

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 16.3.2021 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	Σ	%	
Punkte	30	42	20	8	30	10	40	180	100	Note
erreicht										

Name:

Matr. Nr.:

Sie sind mit der Sanierung eines Autobahnabschnitts in Bruchtal beauftragt, für den die durchgeführte Achslastberechnung nach RStO 2012 eine Beanspruchung von 95 Mio. äqui. 10 t-Achsübergängen ergibt. 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 35/45 - 3,3 anliefern.

Sie müssen schnell eine Entscheidung treffen und wollen dafür die Veränderung der Straßenbetonklasse auf die einwirkenden Momente aus der Temperatur nachvollziehen. Für diese Berechnung nutzen Sie die ursprüngliche Plattendicke von 29 cm. Weil Sie wissen, dass sich auch die einwirkenden Momente in Abhängigkeit von der Plattendicke ändern, wollen Sie am Ende einen Sicherheitsaufschlag auf die einwirkenden Momente von 20 % aufschlagen, der durch eine Erhöhung der Plattendicke und damit der aufnehmbaren Momente kompensiert werden soll.

Sie gehen für Ihre Berechnungen idealisiert davon aus, dass sich die einwirkenden Momente aus der Verkehrsbelastung für diesen Fall nur geringfügig ändern und Sie diese nicht neu berechnen müssen.

- a) Berechnen Sie die einwirkenden Momente infolge der Temperatur!
- b) Wie dick muss die Betondecke mit der Straßenbetonklasse StC 35/45 – 3,3 dimensioniert werden, damit die aufnehmbaren Momenten minimal 1,2fach so hoch sind wie die einwirkenden Momente bei den ursprünglichen 29 cm Plattendicke?
- c) Nennen Sie zwei weitere Möglichkeit die aufnehmbaren Momente zu beeinflussen!
- d) Warum müssen bei Betonbauweisen Fugen vorgesehen werden und wieso sind diese bei Asphaltbauweisen nicht erforderlich?

Informationen zum Aufbau

Art der Unterlage:	Kiestragschicht
Straßenbetonklasse:	StC 35/45-3,3
Anteil grober gebrochener GK:	60 %
Plattenlänge:	4750 mm
Plattenbreite:	4500 mm
Dicke der Betondecke (alt):	29,0 cm
Längsfuge:	Anker
Querfuge:	Dübel

Einwirkende Momente infolge Verkehrsbelastung (StC 35/45 - 3.3):

- $M_{EVu, GZT}$ quasidynamisch, Längs = 22.193 Nmm
- $M_{EVu, GZT}$ quasidynamisch; Quer = 21.219 Nmm
- $M_{EV, GZG}$ quasidynamisch, Längs = 21.336 Nmm
- $M_{EV, GZG}$ quasidynamisch, Quer = 21.232 Nmm
- $M_{EVu, GZT}$ Ermüdung, Längs = 11.413 Nmm
- $M_{EVu, GZT}$ Ermüdung, Quer = 11.809 Nmm

Aufnehmbare Momente für Teil b):

		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=yq * Bn	Bnq						
Spaltzugfestigkeit am Bohrkern beim 5%-Quantil	f _{ctk,core}						
Bettungszahl	K	0,15					
Querverteilungsfaktor	Yq						
Materialfaktor aus Nacherhärtung	kbn						
Materialfaktor aus Versagenswahrscheinlichkeit	kbt						
Anpassungsfaktor für quasidyn. Nachweise und konstante Last	mb						
<i>Berechnungen</i>							
Ermüdungsfestigkeitsbeiwert $Y_{c, fat} = 0,15 * \lg B_{nq} + 0,748 * e^{-0,1365}$	Yc, fat						
Anpassungsfaktor für Berechnungsfestigkeit für Ermüdungsnachweis	m _b = 1/Yc, fat						
Grundwert der Berechnungsfestigkeit	f _{0d}						
Berechnungsfestigkeit	f _d						
Plattendicke	h _d						
$M_{Rd,Rdu} = 0,167 * h_d^2 * f_d$							

Einwirkende Momente infolge Temperatur (StC 35/45 - 3,3) für a):

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}	0,67					
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}						
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}							

Im Zuge der Sanierung eines Streckenabschnitts von Gondor in Fahrtrichtung Rohan sind Sie mit der Erstellung eines Sanierungskonzepts beauftragt worden. Ihr Vorschlag Bohrkerne für die Bestandserfassung zu ziehen, wurde vom Auftraggeber abgelehnt. Dieser sendet Ihnen stattdessen folgende Informationen zu:

Nach Burmister:

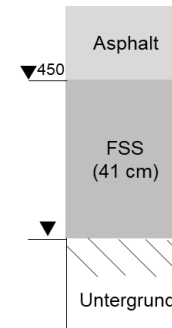
Radialspannung: $2,1 \text{ MN/m}^2$

Reifenkontaktdruck: $0,7 \text{ MN/m}^2$

Reifenaufstandsfläche: 15 cm

Untergrund: GU*

Steifigkeit Asphalt: 9.000 MN/m^2



- a) Bestimmen Sie die Dicke des Asphaltpakets! (Anlage 1)
- b) Sie interessiert darüber hinaus die Vertikalspannung an der Unterseite der Frostschutzschicht. Berechnen Sie diese nach dem Verfahren von Odemark.
(Falls a) nicht gelöst wurde, gehen Sie von einer Dicke des Asphaltpakets von 20 cm aus.)

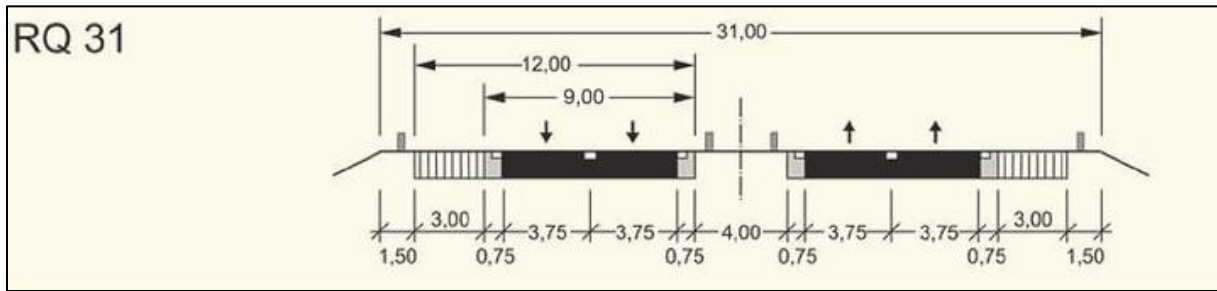
Sie wissen nun die Maße des Gesamtaufbaus und den Spannungsverlauf über die Tiefe. Für die Erstellung Ihres Sanierungskonzeptes ist es jedoch unerlässlich, dass Sie detailliertes Wissen über die Materialeigenschaften der Schichten erhalten. Sie versuchen nun den Auftraggeber zu überzeugen, dass die Bohrkernentnahme elementar wichtig ist, um zu entscheiden, ob eine vollständige Sanierung oder nur eine Sanierung der Asphaltdecke notwendig ist.

- c) Die Bestimmung welcher Materialeigenschaften der verschiedenen Asphaltsschichten der Bohrkerne empfehlen Sie für die Berechnung einer Restnutzungsdauer zu untersuchen?

Sie haben den Auftraggeber überzeugt, dass Bohrkerne zur Bestandserfassung entnommen werden sollten. Die Mischgutkonzeption interessiert Sie dabei besonders, weil Sie der Meinung sind, dass das harte Straßenbaubitumen eine zu geringe Kälteflexibilität aufweist. Untersuchungen hinsichtlich performance-relevanter Kenngrößen möchte der AG sich jedoch aus wirtschaftlichen Gründen sparen, weil er ohnehin einen komplett neuen Aufbau favorisiert.

- d) Sie beschließen die Kälteflexibilität des Asphalts indirekt zu untersuchen und haben am extrahierten Bindemittel einen komplexen Schermodul von 110 MPa bei -10 °C ermittelt. Der extrahierte Bohrkern wies einen fiktiven Hohlraumgehalt des Gemisches aus Gesteinskörnungen von $14,3 \text{ Vol.-%}$ und einen Ausfüllungsgrad von $73,9 \text{ Vol.-%}$ auf. Berechnen Sie den E-Modul des Asphaltes bei -10 °C nach dem Ansatz des Projektes OBESTO!

Für Ihre Planung liegt Ihnen folgende Verkehrserhebung zugrunde:



Achsgewicht	2 t	4 t	6 t	8 t	10 t	12 t
DTA ^(SV)	32.400	16.200	7.200	1.050	1.200	750

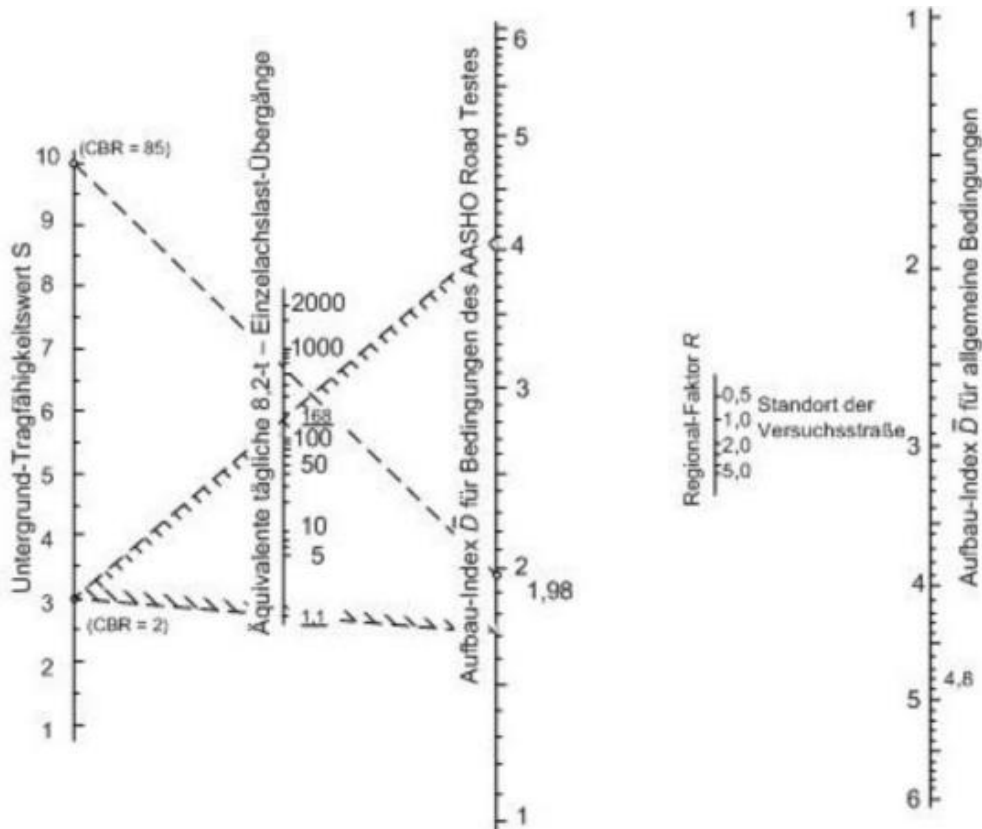
Vereinfachung: $g = 10 \text{ m/s}^2$

Nutzungszeitraum: 30 Jahre

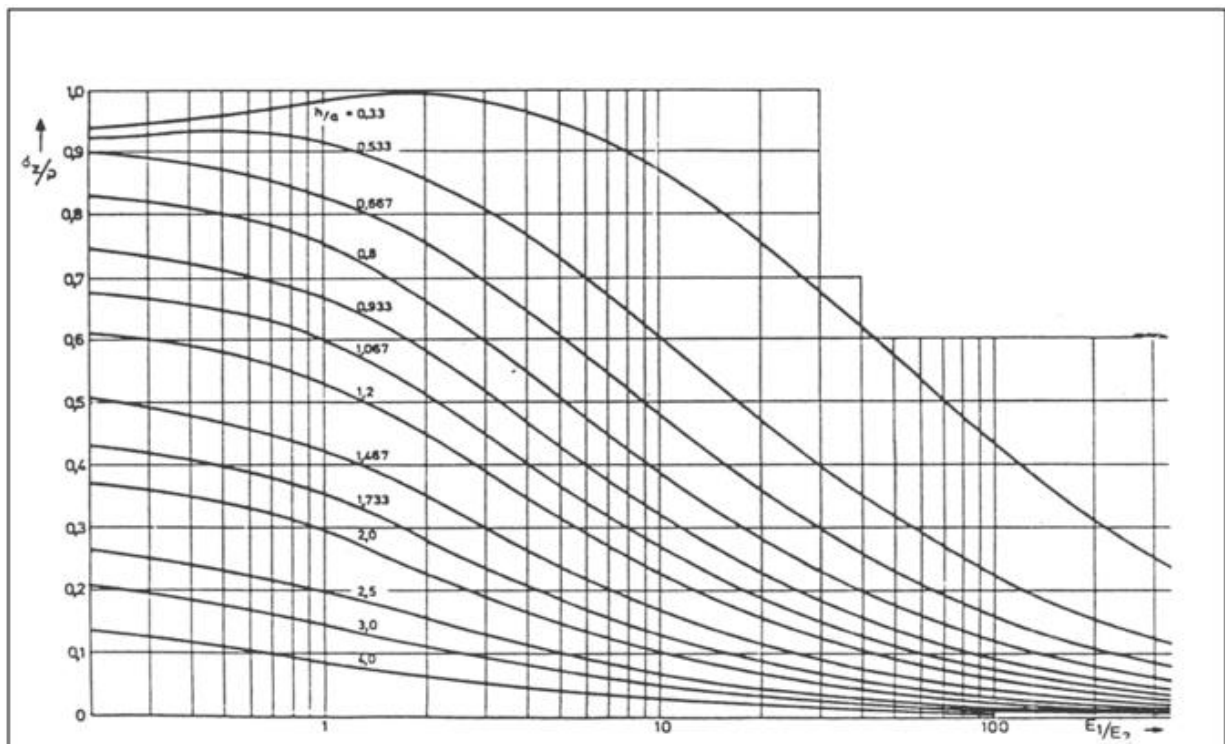
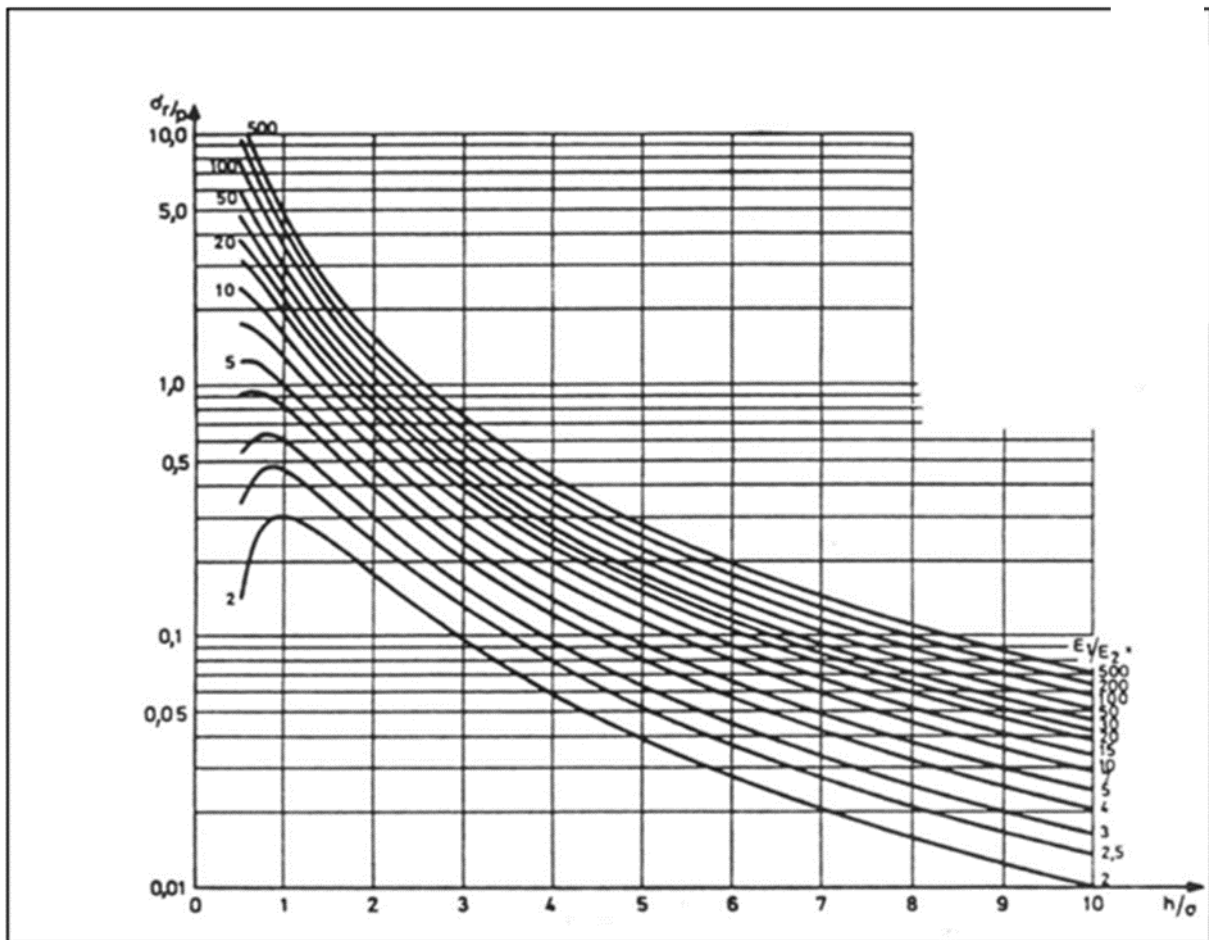
Zunahme SV-Anteil/Jahr: 2 %

Höchstlängsneigung: 6,3 %

- e) Bestimmen Sie die Belastungsklasse nach den RStO 12! Wählen Sie einen geeigneten Aufbau aus Zeile 4 der RStO 12 (in Anlage 2 markieren)!
- f) Prüfen Sie, ob der Aufbau nach der AASHTO geeignet ist. Gehen Sie bei Ihren Berechnungen davon aus, dass der Dynamische E-Modul E_{v2} des Untergrunds GU^* entspricht und ein Regionalfaktor von 1,0 gegeben ist.



Anlage 1:



Anlage 2:

Asphalttragschicht auf Frostschuttschicht																												
1	Asphaltdecke	12	12	12	10	4	4	4	4	4																		
	Asphalttragschicht	22	18	14	12	16	14	14	10	10																		
	Frostschuttschicht	34	30	26	22	20	18	18	14	14																		
	Dicke der Frostschuttschicht	31	41	51	25	35	45	55	29	39	49	59	33	43	53	25	35	45	55	27	37	47	57	21	31	41	51	
Asphalttragschicht und Tragschicht mit hydraulischen Bindemitteln auf Frostschuttschicht bzw. Schicht aus frostunempfindlichem Material																												
2.1	Asphaltdecke	12	12	12																								
	Asphalttragschicht	14	10	8																								
	Hydraulisch gebundene Tragschicht (HGT)	15	15	15																								
	Frostschuttschicht	41	37	35																								
Dicke der Frostschuttschicht		34	44	28	38	48																						
2.2	Asphaltdecke	12	12	12	10	4	4	4	4	4																		
	Asphalttragschicht	18	14	10	10	12	10	10	10	10																		
	Verfestigung	15	15	15	15	15	15	15	15	15																		
	Schicht aus frostunempfindlichem Material -wert- oder mineralbindend gestuft gemäß DIN 18196-	45	41	37	35	31	29	29	29	29																		
Dicke der Schicht aus frostunempfindlichem Material	10	20	30	40	14	24	34	44	16	26	36	46	6	16	26	36												
2.3	Asphaltdecke	12	12	12	10	4	4	4	4	4																		
	Asphalttragschicht	18	14	10	10	12	10	10	10	10																		
	Verfestigung	20	20	20	20	20	20	20	20	20																		
	Schicht aus frostunempfindlichem Material -enggestuft gemäß DIN 18196-	50	46	42	40	31	29	29	29	29																		
Dicke der Schicht aus frostunempfindlichem Material	5	15	25	35	9	19	29	39	13	23	33	43	5	15	25	35	14	24	34	44	16	26	36	46	6	16	26	36
Asphalttragschicht und Schottertragschicht auf Frostschuttschicht																												
3	Asphaltdecke	12	12	12	10	4	4	4	4	4																		
	Asphalttragschicht	18	14	10	10	12	10	10	10	10																		
	Schottertragschicht ^{h)} E _s ≥ 150(120)	15	15	15	15	15	15	15	15	15																		
	Frostschuttschicht	45	41	37	35	31	29	29	29	27																		
Dicke der Frostschuttschicht		30	40		34	44		28	38	48		30	40		24	34	44	16	26	36	46		18	28	38			
Asphalttragschicht und Kiestragschicht auf Frostschuttschicht																												
4	Asphaltdecke	12	12	12	10	4	4	4	4	4																		
	Asphalttragschicht	18	14	10	10	12	10	10	10	10																		
	Kiestragschicht E _s ≥ 150(120)	20	20	20	20	20	20	20	20	20																		
	Frostschuttschicht	50	46	42	40	36	34	34	34	32																		
Dicke der Frostschuttschicht		25	35		29	39		33	43		25	35		29	39		21	31	41		23	33						
Asphalttragschicht und Schotter- oder Kiestragschicht auf Schicht aus frostunempfindlichem Material																												
5	Asphaltdecke	12	12	12	10	4	4	4	4	4																		
	Asphalttragschicht	18	14	10	10	12	10	10	10	10																		
	Schotter- oder Kiestragschicht	30 ^{h)}	30 ^{h)}	30 ^{h)}	30 ^{h)}	30 ^{h)}	30 ^{h)}	30 ^{h)}	30 ^{h)}	25 ^{h)}																		
	Schicht aus frostunempfindlichem Material	60	56	52	50	46	44	44	44	37																		
Dicke der Schicht aus frostunempfindlichem Material	Ab 12 cm aus frostunempfindlichem Material, geringere Restdicke ist mit dem darüber liegenden Material auszugleichen																											

Angrenzend an einen Flughafen wurde ursprünglich ein Containerterminal betrieben. Die Betonplatten dieses Terminals waren ausgelegt auf Hubstapler mit Radlasten bis zu maximal 50 t mit Vollgummireifen bei einem Kontaktdruck von 2,5 N/mm². Der Lastfall in Plattenmitte wurde dafür als maßgebend zugrunde gelegt.

Der Flughafenbetreiber überlegt, ob im Zuge der Erweiterung des Flughafens das ursprüngliche Containerterminal zu einer Landebahn umfunktioniert werden kann. Flugzeugreifen sind i.d.R. mit max. 1,5 N/mm² Reifenkontaktdruck zu erwarten.

- a) Prüfen Sie ob Flugzeuge der Serie Boeing 747 mit Radlasten von bis zu 21 t auf der Betonfläche landen dürften!

Nutzen Sie nachstehenden Angaben:

$$h = 220 \text{ mm}$$

$$E = 29.000 \text{ MN/m}^2$$

$$k_s = 100 \text{ MN/m}^3$$

$$\mu = 0,15$$

Eine alternative Planung sieht vor, die Fläche durch neue quadratischen Betonplatten (5000 mm x 4500 mm) mit einer Biegezugfestigkeit von 12,5 N/mm² in 30 cm Stärke zu ersetzen.

- b) Prüfen Sie, ob für diesen Fall auch Flugzeuge mit Achslasten von bis zu 25 t die Fläche befahren dürfen, ohne das Biegemoment zu überschreiten.
- c) Nennen Sie zwei konstruktive Möglichkeiten zur Erhöhung des aufnehmbaren Biegemomentes

Zusätzlich zu der Start- und Landebahn muss die restliche Infrastruktur für die Flugbetriebsfläche dimensioniert werden.

- d) Warum sind in verschiedenen Bereichen eines Flughafens unterschiedliche Bauweisen gefordert? Benennen Sie die Bereiche in denen die Bauweise Asphalt **nicht** vorgesehen werden sollte, sowie die Bereiche in denen die Bauweise Beton **nicht** vorzusehen ist.

Welche Materialbelastung ist für den Ermüdungsnachweis bei Asphaltsschichten bei der Dimensionierung von Flugbetriebsflächen maßgebend.

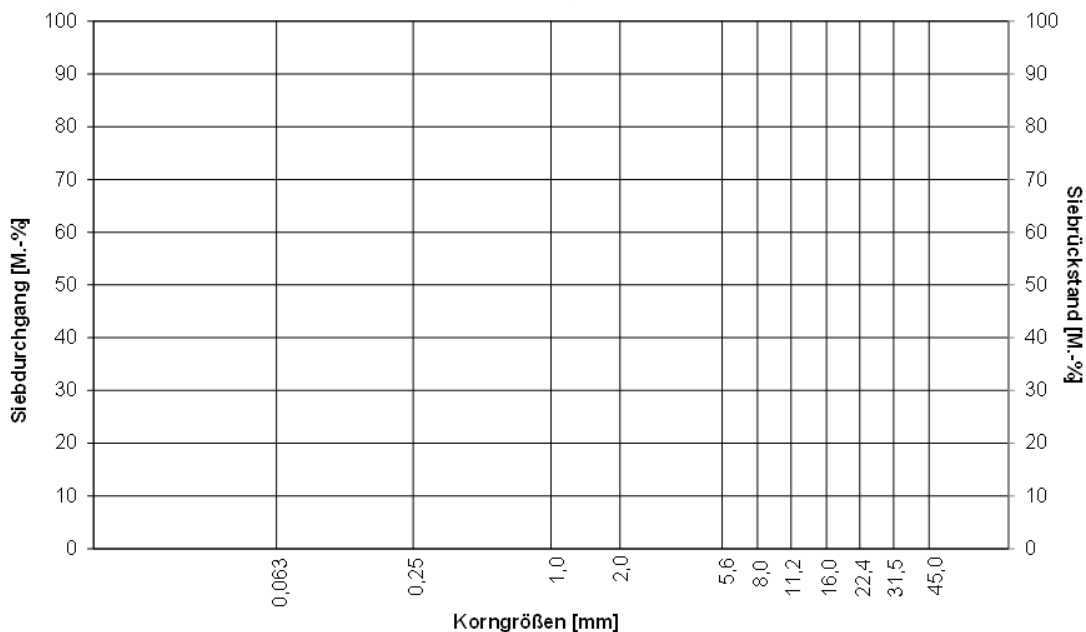
- a) Was sind kryogene Zugspannungen?
- b) Welcher Pflaster-Verband ist für den Straßenbau am besten geeignet?
- c) Für welche Stelle in der Betonkonstruktion wird die höchste Spannungsbeanspruchung erwartet und ist somit der in der RDO Beton betrachtete Lastfall?
- d) Welche Software dient der Versuchsauswertung und kann gleichzeitig zur Dimensionierung nach den RDO Asphalt verwendet werden?
- e) Wie hoch ist die durchschnittliche Belastungsfrequenz durch LKW auf unseren Autobahnen?
- f) Wie verändern sich bei einer Straßenbefestigung in Asphaltbauweise die Steifigkeit der Asphaltsschichten und die vertikalen Spannungen auf der ungebundenen Schicht im Winter verglichen mit dem Sommer?

Wie im Praktikum berichtet, wird die Zusammensetzung von Asphalten geprüft, indem man sie einer automatisierten Extraktion unterzieht. Ein übliches Verfahren ist, das Mischgut in einer sich permanent drehenden Siebtrommel mit einem Lösemittel zu beaufschlagen und so das Bitumen und einen Großteil des Füllers auszuwaschen.

Die Auswaage des in der Siebtrommel verbliebenen Gesteins wird nach seiner Trocknung als Einwaage einer Siebanalyse unterzogen. Das Lösemittel/Bitumen/Füller-Gemisch läuft durch eine Zentrifuge, in der der Füller vom Lösemittel/Bitumen-Gemisch getrennt wird. Er wird nachher mit dem Füller aus der Siebung zusammen als Gesamtfüller in die Sieblinie eingerechnet. Das Lösemittel/Bitumen-Gemisch wird in den Kolben eines Rotationsverdampfers gesaugt, wo unter Temperatur und Vakuum das Lösemittel verdunstet wird. Das Bitumen verbleibt im Kolben und kann dann auf Menge und Eigenschaften hin untersucht werden.

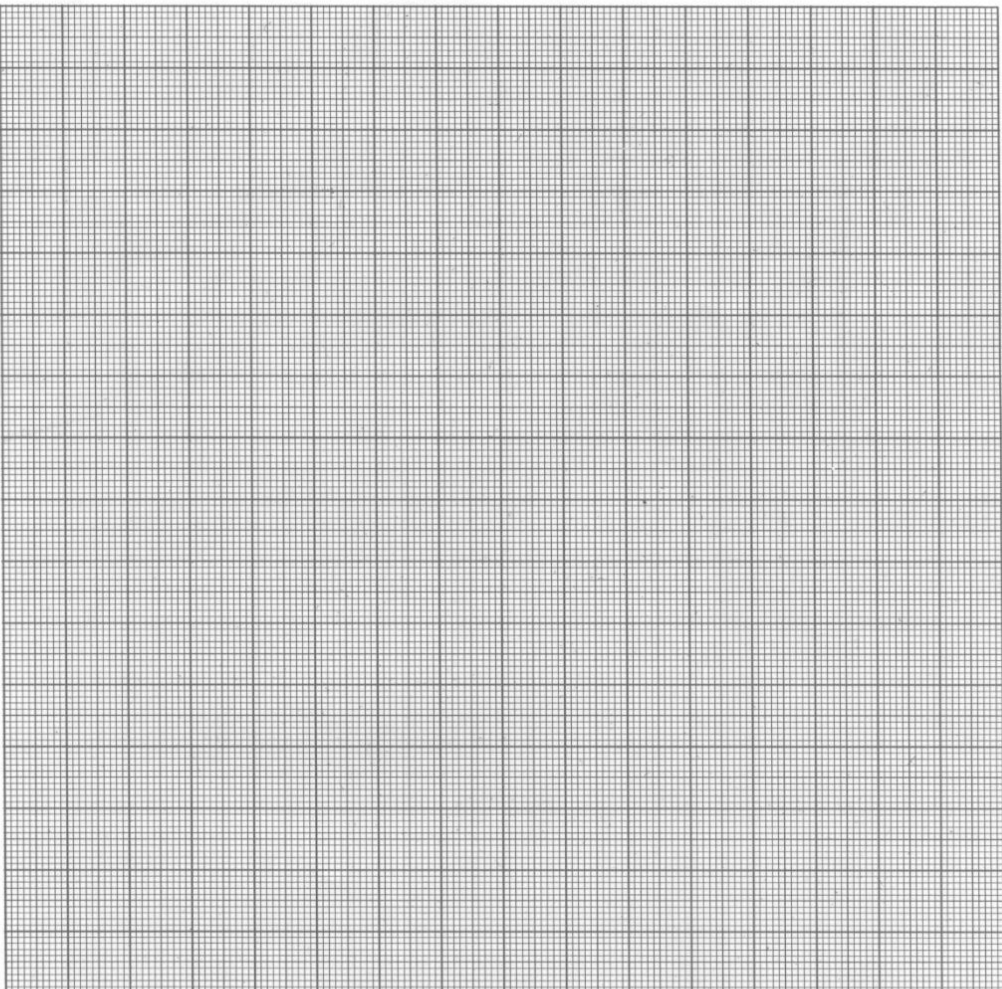
Aus dem Labor einer Mischanlage erhalten sie das Formular auf der folgenden Seite aus der werkseigenen Produktionskontrolle.

- a) Berechnen Sie die fehlenden Werte.
- b) Tragen Sie die Sieblinie im Siebliniendiagramm auf.

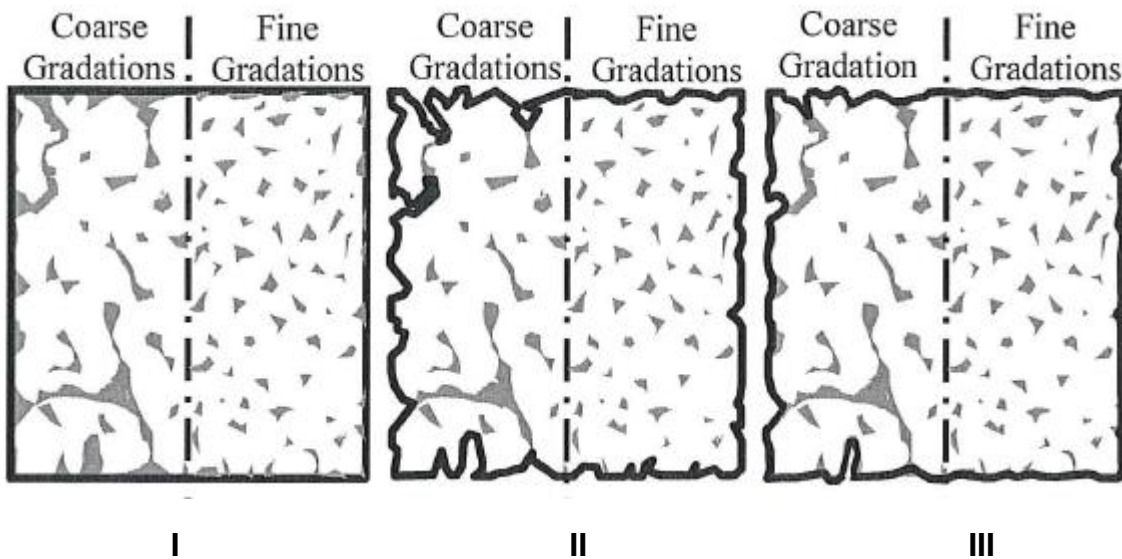


- c) Um welche Asphaltart handelt es sich? Tragen Sie die Begrenzungslinien im Siebliniendiagramm auf.
- d) Um welche Bindemittelsorte handelt es sich? Woraus schließen Sie das?
- e) Skizzieren Sie Kraftduktilitätskurven für ein Straßenbaubitumen und ein elastomermodifiziertes PmB. Erläutern sie die Unterschiede. Zu welchem der beiden Typen gehört das Bitumen aus d)?
- f) Sonderpunkt: Gibt es Unregelmäßigkeiten bei den Messergebnissen aus a)? Welche?

- a) Beschreiben Sie den Proctorversuch.
- b) Was wird mit dem Versuch bestimmt und wozu dienen diese Werte?
- c) Skizzieren Sie eine typische Proctorkurve und die dazugehörige Sättigungskurve mit $S_r=1,0$.

Anlage: _____	
zu: _____	
<p>Proctorkurve nach DIN 18 127</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>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Trockendichte in g/cm³</p>	

1. Warum eignen sich Gussasphalte besonders zum Einbau auf Parkdecks und auf deren Auffahrtrampen?
2. Warum wird Gussasphalt gerne in Tunnel eingebaut?
3. Welche drei Bereiche bilden die Basis für die Entwicklung von Datenmodellvorlagen?
4. Nennen Sie zwei Vorteile des Datenformates IFC im Gegensatz zum OKSTRA.
5. Nennen Sie 4 Ursachen von Straßenverkehrslärm.
6. Mit den Ergebnissen welcher Messmethoden kann der neue Korrekturwert DSD gemäß TP KoSD bestimmt werden?
7. Worin besteht der wesentliche Unterschied zwischen einem herkömmlichen SMA 5 S und dem AC D 5 LOA?
8. Ordnen Sie den Abbildungen die genormten Verfahren zur Bestimmung der Raumdichte zu.



9. Wie lassen sich aus den mittels XRCT bestimmten realen Volumen der Gesteinskörnungen Eingangsgrößen für die Simulation von künstlichen Asphaltstrukturen ermitteln?
10. Mit welcher Art von Kugelpackung lassen sich die höchsten und mit welcher die niedrigsten Hohlraumanteile erzeugen?
11. Beschreiben Sie kurz das von der FGSV geplante Vorgehen zum Nachweis der Wirksamkeit von Rejuvenatoren auf Bitumenebene. Welche Bitumenprüfungen werden dabei durchgeführt? Basierend auf den Ergebnissen werden zwei verschiedene Kategorien an Rejuvenatoren unterschieden, benennen Sie diese.

12. Nennen Sie vier Aspekte, die in Bezug auf die Einbauqualität von Asphalt durch die Digitalisierung optimiert werden können!
13. Durch welche Vorrichtung einer Fräse kann die Feinstaubbelastung reduziert werden?
14. Welche Verfahren zur zerstörungsfreien Bestandserfassung kennen Sie?
15. Welches zentrale Problem besteht bei der Vernetzung des Maschinenparks und wie kann diesem begegnet werden?
16. Welche beiden Arbeitsschritte sind für den Einbau einer Halbstarren Deckschicht erforderlich?
17. Was sind die Besonderheiten des Fließmörtels für eine Halbstarre Deckschicht?
18. Was ist der Hauptanlass, dass Asphalt bei einer verminderten Verarbeitungstemperatur eingebaut werden soll?
19. Erläutern Sie den Begriff der Phasenübergangstemperatur.