RECHNERISCHE DIMENSIONIERUNG ALS BASIS FÜR GANZHEITLICHE, NACHHALTIGE ASPHALTBEFESTIGUNGEN

Referent: Dipl.-Ing. Volker Schäfer | Schäfer Consult, Oldenburg

Inhaltsübersicht

- Einleitung
- Nachhaltigkeit der Asphaltbauweise
- Grundlagen zur rechnerischen Dimensionierung
- Beispiel Bundesautobahn
- Beispiel Fläche mit Sondernutzung
- Schlussfolgerung und Ausblick

Danksagungen

- **Co-Autor des Vortrags: Tobias Di Turi, M.Sc.**

- **allen öffentlichen und privaten Auftraggebern für das frühzeitige Interesse an dieser Herangehensweise für die Dimensionierung von Asphaltbefestigungen**

NACHHALTIGKEIT DURCH DAUERHAFTIGKEIT



NACHHALTIGKEIT DER ASPHALTBAUWEISE

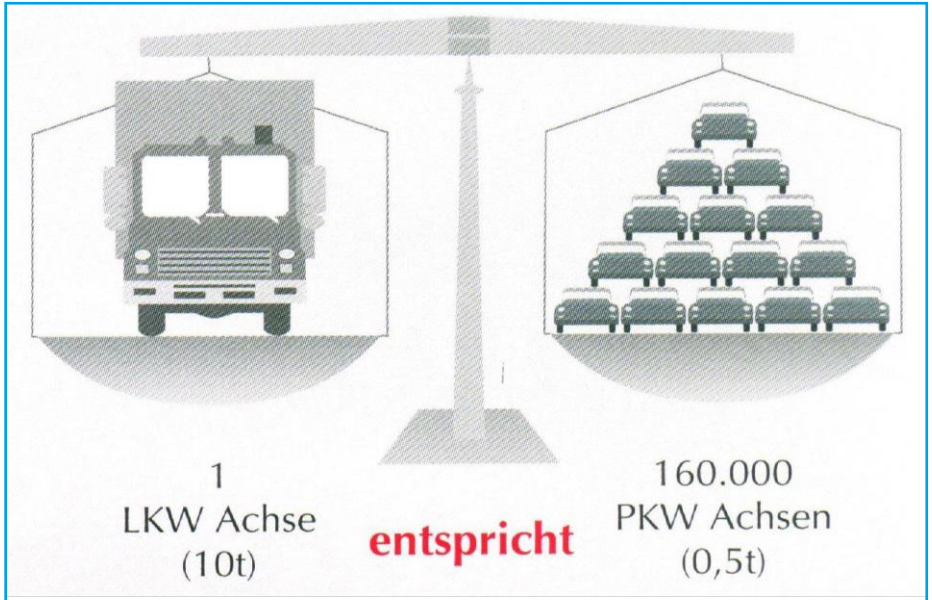
- **Größte CO2-Emissionen neben der Asphaltmischgutproduktion durch Produktion und Transport der Rohstoffe**
- **daher insbesondere zwei Stellschrauben für die Nachhaltigkeit:**
  - **Hohe Wiederverwendungsraten in den neuen Asphaltschichten**
  - **Lange Nutzungszeiträume der Asphaltschichten**
- **beides lässt sich durch die rechnerische Dimensionierung adressieren**

DIMENSIONIERUNG VON VERKEHRSFLÄCHENBEFESTIGUNGEN

- **RStO 12/24**
  - Empirisches Modell
  - Festlegung des Oberbaukonzepts anhand Belastungsklassen
  - Erfahrungshintergrund bis 100 Mio. äquivalente 10-t-Achsübergänge
  - Nutzungszeitraum 30 Jahre
  - nicht anwendbar für Flächen mit Sondernutzung

- **RDO Asphalt 09/24**
  - rechnerisches Modell
  - Festlegung des Oberbaukonzepts anhand Verkehrsbeanspruchung / Materialparametern / klimatischen Bedingungen
  - Berechnung prinzipiell für jede dimensionierungsrelevante Beanspruchung
  - Nutzungszeitraum frei wählbar
  - Universelle Anwendbarkeit

GRUNDLAGEN DER RECHNERISCHEN DIMENSIONIERUNG



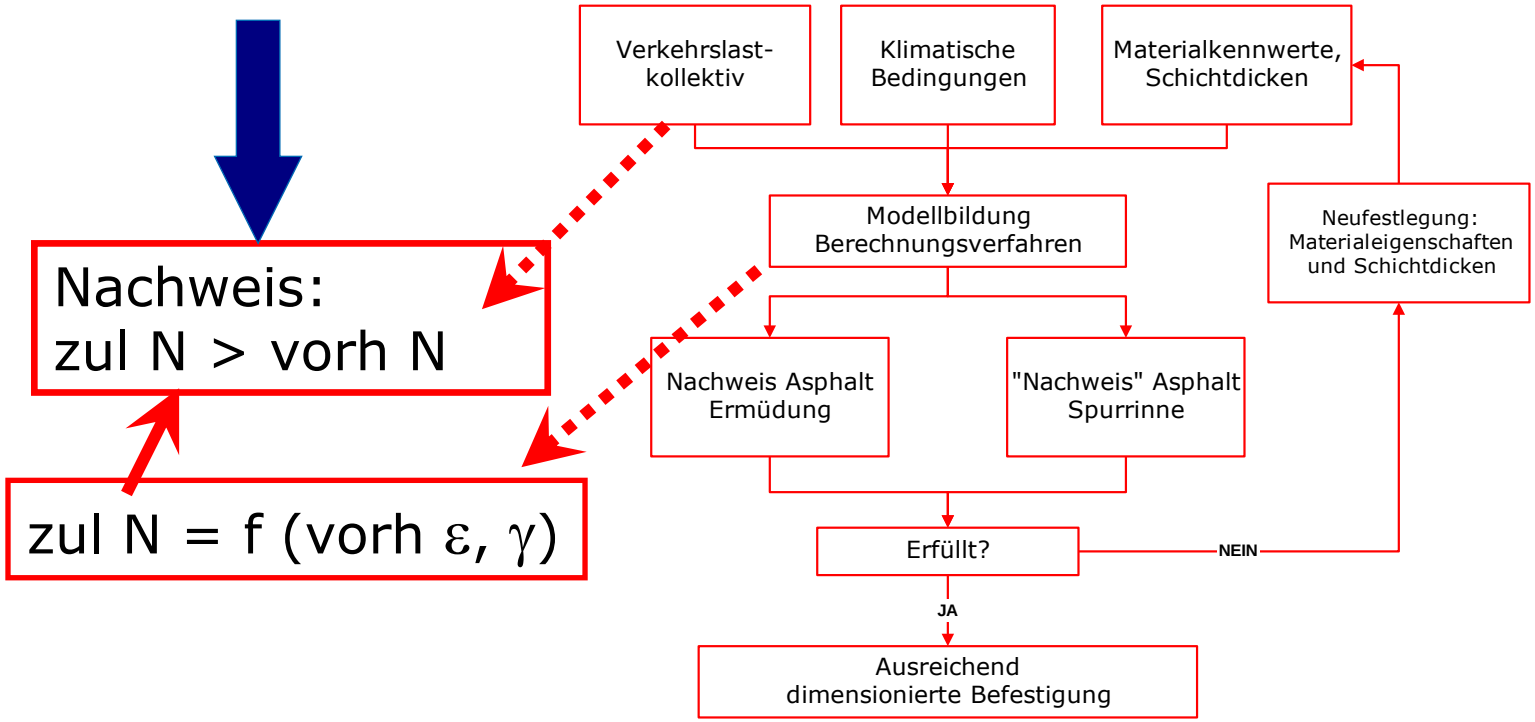
Achslast [t]:	13	12	10	9	8	7	6	4	2
Faktor [-]:	3	2	1	0,66	0,41(2,4)	0,24	0,13 (7,7)	0,026 (39)	0,002 (625)

Zeile	Dimensionierungsrelevante Beanspruchung B Äquivalente 10 t-Achsübergänge in Mio.	Belastungs-klasse
1	über 32	Bk100
2	über 10 bis 32	Bk32
3	über 3,2 bis 10	Bk10
4	über 1,8 bis 3,2	Bk3,2
5	über 1,0 bis 1,8	Bk1,8
6	über 0,3 bis 1,0	Bk1,0
7	bis 0,3	Bk0,3

GRUNDLAGEN DER RECHNERISCHEN DIMENSIONIERUNG

- **RDO Asphalt 09 ist überarbeitet worden und erscheint jetzt als RDO Asphalt 09/24 (Ausgabe 2009 / Fassung 2024)**
- **alt: nur für Asphaltbefestigungen bei mehr als Bk100 und bei ÖPP-Projekten**
- **neu: für Asphaltbefestigungen bei mehr als Bk100 und kann auch geringeren B-Zahlen angewendet werden sowie bei ÖPP-Projekten**
- **neu: 26 Lastklassen statt 11 und Achslastverteilungen nicht nur für BAB auch für B-, L- und S-, sowie K- und G-Straßen**
- **neu: KIST-Zonen-Karte Asphalt „Klimainduzierte Straßen-temperaturzonenkarte“**

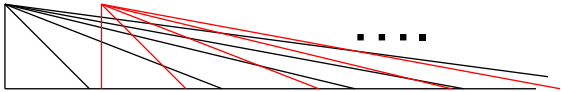
GRUNDLAGEN DER RECHNERISCHEN DIMENSIONIERUNG



GRUNDLAGEN DER RECHNERISCHEN DIMENSIONIERUNG

13 Temperaturzustände mit
12 Temperaturprofilen (ncT)

I II III IV V…XIII

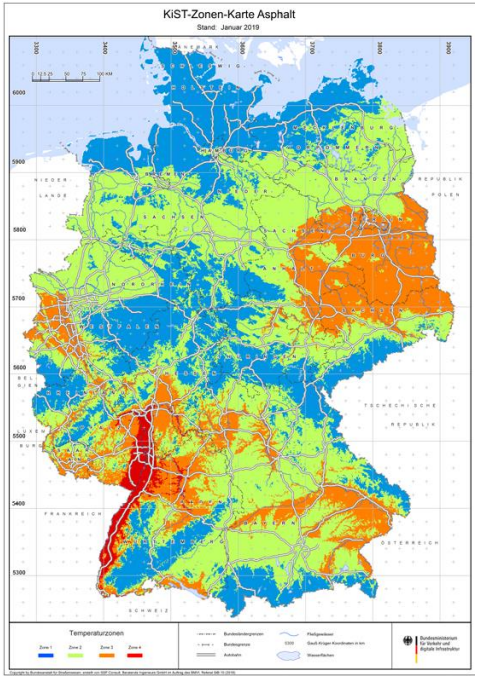


….

26 Lastklassen

I II III IV V … XI

13 (x 12) x 26 = 338 (4.056) Beanspruchungszustände



Bewertung: Berechnung zul. N

Akkumulation: Hypothese v. Miner

GRUNDLAGEN DER RECHNERISCHEN DIMENSIONIERUNG

- **Achslasten und zugeordnete Häufigkeiten**
  - BAB „Fern“
  - BAB „Misch“
  - BAB „Nah“
  - B-Str.
  - L- + S-Str.
  - K- + G-Str.
  - Individuelle Verteilungen

Lastklasse L_K [t]	BAB „Fern“	BAB „Misch“	BAB „Nah“	B-Str.	L- + S-Str.	K- + G-Str.
1 t (0 t < L ≤ 1 t)	0,516495	0,595464	0,804710	0,758400	0,949204	1,202509
2 t (1 t < L ≤ 2 t)	5,534258	6,108084	8,324147	7,577615	8,919914	11,274821
3 t (2 t < L ≤ 3 t)	9,739630	10,146450	11,658951	11,096039	11,840345	13,267057
4 t (3 t < L ≤ 4 t)	11,504794	12,342873	14,791238	13,978654	15,410650	17,720451
5 t (4 t < L ≤ 5 t)	10,655718	11,141732	12,146916	11,881182	12,617407	13,536394
6 t (5 t < L ≤ 6 t)	13,097623	13,049574	12,415654	12,677313	12,391721	11,672433
7 t (6 t < L ≤ 7 t)	18,778751	17,836179	15,143654	15,945916	14,097489	11,323673
8 t (7 t < L ≤ 8 t)	14,868773	13,962172	11,537130	12,223482	10,471699	7,960087
9 t (8 t < L ≤ 9 t)	6,048023	5,858626	5,142077	5,395934	5,002182	4,283411
10 t (9 t < L ≤ 10 t)	3,442838	3,381562	3,086865	3,234706	3,199964	3,004744
11 t (10 t < L≤ 11 t)	2,760880	2,667015	2,388611	2,520595	2,479644	2,330497
12 t (11 t < L ≤ 12 t)	1,722949	1,652813	1,471520	1,557749	1,535878	1,454051
13 t (12 t < L ≤ 13 t)	0,786184	0,748531	0,657961	0,696628	0,673187	0,623603
14 t (13 t < L ≤ 14 t)	0,289592	0,273077	0,234013	0,247317	0,226884	0,196066
15 t (14 t < L ≤ 15 t)	0,174553	0,163035	0,136341	0,144682	0,128498	0,105618
16 t (15 t < L ≤ 16 t)	0,052179	0,048324	0,039911	0,042309	0,036593	0,029069
17 t (16 t < L ≤ 17 t)	0,015961	0,014676	0,012160	0,012867	0,011184	0,009116
18 t (17 t < L ≤ 18 t)	0,005685	0,005191	0,004328	0,004573	0,004029	0,003413
19 t (18 t < L ≤ 19 t)	0,002462	0,002234	0,001861	0,001967	0,001737	0,001493
20 t (19 t < L ≤ 20 t)	0,001224	0,001105	0,000913	0,000967	0,000847	0,000721
21 t (20 t < L ≤ 21 t)	0,000652	0,000586	0,000479	0,000509	0,000440	0,000367
22 t (21 t < L ≤ 22 t)	0,000358	0,000322	0,000261	0,000277	0,000237	0,000194
23 t (22 t < L ≤ 23 t)	0,000201	0,000181	0,000145	0,000155	0,000131	0,000105
24 t (23 t < L ≤ 24 t)	0,000114	0,000102	0,000081	0,000087	0,000072	0,000057
25 t (24 t < L ≤ 25 t)	0,000065	0,000058	0,000046	0,000049	0,000041	0,000032
26 t (25 t < L ≤ 26 t)	0,000038	0,000034	0,000027	0,000028	0,000023	0,000018

EIGENSCHAFTEN DES ASPHALTMISCHGUTS

- **Zusammensetzung des Asphaltmischguts hat großen Einfluss auf die Gebrauchseigenschaften**
- **Aktuelle Erkenntnisse in Fortschreibung des Technischen Regelwerks berücksichtigt**

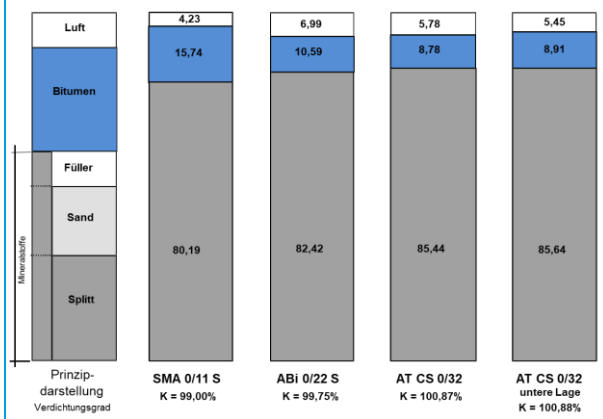
Eigenschaft	Veränderung Eigenschaft	Einfluss auf Steifigkeit	Einfluss auf Ermüdung
Bindemittel			
- Viskosität	+	+	
- Modifizierung (Polymer/Gummi)	+	+	
- Bindemittelgehalt	+	+ 1)	+
Gestein			
- Größtkorn-durchmesser	+	+	–
- Korngrößen-verteilung	– 2)		–
Hohlraumgehalt	+	–	–
Verdichtungsgrad	+	+	+

\+ Erhöhung der Eigenschaft/des Kennwertes
– Reduzierung der Eigenschaft/des Kennwertes
1) Zunahme der Steifigkeit nur bis zu einem bestimmten Bindemittelgehalt, zugleich abhängig von Temperatur und Gestein
2) gröbere Korngrößenverteilung mit geringerem Feinkornanteil und höherem Grobkornanteil

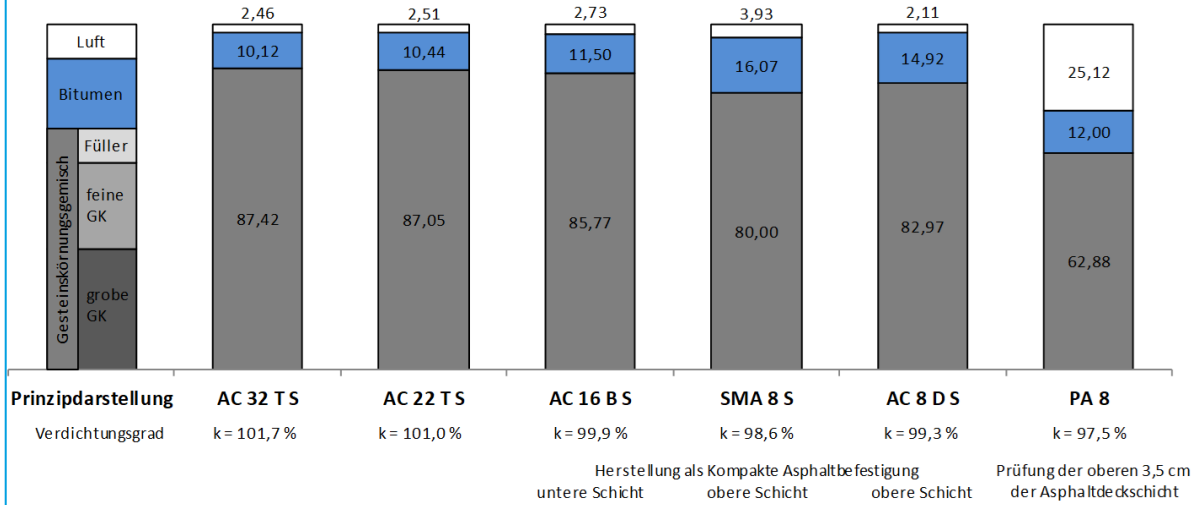
(Quellen: Leutner 2000, Khodary 2010, Wellner 2011, Dragon 2015a, Dragon 2015b, Roos 2015)

EIGENSCHAFTEN DES ASPHALTMISCHGUTS

Volumenverhältnisse BAB 2 (1996 bis 1999)

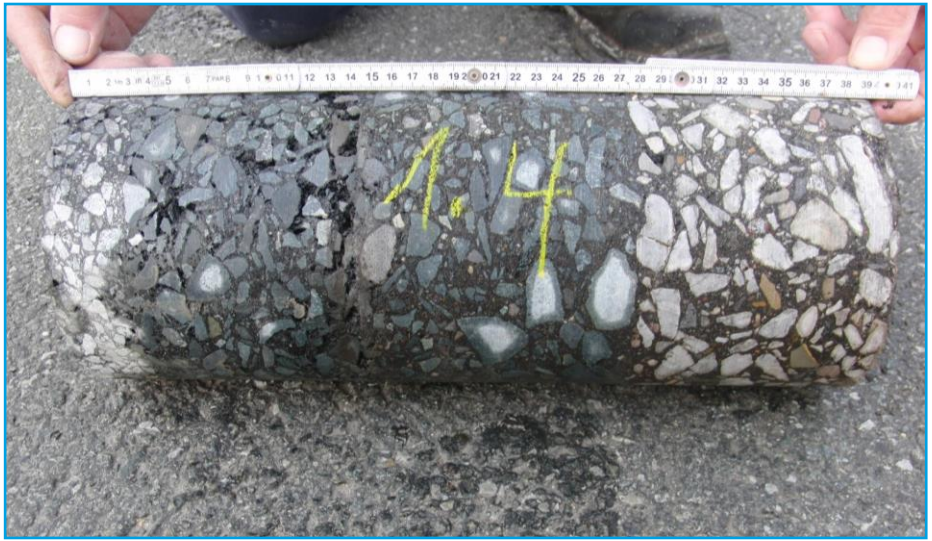


Volumenverhältnisse BAB 6 (2019 bis 2022)



EIGENSCHAFTEN DES ASPHALTMISCHGUTS

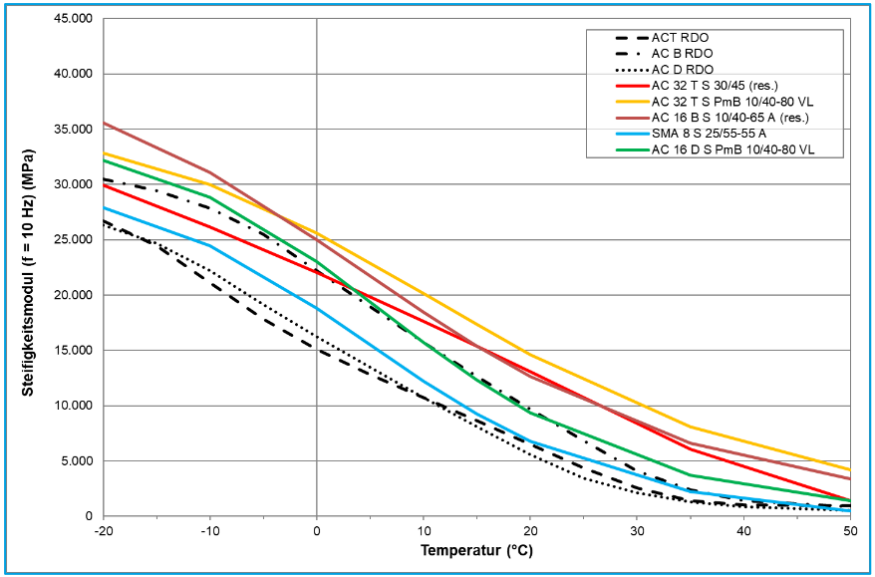
BAB 2 1998

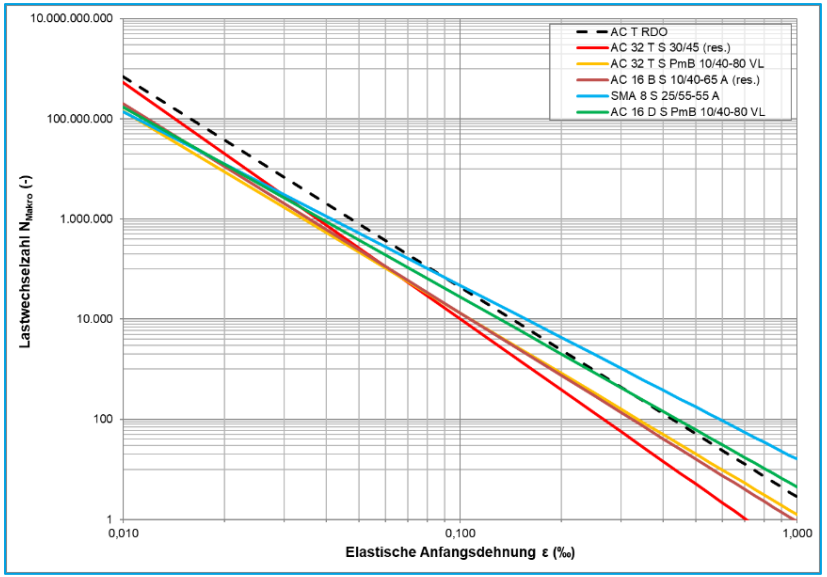


BAB 6 2022



MATERIALKENNWERTE FÜR PRAXISBEISPIELE





BEISPIEL BUNDESAUTOBAHN

- **Belastungsklasse Bk100*): über 32 Mio. äquivalente 10-t-Achs-übergänge in 30 Jahren**
- **BAB 2 bei Peine (1998): ca. 92 Mio. [äq-10-t-Aü]**
- **BAB 1 bei Maschen (2005): ca. 120 Mio. [äq-10-t-Aü]**
- **BAB 1 bei HH-Billstedt (2014): ca. 263 Mio. [äq-10-t-Aü]**
- **BAB 10 bei Michendorf (2016): ca. 206 Mio. [äq-10-t-Aü]**
- **BAB 6 bei Heilbronn (2017): ca. 273 Mio. [äq-10-t-Aü]**
- **BAB 6 bei Wiesloch/Rauenberg (2019): ca. 274 Mio. [äq-10-t-Aü]**

***) ab B = 100 Mio. äquivalente 10-t-Achsübergänge: Anwendung RDO!!**

BEISPIEL BUNDESAUTOBAHN – VERKEHRSBELASTUNG

B-Zahl $B = N \cdot DTA^{(SV)} \cdot q_{Bm} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_z \cdot 365$

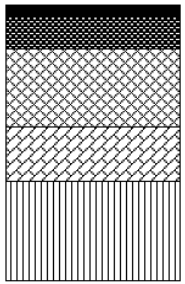
B	**Dimensionierungsrelevante Beanspruchung B Äquivalente 10-t-Achsübergänge im zugrunde gelegten Nutzungszeitraum**	
$DTA^{(SV)}$	**Durchschnittliche Anzahl der täglichen Achsübergänge (Aü) des Schwerverkehrs**	
	$DTA^{(SV)} = DTV^{(SV)} \cdot f_A$	
$DTV^{(SV)}$	**Schwerverkehr Kfz/24h**	**13.650**
N	**Nutzungszeitraum**	**30 / 50 Jahre**
q_{Bm}	**mittlerer Lastkollektivquotient**	**0,33 *)**
f_A	**Durchschnittliche Achszahl pro Fahrzeug des Schwerverkehrs (Achszahlfaktor)**	**4,38 *)**
f_1	**Fahrstreifenfaktor**	**0,5**
f_2	**Fahrstreifenbreitenfaktor**	**1,0**
f_3	**Steigungsfaktor**	**1,02**
f_z	**Mittlerer jährlicher Zuwachsfaktor des Schwerverkehr**	**2 %**

- **B = 150,0 Mio. äquivalente 10-t-Achsübergänge**

*) q_{Bm} nach RDO 09/24 Achslastverteilung BAB „Fern“

BEISPIEL BUNDESAUTOBAHN – AUFBAU NACH RSTO 12/24

Materialkennwerte Kalibrierasphalte RDO Asphalt 09/24

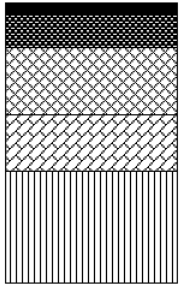


3,0 cm	Asphaltdeckschicht, Kalibrierasphalt
9,0 cm	Asphaltbinderschicht, Kalibrierasphalt
21,0 cm	Asphalttragschicht, Kalibrierasphalt
15,0 cm	Schottertragschicht, $E_{V2} \geq 150$ MPa
27,0 cm	Frostschutzschicht, $E_{V2} \geq 120$ MPa
75,0 cm	**Gesamtdicke** anstehender Boden / Planum, $E_{V2} \geq 45$ MPa

Nutzungszeitraum 30 Jahre
Ermüdungsstatus Asphalttragschicht: 93,38 %

Kriterium max. Druckspannung
Schottertragschicht: 00,00 %
Frostschutzschicht: 00,00 %
Planum: 20,45 %

Materialkennwerte optimierter Asphalte



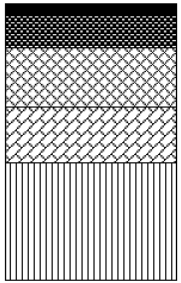
3,0 cm	Asphaltdeckschicht, SMA 8 S, 25/55-55 A
9,0 cm	Asphaltbinderschicht, AC 16 B S, 10/40-65 A
18,0 cm	Asphalttragschicht, AC 32 T S, 30/45
15,0 cm	Schottertragschicht, $E_{V2} \geq 150$ MPa
30,0 cm	Frostschutzschicht, $E_{V2} \geq 120$ MPa
75,0 cm	**Gesamtdicke** anstehender Boden / Planum, $E_{V2} \geq 45$ MPa

Nutzungszeitraum 30 Jahre
Ermüdungsstatus Asphalttragschicht: 26,72 %

Kriterium max. Druckspannung
Schottertragschicht: 00,00 %
Frostschutzschicht: 00,00 %
Planum: 00,01 %

BEISPIEL BUNDESAUTOBAHN – RECHNERISCH DIMENSIONIERT

Materialkennwerte optimierter Asphalte

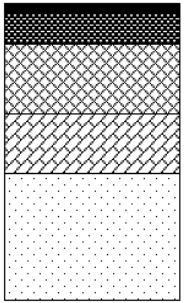


3,0 cm	Asphaltdeckschicht, SMA 8 S, 25/55-55 A
9,0 cm	Asphaltbinderschicht, AC 16 B S, 10/40-65 A
16,0 cm	Asphalttragschicht, AC 32 T S, 30/45
15,0 cm	Schottertragschicht, $E_{V2} \geq 150$ MPa
32,0 cm	Frostschutzschicht, $E_{V2} \geq 120$ MPa
75,0 cm	**Gesamtdicke** anstehender Boden / Planum, $E_{V2} \geq 45$ MPa

Nutzungszeitraum 30 Jahre

Ermüdungsstatus Asphalttragschicht:	**40,20 %**
Bei Unterschreitung der Gesamtdicke um 2 cm:	**67,64 %**
Kriterium max. Druckspannung	
Schottertragschicht:	**00,00 %**
Frostschutzschicht:	**00,00 %**
Planum:	**00,04 %**

Kompaktasphalt - Materialkennwerte optimierter Asphalte



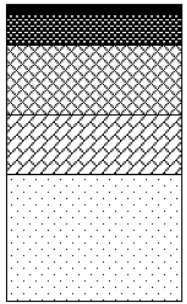
2,0 cm	Asphaltdeckschicht, SMA 8 S, 25/55-55 A
8,0 cm	Asphaltbinderschicht, AC 16 B S, 10/40-65 A
18,0 cm	Asphalttragschicht, AC 32 T S, 30/45
15,0 cm	Schottertragschicht, $E_{V2} \geq 150$ MPa
32,0 cm	Frostschutzschicht, $E_{V2} \geq 120$ MPa
75,0 cm	**Gesamtdicke** anstehender Boden / Planum, $E_{V2} \geq 45$ MPa

Nutzungszeitraum 30 Jahre

Ermüdungsstatus Asphalttragschicht:	**38,20 %**
Bei Unterschreitung der Gesamtdicke um 2 cm:	**63,81 %**
Kriterium max. Druckspannung	
Schottertragschicht:	**00,00 %**
Frostschutzschicht:	**00,00 %**
Planum:	**00,03 %**

BEISPIEL BUNDESAUTOBAHN – RECHNERISCH DIMENSIONIERT

Materialkennwerte optimierter Asphalte

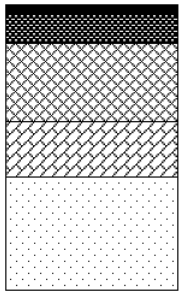


2,0 cm	Asphaltdeckschicht, SMA 8 S, 25/55-55 A
8,0 cm	Asphaltbinderschicht, AC 16 B S, 10/40-65 A
18,0 cm	Asphalttragschicht, AC 32 T S, 30/45
15,0 cm	Schottertragschicht, $E_{V2} \geq 150$ MPa
32,0 cm	Frostschutzschicht, $E_{V2} \geq 120$ MPa
75,0 cm	**Gesamtdicke** anstehender Boden / Planum, $E_{V2} \geq 45$ MPa

Nutzungszeitraum 30 Jahre

Ermüdungsstatus Asphalttragschicht:	**38,20 %**
Bei Unterschreitung der Gesamtdicke um 2 cm:	**63,81 %**
Kriterium max. Druckspannung	
Schottertragschicht:	**00,00 %**
Frostschutzschicht:	**00,00 %**
Planum:	**00,03 %**

Kompaktasphalt – „Ewigkeitsstraße“ (50 Jahre Nutzungsdauer)



2,0 cm	Asphaltdeckschicht, SMA 8 S, 25/55-55 A
8,0 cm	Asphaltbinderschicht, AC 16 B S, 10/40-65 A
21,0 cm	Asphalttragschicht, AC 32 T S, 30/45
15,0 cm	Schottertragschicht, $E_{V2} \geq 150$ MPa
30,0 cm	Frostschutzschicht, $E_{V2} \geq 120$ MPa
76,0 cm	**Gesamtdicke** anstehender Boden / Planum, $E_{V2} \geq 45$ MPa

Nutzungszeitraum 30 Jahre

Ermüdungsstatus Asphalttragschicht:	**38,20 %**
Bei Unterschreitung der Gesamtdicke um 2 cm:	**64,62 %**
Kriterium max. Druckspannung	
Schottertragschicht:	**00,00 %**
Frostschutzschicht:	**00,00 %**
Planum:	**00,03 %**

SCHLUSSFOLGERUNGEN BUNDESAUTOBAHN

- **mit Kalibrierasphalten deutlich größere Schichtdicken als nach RStO 12/24 erforderlich**
- **Materialkennwerte optimierter Asphalte sollten verwendet werden, hierbei können auch Asphalte mit hohen Asphaltgranulatzugaben berücksichtigt werden**
- **durch die rechnerische Dimensionierung lassen sich 2 cm Asphalt einsparen, ohne Einschränkung des Nutzungszeitraums**
- **Verlängerung des Nutzungszeitraums von 30 Jahren auf 50 Jahre bedarf nur 3 cm zusätzlicher Asphalttragschicht**
- **RDO Asphalt 09/24 sind geeignet den Weg zur „Ewigkeitsstraße“ zu bereiten!**

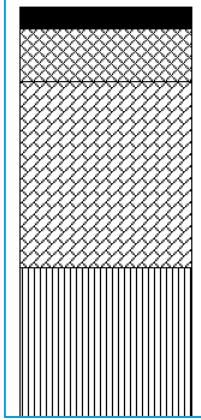
BEISPIEL FLÄCHE MIT SONDERNUTZUNG

- **Fläche zum Transport von Monopiles mit SPMT**
- **Gewichte bis 2.500 t, Achslasten derzeit bis 35 t, zukünftig bis 48 t**
- **Querung des Weserdeichs zwischen Werksgelände und Außenlager**
- **Gefälle etwa 4,5 %**





BEISPIEL FLÄCHE MIT SONDERNUTZUNG – OBERBAUKONZEPT



6,0 cm	Asphaltdeckschicht, AC 16 D S, PmB 10/25 VL
14,0 cm	Asphalttragschicht, AC 32 T S res. 30/45
50,0 cm	Schottertragschicht, Baustoffgemisch 0/32, $E_{V2} \geq 150$ MPa
> 150,0 cm	enggestufter Sand (SE), $E_{V2} \geq 80$ MPa
> 220,0 cm	**Gesamtdicke**

B = 32 Mio. äquivalente 10-t-Achsübergänge für einen Nutzungszeitraum von 30 Jahren

Ermüdungsstatus Asphalttragschicht:	**57,20 %**
Bei Unterschreitung der Gesamtdicke um 2 cm:	**99,20 %**
Kriterium max. Druckspannung	
Schottertragschicht:	**00,40%**
Planum:	**00,03 %**

- **Gesamtdicke der Asphaltbefestigung „nur“ 20 cm!**
- **Betrieb seit 2015 zunächst mit Monopiles bis 1.000 t**
- **seit 2022 Monopiles bis 2.500 t**
- **bisher keine Spurrinnen oder ermüdungsbedingte Risse**
- **Eignung des Oberbaukonzepts somit nachgewiesen!**

SCHLUSSFOLGERUNGEN FLÄCHEN MIT SONDERNUTZUNG

- **Anwendung der RDO Asphalt 09/24 ermöglicht individuelle Lösungen (Container-Terminals, Logistikzentren, Industrieflächen, AGV-Flächen)**
- **Anpassung der Oberbaukonzepte an tatsächliche Achslasten und Betriebsabläufe**
- **Nachweis der AwSV-Tauglichkeit von Asphaltkonzepten auch für Asphaltdeckschichten aus AC 16 D S möglich**



SCHLUSSFOLGERUNGEN FLÄCHEN MIT SONDERNUTZUNG



- **stetige Aktualisierung der Konzepte durch Anpassung an den aktuellen Wissensstand möglich, zum Beispiel Reduzierung der Schichtdicken durch Einsatz von Hochleistungsbitumen PmB 10/40-80 VL in Asphaltdeck- und Asphalttragschicht**
- **RDO Asphalt 09/24 füllt die derzeit bestehende Lücke im Technischen Regelwerk für die Asphaltbauweise bei Flächen mit Sondernutzungen!**

SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

- **Anwendung der RDO Asphalt 09/24 trägt aktiv zur Nachhaltigkeit der Asphaltbauweise bei, durch:**
  - Berücksichtigung von Asphalten mit hohen Wiederverwendungsraten bei Wahl der Materialparameter
  - Verlängerung von Nutzungszeiträumen von Asphaltbefestigungen
  - Optimierung der Schichtdicken
- **durch Fassung 2024 breites Anwendungsspektrum möglich**
- **Mittlerweile vielfältige Erfahrungen mit der Anwendung**
- **Die rechnerische Dimensionierung sollte daher bei allen geeigneten Projekten angewendet werden!**

VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT

Referent: Dipl.-Ing. Volker Schäfer | Schäfer Consult, Oldenburg