

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 21.3.2017 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.

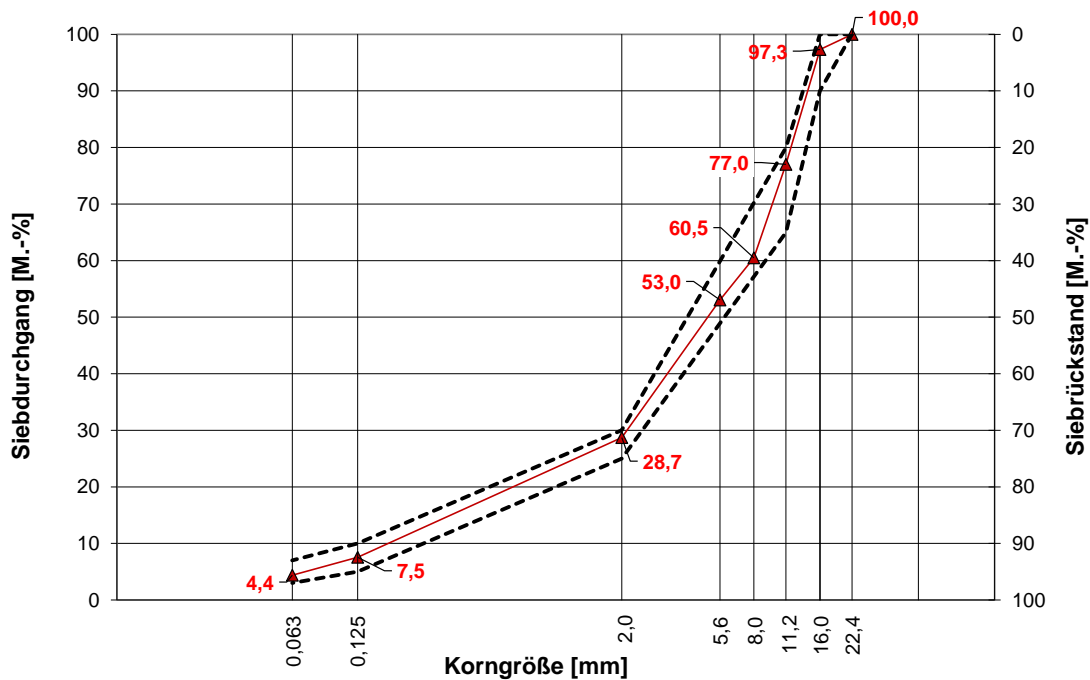
Aufgabe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Σ	%	
Punkte	15	12	15	8	10	30	20	13	9	12	36	180	100	Note
erreicht														

Name:

Matr. Nr.:

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

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



- a) Berechnen Sie die mittlere Rohdichte des Gesteinskörnungsgemisches unter den folgenden Annahmen.

Gehen Sie davon aus, dass für die groben und feinen Gesteinskörnungen eine Gesteinsart verwendet wurde. Jedoch schwankt die Rohdichte des Gesteins je Kornklasse um $\pm 0,001 \text{ g/cm}^3$. Treffen Sie entsprechende Annahmen.

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

- b) Erfahrungsgemäß liegt der Hohlraumausfüllungsgrad dieser Asphaltmischungen bei etwa 65%. Wie hoch müsste der Bindemittelgehalt bei diesem Ausfüllungsgrad sein?

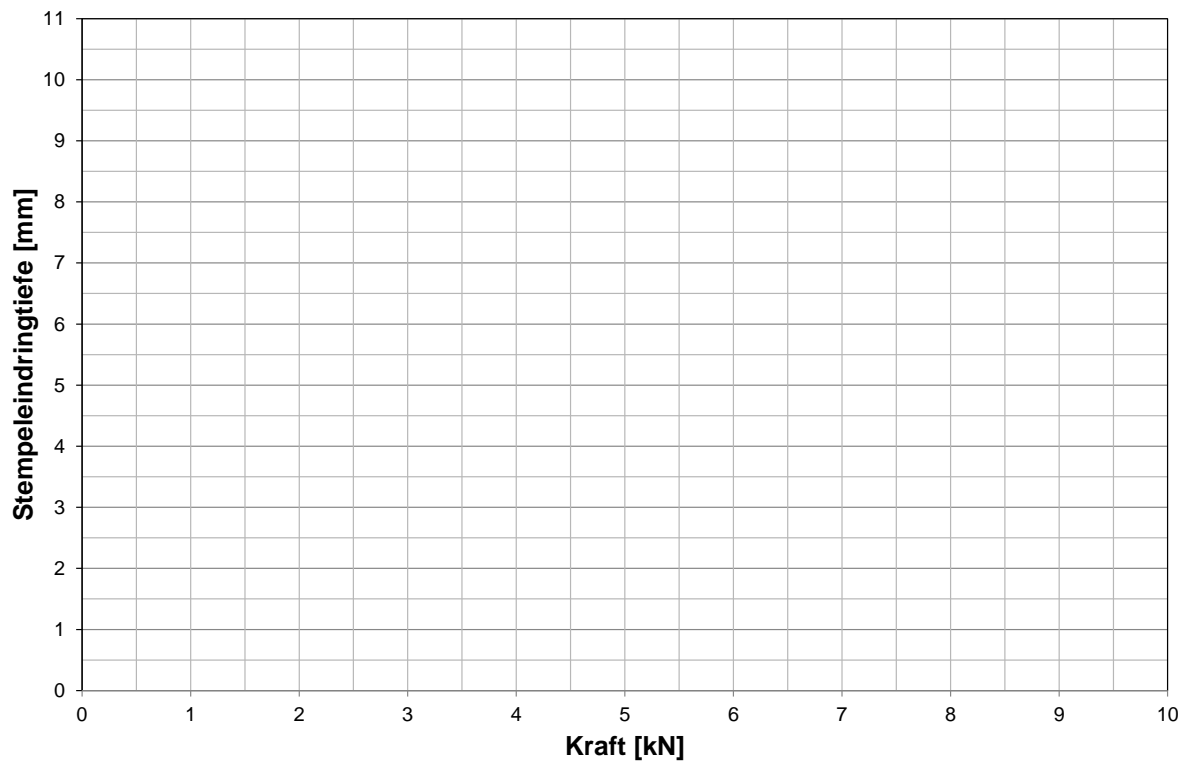
Dichte des Bindemittels = $1,015 \text{ g/cm}^3$

Raumdichte der Bohrkernscheibe = $2,526 \text{ g/cm}^3$

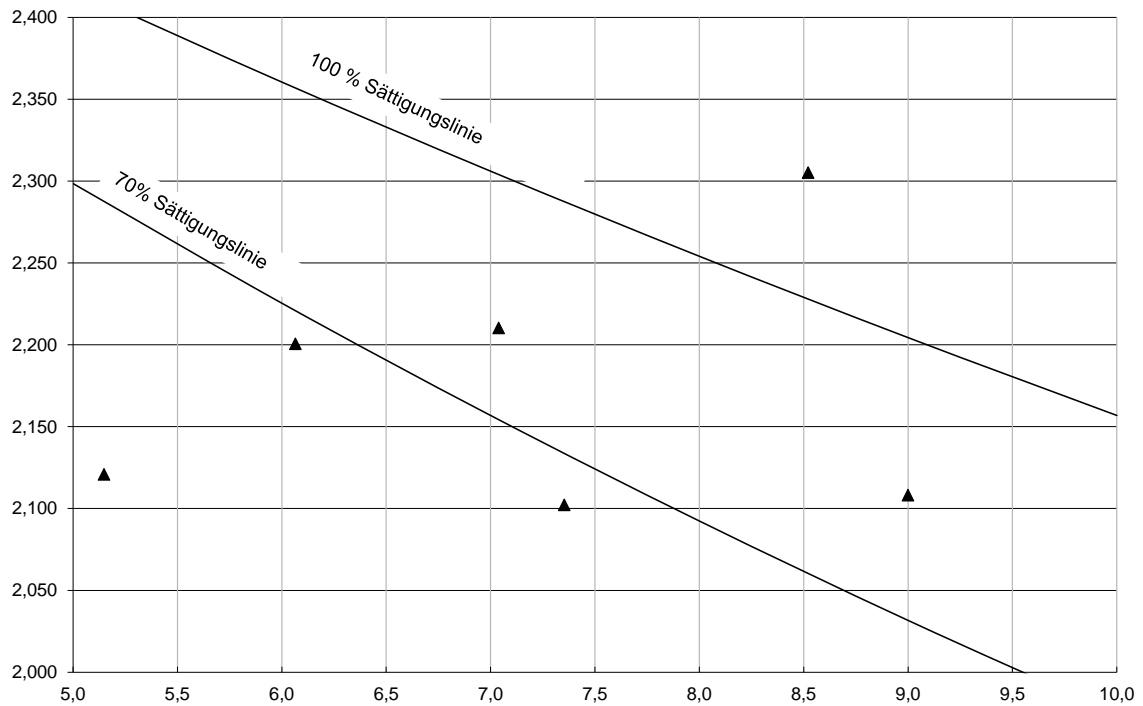
- c) Beurteilen Sie den Bindemittelgehalt und den Hohlraumgehalt der Asphaltmischung aus Aufgabenteil b) anhand der Anforderungen aus den TL Asphalt-StB.

An einem ungebundenen Baustoffgemisch wird der CBR-Versuch durchgeführt und dabei folgende Werte erzielt.

Stempeleindringtiefe [mm]	Ablesung Druckpresse [kN]
0	0
2	0,4
4	2,6
6	5,2
10	9,2

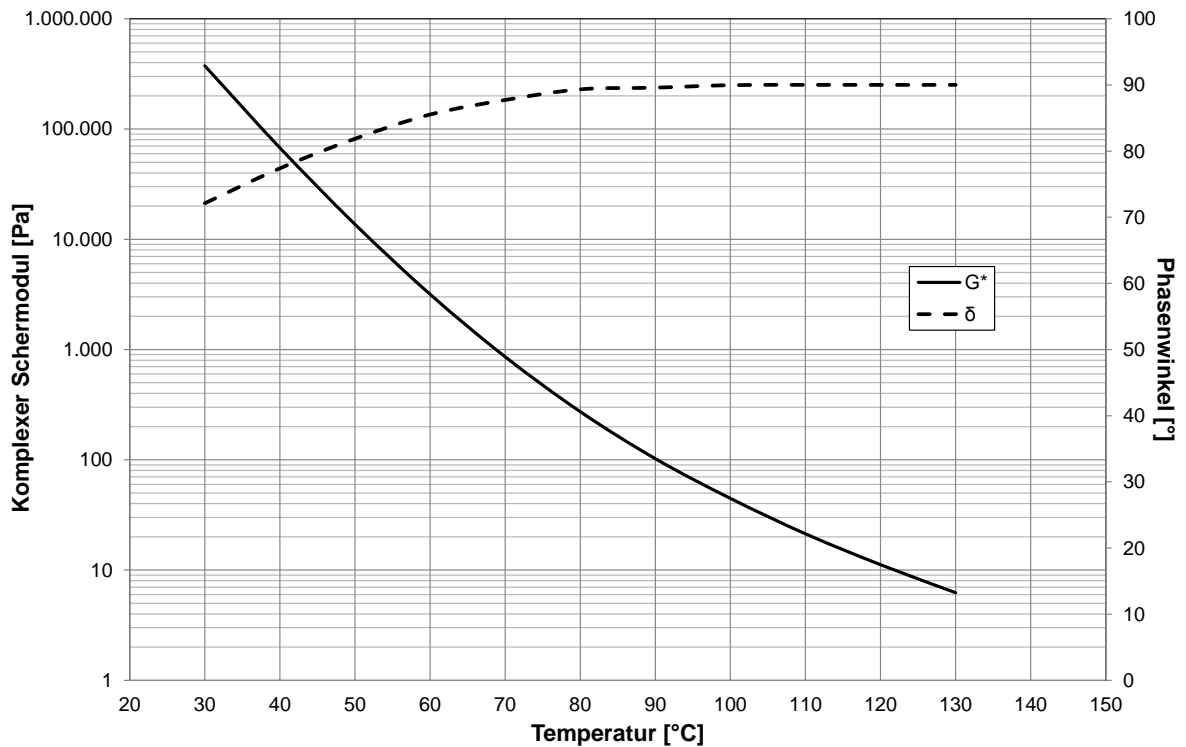


- a) Bestimmen Sie die CBR-Werte für 2,5 mm und 5 mm Eindringtiefe.
- b) Wozu dient der CBR-Versuch?
- c) Erläutern Sie den Begriff „Standardboden“.



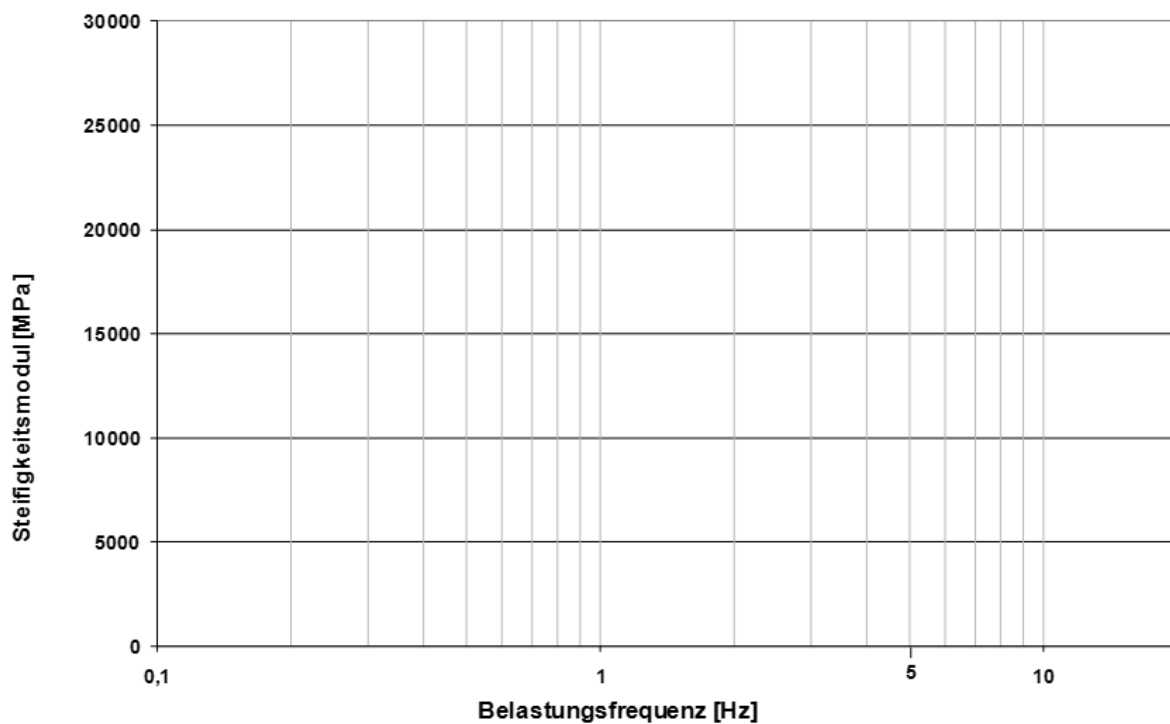
- Zeichnen Sie die Proctorkurve, bestimmen Sie die Proctordichte und den optimalen Wassergehalt.
- Beschreiben Sie stichwortartig den Zweck und
- die Durchführung des Proctorversuchs.
- Bewerten Sie den Proctorversuch.

Ein Bitumen im Anlieferungszustand wurde mit dem Dynamischen Scherrheometer untersucht. Die Ergebnisse sind in den nachfolgenden Grafiken dargestellt.



- Bestimmen Sie die Temperatur, bei der der komplexe Schermodul 15.000 Pa beträgt.
- Um welche Bitumensorte könnte es sich handeln? Entscheiden Sie sich für eine!
- Zeichnen Sie qualitativ in das Diagramm je eine Kurve für den komplexen Schermodul eines weicheren und eines härteren Bitumens ein.

- a) An einem Asphalt werden die Steifigkeitsmoduln bestimmt. Erläutern Sie stichwortartig die Zielsetzung des zugehörigen Versuchs.
- b) Zeichnen Sie qualitativ den Verlauf eines Steifigkeitsmoduls bei 20 °C in das unten stehende Diagramm ein.
- c) Welche generelle Aussage lässt sich über das Verhalten des Steifigkeitsmoduls beim Asphalt bei unterschiedlichen Temperaturen treffen?
- d) Welche generelle Aussage lässt sich über das Verhalten des Steifigkeitsmoduls beim Asphalt bei unterschiedlichen Belastungsfrequenzen treffen?
- e) Wird der Probekörper bei 20 °C und 10 Hz bis zum Bruch belastet handelt es sich um welchen Versuch? Und wozu dient er?



1. Durch den Zusammenhang welcher zwei Kenngrößen kann die Rissempfindlichkeit von Asphalt bei tiefen Temperaturen beschrieben werden?
2. Nennen Sie drei Versuche mit welchen das Kälteverhalten von Asphalt untersucht werden kann!
3. Wie werden Asphaltprobepplatten gemäß AP PMA, 2015 hergestellt? Entspricht diese Art der maschinellen Verdichtung dem Grundprinzip der Verdichtung vom PMA? Argumentieren Sie Ihre Antwort kurz durch die Wirkungsweise des PMA!
4. Nennen Sie zwei Einsatzmöglichkeiten von künstlichen Asphaltstrukturen.
5. Nennen Sie zwei Volumina, die in dem Ergebnis „Porosität“ der Modellberechnung enthalten sind.
6. Nennen Sie vier Eigenschaften, die sich durch die Modifizierung von Bitumen verbessern sollen!
7. Nennen Sie 4 Ursachen von Straßenverkehrslärm.
8. Ihnen liegt eine Asphaltdeckschicht mit einem Gestaltfaktor von 95 % vor. Ist diese Deckschicht zur Lärmreduzierung geeignet? Begründen Sie Ihre Antwort!
9. Nennen Sie vier Vorteile temperaturabgesenkter Asphalte.
10. Worin unterscheiden sich ein Fischer-Tropsch-Wachs und ein Amidwachs?
11. Durch welche Größen wird die maximal mögliche Zugabemenge von Asphaltgranulat beschränkt?
12. Welche Wirkungsweisen von Rejuvenatoren gibt es und wie wirken diese?
13. Nennen Sie drei unterschiedliche Fugenkonstruktionsarten.
14. Welche grundlegenden Vorteile/ Eigenschaften der Beton und Asphaltbauweise werden durch die Umsetzung von halbstarren Deckschichten miteinander verknüpft?
15. Beschreiben Sie kurz die Herstellung einer halbstarren Deckschicht.

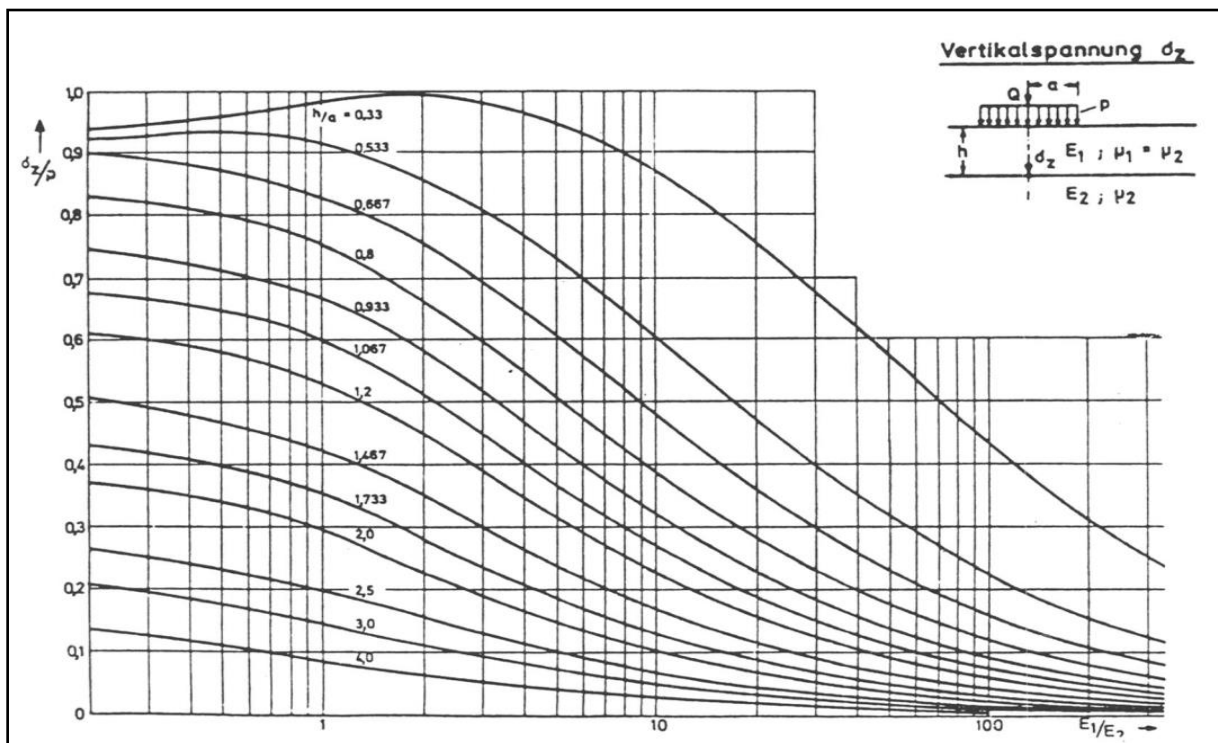
In Musterstadt wird im Rahmen einer Maßnahme zur Baulichen Erhaltung die Hauptstraße erneuert. Max Mustermann möchte gerne die Spannungen an der Unterseite der Asphalttragschicht bestimmen. Als Belastung setzt Max die Belastung eines äquivalenten 10-t Achsübergangs an.

Nutzen Sie zur Bestimmung der Spannungen die nachfolgenden Angaben:

Asphaltdeckschicht	4 cm	E = 7.900 MPa
Asphaltbinderschicht	6 cm	E = 12.100 MPa
Asphalttragschicht	12 cm	E = 9.500 MPa
FSS	43 cm	E = 200 MPa
Untergrund		E = 800 MPa

Der Durchmesser der Reifenauftandsfläche beträgt 25 cm.

- a) Helfen Sie Max: Bestimmen Sie die Vertikalspannungen an der Unterseite der Asphalttragschicht nach der Theorie von Burmister und nach dem Verfahren von Odemark. Vereinfachen Sie das System sinnvoll. Nehmen Sie kurz Stellung zu dem Ergebnis (ein Satz).
- b) Welchen wesentlichen Vorteil bietet das Verfahren nach Odemark gegenüber der Mehrschichttheorie nach Burmister?
- c) Bestimmen Sie zusätzlich die Radialspannungen nach der Theorie von Burmister sowie die Vertikalspannungen an der Unterseite der Frostschutzschicht mit Hilfe der Ansätze von Odemark.



Zweischichtensystem, Berechnung der Vertikalspannungen σ_z an der Schichtgrenze

Max Mustermann arbeitet seit einiger Zeit in einem Ingenieurbüro und soll die Planung für verschiedene Verkehrsflächen übernehmen. Sie sollen Max bei der Bearbeitung der nachfolgenden Fragestellungen unterstützen.

- 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
- Wann würden Sie eine Dimensionierung nach den RDO Asphalt empfehlen? Nennen Sie drei Beispiele.
- Was ist bei den RDO Asphalt der maßgebende Unterschied zwischen dem Nachweis von Tragschichten ohne Bindemittel und Asphalttragschichten?
- Die Durchführung von Spaltzugschwellversuchen ergab für einen SMA 8 S die in Bild 1 dargestellte Abhängigkeit zwischen E-Moduln und Temperatur. Bestimmen Sie den E-Modul des SMA 8 S an der Unterseite der Asphaltdeckschicht in einer Tiefe von 4 cm bei einer Oberflächentemperatur von $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Hinweis: Interpolieren Sie evtl. erforderliche Werte linear.

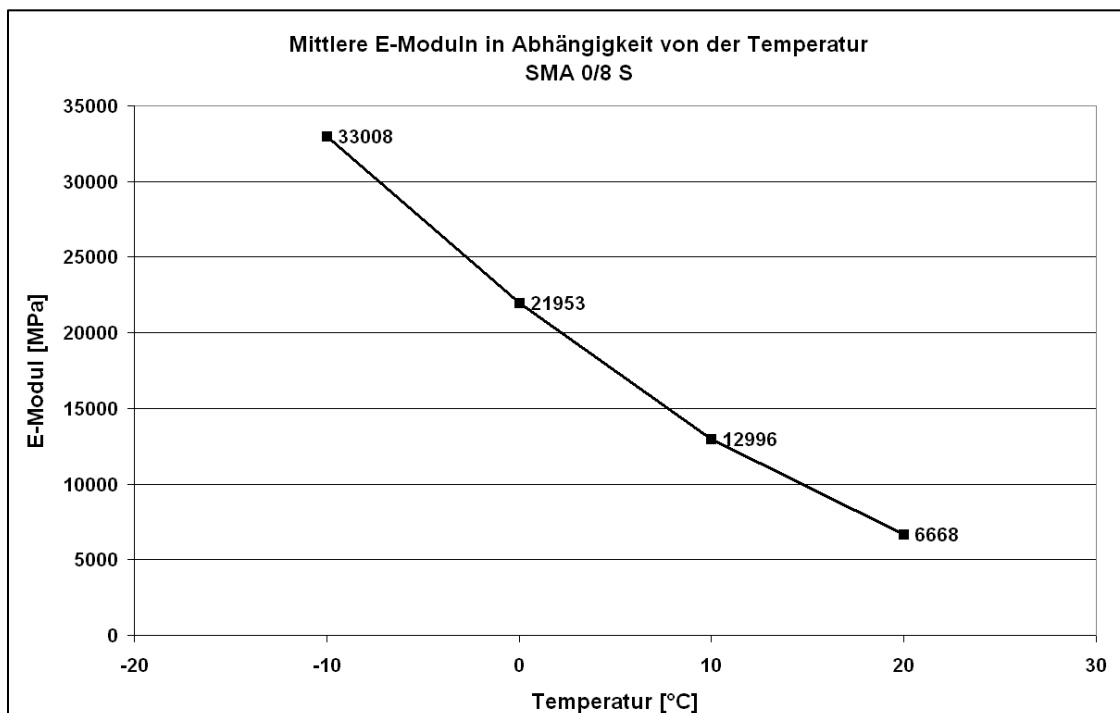


Bild 1: Mittlere E-Moduln in Abhängigkeit von der Temperatur

Zur Beschreibung des Verformungsverhaltens von Asphalt werden rheologische Modelle eingesetzt.

- a) Nennen Sie die drei Grundmodelle, welche zur Beschreibung des Verformungsverhaltens von Asphalt herangezogen werden und ordnen Sie diesen ihr Materialverhalten zu.
- b) In Bild 2 ist die komplexe Wechselwirkung zwischen reversiblen und irreversiblen Verformungsanteilen, welche zeitunabhängig oder zeitabhängig sein können dargestellt.

Welche der fünf einzelnen Verformungsanteile sind durch das Verhalten von Newtonscher Dämpfern beeinflusst?

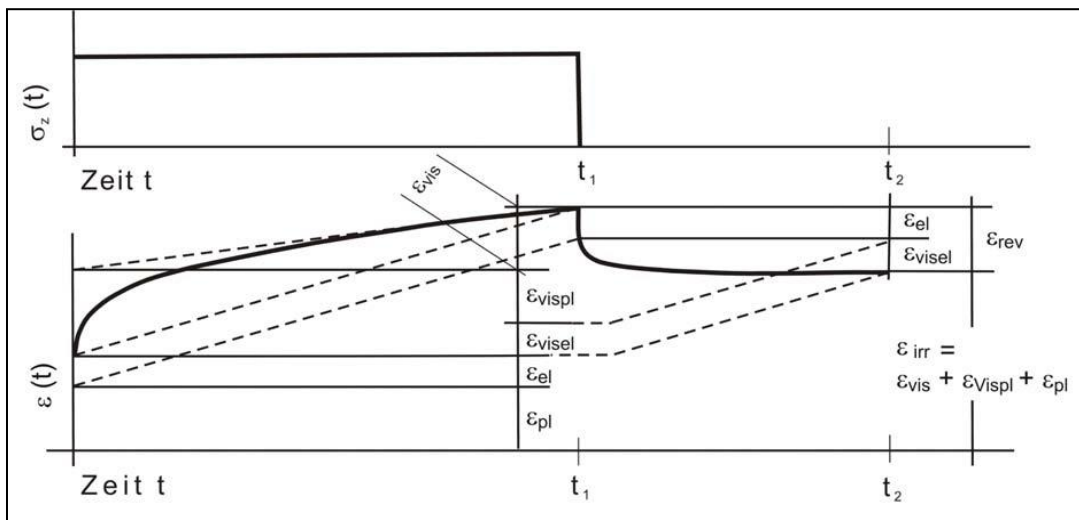


Bild 2: Zeitabhängige Verformungsanteile von Asphalt

- c) Ingenieur Mustermann wollte die viskosen Anteile des Asphalts durch die Kombination von drei rheologischen Modellen simulieren (vgl. Bild 3). Welchen Fehler hat Mustermann gemacht? Skizzieren Sie den korrekten Aufbau der drei Modelle zur Darstellung der viskosen Anteile.

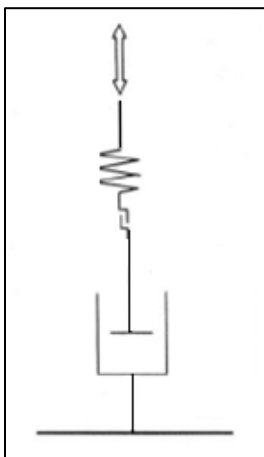


Bild 3: Rheologisches Modell nach Mustermann

In den „Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht (RDO Asphalt) ist Max Mustermann 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
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 75.000 Kfz/24 h. Der Schwerverkehrsanteil beträgt 12 %. Anhand einer Silhouettenzählung wurde ein Achszahlfaktor von 4,0 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 für die Achslastklassen ≥ 100 kN.

- c) Welchen Schädigungsgrad hat eine 8 t-Achse gegenüber einer 4 t-Achse?

Ihnen liegt der Entwurf einer unvollständigen Dimensionierung einer Betonfahrbahn-
decke vor. Neben den Informationen zum Aufbau liegen Ihnen bereits die Ergebnisse
der aufnehmbaren Momente sowie die Ergebnisse der einwirkenden Momente infolge
Temperaturbelastung für die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit und der
Tragfähigkeit vor. Die einwirkenden Momente infolge Verkehrsbelastung sind hinge-
gen nicht vollständig. Ebenfalls ist Ihnen die Dimensionierungsrelevante Verkehrsbe-
lastung nicht bekannt.

Informationen zum Aufbau

Art der Unterlage:	Asphalttragschicht
Straßenbetonklasse:	StC 30/37-3,3
Anteil grober gebrochener GK:	65 %
Plattenlänge:	475 cm
Plattenbreite:	375 cm
Längsfuge:	Anker
Querfuge:	Dübel
Lastkollektivquotient	0,33
k_s	150 MN/m ³

- Bestimmen Sie die äquivalenten 10 t-Achsübergänge, welche der Dimensio-
nierung zugrunde liegen. Bitte runden Sie bei der Berechnung auf mindestens
drei Nachkommastellen.
- Bestimmen Sie die Momente infolge der Verkehrsbelastung und führen Sie die
erforderlichen Nachweise gemäß RDO Beton 09 (inkl. Bewertung). Die Mo-
mente infolge der Temperaturbelastung sowie die aufnehmbaren Momente
sind bereits bekannt.
- Bestimmen Sie zusätzlich die Spannungen in der Plattenmitte für den GZG.
Benennen Sie das verwendete Verfahren und wozu dienen die Abminde-
rungsfaktoren in der Formel? Greifen Sie bei der Berechnung auf die Werte
von zuvor zurück.

Aufnehmbare Momente:

M_{RDu} , GZT quasidynamisch, Längs =	34.623 Nmm
M_{RDu} , GZT quasidynamisch, Quer =	34.623 Nmm
M_{RD} , GZG quasidynamisch, Längs =	34.623 Nmm
M_{RD} , GZG quasidynamisch, Quer =	34.623 Nmm
M_{RDu} , GZT Ermüdung, Längs =	24.296 Nmm
M_{RDu} , GZT Ermüdung, Quer =	21.026 Nmm

Einwirkende Momente infolge Temperaturbelastung

M_{ETu} , GZT quasidynamisch, Längs =	15.088 Nmm
M_{ETu} , GZT quasidynamisch, Quer =	9.404 Nmm
M_{ET} , GZG quasidynamisch, Längs =	14.896 Nmm
M_{ET} , GZG quasidynamisch, Quer =	9.404 Nmm
M_{ETu} , GZT Ermüdung, Längs =	7.738 Nmm
M_{ETu} , GZT Ermüdung, Quer =	9.164 Nmm


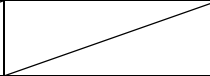
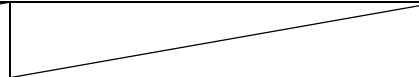
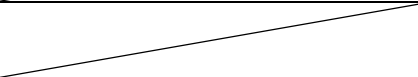
Hinweis:

f_d , GZT quasidynamisch, Längs =	3,067
f_d , GZT quasidynamisch, Quer =	3,067
f_d , GZG quasidynamisch, Längs =	3,067
f_d , GZG quasidynamisch, Quer =	3,067
f_d , GZT Ermüdung, Längs =	2,152
f_d , GZT Ermüdung, Quer =	1,862

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 Soll Dicke: _____ (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}						
Dübelfaktor	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	50					
Zug-Elastizitätsmodul	E_{ctm}						
Querdehnzahl	μ_c	0,15					
Bettungszahl	K	0,15					
Kontaktdruckfaktor	γ_{EK}						
Kontaktdruck	p						
Normkontaktdruck	p^n						

Berechnungen							
Berechnungsradlast	F_d						
Elastische Länge	l_v						
Radius Ersatzaufstandsfläche	r						
Radius Ersatzaufstandsfläche nach Lastverteilung	b						
Ergebnis $M_{Ev, Evu}$		18.490	17.679	18.025	17.937		