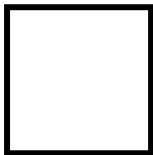


Ruhr-Universität Bochum

Lehrstuhl für Verkehrswegebau

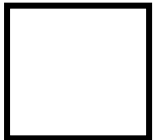
Prof. Dr.-Ing. M. Radenberg



Modulprüfung WP-C01

Straßenbautechnik und Innovationen

Masterstudiengang Umwelttechnik und
Ressourcenmanagement (PO 13)



Modulprüfung WP 28

Straßenbautechnik und Innovationen

Masterstudiengang Bauingenieurwesen (PO 13)

Dienstag, den 15.3.2016 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	Σ	%	
Punkte	20	13	15,5	14	27,5	30	15	15	5	10	15	180	100	Note
erreicht														

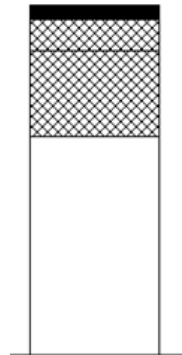
Name:

Matr. Nr.:

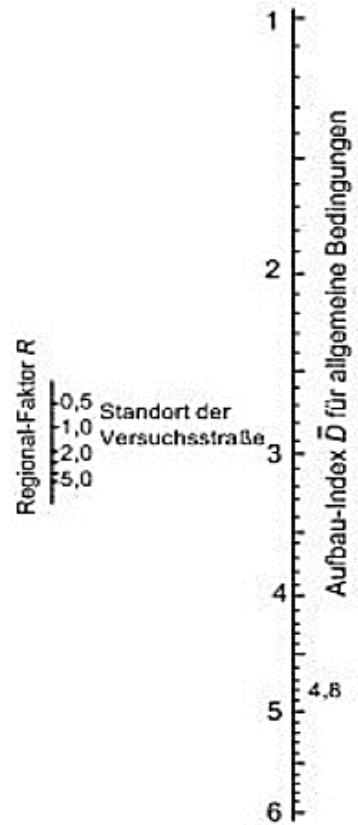
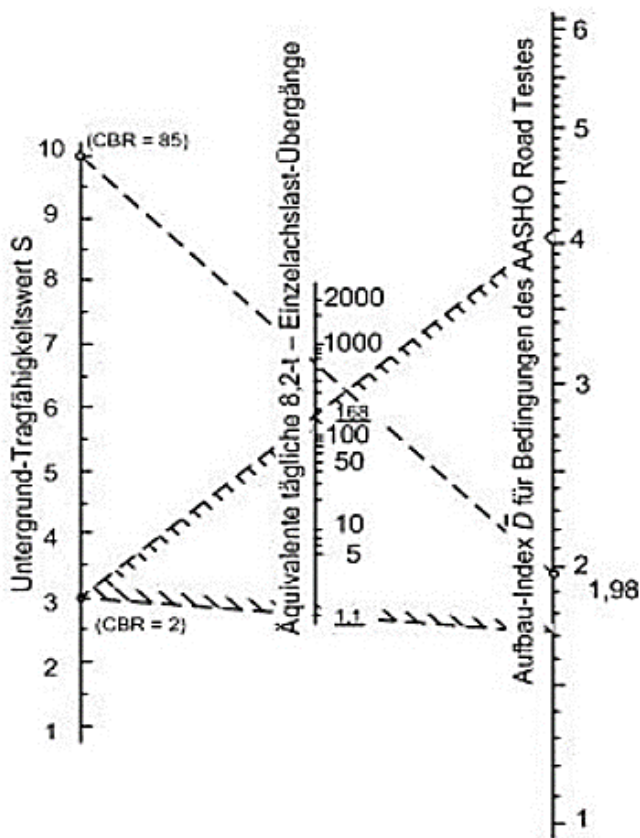
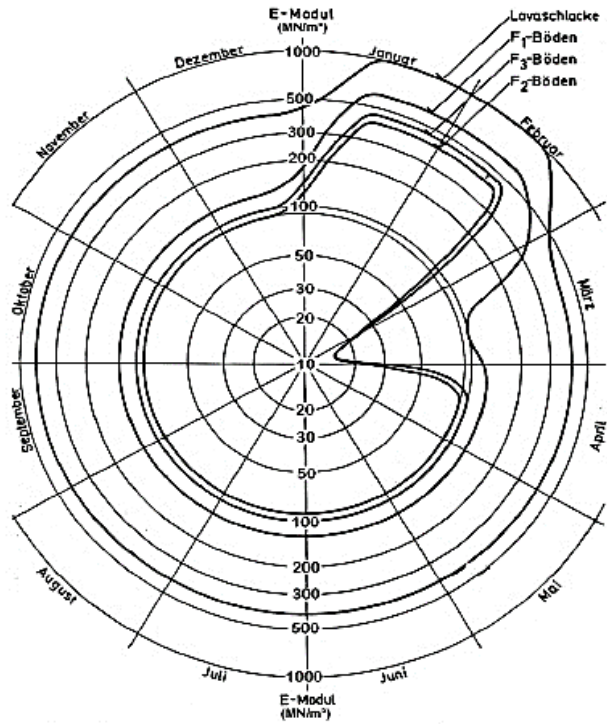
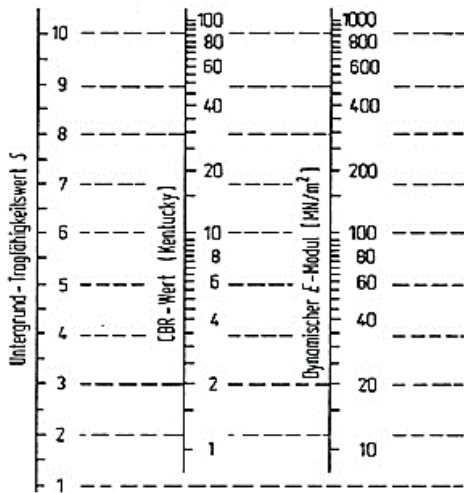
Es ist nachstehender Aufbau geplant:

Aufbau:

- 4 cm - Asphaltdeckschicht
- 6 cm - Asphaltbinderschicht
- 12 cm - Asphalttragschicht
- 50 cm - Frostschutzschicht



- Der Regionalfaktor beträgt 2,0
 - Die tägliche Verkehrsbelastung beträgt 780 9,5 t-Achsübergänge
 - Der Untergrund ist ein Kies-Ton-Gemisch mit einem Anteil von 35 M.-% der Korngröße $\leq 0,063$ mm
 - Der frostsichere Oberbau muss mindestens 40 cm betragen
- a) Führen Sie den Nachweis des geplanten Oberbaus gemäß der Dimensionierung nach den Richtlinien der American Association of State Highway and Transportation Officials. Nutzen Sie für die Nachweisführung die nachstehenden Diagramme.
- b) Nehmen Sie Stellung zu dem ermittelten Ergebnis. Optimieren Sie die Dimensionierung sinnvoll (inkl. Rechnung).
Beachten Sie die Mindest-Einbaudicke der Asphaltsschichten gemäß ZTV Asphalt-StB, 2007:
- | | |
|----------------------|--------|
| Asphaltdeckschicht | = 2 cm |
| Asphaltbinderschicht | = 5 cm |
| Asphalttragschicht | = 8 cm |
- Nehmen Sie kritisch Stellung zu Ihrer Dimensionierung sowie zur Frostsicherheit Ihres Aufbaus!
- c) Welche Achslast hat einen schädlicheren Einfluss auf den Straßenoberbau; eine 8,0 t-Achse oder eine 11,5 t-Achse? Um welchen Faktor unterscheidet sich der Schädigungsgrad?



Eine Straßenbefestigung soll aus quadratischen Betonplatten erstellt werden. Die Planung berücksichtigt bereits ein starkes Verkehrsaufkommen. Als Reifeninnendruck soll der bei der Dimensionierung mit Asphalt in Deutschland maximal zulässige Reifendruck angesetzt werden.

- a) Bestimmen Sie die erforderliche Plattendicke, welche mindestens erforderlich ist, um die Anforderungen der Dimensionierung nach EISENMANN zu erfüllen.

Runden Sie das Ergebnis sinnvoll.

- Achslast = 8 t
- Plattenbreite $B = 2,5$ m
- Biegezugfestigkeit unter Einzellast $\beta_{BZ} = 4,5$ N/mm²
- Querdehnzahl Beton: 0,2

- b) Ein Teilabschnitt der Straßenbefestigung soll als regelmäßige Ausweichstrecke für Schwertransporte dienen. Diese Transporte führen zu einer signifikanten Steigerung der Belastung. Neben einem Reifeninnendruck von 1,5 MPa sind in Ausnahmefällen Achslasten von 12 Tonnen möglich. Bestimmen Sie die Mindestdicke für diese Anforderungen. Nehmen Sie idealisiert an, dass jede Achse nur zwei Reifen aufweist.

- a) Die Dimensionierungsberechnung in Anlehnung an die Arbeitshilfen Flugbetriebsflächen eines militärisch genutzten Flughafens der Bundeswehr, hat für die maximale Lastwechselanzahl im Mittelteil der Start- und Landebahn nur 85 % der anzusetzenden Lastwechselzahl ergeben.

Bestimmen Sie die maximale Dehnung an der Unterseite der Asphaltsschicht im Nutzungszeitraum (Angabe in ‰).

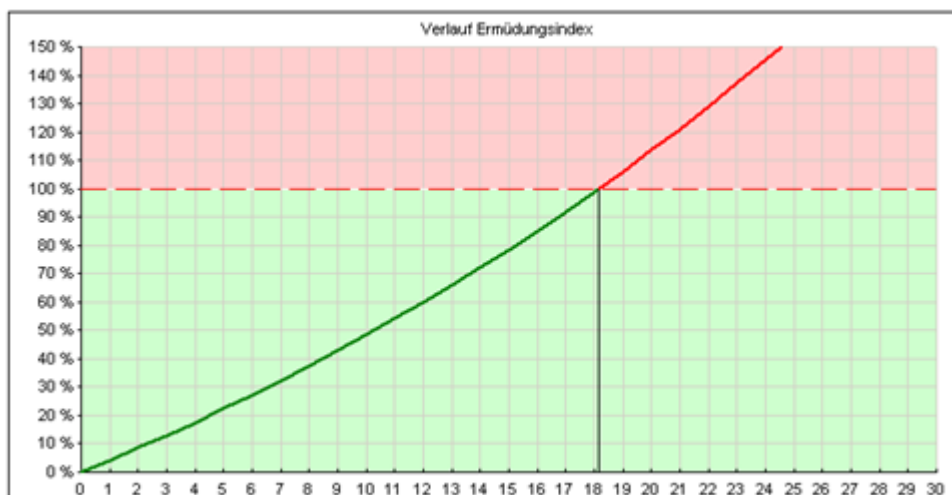
Interpretieren Sie das Ergebnis der Dimensionierungsberechnung sinnvoll.

- b) Ein Airbus A330-200 mit dem Maximalgewicht von 226,4 t soll auf einer Landebahn mit der Klassifikation PCN 65/F/B/W/T zwischenlanden. Ist dies bedenkenlos möglich? Es handelt sich hierbei um einen Einzelfall. Welche Einschränkungen müssen gegebenenfalls beachtet werden?
- c) Bei der Planung der Erneuerung der Parallelrollbahnen des Flughafens Musterstadt ist der Einsatz einer Asphaltbauweise geplant. Sie sollen als beratender Ingenieur Stellung zu den Bedenken des Auftraggebers nehmen.

- Ist diese Bauweise in diesem Fall zugelassen?

- Benennen Sie einen möglichen Kritikpunkt!

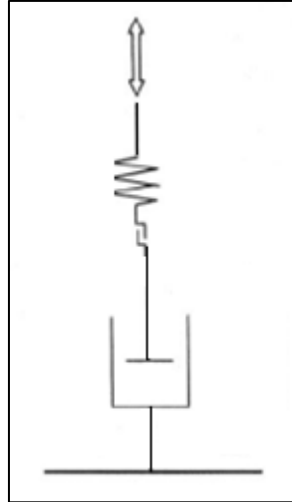
- a) Welche Verfahren (Labor und Feld) kennen Sie, um die Tragfähigkeit einer ungebundenen Tragschicht zu beurteilen?
- b) Nennen Sie drei mögliche Einsatzgebiete für den Benkelmann-Balken!
- c) Der geplante Nutzungszeitraum einer Asphaltbefestigung beträgt 20 Jahre. Bei der computergestützten Auswertung mittels PaDesTo ergab sich folgender Verlauf des Ermüdungsindex:



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

- d) 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?
- e) Die Frosteinwirkungen auf die Straßenbefestigungen wurden bei der Erstellung der Frosteinwirkungszonen anhand des regionalen Frostindexes bewertet. Was ist unter dem Frostindex zu verstehen?

- f) 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 drei Modelle zur Darstellung der viskosen Anteile.



Zusätzlich zu der Erneuerung der Parallelrollbahnen des Flughafens soll in Musterstadt ein neuer Autobahnabschnitt in Betonbauweise ausgeführt werden. In dem zuständigen Ingenieurbüro sind bei einem Brand die Dimensionierungsberechnungen nach RDO Beton 09 teilweise zerstört worden. Die Ergebnisse der Einzelnachweise liegen jedoch noch vor. Die Ergebnisse der einwirkenden Momente aus der Temperaturbeanspruchung wurden ebenfalls nicht zerstört.

- a) Bestimmen Sie die einwirkenden Momente aus der Verkehrsbelastung!
- b) Bestimmen Sie die dimensionierungsrelevante Beanspruchung B!

Informationen zum Aufbau

Art der Unterlage:	Asphalttragschicht
Straßenbetonklasse:	StC 35/45 – 4,0
Anteil grober gebrochener GK:	65 %
Dicke der Betondecke:	24 cm
Plattenlänge:	5,0 m
Plattenbreite:	3,5 m
Dicke der Betondecke:	26 cm
Längsfuge:	Anker
Querfuge:	Dübel
q_{BM} :	0,33
$q_{B,b}$:	0,39

Momente der RDO Bemessung

Einwirkende Momente infolge Temperatur

 $M_{EV, \text{Quasidyn, Längs}} = 15.623 \text{ Nmm}$ $M_{EV, \text{Quasidyn, Quer}} = 7.561 \text{ Nmm}$ $M_{EVu, \text{Längs}} = 11.874 \text{ Nmm}$ $M_{EVu, \text{Quer}} = 5.818 \text{ Nmm}$ $M_{EV, \text{Ermüdung, Längs}} = 7.099 \text{ Nmm}$ $M_{EV, \text{Ermüdung, Quer}} = 5.889 \text{ Nmm}$ Nachweise der Dimensionierung bezogen auf die Auslastung $NW_{\text{Quasidyn, Längs}} = 94,2 \%$ $NW_{\text{Quasidyn, Quer}} = 69,4 \%$ $NW_{\text{Längs}} = 82,6 \%$ $NW_{\text{Quer}} = 65,4 \%$ $NW_{\text{Ermüdung, Längs}} = 88,6 \%$ $NW_{\text{Ermüdung, Quer}} = 92,5 \%$

Berechnung der aufnehmbaren Momente: $M_{Rd, Rdu} = 0,167 \cdot h_d^2 \cdot f_d$

Rechnerische Solldicke : _____ (mm)

		M_{Rdu} GZT _{quasidynamisch}		M_{Rd} GZG _{quasidynamisch}		M_{Rdu} GZT _{Ermüdung}	
		Längsfuge	Querfuge	Längsfuge	Querfuge	Längsfuge	Querfuge
Lastkollektivquotient für 90 kN Bezugsachslast	$q_{B,b}$	0,39					
Berechnungslastwechsel (90 kN) B_{90}	B_n						
Berechnungslastwechsel $B_{nq} = \gamma_q \cdot B_n$	B_{nq}						
Spaltzugfestigkeit am Bohrkern beim 5 % - Quantil	$f_{ctk,core}$						
Bettungszahl (Geotextil auf HGT)	K	0,15					
Faktoren aus Tabellen							
Querverteilungsfaktor	γ_q						
Materialfaktor aus Nacherhärtung (Ermüdungsnachweis)	k_{bn}						
Materialfaktor aus Versagenswahrscheinlichkeit	k_{bt}						
Anpassungsfaktor für quasidynamische Nachweise und konstante Last	m_b						
Berechnungen							
Ermüdungsfestigkeitsbeiwert $\gamma_{c,fat} = 0,15 \cdot \lg B_{nq} + 0,748 \cdot e^{-0,1365}$	$\gamma_{c,fat}$						
Anpassungsfaktor für Berechnungsfestigkeit für Ermüdungsnachweis	$m_b = 1/\gamma_{c,fat}$						
Grundwert der Berechnungsfestigkeit	f_d^0						
Berechnungsfestigkeit	f_d						
Ergebnis $M_{Rd,u}$							

Berechnung der einwirkenden Momente aus Verkehrsbelastung

$$M_{Ev,Evu} = m_{bL} \cdot m_{bD} \cdot F_d \cdot 1000 [0,55 \cdot \lg(l_v/b) + 0,099 \cdot b/l_v - 0,011]$$

Rechnerische Solldicke: _____ (mm)

		M_{Evu}		M_{Ev}		M_{Evu}	
		GZT _{quasidynamisch}		GZG _{quasidynamisch}		GZT _{Ermüdung}	
		Längsfuge	Querfuge	Längsfuge	Querfuge	Längsfuge	Querfuge
Faktoren aus Tabellen							
Lagerungsfaktor	m_{bL}						
Dübfaktor	m_{bD}						
Reifenfaktor	γ_{E1}						
Lastfaktor Straßenklasse	γ_{E2}						
Lastfaktor Sonderbeanspruchung Radanordnung	γ_{E3}	1	1	1	1	1	1
Stoßfaktor	γ_{E4}						
Normradlast	F^n						
Zug-Elastizitätsmodul	E_{ctm}						
Querdehnzahl	μ_c	0,2					
Bettungszahl	K	0,15					
Kontaktdruckfaktor	γ_{EK}						
Kontaktdruck	p						
Normkontaktdruck	p^n						

Berechnungen							
Berechnungsrادlast	F_d						
Elastische Länge	l_v						
Radius Ersatzaufstandsfläche	r						
Radius Ersatzaufstandsfläche nach Lastverteilung	b						
Ergebnis $M_{Ev,Evu}$		18.057,3	17.264,7				

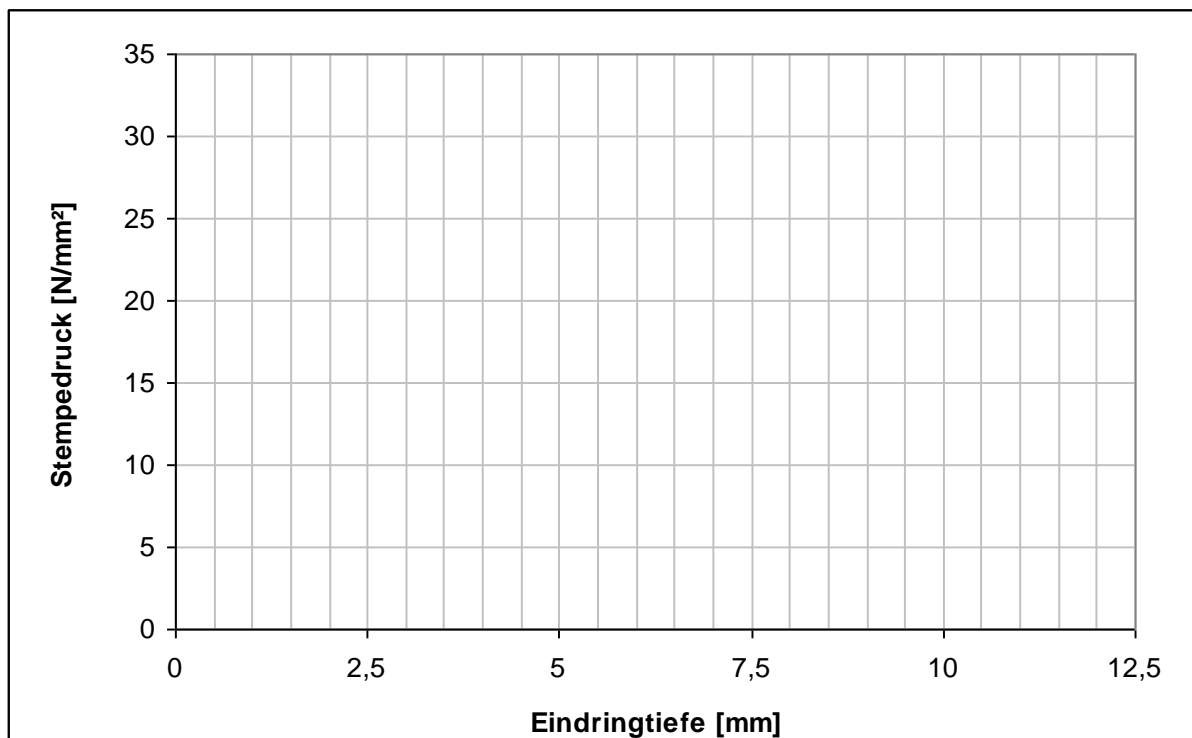
- a) Ihnen liegen die chemischen Prüfergebnisse von einem Quarzit und einem Diabas vor. Der Diabas hat einen SiO_2 Gehalt von ca. 45 %, der Quarzit hingegen weist einen SiO_2 Gehalt von 90 % auf. Bei den Adhäsionsversuchen weist der Quarzit die besseren Hafteigenschaften auf. Nehmen Sie kritisch Stellung zu diesem Ergebnis. Entspricht das Ergebnis Ihren Erwartungen?
- b) Beschreiben Sie stichwortartig worin der Unterschied zwischen Adhäsions- und Versagenstheorien liegt. Nennen Sie je 2 Beispiele.
- c) Was bedeutet die Plastizitätsspanne bei Straßenbaubitumen und warum ist sie bei Gummimodifiziertem Bitumen höchstwahrscheinlich größer? Was bedeutet dies für die Einsatzmöglichkeiten des Gummimodifizierten Bindemittels in der Praxis?
- d) Welche grundlegenden Vorteile/ Eigenschaften der Beton- und Asphaltbauweise werden durch die Umsetzung von halbstarren Deckschichten miteinander verknüpft?
- e) Nennen und beschreiben Sie die zwei unterschiedlichen Verfahren zur Herstellung von Gummimehl und deren Auswirkung auf die Partikeloberfläche! Welche zwei Verfahren zur Herstellung von Gummimodifiziertem Asphalt gibt es?
- f) Erläutern Sie die Kategorie F4.
- g) Was ist der grundsätzliche Unterschied zwischen den Anforderungen an die Frostsicherheit von SoB in Österreich und in der Schweiz?
- h) Ihnen liegt eine Asphaltdeckschicht mit einem Gestaltfaktor von 95 % vor. Ist diese Deckschicht zur Lärmreduzierung geeignet? Begründen Sie Ihre Antwort.
- i) Welche zwei zielführenden Wirkungsweisen von Rejuvenatoren sind Ihnen bekannt? Nennen und beschreiben Sie diese kurz.
- j) Speziell bei sehr hohen Einbautemperaturen, wie sie beispielsweise bei Gussasphalt vorgesehen sind, besteht ein erhöhter Ausstoß der Dämpfe und Aerosole. Um wieviel °C muss die Verarbeitungstemperatur reduziert werden, um eine 50 %-ige Verringerung der Dämpfe und Aerosole zu bewirken?

- k) Sortieren Sie die nachstehenden Fahrbahnbeläge hinsichtlich ihrer anfänglichen Pegelminderung in dB(A). Beginnen Sie mit dem Fahrbahnbelag mit der größten Lärmreduzierung und nennen Sie jeweils die entsprechenden Pegelminderungen in dB(A), bezogen auf den Referenzbelag.
- Asphaltbeton
 - Splittmastixasphalt
 - Pflasterbeläge
 - Offenporiger Asphalt
- l) Der Einsatz von Additiven zur Verjüngung von Asphaltgranulat ist eine Möglichkeit die Zugabeanteile bei der Wiederverwendung zu erhöhen. Könnte alternativ nicht immer nur ein weiches Straßenbaubitumen eingesetzt werden? Begründen Sie Ihre Antwort.

Der California Bearing Ratio-Versuch dient zur Ermittlung eines empirischen Maßes für die Tragfähigkeit des Bodens.

- a) Erläutern Sie kurz und stichwortartig den Untersuchungsgang des Versuches.
- b) Womit werden die im Labor ermittelten Werte verglichen?
- c) Werten Sie den folgenden Versuch für 3 verschiedene Böden aus. Tragen Sie dazu jeweils die Ergebnisse des Versuchs in das nachfolgende Diagramm ein und beurteilen Sie die Tragfähigkeit der geprüften Böden anhand der CBR-Werte für eine Eindringtiefe von jeweils 2,5 und 5,0 mm.

Stempeleindringtiefe [mm]	Ableseung der CBR- Presse		
	[kN]		
	Boden 1	Boden 2	Boden 3
2,50	7,0	15,6	10,2
5,00	14,1	22,3	15,7
7,50	17,3	29,1	18,8
10,00	20,4	34,2	24,7



Ihnen sind folgende Untersuchungsergebnisse gegeben:

Probe-Nr.			1	2	3
Pyknometervolumen	V	cm ³	640,83	645,89	644,12
Pyknometer, leer	m ₁	g	381,45	387,91	386,25
Probe	m _{tr}	g	353,76	429,15	385,46
Pyknometer + Probe	m ₂	g			
Pyknometer + Probe + Prüfflüssigkeit (dest.Wasser)	m ₃	g	1254,5	1322,5	1284,1
Temperatur	t	°C	24,5	23,5	22,0
Dichte Prüfflüssigkeit	ρ _w	g/cm ³			
Rohdichte	ρ _P	g/cm ³			
Arithm. Mittel der Rohdichte	ρ _P	g/cm ³			

- a) Berechnen Sie unter Berücksichtigung der Anlage die Rohdichte der Gesteinskörnungen anhand der Angaben der obigen Tabelle.
- b) Um welche Gesteinsart könnte es sich bei der geprüften Gesteinsart handeln?
- c) Mit dem Gesteinskörnungsgemisch aus Aufgabenteil a) und einem Bindemittelgehalt von 4 M.-% (Dichte des Bitumens 1,05 g/cm³) wird ein Asphaltgemisch hergestellt.
Berechnen Sie die Asphaltrohndichte.
- d) Aus diesem Asphalt wird ein Marshall-Probekörper hergestellt. Bei der Prüfung ergaben sich folgenden Kennwerte:
- Trockenmasse des Probekörpers:
 - 1537,31 g
 - Masse des in Wasser gelagerten Probekörpers an der Luft:
 - 1817,10 g
 - Masse des in Wasser gelagerten Probekörpers unter Wasser:
 - 1162,65 g
- Bestimmen Sie die Raumdichte des Probekörpers.
- e) Berechnen Sie den Hohlraumgehalt des Probekörpers.

Anlage zu Aufgabe 8:

Dichte der Prüflüssigkeit bei verschiedenen Temperaturen:

t [°C]	ρ_w [g/cm³]
+ 20,0	0,998230
+ 20,5	0,998126
+ 21,0	0,998019
+ 21,5	0,997909
+ 22,0	0,997797
+ 22,5	0,997682
+ 23,0	0,997565
+ 23,5	0,997445
+ 24,0	0,997323
+ 24,5	0,997198
+ 25,0	0,997071
+ 25,5	0,996941
+ 26,0	0,996810
+ 26,5	0,996676
+ 27,0	0,996539

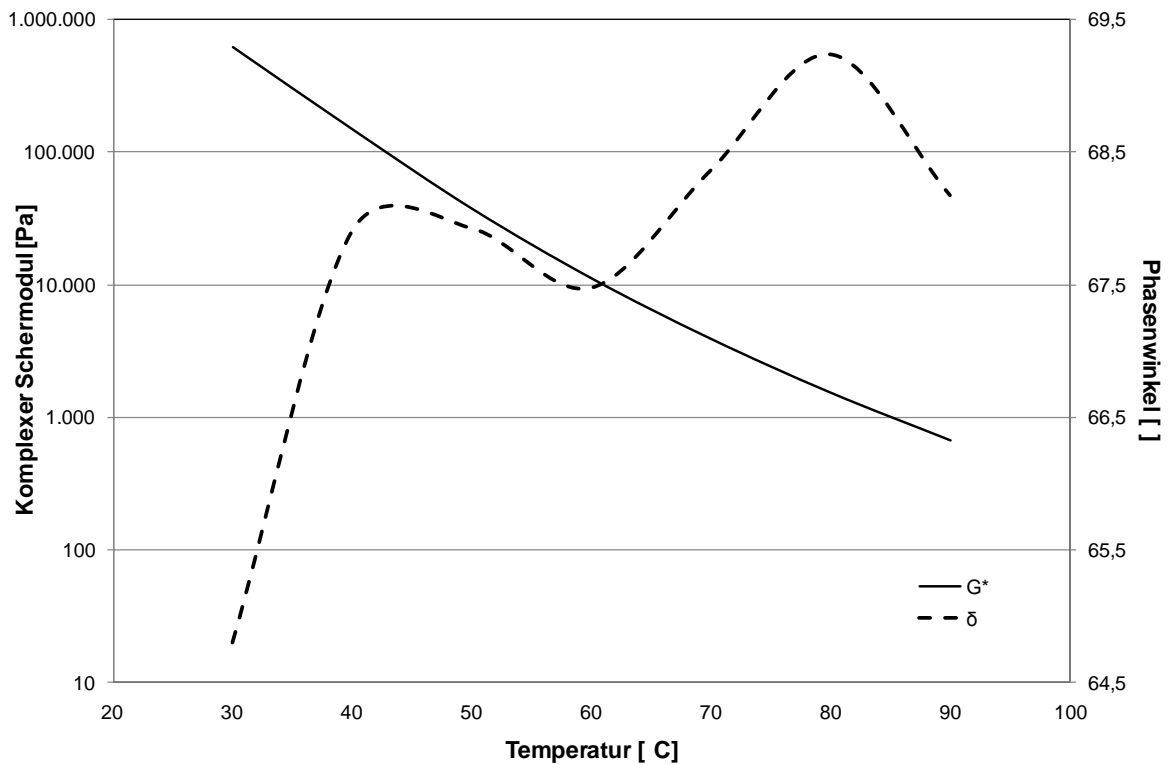
An einer Asphaltmischanlage wird aus drei Tanks mit gebrauchsfertigem Bitumen jeweils eine Probe zur Untersuchung entnommen.

Bei deren Untersuchung werden die folgenden Kennwerte bestimmt:

		Probe 1	Probe 2	Probe 3
Nadelpenetration	[0,1 mm]	46	48	50
Erweichungspunkt Ring und Kugel	[°C]	53,6	52,8	54,3
Elastische Rückstellung bei 25 °C	[%]	3	75	49

- a) Klassifizieren Sie die Bitumina.
- b) Welche grundsätzlichen Möglichkeiten der Kennzeichnung gebrauchsfertiger polymermodifizierter Bitumen gibt es?

Eine Bitumenprobe 25/55-55 A wurde mit dem Dynamischen Scherrheometer untersucht. Die Ergebnisse sind unten dargestellt.



- Bestimmen Sie den komplexen Schermodul und den zugehörigen Phasenwinkel für eine Temperatur unterhalb des Erweichungspunktes nach Ring und Kugel.
- Berechnen Sie damit den viskosen und den elastischen Anteil des Bitumens.
- Zeichnen Sie qualitativ die Kurve des komplexen Schermoduls für ein weicheres Bitumen ein.

Die Ergebnisse eines Proctorversuches mit Schottertragschichtmaterial 0/16 mm sind in nachstehender Tabelle aufgeführt.

	1	2	3	4
Feuchte Probe + Zylinder	17800	17650	17820	17560
Zylinder	12724	12724	12724	12724
Feuchte Probe				
Volumen des Zylinders				
Feuchtdichte				
Feuchte Probe + Behälter	5355	4770	4715	4870
Trockene Probe + Behälter	4920	4538	4407	4565
Behälter	31	34	33	32
Wasser				
Trockene Probe				
Wassergehalt				
Trockendichte				

a) Zeichnen Sie die Proctorkurve in das Formblatt ein.

Bestimmen Sie die Proctordichte und den optimalen Wassergehalt.

Formblatt

Anlage: _____	
zu: _____	
Proctorkurve nach DIN 18 127	Entnahmestelle: _____
Prüfungs-Nr.: _____ Bauvorhaben: _____	Tiefe: _____
Ausgef. durch: _____ Datum: _____	Bodenart: _____
	Art der Entnahme: _____
	Entnahme am: _____ durch: _____
Trockendichte in g/cm ³	