

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 13.3.2018 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	Σ	%	
Punkte	10	7	15	6	52	20	10	30	30	180	100	Note
erreicht												

Name:

Matr. Nr.:

- a) Skizzieren Sie das Spannungs-Verformungsverhalten von Gesteinskörnungsgemischen unter einer statischen Belastung.
- b) Welche beiden Dimensionierungsverfahren für Verkehrsflächen aus Asphalt werden in Deutschland eingesetzt?
- c) Was ist unter „kryogenen Spannungen“ im Straßenbau zu verstehen? Wo treten diese Spannungen auf und warum sind diese auch für die Asphaltbauweise kritisch?
- d) In der Theorie wird die maximale Dehnung aus Verkehrslasten des Asphaltpaketes der Unterseite der Asphalttragschicht zugeordnet. Begründen Sie wieso eine Überlagerung der kryogenen Spannungen und der belastungsinduzierten Spannungen auch an anderen Stellen des Aufbaus Sinn machen. An welcher Stelle des Oberbaus tritt hierbei theoretisch das Maximum auf?

Ihnen liegt ein Aufbau aus 10 cm Asphalt­schicht und 40 cm Frostschutzschicht (FSS) vor. Die vertikale Spannung an der Unterseite der FSS beträgt 0,015 MPa.

Der Radius der Reifenaufstandsfläche beträgt 15 cm. Bestimmen Sie den der Berechnung zugrundeliegenden Reifenkontaktdruck (verwenden Sie einen geeigneten Dimensionierungsansatz).

Asphalt­schicht: $E_1 = 25000 \text{ MPa}$

Frostschutzschicht: $E_2 = 200 \text{ MPa}$

Untergrund: $E_3 = 45 \text{ MPa}$

Zur Erstellung einer Erstprüfung für ein Asphaltmischgut, wurden die folgenden Materialdichten ermittelt. Nach der Methode von Francken/Verstraeten wurde anhand dieser Werte ein Glasmodul von 38.200 N/mm² ermittelt.

Bestimmen Sie den Bindemittelgehalt der geprüften Probe. Nutzen Sie für die Berechnung im ersten Schritt zwei sinnvolle Schätzwerte für den Bindemittelgehalt und berechnen Sie anschließend aus den zwei Ergebnissen mittels linearer Extrapolation oder Interpolation den Bindemittelgehalt.

Rohdichte des Bindemittels = 1,020 g/cm³

Raumdicke des Asphaltmischgutes = 2,368 g/cm³

Rohdichte des Asphaltmischgutes = 2,436 g/cm³

Sie sind bei einem Ingenieurbüro für die Planung eines PPP-Projektes mit der Berechnung des Oberbaukonzeptes aus Asphalt beauftragt.

Nach einem Systemausfall in der IT konnte der Großteil der Daten wiederhergestellt werden. Einzig der erforderliche EV_2 -Wert des Planums ist nicht wiederherstellbar. Als guter Ingenieur ist Ihnen die Idee gekommen den Kennwert auf Basis des Nachweises der Verformungskennwerte des Planums zu bestimmen. Berechnen Sie den erforderlichen EV_2 -Wert des Planums.

Berücksichtigen Sie die nachstehenden Angaben:

B = 4,5 Mio. 10 t-Achsüberänge

vorh N= 3.500.000 LW

zul $\sigma_z = 0,060$ MPa

Für einen bestehenden Autobahnabschnitt wurde eine neue Verkehrsprognose mittels RStO 12 erstellt. Die neu ermittelte Belastung innerhalb der Nutzungsdauer wurde mit 150 Mio. äquivalenten 10 t-Achsübergängen ermittelt.

Aus der ursprünglichen Dimensionierung des Betonoberbaus sind die aufnehmbaren Momente des Grenzzustands der Ermüdung (GZT Ermüdung) bekannt.

- a) Berechnen Sie die Dicke der Betondecke.
- b) Bestimmen Sie, ausgehend von dem aufnehmbaren Moment der Längsfuge (GZT Ermüdung) die ursprünglich der Bemessung zugrunde liegenden äquivalenten 10 t-Achsübergänge, welche im Jahr 2008 ermittelt wurden ($q_{BM,RStO\ 01} = 0,26$). Bitte runden Sie auf mindestens drei Nachkommastellen.
- c) Führen Sie die erforderlichen Nachweise gemäß RDO Beton 09 mit der neu prognostizierten Verkehrsbelastung (150 Mio. äquivalenten 10 t-Achsübergänge, $q_{BM,RStO\ 12} = 0,33$). Die Momente infolge der Verkehrsbeanspruchung sowie die aufnehmbaren Momente des GZT Ermüdung sind bereits bekannt.

Beachten Sie die nachstehenden Eigenschaften des Aufbaus sowie die Konzentration des täglichen Nutzfahrzeugverkehrs zu einem Anteil von 50 % auf die Zeit von 04:30 bis 5:30 Uhr aufgrund des angrenzenden Cargo-Flughafens. Sollten Sie für Aufgabenteil a) keine Lösung ermittelt haben, nehmen eine Dicke der Betondecke von 0,28 m an.

- d) Bewerten Sie die Nachweise und machen Sie ggf. sinnvolle Optimierungsvorschläge für den Betonaufbau. Nennen Sie neben der Veränderung der Dicke der Betondecke drei Möglichkeiten zur Optimierung des Betonaufbaus.
- e) Warum müssen bei Betonbauweisen Fugen vorgesehen werden und wieso sind diese bei Asphaltbauweisen nicht erforderlich?

Informationen zum Aufbau

Art der Unterlage:	Asphalttragschicht (ATS)
Straßenbetonklasse:	StC 30/37-3,3
Anteil grober gebrochener GK:	65 %
Plattenlänge:	500 cm
Plattenbreite:	370 cm
Längsfuge:	Anker
Querfuge:	Dübel

Ursprüngliche Momente der Dimensionierung

Aufnehmbare Momente

 $M_{RDu,GZT \text{ Ermüdung, Längs}} = 27.483 \text{ Nmm}$ $M_{RDu,GZT \text{ Ermüdung, Quer}} = 23.863 \text{ Nmm}$ Momente der Dimensionierung mit 150 Mio. äqui. 10 t-Achsübergängen

Aufnehmbare Momente

 $M_{RDu,GZT \text{ Ermüdung, Längs}} = 26.537 \text{ Nmm}$ $M_{RDu,GZT \text{ Ermüdung, Quer}} = 23.146 \text{ Nmm}$ Einwirkende Momente infolge Verkehrsbelastung $M_{EVu, \text{ Längs}} = 27.299 \text{ Nmm}$ $M_{EVu, \text{ Quer}} = 20.880 \text{ Nmm}$ $M_{EV, \text{ Längs}} = 26.449 \text{ Nmm}$ $M_{EV, \text{ Quer}} = 21.055 \text{ Nmm}$ $M_{EVu, \text{ Ermüdung, Längs}} = 21.634 \text{ Nmm}$ $M_{EVu, \text{ Ermüdung, Quer}} = 17.908 \text{ Nmm}$

Berechnung der aufnehmbaren Momente (B = 150 Mio. 10 t-Achsübergänge): $M_{Rd, Rdu} = 0,167 \cdot h_d^2 \cdot f_d$

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 (auf 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^0_d						
Berechnungsfestigkeit	f_d						
Ergebnis $M_{Rd,u}$						26.537	23.147

Berechnung der einwirkenden Momente infolge Temperatur $M_{ET,ETu} = \alpha_{cT} \cdot \gamma_{tot} \cdot E_{ctm} \cdot (h_d^3 \cdot m_{T1} \cdot m_{T2} \cdot m_{T3} \cdot \delta_T)/12$

Rechnerische Solldicke (Annahme): _____ (mm)

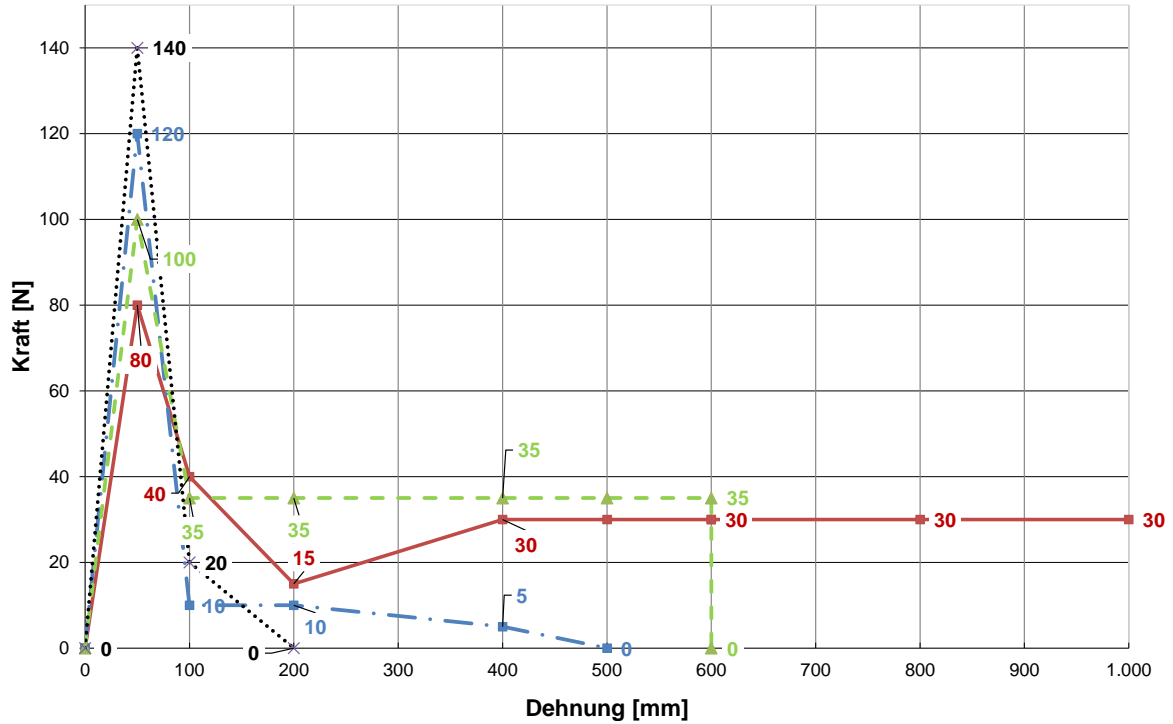
		M_{ETu}		M_{ET}		M_{ETu}	
		GZT_{quasidynamisch}		GZG_{quasidynamisch}		GZT_{Ermüdung}	
		Längsfuge	Querfuge	Längsfuge	Querfuge	Längsfuge	Querfuge
Faktoren aus Tabellen							
Zug-Elastizitätsmodul	E_{ctm}						
Wärmedehnzahl	α_{cT}						
Faktor Verformungsaufbau bei Temperaturbeanspruchung	γ_{tot}						
Faktor (Temperaturgradient)	C_1	0,14		0,091		0,052	
Temperaturfaktor (Verkehrsverteilung über den Tag)	m_{T1}						
Temperaturfaktor (Temperaturgebiet)	m_{T3}	1,0					
Plattenlänge	L_p						
Plattenbreite	B_p						

Aufgabe 5

52 Punkte

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 $M_{ET,ETu}$							

An vier Bindemitteln wird die Kraftduktilität bestimmt. Die Ergebnisse der Prüfungen sind im nachfolgenden Diagramm dargestellt.



- a) Berechnen Sie die maßgebende Formänderungsarbeit für die 4 Proben.
- b) Markieren Sie im Diagramm die Kurven, die zu modifizierten Bindemitteln und die die zu unmodifizierten Bindemitteln gehören.

Drei Bindemittel im Anlieferungszustand (unmodifiziert, polymermodifiziert und wachsmodifiziert) wurden mit dem Dynamischen Scherrheometer mit dem Temperatur-Sweep untersucht. Die Ergebnisse sind für den komplexen Schermodul (Abb. 1) und den zugehörigen Phasenwinkel (Abb. 2) in den nachfolgenden Grafiken dargestellt.

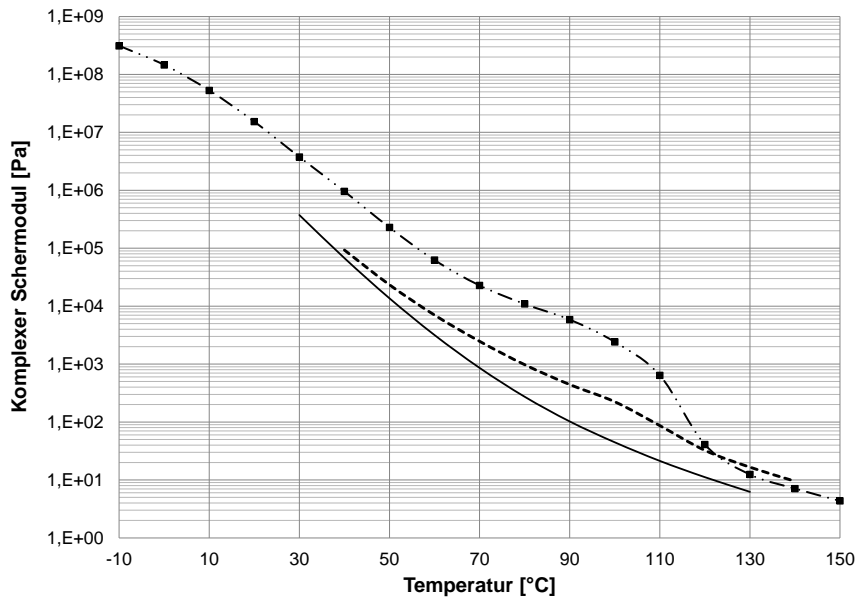


Abbildung 1

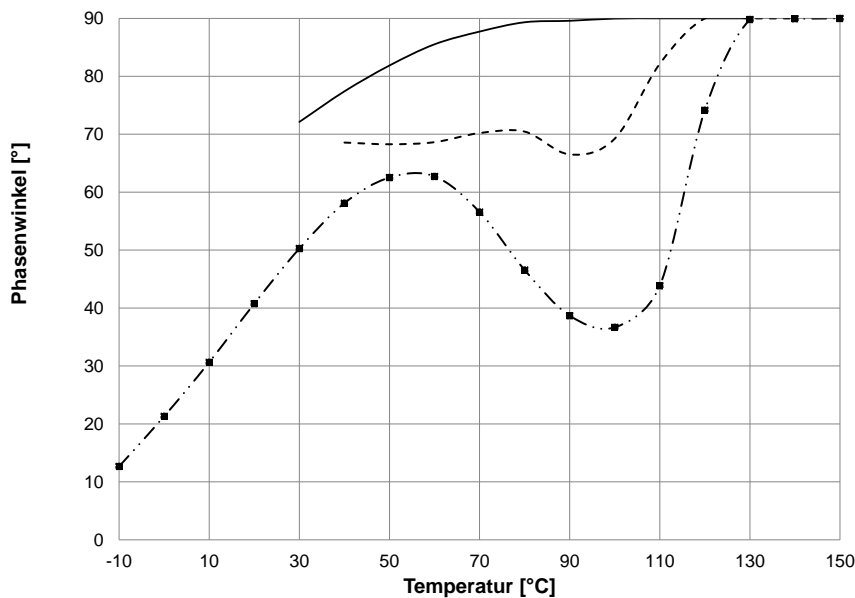


Abbildung 2

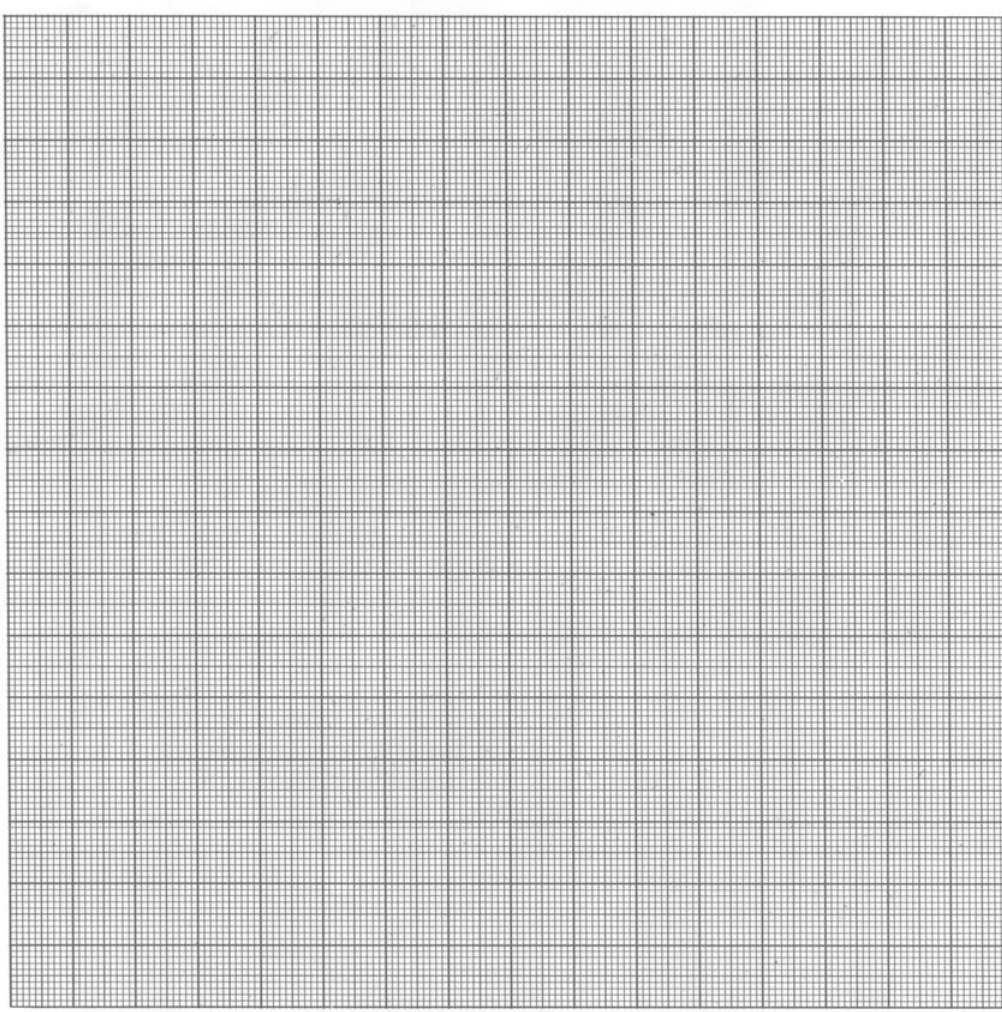
- Bestimmen Sie die Temperatur, bei der der komplexe Schermodul 15.000 Pa beträgt, für alle drei Bindemittel.
- Ordnen Sie den Kurven die jeweilige Bindemittelart zu. Ergänzen Sie dazu die Legende in einem Diagramm.
- Zeichnen Sie qualitativ die Kurve des komplexen Schermoduls für ein gealtertes unmodifiziertes Bindemittel.

- a) Zeichnen Sie mit Hilfe der Tabelle die zugehörige Proctorkurve in das nachfolgende Formblatt und ermitteln Sie den optimalen Wassergehalt und die Proctordichte.
- b) Wozu dient der Proctorversuch im Allgemeinen?
- c) Ermitteln Sie rechnerisch die 100 % - Sättigungslinie und zeichnen Sie diese zusätzlich ein.
- d) Was gibt die 100 % - Sättigungslinie an und warum kann die Proctorkurve diese praktisch niemals schneiden?
- e) Wodurch ist es zu erklären, dass die Trockendichte vom Punkt des optimalen Wassergehalts aus ,zur „trockenden“ bzw. zur „nassen“ Seite der Proctorkurve sinkt.

Proctorzylinder:	Durchmesser	Höhe
	150	125

Versuchs_NR	1	2	3	4	5	6
Feuchte Probe + Zylinder	10454	10550	10770	10989	10968	10898
Zylinder	6313	6313	6313	6313	6313	6313
Feuchte Probe						
Volumen des Zylinders						
Dichte						
Feuchte Probe + Behälter	4896	5035	5123	5203	5321	5564
Trockene Probe + Behälter	4583	4652	4663	4709	4753	4920
Behälter	800	805	812	885	800	822
Wasser						
Trockene Probe						
Wassergehalt						
Trockendichte						

Rohdichte Gestein
2,638

Anlage: _____							
zu: _____							
<h2 style="margin: 0;">Proctorkurve</h2> <p style="margin: 0; font-size: small;">nach DIN 18127</p> <p style="margin: 5px 0;">Prüfungs-Nr.: _____ Bauvorhaben: _____</p> <p style="margin: 5px 0;">Ausgef. durch: _____ Datum: _____</p>	<p style="margin: 5px 0;">Entnahmestelle: _____</p> <p style="margin: 5px 0;">Tiefe: _____</p> <p style="margin: 5px 0;">Bodenart: _____</p> <p style="margin: 5px 0;">Art der Entnahme: _____</p> <p style="margin: 5px 0;">Entnahme am: _____ durch: _____</p>						
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); font-weight: bold; margin-right: 10px;">Trockendichte in g/cm³</div>  </div>							
Wassergehalt							
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">100% der Proctordichte: $\rho_{Pr} =$ _____ g/cm³</td> <td style="width: 50%;">optimaler Wassergehalt: $w_{Pr} =$ _____</td> </tr> <tr> <td>_____ % der Proctordichte: $\rho_d =$ _____ g/cm³</td> <td>min./max. Wassergehalt: _____ , _____</td> </tr> <tr> <td>_____ % der Proctordichte: $\rho_d =$ _____ g/cm³</td> <td>min./max. Wassergehalt: _____ , _____</td> </tr> </table>		100% der Proctordichte: $\rho_{Pr} =$ _____ g/cm ³	optimaler Wassergehalt: $w_{Pr} =$ _____	_____ % der Proctordichte: $\rho_d =$ _____ g/cm ³	min./max. Wassergehalt: _____ , _____	_____ % der Proctordichte: $\rho_d =$ _____ g/cm ³	min./max. Wassergehalt: _____ , _____
100% der Proctordichte: $\rho_{Pr} =$ _____ g/cm ³	optimaler Wassergehalt: $w_{Pr} =$ _____						
_____ % der Proctordichte: $\rho_d =$ _____ g/cm ³	min./max. Wassergehalt: _____ , _____						
_____ % der Proctordichte: $\rho_d =$ _____ g/cm ³	min./max. Wassergehalt: _____ , _____						

- a) Nennen Sie 4 Ursachen von Straßenverkehrslärm
- b) Warum eignet sich der Einsatz einer Asphaltdeckschicht PA 11 nicht zur Reduzierung von Verkehrslärm im innerstädtischen Bereich?
- c) Benennen Sie zwei Prüfverfahren zur Bestimmung der Kälteflexibilität von Asphalt.
- d) Benennen Sie den Unterschied zwischen Frostwiderstand und Frostempfindlichkeit.
- e) Beschreiben Sie den Unterschied zwischen Kohäsion und Adhäsion. Nennen Sie je ein Beispiel.
- f) Benennen Sie drei Vorteile temperaturabgesenkter Asphalte.
- g) In welchen Bereichen werden temperaturabgesenkte Asphalte vor allem eingesetzt?
- h) In welchen Bereichen ist der Einsatz von halbstarren Deckschichten ggf. vorteilhaft?
- i) Warum werden bei der Asphaltmodellierung Voronoi-Zellen gebildet?
- j) Warum wurden bei der Entwicklung des Simulationsmodells der Kontinuumsmechaniker die äquivalenten Durchmesser berechnet?
- k) Welche Art des Fräsens sollte für eine möglichst hochwertige Wiederverwendung von Asphalt ausgeschrieben werden?
- l) Welche Kennwerte müssen zur Prüfung der Gleichmäßigkeit des Asphaltgranulats überprüft werden?
- m) Ihnen liegen die Ergebnisse zum komplexen Schermodul und den Phasenwinkels eines Ausbausasphaltes in Form des Black-Diagramms vor. Skizzieren Sie die typischen Wirkungsweisen von Rejuvenatoren.

