

# Ruhr-Universität Bochum

Lehrstuhl für Verkehrswegebau

Prof. Dr.-Ing. M. Radenberg

## Modulprüfung WPC1

Dimensionierung, Stoffmodelle und Praxisaspekte in der  
Straßenbautechnik

Masterstudiengang UI (PO 21)

## Modulprüfung WP28

Dimensionierung, Stoffmodelle und Praxisaspekte in der  
Straßenbautechnik

Masterstudiengang Bauingenieurwesen (PO 21)

Freitag, den 08.03.2023 08:30 – 10:30 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	$\Sigma$	%	
Punkte	14	16	15	20	40	15	120	100	Note
erreicht									

Name:

Matr. Nr.:

Das Verhalten in den verschiedenen Gebrauchstemperaturbereichen wird durch bestimmte Prüfverfahren angesprochen.

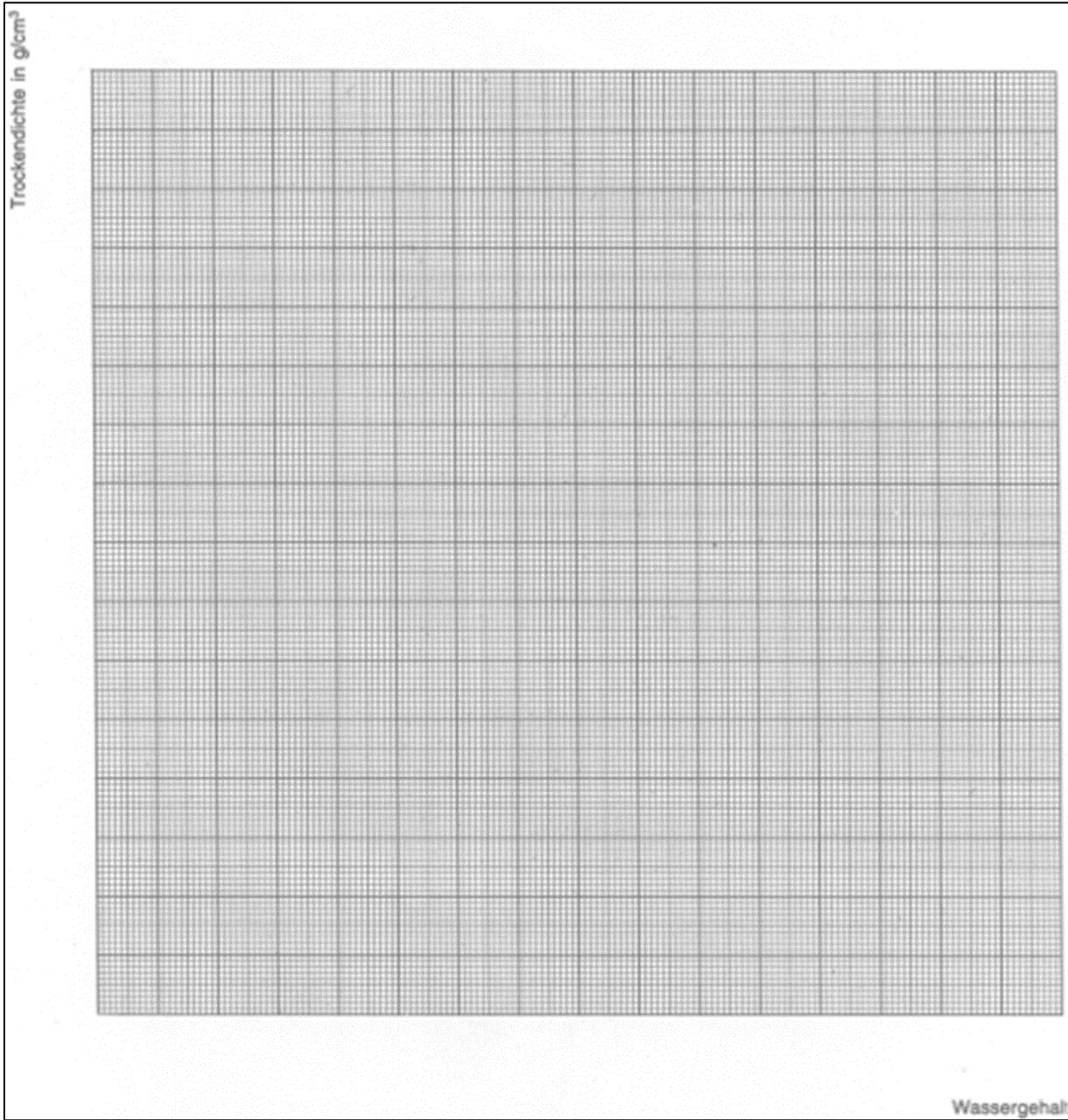
- a) Nennen Sie die Methoden für den niedrigen, den mittleren und den erhöhten Gebrauchstemperaturbereich, die im Regelwerk für Straßenbaubitumen und polymermodifizierte Bitumen mit Grenzwerten belegt sind.
- b) Geben Sie die Grenzwerte für ein PmB 25/55-55A an.
- c) Nennen Sie alternative Verfahren (nicht nur Prüfgeräte), um das Verhalten in den verschiedenen Gebrauchstemperaturbereichen zu messen.

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	17025	17218	17311	17360	17402
Zylinder	g	11702	11702	11702	11702	11702
Feuchte Probe	g	5323			5658	5700
Zylinder	cm <sup>3</sup>	2209	2209	2209	2209	2209
Feuchtdichte	g/cm <sup>3</sup>					2,580
Feuchte Probe + Behälter	g	3309	4002	3682	4450	3545
Trockene Probe + Behälter	g	3192	3800	3466	4162	3280
Behälter	g	332	337	349	368	335
Wasser	g	117	202			
Trockene Probe	g	2860	3463			
Wassergehalt	-	0,041	0,058			
Trockendichte	g/cm <sup>3</sup>	2,315				
Gesteinsrohndichte:	2,765 g/cm <sup>3</sup>					

- a) Berechnen Sie die fehlenden Werte.
- b) Zeichnen Sie die Proctorkurve in das Formblatt (Anlage 1) ein. Berechnen Sie die 100 %-Sättigungskurve und zeichnen Sie diese zusätzlich ein.
- c) Bestimmen Sie die Proctordichte und den optimalen Wassergehalt.

Anlage 1

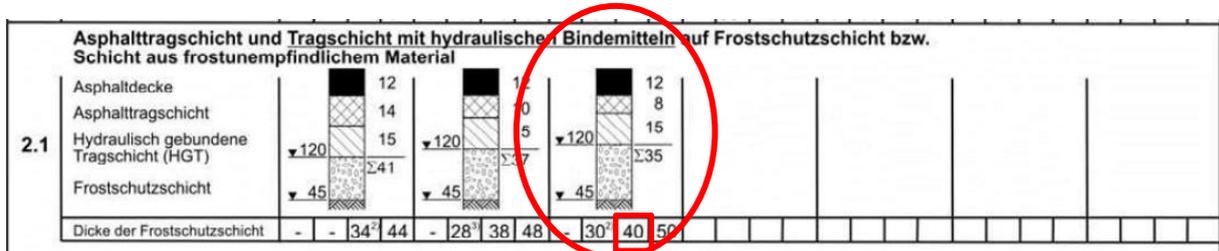


- a) Sie haben die in Tabelle 1 angegebene Achslastverteilung. Bestimmen Sie die Anzahl der äquivalenten 10 t -Achsenübergänge und rechnen Sie diese in 8,2 t-Achsenübergänge um.

**Tabelle 1**

Achslast [kN]	Anzahl absolut	Anzahl prozentual	Äquivalenzfaktor (bez. auf 10 t-Achse)	äquivalente Anzahl prozentual
10	2.485			
25	8.680			
50	1.935			
75	570			
100	225			
	13.895			

- b) Sie haben den unten angegebenen Aufbau:



Rechnen Sie den Oberbau in den Aufbauindex  $D_{\text{Aufbau}}$  um!

Für die Berechnung stehen Ihnen die folgenden Daten zur Verfügung:

$$D_{\text{Aufbau}} = 0,54 \cdot h_1 + 0,16 \cdot r_2 \cdot h_2 + 0,14 \cdot h_3 + 1,0 \text{ [Zoll]}$$

$D_{\text{Aufbau}}$  = Aufbauindex

$h_1$  = Dicke der Decke

$h_2$  = Dicke der Tragschicht

$h_3$  = Dicke der Frostschutzschicht

$r_2$  = 1,0 bei gebrochenem Gestein

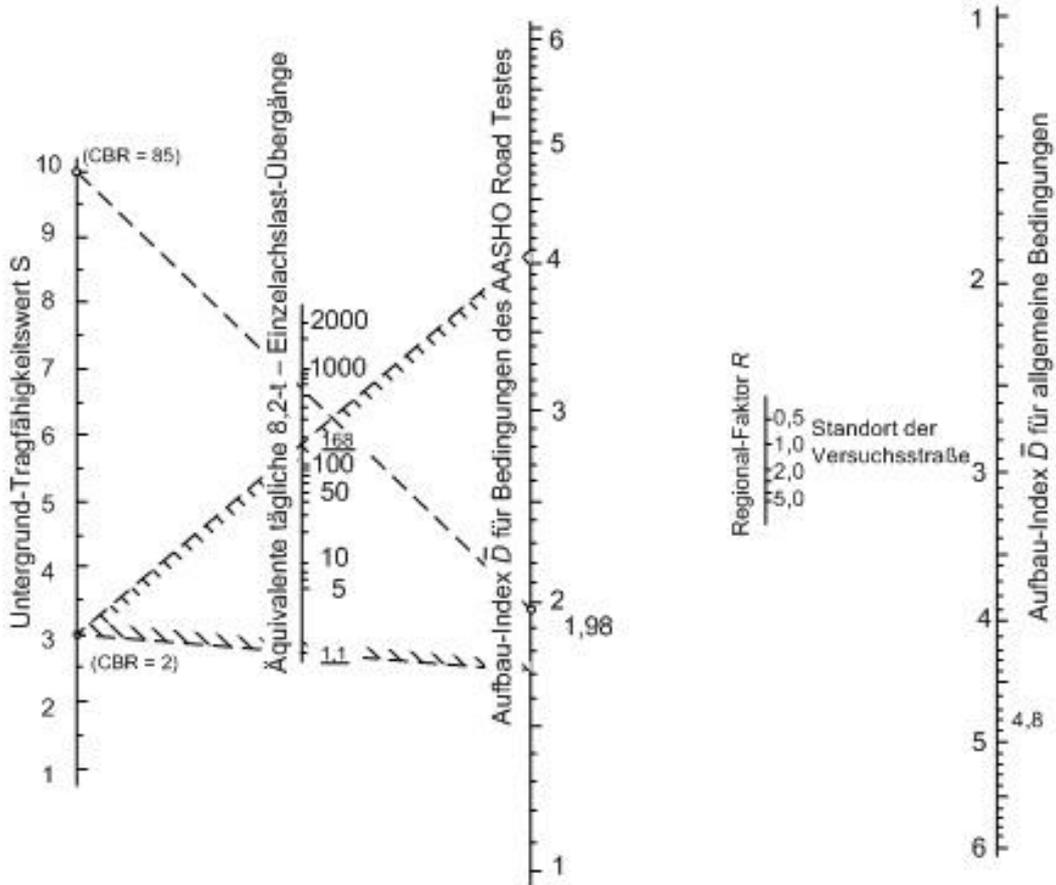
0,8 bei Kies

2,6 bei bitumengebundener Tragschicht

2,1 bei zementgebundener Tragschicht

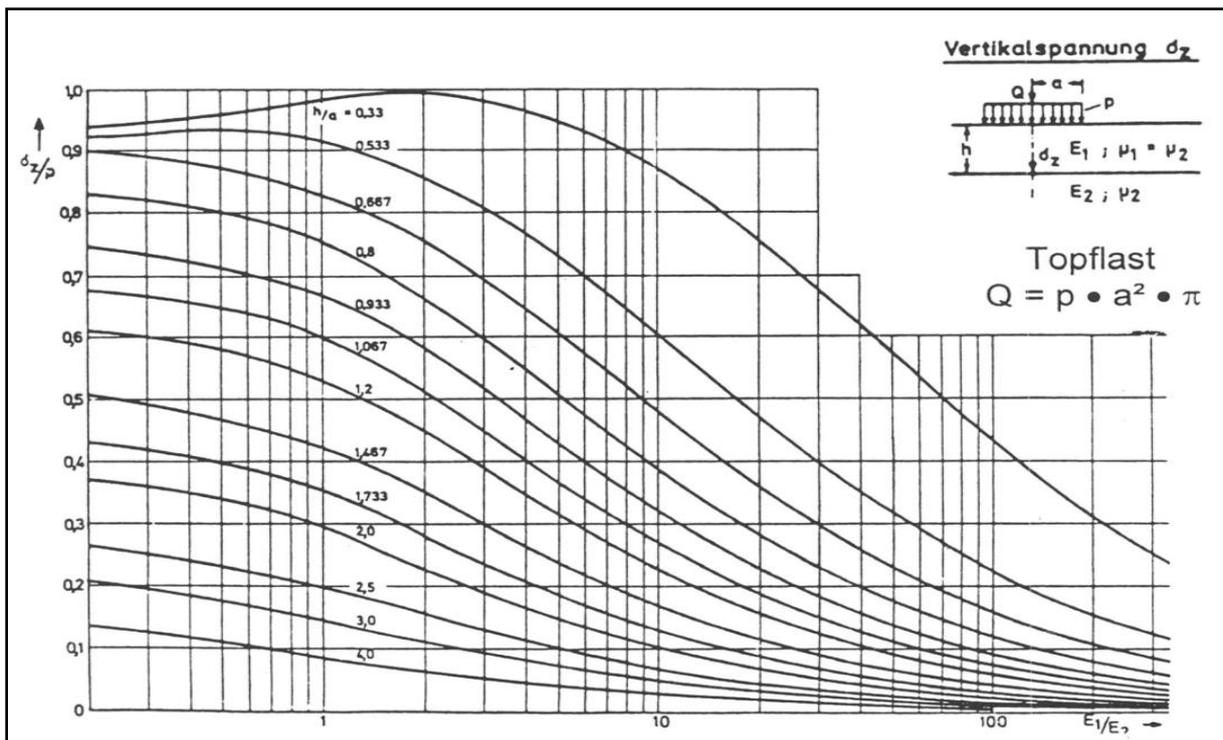
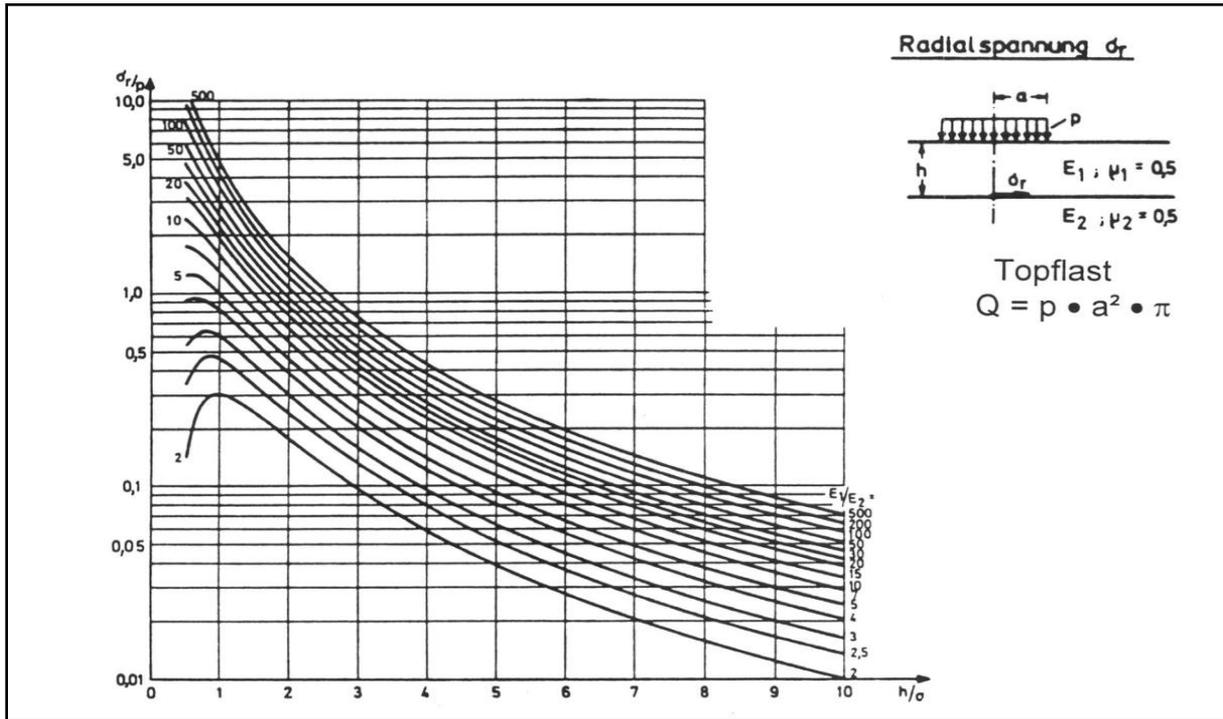
**2,54 cm = 1 Zoll**

c) Hält der Aufbau der in a) ermittelten Belastung stand? Ermitteln Sie den erforderlichen Aufbauindex aus der Belastung unter Verwendung des folgenden Nomogramms. Gehen Sie von einem Regionalfaktor  $R = 3,0$  aus und  $S = 3,5$ .





Anlage 2



Auf der Bundesautobahn A92 zwischen Flughafen München und Landshut ist die Sanierung eines Streckenabschnittes in Betonbauweise geplant. Der Streckenabschnitt weist eine B-Zahl von 120 Mio. äquivalenten 10 t -Achsübergängen auf und soll in einer Dicke von 260 mm saniert werden.

Die benötigten verstärkten Anker können derzeit nicht geliefert werden, weswegen Sie auf normale Anker zurückgreifen müssen. Die Dübel hingegen werden wie geplant geliefert. Ein weiteres Problem liegt in der Verfügbarkeit der groben, gebrochenen Gesteinskörnung für Beton.

Sie wollen die Baumaßnahme nun zeitnah realisieren und sind damit beauftragt ein alternatives Konzept zu der ursprünglichen mit verstärkten Ankern geplanten Variante zu erarbeiten. Ist es für diesen Planfall möglich, mit nur 15 % grober Gesteinskörnung zu bauen? Falls nicht, wie hoch muss der Anteil mindestens sein, damit die Nachweise nach RDO Beton erfüllt sind?

Nachfolgend sind Ihnen die Formblätter für die aufnehmbaren Momente und die einwirkenden Momente aus Verkehrsbelastung sowie Temperatur gegeben. Das Formular für die Verkehrsbelastung hatten Sie bereits für den alten Planfall ausgefüllt.

Beachten Sie folgende Parameter:

- Plattenbreite: 3500 mm
- Plattenlänge: 4500 mm
- Betongüte: StC 35/45 – 3,7
- Unterlage: Schottertragschicht
- $q_{B,M}$ : 0,33

Vergleich der Momente						
	GZT quasidyn.		GZG quasidyn.		GZT Ermüdung	
	Längs	Quer	Längs	Quer	Längs	Quer
MET;Etu						
Mev,Evu						
Momente aus Einwirkung						
Aufnehmbare Momente						

**Aufnehmbare Momente**

		GZT quasidyn.		GZG quasidyn.		GZT Ermüdung		
		Längs	Quer	Längs	Quer	Längs	Quer	
Lastkollektivquotient für 90 kN Bezugsachslast		0,49						
Berechnungslastwechsel (90 kN) B90	Bn							
Berechnungslastwechsel (90 kN) Bnq	Bnq							
Spaltzugfestigkeit am Bohrkern beim 5%-Quantil	f <sub>ctk,core</sub>	3,7						
Bettungszahl	K	0,20						
Querverteilungsfaktor	Yq							
Materialfaktor aus Nacherhärtung	kbn							
Materialfaktor aus Versagenswahrscheinlichkeit	kbt							
Anpassungsfaktor für quasidyn. Nachweise und konstante Last	m <sub>b</sub>	1,0		1,0				
<i>Berechnungen</i>								
Ermüdungsfestigkeitsbeiwert Y <sub>c, fat</sub>	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> = 0,167 * hd<sup>2</sup> * f<sub>d</sub></b>								

## Einwirkende Momente aus Verkehrsbelastung

		GZT quasidyn.		GZG quasidyn.		GZT Ermüdung	
		Längs	Quer	Längs	Quer	Längs	Quer
Lagerungsfaktor	mbL	0,88					
Dübelfaktor	mdD	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Reifenfaktor	Ye1	0,95	0,99	1,02	1,07	1,02	1,07
Lastfaktor Straßenklasse	Ye2	1,6		1,15		0,9	
Lastfaktor Sonderbeanspruchung Radanordnung	Ye3	1	1	1	1	1	1
Stoßfaktor	Ye4	1,03	1,08	1,07	1,16	1,1	1,24
Normradlast	Fn	50					
Zug-Elastizitätsmodul	Ectm	41.000					
Querdehnzahl	$\mu$ c	0,29					
Bettungszahl	K	0,2					
Kontaktdruckfaktor	Yek	0,92		1,29		1,11	
Normkontaktdruck	pn	0,65		0,65		0,65	
<i>Berechnungen</i>							
Berechnungsradlast $F_d = ye_1 * ye_2 * ye_4 * F_n$	$F_d$	78,280	85,536	62,756	71,369	50,490	59,706
Elastische Länge $l_v$	$l_v$	756,678					
Radius Ersatzaufstandsfläche	r	206,0		147,7		141,0	
Radius Ersatzaufstandsfläche nach Lastverteilung	b	192,6		144,7		139,8	
	Maßg.	206,0		147,7		141,0	
$M_{ev}, E_{vu} = mbL * mbD * F_d * 1000 [0,55 * \lg(l_v/b) + 0,099 * b/l_v - 0,011]$		15754,3	17214,6	15405,0	17519,5	12711,5	15102,2

**Einwirkende Momente aus Temperatur**

		GZT quasidyn.		GZG quasidyn.		GZT Ermüdung	
		Längs	Quer	Längs	Quer	Längs	Quer
Zug-Elastizitätsmodul	Ectm	41.000					
Wärmedehnzahl	αct						
Faktor Verformungsaufbau bei Temp.beanspruchung	Ytot	0,67					
Faktor (Temp.gradient)	C1	0,14		0,09		0,05	
Temp.faktor (Verkehrsverteilung über den Tag)	mT1						
Temp.faktor (Temp.gebiet)	mT3	1,00					
Plattenlänge	Lp						
Plattenbreite	Bp						
Kontaktfaktor	mbA						
<i>Berechnungen</i>							
Temp.gradient $\delta_T = C_1 * e^{-0,004 \cdot h}$	δT						
Red. Plattenlänge	Lp,red						
Red. Plattenbreite	Bp,red						
Verhältnis Bp,red/Lp,red	Bp,red/ Lp,red						
	Lkrit						
Verhältnis Lp,red/Lkrit bzw. Bp,red/Lkrit							
Temperaturfaktor (Plattengeometrie)	mT2						
<b><math>M_{ET;Etu} = \alpha_{ct} * Y_{tot} * E_{ctm} * (hd^3 * m_{T1} * m_{T2} * m_{T3} * \delta T) / 12</math></b>							

- a) Warum sind in verschiedenen Bereichen eines Flughafens unterschiedliche Bauweisen gefordert? Benennen Sie die Bereiche in den die Bauweise Asphalt **nicht** zugelassen ist sowie die Bereiche in den die Bauweise Beton **nicht** zugelassen ist.
- b) Welche Materialbelastung ist für den Ermüdungsnachweis bei Asphaltsschichten bei der Dimensionierung von Flugbetriebsflächen maßgebend?
- c) Für die Dimensionierung von öffentlichen Flugbetriebsflächen werden unter anderem ACN- und PCN-Werte herangezogen. Wann werden diese Werte verwendet und wofür stehen die Abkürzungen ACN und PCN?

Gegeben ist folgender PCN-Wert: **PCN 55/R/C/W/T**. Welche Bedeutung kommt den einzelnen Angaben zu?

- d) 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.
- e) Der Neubau einer Rollbahn eines Militärflughafens für Flugzeuge in der Größenordnung eines Airbus A 310 soll dimensioniert werden. Als Tragschicht auf dem Untergrund ( $E_{v2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$ ) ist eine hydraulisch gebundene Tragschicht vorzusehen.

Bestimmen Sie die Schichtdicken und skizzieren Sie den gewählten Aufbau inkl. Angaben.