

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 5.9.2017 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	10	20	30	30	15,5	20	13	7	12	10	12,5	180	100	Note
erreicht														

Name:

Matr. Nr.:

Ein Bitumen im Anlieferungszustand wurde mit dem Dynamischen Scherrheometer untersucht. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Grafik (Bild 1) dargestellt.

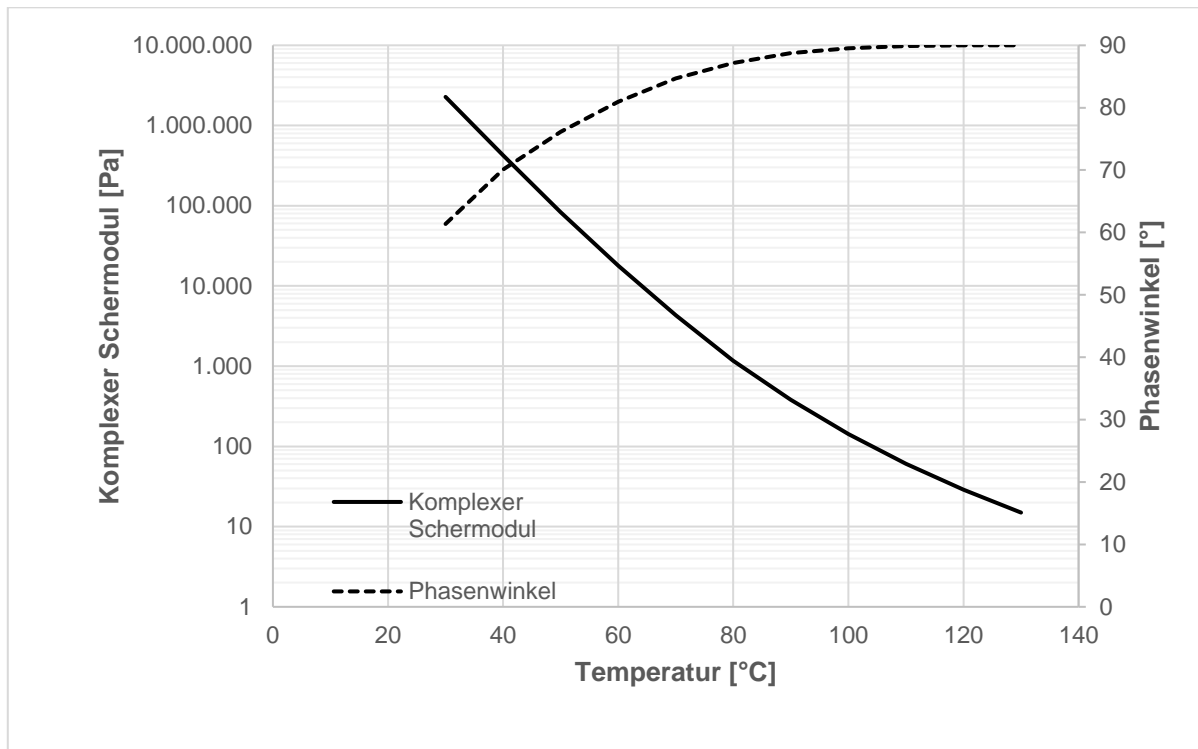


Bild 1: Komplexer Schermodul und Phasenwinkel

- 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 Schermodul eines weicheren und eines wachsmodifizierten Bitumens ein.
- Bestimmen Sie den Speichermodul und den Verlustmodul bei 60 °C.

Aus einer Autobahn wurden Bohrkernentnommen. Anhand derer soll die Zusammensetzung und der Hohlraumgehalt der Asphaltbinder beurteilt werden. Bei der Bestimmung der Korngrößenverteilung der Asphaltbinder wurden die in Bild 2 dargestellten Ergebnisse bestimmt:

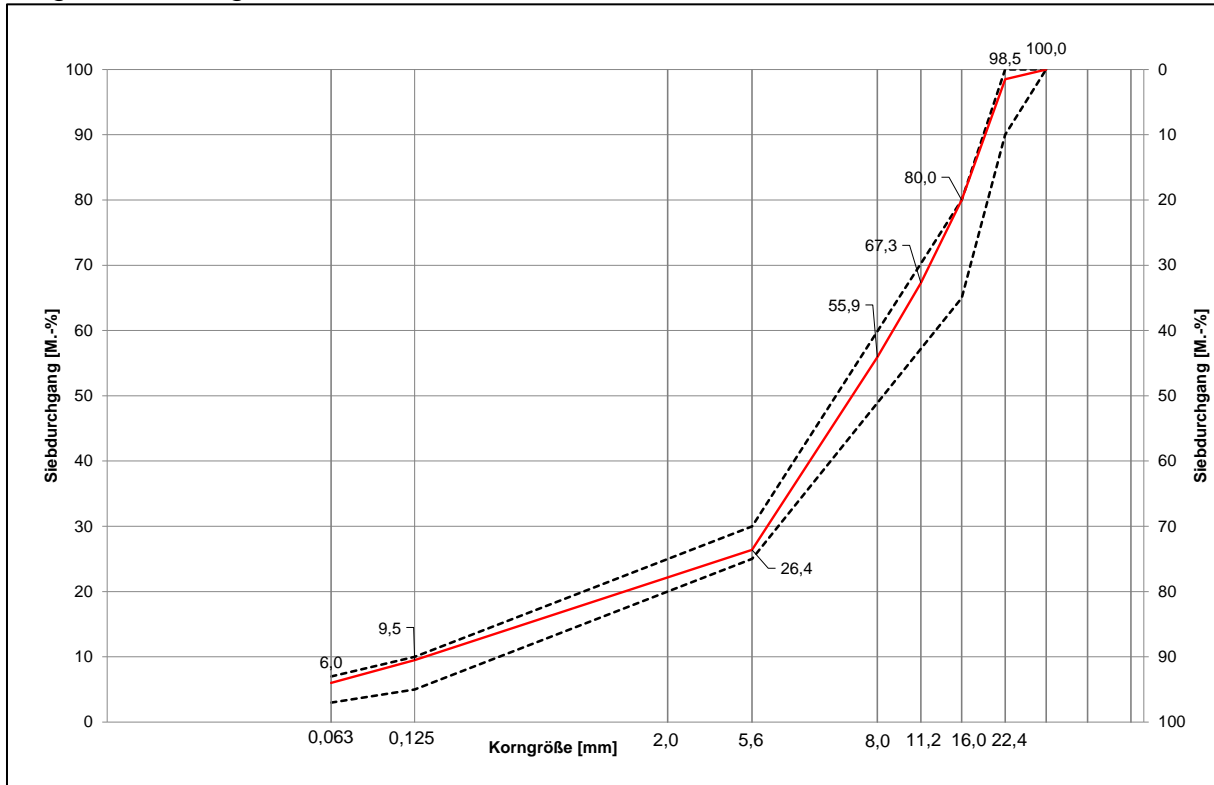


Bild 2: Korngrößenverteilung

- a) Berechnen Sie die mittlere Rohdichte des Gesteinskörnungsgemisches. Gehen Sie davon aus, dass für die groben und feinen Gesteinskörnungen die gleiche Gesteinsart verwendet wurde. Die Gesteinsrohichte jeder Kornklasse schwankt um $\pm 0,001 \text{ g/cm}^3$. Nehmen Sie für die Berechnung der mittleren Gesteinsrohichte typische Werte für einen Diabas an. Als Füller kam ein Kalksteinmehl mit der Rohdichte von $2,702 \text{ g/cm}^3$ 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 = $2,497 \text{ g/cm}^3$
- c) Beurteilen Sie den Hohlraumgehalt der Asphaltmischung aus Aufgabenteil b) anhand der Anforderungen aus den TL Asphalt-StB.

Um was für eine Asphaltmischgutsorte könnte es sich handeln?

Für die rechnerische Bemessung eines Straßenaufbaus muss das Steifigkeitsverhalten der einzelnen Schicht geprüft werden. In der Tabelle 1 sind die Ergebnisse der dynamischen Spaltzug-Schwellversuche für eine Asphaltdeckschicht für die Temperaturen 20, 10, 0 und -10°C und die Belastungsfrequenzen 10, 5, und 1 Hz gegeben.

Vor der Prüfung wurden alle verwendeten Probekörper einheitlich auf eine Höhe von 40 mm und einen Durchmesser von 100 mm geschliffen.

Die während der gesamten Prüfung verwendete Unterspannung betrug 0,035 MPa.

- Berechnen Sie mit Hilfe der Tabelle 1 für alle drei Temperaturen die Steifigkeitsmoduln der Asphaltdeckschicht.
- Tragen Sie anschließend für jede Temperatur den Verlauf des Steifigkeitsmoduls in Abhängigkeit von der Prüffrequenz in das gegebene Diagramm (Bild 3) ein.
- Welche generelle Aussage lässt sich über das Verhalten des Steifigkeitsmoduls beim Asphalt bei unterschiedlichen Temperaturen treffen?
- Welche generelle Aussage lässt sich über das Verhalten des Steifigkeitsmoduls beim Asphalt bei unterschiedlichen Belastungsfrequenzen treffen?

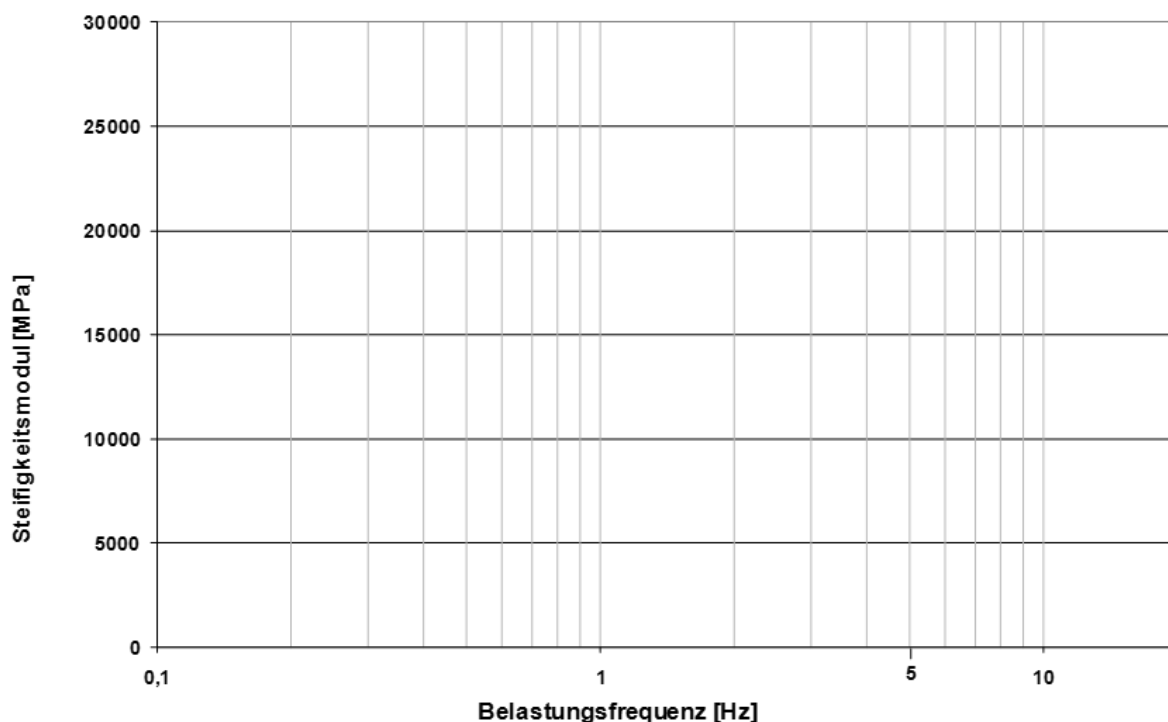


Bild 3: Verlauf des Steifigkeitsmoduls in Abhängigkeit von der Prüffrequenz

Tabelle 1: Ergebnisse der dynamischen Spaltzug-Schwellversuche

Temperatur [°C]	Frequenz [Hz]	σ_{\min} [MPa]	F_{\min} [N]	σ_{\max} [MPa]	F_{\max} [N]	ΔF [N]	Δu [mm]	E [MPa]
20	10			0,30			0,003416	
	5			0,25			0,003273	
	1			0,15			0,002914	
10	10			0,50			0,003217	
	5			0,40			0,002843	
	1			0,25			0,002521	
0	10			0,80			0,003200	
	5			0,70			0,002980	
	1			0,55			0,002889	
-10	10			1,10			0,003031	
	5			1,05			0,002952	
	1			0,95			0,003027	

1. Welche Parameter sind Eingangsgrößen für das gewichtete Voronoi-Diagramm?
2. Warum werden die Voronoi-Zellen geschrumpft?
3. Vor welchem Problem steht die aktuelle Asphaltforschung bei der Modellierung dreidimensionaler Strukturen?
4. Ab welcher Geschwindigkeit ist das Rollgeräusch eines LKW lauter als das Antriebsgeräusch?
5. Beschreiben Sie, wie durch offenporige Asphaltdeckschichten der Lärm reduziert werden kann. Wie wird die Lärmreduzierung bei dichten Asphaltdeckschichten erreicht?
6. Warum reduziert sich die lärmindernde Wirkung von offenporigem Asphalt mit der Zeit?
7. Werden Fugenmassen des Typs N2 heiß oder kalt verarbeitet?
8. Welche „Gefahr“ besteht durch „Paketreißen“ für Fugenfüllsysteme in Betonfahrbahndecken?
9. Welche drei Materialien beeinflussen das Haftverhalten im Straßenbau maßgebenden?
10. Beschreiben Sie den Unterschied zwischen Kohäsion und Adhäsion. Nennen Sie je ein Beispiel.
11. Was bedeutet die Plastizitätsspanne bei Straßenbaubitumen und warum wird ist sie bei Gummimodifiziertem Bitumen höchstwahrscheinlich größer? Was bedeutet dies für die Einsatzmöglichkeiten des Gummimodifizierten Bindemittels in der Praxis?
12. Benennen Sie typische Asphaltarten, bei denen Gummimodifiziertes Bindemittel eingesetzt wird und ihre möglichen Besonderheiten.
13. Welche Möglichkeiten der Erwärmung von Asphaltgranulat gibt es und welche Zugabemengen sind dabei jeweils möglich?
14. Aus welchem Grund werden dem Bitumen Wachse zugegeben?
15. Welche Arten von Wachsen gibt es und worin unterscheiden sich diese?

- a) Die Dimensionierungsberechnung in Anlehnung an die Arbeitshilfen Flugbetriebsflächen eines militärisch genutzten Flughafens der Bundeswehr, hat für die maximale Lastwechselanzahl am Ende der Parallelrollbahnen aus Beton nur 80 % der anzusetzenden Lastwechselzahl ergeben.
Bestimmen Sie die auftretende Biegezugspannung.
Die Temperaturbeanspruchung ist zu vernachlässigen
Treffen Sie falls erforderlich sinnvolle Annahmen.
- b) Worin liegt der maßgebliche Unterschied des Belastungsansatzes zwischen der Dimensionierung mit dem ACN/PCN-System und der Dimensionierung von Straßenbefestigungen von Asphalt?
- 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.
- d) Welche Materialbelastung ist für den Ermüdungsnachweis bei Asphaltsschichten bei der Dimensionierung von Flugbetriebsflächen maßgebend?
- e) Im Bereich von Neubaumaßnahmen von Militärflughäfen der Bundeswehr wurde in Deutschland eine vereinfachte Dimensionierungshilfe für Standardaufbauten erstellt. Nennen Sie die fünf maßgebenden Parameter, die für die Bestimmung der Standardbauweise benötigt werden.

Es ist nachstehender Aufbau (Bild 4) geplant:

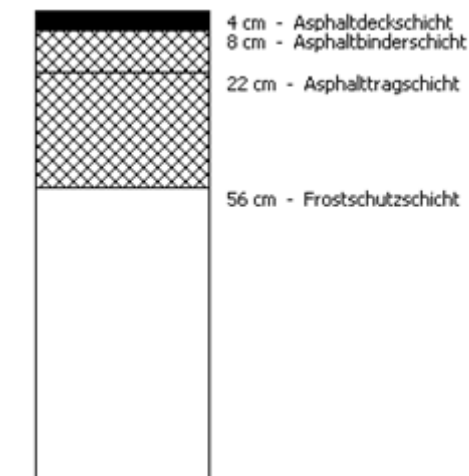


Bild 4: Straßenaufbau

- Der Untergrund ist ein Kies-Ton-Gemisch mit einem Anteil von 25 M.-% der Korngröße $\leq 0,063$ mm
- Die tägliche Verkehrsbelastung beträgt 452 äquivalente 10 t-Achsübergänge
- Der Regionalfaktor ist 5,0
- Der frostsichere Oberbau muss mindestens 40 cm betragen

a) Weisen Sie mittels der Dimensionierung nach AASHTO nach, dass der geplante Aufbau der ermittelten Verkehrsbelastung standhält.

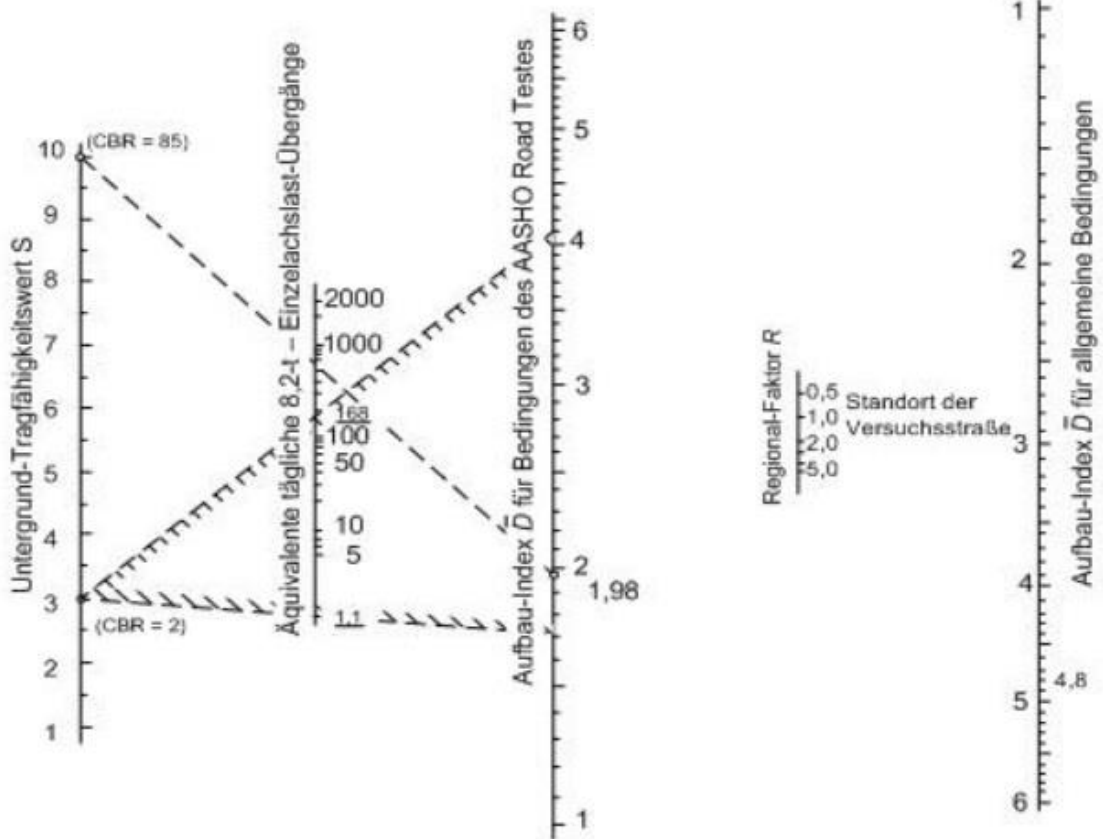
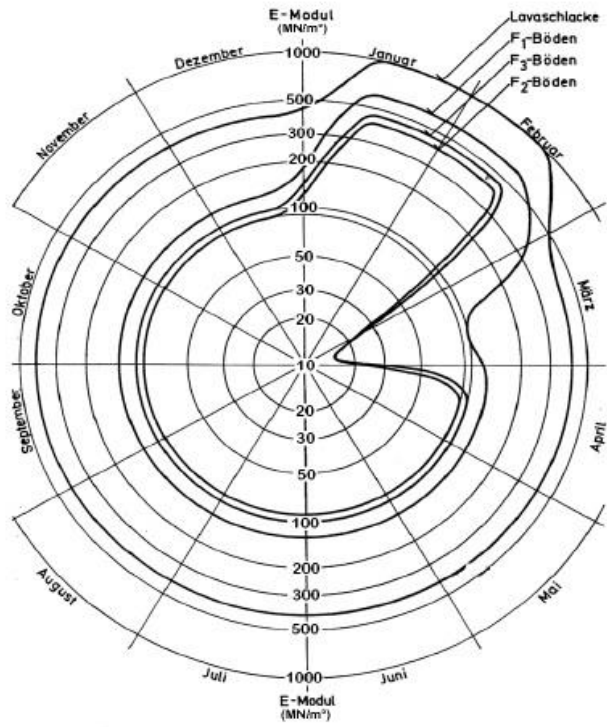
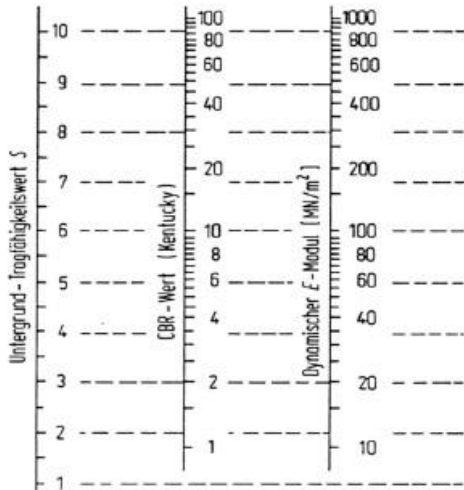
b) Nehmen Sie Stellung zu dem ermittelten Ergebnis. Optimieren Sie die Dimensionierung sinnvoll (inkl. Rechnung).

Beachten Sie die Mindest-Einbaudicke der Asphalt-schichten 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) Um welchen Faktor unterscheidet sich der Schädigungsgrad bei einer 165 t- Achse und einer 275t-Achse?



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.

- a) Eine Bundesfernstraße mit einer Verkehrsbeanspruchung von 150 Mio. äquivalenten 10-t Achsübergängen soll dimensioniert werden. Welches Regelwerk würden Sie empfehlen, wenn die Planung des Oberbaukonzeptes möglichst wirtschaftlich durchgeführt werden soll (RStO 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) Die Durchführung von Spaltzugschwellversuchen ergab für einen SMA 8 S die in **Bild 5** 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 °C .

Hinweis: Interpolieren Sie evtl. erforderliche Werte linear.

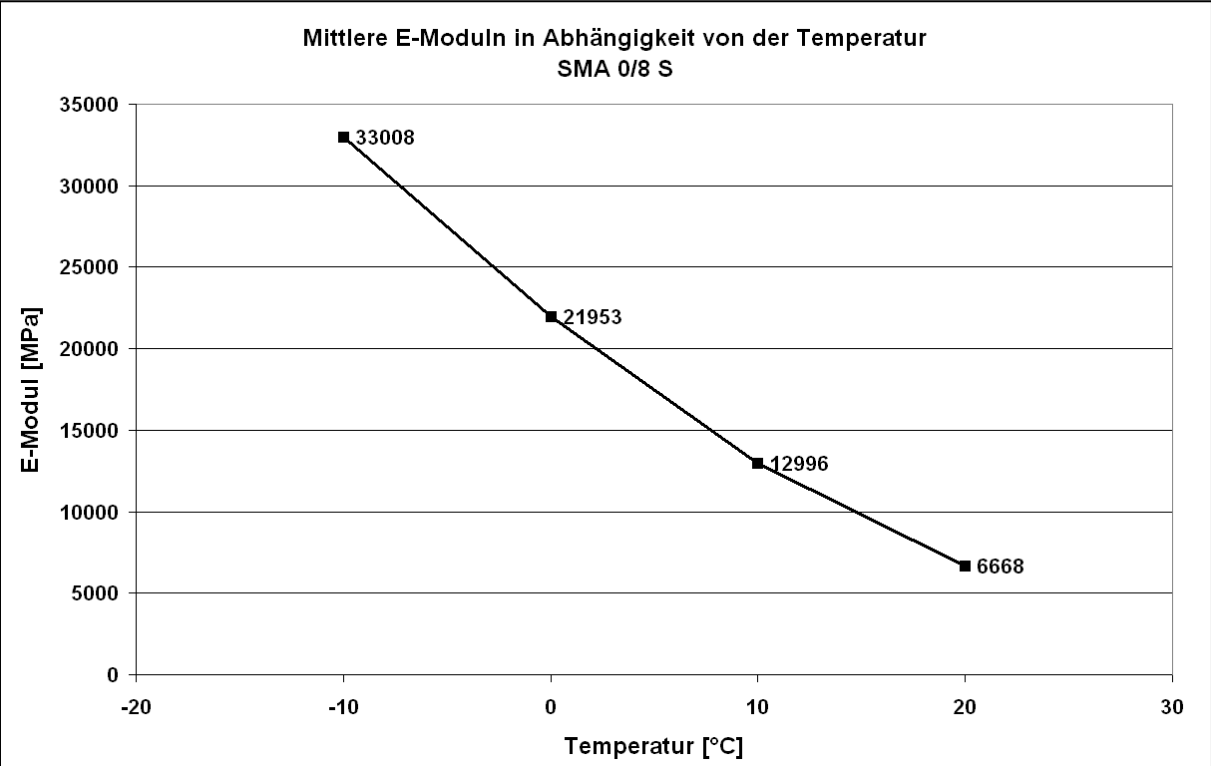


Bild 5: Mittlere E-Moduln in Abhängigkeit von der Temperatur

Die geplante Straßenbefestigung soll aus quadratischen Betonplatten erstellt werden. Um eine ausreichende Tragfähigkeit zu gewährleisten, wurde das maßgebende Biegemoment M bereits mit dem Verfahren nach Eisenmann berechnet.

- a) Bestimmen Sie die maximale Radlast Q in MN zur Einhaltung des Biegemomentes.
- b) Ermitteln Sie darüber hinaus die Plattendicke. Beachten Sie die gegebenen Randbedingungen vollständig.

Plattenlänge $L = 1900$ [mm]

Lastkreisradius $a = 95$ [mm]

Querdehnzahl $\mu = 0,16$ [-]

Maximales Biegemoment: $M = 9748$ [Nmm]

Biegezugfestigkeit unter Einzellast $\beta_{BZ} = 4,3$ [N/mm²]

Starker Verkehr mit Belastung durch Schwerverkehr

- a) Sind die folgenden Aussagen wahr oder falsch?
- Die Steifigkeit von Asphalt ist in der Regel größer als die Steifigkeit von Beton.
 - Die maximalen Zugbeanspruchungen einer Asphaltbefestigung, bestehend aus Asphaltdeckschicht, -binderschicht und -tragschicht, treten an der Unterseite der Binderschicht auf
 - Der Betrag der kryogenen Zugspannungen ist von der Anzahl der Achsüberrollungen abhängig.
- b) In der nachstehenden Abbildung 6 ist die Tragfähigkeit von zwei identischen Straßenaufbauten in Abhängigkeit von der Jahreszeit dargestellt. Bewerten Sie die zwei Bodentypen (A und B) hinsichtlich ihrer Frostempfindlichkeit. Welche Jahreszeit ist für die Tragfähigkeit der Straßenbefestigung als besonders kritisch einzustufen und warum?

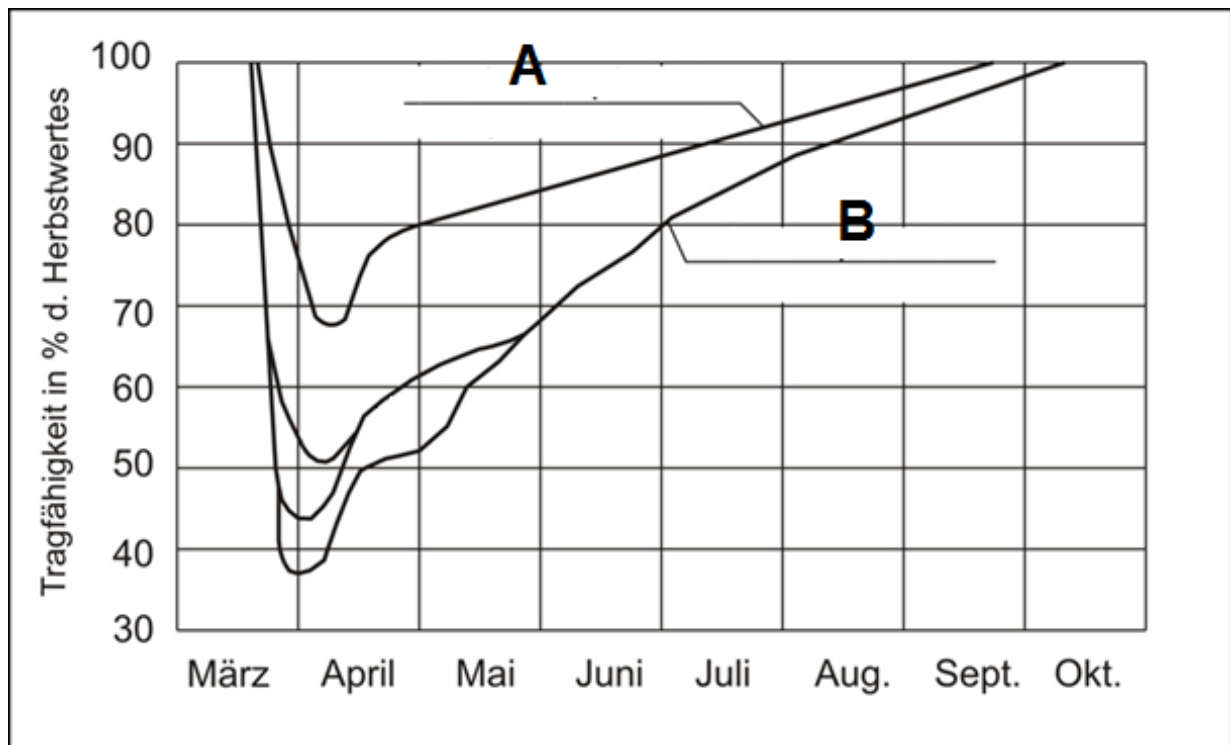
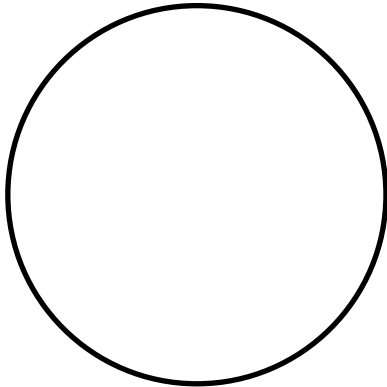


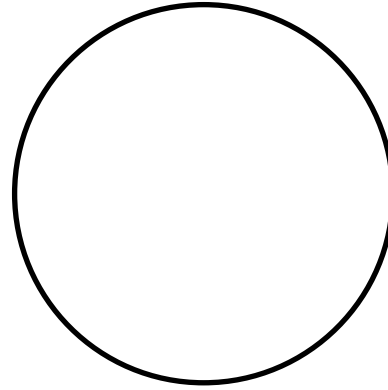
Bild 6: Tragfähigkeit zweier Bodentypen A und B

- c) Skizzieren Sie in der nachstehenden Grafik den zweiachsialen Spannungszustand im Probekörper während der Belastung sowie die Belastung des Spaltzugversuchs. Skizzieren Sie darüber hinaus (neues Bild) ein typischen Rissverlauf.

Spannung in x-Richtung



Spannung in y-Richtung



- d) Welches Risiko besteht bei der fehlerhaften Dimensionierung von Betonfahrbahnen bei langanhaltenden Hitzeperioden?

Auf einem Testfeld für Lastkraftwagen mit 44 t zulässigem Gesamtgewicht sollen neue Reifen getestet werden. Die Reifen unterscheiden sich maßgebend durch einen gestiegenen Reifeninnendruck um 0,30 MN/m².

- a) Weisen Sie nach, dass die maximalen Spannungen in Plattenmitte 1,000 MPa nicht übersteigen.

Nutzen Sie nachstehende Angaben:

$$p_{\text{alt}} = 1,10 \text{ MN/m}^2$$

$$h = 200 \text{ mm}$$

$$E = 30.000 \text{ MN/m}^2$$

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

$$Q = 60 \text{ kN}$$

$$\mu = 0,15$$

- b) Ist eine Erhöhung der Achslast bei 2 Reifen je Achse auf 16 t aus bautechnischer Sicht auch bedenkenlos möglich? Setzen Sie für Ihre Berechnung einen Reifendruck von 1,10 MN/m² an. Es gilt auch hier die Grenzspannung in Plattenmitte von 1,000 N/mm² in Plattenmitte.

Für einen bestehenden Autobahnabschnitt wurde eine neue Verkehrsprognose mittels RStO 12 erstellt. Die neu ermittelte Belastung innerhalb der Nutzungsdauer wurde mit 111 Mio. äquivalenten 10 t-Achsübergängen ermittelt.

- a) Bestimmen Sie die aufnehmbaren Momente der Längs- und Quertugen

- b) 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 30/37-3,0
Anteil grober gebrochener GK:	50 %
Plattenlänge:	475 cm
Plattenbreite:	275 cm
Dicke der Betondecke:	0,28 m
Längsfuge:	Anker
Quertuge:	Dübel

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} = γ _q · 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 γ _{c,fat} = 0,15 · lg B _{nq} + 0,748 · e ^{-0,1365}	γ _{c,fat}						
Anpassungsfaktor für Berechnungsfestigkeit für Ermüdungsnachweis	m _b = 1/ γ _{c,fat}						
Grundwert der Berechnungsfestigkeit	f ⁰ _d						
Berechnungsfestigkeit	f _d						
Ergebnis M_{Rd,u}							