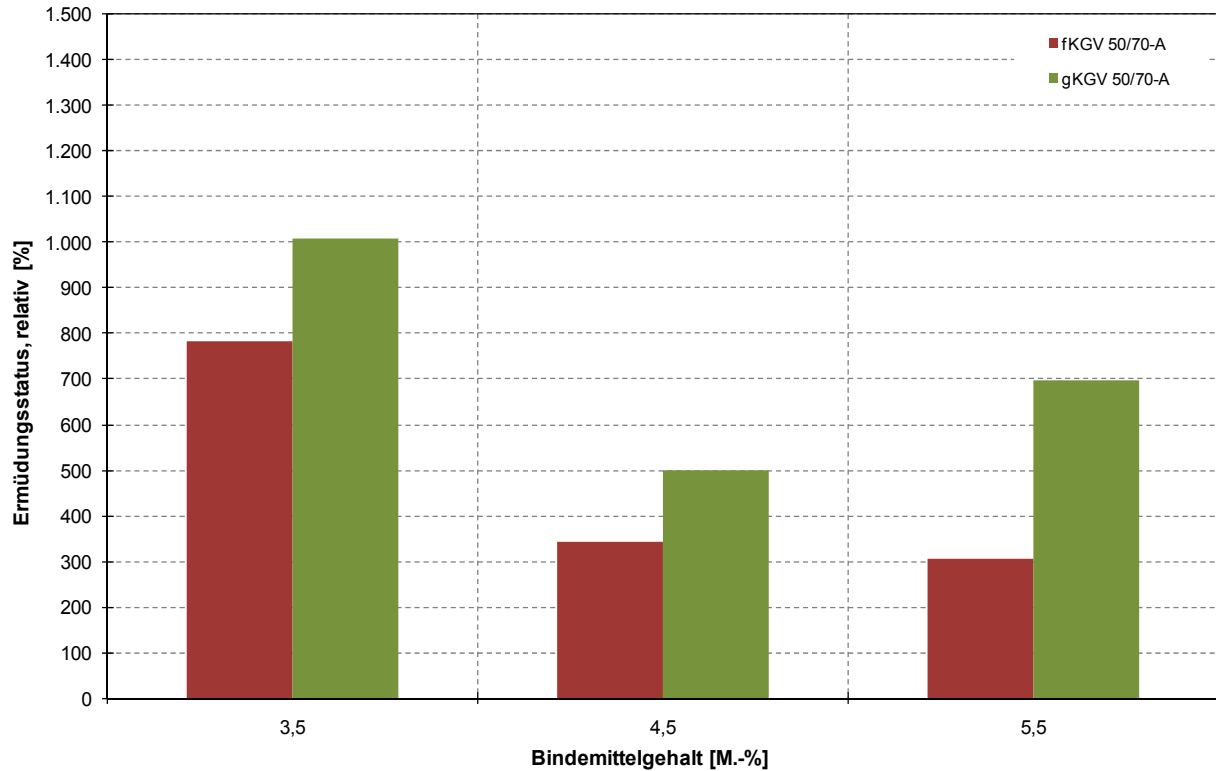


Abbildung 4.32: Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen (Ermüdungsstatus in relativer Darstellung) der Asphalttragschichtgemische mit Straßenbaubitumen 50/70 des Herstellers A für den Befestigungsaufbau B (Bauklasse III) bei Variation der Korngrößenverteilung

4.2.3 Einfluss der Bindemittelviskosität von Asphalttragschichtgemischen auf das Ermüdungsverhalten der Fahrbahnbefestigungen

In Abbildung 4.33 und Abbildung 4.34 sind die ermittelten Ermüdungsstatus-Werte der Asphaltbefestigungen mit den Asphalttragschichtgemischen mit feiner Korngrößenverteilung bei Variation der Bindemittelviskosität für die Bindemittelgehalte 3,5 M.-%, 4,5 M.-% und 5,5 M.-% dargestellt.

Die Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen zeigen, dass für die beiden Fahrbahnbefestigungen aus dem Asphalttragschichtgemischen mit Bindemittel unterschiedlicher Viskosität bei sonst gleicher Zusammensetzung bei den drei untersuchten Bindemittelgehalten für das Asphalttragschichtgemisch mit der höheren Bindemittelviskosität eine längere Nutzungsdauer prognostiziert wurde als für das Asphalttragschichtgemisch mit dem Bindemittel der niedrigeren Viskosität.

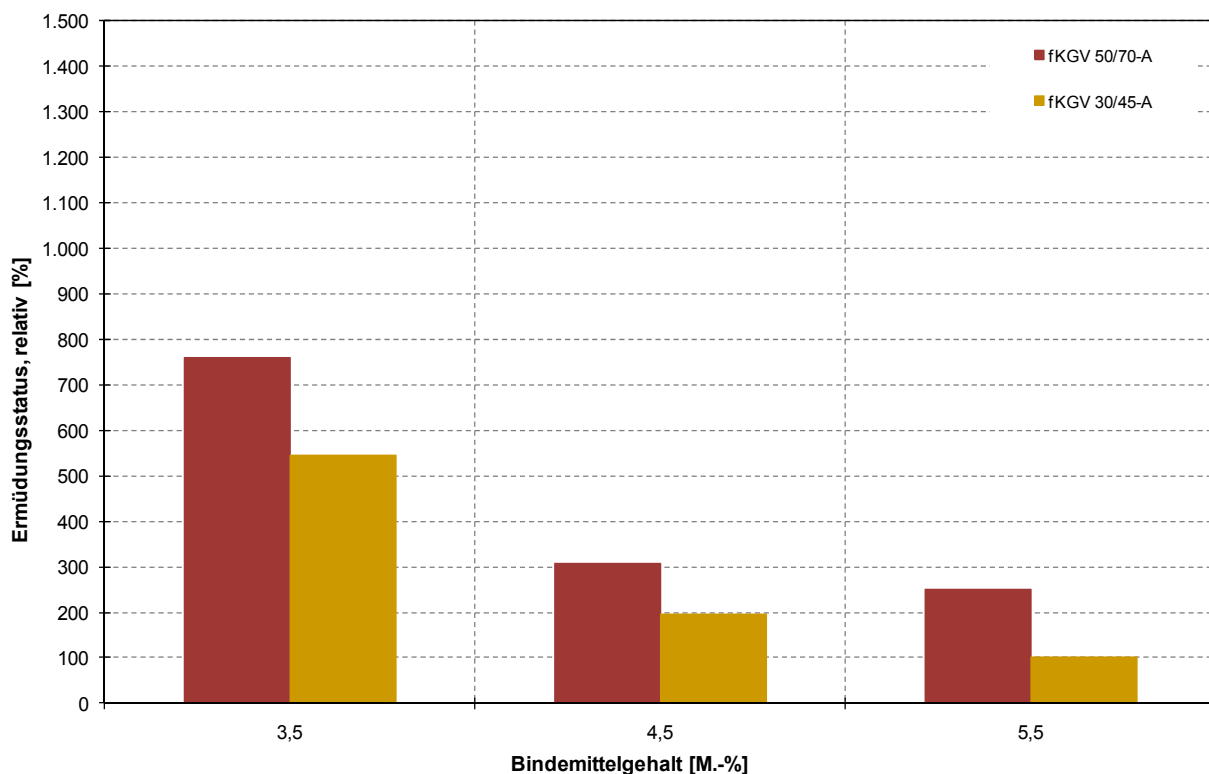


Abbildung 4.33: Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen (Ermüdungsstatus in relativer Darstellung) der Asphalttragschichtgemische mit feiner Korngrößenverteilung und Straßenbaubitumen des Herstellers A für den Befestigungsaufbau A (Bauklasse SV) bei Variation der Bindemittelviskosität

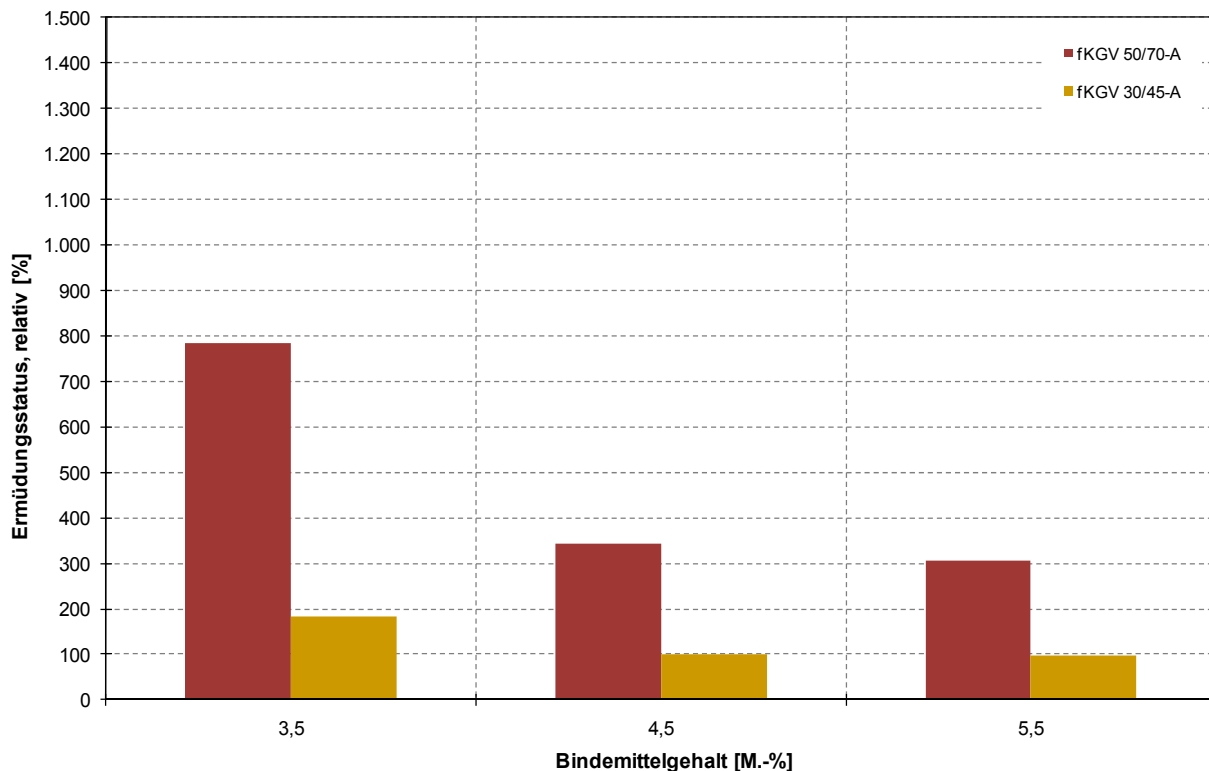


Abbildung 4.34: Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen (Ermüdungsstatus in relativer Darstellung) der Asphalttragschichtgemische mit feiner Korngrößenverteilung und Straßenbaubitumen des Herstellers A für den Befestigungsaufbau B (Bauklasse III) bei Variation der Bindemittelviskosität

Da diese Beobachtungen die Ergebnisse die Erkenntnisse von Heukelom [HEUKELOM 1964] und Lipke [LIPKE et. al. 2009] bekräftigen, kann zusammenfassend geschlussfolgert werden, dass Asphaltbefestigungen aus Asphalttragschichtgemischen mit Straßenbaubitumen höherer Viskosität ein besseres Ermüdungsverhalten aufweisen als aus Asphalttragschichtgemischen mit Bitumen niedriger Viskosität.

4.2.4 Einfluss des Bindemittelherstellers von Asphalttragschichtgemischen auf das Ermüdungsverhalten der Fahrbahnbefestigungen

Abbildung 4.35 und Abbildung 4.36 sind die Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen der Asphaltbefestigungen mit den Asphalttragschichtgemischen mit feiner Korngrößenverteilung und Straßenbaubitumen 50/70 bei Variation des Bindemittelherstellers für die Bindemittelgehalte 3,5 M.-%, 4,5 M.-% und 5,5 M.-% zu entnehmen.

Aus Abbildung 4.35 ist zu erkennen, dass sich für den Fahrbahnbefestigungsaufbau A mit dem Asphalttragschichtgemisch aus dem Bitumen 50/70 des Herstellers B bei den Bindemittelgehalten von 3,5 M.-% und 5,5 M.-% eine geringere Nutzungsdauer ergab

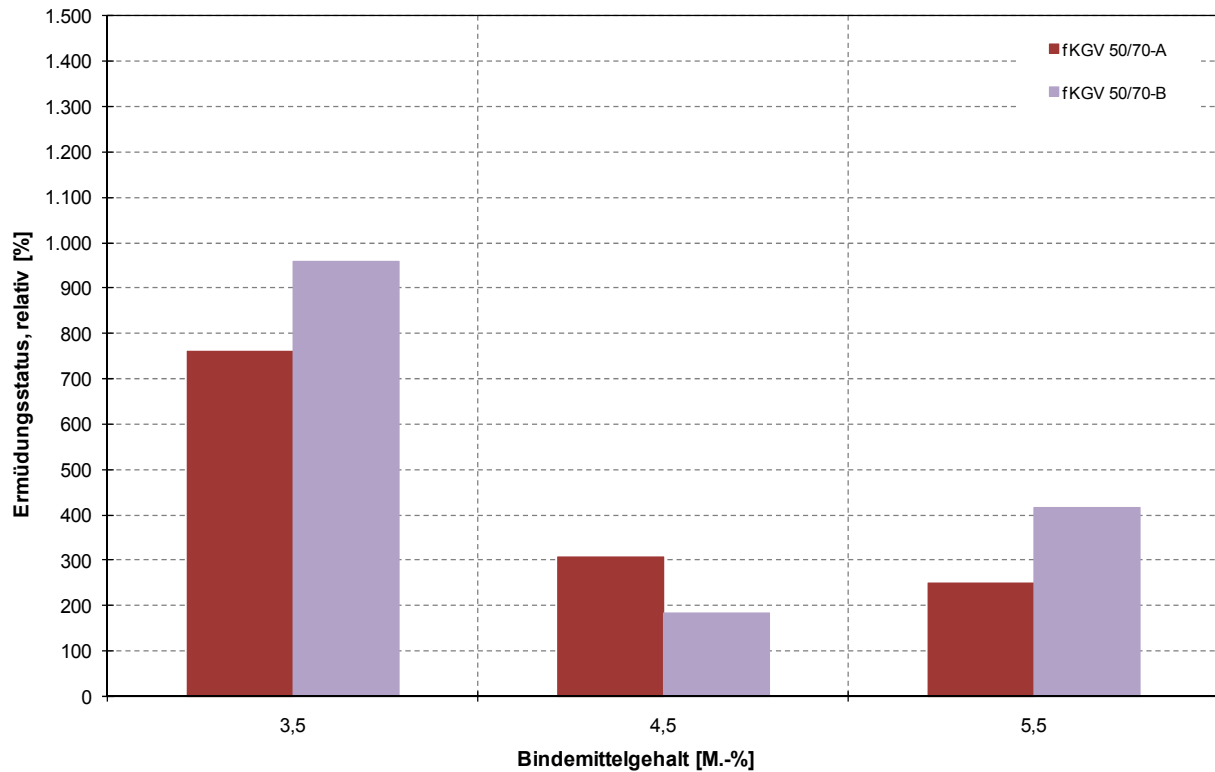


Abbildung 4.35: Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen (Ermüdungsstatus in relativer Darstellung) der Asphalttragschichtgemische mit feiner Korngrößenverteilung und Straßenbaubitumen 50/70 für den Befestigungsaufbau A (Bauklasse SV) bei Variation des Bindemittelherstellers

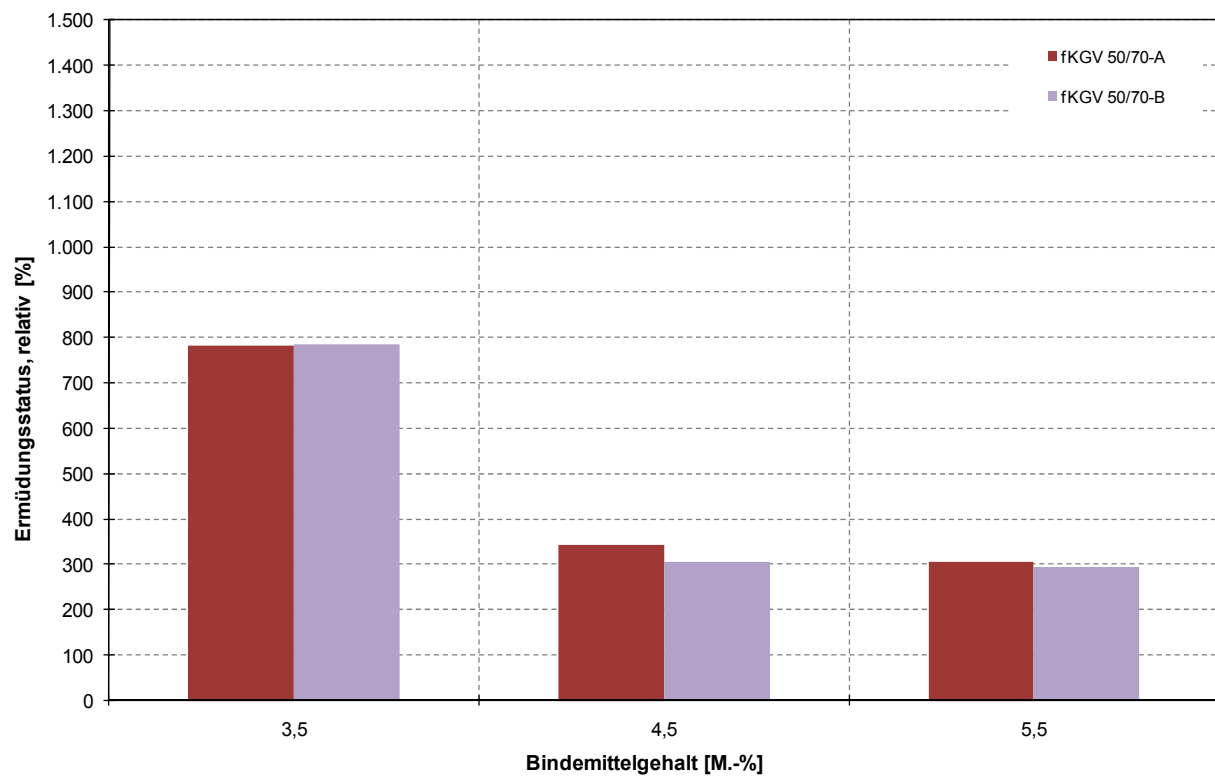


Abbildung 4.36: Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen (Ermüdungsstatus in relativer Darstellung) der Asphalttragschichtgemische mit feiner Korngrößenverteilung und Straßenbaubitumen 50/70 für den Befestigungsaufbau B (Bauklasse III) bei Variation des Bindemittelherstellers

als mit dem Asphalttragschichtgemisch des Herstellers A. Bei einem Bindemittelgehalt von 4,5 M.-% verhält sich dies umgekehrt. Abbildung 4.36 zeigt wiederum, dass sich die ermittelten Ermüdungsstatus-Werte der Fahrbahnbefestigung B aus den Asphalttragschichtgemischen mit Bitumen gleicher Sorte, aber unterschiedlicher Hersteller gar nicht bzw. nur unwesentlich voneinander unterscheiden.

Ein eindeutiger Einfluss der Bindemittelprovenienz sowie Herstellungsprozedur (Bindemittelhersteller) auf das Ermüdungsverhalten der Fahrbahnbefestigungen lässt sich somit für die hier betrachteten Asphalttragschichtgemische nicht erkennen. Die Beobachtungen von Lipke [Lipke et. al. 2009] können demzufolge nur eingeschränkt bestätigt werden. Eine mögliche Erklärung könnte sein, dass entweder beide Bindemittel der unterschiedlichen Hersteller derselben Provenienz und Herstellungsprozedur entstammen oder dass die in Abschnitt 3.2.4 festgestellten Abweichungen in der Zusammensetzung der Asphaltgemische ihre Materialeigenschaften beeinflusst haben und damit auch die berechneten Ermüdungsstatus-Werte der aus ihnen zusammengesetzten Asphaltbefestigungen.

5 Empfehlungen und Ausblick

5.1 Empfehlungen für die Gebrauchseigenschaften von Asphalttragschichtgemischen

Anhand der Untersuchungsergebnisse sollte entsprechend der Zielsetzung des Forschungsvorhabens die Erfahrungssammlung auf dem Weg der fundamentalen Asphaltspezifikation im Rahmen der Europäisierung des Deutschen Normenwerkes unterstützt werden. Da im Rahmen des Forschungsvorhabens zunächst nur das Steifigkeitsverhalten und die Ermüdungsbeständigkeit von Asphalttragschichtgemischen betrachtet wurde, können im Folgenden nur für diese Gebrauchseigenschaften Empfehlungen gegeben werden.

Die bereits im Abschnitt 2.2.4 beschriebenen Überlegungen, dass die Ermüdungsbeständigkeit eines Asphaltgemisches sowohl durch seine Ermüdungsfunktion als auch durch sein Steifigkeitsverhalten bestimmt wird, können anhand der Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen der fiktiven Asphaltbefestigungen mit den untersuchten Asphalttragschichtgemischen bestätigt werden. Dies wird beispielsweise durch den Vergleich der Asphalttragschichtmischgutvarianten A213 mit A215, der Asphalttragschichtmischgutvarianten A313 mit A317 und der Asphalttragschichtmischgutvarianten A311 mit A321 belegt. Abbildung 4.2, Abbildung 4.4 und Abbildung 4.10 zeigen, dass diese jeweiligen Asphalttragschichtgemische eine ähnliche Lage der Ermüdungsfunktion aufweisen, da mit diesen eine nahezu gleich große Anzahl der ertragbaren Lastwechsel bei gleicher Dehnung ermittelt wird. Welches von den miteinander Verglichenen letzten Endes das bessere Ermüdungsverhalten der Asphaltbefestigung bewirkt, wird durch das Steifigkeitsverhalten des Asphalttragschichtgemisches beeinflusst. So besitzt das Asphalttragschichtgemisch A213 bei 10 °C und 20 °C einen höheren Steifigkeitsmodul als das Asphalttragschichtgemisch A215 (siehe Abbildung 4.13) und damit erlangt die Befestigung ein günstigeres Ermüdungsverhalten, wie Abbildung 4.29 und Abbildung 4.30 entnommen werden kann. Weiterhin hat die Asphalttragschichtmischgutvariante A317 bei den o. g. Temperaturen geringere Steifigkeitsmoduln als die Variante A313 (siehe Abbildung 4.15). Bei den Dimensionierungsberechnungen ergaben sich daher für A313 geringere Ermüdungsstatus-Werte als für A317 (siehe Abbildung 4.29 und Abbildung 4.30). Und wie Abbildung 4.33 zeigt, weist die Asphaltbefes-

tigung mit dem Asphalttragschichtgemisch A321 ein besseres Ermüdungsverhalten auf als mit dem A311, weil es höhere Steifigkeitsmoduln besitzt (Abbildung 4.21).

Da höhere Steifigkeitsmoduln kleinere elastische Dehnungen in der Asphaltbefestigung und damit eine Erhöhung der Anzahl der ertragbaren Lastwechsel bei gleicher Belastung bewirken, wird empfohlen, dass Asphaltgemische eine Mindeststeifigkeit aufweisen sollten, um die Größe der Zugdehnungen an der Unterseite der Asphaltbefestigung möglichst zu beschränken. Es könnte auch erforderlich sein in Hinblick auf das Verhalten bei tiefen Temperaturen, die Steifigkeit von Asphaltgemischen durch Höchstwerte zu begrenzen. Ein möglicher Vorschlag wäre, verkehrsbeanspruchungsabhängige (abhängig von der Bauklasse) Bereiche für die Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktionen festzulegen.

Entsprechend der in Abschnitt 2.2.4 beschriebenen und den im Rahmen des Forschungsvorhabens gewonnenen Erkenntnissen sollte nach Auffassung der Bearbeiter des Forschungsvorhabens weiterhin die Einschätzung der Ermüdungsbeständigkeit von Asphaltgemischen ausschließlich anhand der ermittelten elastischen Dehnungen bei einer Lastwechselzahl von 10^6 , wie es gemäß EN 13108-1 vorgesehen ist, nochmals überdacht werden. Ein denkbarer Ansatz wäre hier, ebenfalls verkehrsbeanspruchungsabhängige Bereiche vorzusehen, in welchen die Ermüdungsfunktionen liegen müssen. Weiterhin wäre es auch denkbar, auf die Festlegung von Anforderungen generell zu verzichten, und für die jeweiligen Asphaltgemische anhand der getesteten Eigenschaften Schichtdicken festzulegen, welche mit diesen Asphalten die vorgesehene Nutzungsdauer erreichen bzw. Verkehrsbelastungen ertragen können. Dadurch würde sich die Festlegung von Anforderungen nur noch auf die Nutzungsdauer bzw. die zu ertragende Verkehrsbelastung beschränken.

5.2 Empfehlungen für ein System der Asphaltkonzeption unter Verwendung von gebrauchsverhaltensorientierten Asphaltprüfungen

Ein weiteres Ziel des Forschungsvorhabens war, in Auswertung der Untersuchungsergebnisse, eine Herangehensweise für die Asphaltkonzeption unter Verwendung von GVO-Asphaltprüfverfahren zu formulieren. Auch hier können im Folgenden die Empfehlungen nur bezüglich der im Forschungsvorhaben untersuchten Gebrauchseigenschaften für Asphalttragschichtgemische gegeben werden.

Die einzelnen Arbeitsschritte des empfohlenen Systems der GVO-Asphaltkonzeption von Asphalttragschichtgemischen sind wie folgt:

1.) Festlegung der Korngrößenverteilung des Gesteinskörnungsgemisches:

In einer Vielzahl von Forschungsvorhaben [ARAND et. al. 1996a, MEISSNER 2007] wie auch in diesem Forschungsvorhaben (siehe Abbildung 4.31 und Abbildung 4.32) konnte die Erkenntnis gewonnen werden, dass Asphaltgemische mit einer feinen Korngrößenverteilung des Gesteinskörnungsgemisches, d. h. mit hohem Feinkornanteil, ermüdungsbeständiger sind als Asphaltgemische mit grober Korngrößenverteilung. Aus diesem Grund wird empfohlen, das Gesteinskörnungsgemisch des Asphalttragschichtgemisches so zusammenzusetzen, dass es einen relativ hohen Feinkornanteil besitzt. Die Einbaufähigkeit des Asphaltgemisches sollte bei der Festlegung der Korngrößenverteilung immer beachtet werden.

2.) Herstellung von Asphaltprobemischungen mit verschiedenen Bindemittelgehalten:

Mit der festgelegten Korngrößenverteilung des Gesteinskörnungsgemisches werden Asphalttragschichtgemische mit unterschiedlichen Bindemittelgehalten im Labor gemischt. Für diese Probemischungen wird als Bindemittel ein Straßenbaubitumen 50/70 empfohlen, da dieses nach ZTV Asphalt und TL Asphalt am gebräuchlichsten für Asphalttragschichtgemische der Bauklasse SV, I bis III ist. Aus den Asphaltmischungen werden Probekörper hergestellt, an welchen die volumetrischen Kennwerte Hohlraumgehalt V, Hohlraumausfüllungsgrad HFB und fiktiver Hohlraumgehalt VMA der Asphaltgemische zu bestimmen sind. Dabei sollte der erforderliche Mindestbindemittelgehalt eines Asphaltgemisches nicht nur in Abhängigkeit von der Rohdichte des Gesteinskörnungsgemisches, wie es gemäß TL Asphalt [TL Asphalt-StB 07] vorgesehen ist, sondern auch in Abhängigkeit von der Korngrößenverteilung festgelegt werden, da feine Gesteinskörnungsgemische einen höheren Bindemittelanspruch besitzen als grobe (siehe Abschnitt 3.2.3).

3.) Festlegung der Bindemittelgehalte der Asphaltprobemischungen für die Durchführung der GVO-Prüfverfahren:

In Auswertung der Ergebnisse des Forschungsvorhabens zum Einfluss der Zusammensetzung von Asphalttragschichtgemischen auf das Ermüdungsverhalten von Asphaltbefestigungen wurden neben den in Abschnitt 4.2 gemachten Feststellungen noch die in Abbildung 5.1 und Abbildung 5.2 dargestellten Zusammenhänge beobachtet. In

diesen Abbildungen sind die ermittelten relativen Ermüdungsstatus-Werte der Asphaltbefestigung A mit den untersuchten Asphalttragschichtgemischen in Abhängigkeit von den volumetrischen Kennwerten fiktiver Hohlraumgehalt VMA und Hohlraumausfüllungsgrad HFB zu sehen. Wie deutlich wird, scheint es in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Gesteinskörnungsgemisches des Asphalttragschichtgemisches in Kombination mit dem verwendeten Bindemittel jeweils optimale Bereiche für den Hohlraumausfüllungsgrad hinsichtlich des Ermüdungsverhaltens der Asphaltbefestigung zu geben. Dabei entspricht der geringste berechnete Ermüdungsstatus der feinen Korngrößenverteilung nur etwa der Hälfte des geringsten berechneten Ermüdungsstatus der groben Korngrößenverteilung bei der gleichen Asphaltbefestigung und den gleichen Belastungsbedingungen. Gesteinskörnungsgemische der Asphalttragschichtgemische mit einem geringen fiktiven Hohlraumgehalt begünstigen also das Ermüdungsverhalten von Fahrbahnbefestigungen aus Asphalt, denn durch feine Gesteinskörnungsgemische können geringere Hohlräume im Gesteinskörnungsgemisch erzeugt werden als durch grobe.

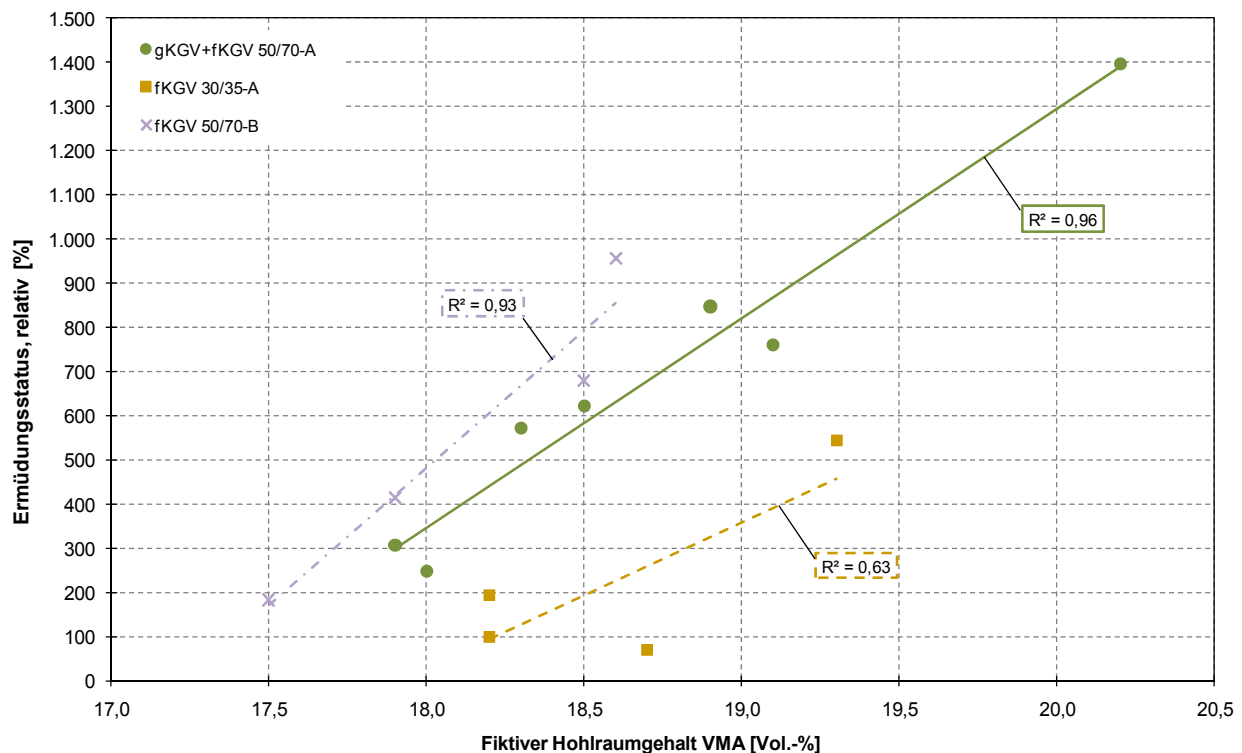


Abbildung 5.1: Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen (Ermüdungsstatus in relativer Darstellung) der Asphalttragschichtgemische für den Befestigungsaufbau A (Bauklasse SV) in Abhängigkeit vom fiktiven Hohlraumgehalt VMA

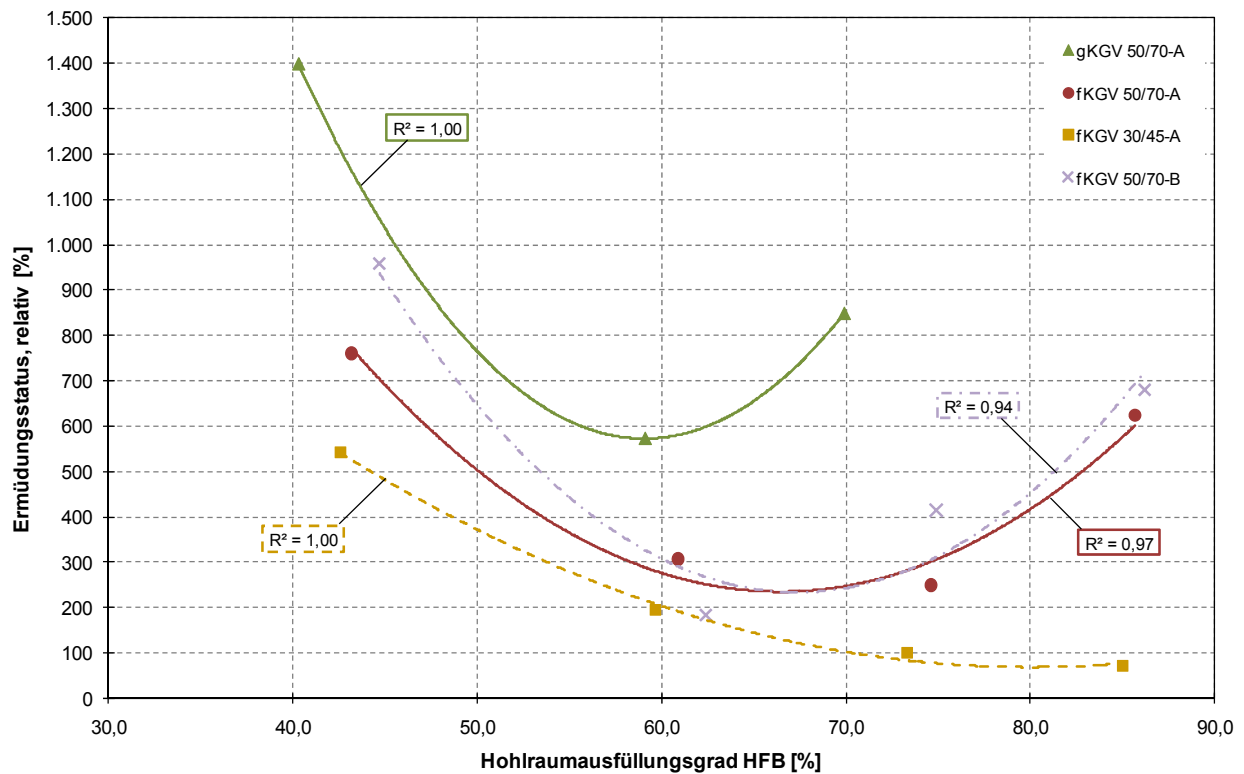


Abbildung 5.2: Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen (Ermüdungsstatus in relativer Darstellung) der Asphalttragschichtgemische für den Befestigungsaufbau A (Bauklasse SV) in Abhängigkeit vom Hohlraumausfüllungsgrad HFB

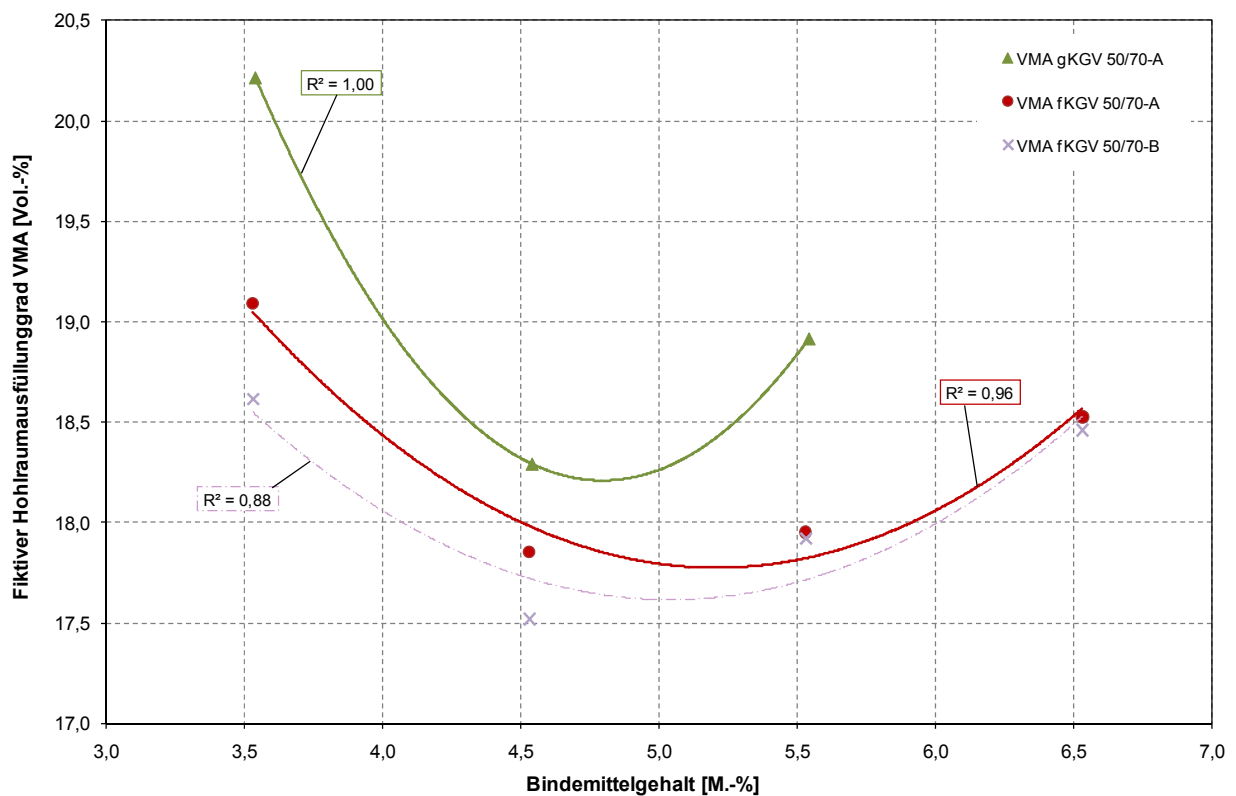


Abbildung 5.3: Fiktiver Hohlraumgehalt VMA in Abhängigkeit vom Bindemittelgehalt für die Asphalttragschichtvarianten mit Straßenbaubitumen 50/70

Für die GVO-Prüfverfahren im Rahmen der Erstprüfung wird vorgeschlagen, wenigstens drei Asphaltprobemischungen (besser sind vier) mit unterschiedlichen Bindemittelgehalten herzustellen. Bei der Wahl des mittleren der drei Bindemittelgehalte wird empfohlen, den optimalen Bindemittelgehalt bezüglich des fiktiven Hohlraumgehaltes VMA zu verwenden, denn wie ein Vergleich von Abbildung 4.29 und Abbildung 4.30 mit Abbildung 5.3 zeigt, liegen die optimalen Bindemittelgehalte bezüglich des Ermüdungsverhaltens der Asphaltbefestigungen für die Bitumen 50/70 in den Bereichen der optimalen Bindemittelgehalte des VMA. Die beiden anderen Asphaltprobemischungen sollten sich bezüglich des Bindemittelgehaltes von diesem optimalen Bindemittelgehalt ausreichend unterscheiden (mindestens 0,5 M.-%).

4.) Bestimmung der Ermüdungsfunktion- und der Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion der Asphaltprobemischungen:

Von den Asphaltprobemischungen mit den drei festgelegten Bindemittelgehalten aus Punkt 3 werden Probekörper hergestellt. Es sind die Versuche zur Bestimmung der Ermüdungsfunktion und Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion durchzuführen. An dieser Stelle ist nach aktuellem Kenntnisstand noch keine Vereinfachung möglich. Es lässt sich zwar bereits durch die Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichten eine Reihung hinsichtlich des Ermüdungsverhaltens der Fahrbahnbefestigungen feststellen, welche abhängig vom Bindemittelgehalt der Asphalttragschicht ist. Da die Reihenfolge bezüglich des Ermüdungsverhaltens der Oberbauten aber wiederum nicht nur durch die Ermüdungsfunktion der Asphalttragschicht allein, sondern auch durch die tatsächlich in der Fahrbahnbefestigung auftretenden Dehnungen bestimmt wird und diese wiederum von der Steifigkeit der Asphalte (siehe Abschnitt 2.2.4 und 5.1) abhängig sind, ist es erforderlich, unbedingt auch die Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion zu ermitteln.

5.) Durchführung von Dimensionierungsberechnungen:

Es sind Dimensionierungsberechnungen unter Berücksichtigung der vier maßgebenden Eingangsgrößen durchzuführen:

- tatsächlich vorhandene klimatische Verhältnisse
- tatsächlich vorhandene Verkehrsbelastung
- Materialparameter, u. a. der untersuchten Asphalttragschichtmaterialien (Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion und Ermüdungsfunktion aus Punkt 4) und der As-

phaltbinder- und Asphaltdeckschicht (Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion), bestimmt nach AL Sp-Asphalt

- Schichtdicken

Nur in Ausnahmefällen sollte die Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktionen der geplanten Asphaltdeck- und Asphaltbinderschicht nach dem Verfahren von Francken/Verstraeten [FRANCKEN et. al. 1974] bestimmt werden.

Für die im Rahmen des Forschungsvorhabens untersuchten Asphalttragschichtgemische mit der feinen Korngrößenverteilung ergaben sich sehr hohe optimale Bindemittelgehalte (siehe Tabelle 4.2). Da die Vermutung bestand, dass die Asphaltgemische aufgrund ihres hohen Bindemittelanteils nicht mehr wirtschaftlich sind, war es notwendig, ergänzend einen Vergleich bezüglich der Material- und Herstellungskosten für die einzelnen Asphalttragschichtmischgutvarianten durchzuführen. Dabei wurde wie folgt vorgegangen:

- Es war eine Anpassung der Schichtdicken der Asphalttragschicht mit den unterschiedlichen Asphalttragschichtgemischen notwendig, so dass für den geplanten Nutzungszeitraum von 30 Jahren für die Asphaltbefestigungen der Ermüdungsstatus $\leq 100 \%$ betrug.
- Die Ermittlung der Material- und Herstellungskosten für die Asphalttragschichtvarianten erfolgte für 1 m² Asphalttragschicht in den entsprechenden erforderlichen Schichtdicken.

Folgende Annahmen wurden für die Ermittlung dieser Kosten getroffen:

- Beim Einbau der Asphalttragschicht werden 100 % Verdichtungsgrad erreicht.
- Die max. Einbaudicke beträgt 14 cm, die Kosten für den Einbau je Lage der Asphalttragschicht sind konstant.
- Die Materialkosten für Straßenbaubitumen 30/45 sind 10 % höher als für das Straßenbaubitumen 50/70.
- Die Material- und Herstellungskosten der günstigsten Variante wurden 100 % gesetzt.

In Abbildung 5.4 sind die Herstellungskosten in relativer Darstellung zu sehen, die Asphalttragschichtvariante A325 (feine Korngrößenverteilung und 5,5 M.-% Bitumen 30/45) entspricht dabei 100 %. Tabelle 5.1 zeigt die optimalen Bindemittelgehalte hin-

sichtlich der Herstellungskosten. Vergleicht man nun die ermittelten optimalen Bindemittelgehalte aus Tabelle 4.2 mit Tabelle 5.1, so ist zu erkennen, dass die optimalen Bindemittelgehalte der einzelnen Kombinationen Bindemittel-/Gesteinskörnungsgemische bezüglich des Ermüdungsverhaltens der Fahrbahnbefestigungen zwischen 0,2 M.-% und 0,7 M.-% höher sind als die optimalen Bindemittelgehalte hinsichtlich der zugehörigen Material- und Herstellungskosten. Begründbar ist dies damit, dass die eingesparte Dicke bei der Schichtdickenanpassung der Varianten einer Bindemittel-/Gesteinskörnungsgemischkombination mit günstigerem Ermüdungsverhalten durch die aufgrund des zunehmenden Bindemittelgehaltes steigenden Materialkosten für 1 t Asphalttragschichtmischgut ausgeglichen wird.

In Auswertung der Dimensionierungsberechnungen und dem anschließenden Vergleich hinsichtlich der Material- und Herstellungskosten lässt sich ein optimaler Bindemittelgehalt für das Asphalttragschichtmaterial in Bezug auf das Ermüdungsverhalten

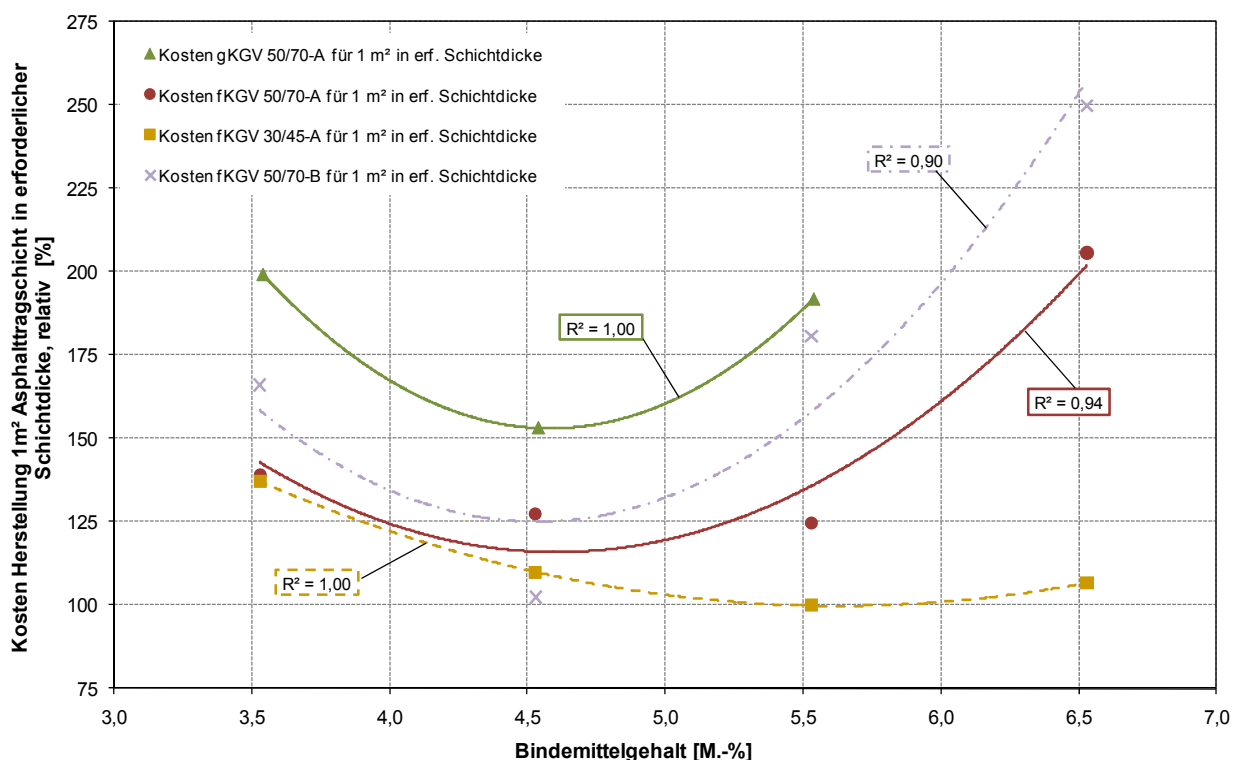


Abbildung 5.4: Herstellungskosten für 1 m² Asphalttragschicht in den erforderlichen Schichtdicken (in relativer Darstellung) der Asphalttragschichtgemische für den Befestigungsaufbau A (Bauklasse SV) in Abhängigkeit vom Bindemittelgehalt

Tabelle 5.1: Ermittelte optimale Bindemittelgehalte B_{opt} bezüglich der Herstellungskosten für 1 m² Asphalttragschicht in den erforderlichen Schichtdicken der Asphalttragschichtgemische für den Befestigungsaufbau A (Bauklasse SV)

Korngrößen- verteilung	Bindemittel- sorte	Bindemittel- hersteller	optimaler Bindemittelgehalt B_{opt} [M.-%] Aufbau A
grob	50/70	A	4,6
fein	50/70	A	4,6
fein	30/45	A	5,6
fein	50/70	B	4,5

von Asphaltbefestigungen ermitteln. Bei der Wahl des Bindemittelgehaltes darf jedoch die Zusammensetzung der über der Asphalttragschicht liegenden Asphaltsschichten nicht außer Acht gelassen werden, denn zwischen den einzelnen Schichten einer Asphaltbefestigung bestehen konstruktive Abhängigkeiten. So muss beispielsweise die Asphalttragschicht einen höheren Hohlraumgehalt aufweisen als die Asphaltbinderschicht, da sonst die Gefahr besteht, dass ggf. in die Straßenbefestigung eindringendes Wasser aus der Binderschicht nicht abgeleitet werden kann. Die mechanische Beanspruchung in Kombination mit der Einwirkung von Wasser würde dann zu einem frühzeitigen Versagen der Asphaltbinderschicht führen. Weiterhin müssen die Steifigkeiten der einzelnen Schichten aufeinander abgestimmt sein, damit keine Verformungen bzw. Risse auftreten, wenn die obere Schicht gegenüber der unteren Schicht zu weich bzw. zu hart ist.

6.) Ergänzungen für weitere Optimierung der Zusammensetzung von Asphaltgemischen:

Die Ergebnisse aus Abschnitt 4.2.3 zeigen, dass durch die Verwendung eines Straßenbaubitumens höherer Viskosität für die Herstellung der Asphalttragschicht die Ermüdungsresistenz der daraus hergestellten Asphaltbefestigung erhöht wird. Weiterhin wurde von Lipke [LIPKE et. al. 2009] festgestellt, dass infolge der Verwendung von Polymermodifizierten Bitumen in der Asphalttragschicht eine Schichtdickenreduzierung, bei Beibehaltung der Ermüdungsresistenz von Asphaltbefestigungen ebenso erreicht werden kann.

Um die Schichtdickenreduzierung bei Verwendung anderer Bindemittelarten bzw. -sorten in der Asphalttragschicht ermitteln zu können, wird empfohlen, zunächst weitere Asphaltprobemischungen mit dem gewählten Gesteinskörnungsgemisch und einem Bindemittelgehalt herzustellen, welcher dem in Punkt 5 ermittelten entspricht. Als Bin-

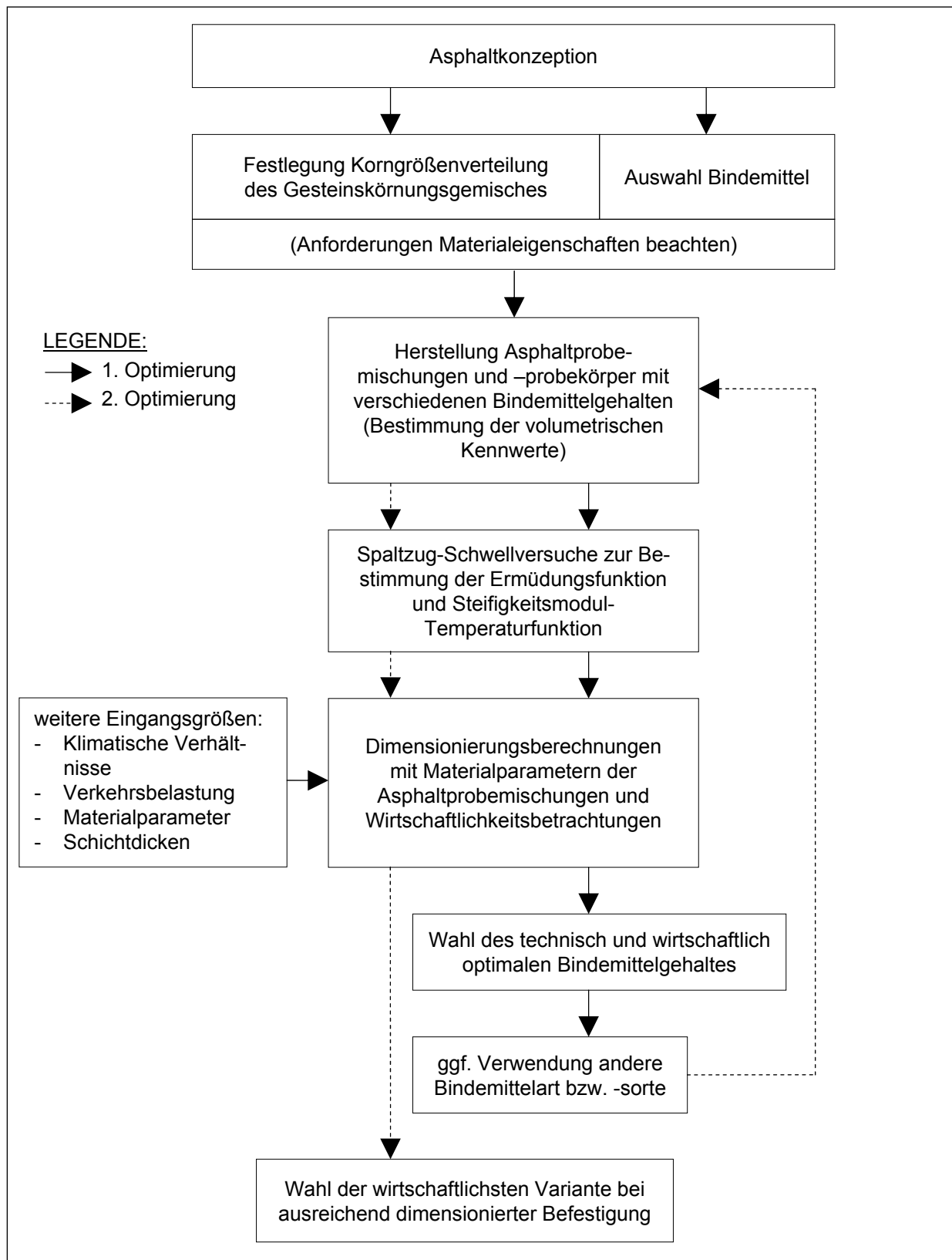


Abbildung 5.5: Fließschema für das empfohlene System der Asphaltkonzeption von Asphalttragschichtgemischen unter Verwendung von GVO-Asphaltprüfungen

demittel werden dann das Ermüdungsverhalten verbessernde Bindemittel für die Asphaltprobemischungen verwendet und an den zugehörigen Probekörpern werden wiederum die Versuche zur Bestimmung der Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion und der Ermüdungsfunktion durchgeführt.

Die Kosten für die Durchführung der großen Anzahl von Versuchen im Rahmen der Asphaltkonzeption aus den Punkten 1 bis 4 und ggf. aus Punkt 6, entsprechen sicherlich einem Vielfachen der Prüfkosten für die Erstellung einer Erstprüfung entsprechend der zurzeit geltenden empirischen Asphaltspezifikation. Da jedoch durch Optimierung der Zusammensetzung von Asphalttragschichtgemischen hinsichtlich ihrer Ermüdungsbeständigkeit die Schichtdicken von Asphaltbefestigungen angepasst werden können, rentiert sich die Investition in eine Asphaltkonzeption unter Verwendung von GVO-Asphaltprüfverfahren in jedem Falle.

5.3 Ausblick

In diesem Forschungsvorhaben konnte der Einfluss der Zusammensetzung von Asphalttragschichtgemischen auf das Ermüdungsverhalten von Asphaltbefestigungen nachgewiesen und bestätigt werden und es ist ein erster Ansatz für die Optimierung der Zusammensetzung von Asphalttragschichtgemischen hinsichtlich dieser primären Gebrauchseigenschaft unter Verwendung von GVO-Prüfverfahren vorgeschlagen wurden. Es wird aber empfohlen, eine Überprüfung der Allgemeingültigkeit dieses Ansatzes vorzunehmen.

Aufgrund der in dem Forschungsvorhaben gewonnenen Erkenntnisse wird in Hinblick auf den extremen Anstieg der Verkehrsbelastung von Verkehrsflächenbefestigungen vorgeschlagen, Asphalttragschichtgemische, abweichend von der bisher gängigen Praxis, in Zukunft so zusammenzusetzen, dass ihre Gesteinskörnungsgemische höhere Feinkornanteile besitzen und sie höhere Bindemittelgehalte sowie niedrigere Hohlraumgehalte aufweisen. Dabei kann der Hohlraumgehalt des Asphalttragschichtmischgutes bei optimalem Bindemittelgehalt bezüglich des Ermüdungsverhaltens einer Asphaltbefestigung am unteren zulässigen Grenzwert für den Hohlraumgehalt nach TL Asphalt [TL Asphalt-StB 07] liegen oder diesen ggf. unterschreiten. In Hinblick auf die Wahl des Bindemittelgehaltes des Asphalttragschichtmischgutes für die Bauausführung dürfen in diesem Kontext jedoch die konstruktiven Zusammenhänge zwischen

den einzelnen Asphaltsschichten (u. a. Entwässerung) keinesfalls außer Acht gelassen werden.

Weiterhin müssen die über der Asphalttragschicht befindlichen Konstruktionsschichten einer Asphaltbefestigung ebenfalls bezüglich ihrer, teils jedoch anderer Gebrauchseigenschaften optimiert werden, wie z.B. die Verformungsbeständigkeit der Asphaltbinderschicht und die Rissbeständigkeit sowie Verschleißfestigkeit und Verformungsbeständigkeit der Asphaltdeckschicht. In diesem Zusammenhang ist allgemein bekannt, dass Änderungen der Asphaltzusammensetzung tendenziell gegenläufige Einflüsse auf die genannten Materialeigenschaften haben. Es wird sich also bei Berücksichtigung aller Kriterien eine Optimierungsaufgabe ergeben. Dies trifft insbesondere für die Zusammensetzung von Asphaltdeckschichten hinsichtlich ihrer Gebrauchseigenschaften zu, da die Verbesserung der Verformungsbeständigkeit, die Verschlechterung der Rissbeständigkeit zur Folge haben kann. Aus diesem Grund wird empfohlen, die Forschung fortzuführen.

Da von im Labor hergestellten und geprüften Probekörpern auf die Gebrauchseigenschaften von in Verkehrsflächenbefestigungen eingebauten Asphaltgemischen geschlossen wird, ist außerdem von großer Bedeutung, dass die Veränderung der Asphaltzusammensetzung infolge der Probekörperherstellung im Labor (u. a. Veränderung der Korngrößenverteilung, Zunahme der Bindemittelviskosität) sich so wenig wie möglich von der Veränderung der Asphaltzusammensetzung infolge des Transportes, des Einbaus und der Verdichtung des Asphaltmischgutes in situ unterscheidet.

Wie bereits in Abschnitt 1.2 geschrieben, wird in absehbarer Zeit die Einführung der zweiten Generation des europäischen Normenwerkes erfolgen, in welchem die GVO-Eigenschaften der Asphalte sowie die zugehörigen Prüfverfahren immer mehr an Bedeutung gewinnen werden. Für Deutschland besteht daher nach wie vor erheblicher Forschungsbedarf auf dem Gebiet der fundamentalen Asphaltspezifikation.

6 Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen der Ergebnisse

Mit der Anwendung von GVO-Prüfverfahren im Rahmen der Erstprüfung von Asphaltgemischen, sind Unternehmen in der Lage mit den daraus gewonnenen Materialkenngrößen theoretische Bemessungsmethoden, beispielsweise nach den RDO Asphalt, anzuwenden, um für die Baustoffgemische entsprechend ihres geforderten Gebrauchsverhaltens eine optimierte Zusammensetzung finden zu können. Hier wird einerseits das Innovationspotential der Asphaltmischguthersteller gefördert, da bei der fundamentalen Spezifikation kaum Anforderungen hinsichtlich der Zusammensetzung dafür aber an die Materialeigenschaften von Asphaltgemischen bestehen. Andererseits wird den kmU die Möglichkeit gegeben, ihre Chancen auf Auftragserteilung bei der Ausschreibung von Baumaßnahmen im Rahmen von Funktionsbauverträgen und PPP-Modellen zu verbessern. Denn je nach Ausgestaltung eines solchen Vertragsverhältnisses schließt sich nach Fertigstellung der Baumaßnahme ein Zeitraum von 20 bis 30 Jahren an, in denen das Bauunternehmen für den vertraglich geregelten Zustand der Straße zu sorgen hat. Da es bisher, ohne die rechnerische Prognose des Gebrauchsverhaltens von Asphaltbefestigungen, schwierig war, den tatsächlichen Erhaltungsaufwand für den o. g. Vertragszeitraum abzuschätzen, haben sich nur wenige kmU an der Ausschreibung von Funktionsbauverträgen bzw. PPP-Projekten beteiligen können. Um aber einen positiven Ertrag aus einem derartigen Vertragsverhältnis zu erwirtschaften, ist für das Unternehmen nicht nur ein permanentes Vertragsmanagement erforderlich. Es spielt vor allem auch die Qualität der eingesetzten Baustoffe für den Substanzerhalt des Straßenoberbaus eine bedeutende Rolle, denn diese kann den Erhaltungsaufwand für das Bauunternehmen minimieren. In diesem Zusammenhang werden die Bauunternehmen interessiert sein, die Straßenbefestigung hinsichtlich ihrer leistungsbasierenden Merkmale zu optimieren. Anhand der Ergebnisse des Forschungsvorhabens konnte ein erster Ansatz für die Herangehensweise der Optimierung von Asphalttragschichtgemischen hinsichtlich ihrer primären Gebrauchseigenschaften entwickelt werden.

7 Beabsichtigte Umsetzung der Forschungsergebnisse; erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Die während der Durchführung des Forschungsprojektes gewonnenen Erkenntnisse wurden regelmäßig dem Projektbegleitenden Ausschuss vorgestellt.

Die Forschungsergebnisse wurden bereits teilweise wie folgt veröffentlicht:

1. Dragon, I.; Wellner, F.:

„Entwicklung eines Verfahrens der Asphaltkonzeption unter Verwendung von gebrauchtsverhaltensorientierten Prüfverfahren“

Tagungsband "Dresdner Asphalttage" der Technischen Universität Dresden, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau, 2009

2. Dragon, I.:

„Einfluss der Zusammensetzung von Asphaltgemischen auf das Ermüdungsverhalten in Rahmen der rechnerischen Dimensionierung“

Weiterbildungsseminar des Verbandes der Straßenbaulaboratorien e. V.

24.03.2011, Eberswalde

3. Dragon, I.; Wellner, F.:

„Einfluss der Zusammensetzung von Asphaltgemischen auf ihre primären Gebrauchseigenschaften“

Schlussbericht zum Forschungsvorhaben, veröffentlicht als Download auf der Homepage der Forschungsvereinigung Deutsches Asphaltinstitut (DAI) e. V.

Folgende Veröffentlichungen sind geplant:

4. Wellner, F.; Dragon, I.:

„Rechnerische Dimensionierung von Asphaltbefestigungen – Einfluss der Baustoffe und deren Zusammensetzung“

Beitrag und Vortrag zur Asphaltstraßentagung in Nürnberg 2011

5. Dragon, I.; Wellner, F.:

„Einfluss der Zusammensetzung von Asphalttragschichtgemischen auf das Ermüdungsverhalten von Asphaltbefestigungen“

Artikel in der Fachzeitschrift „asphalt“, voraussichtlich 2011

6. Dragon, I.:

Arbeitstitel „Einfluss der Zusammensetzung von Asphaltgemischen auf ihr Ermüdungsverhalten“

Dissertation, Technische Universität Dresden, voraussichtlich 2012

Literaturverzeichnis

[DIN EN 12697-17]

Asphalt – Prüfverfahren für Heißasphalt – Teil 17: Kornverlust von Probekörpern aus offenporigem Asphalt

Deutsche Fassung EN 12697-24: 2007, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, 2007

[DIN EN 12697-24]

Asphalt – Prüfverfahren für Heißasphalt – Teil 24: Beständigkeit gegen Ermüdung

Deutsche Fassung EN 12697-24: 2007, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, 2007

[DIN EN 12697-26]

Asphalt – Prüfverfahren für Heißasphalt – Teil 26: Steifigkeit

Deutsche Fassung EN 12697-26: 2004, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, 2004

[DIN EN 13108-1]

Asphaltemischgut – Mischgutanforderungen – Teil 1: Asphaltbeton

Deutsche Fassung EN 13108-1: 2006, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, 2006

[DIN EN 13108-20]

Asphaltemischgut – Mischgutanforderungen – Teil 20: Erstprüfung

Deutsche Fassung EN 13108-20: 2006, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, 2006

[DIN 1996-11]

Prüfung bituminöser Massen für den Straßenbau und verwandte Gebiete – Teil 11: Bestimmung von Marshall-Stabilität und Marshall-Fließwert

DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, 1991

[RStO 01]

Richtlinie für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag GmbH, Köln,
ergänzende Fassung von 2001

[ZTV T-StB 95/02]

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im
Straßenbau

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag GmbH, Köln,
1995, Fassung 2002

[ZTV Asphalt-StB 07]

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Ver-
kehrsflächenbefestigungen aus Asphalt

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag GmbH, Köln,
2007

[TL Asphalt-StB 07]

Technische Lieferbedingung für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbe-
festigungen

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag GmbH, Köln,
2007

[TL Bitumen-StB 07]

Technische Lieferbedingung für Straßenbaubitumen und gebrauchsfertige polymermo-
difizierte Bitumen für die Herstellung von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt in
Heißverarbeitung

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag GmbH, Köln,
2007

[TL Gestein-StB 04/07]

Technische Lieferbedingung für Gesteinskörnungen im Straßenbau

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag GmbH, Köln,
2004, Fassung 2007

[TP A 1994]

Technische Prüfvorschriften Verhalten von Asphalten bei tiefen Temperaturen
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag GmbH, Köln,
1994

[TP Asphalt-StB 07, Teil 30]

Technische Prüfvorschriften für Asphalt im Straßenbau – Teil 30: Herstellung von
Marshall-Probekörpern mit dem Marshall-Verdichtungsgerät (MVG)
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag GmbH, Köln,
2007

[TP Asphalt-StB 07, Teil 33]

Technische Prüfvorschriften für Asphalt im Straßenbau – Teil 33: Herstellung von As-
phalt-Probeplatten im Laboratorium mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag GmbH, Köln,
2007

[TP Asphalt-StB 07, Teil 35]

Technische Prüfvorschriften für Asphalt im Straßenbau – Teil 35: Asphaltmischguther-
stellung im Laboratorium
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag GmbH, Köln,
2007

[RDO Asphalt 09]

Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen
mit Asphaltdeckschicht
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag GmbH, Köln,
2009

[AL Sp-Asphalt 09]

Arbeitsanleitung zur Bestimmung des Steifigkeits- und Ermüdungsverhaltens von As-
phalten mit dem Spaltzug-Schwellversuch als Eingangsgröße in die Dimensionierung
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV Verlag GmbH, Köln,
2009

[ARAND et. al. 1996a]

Arand, W.; Rubach, K.; von der Decken, S.:

Grundlegende Untersuchungen über den Einfluß der Zusammensetzung auf die Ermüdungsbeständigkeit von Walzasphalten mittels systematischer Variation kompositioneller Merkmale zur Schaffung eines quantitativen Bewertungshintergrundes

Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 717, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen, Bonn, 1996

[ARAND et. al. 2000]

Arand, W.; Zander, U.; Renken, P.; Büchler, S.:

Einfluss des Bindemittelgehaltes auf das mechanische Verhalten von Splittmastixasphalten mit unterschiedlichen stabilisierenden Zusätzen

Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 794, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen, Bonn, 2000

[BECKEN et. al. 1994]

Beecken, G.; Höppel, H. E.; Metelmann, P.:

Shell-Bitumen für den Straßenbau und andere Anwendungsgebiete

Deutsche Shell Aktiengesellschaft, 7. Auflage, Hamburg, 1994

[BELLIN 1995]

Bellin, P.:

Ergebnisse der Bitumen- und Asphaltforschung des Strategic Highway Research Program SHRP – Teil 1: Bitumen-Spezifikation

Bitumen 1995, Heft 2, Seiten 50-65

[BELLIN 1997]

Bellin, P.:

Ergebnisse der Bitumen- und Asphaltforschung des Strategic Highway Research Program SHRP – Teil 2: Asphaltbemessung

Bitumen 1997, Heft 2, Seiten 54-65

[DRAGON 2011]

Dragon, I.:

Arbeitstitel: Einfluss der Zusammensetzung von Asphaltgemischen auf ihr Ermüdungsverhalten

Manuskript zur Dissertation, Technische Universität Dresden, 2011, unveröffentlicht

[ERLINGSSON 2000]

Erlingsson, S.:

Stiffness and fatigue of asphalt concrete estimated with the indirect tensile test

Proceedings of the 2nd Eurasphalt & Eurobitume Congress; Book 1, pp. 237-247, Barcelona, 2000

[FRANCKEN et. al. 1974]

Francken, L.; Verstraeten, J.

Methods for predicting moduli and fatigue laws of bituminous road mixes under repeated bending

Transportation Research Record 515, S. 114 – 123, Washington D. C., 1974

[HARVEY et. al. 1996]

Harvey, J.; Tsai, B.-W.:

Effects of Asphalt Content and Air Void Content on Mix Fatigue and Stiffness

Transport Research Record No. 1543, pp. 38-45, Washington D. C., 1996

[HENNING 2009]

Henning, P.:

Untersuchungen zur Ermittlung von Achslastkollektiven für das nachgeordnete Straßennetz

Diplomarbeit, Technische Universität Dresden, 2009

[HEUKELOM 1964]

Heukelom, W.; Klomp, A. J.

Road design and dynamic loading

Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists 33, 1964

[HOPMAN et. al. 89]

Hopman, P.; Kunst, P. & Pronk, A.:

A Renewed Interpretation Model for Fatigue Measurement

Verification of Miner's Rule., 4th Eurobitume Symposium, 4-6 October 1989; Vol. 1; pp. 557-561, Madrid, 1989

[HÜRTGEN 1982]

Hürtgen, H.:

Zum viskoelastischen und viskoplastischen Verhalten von Asphalt

Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 361, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen, Bonn, 1982

[HUNTER 2009]

Hunter, E.:

Effect of Compaction Mode on the Mechanical Performance and Variability of Asphalt Mixtures

Journal of Transportation Engineering, November 2009

[HUTSCHENREUTHER et. al. 1998]

Hutschenreuther, J.; Wörner, Th.:

Asphalt im Straßenbau

Verlag für das Bauwesen, Berlin, 1998

[KAPPL 2007]

Bewertung und Modellierung des Verformungsverhaltens von Asphalten mit Hilfe von zyklischen Triaxialprüfungen

Dissertation, TU Wien, 2007

[KIEHNE 2008]

Kiehne, A.:

Rechnerische Dimensionierung von Verkehrsflächenbefestigungen in Asphaltbauweise – Entwicklung und Umsetzung eines Verfahrens

Manuskript zur Dissertation, Technische Universität Dresden, 2008, unveröffentlicht

[LERFALD et. al. 2006]

Lerfald, B. O.; Aurstad, J. & Bakløkk, L. J.:

Development of a new Asphalt Mix Design System in Norway

Proceedings of the 10th International Conference on Asphalt Pavements, CD-ROM,
Paper-No. 10015, MN: International Society for Asphalt Pavements, Québec City, 2007

[LEUTNER et. al. 2000]

Leutner, R.; Renken, P.; Lüthje, U.:

Nutzungsdauer von Asphaltbefestigungen in Abhängigkeit vom Verdichtungsgrad

AiF-Forschungsvorhaben Nr. 11239, Schlussbericht, Braunschweig, 2000

[LEUTNER et. al. 2005]

Leutner, R.; Lorenzl, H.; Schmoeckel, K.:

Weiterentwicklung von Stoffmodellen zur Vorhersage des Verformungswiderstandes
und Ermüdungsverhaltens von Asphaltbefestigungen

Schlussbericht zum Forschungsprojekt FE 04.187/2001/AGB, im Auftrag des Bundes-
ministeriums für Verkehr, Bau und Wohnungswesen, Braunschweig, 2005

[LIPKE et. al. 2009]

Lipke, S.; Wellner, F.; Werkmeister, S.:

Ermittlung von dimensionierungsrelevanten Eingangsgrößen für Asphaltbefestigungen
im Rahmen einer analytischen Dimensionierung – Ermüdungsuntersuchungen mit dem
Spaltzugversuch

Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben Nr. 04.202/2005/ARB, Bonn, 2009

[MEISSNER 2007]

Meissner, S.:

Untersuchungen zum Ermüdungsverhalten von Asphalten

Diplomarbeit, Technische Universität Dresden, 2007

[MINER 1945]

Miner, M. A.:

Cumulative damage in fatigue

Journal of Applied Mechanics, American Society of Mechanical Engineers, Vol. 12, Nr. 3 (1945)

[WELLNER/LEUTNER et. al. 2007]

Wellner, F.; Leutner, R.; Oeser, M.; Weise, C.; Jähmig, J.; Lorenzl, H.; Schindler, K.; Mollenhauer, K.; Nolle, B.; Zander, U.; Rabe, R.:

Nachhaltiger Straßenbau – Bemessungsmodell zur Förderung der Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit kleiner und mittelständiger Straßenbauunternehmen

Schlussbericht, Bergisch-Gladbach, 2007

[WELLNER 2007]

Konzeption von Asphaltgemischen aus bemessungstechnischer Sicht

Vortragsfolien Asphaltstraßentagung der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Stuttgart, 2007

[WELLNER 2009]

Auswirkung der Alterung und des Schichtenverbundes auf den Beanspruchungszustand von Asphaltbefestigungen

Vortragsfolien Asphaltstraßentagung der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Weimar, 2009

[WITCZAK et. al. 1994]

Development of relationship to predict Poissons's Ratio for paving materials

Interteam Technical Report for NCHRP 1-37A, University of Maryland, College Park, 1999

[WOZNIAK 2009]

Vergleich der Vorgehensweise verschiedener europäischer Länder bei der Erstellung von Asphaltrezepturen

Seminararbeit, Technische Universität Dresden, Professur für Straßenbau, 2009

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Verlauf der Biegespannungen σ_3 in einer Asphaltbefestigung bei -12,5 °C Oberflächentemperatur [WELLNER/LEUTNER et. al. 2007].....	8
Abbildung 2.2: Einteilung der Asphaltdeckschichtmischgutsorten zu einzelnen Mischguttypen mit Anforderungskategorien gemäß Schulnotensystem [KAPPL 2009]	13
Abbildung 2.3: Einteilung der Asphaltbinderschichtmischgutsorten zu einzelnen Mischguttypen mit Anforderungskategorien gemäß Schulnotensystem [KAPPL 2009]	13
Abbildung 2.4: Einteilung der Asphalttragschichtmischgutsorten zu einzelnen Mischguttypen mit Anforderungskategorien gemäß Schulnotensystem [KAPPL 2009]	14
Abbildung 2.5: Ermüdungsfunktionen Vorversuche Asphalttragschichtgemische [WELLNER 07]	15
Abbildung 2.6: Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktionen Vorversuche Asphalttragschichtgemische [WELLNER 07]	15
Abbildung 2.7: Ermüdungsfunktionen von Asphalttragschichtgemischen aus [LIPKE et. al. 2009], bestimmt mittels Vierpunkt-Biege-Wechselprüfung bei 30 Hz (4PB) und Spaltzug-Schwellversuch bei 10 Hz (SPZ).....	17
Abbildung 2.8: Schema für die Optimierung des Bindemittelgehaltes, nachempfunden aus [BEECKEN et. al. 1994].....	20
Abbildung 2.9: Optimale Bereiche für den Hohlraumausfüllungsgrad VFB nach [HUTSCHENREUTHER et. al. 1998]	21
Abbildung 2.10: Ablauf des neuen norwegischen Systems zur Asphaltkonzeption [LERFALD et. al. 2006]	24
Abbildung 3.1: Schematische Darstellung des Walzsektor-Verdichtungsgerätes [TP Asphalt-StB 07, Teil 33]	33
Abbildung 3.2: Probekörper A111-06 (links) und Probekörper A311-11 (rechts)	34
Abbildung 3.3: Probekörper A211-07	35
Abbildung 3.4: Prinzip des Spaltzug-Schwellversuches [WELLNER/LEUTNER et. al. 2007].....	38

Abbildung 3.5: Spannungszustand im Probekörper beim Spaltzug-Schwellversuch [WELLNER/ LEUTNER et. al. 2007].....	39
Abbildung 3.6: Beispiel für die Bestimmung der Lastwechselzahl N_{Makro} bis zum Kriterium „Makroriss“ [HOPMAN et. al. 89].....	42
Abbildung 3.7: Beispiel einer Ermüdungsfunktion	43
Abbildung 3.8: Beispiel einer Hauptkurve eines Asphaltgemisches	44
Abbildung 3.9: Beispiel einer Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion für eine Frequenz von 10 Hz	45
Abbildung 3.10: Achslasthäufigkeitsverteilung „BAB-Fernverkehr“ [RDO Asphalt 09] für Befestigungsaufbau A	49
Abbildung 3.11: Achslasthäufigkeitsverteilung „S242, Hartmannsdorf“ Befestigungsaufbau B [HENNING 2009]	49
Abbildung 3.12: Standardtemperaturverteilung – Temperaturzone 3 [RDO Asphalt 09]	50
Abbildung 3.13: Kryogene Dehnungen in Abhängigkeit von der Steifigkeit [WELLNER 2009]	50
Abbildung 4.1: Ermüdungsfunktionen der untersuchten Asphalttragschichtgemische bei 20 °C und 10 Hz	52
Abbildung 4.2: Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller A, grobe Korngrößenverteilung bei Variation des Bindemittelgehaltes bei 20 °C und 10 Hz	53
Abbildung 4.3: Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller A, mittlere Korngrößenverteilung bei Variation des Bindemittelgehaltes bei 20 °C und 10 Hz	53
Abbildung 4.4: Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller A, feine Korngrößenverteilung bei Variation des Bindemittelgehaltes bei 20 °C und 10 Hz	55
Abbildung 4.5: Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 30/45, Bindemittelhersteller A, feine Korngrößenverteilung bei Variation des Bindemittelgehaltes bei 20 °C und 10 Hz	55

Abbildung 4.6: Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller B, feine Korngrößenverteilung bei Variation des Bindemittelgehaltes bei 20 °C und 10 Hz	56
Abbildung 4.7: Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller A, 3,5 M.-% Bindemittelgehalt bei Variation der Korngrößenverteilung bei 20 °C und 10 Hz.....	58
Abbildung 4.8: Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller A, 4,5 M.-% Bindemittelgehalt bei Variation der Korngrößenverteilung bei 20 °C und 10 Hz.....	58
Abbildung 4.9: Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller A, 5,5 M.-% Bindemittelgehalt bei Variation der Korngrößenverteilung bei 20 °C und 10 Hz.....	59
Abbildung 4.10: Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichtgemische mit feiner Korngrößenverteilung, den Bindemittelgehalten von 3,5 M.-%, 4,5 M.-% und 5,5 M.-% bei Variation der Bindemittelviskosität des Bindemittelherstellers A bei 20 °C und 10 Hz	60
Abbildung 4.11: Ermüdungsfunktionen der Asphalttragschichtgemische mit feiner Korngrößenverteilung und Bitumen 50/70, den Bindemittelgehalten von 3,5 M.-%, 4,5 M.-% und 5,5 M.-% bei Variation des Bindemittelherstellers, bei 20 °C und 10 Hz	61
Abbildung 4.12: Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktionen der untersuchten Asphalttragschichtgemische für eine Belastungsfrequenz von $f = 10$ Hz, ermittelt auf der Grundlage der Multistageversuche	63
Abbildung 4.13: Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller A, grobe Korngrößenverteilung bei Variation des Bindemittelgehaltes für eine Belastungsfrequenz von $f = 10$ Hz für die Temperaturen von -10 °C, 0 °C, 10 °C, 20 °C	64
Abbildung 4.14: Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller A, mittlere Korngrößenverteilung bei Variation des Bindemittelgehaltes für eine Belastungsfrequenz von $f = 10$ Hz für die Temperaturen von -10 °C, 0 °C, 10 °C, 20 °C	64
Abbildung 4.15: Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller A, feine Korngrößenverteilung bei Variation des	

Bindemittelgehaltes für eine Belastungsfrequenz von $f = 10$ Hz für die Temperaturen von -10 °C , 0 °C , 10 °C , 20 °C	65
Abbildung 4.16: Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 30/45, Bindemittelhersteller A, feine Korngrößenverteilung bei Variation des Bindemittelgehaltes für eine Belastungsfrequenz von $f = 10$ Hz für die Temperaturen von -10 °C , 0 °C , 10 °C , 20 °C	65
Abbildung 4.17: Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller B, feine Korngrößenverteilung bei Variation des Bindemittelgehaltes für eine Belastungsfrequenz von $f = 10$ Hz für die Temperaturen von -10 °C , 0 °C , 10 °C , 20 °C	66
Abbildung 4.18: Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller A, 3,5 M.-% Bindemittelgehalt bei Variation der Korngrößenverteilung für eine Belastungsfrequenz von $f = 10$ Hz für die Temperaturen von -10 °C , 0 °C , 10 °C , 20 °C	68
Abbildung 4.19: Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller A, 4,5 M.-% Bindemittelgehalt bei Variation der Korngrößenverteilung für eine Belastungsfrequenz von $f = 10$ Hz für die Temperaturen von -10 °C , 0 °C , 10 °C , 20 °C	69
Abbildung 4.20: Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtgemische mit Bitumen 50/70, Bindemittelhersteller A, 5,5 M.-% Bindemittelgehalt bei Variation der Korngrößenverteilung für eine Belastungsfrequenz von $f = 10$ Hz für die Temperaturen von -10 °C , 0 °C , 10 °C , 20 °C	69
Abbildung 4.21: Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtgemische mit feiner Korngrößenverteilung, 3,5 M.-% Bindemittelgehalt bei Variation der Bindemittelviskosität des Bindemittelherstellers A für eine Belastungsfrequenz von $f = 10$ Hz für die Temperaturen von -10 °C , 0 °C , 10 °C , 20 °C	70
Abbildung 4.22: Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtgemische mit feiner Korngrößenverteilung, 4,5 M.-% Bindemittelgehalt bei Variation der Bindemittelviskosität des Bindemittelherstellers A für eine Belastungsfrequenz von $f = 10$ Hz für die Temperaturen von -10 °C , 0 °C , 10 °C , 20 °C	71
Abbildung 4.23: Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtgemische mit feiner Korngrößenverteilung, 5,5 M.-% Bindemittelgehalt bei Variation der	

Bindemittelviskosität des Bindemittelherstellers A für eine Belastungsfrequenz von $f = 10$ Hz für die Temperaturen von $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $20\text{ }^{\circ}\text{C}$	71
Abbildung 4.24: Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtgemische mit feiner Korngrößenverteilung, Straßenbaubitumen 50/70, 3,5 M.-% Bindemittelgehalt bei Variation des Bindemittelherstellers für eine Belastungsfrequenz von $f = 10$ Hz für die Temperaturen von $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $20\text{ }^{\circ}\text{C}$	73
Abbildung 4.25: Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtgemische mit feiner Korngrößenverteilung, Straßenbaubitumen 50/70, 4,5 M.-% Bindemittelgehalt bei Variation des Bindemittelherstellers für eine Belastungsfrequenz von $f = 10$ Hz für die Temperaturen von $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $20\text{ }^{\circ}\text{C}$	73
Abbildung 4.26: Steifigkeitsmoduln der Asphalttragschichtgemische mit feiner Korngrößenverteilung, Straßenbaubitumen 50/70, 5,5 M.-% Bindemittelgehalt bei Variation des Bindemittelherstellers für eine Belastungsfrequenz von $f = 10$ Hz für die Temperaturen von $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $20\text{ }^{\circ}\text{C}$	74
Abbildung 4.27: Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen (Ermüdungsstatus) der untersuchten Asphalttragschichtgemische für den Befestigungsaufbau A.....	75
Abbildung 4.28: Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen (Ermüdungsstatus) der untersuchten Asphalttragschichtgemische für den Befestigungsaufbau B.....	76
Abbildung 4.29: Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen (Ermüdungsstatus in relativer Darstellung) der Asphalttragschichtgemische für den Befestigungsaufbau A (Bauklasse SV) in Abhängigkeit vom Bindemittelgehalt.....	77
Abbildung 4.30: Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen (Ermüdungsstatus in relativer Darstellung) der Asphalttragschichtgemische für den Befestigungsaufbau B (Bauklasse III) in Abhängigkeit vom Bindemittelgehalt.....	78
Abbildung 4.31: Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen (Ermüdungsstatus in relativer Darstellung) der Asphalttragschichtgemische mit Straßenbaubitumen 50/70 des Herstellers A für den Befestigungsaufbau A (Bauklasse SV) bei Variation der Korngrößenverteilung.....	80
Abbildung 4.32: Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen (Ermüdungsstatus in relativer Darstellung) der Asphalttragschichtgemische mit Straßenbaubitumen 50/70 des Herstellers A für den Befestigungsaufbau B (Bauklasse III) bei Variation der Korngrößenverteilung.....	80

Abbildung 4.33: Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen (Ermüdungsstatus in relativer Darstellung) der Asphalttragschichtgemische mit feiner Korngrößenverteilung und Straßenbaubitumen des Herstellers A für den Befestigungsaufbau A (Bauklasse SV) bei Variation der Bindemittelviskosität.....	81
Abbildung 4.34: Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen (Ermüdungsstatus in relativer Darstellung) der Asphalttragschichtgemische mit feiner Korngrößenverteilung und Straßenbaubitumen des Herstellers A für den Befestigungsaufbau B (Bauklasse III) bei Variation der Bindemittelviskosität.....	82
Abbildung 4.35: Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen (Ermüdungsstatus in relativer Darstellung) der Asphalttragschichtgemische mit feiner Korngrößenverteilung und Straßenbaubitumen 50/70 für den Befestigungsaufbau A (Bauklasse SV) bei Variation des Bindemittelherstellers	83
Abbildung 4.36: Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen (Ermüdungsstatus in relativer Darstellung) der Asphalttragschichtgemische mit feiner Korngrößenverteilung und Straßenbaubitumen 50/70 für den Befestigungsaufbau B (Bauklasse III) bei Variation des Bindemittelherstellers	83
Abbildung 5.1: Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen (Ermüdungsstatus in relativer Darstellung) der Asphalttragschichtgemische für den Befestigungsaufbau A (Bauklasse SV) in Abhängigkeit vom fiktiven Hohlraumgehalt VMA	88
Abbildung 5.2: Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen (Ermüdungsstatus in relativer Darstellung) der Asphalttragschichtgemische für den Befestigungsaufbau A (Bauklasse SV) in Abhängigkeit vom Hohlraumausfüllungsgrad HFB	89
Abbildung 5.3: Fiktiver Hohlraumgehalt VMA in Abhängigkeit vom Bindemittelgehalt für die Asphalttragschichtvarianten mit Straßenbaubitumen 50/70	89
Abbildung 5.4: Herstellungskosten für 1 m ² Asphalttragschicht in den erforderlichen Schichtdicken (in relativer Darstellung) der Asphalttragschichtgemische für den Befestigungsaufbau A (Bauklasse SV) in Abhängigkeit vom Bindemittelgehalt	92
Abbildung 5.5: Fließschema für das empfohlene System der Asphaltkonzeption von Asphalttragschichtgemischen unter Verwendung von GVO-Asphaltprüfungen.....	94

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Mindeststeifigkeit $S_{\min}$ und Höchststeifigkeit $S_{\max}$, Auszug [DIN EN 13108-1].....	12
Tabelle 2.2: Beständigkeit gegen Ermüdung ε_6 , Auszug [DIN EN 13108-1].....	12
Tabelle 2.3: Ergebnisse der Schichtdickenanpassungen für Asphaltbefestigungen [WELLNER 2007] unter Verwendung von drei unterschiedlichen Asphalttragschichtgemischen, zusammengesetzt nach [ZTV T-StB 95/02]	16
Tabelle 2.4: Funktionale Eigenschaften von in Norwegen verwendeten Asphaltmischgutarten [LERFALD et. al. 2006]	23
Tabelle 2.5: Bewertung der populärsten Methoden für das Entwerfen von Asphaltmischgutkompositionen.....	26
Tabelle 3.1: Anzahl der Asphaltvarianten (= Asphaltgemische) aus dem Antrag des Forschungsvorhabens.....	27
Tabelle 3.2: Anzahl der tatsächlich untersuchten Asphaltvarianten (= Asphaltgemische)	27
Tabelle 3.3: Ausgewählte Gesteinskörnungen und die zugehörigen Rohdichten.....	29
Tabelle 3.4: Physikalische Kennwerte der ausgewählten Bindemittel.....	29
Tabelle 3.5: Bindemittelhersteller und Zahlencode für die Bindemittelsorte	30
Tabelle 3.6: Zahlencode für die Korngrößenverteilung und den Bindemittelgehalt	30
Tabelle 3.7: Gewählte Korngrößenverteilungen (KGV) der Gesteinskörnungsgemische für die Asphalttragschichtgemische.....	31
Tabelle 3.8: Zusammenfassung der Parameter und Asphaltkennwerte der Asphalttragschichtmischgutvarianten	32
Tabelle 3.9: Erzielte Korngrößenverteilungen (KGV) der Gesteinskörnungsgemische für die Asphalttragschichtmischgutvarianten	36
Tabelle 3.10: Kennwerte des zurückgewonnenen Bindemittels aus dem Asphaltmischgut und Asphaltkennwerte der Asphaltprobekörper	36
Tabelle 3.11: Allgemeine Prüfbedingungen für die Durchführung der Spaltzug-Schwellversuche	39

Tabelle 3.12: Prüfbedingungen für die Durchführung der Spaltzug-Schwellversuche zur Ermittlung der Ermüdungsfunktion	41
Tabelle 3.13: Prüfbedingungen für die Durchführung der Spaltzug-Schwellversuche zur Ermittlung der Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion	44
Tabelle 3.14: Eingangswerte für die Dimensionierungen	48
Tabelle 4.1: Ermittelte optimale Bindemittelgehalte B_{opt} für die Steifigkeitsmoduln in Abhängigkeit von der untersuchten Korngrößenverteilungen, Bindemittelsorten und Temperatur	67
Tabelle 4.2: Ermittelte optimale Bindemittelgehalte B_{opt} der Asphalttragschichtgemische bzgl. des Ermüdungsverhaltens der fiktiven Asphaltbefestigungen für die untersuchten Korngrößenverteilungen und Bindemittelsorten	79
Tabelle 5.1: Ermittelte optimale Bindemittelgehalte B_{opt} bezüglich der Herstellungskosten für 1 m ² Asphalttragschicht in den erforderlichen Schichtdicken der Asphalttragschichtgemische für den Befestigungsaufbau A (Bauklasse SV)	93

Anlagen

A1 Asphaltmischgutzusammensetzung und Asphaltkennwerte

A1.1 Erstprüfungen AC 22 T S

Asphaltmischgutvarianten: A111 bis A115
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: mittlere Korngrößenverteilung
 Grundlagen: TL Gestein-StB 04/07, TL Asphalt-StB 07, TL Bitumen-StB 07

Gesteinskörnungen für die vorgesehene Zusammensetzung

Labor-Nr.	Lieferkörnung	Gesteinsart	Herkunft	Rohdichte [g/cm³]	Zugabe [M.-%]
G01	Füller	Amphibolit	Sachsen	2,880	5,0
G02	0/2	Amphibolit, G _F 85, E _{CS} 38	Sachsen	2,841	26,5
G03	2/5	Amphibolit, G _C 90/10	Sachsen	2,850	16,2
G04	5/8	Amphibolit, G _C 90/15	Sachsen	2,877	11,0
G05	8/11	Amphibolit, G _C 90/15	Sachsen	2,880	10,5
G06	11/16	Amphibolit, G _C 90/15	Sachsen	2,842	11,3
G07	16/22	Amphibolit, G _C 90/15	Sachsen	2,828	19,5
				2,850	100,0

Bindemittel für die vorgesehene Zusammensetzung

Kennwert	Einheit	IST	SOLL (gemäß TL Bitumen-StB)
Penetration bei 25 °C	1/10 mm	51	50 – 70
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	50,2	46,0 – 54,0
Dichte bei 25°C	g/cm³	1,023	-

Korngrößenverteilung Gesteinskörnungsgemisch

Gesteinskörnungsgemisch Siebdurchgang bei	Einheit	IST	SOLL (gemäß TL Asphalt-StB)
31,5 mm	M.-%	100,0	100,0
22,4 mm	M.-%	99,5	90,0 – 100,0
16,0 mm	M.-%	82,5	75,0 – 90,0
2,0 mm	M.-%	32,5	25,0 – 40,0
0,125 mm	M.-%	8,4	4,0 – 14,0
0,063 mm	M.-%	5,5	2,0 – 9,0

Asphaltmischgut A111

Kennwert	Einheit	IST	SOLL (gemäß TL Asphalt-StB)
Bindemittelgehalt B	M.-%	3,53	B _{min 3,5} ¹⁾
Rohdichte φ_m	g/cm³	2,681	-
Raumdichte φ_b	g/cm³	2,383 ²⁾	-
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	11,1	V _{min 5,0} , V _{max 10,0}
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	19,3	-
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	42,5	-
Verdichtungstemperatur	°C	135	135

¹⁾ Bestimmung B_{min} gemäß Abschnitt 3.1 TL Asphalt-StB 07

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltemischgut A112

Kennwert	Einheit	IST	SOLL (gemäß TL Asphalt-StB)
Bindemittelgehalt B	M.-%	4,03	$B_{\min 3,5}^{1)}$
Rohdichte φ_m	g/cm ³	2,659	-
Raumdichte φ_b	g/cm ³	2,406 ²⁾	-
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	9,5	$V_{\min 5,0}, V_{\max 10,0}$
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	19,0	-
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	49,9	-
Verdichtungstemperatur	°C	135	135

¹⁾ Bestimmung $B_{\min}$ gemäß Abschnitt 3.1 TL Asphalt-StB 07²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007**Asphaltemischgut A113**

Kennwert	Einheit	IST	SOLL (gemäß TL Asphalt-StB)
Bindemittelgehalt B	M.-%	4,53	$B_{\min 3,5}^{1)}$
Rohdichte φ_m	g/cm ³	2,637	-
Raumdichte φ_b	g/cm ³	2,446 ²⁾	-
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	7,2	$V_{\min 5,0}, V_{\max 10,0}$
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	18,1	-
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	60,0	-
Verdichtungstemperatur	°C	135	135

¹⁾ Bestimmung $B_{\min}$ gemäß Abschnitt 3.1 TL Asphalt-StB 07²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007**Asphaltemischgut A114**

Kennwert	Einheit	IST	SOLL (gemäß TL Asphalt-StB)
Bindemittelgehalt B	M.-%	5,03	$B_{\min 3,5}^{1)}$
Rohdichte φ_m	g/cm ³	2,615	-
Raumdichte φ_b	g/cm ³	2,465 ²⁾	-
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	5,7	$V_{\min 5,0}, V_{\max 10,0}$
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	17,9	-
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	67,9	-
Verdichtungstemperatur	°C	135	135

¹⁾ Bestimmung $B_{\min}$ gemäß Abschnitt 3.1 TL Asphalt-StB 07²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007**Asphaltemischgut A115**

Kennwert	Einheit	IST	SOLL (gemäß TL Asphalt-StB)
Bindemittelgehalt B	M.-%	5,53	$B_{\min 3,5}^{1)}$
Rohdichte φ_m	g/cm ³	2,594	-
Raumdichte φ_b	g/cm ³	2,455 ²⁾	-
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	5,4	$V_{\min 5,0}, V_{\max 10,0}$
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	18,6	-
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	71,3	-
Verdichtungstemperatur	°C	135	135

¹⁾ Bestimmung $B_{\min}$ gemäß Abschnitt 3.1 TL Asphalt-StB 07²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltmischgutvariante:	A211 bis A215
Bindemittelsorte:	50/70
Bindemittelhersteller:	A
Beschreibung:	grobe Korngrößenverteilung
Grundlagen:	TL Gestein-StB 04/07, TL Asphalt-StB 07, TL Bitumen-StB 07

Gesteinskörnungen für die vorgesehene Zusammensetzung

Labor-Nr.	Lieferkörnung	Gesteinsart	Herkunft	Rohdichte [g/cm³]	Zugabe [M.-%]
G01	Füller	Amphibolit	Sachsen	2,880	1,0
G02	0/2	Amphibolit, G _F 85, E _{CS} 38	Sachsen	2,841	22,6
G03	2/5	Amphibolit, G _C 90/10	Sachsen	2,850	23,8
G04	5/8	Amphibolit, G _C 90/15	Sachsen	2,877	8,0
G05	8/11	Amphibolit, G _C 90/15	Sachsen	2,880	8,6
G06	11/16	Amphibolit, G _C 90/15	Sachsen	2,842	7,5
G07	16/22	Amphibolit, G _C 90/15	Sachsen	2,828	28,5
				2,846	100,0

Bindemittel für die vorgesehene Zusammensetzung

Kennwert	Einheit	IST	SOLL (gemäß TL Bitumen-StB)
Penetration bei 25 °C	1/10 mm	51	50 – 70
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	50,2	46,0 – 54,0
Dichte bei 25°C	g/cm³	1,023	-

Korngrößenverteilung Gesteinskörnungsgemisch

Gesteinskörnungsgemisch Siebdurchgang bei	Einheit	IST	SOLL (gemäß TL Asphalt-StB)
31,5 mm	M.-%	100,0	100,0
22,4 mm	M.-%	99,3	90,0 – 100,0
16,0 mm	M.-%	75,1	75,0 – 90,0
2,0 mm	M.-%	25,1	25,0 – 40,0
0,125 mm	M.-%	4,3	4,0 – 14,0
0,063 mm	M.-%	2,4	2,0 – 9,0

Asphaltmischgut A211

Kennwert	Einheit	IST	SOLL (gemäß TL Asphalt-StB)
Bindemittelgehalt B	M.-%	3,54	B _{min 3,5} ¹⁾
Rohdichte φ_m	g/cm³	2,677	-
Raumdicke φ_b	g/cm³	2,354 ²⁾	-
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	12,1	V _{min 5,0} , V _{max 10,0}
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	20,2	-
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	40,3	-
Verdichtungstemperatur	°C	135	135

¹⁾ Bestimmung B_{min} gemäß Abschnitt 3.1 TL Asphalt-StB 07²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltemischgut A213

Kennwert	Einheit	IST	SOLL (gemäß TL Asphalt-StB)
Bindemittelgehalt B	M.-%	4,54	$B_{\min 3,5}$ ¹⁾
Rohdichte φ_m	g/cm ³	2,633	-
Raumdicke φ_b	g/cm ³	2,436 ²⁾	-
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	7,5	$V_{\min 5,0}, V_{\max 10,0}$
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	18,3	-
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	59,1	-
Verdichtungstemperatur	°C	135	135

¹⁾ Bestimmung $B_{\min}$ gemäß Abschnitt 3.1 TL Asphalt-StB 07

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltemischgut A215

Kennwert	Einheit	IST	SOLL (gemäß TL Asphalt-StB)
Bindemittelgehalt B	M.-%	5,54	$B_{\min 3,5}$ ¹⁾
Rohdichte φ_m	g/cm ³	2,590	-
Raumdicke φ_b	g/cm ³	2,443 ²⁾	-
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	5,7	$V_{\min 5,0}, V_{\max 10,0}$
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	18,9	-
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	69,9	-
Verdichtungstemperatur	°C	135	135

¹⁾ Bestimmung $B_{\min}$ gemäß Abschnitt 3.1 TL Asphalt-StB 07

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltemischgutvariante:	A311 bis A317
Bindemittelsorte:	50/70
Bindemittelhersteller:	A
Beschreibung:	feine Korngrößenverteilung
Grundlagen:	TL Gestein-StB 04/07, TL Asphalt-StB 07, TL Bitumen-StB 07

Gesteinskörnungen für die vorgesehene Zusammensetzung

Labor-Nr.	Lieferkörnung	Gesteinsart	Herkunft	Rohdichte [g/cm³]	Zugabe [M.-%]
G01	Füller	Amphibolit	Sachsen	2,880	9,6
G02	0/2	Amphibolit, G _F 85, E _{CS} 38	Sachsen	2,841	29,0
G03	2/5	Amphibolit, G _C 90/10	Sachsen	2,850	25,0
G04	5/8	Amphibolit, G _C 90/15	Sachsen	2,877	8,7
G05	8/11	Amphibolit, G _C 90/15	Sachsen	2,880	7,8
G06	11/16	Amphibolit, G _C 90/15	Sachsen	2,842	8,9
G07	16/22	Amphibolit, G _C 90/15	Sachsen	2,828	11,0
				2,852	100,0

Bindemittel für die vorgesehene Zusammensetzung

Kennwert	Einheit	IST	SOLL (gemäß TL Bitumen-StB)
Penetration bei 25 °C	1/10 mm	51	50 – 70
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	50,2	46,0 – 54,0
Dichte bei 25°C	g/cm³	1,023	-

Korngrößenverteilung Gesteinskörnungsgemisch

Gesteinskörnungsgemisch Siebdurchgang bei	Einheit	IST	SOLL (gemäß TL Asphalt-StB)
31,5 mm	M.-%	100,0	100,0
22,4 mm	M.-%	99,7	90,0 – 100,0
16,0 mm	M.-%	90,0	75,0 – 90,0
2,0 mm	M.-%	40,0	25,0 – 40,0
0,125 mm	M.-%	12,9	4,0 – 14,0
0,063 mm	M.-%	9,0	2,0 – 9,0

Asphaltemischgut A311

Kennwert	Einheit	IST	SOLL (gemäß TL Asphalt-StB)
Bindemittelgehalt B	M.-%	3,53	B _{min 3,5} ¹⁾
Rohdichte φ_m	g/cm³	2,683	-
Raumdichte φ_b	g/cm³	2,392 ²⁾	-
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	10,8	V _{min 5,0} , V _{max 10,0}
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	19,1	-
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	43,2	-
Verdichtungstemperatur	°C	135	135

¹⁾ Bestimmung B_{min} gemäß Abschnitt 3.1 TL Asphalt-StB 07

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltemischgut A313

Kennwert	Einheit	IST	SOLL (gemäß TL Asphalt-StB)
Bindemittelgehalt B	M.-%	4,53	$B_{\min 3,5}^{1)}$
Rohdichte φ_m	g/cm ³	2,638	-
Raumdicke φ_b	g/cm ³	2,454 ²⁾	-
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	7,0	$V_{\min 5,0}, V_{\max 10,0}$
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	17,9	-
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	60,9	-
Verdichtungstemperatur	°C	135	135

¹⁾ Bestimmung $B_{\min}$ gemäß Abschnitt 3.1 TL Asphalt-StB 07

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltemischgut A315

Kennwert	Einheit	IST	SOLL (gemäß TL Asphalt-StB)
Bindemittelgehalt B	M.-%	5,53	$B_{\min 3,5}^{1)}$
Rohdichte φ_m	g/cm ³	2,595	-
Raumdicke φ_b	g/cm ³	2,477 ²⁾	-
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	4,6	$V_{\min 5,0}, V_{\max 10,0}$
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	18,0	-
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	74,6	-
Verdichtungstemperatur	°C	135	135

¹⁾ Bestimmung $B_{\min}$ gemäß Abschnitt 3.1 TL Asphalt-StB 07

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltemischgut A317

Kennwert	Einheit	IST	IST	SOLL (gemäß TL Asphalt-StB)
Bindemittelgehalt B	M.-%	6,53	6,53	$B_{\min 3,5}^{1)}$
Rohdichte φ_m	g/cm ³	2,554	2,554	-
Raumdicke φ_b	g/cm ³	2,486 ²⁾	2,538 ³⁾	-
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	2,7	0,6	$V_{\min 5,0}, V_{\max 10,0}$
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	18,5	16,8	-
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	85,7	96,3	-
Verdichtungstemperatur	°C	135	135	135

¹⁾ Bestimmung $B_{\min}$ gemäß Abschnitt 3.1 TL Asphalt-StB 07

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

³⁾ gemäß Verfahren B der TP Asphalt 06/2007

Asphaltemischgutvariante:	A321 bis A325
Bindemittelsorte:	30/45
Bindemittelhersteller:	A
Beschreibung:	feine Korngrößenverteilung
Grundlagen:	TL Gestein-StB 04/07, TL Asphalt-StB 07, TL Bitumen-StB 07

Gesteinskörnungen für die vorgesehene Zusammensetzung

Labor-Nr.	Lieferkörnung	Gesteinsart	Herkunft	Rohdichte [g/cm³]	Zugabe [M.-%]
G01	Füller	Amphibolit	Sachsen	2,880	9,6
G02	0/2	Amphibolit, G _F 85, E _{CS} 38	Sachsen	2,841	29,0
G03	2/5	Amphibolit, G _C 90/10	Sachsen	2,850	25,0
G04	5/8	Amphibolit, G _C 90/15	Sachsen	2,877	8,7
G05	8/11	Amphibolit, G _C 90/15	Sachsen	2,880	7,8
G06	11/16	Amphibolit, G _C 90/15	Sachsen	2,842	8,9
G07	16/22	Amphibolit, G _C 90/15	Sachsen	2,828	11,0
				2,852	100,0

Bindemittel für die vorgesehene Zusammensetzung

Kennwert	Einheit	IST	SOLL (gemäß TL Bitumen-StB)
Penetration bei 25 °C	1/10 mm	43	30 – 45
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	58,4	52,0 – 60,0
Dichte bei 25°C	g/cm³	1,022	-

Korngrößenverteilung Gesteinskörnungsgemisch

Gesteinskörnungsgemisch Siebdurchgang bei	Einheit	IST	SOLL (gemäß TL Asphalt-StB)
31,5 mm	M.-%	100,0	100,0
22,4 mm	M.-%	99,7	90,0 – 100,0
16,0 mm	M.-%	90,0	75,0 – 90,0
2,0 mm	M.-%	40,0	25,0 – 40,0
0,125 mm	M.-%	12,9	4,0 – 14,0
0,063 mm	M.-%	9,0	2,0 – 9,0

Asphaltemischgut A321

Kennwert	Einheit	IST	SOLL (gemäß TL Asphalt-StB)
Bindemittelgehalt B	M.-%	3,53	B _{min 3,5} ¹⁾
Rohdichte φ_m	g/cm³	2,682	-
Raumdicke φ_b	g/cm³	2,385 ²⁾	-
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	11,1	V _{min 5,0} , V _{max 10,0}
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	19,3	-
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	42,6	-
Verdichtungstemperatur	°C	135	135

¹⁾ Bestimmung B_{min} gemäß Abschnitt 3.1 TL Asphalt-StB 07²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltemischgut A323

Kennwert	Einheit	IST	SOLL (gemäß TL Asphalt-StB)
Bindemittelgehalt B	M.-%	4,53	$B_{\min 3,5}$ ¹⁾
Rohdichte φ_m	g/cm ³	2,638	-
Raumdicke φ_b	g/cm ³	2,445 ²⁾	-
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	7,3	$V_{\min 5,0}, V_{\max 10,0}$
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	18,2	-
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	59,7	-
Verdichtungstemperatur	°C	135	135

¹⁾ Bestimmung $B_{\min}$ gemäß Abschnitt 3.1 TL Asphalt-StB 07

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltemischgut A325

Kennwert	Einheit	IST	SOLL (gemäß TL Asphalt-StB)
Bindemittelgehalt B	M.-%	5,53	$B_{\min 3,5}$ ¹⁾
Rohdichte φ_m	g/cm ³	2,595	-
Raumdicke φ_b	g/cm ³	2,469 ²⁾	-
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	4,9	$V_{\min 5,0}, V_{\max 10,0}$
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	18,2	-
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	73,3	-
Verdichtungstemperatur	°C	135	135

¹⁾ Bestimmung $B_{\min}$ gemäß Abschnitt 3.1 TL Asphalt-StB 07

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltemischgutvariante:	B311 bis B315
Bindemittelsorte:	50/70
Bindemittelhersteller:	B
Beschreibung:	feine Korngrößenverteilung
Grundlagen:	TL Gestein-StB 04/07, TL Asphalt-StB 07, TL Bitumen-StB 07

Gesteinskörnungen für die vorgesehene Zusammensetzung

Labor-Nr.	Lieferkörnung	Gesteinsart	Herkunft	Rohdichte [g/cm³]	Zugabe [M.-%]
G01	Füller	Amphibolit	Sachsen	2,880	9,6
G02	0/2	Amphibolit, G _F 85, E _{CS} 38	Sachsen	2,841	29,0
G03	2/5	Amphibolit, G _C 90/10	Sachsen	2,850	25,0
G04	5/8	Amphibolit, G _C 90/15	Sachsen	2,877	8,7
G05	8/11	Amphibolit, G _C 90/15	Sachsen	2,880	7,8
G06	11/16	Amphibolit, G _C 90/15	Sachsen	2,842	8,9
G07	16/22	Amphibolit, G _C 90/15	Sachsen	2,828	11,0
				2,852	100,0

Bindemittel für die vorgesehene Zusammensetzung

Kennwert	Einheit	IST	SOLL (gemäß TL Bitumen-StB)
Penetration bei 25 °C	1/10 mm	55	50 – 70
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	50,6	46,0 – 54,0
Dichte bei 25°C	g/cm³	1,021	-

Korngrößenverteilung Gesteinskörnungsgemisch

Gesteinskörnungsgemisch Siebdurchgang bei	Einheit	IST	SOLL (gemäß TL Asphalt-StB)
31,5 mm	M.-%	100,0	100,0
22,4 mm	M.-%	99,7	90,0 – 100,0
16,0 mm	M.-%	90,0	75,0 – 90,0
2,0 mm	M.-%	40,0	25,0 – 40,0
0,125 mm	M.-%	12,9	4,0 – 14,0
0,063 mm	M.-%	9,0	2,0 – 9,0

Asphaltemischgut B311

Kennwert	Einheit	IST	SOLL (gemäß TL Asphalt-StB)
Bindemittelgehalt B	M.-%	3,53	B _{min 3,5} ¹⁾
Rohdichte φ_m	g/cm³	2,682	-
Raumdicke φ_b	g/cm³	2,406 ²⁾	-
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	10,3	V _{min 5,0} , V _{max 10,0}
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	18,6	-
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	44,7	-
Verdichtungstemperatur	°C	135	135

¹⁾ Bestimmung B_{min} gemäß Abschnitt 3.1 TL Asphalt-StB 07²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltemischgut B313

Kennwert	Einheit	IST	SOLL (gemäß TL Asphalt-StB)
Bindemittelgehalt B	M.-%	4,53	$B_{\min 3,5}$ ¹⁾
Rohdichte φ_m	g/cm ³	2,638	-
Raumdicke φ_b	g/cm ³	2,464 ²⁾	-
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	6,6	$V_{\min 5,0}, V_{\max 10,0}$
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	17,5	-
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	62,4	-
Verdichtungstemperatur	°C	135	135

¹⁾ Bestimmung $B_{\min}$ gemäß Abschnitt 3.1 TL Asphalt-StB 07

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltemischgut B315

Kennwert	Einheit	IST	SOLL (gemäß TL Asphalt-StB)
Bindemittelgehalt B	M.-%	5,53	$B_{\min 3,5}$ ¹⁾
Rohdichte φ_m	g/cm ³	2,595	-
Raumdicke φ_b	g/cm ³	2,478 ²⁾	-
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	4,5	$V_{\min 5,0}, V_{\max 10,0}$
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	17,9	-
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	74,9	-
Verdichtungstemperatur	°C	135	135

¹⁾ Bestimmung $B_{\min}$ gemäß Abschnitt 3.1 TL Asphalt-StB 07

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

A1.2 Kontrollprüfungen

Asphaltmischgutvariante: A111
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: mittlere Korngrößenverteilung; 3,5 M.-% Bindemittelgehalt

Bindemittel

Kennwert	Einheit	IST	SOLL
Penetration bei 25 °C	1/10 mm	29	-
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	58,2	≤ 62,0

Zusammensetzung Asphaltmischgut¹⁾

Gesteinskörnungsgemisch Siebdurchgang bei	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A111)
		1	2	Mittel	
31,5 mm	M.-%	100,0	100,0	100,0	100,0
22,4 mm	M.-%	100,0	97,8	98,9	99,5
16,0 mm	M.-%	85,2	81,4	83,3	82,5
2,0 mm	M.-%	34,5	34,0	35,8	32,5
0,125 mm	M.-%	12,0	11,1	11,6	8,4
0,063 mm	M.-%	8,5	8,0	8,3	5,5
Bindemittelgehalt B	M.-%	3,91	3,83	3,87	3,53

Asphaltmischgut

Kennwert	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A111)
		1	2	Mittel	
Rohdichte φ_m ¹⁾	g/cm ³	2,661	2,675	2,668	2,681
Raumdicke φ_b ²⁾	g/cm ³	-	-	2,368 ³⁾	2,383 ³⁾
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	-	-	11,3	11,1
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	-	-	20,2	19,3
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	-	-	44,3	42,5

¹⁾ aus aufgeschmolzenem Asphaltmischgut der Probekörper: A111-07, A111-26, A111-27

²⁾ Mittelwert der Raumdicke der für die Spaltzug-Schwellversuche verwendeten Probekörper (siehe Anlage 1.3.01)

³⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltmischgutvariante: A112
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: mittlere Korngrößenverteilung; 4,0 M.-% Bindemittelgehalt

Bindemittel

Kennwert	Einheit	IST	SOLL
Penetration bei 25 °C	1/10 mm	23	-
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	62,4	≤ 62,0

Zusammensetzung Asphaltmischgut¹⁾

Gesteinskörnungsgemisch Siebdurchgang bei	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A112)
		1	2	Mittel	
31,5 mm	M.-%	100,0	100,0	100,0	100,0
22,4 mm	M.-%	100,0	98,9	99,5	99,5
16,0 mm	M.-%	83,7	79,6	81,7	82,5
2,0 mm	M.-%	35,8	32,4	34,1	32,5
0,125 mm	M.-%	11,7	10,8	11,3	8,4
0,063 mm	M.-%	8,5	8,0	8,3	5,5
Bindemittelgehalt B	M.-%	4,33	4,19	4,26	4,03

Asphaltmischgut

Kennwert	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A112)
		1	2	Mittel	
Rohdichte φ_m ¹⁾	g/cm ³	2,664	2,646	2,655	2,659
Raumdicke φ_b ²⁾	g/cm ³	-	-	2,388 ³⁾	2,406 ³⁾
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	-	-	10,1	9,5
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	-	-	20,0	19,0
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	-	-	49,7	49,9

¹⁾ aus aufgeschmolzenem Asphaltmischgut der Probekörper: A112-06, A112-10, A112-23

²⁾ Mittelwert der Raumdicke der für die Spaltzug-Schwellversuche verwendeten Probekörper (siehe Anlage 1.3.02)

³⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltmischgutvariante: A113
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: mittlere Korngrößenverteilung; 4,5 M.-% Bindemittelgehalt

Bindemittel

Kennwert	Einheit	IST	SOLL
Penetration bei 25 °C	1/10 mm	27	-
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	59,6	≤ 62,0

Zusammensetzung Asphaltmischgut¹⁾

Gesteinskörnungsgemisch Siebdurchgang bei	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A113)
		1	2	Mittel	
31,5 mm	M.-%	100,0	100,0	100,0	100,0
22,4 mm	M.-%	100,0	100,0	100,0	99,5
16,0 mm	M.-%	80,2	81,4	80,8	82,5
2,0 mm	M.-%	31,5	32,7	32,1	32,5
0,125 mm	M.-%	10,7	11,4	11,1	8,4
0,063 mm	M.-%	8,0	8,4	8,2	5,5
Bindemittelgehalt B	M.-%	4,52	4,65	4,59	4,53

Asphaltmischgut

Kennwert	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A113)
		1	2	Mittel	
Rohdichte φ_m ¹⁾	g/cm ³	2,648	2,632	2,640	2,637
Raumdicke φ_b ²⁾	g/cm ³	-	-	2,443 ³⁾	2,446 ³⁾
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	-	-	7,5	7,2
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	-	-	18,4	18,1
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	-	-	59,5	60,0

¹⁾ aus aufgeschmolzenem Asphaltmischgut der Probekörper: A113-05, A113-09, A113-24

²⁾ Mittelwert der Raumdicke der für die Spaltzug-Schwellversuche verwendeten Probekörper (siehe Anlage 1.3.03)

³⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltmischgutvariante: A114
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: mittlere Korngrößenverteilung; 5,0 M.-% Bindemittelgehalt

Bindemittel

Kennwert	Einheit	IST	SOLL
Penetration bei 25 °C	1/10 mm	28	-
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	58,6	≤ 62,0

Zusammensetzung Asphaltmischgut¹⁾

Gesteinskörnungsgemisch Siebdurchgang bei	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A114)
		1	2	Mittel	
31,5 mm	M.-%	100,0	100,0	100,0	100,0
22,4 mm	M.-%	98,7	97,5	98,1	99,5
16,0 mm	M.-%	79,6	84,6	82,1	82,5
2,0 mm	M.-%	33,9	33,9	33,9	32,5
0,125 mm	M.-%	10,9	11,2	11,1	8,4
0,063 mm	M.-%	7,6	7,8	7,7	5,5
Bindemittelgehalt B	M.-%	5,36	5,15	5,26	5,03

Asphaltmischgut

Kennwert	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A114)
		1	2	Mittel	
Rohdichte φ_m ¹⁾	g/cm ³	2,608	2,610	2,609	2,615
Raumdicke φ_b ²⁾	g/cm ³	-	-	2,462 ³⁾	2,465 ³⁾
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	-	-	5,6	5,7
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	-	-	18,3	17,9
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	-	-	69,2	67,9

¹⁾ aus aufgeschmolzenem Asphaltmischgut der Probekörper: A114-04, A114-09, A114-13

²⁾ Mittelwert der Raumdicke der für die Spaltzug-Schwellversuche verwendeten Probekörper (siehe Anlage 1.3.04)

³⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltmischgutvariante: A115
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: mittlere Korngrößenverteilung; 5,5 M.-% Bindemittelgehalt

Bindemittel

Kennwert	Einheit	IST	SOLL
Penetration bei 25 °C	1/10 mm	33	-
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	56,6	≤ 62,0

Zusammensetzung Asphaltmischgut¹⁾

Gesteinskörnungsgemisch Siebdurchgang bei	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A115)
		1	2	Mittel	
31,5 mm	M.-%	100,0	100,0	100,0	100,0
22,4 mm	M.-%	100,0	100,0	100,0	99,5
16,0 mm	M.-%	88,5	81,4	85,0	82,5
2,0 mm	M.-%	35,0	32,8	33,9	32,5
0,125 mm	M.-%	11,5	10,9	11,2	8,4
0,063 mm	M.-%	8,0	7,7	7,9	5,5
Bindemittelgehalt B	M.-%	5,99	5,66	5,83	5,53

Asphaltmischgut

Kennwert	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A115)
		1	2	Mittel	
Rohdichte φ_m ¹⁾	g/cm ³	2,585	2,596	2,591	2,594
Raumdicke φ_b ²⁾	g/cm ³	-	-	2,468 ³⁾	2,455 ³⁾
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	-	-	4,7	5,4
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	-	-	18,8	18,6
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	-	-	74,8	71,3

¹⁾ aus aufgeschmolzenem Asphaltmischgut der Probekörper: A115-02, A115-13, A115-24

²⁾ Mittelwert der Raumdicke der für die Spaltzug-Schwellversuche verwendeten Probekörper (siehe Anlage 1.3.05)

³⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltmischgutvariante: A211
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: grobe Korngrößenverteilung; 3,5 M.-% Bindemittelgehalt

Bindemittel

Kennwert	Einheit	IST	SOLL
Penetration bei 25 °C	1/10 mm	31	-
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	56,4	≤ 62,0

Zusammensetzung Asphaltmischgut¹⁾

Gesteinskörnungsgemisch Siebdurchgang bei	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A211)
		1	2	Mittel	
31,5 mm	M.-%	100,0	100,0	100,0	100,0
22,4 mm	M.-%	99,1	99,1	99,1	99,3
16,0 mm	M.-%	79,4	82,7	81,1	75,1
2,0 mm	M.-%	26,6	28,8	27,7	25,1
0,125 mm	M.-%	6,0	6,0	6,0	4,3
0,063 mm	M.-%	4,3	4,4	4,4	2,4
Bindemittelgehalt B	M.-%	3,52	3,65	3,59	3,54

Asphaltmischgut

Kennwert	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A211)
		1	2	Mittel	
Rohdichte φ_m ¹⁾	g/cm ³	2,675	2,677	2,676	2,677
Raumdicke φ_b ²⁾	g/cm ³	-	-	2,354 ³⁾	2,354 ³⁾
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	-	-	12,0	12,1
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	-	-	20,3	20,2
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	-	-	40,7	40,3

¹⁾ aus aufgeschmolzenem Asphaltmischgut der Probekörper: A211-09, A211-18, A211-27

²⁾ Mittelwert der Raumdicke der für die Spaltzug-Schwellversuche verwendeten Probekörper (siehe Anlage 1.3.06)

³⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltmischgutvariante: A213
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: grobe Korngrößenverteilung; 4,5 M.-% Bindemittelgehalt

Bindemittel

Kennwert	Einheit	IST	SOLL
Penetration bei 25 °C	1/10 mm	27	-
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	59,0	≤ 62,0

Zusammensetzung Asphaltmischgut¹⁾

Gesteinskörnungsgemisch Siebdurchgang bei	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A213)
		1	2	Mittel	
31,5 mm	M.-%	100,0	100,0	100,0	100,0
22,4 mm	M.-%	100,0	100,0	100,0	99,3
16,0 mm	M.-%	83,0	76,8	79,9	75,1
2,0 mm	M.-%	27,4	25,0	26,2	25,1
0,125 mm	M.-%	7,0	6,7	6,9	4,3
0,063 mm	M.-%	5,1	4,8	5,0	2,4
Bindemittelgehalt B	M.-%	4,74	4,69	4,72	4,54

Asphaltmischgut

Kennwert	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A213)
		1	2	Mittel	
Rohdichte φ_m ¹⁾	g/cm ³	2,631	2,625	2,628	2,633
Raumdicke φ_b ²⁾	g/cm ³	-	-	2,453 ³⁾	2,436 ³⁾
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	-	-	6,7	7,5
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	-	-	18,0	18,3
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	-	-	62,9	59,1

¹⁾ aus aufgeschmolzenem Asphaltmischgut der Probekörper: A213-01, A213-13, A213-23

²⁾ Mittelwert der Raumdicke der für die Spaltzug-Schwellversuche verwendeten Probekörper (siehe Anlage 1.3.07)

³⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltmischgutvariante: A215
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: grobe Korngrößenverteilung; 5,5 M.-% Bindemittelgehalt

Bindemittel

Kennwert	Einheit	IST	SOLL
Penetration bei 25 °C	1/10 mm	34	-
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	55,0	≤ 62,0

Zusammensetzung Asphaltmischgut¹⁾

Gesteinskörnungsgemisch Siebdurchgang bei	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A215)
		1	2	Mittel	
31,5 mm	M.-%	100,0	100,0	100,0	100,0
22,4 mm	M.-%	100,0	100,0	100,0	99,3
16,0 mm	M.-%	80,7	81,9	81,3	75,1
2,0 mm	M.-%	28,6	28,3	28,5	25,1
0,125 mm	M.-%	6,7	6,7	6,7	4,3
0,063 mm	M.-%	4,8	4,7	4,8	2,4
Bindemittelgehalt B	M.-%	5,85	5,79	5,82	5,54

Asphaltmischgut

Kennwert	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A215)
		1	2	Mittel	
Rohdichte φ_m ¹⁾	g/cm ³	2,586	2,583	2,585	2,590
Raumdicke φ_b ²⁾	g/cm ³	-	-	2,462 ³⁾	2,443 ³⁾
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	-	-	4,7	5,7
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	-	-	18,8	18,9
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	-	-	74,7	69,9

¹⁾ aus aufgeschmolzenem Asphaltmischgut der Probekörper: A215-01, A215-14, A215-24

²⁾ Mittelwert der Raumdicke der für die Spaltzug-Schwellversuche verwendeten Probekörper (siehe Anlage 1.3.08)

³⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltmischgutvariante: A311
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 3,5 M.-% Bindemittelgehalt

Bindemittel

Kennwert	Einheit	IST	SOLL
Penetration bei 25 °C	1/10 mm	27	-
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	58,6	≤ 62,0

Zusammensetzung Asphaltmischgut¹⁾

Gesteinskörnungsgemisch Siebdurchgang bei	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A311)
		1	2	Mittel	
31,5 mm	M.-%	100,0	100,0	100,0	100,0
22,4 mm	M.-%	99,4	99,4	99,4	99,7
16,0 mm	M.-%	87,0	89,6	88,3	90,0
2,0 mm	M.-%	41,5	43,0	42,3	40,0
0,125 mm	M.-%	14,7	14,4	14,6	12,9
0,063 mm	M.-%	9,4	9,3	9,4	9,0
Bindemittelgehalt B	M.-%	3,84	3,76	3,80	3,53

Asphaltmischgut

Kennwert	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A311)
		1	2	Mittel	
Rohdichte φ_m ¹⁾	g/cm ³	2,672	2,670	2,671	2,683
Raumdicke φ_b ²⁾	g/cm ³	-	-	2,381 ³⁾	2,392 ³⁾
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	-	-	10,9	10,8
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	-	-	19,7	19,1
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	-	-	44,9	43,2

¹⁾ aus aufgeschmolzenem Asphaltmischgut der Probekörper: A311-08, A311-22, A311-27

²⁾ Mittelwert der Raumdicke der für die Spaltzug-Schwellversuche verwendeten Probekörper (siehe Anlage 1.3.09)

³⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltmischgutvariante: A313
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 4,5 M.-% Bindemittelgehalt

Bindemittel

Kennwert	Einheit	IST	SOLL
Penetration bei 25 °C	1/10 mm	25	-
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	59,6	≤ 62,0

Zusammensetzung Asphaltmischgut¹⁾

Gesteinskörnungsgemisch Siebdurchgang bei	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A313)
		1	2	Mittel	
31,5 mm	M.-%	100,0	100,0	100,0	100,0
22,4 mm	M.-%	100,0	100,0	100,0	99,7
16,0 mm	M.-%	90,9	90,1	90,5	90,0
2,0 mm	M.-%	45,5	44,0	44,8	40,0
0,125 mm	M.-%	14,6	16,4	15,5	12,9
0,063 mm	M.-%	10,6	11,1	10,9	9,0
Bindemittelgehalt B	M.-%	4,72	4,70	4,71	4,53

Asphaltmischgut

Kennwert	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A313)
		1	2	Mittel	
Rohdichte φ_m ¹⁾	g/cm ³	2,632	2,633	2,633	2,638
Raumdicke φ_b ²⁾	g/cm ³	-	-	2,464 ³⁾	2,454 ³⁾
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	-	-	6,4	7,0
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	-	-	17,8	17,9
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	-	-	63,9	60,9

¹⁾ aus aufgeschmolzenem Asphaltmischgut der Probekörper: A313-07, A313-14, A313-24

²⁾ Mittelwert der Raumdicke der für die Spaltzug-Schwellversuche verwendeten Probekörper (siehe Anlage 1.3.10)

³⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltmischgutvariante: A315
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 5,5 M.-% Bindemittelgehalt

Bindemittel

Kennwert	Einheit	IST	SOLL
Penetration bei 25 °C	1/10 mm	31	-
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	58,6	≤ 62,0

Zusammensetzung Asphaltmischgut¹⁾

Gesteinskörnungsgemisch Siebdurchgang bei	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A315)
		1	2	Mittel	
31,5 mm	M.-%	100,0	100,0	100,0	100,0
22,4 mm	M.-%	100,0	100,0	100,0	99,7
16,0 mm	M.-%	91,3	91,4	91,4	90,0
2,0 mm	M.-%	41,3	41,2	41,3	40,0
0,125 mm	M.-%	15,9	15,7	15,8	12,9
0,063 mm	M.-%	10,5	10,5	10,5	9,0
Bindemittelgehalt B	M.-%	5,37	5,45	5,41	5,53

Asphaltmischgut

Kennwert	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A315)
		1	2	Mittel	
Rohdichte φ_m ¹⁾	g/cm ³	2,605	2,602	2,604	2,595
Raumdicke φ_b ²⁾	g/cm ³	-	-	2,473 ³⁾	2,477 ³⁾
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	-	-	5,0	4,6
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	-	-	18,1	18,0
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	-	-	72,3	74,6

¹⁾ aus aufgeschmolzenem Asphaltmischgut der Probekörper: A315-03, A315-13, A315-24

²⁾ Mittelwert der Raumdicke der für die Spaltzug-Schwellversuche verwendeten Probekörper (siehe Anlage 1.3.11)

³⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltmischgutvariante: A317
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 6,5 M.-% Bindemittelgehalt

Bindemittel

Kennwert	Einheit	IST	SOLL
Penetration bei 25 °C	1/10 mm	35	-
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	56,0	≤ 62,0

Zusammensetzung Asphaltmischgut¹⁾

Gesteinskörnungsgemisch Siebdurchgang bei	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A317)
		1	2	Mittel	
31,5 mm	M.-%	100,0	100,0	100,0	100,0
22,4 mm	M.-%	100,0	100,0	100,0	99,7
16,0 mm	M.-%	90,2	88,9	89,6	90,0
2,0 mm	M.-%	41,9	41,4	41,7	40,0
0,125 mm	M.-%	15,3	15,7	15,5	12,9
0,063 mm	M.-%	10,0	10,1	10,1	9,0
Bindemittelgehalt B	M.-%	6,67	6,82	6,75	6,53

Asphaltmischgut

Kennwert	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A317)
		1	2	Mittel	
Rohdichte φ_m ¹⁾	g/cm ³	2,546	2,545	2,546	2,554
Raumdicke φ_b ²⁾	g/cm ³	-	-	2,472 ³⁾	2,486 ³⁾
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	-	-	2,9	2,7
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	-	-	19,2	18,5
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	-	-	84,8	85,7
Rohdichte φ_m ¹⁾	g/cm ³	2,546	2,545	2,546	2,554
Raumdicke φ_b ²⁾	g/cm ³	-	-	2,529 ⁴⁾	2,538 ⁴⁾
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	-	-	0,7	0,6
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	-	-	17,4	16,8
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	-	-	96,1	96,3

¹⁾ aus aufgeschmolzenem Asphaltmischgut der Probekörper: A317-01, A317-11, A317-20

²⁾ Mittelwert der Raumdicke der für die Spaltzug-Schwellversuche verwendeten Probekörper (siehe Anlage 1.3.12)

³⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

⁴⁾ gemäß Verfahren B der TP Asphalt 06/2007

Asphaltmischgutvariante: A321
 Bindemittelsorte: 30/45
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 3,5 M.-% Bindemittelgehalt

Bindemittel

Kennwert	Einheit	IST	SOLL
Penetration bei 25 °C	1/10 mm	22	-
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	66,8	≤ 68,0

Zusammensetzung Asphaltmischgut¹⁾

Gesteinskörnungsgemisch Siebdurchgang bei	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A321)
		1	2	Mittel	
31,5 mm	M.-%	100,0	100,0	100,0	100,0
22,4 mm	M.-%	100,0	100,0	100,0	99,7
16,0 mm	M.-%	93,4	91,4	92,4	90,0
2,0 mm	M.-%	46,4	43,5	45,0	40,0
0,125 mm	M.-%	16,2	16,1	16,2	12,9
0,063 mm	M.-%	10,7	10,3	10,5	9,0
Bindemittelgehalt B	M.-%	3,68	3,81	3,75	3,53

Asphaltmischgut

Kennwert	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A321)
		1	2	Mittel	
Rohdichte φ_m ¹⁾	g/cm ³	2,665	2,679	2,672	2,682
Raumdicke φ_b ²⁾	g/cm ³	-	-	2,384 ³⁾	2,385 ³⁾
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	-	-	10,8	11,1
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	-	-	19,5	19,3
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	-	-	44,8	42,6

¹⁾ aus aufgeschmolzenem Asphaltmischgut der Probekörper: A321-06, A321-36, A321-50

²⁾ Mittelwert der Raumdicke der für die Spaltzug-Schwellversuche verwendeten Probekörper (siehe Anlage 1.3.13)

³⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltmischgutvariante: A323
 Bindemittelsorte: 30/45
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 4,5 M.-% Bindemittelgehalt

Bindemittel

Kennwert	Einheit	IST	SOLL
Penetration bei 25 °C	1/10 mm	22	-
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	66,0	≤ 68,0

Zusammensetzung Asphaltmischgut¹⁾

Gesteinskörnungsgemisch Siebdurchgang bei	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A323)
		1	2	Mittel	
31,5 mm	M.-%	100,0	100,0	100,0	100,0
22,4 mm	M.-%	100,0	99,1	99,6	99,7
16,0 mm	M.-%	88,7	91,7	90,2	90,0
2,0 mm	M.-%	43,7	45,1	44,4	40,0
0,125 mm	M.-%	15,6	16,6	16,1	12,9
0,063 mm	M.-%	10,3	10,8	10,6	9,0
Bindemittelgehalt B	M.-%	4,91	4,98	4,95	4,53

Asphaltmischgut

Kennwert	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A323)
		1	2	Mittel	
Rohdichte φ_m ¹⁾	g/cm ³	2,614	2,617	2,616	2,638
Raumdicke φ_b ²⁾	g/cm ³	-	-	2,439 ³⁾	2,445 ³⁾
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	-	-	6,8	7,3
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	-	-	18,6	18,2
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	-	-	63,6	59,7

¹⁾ aus aufgeschmolzenem Asphaltmischgut der Probekörper: A323-02, A323-10, A323-18

²⁾ Mittelwert der Raumdicke der für die Spaltzug-Schwellversuche verwendeten Probekörper (siehe Anlage 1.3.14)

³⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltmischgutvariante: A325
 Bindemittelsorte: 30/45
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 5,5 M.-% Bindemittelgehalt

Bindemittel

Kennwert	Einheit	IST	SOLL
Penetration bei 25 °C	1/10 mm	25	-
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	64,6	≤ 68,0

Zusammensetzung Asphaltmischgut¹⁾

Gesteinskörnungsgemisch Siebdurchgang bei	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A325)
		1	2	Mittel	
31,5 mm	M.-%	100,0	100,0	100,0	100,0
22,4 mm	M.-%	100,0	99,1	99,6	99,7
16,0 mm	M.-%	92,5	91,5	92,0	90,0
2,0 mm	M.-%	43,4	41,9	42,7	40,0
0,125 mm	M.-%	16,0	15,7	15,9	12,9
0,063 mm	M.-%	10,6	10,4	10,5	9,0
Bindemittelgehalt B	M.-%	5,73	5,78	5,76	5,53

Asphaltmischgut

Kennwert	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP A325)
		1	2	Mittel	
Rohdichte φ_m ¹⁾	g/cm ³	2,582	2,583	2,583	2,595
Raumdicke φ_b ²⁾	g/cm ³	-	-	2,472 ³⁾	2,469 ³⁾
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	-	-	4,3	4,9
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	-	-	18,2	18,2
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	-	-	76,4	73,3

¹⁾ aus aufgeschmolzenem Asphaltmischgut der Probekörper: A325-02, A325-10, A325-20

²⁾ Mittelwert der Raumdicke der für die Spaltzug-Schwellversuche verwendeten Probekörper (siehe Anlage 1.3.15)

³⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltmischgutvariante: B311
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: B
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 3,5 M.-% Bindemittelgehalt

Bindemittel

Kennwert	Einheit	IST	SOLL
Penetration bei 25 °C	1/10 mm	62,4	-
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	23	≤ 62,0

Zusammensetzung Asphaltmischgut¹⁾

Gesteinskörnungsgemisch Siebdurchgang bei	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP B311)
		1	2	Mittel	
31,5 mm	M.-%	100,0	100,0	100,0	100,0
22,4 mm	M.-%	100,0	100,0	100,0	99,7
16,0 mm	M.-%	91,9	89,5	90,7	90,0
2,0 mm	M.-%	48,5	44,7	46,6	40,0
0,125 mm	M.-%	18,5	16,6	17,6	12,9
0,063 mm	M.-%	13,0	11,9	12,5	9,0
Bindemittelgehalt B	M.-%	3,41	3,46	3,44	3,53

Asphaltmischgut

Kennwert	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP B311)
		1	2	Mittel	
Rohdichte φ_m ¹⁾	g/cm ³	2,695	2,691	2,693	2,682
Raumdicke φ_b ²⁾	g/cm ³	-	-	2,391 ³⁾	2,406 ³⁾
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	-	-	11,2	10,3
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	-	-	19,3	18,6
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	-	-	41,7	44,7

¹⁾ aus aufgeschmolzenem Asphaltmischgut der Probekörper: B311-03, B311-09, B311-15

²⁾ Mittelwert der Raumdicke der für die Spaltzug-Schwellversuche verwendeten Probekörper (siehe Anlage 1.3.16)

³⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltmischgutvariante: B313
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: B
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 4,5 M.-% Bindemittelgehalt

Bindemittel

Kennwert	Einheit	IST	SOLL
Penetration bei 25 °C	1/10 mm	23	-
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	62,8	≤ 62,0

Zusammensetzung Asphaltmischgut¹⁾

Gesteinskörnungsgemisch Siebdurchgang bei	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP B313)
		1	2	Mittel	
31,5 mm	M.-%	100,0	100,0	100,0	100,0
22,4 mm	M.-%	99,2	99,0	99,1	99,7
16,0 mm	M.-%	89,0	91,0	90,0	90,0
2,0 mm	M.-%	44,4	42,4	43,4	40,0
0,125 mm	M.-%	17,0	15,5	16,3	12,9
0,063 mm	M.-%	12,5	11,2	11,9	9,0
Bindemittelgehalt B	M.-%	4,38	4,41	4,40	4,53

Asphaltmischgut

Kennwert	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP B313)
		1	2	Mittel	
Rohdichte φ_m ¹⁾	g/cm ³	2,468	2,467	2,468	2,638
Raumdicke φ_b ²⁾	g/cm ³	-	-	2,453 ³⁾	2,464 ³⁾
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	-	-	7,4	6,6
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	-	-	17,9	17,5
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	-	-	58,9	62,4

¹⁾ aus aufgeschmolzenem Asphaltmischgut der Probekörper: B313-06, B313-13, B313-20

²⁾ Mittelwert der Raumdicke der für die Spaltzug-Schwellversuche verwendeten Probekörper (siehe Anlage 1.3.17)

³⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

Asphaltmischgutvariante: B315
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: B
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 5,5 M.-% Bindemittelgehalt

Bindemittel

Kennwert	Einheit	IST	SOLL
Penetration bei 25 °C	1/10 mm	23	-
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	62,0	≤ 62,0

Zusammensetzung Asphaltmischgut¹⁾

Gesteinskörnungsgemisch Siebdurchgang bei	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP B315)
		1	2	Mittel	
31,5 mm	M.-%	100,0	100,0	100,0	100,0
22,4 mm	M.-%	100,0	100,0	100,0	99,7
16,0 mm	M.-%	89,4	94,8	92,0	90,0
2,0 mm	M.-%	48,0	48,1	48,1	40,0
0,125 mm	M.-%	17,5	17,9	17,7	12,9
0,063 mm	M.-%	12,5	12,7	12,6	9,0
Bindemittelgehalt B	M.-%	5,52	5,42	5,47	5,53

Asphaltmischgut

Kennwert	Einheit	IST			SOLL (gemäß EP B315)
		1	2	Mittel	
Rohdichte φ_m ¹⁾	g/cm ³	2,603	2,597	2,600	2,595
Raumdicke φ_b ²⁾	g/cm ³	-	-	2,474 ³⁾	2,478 ³⁾
Hohlraumgehalt V	Vol.-%	-	-	4,8	4,5
Fiktiver Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	-	-	18,1	17,9
Hohlraumausfüllungsgrad VFB	%	-	-	73,3	74,9

¹⁾ aus aufgeschmolzenem Asphaltmischgut der Probekörper: B315-02, B315-08, B315-12

²⁾ Mittelwert der Raumdicke der für die Spaltzug-Schwellversuche verwendeten Probekörper (siehe Anlage 1.3.17)

³⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

A1.3 Probekörperdaten

Asphaltmischgutvariante: A111
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: mittlere Korngrößenverteilung; 3,5 M.-% Bindemittelgehalt

Asphaltgemisch		A111	Raumdichte ρ_{b-MPK} [g/cm ³]	²⁾ 2,383	Rohdichte ¹⁾ ρ_m [g/cm ³]	2,668
Lfd. Nr.	Pk-Nr.	Pk-Höhe [mm]	Pk-Durchmesser [mm]	Raumdichte ρ_{b-Pk} [g/cm ³]	Verdichtungs- grad k [%]	Hohlraum- gehalt V [Vol.-%]
1	(A111-01) ³⁾	61,18	149,67	(2,341)	(98,2)	(12,3)
2	A111-07	61,20	149,55	2,362	99,1	11,5
3	A111-20	60,98	149,60	2,358	99,0	11,6
4	A111-22	61,68	149,50	2,363	99,1	11,4
5	A111-24	61,53	149,67	2,368	99,4	11,2
6	A111-26	60,75	149,67	2,360	99,0	11,6
7	A111-27	61,03	149,72	2,379	99,9	10,8
8	A111-30	61,48	149,67	2,373	99,6	11,1
9	A111-34	61,05	149,67	2,383	100,0	10,7
Arithmetisches Mittel $\bar{x}$				2,368	99,4	11,2
Spannweite R				0,025	1,0	0,9
Standardabweichung s				0,0093	0,39	0,35

¹⁾ Mittelwert der Rohdichte (siehe Anlage 1.2.01)

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

³⁾ Probekörper für Vorversuch

Asphaltmischgutvariante: A112
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: mittlere Korngrößenverteilung; 4,0 M.-% Bindemittelgehalt

Asphaltgemisch		A112	Raumdichte ρ_{b-MPK} [g/cm ³]	²⁾ 2,406	Rohdichte ¹⁾ ρ_m [g/cm ³]	2,655
Lfd. Nr.	Pk-Nr.	Pk-Höhe [mm]	Pk-Durchmesser [mm]	Raumdichte ρ_{b-Pk} [g/cm ³]	Verdichtungs- grad k [%]	Hohlraum- gehalt V [Vol.-%]
1	A112-02	61,10	149,62	2,383	99,1	10,2
2	A112-03	61,28	149,38	2,381	99,0	10,3
3	A112-05	61,05	149,62	2,384	99,1	10,2
4	A112-06	61,05	149,55	2,395	99,5	9,8
5	(A112-07) ³⁾	60,80	149,53	(2,405)	(99,9)	(9,4)
6	A112-09	61,23	149,72	2,390	99,3	10,0
7	A112-10	60,75	149,58	2,386	99,2	10,1
8	A112-12	61,05	149,58	2,393	99,4	9,9
9	A112-13	61,13	149,47	2,399	99,7	9,6
10	A112-17	60,90	149,50	2,382	99,0	10,3
11	A112-20	61,50	149,47	2,387	99,2	10,1
12	A112-23	61,23	149,30	2,389	99,3	10,0
Arithmetisches Mittel $\bar{x}$				2,388	99,2	10,1
Spannweite R				0,019	0,8	0,7
Standardabweichung s				0,0058	0,24	0,22

¹⁾ Mittelwert der Rohdichte (siehe Anlage 1.2.02)

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

³⁾ Probekörper für Vorversuch

Asphaltmischgutvariante: A113
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: mittlere Korngrößenverteilung; 4,5 M.-% Bindemittelgehalt

Asphaltgemisch		A113	Raumdichte ρ_{b-MPK} [g/cm ³]	2) 2,446	Rohdichte ¹⁾ ρ_m [g/cm ³]	2,640
Lfd. Nr.	Pk-Nr.	Pk-Höhe [mm]	Pk-Durchmesser [mm]	Raumdichte ρ_{b-Pk} [g/cm ³]	Verdichtungs- grad k [%]	Hohlraum- gehalt V [Vol.-%]
1	A113-01	60,60	149,42	2,438	99,7	7,7
2	A113-02	60,10	149,42	2,446	100,0	7,3
3	A113-04	60,95	149,48	2,446	100,0	7,3
4	A113-05	60,53	149,55	2,436	99,6	7,7
5	A113-07	60,60	149,55	2,450	100,1	7,2
6	A113-09	60,53	149,45	2,427	99,2	8,1
7	A113-11	60,08	149,47	2,452	100,2	7,1
8	A113-12	60,60	149,60	2,437	99,6	7,7
9	A113-14	60,10	149,45	2,452	100,2	7,1
10	A113-18	60,43	149,27	2,441	99,8	7,5
11	A113-19	60,53	149,40	2,436	99,6	7,7
12	(A113-21) ³⁾	60,33	149,40	(2,462)	(100,7)	(6,7)
13	A113-24	60,53	149,32	2,451	100,2	7,2
Arithmetisches Mittel $\bar{x}$				2,443	99,9	7,5
Spannweite R				0,025	1,0	0,9
Standardabweichung s				0,0080	0,33	0,30

¹⁾ Mittelwert der Rohdichte (siehe Anlage 1.2.03)

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

³⁾ Probekörper für Vorversuch

Asphaltmischgutvariante: A114
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: mittlere Korngrößenverteilung; 5,0 M.-% Bindemittelgehalt

Asphaltgemisch		A114	Raumdichte ρ_{b-MPK} [g/cm ³]	2) 2,465	Rohdichte ¹⁾ ρ_m [g/cm ³]	2,609
Lfd. Nr.	Pk-Nr.	Pk-Höhe [mm]	Pk-Durchmesser [mm]	Raumdichte ρ_{b-Pk} [g/cm ³]	Verdichtungs- grad k [%]	Hohlraum- gehalt V [Vol.-%]
1	A114-04	60,58	149,70	2,469	100,2	5,4
2	A114-05	60,83	149,68	2,469	100,2	5,4
3	A114-06	60,63	149,67	2,455	99,6	5,9
4	A114-07	60,25	149,60	2,455	99,6	5,9
5	A114-08	61,10	149,68	2,463	99,9	5,6
6	A114-09	60,63	149,68	2,467	100,1	5,4
7	A114-12	60,10	149,73	2,466	100,0	5,5
8	A114-13	59,78	149,73	2,470	100,2	5,3
9	(A114-14) ³⁾	60,43	149,62	(2,474)	(100,4)	(5,2)
10	A114-16	59,98	149,65	2,452	99,5	6,0
11	A114-17	60,23	149,63	2,456	99,6	5,9
12	A114-20	60,18	149,72	2,447	99,3	6,2
13	A114-23	60,23	149,83	2,468	100,1	5,4
Arithmetisches Mittel $\bar{x}$				2,462	99,9	5,7
Spannweite R				0,023	0,9	0,9
Standardabweichung s				0,0079	0,32	0,30

¹⁾ Mittelwert der Rohdichte (siehe Anlage 1.2.04)

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

³⁾ Probekörper für Vorversuch

Asphaltmischgutvariante: A115
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: mittlere Korngrößenverteilung; 5,5 M.-% Bindemittelgehalt

Asphaltgemisch		A115	Raumdichte ρ_{b-MPK} [g/cm ³]	2) 2,455	Rohdichte ¹⁾ ρ_m [g/cm ³]	2,591
Lfd. Nr.	Pk-Nr.	Pk-Höhe [mm]	Pk-Durchmesser [mm]	Raumdichte ρ_{b-Pk} [g/cm ³]	Verdichtungsgrad k [%]	Hohlraumgehalt V [Vol.-%]
1	(A115-01) ³⁾	60,03	149,65	(2,482)	(101,1)	(4,2)
2	A115-02	60,25	149,70	2,476	100,9	4,4
3	A115-03	60,15	149,70	2,472	100,7	4,6
4	A115-08	59,40	149,70	2,475	100,8	4,5
5	A115-10	59,73	149,72	2,477	100,9	4,4
6	A115-13	60,00	149,50	2,468	100,5	4,8
7	A115-14	60,28	149,72	2,475	100,8	4,5
8	A115-17	59,93	149,70	2,456	100,1	5,2
9	A115-18	60,85	149,72	2,458	100,1	5,1
10	A115-21	60,23	149,63	2,469	100,6	4,7
11	A115-22	59,73	149,62	2,467	100,5	4,8
12	A115-23	60,00	149,65	2,460	100,2	5,1
13	A115-24	60,38	149,63	2,463	100,3	4,9
Arithmetisches Mittel $\bar{x}$				2,468	100,5	4,7
Spannweite R				0,021	0,9	0,8
Standardabweichung s				0,0075	0,30	0,29

¹⁾ Mittelwert der Rohdichte (siehe Anlage 1.2.05)

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

³⁾ Probekörper für Vorversuch

Asphaltmischgutvariante: A211
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: grobe Korngrößenverteilung; 3,5 M.-% Bindemittelgehalt

Asphaltgemisch		A211	Raumdichte $\rho_{b\text{-MPK}}$ [g/cm ³]	2) 2,354	Rohdichte ¹⁾ ρ_m [g/cm ³]	2,676
Lfd. Nr.	Pk-Nr.	Pk-Höhe [mm]	Pk-Durchmesser [mm]	Raumdichte $\rho_{b\text{-BK}}$ [g/cm ³]	Verdichtungs- grad k [%]	Hohlraum- gehalt V [Vol.-%]
1	A211-09	61,00	149,98	2,343	99,5	12,5
2	A211-10	60,52	150,01	2,365	100,5	11,6
3	A211-12	60,07	149,82	2,352	99,9	12,1
4	A211-13	60,63	149,98	2,340	99,4	12,5
5	A211-14	60,72	149,99	2,358	100,2	11,9
6	(A211-17) ³⁾	59,95	149,96	(2,386)	(101,4)	(10,8)
7	A211-18	59,75	149,86	2,365	100,5	11,6
8	A211-21	60,54	150,35	2,366	100,5	11,6
9	A211-24	60,56	150,13	2,344	99,6	12,4
10	A211-26	60,89	150,03	2,354	100,0	12,0
11	A211-27	61,14	150,09	2,340	99,4	12,5
12	A211-28	60,75	150,21	2,365	100,5	11,6
Arithmetisches Mittel $\bar{x}$				2,354	100,0	12,0
Spannweite R				0,026	1,1	1,0
Standardabweichung s				0,0107	0,45	0,40

¹⁾ Mittelwert der Rohdichte (siehe Anlage 1.2.06)

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

³⁾ Probekörper für Vorversuch

Asphaltmischgutvariante: A213
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Bindemittelgehalt: grobe Korngrößenverteilung; 4,5 M.-% Bindemittelgehalt

Asphaltgemisch		A213	Raumdichte ρ_{b-MPK} [g/cm ³]	2) 2,436	Rohdichte ¹⁾ ρ_m [g/cm ³]	2,628
Lfd. Nr.	Pk-Nr.	Pk-Höhe [mm]	Pk-Durchmesser [mm]	Raumdichte ρ_{b-Pk} [g/cm ³]	Verdichtungs- grad k [%]	Hohlraum- gehalt V [Vol.-%]
1	A213-01	59,96	149,69	2,449	100,5	6,8
2	(A213-02) ³⁾	59,63	149,73	(2,470)	(101,4)	(6,0)
3	A213-04	59,65	149,95	2,459	100,9	6,4
4	A213-05	59,70	150,10	2,461	101,0	6,4
5	A213-09	59,86	149,92	2,459	100,9	6,4
6	A213-10	60,02	149,88	2,448	100,5	6,8
7	A213-11	59,68	149,83	2,457	100,9	6,5
8	A213-12	59,95	149,76	2,445	100,4	7,0
9	A213-13	59,83	149,60	2,446	100,4	6,9
10	A213-16	60,34	149,85	2,455	100,8	6,6
11	A213-21	60,01	150,03	2,447	100,5	6,9
12	A213-22	59,57	150,12	2,459	101,0	6,4
13	A213-23	59,46	149,88	2,449	100,5	6,8
Arithmetisches Mittel $\bar{x}$				2,453	100,7	6,7
Spannweite R				0,016	0,7	0,6
Standardabweichung s				0,0061	0,25	0,23

¹⁾ Mittelwert der Rohdichte (siehe Anlage 1.2.07)

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

³⁾ Probekörper für Vorversuch

Asphaltmischgutvariante: A215
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: grobe Korngrößenverteilung; 5,5 M.-% Bindemittelgehalt

Asphaltgemisch		A215	Raumdichte ρ_{b-MPK} [g/cm ³]	2) 2,443	Rohdichte ¹⁾ ρ_m [g/cm ³]	2,585
Lfd. Nr.	Pk-Nr.	Pk-Höhe [mm]	Pk-Durchmesser [mm]	Raumdichte ρ_{b-Pk} [g/cm ³]	Verdichtungs- grad k [%]	Hohlraum- gehalt V [Vol.-%]
1	A215-01	59,62	149,95	2,464	100,8	4,7
2	A215-02	60,00	150,12	2,458	100,6	4,9
3	A215-03	59,73	149,84	2,459	100,7	4,9
4	(A215-06) ³⁾	59,76	149,93	(2,476)	(101,4)	(4,2)
5	A215-07	59,96	150,08	2,463	100,8	4,7
6	A215-08	59,44	150,13	2,468	101,0	4,5
7	A215-09	59,79	150,09	2,462	100,8	4,8
8	A215-10	60,02	150,18	2,459	100,7	4,9
9	A215-11	59,94	150,09	2,465	100,9	4,7
10	A215-13	59,75	149,92	2,468	101,0	4,5
11	A215-14	60,18	149,84	2,464	100,9	4,7
12	A215-22	60,04	149,75	2,461	100,7	4,8
13	A215-24	59,97	150,18	2,459	100,7	4,9
Arithmetisches Mittel $\bar{x}$				2,462	100,8	4,7
Spannweite R				0,011	0,4	0,4
Standardabweichung s				0,0034	0,14	0,13

¹⁾ Mittelwert der Rohdichte (siehe Anlage 1.2.08)

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

³⁾ Probekörper für Vorversuch

Asphaltmischgutvariante: A311
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 3,5 M.-% Bindemittelgehalt

Asphaltgemisch		A311	Raumdichte ρ_{b-MPK} [g/cm ³]	²⁾ 2,392	Rohdichte ¹⁾ ρ_m [g/cm ³]	2,671
Lfd. Nr.	Pk-Nr.	Pk-Höhe [mm]	Pk-Durchmesser [mm]	Raumdichte ρ_{b-Pk} [g/cm ³]	Verdichtungs- grad k [%]	Hohlraum- gehalt V [Vol.-%]
1	(A311-05) ³⁾	60,44	148,46	(2,356)	(98,5)	(11,8)
2	A311-08	60,53	149,84	2,390	99,9	10,5
3	A311-10	60,72	149,17	2,368	99,0	11,4
4	A311-12	60,58	149,67	2,371	99,1	11,2
5	A311-14	60,53	149,79	2,367	99,0	11,4
6	A311-16	60,62	149,40	2,367	99,0	11,4
7	A311-22	60,20	149,91	2,386	99,8	10,7
8	A311-23	59,51	149,82	2,367	99,0	11,4
9	A311-24	59,77	149,80	2,393	100,0	10,4
10	A311-26	59,97	149,73	2,380	99,5	10,9
11	A311-27	60,08	149,75	2,392	100,0	10,4
12	A311-30	59,50	149,21	2,394	100,1	10,4
13	A311-32	60,28	149,60	2,392	100,0	10,4
Arithmetisches Mittel $\bar{x}$				2,381	99,5	10,9
Spannweite R				0,027	1,1	1,0
Standardabweichung s				0,0118	0,49	0,44

¹⁾ Mittelwert der Rohdichte (siehe Anlage 1.2.09)

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

³⁾ Probekörper für Vorversuch

Asphaltmischgutvariante: A313
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 4,5 M.-% Bindemittelgehalt

Asphaltgemisch		A313	Raumdichte ρ_{b-MPK} [g/cm ³]	²⁾ 2,454	Rohdichte ¹⁾ ρ_m [g/cm ³]	2,633
Lfd. Nr.	Pk-Nr.	Pk-Höhe [mm]	Pk-Durchmesser [mm]	Raumdichte ρ_{b-Pk} [g/cm ³]	Verdichtungs- grad k [%]	Hohlraum- gehalt V [Vol.-%]
1	A313-07	60,56	149,64	2,455	100,0	6,8
2	A313-08	60,09	149,66	2,460	100,3	6,6
3	A313-10	60,52	149,80	2,464	100,4	6,4
4	A313-11	60,60	149,69	2,459	100,2	6,6
5	A313-12	60,06	149,68	2,461	100,3	6,5
6	A313-14	60,61	149,83	2,459	100,2	6,6
7	A313-15	59,97	150,17	2,470	100,7	6,2
8	A313-16	60,21	150,22	2,467	100,5	6,3
9	A313-17	59,81	150,04	2,474	100,8	6,0
10	A313-18	60,38	149,98	2,472	100,8	6,1
11	A313-20	60,14	149,88	2,463	100,4	6,4
12	(A313-23) ³⁾	60,29	149,91	(2,473)	(100,8)	(6,1)
13	A313-24	60,12	150,09	2,463	100,4	6,5
Arithmetisches Mittel $\bar{x}$				2,464	100,4	6,4
Spannweite R				0,019	0,8	0,7
Standardabweichung s				0,0058	0,24	0,22

¹⁾ Mittelwert der Rohdichte (siehe Anlage 1.2.10)

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

³⁾ Probekörper für Vorversuch

Asphaltmischgutvariante: A315
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 5,5 M.-% Bindemittelgehalt

Asphaltgemisch		A315	Raumdichte ρ_{b-MPK} [g/cm ³]	²⁾ 2,477	Rohdichte ¹⁾ ρ_m [g/cm ³]	2,604
Lfd. Nr.	Pk-Nr.	Pk-Höhe [mm]	Pk-Durchmesser [mm]	Raumdichte ρ_{b-Pk} [g/cm ³]	Verdichtungs- grad k [%]	Hohlraum- gehalt V [Vol.-%]
1	A315-03	60,37	150,09	2,475	99,9	5,0
2	A315-04	59,74	150,04	2,474	99,9	5,0
3	(A315-05) ³⁾	59,64	150,06	(2,489)	(100,5)	(4,4)
4	A315-07	60,11	150,15	2,466	99,5	5,3
5	A315-08	59,88	150,12	2,479	100,1	4,8
6	A315-13	59,83	150,11	2,474	99,9	5,0
7	A315-15	59,83	150,09	2,481	100,2	4,7
8	A315-16	59,56	150,08	2,484	100,3	4,6
9	A315-17	60,21	149,57	2,465	99,5	5,3
10	A315-20	60,07	149,58	2,476	100,0	4,9
11	A315-21	60,45	149,77	2,468	99,6	5,2
12	A315-23	60,06	149,68	2,469	99,7	5,2
13	A315-24	60,41	149,71	2,468	99,6	5,2
Arithmetisches Mittel $\bar{x}$				2,473	99,8	5,0
Spannweite R				0,019	0,8	0,7
Standardabweichung s				0,0063	0,25	0,24

¹⁾ Mittelwert der Rohdichte (siehe Anlage 1.2.11)

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

³⁾ Probekörper für Vorversuch

Asphaltmischgutvariante: A317
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 6,5 M.-% Bindemittelgehalt

Asphaltgemisch		A317	Raumdicthe ρ_{b-MPK} [g/cm ³]	²⁾ 2,486	³⁾ 2,538	Rohdicthe ¹⁾ ρ_m [g/cm ³]	2,546
Lfd. Nr.	Pk-Nr.	Pk- Höhe [mm]	Pk- Durchmesser [mm]	Raumdicthe ρ_{b-Pk} [g/cm ³]	Raumdicthe ρ_{b-Pk} [g/cm ³]	Verdichtungs- grad k [%]	Hohlraum- gehalt V [Vol.-%]
1	A317-01	60,58	150,07	2,467	2,529	99,6	0,7
2	A317-02	59,64	149,92	2,465	2,526	99,5	0,8
3	A317-08	60,25	149,72	2,489	2,537	100,0	0,4
4	A317-10	60,06	149,75	2,463	2,526	99,5	0,8
5	A317-11	59,57	149,66	2,470	2,529	99,6	0,7
6	A317-12	60,39	149,66	2,475	2,531	99,7	0,6
7	A317-13	59,81	149,64	2,468	2,524	99,4	0,9
8	(A317-14) ⁴⁾	59,79	149,46	(2,458)	(2,518)	(99,2)	(1,1)
9	A317-15	59,41	149,36	2,476	2,526	99,5	0,8
10	A317-17	59,80	149,96	2,478	2,535	99,9	0,4
11	A317-18	59,65	149,89	2,475	2,526	99,5	0,8
12	A317-19	59,64	149,38	2,467	2,528	99,6	0,7
13	A317-20	60,14	149,26	2,468	2,530	99,7	0,6
Arithmetisches Mittel $\bar{x}$				2,472	2,529	99,6	0,7
Spannweite R				0,027	0,013	0,5	0,5
Standardabweichung s				0,0073	0,0039	0,15	0,15

¹⁾ Mittelwert der Rohdicthe (siehe Anlage 1.2.12)

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

³⁾ gemäß Verfahren B der TP Asphalt 06/2007

⁴⁾ Probekörper für Vorversuch

Asphaltmischgutvariante: A321
 Bindemittelsorte: 30/45
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 3,5 M.-% Bindemittelgehalt

Asphaltgemisch		A321	Raumdichte ρ_{b-MPK} [g/cm ³]	²⁾ 2,385	Rohdichte ¹⁾ ρ_m [g/cm ³]	2,672
Lfd. Nr.	Pk-Nr.	Pk-Höhe [mm]	Pk-Durchmesser [mm]	Raumdichte ρ_{b-Pk} [g/cm ³]	Verdichtungs- grad k [%]	Hohlraum- gehalt V [Vol.-%]
1	A321-06	60,87	149,98	2,370	99,4	11,3
2	A321-09	60,42	149,38	2,380	99,8	10,9
3	(A321-12) ³⁾	60,78	149,72	(2,362)	(99,0)	(11,6)
4	A321-13	60,45	149,66	2,369	99,3	11,3
5	A321-30	60,39	150,10	2,380	99,8	10,9
6	A321-35	60,68	150,16	2,372	99,5	11,2
7	A321-36	60,14	150,14	2,373	99,5	11,2
8	A321-37	60,06	150,21	2,388	100,1	10,6
9	A321-38	60,08	150,16	2,399	100,6	10,2
10	A321-40	60,05	150,19	2,390	100,2	10,6
11	A321-42	60,49	150,14	2,398	100,6	10,2
12	A321-44	60,16	150,22	2,396	100,5	10,3
13	A321-50	60,05	147,09	2,394	100,4	10,4
Arithmetisches Mittel $\bar{x}$				2,384	100,0	10,8
Spannweite R				0,030	1,3	1,1
Standardabweichung s				0,0113	0,48	0,42

¹⁾ Mittelwert der Rohdichte (siehe Anlage 1.2.13)

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

³⁾ Probekörper für Vorversuch

Asphaltmischgutvariante: A323
 Bindemittelsorte: 30/45
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 4,5 M.-% Bindemittelgehalt

Asphaltgemisch		A323	Raumdichte ρ_{b-MPK} [g/cm ³]	²⁾ 2,445	Rohdichte ¹⁾ ρ_m [g/cm ³]	2,616
Lfd. Nr.	Pk-Nr.	Pk-Höhe [mm]	Pk-Durchmesser [mm]	Raumdichte ρ_{b-Pk} [g/cm ³]	Verdichtungs- grad k [%]	Hohlraum- gehalt V [Vol.-%]
1	A323-02	59,91	150,05	2,435	99,6	6,9
2	A323-03	59,99	150,04	2,434	99,5	7,0
3	A323-04	60,74	150,06	2,444	100,0	6,6
4	A323-05	60,25	149,98	2,454	100,4	6,2
5	(A323-06) ³⁾	60,39	150,06	(2,420)	(99,0)	(7,5)
6	A323-08	60,00	150,07	2,442	99,9	6,7
7	A323-09	60,46	150,09	2,444	100,0	6,6
8	A323-10	60,50	150,04	2,436	99,7	6,9
9	A323-11	60,15	150,10	2,445	100,0	6,6
10	A323-13	60,42	149,94	2,438	99,7	6,8
11	A323-15	61,11	150,01	2,424	99,2	7,3
12	A323-16	60,44	150,04	2,435	99,6	6,9
13	A323-18	60,32	150,10	2,439	99,8	6,8
Arithmetisches Mittel $\bar{x}$				2,439	99,8	6,8
Spannweite R				0,030	1,2	1,1
Standardabweichung s				0,0074	0,30	0,28

¹⁾ Mittelwert der Rohdichte (siehe Anlage 1.2.14)

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

³⁾ Probekörper für Vorversuch

Asphaltmischgutvariante: A325
 Bindemittelsorte: 30/45
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 5,5 M.-% Bindemittelgehalt

Asphaltgemisch		A325	Raumdicke ρ_{b-MPK} [g/cm ³]	²⁾ 2,469	Rohdicke ¹⁾ ρ_m [g/cm ³]	2,583
Lfd. Nr.	Pk-Nr.	Pk- Höhe [mm]	Pk- Durchmesser [mm]	Raumdicke ρ_{b-Pk} [g/cm ³]	Verdichtungs- grad k [%]	Hohlraum- gehalt V [Vol.-%]
1	A325-02	59,79	149,88	2,465	99,8	4,6
2	A325-03	60,42	149,62	2,473	100,2	4,2
3	A325-05	59,73	150,09	2,476	100,3	4,2
4	A325-06	60,09	150,10	2,478	100,4	4,1
5	A325-08	59,62	149,57	2,481	100,5	4,0
6	A325-10	59,75	149,71	2,475	100,2	4,2
7	A325-11	59,34	150,11	2,473	100,2	4,3
8	A325-15	59,60	149,46	2,474	100,2	4,2
9	A325-16	60,29	149,70	2,459	99,6	4,8
10	A325-17	60,13	150,04	2,461	99,7	4,7
11	(A325-18) ³⁾	59,75	149,97	(2,482)	(100,5)	(3,9)
12	A325-19	59,63	150,04	2,475	100,2	4,2
13	A325-20	59,76	150,16	2,475	100,2	4,2
Arithmetisches Mittel $\bar{x}$				2,472	100,1	4,3
Spannweite R				0,021	0,9	0,8
Standardabweichung s				0,0066	0,27	0,25

¹⁾ Mittelwert der Rohdicke (siehe Anlage 1.2.15)

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

³⁾ Probekörper für Vorversuch

Asphaltmischgutvariante: B311
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: B
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 3,5 M.-% Bindemittelgehalt

Asphaltgemisch		B311	Raumdicke ρ_{b-MPK} [g/cm ³]	²⁾ 2,406	Rohdicke ¹⁾ ρ_m [g/cm ³]	2,693
Lfd. Nr.	Pk-Nr.	Pk-Höhe [mm]	Pk-Durchmesser [mm]	Raumdicke ρ_{b-BK} [g/cm ³]	Verdichtungs- grad k [%]	Hohlraum- gehalt V [Vol.-%]
1	(B311-02) ³⁾	60,36	149,13	(2,356)	(97,9)	(10,7)
2	B311-03	60,01	149,17	2,387	99,2	11,4
3	B311-04	60,29	149,30	2,394	99,5	11,1
4	B311-05	60,56	149,14	2,399	99,7	10,9
5	B311-07	60,25	149,35	2,381	99,0	11,6
6	B311-09	60,29	149,30	2,389	99,3	11,3
7	B311-11	59,93	149,25	2,385	99,1	11,4
8	B311-12	60,46	149,32	2,405	100,0	10,7
9	B311-13	60,29	149,30	2,387	99,2	11,4
10	B311-14	60,21	149,32	2,393	99,5	11,1
11	B311-15	60,24	149,30	2,388	99,2	11,3
12	B311-17	60,81	149,37	2,383	99,0	11,5
13	B311-24	60,88	149,23	2,399	99,7	10,9
Arithmetisches Mittel $\bar{x}$				2,391	99,4	11,2
Spannweite R				0,024	1,0	0,9
Standardabweichung s				0,0073	0,30	0,27

¹⁾ Mittelwert der Rohdicke (siehe Anlage 1.2.16)

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

³⁾ Probekörper für Vorversuch

Asphaltmischgutvariante: B313
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: B
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 4,5 M.-% Bindemittelgehalt

Asphaltgemisch		B313	Raumdichte $\rho_{b\text{-MPK}}$ [g/cm ³]	²⁾ 2,464	Rohdichte ¹⁾ ρ_m [g/cm ³]	2,648
Lfd. Nr.	Pk-Nr.	Pk-Höhe [mm]	Pk-Durchmesser [mm]	Raumdichte $\rho_{b\text{-BK}}$ [g/cm ³]	Verdichtungsgrad k [%]	Hohlraumgehalt V [Vol.-%]
1	B313-02	60,62	149,20	2,470	100,3	6,7
2	B313-04	59,92	149,17	2,456	99,7	7,3
3	B313-06	60,00	149,34	2,449	99,4	7,5
4	B313-07	59,83	149,22	2,455	99,6	7,3
5	B313-08	60,52	149,27	2,455	99,6	7,3
6	(B313-10) ³⁾	59,72	149,32	(2,439)	(99,0)	(7,9)
7	B313-11	59,78	149,30	2,470	100,3	6,7
8	B313-13	60,17	149,13	2,452	99,5	7,4
9	B313-16	60,83	149,29	2,447	99,3	7,6
10	B313-17	60,54	149,24	2,444	99,2	7,7
11	B313-18	60,10	149,29	2,440	99,0	7,9
12	B313-19	60,49	149,25	2,445	99,2	7,7
13	B313-20	59,92	149,20	2,452	99,5	7,4
Arithmetisches Mittel $\bar{x}$				2,453	99,6	7,4
Spannweite R				0,030	1,2	1,2
Standardabweichung s				0,0094	0,38	0,36

¹⁾ Mittelwert der Rohdichte (siehe Anlage 1.2.17)

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

³⁾ Probekörper für Vorversuch

Asphaltmischgutvariante: B315
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: B
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 5,5 M.-% Bindemittelgehalt

Asphaltgemisch		B315	Raumdichte $\rho_{b\text{-MPK}}$ [g/cm ³]	²⁾ 2,478	Rohdichte ¹⁾ ρ_m [g/cm ³]	2,600
Lfd. Nr.	Pk-Nr.	Pk-Höhe [mm]	Pk-Durchmesser [mm]	Raumdichte $\rho_{b\text{-BK}}$ [g/cm ³]	Verdichtungs- grad k [%]	Hohlraum- gehalt V [Vol.-%]
1	B315-02	59,61	149,36	2,467	99,6	5,1
2	B315-03	59,69	149,32	2,461	99,3	5,4
3	B315-04	60,27	149,26	2,472	99,8	4,9
4	B315-05	59,50	149,43	2,463	99,4	5,3
5	B315-06	60,14	149,34	2,465	99,5	5,2
6	B315-07	60,05	149,37	2,490	100,5	4,2
7	B315-08	59,34	149,40	2,468	99,6	5,1
8	B315-10	60,05	149,29	2,473	99,8	4,9
9	B315-12	60,00	149,20	2,470	99,7	5,0
10	B315-13	59,43	149,24	2,486	100,3	4,4
11	B315-14	60,01	149,18	2,482	100,1	4,6
12	(B315-15) ³⁾	59,51	149,32	(2,455)	(99,1)	(5,6)
13	B315-16	59,95	149,30	2,491	100,5	4,2
Arithmetisches Mittel $\bar{x}$				2,474	99,8	4,8
Spannweite R				0,030	1,2	1,2
Standardabweichung s				0,0106	0,43	0,41

¹⁾ Mittelwert der Rohdichte (siehe Anlage 1.2.18)

²⁾ gemäß Verfahren D der TP Asphalt 06/2007

³⁾ Probekörper für Vorversuch

A2 Ergebnisse der Spaltzug-Schwellversuche

A2.1 Ermüdungsfunktionen

Asphaltmischgutvariante: A111
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: mittlere Korngrößenverteilung; 3,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.1: Ergebnisse der Ermüdungsversuche am Asphalt A111

T [°C]	f [Hz]	Pk-Nr. [-]	σ_u [N/mm ²]	σ_o [N/mm ²]	ΔF [N]	Δu [mm]	IEI [N/mm ²]	$\epsilon_{el, \text{anf}}$ [‰]	N _{Makro} [-]	N _{Ende} [-]
20	10	A111-24	0,035	0,240	2.854,7	0,0035	7.608	0,049	25.137	38.240
		A111-27		0,200	2.296,6	0,0042	5.101	0,059	12.617	18.541
		-		-	-	-	-	-	-	-
		A111-20	0,035	0,360	4.534,0	0,0069	6.173	0,097	7.141	10.799
		A111-26		0,240	2.838,2	0,0058	4.619	0,081	7.098	10.263
		-		-	-	-	-	-	-	-
		A111-07	0,035	0,480	6.157,1	0,0091	6.328	0,128	2.737	4.326
		A111-22		0,360	4.678,4	0,0116	3.753	0,163	1.934	2.831
		-		-	-	-	-	-	-	-

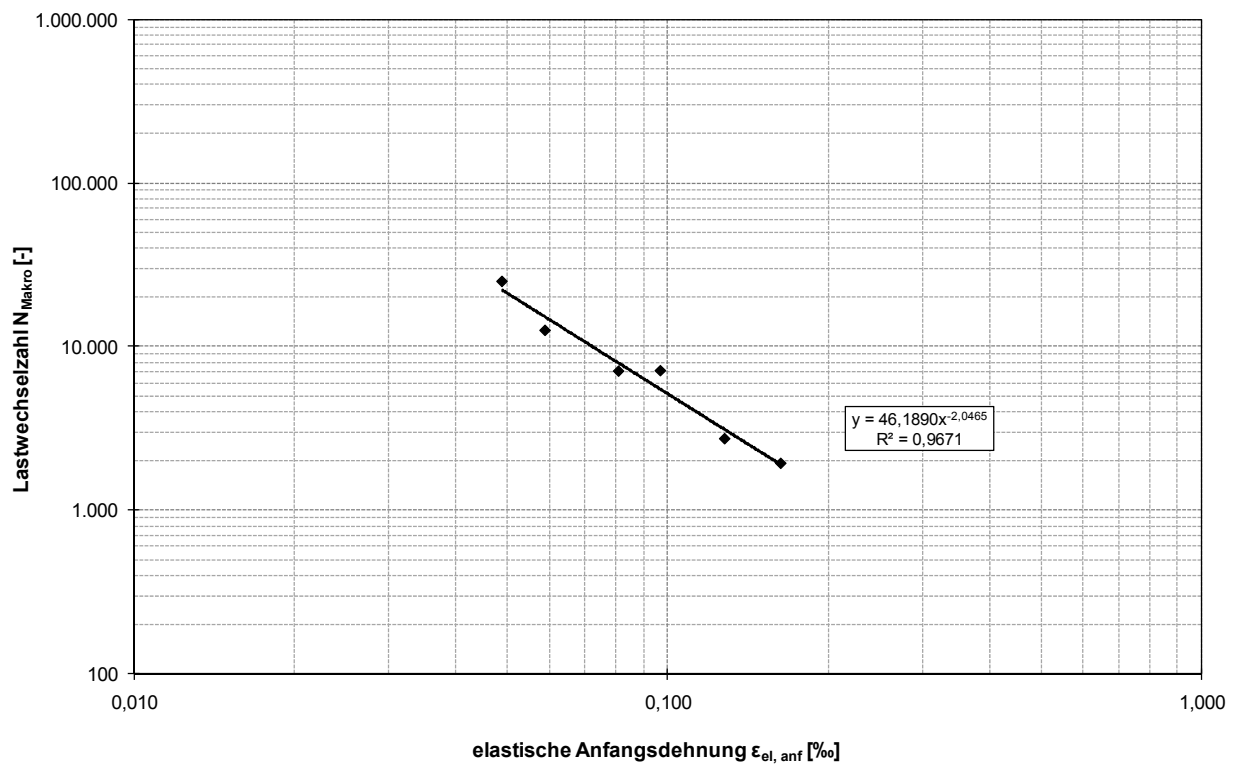


Abbildung A 2.1: Dehnungsabhängiges Ermüdungsfunktion des Asphaltes A111

Asphaltmischgutvariante: A112
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: mittlere Korngrößenverteilung; 4,0 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.2: Ergebnisse der Ermüdungsversuche am Asphalt A112

T [°C]	f [Hz]	Pk-Nr. [-]	σ_u [N/mm ²]	σ_o [N/mm ²]	ΔF [N]	Δu [mm]	IEI [N/mm ²]	$\epsilon_{el, \text{anf}}$ [‰]	N _{Makro} [-]	N _{Ende} [-]
20	10	A112-20	0,035	0,250	2.958,9	0,0033	8.226	0,047	17.861	25.864
		A112-17		0,250	2.872,7	0,0040	6.684	0,057	11.994	17.780
		A112-09		0,250	2.997,6	0,0041	6.764	0,058	13.117	19.608
		A112-03	0,035	0,350	4.452,6	0,0086	4.831	0,122	3.253	4.497
		A112-06		0,350	4.600,3	0,0079	5.434	0,112	7.615	10.132
		A112-05		0,350	4.488,2	0,0082	5.112	0,116	4.166	5.864
		A112-23	0,035	0,650	8.534,2	0,0197	4.058	0,278	220	384
		A112-12		0,450	5.872,6	0,0076	7.205	0,108	3.047	4.885
		-	-	-	-	-	-	-	-	-

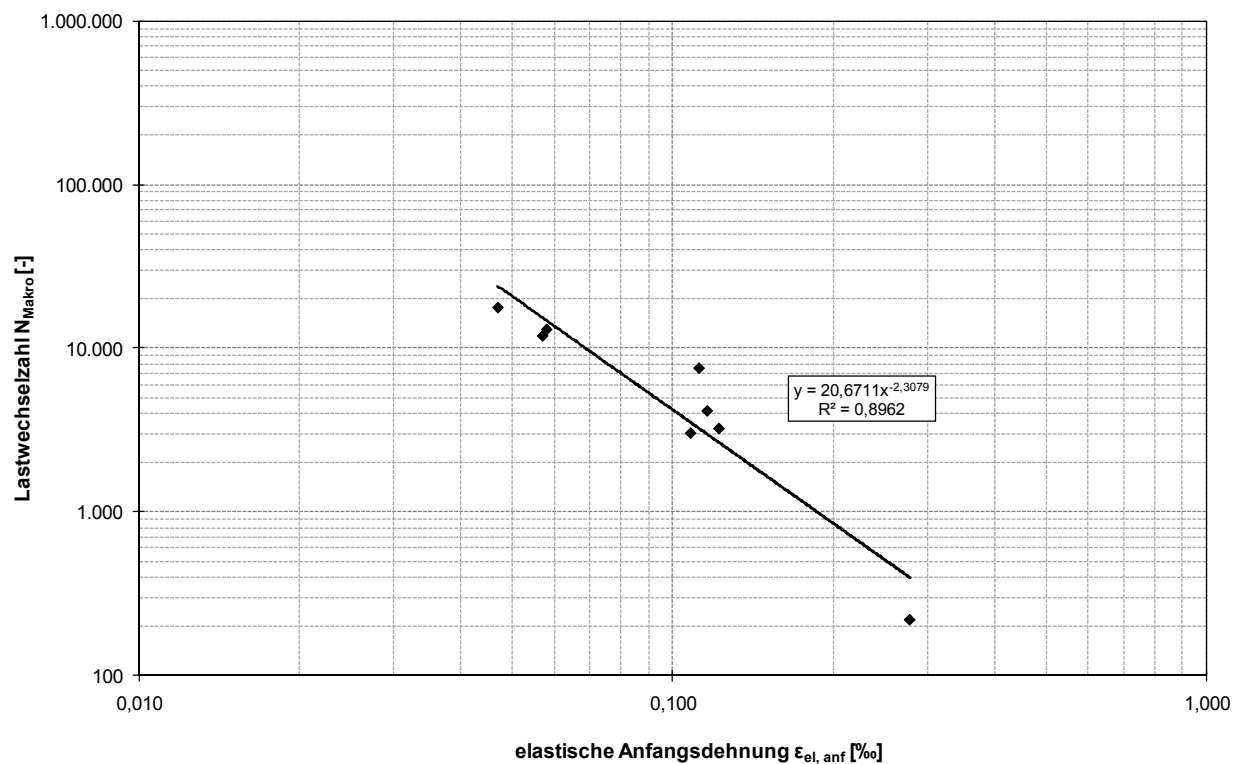


Abbildung A 2.2: Dehnungsabhängiges Ermüdungsfunktion des Asphaltes A112

Asphaltmischgutvariante: A113
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: mittlere Korngrößenverteilung; 4,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.3: Ergebnisse der Ermüdungsversuche am Asphalt A113

T [°C]	f [Hz]	Pk-Nr. [-]	σ_u [N/mm ²]	σ_o [N/mm ²]	ΔF [N]	Δu [mm]	IEI [N/mm ²]	$\epsilon_{el, \text{anf}}$ [‰]	N_{Makro} [-]	N_{Ende} [-]
20	10	A113-04	0,035	0,300	3.486,7	0,0040	8.188	0,058	13.104	18.433
		A113-07		0,300	3.576,0	0,0044	7.651	0,062	9.209	12.938
		A113-24		0,300	3.584,4	0,0030	11.342	0,042	31.009	42.408
		A113-01	0,035	0,500	6.614,8	0,0094	6.629	0,133	1.388	2.052
		A113-02		0,500	6.599,0	0,0082	7.682	0,115	2.355	3.508
		A113-12		0,500	6.505,1	0,0079	7.778	0,111	3.030	4.335
		A113-18	0,035	0,650	8.464,8	0,0092	8.680	0,130	2.231	3.060
		A113-19		0,700	9.453,0	0,0114	7.823	0,161	1.128	1.680
		A113-05		0,700	9.519,8	0,0134	6.704	0,189	633	958

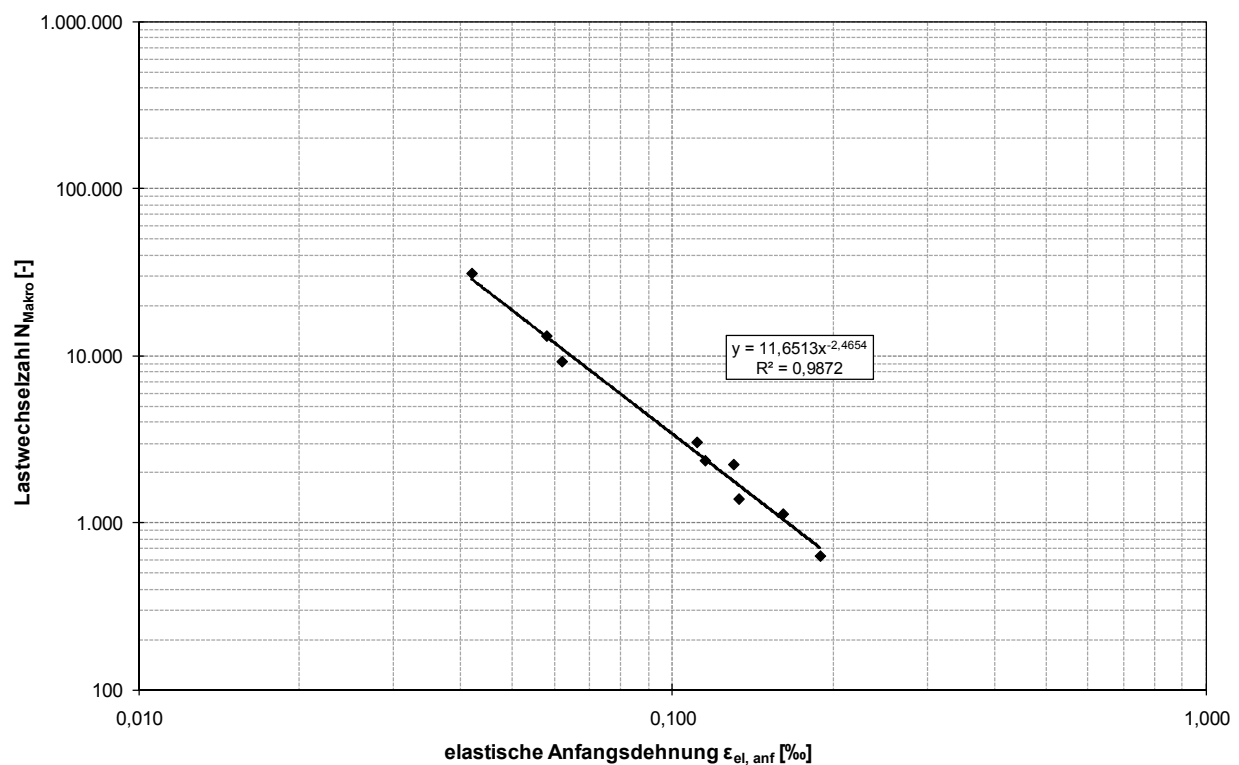


Abbildung A 2.3: Dehnungsabhängiges Ermüdungsfunktion des Asphaltes A113

Asphaltmischgutvariante: A114
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: mittlere Korngrößenverteilung; 5,0 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.4: Ergebnisse der Ermüdungsversuche am Asphalt A114

T [°C]	f [Hz]	Pk-Nr. [-]	σ_u [N/mm ²]	σ_o [N/mm ²]	ΔF [N]	Δu [mm]	IEI [N/mm ²]	$\epsilon_{el, \text{anf}}$ [‰]	N _{Makro} [-]	N _{Ende} [-]
20	10	A114-23	0,035	0,300	3.487,4	0,0036	9.191	0,051	23.279	30.408
		A114-04		0,300	3.568,4	0,0033	10.112	0,047	20.301	28.200
		A114-13		0,300	3.612,0	0,0040	8.561	0,057	22.773	30.860
		A114-05	0,035	0,500	6.509,1	0,0079	7.705	0,112	2.152	3.008
		A114-09		0,500	6.505,9	0,0078	7.832	0,110	3.479	4.830
		A114-12		0,500	6.678,4	0,0080	7.935	0,113	4.084	5.750
		A114-06	0,035	0,800	10.950,8	0,0149	6.947	0,210	685	1.017
		A114-07		0,700	9.278,2	0,0130	6.764	0,184	726	1.176
		A114-08		0,700	9.380,7	0,01370	6.433	0,192	749	1.071

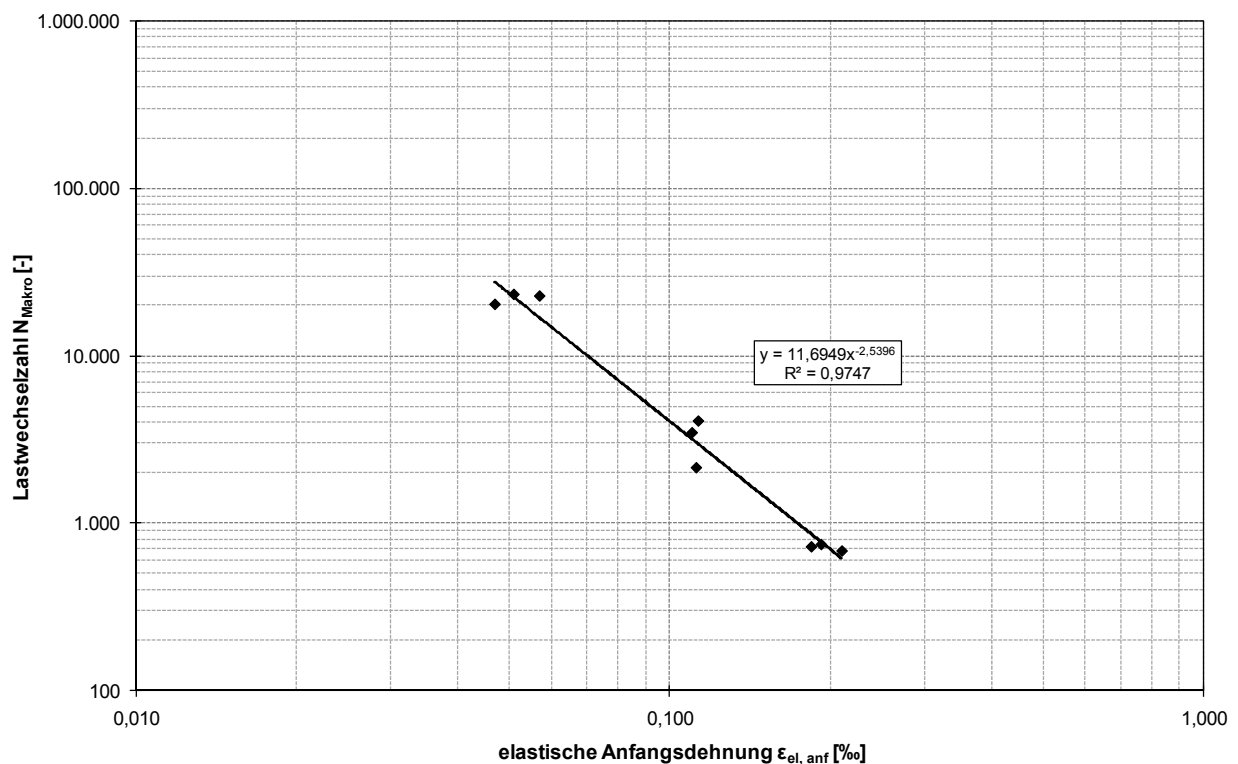


Abbildung A 2.4: Dehnungsabhängiges Ermüdungsfunktion des Asphaltes A114

Asphaltmischgutvariante: A115
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: mittlere Korngrößenverteilung; 5,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.5: Ergebnisse der Ermüdungsversuche am Asphalt A115

T [°C]	f [Hz]	Pk-Nr. [-]	σ_u [N/mm ²]	σ_o [N/mm ²]	ΔF [N]	Δu [mm]	IEI [N/mm ²]	$\varepsilon_{el, \text{anf}}$ [‰]	N_{Makro} [-]	N_{Ende} [-]
20	10	A115-02	0,035	0,250	2.724,5	0,0032	8.016	0,048	19.729	24.008
		A115-08		0,250	2.939,1	0,0052	5.445	0,073	11.734	13.500
		A115-10		0,250	2.862,9	0,0047	5.819	0,066	12.585	15.608
		A115-03	0,035	0,450	5.633,2	0,0067	8.034	0,094	3.020	4.230
		A115-14		0,450	5.799,6	0,0077	7.128	0,109	2.811	3.880
		A115-21		0,450	5.602,8	0,0082	6.499	0,115	2.210	2.700
		A115-24	0,035	0,750	10.292,6	0,0166	5.866	0,234	471	658
		A115-22		0,650	8.428,6	0,0134	6.118	0,188	730	1.008
		A115-13		0,650	8.517,6	0,0140	5.800	0,198	932	1.208

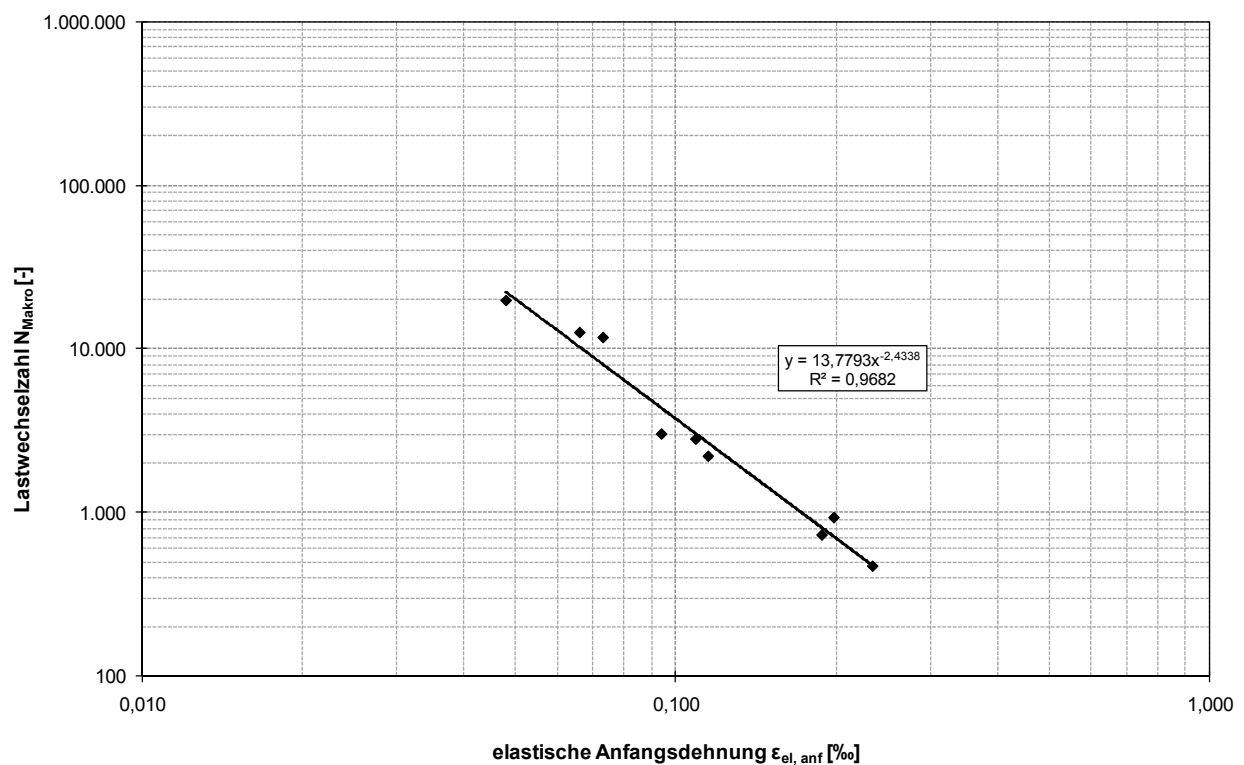


Abbildung A 2.5: Dehnungsabhängiges Ermüdungsfunktion des Asphaltes A115

Asphaltmischgutvariante: A211
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: grobe Korngrößenverteilung; 3,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.6: Ergebnisse der Ermüdungsversuche am Asphalt A211

T [°C]	f [Hz]	Pk-Nr. [-]	σ_u [N/mm ²]	σ_o [N/mm ²]	ΔF [N]	Δu [mm]	IEI [N/mm ²]	$\epsilon_{el, \text{anf}}$ [‰]	N_{Makro} [-]	N_{Ende} [-]
20	10	A211-09	0,035	0,200	2.270,2	0,0044	4.860	0,062	6.672	9.221
		A211-27		0,190	2.122,0	0,0029	6.894	0,040	12.176	16.999
		A211-10		0,200	2.300,1	0,0036	6.124	0,050	12.890	18.856
		A211-13	0,035	0,290	3.537,1	0,0071	4.698	0,100	2.074	2.996
		A211-12		0,290	3.467,2	0,0052	6.300	0,074	5.877	7.924
		A211-24		0,290	3.590,1	0,0073	4.678	0,102	2.192	3.118
		A211-14	0,035	0,380	4.799,3	0,0089	5.059	0,126	1.298	2.027
		-		-	-	-	-	-	-	-
		A211-26		0,380	4.819,6	0,0077	5.859	0,109	1.790	2.546

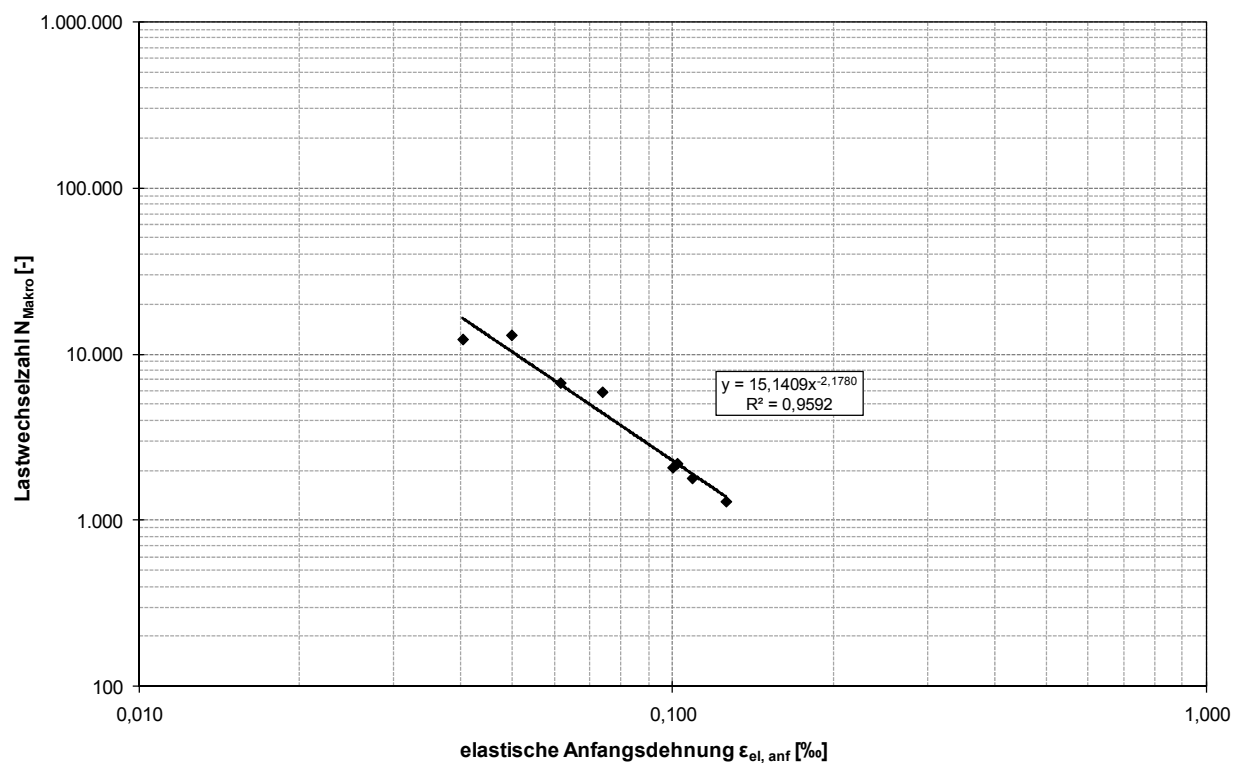


Abbildung A 2.6: Dehnungsabhängiges Ermüdungsfunktion des Asphaltes A211

Asphaltmischgutvariante: A213
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: grobe Korngrößenverteilung; 4,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.7: Ergebnisse der Ermüdungsversuche am Asphalt A213

T [°C]	f [Hz]	Pk-Nr. [-]	σ_u [N/mm ²]	σ_o [N/mm ²]	ΔF [N]	Δu [mm]	IEI [N/mm ²]	$\epsilon_{el, \text{anf}}$ [‰]	N_{Makro} [-]	N_{Ende} [-]
20	10	A213-01	0,035	0,250	2.995,3	0,0031	9.157	0,044	30.423	37.154
		A213-10		0,260	3.028,5	0,0034	8.442	0,048	21.231	28.181
		A213-12		0,260	3.070,5	0,0032	9.200	0,045	32.251	42.008
		A213-13	0,035	0,420	5.333,6	0,0059	8.698	0,083	6.136	8.412
		A213-21		0,420	5.335,3	0,0066	7.699	0,093	7.247	9.944
		A213-23		0,420	5.313,9	0,0081	6.302	0,114	3.082	4.161
		A213-04	0,035	0,610	8.044,7	0,0108	7.127	0,152	1.107	1.655
		A213-05		0,590	7.809,5	0,0086	8.672	0,121	1.756	2.479
		A213-16		0,590	7.783,9	0,0106	6.979	0,149	1.710	2.446

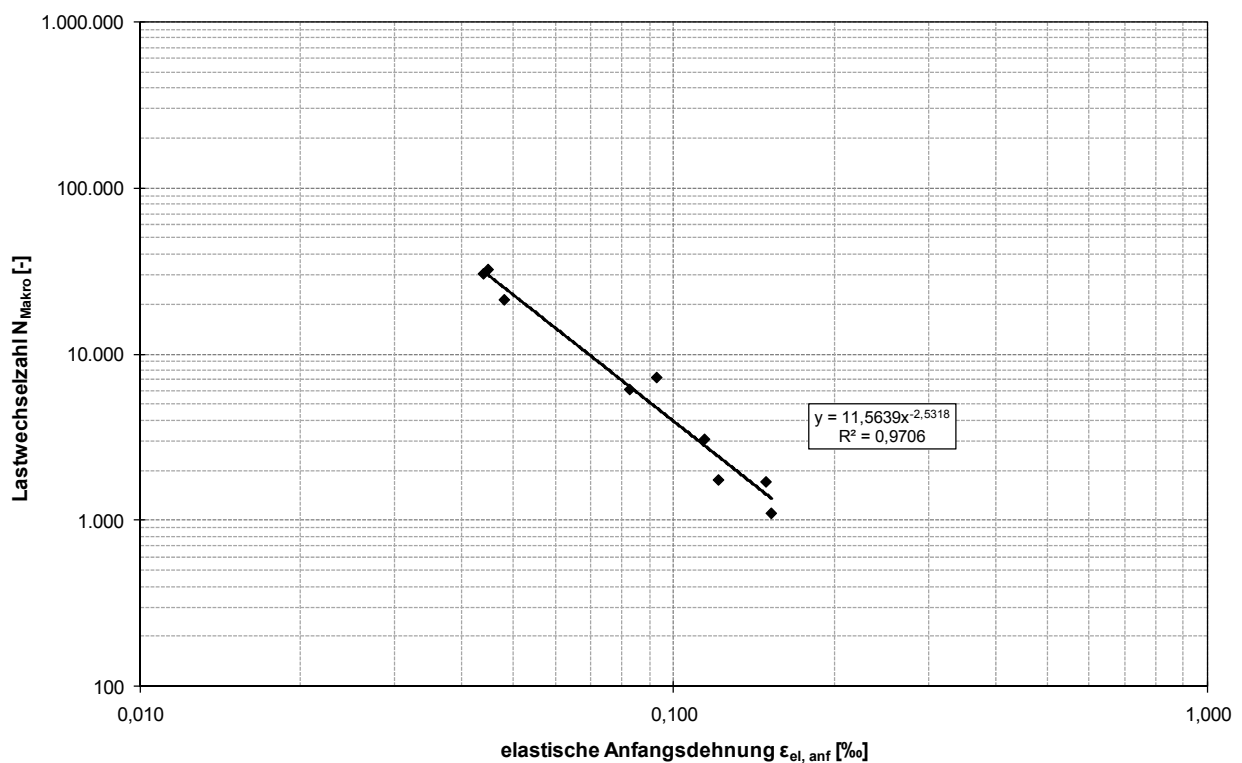


Abbildung A 2.7: Dehnungsabhängiges Ermüdungsfunktion des Asphaltes A213

Asphaltmischgutvariante: A215
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: grobe Korngrößenverteilung; 5,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.8: Ergebnisse der Ermüdungsversuche am Asphalt A215

T [°C]	f [Hz]	Pk-Nr. [-]	σ_u [N/mm ²]	σ_o [N/mm ²]	ΔF [N]	Δu [mm]	IEI [N/mm ²]	$\varepsilon_{el, \text{anf}}$ [‰]	N _{Makro} [-]	N _{Ende} [-]
20	10	A215-02	0,035	0,200	2.261,5	0,0032	6.681	0,045	31.188	41.798
		A215-10		0,230	2.713,0	0,0036	7.154	0,051	15.203	16.674
		A215-24		0,230	2.628,6	0,0045	5.586	0,063	13.604	15.213
		A215-03	0,035	0,350	4.321,6	0,0054	7.614	0,077	5.769	8.575
		A215-09		0,360	4.455,2	0,0077	5.507	0,109	4.583	5.626
		A215-22		0,360	4.487,1	0,0065	6.602	0,091	4.252	5.783
		A215-01	0,035	0,480	6.177,8	0,0098	6.081	0,137	2.197	3.125
		A215-07		0,480	6.127,1	0,0097	6.036	0,136	2.241	2.710
		A315-14		0,480	6.192,7	0,0098	6.014	0,138	1.448	1.930

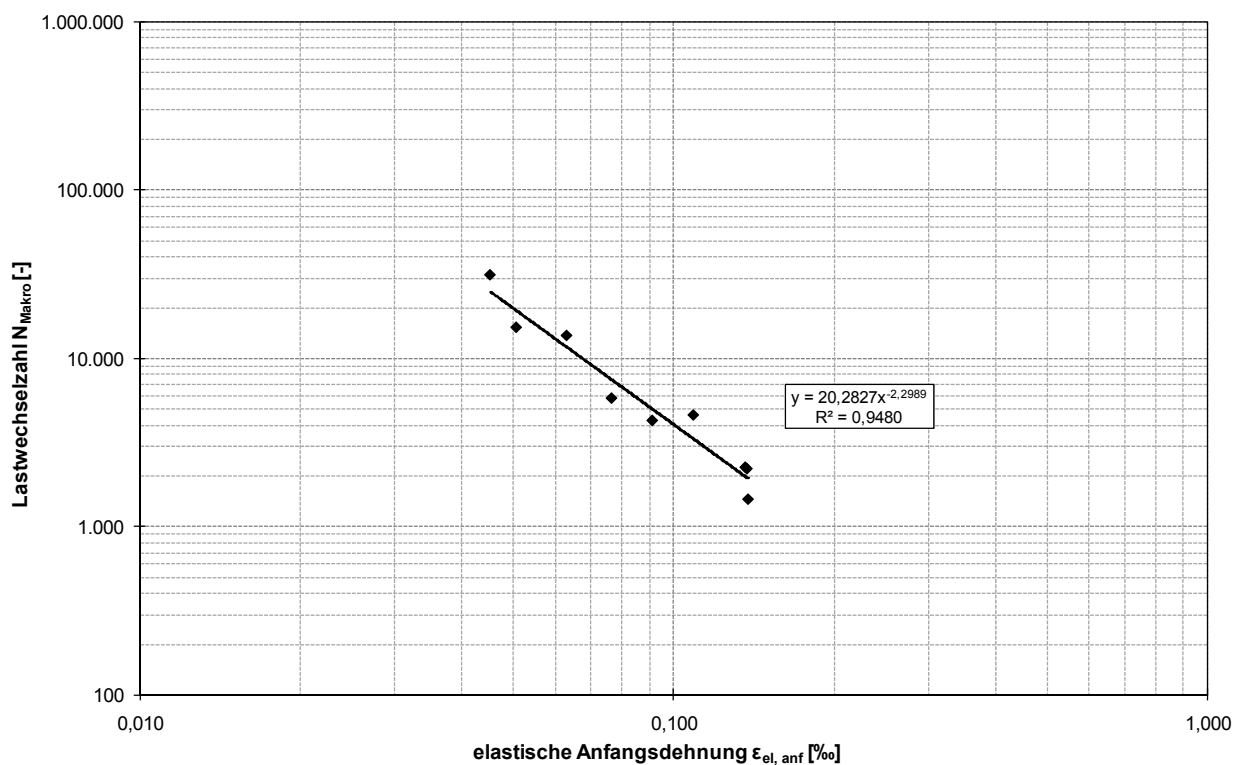


Abbildung A 2.8: Dehnungsabhängiges Ermüdungsfunktion des Asphaltes A215

Asphaltmischgutvariante: A311
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 3,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.9: Ergebnisse der Ermüdungsversuche am Asphalt A311

T [°C]	f [Hz]	Pk-Nr. [-]	σ_u [N/mm ²]	σ_o [N/mm ²]	ΔF [N]	Δu [mm]	IEI [N/mm ²]	$\varepsilon_{el, \text{anf}}$ [‰]	N _{Makro} [-]	N _{Ende} [-]
20	10	A311-16	0,035	0,210	2.423,7	0,0046	4.990	0,065	11.357	16.993
		A311-10		0,210	2.427,5	0,0048	4.772	0,068	9.098	13.240
		A311-14		0,210	2.492,0	0,0041	5.735	0,058	15.236	22.736
		A311-12	0,035	0,320	3.934,1	0,0067	5.586	0,094	4.001	5.954
		A311-23		0,320	3.870,4	0,0074	5.015	0,104	3.829	5.208
		A311-26		0,320	3.942,7	0,0073	5.188	0,102	3.548	5.489
		A311-08	0,035	0,380	4.875,0	0,0091	5.088	0,128	1.762	2.748
		A311-22		0,400	5.143,0	0,0097	5.040	0,136	1.357	2.215
		A311-27		0,400	5.060,4	0,0119	4.043	0,168	810	1.310

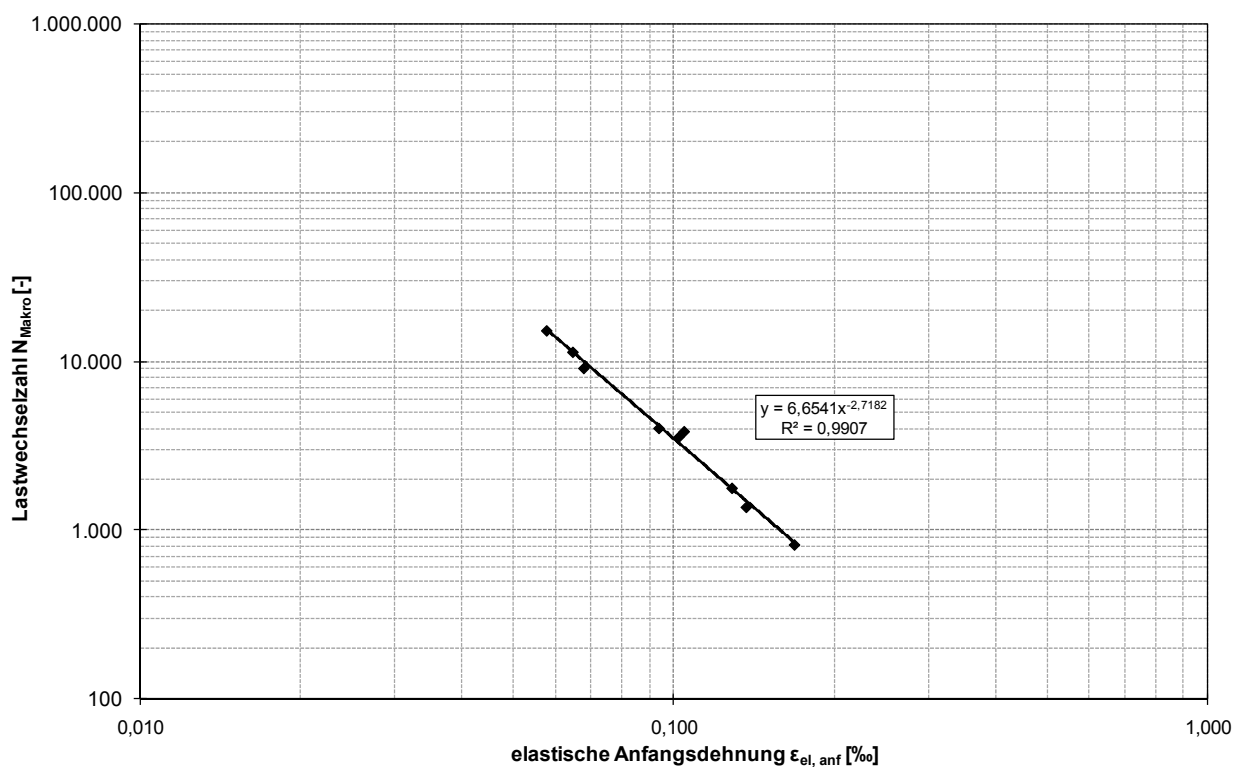


Abbildung A 2.9: Dehnungsabhängiges Ermüdungsfunktion des Asphaltes A311

Asphaltmischgutvariante: A313
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 4,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.10: Ergebnisse der Ermüdungsversuche am Asphalt A313

T [°C]	f [Hz]	Pk-Nr. [-]	σ_u [N/mm ²]	σ_o [N/mm ²]	ΔF [N]	Δu [mm]	IEI [N/mm ²]	$\epsilon_{el, \text{anf}}$ [‰]	N _{Makro} [-]	N _{Ende} [-]
20	10	A313-11	0,035	0,250	2.953,1	0,0036	7.665	0,051	39.894	57.827
		A313-12		0,300	3.637,2	0,0046	7.561	0,065	12.631	17.608
		A313-14		0,300	3.738,4	0,0045	7.784	0,064	24.931	35.416
		A313-08	0,035	0,450	5.788,1	0,0070	7.870	0,099	5.235	7.742
		A313-20		0,450	5.868,9	0,0062	8.952	0,088	6.654	9.009
		A313-24		0,450	5.840,2	0,0060	9.235	0,085	5.755	8.184
		A313-16	0,035	0,620	8.350,3	0,0126	6.282	0,177	890	1.421
		A313-10		0,650	8.707,3	0,0119	6.937	0,167	949	1.441
		A313-07		0,620	8.349,4	0,0104	7.605	0,146	1.921	2.786

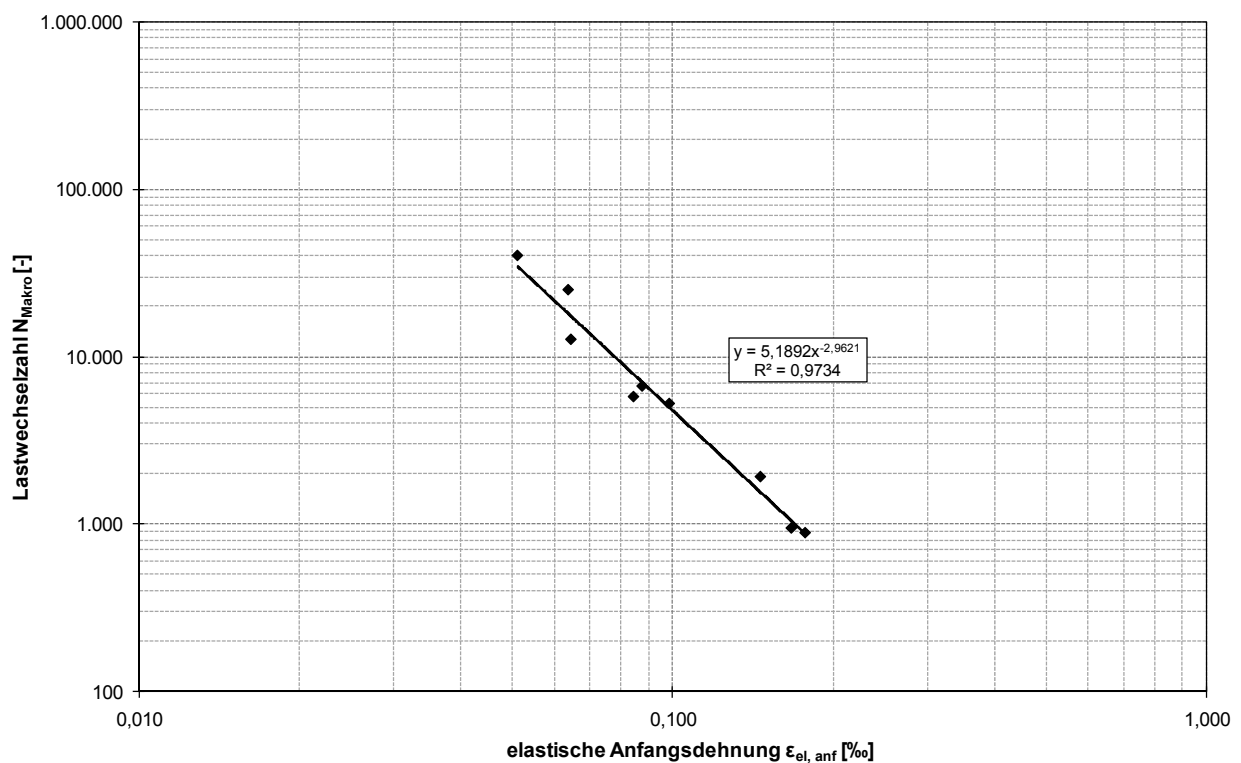


Abbildung A 2.10: Dehnungsabhängiges Ermüdungsfunktion des Asphaltes A313

Asphaltmischgutvariante: A315
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 5,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.11: Ergebnisse der Ermüdungsversuche am Asphalt A315

T [°C]	f [Hz]	Pk-Nr. [-]	σ_u [N/mm ²]	σ_o [N/mm ²]	ΔF [N]	Δu [mm]	IEI [N/mm ²]	$\epsilon_{el, \text{anf}}$ [‰]	N _{Makro} [-]	N _{Ende} [-]
20	10	A315-07	0,035	0,350	3.678,0	0,0047	7.506	0,066	30.018	36.557
		A315-17		0,300	3.697,3	0,0042	8.439	0,059	33.637	47.687
		A315-24		0,300	3.605,3	0,0044	7.784	0,062	22.497	30.118
		A315-13	0,035	0,520	6.734,1	0,0088	7.296	0,124	2.952	4.145
		A315-21		0,520	6.807,4	0,0091	7.105	0,128	3.323	4.208
		A315-23		0,520	6.795,0	0,0093	6.940	0,131	3.717	5.279
		A315-03	0,035	0,750	10.076,8	0,0134	7.156	0,188	1.549	2.086
		A315-04		0,650	8.707,3	0,0119	7.028	0,167	949	1.502
		A315-20		0,750	9.998,6	0,0138	6.901	0,195	810	1.222

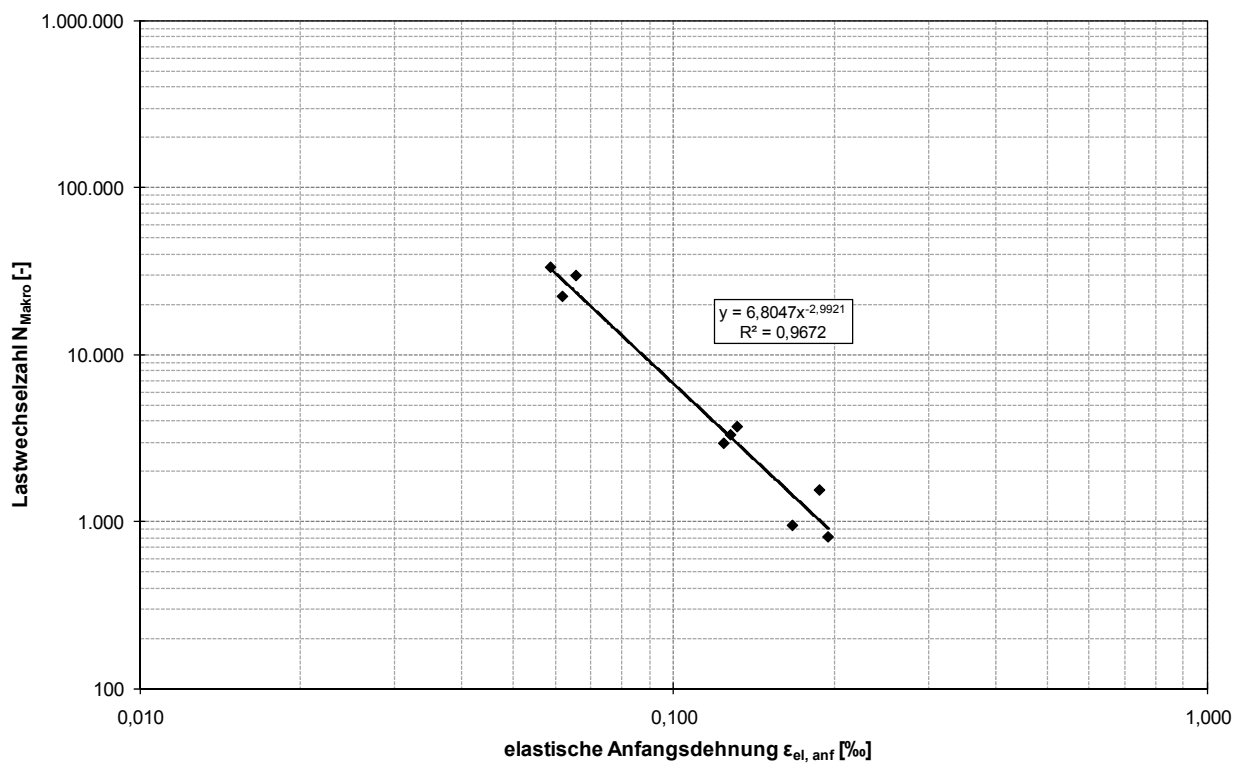


Abbildung A 2.11: Dehnungsabhängiges Ermüdungsfunktion des Asphaltes A315

Asphaltmischgutvariante: A317
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 6,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.12: Ergebnisse der Ermüdungsversuche am Asphalt A317

T [°C]	f [Hz]	Pk-Nr. [-]	σ_u [N/mm ²]	σ_o [N/mm ²]	ΔF [N]	Δu [mm]	EI [N/mm ²]	$\epsilon_{el, \text{anf}}$ [‰]	N _{Makro} [-]	N _{Ende} [-]
20	10	A317-02	0,035	0,260	3.121,5	0,0037	8.140	0,052	20.039	26.536
		A317-10		0,280	3.400,6	0,0047	6.854	0,067	12.537	14.408
		A317-18		0,280	3.410,8	0,0039	8.302	0,055	19.908	26.008
		A317-15	0,035	0,405	5.008,0	0,0069	6.959	0,098	7.509	9.405
		A317-19		0,405	5.007,3	0,0058	8.233	0,082	7.595	9.665
		A317-20		0,405	5.135,1	0,0066	7.388	0,093	7.967	8.808
		A317-01	0,035	0,550	7.294,8	0,0100	6.883	0,141	1.630	2.247
		A317-11		0,550	7.173,7	0,0108	6.404	0,152	1.671	2.240
		A317-12		0,550	7.267,3	0,0108	6.341	0,153	1.455	2.053

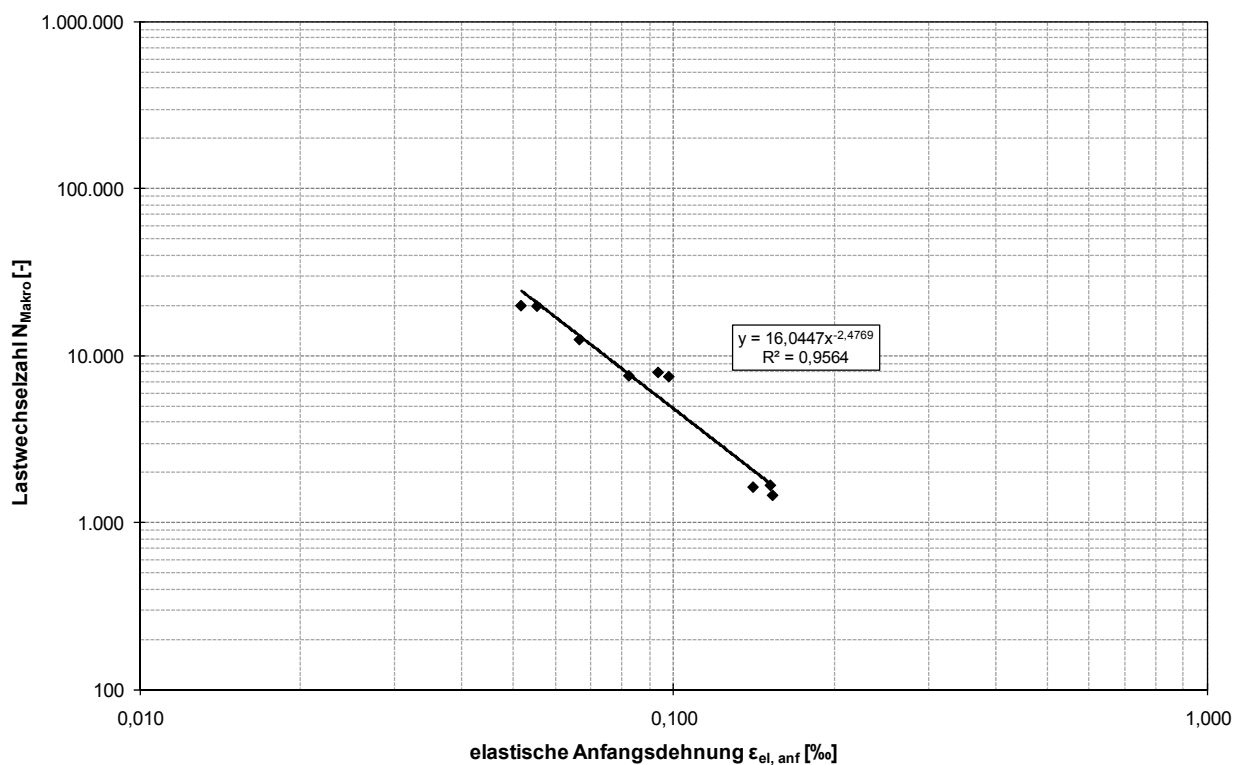


Abbildung A 2.12: Dehnungsabhängiges Ermüdungsfunktion des Asphaltes A317

Asphaltmischgutvariante: A321
 Bindemittelsorte: 30/45
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 3,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.13: Ergebnisse der Ermüdungsversuche am Asphalt A321

T [°C]	f [Hz]	Pk-Nr. [-]	σ_u [N/mm ²]	σ_o [N/mm ²]	ΔF [N]	Δu [mm]	EI [N/mm ²]	$\epsilon_{el, \text{anf}}$ [‰]	N _{Makro} [-]	N _{Ende} [-]
20	10	A321-06	0,035	0,250	2.996,0	0,0069	4.099	0,097	3.738	6.675
		A321-09		0,210	2.410,0	0,0028	8.146	0,040	13.968	23.705
		A321-13		0,250	2.925,6	0,0042	6.590	0,059	9.112	14.686
		A321-35		0,250	2.980,6	0,0026	10.893	0,036	108.503	221.808
		A321-30	0,035	0,400	5.138,9	0,0065	7.551	0,091	3.655	6.290
		A321-38		0,400	5.064,4	0,0058	8.345	0,081	7.211	13.753
		A321-36		0,400	5.091,9	0,0051	9.527	0,071	12.546	22.711
		A321-37	0,035	0,500	6.504,9	0,0095	6.558	0,133	2.207	3.400
		A321-40		0,500	6.469,7	0,0081	7.595	0,114	1.871	3.339
		A321-50		0,500	6.353,8	0,0117	5.185	0,167	739	1.208

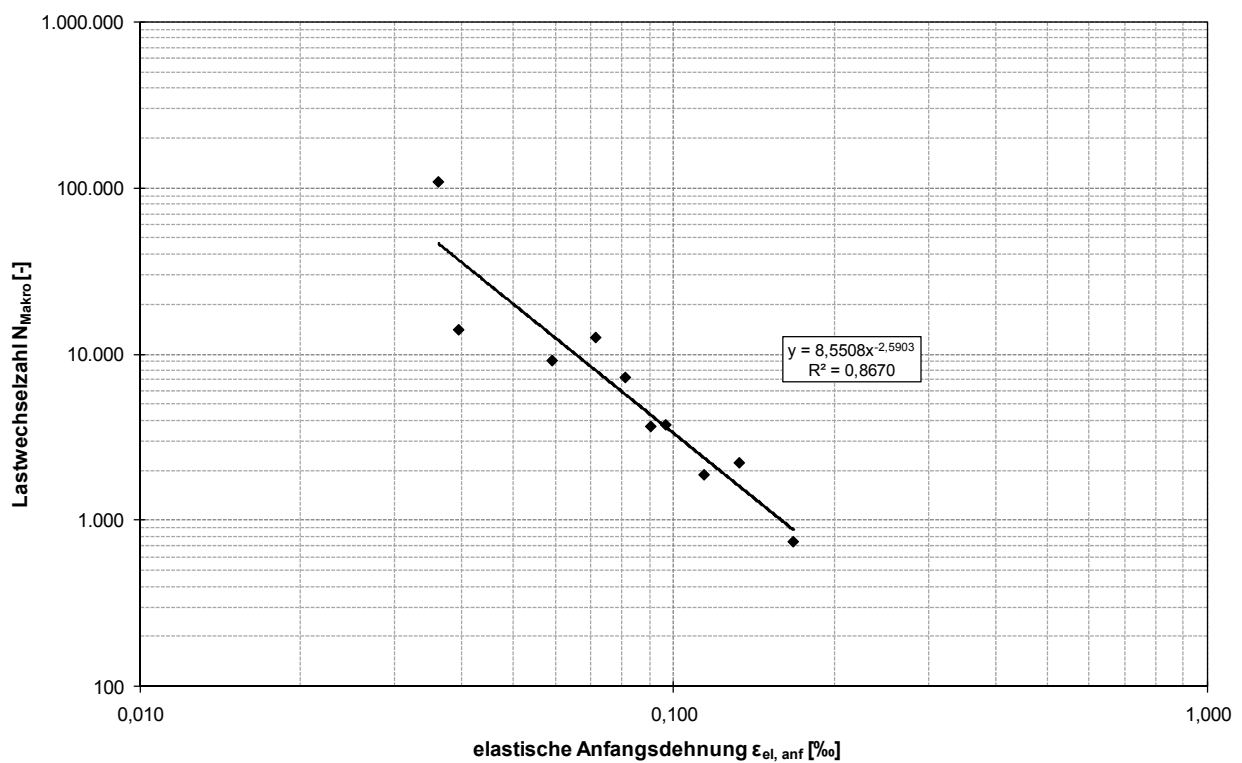


Abbildung A 2.13: Dehnungsabhängiges Ermüdungsfunktion des Asphaltes A321

Asphaltmischgutvariante: A323
 Bindemittelsorte: 30/45
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 4,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.14: Ergebnisse der Ermüdungsversuche am Asphalt A323

T [°C]	f [Hz]	Pk-Nr. [-]	σ_u [N/mm ²]	σ_o [N/mm ²]	ΔF [N]	Δu [mm]	IEI [N/mm ²]	$\varepsilon_{el, \text{anf}}$ [‰]	N _{Makro} [-]	N _{Ende} [-]
20	10	A323-03	0,035	0,320	3.999,8	0,0035	10.941	0,049	38.451	55.208
		A323-15		0,350	4.446,6	0,0043	9.674	0,061	32.168	46.179
		A323-16		0,350	4.434,0	0,0052	8.136	0,073	23.211	34.408
		A323-02	0,035	0,500	6.541,9	0,0077	8.121	0,108	5.587	7.713
		A323-10		0,500	6.587,8	0,0076	8.241	0,106	6.001	9.310
		A323-13		0,500	6.570,4	0,0084	7.413	0,118	4.600	7.462
		A323-11	0,035	0,600	7.890,5	0,0106	7.086	0,149	2.932	4.058
		A323-08		0,650	8.663,4	0,0112	7.384	0,157	1.953	2.871
		A323-18		0,650	8.726,1	0,0126	6.562	0,177	1.123	1.750

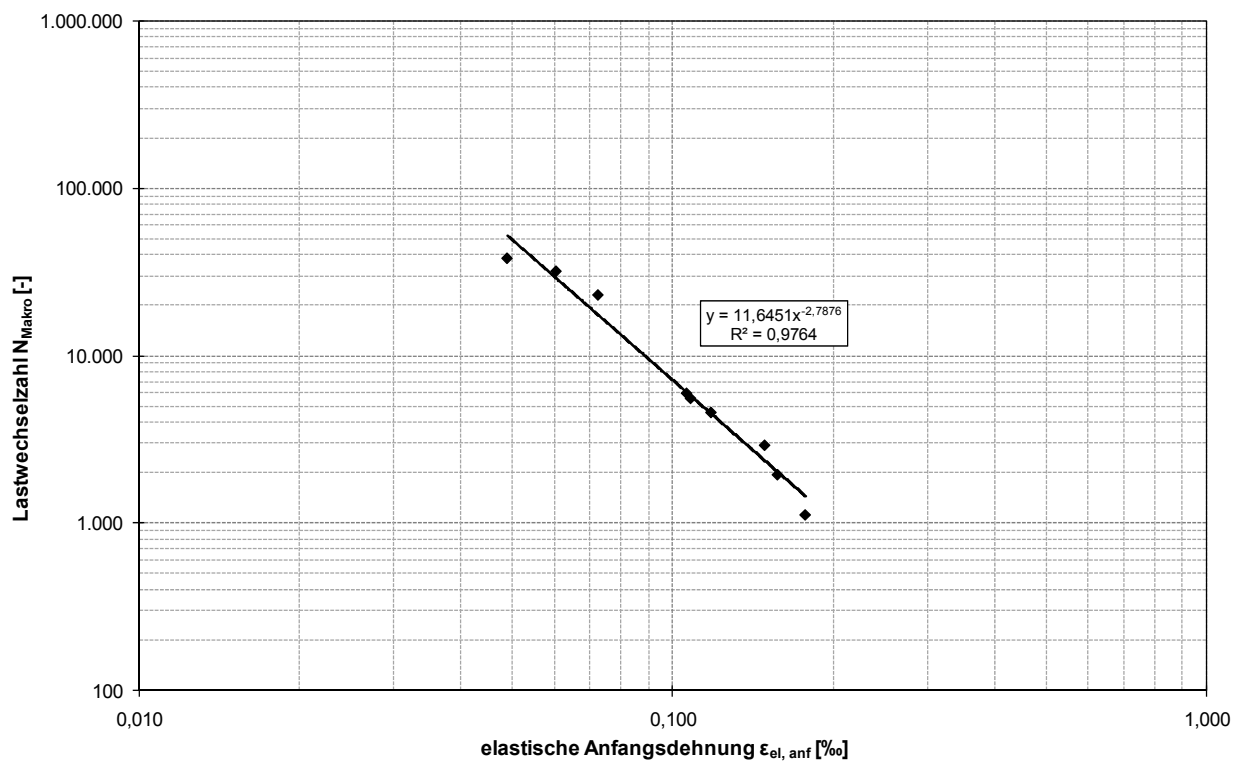


Abbildung A 2.14: Dehnungsabhängiges Ermüdungsfunktion des Asphaltes A323

Asphaltmischgutvariante: A325
 Bindemittelsorte: 30/45
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 5,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.15: Ergebnisse der Ermüdungsversuche am Asphalt A325

T [°C]	f [Hz]	Pk-Nr. [-]	σ_u [N/mm ²]	σ_o [N/mm ²]	ΔF [N]	Δu [mm]	IEI [N/mm ²]	$\varepsilon_{el, \text{anf}}$ [‰]	N _{Makro} [-]	N _{Ende} [-]
20	10	A325-02	0,035	0,320	3.991,1	0,0040	9.550	0,056	66.168	89.764
		A325-03		0,320	4.028,2	0,0037	10.182	0,053	71.338	109.249
		A325-17		0,320	3.973,6	0,0038	9.869	0,054	110.080	154.562
		A325-10	0,035	0,510	6.646,8	0,0065	9.749	0,092	21.836	29.215
		A325-11		0,510	6.605,8	0,0064	10.024	0,089	14.100	20.552
		A325-15		0,510	6.636,8	0,0065	9.772	0,092	14.623	20.189
		A325-16	0,035	0,650	8.658,8	0,0111	7.391	0,157	5.865	7.908
		A325-19		0,700	9.210,6	0,0121	7.298	0,170	2.512	3.608
		A325-20		0,700	9.369,1	0,0122	7.381	0,171	1.967	2.912

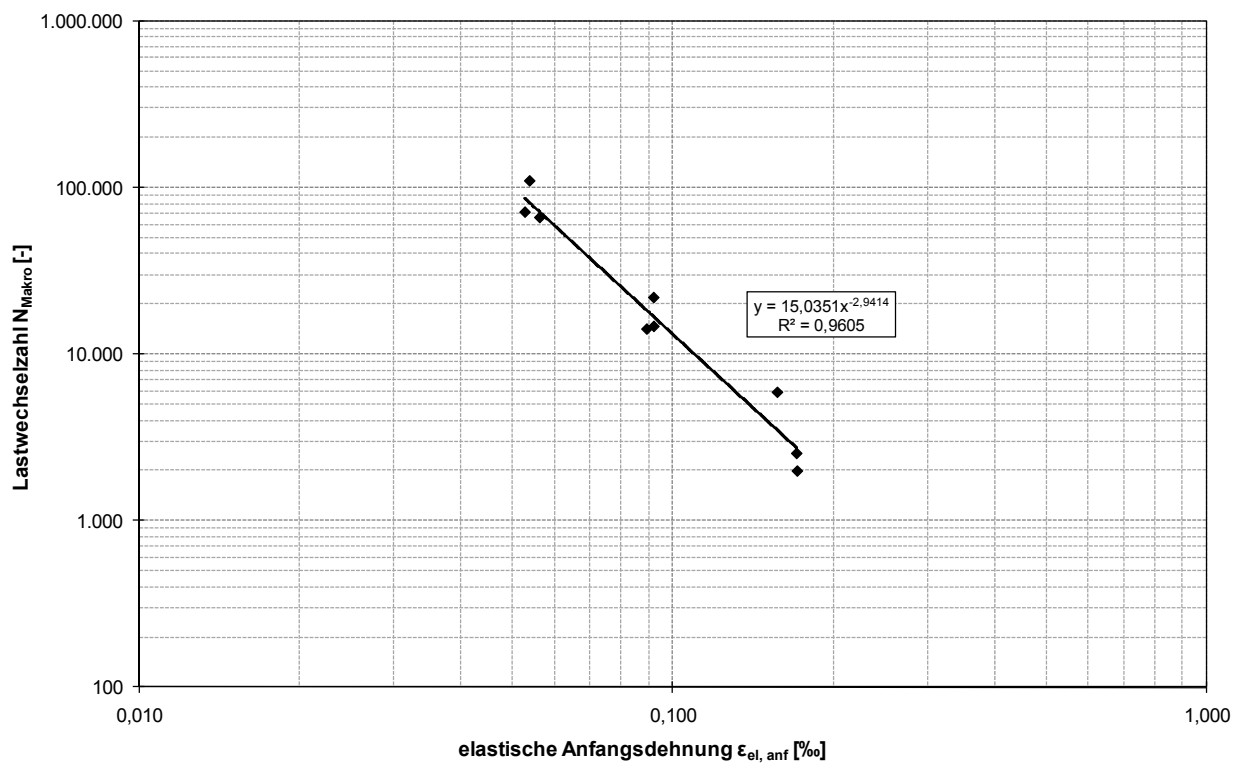


Abbildung A 2.15: Dehnungsabhängiges Ermüdungsfunktion des Asphaltes A325

Asphaltmischgutvariante: B311
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: B
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 3,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.16: Ergebnisse der Ermüdungsversuche am Asphalt B311

T [°C]	f [Hz]	Pk-Nr. [-]	σ_u [N/mm ²]	σ_o [N/mm ²]	ΔF [N]	Δu [mm]	IEI [N/mm ²]	$\epsilon_{el, \text{anf}}$ [‰]	N _{Makro} [-]	N _{Ende} [-]
20	10	B311-07	0,035	0,230	2.643,9	0,0041	6.124	0,058	7.600	10.408
		B311-11		0,230	2.611,9	0,0032	7.813	0,045	16.402	26.008
		B311-09		0,250	2.967,2	0,0039	7.227	0,055	12.766	18.808
		B311-03	0,035	0,310	3.827,4	0,0056	6.545	0,079	6.128	9.208
		B311-13		0,310	3.847,0	0,0063	5.802	0,089	4.087	6.308
		B311-04		0,310	3.776,8	0,0058	6.198	0,082	4.889	7.408
		B311-15	0,035	0,350	4.399,6	0,0078	5.354	0,110	2.433	3.508
		B311-17		0,350	4.415,3	0,0106	3.922	0,150	925	1.658
		B311-12		0,400	5.089,8	0,0081	5.923	0,115	1.360	2.308

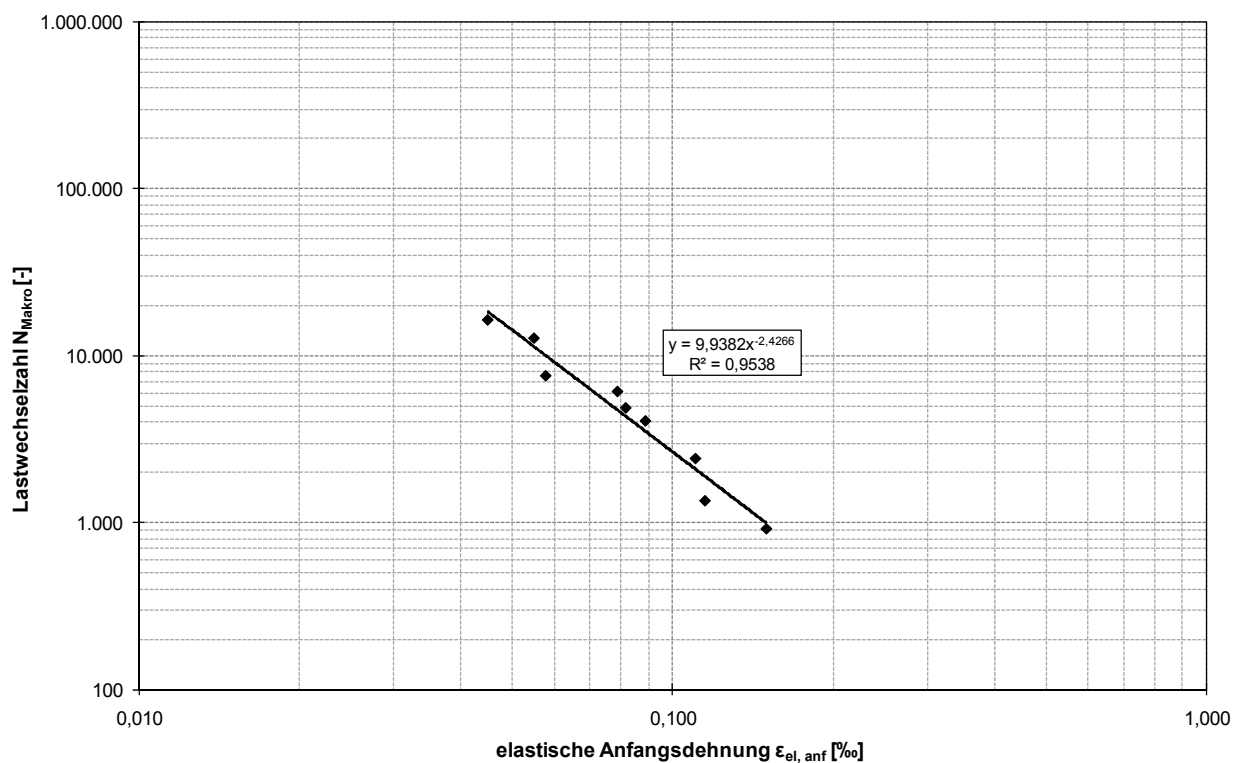


Abbildung A 2.16: Dehnungsabhängiges Ermüdungsfunktion des Asphaltes B311

Asphaltmischgutvariante: B313
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: B
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 4,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.17: Ergebnisse der Ermüdungsversuche am Asphalt B313

T [°C]	f [Hz]	Pk-Nr. [-]	σ_u [N/mm ²]	σ_o [N/mm ²]	ΔF [N]	Δu [mm]	IEI [N/mm ²]	$\varepsilon_{el, \text{anf}}$ [‰]	N_{Makro} [-]	N_{Ende} [-]
20	10	B313-13	0,035	0,280	3.320,3	0,0034	9.367	0,048	59.919	83.208
		B313-17		0,280	3.360,5	0,0035	8.985	0,050	98.384	132.008
		B313-20		0,280	3.346,5	0,0036	8.916	0,051	69.031	92.008
		B313-06	0,035	0,470	6.051,9	0,0091	6.347	0,128	3.490	4.608
		B313-16		0,450	5.809,7	0,0075	7.314	0,106	3.489	4.808
		B313-19		0,450	5.779,9	0,0062	8.787	0,088	10.722	14.808
		B313-07	0,035	0,650	8.528,9	0,0107	7.644	0,151	1.321	1.858
		B313-08		0,650	8.622,1	0,0106	7.705	0,149	1.048	1.708
		B313-18		0,650	8.559,6	0,0113	7.229	0,159	1.692	2.608

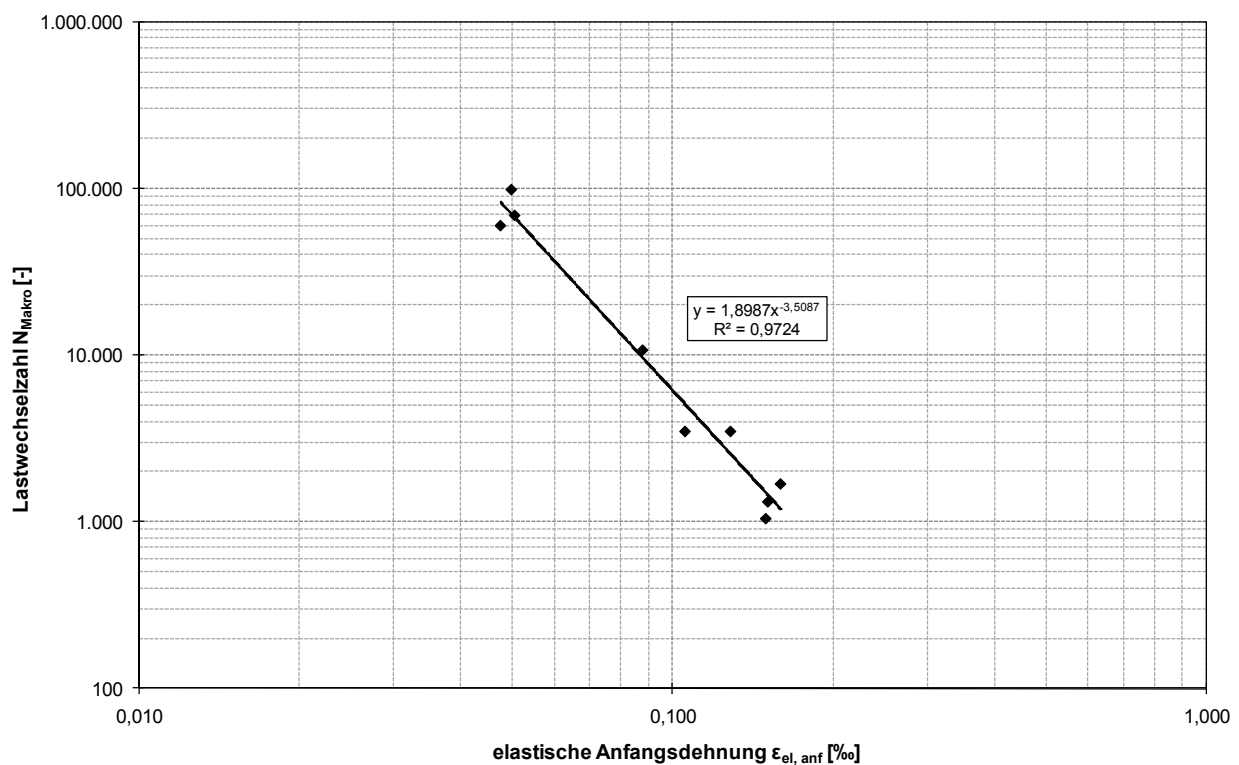


Abbildung A 2.17: Dehnungsabhängiges Ermüdungsfunktion des Asphaltes B313

Asphaltmischgutvariante: B315
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: B
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 5,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.18: Ergebnisse der Ermüdungsversuche am Asphalt B315

T [°C]	f [Hz]	Pk-Nr. [-]	σ_u [N/mm ²]	σ_o [N/mm ²]	ΔF [N]	Δu [mm]	IEI [N/mm ²]	$\epsilon_{el, \text{anf}}$ [‰]	N_{Makro} [-]	N_{Ende} [-]
20	10	B315-03	0,035	0,330	4.070,8	0,0047	8.311	0,066	10.672	14.808
		B315-05		0,300	3.710,9	0,0039	9.092	0,055	21.537	28.408
		B315-06		0,300	3.590,4	0,0038	9.099	0,053	28.974	38.808
		B315-02	0,035	0,480	6.153,6	0,0069	8.613	0,097	11.519	14.808
		B315-08		0,480	6.104,8	0,0076	7.719	0,108	5.704	8.208
		B315-07		0,480	6.149,0	0,0080	7.364	0,112	8.262	11.208
		B315-04	0,035	0,700	9.355,0	0,0122	7.293	0,172	1.243	1.758
		B315-10		0,650	8.619,2	0,0124	6.647	0,175	1.422	2.058
		B315-12		0,650	8.598,2	0,0119	6.902	0,168	1.407	1.958

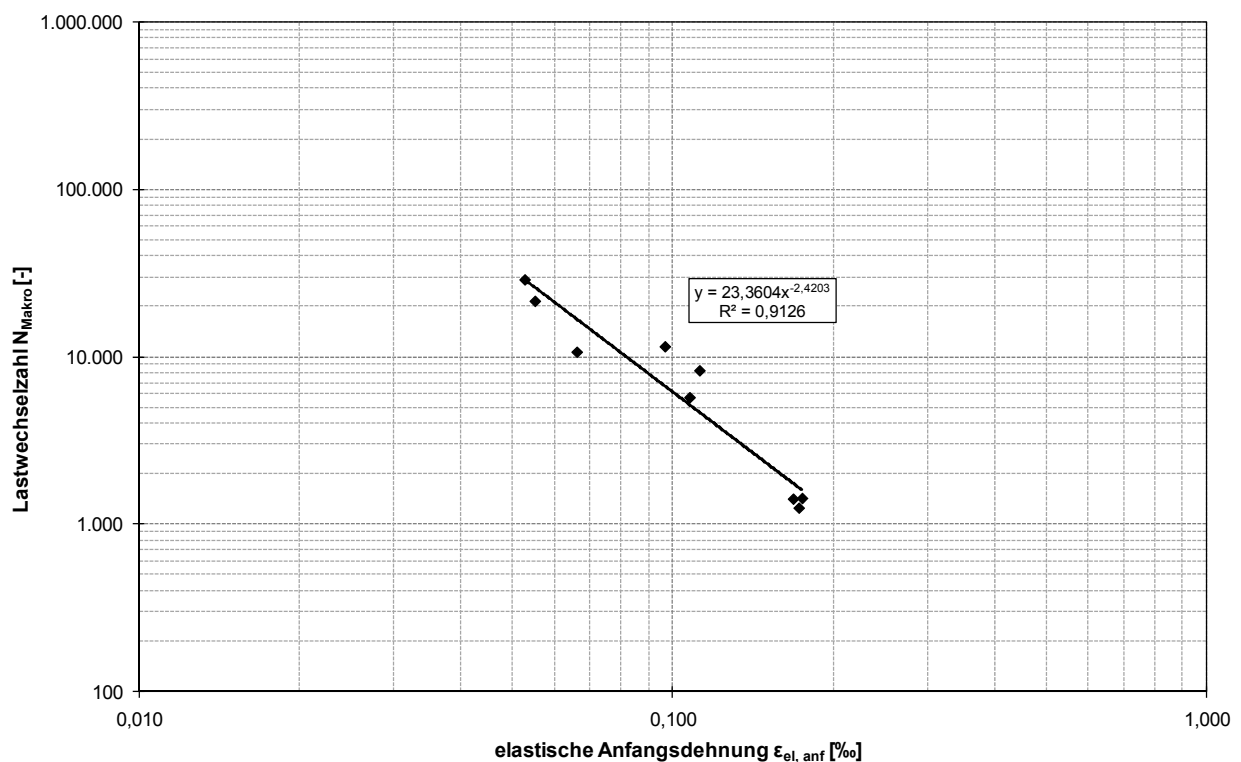


Abbildung A 2.18: Dehnungsabhängiges Ermüdungsfunktion des Asphaltes B315

A2.2 Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktionen

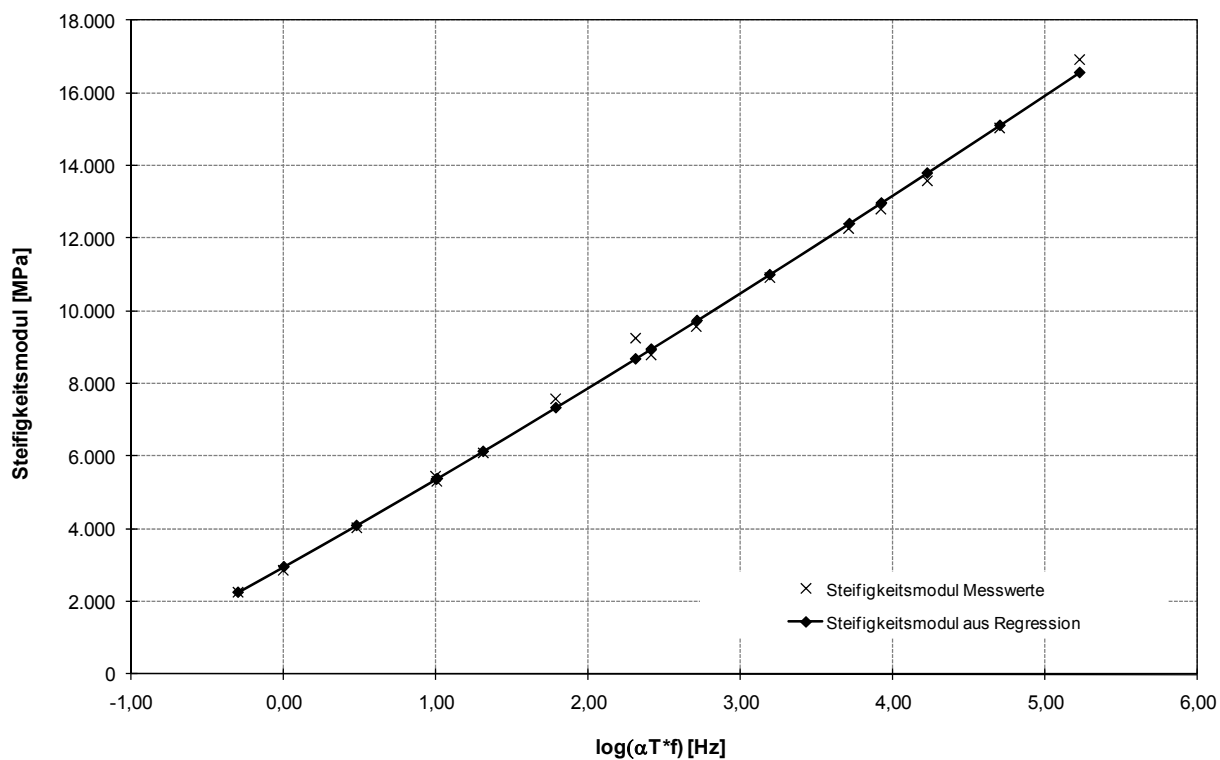
Asphaltmischgutvariante: A111
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: mittlere Korngrößenverteilung; 3,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.19: Ergebnisse der Steifigkeitsversuche am Asphalt A111

T [°C]	f [Hz]	$IEI_{A111-30}$ Steifigkeits- modul [MPa]	$IEI_{A111-34}$ Steifigkeits- modul [MPa]	IEI Steifigkeits- modul [MPa]	$\bar{IEI}$ Arithmetisches Mittel [MPa]	s Standard- abweichung [MPa]	v Variations- koeffizient [%]
20	0,5	2.025	2.451	-	2.238	301	13,5
20	1,0	2.603	3.103	-	2.853	353	12,4
20	3,0	3.814	4.251	-	4.033	309	7,7
20	10,0	5.331	5.549	-	5.440	154	2,8
10	0,5	4.870	5.759	-	5.315	629	11,8
10	1,0	5.641	6.508	-	6.075	613	10,1
10	3,0	7.161	7.992	-	7.576	587	7,8
10	10,0	8.760	9.739	-	9.250	692	7,5
0	0,5	8.105	9.450	-	8.777	951	10,8
0	1,0	8.901	10.258	-	9.580	960	10,0
0	3,0	10.225	11.608	-	10.916	977	9,0
0	10,0	11.549	13.012	-	12.280	1.035	8,4
-10	0,5	12.331	13.253	-	12.792	651	5,1
-10	1,0	13.231	13.896	-	13.564	470	3,5
-10	3,0	15.273	14.806	-	15.040	330	2,2
-10	10,0	18.073	15.770	-	16.922	1.629	9,6

Tabelle A 2.20: Ermittlung der Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A111

T [°C]	f [Hz]	T [K]	αT [-]	X $\log(\alpha T \cdot f)$ [Hz]	IEI Steifigkeits- modul [MPa]	R Regression [MPa]	$(IEI-R)^2$ Schätzung [MPa]	Prozent Fehler- quadrat [%]
20	0,5	293,15	1,00	-0,30	2.238	2.247	82	0,01
20	1,0	293,15	1,00	0,00	2.853	2.951	9.496	1,35
20	3,0	293,15	1,00	0,48	4.033	4.087	3.009	0,43
20	10,0	293,15	1,00	1,00	5.440	5.362	6.082	0,86
10	0,5	283,15	20,32	1,01	5.315	5.379	4.187	0,59
10	1,0	283,15	20,32	1,31	6.075	6.127	2.712	0,38
10	3,0	283,15	20,32	1,79	7.576	7.330	60.487	8,58
10	10,0	283,15	20,32	2,31	9.250	8.674	331.068	46,95
0	0,5	273,15	515,03	2,41	8.777	8.942	26.963	3,82
0	1,0	273,15	515,03	2,71	9.580	9.729	22.453	3,18
0	3,0	273,15	515,03	3,19	10.916	10.994	5.973	0,85
0	10,0	273,15	515,03	3,71	12.280	12.400	14.217	2,02
-10	0,5	263,15	16.685,19	3,92	12.792	12.968	31.074	4,41
-10	1,0	263,15	16.685,19	4,22	13.564	13.791	51.476	7,30
-10	3,0	263,15	16.685,19	4,70	15.040	15.105	4.231	0,60
-10	10,0	263,15	16.685,19	5,22	16.922	16.559	131.663	18,67
Fehlerquadratsumme:							705.173	100,00
Sigmoidfunktion Regressions- Parameter			y_0 [MPa]	w [MPa]			x_0 [Hz]	z [-]
			-25.179,14	95.894,57			7,42	8,44

Abbildung A 2.19: Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A111Tabelle A 2.21: Prognostizierte Steifigkeitsmoduln des Asphaltes A111 für $f = 10\text{ Hz}$

T	f	T	αT	X $\log(\alpha T \cdot f)$	IEI Steifigkeit
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]
-20	10	253,15	711.481,98	6,85	21.154
-10	10	263,15	16.685,19	5,22	16.559
0	10	273,15	515,03	3,71	12.400
10	10	283,15	20,32	2,31	8.674
15	10	288,15	4,39	1,64	6.968
20	10	293,15	1,00	1,00	5.362
35	10	308,15	0,02	-0,80	1.098
50	10	323,15	0,00	-2,44	112 ¹⁾

¹⁾ Mindestwert $IE_{T=50}$

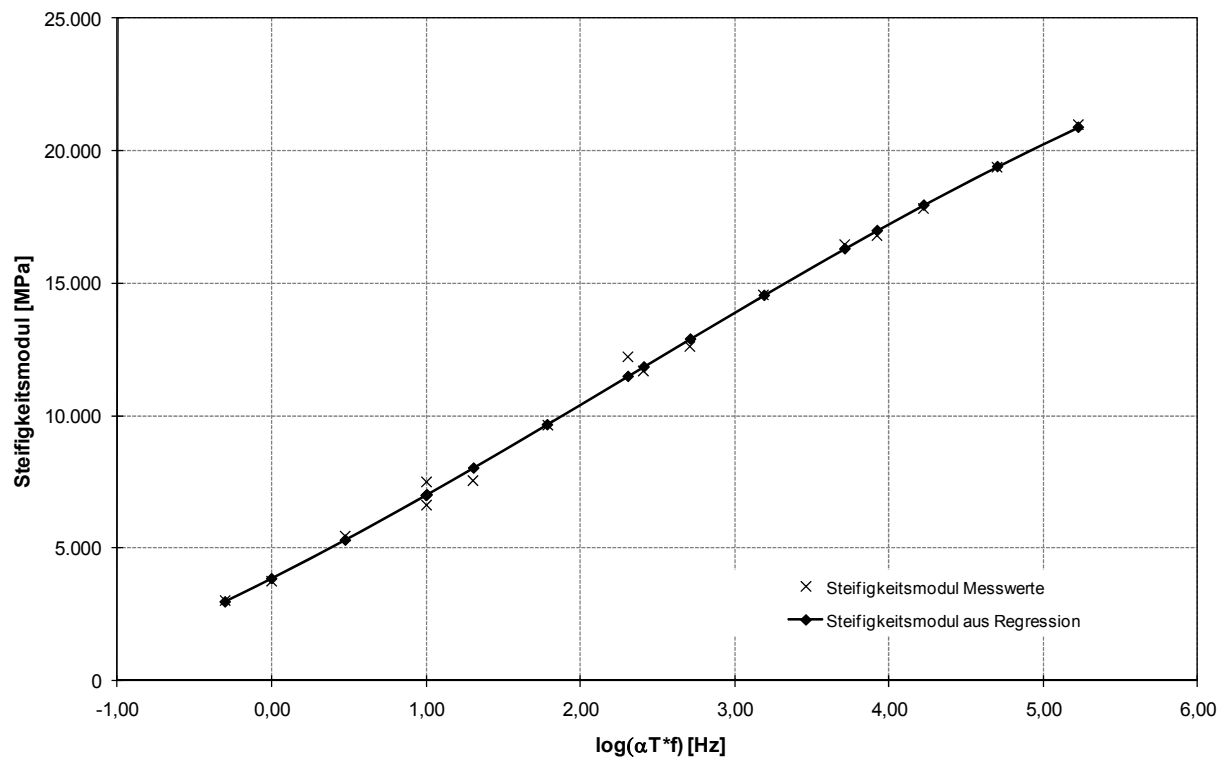
Asphaltmischgutvariante: A112
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: mittlere Korngrößenverteilung; 4,0 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.22: Ergebnisse der Steifigkeitsversuche am Asphalt A112

T	f	$IEI_{A112-02}$ Steifigkeits- modul	$IEI_{A112-10}$ Steifigkeits- modul	$IEI_{A112-13}$ Steifigkeits- modul	IEI Arithmetisches Mittel	s Standard- abweichung	v Variations- koeffizient
[°C]	[Hz]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]
20	0,5	3.045	3.195	2.881	3.040	157	5,2
20	1,0	3.768	3.909	3.602	3.760	154	4,1
20	3,0	5.588	5.518	5.219	5.442	196	3,6
20	10,0	7.839	7.620	7.037	7.499	415	5,5
10	0,5	6.925	6.657	6.277	6.620	326	4,9
10	1,0	7.694	7.638	7.355	7.562	182	2,4
10	3,0	10.067	9.496	9.306	9.623	396	4,1
10	10,0	12.333	12.034	12.359	12.242	181	1,5
0	0,5	11.546	12.416	11.085	11.682	676	5,8
0	1,0	12.685	13.048	12.137	12.623	459	3,6
0	3,0	14.514	15.529	13.687	14.577	923	6,3
0	10,0	16.474	17.161	15.803	16.479	679	4,1
-10	0,5	16.368	17.153	16.928	16.816	404	2,4
-10	1,0	17.278	17.934	18.249	17.820	495	2,8
-10	3,0	18.798	19.264	20.116	19.393	668	3,4
-10	10,0	19.962	20.986	21.935	20.961	987	4,7

Tabelle A 2.23: Ermittlung der Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A112

T	f	T	αT	X $\log(\alpha T \cdot f)$	IEI Steifigkeits- modul	R Regression	$(IEI-R)^2$ Schätzung	Prozent Fehler- quadrat
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]
20	0,5	293,15	1,00	-0,30	3.040	2.981	3.494	0,25
20	1,0	293,15	1,00	0,00	3.760	3.853	8.626	0,61
20	3,0	293,15	1,00	0,48	5.442	5.309	17.672	1,25
20	10,0	293,15	1,00	1,00	7.499	6.997	252.161	17,80
10	0,5	283,15	20,32	1,01	6.620	7.020	160.000	11,30
10	1,0	283,15	20,32	1,31	7.562	8.027	216.166	15,26
10	3,0	283,15	20,32	1,79	9.623	9.662	1.553	0,11
10	10,0	283,15	20,32	2,31	12.242	11.485	573.151	40,46
0	0,5	273,15	515,03	2,41	11.682	11.844	26.259	1,85
0	1,0	273,15	515,03	2,71	12.623	12.895	74.030	5,23
0	3,0	273,15	515,03	3,19	14.577	14.544	1.070	0,08
0	10,0	273,15	515,03	3,71	16.479	16.303	31.169	2,20
-10	0,5	263,15	16.685,19	3,92	16.816	16.987	29.284	2,07
-10	1,0	263,15	16.685,19	4,22	17.820	17.947	16.049	1,13
-10	3,0	263,15	16.685,19	4,70	19.393	19.400	57	0,00
-10	10,0	263,15	16.685,19	5,22	20.961	20.885	5.816	0,41
Fehlerquadratsumme:							1.416.558	100,00
Sigmoidfunktion Regressions- Parameter			y_0	w			x_0	z
			[MPa]	[MPa]			[Hz]	[-]
			-8.126,79	39.458,74			2,34	2,82

Abbildung A 2.20: Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A112Tabelle A 2.24: Prognostizierte Steifigkeitsmoduln des Asphaltes A112 für $f = 10\text{ Hz}$

T	f	T	αT	X $\log(\alpha T f)$	IEI Steifigkeit
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]
-20	10	253,15	711.481,98	6,85	24.699
-10	10	263,15	16.685,19	5,22	20.885
0	10	273,15	515,03	3,71	16.303
10	10	283,15	20,32	2,31	11.485
15	10	288,15	4,39	1,64	9.170
20	10	293,15	1,00	1,00	6.997
35	10	308,15	0,02	-0,80	1.618
50	10	323,15	0,00	-2,44	187 ¹⁾

¹⁾ Mindestwert $IE_{T=50}$

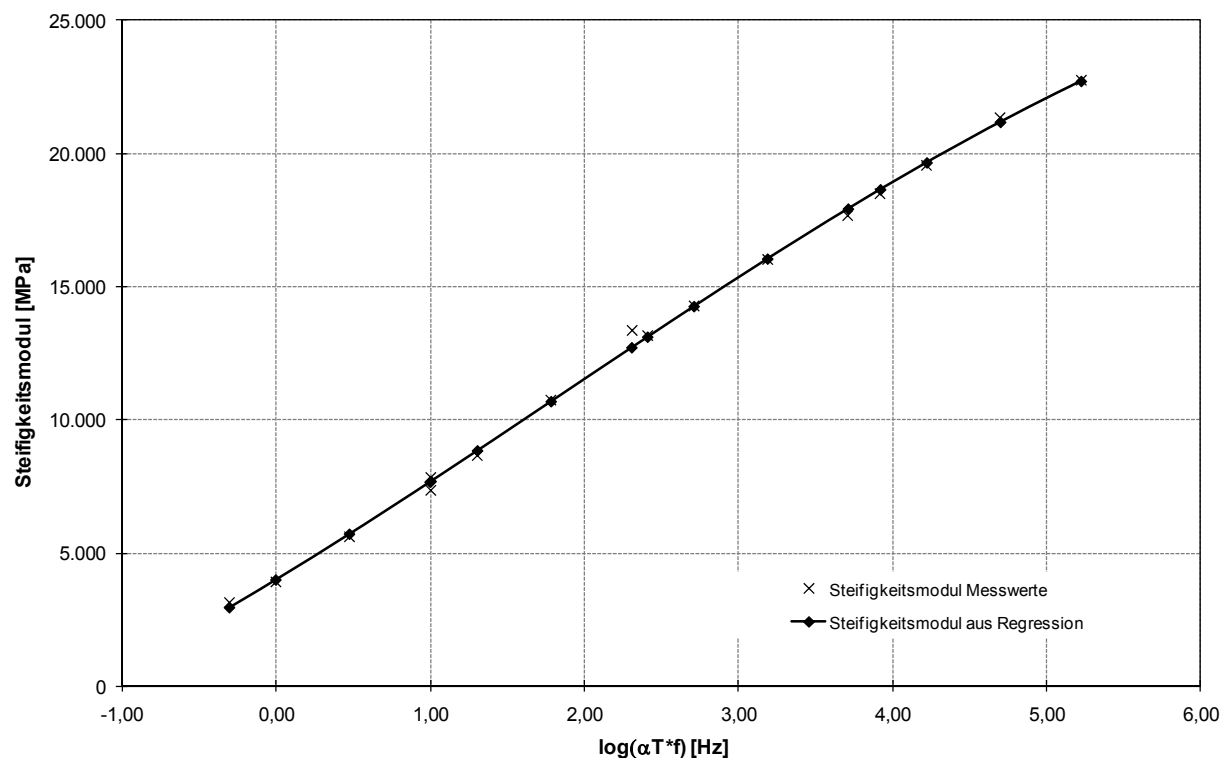
Asphaltmischgutvariante: A113
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: mittlere Korngrößenverteilung; 4,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.25: Ergebnisse der Steifigkeitsversuche am Asphalt A113

T	f	$IEI_{A113-09}$ Steifigkeits- modul	$IEI_{A113-11}$ Steifigkeits- modul	$IEI_{A113-14}$ Steifigkeits- modul	IEI Arithmetisches Mittel	s Standard- abweichung	v Variations- koeffizient
[°C]	[Hz]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]
20	0,5	3.056	3.010	3.422	3.162	226	7,1
20	1,0	3.836	3.829	4.145	3.937	180	4,6
20	3,0	5.397	5.571	5.793	5.587	199	3,6
20	10,0	7.759	7.680	8.107	7.849	227	2,9
10	0,5	6.931	7.442	7.739	7.371	409	5,5
10	1,0	8.300	8.853	8.757	8.637	295	3,4
10	3,0	10.649	11.003	10.594	10.749	222	2,1
10	10,0	13.559	13.581	12.919	13.353	376	2,8
0	0,5	12.877	12.748	13.793	13.140	570	4,3
0	1,0	14.074	13.771	14.909	14.251	589	4,1
0	3,0	15.668	15.590	16.750	16.003	649	4,1
0	10,0	17.349	17.043	18.541	17.644	792	4,5
-10	0,5	18.318	18.897	18.291	18.502	342	1,8
-10	1,0	19.322	20.353	18.982	19.552	714	3,7
-10	3,0	20.947	23.008	20.053	21.336	1.516	7,1
-10	10,0	22.369	24.818	21.100	22.762	1.890	8,3

Tabelle A 2.26: Ermittlung der Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A113

T	f	T	αT	X $\log(\alpha T \cdot f)$	IEI Steifigkeits- modul	R Regression	$(IEI-R)^2$ Schätzung	Prozent Fehler- quadrat
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]
20	0,5	293,15	1,00	-0,30	3.162	2.966	38.568	4,87
20	1,0	293,15	1,00	0,00	3.937	4.005	4.717	0,60
20	3,0	293,15	1,00	0,48	5.587	5.720	17.692	2,23
20	10,0	293,15	1,00	1,00	7.849	7.674	30.396	3,84
10	0,5	283,15	20,32	1,01	7.371	7.701	108.894	13,75
10	1,0	283,15	20,32	1,31	8.637	8.851	46.125	5,82
10	3,0	283,15	20,32	1,79	10.749	10.695	2.931	0,37
10	10,0	283,15	20,32	2,31	13.353	12.717	403.715	50,96
0	0,5	273,15	515,03	2,41	13.140	13.112	742	0,09
0	1,0	273,15	515,03	2,71	14.251	14.261	88	0,01
0	3,0	273,15	515,03	3,19	16.003	16.043	1.594	0,20
0	10,0	273,15	515,03	3,71	17.644	17.919	75.539	9,54
-10	0,5	263,15	16.685,19	3,92	18.502	18.643	19.903	2,51
-10	1,0	263,15	16.685,19	4,22	19.552	19.653	10.085	1,27
-10	3,0	263,15	16.685,19	4,70	21.336	21.169	27.896	3,52
-10	10,0	263,15	16.685,19	5,22	22.762	22.705	3.296	0,42
Fehlerquadratsumme:							792.182	100,00
Sigmoidfunktion Regressions- Parameter			y_0	w		x_0	z	
			[MPa]	[MPa]		[Hz]	[-]	
			-11.571,98	44.943,16		1,84	2,90	

Abbildung A 2.21: Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A113Tabelle A 2.27: Prognostizierte Steifigkeitsmoduln des Asphaltes A113 für $f = 10\text{ Hz}$

T	f	T	αT	X log($\alpha T \cdot f$)	IEI Steifigkeit
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]
-20	10	253,15	711.481,98	6,85	26.601
-10	10	263,15	16.685,19	5,22	22.705
0	10	273,15	515,03	3,71	17.919
10	10	283,15	20,32	2,31	12.717
15	10	288,15	4,39	1,64	10.143
20	10	293,15	1,00	1,00	7.674
35	10	308,15	0,02	-0,80	1.318
50	10	323,15	0,00	-2,44	113 ¹⁾

¹⁾ Mindestwert $IE_{T=50}$

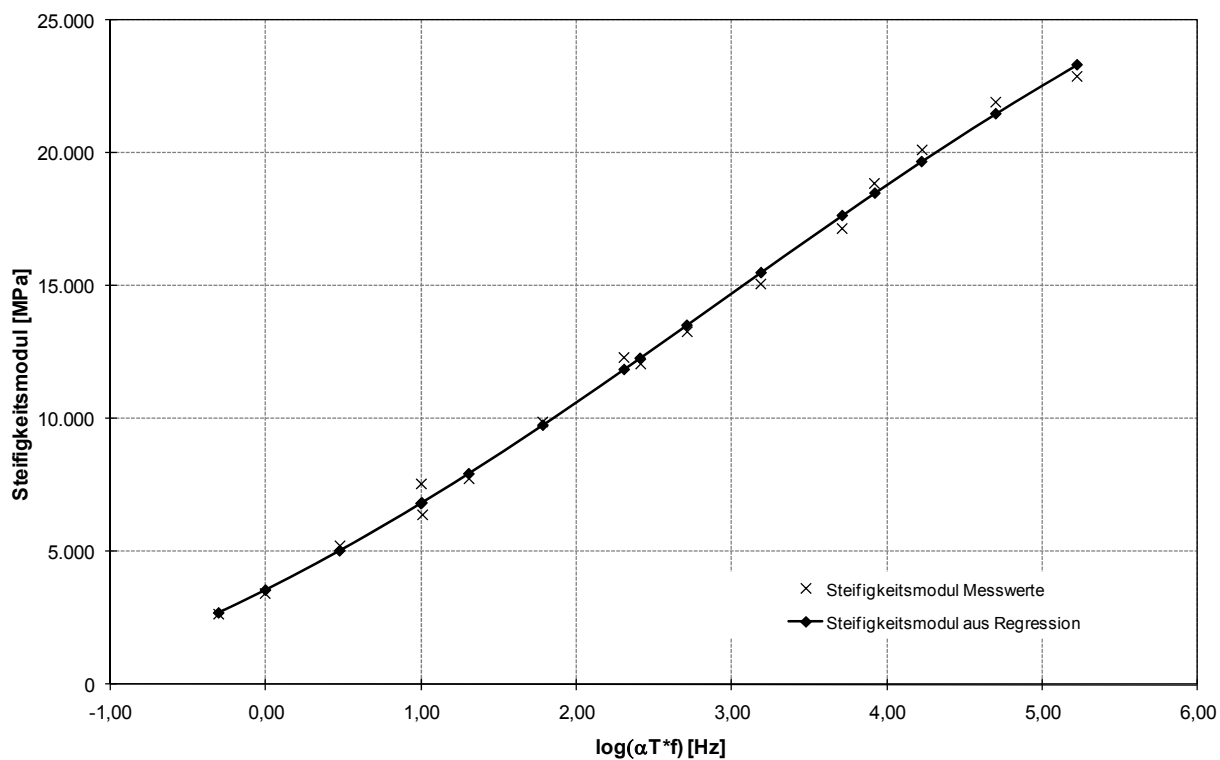
Asphaltmischgutvariante: A114
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: mittlere Korngrößenverteilung; 5,0 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.28: Ergebnisse der Steifigkeitsversuche am Asphalt A114

T	f	$IEI_{A114-16}$ Steifigkeits- modul	$IEI_{A114-17}$ Steifigkeits- modul	$IEI_{A114-20}$ Steifigkeits- modul	IEI Arithmetisches Mittel	s Standard- abweichung	v Variations- koeffizient
[°C]	[Hz]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]
20	0,5	2.590	2.701	2.603	2.631	60	2,3
20	1,0	3.444	3.469	3.386	3.433	43	1,2
20	3,0	5.289	5.215	5.208	5.237	45	0,9
20	10,0	7.896	7.536	7.216	7.549	340	4,5
10	0,5	6.150	6.432	6.598	6.393	227	3,5
10	1,0	7.422	7.781	8.057	7.753	319	4,1
10	3,0	9.609	9.937	10.134	9.893	266	2,7
10	10,0	11.952	12.272	12.712	12.312	381	3,1
0	0,5	11.762	12.507	11.850	12.039	407	3,4
0	1,0	12.945	13.829	13.003	13.259	495	3,7
0	3,0	14.820	15.577	14.817	15.072	438	2,9
0	10,0	16.570	18.067	16.828	17.155	801	4,7
-10	0,5	19.238	19.450	17.929	18.873	824	4,4
-10	1,0	20.151	20.481	19.694	20.108	395	2,0
-10	3,0	21.408	21.760	22.580	21.916	602	2,7
-10	10,0	22.538	23.006	23.066	22.870	289	1,3

Tabelle A 2.29: Ermittlung der Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A114

T	f	T	αT	X log($\alpha T \cdot f$)	IEI Steifigkeits- modul	R Regression	(IEI-R) ² Schätzung	Prozent Fehler- quadrat
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]
20	0,5	293,15	1,00	-0,30	2.631	2.718	7.575	0,32
20	1,0	293,15	1,00	0,00	3.433	3.573	19.704	0,84
20	3,0	293,15	1,00	0,48	5.237	5.048	35.794	1,53
20	10,0	293,15	1,00	1,00	7.549	6.826	523.175	22,42
10	0,5	283,15	20,32	1,01	6.393	6.851	209.571	8,98
10	1,0	283,15	20,32	1,31	7.753	7.945	36.867	1,58
10	3,0	283,15	20,32	1,79	9.893	9.769	15.559	0,67
10	10,0	283,15	20,32	2,31	12.312	11.864	201.210	8,62
0	0,5	273,15	515,03	2,41	12.039	12.284	59.689	2,56
0	1,0	273,15	515,03	2,71	13.259	13.524	70.516	3,02
0	3,0	273,15	515,03	3,19	15.072	15.502	185.509	7,95
0	10,0	273,15	515,03	3,71	17.155	17.647	241.727	10,36
-10	0,5	263,15	16.685,19	3,92	18.873	18.489	147.337	6,31
-10	1,0	263,15	16.685,19	4,22	20.108	19.673	189.365	8,12
-10	3,0	263,15	16.685,19	4,70	21.916	21.473	196.059	8,40
-10	10,0	263,15	16.685,19	5,22	22.870	23.310	193.680	8,30
Fehlerquadratsumme:							2.333.339	100,00
Sigmoidfunktion Regressions- Parameter			y ₀ [MPa]		w [MPa]		x ₀ [Hz]	z [-]
			-5.732,12		40.475,34		2,95	2,44

Abbildung A 2.22: Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A114Tabelle A 2.30: Prognostizierte Steifigkeitsmoduln des Asphaltes A114 für $f = 10\text{ Hz}$

T	f	T	αT	X $\log(\alpha T \cdot f)$	IEI Steifigkeit
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]
-20	10	253,15	711.481,98	6,85	27.947
-10	10	263,15	16.685,19	5,22	23.310
0	10	273,15	515,03	3,71	17.647
10	10	283,15	20,32	2,31	11.864
15	10	288,15	4,39	1,64	9.214
20	10	293,15	1,00	1,00	6.826
35	10	308,15	0,02	-0,80	1.425
50	10	323,15	0,00	-2,44	149 ¹⁾

¹⁾ Mindestwert $IE_{T=50}$

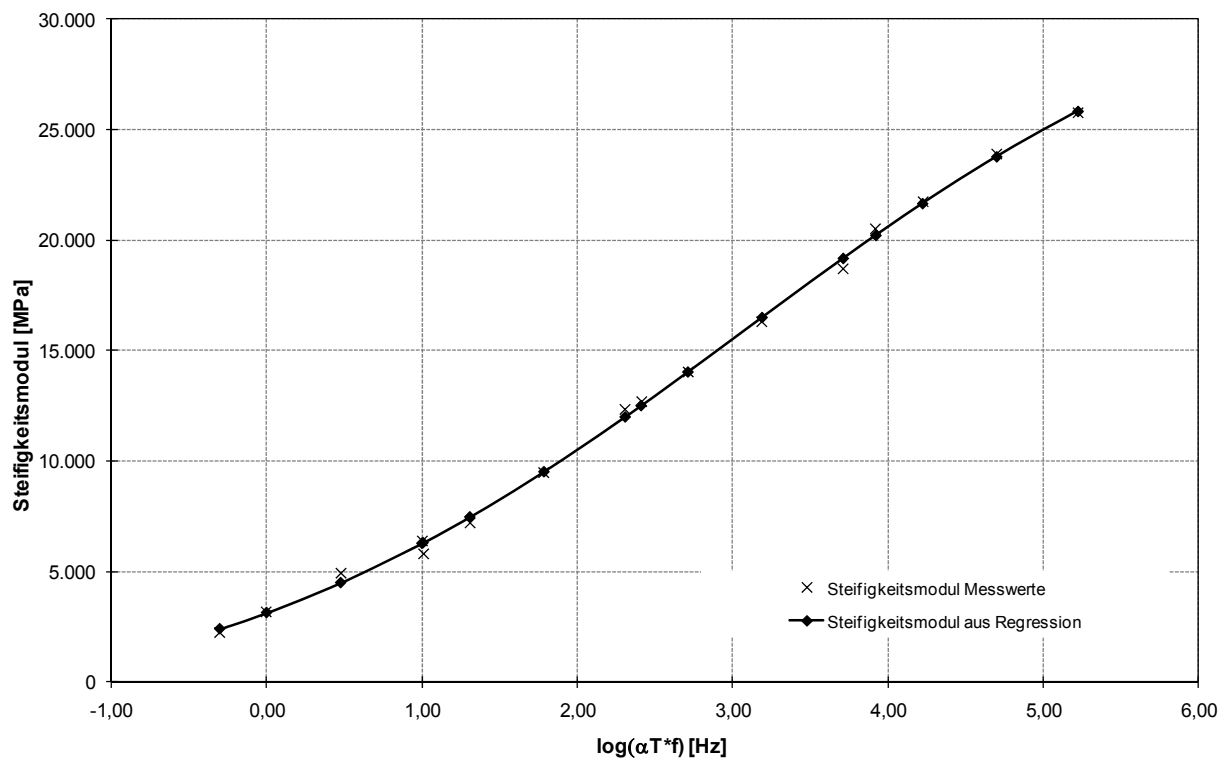
Asphaltmischgutvariante: A115
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: mittlere Korngrößenverteilung; 5,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.31: Ergebnisse der Steifigkeitsversuche am Asphalt A115

T	f	$IEI_{A115-17}$ Steifigkeits- modul	$IEI_{A115-18}$ Steifigkeits- modul	$IEI_{A115-23}$ Steifigkeits- modul	IEI Arithmetisches Mittel	s Standard- abweichung	v Variations- koeffizient
[°C]	[Hz]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]
20	0,5	2.150	2.364	2.254	2.256	107	4,7
20	1,0	2.919	3.214	3.393	3.175	239	7,5
20	3,0	4.440	4.869	5.415	4.908	488	9,9
20	10,0	6.591	6.718	5.800	6.370	497	7,8
10	0,5	5.866	6.295	5.283	5.815	508	8,7
10	1,0	7.226	7.779	6.652	7.219	563	7,8
10	3,0	9.451	10.041	8.855	9.449	593	6,3
10	10,0	12.361	13.132	11.574	12.355	779	6,3
0	0,5	13.893	12.251	11.852	12.665	1.082	8,5
0	1,0	15.418	13.400	13.254	14.024	1.209	8,6
0	3,0	17.875	15.502	15.508	16.295	1.368	8,4
0	10,0	20.156	18.073	17.925	18.718	1.248	6,7
-10	0,5	20.779	20.036	20.653	20.489	398	1,9
-10	1,0	21.878	21.246	22.037	21.721	418	1,9
-10	3,0	23.705	23.724	24.237	23.889	302	1,3
-10	10,0	25.343	25.854	26.071	25.756	374	1,5

Tabelle A 2.32: Ermittlung der Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A115

T	f	T	αT	X $\log(\alpha T \cdot f)$	IEI Steifigkeits- modul	R Regression	$(IEI-R)^2$ Schätzung	Prozent Fehler- quadrat
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]
20	0,5	293,15	1,00	-0,30	2.256	2.387	17.106	1,70
20	1,0	293,15	1,00	0,00	3.175	3.119	3.189	0,32
20	3,0	293,15	1,00	0,48	4.908	4.476	186.464	18,55
20	10,0	293,15	1,00	1,00	6.370	6.257	12.606	1,25
10	0,5	283,15	20,32	1,01	5.815	6.283	219.568	21,85
10	1,0	283,15	20,32	1,31	7.219	7.452	54.219	5,40
10	3,0	283,15	20,32	1,79	9.449	9.502	2.810	0,28
10	10,0	283,15	20,32	2,31	12.355	11.985	136.932	13,63
0	0,5	273,15	515,03	2,41	12.665	12.496	28.519	2,84
0	1,0	273,15	515,03	2,71	14.024	14.023	2	0,00
0	3,0	273,15	515,03	3,19	16.295	16.491	38.378	3,82
0	10,0	273,15	515,03	3,71	18.718	19.169	202.786	20,18
-10	0,5	263,15	16.685,19	3,92	20.489	20.208	78.869	7,85
-10	1,0	263,15	16.685,19	4,22	21.721	21.650	4.947	0,49
-10	3,0	263,15	16.685,19	4,70	23.889	23.775	13.025	1,30
-10	10,0	263,15	16.685,19	5,22	25.756	25.831	5.545	0,55
Fehlerquadratsumme:							1.004.963	100,00
Sigmoidfunktion Regressions- Parameter			y_0	w		x_0	z	
			[MPa]	[MPa]		[Hz]	[-]	
			-2.167,77	36.213,93		3,08	1,75	

Abbildung A 2.23: Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A115Tabelle A 2.33: Prognostizierte Steifigkeitsmoduln des Asphaltes A115 für $f = 10\text{ Hz}$

T	f	T	αT	X $\log(\alpha T \cdot f)$	IEI Steifigkeit
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]
-20	10	253,15	711.481,98	6,85	30.302
-10	10	263,15	16.685,19	5,22	25.831
0	10	273,15	515,03	3,71	19.169
10	10	283,15	20,32	2,31	11.985
15	10	288,15	4,39	1,64	8.866
20	10	293,15	1,00	1,00	6.257
35	10	308,15	0,02	-0,80	1.359
50	10	323,15	0,00	-2,44	148 ¹⁾

¹⁾ Mindestwert $IE_{T=50}$

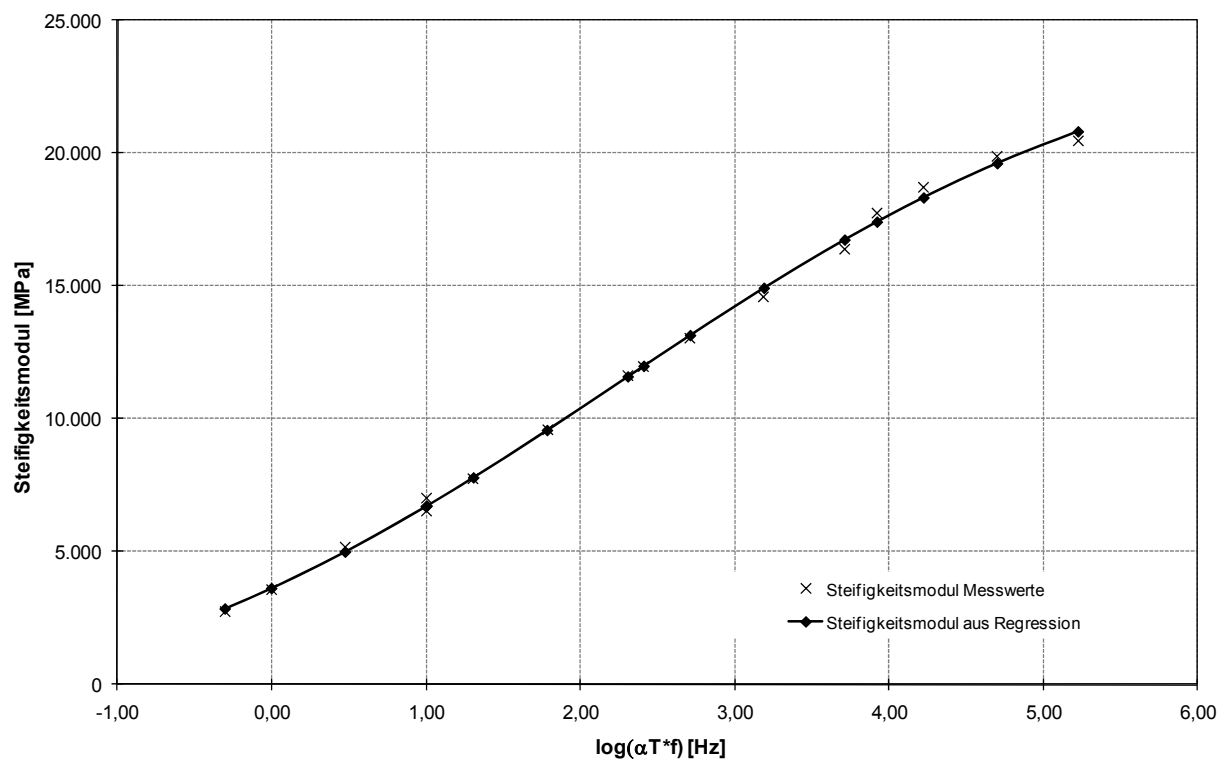
Asphaltmischgutvariante: A211
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: grobe Korngrößenverteilung; 3,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.34: Ergebnisse der Steifigkeitsversuche am Asphalt A211

T	f	$IEI_{A211-18}$ Steifigkeits- modul	$IEI_{A211-21}$ Steifigkeits- modul	$IEI_{A211-28}$ Steifigkeits- modul	IEI Arithmetisches Mittel	s Standard- abweichung	v Variations- koeffizient
[°C]	[Hz]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]
20	0,5	2.904	2.701	2.588	2.731	160	5,9
20	1,0	3.678	3.539	3.537	3.585	81	2,3
20	3,0	5.292	5.104	5.060	5.152	123	2,4
20	10,0	7.169	6.836	6.992	6.999	167	2,4
10	0,5	7.115	6.078	6.389	6.528	532	8,2
10	1,0	8.450	7.135	7.659	7.748	662	8,5
10	3,0	10.341	8.887	9.575	9.601	728	7,6
10	10,0	12.510	10.788	11.510	11.602	865	7,5
0	0,5	11.237	12.037	12.687	11.987	726	6,1
0	1,0	12.142	13.150	13.846	13.046	857	6,6
0	3,0	13.634	14.590	15.548	14.591	957	6,6
0	10,0	15.542	16.418	17.143	16.368	802	4,9
-10	0,5	16.280	18.650	18.343	17.758	1.289	7,3
-10	1,0	16.997	19.695	19.448	18.714	1.491	8,0
-10	3,0	18.327	20.797	20.450	19.858	1.337	6,7
-10	10,0	19.183	20.317	21.847	20.449	1.337	6,5

Tabelle A 2.35: Ermittlung der Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A211

T	f	T	αT	X $\log(\alpha T \cdot f)$	IEI Steifigkeits- modul	R Regression	$(IEI-R)^2$ Schätzung	Prozent Fehler- quadrat
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]
20	0,5	293,15	1,00	-0,30	2.731	2.849	13.869	1,55
20	1,0	293,15	1,00	0,00	3.585	3.618	1.083	0,12
20	3,0	293,15	1,00	0,48	5.152	4.990	26.395	2,95
20	10,0	293,15	1,00	1,00	6.999	6.695	92.228	10,32
10	0,5	283,15	20,32	1,01	6.528	6.719	36.709	4,11
10	1,0	283,15	20,32	1,31	7.748	7.785	1.360	0,15
10	3,0	283,15	20,32	1,79	9.601	9.564	1.370	0,15
10	10,0	283,15	20,32	2,31	11.602	11.583	384	0,04
0	0,5	273,15	515,03	2,41	11.987	11.981	40	0,00
0	1,0	273,15	515,03	2,71	13.046	13.139	8.638	0,97
0	3,0	273,15	515,03	3,19	14.591	14.918	107.309	12,01
0	10,0	273,15	515,03	3,71	16.368	16.732	132.953	14,88
-10	0,5	263,15	16.685,19	3,92	17.758	17.407	123.081	13,77
-10	1,0	263,15	16.685,19	4,22	18.714	18.317	156.866	17,55
-10	3,0	263,15	16.685,19	4,70	19.858	19.609	61.730	6,91
-10	10,0	263,15	16.685,19	5,22	20.449	20.809	129.659	14,51
Fehlerquadratsumme:							893.675	100,00
Sigmoidfunktion Regressions- Parameter			y_0	w			x_0	z
			[MPa]	[MPa]			[Hz]	[-]
			-2.552,79	27.803,64			2,25	1,79

Abbildung A 2.24: Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A211Tabelle A 2.36: Prognostizierte Steifigkeitsmoduln des Asphaltes A211 für $f = 10\text{ Hz}$

T	f	T	αT	X $\log(\alpha T \cdot f)$	IEI Steifigkeit
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]
-20	10	253,15	711.481,98	6,85	23.274
-10	10	263,15	16.685,19	5,22	20.809
0	10	273,15	515,03	3,71	16.732
10	10	283,15	20,32	2,31	11.583
15	10	288,15	4,39	1,64	9.024
20	10	293,15	1,00	1,00	6.695
35	10	308,15	0,02	-0,80	1.733
50	10	323,15	0,00	-2,44	224 ¹⁾

¹⁾ Mindestwert $IE_{T=50}$

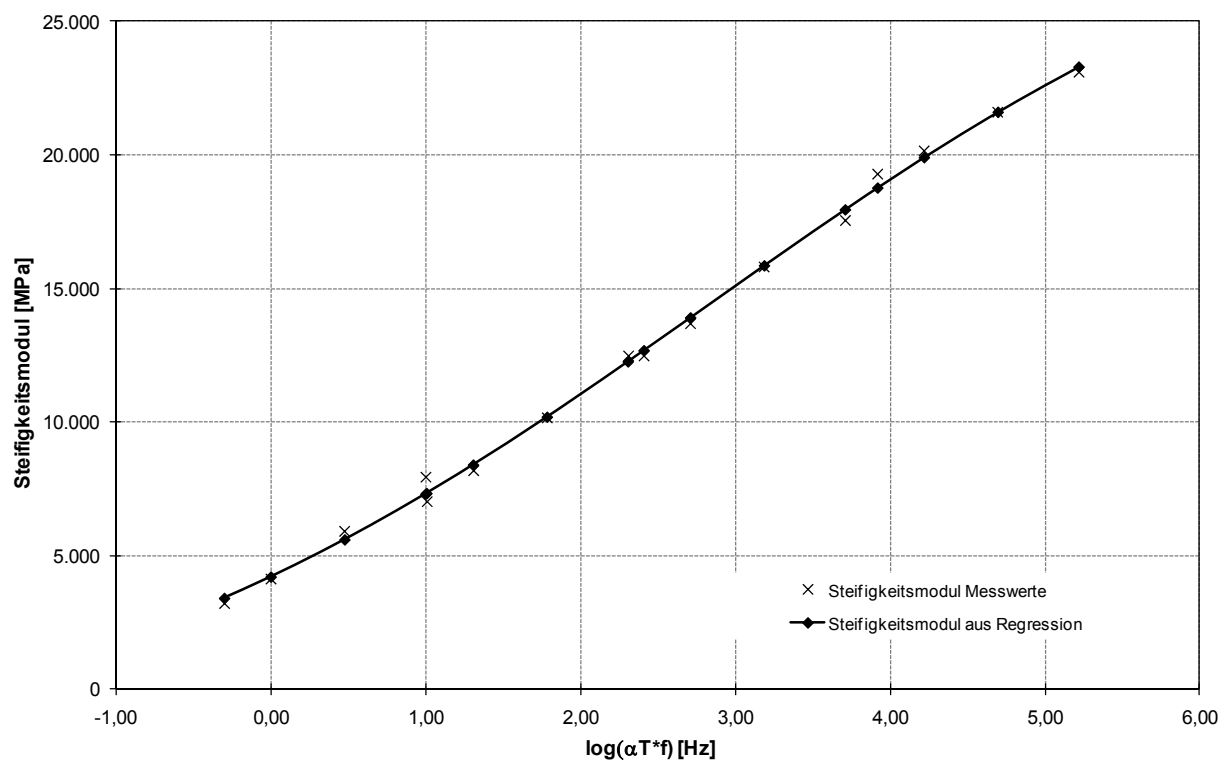
Asphaltmischgutvariante: A213
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: grobe Korngrößenverteilung; 4,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.37: Ergebnisse der Steifigkeitsversuche am Asphalt A213

T	f	IEI _{A213-09} Steifigkeits- modul	IEI _{A213-11} Steifigkeits- modul	IEI _{A213-22} Steifigkeits- modul	IEI Arithmetisches Mittel	s Standard- abweichung	v Variations- koeffizient
[°C]	[Hz]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]
20	0,5	3.374	3.206	3.032	3.204	171	5,3
20	1,0	4.363	4.017	3.995	4.125	206	5,0
20	3,0	6.407	5.706	5.642	5.918	425	7,2
20	10,0	8.529	7.777	7.525	7.944	522	6,6
10	0,5	6.512	7.217	7.291	7.007	430	6,1
10	1,0	7.748	8.326	8.383	8.152	351	4,3
10	3,0	9.775	10.320	10.290	10.128	307	3,0
10	10,0	12.082	12.646	12.646	12.458	326	2,6
0	0,5	12.569	12.477	12.346	12.464	112	0,9
0	1,0	13.649	13.586	13.725	13.653	69	0,5
0	3,0	16.453	15.741	15.269	15.821	596	3,8
0	10,0	18.020	17.424	17.239	17.561	408	2,3
-10	0,5	20.630	19.188	17.942	19.253	1.345	7,0
-10	1,0	21.617	20.095	18.787	20.167	1.417	7,0
-10	3,0	23.172	21.385	20.253	21.603	1.471	6,8
-10	10,0	24.408	23.022	21.919	23.116	1.247	5,4

Tabelle A 2.38: Ermittlung der Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A213

T	f	T	αT	X $\log(\alpha T \cdot f)$	IEI Steifigkeits- modul	R Regression	(IEI-R) ² Schätzung	Prozent Fehler- quadrat
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]
20	0,5	293,15	1,00	-0,30	3.204	3.400	38.603	2,83
20	1,0	293,15	1,00	0,00	4.125	4.195	4.917	0,36
20	3,0	293,15	1,00	0,48	5.918	5.589	108.417	7,93
20	10,0	293,15	1,00	1,00	7.944	7.300	413.654	30,28
10	0,5	283,15	20,32	1,01	7.007	7.325	101.040	7,40
10	1,0	283,15	20,32	1,31	8.152	8.391	57.196	4,19
10	3,0	283,15	20,32	1,79	10.128	10.184	3.070	0,22
10	10,0	283,15	20,32	2,31	12.458	12.256	40.776	2,98
0	0,5	273,15	515,03	2,41	12.464	12.672	43.385	3,18
0	1,0	273,15	515,03	2,71	13.653	13.901	61.346	4,49
0	3,0	273,15	515,03	3,19	15.821	15.853	993	0,07
0	10,0	273,15	515,03	3,71	17.561	17.949	150.514	11,02
-10	0,5	263,15	16.685,19	3,92	19.253	18.764	239.684	17,54
-10	1,0	263,15	16.685,19	4,22	20.167	19.900	70.842	5,18
-10	3,0	263,15	16.685,19	4,70	21.603	21.600	9	0,00
-10	10,0	263,15	16.685,19	5,22	23.116	23.295	31.870	2,33
Fehlerquadratsumme:							1.366.316	100,00
Sigmoidfunktion Regressions- Parameter			y ₀ [MPa]	w [MPa]			x ₀ [Hz]	z [-]
			-3.363,67	35.466,98			2,83	2,16

Abbildung A 2.25: Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A213Tabelle A 2.39: Prognostizierte Steifigkeitsmoduln des Asphaltes A213 für $f = 10\text{ Hz}$

T	f	T	αT	X $\log(\alpha T \cdot f)$	IEI Steifigkeit
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]
-20	10	253,15	711.481,98	6,85	27.329
-10	10	263,15	16.685,19	5,22	23.295
0	10	273,15	515,03	3,71	17.949
10	10	283,15	20,32	2,31	12.256
15	10	288,15	4,39	1,64	9.637
20	10	293,15	1,00	1,00	7.300
35	10	308,15	0,02	-0,80	2.221
50	10	323,15	0,00	-2,44	338 ¹⁾

¹⁾ Mindestwert $IE_{T=50}$

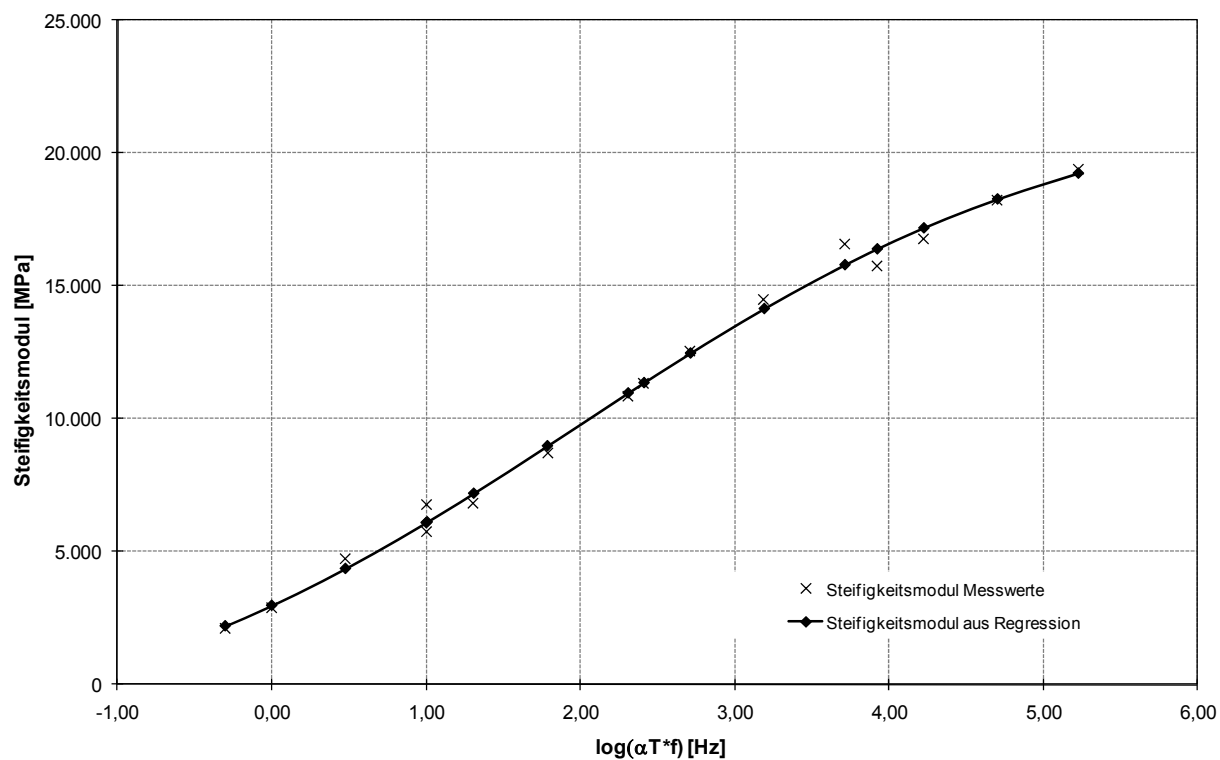
Asphaltmischgutvariante: A215
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: grobe Korngrößenverteilung; 5,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.40: Ergebnisse der Steifigkeitsversuche am Asphalt A215

T [°C]	f [Hz]	IEI _{A315-08} Steifigkeits- modul [MPa]	IEI _{A315-11} Steifigkeits- modul [MPa]	IEI _{A315-13} Steifigkeits- modul [MPa]	IEI Arithmetisches Mittel [MPa]	s Standard- abweichung [MPa]	v Variations- koeffizient [%]
20	0,5	2.078	2.174	2.036	2.096	71	3,4
20	1,0	2.827	2.848	2.950	2.875	66	2,3
20	3,0	4.631	5.000	4.538	4.723	244	5,2
20	10,0	6.869	7.066	6.381	6.772	352	5,2
10	0,5	5.232	6.327	5.654	5.738	552	9,6
10	1,0	6.188	7.507	6.799	6.831	660	9,7
10	3,0	7.771	9.453	8.870	8.698	854	9,8
10	10,0	9.848	11.663	11.079	10.863	926	8,5
0	0,5	10.519	12.329	11.181	11.343	916	8,1
0	1,0	11.532	13.667	12.427	12.542	1.072	8,5
0	3,0	13.280	15.640	14.491	14.470	1.180	8,2
0	10,0	15.458	17.752	16.580	16.596	1.147	6,9
-10	0,5	14.638	17.272	15.286	15.732	1.372	8,7
-10	1,0	15.559	18.347	16.460	16.789	1.422	8,5
-10	3,0	16.951	19.795	17.918	18.221	1.446	7,9
-10	10,0	17.999	21.463	18.776	19.412	1.818	9,4

Tabelle A 2.41: Ermittlung der Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A215

T [°C]	f [Hz]	T [K]	αT [-]	X $\log(\alpha T \cdot f)$ [Hz]	IEI Steifigkeits- modul [MPa]	R Regression [MPa]	(IEI-R) ² Schätzung [MPa]	Prozent Fehler- quadrat [%]
20	0,5	293,15	1,00	-0,30	2.096	2.203	11.429	0,49
20	1,0	293,15	1,00	0,00	2.875	2.975	10.011	0,43
20	3,0	293,15	1,00	0,48	4.723	4.362	130.322	5,54
20	10,0	293,15	1,00	1,00	6.772	6.091	463.783	19,70
10	0,5	283,15	20,32	1,01	5.738	6.115	142.573	6,06
10	1,0	283,15	20,32	1,31	6.831	7.192	130.519	5,54
10	3,0	283,15	20,32	1,79	8.698	8.977	77.793	3,30
10	10,0	283,15	20,32	2,31	10.863	10.967	10.766	0,46
0	0,5	273,15	515,03	2,41	11.343	11.354	128	0,01
0	1,0	273,15	515,03	2,71	12.542	12.469	5.356	0,23
0	3,0	273,15	515,03	3,19	14.470	14.142	108.079	4,59
0	10,0	273,15	515,03	3,71	16.596	15.790	649.718	27,60
-10	0,5	263,15	16.685,19	3,92	15.732	16.387	429.372	18,24
-10	1,0	263,15	16.685,19	4,22	16.789	17.177	150.921	6,41
-10	3,0	263,15	16.685,19	4,70	18.221	18.265	1.869	0,08
-10	10,0	263,15	16.685,19	5,22	19.412	19.236	31.222	1,33
Fehlerquadratsumme:							2.353.860	100,00
Sigmoidfunktion Regressions- Parameter			y_0 [MPa]		w [MPa]		x_0 [Hz]	z [-]
			-2.794,30		25.130,51		1,99	1,65

Abbildung A 2.26: Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A215Tabelle A 2.42: Prognostizierte Steifigkeitsmoduln des Asphaltes A215 für $f = 10\text{ Hz}$

T	f	T	αT	X $\log(\alpha T \cdot f)$	IEI Steifigkeit
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]
-20	10	253,15	711.481,98	6,85	21.087
-10	10	263,15	16.685,19	5,22	19.236
0	10	273,15	515,03	3,71	15.790
10	10	283,15	20,32	2,31	10.967
15	10	288,15	4,39	1,64	8.437
20	10	293,15	1,00	1,00	6.091
35	10	308,15	0,02	-0,80	1.093
50	10	323,15	0,00	-2,44	98 ¹⁾

¹⁾ Mindestwert $IE_{T=50}$

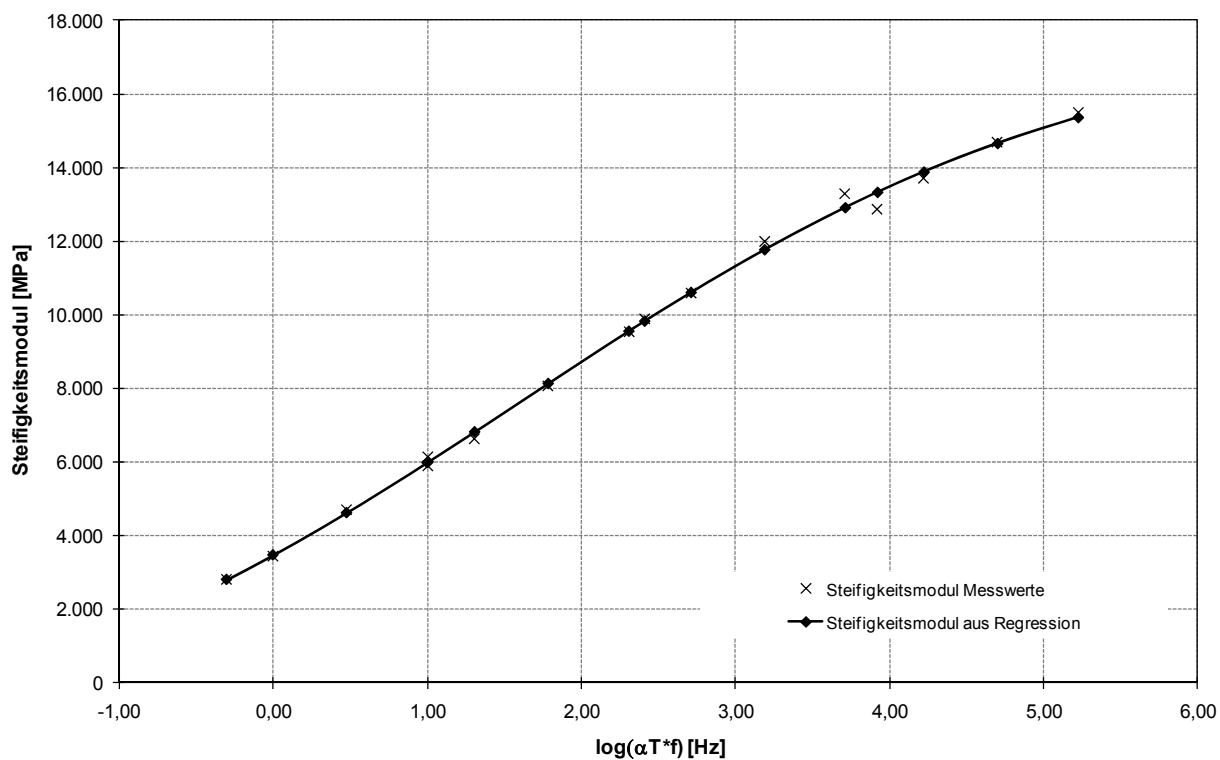
Asphaltmischgutvariante: A311
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 3,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.43: Ergebnisse der Steifigkeitsversuche am Asphalt A311

T [°C]	f [Hz]	IEI _{A311-24} Steifigkeits- modul [MPa]	IEI _{A311-30} Steifigkeits- modul [MPa]	IEI _{A311-32} Steifigkeits- modul [MPa]	IEI Arithmetisches Mittel [MPa]	s Standard- abweichung [MPa]	v Variations- koeffizient [%]
20	0,5	2.695	2.761	2.961	2.806	138	4,9
20	1,0	3.333	3.311	3.632	3.426	179	5,2
20	3,0	4.650	4.390	5.106	4.715	363	7,7
20	10,0	6.024	5.640	6.768	6.144	574	9,3
10	0,5	5.842	6.049	5.742	5.878	156	2,7
10	1,0	6.495	6.748	6.648	6.630	128	1,9
10	3,0	7.838	8.109	8.232	8.060	202	2,5
10	10,0	9.322	9.728	9.613	9.555	209	2,2
0	0,5	10.067	9.327	10.320	9.905	516	5,2
0	1,0	10.636	10.128	11.006	10.590	441	4,2
0	3,0	12.109	11.444	12.381	11.978	482	4,0
0	10,0	13.296	12.765	13.759	13.273	497	3,7
-10	0,5	12.099	13.412	13.036	12.849	676	5,3
-10	1,0	12.473	14.964	13.649	13.695	1.246	9,1
-10	3,0	13.581	15.898	14.545	14.675	1.164	7,9
-10	10,0	14.199	16.822	15.418	15.479	1.313	8,5

Tabelle A 2.44: Ermittlung der Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A311

T [°C]	f [Hz]	T [K]	αT [-]	X $\log(\alpha T \cdot f)$ [Hz]	IEI Steifigkeits- modul [MPa]	R Regression [MPa]	(IEI-R) ² Schätzung [MPa]	Prozent Fehler- quadrat [%]
20	0,5	293,15	1,00	-0,30	2.806	2.798	63	0,01
20	1,0	293,15	1,00	0,00	3.426	3.465	1.538	0,28
20	3,0	293,15	1,00	0,48	4.715	4.614	10.333	1,87
20	10,0	293,15	1,00	1,00	6.144	5.976	28.110	5,09
10	0,5	283,15	20,32	1,01	5.878	5.995	13.748	2,49
10	1,0	283,15	20,32	1,31	6.630	6.813	33.160	6,01
10	3,0	283,15	20,32	1,79	8.060	8.127	4.523	0,82
10	10,0	283,15	20,32	2,31	9.555	9.550	21	0,00
0	0,5	273,15	515,03	2,41	9.905	9.823	6.720	1,22
0	1,0	273,15	515,03	2,71	10.590	10.603	177	0,03
0	3,0	273,15	515,03	3,19	11.978	11.765	45.198	8,19
0	10,0	273,15	515,03	3,71	13.273	12.909	132.557	24,02
-10	0,5	263,15	16.685,19	3,92	12.849	13.325	226.936	41,12
-10	1,0	263,15	16.685,19	4,22	13.695	13.880	34.156	6,19
-10	3,0	263,15	16.685,19	4,70	14.675	14.653	448	0,08
-10	10,0	263,15	16.685,19	5,22	15.479	15.360	14.225	2,58
Fehlerquadratsumme:							551.914	100,00
Sigmoidfunktion Regressions- Parameter			y_0 [MPa]		w [MPa]		x_0 [Hz]	z [-]
			-2.582,05		20.534,99		1,63	1,86

Abbildung A 2.27: Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A311Tabelle A 2.45: Prognostizierte Steifigkeitsmoduln des Asphaltes A311 für $f = 10\text{ Hz}$

T	f	T	αT	X $\log(\alpha T \cdot f)$	IEI Steifigkeit
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]
-20	10	253,15	711.481,98	6,85	16.788
-10	10	263,15	16.685,19	5,22	15.360
0	10	273,15	515,03	3,71	12.909
10	10	283,15	20,32	2,31	9.550
15	10	288,15	4,39	1,64	7.734
20	10	293,15	1,00	1,00	5.976
35	10	308,15	0,02	-0,80	1.797
50	10	323,15	0,00	-2,44	270 ¹⁾

¹⁾ Mindestwert $IE_{T=50}$

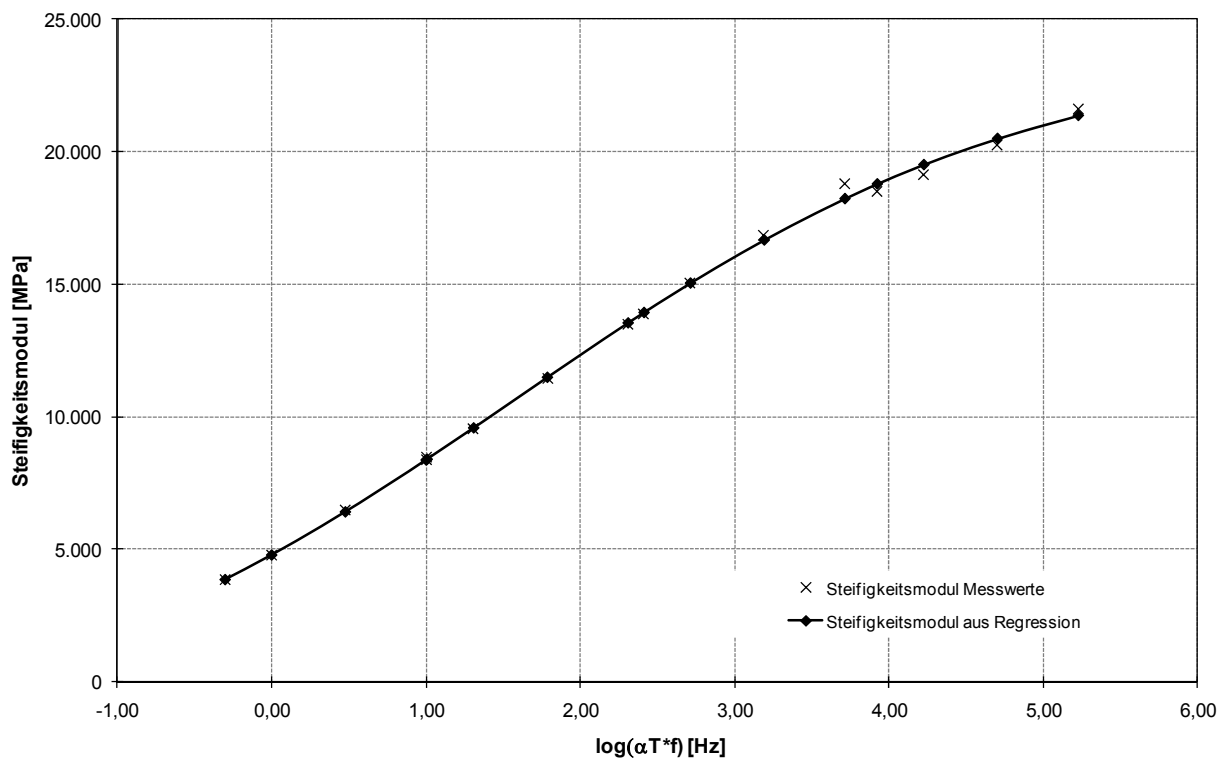
Asphaltmischgutvariante: A313
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 4,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A2.2.28: Ergebnisse der Steifigkeitsversuche am Asphalt A313

T [°C]	f [Hz]	$IEI_{A313-15}$ Steifigkeits- modul [MPa]	$IEI_{A313-17}$ Steifigkeits- modul [MPa]	$IEI_{A313-18}$ Steifigkeits- modul [MPa]	IEI Arithmetisches Mittel [MPa]	s Standard- abweichung [MPa]	v Variations- koeffizient [%]
20	0,5	4.065	3.405	4.082	3.851	386	10,0
20	1,0	5.011	4.376	4.984	4.791	359	7,5
20	3,0	6.654	6.112	6.731	6.499	337	5,2
20	10,0	8.821	7.884	8.714	8.473	513	6,1
10	0,5	8.092	8.683	8.314	8.363	298	3,6
10	1,0	9.344	9.859	9.379	9.527	288	3,0
10	3,0	11.261	11.774	11.251	11.429	299	2,6
10	10,0	13.506	13.584	13.332	13.474	129	1,0
0	0,5	14.109	14.099	13.467	13.892	368	2,6
0	1,0	15.191	15.305	14.715	15.070	313	2,1
0	3,0	16.795	17.443	16.299	16.846	574	3,4
0	10,0	18.747	19.450	18.251	18.816	603	3,2
-10	0,5	19.272	17.667	18.539	18.493	803	4,3
-10	1,0	20.192	18.069	19.189	19.150	1.062	5,5
-10	3,0	21.352	19.155	20.311	20.273	1.099	5,4
-10	10,0	22.756	20.686	21.445	21.629	1.047	4,8

Tabelle A 2.46: Ermittlung der Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A313

T	f	T	αT	X log($\alpha T \cdot f$)	$ E $ Steifigkeits- modul	R Regression	$(E -R)^2$ Schätzung	Prozent Fehler- quadrat
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]
20	0,5	293,15	1,00	-0,30	3.851	3.872	449	0,06
20	1,0	293,15	1,00	0,00	4.791	4.799	73	0,01
20	3,0	293,15	1,00	0,48	6.499	6.424	5.685	0,77
20	10,0	293,15	1,00	1,00	8.473	8.381	8.421	1,13
10	0,5	283,15	20,32	1,01	8.363	8.409	2.100	0,28
10	1,0	283,15	20,32	1,31	9.527	9.592	4.252	0,57
10	3,0	283,15	20,32	1,79	11.429	11.498	4.796	0,65
10	10,0	283,15	20,32	2,31	13.474	13.549	5.555	0,75
0	0,5	273,15	515,03	2,41	13.892	13.939	2.259	0,30
0	1,0	273,15	515,03	2,71	15.070	15.048	517	0,07
0	3,0	273,15	515,03	3,19	16.846	16.672	30.113	4,06
0	10,0	273,15	515,03	3,71	18.816	18.231	342.647	46,16
-10	0,5	263,15	16.685,19	3,92	18.493	18.785	85.548	11,52
-10	1,0	263,15	16.685,19	4,22	19.150	19.511	130.616	17,60
-10	3,0	263,15	16.685,19	4,70	20.273	20.498	50.613	6,82
-10	10,0	263,15	16.685,19	5,22	21.629	21.367	68.643	9,25
Fehlerquadratsumme:							742.287	100,00
Sigmoidfunktion Regressions- Parameter			y_0 [MPa]		w [MPa]		x_0 [Hz]	z [-]
			-2.627,51		26.726,04		1,59	1,67

Abbildung A 2.28: Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A313Tabelle A 2.47: Prognostizierte Steifigkeitsmoduln des Asphaltes A313 für $f = 10\text{ Hz}$

T	f	T	αT	X $\log(\alpha T \cdot f)$	IEI Steifigkeit
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]
-20	10	253,15	711.481,98	6,85	23.000
-10	10	263,15	16.685,19	5,22	21.367
0	10	273,15	515,03	3,71	18.231
10	10	283,15	20,32	2,31	13.549
15	10	288,15	4,39	1,64	10.929
20	10	293,15	1,00	1,00	8.381
35	10	308,15	0,02	-0,80	2.509
50	10	323,15	0,00	-2,44	375 ¹⁾

¹⁾ Mindestwert $IE_{T=50}$

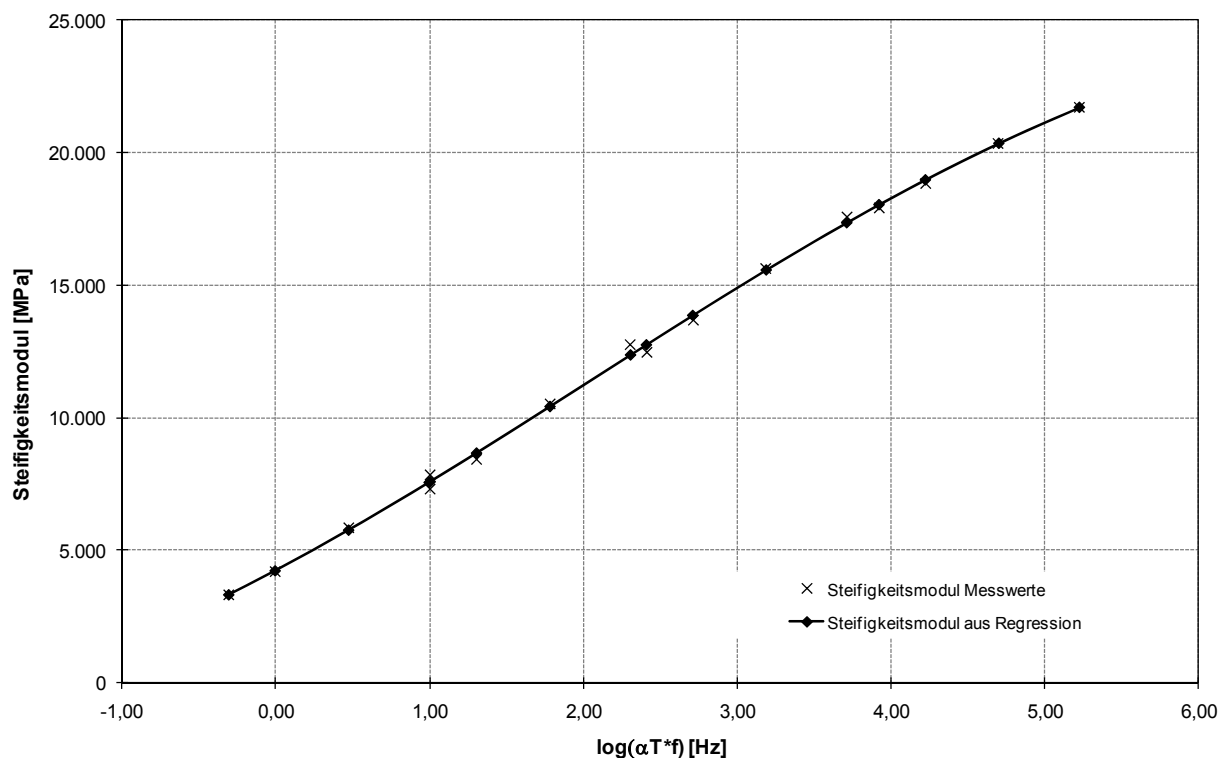
Asphaltmischgutvariante: A315
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 5,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.48: Ergebnisse der Steifigkeitsversuche am Asphalt A315

T [°C]	f [Hz]	IEI _{A315-08} Steifigkeits- modul [MPa]	IEI _{A315-15} Steifigkeits- modul [MPa]	IEI _{A315-16} Steifigkeits- modul [MPa]	IEI Arithmetisches Mittel [MPa]	s Standard- abweichung [MPa]	v Variations- koeffizient [%]
20	0,5	3.208	3.115	3.584	3.303	248	7,5
20	1,0	4.116	4.036	4.502	4.218	249	5,9
20	3,0	5.658	5.734	6.165	5.852	274	4,7
20	10,0	7.704	7.577	8.255	7.846	360	4,6
10	0,5	7.276	7.416	7.190	7.294	114	1,6
10	1,0	8.261	8.627	8.395	8.428	185	2,2
10	3,0	10.660	10.647	10.293	10.534	208	2,0
10	10,0	12.808	13.064	12.440	12.771	314	2,5
0	0,5	13.410	12.553	11.398	12.453	1.010	8,1
0	1,0	14.702	13.796	12.542	13.680	1.085	7,9
0	3,0	16.735	15.684	14.440	15.620	1.149	7,4
0	10,0	18.715	17.847	16.157	17.573	1.301	7,4
-10	0,5	18.075	17.090	18.590	17.918	763	4,3
-10	1,0	19.069	17.980	19.474	18.841	773	4,1
-10	3,0	20.526	19.656	20.844	20.342	615	3,0
-10	10,0	21.984	20.969	22.236	21.730	671	3,1

Tabelle A 2.49: Ermittlung der Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A315

T [°C]	f [Hz]	T [K]	αT [-]	X $\log(\alpha T \cdot f)$ [Hz]	IEI Steifigkeits- modul [MPa]	R Regression [MPa]	(IEI-R) ² Schätzung [MPa]	Prozent Fehler- quadrat [%]
20	0,5	293,15	1,00	-0,30	3.303	3.318	250	0,04
20	1,0	293,15	1,00	0,00	4.218	4.223	23	0,00
20	3,0	293,15	1,00	0,48	5.852	5.756	9.305	1,54
20	10,0	293,15	1,00	1,00	7.846	7.555	84.185	13,89
10	0,5	283,15	20,32	1,01	7.294	7.580	81.939	13,52
10	1,0	283,15	20,32	1,31	8.428	8.661	54.371	8,97
10	3,0	283,15	20,32	1,79	10.534	10.416	13.836	2,28
10	10,0	283,15	20,32	2,31	12.771	12.362	167.114	27,58
0	0,5	273,15	515,03	2,41	12.453	12.743	83.929	13,85
0	1,0	273,15	515,03	2,71	13.680	13.851	29.317	4,84
0	3,0	273,15	515,03	3,19	15.620	15.564	3.109	0,51
0	10,0	273,15	515,03	3,71	17.573	17.347	50.964	8,41
-10	0,5	263,15	16.685,19	3,92	17.918	18.027	11.690	1,93
-10	1,0	263,15	16.685,19	4,22	18.841	18.963	14.825	2,45
-10	3,0	263,15	16.685,19	4,70	20.342	20.342	0	0,00
-10	10,0	263,15	16.685,19	5,22	21.730	21.696	1.129	0,19
Fehlerquadratsumme:							605.985	100,00
Sigmoidfunktion Regressions- Parameter			y_0 [MPa]		w [MPa]		x_0 [Hz]	z [-]
			-5.992,01		34.834,77		2,06	2,34

Abbildung A 2.29: Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A315Tabelle A 2.50: Prognostizierte Steifigkeitsmoduln des Asphaltes A315 für $f = 10\text{ Hz}$

T	f	T	αT	X $\log(\alpha T \cdot f)$	IEI Steifigkeit
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]
-20	10	253,15	711.481,98	6,85	24.875
-10	10	263,15	16.685,19	5,22	21.696
0	10	273,15	515,03	3,71	17.347
10	10	283,15	20,32	2,31	12.362
15	10	288,15	4,39	1,64	9.888
20	10	293,15	1,00	1,00	7.555
35	10	308,15	0,02	-0,80	1.929
50	10	323,15	0,00	-2,44	246 ¹⁾

¹⁾ Mindestwert $IE_{T=50}$

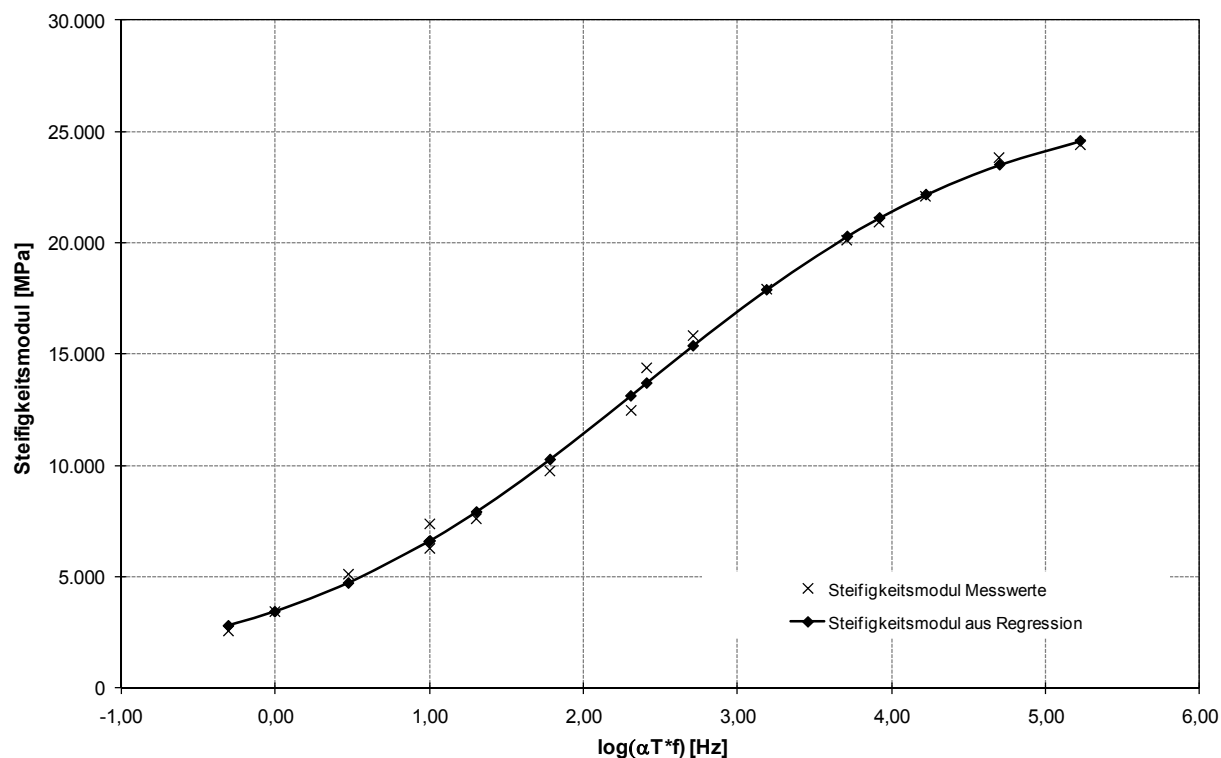
Asphaltmischgutvariante: A317
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 6,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.51: Ergebnisse der Steifigkeitsversuche am Asphalt A317

T	f	$IEI_{A317-08}$ Steifigkeits- modul	$IEI_{A317-13}$ Steifigkeits- modul	$IEI_{A317-17}$ Steifigkeits- modul	IEI Arithmetisches Mittel	s Standard- abweichung	v Variations- koeffizient
[°C]	[Hz]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]
20	0,5	2.641	2.624	2.408	2.557	130	5,1
20	1,0	3.550	3.300	3.356	3.402	131	3,9
20	3,0	5.272	4.822	5.236	5.110	250	4,9
20	10,0	7.485	6.789	7.790	7.355	513	7,0
10	0,5	6.283	6.005	6.555	6.281	275	4,4
10	1,0	7.403	7.464	8.019	7.629	340	4,5
10	3,0	9.667	9.120	10.371	9.719	627	6,5
10	10,0	12.273	11.853	13.298	12.475	743	6,0
0	0,5	14.676	12.852	15.586	14.372	1.392	9,7
0	1,0	16.320	14.044	17.051	15.805	1.568	9,9
0	3,0	18.290	16.531	18.893	17.904	1.227	6,9
0	10,0	20.733	18.692	20.972	20.132	1.253	6,2
-10	0,5	20.853	19.949	21.976	20.926	1.016	4,9
-10	1,0	22.340	21.228	22.650	22.073	748	3,4
-10	3,0	24.059	23.197	24.264	23.840	566	2,4
-10	10,0	24.275	24.155	24.825	24.418	358	1,5

Tabelle A 2.52: Ermittlung der Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A317

T	f	T	αT	X $\log(\alpha T \cdot f)$	IEI Steifigkeits- modul	R Regression	$(IEI-R)^2$ Schätzung	Prozent Fehler- quadrat
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]
20	0,5	293,15	1,00	-0,30	2.557	2.806	61.536	2,40
20	1,0	293,15	1,00	0,00	3.402	3.437	1.220	0,05
20	3,0	293,15	1,00	0,48	5.110	4.722	150.716	5,88
20	10,0	293,15	1,00	1,00	7.355	6.585	592.787	23,13
10	0,5	283,15	20,32	1,01	6.281	6.613	110.265	4,30
10	1,0	283,15	20,32	1,31	7.629	7.912	80.370	3,14
10	3,0	283,15	20,32	1,79	9.719	10.266	298.678	11,66
10	10,0	283,15	20,32	2,31	12.475	13.120	416.851	16,27
0	0,5	273,15	515,03	2,41	14.372	13.695	457.838	17,87
0	1,0	273,15	515,03	2,71	15.805	15.367	191.926	7,49
0	3,0	273,15	515,03	3,19	17.904	17.881	557	0,02
0	10,0	273,15	515,03	3,71	20.132	20.277	21.008	0,82
-10	0,5	263,15	16.685,19	3,92	20.926	21.105	31.921	1,25
-10	1,0	263,15	16.685,19	4,22	22.073	22.155	6.711	0,26
-10	3,0	263,15	16.685,19	4,70	23.840	23.495	119.102	4,65
-10	10,0	263,15	16.685,19	5,22	24.418	24.563	21.057	0,82
Fehlerquadratsumme:							2.562.544	100,00
Sigmoidfunktion Regressions- Parameter			y_0	w		x_0	z	
			[MPa]	[MPa]		[Hz]	[-]	
			344,93	26.405,94		2,38	1,18	

Abbildung A 2.30: Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A317Tabelle A 2.53: Prognostizierte Steifigkeitsmoduln des Asphaltes A317 für $f = 10\text{ Hz}$

T	f	T	αT	X $\log(\alpha T \cdot f)$	IEI Steifigkeit
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]
-20	10	253,15	711.481,98	6,85	26.165
-10	10	263,15	16.685,19	5,22	24.563
0	10	273,15	515,03	3,71	20.277
10	10	283,15	20,32	2,31	13.120
15	10	288,15	4,39	1,64	9.530
20	10	293,15	1,00	1,00	6.585
35	10	308,15	0,02	-0,80	2.007
50	10	323,15	0,00	-2,44	781

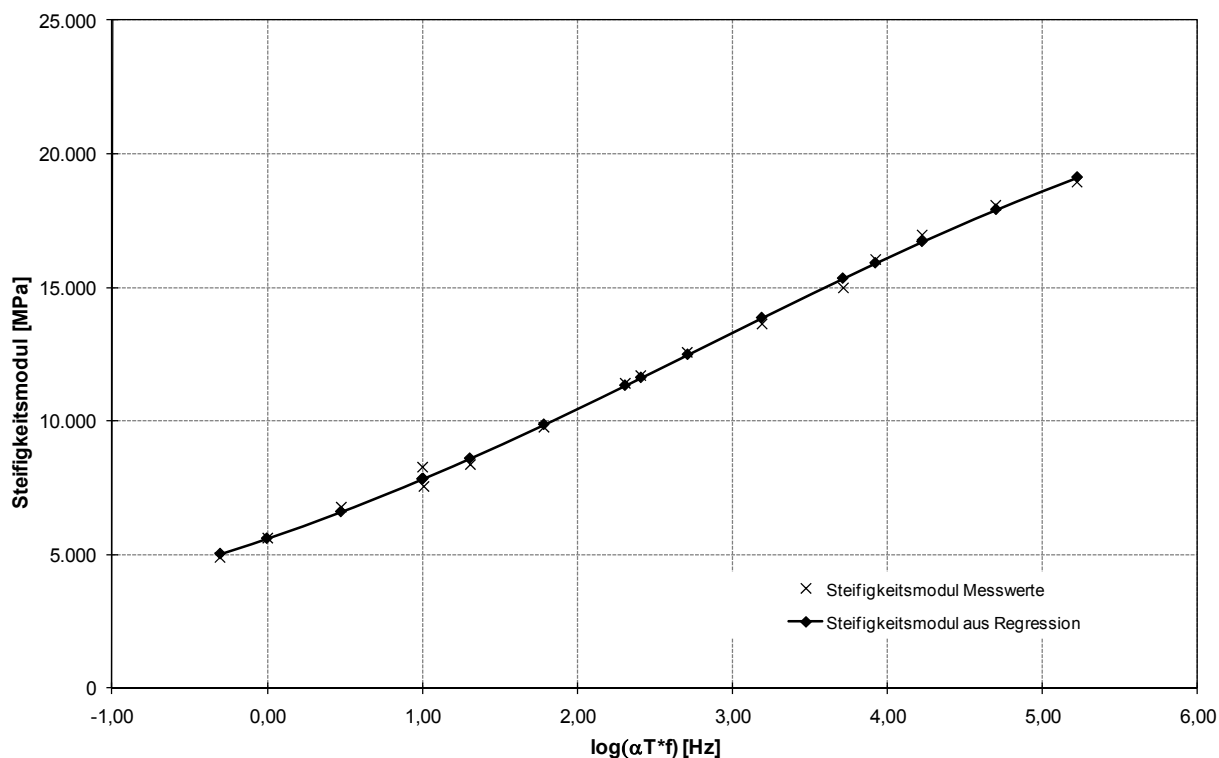
Asphaltmischgutvariante: A321
 Bindemittelsorte: 30/45
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 3,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.54: Ergebnisse der Steifigkeitsversuche am Asphalt A321

T	f	IEI _{A321-42} Steifigkeits- modul	IEI _{A321-44} Steifigkeits- modul	IEI Steifigkeits- modul	IEI Arithmetisches Mittel	s Standard- abweichung	v Variations- koeffizient
[°C]	[Hz]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]
20	0,5	4.723	5.092	-	4.907	261	5,3
20	1,0	5.345	5.860	-	5.602	365	6,5
20	3,0	6.567	7.016	-	6.792	318	4,7
20	10,0	8.050	8.465	-	8.257	293	3,6
10	0,5	7.477	7.609	-	7.543	93	1,2
10	1,0	8.395	8.317	-	8.356	55	0,7
10	3,0	9.848	9.716	-	9.782	94	1,0
10	10,0	11.530	11.271	-	11.401	184	1,6
0	0,5	11.528	11.871	-	11.700	243	2,1
0	1,0	12.341	12.821	-	12.581	339	2,7
0	3,0	13.458	13.837	-	13.647	268	2,0
0	10,0	14.830	15.150	-	14.990	226	1,5
-10	0,5	15.655	16.400	-	16.027	527	3,3
-10	1,0	16.395	17.523	-	16.959	798	4,7
-10	3,0	17.501	18.660	-	18.081	819	4,5
-10	10,0	18.861	19.022	-	18.941	114	0,6

Tabelle A 2.55: Ermittlung der Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A321

T	f	T	αT	X log($\alpha T \cdot f$)	IEI Steifigkeits- modul	R Regression	(IEI-R) ² Schätzung	Prozent Fehler- quadrat
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]
20	0,5	293,15	1,00	-0,30	4.907	5.023	13.465	1,89
20	1,0	293,15	1,00	0,00	5.602	5.597	31	0,00
20	3,0	293,15	1,00	0,48	6.792	6.598	37.561	5,28
20	10,0	293,15	1,00	1,00	8.257	7.819	192.152	27,00
10	0,5	283,15	20,32	1,01	7.543	7.836	85.891	12,07
10	1,0	283,15	20,32	1,31	8.356	8.594	56.490	7,94
10	3,0	283,15	20,32	1,79	9.782	9.862	6.382	0,90
10	10,0	283,15	20,32	2,31	11.401	11.323	5.964	0,84
0	0,5	273,15	515,03	2,41	11.700	11.617	6.876	0,97
0	1,0	273,15	515,03	2,71	12.581	12.481	9.900	1,39
0	3,0	273,15	515,03	3,19	13.647	13.854	42.670	6,00
0	10,0	273,15	515,03	3,71	14.990	15.329	115.443	16,22
-10	0,5	263,15	16.685,19	3,92	16.027	15.904	15.294	2,15
-10	1,0	263,15	16.685,19	4,22	16.959	16.706	64.138	9,01
-10	3,0	263,15	16.685,19	4,70	18.081	17.909	29.413	4,13
-10	10,0	263,15	16.685,19	5,22	18.941	19.114	29.956	4,21
Fehlerquadratsumme:							711.628	100,00
Sigmoidfunktion Regressions- Parameter			y ₀		w		x ₀	z
			[MPa]		[MPa]		[Hz]	[-]
			-61.42		25.691,12		2,82	2,23

Abbildung A 2.31: Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A321Tabelle A 2.56: Prognostizierte Steifigkeitsmoduln des Asphaltes A321 für $f = 10\text{ Hz}$

T	f	T	αT	X $\log(\alpha T f)$	IEI Steifigkeit
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]
-20	10	253,15	711.481,98	6,85	22.020
-10	10	263,15	16.685,19	5,22	19.114
0	10	273,15	515,03	3,71	15.329
10	10	283,15	20,32	2,31	11.323
15	10	288,15	4,39	1,64	9.475
20	10	293,15	1,00	1,00	7.819
35	10	308,15	0,02	-0,80	4.167
50	10	323,15	0,00	-2,44	2.158

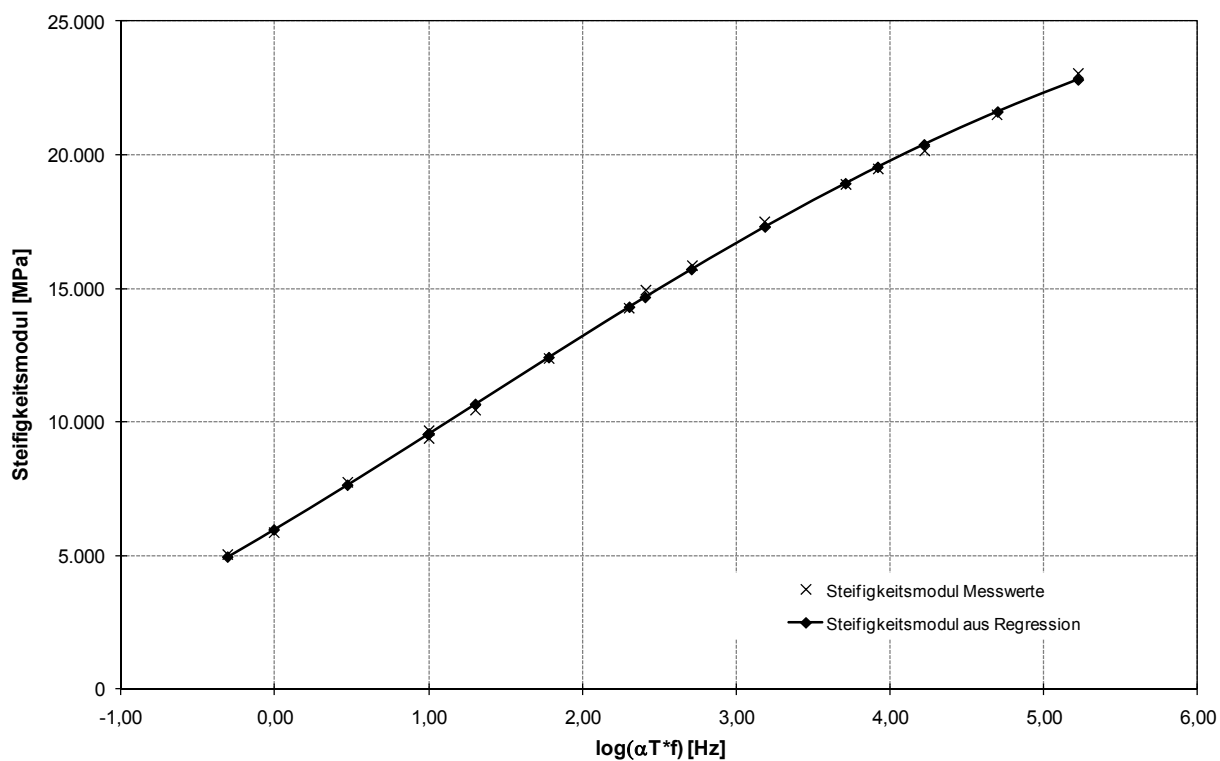
Asphaltmischgutvariante: A323
 Bindemittelsorte: 30/45
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 4,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.57: Ergebnisse der Steifigkeitsversuche am Asphalt A323

T	f	$IEI_{A323-04}$ Steifigkeits- modul	$IEI_{A323-05}$ Steifigkeits- modul	$IEI_{A323-09}$ Steifigkeits- modul	IEI Arithmetisches Mittel	s Standard- abweichung	v Variations- koeffizient
[°C]	[Hz]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]
20	0,5	5.238	4.623	5.256	5.039	360	7,1
20	1,0	6.004	5.361	6.161	5.842	424	7,3
20	3,0	8.069	7.294	7.819	7.727	396	5,1
20	10,0	9.940	9.257	9.866	9.688	375	3,9
10	0,5	9.296	9.126	9.694	9.372	292	3,1
10	1,0	10.859	10.049	10.459	10.456	405	3,9
10	3,0	12.954	11.885	12.214	12.351	548	4,4
10	10,0	15.042	13.630	14.053	14.242	725	5,1
0	0,5	15.284	15.015	14.518	14.939	388	2,6
0	1,0	16.050	16.012	15.442	15.834	341	2,2
0	3,0	17.722	17.663	17.019	17.468	390	2,2
0	10,0	19.565	18.577	18.512	18.885	590	3,1
-10	0,5	20.288	18.752	19.414	19.484	770	4,0
-10	1,0	21.092	19.144	20.177	20.137	975	4,8
-10	3,0	22.430	20.543	21.491	21.488	943	4,4
-10	10,0	24.090	22.066	22.958	23.038	1.014	4,4

Tabelle A 2.58: Ermittlung der Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A323

T	f	T	αT	X $\log(\alpha T \cdot f)$	IEI Steifigkeits- modul	R Regression	$(IEI-R)^2$ Schätzung	Prozent Fehler- quadrat
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]
20	0,5	293,15	1,00	-0,30	5.039	4.940	9.890	2,54
20	1,0	293,15	1,00	0,00	5.842	5.957	13.288	3,42
20	3,0	293,15	1,00	0,48	7.727	7.633	8.922	2,29
20	10,0	293,15	1,00	1,00	9.688	9.530	24.780	6,37
10	0,5	283,15	20,32	1,01	9.372	9.556	33.735	8,68
10	1,0	283,15	20,32	1,31	10.456	10.663	42.880	11,03
10	3,0	283,15	20,32	1,79	12.351	12.416	4.221	1,09
10	10,0	283,15	20,32	2,31	14.242	14.304	3.856	0,99
0	0,5	273,15	515,03	2,41	14.939	14.667	73.669	18,95
0	1,0	273,15	515,03	2,71	15.834	15.714	14.379	3,70
0	3,0	273,15	515,03	3,19	17.468	17.305	26.442	6,80
0	10,0	273,15	515,03	3,71	18.885	18.933	2.327	0,60
-10	0,5	263,15	16.685,19	3,92	19.484	19.546	3.822	0,98
-10	1,0	263,15	16.685,19	4,22	20.137	20.387	62.325	16,03
-10	3,0	263,15	16.685,19	4,70	21.488	21.617	16.694	4,29
-10	10,0	263,15	16.685,19	5,22	23.038	22.820	47.558	12,23
Fehlerquadratsumme:							388.787	100,00
Sigmoidfunktion Regressions- Parameter			y_0	w			x_0	z
			[MPa]	[MPa]			[Hz]	[-]
			-7.887,91	37.356,30			1,34	2,54

Abbildung A 2.32: Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A323Tabelle A 2.59: Prognostizierte Steifigkeitsmoduln des Asphaltes A323 für $f = 10\text{ Hz}$

T	f	T	αT	X $\log(\alpha T \cdot f)$	IEI Steifigkeit
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]
-20	10	253,15	711.481,98	6,85	25.650
-10	10	263,15	16.685,19	5,22	22.820
0	10	273,15	515,03	3,71	18.933
10	10	283,15	20,32	2,31	14.304
15	10	288,15	4,39	1,64	11.894
20	10	293,15	1,00	1,00	9.530
35	10	308,15	0,02	-0,80	3.328
50	10	323,15	0,00	-2,44	581 ¹⁾

¹⁾ Mindestwert $IE_{T=50}$

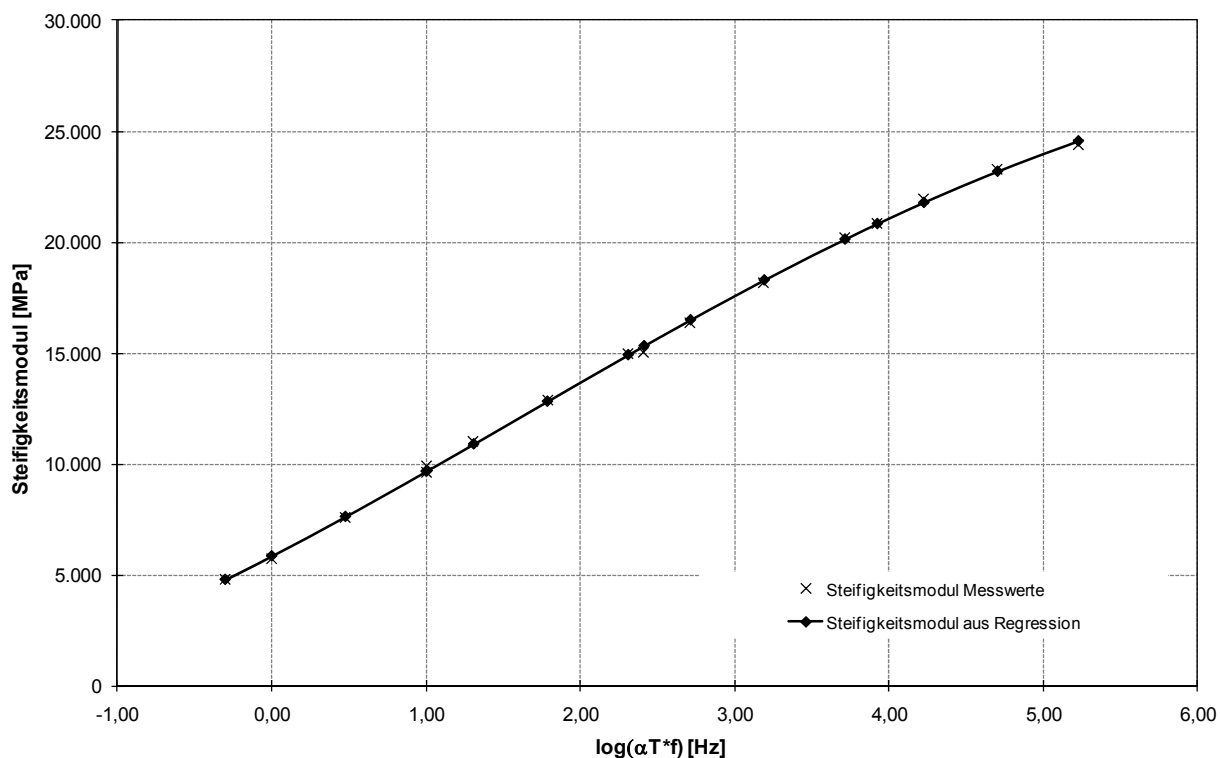
Asphaltmischgutvariante: A325
 Bindemittelsorte: 30/45
 Bindemittelhersteller: A
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 5,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.60: Ergebnisse der Steifigkeitsversuche am Asphalt A325

T [°C]	f [Hz]	$IEI_{A325-05}$ Steifigkeits- modul [MPa]	$IEI_{A325-06}$ Steifigkeits- modul [MPa]	$IEI_{A325-08}$ Steifigkeits- modul [MPa]	IEI Arithmetisches Mittel [MPa]	s Standard- abweichung [MPa]	v Variations- koeffizient [%]
20	0,5	4.644	5.036	4.797	4.826	197	4,1
20	1,0	5.626	5.956	5.710	5.764	171	3,0
20	3,0	7.634	7.745	7.421	7.600	165	2,2
20	10,0	9.655	9.770	9.448	9.624	163	1,7
10	0,5	9.927	9.898	9.965	9.930	33	0,3
10	1,0	11.097	10.429	11.482	11.003	533	4,8
10	3,0	12.958	12.689	13.032	12.893	180	1,4
10	10,0	15.060	14.891	15.046	14.999	94	0,6
0	0,5	15.618	14.428	15.002	15.016	595	4,0
0	1,0	17.044	15.443	16.719	16.402	846	5,2
0	3,0	18.774	17.121	18.620	18.172	913	5,0
0	10,0	20.768	18.850	21.097	20.238	1.214	6,0
-10	0,5	20.895	21.180	20.499	20.858	342	1,6
-10	1,0	21.544	22.367	21.943	21.951	411	1,9
-10	3,0	22.900	23.423	23.608	23.310	367	1,6
-10	10,0	24.394	24.265	24.456	24.372	98	0,4

Tabelle A 2.61: Ermittlung der Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A325

T [°C]	f [Hz]	T [K]	αT [-]	X $\log(\alpha T \cdot f)$ [Hz]	IEI Steifigkeits- modul [MPa]	R Regression [MPa]	$(IEI-R)^2$ Schätzung [MPa]	Prozent Fehler- quadrat [%]
20	0,5	293,15	1,00	-0,30	4.826	4.802	571	0,19
20	1,0	293,15	1,00	0,00	5.764	5.866	10.373	3,52
20	3,0	293,15	1,00	0,48	7.600	7.639	1.562	0,53
20	10,0	293,15	1,00	1,00	9.624	9.677	2.764	0,94
10	0,5	283,15	20,32	1,01	9.930	9.705	50.834	17,24
10	1,0	283,15	20,32	1,31	11.003	10.907	9.176	3,11
10	3,0	283,15	20,32	1,79	12.893	12.830	3.975	1,35
10	10,0	283,15	20,32	2,31	14.999	14.923	5.786	1,96
0	0,5	273,15	515,03	2,41	15.016	15.329	97.727	33,14
0	1,0	273,15	515,03	2,71	16.402	16.500	9.725	3,30
0	3,0	273,15	515,03	3,19	18.172	18.291	14.319	4,85
0	10,0	273,15	515,03	3,71	20.238	20.133	10.998	3,73
-10	0,5	263,15	16.685,19	3,92	20.858	20.830	799	0,27
-10	1,0	263,15	16.685,19	4,22	21.951	21.786	27.413	9,29
-10	3,0	263,15	16.685,19	4,70	23.310	23.186	15.480	5,25
-10	10,0	263,15	16.685,19	5,22	24.372	24.555	33.433	11,34
Fehlerquadratsumme:							294.935	100,00
Sigmoidfunktion Regressions- Parameter			y_0 [MPa]	w [MPa]			x_0 [Hz]	z [-]
			-7.419,37	39.320,29			1,64	2,44

Abbildung A 2.33: Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes A325Tabelle A 2.62: Prognostizierte Steifigkeitsmoduln des Asphaltes A325 für $f = 10\text{ Hz}$

T	f	T	αT	X $\log(\alpha T f)$	IEI Steifigkeit
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]
-20	10	253,15	711.481,98	6,85	27.761
-10	10	263,15	16.685,19	5,22	24.555
0	10	273,15	515,03	3,71	20.133
10	10	283,15	20,32	2,31	14.923
15	10	288,15	4,39	1,64	12.255
20	10	293,15	1,00	1,00	9.677
35	10	308,15	0,02	-0,80	3.138
50	10	323,15	0,00	-2,44	509 ¹⁾

¹⁾ Mindestwert $IE_{T=50}$

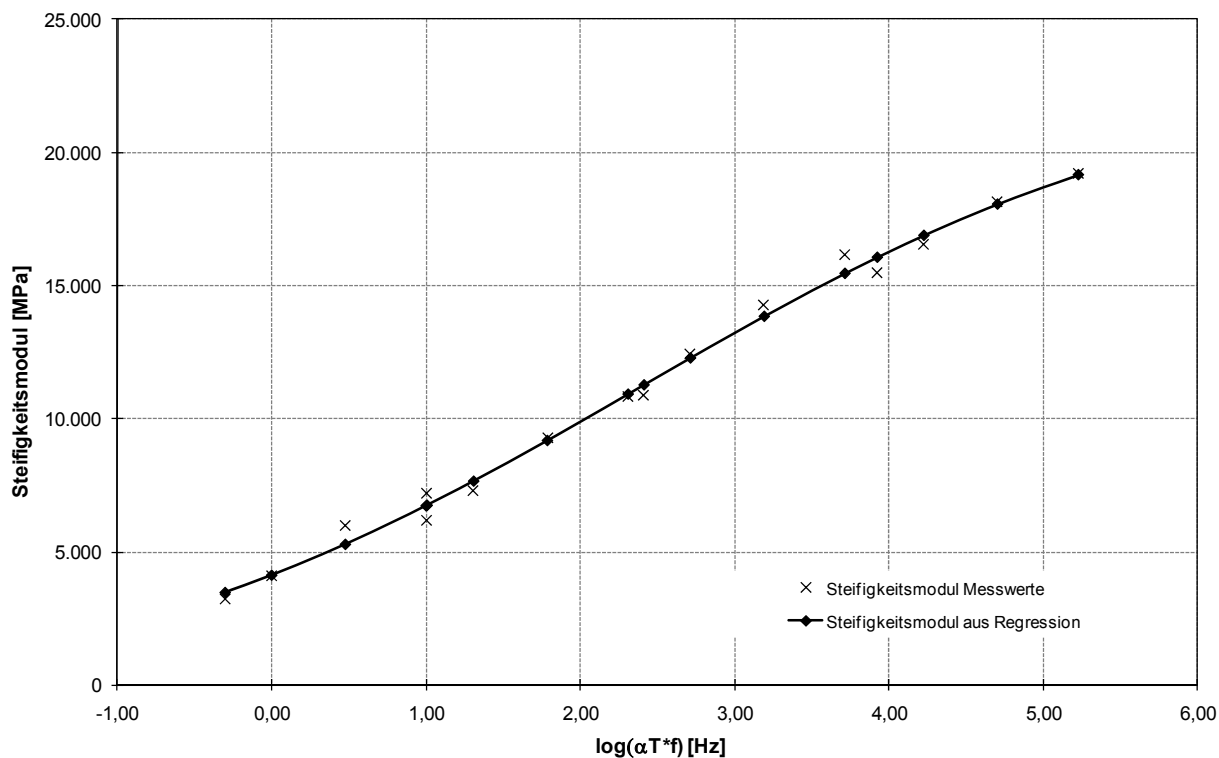
Asphaltmischgutvariante: B311
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: B
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 3,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.63: Ergebnisse der Steifigkeitsversuche am Asphalt B311

T [°C]	f [Hz]	$IEI_{B311-05}$ Steifigkeits- modul [MPa]	$IEI_{B311-14}$ Steifigkeits- modul [MPa]	$IEI_{B311-24}$ Steifigkeits- modul [MPa]	IEI Arithmetisches Mittel [MPa]	s Standard- abweichung [MPa]	v Variations- koeffizient [%]
20	0,5	3.149	3.427	3.156	3.244	158	4,9
20	1,0	4.036	4.322	3.947	4.102	196	4,8
20	3,0	6.167	6.076	5.752	5.998	218	3,6
20	10,0	7.351	7.415	6.913	7.226	273	3,8
10	0,5	6.351	6.170	6.086	6.202	135	2,2
10	1,0	7.525	7.185	7.194	7.301	194	2,7
10	3,0	9.804	8.998	9.031	9.278	456	4,9
10	10,0	11.334	10.390	10.737	10.820	477	4,4
0	0,5	11.164	9.500	11.986	10.883	1.266	11,6
0	1,0	13.036	11.017	13.293	12.449	1.246	10,0
0	3,0	14.842	12.785	15.202	14.277	1.304	9,1
0	10,0	17.238	14.523	16.667	16.143	1.432	8,9
-10	0,5	16.259	14.382	15.864	15.502	990	6,4
-10	1,0	17.330	15.439	16.835	16.535	980	5,9
-10	3,0	18.774	17.220	18.428	18.141	816	4,5
-10	10,0	19.464	18.398	19.831	19.231	744	3,9

Tabelle A 2.64: Ermittlung der Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes B311

T [°C]	f [Hz]	T [K]	αT [-]	X $\log(\alpha T \cdot f)$ [Hz]	IEI Steifigkeits- modul [MPa]	R Regression [MPa]	$(IEI-R)^2$ Schätzung [MPa]	Prozent Fehler- quadrat [%]
20	0,5	293,15	1,00	-0,30	3.244	3.493	62.117	2,45
20	1,0	293,15	1,00	0,00	4.102	4.141	1.553	0,06
20	3,0	293,15	1,00	0,48	5.998	5.299	488.732	19,25
20	10,0	293,15	1,00	1,00	7.226	6.745	232.103	9,14
10	0,5	283,15	20,32	1,01	6.202	6.765	316.452	12,47
10	1,0	283,15	20,32	1,31	7.301	7.672	137.525	5,42
10	3,0	283,15	20,32	1,79	9.278	9.195	6.868	0,27
10	10,0	283,15	20,32	2,31	10.820	10.937	13.606	0,54
0	0,5	273,15	515,03	2,41	10.883	11.282	159.271	6,27
0	1,0	273,15	515,03	2,71	12.449	12.292	24.633	0,97
0	3,0	273,15	515,03	3,19	14.277	13.855	177.999	7,01
0	10,0	273,15	515,03	3,71	16.143	15.466	458.247	18,05
-10	0,5	263,15	16.685,19	3,92	15.502	16.070	322.864	12,72
-10	1,0	263,15	16.685,19	4,22	16.535	16.890	126.185	4,97
-10	3,0	263,15	16.685,19	4,70	18.141	18.064	5.875	0,23
-10	10,0	263,15	16.685,19	5,22	19.231	19.166	4.261	0,17
Fehlerquadratsumme:							2.538.291	100,00
Sigmoidfunktion Regressions- Parameter			y_0 [MPa]	w [MPa]			x_0 [Hz]	z [-]
			-1.082,80	24.478,12			2,37	1,82

Abbildung A 2.34: Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes B311Tabelle A 2.65: Prognostizierte Steifigkeitsmoduln des Asphaltes B311 für $f = 10\text{ Hz}$

T	f	T	αT	X $\log(\alpha T \cdot f)$	IEI Steifigkeit
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]
-20	10	253,15	711.481,98	6,85	21.472
-10	10	263,15	16.685,19	5,22	19.166
0	10	273,15	515,03	3,71	15.466
10	10	283,15	20,32	2,31	10.937
15	10	288,15	4,39	1,64	8.731
20	10	293,15	1,00	1,00	6.745
35	10	308,15	0,02	-0,80	2.554
50	10	323,15	0,00	-2,44	540

¹⁾ Mindestwert $IE_{T=50}$

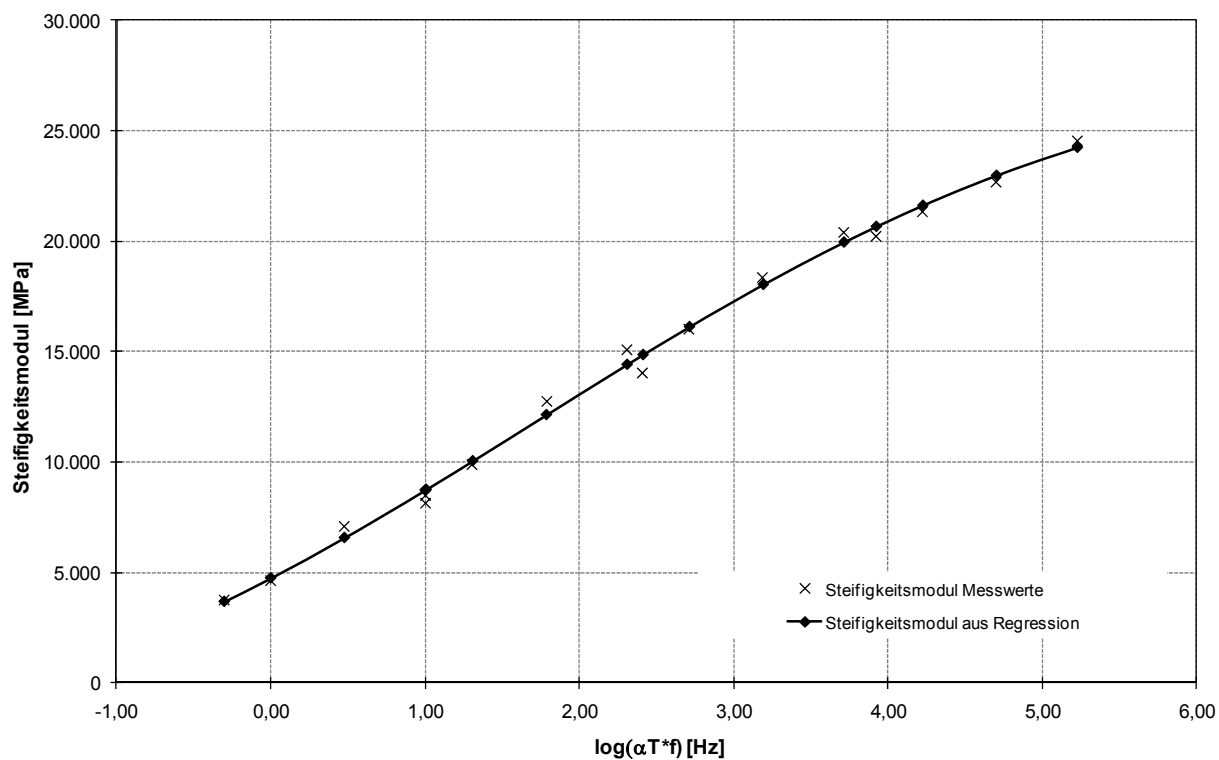
Asphaltmischgutvariante: B313
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: B
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 4,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.66: Ergebnisse der Steifigkeitsversuche am Asphalt B313

T	f	$IEI_{B313-02}$ Steifigkeits- modul	$IEI_{B313-04}$ Steifigkeits- modul	$IEI_{B313-11}$ Steifigkeits- modul	IEI Arithmetisches Mittel	s Standard- abweichung	v Variations- koeffizient
[°C]	[Hz]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]
20	0,5	3.495	3.999	3.716	3.737	253	6,8
20	1,0	4.329	4.972	4.486	4.596	335	7,3
20	3,0	6.828	7.380	6.935	7.048	293	4,2
20	10,0	8.117	8.747	8.650	8.505	339	4,0
10	0,5	8.160	8.280	8.012	8.151	135	1,7
10	1,0	10.013	9.754	9.797	9.854	139	1,4
10	3,0	12.912	12.344	12.997	12.751	355	2,8
10	10,0	15.375	14.772	15.085	15.077	302	2,0
0	0,5	13.758	14.530	13.790	14.026	437	3,1
0	1,0	15.729	16.561	15.723	16.004	482	3,0
0	3,0	17.892	19.004	18.077	18.324	596	3,3
0	10,0	20.002	21.001	20.142	20.382	541	2,7
-10	0,5	20.880	20.054	19.740	20.225	588	2,9
-10	1,0	21.530	21.621	20.891	21.347	398	1,9
-10	3,0	22.861	22.599	22.559	22.673	164	0,7
-10	10,0	24.260	26.007	23.379	24.548	1.338	5,4

Tabelle A 2.67: Ermittlung der Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes B313

T	f	T	αT	X $\log(\alpha T \cdot f)$	IEI Steifigkeits- modul	R Regression	$(IEI-R)^2$ Schätzung	Prozent Fehler- quadrat
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]
20	0,5	293,15	1,00	-0,30	3.737	3.666	5.023	0,17
20	1,0	293,15	1,00	0,00	4.596	4.730	18.106	0,62
20	3,0	293,15	1,00	0,48	7.048	6.553	244.318	8,33
20	10,0	293,15	1,00	1,00	8.505	8.708	41.416	1,41
10	0,5	283,15	20,32	1,01	8.151	8.738	344.968	11,76
10	1,0	283,15	20,32	1,31	9.854	10.032	31.467	1,07
10	3,0	283,15	20,32	1,79	12.751	12.120	398.485	13,58
10	10,0	283,15	20,32	2,31	15.077	14.399	460.681	15,71
0	0,5	273,15	515,03	2,41	14.026	14.839	660.958	22,53
0	1,0	273,15	515,03	2,71	16.004	16.105	10.258	0,35
0	3,0	273,15	515,03	3,19	18.324	18.016	95.159	3,24
0	10,0	273,15	515,03	3,71	20.382	19.933	201.541	6,87
-10	0,5	263,15	16.685,19	3,92	20.225	20.641	173.432	5,91
-10	1,0	263,15	16.685,19	4,22	21.347	21.596	61.918	2,11
-10	3,0	263,15	16.685,19	4,70	22.673	22.952	77.666	2,65
-10	10,0	263,15	16.685,19	5,22	24.548	24.220	107.943	3,68
Fehlerquadratsumme:							2.933.339	100,00
Sigmoidfunktion Regressions- Parameter			y_0	w			x_0	z
			[MPa]	[MPa]			[Hz]	[-]
			-5.581,10	34.979,09			1,74	1,99

Abbildung A 2.35: Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes B313Tabelle A 2.68: Prognostizierte Steifigkeitsmoduln des Asphaltes B313 für $f = 10\text{ Hz}$

T	f	T	αT	X $\log(\alpha T \cdot f)$	IEI Steifigkeit
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]
-20	10	253,15	711.481,98	6,85	26.908
-10	10	263,15	16.685,19	5,22	24.220
0	10	273,15	515,03	3,71	19.933
10	10	283,15	20,32	2,31	14.399
15	10	288,15	4,39	1,64	11.494
20	10	293,15	1,00	1,00	8.708
35	10	308,15	0,02	-0,80	2.056
50	10	323,15	0,00	-2,44	243

¹⁾ Mindestwert $IE_{T=50}$

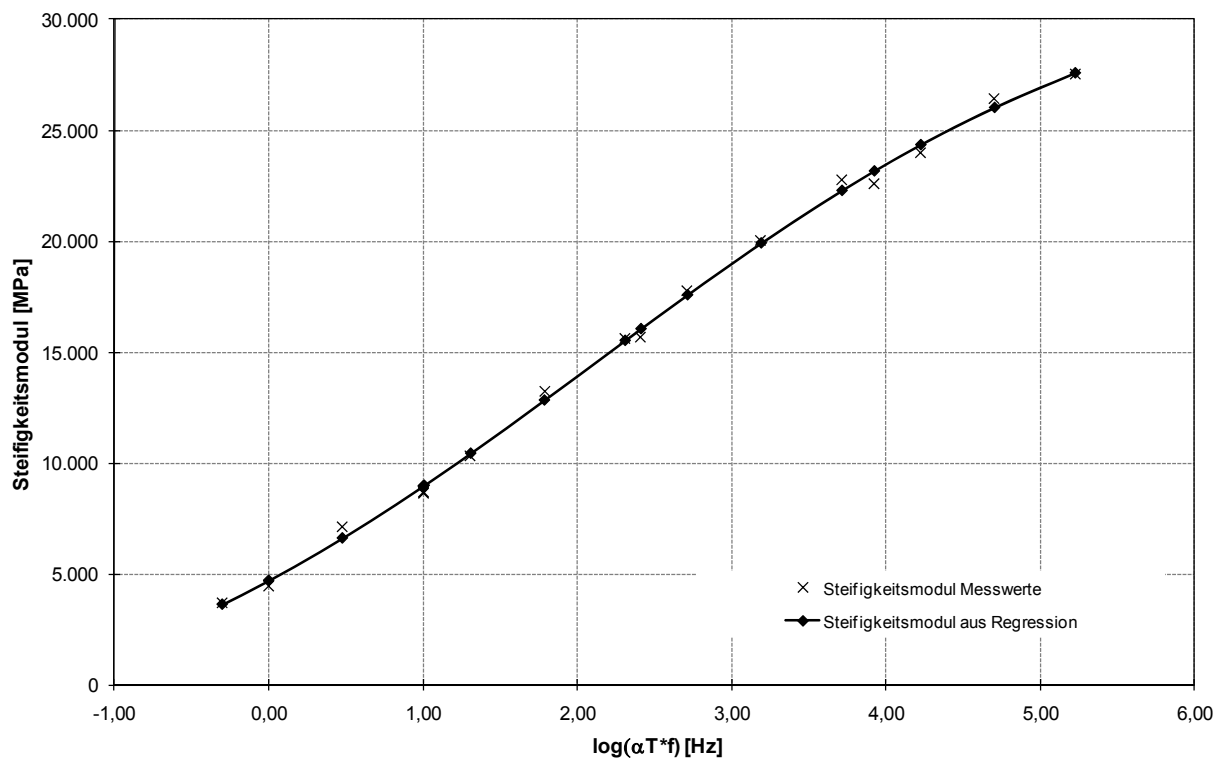
Asphaltmischgutvariante: B315
 Bindemittelsorte: 50/70
 Bindemittelhersteller: B
 Beschreibung: feine Korngrößenverteilung; 5,5 M.-% Bindemittelgehalt

Tabelle A 2.69: Ergebnisse der Steifigkeitsversuche am Asphalt B315

T [°C]	f [Hz]	$IEI_{B315-13}$ Steifigkeits- modul [MPa]	$IEI_{B315-14}$ Steifigkeits- modul [MPa]	$IEI_{B315-16}$ Steifigkeits- modul [MPa]	IEI Arithmetisches Mittel [MPa]	s Standard- abweichung [MPa]	v Variations- koeffizient [%]
20	0,5	3.663	3.470	3.960	3.698	247	6,7
20	1,0	4.441	4.386	4.590	4.472	105	2,4
20	3,0	7.268	7.099	7.029	7.132	122	1,7
20	10,0	8.843	8.580	8.706	8.709	132	1,5
10	0,5	8.687	8.532	8.749	8.656	112	1,3
10	1,0	10.309	10.331	10.390	10.343	42	0,4
10	3,0	13.069	13.512	13.138	13.239	238	1,8
10	10,0	15.121	15.909	15.757	15.595	418	2,7
0	0,5	14.616	16.626	15.783	15.675	1.009	6,4
0	1,0	16.407	18.614	18.211	17.744	1.175	6,6
0	3,0	19.195	20.631	20.235	20.020	742	3,7
0	10,0	21.962	23.841	22.414	22.739	980	4,3
-10	0,5	20.987	23.800	23.014	22.600	1.451	6,4
-10	1,0	22.354	25.921	23.612	23.962	1.809	7,5
-10	3,0	25.469	27.441	26.336	26.415	988	3,7
-10	10,0	26.187	27.888	28.477	27.517	1.190	4,3

Tabelle A 2.70: Ermittlung der Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes B315

T [°C]	f [Hz]	T [K]	αT [-]	X $\log(\alpha T \cdot f)$ [Hz]	IEI Steifigkeits- modul [MPa]	R Regression [MPa]	$(IEI-R)^2$ Schätzung [MPa]	Prozent Fehler- quadrat [%]
20	0,5	293,15	1,00	-0,30	3.698	3.625	5.229	0,31
20	1,0	293,15	1,00	0,00	4.472	4.705	53.995	3,21
20	3,0	293,15	1,00	0,48	7.132	6.611	270.980	16,09
20	10,0	293,15	1,00	1,00	8.709	8.952	58.882	3,50
10	0,5	283,15	20,32	1,01	8.656	8.985	108.318	6,43
10	1,0	283,15	20,32	1,31	10.343	10.432	7.969	0,47
10	3,0	283,15	20,32	1,79	13.239	12.828	169.574	10,07
10	10,0	283,15	20,32	2,31	15.595	15.516	6.311	0,37
0	0,5	273,15	515,03	2,41	15.675	16.043	135.773	8,06
0	1,0	273,15	515,03	2,71	17.744	17.571	29.876	1,77
0	3,0	273,15	515,03	3,19	20.020	19.906	13.049	0,77
0	10,0	273,15	515,03	3,71	22.739	22.273	217.147	12,89
-10	0,5	263,15	16.685,19	3,92	22.600	23.151	303.489	18,02
-10	1,0	263,15	16.685,19	4,22	23.962	24.335	138.841	8,24
-10	3,0	263,15	16.685,19	4,70	26.415	26.013	162.153	9,63
-10	10,0	263,15	16.685,19	5,22	27.517	27.572	2.953	0,18
Fehlerquadratsumme:							1.684.537	100,00
Sigmoidfunktion Regressions- Parameter			y_0 [MPa]	w [MPa]			x_0 [Hz]	z [-]
			-4.317,22	37.767,60			2,12	1,83

Abbildung A 2.36: Hauptkurve ($T_0 = 20\text{ °C}$) des Asphaltes B315Tabelle A 2.71: Prognostizierte Steifigkeitsmoduln des Asphaltes B315 für $f = 10\text{ Hz}$

T	f	T	αT	X $\log(\alpha T \cdot f)$	IEI Steifigkeit
[°C]	[Hz]	[K]	[-]	[Hz]	[MPa]
-20	10	253,15	711.481,98	6,85	30.791
-10	10	263,15	16.685,19	5,22	27.572
0	10	273,15	515,03	3,71	22.273
10	10	283,15	20,32	2,31	15.516
15	10	288,15	4,39	1,64	12.103
20	10	293,15	1,00	1,00	8.952
35	10	308,15	0,02	-0,80	2.043
50	10	323,15	0,00	-2,44	233

¹⁾ Mindestwert $IE_{T=50}$

A2.3 Berechnete kryogene Zugspannungen

Tabelle A 2.72: Aus Steifigkeitsmoduln berechnete kryogene Zugspannungen für die Dimensionierungsberechnungen

Asphalt [-]	Korn- größen- verteilung [-]	Binde- mittel- hersteller [-]	Binde- mittel- sorte [-]	aus Steifigkeitsmodul ermittelte kryogene Zugspannungen [N/mm ²] bei:						
				-20°C	-15°C	-10°C	-5°C	0°C	5°C	20°C
A111	mittel	A	50/70	0,6296	0,3768	0,2166	0,1187	0,0614	0,0296	0,0016
A112	mittel	A	50/70	1,2367	0,8916	0,5955	0,3646	0,2024	0,1006	0,0051
A113	mittel	A	50/70	1,7086	1,2553	0,8570	0,5375	0,3056	0,1550	0,0076
A114	mittel	A	50/70	2,1185	1,4951	0,9611	0,5558	0,2858	0,1293	0,0046
A115	mittel	A	50/70	3,0138	2,2641	1,5033	0,8569	0,4099	0,1623	0,0031
A211	grob	A	50/70	0,9545	0,7822	0,5862	0,3913	0,2267	0,1114	0,0042
A213	grob	A	50/70	1,9218	1,4235	0,9584	0,5776	0,3078	0,1437	0,0061
A215	grob	A	50/70	0,6210	0,5299	0,4162	0,2916	0,1761	0,0886	0,0028
A311	fein	A	50/70	0,2300	0,1963	0,1561	0,1133	0,0732	0,0412	0,0026
A313	fein	A	50/70	0,9065	0,7982	0,6578	0,4945	0,3294	0,1886	0,0112
A315	fein	A	50/70	1,2756	0,9855	0,7030	0,4562	0,2653	0,1361	0,0071
A317	fein	A	50/70	1,5898	1,4437	1,2074	0,8811	0,5236	0,2368	0,0039
A321	fein	A	30/45	0,7499	0,5730	0,4048	0,2621	0,1548	0,0835	0,0082
A323	fein	A	30/45	1,4581	1,1670	0,8761	0,6096	0,3883	0,2235	0,0195
A325	fein	A	30/45	2,0577	1,6306	1,2055	0,8207	0,5076	0,2814	0,0209
B311	fein	B	50/70	0,6719	0,5481	0,4096	0,2741	0,1609	0,0816	0,0043
B313	fein	B	50/70	1,7961	1,4837	1,1356	0,7886	0,4860	0,2598	0,0132
B315	fein	B	50/70	3,2315	2,6531	1,9973	1,3444	0,7882	0,3930	0,0149