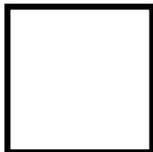


Ruhr-Universität Bochum

Lehrstuhl für Verkehrswegebau

Prof. Dr.-Ing. M. Radenberg



Modulprüfung WP-C01

Straßenbautechnik und Innovationen/Dimensionierung,
Stoffmodelle und Praxisaspekte in der Straßenbautechnik
Masterstudiengang UTRM/UI (PO 13/21)



Modulprüfung WP 28

Straßenbautechnik und Innovationen/Dimensionierung,
Stoffmodelle und Praxisaspekte in der Straßenbautechnik
Masterstudiengang Bauingenieurwesen (PO 13/21)

Freitag, den 11.3.2022 14:00 – 17:00 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	Σ	%	
Punkte	16	12	11	16	45	8	10	22	40	180	100	Note
erreicht												

Name:

Matr. Nr.:

Sie arbeiten als Angestellter eines Planungsbüros und sind mit der Dimensionierung von Verkehrswegen beschäftigt. Dabei ergeben sich die nachfolgenden Aufgabenstellungen:

- a) Eine Bundesfernstraße mit einer Verkehrsbeanspruchung von 35 Mio. äquivalenten 10-t Achsübergängen soll dimensioniert werden. Welches Regelwerk würden Sie empfehlen, wenn die Planung des Oberbaukonzeptes möglichst kurzfristig und kostengünstig durchgeführt werden soll (RStO 12 oder RDO Asphalt)? Begründen Sie ihre Antwort stichpunktartig.
- b) Wann würden Sie eine Dimensionierung nach den RDO Asphalt empfehlen? Nennen Sie drei Beispiele.
- c) Was ist bei den RDO Asphalt der maßgebende Unterschied zwischen dem Nachweis von Tragschichten ohne Bindemittel und Asphalttragschichten?
- d) Sie haben für eine Baumaßnahme umfangreiche Untersuchungen am bitumenhaltigen Bindemittel und der Gesteinskörnung durchgeführt. Nach Abschluss der Baumaßnahme interessiert Sie die Performance der Asphaltbefestigung. Dabei interessiert Sie primär die Asphaltsteifigkeit. Welche Möglichkeiten zur Ermittlung/Abschätzung der Asphaltsteifigkeit kennen Sie?
- e) Sie wollen die Steifigkeit des Asphalts abschätzen. Dafür liegen Ihnen nachfolgende Ergebnisse vor. Erläutern Sie Ihre Vorgehensweise!

Bindemittelsorte:	50/70
Fiktiver Hohlraumgehalt:	16,8 Vol.-%
Hohlraumausfüllungsgrad:	97,6 Vol.-%
Komplexer Schermodul Bitumen:	69.006 Pa

In den „Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht“ (RDO Asphalt) sind Sie auf die nachstehende Tabelle 1 der Achslastklassen und zugeordneten Häufigkeiten für Bundesautobahnen gestoßen.

Tabelle 1: Häufigkeitsverteilung der Achslastklassen

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 62.000 Kfz/24 h. Der Schwerverkehrsanteil beträgt 10 %. Anhand einer Silhouettenzählung wurde ein Achszahlfaktor von 4,2 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-Fernverkehrs für die Achslastklassen ≥ 100 kN.
- c) Welchen Schädigungsgrad hat eine 8,2 t-Achse gegenüber einer 10 t-Achse?

Auf einem Testfeld für Lastkraftwagen mit 36 t zulässigem Gesamtgewicht sollen neue Reifen getestet werden. Die Reifen unterscheiden sich maßgebend durch einen gestiegenen Reifeninnendruck um $0,4 \text{ MN/m}^2$.

- a) Weisen Sie nach, dass die maximalen Spannungen am Plattenecke $1,8 \text{ MPa}$ nicht übersteigen.

Nutzen Sie nachstehende Angaben:

$$p_{\text{alt}} = 1,3 \text{ MN/m}^2$$

$$h = 205 \text{ mm}$$

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

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

$$\text{Radlast} = 6 \text{ t}$$

$$\mu = 0,15$$

- 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 an der Plattenecke von $1,8 \text{ N/mm}^2$.

Auf einem Militärflughafen sollen die Parallelrollbahnen (ohne Parallelrollbahnenenden) saniert werden. Der Flughafen wird ausschließlich durch strategische Transportfahrzeuge genutzt. Der Auftraggeber fordert von Ihnen zwei verschiedene Oberbauweisen zu bemessen. Dabei soll die eine als Asphaltdeckschicht und die andere als Betondecke angegeben werden. Ihnen stehen folgende Angaben zur Verfügung:

Asphaltbauweise auf Schottertragschicht: $E_{v2,T} \geq 180 \text{ MN/m}^2$;
 auf Untergrund: $E_{v2} \geq 85 \text{ MN/m}^2$

Betondecke auf TS ohne Bindemittel, Dicke = 35 cm, $E_{v2,T} \geq 120 \text{ MN/m}^2$;
 auf Untergrund: $E_{v2} \geq 85 \text{ MN/m}^2$;
 Plattengröße: 6 x 6 m;
 Betongüte: C30/37;
 Übergangsbereiche verdübelt

- a) Skizzieren Sie beide Bauweisen mit Angabe der Schichtdicken!
- b) Als Voraussetzung zur Bemessung von Standardaufbauten nach dem Tabellenwerk müssen verschiedene „Grundlagenwerte“ geklärt bzw. festgestellt werden. Welche Angaben sind damit gemeint?
- c) Auf wie viele Lastwechsel sind die Parallelrollbahnen zu dimensionieren?

Wie hoch darf die maximale Spannung ohne Berücksichtigung der Temperaturbelastung bei der Betonbefestigung maximal sein?

Sie sind mit der Sanierung einer Bundesstraße beauftragt. Der Auftraggeber möchte diese in Betonbauweise ausführen und hat bereits die Plattengeometrie und die Straßenbetonklasse festgelegt. Bisher wurde keine Verkehrszählung durchgeführt und der Auftraggeber trifft für diese maßgebende Kenngröße eine Annahme (B-Zahl < 0,8 Mio.). Sie sollen nun seine Bauweise überprüfen und dafür stehen Ihnen nachfolgende Angaben zur Verfügung:

B-Zahl: < 0,8 Mio. Fahrzeuge

40 % der Verkehrsbelastung in den Spitzenstunden von 12:00 bis 15:00 Uhr

Dicke Beton: 22 cm

Plattengeometrie Beton: 5,0 x 5,0 m

Unterlage: Schotter

Querfuge mit Dübeln

Längsfuge mit verstärkten Ankern

Straßenbaubetonklasse StC 25/30-2,7 mit 65 M.-% grober Gesteinskörnung

Betrachtung von Fahrzeugen mit Antriebsachse

- a) Berechnen Sie die einwirkenden Momente infolge Temperatur- und Verkehrsbelastung. Nutzen Sie dafür die nachfolgenden Formblätter!
- b) Berechnen Sie basierend auf der Summe der einwirkenden Momente welche B-Zahl Ihre Betonbauweise maximal aufnehmen kann.
- c) Nehmen Sie kritisch Stellung zu dem vorgeschlagenen Sanierungskonzept!

Treffen Sie sinnvolle Annahmen sofern Ihnen Angaben fehlen!

Aufnehmbare Momente

		GZT quasidyn.		GZG quasidyn.		GZT Ermüdung		
		Längs	Quer	Längs	Quer	Längs	Quer	
Lastkollektivquotient für 90 kN Bezugsachslast		0,39						
Berechnungslastwechsel (90 kN) B90	Bn							
Berechnungslastwechsel (90 kN) Bnq	Bnq							
Spaltzugfestigkeit am Bohrkern beim 5%-Quantil	f _{ctk,core}							
Bettungszahl	K	0,3						
Querverteilungsfaktor	Yq							
Materialfaktor aus Nacherhärtung	k _{bn}							
Materialfaktor aus Versagenswahrscheinlichkeit	k _{bt}							
Anpassungsfaktor für quasidyn. Nachweise und konstante Last	m _b							
<i>Berechnungen</i>								
Ermüdungsfestigkeitsbeiwert Y _{c, fat}	Y _{c, fat}							
Anpassungsfaktor für Berechnungsfestigkeit für Ermüdungsnachweis	m _b							
Grundwert der Berechnungsfestigkeit	f ⁰ _d							
Berechnungsfestigkeit	f _d							
M_{Rd,Rdu} = 0,167 * hd² * f_d								

Einwirkende Momente aus Verkehrsbelastung

		GZT quasidyn.		GZG quasidyn.		GZT Ermüdung	
		Längs	Quer	Längs	Quer	Längs	Quer
Lagerungsfaktor	mbL						
Dübelfaktor	mdD						
Reifenfaktor	Ye1						
Lastfaktor Straßenklasse	Ye2						
Lastfaktor Sonderbeanspruchung Radanordnung	Ye3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Stoßfaktor	Ye4						
Normradlast	F _n	40					
Zug-Elastizitätsmodul	E _{ctm}						
Querdehnzahl	μ _c	0,2					
Bettungszahl	K	0,3					
Kontaktdruckfaktor	Y _{ek}						
Normkontaktdruck	p _n						
<i>Berechnungen</i>							
Berechnungsradlast $F_d = ye1 * ye2 * ye4 * F_n$	F _d						
Elastische Länge l _v	l _v						
Radius Ersatzaufstandsfläche	r						
Radius Ersatzaufstandsfläche nach Lastverteilung	b						
	Maßg.						
$M_{ev}, E_{vu} = mbL * mbD * F_d * 1000 [0,55 * \lg(l_v/b) + 0,099 * b/l_v - 0,011]$							

Einwirkende Momente aus Temperatur

		GZT quasidyn.		GZG quasidyn.		GZT Ermüdung	
		Längs	Quer	Längs	Quer	Längs	Quer
Zug-Elastizitätsmodul	Ectm						
Wärmedehnzahl	α_{ct}						
Faktor Verformungsaufbau bei Temp.beanspruchung	Ytot						
Faktor (Temp.gradient)	C1	0,140		0,091		0,052	
Temp.faktor (Verkehrsverteilung über den Tag)	mT1						
Temp.faktor (Temp.gebiet)	mT3			1,00			
Plattenlänge	Lp						
Plattenbreite	Bp						
Kontaktfaktor	mbA						
<i>Berechnungen</i>							
Temp.gradient $\delta_T = C_1 * e^{-0,004 \cdot h}$	δT						
Red. Plattenlänge	Lp,red						
Red. Plattenbreite	Bp,red						
Verhältnis Bp,red/Lp,red	Bp,red/ Lp,red						
	Lkrit						
Verhältnis Lp,red/Lkrit bzw. Bp,red/Lkrit							
Temperaturfaktor (Plattengeometrie)	mT2						
$M_{ET;Etu} = \alpha_{ct} * Y_{tot} * E_{ctm} * (hd^3 * mT1 * mT2 * mT3 * \delta T) / 12$							

Es gibt Verfahren, mit denen das Alterungsverhalten von Bitumen simuliert wird. Nennen Sie die zwei Standardverfahren und beschreiben Sie diese. Wie unterscheiden sie sich?

- a) Beschreiben Sie den Versuch zur Bestimmung des Fließkoeffizienten von Gesteinskörnungen.
- b) Wozu dient der Versuch?
- c) Wie fließt dieser in die Rezepturentwicklung von Asphalten ein?

Ihnen liegen die Ergebnisse einer Kontrollprüfung an einer Asphaltdeckschicht vor. Bei der Asphaltdeckschicht soll es sich um ein AC 11 D S mit Polymermodifizierten Bitumen handeln.

Ein Bohrkern von 1821,6 g wurde im Labor durch Extraktion in Bitumen und Gesteinskörnungen getrennt. Die anschließende verlustfreie Siebung der Gesteinskörnungen lieferte folgende Ergebnisse (beim Füller sind sowohl der Zentrifugenfüller als auch der aus der Siebung enthalten):

Siebweite	Siebrückstand	Siebrückstand	Siebdurchgang
[mm]	[g]	[M.-%]	[M.-%]
< 0,063	123,4		
0,063	121,1		
0,125	543,4		
2,0	499,9		
5,6	192,1		
8,0	175,2		
11,2	59,1		
16,0	0,0		
Summe	1714,2		

Die Prüfung des rückgewonnenen Bindemittels lieferte folgende Ergebnisse:

Erweichungspunkt Ring und Kugel: 59,0 °C

Nadelpenetration: 32 0,1 mm

Elastische Rückstellung: 45 %

Gegeben:

$\rho_m = 2,489 \text{ g/cm}^3$ (Rohdichte Asphalt)

$\rho_b = 2,375 \text{ g/cm}^3$ (Raumdichte Ausbaustück)

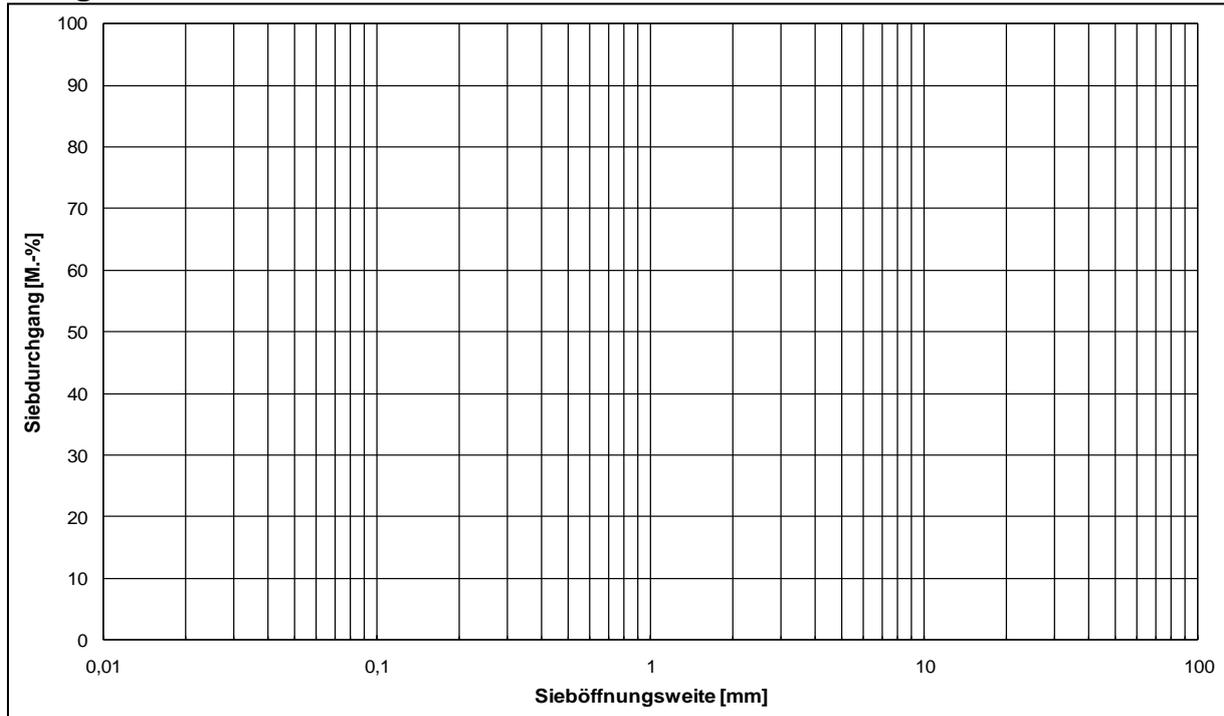
$\rho_b' = 2,419 \text{ g/cm}^3$ (Raumdichte MPK)

- Zeichnen Sie die Kornverteilungslinie des Gesteinskörnungsgemisches zusammen mit dem zulässigen Kornverteilungsbereich in das nachfolgende Diagramm (Anlage 1).
- Berechnen Sie den Bindemittelgehalt des Asphaltmischgutes aus dem Bohrkern.
- Bestimmen Sie die Sorte des extrahierten Bindemittels.
- Ermitteln Sie den Hohlraumgehalt des Bohrkerns.

- e) Überprüfen Sie den Verdichtungsgrad.
- f) Überprüfen Sie, ob das Asphaltmischgut den Anforderungen der TL Asphalt-StB 07/13 entspricht!

Anlage

1



- a) Welche Faktoren beeinflussen das Reifen-Fahrbahn-Geräusch?
- b) Was bedeutet die Abkürzung BAP? Erläutern Sie den Begriff.
- c) Nennen Sie vier Eigenschaften, die sich durch die Modifizierung von Bitumen verbessern sollen!
- d) Unter anderem zur Reduzierung der Dämpfe und Aerosole kommen sogenannte temperaturabgesenkte Asphalte zum Einsatz. Wodurch kann die Temperaturabsenkung umgesetzt werden?
- e) Nennen Sie 3 weitere Vorteile neben der Reduzierung der Dämpfe und Aerosole von temperaturabgesenktem Asphalt!
- f) Worin unterscheiden sich ein Fischer-Tropsch-Wachs und ein Amidwachs?
- g) Welche Phänomene treten nach der MIE-Theorie auf, wenn Laserlicht auf Partikel trifft?
- h) Nennen Sie drei Gründe für den Einsatz von Rejuvenatoren.
- i) Was unterscheidet einen einfachen von einem multiplen Rejuvenator?
- j) Sortieren Sie die nachstehenden Kugelpackungen hinsichtlich ihres Hohlraumanteils. Beginnen Sie mit der Kugelpackung mit dem höchsten Hohlraumgehalt.
- tetraederförmig
einfach versetzt
kubisch
doppeltversetzt
pyramidenförmig
- k) Nennen Sie drei Anforderungen die für landwirtschaftlichen Fahrsiloanlagen aus Asphalt gelten?
- l) Geben Sie die drei wichtigsten Schritte der Modellberechnung zur Erzeugung von künstlichen Asphaltstrukturen an.
- m) Welche Vorteile bietet die Digitalisierung in Bezug auf den Personaleinsatz auf der Baustelle? Nennen Sie 3 Beispiele.
- n) Erläutern Sie drei Einsatzmöglichkeiten von Gussasphalten im Hochbau.