

## Vergleich der Dimensionierungsverfahren für Asphaltbefestigungen im Rahmen der deutsch-französischen Zusammenarbeit (AG 7) als Grundlage zur Erstellung eines europäischen Normenentwurfs zur Dimensionierung von Straßenbefestigungen

FA 7.265

Forschungsstellen: Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Verkehrswegebau (Prof. Dr.-Ing. M. Radenberg)

EUROVIA Services GmbH, Bottrop

Bearbeiter: Radenberg, M. / Johannsen, K. / Drewes, B. / Richter, J.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: Mai 2017

### 1 Einleitung

Die "Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht" [RDO, 2009] ermöglicht eine individuelle Dimensionierung des Oberbaus unter Berücksichtigung der objektbezogenen Randbedingungen wie Verkehrslastverteilung, Klima, Aufbau und Materialkennwerten (zum Beispiel E-Moduln, Ermüdungsverhalten). In Deutschland hat sich der dynamische Spaltzugversuch vor dem Hintergrund der Prüfgenaugigkeit und Praktikabilität als geeignet zur Bestimmung des E-Moduls und des Ermüdungsverhaltens erwiesen. In Frankreich wird hingegen die Zweipunkt-Biegeprüfung zur Ermittlung der Beständigkeit gegen Ermüdung angewandt.

Neben den derart bestimmten Eingangsgrößen E-Modul und Ermüdung unterscheidet sich auch die reine Dimensionierungsberechnung in Deutschland und Frankreich voneinander. In Deutschland erfolgt die Prognose der Nutzungsdauer mithilfe des Programms Pavement Design Tool® (PaDesTo®). In Frankreich hingegen findet das Programm Alizé® [Alizé® Handbuch, 2011] Verwendung. Da sich PaDesTo® nach den RDO Asphalt richtet und Alizé® nach der französischen [Norm NF P98-086], ist davon auszugehen, dass sich beide Berechnungsverfahren in den Eingangsparametern, der Berechnungsmethodik und auch der Ergebnisauswertung voneinander unterscheiden.

Sowohl die Prüfmethode als auch die Dimensionierungsverfahren sind bisher nicht hinreichend belastbar miteinander verglichen worden. Daher ist die Aufstellung europäisch harmonisierter EU-Normentwürfe zurzeit nicht möglich.

### 2 Zielsetzung

Ziel des Forschungsprojekts ist es, einen komplexen deutsch-französischen Vergleich der durch unterschiedliche Laborprüfungen ermittelten dimensionierungsrelevanten Materialkennwerten der Asphalte eines Straßenoberbaus und der anschließenden Dimensionierungsberechnung aufzustellen. Dazu werden zunächst labortechnische Untersuchungen an Standardasphaltkonzepten durchgeführt, deren Ergebnisse Eingang in die Dimensionierungsberechnung finden. Auf deutscher Seite beinhaltet dies die Durchführung von Spaltzug-Schwellversuchen zur Erstellung von Steifigkeits-Temperaturfunktionen und Er-

müdungsfunktionen. Auf französischer Seite erfolgen diese Untersuchungen durch einen Projektpartner der AG 7 der deutsch-französischen Straßenbaudirektorenkonferenz nach nationalem Standard parallel mithilfe von Zweipunkt-Biegeprüfungen. Die Ergebnisse werden ausgetauscht und vergleichend bewertet.

Auf Basis dieser Untersuchungsergebnisse werden Dimensionierungsberechnungen mit den jeweiligen Standard-Programmen durchgeführt, Pavement Design Tool® (PaDesTo®) auf deutscher Seite und Alizé® auf französischer Seite.

Anhand dieser Dimensionierungsergebnisse werden die Verfahren zur Dimensionierung vergleichend gegenüber gestellt und es werden – wenn möglich – Empfehlungen formuliert, mit denen beide Berechnungsverfahren zu äquivalenten Ergebnissen führen.

### 3 Forschungsvorgehen

#### 3.1 Vergleich der labortechnischen Untersuchungen

Die labortechnischen Untersuchungen zur Bestimmung der materialspezifischen Parameter als Eingangsdaten in die Dimensionierungsberechnung erfolgt in Deutschland durch Spaltzug-Schwellversuche, in Frankreich durch Zweipunkt-Biegeprüfungen.

##### 3.1.1 Prinzip des Spaltzug-Schwellversuchs

Die Versuchsdurchführung erfolgt durch Aufbringung einer sinusförmigen Druck-Schwellbelastung auf den Probekörper bei vorgegebener Temperatur nach dem in Bild 1 dargestellten Prinzip nach [AL Sp-Asphalt 09, 2009]. Die Kraft wird dabei über zwei Lasteintragungsschienen auf den zylindrischen Probekörper übertragen.

Durch die so eingetragene vertikal gerichtete Druckspannung und die horizontale Zugspannung erfolgt der Bruch des Probekörpers, wobei der Ermüdungsfortschritt und damit das Materialversagen hauptsächlich durch die Zugspannungen hervorgerufen wird.

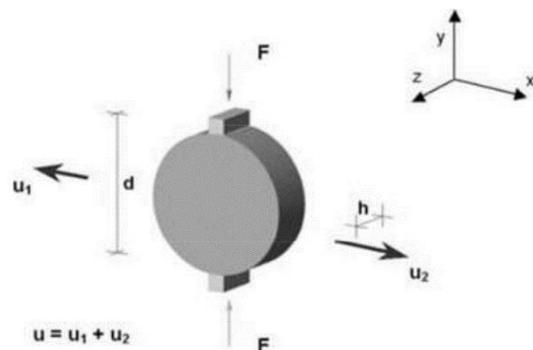
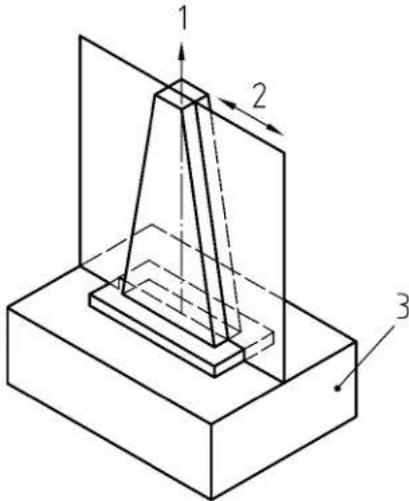


Bild 1: Prinzip des Spaltzug-Schwellversuchs nach [AL Sp-Asphalt 09, 2009]

## 3.1.2 Prinzip der Zweipunkt-Biegeprüfung

Bei der Zweipunkt-Biegeprüfung wird der Kopf eines senkrecht eingespannten trapezförmigen Asphaltprobekörpers bei vorgegebener Temperatur einer sinusförmigen Druck-Zug-Wechselbelastung unterzogen.



### Legende

- 1 **Auf den Kopf des Trapezes aufgebrachte Kraft in Relation zur Reaktion des Probekörpers**
- 2 **Konstante Amplitude bei sinusförmiger Verschiebung**
- 3 **Nut im Metallblock**

**Bild 2: Prinzip des Zwei-Punkt-Biegeversuchs nach EN 12697 – Teil 24 [DIN EN 12697-24, 2012]**

Nach [DIN EN 12697-24, 2012] beziehungsweise [DIN EN 12697-26, 2012] wird als Regelgröße für Versuche an prismatischen Asphaltprobekörpern die Kraft ("kraftgeregelte Versuche") oder die Probekörperverschiebung ("weggeregelte Versuche") gesetzt. Bei den in Frankreich durchgeführten Prüfungen an trapezförmigen Probekörpern ist die Probekörperkopfverschiebung die Regelgröße. Als Ergebnis einer derartigen Versuchsdurchführung wird eine Ermüdungskurve ermittelt, in der die abnehmende Kraft in Abhängigkeit von der Anzahl der Lastwechsel aufgezeigt wird.

## 3.1.3 Untersuchungsumfang

Es wurden sowohl auf deutscher als auch auf französischer Seite des Projekts drei Standardasphalte ausgewählt, an denen die labortechnischen Untersuchungen erfolgten. Dabei handelt es sich jeweils um Asphalte für eine Deckschicht und eine Tragschicht, sowie im deutschen Fall um einen Asphalt für eine Binderschicht und im französischen Fall um einen speziellen Asphalt für eine Zwischenschicht zwischen Deck- und Tragschicht.

Bei den deutschen Asphalten wurden als Deckschichtgemisch ein SMA 8 S, als Binderschichtgemisch ein AC 16 B S und als Tragschichtgemisch ein AC 22 T S ausgewählt. Auf französischer Seite wurden als Deckschicht ein BBSG 10, als Zwi-

schichtgemisch ein EME 14 und als Tragschichtgemisch ein GB 3 ausgewählt. An diesen Gemischen wurden Spaltzug-Schwellversuche zur Bestimmung der Steifigkeits-Temperaturkurven und der Ermüdungsfunktionen durchgeführt. Die Gemische wurden zudem an den französischen Projektpartner übersandt, damit dieser Zweipunkt-Biegeversuche an diesen durchführt (Tabelle 1).

**Tabelle 1: Übersicht der länderspezifischen Leistungen**

Leistungen im deutschen Projekt	Leistungen im französischen Projekt
Mischgut- und Plattenherstellung für eigene Laboruntersuchungen	Mischgut- und Plattenherstellung für eigene Laboruntersuchungen
Durchführung der eigenen Laboruntersuchungen	Durchführung der eigenen Laboruntersuchungen
Mischgut- und Plattenherstellung für den Versand nach Frankreich	Mischgut- und Plattenherstellung für den Versand nach Deutschland
Laboruntersuchungen an Platten aus Frankreich	Laboruntersuchungen an Platten aus Deutschland

## 3.2 Vergleich der Verfahren zu Dimensionierungsberechnungen

In Deutschland ist das Pavement Design Tool® (PaDesTo®) ein Standardprogramm zur rechnerischen Dimensionierung von Asphaltüberbauten [PaDesTo®]. Es basiert auf den "Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht" [RDO, 2009]. Mithilfe dieses Tools erfolgt die Abschätzung der Verformungsempfindlichkeit unter Berücksichtigung von klimatischen Randbedingungen, Verkehrslasten, des Schichtenaufbaus und der Materialeigenschaften. Auf Grundlage dieser Daten können die erforderlichen Schichtdicken eines Asphaltüberbaus unter definierten Randbedingungen bei vorgegebener Nutzungsdauer bis zur ersten Entstehung von Ermüdungsrissen abgeschätzt werden.

Dem gegenüber steht auf französischer Seite das Berechnungstool Alizé®, welches entsprechend auf der französischen Norm "NF P98-086: Road pavement structural design – Application to new pavement" [NF P98-086, 2011] basiert.

Sowohl die Eingangsparameter als auch die einzelnen Schritte zur Berechnung der Nutzungsdauer inklusive aller nationalen Beiwerte wurden vergleichend gegenübergestellt.

## 4 Bewertung der Ergebnisse

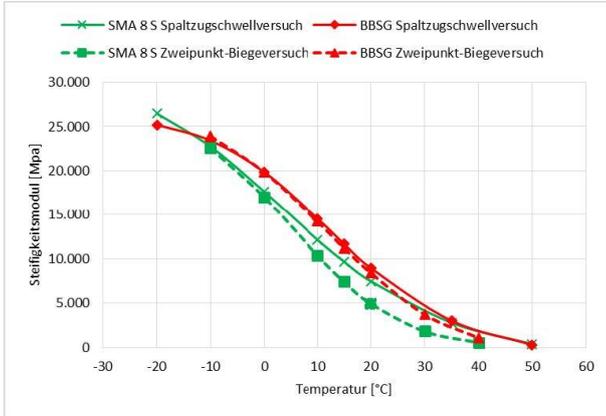
### 4.1 Labortechnische Untersuchungen

Es lässt sich eine relative hohe Übereinstimmung der Masterkurven der Deckschichtasphalte mit dem Spaltzug-Schwellversuch und der Zweipunkt-Biegeprüfung feststellen (Bild 3).

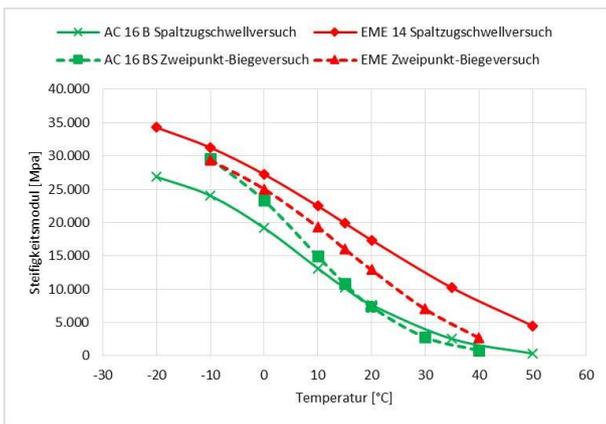
Besonders im Falle des BBSG-10-Gemisches zeigen die Kurven einen nahezu identischen Verlauf während bei den Ergebniskurven des SMA 8 S Abweichungen im Temperaturbereich 10 bis 30 °C zu verzeichnen sind.

Bei den Binderschichtkonzepten liegen die Abweichungen der Ergebnisse der zwei Prüfmethode beim AC 16 B S hingegen im niedrigen Temperaturbereich zwischen -10 und 10 °C (Bild 4). Das Gemisch EME 14 ist das einzige, bei dem die Masterkurven vollständig voneinander abweichen.

Hier erhöht sich diese Differenz mit steigender Temperatur.



**Bild 3: Vergleich der Steifigkeitsmoduln SMA 8 S und BBSG 10**

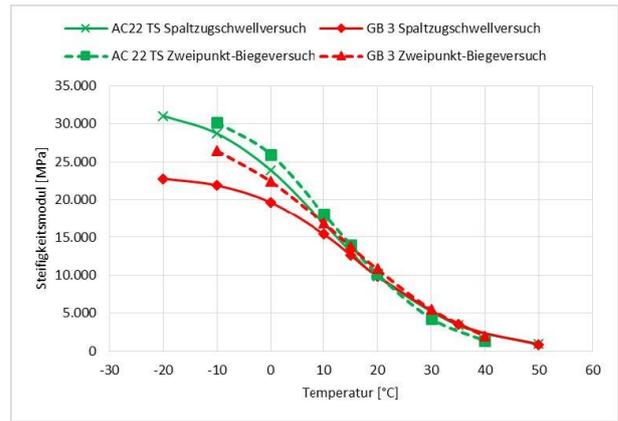


**Bild 4: Vergleich der Steifigkeitsmoduln AC 16 BS und EME 14**

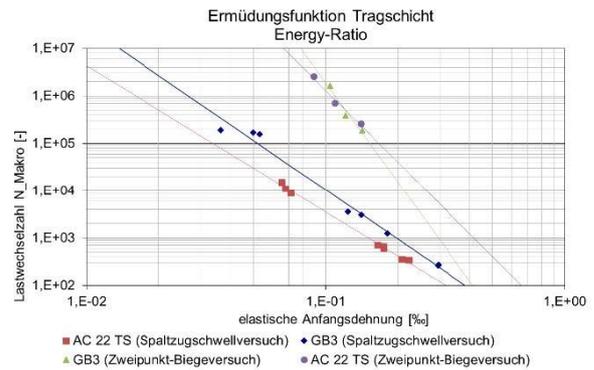
Bei den Tragschichtkonzepten zeigen sich überwiegend gute Übereinstimmungen der Masterkurven aus beiden Prüfaufbauten im Temperaturbereich 10 bis 40 °C (Bild 5). Mit sinkender Temperatur sind jedoch auch hier Abweichungen der Masterkurven voneinander zu verzeichnen, die im Falle des französischen Tragschichtgemischs deutlich stärker ausfallen als bei dem deutschen.

Signifikante Unterschiede in den Ergebnissen, welche durch den Spaltzug-Schwellversuch und die Zweipunkt-Biegeprüfung ermittelt werden, zeigen sich in den jeweiligen Ermüdungsfunktionen (Bild 6).

Die Ermüdungsfunktionen, die mit der Zweipunkt-Biegeprüfung ermittelt wurden, weisen einen viel steileren Verlauf auf. Dies schlägt sich in der niedrigeren Potenz der Regressionsformeln der Ermüdungsfunktion nieder (Tabelle 2).



**Bild 5: Vergleich der Steifigkeitsmoduln AC 22 TS und GB 3**



**Bild 6: Vergleich der Ermüdungsfunktion AC 22 TS und GB 3**

**Tabelle 2: Regressionsformeln der Ermüdungsfunktionen**

	Zweipunkt-Biegeprüfung	Spaltzug-Schwellversuch
AC 22 T S	$y = 12,2888x^{-5,023}$	$y = 2,9108x^{-3,083}$
GB 3	$y = 0,2132x^{-6,942}$	$y = 3,6501x^{-3,454}$

Insgesamt konnte keine direkte Abhängigkeit der Differenzen der durch die beiden Prüfverfahren ermittelten Steifigkeits-Temperaturkurve beziehungsweise der Ermüdungsfunktion von der jeweiligen Zusammensetzung der Asphalte festgestellt werden.

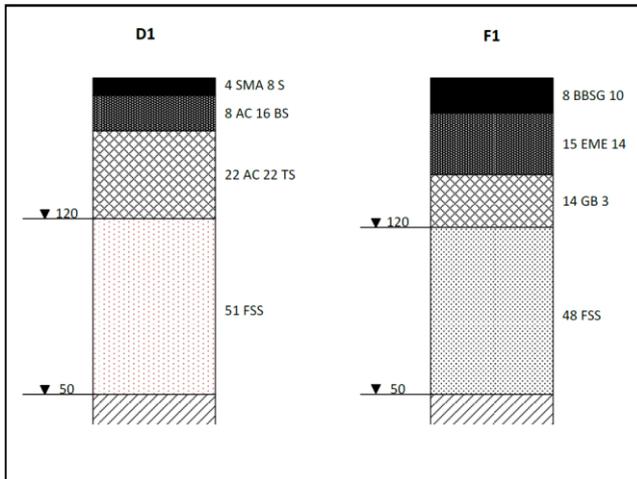
## 4.2 Dimensionierungsberechnungen

Für die Dimensionierungsberechnungen mit PaDesTo® wurden die in Tabelle 3 aufgeführten Eingangsdaten für eine fiktive Straße bei Straßburg angesetzt.

**Tabelle 3: Eingangsdaten der rechnerischen Dimensionierung**

Anzahl der Fahrzeuge [Kfz/24 h]	42 500
Anteil Schwerverkehr [%]	21
Nutzungsdauer [a]	30
Fahrstreifenbreite [m]	3,75
Straßentyp	BAB
Zunahme Schwerverkehr [%]	3
Längssteigung [%]	1
Fahrstreifenanzahl	6

Als zu dimensionierender Aufbau wurden der deutsche Aufbau D1 und der französische Aufbau F1 gemäß Bild 7 gewählt. Dabei wurden die zuvor ermittelten Materialkennwerte angesetzt.



**Bild 7: Deutscher Aufbau D1 und französischer Aufbau F1**

Bei der Standardvariante besteht die Unterlage aus einer Frostschutzschicht mit einem  $E_{v2}$ -Wert von 120 N/mm<sup>2</sup> auf einem Planum mit einem  $E_{v2}$ -Wert von 50 N/mm<sup>2</sup>.

Für die Dimensionierungsberechnungen wurden fünf verschiedene Temperaturverteilungen als Eingangsdaten berücksichtigt. Eine davon wurde entwickelt, um die klimatischen Bedingungen bei Straßburg zu repräsentieren, daher wurden die übrigen Berechnungen mit dieser Temperaturverteilung fortgeführt.

Des Weiteren wurden verschiedene Varianten im Aufbau berücksichtigt. Dazu wurden den Aufbauten D1 und F1 verschiedene Unterlagen mit variierenden Verformungsmoduln hinzugefügt (Tabelle 4).

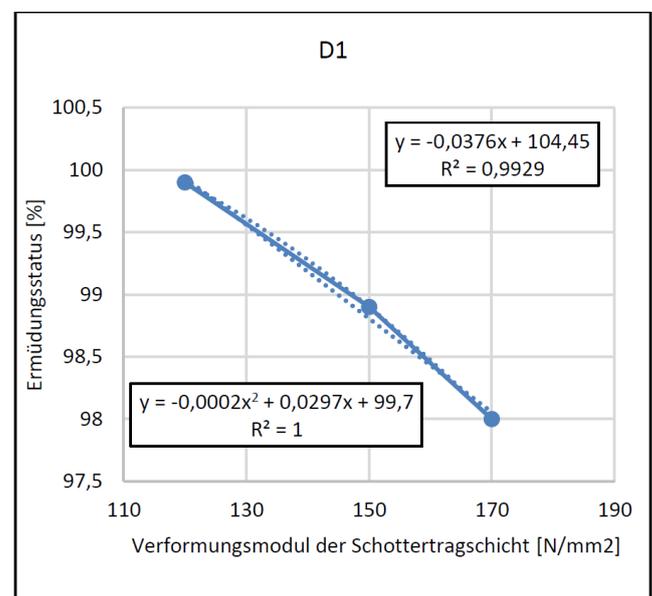
Zudem wurde der Schichtverbund zwischen Deck- und Binderschicht sowie zwischen Binder- und Tragschicht variiert.

Da die Dimensionierungsberechnungen mit dem Programm Alizé® durch den französischen Kooperationspartner nicht rechtzeitig bis zum Ende des Projekts zur Verfügung gestellt wurden, konnte keine abschließende Bewertung über die Vergleichbarkeit der Dimensionierungsprogramme PaDesTo® und Alizé® erfolgen.

Es war lediglich ein Vergleich des Einflusses der Verformungsmoduln der unterschiedlichen Unterlagen auf den Ermüdungsstatus möglich. Dabei zeigte sich, dass in den meisten Fällen die Abhängigkeit des Ermüdungsstatus von dem Verformungsmodul durch einen linearen Zusammenhang beschrieben werden kann. Eine Erhöhung des Bestimmtheitsmaßes konnte erreicht werden, indem ein polynomischer Zusammenhang angesetzt wurde (Bild 8).

**Tabelle 4: Übersicht über die Dimensionierungsvarianten**

Abkürzung	Umsetzung in der Dimensionierung
Zone Straßburg, Zone 1, Zone 2, Zone 3, Zone 4	Bei den Eingangsdaten wurden die Temperaturzonen 1 bis 4 und die Temperaturzone Straßburg verwendet
HGT 2000, HGT 3500, HGT 5000	Die Aufbauten D1 und F1 wurden mit einer 15 cm dicken hydraulisch gebundenen Tragschicht kombiniert, deren Verformungsmodul 2000, 3500 beziehungsweise 5000 N/mm <sup>2</sup> betrug
STS 120, STS 140, STS 150, STS 170, STS 180	Die Aufbauten D1 und F1 wurden mit einer Schottertragschicht mit einem $E_{v2}$ -Wert von 120, 140, 150, 170, 180 MPa kombiniert
FSS 100, FSS 120, FSS 140, FSS 150, FSS 160	Die Aufbauten D1 und F1 wurden mit einer Frostschutzschicht mit einem $E_{v2}$ -Wert von 100, 120, 140, 150 und 160 MPa
VV 2000, VV 3500, VV 5000	Die Aufbauten D1 und F1 wurden mit einer Verfestigung mit einem Verformungsmodul von 2000, 3500 beziehungsweise 5000 MPa
SV1:0; SV2:0, SV1 und 2:0	Die Aufbauten D1 und F1 wurden mit verschiedenen Schichtverbunden umgesetzt. Bei Variante SV1:0 betrug der Schichtverbund zwischen Deck- und Binderschicht 0 %, bei Variante SV2:0 betrug der Schichtverbund zwischen Binder- und Tragschicht 0 % und bei Variante SV1 und 2:0 betrug beide Schichtverbunde jeweils 0 %



**Bild 8: Abhängigkeit des Ermüdungsstatus vom Verformungsmodul der Unterlage**

## 5 Fazit und Ausblick

Die Berechnung der Verkehrsbelastung ist in Deutschland und Frankreich sehr ähnlich, jedoch werden in Frankreich weniger Faktoren berücksichtigt (wie die Längsneigung und die Fahr-

streifenbreite). Daher lassen sich die Verkehrsbelastungen durch die Verwendung einfacher Faktoren umrechnen.

Es konnte kein direkter Zusammenhang zwischen der Asphaltzusammensetzung und den Differenzen der Steifigkeiten und Ermüdung aus dem Spaltzug-Schwellversuch und dem Zweipunkt-Biegeversuch festgestellt werden. Während die Masterkurven der Steifigkeit einen relativ ähnlichen Verlauf aufzeigen, führen die beiden Prüfmethode zu signifikanten Unterschieden bei der Ermüdungsfunktion.

Die in diesem Projekt mit PaDesTo® berechneten Variationen des deutschen und französischen Aufbaus sollten ebenfalls mit dem Programm Alizé® dimensioniert werden. Anhand der resultierenden Spannungen und Dehnungen sowie des Ermüdungsstatus beziehungsweise der Nutzungsdauer sollten die Auswirkungen der Variationen auf das Dimensionierungsergebnis analysiert und bewertet werden, um abschließend eine Empfehlung für eine Anpassung der Dimensionierungsmethoden erstellen zu können.

### 6 Literaturverzeichnis

- AL Sp-Asphalt 09 (2009): Arbeitsanleitung zur Bestimmung des Steifigkeits- und Ermüdungsverhaltens von Asphalten mit dem Spaltzug-Schwellversuch als Eingangsgröße in die Dimensionierung – AL Sp-Asphalt 09. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV) – Arbeitsgruppe "Infrastrukturmanagement", 2009.
- Alizé® Handbuch (2011): LIZE-LCPC Software version 1.3 User manual. itech. Montreuil: s. n., 2011.
- DIN EN 12697-24 (2012): Asphalt – Prüfverfahren für Heißasphalt – Teil 24: Beständigkeit gegen Ermüdung. Berlin: Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag GmbH, 2012.
- DIN EN 12697-26 (2012): Asphalt – Prüfverfahren für Heißasphalt – Teil 26: Steifigkeit. Berlin: Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag GmbH, 2012.
- NF P98-086 (2011): Road pavement structural design – Application to new pavement. 2011.
- PaDesTo®: Pavement Design Tool, Programm zur Dimensionierung von Asphaltbefestigungen (Version für Forschung und Entwicklung). Dresden: primia GmbH.
- RDO (2009): Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht – RDO Asphalt. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV), 2009.