

Ruhr-Universität Bochum

Lehrstuhl für Verkehrswegebau

Prof. Dr.-Ing. M. Radenberg

Modulprüfung WP-C01

Straßenbautechnik und Innovationen

Masterstudiengang Umwelttechnik und
Ressourcenmanagement (PO 13)

Modulprüfung WP 28

Straßenbautechnik und Innovationen

Masterstudiengang Bauingenieurwesen (PO 13)

Dienstag, den 20.9.2016 9:00 – 12:00 Uhr

Zugelassene Hilfsmittel:

Skripte und Mitschriften, Fachliteratur, Taschenrechner

Hinweis: Die Klausuren können nach einer zweijährigen Aufbewahrungsfrist nach Voranmeldung am Lehrstuhl abgeholt werden. Andernfalls werden sie vernichtet.

Aufgabe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Σ	%	
Punkte	30	30	16	5	5	4	9	11	12	17	30	11	180	100	Note
erreicht															

Name:

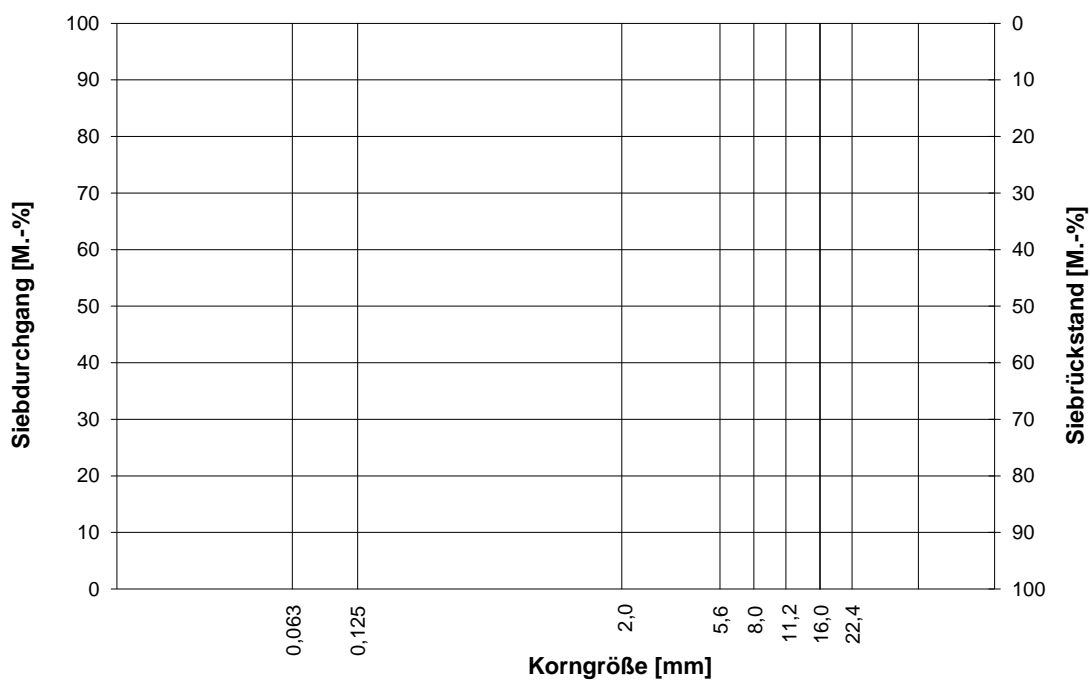
Matr. Nr.:

- a) Erläutern Sie die Kategorie F₄.
- b) Benennen Sie den Unterschied zwischen Frostwiderstand und Frostepfindlichkeit.
- c) Was ist der grundsätzliche Unterschied zwischen den Anforderungen an die Frostsicherheit von SoB in Österreich und in der Schweiz?
- d) Beschreiben Sie, wie durch offenporige Asphaltdeckschichten der Lärm reduziert werden kann. Wie wird die Lärmreduzierung bei dichten Asphaltdeckschichten erreicht?
- e) Warum eignet sich der Einsatz einer Asphaltdeckschicht PA 11 nicht zur Reduzierung von Verkehrslärm im innerstädtischen Bereich?
- f) Nennen Sie die Möglichkeiten zur Temperaturabsenkung von Asphalten.
- g) Nennen und beschreiben Sie die zwei unterschiedlichen Verfahren zur Herstellung von Gummimehl!
- h) Beschreiben Sie stichwortartig worin der Unterschied zwischen Adhäsions- und Versagenstheorien liegt. Nennen Sie je 2 Beispiele.
- i) Beschreiben Sie den Unterschied zwischen Kohäsion und Adhäsion. Nennen Sie je ein Beispiel.
- j) Welche zwei zielführenden Wirkungsweisen von Rejuvenatoren sind Ihnen bekannt? Nennen und beschreiben Sie diese kurz.

Aus einer Autobahn werden Bohrkern entnommen. Anhand derer soll die Zusammensetzung und der Hohlraumgehalt der Asphaltdecke beurteilt werden.

Bei der Bestimmung der Korngrößenverteilung der Asphaltdecke wurden folgende Ergebnisse bestimmt:

Kornklasse	Korngemisch		
	Sieb- rückstand	Sieb- rückstand	Siebdurch- gang
[mm]	[g]	[M.-%]	[M.-%]
16/22	42,8		
11,2/16	325,0		
8/11,2	265,0		
5,6/8	119,0		
2/5,6	389,4		
0,125/2	339,0		
0,063/0,125	50,8		
< 0,063	70,0		
Summe			



a) Berechnen Sie die Kornverteilungslinie und zeichnen Sie diese in das Diagramm ein.

b) Zeichnen Sie die zugehörigen Grenzsieblinien in das Diagramm ein.

c) Berechnen Sie die mittlere Rohdichte des Gesteinskörnungsgemisches.

Gehen Sie davon aus, dass für die groben und feinen Gesteinskörnungen ein Diabas verwendet wurde. Treffen Sie eine entsprechende Annahme.

Als Füller kam ein Kalksteinmehl mit der Rohdichte von $2,727 \text{ g/cm}^3$ zur Anwendung.

d) Berechnen und beurteilen Sie den resultierenden Hohlraumgehalt unter Berücksichtigung folgender weiterer Angaben:

Bindemittelgehalt = 4,6 M.-%

Dichte des Bindemittels = $1,015 \text{ g/cm}^3$

Raumdicke der Bohrkernscheibe = $2,523 \text{ g/cm}^3$

Hinweis: Wenn Sie Aufgabenteil c) nicht gelöst haben, rechnen Sie mit einer mittleren Gesteinsrohddichte von $2,85 \text{ g/cm}^3$.

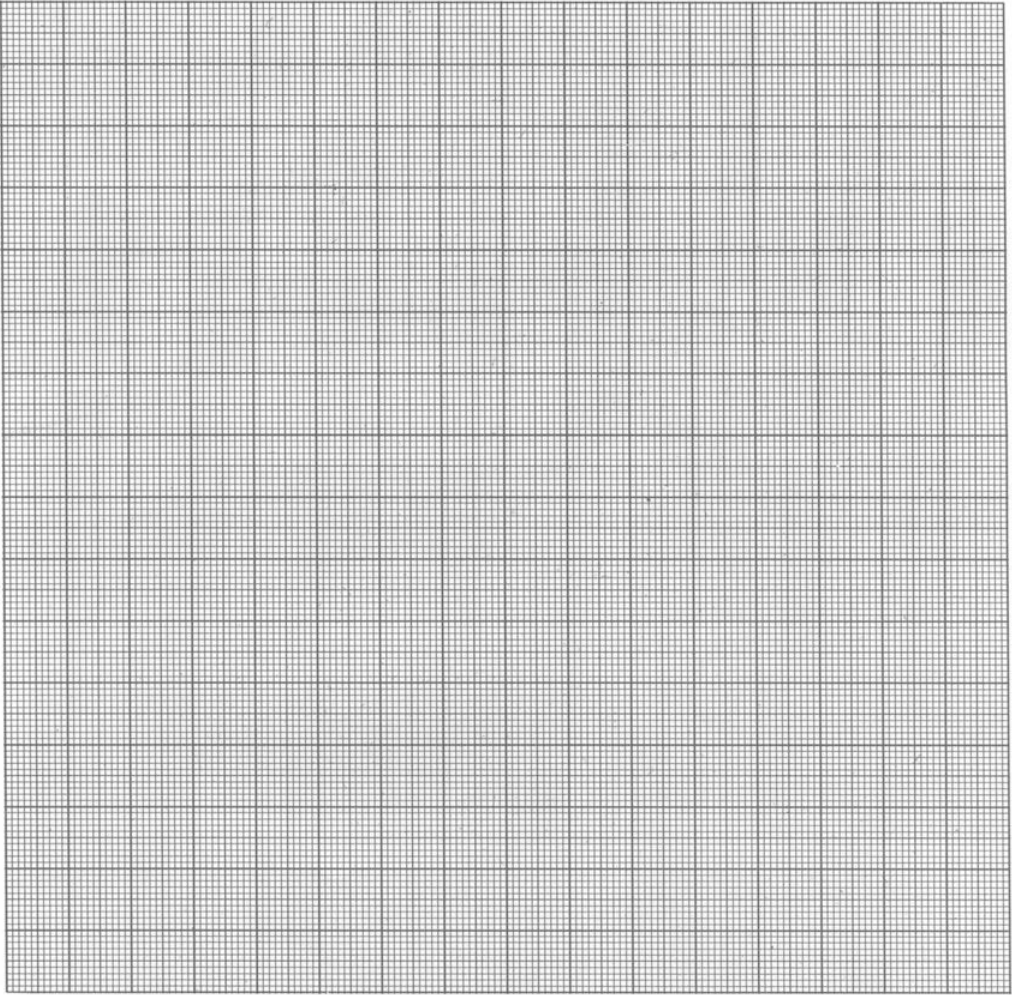
e) Berechnen Sie den Hohlraumausfüllungsgrad.

f) Erfahrungsgemäß liegt der Ausfüllungsgrad dieser Asphaltgemische bei etwa 65%. Wie hoch müsste der Bindemittelgehalt bei diesem Ausfüllungsgrad sein, wenn der Hohlraumgehalt konstant bliebe?

Ein Proctorversuch hat für ein Gesteinskörnungsgemisch folgende Trockendichten und Wassergehalte:

w [%]	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0
ρ_d [g/cm ³]	1,510	1,540	1,550	1,580	1,570

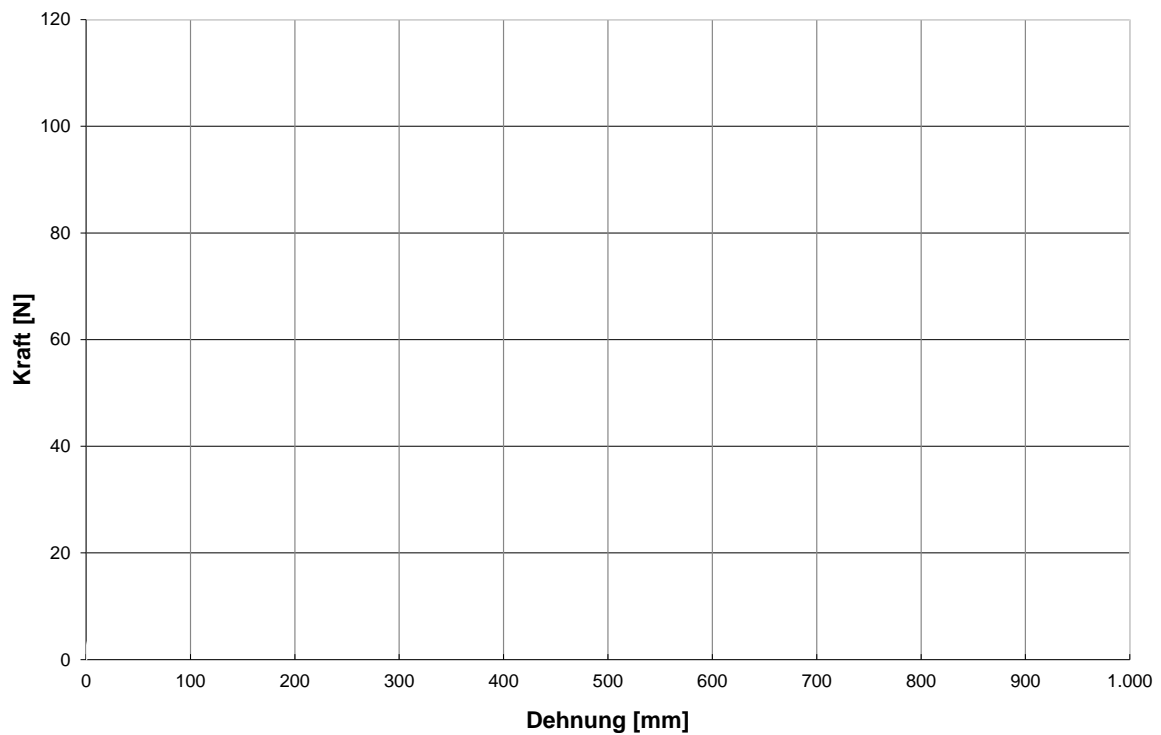
- 1) Erläutern Sie kurz wofür der Proctorversuch durchgeführt wird.
- 2) Zeichnen Sie die Proctorkurve in das nachfolgende Diagramm ein und bestimmen Sie den optimalen Wassergehalt und die Proctordichte.
- 3) Zeichnen Sie zusätzlich qualitativ die 100 %-Sättigungskurve ein und erläutern Sie, warum diese die Proctorkurve niemals schneiden kann.
- 4) Wodurch ist es zu erklären, dass
 1. ab dem der Punkt des optimalen Wassergehaltes jede weitere Erhöhung des Wassergehaltes und
 2. jede Herabsetzung des Wassergehalteszu einer niedrigeren Trockenrohdichte führt?

Anlage: _____	
zu: _____	
<p>Proctorkurve nach DIN 18127</p> <p>Prüfungs-Nr.: _____ Bauvorhaben: _____</p> <p>_____</p> <p>Ausgef. durch: _____ Datum: _____</p>	<p>Entnahmestelle: _____</p> <p>Tiefe: _____</p> <p>Bodenart: _____</p> <p>Art der Entnahme: _____</p> <p>Entnahme am: _____ durch: _____</p>
Trockendichte in g/cm ³	
Wassergehalt	
<p>100% der Proctordichte: $\rho_{Pr} =$ _____ g/cm³ optimaler Wassergehalt: $w_{Pr} =$ _____</p>	
<p>_____ % der Proctordichte: $\rho_d =$ _____ g/cm³ min./max. Wassergehalt: _____ , _____</p>	
<p>_____ % der Proctordichte: $\rho_d =$ _____ g/cm³ min./max. Wassergehalt: _____ , _____</p>	

Je eine Probe eines unmodifizierten Straßenbaubitumens und eines polymermodifizierten Bitumens werden auf ihre Streckeigenschaften untersucht.

- a) Nennen Sie den Namen und die Prüfnorm des zugehörigen Prüfverfahrens.

- b) Zeichnen Sie exemplarisch einen Kurvenlauf für ein unmodifiziertes und ein unmodifiziertes Bitumen in das nachfolgende Diagramm ein.



- a) Nennen Sie die zwei Prüfgeräte, mit denen die rheologischen Eigenschaften von bitumenhaltigen Bindemitteln untersucht werden können.
- b) Welche derzeit maßgebenden Kennwerte können mit diesen Prüfgeräten bestimmt werden?

Definieren Sie folgende Begriffe:

- a) Kornklasse
- b) Korngruppe
- c) Rohdichte
- d) Raumdichte

Max Mustermann studiert an der Ruhr-Universität Bochum Bauingenieurwesen im ersten Semester. Bei ihm vor der Haustür wurde vor kurzem eine neue Straße gebaut und Max möchte gerne wissen, wie groß die Spannungen an der Unterseite der Asphalttragschicht sind. Da der Asphalt nur eine Zugspannung von maximal 1 N/mm^2 aufnehmen soll, hat Max einen linearen Spannungsverlauf der Druckspannung (Vertikalspannung σ_z) angenommen und einen Wert von $0,5 \text{ N/mm}^2$ ermittelt. Nun will er sich beschweren, dass die Straße doch völlig überdimensioniert sei und Steuergelder verschwendet wurden.

Aufbau:

2 cm Asphaltdeckschicht	(E = 7.900 MPa)
8 cm Asphaltbinderschicht	(E = 8.000 MPa)
12 cm Asphalttragschicht	(E = 8.900 MPa)
33 cm Frostschutzschicht	(E = 350 MPa)
Untergrund	(E = 75MPa)

- a) Welche zwei grundsätzlichen Fehler hat Max begangen?

- b) Bestimmen Sie den tatsächlichen Wert für die vertikale Spannung an der Unterseite der Asphalttragschicht und der Frostschutzschicht. Nutzen Sie hierzu, falls notwendig, die nachstehenden Angaben:
 - 2 Reifen je Achse, Achslast: 10 t
 - Radius der Reifenaufstandsfläche: 12,5 cm

Auf einem Testfeld für Lastkraftwagen mit 44 t zulässigem Gesamtgewicht sollen neue Reifen getestet werden. Die Reifen unterscheiden sich maßgebend durch einen gestiegenen Reifeninnendruck um $0,35 \text{ MN/m}^2$.

- a) Weisen Sie nach, dass die maximalen Spannungen am Plattenrand $2,0 \text{ MPa}$ nicht übersteigen.

Nutzen Sie nachstehende Angaben:

$$p_{\text{alt}} = 1,25 \text{ MN/m}^2$$

$$h = 210 \text{ mm}$$

$$E = 31.000 \text{ MN/m}^2$$

$$k_s = 100 \text{ MPa}$$

$$\text{Radlast} = 5 \text{ t}$$

$$\mu = 0,15$$

- b) Ist eine Erhöhung der Achslast bei 2 Reifen je Achse auf 15 t aus bautechnischer Sicht auch bedenkenlos möglich? Setzen Sie für Ihre Berechnung den neuen Reifendruck aus Aufgabenteil a) an. Es gilt auch hier die Grenzspannung am Plattenrand von $2,0 \text{ N/mm}^2$.

- a) Warum sind in verschiedenen Bereichen eines Flughafens unterschiedliche Bauweisen gefordert? Benennen Sie die Bereiche in den die Bauweise Asphalt **nicht** zugelassen ist sowie die Bereiche in den die Bauweise Beton **nicht** zugelassen ist.
- b) Welche Materialbelastung ist für den Ermüdungsnachweis bei Asphaltsschichten bei der Dimensionierung von Flugbetriebsflächen maßgebend?
- c) Für die Dimensionierung von öffentlichen Flugbetriebsflächen werden unter anderem ACN- und PCN-Werte herangezogen. Wann werden diese Werte verwendet und wofür stehen die Abkürzungen ACN und PCN?
Gegeben ist folgender PCN-Wert: **PCN 55/R/C/W/T**. Welche Bedeutung kommt den einzelnen Angaben zu?
- d) Im Bereich von Neubaumaßnahmen von Militärflughäfen der Bundeswehr wurde in Deutschland eine vereinfachte Dimensionierungshilfe für Standardaufbauten erstellt. Nennen Sie die fünf maßgebenden Parameter, die für die Bestimmung der Standardbauweise benötigt werden.

In Aufgabe 1 haben Sie Max Mustermann bei der Korrektur seiner Berechnungen unterstützt. Nun benötigt Max erneut Ihre Hilfe. In den „Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht (RDO Asphalt) ist Max auf die nachstehende Tabelle der Achslastklassen und zugeordneten Häufigkeiten für Bundesautobahnen gestoßen.

Bezeichnung	Achslastklasse (statische Achslast) [t]										
	0 – 2	2 – 4	4 – 6	6 – 8	8 – 10	10 – 12	12 – 14	14 – 16	16 – 18	18 – 20	>20
	Häufigkeit [%] der jeweiligen Achslastklasse										
BAB Fernverkehr	2,8396	21,4670	26,4848	30,7195	11,7032	4,9098	1,6540	0,2087	0,0126	0,0007	0,0001
BAB Mischverkehr	3,4940	24,9439	27,4935	26,3373	11,0538	4,6596	1,7180	0,2711	0,0257	0,0031	
BAB Stadtnaher Verkehr	4,0101	36,7995	29,3512	17,1376	7,5290	3,8888	1,1408	0,1399	0,0031		

Das Verkehrsaufkommen beträgt 50.000 Kfz/24 h. Der Schwerverkehrsanteil beträgt 10 %. Anhand einer Silhouettenzählung wurde ein Achszahlfaktor von 4,5 ermittelt.

- a) Unter Zuhilfenahme welcher Dimensionierungsregel kann die durchschnittliche Anzahl der täglichen äquivalenten Achsübergänge des Schwerverkehrs für die unterschiedlichen Achslastverteilungen bestimmt werden?
- b) Bestimmen Sie die durchschnittliche Anzahl der täglichen äquivalenten Achsübergänge des Schwerverkehrs für die Häufigkeitsverteilung des BAB-Mischverkehrs.
- c) Welchen Schädigungsgrad hat eine 10 t-Achse gegenüber einer 7 t-Achse?

Für die in Aufgabe 4 durchgeführte Achslastberechnung ergibt sich nach RStO 2012 für eine normative Nutzungsdauer von 30 Jahren eine dimensionierungsrelevante Beanspruchung von 80 Mio. äqui. 10 t-Achsübergängen.

Ursprünglich sollte ein Beton der Straßenbetonklasse StC 40/50 - 4,0 eingesetzt werden. Aufgrund eines großflächigen Streiks in der Zementindustrie, kann das Mischwerk jedoch nur die Straßenbetonklasse StC 30/37 - 3,0 anliefern.

- a) Überprüfen Sie, ob trotz Austausch der Betonqualität die Nachweise gemäß RDO Beton erfüllt sind. Nutzen Sie für die Berechnung die Straßenbetonklasse StC 30/37 – 3,0. Bestimmen Sie die einwirkenden Momente infolge Temperatur und führen Sie die Nachweise inkl. Bewertung.
- b) Optimieren Sie – falls erforderlich – die Dicke der Betondecke möglichst wirtschaftlich. Idealisieren Sie für Ihre überschlägige Rechnung, dass die Dicke der Betondecke keinen Einfluss auf die einwirkenden Momente hat.
- c) Nennen Sie eine weitere Möglichkeit den Nachweis zu beeinflussen
- d) Warum müssen bei Betonbauweisen Fugen vorgesehen werden und wieso sind diese bei Asphaltbauweisen nicht erforderlich?

Informationen zum Aufbau

Art der Unterlage:	Schottertragschicht
Straßenbetonklasse:	StC 30/37-3,0
Anteil grober gebrochener GK:	50 %
Plattenlänge:	5000 mm
Plattenbreite:	4250 mm
Dicke der Betondecke:	26,5 cm
Längsfuge:	Anker
Querfuge:	Dübel

Aufnehmbare Momente (StC 30/37 - 3,0):

$M_{RDu, GZT}$ quasidynamisch, Längs =	32.698 Nmm
$M_{RDu, GZT}$ quasidynamisch, Quer =	32.698 Nmm
$M_{RD, GZG}$ quasidynamisch, Längs =	32.698 Nmm
$M_{RD, GZG}$ quasidynamisch, Quer =	32.698 Nmm
$M_{RDu, GZT}$ Ermüdung, Längs =	22.930 Nmm
$M_{RDu, GZT}$ Ermüdung, Quer =	19.378 Nmm

Einwirkende Momente infolge Verkehrsbelastung (StC 30/37 - 3,0):

$M_{EVu, GZT}$ quasidynamisch, Längs =	21.110 Nmm
$M_{EVu, GZT}$ quasidynamisch, Quer =	20.183 Nmm
$M_{EV, GZG}$ quasidynamisch, Längs =	20.555 Nmm
$M_{EV, GZG}$ quasidynamisch, Quer =	20.455 Nmm
$M_{EVu, GZT}$ Ermüdung, Längs =	16.944 Nmm
$M_{EVu, GZT}$ Ermüdung, Quer =	17.562 Nmm

Hinweis zu Aufgabenteil b):

f_d , GZT quasidynamisch, Längs =	2,788
f_d , GZT quasidynamisch, Quer =	2,788
f_d , GZG quasidynamisch, Längs =	2,788
f_d , GZG quasidynamisch, Quer =	2,788
f_d , GZT Ermüdung, Längs =	1,955
f_d , GZT Ermüdung, Quer =	1,652

Berechnung der einwirkenden Momente infolge Temperatur

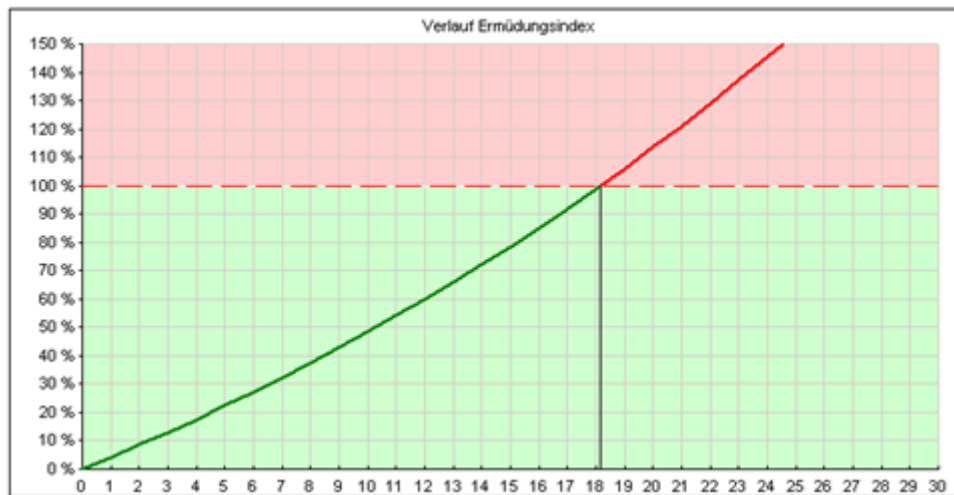
Rechnerische Solldicke (Annahme): _____ (mm)

		M_{ETu} GZT_{quasidynamisch}		M_{ET} GZG_{quasidynamisch}		M_{ETu} GZT_{Ermüdung}	
		Längsfuge	Querfuge	Längsfuge	Querfuge	Längsfuge	Querfuge
Faktoren aus Tabellen							
Zug-Elastizitätsmodul	E_{ctm}						
Wärmedehnzahl	α_{cT}						
Faktor Verformungsaufbau bei Temperaturbeanspruchung	γ_{tot}						
Faktor (Temperaturgradient)	C_1	0,140		0,091		0,052	
Temperaturfaktor (Verkehrsverteilung über den Tag)	m_{T1}	1,0		1,0		1,0	
Temperaturfaktor (Temperaturgebiet)	m_{T3}	1,0					
Plattenlänge	L_p						
Plattenbreite	B_p						
Kontaktfaktor	m_{bA}						

Berechnungen							
Temperaturgradient $\delta_T = C_1 \cdot e^{-0,004 \cdot h}$	δ_T						
Reduzierte Plattenlänge	$L_{p,red}$						
Reduzierte Plattenbreite	$B_{p,red}$						
Verhältnis	$B_{p,red} / L_{p,red}$						
Kritische Länge	L_{krit}						
Verhältnis	$L_{p,red} / L_{krit}$ bzw. $B_{p,red} / L_{krit}$						
Temperaturfaktor (Plattengeometrie)	m_{T2}						
Ergebnis $M_{ET,ETu}$							

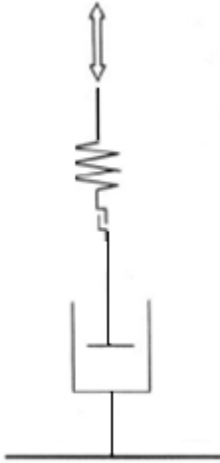
- a) Der geplante Nutzungszeitraum einer Asphaltbefestigung beträgt 18 Jahre. Bei der computergestützten Auswertung mittels PaDesTo ergab sich folgender Verlauf des Ermüdungsindex.

Ist der Straßenaufbau ausreichend dimensioniert? Machen Sie gegebenenfalls stichwortartig einen Optimierungsvorschlag, falls erforderlich.



- b) Die Umsetzung der Richtlinie für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltbefestigung (RDO Asphalt) erfolgt durch die Anwendung von Computerprogrammen, dies ist durch die Vielzahl der Lastfälle zu erklären. Wie viele Lastfälle werden berücksichtigt und wie setzen diese sich zusammen?

- c) Ingenieur Mustermann wollte die viskosen Anteile des Asphalts durch die Kombination von drei rheologischen Modellen simulieren. Welchen Fehler hat Mustermann gemacht? Skizzieren Sie den korrekten Aufbau der Kombination der drei Modelle zur Darstellung der viskosen Anteile im Asphalt.



- d) Welches Risiko besteht bei der fehlerhaften Dimensionierung von Betonfahrbahnen bei langanhaltenden Hitzeperioden?
- e) Sind die folgenden Aussagen wahr oder falsch?
- Die Steifigkeit von Asphalt ist in der Regel größer als die Steifigkeit von Beton.

 - Die maximalen Zugbeanspruchungen einer Asphaltbefestigung, bestehend aus Asphaltdeckschicht, -binderschicht und -tragschicht, treten an der Unterseite der Binderschicht auf

 - Temperaturbedingte Risse im Winter durchdringen das Asphaltpaket von unten nach oben.