



INGENIEUR- UND PRÜFGESELLSCHAFT
analytisch | konzeptionell | innovativ

HNL Ingenieur- und Prüfgesellschaft mbH | Peiner Hag 7-9 | 25497 Prisdorf

Niedersächsische Landesbehörde für
Straßenbau und Verkehr
Geschäftsbereich Lüneburg
Am Alten Eisenwerk 2d
21339 Lüneburg

VMPA anerkannte Betonprüfstelle

Mitglied im **bup**

Anerkannt nach RAP Stra 15
für die Fachgebiete:

		A	BB	BE	C	D	E	F	G	H	I	K
		Böden insicht. Boden- verbesserun- gen	Böden- auditorien und ge- mischte Pflanz- flächen modifizier- te Böden	Böden- multio- nen, Fluxitu- nen	Fugen- füllstoffe	Gesteins- körnern	Fahrdah- nen aus Beton, Betontrag- schichten	Überflä- chenver- änderungen, Dünne Kalk- schichten in Kalk- bauweise, Dünne Kalk- schichten in Heiß- bauweise auf Ver- festigung	Asphalt- trag- schichten mit hydraulischen Bindemittel- en, Boden- verbesserun- gen	Asphalt- trag- schichten mit hydraulischen Bindemittel- en, Boden- verbesserun- gen	Asphalt- trag- schichten mit hydraulischen Bindemittel- en, Boden- verbesserun- gen	Asphalt- trag- schichten mit hydraulischen Bindemittel- en, Boden- verbesserun- gen
0	Bausstoff- eingangs- prüfungen				C0 ¹⁾	D0 ²⁾						
1	Eignungs- prüfungen	A1			C1					H1	I1	
2	Fremdüber- weichungs- prüfungen				C2			F2			I2	
3	Kontroll- prüfungen	A3	BB3	BE3	C3	D3	E3	F3	G3	H3	I3	
4	Schweiß- untersu- chungen	A4	BB4	BE4	C4	D4	E4	F4	G4	H4	I4	

¹⁾ Nur bei Fugeneinlagen und Fugenmassen nach DIN EN 14188

²⁾ Nur bei Gesteinskörnungen für Bausstoffgemische, die einer Güteüberwachung nach den TL G 508-S10 unterliegen

Kennziffer: 246062
bitte bei allen Zuschriften angeben

Seite 1 von 21 Seiten

Prisdorf, den 16.01.2025 AH

Gutachterliche Stellungnahme Nr. 5-0788-2024

Projekt: Substanzbewertung

B 248, OU Lüchow, Abschnitte 955 und 935

Der Prüfbericht umfasst: 21 Seiten
4 Anlagen mit insgesamt: 65 Seiten

Reste von Materialproben werden nach erfolgten Untersuchungen automatisch von uns entsorgt.

Auf Wunsch können wir gerne die Reste von Materialproben gegen Berechnung einer Lagergebühr für Sie aufbewahren.

Dieser Prüfbericht darf nur ungekürzt vervielfältigt werden.

Die gekürzte oder auszugsweise Vervielfältigung bedarf der schriftlichen Genehmigung der HNL Ingenieur- und Prüfgesellschaft mbH.

Inhalt

1	Auftrag und Anlass	3
2	Vorgehensweise	3
2.1	Probenahme	3
2.2	Ermittlung von Materialkennwerten	6
2.3	Substanzbewertung	7
3	Prüfmethoden zur Ermittlung der Performance-Kennwerte	7
3.1	Spaltzug-Schwellversuche	7
3.1.1	Bestimmung der Steifigkeit	8
3.1.2	Ermittlung der Ermüdungsfunktion	9
4	Untersuchungsergebnisse (Materialparameter)	10
4.1	Ergebnisse der Bestimmung der Steifigkeit	11
4.2	Ergebnisse der Ermüdungsversuche	14
4.3	Ergebnisse der Abscherversuche	15
5	Substanzbewertung/Rechnerische Restnutzungsdauer	16
	Anlagen	20
	Technische Regelwerke	21
	Software	21

1 Auftrag und Anlass

Die Firma HNL Ingenieur- und Prüfgesellschaft mbH wurde vom Geschäftsbereich Lüneburg der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr beauftragt eine Substanzbewertung für die Abschnitte 955 und 935 der Bundesstraße 248 (Ortsumfahrung Lüchow) durchzuführen. Die Bewertung der strukturellen Substanz hat zum Ziel, die verbleibende Nutzungsdauer einer Straßenbefestigung rechnerisch abzuschätzen. Das Ergebnis der Substanzbewertung kann dann als Grundlage für die Entscheidung herangezogen werden, ob ein unter Verkehr liegender gebundener Oberbau erhalten oder erneuert werden soll.

Zum aktuellen Zeitpunkt liegen die „Richtlinien zur Bewertung der strukturellen Substanz des Oberbaus von Verkehrsflächen in Asphaltbauweise“ (RSO Asphalt) lediglich in der Entwurfsfassung aus dem Jahr 2019 vor. Aus diesem Grund wurde mit dem Auftraggeber festgelegt, die Beprobung (Bohrkernentnahmen) zwar nach dem Schema der RSO Asphalt (Entwurf) als Abschnittsbeprobung durchzuführen, jedoch für die Abschätzung der Restnutzungsdauer die Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RDO Asphalt 09/24) zu heranzuziehen.

Anhand des gemäß RDO Asphalt zu führenden Ermüdungsnachweises am Asphalt kann rechnerisch abgeschätzt werden, wann theoretisch eine durch Biegezugspannungen initiierte Rissbildung an der Unterseite der Asphaltbefestigung (i.d.R. Asphalttragschicht) beginnt. Unabhängig davon können im geplanten Nutzungszeitraum bzw. während der ermittelten Restnutzungsdauer Erhaltungsmaßnahmen an Asphaltdeck- und Asphaltbinderschicht erforderlich werden.

2 Vorgehensweise

2.1 Probenahme

Nach Vorgabe des Auftraggebers können die zu untersuchenden Abschnitte 955 und 935 der B 248, aufgrund ihres Aufbaus und Zeitpunktes des Baus (2 Bauabschnitte im Rahmen des Neubaus im Jahr 2011) jeweils als strukturell homogene Streckenabschnitte betrachtet werden. Entsprechend werden Abschnittsbeprobungen gemäß den RSO Asphalt Entwurf durchgeführt. Demnach sind bei einer Abschnittslänge von 1.000 m mindestens 16 Bohrkerne und je weiterem angefangenen Kilometer Länge weitere 5 Bohrkerne zu entnehmen. Für die Beprobung ergeben sich daraus für Abschnitt 955 mit einer Länge von 2.482 m 26 Bohrkerne und für Abschnitt 935 mit einer Länge von 2.023 m 21 Bohrkerne. Alle Bohrkerne wurden aus der äußeren Rollspur entnommen. Bild 1 zeigt die untersuchten Abschnitte 955 und 935 der B 248 im Bereich der Ortsumfahrung Lüchow.

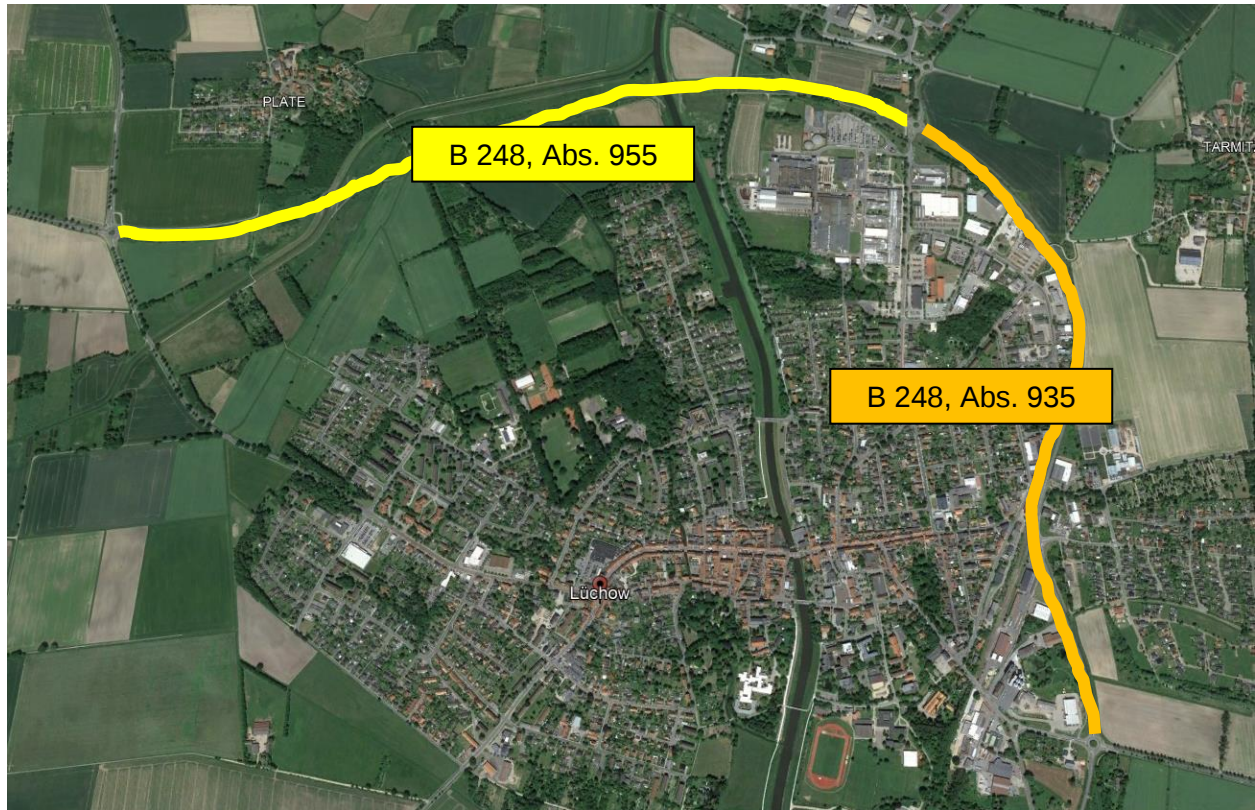


Bild 1: Ortsumfahrung Lüchow, B 248 Abschnitte 955 und 935 [Google Earth]

Aus Tabelle 1 (für Abschnitt 955) und aus Tabelle 2 (für Abschnitt 935) kann die Stationierung der Bohrkerne entnommen werden. Bohrkerne mit der Bezeichnung *SVB* werden zur Bestimmung des Schichtenverbundes mit dem Abscherversuch gemäß TP Asphalt-StB, Teil 48 A verwendet. An den mit *SB* bezeichneten Bohrkernen werden an allen Asphaltschichten Steifigkeiten gemäß TP Asphalt-StB, Teil 26 bestimmt. Die Bohrkerne mit der Bezeichnung *EV* dienen zur Bestimmung der Ermüdungsfunktion der Asphalttragschicht gemäß TP Asphalt-StB, Teil 24.

Tabelle 1: Bohrkerne aus Abschnitt 955 der B 248

Station	Fahrtrichtung	
	Dannenberg	Lüchow
0+010	EV9, SB4	
0+200		EV8, SVB2
0+400	EV10	
0+600		EV7, SB3
0+700	EV11	
0+850		EV6
1+000	EV12, SB5, SVB3	
1+150		EV5
1+304	EV13	
1+400		EV4, SB2
1+601	EV14	
1+750		SVB1, EV3
1+900	EV15, SB6	
2+050		EV2
2+200	EV16, SVB4	
2+350		EV1, SB1

Tabelle 2: Bohrkerne aus Abschnitt 935 der B 248

Station	Fahrtrichtung	
	Dannenberg	Lüchow
0+075	EV7	
0+200		EV6, SB3
0+400	EV8, SVB2	
0+600		EV5
0+750	EV9, SB4	
0+850		EV4
1+000	EV10	
1+150		EV3, SB2, SVB1
1+300	EV11, SB5	
1+500		EV2
1+600	EV12, SVB3	
1+800		EV1, SB1
1+950	EV13	

Die Bohrkerne wurden im Laboratorium aufgemessen und fotografiert. Die Bilder der Bohrkerne sind in der Anlage 1 dargestellt.

Im Bereich des Abschnitts 955 ist im Mittel folgender Aufbau vorhanden:

3,5 cm Asphaltdeckschicht 8

8,7 cm Asphaltbinderschicht 16

9,6 cm Asphalttragschicht 32

Σ : 21,8 cm

auf 20,6 cm Verfestigung

Die Bohrkerne EV9 und SB4, die im Bereich von Station 0+010 entnommen wurden, weisen einen abweichenden Aufbau bestehend aus zweilagiger Asphaltbinder- und -tragschicht auf. Bei der visuellen Begutachtung der Bohrkerne wurde weiterhin an den Bohrkernen EV10, EV11 und EV15 Zerfall im unteren Bereich der Asphalttragschichten festgestellt. Aus den genannten Bohrkernen konnte keine Probekörper in ausreichender Dicke für Ermüdungsversuche hergestellt werden.

Im Bereich des Abschnitts 935 ist im Mittel folgender Aufbau vorhanden:

3,6 cm Asphaltdeckschicht 8

8,6 cm Asphaltbinderschicht 16

9,2 cm Asphalttragschicht 32

Σ : 21,4 cm

auf 19,8 cm Verfestigung

Insbesondere an den Bohrkernen EV10 und SB3 wurde im unteren Bereich der Asphalttragschicht Ausbrüche erkannt. Probekörper für Materialuntersuchungen wurden hier aus dem oberen Bereich der Asphalttragschicht hergestellt, erwiesen sich jedoch als nicht prüfbar.

2.2 Ermittlung von Materialkennwerten

Zur Bewertung der strukturellen Substanz sind Kenntnisse hinsichtlich des Schichtenverbundes zwischen den einzelnen Asphaltlagen erforderlich, da sich die durch Belastung hervorgerufenen Biegezugspannungen in der Größe sowie die Stelle (Tiefe) an der diese auftreten in Abhängigkeit vom Verbund deutlich unterscheiden. Dies hat wiederum einen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit (ertragbare Belastung) des Asphaltes.

Weiterhin ist zur Aufstellung von Stoffmodellen die Kenntnis über materialtechnische Eigenschaften erforderlich. Dafür sind gemäß den RDO Asphalt die Steifigkeiten aller Asphaltschichten zu bestimmen und an der Asphalttragschicht noch die Ermüdungsversuch zu ermitteln. Auf die angewandten Prüfmethoden zur Ermittlung der Performance-Kennwerte wird in Abschnitt 3 weiter eingegangen. Die projektspezifischen Untersuchungsergebnisse sind im Abschnitt 4 dargestellt.

2.3 Substanzbewertung

Zur abschließenden Substanzbewertung wird wie bereits in Abschnitt 1 erläutert auf das Verfahren der RDO Asphalt 09/24 zurückgegriffen werden. Bei der rechnerischen Ermittlung der Restnutzungsdauer werden neben den im Labormaßstab zu ermittelnden Materialparametern (Performance-Kennwerte) die tatsächlich vorhandene Verkehrsbelastung sowie klimatische Bedingungen berücksichtigt. Die Berechnung der Beanspruchung (Spannungen und Dehnungen) erfolgt auf Grundlage der Mehrschichtentheorie. Dabei werden die Asphaltschichten in weitere fiktive Teilschichten unterteilt, so dass die Steifigkeitsmoduln der Asphaltschichten dem Temperaturverlauf mit der Tiefe angepasst werden kann. Für die Verformungskennwerte der übrigen Schichten (hier: Verfestigung, frostsichere ungebundene Schichten) werden Annahmen getroffen.

3 Prüfmethoden zur Ermittlung der Performance-Kennwerte

3.1 Spaltzug-Schwellversuche

Die Ermittlung der Ermüdungsfunktion und Bestimmung der Steifigkeit erfolgt mit dem Spaltzug-Schwellversuche gemäß den TP Asphalt-StB, Teil 24 bzw. Teil 26. Die für den Spaltzug-Schwellversuch erforderliche Belastungsvorrichtung ist in Bild 2 exemplarisch dargestellt. Beim Spaltzug-Schwellversuch werden zylindrische Probekörper geprüft, wofür die Probekörper in eine Belastungsvorrichtung gemäß Bild 2 mit horizontaler Dehnungsmessmöglichkeit eingebaut und über zwei Druckstreifen durch sinusförmige, achslastsimulierende Impulse wiederkehrend dynamisch in einer Prüfmaschine beansprucht werden. Der Horizontalspannungsverlauf im Probekörper während des Versuchs ist in Bild 3 schematisch dargestellt.

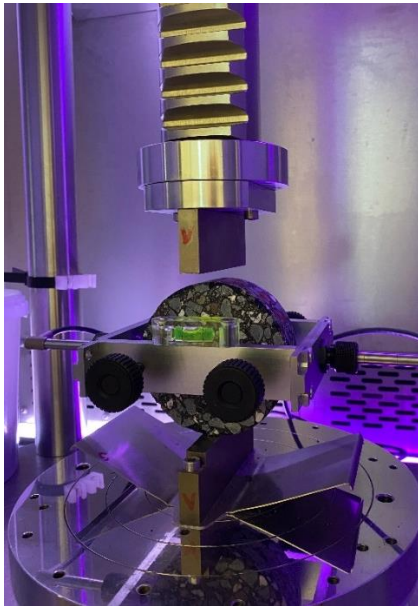


Bild 2: Belastungsvorrichtung für den Spaltzug-Schwellversuch [HNL]

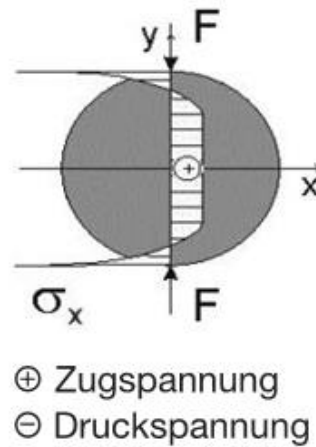


Bild 3: Horizontalspannungsverlauf im zylindrischen Probekörper in der y-Achse [TP Asphalt-StB, Teil 24]

3.1.1 Bestimmung der Steifigkeit

Zur Bestimmung der Steifigkeit mittels Spaltzug-Schwellversuch gemäß TP Asphalt-StB, Teil 26 werden Versuche bei verschiedenen Prüftemperaturen (-10 °C, 5 °C, 20 °C) und einer Variation der Prüffrequenz (10 Hz, 3 Hz, 1 Hz, 0,3 Hz, 0,1 Hz) durchgeführt. Die festgelegte Unterspannung von 0,035 MPa dient der Lagesicherung des Probekörpers während des Versuchs. Die Oberspannung ist anhand von Vorversuchen in Abhängigkeit der Prüftemperatur und Belastungsfrequenz sowie der resultierenden elastischen horizontalen Anfangsdehnung (0,05-0,10 ‰) zu wählen. Bei den Versuchen zur Bestimmung der Steifigkeit werden die Probekörper nicht geschädigt. Die Versuche werden nach einer definierten Lastwechselzahl (abhängig von der Frequenz) beendet. Die gewählten Versuchsparameter und erzielten Messergebnisse können der Anlage 3 entnommen werden.

Aus den Prüfergebnissen aller Multistage-Versuche kann rechnerisch die sogenannte Hauptkurve bestimmt werden. Bei der Hauptkurve wird mit einem einzigen Faktor, die Äquivalenz zwischen Prüftemperatur und Belastungsfrequenz bezogen auf den Steifigkeitsmodul hergestellt. Mit Hilfe dieser Temperatur-Frequenz-Äquivalenz kann die Hauptkurve eines Asphaltes für eine Referenztemperatur (i.d.R. 20 °C) bestimmt werden.

Die mathematische Gleichung der Hauptkurve lautet:

$$|E^*| = |E^*|_{-\infty} + \frac{|E^*|_{+\infty} + |E^*|_{-\infty}}{1 + e^{(z_1 \cdot x^* + z_0)}}$$

mit

$$x^* = \frac{\ln(\alpha_T \cdot f)}{\ln(10)}$$

$$\alpha_T = e^{\Phi \cdot \left(\frac{1}{T+273,15} - \frac{1}{T_0+273,15} \right)}$$

$|E^*|$ = absoluter Wert des komplexen E-Moduls (Steifigkeitsmodul) [MPa]

$|E^*|_{+\infty}$ = Grenzwert des Steifigkeitsmoduls bei sehr niedrigen Temperaturen und/oder hohen Frequenzen [MPa]

$|E^*|_{-\infty}$ = Grenzwert des Steifigkeitsmoduls bei sehr hohen Temperaturen und/oder niedrigen Frequenzen [MPa]

x^* = beliebiger Wert auf der Abszissenachse der Hauptkurve, bestimmt mit Hilfe der Temperatur-Frequenz-Äquivalenz [Hz]

z_0, z_1 = Materialparameter der Hauptkurve [-]

α_T = Verschiebungsfaktor bei Referenztemperatur [-]

Φ = Materialspezifischer Parameter [-]

T = Temperatur für den gesuchten, zu berechnenden Steifigkeitsmodul [°C]

T_0 = Referenztemperatur [°C]

3.1.2 Ermittlung der Ermüdungsfunktion

Die Versuche zur Bestimmung der Ermüdungsfunktion gemäß TP Asphalt-StB, Teil 24 werden bis zum Erreichen einer Makrorissbildung des Probekörpers durchgeführt. Die Prüftemperatur beträgt 20 °C und die Belastungsfrequenz sind 10 Hz. Mittels Vorversuch sind drei unterschiedliche Oberspannungen so zu wählen, sodass die erzielten elastischen Anfangsdehnung den Bereich zwischen 0,05 und 0,3 ‰ abdecken und Lastwechselzahlen bis zum Erreichen des Ermüdungskriteriums zwischen 10^3 und 10^6 erreicht werden. Zur Lagesicherung der Probekörper beträgt die Unterspannung 0,035 MPa. Die gewählten Versuchsparameter (u.a. Oberspannungen) und Messergebnisse können der Anlage 3 entnommen werden.

Als Ergebnis der einzelnen Ermüdungsversuche wird die elastische Anfangsdehnung, die aus der horizontalen Dehnungsmessung bestimmt werden kann, und die Lastwechselzahl $N_{\text{Makroriss}}$ festgehalten. Die Lastwechselzahl $N_{\text{Makroriss}}$ gilt als erreicht, wenn sich am Probekörper ein Makroriss einstellt.

Die Messwerte anfängliche elastische horizontale Dehnung $\varepsilon_{el,anf}$ und Lastwechselzahl N_{Makro} werden mittels Regression unter Anwendung der Methode der kleinsten Fehlerquadrate zu einer Ermüdungsfunktion approximiert. Die mathematische Gleichung der Ermüdungsfunktion lautet:

$$N_{\text{Makro}} = k \cdot \varepsilon_{el,anf}^n$$

mit

N_{Makro} = Anzahl der Lastwechsel bis zum Makroriss [-]

$\varepsilon_{el,anf}$ = anfängliche elastische horizontale Dehnung in Probekörpermitte [%]

k, n = materialspezifische Parameter der Ermüdungsfunktion [-]

4 Untersuchungsergebnisse (Materialparameter)

Bei der im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Abschnittsbeprobung (siehe hierzu Abschnitt 2.1 Probenahme) werden aufgrund des Entnahmeschemas Streuungen der Materialkennwerte berücksichtigt, was sich in den Einzelwerten sowie den Bestimmtheitsmaßen der aufgestellten mathematischen Funktionen (Steifigkeits-Temperaturfunktion, Ermüdungsfunktion) widerspiegelt. Abweichend von den Technischen Prüfvorschriften zur Bestimmung der Steifigkeit sowie der Ermüdungsfunktion werden, wie es hier der Fall ist, bei Streckenabschnitten mit Längen > 1.000 m mehr Probekörper als in den entsprechenden Prüfvorschriften vorgesehenen untersucht und diese Ergebnisse auch bei der abschließenden Auswertung berücksichtigt.

Eine Übersicht der untersuchten Probekörper mit den zugehörigen Raumdichten kann Anlage 2 entnommen werden. Dabei wurde jeweils ein Probekörper für einen Vorversuch zur Bestimmung der Oberspannung für die Steifigkeitsversuche und ein weiterer Probekörper für die Vorversuche zur Bestimmung der Oberspannung für die Ermüdungsversuche verwendet.

4.1 Ergebnisse der Bestimmung der Steifigkeit

Die detaillierten Ergebnisse der Bestimmung der Steifigkeit können dem als Anlage 3 beigefügten Ergebnisbericht entnommen werden. In den folgenden Tabelle 3 (für Abschnitt 955) und Tabelle 4 (für Tabelle 935) sind die ermittelten Steifigkeitsmoduln (Mittelwerte aus allen Einzelwerten) bei den gewählten Prüftemperaturen und Belastungsfrequenzen zusammengestellt.

Tabelle 3: Steifigkeitsmoduln (Mittelwerte) in Abhängigkeit der Prüftemperatur und Belastungsfrequenz - B 248, Abschnitt 955 -

Prüf- temperatur [°C]	Belastungs- frequenz [Hz]	Steifigkeitsmodul E (Mittelwert) [MPa]		
		Asphaltdeckschicht	Asphaltbinderschicht	Asphalttragschicht
20	10	10.183	14.887	14.588
20	3	8.041	12.401	12.871
20	1	6.346	10.285	11.306
20	0,3	4.740	8.220	9.664
20	0,1	3.593	6.542	8.202
5	10	16.140	20.229	19.042
5	3	14.410	18.845	17.754
5	1	12.699	17.249	17.329
5	0,3	10.901	15.512	15.980
5	0,1	9.364	13.931	14.804
-10	10	27.858	25.206	21.703
-10	3	26.246	24.475	20.927
-10	1	25.027	23.579	19.952
-10	0,3	23.242	22.447	19.041
-10	0,1	21.879	21.416	18.309

Tabelle 4: Steifigkeitsmoduln (Mittelwerte) in Abhängigkeit der Prüftemperatur und Belastungsfrequenz - B 248, Abschnitt 935 -

Prüf- temperatur [°C]	Belastungs- frequenz [Hz]	Steifigkeitsmodul E (Mittelwert) [MPa]		
		Asphaltdeckschicht	Asphaltbinderschicht	Asphalttragschicht
20	10	9.102	13.544	16.561
20	3	7.362	11.077	14.383
20	1	5.884	8.566	12.232
20	0,3	4.503	6.301	10.026
20	0,1	3.452	4.620	8.150
5	10	15.507	21.436	21.596
5	3	13.969	19.408	20.193
5	1	12.441	17.170	18.708
5	0,3	10.877	14.791	16.985
5	0,1	9.411	12.628	15.518
-10	10	19.607	27.648	24.497
-10	3	19.013	26.635	23.407
-10	1	18.104	25.521	22.648
-10	0,3	17.045	24.162	21.402
-10	0,1	16.161	22.777	20.698

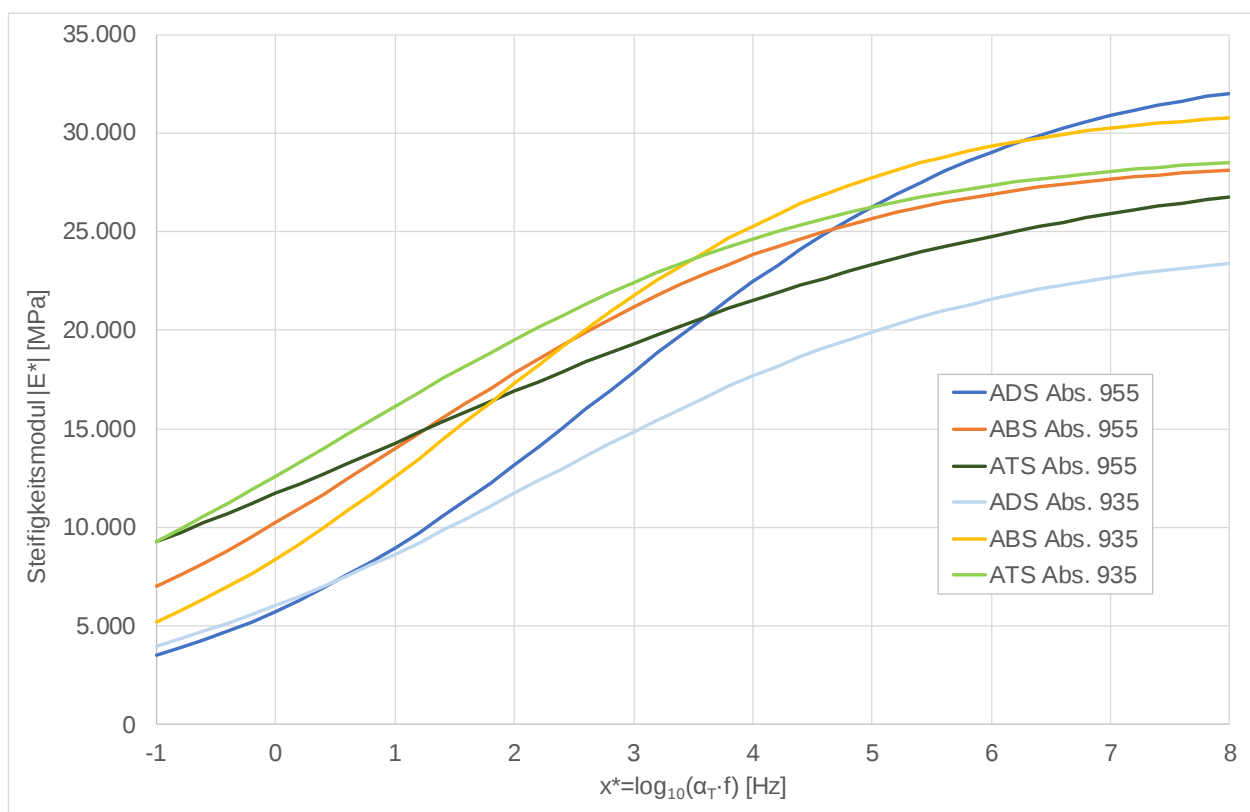
Entsprechend der im Abschnitt 3.1.1 beschriebenen Vorgehensweise wurde aus den Einzelergebnissen (Multistage-Versuchen) abschließend rechnerisch die Hauptkurve der Steifigkeit bei einer Referenztemperatur von 20 °C bestimmt. Die Parameter der Hauptkurve können Tabelle 5 (für Abschnitt 955) und Tabelle 6 (für Abschnitt 935) entnommen werden. Der Verlauf der Hauptkurven ist in Bild 4 dargestellt.

Tabelle 5: Parameter der Hauptkurve der Steifigkeit - B 248, Abschnitt 955 -

	$ E^* _{-\infty}$	$ E^* _{+\infty}$	z_1	z_0	Φ
Asphalt-deckschicht	0	33.672	-0,56832	1,57904	27.397
Asphalt-binderschicht	0	28.809	-0,53931	0,59578	23.529
Asphalt-tragschicht	0	28.906	-0,36263	0,38416	20.698

Tabelle 6: Parameter der Hauptkurve der Steifigkeit - B 248, Abschnitt 935 -

	$ E^* _{-\infty}$	$ E^* _{+\infty}$	z_1	z_0	Φ
Asphalt-deckschicht	0	24.544	-0,51704	1,12351	25.498
Asphalt-binderschicht	0	31.448	-0,60528	1,00843	24.606
Asphalt-tragschicht	0	29.289	-0,48713	0,28021	19.132


Bild 4: Hauptkurven der Steifigkeiten - B 248, Abschnitt 955 und 935 -

4.2 Ergebnisse der Ermüdungsversuche

Die Ergebnisse der Versuche zur Ermittlung der Ermüdungsfunktion können dem als Anlage 3 beigefügten Ergebnisbericht entnommen werden. In Bild 5 ist die Ermüdungsfunktion dargestellt, die zugehörigen Parameter und das Bestimmtheitsmaß der Ermüdungsfunktion sind Tabelle 7 zu entnehmen.

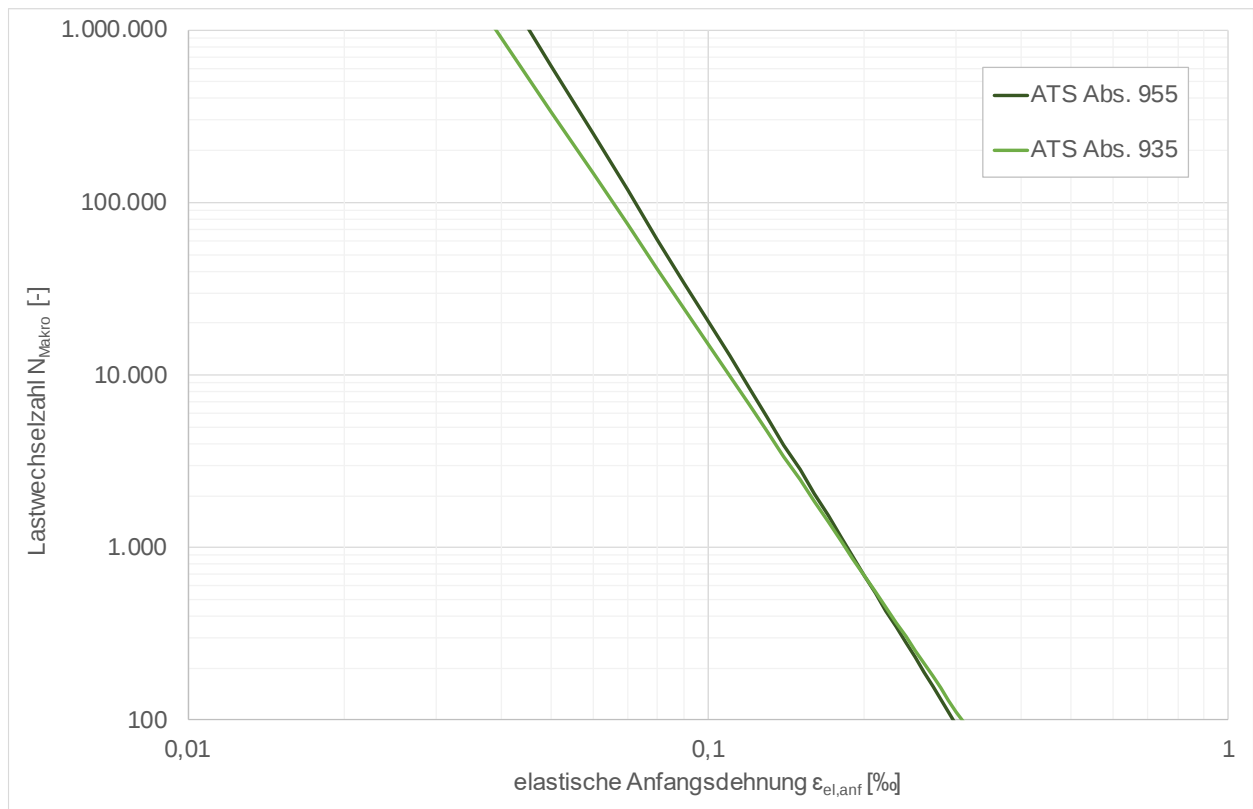


Bild 5: Ermüdungsfunktionen - B 248, Abschnitt 955 und 935 -

Tabelle 7: Materialspezifische Parameter n , k und Bestimmtheitsmaß R^2 der Ermüdungsfunktion

	k	n	R^2
Asphalt-tragschicht Abs. 955	0,258576	-4,899535	0,89
Asphalt-tragschicht Abs. 935	0,521658	-4,462942	0,93

4.3 Ergebnisse der Abscherversuche

Aus Tabelle 8 und Tabelle 9 können die Ergebnisse der Abscherversuche zur Beurteilung des Schichtenverbundes entnommen werden.

Tabelle 8: Ergebnisse aus Abscherversuchen - B 248, Abschnitt 955 -

	Asphaltdeck- / Asphaltbinderschicht		Asphaltbinder- / Asphalttragschicht	
	Max. Scherkraft [kN]	Scherverformung [mm]	Max. Scherkraft [kN]	Scherverformung [mm]
SVB1	41,4	4,0	41,4	1,2
SVB2	49,8	2,8	49,9	1,1
SVB3	35,0	1,6	50,0	1,1
SVB4	32,0	2,1	50,0	1,6
Mittelwert	39,6	2,6	47,8	1,3

Tabelle 9: Ergebnisse aus Abscherversuchen - B 248, Abschnitt 935 -

	Asphaltdeck- / Asphaltbinderschicht		Asphaltbinder- / Asphalttragschicht	
	Max. Scherkraft [kN]	Scherverformung [mm]	Max. Scherkraft [kN]	Scherverformung [mm]
SVB1	49,8	1,6	49,9	1,0
SVB2	49,8	1,6	50,0	1,1
SVB3	50,0	1,5	50,1	0,6
Mittelwert	49,9	1,6	50,0	0,9

Anhand der ermittelten Werte für die maximale Scherkraft im Abscherversuch und Abgleich der im Rahmen von Kontrollprüfungen heranzuziehenden Anforderungswerte von 15 kN (zwischen Asphaltdeck- und Asphaltbinderschicht) bzw. 12 kN (zwischen Asphaltbinder- und Asphalttragschicht) gemäß ZTV Asphalt-StB kann hier für die beide untersuchten Abschnitte der B 248 von einem ausreichenden Schichtenverbund ausgegangen werden.

Dementsprechend kann für die weiteren Berechnungen für die beide Schichtgrenzen (Asphalt-deck-/Asphaltbinderschicht sowie Asphaltbinder-/Asphalttragschicht) ein Verbundfaktor von $VF = 0,000$ (vollständiger Verbund) angesetzt werden.

5 Substanzbewertung/Rechnerische Restnutzungsdauer

Die Abschätzung der rechnerischen Restnutzungsdauer, als Grundlage für eine Substanzbewertung, erfolgt, wie in Abschnitt 2.3 beschrieben, nach dem Verfahren der RDO Asphalt 09/12 mit der Software ADtoPave.

Neben den, dem Abschnitt 4 zu entnehmenden, im Labor ermittelten Materialeigenschaften ist bei der Berechnung die tatsächlich vorhandene Verkehrsbelastung zu berücksichtigen. Dafür konnten vom Auftraggeber die in Tabelle 10 dargestellten Verkehrsdaten aus den Jahren 2015 und 2021 zur Verfügung gestellt werden.

Tabelle 10: Verkehrsbelastung

	DTV (DTV _{sv}) [Fz/d]
B 248, Abschnitt 955	2015: 4.800 (800) 2021: 5.700 (900)
B 248, Abschnitt 935	2015: 5.100 (800) 2021: 5.800 (800)

Aus den Daten kann abgeleitet werden, dass der Verkehr im Bereich des Abschnitts 955 insgesamt im Mittel pro Jahr um etwa 3 % und der Schwerverkehr im Mittel jährlich um etwa 2 % zugenommen hat. Im Bereich des Abschnitts 935 war eine mittlere jährliche Zunahme von insgesamt etwa 2,3 % zu verzeichnen, weiter geht aus den Zahlen eine Stagnation des Schwerverkehrs hervor.

Die aus den Zählenden abgeleitete jährliche Verkehrszunahme deckt sich grob mit den nach RStO im Bereich von Bundesstraßen anzunehmenden jährlichen Zunahme des Schwerverkehrs. Der Einfachheit halber wurde zur Ermittlung der Verkehrsbelastung ausgehend von den Zahlen aus dem Jahr 2021 für das Jahr der Begutachtung/Bohrkernentnahmen (2024) eine Zunahme des Schwerverkehrs von jährlich 2 % für beide Abschnitte angenommen, woraus sich eine Beanspruchung für den durchschnittlichen, täglichen Schwerverkehr von 955 Fz/d für Abschnitt 955 und 849 Fz/d für Abschnitt 935 für das Jahr 2024 ergibt.

Für die weiteren Nutzungsjahren wird ein kontinuierlicher Anstieg des Schwerverkehrs von 2 % pro Jahr angenommen. Bei der Berechnung der Anzahl der Achsübergänge im Nutzungszeitraum sind weiterhin der Achszahlfaktor f_A (4,0 für Bundesstraßen), der Fahrstreifenfaktor f_1 (0,5 bei Erfassung des DTV_{SV} für beide Fahrtrichtung gemeinsam und mit 2 Fahrstreifen im Querschnitt), der Fahrstreifenbreitenfaktor f_2 (1,10 für Fahrstreifenbreiten von 3,25-3,75 m) sowie der Steigungsfaktor f_3 (1,02 für Höchstlängsneigungen zwischen 2 bis 4 ‰) zu berücksichtigen. Als Häufigkeitsverteilung der Achslastklassen wird die standardisierte Verteilung für Bundesstraßen „B-Str.“ aus dem AP EDS-1 herangezogen. Um zu überprüfen, ob die Substanz (insbesondere der Asphalttragschicht) des vorhandenen Aufbaus ausreichend ist, um den prognostizierten Verkehr beispielsweise für weitere 30 Jahre aufnehmen zu können, wird bei der Berechnung (zunächst) eine Nutzungsdauer von 30 Jahren angenommen.

Zur Berücksichtigung der klimatischen Bedingungen, woraus unterschiedliche Temperaturverläufe in den Asphaltsschichten resultieren, einhergehend mit einer Veränderung der Steifigkeitsmoduln, wird die Häufigkeitsverteilung, die der KiST-Zone 2 gemäß AP EDS-2 zuzuordnen ist, verwendet.

Eine Dokumentation der durchgeführten Berechnung mit den zuvor genannten Eingangsgrößen kann auch der Anlage 4 entnommen werden. Die hier durchgeführten Berechnungen wurde entsprechend dem deterministischen Verfahren auf der Grundlage von Mittelwerten für die Eingangsparameter durchgeführt. Für Bereiche mit nicht herstellbaren bzw. prüfbaren Probekörpern ist eine gesonderte Bewertung vorzunehmen (Ausführungen hierzu siehe weiter unten).

Anhand der nach RDO Asphalt 09/24 durchgeführten Nachweise (Ermüdungsnachweis Asphalttragschicht, Ermüdungsnachweis Verfestigung, plastische Verformung ungebundener Schichten) kann die prognostizierte Verkehrsbelastung ohne eine Schädigung der Substanz der Tragschichten in den Abschnitte 955 und 935 rechnerisch schadlos aufgenommen werden.

Für die angenommenen, weiteren 30 Nutzungsjahre sind alle geführten Nachweise erfüllt, so dass für beide untersuchten Abschnitte der B 248 die Restnutzungsdauer mit > 30 Jahren angegeben werden kann.

Bei Asphaltsschichten wird der Ermüdungsnachweis an der Stelle mit der höchsten Biegezugbeanspruchung geführt, was wie hier bei vollständigem Verbund der Asphaltsschichten an der Unterseite der Asphalttragschicht ist. Die Beanspruchung des Asphaltes ist soweit zu begrenzen, dass Risse in den Asphaltsschichten während des geplanten Nutzungszeitraumes auszuschließen.

ßen sind, es also zu keiner Schädigung der Substanz kommt. Der Ermüdungsstatus beträgt 100 % sobald eine Initialrissbildung beginnend an der Unterseite des Asphaltaufbaus auftritt.

Aufgrund der hier berechneten Werte für den Ermüdungsstatus der Asphalttragschicht von 4 % (Abschnitt 955) bzw. 5 % (Abschnitt 935) nach angenommenen weiteren 30 Nutzungsjahren, ist im geplanten Nutzungszeitraum rechnerisch eher nicht mit einer Schädigung der Substanz der Asphalttragschicht aufgrund Rissbildung von unten hervorgerufen durch Biegezugspannungen auszugehen.

Die zuvor getroffenen Aussagen zur Restnutzungsdauer beziehen sich nur auf Bereiche, in denen intakte, zu prüfende Bohrkerne entnommen werden konnten. Bereiche mit gerissenen Bohrkernen wären als eigener Abschnitt zu definieren und die Restnutzungsdauer mit 0 Jahren anzugeben. Aus der beschriebenen Vorgehensweise zur Probenahme (siehe Abschnitt 2.1) und der Anlage 2 kann entnommen werden, dass in den beprobten Streckenabschnitten auch Bohrkerne entnommen wurden, in denen die Asphalttragschicht im unteren Bereich zwar keine „Ermüdungsrisse“ aufweist, aber in einem so schlechten Zustand war (teilweise zerfallen/Ausbrüche), dass aus diesen Bohrkernen keine Probekörper mit ausreichender Dicke für die vorgesehenen Prüfungen hergestellt werden konnten bzw. Probekörper sich als nicht prüfbar erwiesen haben.

Für diese tlw. zerfallenen Asphalttragschichten ist aufgrund der beschriebenen Substanzschäden ebenfalls von einer deutlich reduzierten Nutzungsdauer auszugehen.

Solche Bereiche wäre im Zuge einer möglichen Erhaltungsmaßnahme gesondert zu betrachten und ggf. tiefergehenden Maßnahme zu ergreifen. Weiterhin wären Untersuchungen im Hinblick auf mögliche Schadensursache zu empfehlen. Konkret handelt es sich hierbei um folgende Bereiche/Bohrkerne im Abschnitt 955: EV10 (RiFa Danneberg, Station 0+400), EV11 (RiFa Danneberg, Station 0+700) und EV15 (RiFa Danneberg, Station 1+900) sowie im Abschnitt 935 um SB3 (RiFa Lüchow, Station 0+200) und EV10 (RiFa Danneberg, Station 1+000).

Abschließend sei nochmal darauf hingewiesen, dass im Rahmen der Substanzbewertung mit dem Ermüdungsnachweis ausschließlich die Restnutzungsdauer der Asphalttragschicht nach dem Kriterium „Rissbildung von unten“ bewertet wird und die Substanz der übrigen Asphalt-schichten (hier: Asphaltdeck- und Asphaltbinderschicht) somit nicht beurteilt wird bzw. keine Prognose hinsichtlich der Restnutzungsdauer erfolgt, so dass Erhaltungsmaßnahmen an Asphaltdeck- und Asphaltbinderschicht eher notwendig sein können. Die Materialkennwerte (Steif-

figkeiten) dieser Schichten gehen jedoch ins Berechnungsmodell bei der Nachweisführung (Ermüdungsnachweis der Asphalttragschicht) mit ein.

Im Hinblick auf eine anstehende Erhaltungsmaßnahme ist noch zu konstatieren, dass die im Rahmen dieses Projektes ermittelten Steifigkeitsmoduln von Asphaltdeck-, Asphaltbinder- und Asphalttragschicht auf ein tendenziell eher steiferes Materialverhalten hinweisen, woraus rechnerisch eher geringere Biegezugspannungen an der Unterseite des Asphaltoberbaus resultieren, und sich damit auch die hohe rechnerischen Restnutzungsdauern für die Asphalttragschicht erklären lassen. Steife Schichten insbesondere im Bereich der Asphaltdeck- und Asphaltbinderschicht neigen jedoch eher zu einer geringeren Kälteflexibilität (Relaxationsvermögen), was wiederum zu einer Rissbildung von oben (insbesondere im Bereich neben der Rollspur) bei Überlagerung von kälteinduzierten, kryogenen Zugspannungen und mechanogenen Zugspannungen aus Verkehrsbelastung führen kann. Ob die beschriebene, mögliche Schadensursache hier zutrifft bzw. eintreten wird, können nur weiterführende Untersuchungen zur Ansprache des Kälteverhaltens (Abkühlversuch) klären oder Hinweise aus Bindemittelkennwerten abgeleitet werden.

Prisdorf, den 16.01.2025

Dr.-Ing. Manfred Hase
Geschäftsführer



Dipl.-Ing. Anke Hase
Projektbearbeiterin

Anlagen

Anlage 1: Fotos der Bohrkern

Anlage 2: Raumdichten der Probekörper für Performance-Untersuchungen

Anlage 3: Ergebnisberichte – Spaltzug-Schwellversuch, Bestimmung der Steifigkeit sowie Beständigkeit gegen Ermüdung

Anlage 4: Ergebnisberichte zur Dimensionierung- und Prognoseberechnung

Technische Regelwerke

AP EDS-1 – Arbeitspapier Eingangsgrößen für die Dimensionierung und Bewertung der strukturellen Substanz Teil 1: Verkehrsbelastung, Ausgabe 2022, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

AP EDS-2 – Arbeitspapier Eingangsgrößen für die Dimensionierung und Bewertung der strukturellen Substanz Teil 2: Klima, Ausgabe 2023, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

RDO Asphalt 09/24 – Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen in Asphaltbauweise, Ausgabe 2009/Fassung 2024, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

RSO Asphalt Entwurf - Richtlinien zur Bewertung der strukturellen Substanz des Oberbaus von Verkehrsflächen in Asphaltbauweise, Stand März 2019

RStO 12/24 – Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, Ausgabe 2012/Fassung 2024, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

TP Asphalt-StB, Teil 24 – Technische Prüfvorschriften für Asphalt Teil 24: Spaltzug-Schwellversuch Beständigkeit gegen Ermüdung, Ausgabe 2018, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

TP Asphalt-StB, Teil 26 – Technische Prüfvorschriften für Asphalt Teil 26: Spaltzug-Schwellversuch Bestimmung der Steifigkeit, Ausgabe 2018, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

TP Asphalt-StB, Teil 48 A – Technische Prüfvorschriften für Asphalt Teil 48 A: Abscherversuch (Scherhaftfestigkeitsprüfung – SBT), Ausgabe 2023, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

ZTV Asphalt-StB 07/13 – Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt, Ausgabe 2007/Fassung 2013, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

Software

ADtoPave – Analysing and Design Tool for Pavements, Version 2018.01.025, Release Date 18.03.2024, IDAV GmbH, Dresden

Anlage 1

zur Gutachterlichen Stellungnahme Nr. 5-0788-2024

Anlage 1 zur Gutachterlichen Stellungnahme Nr. 5-0788-2024

Abschnitt 955

Station	Fahrtrichtung	
	Dannenberg	Lüchow
0+010		
0+200		
0+400		
0+600		

Anlage 1 zur Gutachterlichen Stellungnahme Nr. 5-0788-2024

Station	Fahrtrichtung	
	Dannenberg	Lüchow
0+700		
0+850		
1+000	  	
1+150		

Anlage 1 zur Gutachterlichen Stellungnahme Nr. 5-0788-2024

Station	Fahrtrichtung	
	Dannenberg	Lüchow
1+304		
1+400		
1+601		
1+750		

Anlage 1 zur Gutachterlichen Stellungnahme Nr. 5-0788-2024

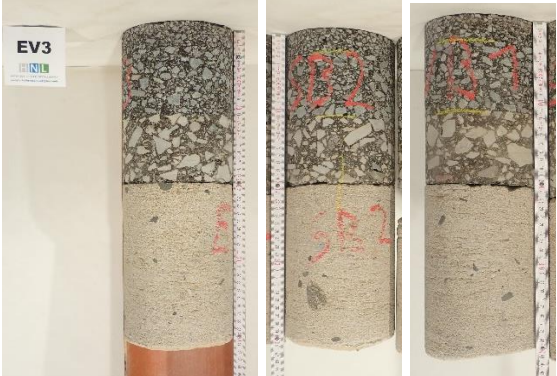
Station	Fahrtrichtung	
	Dannenberg	Lüchow
1+900		
2+050		
2+200		
2+350		

Anlage 1 zur Gutachterlichen Stellungnahme Nr. 5-0788-2024

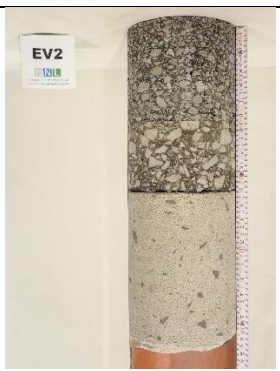
Abschnitt 935

Station	Fahrtrichtung	
	Dannenberg	Lüchow
0+075		
0+200		
0+400		
0+600		

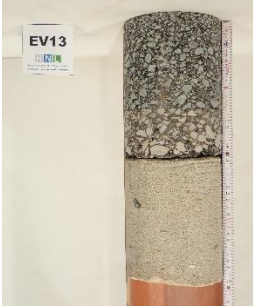
Anlage 1 zur Gutachterlichen Stellungnahme Nr. 5-0788-2024

Station	Fahrtrichtung	
	Dannenberg	Lüchow
0+750		
0+850		
1+000		
1+150		

Anlage 1 zur Gutachterlichen Stellungnahme Nr. 5-0788-2024

Station	Fahrtrichtung	
	Dannenberg	Lüchow
1+300		
1+500		
1+600		
1+800		

Anlage 1 zur Gutachterlichen Stellungnahme Nr. 5-0788-2024

Station	Fahrtrichtung	
	Dannenberg	Lüchow
1+950		

Anlage 2

zur Gutachterlichen Stellungnahme Nr. 5-0788-2024

Abschnitt 955

Bohrkern	Schicht	Raumdicke [g/cm ³]	Bemerkung
SB1	ADS	2,328	
SB2	ADS	2,323	
SB3	ADS	2,356	
SB4	ADS	2,307	
SB5	ADS	2,234	
SB6	ADS	2,307	Vorversuch
Mittelwert ADS:		2,309	
SB1	ABS	2,389	
SB2	ABS	2,371	
SB3	ABS	2,371	Vorversuch
SB4	ABS	2,316	
SB5	ABS	2,406	
SB6	ABS	2,379	
Mittelwert ABS:		2,372	
SB1	ATS	2,425	
SB2	ATS	2,365	
SB3	ATS	2,406	Vorversuch
SB4	ATS	2,389	
SB5	ATS	2,440	
SB6	ATS	2,397	
Mittelwert ATS:		2,404	
EV1	ATS	2,427	
EV2	ATS	2,391	
EV3	ATS	2,466	
EV4	ATS	2,593	
EV5	ATS	2,329	
EV6	ATS	2,408	
EV7	ATS	2,403	keine Makrorissbildung (Versuch nach 675.000 LW abgebrochen)
EV8	ATS	2,385	
EV9	ATS	kein PK hergestellt	
EV10	ATS	kein PK hergestellt	
EV11	ATS	kein PK hergestellt	
EV12	ATS	2,300	
EV13	ATS	2,310	nicht ausreichend Lastwechsel für Auswertung erreicht (146 LW)
EV14	ATS	2,402	Vorversuch
EV15	ATS	kein PK hergestellt	
EV16	ATS	2,395	
Mittelwert ATS:		2,401	

Abschnitt 935

Bohrkern	Schicht	Raumdichte [g/cm ³]	Bemerkung
SB1	ADS	2,285	<i>Vorversuch</i>
SB2	ADS	2,312	
SB3	ADS	2,284	
SB4	ADS	2,299	
SB5	ADS	2,281	
Mittelwert ADS:		2,292	
SB1	ABS	2,396	
SB2	ABS	2,404	
SB3	ABS	2,447	
SB4	ABS	2,414	<i>Vorversuch</i>
SB5	ABS	2,409	
Mittelwert ABS:		2,414	
SB1	ATS	2,387	
SB2	ATS	2,407	
SB3	ATS	2,439	<i>nicht prüfbar</i>
SB4	ATS	2,370	<i>Vorversuch</i>
SB5	ATS	2,266	
Mittelwert ATS:		2,374	
EV1	ATS	2,376	
EV2	ATS	2,478	
EV3	ATS	2,444	
EV4	ATS	2,453	
EV5	ATS	2,478	
EV6	ATS	2,428	
EV7	ATS	2,393	
EV8	ATS	2,448	
EV9	ATS	2,342	<i>nicht ausreichend Lastwechsel für Auswertung erreicht (12 LW)</i>
EV10	ATS	2,304	<i>nicht prüfbar</i>
EV11	ATS	2,423	
EV12	ATS	2,413	<i>Vorversuch</i>
EV13	ATS	2,292	
Mittelwert ATS:		2,406	

Anlage 3

zur Gutachterlichen Stellungnahme Nr. 5-0788-2024

Ergebnisbericht zur Versuchsauswertung nach der TP Asphalt-StB Teil 26 Spaltzug-Schwellversuch - Bestimmung der Steifigkeit

Projekt : **B 248, OU Lüchow
Abschnitt 955

Asphaltdeckschicht**

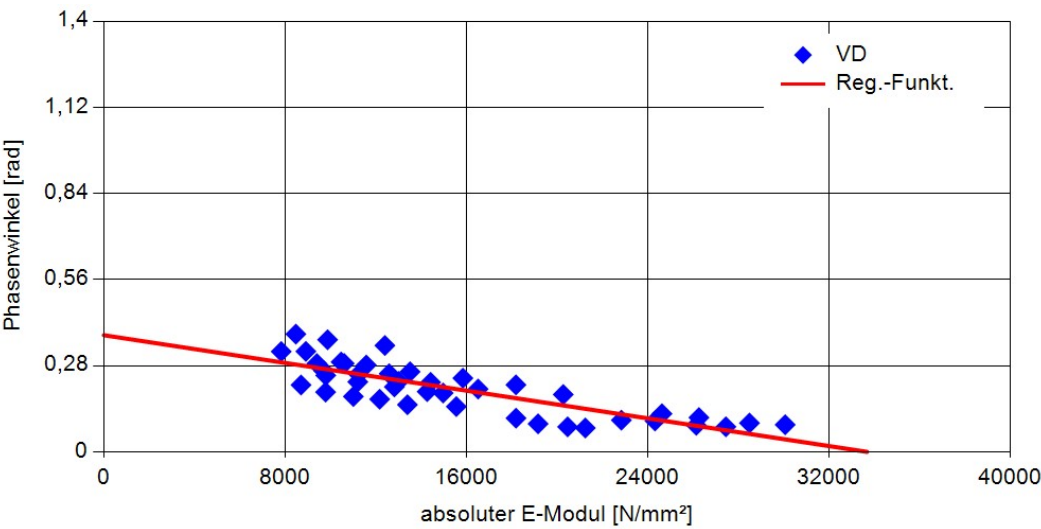
Bearbeiter : **HNL Ingenieur- und Prüfgesellschaft mbH
Peiner Hag 7-9
25491 Prisdorf**



Datum : **14.01.2025**

1- Ergebnisdarstellung

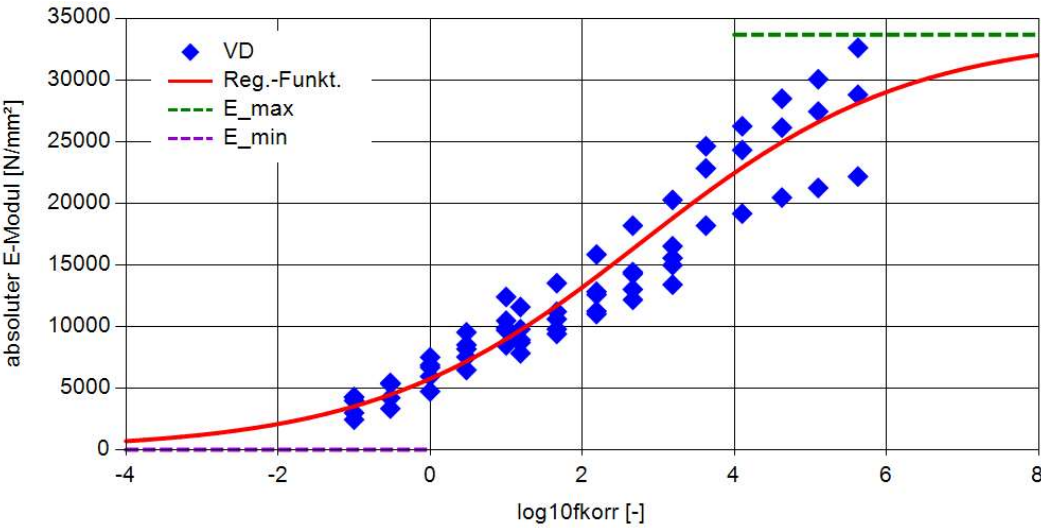
Zusammenhang zwischen absolutem E-Modul und Phasenwinkel (siehe Anlage 1)



Parameter der linearen Ansatzfunktion für den Zusammenhang zwischen E-Modul und Phasenwinkel

E min	E max	m ₁	m ₀	R ²
0	33.672	-0,000011	0,379647	0,678

Hauptkurve für Asphaltmaterialien (siehe Anlage 1)



Parameter der Hauptkurve (Sigmoidfunktion)

E min	E max	T ₀	Φ	Z ₁	Z ₀	R ²
0	33.672	20,0	27.397	-0,568321	1,579038	0,902

Anlage 1- Regressionsfunktionen

Zusammenhang zwischen absolutem E-Modul und Phasenwinkel

$$\delta = k_1 \cdot |E| + k_2$$

mit:

δ ... Phasenversatz zwischen der aufgebrachten axialen Kraft F und der gemessenen horizontalen Verformung s_h

k_1, k_2 ... Parameter der Funktion

$|E|$... absoluter E-Modul (Steifigkeitsmodul)

Hauptkurve für Asphaltmaterialien

$$|E| = E_{min} + \frac{E_{max} - E_{min}}{1 + e^{(b_1 \cdot x^* + b_0)}}$$

für:

$$x^* = \frac{m \cdot \left(\frac{1}{T + 273,15} - \frac{1}{T_{Ref} + 273,15} \right) + \ln f}{\ln 10}$$

mit:

$|E|$... absoluter E-Modul (Steifigkeitsmodul)

E_{min} ... Grenzwert E-Modul bei sehr hohen Temperaturen und/oder sehr niedrigen Frequenzen

E_{max} ... Grenzwert E-Modul bei sehr tiefen Temperaturen und/oder sehr hohen Frequenzen

x^* ... beliebiger Wert auf der Abszissenachse der Masterkurve, bestimmt mit Hilfe der Temperatur-Frequenz-Äquivalenz

b_1, b_0 ... Parameter der Funktion

m ... Materialparameter für Temperatur-Frequenz-Äquivalenz

T_{Ref} ... Referenztemperatur (i.d.R. 20°C)

T ... Temperatur

f ... Belastungsfrequenz

Anlage 2- Versuchsdaten

Erläuterung zur Zusammenfassung der Versuchsdaten

D...	Probekörperdurchmesser
H...	Probekörperhöhe
LW Bereich...	Lastwechselbereich für Bestimmung der Kraft- und Verformungsamplituden
ΔF ...	doppelte Kraftamplitude (delta zwischen min. F und max. F)
$\Delta s(h)$...	doppelte horizontale Verformungsamplitude (delta zwischen min. s_h und max. s_h)
R^2 ...	Bestimmtheitsmaß für Anpassung der Regressionsfunktion an die Versuchsdaten
μ ...	Querdehnzahl zur Berechnung der Dehnung und des abs. E-Moduls
$\Delta \sigma(h)$...	doppelte Amplitude der horizontalen Spannung (delta zwischen min. σ und max. σ)
$\Delta \epsilon(h)$...	doppelte Amplitude der horizontalen Dehnung (delta zwischen min. ϵ und max. ϵ)
δ ...	Phasenwinkel zwischen max. Kraftamplitude und max. horiz. Verformungsamplitude
IDX GM...	Index für Bestimmung der Grenzmodule (TRUE->Messwert berücksichtigt, FALSE->Messwert nicht berücksichtigt)
IDX $ E $...	Index für Bestimmung der Masterkurve (TRUE->Messwert berücksichtigt, FALSE->Messwert nicht berücksichtigt)

Anlage 2 - Versuchsdaten

Zusammenstellung der Versuchsdaten

Nr.	Pk.-Bez.	D [mm]	H [mm]	T [°C]	f [Hz]	LW Bereich	ΔF [N]	R² [F]	Δs(h) [mm]	R² (sh)	μ [-]	Δσ(h) [N/mm²]	Δε(h) [%]	IE [N/mm²]	δ [rad]	IDX GM	IDX IE
1	PK 1	97,8	41,8	20	10	von 98 bis 102	-2723,184	0,991	0,003561	0,992	0,298	0,424	0,0767	10473	0,2924	True	True
2	PK 1	97,8	41,8	20	3	von 163 bis 167-2070,897		0,997	0,003334	0,996	0,298	0,322	0,0719	8505	0,3205	False	True
3	PK 1	97,8	41,8	20	1	von 193 bis 197-1658,253		0,999	0,003307	0,998	0,298	0,258	0,0713	6867	0,3477	False	True
4	PK 1	97,8	41,8	20	0,3	von 218 bis 222-1222,48		1	0,003122	0,998	0,298	0,19	0,0673	5362	0,3685	False	True
5	PK 1	97,8	41,8	20	0,1	von 233 bis 237-957,901		0,999	0,003068	0,998	0,298	0,149	0,0661	4276	0,4048	False	True
6	PK 1	97,8	41,8	5	10	von 98 bis 102	-5379,737	0,988	0,00406	0,986	0,217	0,838	0,0889	15551	0,1476	True	True
7	PK 1	97,8	41,8	5	3	von 163 bis 167-4775,886		0,998	0,003929	0,998	0,217	0,744	0,086	14266	0,1961	True	True
8	PK 1	97,8	41,8	5	1	von 193 bis 197-4174,049		1	0,003821	0,999	0,217	0,65	0,0837	12818	0,2115	True	True
9	PK 1	97,8	41,8	5	0,3	von 218 bis 222-3778,15		1	0,003956	0,999	0,217	0,588	0,0866	11206	0,2279	True	True
10	PK 1	97,8	41,8	5	0,1	von 233 bis 237-3387,343		1	0,00406	0,999	0,217	0,528	0,0889	9790	0,2489	True	True
11	PK 1	97,8	41,8	-10	10	von 98 bis 102	-5995,831	0,997	0,002901	0,994	0,174	0,934	0,0642	22167	0,0625	False	True
12	PK 1	97,8	41,8	-10	3	von 163 bis 167-5661,652		1	0,002859	0,998	0,174	0,882	0,0632	21242	0,0779	True	True
13	PK 1	97,8	41,8	-10	1	von 193 bis 197-5145,387		1	0,002697	0,997	0,174	0,801	0,0596	20463	0,0817	True	True
14	PK 1	97,8	41,8	-10	0,3	von 218 bis 222-4873,065		1	0,002728	0,997	0,174	0,759	0,0603	19160	0,0915	True	True
15	PK 1	97,8	41,8	-10	0,1	von 233 bis 237-4060,796		1	0,002396	0,996	0,174	0,632	0,053	18183	0,1098	True	True
16	PK 2	98,7	31,2	20	10	von 98 bis 102	-1940,353	0,994	0,0042	0,995	0,298	0,401	0,0897	8476	0,3831	True	True
17	PK 2	98,7	31,2	20	3	von 163 bis 167-1417,723		0,998	0,004019	0,998	0,298	0,293	0,0858	6471	0,4203	False	True
18	PK 2	98,7	31,2	20	1	von 193 bis 197-1158,492		1	0,004491	0,999	0,298	0,239	0,0959	4732	0,4633	False	True
19	PK 2	98,7	31,2	20	0,3	von 218 bis 222-773,625		1	0,004248	0,999	0,298	0,16	0,0907	3341	0,5109	False	True
20	PK 2	98,7	31,2	20	0,1	von 233 bis 237-580,463		1	0,004354	0,999	0,298	0,12	0,093	2446	0,555	False	True
21	PK 2	98,7	31,2	5	10	von 98 bis 102	-3831,125	0,991	0,004023	0,99	0,217	0,792	0,0873	14972	0,1916	True	True
22	PK 2	98,7	31,2	5	3	von 163 bis 167-3344,194		0,997	0,004039	0,997	0,217	0,691	0,0876	13016	0,2293	True	True
23	PK 2	98,7	31,2	5	1	von 193 bis 197-2947,727		1	0,004124	0,999	0,217	0,609	0,0894	11239	0,2526	True	True
24	PK 2	98,7	31,2	5	0,3	von 218 bis 222-2605,624		1	0,004357	0,999	0,217	0,539	0,0945	9402	0,2872	True	True
25	PK 2	98,7	31,2	5	0,1	von 233 bis 237-2265,799		1	0,00455	0,999	0,217	0,468	0,0987	7829	0,3264	True	True
26	PK 2	98,7	31,2	-10	10	von 98 bis 102	-5981,341	0,997	0,002636	0,994	0,174	1,237	0,0578	32608	0,0776	False	True
27	PK 2	98,7	31,2	-10	3	von 163 bis 167-5660,452		1	0,002706	0,998	0,174	1,17	0,0593	30057	0,0885	True	True
28	PK 2	98,7	31,2	-10	1	von 193 bis 197-5134,336		1	0,002591	0,998	0,174	1,061	0,0568	28482	0,0939	True	True
29	PK 2	98,7	31,2	-10	0,3	von 218 bis 222-4865,037		1	0,002663	0,997	0,174	1,006	0,0584	26252	0,1117	True	True
30	PK 2	98,7	31,2	-10	0,1	von 233 bis 237-4066,727		1	0,002374	0,996	0,174	0,841	0,052	24621	0,1243	True	True
31	PK 3	98,5	42	20	10	von 98 bis 102	-2648,548	0,989	0,003656	0,991	0,298	0,408	0,0782	9872	0,3648	True	True
32	PK 3	98,5	42	20	3	von 163 bis 167-1921,669		0,997	0,00348	0,997	0,298	0,296	0,0745	7525	0,4108	False	True
33	PK 3	98,5	42	20	1	von 193 bis 197-1563,558		1	0,003582	0,999	0,298	0,241	0,0767	5948	0,4579	False	True
34	PK 3	98,5	42	20	0,3	von 218 bis 222-1050,888		1	0,003397	0,999	0,298	0,162	0,0727	4217	0,5035	False	True
35	PK 3	98,5	42	20	0,1	von 233 bis 237-786,504		1	0,003579	0,999	0,298	0,121	0,0766	2995	0,5423	False	True

Nr.	Pk.-Bez.	D [mm]	H [mm]	T [°C]	f [Hz]	LW Bereich	ΔF [N]	R ² [F]	$\Delta s(h)$ [mm]	R ² (sh)	μ [-]	$\Delta \sigma(h)$ [N/mm ²]	$\Delta \varepsilon(h)$ [%]	IE [N/mm ²]	δ [rad]	IDX GM	IDX IE
36	PK 3	98,5	42	5	10	von 98 bis 102	-5255,341	0,991	0,003717	0,99	0,217	0,809	0,0808	16513	0,2045	True	True
37	PK 3	98,5	42	5	3	von 163 bis 167	-4664,794	0,998	0,003779	0,997	0,217	0,718	0,0821	14416	0,2264	True	True
38	PK 3	98,5	42	5	1	von 193 bis 197	-4094,791	1	0,0038	0,999	0,217	0,63	0,0826	12586	0,2544	True	True
39	PK 3	98,5	42	5	0,3	von 218 bis 222	-3695,924	1	0,004071	0,999	0,217	0,569	0,0885	10602	0,2877	True	True
40	PK 3	98,5	42	5	0,1	von 233 bis 237	-3313,363	1	0,00434	0,999	0,217	0,51	0,0943	8917	0,327	True	True
41	PK 4	98,7	33,1	20	10	von 98 bis 102	-2050,254	0,989	0,002859	0,989	0,298	0,4	0,0611	12399	0,346	True	True
42	PK 4	98,7	33,1	20	3	von 163 bis 167	-1506,257	0,997	0,002733	0,996	0,298	0,294	0,0584	9532	0,3787	False	True
43	PK 4	98,7	33,1	20	1	von 193 bis 197	-1228,722	1	0,00283	0,998	0,298	0,239	0,0604	7507	0,411	False	True
44	PK 4	98,7	33,1	20	0,3	von 218 bis 222	-823,033	1	0,002624	0,998	0,298	0,16	0,056	5424	0,4583	False	True
45	PK 4	98,7	33,1	20	0,1	von 233 bis 237	-615,495	1	0,002671	0,997	0,298	0,12	0,057	3986	0,497	False	True
46	PK 4	98,7	33,1	5	10	von 98 bis 102	-4170,066	0,962	0,003049	0,967	0,217	0,813	0,0661	20270	0,1868	True	True
47	PK 4	98,7	33,1	5	3	von 163 bis 167	-3782,7	0,988	0,003083	0,987	0,217	0,737	0,0669	18184	0,2182	True	True
48	PK 4	98,7	33,1	5	1	von 193 bis 197	-3207,621	0,999	0,003001	0,998	0,217	0,625	0,0651	15839	0,24	True	True
49	PK 4	98,7	33,1	5	0,3	von 218 bis 222	-2916,509	1	0,003199	0,998	0,217	0,568	0,0694	13513	0,2608	True	True
50	PK 4	98,7	33,1	5	0,1	von 233 bis 237	-2622,322	1	0,003355	0,998	0,217	0,511	0,0728	11582	0,2826	True	True
51	PK 4	98,7	33,1	-10	10	von 98 bis 102	-4765,64	0,996	0,002242	0,994	0,174	0,929	0,0491	28800	0,0787	False	True
52	PK 4	98,7	33,1	-10	3	von 163 bis 167	-4572,011	1	0,002257	0,997	0,174	0,891	0,0495	27439	0,0818	True	True
53	PK 4	98,7	33,1	-10	1	von 193 bis 197	-4169,876	1	0,002161	0,997	0,174	0,813	0,0474	26137	0,0867	True	True
54	PK 4	98,7	33,1	-10	0,3	von 218 bis 222	-4007,505	1	0,002233	0,997	0,174	0,781	0,0489	24315	0,1007	True	True
55	PK 4	98,7	33,1	-10	0,1	von 233 bis 237	-3791,058	1	0,002249	0,996	0,174	0,739	0,0493	22833	0,1033	True	True
56	PK 5	98,8	42,1	20	10	von 98 bis 102	-2630,898	0,994	0,003689	0,994	0,298	0,403	0,0787	9696	0,2644	True	True
57	PK 5	98,8	42,1	20	3	von 163 bis 167	-1923,056	0,998	0,0032	0,997	0,298	0,294	0,0683	8171	0,286	False	True
58	PK 5	98,8	42,1	20	1	von 193 bis 197	-1576,194	1	0,00321	0,998	0,298	0,241	0,0685	6676	0,3101	False	True
59	PK 5	98,8	42,1	20	0,3	von 218 bis 222	-1053,009	1	0,002674	0,998	0,298	0,161	0,0571	5354	0,3334	False	True
60	PK 5	98,8	42,1	20	0,1	von 233 bis 237	-792,525	1	0,002528	0,997	0,298	0,121	0,0539	4262	0,3638	False	True
61	PK 5	98,8	42,1	5	10	von 98 bis 102	-5251,16	0,989	0,004568	0,988	0,217	0,804	0,099	13394	0,1535	True	True
62	PK 5	98,8	42,1	5	3	von 163 bis 167	-4715,971	0,997	0,004516	0,997	0,217	0,722	0,0979	12168	0,1715	True	True
63	PK 5	98,8	42,1	5	1	von 193 bis 197	-4110,929	1	0,00435	0,999	0,217	0,629	0,0943	11011	0,1802	True	True
64	PK 5	98,8	42,1	5	0,3	von 218 bis 222	-3730,805	1	0,004443	0,999	0,217	0,571	0,0963	9784	0,1947	True	True
65	PK 5	98,8	42,1	5	0,1	von 233 bis 237	-3343,307	1	0,004477	0,999	0,217	0,512	0,097	8702	0,2177	True	True

Ergebnisbericht zur Versuchsauswertung nach der TP Asphalt-StB Teil 26 Spaltzug-Schwellversuch - Bestimmung der Steifigkeit

Projekt : **B 248, OU Lüchow
Abschnitt 955

Asphaltbinderschicht**

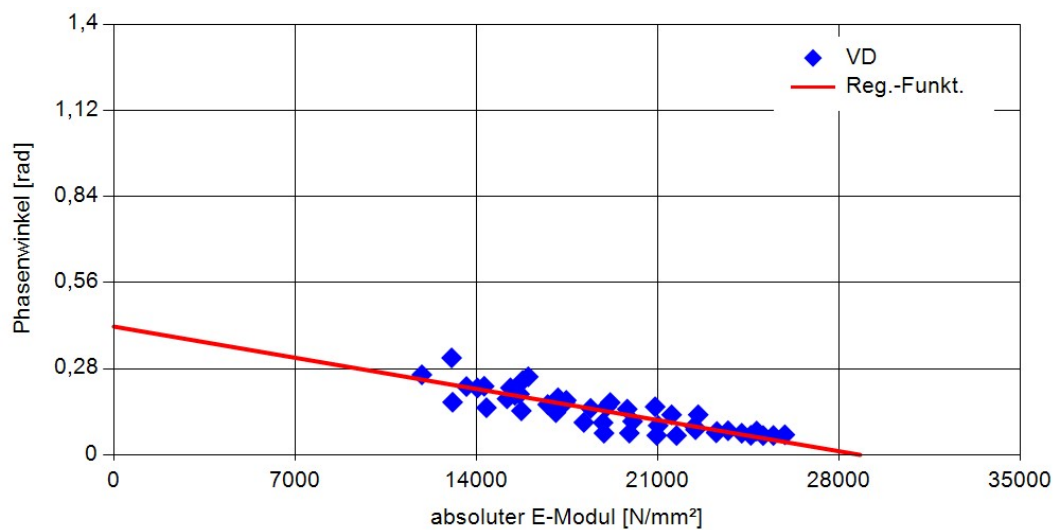
Bearbeiter : **HNL Ingenieur- und Prüfgesellschaft mbH
Peiner Hag 7-9
25491 Prisdorf**



Datum : **14.01.2025**

1- Ergebnisdarstellung

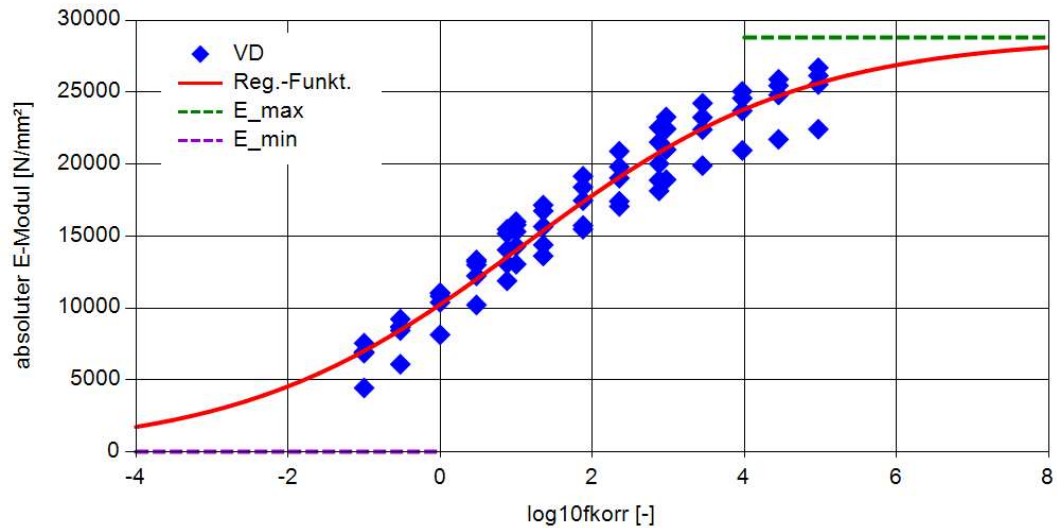
Zusammenhang zwischen absolutem E-Modul und Phasenwinkel (siehe Anlage 1)



Parameter der linearen Ansatzfunktion für den Zusammenhang zwischen E-Modul und Phasenwinkel

E min	E max	m_1	m_0	R^2
0	28.809	-0,000014	0,417275	0,734

Hauptkurve für Asphaltmaterialien (siehe Anlage 1)



Parameter der Hauptkurve (Sigmoidfunktion)

E min	E max	T_0	Φ	Z_1	Z_0	R^2
0	28.809	20,0	23.529	-0,539312	0,595781	0,939

Anlage 1- Regressionsfunktionen

Zusammenhang zwischen absolutem E-Modul und Phasenwinkel

$$\delta = k_1 \cdot |E| + k_2$$

mit:

δ ... Phasenversatz zwischen der aufgebrachten axialen Kraft F und der gemessenen horizontalen Verformung s_h

k_1, k_2 ... Parameter der Funktion

$|E|$... absoluter E-Modul (Steifigkeitsmodul)

Hauptkurve für Asphaltmaterialien

$$|E| = E_{min} + \frac{E_{max} - E_{min}}{1 + e^{(b_1 \cdot x^* + b_0)}}$$

für:

$$x^* = \frac{m \cdot \left(\frac{1}{T + 273,15} - \frac{1}{T_{Ref} + 273,15} \right) + \ln f}{\ln 10}$$

mit:

$|E|$... absoluter E-Modul (Steifigkeitsmodul)

E_{min} ... Grenzwert E-Modul bei sehr hohen Temperaturen und/oder sehr niedrigen Frequenzen

E_{max} ... Grenzwert E-Modul bei sehr tiefen Temperaturen und/oder sehr hohen Frequenzen

x^* ... beliebiger Wert auf der Abszissenachse der Masterkurve, bestimmt mit Hilfe der Temperatur-Frequenz-Äquivalenz

b_1, b_0 ... Parameter der Funktion

m ... Materialparameter für Temperatur-Frequenz-Äquivalenz

T_{Ref} ... Referenztemperatur (i.d.R. 20°C)

T ... Temperatur

f ... Belastungsfrequenz

Anlage 2- Versuchsdaten

Erläuterung zur Zusammenfassung der Versuchsdaten

D...	Probekörperdurchmesser
H...	Probekörperhöhe
LW Bereich...	Lastwechselbereich für Bestimmung der Kraft- und Verformungsamplituden
ΔF ...	doppelte Kraftamplitude (delta zwischen min. F und max. F)
$\Delta s(h)$...	doppelte horizontale Verformungsamplitude (delta zwischen min. s_h und max. s_h)
R^2 ...	Bestimmtheitsmaß für Anpassung der Regressionsfunktion an die Versuchsdaten
μ ...	Querdehnzahl zur Berechnung der Dehnung und des abs. E-Moduls
$\Delta \sigma(h)$...	doppelte Amplitude der horizontalen Spannung (delta zwischen min. σ und max. σ)
$\Delta \epsilon(h)$...	doppelte Amplitude der horizontalen Dehnung (delta zwischen min. ϵ und max. ϵ)
δ ...	Phasenwinkel zwischen max. Kraftamplitude und max. horiz. Verformungsamplitude
IDX GM...	Index für Bestimmung der Grenzmodule (TRUE->Messwert berücksichtigt, FALSE->Messwert nicht berücksichtigt)
IDX $ E $...	Index für Bestimmung der Masterkurve (TRUE->Messwert berücksichtigt, FALSE->Messwert nicht berücksichtigt)

Anlage 2 - Versuchsdaten

Zusammenstellung der Versuchsdaten

Nr.	Pk.-Bez.	D [mm]	H [mm]	T [°C]	f [Hz]	LW Bereich	ΔF [N]	R² [F]	Δs(h) [mm]	R² (sh)	μ [-]	Δσ(h) [N/mm²]	Δε(h) [%]	IE [N/mm²]	δ [rad]	IDX GM	IDX IE
1	PK 1	98,8	42,2	20	10	von 98 bis 102	-3505,754	0,99	0,002972	0,989	0,298	0,535	0,0634	16000	0,2542	True	True
2	PK 1	98,8	42,2	20	3	von 163 bis 167	-3066,833	0,997	0,003119	0,996	0,298	0,468	0,0665	13336	0,2968	False	True
3	PK 1	98,8	42,2	20	1	von 193 bis 197	-2414,589	0,999	0,002971	0,998	0,298	0,369	0,0634	11023	0,3242	False	True
4	PK 1	98,8	42,2	20	0,3	von 218 bis 222	-1865,905	0,999	0,002909	0,998	0,298	0,285	0,0621	8699	0,3644	False	True
5	PK 1	98,8	42,2	20	0,1	von 233 bis 237	-1426,485	0,999	0,002799	0,998	0,298	0,218	0,0597	6912	0,402	False	True
6	PK 1	98,8	42,2	5	10	von 98 bis 102	-6533,908	0,98	0,003367	0,98	0,217	0,998	0,073	22555	0,1308	True	True
7	PK 1	98,8	42,2	5	3	von 163 bis 167	-5729,813	0,997	0,003187	0,996	0,217	0,875	0,0691	20896	0,1566	True	True
8	PK 1	98,8	42,2	5	1	von 193 bis 197	-5298,604	1	0,003215	0,999	0,217	0,809	0,0697	19159	0,1703	True	True
9	PK 1	98,8	42,2	5	0,3	von 218 bis 222	-4662,281	1	0,00316	0,999	0,217	0,712	0,0685	17149	0,1858	True	True
10	PK 1	98,8	42,2	5	0,1	von 233 bis 237	-4339,495	1	0,00326	0,998	0,217	0,663	0,0706	15472	0,2124	True	True
11	PK 1	98,8	42,2	-10	10	von 98 bis 102	-12058,952	0,999	0,004798	0,999	0,174	1,841	0,105	26703	0,0624	False	True
12	PK 1	98,8	42,2	-10	3	von 163 bis 167	-11158,036	1	0,004577	0,999	0,174	1,704	0,1002	25902	0,0657	True	True
13	PK 1	98,8	42,2	-10	1	von 193 bis 197	-10598,634	1	0,004493	0,999	0,174	1,618	0,0984	25061	0,0631	True	True
14	PK 1	98,8	42,2	-10	0,3	von 218 bis 222	-9653,919	1	0,004232	0,997	0,174	1,474	0,0926	24235	0,0706	True	True
15	PK 1	98,8	42,2	-10	0,1	von 233 bis 237	-8550,486	1	0,003902	0,997	0,174	1,306	0,0854	23280	0,0763	True	True
16	PK 2	98,6	42,2	20	10	von 98 bis 102	-3513,632	0,983	0,003019	0,98	0,298	0,538	0,0645	15785	0,242	True	True
17	PK 2	98,6	42,2	20	3	von 163 bis 167	-3077,062	0,993	0,003156	0,993	0,298	0,471	0,0675	13224	0,2899	False	True
18	PK 2	98,6	42,2	20	1	von 193 bis 197	-2414,514	1	0,003026	0,998	0,298	0,369	0,0647	10822	0,3236	False	True
19	PK 2	98,6	42,2	20	0,3	von 218 bis 222	-1896,801	1	0,002972	0,998	0,298	0,29	0,0635	8658	0,362	False	True
20	PK 2	98,6	42,2	20	0,1	von 233 bis 237	-1442,263	1	0,002818	0,997	0,298	0,221	0,0602	6943	0,3984	False	True
21	PK 2	98,6	42,2	5	10	von 98 bis 102	-6356,973	0,955	0,00369	0,96	0,217	0,973	0,0801	20028	0,1092	True	True
22	PK 2	98,6	42,2	5	3	von 163 bis 167	-5848,341	0,983	0,003572	0,983	0,217	0,895	0,0776	19030	0,1566	True	True
23	PK 2	98,6	42,2	5	1	von 193 bis 197	-5257,209	0,999	0,003498	0,998	0,217	0,804	0,076	17468	0,1774	True	True
24	PK 2	98,6	42,2	5	0,3	von 218 bis 222	-4632,138	1	0,003438	0,999	0,217	0,709	0,0747	15659	0,1978	True	True
25	PK 2	98,6	42,2	5	0,1	von 233 bis 237	-4303,37	1	0,003563	0,998	0,217	0,658	0,0774	14038	0,2177	True	True
26	PK 2	98,6	42,2	-10	10	von 98 bis 102	-5693,318	0,994	0,002313	0,989	0,174	0,871	0,0507	26153	0,0533	False	True
27	PK 2	98,6	42,2	-10	3	von 163 bis 167	-5291,719	1	0,002208	0,997	0,174	0,81	0,0484	25461	0,0632	True	True
28	PK 2	98,6	42,2	-10	1	von 193 bis 197	-4969,014	1	0,002147	0,997	0,174	0,76	0,0471	24587	0,0637	True	True
29	PK 2	98,6	42,2	-10	0,3	von 218 bis 222	-4640,117	1	0,00212	0,997	0,174	0,71	0,0465	23251	0,0721	True	True
30	PK 2	98,6	42,2	-10	0,1	von 233 bis 237	-4318,001	1	0,002043	0,995	0,174	0,661	0,0448	22453	0,0822	True	True
31	PK 4	98,3	42,1	20	10	von 98 bis 102	-3466,245	0,99	0,003296	0,991	0,298	0,533	0,0707	14298	0,2233	True	True
32	PK 4	98,3	42,1	20	3	von 163 bis 167	-3040,319	0,997	0,003378	0,996	0,298	0,468	0,0724	12236	0,257	False	True
33	PK 4	98,3	42,1	20	1	von 193 bis 197	-2404,881	1	0,003147	0,998	0,298	0,37	0,0675	10390	0,2823	False	True
34	PK 4	98,3	42,1	20	0,3	von 218 bis 222	-1891,489	1	0,003049	0,998	0,298	0,291	0,0654	8434	0,3163	False	True
35	PK 4	98,3	42,1	20	0,1	von 233 bis 237	-1439,882	1	0,002853	0,998	0,298	0,221	0,0612	6862	0,3506	False	True

Nr.	Pk.-Bez.	D [mm]	H [mm]	T [°C]	f [Hz]	LW Bereich	ΔF [N]	R ² [F]	$\Delta s(h)$ [mm]	R ² (sh)	μ [-]	$\Delta \sigma(h)$ [N/mm ²]	$\Delta \varepsilon(h)$ [%]	IE [N/mm ²]	δ [rad]	IDX GM	IDX IE
36	PK 4	98,3	42,1	5	10	von 98 bis 102	-6484,788	0,98	0,004164	0,98	0,217	0,998	0,0907	18144	0,1058	True	True
37	PK 4	98,3	42,1	5	3	von 163 bis 167-5701,938		0,995	0,003894	0,994	0,217	0,877	0,0848	17063	0,1375	True	True
38	PK 4	98,3	42,1	5	1	von 193 bis 197-5259,449		1	0,003895	0,999	0,217	0,809	0,0848	15734	0,1434	True	True
39	PK 4	98,3	42,1	5	0,3	von 218 bis 222-4610,172		1	0,003734	0,999	0,217	0,709	0,0813	14387	0,1536	True	True
40	PK 4	98,3	42,1	5	0,1	von 233 bis 237-4297,315		1	0,003829	0,999	0,217	0,661	0,0834	13077	0,1714	True	True
41	PK 4	98,3	42,1	-10	10	von 98 bis 102 -5576,423		0,999	0,002648	0,997	0,174	0,858	0,0583	22430	0,0749	False	True
42	PK 4	98,3	42,1	-10	3	von 163 bis 167-5220,454		1	0,00256	0,998	0,174	0,803	0,0563	21722	0,0633	True	True
43	PK 4	98,3	42,1	-10	1	von 193 bis 197-4892,318		1	0,002486	0,998	0,174	0,753	0,0547	20956	0,0634	True	True
44	PK 4	98,3	42,1	-10	0,3	von 218 bis 222-4560,65		1	0,002441	0,997	0,174	0,702	0,0537	19900	0,0711	True	True
45	PK 4	98,3	42,1	-10	0,1	von 233 bis 237-4238,972		1	0,002386	0,996	0,174	0,652	0,0525	18923	0,0709	True	True
46	PK 5	98,3	42,2	20	10	von 98 bis 102 -3490,745		0,981	0,00363	0,982	0,298	0,536	0,0778	13042	0,3155	True	True
47	PK 5	98,3	42,2	20	3	von 163 bis 167-3065,569		0,995	0,004073	0,995	0,298	0,47	0,0873	10210	0,3573	False	True
48	PK 5	98,3	42,2	20	1	von 193 bis 197-2397,077		1	0,003996	0,999	0,298	0,368	0,0857	8137	0,3988	False	True
49	PK 5	98,3	42,2	20	0,3	von 218 bis 222-1885,357		1	0,004202	0,999	0,298	0,289	0,0901	6086	0,4444	False	True
50	PK 5	98,3	42,2	20	0,1	von 233 bis 237-1435,095		1	0,004383	0,999	0,298	0,22	0,094	4441	0,4948	False	True
51	PK 5	98,3	42,2	5	10	von 98 bis 102 -6455,082		0,976	0,003973	0,978	0,217	0,991	0,0865	18886	0,1049	True	True
52	PK 5	98,3	42,2	5	3	von 163 bis 167-5746,42		0,994	0,003835	0,994	0,217	0,882	0,0835	17418	0,1708	True	True
53	PK 5	98,3	42,2	5	1	von 193 bis 197-5267,937		1	0,003956	0,999	0,217	0,808	0,0861	15481	0,1939	True	True
54	PK 5	98,3	42,2	5	0,3	von 218 bis 222-4636,263		1	0,003959	0,999	0,217	0,712	0,0862	13614	0,2225	True	True
55	PK 5	98,3	42,2	5	0,1	von 233 bis 237-4312,442		1	0,004216	0,999	0,217	0,662	0,0918	11890	0,2605	True	True
56	PK 5	98,3	42,2	-10	10	von 98 bis 102 -5618,113		0,997	0,002337	0,961	0,174	0,862	0,0514	25539	0,0605	False	True
57	PK 5	98,3	42,2	-10	3	von 163 bis 167-5353,082		1	0,002292	0,997	0,174	0,822	0,0504	24814	0,0778	True	True
58	PK 5	98,3	42,2	-10	1	von 193 bis 197-4775,673		1	0,00214	0,996	0,174	0,733	0,0471	23711	0,0788	True	True
59	PK 5	98,3	42,2	-10	0,3	von 218 bis 222-4577,275		1	0,002171	0,997	0,174	0,702	0,0478	22402	0,0929	True	True
60	PK 5	98,3	42,2	-10	0,1	von 233 bis 237-4255,754		1	0,002152	0,995	0,174	0,653	0,0473	21009	0,0955	True	True
61	PK 6	98,6	42,1	20	10	von 98 bis 102 -3488,492		0,977	0,003098	0,977	0,298	0,535	0,0662	15311	0,2182	True	True
62	PK 6	98,6	42,1	20	3	von 163 bis 167-3084,928		0,991	0,003227	0,991	0,298	0,473	0,069	12998	0,264	False	True
63	PK 6	98,6	42,1	20	1	von 193 bis 197-2408,524		1	0,002962	0,998	0,298	0,369	0,0633	11054	0,2962	False	True
64	PK 6	98,6	42,1	20	0,3	von 218 bis 222-1898,132		1	0,002798	0,998	0,298	0,291	0,0598	9224	0,327	False	True
65	PK 6	98,6	42,1	20	0,1	von 233 bis 237-1445,293		1	0,002603	0,997	0,298	0,222	0,0556	7550	0,3696	False	True
66	PK 6	98,6	42,1	5	10	von 98 bis 102 -6493,411		0,987	0,003514	0,984	0,217	0,996	0,0763	21531	0,1305	True	True
67	PK 6	98,6	42,1	5	3	von 163 bis 167-5697,361		0,997	0,00335	0,997	0,217	0,874	0,0727	19818	0,149	True	True
68	PK 6	98,6	42,1	5	1	von 193 bis 197-5275,474		1	0,00334	0,998	0,217	0,809	0,0725	18405	0,1513	True	True
69	PK 6	98,6	42,1	5	0,3	von 218 bis 222-4640,197		1	0,003228	0,998	0,217	0,712	0,0701	16749	0,1638	True	True
70	PK 6	98,6	42,1	5	0,1	von 233 bis 237-4316,443		1	0,003313	0,998	0,217	0,662	0,0719	15180	0,1827	True	True

Ergebnisbericht zur Versuchsauswertung nach der TP Asphalt-StB Teil 26 Spaltzug-Schwellversuch - Bestimmung der Steifigkeit

Projekt : **B 248, OU Lüchow
Abschnitt 955

Asphalttragschicht**

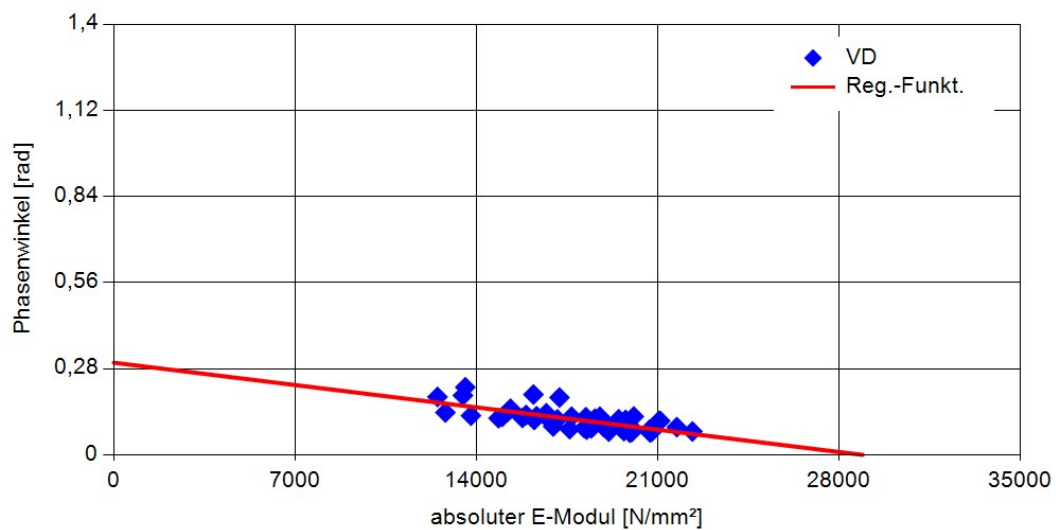
Bearbeiter : **HNL Ingenieur- und Prüfgesellschaft mbH
Peiner Hag 7-9
25491 Prisdorf**



Datum : **14.01.2025**

1- Ergebnisdarstellung

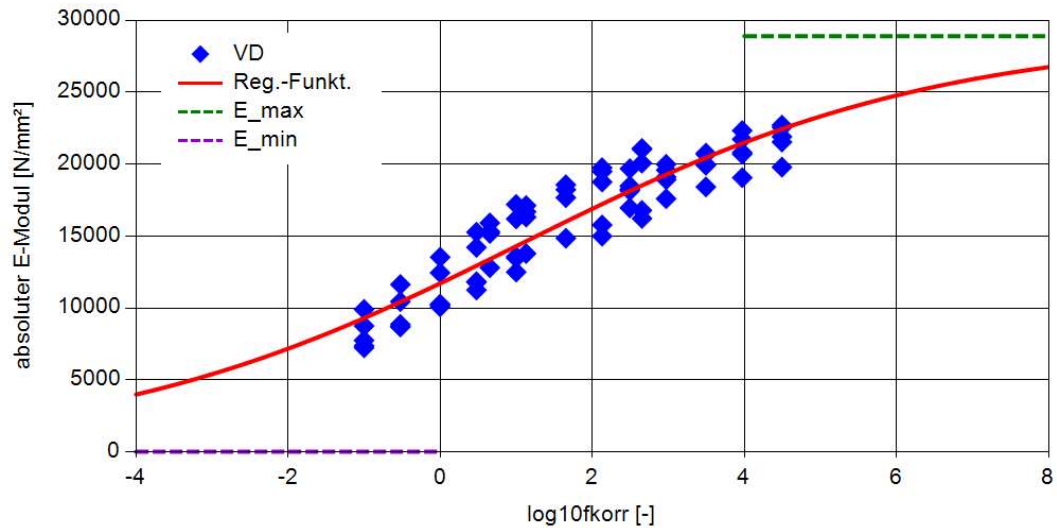
Zusammenhang zwischen absolutem E-Modul und Phasenwinkel (siehe Anlage 1)



Parameter der linearen Ansatzfunktion für den Zusammenhang zwischen E-Modul und Phasenwinkel

E min	E max	m_1	m_0	R^2
0	28.906	-0,000010	0,299857	0,521

Hauptkurve für Asphaltmaterialien (siehe Anlage 1)



Parameter der Hauptkurve (Sigmoidfunktion)

E min	E max	T_0	Φ	Z_1	Z_0	R^2
0	28.906	20,0	20.698	-0,362627	0,384155	0,866

Anlage 1- Regressionsfunktionen

Zusammenhang zwischen absolutem E-Modul und Phasenwinkel

$$\delta = k_1 \cdot |E| + k_2$$

mit:

δ ... Phasenversatz zwischen der aufgetragten axialen Kraft F und der gemessenen horizontalen Verformung s_h

k_1, k_2 ... Parameter der Funktion

$|E|$... absoluter E-Modul (Steifigkeitsmodul)

Hauptkurve für Asphaltmaterialien

$$|E| = E_{min} + \frac{E_{max} - E_{min}}{1 + e^{(b_1 \cdot x^* + b_0)}}$$

für:

$$x^* = \frac{m \cdot \left(\frac{1}{T + 273,15} - \frac{1}{T_{Ref} + 273,15} \right) + \ln f}{\ln 10}$$

mit:

$|E|$... absoluter E-Modul (Steifigkeitsmodul)

E_{min} ... Grenzwert E-Modul bei sehr hohen Temperaturen und/oder sehr niedrigen Frequenzen

E_{max} ... Grenzwert E-Modul bei sehr tiefen Temperaturen und/oder sehr hohen Frequenzen

x^* ... beliebiger Wert auf der Abszissenachse der Masterkurve, bestimmt mit Hilfe der Temperatur-Frequenz-Äquivalenz

b_1, b_0 ... Parameter der Funktion

m ... Materialparameter für Temperatur-Frequenz-Äquivalenz

T_{Ref} ... Referenztemperatur (i.d.R. 20°C)

T ... Temperatur

f ... Belastungsfrequenz

Anlage 2- Versuchsdaten

Erläuterung zur Zusammenfassung der Versuchsdaten

D...	Probekörperdurchmesser
H...	Probekörperhöhe
LW Bereich...	Lastwechselbereich für Bestimmung der Kraft- und Verformungsamplituden
ΔF ...	doppelte Kraftamplitude (delta zwischen min. F und max. F)
$\Delta s(h)$...	doppelte horizontale Verformungsamplitude (delta zwischen min. s_h und max. s_h)
R^2 ...	Bestimmtheitsmaß für Anpassung der Regressionsfunktion an die Versuchsdaten
μ ...	Querdehnzahl zur Berechnung der Dehnung und des abs. E-Moduls
$\Delta \sigma(h)$...	doppelte Amplitude der horizontalen Spannung (delta zwischen min. σ und max. σ)
$\Delta \epsilon(h)$...	doppelte Amplitude der horizontalen Dehnung (delta zwischen min. ϵ und max. ϵ)
δ ...	Phasenwinkel zwischen max. Kraftamplitude und max. horiz. Verformungsamplitude
IDX GM...	Index für Bestimmung der Grenzmodule (TRUE->Messwert berücksichtigt, FALSE->Messwert nicht berücksichtigt)
IDX $ E $...	Index für Bestimmung der Masterkurve (TRUE->Messwert berücksichtigt, FALSE->Messwert nicht berücksichtigt)

Anlage 2 - Versuchsdaten

Zusammenstellung der Versuchsdaten

Nr.	Pk.-Bez.	D [mm]	H [mm]	T [°C]	f [Hz]	LW Bereich	ΔF [N]	R ² [F]	Δs(h) [mm]	R ² (sh)	μ [-]	Δσ(h) [N/mm ²]	Δε(h) [%]	IE [N/mm ²]	δ [rad]	IDX GM	IDX IE
1	PK 1	147,8	74	20	10	von 98 bis 102	-12363,593	0,999	0,005905	0,998	0,298	0,72	0,0842	16196	0,1964	True	True
2	PK 1	147,8	74	20	3	von 163 bis 167	-10618,413	1	0,005779	0,999	0,298	0,618	0,0824	14213	0,2145	False	True
3	PK 1	147,8	74	20	1	von 193 bis 197	-8743,18	1	0,005432	0,999	0,298	0,509	0,0775	12449	0,2369	False	True
4	PK 1	147,8	74	20	0,3	von 218 bis 222	-7869,387	1	0,005828	0,999	0,298	0,458	0,0831	10444	0,2727	False	True
5	PK 1	147,8	74	20	0,1	von 233 bis 237	-6518,964	1	0,005762	0,999	0,298	0,379	0,0822	8751	0,3093	False	True
6	PK 1	147,8	74	5	10	von 98 bis 102	-17661,123	0,999	0,005566	0,998	0,217	1,028	0,0806	21035	0,1099	True	True
7	PK 1	147,8	74	5	3	von 163 bis 167	-17100,522	1	0,005816	0,999	0,217	0,995	0,0842	19489	0,116	True	True
8	PK 1	147,8	74	5	1	von 193 bis 197	-14914,971	1	0,005425	0,999	0,217	0,868	0,0786	18224	0,1227	True	True
9	PK 1	147,8	74	5	0,3	von 218 bis 222	-14216,633	1	0,005646	0,999	0,217	0,828	0,0818	16693	0,1356	True	True
10	PK 1	147,8	74	5	0,1	von 233 bis 237	-13377,013	1	0,00579	0,999	0,217	0,779	0,0839	15315	0,1502	True	True
11	PK 1	147,8	74	-10	10	von 98 bis 102	-20707,594	0,999	0,005524	0,998	0,174	1,205	0,0808	22713	0,0841	False	True
12	PK 1	147,8	74	-10	3	von 163 bis 167	-19844,257	1	0,005533	0,999	0,174	1,155	0,081	21732	0,0905	True	True
13	PK 1	147,8	74	-10	1	von 193 bis 197	-18513,965	1	0,005425	0,999	0,174	1,078	0,0794	20677	0,0818	True	True
14	PK 1	147,8	74	-10	0,3	von 218 bis 222	-17833,3	1	0,005517	0,999	0,174	1,038	0,0807	19587	0,0871	True	True
15	PK 1	147,8	74	-10	0,1	von 233 bis 237	-16968,06	1	0,005561	0,999	0,174	0,988	0,0814	18486	0,091	True	True
16	PK 2	147,9	68,3	20	10	von 98 bis 102	-11428,534	0,999	0,007107	0,998	0,298	0,72	0,1013	13476	0,1933	True	True
17	PK 2	147,9	68,3	20	3	von 163 bis 167	-9799,117	1	0,006962	0,999	0,298	0,618	0,0992	11796	0,2156	False	True
18	PK 2	147,9	68,3	20	1	von 193 bis 197	-8064,564	1	0,006629	0,999	0,298	0,508	0,0945	10195	0,2294	False	True
19	PK 2	147,9	68,3	20	0,3	von 218 bis 222	-7258,274	1	0,007	0,999	0,298	0,457	0,0998	8690	0,2668	False	True
20	PK 2	147,9	68,3	20	0,1	von 233 bis 237	-5986,377	1	0,006931	0,999	0,298	0,377	0,0988	7238	0,3043	False	True
21	PK 2	147,9	68,3	5	10	von 98 bis 102	-16296,569	0,999	0,007213	0,999	0,217	1,027	0,1044	16226	0,1136	True	True
22	PK 2	147,9	68,3	5	3	von 163 bis 167	-15850,605	1	0,007592	1	0,217	0,999	0,1099	14996	0,1238	True	True
23	PK 2	147,9	68,3	-10	10	von 98 bis 102	-19188,548	1	0,005848	0,999	0,174	1,209	0,0855	21540	0,0758	False	True
24	PK 2	147,9	68,3	-10	3	von 163 bis 167	-18334,617	1	0,005815	0,999	0,174	1,155	0,085	20699	0,0733	True	True
25	PK 2	147,9	68,3	-10	1	von 193 bis 197	-17091,465	1	0,005632	0,999	0,174	1,077	0,0824	19922	0,0723	True	True
26	PK 2	147,9	68,3	-10	0,3	von 218 bis 222	-16451,348	1	0,005652	0,999	0,174	1,037	0,0826	19107	0,0757	True	True
27	PK 2	147,9	68,3	-10	0,1	von 233 bis 237	-15661,406	1	0,005633	0,999	0,174	0,987	0,0824	18253	0,0823	True	True
28	PK 4	148	92	20	10	von 98 bis 102	-15450,644	1	0,007084	0,999	0,298	0,722	0,1009	13569	0,2201	True	True
29	PK 4	148	92	20	3	von 163 bis 167	-13233,363	1	0,006963	1	0,298	0,619	0,0992	11824	0,242	False	True
30	PK 4	148	92	20	1	von 193 bis 197	-10880,541	1	0,006592	1	0,298	0,509	0,0939	10269	0,2618	False	True
31	PK 4	148	92	20	0,3	von 218 bis 222	-9808,237	1	0,007013	0,999	0,298	0,459	0,0999	8701	0,2891	False	True
32	PK 4	148	92	20	0,1	von 233 bis 237	-8101,172	1	0,006837	0,999	0,298	0,379	0,0974	7372	0,3258	False	True
33	PK 4	148	92	5	10	von 98 bis 102	-21432,82	0,999	0,005693	0,997	0,217	1,002	0,0824	20072	0,125	True	True
34	PK 4	148	92	5	3	von 163 bis 167	-20479,282	1	0,00582	0,999	0,217	0,958	0,0842	18760	0,1242	True	True
35	PK 4	148	92	5	1	von 193 bis 197	-17964,779	1	0,005421	0,999	0,217	0,84	0,0784	17671	0,1244	True	True

Nr.	Pk.-Bez.	D [mm]	H [mm]	T [°C]	f [Hz]	LW Bereich	ΔF [N]	R ² [F]	$\Delta s(h)$ [mm]	R ² (sh)	μ [-]	$\Delta \sigma(h)$ [N/mm ²]	$\Delta \varepsilon(h)$ [%]	IE [N/mm ²]	δ [rad]	IDX GM	IDX IE
36	PK 4	148	92	5	0,3	von 218 bis 222-17331,755	1	1	0,005663	0,999	0,217	0,81	0,0819	16318	0,126	True	True
37	PK 4	148	92	5	0,1	von 233 bis 237-14559,286	1	1	0,005112	0,999	0,217	0,681	0,0739	15186	0,1388	True	True
38	PK 4	148	92	-10	10	von 98 bis 102 -25691,385	1	1	0,005715	0,999	0,174	1,201	0,0835	21909	0,0872	False	True
39	PK 4	148	92	-10	3	von 163 bis 167-24743,823	1	1	0,005795	1	0,174	1,157	0,0847	20809	0,0871	True	True
40	PK 4	148	92	-10	1	von 193 bis 197-23051,303	1	1	0,005624	0,999	0,174	1,078	0,0822	19975	0,0895	True	True
41	PK 4	148	92	-10	0,3	von 218 bis 222-22199,476	1	1	0,005717	0,999	0,174	1,038	0,0835	18924	0,0896	True	True
42	PK 4	148	92	-10	0,1	von 233 bis 237-21132,453	1	1	0,005673	0,999	0,174	0,988	0,0829	18154	0,0876	True	True
43	PK 5	148	92	20	10	von 98 bis 102 -15504,461	1	1	0,005608	0,999	0,298	0,725	0,0799	17201	0,1868	True	True
44	PK 5	148	92	20	3	von 163 bis 167-13212,759	1	1	0,005384	0,999	0,298	0,618	0,0767	15267	0,2049	False	True
45	PK 5	148	92	20	1	von 193 bis 197-10876,702	1	1	0,005	0,999	0,298	0,509	0,0712	13534	0,2214	False	True
46	PK 5	148	92	20	0,3	von 218 bis 222-9798,941	1	1	0,005243	0,999	0,298	0,458	0,0747	11629	0,2425	False	True
47	PK 5	148	92	20	0,1	von 233 bis 237-8088,989	1	1	0,005084	0,999	0,298	0,378	0,0724	9900	0,2835	False	True
48	PK 5	148	92	5	10	von 98 bis 102 -21497,137	1	1	0,005434	0,999	0,217	1,005	0,0786	21093	0,1107	True	True
49	PK 5	148	92	5	3	von 163 bis 167-20532,507	1	1	0,005542	0,999	0,217	0,96	0,0802	19755	0,1139	True	True
50	PK 5	148	92	5	1	von 193 bis 197-17981,047	1	1	0,005163	0,999	0,217	0,841	0,0747	18569	0,1179	True	True
51	PK 5	148	92	5	0,3	von 218 bis 222-17340,987	1	1	0,0054	0,999	0,217	0,811	0,0781	17122	0,1158	True	True
52	PK 5	148	92	5	0,1	von 233 bis 237-14566,673	1	1	0,00488	0,999	0,217	0,681	0,0706	15915	0,1301	True	True
53	PK 5	148	92	-10	10	von 98 bis 102 -25675,888	1	1	0,005547	0,999	0,174	1,2	0,081	22560	0,0752	False	True
54	PK 5	148	92	-10	3	von 163 bis 167-24775,344	1	1	0,005406	0,999	0,174	1,158	0,079	22334	0,0763	True	True
55	PK 5	148	92	-10	1	von 193 bis 197-23069,768	1	1	0,005414	1	0,174	1,079	0,0791	20767	0,0755	True	True
56	PK 5	148	92	-10	0,3	von 218 bis 222-22215,548	1	1	0,005416	0,999	0,174	1,039	0,0791	19990	0,0744	True	True
57	PK 5	148	92	-10	0,1	von 233 bis 237-21158,298	1	1	0,005237	0,999	0,174	0,989	0,0765	19691	0,0775	True	True
58	PK 6	148,1	90,2	20	10	von 98 bis 102 -15241,705	1	1	0,007739	0,999	0,298	0,726	0,1101	12498	0,1886	True	True
59	PK 6	148,1	90,2	20	3	von 163 bis 167-12970,144	1	1	0,007313	0,999	0,298	0,618	0,1041	11254	0,1998	False	True
60	PK 6	148,1	90,2	20	1	von 193 bis 197-10672,322	1	1	0,006715	0,999	0,298	0,509	0,0956	10085	0,2175	False	True
61	PK 6	148,1	90,2	20	0,3	von 218 bis 222-9619,828	1	1	0,006893	0,999	0,298	0,458	0,0981	8856	0,2544	False	True
62	PK 6	148,1	90,2	20	0,1	von 233 bis 237-7954,376	1	1	0,006514	0,999	0,298	0,379	0,0927	7749	0,2871	False	True
63	PK 6	148,1	90,2	5	10	von 98 bis 102 -21158,657	1	1	0,006855	0,999	0,217	1,008	0,0991	16786	0,1154	True	True
64	PK 6	148,1	90,2	5	3	von 163 bis 167-20110,514	1	1	0,006934	1	0,217	0,958	0,1002	15772	0,1206	True	True
65	PK 6	148,1	90,2	5	1	von 193 bis 197-17640,673	1	1	0,006459	1	0,217	0,841	0,0934	14852	0,1195	True	True
66	PK 6	148,1	90,2	5	0,3	von 218 bis 222-17009,557	1	1	0,00671	1	0,217	0,811	0,097	13785	0,1277	True	True
67	PK 6	148,1	90,2	5	0,1	von 233 bis 237-14247,997	1	1	0,006053	0,999	0,217	0,679	0,0875	12801	0,1381	True	True
68	PK 6	148,1	90,2	-10	10	von 98 bis 102 -25257,832	1	1	0,006343	0,999	0,174	1,204	0,0926	19795	0,0891	False	True
69	PK 6	148,1	90,2	-10	3	von 163 bis 167-24348,27	1	1	0,00635	0,999	0,174	1,16	0,0927	19062	0,0914	True	True
70	PK 6	148,1	90,2	-10	1	von 193 bis 197-22662,91	1	1	0,006116	1	0,174	1,08	0,0893	18420	0,0866	True	True
71	PK 6	148,1	90,2	-10	0,3	von 218 bis 222-21842,462	1	1	0,00617	1	0,174	1,041	0,0901	17597	0,0838	True	True
72	PK 6	148,1	90,2	-10	0,1	von 233 bis 237-20807,192	1	1	0,006098	0,999	0,174	0,992	0,089	16962	0,0926	True	True

Ergebnisbericht zur Versuchsauswertung nach der TP Asphalt-StB Teil 24 Spaltzug-Schwellversuch Beständigkeit gegen Ermüdung

Projekt : **B 248, OU Lüchow
Abschnitt 955

Asphalttragschicht**

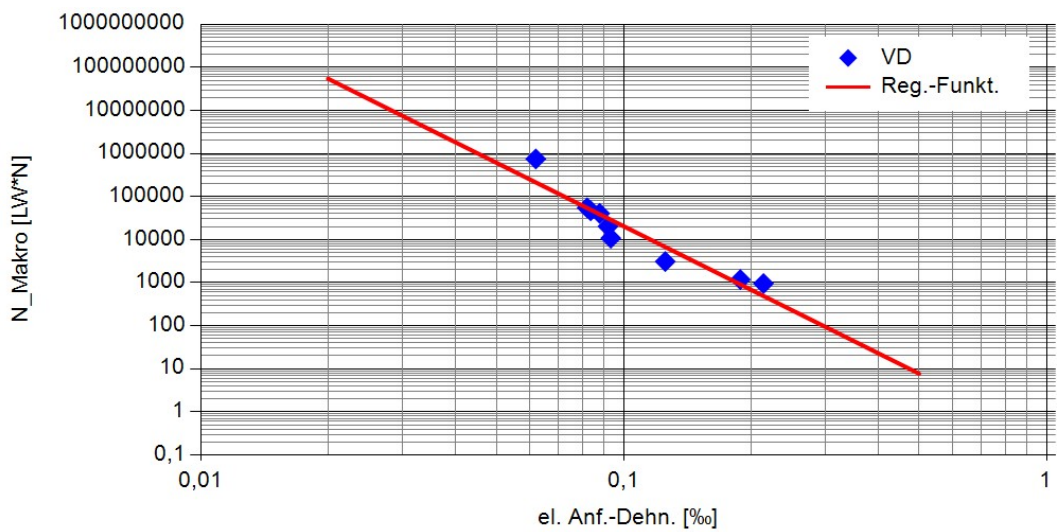
Bearbeiter : **HNL Ingenieur- und Prüfgesellschaft mbH
Peiner Hag 7-9
25491 Prisdorf**



Datum : **14.01.2025**

1- Ergebnisdarstellung

Ermüdungsfunktion



Parameter der Ermüdungsfunktion

k(1)	k(2)	R²
0,258576	-4,899535	0,893

Anlage 1- Versuchsdaten

Erläuterung zur Zusammenfassung der Versuchsdaten

D...	Probekörperdurchmesser
H...	Probekörperhöhe
ΔF...	doppelte Kraftamplitude (delta zwischen min. F und max. F)
Δs(h)...	doppelte horizontale Verformungsamplitude (delta zwischen min. sh und max. sh)
R²...	Bestimmtheitsmaß für Anpassung der Regressionsfunktion an die Versuchsdaten
μ...	Querdehnnzahl zur Berechnung der Dehnung und des abs. E-Moduls
Δσ(h)...	doppelte Amplitude der horizontalen Spannung (delta zwischen min. sig und max. sig)
Δε(h)...	doppelte Amplitude der horizontalen Dehnung (delta zwischen min. eps und max. eps)
N_Makro...	Anzahl Lastwechsel bis Makroriss
IDX N...	Index für Bestimmung der Ermüdungsfunktion (True->Messwert berücksichtigt, False->Messwert nicht berücksichtigt)

Anlage 2 - Versuchsdaten

Zusammenstellung der Versuchsdaten

Nr.	Plk.-Bez.	D [mm]	H [mm]	T [°C]	f [Hz]	ΔF [N]	R ² [F]	Δs(h) [mm]	R ² (sh)	μ [-]	Δσ(h) [N/mm ²]	Δε(h) [‰]	E [N/mm ²]	N Makro	IDX N
1	EV 2	147,8	90,5	20	10	-24462,503	1	0,013244	1	0,298	1,164	0,1889	11682	1181	True
2	EV 6	148,2	90	20	10	-24525,407	1	0,015058	1	0,298	1,171	0,2142	10359	953	True
3	EV 8	148,1	90,8	20	10	-24559,993	1	0,008819	1	0,298	1,163	0,1255	17554	3102	True
4	EV 4	147,9	75,2	20	10	-13346,078	0,997	0,00645	0,997	0,298	0,764	0,0919	15749	20269	True
5	EV 12	148	90,6	20	10	-16032,533	1	0,005869	0,999	0,298	0,761	0,0836	17257	46838	True
6	EV 16	147,5	90,6	20	10	-15969,314	1	0,006531	0,999	0,298	0,761	0,0933	15449	10789	True
7	EV 1	147,7	70,5	20	10	-7565,129	0,999	0,004344	0,998	0,298	0,463	0,062	14140	748577	True
8	EV 3	147,8	90,9	20	10	-9725,509	0,999	0,005748	0,999	0,298	0,461	0,082	10655	54945	True
9	EV 5	147,9	90,2	20	10	-9806,979	0,999	0,006159	0,999	0,298	0,468	0,0878	10104	40620	True

Ergebnisbericht zur Versuchsauswertung nach der TP Asphalt-StB Teil 26 Spaltzug-Schwellversuch - Bestimmung der Steifigkeit

Projekt : **B 248, OU Lüchow
Abschnitt 935

Asphaltdeckschicht**

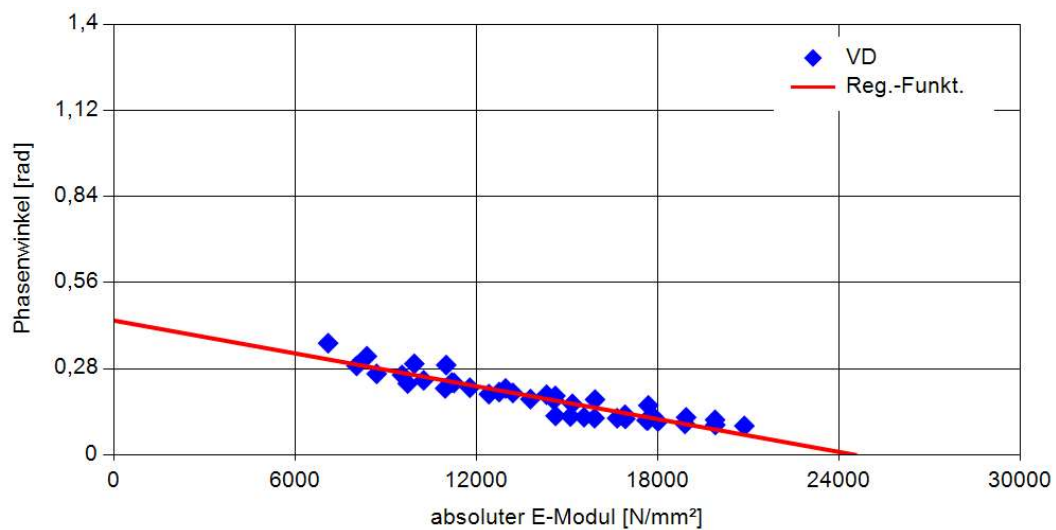
Bearbeiter : **HNL Ingenieur- und Prüfgesellschaft mbH
Peiner Hag 7-9
25491 Prisdorf**



Datum : **14.01.2025**

1- Ergebnisdarstellung

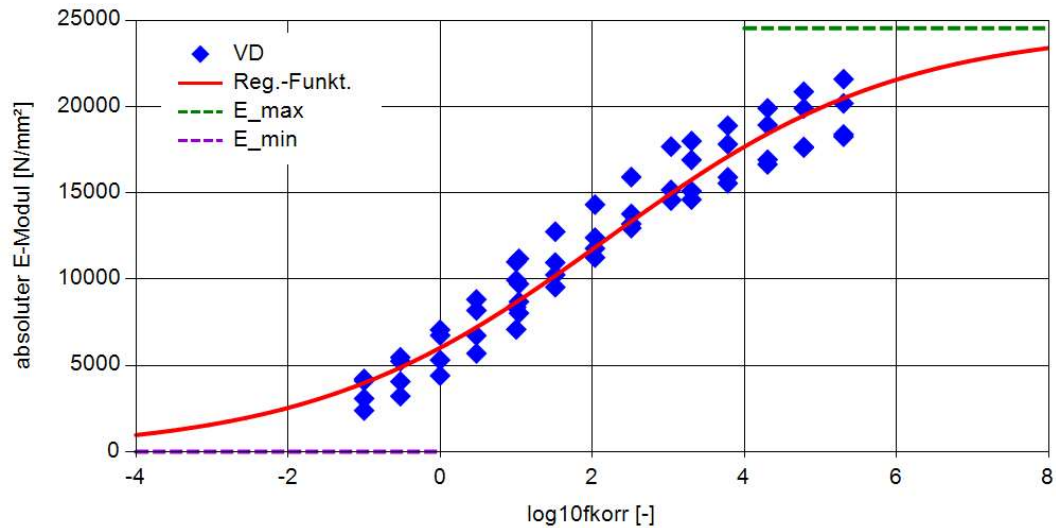
Zusammenhang zwischen absolutem E-Modul und Phasenwinkel (siehe Anlage 1)



Parameter der linearen Ansatzfunktion für den Zusammenhang zwischen E-Modul und Phasenwinkel

E min	E max	m_1	m_0	R^2
0	24.544	-0,000018	0,436792	0,876

Hauptkurve für Asphaltmaterialien (siehe Anlage 1)



Parameter der Hauptkurve (Sigmoidfunktion)

E min	E max	T_0	Φ	Z_1	Z_0	R^2
0	24.544	20,0	25.498	-0,517039	1,123514	0,938

Anlage 1- Regressionsfunktionen

Zusammenhang zwischen absolutem E-Modul und Phasenwinkel

$$\delta = k_1 \cdot |E| + k_2$$

mit:

δ ... Phasenversatz zwischen der aufgebrachten axialen Kraft F und der gemessenen horizontalen Verformung s_h

k_1, k_2 ... Parameter der Funktion

$|E|$... absoluter E-Modul (Steifigkeitsmodul)

Hauptkurve für Asphaltmaterialien

$$|E| = E_{min} + \frac{E_{max} - E_{min}}{1 + e^{(b_1 \cdot x^* + b_0)}}$$

für:

$$x^* = \frac{m \cdot \left(\frac{1}{T + 273,15} - \frac{1}{T_{Ref} + 273,15} \right) + \ln f}{\ln 10}$$

mit:

$|E|$... absoluter E-Modul (Steifigkeitsmodul)

E_{min} ... Grenzwert E-Modul bei sehr hohen Temperaturen und/oder sehr niedrigen Frequenzen

E_{max} ... Grenzwert E-Modul bei sehr tiefen Temperaturen und/oder sehr hohen Frequenzen

x^* ... beliebiger Wert auf der Abszissenachse der Masterkurve, bestimmt mit Hilfe der Temperatur-Frequenz-Äquivalenz

b_1, b_0 ... Parameter der Funktion

m ... Materialparameter für Temperatur-Frequenz-Äquivalenz

T_{Ref} ... Referenztemperatur (i.d.R. 20°C)

T ... Temperatur

f ... Belastungsfrequenz

Anlage 2- Versuchsdaten

Erläuterung zur Zusammenfassung der Versuchsdaten

D...	Probekörperdurchmesser
H...	Probekörperhöhe
LW Bereich...	Lastwechselbereich für Bestimmung der Kraft- und Verformungsamplituden
ΔF ...	doppelte Kraftamplitude (delta zwischen min. F und max. F)
$\Delta s(h)$...	doppelte horizontale Verformungsamplitude (delta zwischen min. s_h und max. s_h)
R^2 ...	Bestimmtheitsmaß für Anpassung der Regressionsfunktion an die Versuchsdaten
μ ...	Querdehnzahl zur Berechnung der Dehnung und des abs. E-Moduls
$\Delta \sigma(h)$...	doppelte Amplitude der horizontalen Spannung (delta zwischen min. σ und max. σ)
$\Delta \epsilon(h)$...	doppelte Amplitude der horizontalen Dehnung (delta zwischen min. ϵ und max. ϵ)
δ ...	Phasenwinkel zwischen max. Kraftamplitude und max. horiz. Verformungsamplitude
IDX GM...	Index für Bestimmung der Grenzmodule (TRUE->Messwert berücksichtigt, FALSE->Messwert nicht berücksichtigt)
IDX $ E $...	Index für Bestimmung der Masterkurve (TRUE->Messwert berücksichtigt, FALSE->Messwert nicht berücksichtigt)

Anlage 2 - Versuchsdaten

Zusammenstellung der Versuchsdaten

Nr.	Pk.-Bez.	D [mm]	H [mm]	T [°C]	f [Hz]	LW Bereich	ΔF [N]	R² [F]	Δs(h) [mm]	R² (sh)	μ [-]	Δσ(h) [N/mm²]	Δε(h) [%]	IE [N/mm²]	δ [rad]	IDX GM	IDX IE
1	PK 2	97,8	42,1	20	10	von 98 bis 102	-2741,883	0,991	0,003389	0,991	0,298	0,424	0,073	10999	0,2922	True	True
2	PK 2	97,8	42,1	20	3	von 163 bis 167-2231,392	0,998	0,998	0,003438	0,997	0,298	0,345	0,0741	8825	0,3382	False	True
3	PK 2	97,8	42,1	20	1	von 193 bis 197-1749,298	1	1	0,003367	0,999	0,298	0,27	0,0726	7063	0,3648	False	True
4	PK 2	97,8	42,1	20	0,3	von 218 bis 222-1296,908	1	1	0,003222	0,999	0,298	0,201	0,0695	5472	0,4049	False	True
5	PK 2	97,8	42,1	20	0,1	von 233 bis 237-1039,606	1	1	0,003347	0,998	0,298	0,161	0,0721	4223	0,4464	False	True
6	PK 2	97,8	42,1	5	10	von 98 bis 102 -4717,329	0,99	0,99	0,003108	0,987	0,217	0,729	0,068	17686	0,161	True	True
7	PK 2	97,8	42,1	5	3	von 163 bis 167-4193,619	0,998	0,998	0,003069	0,996	0,217	0,648	0,0672	15920	0,18	True	True
8	PK 2	97,8	42,1	5	1	von 193 bis 197-3750,148	1	1	0,003051	0,999	0,217	0,58	0,0668	14322	0,1957	True	True
9	PK 2	97,8	42,1	5	0,3	von 218 bis 222-3305,729	1	1	0,003021	0,999	0,217	0,511	0,0661	12752	0,2044	True	True
10	PK 2	97,8	42,1	5	0,1	von 233 bis 237-2988,547	1	1	0,003113	0,998	0,217	0,462	0,0681	11185	0,2353	True	True
11	PK 2	97,8	42,1	-10	10	von 98 bis 102 -6362,166	0,988	0,988	0,003138	0,988	0,174	0,984	0,0694	21594	0,0886	False	True
12	PK 2	97,8	42,1	-10	3	von 163 bis 167-5953,684	0,997	0,997	0,003039	0,995	0,174	0,921	0,0672	20864	0,0944	True	True
13	PK 2	97,8	42,1	-10	1	von 193 bis 197-5355,716	1	1	0,002866	0,998	0,174	0,828	0,0634	19902	0,0975	True	True
14	PK 2	97,8	42,1	-10	0,3	von 218 bis 222-5248,644	1	1	0,002958	0,998	0,174	0,812	0,0654	18895	0,1009	True	True
15	PK 2	97,8	42,1	-10	0,1	von 233 bis 237-5059,214	1	1	0,002993	0,998	0,174	0,782	0,0662	18005	0,1085	True	True
16	PK 3	98,7	36,6	20	10	von 98 bis 102 -2106,052	0,992	0,992	0,004645	0,995	0,298	0,371	0,0992	7090	0,3633	True	True
17	PK 3	98,7	36,6	20	3	von 163 bis 167-1681,943	0,997	0,997	0,004616	0,997	0,298	0,296	0,0986	5698	0,3784	False	True
18	PK 3	98,7	36,6	20	1	von 193 bis 197-1254,387	1	1	0,004448	0,999	0,298	0,221	0,095	4410	0,4138	False	True
19	PK 3	98,7	36,6	20	0,3	von 218 bis 222-912,461	1	1	0,004428	0,999	0,298	0,161	0,0946	3223	0,454	False	True
20	PK 3	98,7	36,6	20	0,1	von 233 bis 237-684,617	1	1	0,004479	0,999	0,298	0,121	0,0956	2391	0,4871	False	True
21	PK 3	98,7	36,6	5	10	von 98 bis 102 -4181,471	0,984	0,984	0,003836	0,985	0,217	0,737	0,0832	14610	0,1918	True	True
22	PK 3	98,7	36,6	5	3	von 163 bis 167-3740,807	0,993	0,993	0,003867	0,992	0,217	0,659	0,0839	12965	0,2162	True	True
23	PK 3	98,7	36,6	5	1	von 193 bis 197-3273,229	1	1	0,003898	0,999	0,217	0,577	0,0846	11254	0,2342	True	True
24	PK 3	98,7	36,6	5	0,3	von 218 bis 222-2893,054	1	1	0,004065	0,999	0,217	0,51	0,0882	9539	0,2599	True	True
25	PK 3	98,7	36,6	5	0,1	von 233 bis 237-2619,577	1	1	0,00437	0,999	0,217	0,462	0,0948	8034	0,2897	True	True
26	PK 3	98,7	36,6	-10	10	von 98 bis 102 -5572,622	0,984	0,984	0,003713	0,985	0,174	0,982	0,0813	18387	0,1035	False	True
27	PK 3	98,7	36,6	-10	3	von 163 bis 167-5291,204	0,995	0,995	0,003678	0,993	0,174	0,932	0,0806	17626	0,1129	True	True
28	PK 3	98,7	36,6	-10	1	von 193 bis 197-4700,653	1	1	0,003458	0,999	0,174	0,828	0,0758	16653	0,1193	True	True
29	PK 3	98,7	36,6	-10	0,3	von 218 bis 222-4603,178	1	1	0,003625	0,999	0,174	0,811	0,0794	15557	0,1228	True	True
30	PK 3	98,7	36,6	-10	0,1	von 233 bis 237-4438,195	1	1	0,00372	0,999	0,174	0,782	0,0815	14615	0,1271	True	True
31	PK 4	97,9	42	20	10	von 98 bis 102 -2387,708	0,986	0,986	0,003272	0,988	0,298	0,37	0,0705	9944	0,2964	True	True
32	PK 4	97,9	42	20	3	von 163 bis 167-1918,421	0,995	0,995	0,003192	0,995	0,298	0,297	0,0687	8190	0,3282	False	True
33	PK 4	97,9	42	20	1	von 193 bis 197-1430,131	1	1	0,00289	0,998	0,298	0,221	0,0622	6745	0,3663	False	True
34	PK 4	97,9	42	20	0,3	von 218 bis 222-1044,585	1	1	0,002712	0,998	0,298	0,162	0,0584	5250	0,4055	False	True
35	PK 4	97,9	42	20	0,1	von 233 bis 237-787,27	1	1	0,002612	0,997	0,298	0,122	0,0562	4107	0,4421	False	True

Nr.	PK-Bez.	D [mm]	H [mm]	T [°C]	f [Hz]	LW Bereich	ΔF [N]	R ² [F]	$\Delta s(h)$ [mm]	R ² (sh)	μ [-]	$\Delta \sigma(h)$ [N/mm ²]	$\Delta \varepsilon(h)$ [%]	IE [N/mm ²]	δ [rad]	IDX GM	IDX IE
36	PK 4	97,9	42	5	10	von 98 bis 102	-4764,667	0,981	0,003668	0,979	0,217	0,738	0,0802	15172	0,1663	True	True
37	PK 4	97,9	42	5	3	von 163 bis 167	-4241,057	0,995	0,003593	0,995	0,217	0,657	0,0786	13785	0,1815	True	True
38	PK 4	97,9	42	5	1	von 193 bis 197	-3733,498	1	0,003514	0,999	0,217	0,578	0,0768	12409	0,1978	True	True
39	PK 4	97,9	42	5	0,3	von 218 bis 222	-3294,733	1	0,00351	0,999	0,217	0,51	0,0767	10964	0,2165	True	True
40	PK 4	97,9	42	5	0,1	von 233 bis 237	-2980,756	1	0,003579	0,998	0,217	0,462	0,0783	9726	0,2322	True	True
41	PK 4	97,9	42	-10	10	von 98 bis 102	-6342,417	0,981	0,003354	0,978	0,174	0,982	0,0741	20190	0,1067	False	True
42	PK 4	97,9	42	-10	3	von 163 bis 167	-5988,416	0,995	0,003214	0,993	0,174	0,927	0,071	19894	0,1142	True	True
43	PK 4	97,9	42	-10	1	von 193 bis 197	-5345,642	1	0,003014	0,998	0,174	0,828	0,0666	18935	0,1221	True	True
44	PK 4	97,9	42	-10	0,3	von 218 bis 222	-5241,45	1	0,00314	0,999	0,174	0,812	0,0694	17822	0,1266	True	True
45	PK 4	97,9	42	-10	0,1	von 233 bis 237	-5053,967	1	0,003189	0,998	0,174	0,782	0,0705	16917	0,1308	True	True
46	PK 5	99	42,1	20	10	von 98 bis 102	-2419,09	0,989	0,003928	0,99	0,298	0,37	0,0836	8373	0,3209	True	True
47	PK 5	99	42,1	20	3	von 163 bis 167	-1950,706	0,995	0,003939	0,996	0,298	0,298	0,0839	6733	0,3583	False	True
48	PK 5	99	42,1	20	1	von 193 bis 197	-1440,721	1	0,003683	0,999	0,298	0,22	0,0784	5318	0,3977	False	True
49	PK 5	99	42,1	20	0,3	von 218 bis 222	-1049,059	1	0,003507	0,999	0,298	0,16	0,0747	4067	0,4343	False	True
50	PK 5	99	42,1	20	0,1	von 233 bis 237	-789,872	1	0,003481	0,998	0,298	0,121	0,0741	3085	0,4656	False	True
51	PK 5	99	42,1	5	10	von 98 bis 102	-4678,84	0,976	0,003744	0,976	0,217	0,715	0,081	14559	0,1785	True	True
52	PK 5	99	42,1	5	3	von 163 bis 167	-4329,403	0,99	0,00382	0,99	0,217	0,661	0,0826	13205	0,2016	True	True
53	PK 5	99	42,1	5	1	von 193 bis 197	-3792,56	1	0,003751	0,999	0,217	0,579	0,0811	11780	0,2186	True	True
54	PK 5	99	42,1	5	0,3	von 218 bis 222	-3347,472	1	0,003804	0,999	0,217	0,511	0,0823	10254	0,2428	True	True
55	PK 5	99	42,1	5	0,1	von 233 bis 237	-3025,203	1	0,004053	0,999	0,217	0,462	0,0876	8697	0,2635	True	True
56	PK 5	99	42,1	-10	10	von 98 bis 102	-6449,753	0,982	0,003763	0,983	0,174	0,985	0,0822	18256	0,0901	False	True
57	PK 5	99	42,1	-10	3	von 163 bis 167	-6070,569	0,996	0,00366	0,994	0,174	0,927	0,0799	17666	0,1123	True	True
58	PK 5	99	42,1	-10	1	von 193 bis 197	-5421,372	1	0,003411	0,998	0,174	0,828	0,0745	16925	0,1173	True	True
59	PK 5	99	42,1	-10	0,3	von 218 bis 222	-5311,342	1	0,003556	0,999	0,174	0,811	0,0777	15907	0,1194	True	True
60	PK 5	99	42,1	-10	0,1	von 233 bis 237	-5118,081	1	0,003608	0,998	0,174	0,782	0,0788	15108	0,1248	True	True

Ergebnisbericht zur Versuchsauswertung nach der TP Asphalt-StB Teil 26 Spaltzug-Schwellversuch - Bestimmung der Steifigkeit

Projekt : **B 248, OU Lüchow
Abschnitt 935

Asphaltbinderschicht**

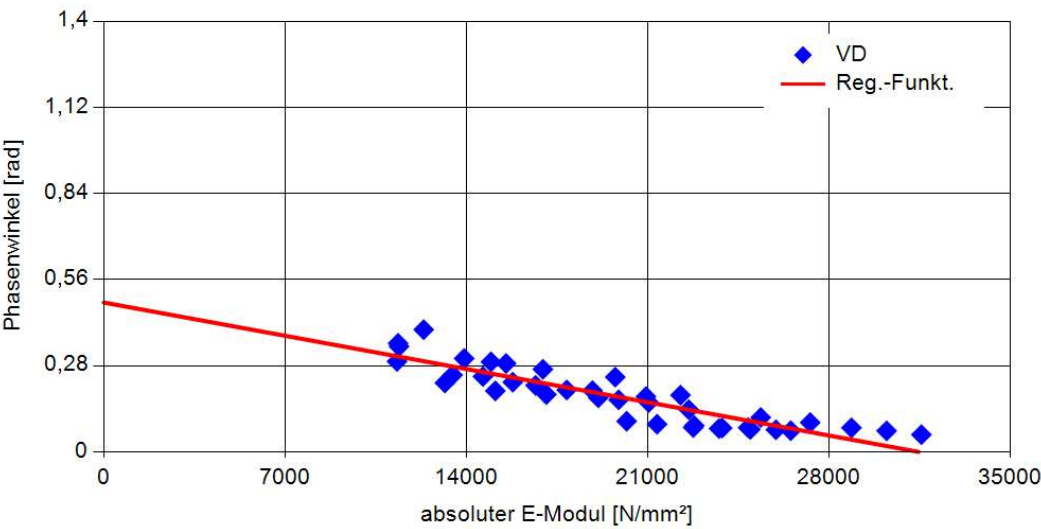
Bearbeiter : **HNL Ingenieur- und Prüfgesellschaft mbH
Peiner Hag 7-9
25491 Prisdorf**



Datum : **14.01.2025**

1- Ergebnisdarstellung

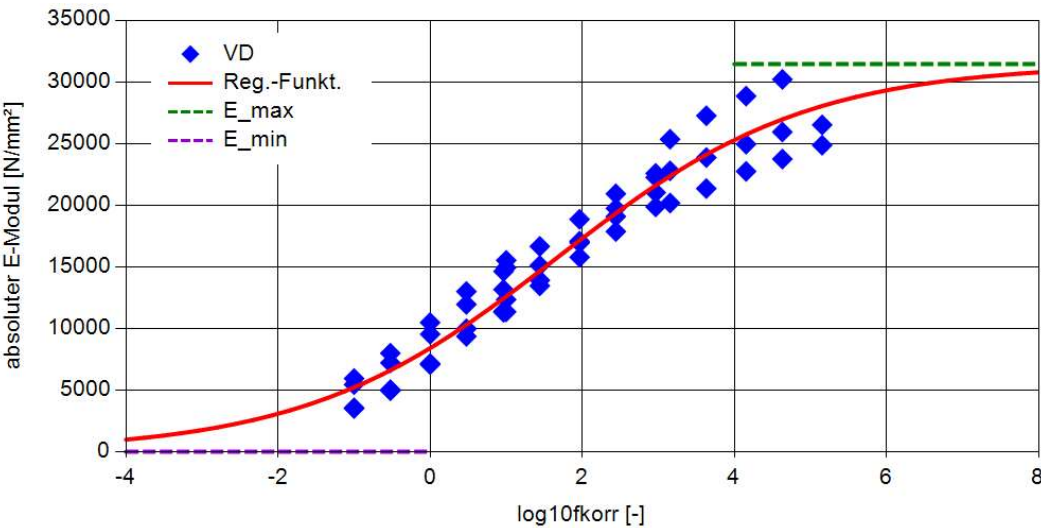
Zusammenhang zwischen absolutem E-Modul und Phasenwinkel (siehe Anlage 1)



Parameter der linearen Ansatzfunktion für den Zusammenhang zwischen E-Modul und Phasenwinkel

E min	E max	m ₁	m ₀	R ²
0	31.448	-0,000015	0,485679	0,810

Hauptkurve für Asphaltmaterialien (siehe Anlage 1)



Parameter der Hauptkurve (Sigmoidfunktion)

E min	E max	T ₀	Φ	Z ₁	Z ₀	R ²
0	31.448	20,0	24.606	-0,605280	1,008432	0,940

Anlage 1- Regressionsfunktionen

Zusammenhang zwischen absolutem E-Modul und Phasenwinkel

$$\delta = k_1 \cdot |E| + k_2$$

mit:

δ ... Phasenversatz zwischen der aufgebrachten axialen Kraft F und der gemessenen horizontalen Verformung s_h

k_1, k_2 ... Parameter der Funktion

$|E|$... absoluter E-Modul (Steifigkeitsmodul)

Hauptkurve für Asphaltmaterialien

$$|E| = E_{min} + \frac{E_{max} - E_{min}}{1 + e^{(b_1 \cdot x^* + b_0)}}$$

für:

$$x^* = \frac{m \cdot \left(\frac{1}{T + 273,15} - \frac{1}{T_{Ref} + 273,15} \right) + \ln f}{\ln 10}$$

mit:

$|E|$... absoluter E-Modul (Steifigkeitsmodul)

E_{min} ... Grenzwert E-Modul bei sehr hohen Temperaturen und/oder sehr niedrigen Frequenzen

E_{max} ... Grenzwert E-Modul bei sehr tiefen Temperaturen und/oder sehr hohen Frequenzen

x^* ... beliebiger Wert auf der Abszissenachse der Masterkurve, bestimmt mit Hilfe der Temperatur-Frequenz-Äquivalenz

b_1, b_0 ... Parameter der Funktion

m ... Materialparameter für Temperatur-Frequenz-Äquivalenz

T_{Ref} ... Referenztemperatur (i.d.R. 20°C)

T ... Temperatur

f ... Belastungsfrequenz

Anlage 2- Versuchsdaten

Erläuterung zur Zusammenfassung der Versuchsdaten

D...	Probekörperdurchmesser
H...	Probekörperhöhe
LW Bereich...	Lastwechselbereich für Bestimmung der Kraft- und Verformungsamplituden
ΔF ...	doppelte Kraftamplitude (delta zwischen min. F und max. F)
$\Delta s(h)$...	doppelte horizontale Verformungsamplitude (delta zwischen min. s_h und max. s_h)
R^2 ...	Bestimmtheitsmaß für Anpassung der Regressionsfunktion an die Versuchsdaten
μ ...	Querdehnzahl zur Berechnung der Dehnung und des abs. E-Moduls
$\Delta \sigma(h)$...	doppelte Amplitude der horizontalen Spannung (delta zwischen min. σ und max. σ)
$\Delta \epsilon(h)$...	doppelte Amplitude der horizontalen Dehnung (delta zwischen min. ϵ und max. ϵ)
δ ...	Phasenwinkel zwischen max. Kraftamplitude und max. horiz. Verformungsamplitude
IDX GM...	Index für Bestimmung der Grenzmodule (TRUE->Messwert berücksichtigt, FALSE->Messwert nicht berücksichtigt)
IDX $ E $...	Index für Bestimmung der Masterkurve (TRUE->Messwert berücksichtigt, FALSE->Messwert nicht berücksichtigt)

Anlage 2 - Versuchsdaten

Zusammenstellung der Versuchsdaten

Nr.	Pk.-Bez.	D [mm]	H [mm]	T [°C]	f [Hz]	LW Bereich	ΔF [N]	R ² [F]	Δs(h) [mm]	R ² (sh)	μ [-]	Δσ(h) [N/mm ²]	Δε(h) [%]	IE [N/mm ²]	δ [rad]	IDX GM	IDX IE
1	PK 1	97,7	42,1	20	10	von 98 bis 102	-3062,61	0,985	0,002787	0,985	0,298	0,474	0,0601	14943	0,2929	True	True
2	PK 1	97,7	42,1	20	3	von 163 bis 167-2381,937	0,996	0,996	0,002707	0,995	0,298	0,369	0,0584	11961	0,3344	False	True
3	PK 1	97,7	42,1	20	1	von 193 bis 197-1804,212	1	1	0,002571	0,998	0,298	0,279	0,0555	9542	0,3718	False	True
4	PK 1	97,7	42,1	20	0,3	von 218 bis 222-1429,911	1	1	0,002695	0,998	0,298	0,221	0,0581	7215	0,4148	False	True
5	PK 1	97,7	42,1	20	0,1	von 233 bis 237-1045,211	1	1	0,002606	0,997	0,298	0,162	0,0562	5454	0,462	False	True
6	PK 1	97,7	42,1	5	10	von 98 bis 102 -5725,06	0,989	0,989	0,003171	0,985	0,217	0,886	0,0695	21034	0,1609	True	True
7	PK 1	97,7	42,1	5	3	von 163 bis 167-4973,106	0,998	0,998	0,003036	0,996	0,217	0,77	0,0665	19088	0,1761	True	True
8	PK 1	97,7	42,1	5	1	von 193 bis 197-4261,36	1	1	0,002906	0,998	0,217	0,66	0,0637	17083	0,1867	True	True
9	PK 1	97,7	42,1	5	0,3	von 218 bis 222-3754,777	1	1	0,002894	0,998	0,217	0,581	0,0634	15116	0,1985	True	True
10	PK 1	97,7	42,1	5	0,1	von 233 bis 237-3301,161	1	1	0,002922	0,998	0,217	0,511	0,064	13165	0,2245	True	True
11	PK 2	97,8	42,3	20	10	von 98 bis 102 -3057,225	0,976	0,976	0,002664	0,975	0,298	0,47	0,0574	15527	0,2877	True	True
12	PK 2	97,8	42,3	20	3	von 163 bis 167-2414,353	0,991	0,991	0,002513	0,992	0,298	0,372	0,0542	13001	0,3239	False	True
13	PK 2	97,8	42,3	20	1	von 193 bis 197-1815,76	1	1	0,002343	0,998	0,298	0,279	0,0505	10485	0,3589	False	True
14	PK 2	97,8	42,3	20	0,3	von 218 bis 222-1438,919	1	1	0,002435	0,998	0,298	0,221	0,0525	7996	0,3996	False	True
15	PK 2	97,8	42,3	20	0,1	von 233 bis 237-1045,13	1	1	0,00238	0,997	0,298	0,161	0,0513	5942	0,4428	False	True
16	PK 2	97,8	42,3	5	10	von 98 bis 102 -5796,431	0,98	0,98	0,002977	0,979	0,217	0,892	0,0652	22580	0,1373	True	True
17	PK 2	97,8	42,3	5	3	von 163 bis 167-5046,555	0,996	0,996	0,002796	0,995	0,217	0,777	0,0612	20930	0,18	True	True
18	PK 2	97,8	42,3	5	1	von 193 bis 197-4289,829	1	1	0,002638	0,998	0,217	0,66	0,0577	18861	0,1994	True	True
19	PK 2	97,8	42,3	5	0,3	von 218 bis 222-3775,625	1	1	0,002627	0,998	0,217	0,581	0,0575	16667	0,2165	True	True
20	PK 2	97,8	42,3	5	0,1	von 233 bis 237-3326,597	1	1	0,002636	0,997	0,217	0,512	0,0577	14635	0,2453	True	True
21	PK 2	97,8	42,3	-10	10	von 98 bis 102 -8212,275	0,999	0,999	0,003283	0,997	0,174	1,264	0,0726	26517	0,069	True	True
22	PK 2	97,8	42,3	-10	3	von 163 bis 167-7824,889	1	1	0,003197	0,998	0,174	1,204	0,0707	25942	0,0722	True	True
23	PK 2	97,8	42,3	-10	1	von 193 bis 197-7641,678	1	1	0,003246	0,998	0,174	1,176	0,0718	24956	0,0734	True	True
24	PK 2	97,8	42,3	-10	0,3	von 218 bis 222-7377,165	1	1	0,003276	0,999	0,174	1,135	0,0724	23867	0,0778	True	True
25	PK 2	97,8	42,3	-10	0,1	von 233 bis 237-6857,61	1	1	0,003189	0,998	0,174	1,055	0,0705	22792	0,0854	True	True
26	PK 3	98,1	42,3	20	10	von 98 bis 102 -3109,014	0,977	0,977	0,003407	0,982	0,298	0,477	0,0732	12348	0,3976	True	True
27	PK 3	98,1	42,3	20	3	von 163 bis 167-2388,975	0,997	0,997	0,003239	0,997	0,298	0,367	0,0696	9981	0,4363	False	True
28	PK 3	98,1	42,3	20	1	von 193 bis 197-1822,426	1	1	0,003485	0,999	0,298	0,28	0,0749	7075	0,4886	False	True
29	PK 3	98,1	42,3	20	0,3	von 218 bis 222-1434,454	1	1	0,003919	0,999	0,298	0,22	0,0842	4953	0,5342	False	True
30	PK 3	98,1	42,3	20	0,1	von 233 bis 237-1043,016	1	1	0,003959	0,999	0,298	0,16	0,0851	3565	0,5779	False	True
31	PK 3	98,1	42,3	5	10	von 98 bis 102 -5787,789	0,976	0,976	0,003015	0,978	0,217	0,888	0,0658	22259	0,1846	True	True
32	PK 3	98,1	42,3	5	3	von 163 bis 167-5077,386	0,994	0,994	0,002983	0,994	0,217	0,779	0,0651	19741	0,2433	True	True
33	PK 3	98,1	42,3	5	1	von 193 bis 197-4294,368	1	1	0,002938	0,999	0,217	0,659	0,0641	16951	0,2687	True	True
34	PK 3	98,1	42,3	5	0,3	von 218 bis 222-3785,34	1	1	0,003155	0,998	0,217	0,581	0,0689	13912	0,3038	True	True
35	PK 3	98,1	42,3	5	0,1	von 233 bis 237-3336,928	1	1	0,003396	0,998	0,217	0,512	0,0741	11396	0,3429	True	True

Nr.	Pk.-Bez.	D [mm]	H [mm]	T [°C]	f [Hz]	LW Bereich	ΔF [N]	R ² [F]	Δs(h) [mm]	R ² (sh)	μ [-]	Δσ(h) [N/mm ²]	Δε(h) [%]	E [N/mm ²]	δ [rad]	IDX GM	IDX E
36	PK 3	98,1	42,3	-10	10	von 98 bis 102	-8222,159	0,998	0,002762	0,993	0,174	1,261	0,0609	31555	0,0562	True	False
37	PK 3	98,1	42,3	-10	3	von 163 bis 167-7841,629		1	0,002751	0,998	0,174	1,203	0,0606	30214	0,0685	True	True
38	PK 3	98,1	42,3	-10	1	von 193 bis 197-7660,813		1	0,002814	0,998	0,174	1,175	0,062	28856	0,0786	True	True
39	PK 3	98,1	42,3	-10	0,3	von 218 bis 222-7406,464		1	0,00288	0,998	0,174	1,136	0,0635	27262	0,0957	True	True
40	PK 3	98,1	42,3	-10	0,1	von 233 bis 237-6884,326		1	0,002878	0,998	0,174	1,056	0,0634	25358	0,112	True	True
41	PK 5	98,8	41,8	20	10	von 98 bis 102	-3085,895	0,971	0,003721	0,974	0,298	0,476	0,0794	11358	0,3532	True	True
42	PK 5	98,8	41,8	20	3	von 163 bis 167-2411,704		0,992	0,003526	0,993	0,298	0,372	0,0752	9365	0,413	False	True
43	PK 5	98,8	41,8	20	1	von 193 bis 197-1813,645		1	0,003467	0,999	0,298	0,28	0,074	7162	0,4508	False	True
44	PK 5	98,8	41,8	20	0,3	von 218 bis 222-1433,923		1	0,003896	0,999	0,298	0,221	0,0831	5040	0,5081	False	True
45	PK 5	98,8	41,8	20	0,1	von 233 bis 237-1041,828		1	0,004056	0,999	0,298	0,161	0,0865	3517	0,5597	False	True
46	PK 5	98,8	41,8	5	10	von 98 bis 102	-5766,915	0,991	0,003406	0,991	0,217	0,889	0,0738	19871	0,1695	True	True
47	PK 5	98,8	41,8	5	3	von 163 bis 167-4980,797		0,998	0,003271	0,997	0,217	0,768	0,0709	17871	0,2015	True	True
48	PK 5	98,8	41,8	5	1	von 193 bis 197-4277,409		1	0,00318	0,998	0,217	0,659	0,0699	15786	0,2267	True	True
49	PK 5	98,8	41,8	5	0,3	von 218 bis 222-3770,835		1	0,003286	0,999	0,217	0,581	0,0712	13467	0,25	True	True
50	PK 5	98,8	41,8	5	0,1	von 233 bis 237-3317,122		1	0,00344	0,998	0,217	0,511	0,0745	11317	0,2941	True	True
51	PK 5	98,8	41,8	-10	10	von 98 bis 102	-8208,169	0,999	0,00354	0,998	0,174	1,265	0,0775	24873	0,0788	True	True
52	PK 5	98,8	41,8	-10	3	von 163 bis 167-7779,812		1	0,003514	0,999	0,174	1,199	0,0769	23749	0,076	True	True
53	PK 5	98,8	41,8	-10	1	von 193 bis 197-7605,133		1	0,003585	0,999	0,174	1,172	0,0785	22752	0,0795	True	True
54	PK 5	98,8	41,8	-10	0,3	von 218 bis 222-7338,759		1	0,003686	0,999	0,174	1,131	0,0807	21356	0,0902	True	True
55	PK 5	98,8	41,8	-10	0,1	von 233 bis 237-6826,855		1	0,003629	0,998	0,174	1,052	0,0794	20181	0,0999	True	True

Ergebnisbericht zur Versuchsauswertung nach der TP Asphalt-StB Teil 26 Spaltzug-Schwellversuch - Bestimmung der Steifigkeit

Projekt : **B 248, OU Lüchow
Abschnitt 935

Asphalttragschicht**

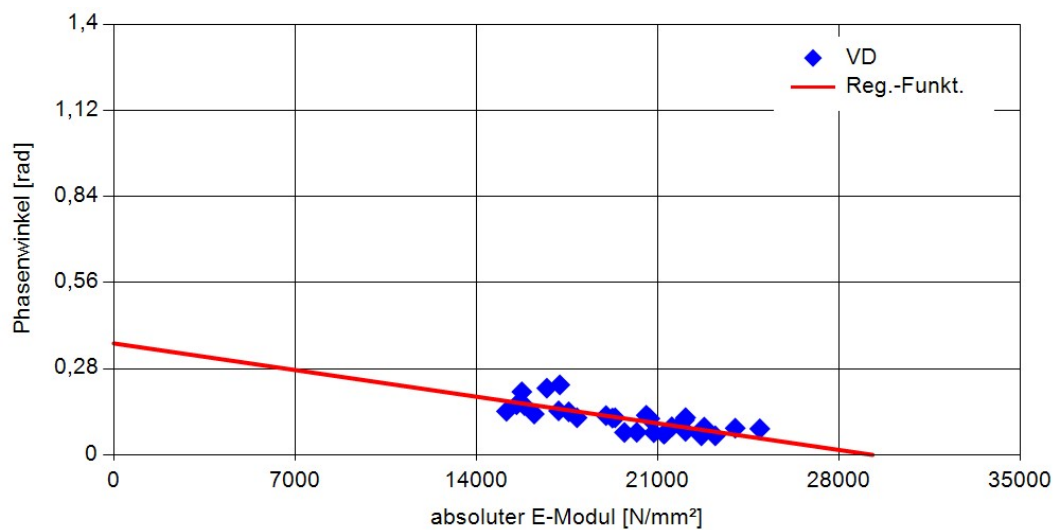
Bearbeiter : **HNL Ingenieur- und Prüfgesellschaft mbH
Peiner Hag 7-9
25491 Prisdorf**



Datum : **14.01.2025**

1- Ergebnisdarstellung

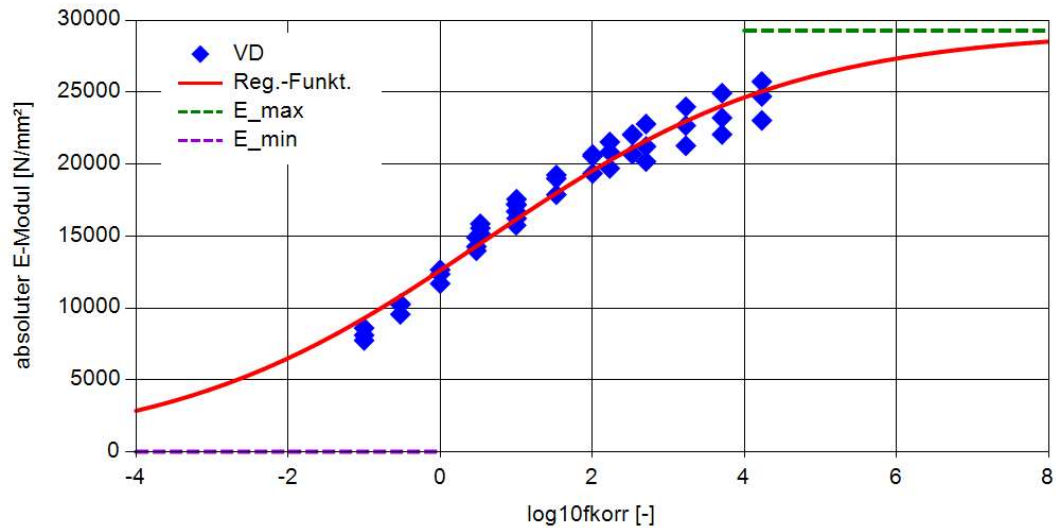
Zusammenhang zwischen absolutem E-Modul und Phasenwinkel (siehe Anlage 1)



Parameter der linearen Ansatzfunktion für den Zusammenhang zwischen E-Modul und Phasenwinkel

E min	E max	m_1	m_0	R^2
0	29.289	-0,000012	0,362614	0,572

Hauptkurve für Asphaltmaterialien (siehe Anlage 1)



Parameter der Hauptkurve (Sigmoidfunktion)

E min	E max	T_0	Φ	Z_1	Z_0	R^2
0	29.289	20,0	19.132	-0,487131	0,280213	0,960

Anlage 1- Regressionsfunktionen

Zusammenhang zwischen absolutem E-Modul und Phasenwinkel

$$\delta = k_1 \cdot |E| + k_2$$

mit:

δ ... Phasenversatz zwischen der aufgebrachten axialen Kraft F und der gemessenen horizontalen Verformung s_h

k_1, k_2 ... Parameter der Funktion

$|E|$... absoluter E-Modul (Steifigkeitsmodul)

Hauptkurve für Asphaltmaterialien

$$|E| = E_{min} + \frac{E_{max} - E_{min}}{1 + e^{(b_1 \cdot x^* + b_0)}}$$

für:

$$x^* = \frac{m \cdot \left(\frac{1}{T + 273,15} - \frac{1}{T_{Ref} + 273,15} \right) + \ln f}{\ln 10}$$

mit:

$|E|$... absoluter E-Modul (Steifigkeitsmodul)

E_{min} ... Grenzwert E-Modul bei sehr hohen Temperaturen und/oder sehr niedrigen Frequenzen

E_{max} ... Grenzwert E-Modul bei sehr tiefen Temperaturen und/oder sehr hohen Frequenzen

x^* ... beliebiger Wert auf der Abszissenachse der Masterkurve, bestimmt mit Hilfe der Temperatur-Frequenz-Äquivalenz

b_1, b_0 ... Parameter der Funktion

m ... Materialparameter für Temperatur-Frequenz-Äquivalenz

T_{Ref} ... Referenztemperatur (i.d.R. 20°C)

T ... Temperatur

f ... Belastungsfrequenz

Anlage 2- Versuchsdaten

Erläuterung zur Zusammenfassung der Versuchsdaten

D...	Probekörperdurchmesser
H...	Probekörperhöhe
LW Bereich...	Lastwechselbereich für Bestimmung der Kraft- und Verformungsamplituden
ΔF ...	doppelte Kraftamplitude (delta zwischen min. F und max. F)
$\Delta s(h)$...	doppelte horizontale Verformungsamplitude (delta zwischen min. s_h und max. s_h)
R^2 ...	Bestimmtheitsmaß für Anpassung der Regressionsfunktion an die Versuchsdaten
μ ...	Querdehnzahl zur Berechnung der Dehnung und des abs. E-Moduls
$\Delta \sigma(h)$...	doppelte Amplitude der horizontalen Spannung (delta zwischen min. σ und max. σ)
$\Delta \epsilon(h)$...	doppelte Amplitude der horizontalen Dehnung (delta zwischen min. ϵ und max. ϵ)
δ ...	Phasenwinkel zwischen max. Kraftamplitude und max. horiz. Verformungsamplitude
IDX GM...	Index für Bestimmung der Grenzmodule (TRUE->Messwert berücksichtigt, FALSE->Messwert nicht berücksichtigt)
IDX $ E $...	Index für Bestimmung der Masterkurve (TRUE->Messwert berücksichtigt, FALSE->Messwert nicht berücksichtigt)

Anlage 2 - Versuchsdaten

Zusammenstellung der Versuchsdaten

Nr.	Pk.-Bez.	D [mm]	H [mm]	T [°C]	f [Hz]	LW Bereich	ΔF [N]	R² [F]	Δs(h) [mm]	R² (sh)	μ [-]	Δσ(h) [N/mm²]	Δε(h) [%]	IE [N/mm²]	δ [rad]	IDX GM	IDX IE
1	PK 1	149,1	90,9	20	10	von 98 bis 102	-13234,685	1	0,005291	0,999	0,298	0,622	0,0748	15752	0,2052	True	True
2	PK 1	149,1	90,9	20	3	von 163 bis 167	-12339,642	1	0,005447	0,999	0,298	0,58	0,077	14266	0,2284	False	True
3	PK 1	149,1	90,9	20	1	von 193 bis 197	-10228,534	1	0,005216	0,999	0,298	0,48	0,0737	12349	0,2548	False	True
4	PK 1	149,1	90,9	20	0,3	von 218 bis 222	-6799,637	1	0,004159	0,999	0,298	0,319	0,0588	10294	0,2929	False	True
5	PK 1	149,1	90,9	20	0,1	von 233 bis 237	-3823,42	0,999	0,002799	0,997	0,298	0,18	0,0396	8602	0,3398	False	True
6	PK 1	149,1	90,9	5	10	von 98 bis 102	-20016,938	0,999	0,005221	0,999	0,217	0,94	0,075	20689	0,1176	True	True
7	PK 1	149,1	90,9	5	3	von 163 bis 167	-19129,904	1	0,005334	0,999	0,217	0,899	0,0766	19352	0,1207	True	True
8	PK 1	149,1	90,9	5	1	von 193 bis 197	-17675,481	1	0,005335	0,999	0,217	0,83	0,0766	17880	0,121	True	True
9	PK 1	149,1	90,9	5	0,3	von 218 bis 222	-16395,25	1	0,005453	0,999	0,217	0,77	0,0783	16226	0,133	True	True
10	PK 1	149,1	90,9	5	0,1	von 233 bis 237	-15119,581	1	0,005382	0,999	0,217	0,71	0,0773	15159	0,142	True	True
11	PK 1	149,1	90,9	-10	10	von 98 bis 102	-24268,042	0,999	0,005196	0,999	0,174	1,14	0,0754	23038	0,0751	False	True
12	PK 1	149,1	90,9	-10	3	von 163 bis 167	-23549,996	1	0,005264	0,999	0,174	1,106	0,0764	22066	0,0766	True	True
13	PK 1	149,1	90,9	-10	1	von 193 bis 197	-22592,009	1	0,005237	0,999	0,174	1,061	0,076	21280	0,0709	True	True
14	PK 1	149,1	90,9	-10	0,3	von 218 bis 222	-21540,974	1	0,005264	0,999	0,174	1,012	0,0764	20185	0,0737	True	True
15	PK 1	149,1	90,9	-10	0,1	von 233 bis 237	-21329,206	1	0,005338	0,999	0,174	1,002	0,0774	19709	0,0731	True	True
16	PK 2	149,2	92	20	10	von 98 bis 102	-13412,898	1	0,004847	0,999	0,298	0,622	0,0685	17218	0,2279	True	True
17	PK 2	149,2	92	20	3	von 163 bis 167	-12466,116	1	0,005205	0,999	0,298	0,578	0,0735	14901	0,2595	False	True
18	PK 2	149,2	92	20	1	von 193 bis 197	-10325,169	1	0,005077	0,999	0,298	0,479	0,0717	12654	0,2898	False	True
19	PK 2	149,2	92	20	0,3	von 218 bis 222	-6876,634	1	0,004184	0,999	0,298	0,319	0,0591	10227	0,3282	False	True
20	PK 2	149,2	92	20	0,1	von 233 bis 237	-4496,497	0,999	0,003452	0,998	0,298	0,209	0,0488	8105	0,3655	False	True
21	PK 2	149,2	92	5	10	von 98 bis 102	-20456,244	0,999	0,004941	0,999	0,217	0,949	0,0709	22073	0,1212	True	True
22	PK 2	149,2	92	5	3	von 163 bis 167	-19388,775	1	0,00503	0,999	0,217	0,899	0,0722	20553	0,1289	True	True
23	PK 2	149,2	92	5	1	von 193 bis 197	-17875,613	1	0,005017	0,999	0,217	0,829	0,072	18999	0,1279	True	True
24	PK 2	149,2	92	5	0,3	von 218 bis 222	-16593,207	1	0,005153	0,999	0,217	0,77	0,0739	17168	0,1435	True	True
25	PK 2	149,2	92	5	0,1	von 233 bis 237	-15267,206	1	0,005236	0,999	0,217	0,708	0,0751	15547	0,1633	True	True
26	PK 2	149,2	92	-10	10	von 98 bis 102	-24471,111	1	0,004633	0,999	0,174	1,135	0,0672	25742	0,0859	False	True
27	PK 2	149,2	92	-10	3	von 163 bis 167	-23902,074	1	0,004671	0,999	0,174	1,109	0,0677	24937	0,085	True	True
28	PK 2	149,2	92	-10	1	von 193 bis 197	-22869,851	1	0,004647	0,999	0,174	1,061	0,0674	23985	0,087	True	True
29	PK 2	149,2	92	-10	0,3	von 218 bis 222	-21794,375	1	0,004661	0,999	0,174	1,011	0,0676	22790	0,0904	True	True
30	PK 2	149,2	92	-10	0,1	von 233 bis 237	-21591,607	1	0,004885	0,999	0,174	1,001	0,0708	21541	0,0914	True	True
31	PK 5	149,7	77,2	20	10	von 98 bis 102	-11296,531	0,999	0,005012	0,999	0,298	0,622	0,0706	16713	0,2171	True	True
32	PK 5	149,7	77,2	20	3	von 163 bis 167	-10502,163	1	0,00557	0,999	0,298	0,579	0,0784	13981	0,2533	False	True
33	PK 5	149,7	77,2	20	1	von 193 bis 197	-8712,376	1	0,005524	0,999	0,298	0,48	0,0778	11694	0,2905	False	True
34	PK 5	149,7	77,2	20	0,3	von 218 bis 222	-5772,456	1	0,004479	0,999	0,298	0,318	0,0631	9556	0,3309	False	True
35	PK 5	149,7	77,2	20	0,1	von 233 bis 237	-3787,675	0,999	0,003627	0,998	0,298	0,209	0,0511	7743	0,3753	False	True
36	PK 5	149,7	77,2	5	10	von 98 bis 102	-17063,878	0,999	0,004923	0,999	0,217	0,94	0,0704	22026	0,1131	True	True
37	PK 5	149,7	77,2	5	3	von 163 bis 167	-16350,144	1	0,005025	0,999	0,217	0,901	0,0719	20673	0,1192	True	True
38	PK 5	149,7	77,2	5	1	von 193 bis 197	-15091,761	1	0,004982	0,999	0,217	0,831	0,0713	19246	0,1199	True	True
39	PK 5	149,7	77,2	5	0,3	von 218 bis 222	-14024,235	1	0,005074	0,999	0,217	0,773	0,0726	17561	0,1402	True	True
40	PK 5	149,7	77,2	5	0,1	von 233 bis 237	-12930,904	1	0,005184	0,999	0,217	0,712	0,0741	15849	0,1607	True	True
41	PK 5	149,7	77,2	-10	10	von 98 bis 102	-20631,693	1	0,004849	0,999	0,174	1,137	0,0701	24710	0,0562	False	True
42	PK 5	149,7	77,2	-10	3	von 163 bis 167	-20406,000	1	0,005284	0,999	0,174	1,400	0,0707	20940	0,0907	False	True

Ergebnisbericht zur Versuchsauswertung nach der TP Asphalt-StB Teil 24 Spaltzug-Schwellversuch Beständigkeit gegen Ermüdung

Projekt : **B 248, OU Lüchow
Abschnitt 935

Asphalttragschicht**

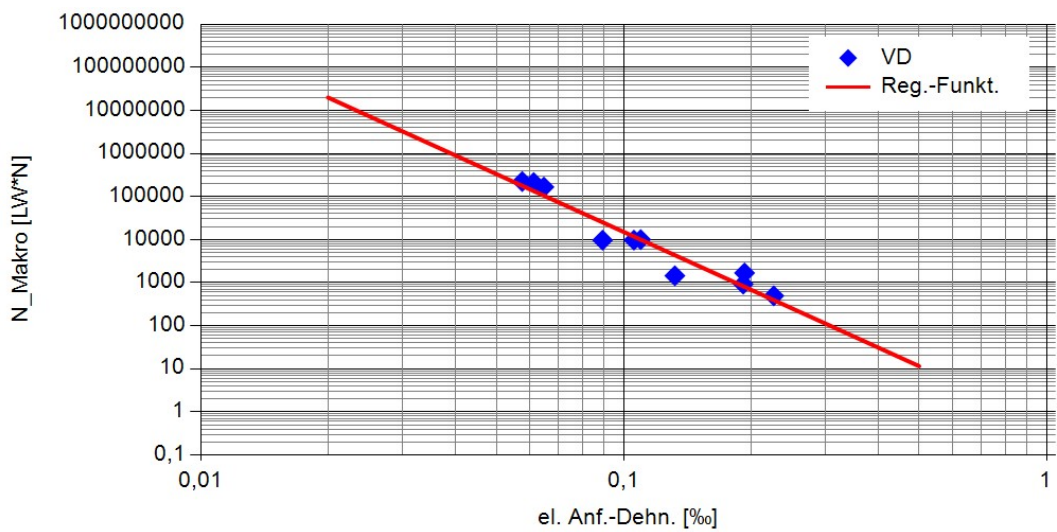
Bearbeiter : **HNL Ingenieur- und Prüfgesellschaft mbH
Peiner Hag 7-9
25491 Prisdorf**



Datum : **14.01.2025**

1- Ergebnisdarstellung

Ermüdungsfunktion



Parameter der Ermüdungsfunktion

k(1)	k(2)	R²
0,521658	-4,462942	0,933

Anlage 1- Versuchsdaten

Erläuterung zur Zusammenfassung der Versuchsdaten

D...	Probekörperdurchmesser
H...	Probekörperhöhe
ΔF...	doppelte Kraftamplitude (delta zwischen min. F und max. F)
Δs(h)...	doppelte horizontale Verformungsamplitude (delta zwischen min. sh und max. sh)
R²...	Bestimmtheitsmaß für Anpassung der Regressionsfunktion an die Versuchsdaten
μ...	Querdehnnzahl zur Berechnung der Dehnung und des abs. E-Moduls
Δσ(h)...	doppelte Amplitude der horizontalen Spannung (delta zwischen min. sig und max. sig)
Δε(h)...	doppelte Amplitude der horizontalen Dehnung (delta zwischen min. eps und max. eps)
N_Makro...	Anzahl Lastwechsel bis Makroriss
IDX N...	Index für Bestimmung der Ermüdungsfunktion (True->Messwert berücksichtigt, False->Messwert nicht berücksichtigt)

Anlage 2 - Versuchsdaten

Zusammenstellung der Versuchsdaten

Nr.	Plk.-Bez.	D [mm]	H [mm]	T [°C]	f [Hz]	ΔF [N]	R ² [F]	Δs(h) [mm]	R ² (sh)	μ [-]	Δσ(h) [N/mm ²]	Δε(h) [‰]	EI [N/mm ²]	N Makro	IDX N
1	EV 2	149	79,2	20	10	-27313,809	0,999	0,013667	0,996	0,298	1,474	0,1933	14444	1684	True
2	EV 5	149,3	90,3	20	10	-31234,843	0,999	0,016052	0,999	0,298	1,475	0,2266	12334	496	True
3	EV 7	149,3	71,5	20	10	-24583,973	1	0,013594	1	0,298	1,466	0,1919	14477	928	True
4	EV 6	149,3	90,4	20	10	-20392,394	1	0,009362	1	0,298	0,962	0,1322	13792	1452	True
5	EV 1	148,9	90	20	10	-20315,357	1	0,007473	0,999	0,298	0,965	0,1058	17290	9759	True
6	EV 3	149,2	79	20	10	-17840,24	0,999	0,007775	0,997	0,298	0,964	0,1098	16624	10022	True
7	EV 13	149,6	60	20	10	-7927,055	0,999	0,00633	0,998	0,298	0,562	0,0892	11947	9722	True
8	EV 4	149,3	91,5	20	10	-12091,896	1	0,004344	0,999	0,298	0,563	0,0613	17411	211835	True
9	EV 8	149,4	90,5	20	10	-11980,801	1	0,004082	0,999	0,298	0,564	0,0576	18563	223546	True
10	EV 11	149,7	75,5	20	10	-10002,813	1	0,004604	0,999	0,298	0,563	0,0648	16472	166287	True

Anlage 4

zur Gutachterlichen Stellungnahme Nr. 5-0788-2024

Ergebnisbericht zur Dimensionierungs- und Prognoseberechnung

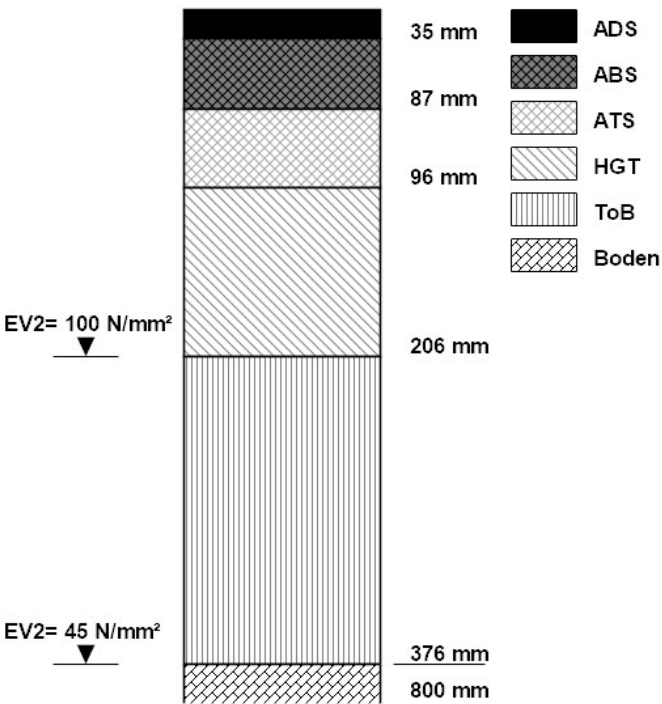
Projekt : **B 248, OU Lüchow
Abschnitt 955**

Bearbeiter : **HNL Ingenieur- und Prüfgesellschaft mbH
Peiner Hag 7-9
25491 Prisdorf**



Datum : **14.01.2025**

1- Konstruktionsaufbau



2- verwendete Materialien

Schicht.-Nr.	Mat.-Bezeichnung	Kennung
1	1272 ADS B248 955	ADS
2	1272 ABS B248 955	ABS
3	1272 ATS B248 955	ATS
4	HGT	HGT
5	SafuM SM100	ToB
6	Boden 45	Boden

Der Subschichtenaufbau ist in der Anlage 1 - Berechnungsmodell aufgeföhrt. Die Materialeigenschaften sind der Anlage 2 - Materialparameter zu entnehmen.

3- Dimensionierungs-/Prognoseparameter

Häufigkeitsverteilung der Oberflächentemperaturen	KiST-Zone 2
Häufigkeitsverteilung der Achslastklassen	B-Str. (AP EDS-1)

Die Häufigkeitsverteilungen der Oberflächentemperaturen und Achslastklassen sind im Detail in Anlage 3 aufgeföhrt.

Beiwerte für Verkehrsbelastung

durchschnittlich tägliche Verkehrsstärke DTV(SV)	955
Achszahlfaktor fa	4
Fahrstreifenfaktor f1	0,5
Fahrstreifenbreitenfaktor f2	1,1
Steigungsfaktor f3	1,02
mittlere jährliche Zunahme des Schwerverkehrs p	0,02
Berücksichtigung Zunahme des Schwerverkehrs im 1.Jahr	ja
Beanspruchung B nach RStO 12	9,6 Mio

Dimensionierungsparameter

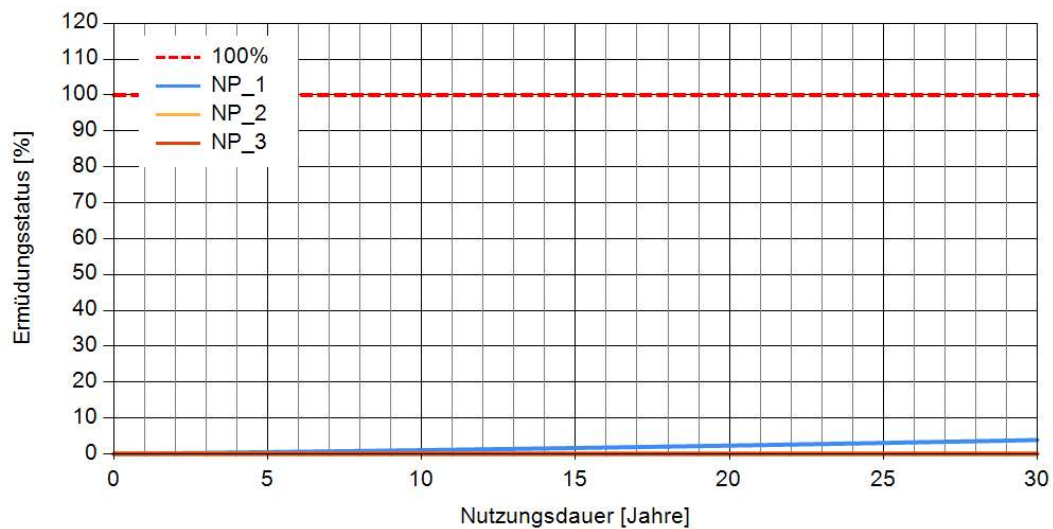
Anpassungsfaktor für Asphaltsschichten	1500
-	
Sicherheitsbeiwert für SoB	1,5
Anpassungsfaktor für HGT	2,5
Sicherheitsbeiwert für Boden	2,5

4- Ergebnisdarstellung

Nachweispunkte für Dimensionierungs-/Prognoseberechnung

NP-Nr.	Schicht.-Nr.	x-Koord. [mm]	y-Koord. [mm]	z-Koord. [mm]	Nachweis
1	18	0	0	218	ASP
2	19	0	0	424	HGT
3	21	0	0	800	Planum

Ermüdungsstatus der Nachweispunkte



Einzelaufstellung der Ergebnisse der Nachweispunkte

NP-Nr.	ND [Jahre]	Erm.-Status (ND) [%]	ND (100% Erm.-Status) [Jahre]
1	30	3,89	>30
2	30	0,05	>30
3	30	0,02	>30

Spurrinnengefährdung (max. deviatorische Vergleichsspannung)

Schicht-Nr.	Mat.-Zuordn.	Kennung	max. $\sigma(\text{dev})$ [N/mm ²]
4	1272 ADS B248 955	ADS	-0,134608
13	1272 ABS B248 955	ABS	-0,246461

Anlage 1 - Berechnungsmodell

Schicht-Nr.	Mat.-Zuordn.	Kennung	Dicke [mm]	S Dicke [mm]	Verb.-Fakt.	Querd.-Z.
1	1272 ADS B248 955	ADS	10	10	0	0,35
2	1272 ADS B248 955	ADS	10	20	0	0,35
3	1272 ADS B248 955	ADS	10	30	0	0,35
4	1272 ADS B248 955	ADS	5	35	0	0,35
5	1272 ABS B248 955	ABS	10	45	0	0,35
6	1272 ABS B248 955	ABS	10	55	0	0,35
7	1272 ABS B248 955	ABS	10	65	0	0,35
8	1272 ABS B248 955	ABS	10	75	0	0,35
9	1272 ABS B248 955	ABS	10	85	0	0,35
10	1272 ABS B248 955	ABS	10	95	0	0,35
11	1272 ABS B248 955	ABS	10	105	0	0,35
12	1272 ABS B248 955	ABS	10	115	0	0,35
13	1272 ABS B248 955	ABS	7	122	0	0,35
14	1272 ATS B248 955	ATS	20	142	0	0,35
15	1272 ATS B248 955	ATS	20	162	0	0,35
16	1272 ATS B248 955	ATS	20	182	0	0,35
17	1272 ATS B248 955	ATS	20	202	0	0,35
18	1272 ATS B248 955	ATS	16	218	1000	0,35
19	HGT	HGT	206	424	1000	0,25
20	SafuM SM100	ToB	376	800	1000	0,5
21	Boden 45	Boden	0	0	0	0,5

Hinweise zum Berechnungsmodell

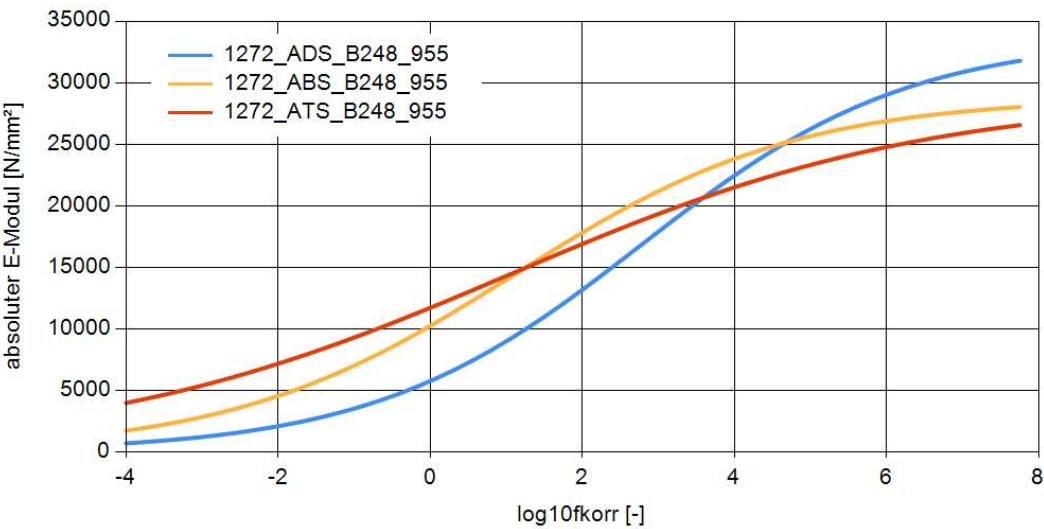
Die Unterteilung des Berechnungsmodells in Subsichten speziell für die Asphaltdecken dient zur Anpassung der temperaturabhängigen Steifigkeiten der Asphaltmaterialien in Abhängigkeit des Temperaturverlaufes innerhalb der Oberbaukonstruktion.

Der Verbundfaktor beschreibt die Eigenschaften in der Schichtgrenze zwischen zwei Schichten.

Ein Verbundfaktor von 0 stellt dabei einen vollständigen Schichtenverbund sicher. Ein Verbundfaktor von 1000 löst die Verbundwirkung zwischen zwei Schichten vollständig auf.

Anlage 2 - Materialparameter

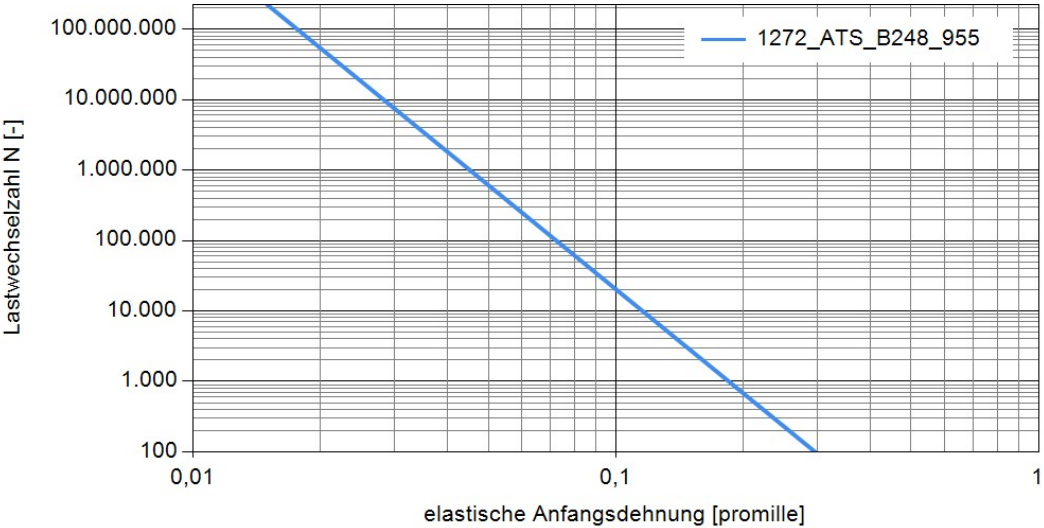
Hauptkurve des absoluten E-Moduls für Asphaltmaterialien



Parameter der Hauptkurve des absoluten E-Moduls für Asphaltmaterialien

Mat.-Bez.	Kennung	E min	E max	z ₁	z ₀	T ₀	ϕ
1272 ADS B248 955	ADS	0	33.672	-0,568321	1,579038	20	27.397
1272 ABS B248 955	ABS	0	28.809	-0,539312	0,595781	20	23.529
1272 ATS B248 955	ATS	0	28.906	-0,362627	0,384155	20	20.698

Ermüdungsfunktion für Asphaltmaterialien



Parameter der Ermüdungsfunktion für Asphaltmaterialien

Mat.-Bez.	Kennung	k	n
1272 ATS B248 955	ATS	0,258576	-4,899535

Materialeigenschaften der Schichten ohne Bindemittel

Parameter zum Materialverhalten der SoB

Mat.-Bez.	Kennung	EV2 [N/mm ²]	ES [N/mm ²]
SafuM SM100	ToB	100,00	100,00
Boden_45	Boden	45,00	45,00

Hinweise zu den Parametern der SoB

Der Parameter ES kennzeichnet den Schichtmodul der ungebundenen Tragschichten in der Konstruktion.

Dieser wird in der Regel durch Rückrechnung des EV2-Wertes bestimmt bzw. kann als konkreter Wert vorgegeben werden.

Für den Boden wird der Schichtmodul gleich dem EV2-Wert gesetzt.

Materialeigenschaften der hydraulisch gebundenen Tragschichten / Verfestigungen

Parameter zum Materialverhalten der HGT oder Verfestigung

Mat.-Bez.	Kennung	E_ATS [N/mm ²]	E_HGT [N/mm ²]
HGT	HGT	2.000,00	5.000,00

Hinweise zu den Parametern der HGT

Der E-Modul E_ATS wird für die Berechnung der Beanspruchungen für den Nachweispunkt Asphalttschicht verwendet.

Wird auch der Nachweis der HGT geführt, so wird der E-Modul E_HGT für die Berechnung der Beanspruchungen in Ansatz gebracht.

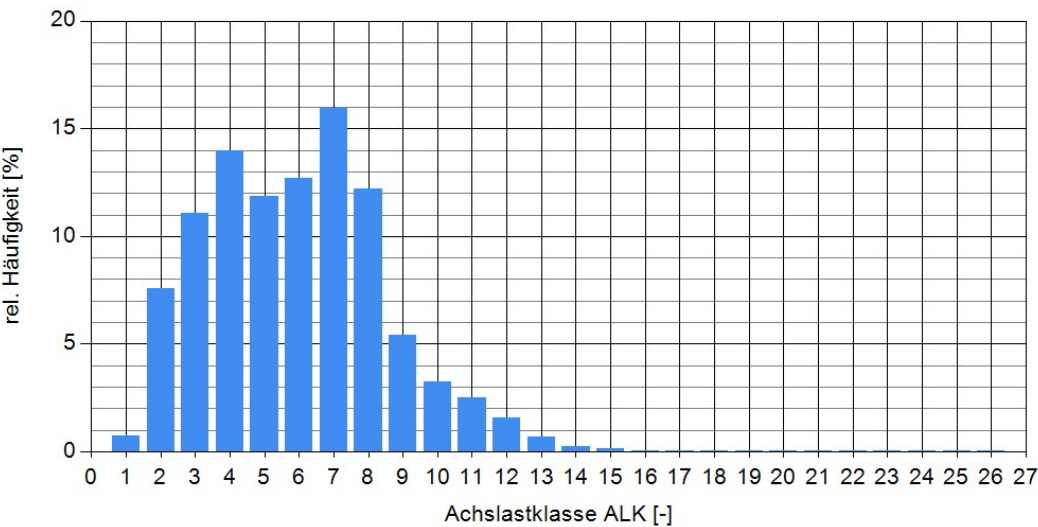
Anlage 3 - Häufigkeitsverteilung der Oberflächentemperaturen und Achslastklassen

Häufigkeitsverteilung der Oberflächentemperaturen

Häufigkeiten der ncT's für : KiST-Zone 2

TOF [°C]	ncT 1	ncT 2	ncT 3	ncT 4	ncT 5	ncT 6	ncT 7	ncT 8	ncT 9	ncT 10	ncT 11	ncT 12
-12,5	0,00	0,12	0,06	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-7,5	0,10	1,15	0,20	0,00	0,00	0,01	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-2,5	1,18	5,18	0,71	0,02	0,01	0,05	0,18	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
2,5	3,93	9,17	1,55	0,08	0,06	0,18	0,47	0,23	0,00	0,00	0,00	0,01
7,5	5,11	7,94	2,59	0,25	0,17	0,44	0,76	0,62	0,00	0,00	0,01	0,09
12,5	3,74	5,42	4,12	0,55	0,45	0,69	1,11	1,38	0,00	0,00	0,08	0,25
17,5	2,02	2,50	2,95	0,92	0,78	1,01	1,12	1,95	0,03	0,03	0,25	0,53
22,5	0,84	0,47	0,95	1,43	1,10	1,05	0,32	1,17	0,11	0,14	0,56	0,79
27,5	0,15	0,05	0,26	1,58	1,42	0,50	0,01	0,20	0,25	0,39	0,92	0,48
32,5	0,01	0,00	0,03	1,01	1,03	0,10	0,00	0,01	0,51	0,81	0,91	0,08
37,5	0,00	0,00	0,00	0,35	0,35	0,00	0,00	0,00	0,68	1,26	0,47	0,00
42,5	0,00	0,00	0,00	0,06	0,03	0,00	0,00	0,00	0,46	1,14	0,14	0,00
47,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,69	0,01	0,00

Häufigkeitsverteilung der Achslastklassen



Häufigkeiten der ALK für : B-Str. (AP EDS-1)

ALK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
AL [t]	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00
rel H [%]	0,7584	7,5776	11,0960	13,9787	11,8812	12,6773	15,9459	12,2235	5,3959	3,2347	2,5206
ALK	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
AL [t]	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00	17,00	18,00	19,00	20,00	21,00	22,00
rel H [%]	1,5577	0,6966	0,2473	0,1447	0,0423	0,0129	0,0046	0,0020	0,0010	0,0005	0,0003
ALK	23	24	25	26							
AL [t]	23,00	24,00	25,00	26,00							
rel H [%]	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000							

Anlage 4 - Berechnungsparameter

Berechnung Temperaturverlauf	nach AP EDS-2 (ncT's)
Berechnung Radkontaktspannung	Radius konstant mit R= 150 mm
Berechnung Querdehnzahl	aus Tabelle Befestigungsaufbau (konstant)
Berechnungsmodul für Beanspruchungen	MLT DLL (Mehrschichtentheorie)
Frequenz für Berechnung der Asphaltsteifigkeiten	10 Hz
Anpassung Schichtmodul der ToB und FSS über EV2-Wert	ja
Berücksichtigung der kryogenen Zugspannungen	ja
Normfallbeschleunigung g	9,81 m/s ²

Berechnung der Achsübergänge AÜ im Nutzungszeitraum

Jahr	1+p	DTV(SV)	f(A)	f(1)	f(2)	f(3)	Tage/Jahr	AÜ
1	1,02	974,1	4	0,5	1,1	1,02	365	797.846,35
2	1,02	993,58	4	0,5	1,1	1,02	365	813.801,63
3	1,02	1013,45	4	0,5	1,1	1,02	365	830.076,36
4	1,02	1033,72	4	0,5	1,1	1,02	365	846.678,70
5	1,02	1054,39	4	0,5	1,1	1,02	365	863.608,67
6	1,02	1075,48	4	0,5	1,1	1,02	365	880.882,65
7	1,02	1096,99	4	0,5	1,1	1,02	365	898.500,63
8	1,02	1118,93	4	0,5	1,1	1,02	365	916.470,81
9	1,02	1141,31	4	0,5	1,1	1,02	365	934.801,37
10	1,02	1164,14	4	0,5	1,1	1,02	365	953.500,51
11	1,02	1187,42	4	0,5	1,1	1,02	365	972.568,23
12	1,02	1211,17	4	0,5	1,1	1,02	365	992.020,90
13	1,02	1235,39	4	0,5	1,1	1,02	365	1.011.858,53
14	1,02	1260,1	4	0,5	1,1	1,02	365	1.032.097,51
15	1,02	1285,3	4	0,5	1,1	1,02	365	1.052.737,82
16	1,02	1311,01	4	0,5	1,1	1,02	365	1.073.795,85
17	1,02	1337,23	4	0,5	1,1	1,02	365	1.095.271,60
18	1,02	1363,97	4	0,5	1,1	1,02	365	1.117.173,27
19	1,02	1391,25	4	0,5	1,1	1,02	365	1.139.517,23
20	1,02	1419,08	4	0,5	1,1	1,02	365	1.162.311,66
21	1,02	1447,46	4	0,5	1,1	1,02	365	1.185.556,59
22	1,02	1476,41	4	0,5	1,1	1,02	365	1.209.268,37
23	1,02	1505,94	4	0,5	1,1	1,02	365	1.233.455,22
24	1,02	1536,06	4	0,5	1,1	1,02	365	1.258.125,30
25	1,02	1566,78	4	0,5	1,1	1,02	365	1.283.286,83
26	1,02	1598,12	4	0,5	1,1	1,02	365	1.308.956,17
27	1,02	1630,08	4	0,5	1,1	1,02	365	1.335.133,32
28	1,02	1662,68	4	0,5	1,1	1,02	365	1.361.834,68
29	1,02	1695,93	4	0,5	1,1	1,02	365	1.389.068,43
30	1,02	1729,85	4	0,5	1,1	1,02	365	1.416.850,94

AÜ 32,4 Mio.

Ergebnisbericht zur Dimensionierungs- und Prognoseberechnung

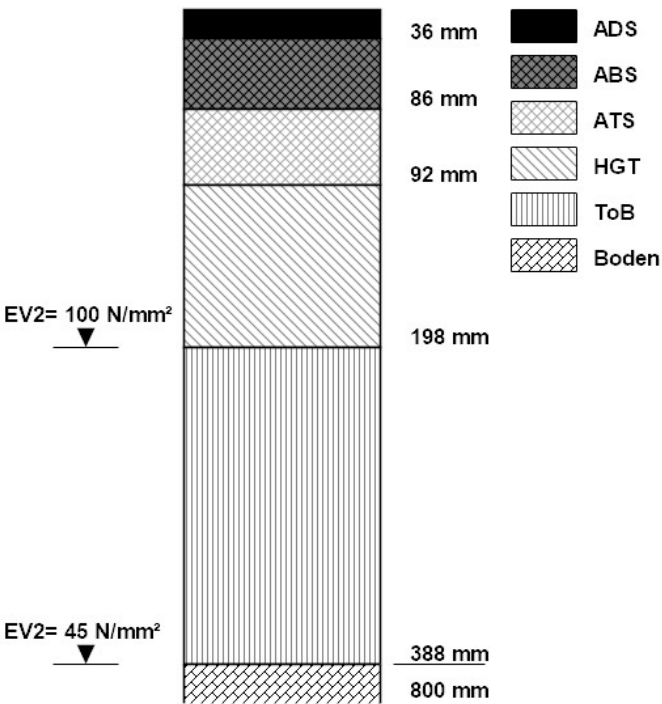
Projekt : **B 248, OU Lüchow
Abschnitt 935**

Bearbeiter : **HNL Ingenieur- und Prüfgesellschaft mbH
Peiner Hag 7-9
25491 Prisdorf**



Datum : **14.01.2025**

1- Konstruktionsaufbau



2- verwendete Materialien

Schicht.-Nr.	Mat.-Bezeichnung	Kennung
1	1273 ADS B248 935	ADS
2	1273 ABS B248 935	ABS
3	1273 ATS B248 935	ATS
4	HGT	HGT
5	SafuM SM100	ToB
6	Boden 45	Boden

Der Subschichtenaufbau ist in der Anlage 1 - Berechnungsmodell aufgeföhrt. Die Materialeigenschaften sind der Anlage 2 - Materialparameter zu entnehmen.

3- Dimensionierungs-/Prognoseparameter

Häufigkeitsverteilung der Oberflächentemperaturen	KiST-Zone 2
Häufigkeitsverteilung der Achslastklassen	B-Str. (AP EDS-1)

Die Häufigkeitsverteilungen der Oberflächentemperaturen und Achslastklassen sind im Detail in Anlage 3 aufgeföhrt.

Beiwerte für Verkehrsbelastung

durchschnittlich tägliche Verkehrsstärke DTV(SV)	849
Achszahlfaktor fa	4
Fahrstreifenfaktor f1	0,5
Fahrstreifenbreitenfaktor f2	1,1
Steigungsfaktor f3	1,02
mittlere jährliche Zunahme des Schwerverkehrs p	0,02
Berücksichtigung Zunahme des Schwerverkehrs im 1.Jahr	ja
Beanspruchung B nach RStO 12	8,5 Mio

Dimensionierungsparameter

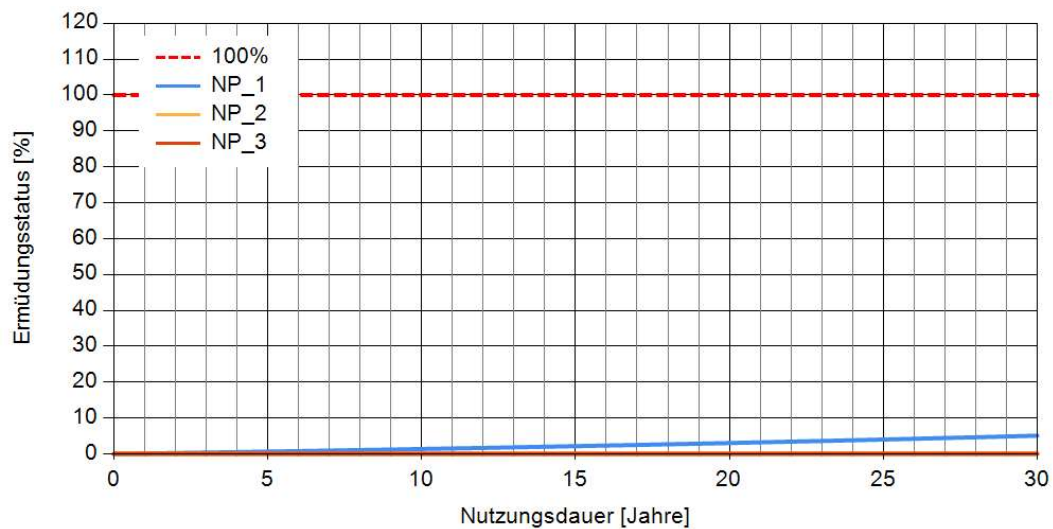
Anpassungsfaktor für Asphaltsschichten	1500
-	
Sicherheitsbeiwert für SoB	1,5
Anpassungsfaktor für HGT	2,5
Sicherheitsbeiwert für Boden	2,5

4- Ergebnisdarstellung

Nachweispunkte für Dimensionierungs-/Prognoseberechnung

NP-Nr.	Schicht.-Nr.	x-Koord. [mm]	y-Koord. [mm]	z-Koord. [mm]	Nachweis
1	18	0	0	214	ASP
2	19	0	0	412	HGT
3	21	0	0	800	Planum

Ermüdungsstatus der Nachweispunkte



Einzelaufstellung der Ergebnisse der Nachweispunkte

NP-Nr.	ND [Jahre]	Erm.-Status (ND) [%]	ND (100% Erm.-Status) [Jahre]
1	30	5,09	>30
2	30	0,10	>30
3	30	0,04	>30

Spurrinnengefährdung (max. deviatorische Vergleichsspannung)

Schicht-Nr.	Mat.-Zuordn.	Kennung	max. $\sigma(\text{dev})$ [N/mm ²]
4	1273 ADS B248 935	ADS	-0,061158
10	1273 ABS B248 935	ABS	-0,240399

Anlage 1 - Berechnungsmodell

Schicht-Nr.	Mat.-Zuordn.	Kennung	Dicke [mm]	S Dicke [mm]	Verb.-Fakt.	Querd.-Z.
1	1273 ADS B248 935	ADS	10	10	0	0,35
2	1273 ADS B248 935	ADS	10	20	0	0,35
3	1273 ADS B248 935	ADS	10	30	0	0,35
4	1273 ADS B248 935	ADS	6	36	0	0,35
5	1273 ABS B248 935	ABS	10	46	0	0,35
6	1273 ABS B248 935	ABS	10	56	0	0,35
7	1273 ABS B248 935	ABS	10	66	0	0,35
8	1273 ABS B248 935	ABS	10	76	0	0,35
9	1273 ABS B248 935	ABS	10	86	0	0,35
10	1273 ABS B248 935	ABS	10	96	0	0,35
11	1273 ABS B248 935	ABS	10	106	0	0,35
12	1273 ABS B248 935	ABS	10	116	0	0,35
13	1273 ABS B248 935	ABS	6	122	0	0,35
14	1273 ATS B248 935	ATS	20	142	0	0,35
15	1273 ATS B248 935	ATS	20	162	0	0,35
16	1273 ATS B248 935	ATS	20	182	0	0,35
17	1273 ATS B248 935	ATS	20	202	0	0,35
18	1273 ATS B248 935	ATS	12	214	1000	0,35
19	HGT	HGT	198	412	1000	0,25
20	SafuM SM100	ToB	388	800	1000	0,5
21	Boden 45	Boden	0	0	0	0,5

Hinweise zum Berechnungsmodell

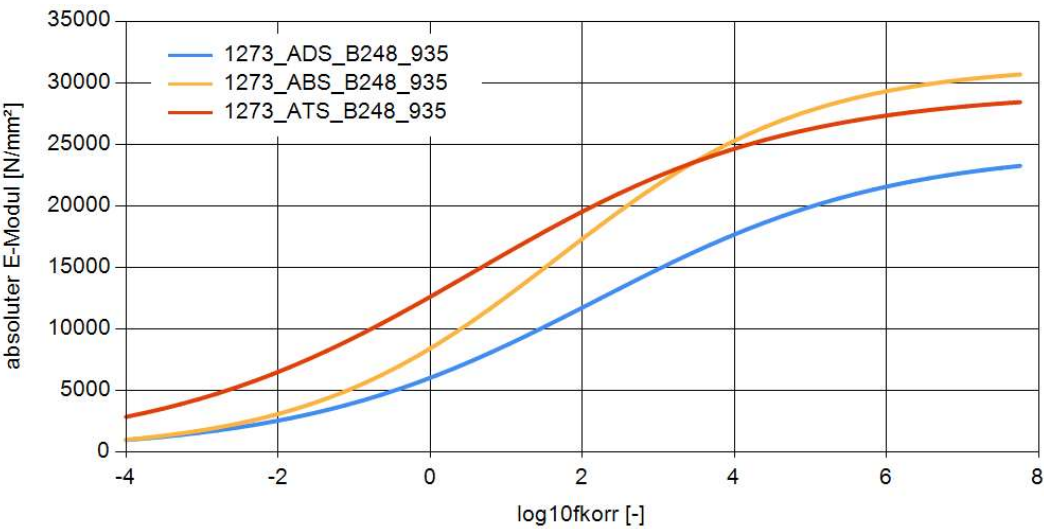
Die Unterteilung des Berechnungsmodells in Subsichten speziell für die Asphaltdecken dient zur Anpassung der temperaturabhängigen Steifigkeiten der Asphaltmaterialien in Abhängigkeit des Temperaturverlaufes innerhalb der Oberbaukonstruktion.

Der Verbundfaktor beschreibt die Eigenschaften in der Schichtgrenze zwischen zwei Schichten.

Ein Verbundfaktor von 0 stellt dabei einen vollständigen Schichtenverbund sicher. Ein Verbundfaktor von 1000 löst die Verbundwirkung zwischen zwei Schichten vollständig auf.

Anlage 2 - Materialparameter

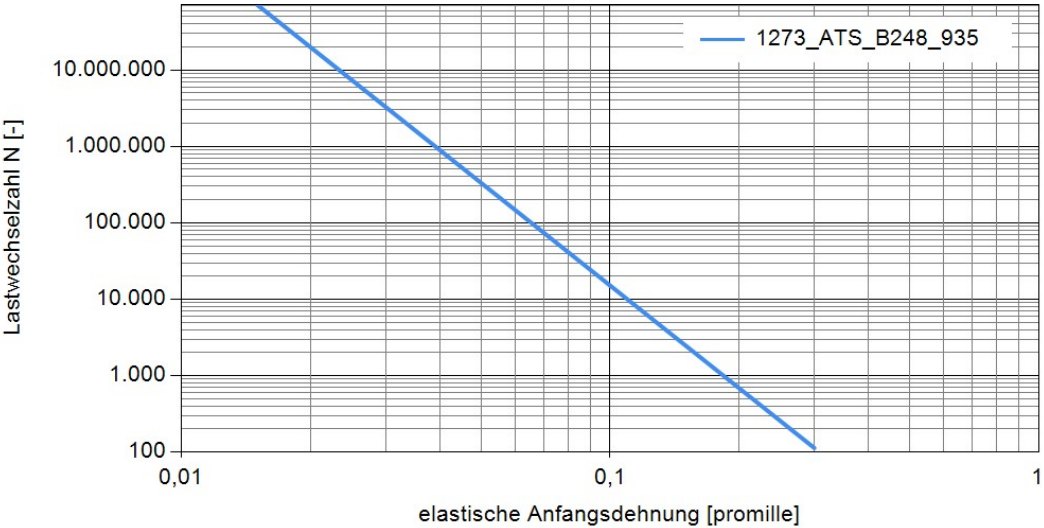
Hauptkurve des absoluten E-Moduls für Asphaltmaterialien



Parameter der Hauptkurve des absoluten E-Moduls für Asphaltmaterialien

Mat.-Bez.	Kennung	E min	E max	z ₁	z ₀	T ₀	ϕ
1273 ADS B248 935	ADS	0	24.544	-0,517039	1,123514	20	25.498
1273 ABS B248 935	ABS	0	31.448	-0,605280	1,008432	20	24.606
1273 ATS B248 935	ATS	0	29.289	-0,487131	0,280213	20	19.132

Ermüdungsfunktion für Asphaltmaterialien



Parameter der Ermüdungsfunktion für Asphaltmaterialien

Mat.-Bez.	Kennung	k	n
1273 ATS B248 935	ATS	0,521658	-4,462942

Materialeigenschaften der Schichten ohne Bindemittel

Parameter zum Materialverhalten der SoB

Mat.-Bez.	Kennung	EV2 [N/mm ²]	ES [N/mm ²]
SafuM SM100	ToB	100,00	100,00
Boden_45	Boden	45,00	45,00

Hinweise zu den Parametern der SoB

Der Parameter ES kennzeichnet den Schichtmodul der ungebundenen Tragschichten in der Kontruktion.

Dieser wird in der Regel durch Rückrechnung des EV2-Wertes bestimmt bzw. kann als konkreter Wert vorgegeben werden.

Für den Boden wird der Schichtmodul gleich dem EV2-Wert gesetzt.

Materialeigenschaften der hydraulisch gebundenen Tragschichten / Verfestigungen

Parameter zum Materialverhalten der HGT oder Verfestigung

Mat.-Bez.	Kennung	E_ATS [N/mm ²]	E_HGT [N/mm ²]
HGT	HGT	2.000,00	5.000,00

Hinweise zu den Parametern der HGT

Der E-Modul E_ATS wird für die Berechnung der Beanspruchungen für den Nachweispunkt Asphalttschicht verwendet.

Wird auch der Nachweis der HGT geführt, so wird der E-Modul E_HGT für die Berechnung der Beanspruchungen in Ansatz gebracht.

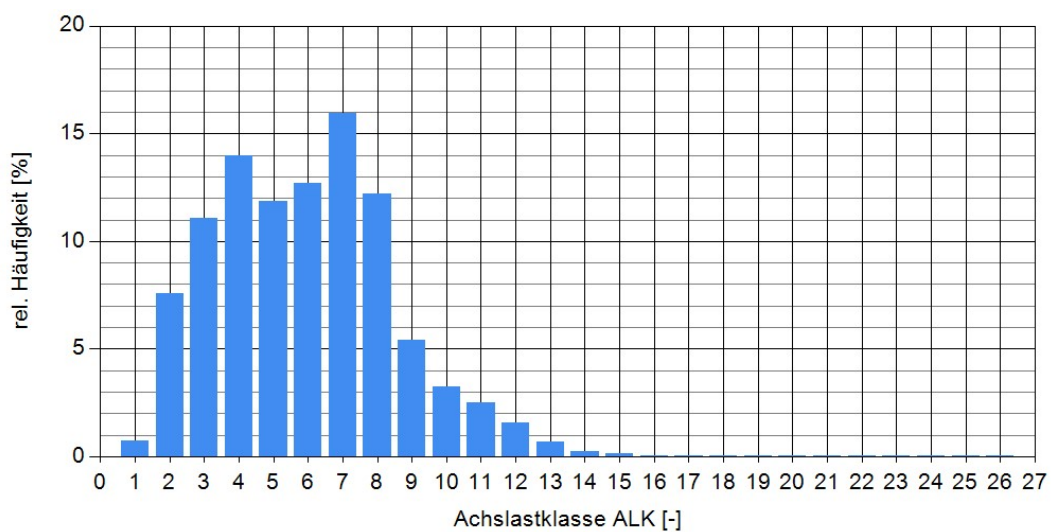
Anlage 3 - Häufigkeitsverteilung der Oberflächentemperaturen und Achslastklassen

Häufigkeitsverteilung der Oberflächentemperaturen

Häufigkeiten der ncT's für : KiST-Zone 2

TOF [°C]	ncT 1	ncT 2	ncT 3	ncT 4	ncT 5	ncT 6	ncT 7	ncT 8	ncT 9	ncT 10	ncT 11	ncT 12
-12,5	0,00	0,12	0,06	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-7,5	0,10	1,15	0,20	0,00	0,00	0,01	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-2,5	1,18	5,18	0,71	0,02	0,01	0,05	0,18	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
2,5	3,93	9,17	1,55	0,08	0,06	0,18	0,47	0,23	0,00	0,00	0,00	0,01
7,5	5,11	7,94	2,59	0,25	0,17	0,44	0,76	0,62	0,00	0,00	0,01	0,09
12,5	3,74	5,42	4,12	0,55	0,45	0,69	1,11	1,38	0,00	0,00	0,08	0,25
17,5	2,02	2,50	2,95	0,92	0,78	1,01	1,12	1,95	0,03	0,03	0,25	0,53
22,5	0,84	0,47	0,95	1,43	1,10	1,05	0,32	1,17	0,11	0,14	0,56	0,79
27,5	0,15	0,05	0,26	1,58	1,42	0,50	0,01	0,20	0,25	0,39	0,92	0,48
32,5	0,01	0,00	0,03	1,01	1,03	0,10	0,00	0,01	0,51	0,81	0,91	0,08
37,5	0,00	0,00	0,00	0,35	0,35	0,00	0,00	0,00	0,68	1,26	0,47	0,00
42,5	0,00	0,00	0,00	0,06	0,03	0,00	0,00	0,00	0,46	1,14	0,14	0,00
47,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,69	0,01	0,00

Häufigkeitsverteilung der Achslastklassen



Häufigkeiten der ALK für : B-Str. (AP EDS-1)

ALK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
AL [t]	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00
rel H [%]	0,7584	7,5776	11,0960	13,9787	11,8812	12,6773	15,9459	12,2235	5,3959	3,2347	2,5206
ALK	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
AL [t]	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00	17,00	18,00	19,00	20,00	21,00	22,00
rel H [%]	1,5577	0,6966	0,2473	0,1447	0,0423	0,0129	0,0046	0,0020	0,0010	0,0005	0,0003
ALK	23	24	25	26							
AL [t]	23,00	24,00	25,00	26,00							
rel H [%]	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000							

Anlage 4 - Berechnungsparameter

Berechnung Temperaturverlauf	nach AP EDS-2 (ncT's)
Berechnung Radkontaktspannung	Radius konstant mit R= 150 mm
Berechnung Querdehnzahl	aus Tabelle Befestigungsaufbau (konstant)
Berechnungsmodul für Beanspruchungen	MLT DLL (Mehrschichtentheorie)
Frequenz für Berechnung der Asphaltsteifigkeiten	10 Hz
Anpassung Schichtmodul der ToB und FSS über EV2-Wert	ja
Berücksichtigung der kryogenen Zugspannungen	ja
Normfallbeschleunigung g	9,81 m/s ²

Berechnung der Achsübergänge AÜ im Nutzungszeitraum

Jahr	1+p	DTV(SV)	f(A)	f(1)	f(2)	f(3)	Tage/Jahr	AÜ
1	1,02	865,98	4	0,5	1,1	1,02	365	709.289,58
2	1,02	883,3	4	0,5	1,1	1,02	365	723.475,70
3	1,02	900,97	4	0,5	1,1	1,02	365	737.948,49
4	1,02	918,99	4	0,5	1,1	1,02	365	752.707,95
5	1,02	937,37	4	0,5	1,1	1,02	365	767.762,27
6	1,02	956,12	4	0,5	1,1	1,02	365	783.119,65
7	1,02	975,24	4	0,5	1,1	1,02	365	798.780,07
8	1,02	994,74	4	0,5	1,1	1,02	365	814.751,74
9	1,02	1014,63	4	0,5	1,1	1,02	365	831.042,85
10	1,02	1034,92	4	0,5	1,1	1,02	365	847.661,58
11	1,02	1055,62	4	0,5	1,1	1,02	365	864.616,12
12	1,02	1076,73	4	0,5	1,1	1,02	365	881.906,47
13	1,02	1098,26	4	0,5	1,1	1,02	365	899.540,84
14	1,02	1120,23	4	0,5	1,1	1,02	365	917.535,58
15	1,02	1142,63	4	0,5	1,1	1,02	365	935.882,53
16	1,02	1165,48	4	0,5	1,1	1,02	365	954.598,05
17	1,02	1188,79	4	0,5	1,1	1,02	365	973.690,34
18	1,02	1212,57	4	0,5	1,1	1,02	365	993.167,58
19	1,02	1236,82	4	0,5	1,1	1,02	365	1.013.029,79
20	1,02	1261,56	4	0,5	1,1	1,02	365	1.033.293,33
21	1,02	1286,79	4	0,5	1,1	1,02	365	1.053.958,22
22	1,02	1312,53	4	0,5	1,1	1,02	365	1.075.040,82
23	1,02	1338,78	4	0,5	1,1	1,02	365	1.096.541,15
24	1,02	1365,56	4	0,5	1,1	1,02	365	1.118.475,57
25	1,02	1392,87	4	0,5	1,1	1,02	365	1.140.844,10
26	1,02	1420,73	4	0,5	1,1	1,02	365	1.163.663,11
27	1,02	1449,14	4	0,5	1,1	1,02	365	1.186.932,61
28	1,02	1478,12	4	0,5	1,1	1,02	365	1.210.668,97
29	1,02	1507,68	4	0,5	1,1	1,02	365	1.234.880,38
30	1,02	1537,83	4	0,5	1,1	1,02	365	1.259.575,04

AÜ 28,8 Mio.