

# 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 10.3.2020 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	$\Sigma$	%	
Punkte	55	35	30	44	16	180	100	Note
erreicht								

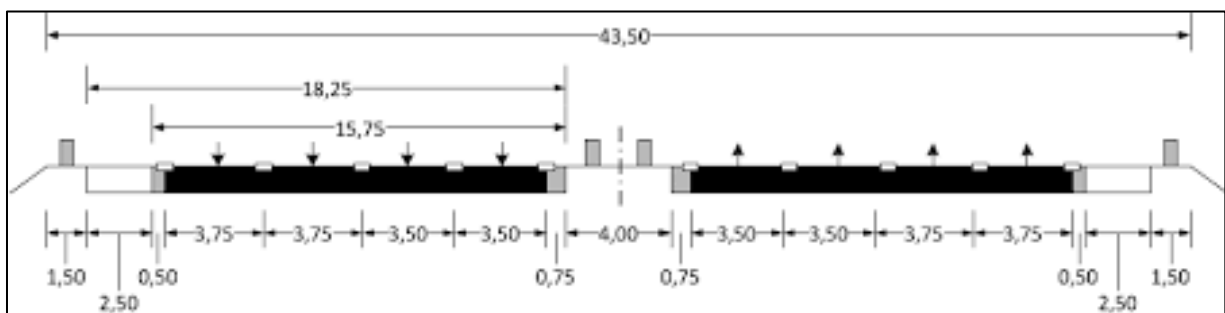
Name:

Matr. Nr.:

Sie sind mit der Erstellung eines Sanierungskonzepts für eine Bundesautobahn beschäftigt. Im Zuge der ersten Baumaßnahme soll nur die Fahrbahn in Fahrtrichtung Nord saniert werden, welche täglich ein DTV<sup>(SV)</sup> von 8.000 Fahrzeugen nutzt. Die angestrebte Nutzungsdauer beträgt 20 Jahre.

Aktuell liegt auf der Autobahn ein Regelquerschnitt 43,5 vor (Bild 1). Der Auftraggeber hat Ihnen konkrete Vorgaben hinsichtlich der geplanten Baumaßnahme gemacht. Es sollen quadratische Betonplatten mit 4,5 m Seitenmaß in einer Dicke von 0,25 m auf einer Schotterschicht verwendet werden.

Aufgrund eines Streiks der Zementindustrie steht Ihnen jedoch aktuell nur die Straßenbetonklasse StC 25/30 zur Verfügung.



**Rahmendaten:**

- Bettungszahl: 0,25
- Quertfuge: ohne Dübel
- Längsfuge: mit Ankern
- Höchstlängsneigung 2 %
- Biegezugfestigkeit 5,2 N/mm<sup>2</sup>

- a) Ermitteln Sie die dimensionierungsrelevante Beanspruchung B und die resultierende Belastungsklasse.
- b) Bestimmen Sie unter Verwendung der Anlage 1, welche charakteristische Spaltzugfestigkeit mindestens notwendig ist um ein aufnehmbares Moment im GZG  $\geq 31.500 \text{ Nmm/mm}$  gewährleisten zu können.
- c) Berechnen Sie die aufnehmbaren Momente unter Verwendung der in b) gewählten Straßenbetonklasse. Bitte benutzen Sie dazu die Anlage 2.
- d) Berechnen Sie die einwirkenden Momente aus der Verkehrsbelastung. Bitte benutzen Sie dazu die Anlage 3.
- e) Nachfolgend sind Ihnen zusätzlich die einwirkenden Momente infolge der Temperatur gegeben. Prüfen Sie, ob die gewählte Bauweise unter Berücksichtigung aller einwirkenden Kräfte geeignet ist.

## Vergleich der Momente

	GZT quasidyn.		GZG quasidyn.		GZT Ermüdung	
	Längs	Quer	Längs	Quer	Längs	Quer
<b>M<sub>ET;Etu</sub></b>	11264,87	7623,48	10591,85	9835,27	6825,56	6456,91
<b>M<sub>ev,Evu</sub></b>						
<b>Momente aus Einwirkung</b>						
<b>Aufnehmbares Moment:</b>						

- f) Nennen Sie zwei mögliche konstruktive Maßnahmen zur Erhöhung der aufnehmbaren Momente.
- g) Berechnen Sie unter Verwendung des maßgebenden Momentes für die stark verkehrsbeanspruchte Fläche (aus der Überlagerung von Temperatur und Verkehr) welche Plattendicke nach Eisenmann für diese Beanspruchung notwendig wäre!
- h) Berechnen Sie unter Verwendung der nach Eisenmann notwendigen Plattendicke die Spannung für den Lastfall „Plattenmitte“.

**Aufnehmbare Momente (Anlage 1)**

$$M_{Rd,Rdu} = 0,167 * hd^2 * fd$$

		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 <sub>ctk,core</sub>						
Querverteilungsfaktor	Yq						
Materialfaktor aus Nacherhärtung	kbn						
Materialfaktor aus Versagenswahrscheinlichkeit	kbt						
Anpassungsfaktor für quasidyn. Nachweise und konstante Last	mb						
<i>Berechnungen</i>							
Ermüdungsfestigkeitsbeiwert Y <sub>c, fat</sub> = 0,15 * lg B <sub>nq</sub> + 0,748 * e <sup>-0,1365</sup>	Y <sub>c, fat</sub>						
Anpassungsfaktor für Berechnungsfestigkeit für Ermüdungsnachweis	m <sub>b</sub> = 1/Y <sub>c, fat</sub>						
Grundwert der Berechnungsfestigkeit	f <sup>0</sup> <sub>d</sub>						
Berechnungsfestigkeit	f <sub>d</sub>						
<b>M<sub>Rd,Rdu</sub></b>							

**Aufnehmbare Momente (Anlage 2)**

$$M_{Rd,Rdu} = 0,167 * hd^2 * fd$$

		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 <sub>ctk,core</sub>							
Querverteilungsfaktor	Yq							
Materialfaktor aus Nacherhärtung	kbn							
Materialfaktor aus Versagenswahrscheinlichkeit	kbt							
Anpassungsfaktor für quasidyn. Nachweise und konstante Last	mb							
<i>Berechnungen</i>								
Ermüdungsfestigkeitsbeiwert $Y_{c, fat} = 0,15 * lg B_{nq} + 0,748 * e^{-0,1365}$	Y <sub>c, fat</sub>							
Anpassungsfaktor für Berechnungsfestigkeit für Ermüdungsnachweis	m <sub>b</sub> = 1/Y <sub>c, fat</sub>							
Grundwert der Berechnungsfestigkeit	f <sup>0</sup> <sub>d</sub>							
Berechnungsfestigkeit	f <sub>d</sub>							
<b>M<sub>Rd,Rdu</sub></b>								

**Einwirkende Momente aus Verkehrsbelastung (Anlage 3)**  $M_{ev,Evu} = mbL * mbD * Fd * 1000 [0,55 * \lg(lv/b) + 0,099 * b/lv - 0,011]$

		GZT quasidyn.		GZG quasidyn.		GZT Ermüdung	
		Längs	Quer	Längs	Quer	Längs	Quer
Lagerungsfaktor	mbL						
Dübelfaktor	mdD						
Reifenfaktor	Ye1						
Lastfaktor Straßenklasse	Ye2						
Lastfaktor Sonderbeanspruchung Radanordnung	Ye3	1	1	1	1	1	1
Stoßfaktor	Ye4						
Normradlast	Fn	40					
Zug-Elastizitätsmodul	Ectm						
Querdehnzahl	$\mu c$	0,15					
Bettungszahl	K	0,35					
Zweifache Berechnungsraddlast (gerundet)							
Kontaktdruckfaktor (Anhängerrachse)	Yek						
Kontaktdruck	p						
Normkontaktdruck (Anhängerrachse)	pn						
<i>Berechnungen</i>							
Berechnungsraddlast $Fd = ye1 * ye2 * ye4 * Fn$	Fd						
Elastische Länge lv	lv						
Radius Ersatzaufstandsfläche	r						
Radius Ersatzaufstandsfläche nach Lastverteilung	b						
	maßgebend						
<b><math>M_{ev,Evu} = mbL * mbD * Fd * 1000 [0,55 * \lg(lv/b) + 0,099 * b/lv - 0,011]</math></b>							

Sie sind in einem Planungsbüro für Flugbetriebsflächen beschäftigt. Derzeit sind Sie mit dem Projekt des Militärflughafens Eschborn beschäftigt. Sie haben dort bereits vor 5 Jahren die Dimensionierung der Parallelrollbahnen übernommen, wobei Sie davon ausgehen sollten, dass ausschließlich taktische Kampflugzeuge ( $ACN = 54$ ) die Flugbetriebsflächen nutzen. Sie haben für die Dimensionierung eine Betondecke in 31 cm herstellen lassen.

Der Betreiber des Militärflughafens hat bei einer Messe von Tragfähigkeitsmessungen mittels Falling Weight Deflectometer gehört und eine solche Messung der Flugbetriebsflächen in Auftrag gegeben. Dabei ergab sich ein Bettungsmodul von  $330 \text{ MN/m}^3$ .

- a) Sie sind bei Ihrer Dimensionierung der Parallelrollbahnen von einem Bettungsmodul von  $350 \text{ MN/m}^3$  ausgegangen. Begründen Sie rechnerisch, welche Konsequenzen für die Flugbetriebsfläche durch den veränderten Bettungsmodul entsteht.
- b) Die Bundeswehr plant aktuell einen weiteren Militärflughafen aufzulösen und die taktischen ( $ACN = 56$ ) sowie schweren strategischen Transportflugzeuge ( $ACN = 60$ ) auf den Flugplatz in Eschborn umzusiedeln. Ist dies Ihrer Meinung nach möglich? Begründen Sie nachvollziehbar!

Der Betreiber plant im Zuge der Zusammenlegung der Militärflughäfen die Erneuerung der Start- und Landebahn und hat Sie damit beauftragt je ein Sanierungskonzept in Asphalt- sowie in Betonbauweise (C30/37-3,3) zu entwickeln. Dabei würde er gerne auf Dübel verzichten. Der Untergrund (GW-Boden mit 103 %  $D_{Pr}$ ) soll aus wirtschaftlichen Gründen unverändert bleiben.

- c) Skizzieren Sie die zwei Sanierungsaufbauten unter Angabe von Maßen und Materialkennwerten. Nutzen Sie für den Beton möglichst großformatige Platten und für den Asphalt eine Kiestragschicht.
- d) Welche Mischgutsorte würden Sie für die Asphalttrag- und Asphaltdeckschicht vorschlagen?
- e) Berechnen Sie - für Ihr Sanierungskonzept in Asphaltbauweise - wie groß die zu erwartenden Spannungen an der Unterseite der Asphalttschicht ( $E = 12.000 \text{ MN/m}^2$ ) und der Kiestragschicht für den maßgebenden Lastfall sein werden.
- f) Wie hoch ist die zulässige Spannung an der Unterseite der Asphalttschicht für die maximal erwartete Beanspruchung unter Annahme eines hohen Sicherheitsbedürfnisses? Prüfen Sie unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus e), ob diese Vorgabe eingehalten wird.
- g) Welche Temperatur ist an der Unterseite der Asphalttschicht bei einer Oberflächentemperatur von  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  typischerweise zu erwarten?

- h) Wie hoch darf die Spannung in der Betondecke ohne Temperaturbelastung maximal sein? Gehen Sie für Ihre Berechnung vereinfacht davon aus, dass die Biegezugfestigkeit des Betons, der charakteristischen Spaltzugfestigkeit an Bohrkernscheiben entspricht.
  
- i) Skizzieren Sie, wie sich die Betonplatte bei Erwärmung von oben unter ihrem Eigengewicht verformen wird.



- a) Ihnen liegt eine Asphaltdeckschicht mit einem Gestaltfaktor von 95 % vor. Ist diese Deckschicht zur Lärmreduzierung geeignet? Begründen Sie Ihre Antwort!
- b) Welche Messmethode zur Bestimmung der Lärmemission einer Straßenoberfläche ist im innerstädtischen Bereich zu bevorzugen und warum?
- c) Welche Vorteile bieten zerstörungsfreie Messmethoden gegenüber zerstörenden hinsichtlich der Bauüberwachung?
- d) Welches Messverfahren für Gesteinskörnung würden Sie empfehlen, wenn Sie Wert auf hohe Messgeschwindigkeiten, eine gute Reproduzierbarkeit sowie robuste Hardware legen und Partikel  $\geq 80$  nm messen wollen?
- e) Ihnen sind die Bindemittelsteifigkeit, der Hohlraumgehalt des Korngerüstes sowie der Hohlraumausfüllungsgrad eines Probekörpers bekannt. Sie wollen auf die Asphaltsteifigkeit schließen - Mit welcher Methode und unter welchen Voraussetzungen ist dies möglich?
- f) Erläutern Sie die Problematik der Ausmessmethode bei der Bestimmung der Raumdichte von Asphalt-Probekörpern.
- g) Mit welcher Art von Kugelpackung lassen sich die höchsten und mit welcher die niedrigsten Hohlraumanteile erzeugen?
- h) Beschreiben Sie die Herstellung einer Halbstarren Deckschicht.
- i) Welche Ausflusszeit wird beim Frischmörtel angestrebt, damit dieser in einer Halbstarren Deckschicht verwendet werden kann?
- j) Welche Wirkung haben organische Zusätze auf die Eigenschaften von Asphalt?
- k) Erläutern Sie das Grundprinzip von Schaumbitumen.
- l) Nennen Sie zwei Vorteile des Datenformates IFC im Gegensatz zum OKSTRA.
- m) Was bedeutet die Abkürzung AIA? Erläutern Sie den Begriff kurz.
- n) Seit 2019 sind Thermomulden für alle herzustellenden Asphaltflächen Pflicht. Welche Art der Thermomulde würden Sie bei einer innerstädtischen Baumaßnahme mit Oberspannungsleitungen, die über die Straße führen, verwenden?

- o) Wann müssen Beschicker eingesetzt werden und welche Vorteile haben diese gegenüber der direkten Abkippung des Mischgutes vom Lkw in den Fertigerkübel?
- p) Sie haben von einem Asphaltgranulat die in der folgenden Tabelle aufgeführten Spannweiten der Zusammensetzung gegeben, welche maximale Zugabemenge können Sie bei einer Asphaltbinderschicht rechnerisch zugeben? Welche Art der Erwärmung des Asphaltgranulates ist erforderlich, um diese Zugabemenge auch praktisch zu ermöglichen?

Merkmal	Einheit	Spannweite
Bindemittelgehalt	M.-%	0,6
Kornanteil < 0,063 mm	M.-%	4,0
Kornanteil 0,063 bis 2 mm	M.-%	6,2
Kornanteil > 2 mm	M.-%	8,0

Die Zusammensetzung von Asphalten wird 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.

Das in der Siebtrommel verbliebene Gestein kann nach seiner Trocknung einer Siebanalyse unterzogen werden.

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.

Geringe Mengen des Bitumens können durch das Lösemittel nicht gelöst und ausgewaschen werden und verbleiben an und zum Teil in den Gesteinskörnern. Ihr Anteil wird als „unlösliches Bindemittel“ bezeichnet (und über eine vom Füllergehalt abhängige Konstante eingerechnet und ist schon im Formular eingetragen worden).

Aus dem Labor einer Mischanlage erhalten Sie das Formular (Anlage 1) aus der werkseigenen Produktionskontrolle.

- a) Berechnen Sie die fehlenden Werte im Formular.
- b) Tragen Sie die Sieblinie im Siebliniendiagramm auf. (Anlage 2)
- c) Um welche Asphaltart handelt es sich? Tragen Sie die Begrenzungslinien für diese Asphaltart in dem Siebliniendiagramm auf.
- d) Um welche Bindemittelart handelt es sich? Woraus schließen Sie das?
- e) Skizzieren Sie die Kraftduktilitätskurven für ein Straßenbaubitumen und ein elastomermodifiziertes PmB. Erläutern Sie die Unterschiede. Zu welchem dieser beiden Typen gehört das Bitumen aus d)?
- f) Gibt es Unregelmäßigkeiten bei den Messergebnissen aus a)? Welche?

Anlage 1

Besteller	WPK	Mischanlage	Schwarzasphalt, A-Stadt
Asphaltsorte		Entnahmedatum	##.##.####
Probenehmer	Müller	Entnahmestelle	Mischerauslauf
Bindemittelsorte		Einbaufirma	Schotterklopfer & Co.
Gestein	Diabas, Kalksteinmehl		
Bemerkungen	Zellulosefasern auf den feinen Sieben		

Rohdichte

Pyknometer Nr.	1
Volumen <sub>Pyknometer</sub>	1234,5
Masse <sub>Pyknometer</sub>	603,2
Masse <sub>Pykn.+Probe</sub>	1812,5
Masse <sub>Pykn.+Probe+Wasser</sub>	2450,8
Rohdichte [g/cm³]	

Marshallprobekörper

Masse <sub>vor Wasserlagerung</sub> [g]	1250,1	1252,6	1248,3	Mittel
Masse <sub>unter Wasser</sub> [g]	734,5	736,2	733,1	
Masse <sub>abgetupft</sub> [g]	1260,2	1261,0	1258,7	
Raumdicke [g/cm³]				
Hohlraumgehalt [Vol.-%]				

Bitumendaten

	Einzelwerte		Mittel
EP RuK [°C]	55,9	56,3	
Penetration [0,1 mm]	43,1	47,4	46,0

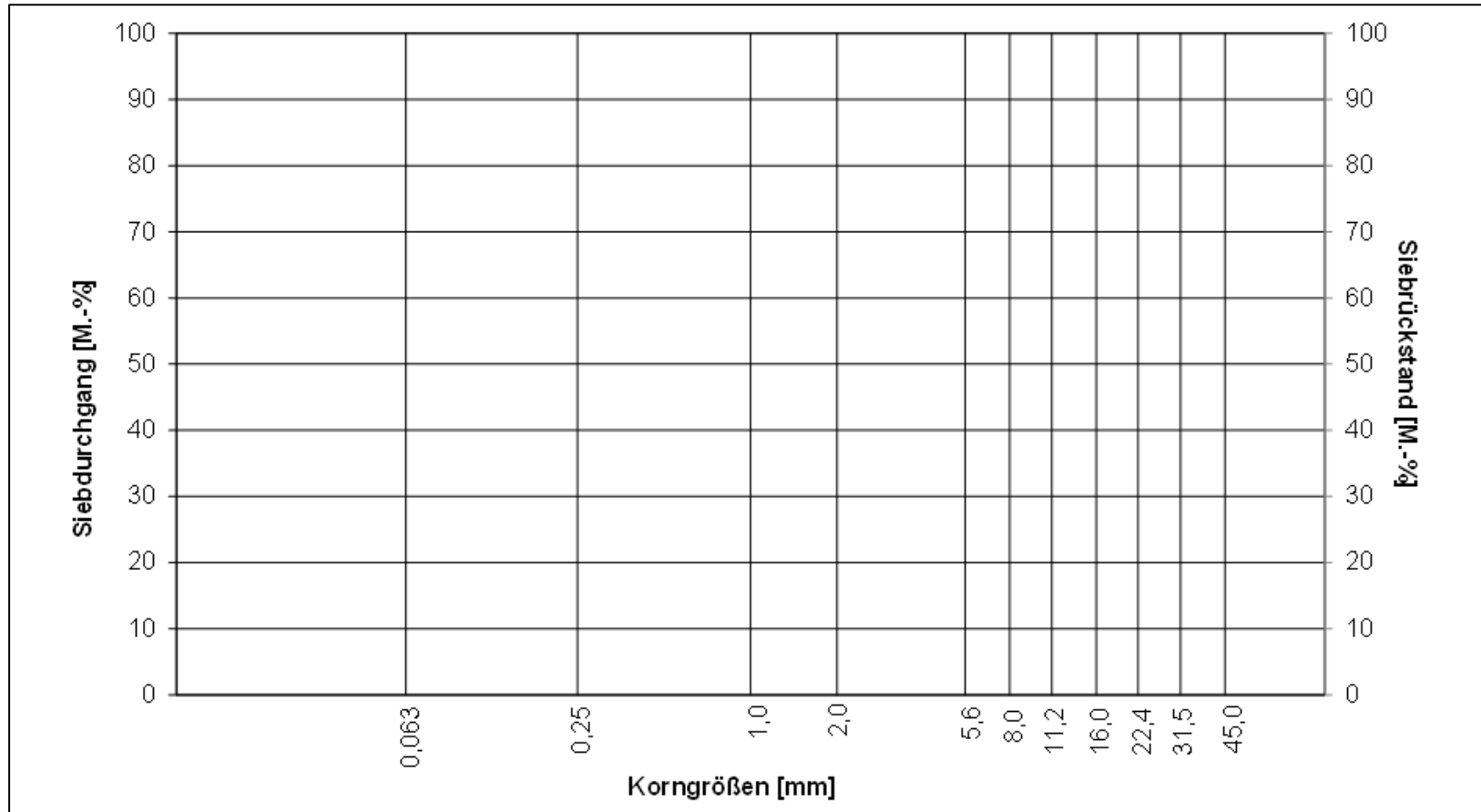
Bitumenrückgewinnung

Brutto <sub>Kolben</sub>	356,2 g
Tara <sub>Kolben</sub>	255,1 g
Masse <sub>Bit.löslich</sub>	g

Einwaage	1257,5	Rückstand [%]	Durchgang [%]	
31,5	0,0 g			Grobe Gesteinskörnung
22,4	0,0 g			
16	0,0 g			
11,2	30,4 g			
8	542,3 g			
5,6	309,2 g			
2,0	151,2 g			Feine Gesteinskörnung
1,0	67,0 g			
0,25	55,7 g			
0,063	58,9 g			
Füller <sub>Siebung</sub>	41,2 g			
Füller <sub>gesamt</sub>	g			
Auswaage	g			
Siebverlust	g			

Einwaage <sub>Asphalt</sub>	1503,5 g
Siebtrommel <sub>voll</sub>	1529,7 g
Siebtrommel <sub>leer</sub>	272,2 g
Auswaage <sub>Gestein</sub>	g
Zentrifugenbecher+Füller	584,3 g
Zentrifugenbecher	439,8 g
Füller <sub>Zentrifuge</sub>	g
Gesamtmineral	g
Bitumen <sub>löslich</sub>	%
Bitumen <sub>unlöslich</sub>	0,27 %
Bitumen <sub>Gesamt</sub>	%

Anlage 2



Die Ergebnisse eines Proctorversuches mit Schottertragschichtmaterial 0/31,5 mm sind in nachstehender Tabelle aufgeführt.

Probe-Nr.	-	1	2	3	4	5
Feuchte Probe + Zylinder	g	18726	18893	20717	18026	19929
Zylinder	g	14079	13940	15554	12805	14712
Feuchte Probe	g					
Zylinder	cm <sup>3</sup>					
Feuchtdichte	g/cm <sup>3</sup>					
Feuchte Probe + Behälter	g	5224	5346	5543	5612	5534
Trockene Probe + Behälter	g	5042	5116	5267	5281	5200
Behälter	g	384	391	399	417	402
Wasser	g					
Trockene Probe	g					
Wassergehalt	-					
Trockendichte	g/cm <sup>3</sup>					

- a) Zeichnen Sie die Proctorkurve in das Formblatt ein. Berechnen Sie zusätzlich anhand von vier Wassergehalten die 100 %-Sättigungskurve bei einer Gesteinsrohndichte von 2,670 g/cm<sup>3</sup> und zeichnen Sie diese zusätzlich ein.
- b) Bestimmen Sie die Proctordichte und den optimalen Wassergehalt.

Anlage: _____	
zu: _____	
<b>Proctorkurve</b> nach DIN 18127	Entnahmestelle: _____
Prüfungs-Nr.: _____ Bauvorhaben: _____	Tiefe: _____
Ausgef. durch: _____ Datum: _____	Bodenart: _____
	Art der Entnahme: _____
	Entnahme am: _____ durch: _____

Trockendichte in g/cm<sup>3</sup>

