
Verifizierung der Mischgutkonzeptionierung kaltgebundener bitumen-dominanter Tragschichten und Ableitung von Dimensionierungsgrundsätzen

Berichte der Bundesanstalt
für Straßenwesen
Straßenbau Heft S 208

Verifizierung der Mischgutkonzeptionierung kaltgebundener bitumen-dominanter Tragschichten und Ableitung von Dimensionierungsgrundsätzen

von

Martin Radenberg, Matthias Staschkiewicz, Ludger Vienenkötter

Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften
Lehrstuhl für Verkehrswegebau
Ruhr-Universität Bochum

Konrad Mollenhauer, Marius Winter

Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwesen
Sachgebiet Bau und Erhaltung von Verkehrswegen
Universität Kassel

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die Hefte der Schriftenreihe Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Seit 2015 stehen die Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.
<https://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 04.0329

Verifizierung der Mischgutkonzeptionierung kaltgebundener bitumen-dominanter Tragschichten und Ableitung von Dimensionierungsgrundsätzen

Fachbetreuung:
Gudrun Golkowski

Referat:
Analyse und Entwicklung von Straßenoberbauten

Herausgeber:
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

Redaktion:
Stabsstelle Presse und Kommunikation

Gestaltungskonzept:
MedienMélange: Kommunikation

Druck und Verlag:
Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 0 | E-Mail: kontakt@schuenemann-verlag.de
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9323 | ISBN 978-3-95606-811-9 | <https://doi.org/10.60850/bericht-s208>

Bergisch Gladbach, Januar 2025

Kurzfassung

Verifizierung der Mischgutkonzeptionierung kaltgebundener bitumen-dominanter Tragschichten und Ableitung von Dimensionierungsgrundsätzen

Mit dem Ziel, weiterführende Erkenntnisse über die Möglichkeiten zur Dimensionierung von Straßenbefestigungen mit einer Kaltrecyclingschicht KRC zu erlangen, wurden im FE-Projekt 04.0329 Performance-Untersuchungen an Ausbauproben aus 10 Praxisstrecken (Bj. 2003 – 2015) und an im Labor hergestellten Proben ermittelt und unter Anwendung aktueller Dimensionierungsaspekte bewertet. Vorrangig sollten solche KRC-Schichten betrachtet werden, die überwiegend mit bitumenhaltigem Bindemittel versehen wurden. Die hieraus und aus ergänzenden Laboruntersuchungen gewonnenen Erkenntnisse führten zu folgenden Erkenntnissen:

- Die Schichten der untersuchten Praxisstrecken hatten überwiegend nur noch schwache bitumen-dominate Materialeigenschaften.
- Die Ausbauproben zeigten teilweise erhebliche optische und auch materialtechnologische Inhomogenitäten, die mit hoher Wahrscheinlichkeit auf den Herstellungsprozess in Situ zurückzuführen sind. Durch größere Sorgfalt (Auswahl der Maschinen und Optimierung der Arbeitsprozesse) sollte sich dies weitgehend vermeiden lassen.
- Die im Labor hergestellten Probekörper für Performance-Untersuchungen können in Form von Bohrkernen aus Platten entnommen werden, die mittels Walzsektor-Verdichtungsgerät hergestellt wurden. Bei geringen Anteilen an hydraulischem Bindemittel kann eine verlängerte Lagerungszeit (14 Tage) bis zur BK-Entnahme erforderlich sein.
- Ein im europäischen Wissensschatz vorgeschlagener Dimensionierungsfaktor von 1,5 (Schichtdicke KRC/Schichtdicke Asphalttragschicht) lässt sich nach den vorliegenden Erkenntnissen sicher erreichen und kann mit entsprechenden rechnerischen Dimensionierungsnachweisen ggf. noch reduziert werden.
- Spaltzug-Schwellversuche zur Bestimmung von Kennwerten zur Beschreibung des Steifigkeits- und Ermüdungsverhaltens gemäß TP Asphalt-StB, Teile 24 und 26 können uneingeschränkt für die Prüfung von KRC-Baustoffen eingesetzt werden. Bei gleicher Mischgutzusammensetzung sowie Herstellung und Prüfung in zwei Laboren waren die Ergebnisse der Performance-Untersuchungen zudem sehr gut miteinander vergleichbar.
- Mit zunehmender Lagerungsdauer erhöhen sich die Steifigkeiten (primär im hohen Gebrauchstemperaturbereich) und es verbessern sich die Ermüdungseigenschaften. Die Ergebnisse lassen weiter vermuten, dass diese Entwicklung auch nach 180 Tagen noch nicht abgeschlossen ist. Mit Untersuchungen nach 28 Tagen wird das Potenzial einer KRC unterschätzt.
- Es deutet sich ein brauchbarer Zusammenhang zwischen dem aus statischen Spaltzugversuchen berechneten E-Modul bei 5 °C und den dynamischen Steifigkeiten bei dieser Temperatur an. Hierin könnte eine vergleichsweise einfache bauvertragliche Nachweisführung liegen.

Die umfassenden Untersuchungen im Rahmen des Forschungsprojektes konnten schlüssige und praxistaugliche Dimensionierungsgrundsätze belegen, mit denen kaltgebundene bitumen-dominante Tragschicht in Zukunft zielsicher und wirtschaftlich als Tragschicht in einem Asphaltoberbau berücksichtigt werden können. Da solche Schichten in besonderem Maße die Aspekte der Nachhaltigkeit und der Energieminimierung berücksichtigen, kann ein hohes Potenzial in der Anwendung gesehen werden, sodass eine zeitnahe Einbindung der Ergebnisse in das technische Regelwerk der FGSV empfohlen wird.

Abstract

Verification of conceptual Mix Design of cold-bound bitumen-dominant Base Courses and Derivation of Dimensioning Principles

With the aim of gaining further knowledge of the possibilities of dimensioning road pavements with a cold-bound bitumen-dominant base course (KRC), performance tests were conducted in the FE project 04.0329 on samples collected from 10 practical stretches (built in 2003 - 2015) and on laboratory produced samples. Priority should be given to those KRC layers that have been predominantly bituminised. These were evaluated using current dimensioning aspects. The findings obtained from this and from supplementary laboratory tests led to the following conclusions:

- The practical section layers examined predominantly had only weak bitumen-dominant material properties.
- Some of the samples showed considerable optical and material-technological inhomogeneities, which are most likely referable to the in-situ production process. This should largely be avoidable through greater care (selection of machines and optimisation of work processes).
- The test specimens produced in the laboratory for performance studies can be taken in the form of cores from slabs produced by means of rolling sector compaction equipment. In the case of low proportions of hydraulic binder, an extended storage time (14 days) may be required before the core can be extracted.
- A dimensioning factor of 1.5 (layer thickness of KRC/layer thickness of asphalt base course) proposed in the European scientific community can be safely achieved according to the available findings and can if necessary be reduced with corresponding mathematical dimensioning proofs.
- Dynamic indirect tensile test for the determination of characteristic values for the description of stiffness and fatigue behaviour according to TP Asphalt-StB, Parts 24 and 26 (EN 12697-24/26) can be used without restrictions for the testing of cold recycling construction materials. With two different laboratories using the same mix composition as well as production and testing methods in, the results of the performance tests had a very good comparability.
- With increasing storage time, the stiffnesses increase (primarily in the high service temperature range) and the fatigue properties improve. The results also suggest that this development is not yet complete after 180 days. Investigations after 28 days underestimate the potential of a KRC.
- A viable correlation between the modulus of elasticity at 5 °C calculated from static indirect tensile tests and the dynamic stiffnesses at this temperature can be implied. This could be a relatively simple verification for construction contracts.

With the comprehensive investigations within the framework of the research project it was possible to prove conclusive and practicable dimensioning principles. These will allow cold-bound bitumen-dominant base courses to be considered as base courses in an asphalt superstructure in a targeted and economical manner in the future. Since such layers particularly take into account the aspects of sustainability and energy minimisation, a high potential can be seen in the application, so that an instant integration of the results into the technical regulations of the FGSV is recommended.

Summary

Verification of conceptual Mix Design of cold-bound bitumen-dominant Base Courses and Derivation of Dimensioning Principles

1 Problem definition and objectives

The political discussions on sustainability in road construction and on a reduction of CO₂ emissions strengthen the European efforts to fundamentally reduce the temperature during the production and processing of asphalt or, if possible, even to build high-quality asphalt base courses completely without heating the raw materials. In many neighboring European countries, cold asphalt base courses are already applied, but in Germany there still are no accepted and economically based pavement design principles.

The aim of the research project was first to record and evaluate the condition of existing roadways with cold-bound, bitumen-dominant base courses (Cold Recycled Materials, CRM) and, if necessary, to derive aspects for pavement design. For this purpose, the design-relevant properties of the layers were to be determined on cores from existing structures in order to develop computational verifications and residual structural life forecasts. Additionally, the condition of the ten selected pavement structures was to be assessed on the basis of the surface condition and non-destructive measurements to determine the load-bearing capacity by means of FWD. A supplementary laboratory testing program was conducted in order to assess the effect of varied material composition parameters (content of added bitumen emulsion and hydraulic road binder as well as grading) as well as varied conditioning times after specimen compaction to stiffness and fatigue properties. The data from these laboratory tests will also be used to carry out and evaluate mechanistic-empirical pavement design.

2 Research programme

The research program is divided into seven work packages. The first work package (WP 1) provides a comprehensive overview of the national and international state of scientific knowledge on cold-bonded base courses. In addition, in this WP, suitable road sections with cold-bonded base courses or cold recycled layers (KRC layers) were compiled for sampling, from which ten sections were selected in agreement with the client and the project-accompanying committee. In WP 2, cores were taken from the selected roadways for the laboratory investigations and FWD measurements were carried out. In the third work package, the mechanical properties of the cold recycling layers (stiffness and fatigue) were determined on the cores in order to derive the possibilities for describing pavement design principles in the sixth work package. For the laboratory tests with a total of eight different cold recycling concepts, the influence of the storage period of the test specimens of up to 180 days was also considered.

3 Results and evaluation

The national and international literature research has shown that no uniform pavement design approach can be derived at present. This seems to fail solely due to the multitude of different mix designs and meteorological boundary conditions. Nevertheless, a simple adjustment factor for the layer thickness of a cold recycling layer of 1.5 (layer thickness of cold recycling layer/thickness of hot asphalt base layer) has emerged from the latest cross-border research projects.

From a list of 155 sections, the ten sections listed in Table 3.1 were selected for coring. The table contains information from the documents provided as well as the layer thicknesses determined on the cores.

In addition to the traffic loads and the year of construction, Tab. 3.1 also contains information on the binder concept used. The majority of the considered sections have a cement content of more than 3.5 wt.% and a bitumen content that is lower than or equal to the cement content. The total layer thickness of the bound superstructures varies between 50.3 cm and 17.8 cm.

No.	Road section	ADHT [Kfz/d]	Year	Binder content [M.-%]			Layer thickness [cm]	
				C	BE	RA	CRM	HMA
1	A 30, BA IV; FR Osten	50.000 (21 %)	2003	3,0	3,0	4,0	22,4	28,9
2	A 30, BA IV; FR Westen	50.000 (21 %)	2004	2,0	3,5	4,0	22,4	28,8
3	B 52, Trier - Ehrang	26.000 (15 %)	2009	4,0	4,0	4,0	18,7	16,6
4	B 3, Wahnhausen – Wilhelmsh.	4.176 (6,4%)	2009	4,0	3,7	5,6	16,7	16,8
5	L 49, Niersbach – Heidweiler ^{*)}	2.676 (24 %)	2015	3,5/4,0	3,5/3,5	3,1/3,4	17,3	12,4
6	L 48, Leiwen - Zummet	2.307 (7 %)	2015	4,0	3,0	4,0	20,0	12,5
7	L 114, Weibern - Wehr	2.096 (10 %)	2011	3,5	4,0	4,7	13,3	4,5
8	L 205, Gudow-Büchen	1.659 (5 %)	2013	4,4	3,0	4,3	22,8	4,3
9	L 3073, Elpenrod - Nieder-Gemünden	1.220 (2,9 %)	2011	4,0	3,5	4,6	18,4	15,6
10	L 3400, Helsa - Friedrichsbrück	605 (2,5 %)	2012	4,2	3,5	3,4	23,1	18,0

^{*)} two mix designs for two KRC-Materials

Tab. 3-1: Compilation of the most important information about the practice routes

From the mean values of the elastic lengths calculated by means of FWD measurements and the load-bearing capacity number, a rough estimate of the total load-bearing capacity existing at the time of the measurements was made on the basis of the classification into a load class, taking into account the FGSV working paper (AP Trag Teil C 2.1) (see figure 3.1). The L114, the section with the lowest total thickness of the bound superstructure, was not measured with the FWD due to the significant degree of damage.

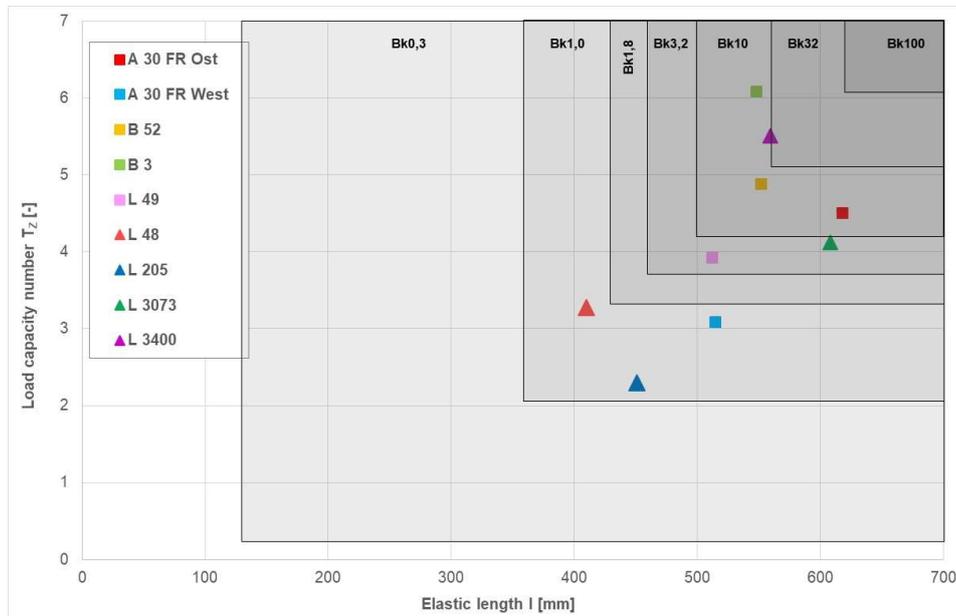


Figure 3-1: Comparison of the load classes assigned according to the elastic length and the load capacity number

For all bound layers of the ten sections the stiffnesses of the cores of were determined in accordance with TP Asphalt-StB, T. 26 (EN 12697-26). This was done at five temperatures and six frequencies so that master curves could be derived from the results. Figure 3.2 (left) shows the stiffness values between -20 °C and 60 °C calculated from the master curves. In addition, the fatigue behavior of the CRM layers was determined according to TP Asphalt-StB, T. 24 (EN 12697, T. 24). The fatigue functions calculated from the results are shown in figure 3.2 (right).

The majority of the examined CRM layers shows a temperature-dependent stiffness behaviour in analogy to usual asphalt layers, albeit reduced. This temperature-dependent material behaviour could not be observed on the cores of the B49, the L205 and the L3400. The cores of the B49 even show a temperature curve in the opposite direction.

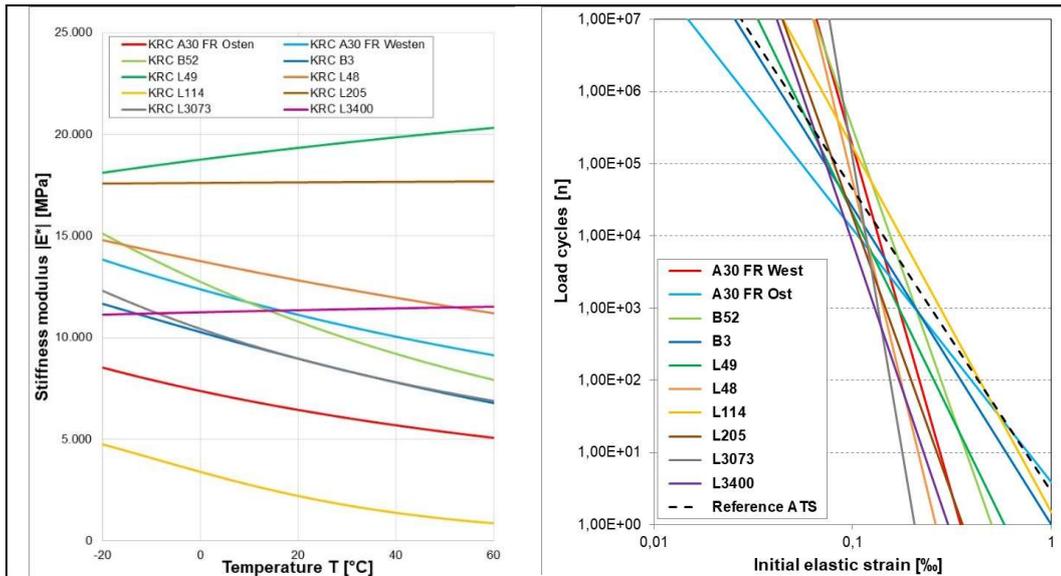


Figure 3-2: Stiffness modulus temperature functions of the KRC layers calculated from the main curves for 20 °C and 10 Hz (left) and fatigue functions (right)

The fatigue functions determined on the CRM layers vary quite significantly and are clearly below the curve of the reference asphalt base course according to the reference asphalt mix applied for mechanistic-empiric pavement design. In the low strain range, some CRM samples show even better fatigue resistance compared to the reference asphalt.

In order to establish a reference to one of the ten practical routes, the mix composition used on the BAB 30 (A30, BA IV; FR West) was largely reproduced. The bitumen emulsion content was thus 3.5 wt.% and the cement content 2.0 wt.%. This "reference mix" was produced and tested in two laboratories (B and K).

For the other laboratory mix variants, the binder content (emulsion and/or cement) was essentially varied. The resulting compositions of the nine mix variants are summarised in Tab. 3-2.

Variant designation	Explanation	BE [M.-%]	HRB [M.-%]	Grain mix composition
B3,5 H2 B und B3,5 H2 K	Reference	3,5	2,0	MG _{Reference}
B3,0 H2 B	lower bitumen content	3,0	2,0	MG _{Reference}
B4,0 H2 B	higher bitumen content	4,0	2,0	MG _{Reference}
B5,0 H2 B	highest bitumen content	5,0	2,0	MG _{Reference}
B3,5 H1 K	lower cement content	3,5	1,0	MG _{Reference}
B3,5 H4 K	higher cement content	3,5	4,0	MG _{Reference}
B3,5 H2 Fuller K	Higher amount of fines (natural sand)	3,5	2,0	MG-V1
B3,5 H2 o22/32_K	without 22/32 mm – 10 M.-% more RAP	3,5	2,0	MG-V2

Tab. 3-2: Information on the compositions of the laboratory mixtures

In analogy to the investigations on the cores, the stiffness and the fatigue properties were determined on laboratory-prepared specimens. Since a change in the material properties was to be expected with increasing storage time, tests were carried out after up to 180 days. Figure 3.3 shows the stiffness calculated from the master curves between -20 °C and 50 °C after 28 days (left) and after 180 days (right).

The results show an increase in stiffness, especially in the high service temperature range. This could be observed on all mix variants. The stiffnesses in the very low service temperature range remained almost constant over the observation period.

Most of the fatigue curves of the cold recycling mixtures, which can be seen in Figure 3-4, are below the fatigue curve of the reference asphalt base course. Only at very low initial elastic strains the range of the reference asphalt base layer is reached and mainly after 180 days of storage. Here, too, a positive change of all cold recycling mixtures with increasing storage time can be observed.

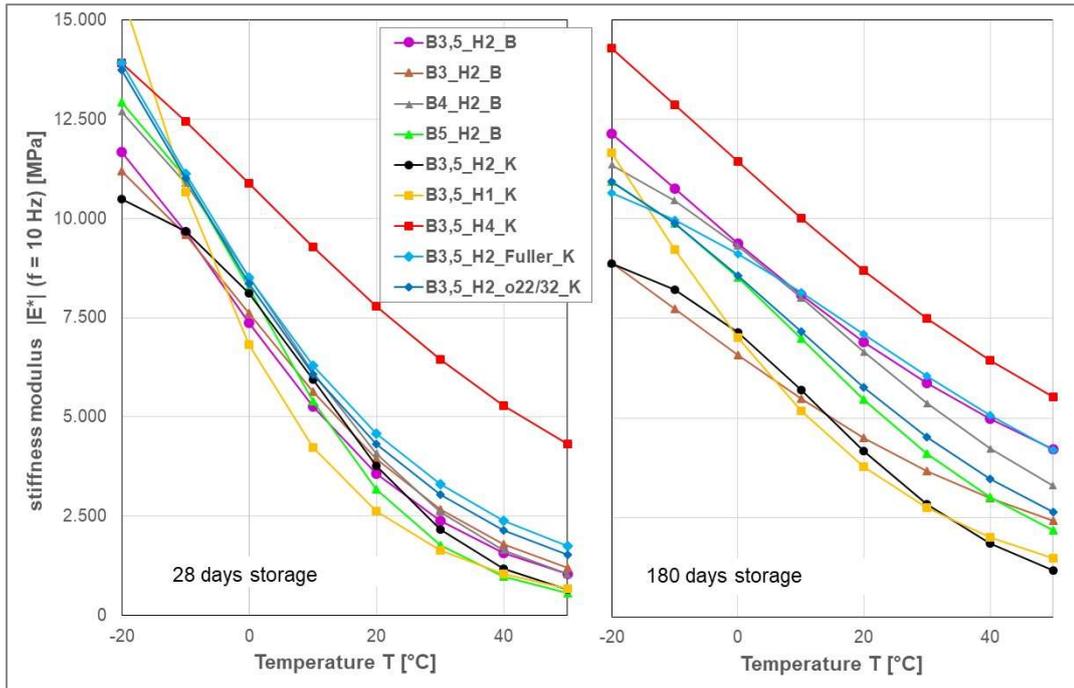


Figure 3-3: Stiffness moduli of the laboratory mixtures after 28 d (left) and 180 days (right)

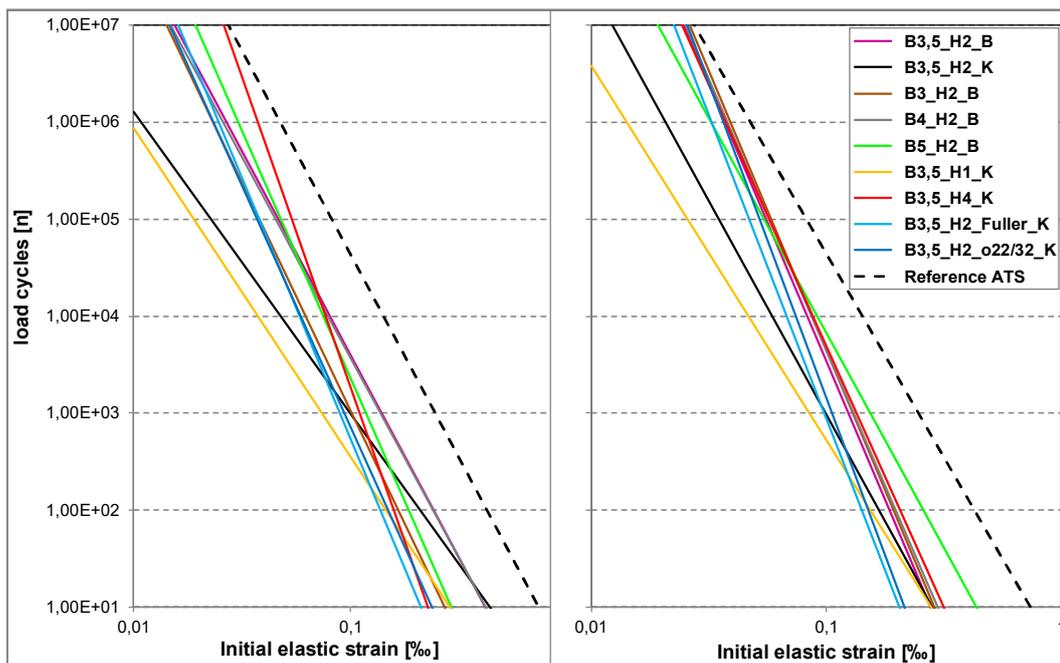


Figure 3-4: Fatigue functions of the laboratory mixtures after 28 d (left) and 180 days (right)

A further increase of stiffness and an improved fatigue behavior can be expected with continued storage time. Furthermore, it must be considered that not all optimization possibilities could be covered with the eight different mixes, so that the cold recycling mixes can be assumed to have a high potential as a base layer in a road pavement. In order to check the potential of the cold recycling layers in a mechanistic-empirical pavement design, the material parameters were used for calculations according to the RDO Asphalt 09. For this purpose, the stiffness and fatigue properties of three representing materials were derived from the test results. The material KRC-Z₂₈ represents a more cement-rich mixture after 28 days of storage, the material KRC-B₂₈ a more bitumen-rich mixture after 28 days and the material KRC-B₁₈₀ the more bitumen-rich mixture after 180 days of storage. Tab. 3-3 shows the results of these pavement design for three construction principles and for four traffic load conditions.

Loading class	RStO - Table 1, Line 1 (asphalt base layer and capping layer)			
	RStO-Reference	KRC-Z ₂₈	KRC-B ₂₈	KRC-B ₁₈₀
Bk0,3	10 cm	16,7 cm (67 %)	19,5 cm (95 %)	15,5 cm (55 %)
Bk1,0	14 cm	20 cm (43 %)	25 cm (79 %)	19,3 cm (38 %)
Bk3,2	12 cm	17,9 cm (49 %)	23,9 cm (99 %)	17,3 cm (44 %)
Bk32	18 cm	22,4 cm (24 %)	32,9 cm (83 %)	23,1 cm (28 %)
Loading class	RStO - Table 1, Line 2.2 (asphalt base layer with cement stabilisation)			
	RStO-Reference	KRC-Z ₂₈	KRC-B ₂₈	KRC-B ₁₈₀
Bk0,3	-	15 cm (0 %)	15 cm (0 %)	15 cm (0 %)
Bk1,0	-	15 cm (0 %)	15 cm (0 %)	15 cm (0 %)
Bk3,2	15 cm	22,7 cm (53 %)	37,2 cm (148 %)	24,4 cm (63 %)
Bk32	15 cm	20,6 cm (37 %)	37,5 cm (150 %)	22,8 cm (52 %)
Loading class	RStO - Table 4, Line 1 (Asphalt base layer on subgrade)			
	RStO-Reference	KRC-Z ₂₈	KRC-B ₂₈	KRC-B ₁₈₀
Bk0,3	22 cm	25,9 cm (18 %)	34,7 cm (58 %)	26,2 cm (19 %)
Bk1,0	26 cm	29,2 cm (12 %)	> 40,0 cm	30,2 cm (16 %)
Bk3,2	26 cm	28,7 cm (10 %)	> 40,0 cm	30,4 cm (17 %)
Bk32	30 cm	31,4 cm (5 %)	> 40,0 cm	34,1 cm (14 %)

(-) -Values: Additional layer thickness requirement of the KRC layer compared to the reference

Tab. 3-3: Required thickness of the KRC layers for an equivalent fatigue state to the reference

4 Conclusions

With the aim of gaining further knowledge about the possibilities for pavement design of road pavements with a cold recycling base layer, performance tests were carried out on road samples from 10 practical sections and on samples produced in the laboratory and evaluated using current dimensioning aspects. The findings obtained from this and from supplementary laboratory tests led to the following conclusions:

- The layers of the tested practical sections predominantly had only weak bitumen-dominant material properties.
- Some of the samples showed considerable optical and material-technological inhomogeneities, which can most likely be attributed to the in-situ production process. This should be largely avoidable through greater care (selection of machines and optimization of work processes).
- The test specimens produced in the laboratory for performance studies can be taken in the form of cores from laboratory-compacted asphalt slabs. In the case of low proportions of hydraulic binder, an extended storage time (14 days) may be required until coring.
- A pavement design factor of 1.5 (layer thickness of KRC/layer thickness of asphalt base course) proposed in the European scientific community can be safely achieved according to the available findings and can be reduced if necessary with corresponding mathematical dimensioning proofs.
- Dynamic indirect tensile tests for the determination of characteristic values for the description of the stiffness and fatigue behaviour according to TP Asphalt-StB, Parts 24 and 26 (EN 12697-24/-26) can be used without restriction for the testing of cold recycling construction materials. With the same mix composition as well as production and testing in two laboratories, the results of the performance tests were also very comparable.
- With increasing storage time, the stiffnesses increase and the fatigue properties improve. The results further suggest that this development is not yet complete even after 180 days. Investigations after 28 days underestimate the potential of a KRC.
- There is a useful correlation between the modulus of elasticity at 5 °C calculated from static indirect tensile tests and the dynamic stiffnesses at this temperature. This could be a comparatively simple verification for construction contracts.

The comprehensive investigations within the framework of the research project were able to prove conclusive and practical pavement design principles with which cold recycling layers can be considered in future as a base layer in an asphalt superstructure in a targeted and economical manner. Since such layers take into account particularly the aspects of sustainability and energy minimisation, a high potential can be seen in the application, so that a prompt integration of the results into the technical regulations of the FGSV is recommended.

Inhalt

Abkürzungen	12
1 Einleitung	13
1.1 Problemstellung und Zielsetzung	13
1.2 Vorgehen	14
2 Theoretische Grundlagen und Stand der Kenntnisse	16
2.1 Charakterisierung kaltgebundener Tragschichten	16
2.2 Dimensionierungsverfahren für Befestigungen mit KRC-Schicht	19
2.2.1 Dimensionierung von KRC-Schichten in Deutschland	19
2.2.2 Italien	19
2.2.3 Schweden	20
2.2.4 Großbritannien	21
2.2.5 Frankreich	22
2.2.6 Schweiz	23
2.2.7 Vereinigte Staaten von Amerika	23
2.2.8 Südafrika	23
2.2.9 Vergleich der internationalen Vorgehensweisen zur Dimensionierung von KRC-Schichten	23
3 Streckeninformationen	26
4 Probennahme und Laboruntersuchungen an Bohrkernen	28
4.1 Probennahme und Feldmessungen	28
4.1.1 Dokumentation der Probennahme	28
4.1.2 FWD-Messungen	36
4.2 Ergebnisse der Laboruntersuchungen an den Bohrkernen	40
4.2.1 Ergebnisse vorbereitende Untersuchungen an Bohrkernen	40
4.2.2 Steifigkeitsmodul gemäß TP Asphalt-StB, Teil 26	48
4.2.3 Spaltzugfestigkeit gemäß M KRC	76
4.2.4 Ermüdungseigenschaften gemäß TP Asphalt, Teil 24	79

4.3	Ermittlung der Mischgutzusammensetzung	85
4.3.1	Voruntersuchungen zur Bohrkernaufbereitung	86
4.3.2	Untersuchungen zur Mischgutzusammensetzung	86
4.3.3	Fotooptische Bildauswertung	87
4.3.4	Detektion von PAK-haltigen Ausbaustoffen	89
5	Validierung der Untersuchungsergebnisse	91
5.1	Nachstellung einer Untersuchungsstrecke im Labor	91
5.1.1	Auswahl der Mischgutzusammensetzungen	91
5.1.2	Voruntersuchungen zur Bestimmung der Verdichtungsart	92
5.1.3	Raumdichten der Laborproben	93
5.1.4	Spaltzugfestigkeiten vor und nach Wasserlagerung (ITSR)	94
5.1.5	Steifigkeitsmoduln gemäß TP Asphalt, Teil 26	99
5.1.6	Ermüdungsverhalten gemäß TP Asphalt-StB, Teil 24	114
5.1.7	Triaxialversuche	121
5.2	Computergestützte Berechnungen zur Dimensionierung von KRC-Schichten	123
5.2.1	Berechnung der Beanspruchungen und rechnerischen Nutzungs- dauern für die Befestigungen der zehn Praxisstrecken	123
5.2.2	Dimensionierung von fiktiven Beispielen mit Performance-Daten der Laborgemische	131
6	Zusammenfassung und Ausblick	139
6.1	Ergebnisse zur Anwendbarkeit von Prüfverfahren gemäß TP Asphalt-StB . .	139
6.2	Erkenntnisse aus der Untersuchung von Praxisstrecken mit KRC-Tragschicht	139
6.3	Erkenntnisse hinsichtlich des Einflusses variierter Zusammensetzungen . . .	140
6.4	Erkenntnisse zur Dimensionierung von Asphaltbefestigungen unter Nutzung von KRC-Tragschichten	140
	Literatur	142
	Bilder	145
	Tabellen	151
	Anlagen	155

Abkürzungen

AGW	Arbeitsplatzgrenzwert
AG	Asphaltgranulat
AP	Arbeitspaket
B	Bundesstraße
BAB	Bundesautobahn
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BE	Bitumenemulsion
DSR	Dynamisches Scherrheometer
DTV	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
EAPA	European Asphalt Pavement Association
EP	Erstprüfung
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßenwesen und Verkehr
FR	Fahrtrichtung
FTIR-Analyse	Fourier-Transform-Infrarot-Analyse
FWD	Falling Weight Deflectometer
MAK-Wert	Maximale Arbeitsplatzkonzentration
KGV	Korngrößenverteilung
KP	Kontrollprüfung
KRC	Kaltrecycling
L	Landesstraße
SB	Schaumbitumen
TGA	Thermogravimetrische Analyse
TP	TP Asphalt-StB – Technische Prüfvorschrift für Asphalt
ZEB	Zustandserfassung und Bewertung

1 Einleitung

Der Straßenneubau nimmt in Deutschland einen immer kleiner werdenden Anteil an den durchgeführten Straßenbauprojekten ein. Stattdessen rücken Erhaltungsmaßnahmen, wie der Austausch von Deck- und/oder Binderschichten, in den Vordergrund. [Land Nordrhein-Westfalen, 2020] Bei diesen Maßnahmen führt das Verhältnis von anfallendem Ausbauasphalt, zu im neuen Asphalt wiederverwendeten Asphaltgranulat (AG) zum Anstieg der Lagerbestände. Diese teilweise großen Mengen von Asphaltgranulat, welche bei den Mischwerken lagern, können voraussichtlich nicht alleinig in Heiasphaltschichten des Oberbaus hochwertig wiederverwendet werden. Neben der Zugabe von sogenannten Rejuvenatoren, ist die Verwertung des Asphaltgranulats in kaltgebundenen Tragschichten, eine weitere zielführende Möglichkeit den AG-Anteil in bitumengebundenen Straenbaustoffen zu erhöhen und somit zur Minderung der Lagerbestände. Anforderungen an die Eigenschaften des Baustoffgemisches und an die fertige Leistung sind in den Merkblättern für die Verwertung pechhaltiger Straenausbaustoffe und von Asphaltgranulat in bitumengebundenen Tragschichten durch Kaltaufbereitung in Mischanlagen [M VB-K, 2007] und für Kaltrecycling in situ im Straßenoberbau [M KRC, 2005] vorgegeben. Hinweise zur Dimensionierung derartiger kaltgebundener Tragschichten werden in den Merkblättern gegeben. Die Verwertung von pechhaltigen Material ist allerdings durch die Einführung des [Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2015] seit dem 1. Januar 2018 auf Bundesfernstraßen verboten. Dieses Verbot haben mittlerweile auch alle Bundesländer für ihre Landesstraßen umgesetzt. [Kneisel, 2019; Etienne, 2017]

In verschiedenen Bundesländern (z. B. Rheinland-Pfalz, Sachsen oder Brandenburg) sind bitumen-dominante kaltgebundene Tragschichten abweichend vom Regelwerk für geringe Verkehrsbelastungen immer wieder zur Anwendung gekommen, aber ohne die gesammelten Erfahrungen zu dokumentieren. Es steht ein Erfahrungshintergrund zur Verfügung, der nunmehr nicht zuletzt für die Überarbeitung der Merkblätter zusammenzuführen und aufzuarbeiten ist. In anderen Bundesländern wie Nordrhein-Westfalen wird besonders das Kaltrecycling in situ nur in Ausnahmefällen ausgeschrieben, da zu wenige Baufirmen die notwendigen Geräte und Erfahrungen für die Ausführung in ausreichender Qualität besitzen und so ein fairer Wettbewerb ausgeschlossen ist. [Wüst, 2018]

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Die politischen Diskussionen und Bemühungen um Nachhaltigkeit im Straßenbau und um eine Reduzierung der CO₂-Emissionen verstärken die europäischen Bemühungen die Temperatur bei der Herstellung und bei der Verarbeitung von Asphalt grundsätzlich zu reduzieren. Die bisherigen, auch in Deutschland angewendeten Verfahren und Produkte, z.B. mit viskosittsverndernden Zusätzen zeigen in diesem Zusammenhang klare Grenzen bei der Reduzierung der Temperaturen (max. 30 K). Ob diese Bauweisen unter Berücksichtigung der deutlichen Verschärfung der Arbeitsplatzgrenzwerte und Aerosole bei der Heiverarbeitung von bitumenhaltigen Baustoffgemischen (Minderung von 10 auf 1,5 mg/m³), [Bundesministerium für Arbeit und Soziales, 2020] weiterhin noch ohne eine erweiterte persönliche Schutzausrüstung umgesetzt werden können, wird zurzeit diskutiert (AGW/MAK-Wert für die Heiverarbeitung) [Tube, 2019; Rhl, 2020]

Auch wenn der neue Grenzwert zunächst bis zum 31.12.2024 ausgesetzt ist [Bundesministerium für Arbeit und Soziales, 2020], hat mittel- bis längerfristig die Kaltbauweise mit Bitumenemulsion oder Schaumbitumen unter Berücksichtigung dieser Szenarien sicherlich ein großes Anwendungspotential. Die Voraussetzung hierfür ist, dass die dimensionierungsrelevanten Performance-Eigenschaften ein entsprechendes Niveau aufweisen und gleichzeitig eine hinreichende Dauerhaftigkeit nachgewiesen werden kann. Dieser fehlende Nachweis kann eine Ursache für die im europäischen Vergleich sehr geringe Produktionsmenge in Deutschland sein. [European Asphalt Pavement Association, 2020]

Trotzdem hat sich die Kaltbauweise mit Bitumenemulsion für einige Sondereinsatzbereiche (z.B. Dünne Schichten in Kaltbauweise) bereits gut bewährt. Gebundene Schichten, die durch entsprechende Steifigkeiten und Homogenität auch dauerhafte Tragfunktionen erfüllen, können bisher nur durch eine zusätzliche Zementzugabe hergestellt werden. In solchen Fällen sind die relaxierenden Eigenschaften für die Umsetzung einer fugenlosen Flächenbefestigung unter Berücksichtigung der Alterung des bitumenhaltigen Bindemittels zu beachten. Die Bindemittelkonzepte (Bitumen/Zement) solcher Kaltbauweisen wurden in der Vergangenheit primär auf die Gebrauchseigenschaften zu Beginn der

Nutzung eingestellt. Inwieweit die Veränderung im Laufe der Nutzung (Zemethydratation, Alterung des bitumenhaltigen Bindemittels) Einfluss auf die Dimensionierungsgrundsätze hat (vorzeitige Rissbildung), stellt eine noch offene Fragestellung dar. Eine weitere aktuelle Problemstellung, die sich vermutlich in Zukunft noch verschärfen wird, ist die Qualität, hier primär der Alterungsgrad, des Bitumens im Asphaltgranulat. Dieser erschwert zunehmend die konventionelle Wiederverwendung in Heißasphaltnischgut. Eine Verwendung solcher Sekundärbaustoffe in kaltgebundenen Tragschichten könnte diese Massenproblematik entschärfen, zumal auch hier mit gleicher Bindemittelart ein hohe „Verträglichkeit“ zu erwarten ist.

Ein wesentliches Ziel des Forschungsvorhabens ist es, den Zustand bestehender Strecken mit kaltgebundener, bitumen-dominanter Tragschicht zu erfassen und zu bewerten. Die Erkenntnisse dieser Untersuchungen sollen letztendlich in die Bearbeitung/Überarbeitung der betreffenden FGSV-Regelwerke einfließen sowie eine Basis zur Beschreibung der Dimensionierungsgrundsätze für diese Bauweise liefern.

1.2 Vorgehen

In Bild 1-1 ist der Arbeitsplan des Projektes in einem Fließdiagramm zusammengefasst.

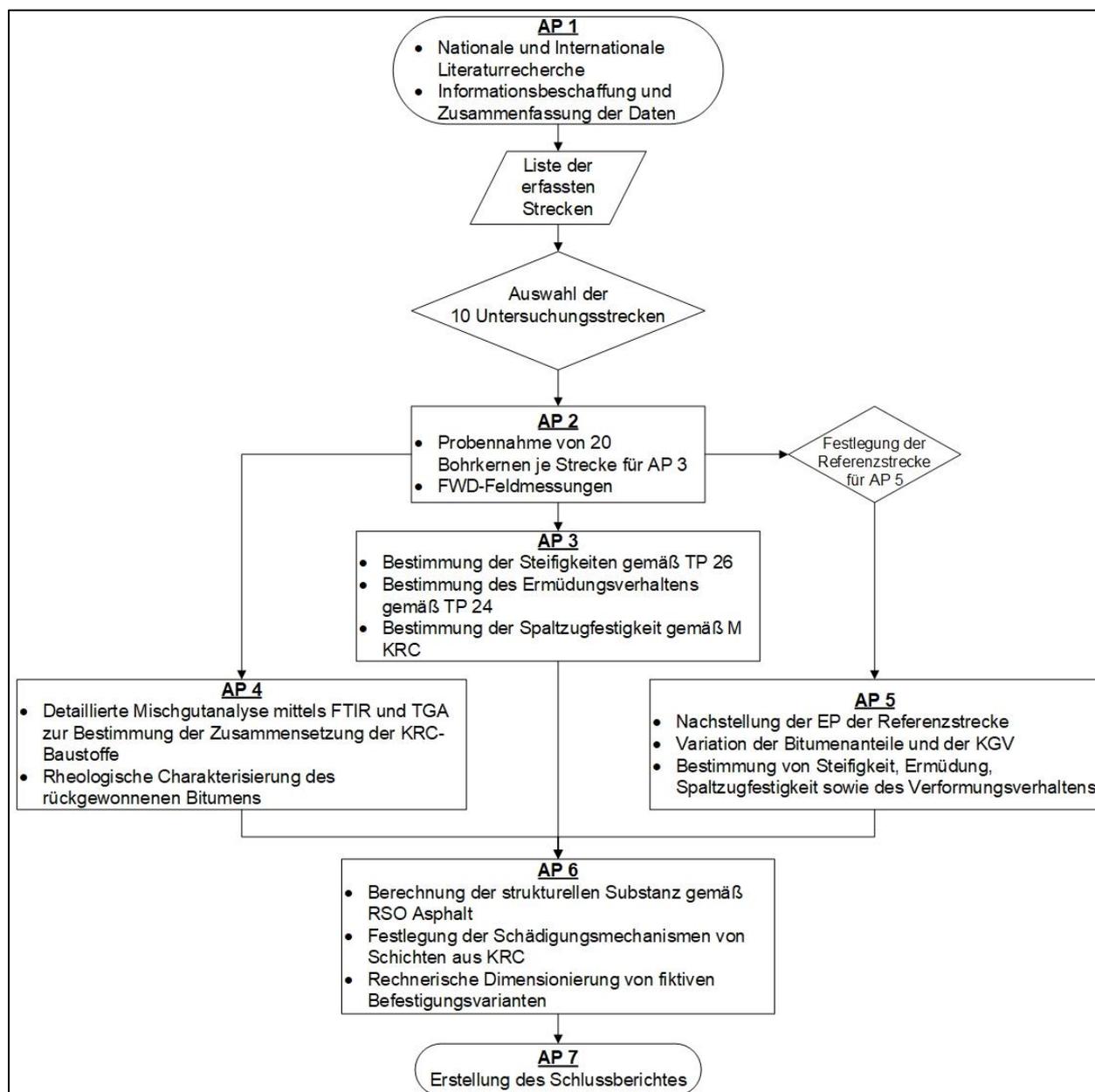


Bild 1-1: Ablauf des Forschungsprojektes im Fließdiagramm

Zunächst werden im ersten Arbeitspaket (AP 1) Straßenabschnitte mit kaltgebundenen Tragschichten in einer Liste zusammengestellt. Zu diesen werden Erstprüfungen sowie relevante Daten anhand vorliegender Dokumentationen (Baujahr, Verkehrsbelastung, Befestigungsaufbau, Zusammensetzung der Tragschicht) recherchiert. In Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber und dem Betreuerkreis werden dann aus dieser Liste zehn Strecken ausgewählt, die im Zuge der folgenden Arbeitspakete näher untersucht werden sollen. Schwerpunktmäßig werden solche Strecken ausgewählt, die eine möglichst geringe Überbauungsdicke mit Asphalt aufweisen (Bauweisen für geringere Verkehrsbeanspruchung). Zudem müssen hinreichende Informationen über den Gesamtaufbau und die Zusammensetzung der Schichten vorliegen. Parallel dazu wird eine nationale und internationale Literaturstudie durchgeführt.

Im zweiten Arbeitspaket (AP 2) werden auf den ausgewählten Strecken FWD-Messungen durchgeführt, um den Zustand dieser Strecken nicht nur anhand der Oberflächenbeschaffenheit beurteilen zu können. Weiterhin werden die Bohrkerns für die labortechnischen Untersuchungen des dritten und vierten Arbeitspaketes aus den Strecken entnommen. Im dritten Arbeitspaket werden die dimensionierungsrelevanten Eigenschaften der KRC-Schichten (Steifigkeit und Ermüdung) an den Bohrkernen bestimmt, um anschließend im sechsten Arbeitspaket (AP 6) unter Berücksichtigung der bisherigen Nutzungsdauer und der im Zuge des vierten Arbeitspaketes ermittelten Mischgutzusammensetzung, die rechnerische Gesamtnutzungsdauer des gebundenen Oberbaus zu ermitteln.

In einem ergänzenden Laboruntersuchungsprogramm (AP 5) werden zeitgleich zu den vorgenannten Arbeitspaketen 4 und 6, ausgewählte Mischgutkonzepte nachgemischt, um deren Performance-Eigenschaften im „frischen“ Zustand (7 Tage bis > 56 Tage) vergleichend betrachten zu können.

2 Theoretische Grundlagen und Stand der Kenntnisse

Obwohl Tragschichten mit Bindemittelgemischen aus Bitumenemulsion und Zement seit vielen Jahren eingesetzt werden und hierzu entsprechende technische Regelwerke von der FGSV ([M VB-K, 2007; M KRC, 2005]) veröffentlicht wurden, findet eine regelmäßige und bundesweite Anwendung solcher Bauweisen bisher nicht statt. So ist im internationalen Vergleich die Umsetzung dieser Bauweise in Deutschland bisher noch sehr unterrepräsentiert. [European Asphalt Pavement Association, 2020]

Unter Berücksichtigung der Angaben in den zuvor genannten technischen Regelwerken der FGSV ist ein Grund für die geringe Akzeptanz solcher kaltgebundenen Tragschichten in den Vorgaben zur Dimensionierung zu finden, welche den Einsatz kaltgebundener Tragschichten oft unwirtschaftlich machen. Andererseits existieren bisher noch keine wissenschaftlich abgesicherten Erkenntnisse zur dimensionierungstechnischen Berücksichtigung (temperaturabhängige Steifigkeit sowie Ermüdungsfunktionen) dieser Schichten im Rahmen einer rechnerischen Dimensionierung. Erste Ansätze hierzu wurden von [Radenberg et al., 2015] erarbeitet, wobei hier nur laborgemischte Proben untersucht wurden. Ein allgemein anerkannter Bezug zu tatsächlichen Befestigungen besteht somit noch nicht. Allerdings wurden solche Kaltgemische in zahlreichen Straßenabschnitten als Tragschicht eingebaut, sodass mit der Untersuchung dieser Schichten ein Praxisbezug und auch eine zeitliche Entwicklung der Schichteigenschaften herzustellen wäre. Beispielhaft sei hier die Bundesautobahn 30 (BAB 30) zwischen km 66,9 (AS Hasbergen-Gaste) und km 103,9 (AS Bruchmühlen) genannt, in der einige Abschnitte mit unterschiedlicher Gemisch-Zusammensetzung eingebaut wurden. Die Grundlage für das Konzept der Fundationsschicht im Kalteinbau der BAB 30 war das zum Zeitpunkt dieser Überlegungen noch in Bearbeitung befindliche Merkblatt für die Verwertung von pechhaltigen Straßenausbaustoffen und von Asphaltgranulat in bitumengebundenen Tragschichten durch Kaltaufbereitung in Mischanlagen [M VB-K, 2007]. Die Fundationsschichten der BAB 30 wurden im Zentralmischverfahren hergestellt und setzten sich wie in Tab. 2-1 dargestellt zusammen.

Bauabschnitt		Asphaltfundationsschicht								Pechhaltige Fundationsschicht			
		BA I FR O	BA I FR R	BA II FR O	BA II FR R	BA IV FR O	BA IV FR R	BA VI FR O	BA VI FR R	BA I FR R	BA II FR R	BA VI FR O	BA VI FR R
Gefräste/aufbereitete Asphalttragschicht	[M.-%]	65,0	66,5	66,0	66,0	69,0	67,0	64,0	66,5	-	-	-	-
Gefräste/aufbereitete Asphaltdeckschicht	[M.-%]	15,0	16,0	16,0	16,0	16,0	15,0	15,0	15,0	-	-	-	-
Gefräste/aufbereitete Zementverfestigung	[M.-%]	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Aufbereiteter pechhaltiger Straßenaufbruch	[M.-%]	-	-	-	-	-	-	-	-	89,0	89,0	89,0	89,0
Füller	[M.-%]	5,0	3,5	4,0	3,0	-	3,0	6,0	3,5	6,0	6,0	6,0	6,0
Bitumenemulsion	[M.-%]	3,5	3,5	3,5	3,5	3,0	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Zement CEM I 32,5 R	[M.-%]	2,5	2,5	2,0	2,5	3,0	2,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Rechnerischer Gesamtwassergehalt	[%]	3,5	4,7	3,1	4,7	5,8	4,3	3,6	7,5	3,7	3,9	7,1	7,8

Tab. 2-1: Zusammensetzungen der verschiedenen Bauabschnitte der BAB 30 [Schäfer, 2008]

2.1 Charakterisierung kaltgebundener Tragschichten

Tabelle 2-1 verdeutlicht, dass die Bindemittelgehalte sowie die Verhältnisse der beiden Bindemittelkomponenten (Bitumen und Zement) selbst innerhalb einer Baumaßnahme signifikant variieren können. Vor dem Hintergrund, dass diese Verhältnisse die Bindungscharakteristik eines solchen Kaltmischgutes prägen, ist die Mischgutzusammensetzung ein wichtiges Kriterium für die Auswahl der Untersuchungsstrecken. Auch im [M KRC, 2005] wird diese Thematik behandelt und führt letztendlich zur Definition von unterschiedlichen Bindungstypen. Der für dieses Projekt relevante Bindungstyp „bitumen-dominant“ wird dort anhand des statischen E-Moduls nach 28 Tagen abgegrenzt: „Bei bitumen-dominanten KRC-Gemischen (Bindungstyp B1) beträgt der E-Modul (bei 5 °C) nach 28 Tagen 3.000 MN/m² bis

7.000 MN/m².“ Für die Eingruppierung des Bindungstyps infolge der Bindemittelkonzepte konnte zusätzlich die Bruchdehnung als charakterisierender Kennwert festgestellt werden (siehe Tab. 2-2).

Bindungstyp ¹⁾ (Art der Bindung)	Bruchdehnung ϵ_{sz} [%]	E-Modul bei 5 °C E_{sz} [N/mm ²]
Gruppe A (Bitumenbindung)	≥ 2,50	< 3000
Gruppe B1 (bitumen-dominante Bindung)	1,50 bis 2,80	3000 bis 7000
Gruppe B2 (hydraulisch-dominante Bindung)	1,00 bis 2,00	5000 bis 12500
Gruppe C (hydraulische Bindung)	0,4 bis 1,00	10000 bis 20000

¹⁾ Das mechanische Verhalten der Bindungstypen (Spalte 1) wird durch das Bindemittel im Mischgranulat und das (die) zugegebene(n) Bindemittel beeinflusst.

Tab. 2-2: Eingruppierung der Bindungstypen kaltgebundener Tragschichten [Langhammer, 1998]

Diese Definition verkürzt jedoch die komplexen Materialeigenschaften von kaltgebundenen Baustoffen, bei denen die mechanischen Eigenschaften und somit auch Festigkeit und Steifigkeit von einer Vielzahl von Materialparametern abhängen. Zu diesen Parametern gehören u. a. der Asphaltgranulat-Anteil und dessen Eigenschaften, die Korngrößenverteilung und aufgrund des Hydratationsvorgangs des enthaltenen mineralischen Bindemittels sowie des langfristigen Trocknens des Verdichtungs- und Emulsionswassers deren zeitliche Veränderung. Somit kann die Ursache einer Steifigkeit von unter 7.000 MPa (bitumen-dominant) auch ein hoher Hohlraumgehalt sein, obwohl das Gemisch aufgrund der Zusammensetzung eher als hydraulisch dominant einzustufen wäre. Auch bei einer Berücksichtigung der Bruchdehnung wird noch keine hinreichende Beschreibung des Materialverhaltens erreicht.

Je nach Anteilen der zugegebenen Bindemittel variiert das Materialverhalten zwischen jenem von ungebundenen, zementgebundenen und/oder bitumengebundenen Baustoffen. In Anlehnung an internationale Erfahrungen [Mollenhauer, 2017] kann daher der Baustoff in weiteren Stufen klassifiziert und unterteilt werden (vgl. Tab. 2-3 und Bild 2-1), womit eine weitergehende Gruppierung möglich ist.

Bauweise	Abkürzung	Bindemittel (BE/SB) ¹⁾	Bitumen- gehalt	Zement- gehalt
Kaltasphalt	KA	BE	~ 6 %	-
Grave Emulsion	GE	BE	≥ 3 %	-
Bitumen-Stabilisiertes Material	BSM-BE	BE	1 bis 3 %	< 1 %
	BSM-SB	SB		
Bitumen-Zement-Stabilisiertes Mischgut	BCSM-BE	BE	1 bis 3 %	1 bis 3 %
	BCSM-SB	SB		
Baustoff für schadstoffhaltige Ausbaustoffe	SCRM-BE	BE	3 bis 6 %	1 bis 6 %
	SCRM-SB	SB		

¹⁾ BE = Bitumenemulsion; SB = Schaumbitumen

Tab. 2-3: Vorschlag für eine Klassifizierung von bitumengebundenen kaltverarbeiteten Baustoffen [Mollenhauer, 2017]

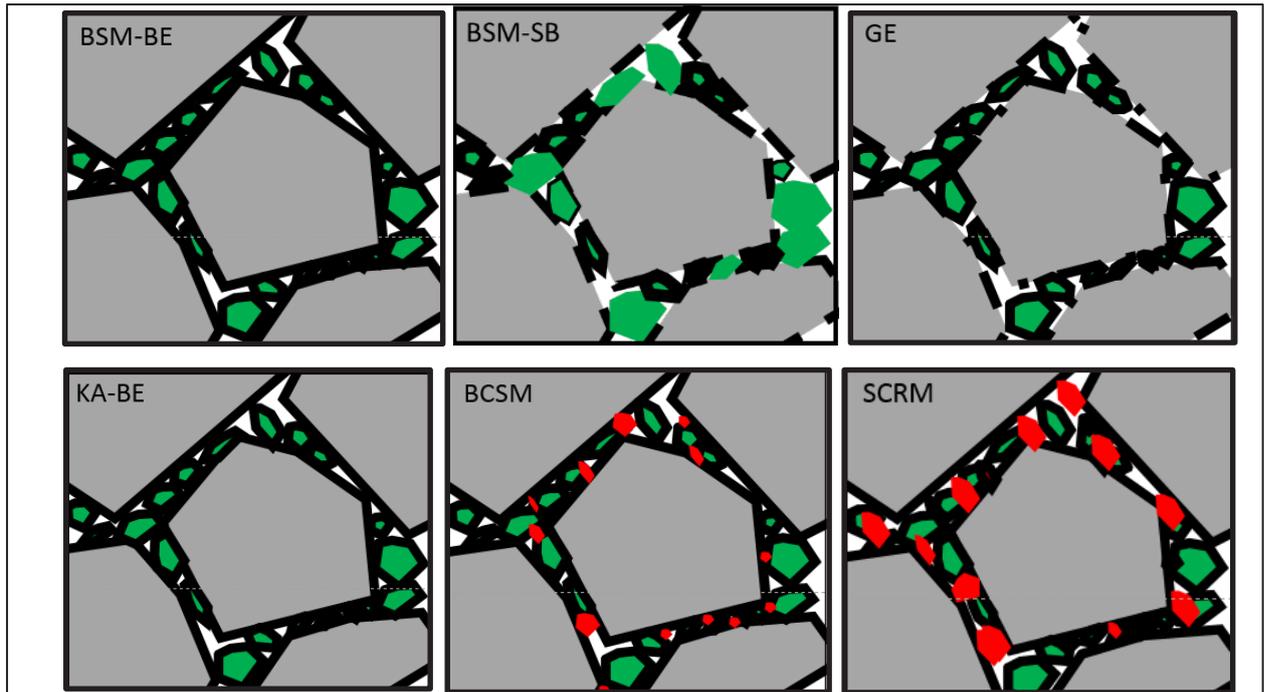


Bild 2-1: Illustration der Art der Bindungen zwischen groben (grau) und feinen (grün) Gesteinskörnungen durch Asphaltmörtel (schwarz) und Zement (rot) in unterschiedlichen bitumenhaltigen Kaltmischgutarten [Mollenhauer, 2017]

In [Radenberg et al., 2015] konnte gezeigt werden, dass mit entsprechenden Bindemittelkombinationen temperaturabhängige dynamische Steifigkeiten erreicht werden können, die einer typischen Asphalttragschicht sehr ähnlich sind, allerdings auf einem insgesamt etwas niedrigerem Niveau. Andere Erfahrungen mit Ausbauproben aus solchen kaltgebundenen Tragschichten haben dagegen gezeigt, dass trotz bitumen-dominanter Mischgutzusammensetzung nur eine vergleichsweise geringe temperaturabhängige Veränderung der Steifigkeiten vorhanden war [Franz, 2017]. Bild 2-2 zeigt die bei vier verschiedenen Frequenzen und Temperaturen mit dem dynamischen Spaltzugversuch gemessenen Steifigkeiten (Untersuchung gemäß AL Sp-Asphalt 09) einer Untersuchungsstrecke mit Entnahmestellen aus drei Bauabschnitten, die im KRC-Verfahren mit einem Mixpaver hergestellt wurden.

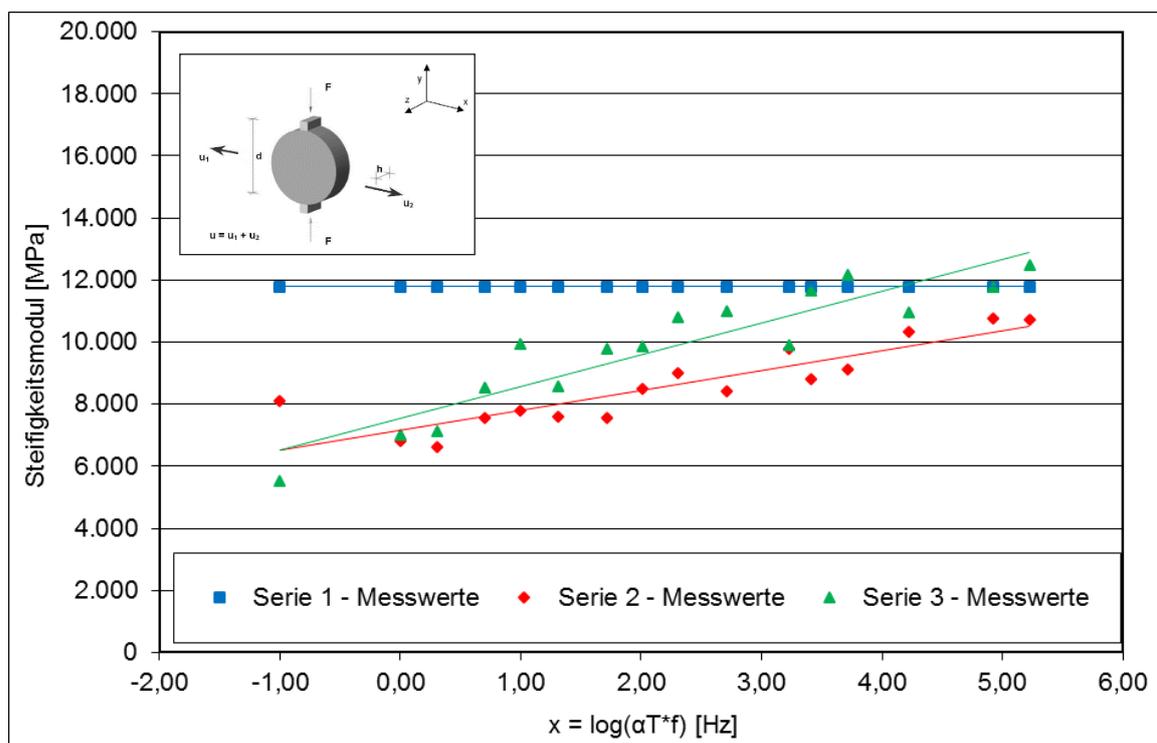


Bild 2-2: Hauptkurven der Steifigkeitsmodule einer KRC-Schicht [Franz, 2017]

2.2 Dimensionierungsverfahren für Befestigungen mit KRC-Schicht

National und international finden zur Dimensionierung von KRC-Schichten verschiedene Verfahren Anwendung. In den folgenden Abschnitten werden einige Vorgehensweisen und die zugehörigen Regelwerke beschrieben.

2.2.1 Dimensionierung von KRC-Schichten in Deutschland

Die Dimensionierung von Verkehrsflächen mit KRC-Schichten in Deutschland ist in den Merkblättern der FGSV beschrieben. Hierbei findet eine Unterteilung zwischen in situ und in plant hergestelltem KRC-Mischgut statt.

Das Merkblatt für Kaltrecycling in situ im Straßenoberbau [M KRC, 2005] stellt ein Tafelwerk zur Verfügung, welches unter Berücksichtigung der Tragfähigkeit der Unterlage die Anwendung von Kaltrecyclingmischgut in situ für Verkehrswegebefestigungen bis zu einer Belastungsklasse Bk3,2 (früher Bauklasse III) vorsieht. Der Regelaufbau nach dem [M KRC, 2005] erfordert Schichtdicken der KRC-Schicht zwischen 14 und 20 cm und sieht einen Überbau aus Asphalttrag- und Deckschicht vor.

Die Dimensionierung mit in plant hergestelltem Kaltrecyclingmischgut nach dem Merkblatt für die Verwertung von pechhaltigen Straßenausbaustoffen und von Asphaltgranulat in bitumengebundenen Tragschichten durch Kaltaufbereitung in Mischanlagen [M VB-K, 2007] findet in Anlehnung an das Tafelwerk der [RStO, 2001] statt (Ersetzt durch [RStO, 2012]). Das Merkblatt empfiehlt eine Orientierung an den Schichtdicken für Verfestigungen nach Zeile 2.2 unter Erhöhung der Einbaudicke der einzubauenden KRC-Schicht um 20 %.

2.2.2 Italien

In Italien ist die Anwendung von Kaltrecycling-Baustoffen ähnlich wie in der Bundesrepublik Deutschland geregelt und basiert auf in Tafeln festgelegten Befestigungen.

Die Entwicklung des „Verzeichnisses der Bezugsbauweisen zur Dimensionierung von Asphaltstrassen“ [Bozen-Südtirol, 2016] wurde federführend von der Autonomen Provinz Bozen in Südtirol vorangetrieben. Vergleichbar mit dem [M KRC, 2005] steht ein Tafelwerk zur Verfügung, welches unter Berücksichtigung der Verkehrsbelastung und der vorhandenen Untergrundtragfähigkeit ein Schichtenpaket für den gebundenen Oberbau vorgibt.

Zusätzlich besteht aufgrund der geodätischen Lage der Region Südtirol die Möglichkeit, eine entsprechende Auswahl unter Berücksichtigung der Höhenlage durchzuführen. Ein Beispiel des Tafelwerks ist in Bild 2-3 dargestellt. Abweichend zum [M KRC, 2005] sieht dieses Regelwerk die Anwendung von Kaltrecyclingmaterial ausschließlich für höhere Belastungsklassen (> 12 Mio. äquivalente 8-Tonnen-Achsen, entspricht ca. 5 Mio. äquivalenten 10-Tonnen-Achsen) vor.

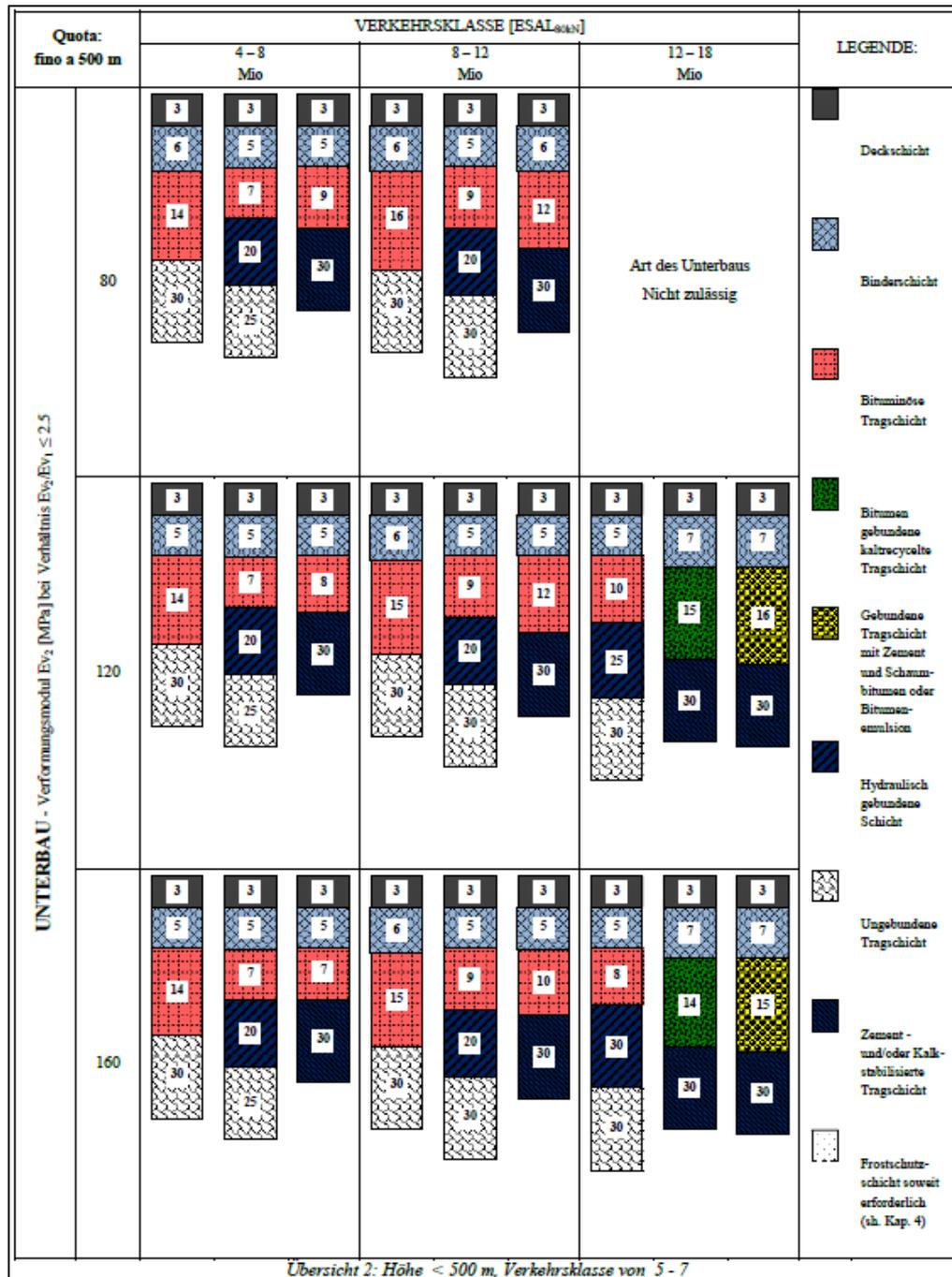


Bild 2-3: Auszug aus dem Tafelwerk zur Dimensionierung mittels Kaltrecyclingmaterial gemäß [Bozen-Südtirol, 2016]

2.2.3 Schweden

In Schweden existiert derzeit kein Regelwerk zur Verwendung von Kaltrecyclingmaterial im Straßenbau. Im Rahmen einzelner Forschungs- und Entwicklungsprojekte wurden allerdings Tragschichten mit Kaltrecyclingmischgut, welches aus bis zu 80 % Asphaltgranulat besteht, hergestellt. Zum jetzigen Zeitpunkt gibt es daher bei der Verwendung von kaltrecyceltem Material keine expliziten Anforderungen.

Die zukünftigen Regelwerke sollen Schichten aus Kaltrecyclingmaterial gleichwertig zu konventionellen Heiasphaltschichten behandeln, sodass kein Unterschied innerhalb der Vorgehensweise zur Dimensionierung besteht. Die Anforderungen sollen lediglich an die Baustoffe gestellt werden. [Mollenhauer et al., 2020]

2.2.4 Großbritannien

Die Dimensionierung von KRC-Schichten in Großbritannien ist in [Merrill et al., 2004] beschrieben. Auch hier finden für die Dimensionierung der Schichten aus Kaltrecyclingmischgut Tabellenwerke und Diagramme Anwendung. Die Dimensionierung von bitumen-dominant gebundenen KRC-Material orientiert sich hierbei aufgrund des ähnlichen Materialverhaltens stark an der Dimensionierung von konventionellem Heißasphalt.

Die Richtlinien aus Großbritannien sehen die Anwendung für Verkehrsbeanspruchungen bis zu 30 Millionen Standard-Achsbergngen (8,2 t) vor. Dies entspricht etwa 14 Mio. quivalenten 10-Tonnen-Achsen. Dabei wird die Dicke der Kaltrecyclingschicht für Beanspruchungen bis 5 Millionen Standard-Achsbergngen mit Hilfe von Tabellen dimensioniert. In Abhängigkeit von der Überbauungsdicke und von der Tragfähigkeit des Untergrundes werden hier Schichtdicken von bis zu 33 cm vorgesehen. Das KRC-Material muss hierbei mindestens der Klasse B1 (Bild 2-4) entsprechen.

<i>Bitumen bound cold recycled zone</i>	<i>Minimum long-term stiffness</i>
B1	1900 MPa
B2	2500 MPa
B3	3100 MPa

Bild 2-4: Klassifizierung bitumendominanter kaltrecycelter Materialien anhand der nach EN 12697-26 ermittelten Steifigkeit [Merrill et al., 2004]

Für Verkehrsbeanspruchungen über 5 Millionen Standard-Achsbergnge sieht das Regelwerk zusätzlich eine Differenzierung innerhalb der Kaltrecyclingmaterialien vor. Hierbei wird zwischen drei verschiedenen Materialklassen unterschieden (Bild 2-4), welche mit Hilfe der Langzeitsteifigkeit definiert werden. Die Klasse B3 entspricht hierbei der Steifigkeit von Heißasphalt und wird bei der Herstellung in situ nie erreicht.

Die Gesamtdicke des gebundenen Oberbaus, inklusive 10 cm Heiasphaltberbau bestehend aus Binder- und Deckschicht, wird abhängig von der Tragfähigkeit des Untergrundes (Fundationsklasse), der vorliegenden Verkehrsbelastung und des verwendeten KRC-Materials, anhand von Funktionsdiagrammen bestimmt. In Bild 2-6 ist beispielsweise ein solches Diagramm für die niedrigste Fundationsklasse 1 dargestellt.

Der 10 cm hohe Überbau aus Heißasphalt kann für KRC-Materialien der Klassen B1 und B2 in Abhängigkeit von der Verkehrsbeanspruchung (Straenkatgorie) reduziert werden, sofern ersatzweise eine Mehrdicke der KRC-Schicht von 130 % des Reduzierungsbetrages vorgesehen wird. Somit wird im Vergleich zu Heiasphaltschichten für KRC-Schichten ein Zuschlag von 30 % angewendet. Die hierbei einzuhaltenden Mindestdicken der Überbauung sind in Bild 2-5 aufgeführt.

<i>Road type category</i>	<i>Minimum thickness of surfacing (mm)</i>
0	100
1	70
2	50

Bild 2-5: Mindestberbauungsdicke (Asphaltdeck- und Asphaltbinderschicht) in Abhängigkeit von der Straenkatgorie [Merrill et al., 2004]

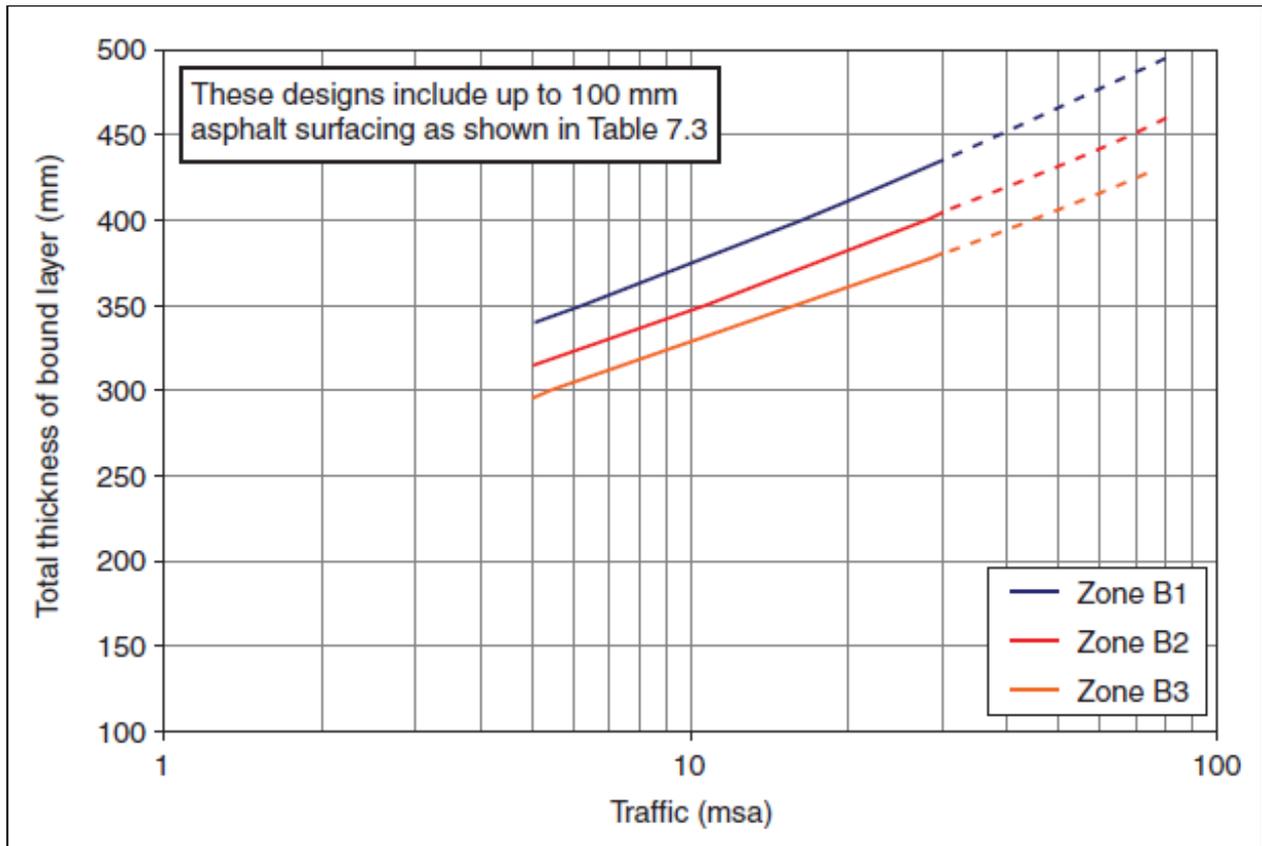


Bild 2-6: Funktionsdiagramm zur Dimensionierung bitumen-dominanter Kaltrecyclingschichten für die Fundationsklasse 1 [Merrill et al., 2004]

2.2.5 Frankreich

Ein Dimensionierungsverfahren von KRC-Schichten ist innerhalb der französischen Norm [NF P98-086, 2011] nicht explizit festgeschrieben. Jedoch beschreibt die [NF EN 13108-31, 2019] verschiedene Materialtypen für die Verwendung von bitumen-dominanten Kaltgemischen unter Anwendung von Grave-Emulsion (GE) als Bindemittel. Dabei wird zwischen drei Klassen unterschieden, welche sich durch abweichende Mindestbindemittelgehalte und unterschiedliches Größtkorn kennzeichnen (Tab. 2-4).

GE-Klasse	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3
Mindestbindemittelgehalt (%)	4,2	3,2	2,8

Tab. 2-4: Mindestbindemittelgehalt der verschiedenen Materialklassen für bituminöse Kaltgemische [NF EN 13108-31, 2019]

Weiterhin schreibt das Regelwerk zur Begrenzung der vertikalen Spannungen auf der Unterlage Referenzwerte für den Elastizitätsmodul der einzelnen Materialklassen vor (Tab. 2-5).

GE-Klasse	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3
Referenz-Elastizitätsmodul (MPa)	3.000	2.000	-

Tab. 2-5: Vorgaben des Elastizitätsmoduls für bituminöse Kaltgemische [NF EN 13108-31, 2019]

Die Schichtdickendimensionierung erfolgt dann rechnerisch mittels Mehrschichtentheorie unter Verwendung linear-elastischer Modelle.

2.2.6 Schweiz

Die Schweizer Norm [SN 40324, 2019] enthält ein für Fundationsschichten (u.a. KRC-Schichten) anzuwendendes Dimensionierungsverfahren unter der Verwendung des Strukturwertes. Je nach Untergrundtragfähigkeit und Verkehrsbelastung muss das mehrschichtige Befestigungssystem einen bestimmten Strukturwert erreichen. Anhand der Tragfähigkeitskennwerte kann dann die Fähigkeit des Lastabtrages als Beitrag für die Gesamt-Tragfähigkeit vergleichend abgeleitet werden (Strukturäquivalenzprinzip). Dadurch resultiert eine um 25 % höhere erforderliche Dicke der KRC-Schicht, im Vergleich zu einer Tragschicht aus Heißasphalt.

2.2.7 Vereinigte Staaten von Amerika

In den Vereinigten Staaten von Amerika erfolgt die Dimensionierung von KRC-Schichten analog zu konventionellen Heiasphaltschichten mittels Mehrschichtentheorie. Auf Grundlage des mechanistisch-empirischen Prinzips werden unter Berücksichtigung der auftretenden Spannungen, Dehnungen und Verformungen die einzelnen Schichtdicken des Oberbaues bestimmt. In der Regel findet dies unter Anwendung der Software AASHTOWare statt, welche von der American Association of State Highway and Transportation Officials entwickelt wurde. Die Verwendung der Software ist im zugehörigen Handbuch/Regelwerk [AASHTO, 2020] detailliert beschrieben.

2.2.8 Südafrika

Die Dimensionierung von Oberbauten mit KRC-Material in Südafrika ist durch die Southern African Bitumen Association (Sabita) in deren technischem Regelwerk [SABITA, 2020] beschrieben. Grundsätzlich ist eine Anwendung bis zu einer Belastung von 40 Mio. Standard-Achslastbergngen (8,2 t) ber die Nutzungsdauer vorgesehen. Hierfür erfolgt die Einteilung von bitumen-stabilisiertem Material (BSM) in Abhängigkeit von der Spaltzug- und der Scherfestigkeit (Tab. 2-6). Während das Material-Gemisch der Klasse 1 innerhalb höher belasteter Bereiche (> 6 Mio. Achslastbergnge) Anwendung findet, ist das Material-Gemisch der Klasse 2 für geringere Verkehrsbelastungen zu verwenden.

Klasse	AG (%)	ITS (kPa)		Triaxial		
		ITS _{troocken}	ITS _{NASS}	Kohäsion (kPa)	Reibungswinkel (kPa)	Verbleibende Kohäsion (%)
BSM 1	< 50	225	125	250	40	75
	50 – 100	225	125	265	38	75
BSM 2	< 50	175	100	265	38	65
	50 - 100	175	100	265	35	75

Tab. 2-6: Klassifizierung für bitumen-stabilisiertes Material [SABITA, 2020]

Die Dimensionierung der KRC-Schicht erfolgt unter Verwendung der erforderlichen Strukturzahl des Oberbaus nach der Methode der American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Hierbei wird die Dicke der einzelnen Schichten über Tragfähigkeitskennwerte, welche durch die Materialeigenschaften definiert werden, ermittelt. Zusätzlich ermöglicht die Anwendung von Normierungsfunktionen unter Berücksichtigung der Verkehrsbelastung weitere Anpassungen der Schichtdicken. Die Dicke der KRC-Schicht wird im Regelwerk mit 100 bis 300 mm angegeben.

2.2.9 Vergleich der internationalen Vorgehensweisen zur Dimensionierung von KRC-Schichten

Ein Vergleich der in Deutschland, Italien, Schweden, Großbritannien und Frankreich eingesetzten Befestigungsaufbauten zeigt, dass die verschiedenen Dimensionierungsanstze trotz gleicher angesetzter Verkehrsbeanspruchung (entsprechend Bk3,2) und Untergrundtragfähigkeit ($E_{v2} = 120 \text{ MN/m}^2$) zu unterschiedlichen Befestigungsaufbauten führt. Diese sind in Bild 2-7 zusammengestellt. In Großbritannien ergibt das auf Nomogramme basierende Dimensionierungsverfahren einen ähnlichen Aufbau wie in Deutschland gemäß [M KRC, 2005]. Die in Frankreich und Schweden eingesetzten rechnerischen Dimensionierungsverfahren resultieren in erheblich dünneren Dicken der Überbauung aus Heißasphalt. In Italien wird die kaltgebundene bitumenhaltige Tragschicht auf eine mit Zement stabilisierte Tragschicht aufgebaut. [Mollenhauer et al., 2020]

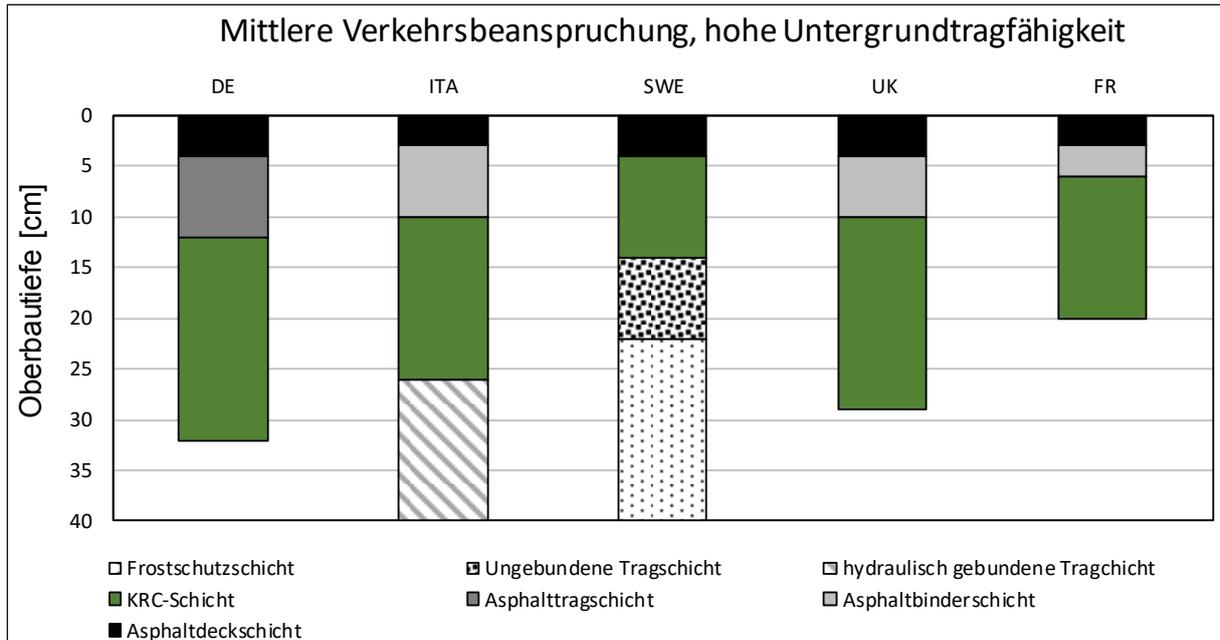


Bild 2-7: Resultierende Oberbauten im internationalen Vergleich [Mollenhauer et al., 2020]

Im Rahmen des Europäischen Forschungsprojektes CRABforOERE wurde die Zustandsentwicklung von Bestandsstrecken mit KRC-Schichten betrachtet. Dabei zeigte sich, dass der mit KRC-Material ausgeführte Streckenabschnitt der Bundesstraße 52 (B52) im Bereich Trier-Ehrang eine deutlich höhere Dauerhaftigkeit aufweist als anfänglich gemäß [RDO Asphalt, 2009] prognostiziert. Mit typischen Dimensionierungsansätzen für Asphaltbauweisen sollte die rechnerische Lebensdauer der KRC-Schicht etwa ein Jahr betragen [Zander et al., 2007], sodass bereits nach zwei weiteren Jahren eine unzureichende Tragfähigkeit für die vorgegebenen Verkehrsbelastungen der Befestigung vorliegen müsste. ZEB-Daten aus dem Jahr 2015 sowie eine visuelle Begutachtung im Frühjahr 2019 lassen jedoch bei einer Nutzungsdauer von mittlerweile über 10 Jahren keine nennenswerten Schädigungen der Befestigung erkennen. Im Vergleich mit weiteren europäischen kaltgebundenen bitumendominanten Bestandsstrecken fügt sich die B52 gut innerhalb der Schichtdickenausführung des gebundenen Oberbaus bei der Anwendung der Kaltbauweise ein [Mollenhauer et al., 2020]. Hinsichtlich des internationalen „Trends“ der erforderlichen Dicke des gebundenen Oberbaues in Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung sowie der beschriebenen Zustandsentwicklung der B52 scheint die Funktionsweise einer Extrapolation der Schichtdicken aus dem [M KRC, 2005] somit gegeben (Bild 2-8).

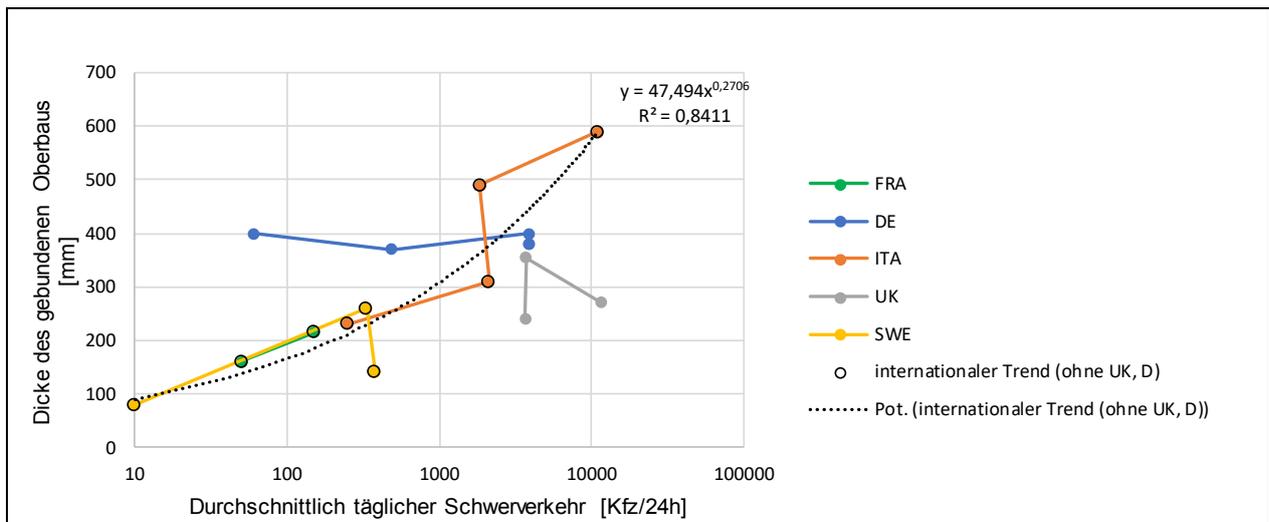


Bild 2-8: Dicke des gebundenen Oberbaues über die Anzahl an täglichem Schwerverkehr [Mollenhauer et al., 2020]

Weiterführend konnte durch die Zustandsbewertung gemäß dem [AP Nr. 9/A 1.2, 2001] sowie die rechnerische Substanzwertermittlung (Substanzwert Bestand) nach dem [AP 9 S, 2019] eine Über- bzw. Unterdimensionierung der untersuchten Strecken festgestellt werden. Hierbei zeigte sich, dass Strecken mit geringerer Beanspruchung (L52 und L386) über die Vorgaben des [M KRC, 2005] hinaus dimensioniert sind (siehe Bild 2-9).

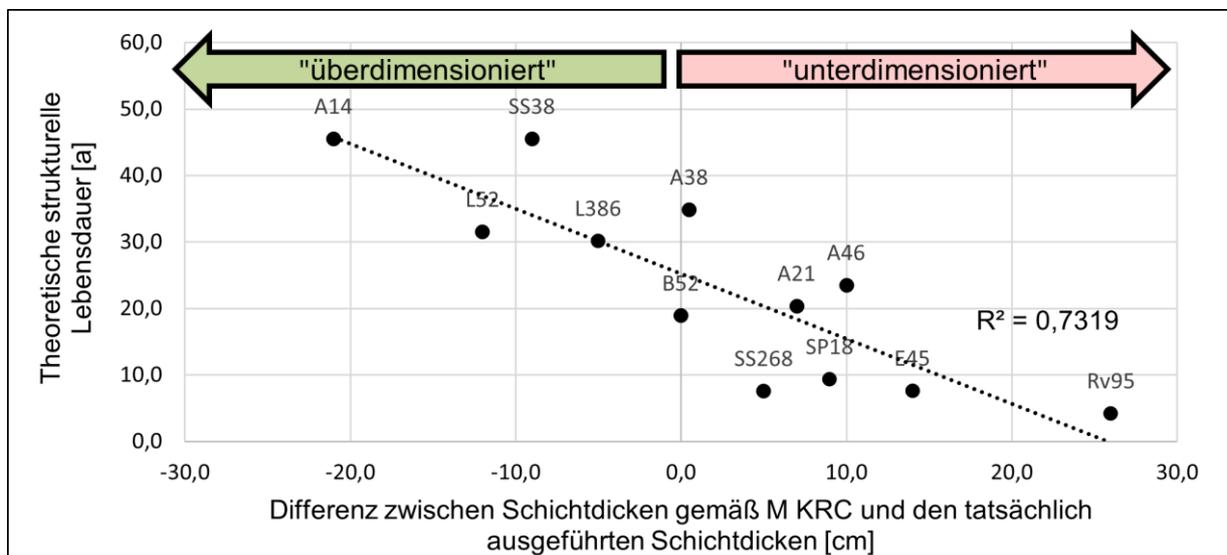


Bild 2-9: Auswirkungen der Über- und Unterdimensionierung des Oberbaues in Anlehnung des M KRC auf die Dauerhaftigkeit der untersuchten Bestandsstrecken [Mollenhauer et al., 2020]

Die Unterschiede der gemäß internationaler Dimensionierungsregeln ergebnen Befestigungsaufbauten sowie die augenscheinlich guten Zustandsmerkmale von Bestandsstrecken mit kaltgebundener Tragschicht lassen vermuten, dass die für Heißasphalt optimierten und angewendeten empirischen und rechnerischen Dimensionierungsverfahren den tatsächlichen Materialeigenschaften (Steifigkeit und/oder Schädigungsmechanismen) nicht hinreichend gerecht werden. Ebenso wird deutlich, dass aufgrund fehlenden Vertrauens in die Kaltbauweise bei gering beanspruchten Strecken eine Überdimensionierung keine Seltenheit darstellt. Neben den Nachweisen des Ermüdungswiderstandes, der international meist praktikabel mittels Mindest-Festigkeiten (meist Spaltzugfestigkeit) umgesetzt wird, wird vermehrt der Verformungswiderstand der Tragschichten insbesondere kurz nach deren Herstellung als Qualitätsanforderung herangezogen. Angewendete Prüfverfahren sind einaxiale Druckprüfungen (Duriez-Versuch) sowie statische Triaxialversuche zur Ermittlung der Scherfestigkeit [Asphalt Academy, 2009].

3 Streckeninformationen

Aufbauend auf der vom Auftraggeber bereits zur Ausschreibung dieses Forschungsprojektes bereitgestellten Streckenliste wurde bei Baufirmen und Straßenverwaltungen nach Strecken mit Tragschichten aus KRC-Material recherchiert. Die gesamte Liste mit 155 Streckenabschnitten ist im digitalen Anhang abgebildet. Bei tiefergehenden Recherchen stellte sich allerdings heraus, dass nicht alle übermittelten Daten dem aktuellen Streckenzustand entsprachen. Einige Strecken waren mittlerweile nicht mehr in der zunächst recherchierten Form vorhanden (z.B. B87 und B96). Aus diesem Grund übernehmen die Autoren keine Gewähr über die Vollständigkeit und Aktualität der Liste.

In Zusammenarbeit mit dem Betreuerkreises dieses Forschungsprojektes wurden zehn Strecken aufgrund der folgenden Parameter ausgewählt:

- Vorhandener Datenbestand
- Mischgutzusammensetzung (bitumen-dominant)
- Variation der Liegedauern
- Vorliegende Zustandsinformationen
- Möglichst geringe Überbauungsdicke

Auf der in Bild 3-1 dargestellten Deutschlandkarte sind die zehn ausgewählten Strecken zur groben Orientierung markiert. In der darauffolgenden Tabelle 3-1 sind die wichtigsten Informationen zu den Strecken zusammengefasst. Im Anhang sind zusätzlich Steckbriefe der Strecken aufgeführt, in denen die Ergebnisse aus den Erst- und Kontrollprüfungen, die Verkehrsbelastung sowie die ZEB-Daten aufgeführt sind. Im Zuge der Dokumentation der Probennahme (Kapitel 4.1) ist die Lage der Strecken in Kartenausschnitten im Detail dargestellt.

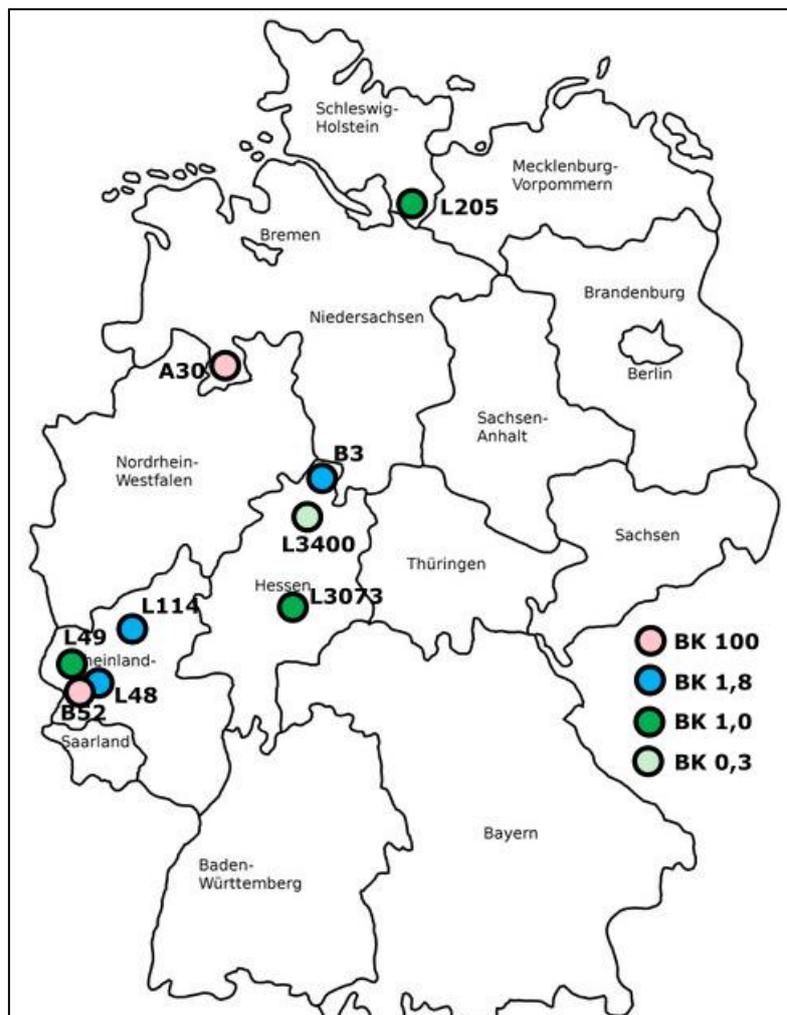


Bild 3-1: Deutschlandkarte mit der Lage der zehn ausgewählten Strecken

Lfd. Nr.	Streckenabschnitt	DTV (SV) [Kfz/d]	Baujahr	ZEB-Daten	Bindemittelgehalt [M.-%]			EP / KP
					Z	BE	AG	
1	A30, BA IV; FR Osten	50.000 (21 %)	2003	Ja	3,0	3,0	4,0	Ja / Ja
2	A30, BA IV; FR Westen	50.000 (21 %)	2004	Ja	2,0	3,5	4,0	Ja / Ja
3	B52, Trier - Ehrang	26.000 (15 %)	2009	Ja	4,0	4,0	4,0	Ja / Ja
4	B3, Wahnhausen - Wilhelmshausen	4.176 (6,4%)	2009	Ja	4,0	3,7	5,6	Ja / Nein
5	L49, Niersbach – Heidweiler *)	2.676 (24 %)	2015	Ja	3,5/4,0	3,5/3,5	3,1/3,4	Ja / Nein
6	L48, Leiwen - Zummet	2.307 (7 %)	2015	Ja	4,0	3,0	4,0	Ja / Ja
7	L114, Weibern - Wehr	2.096 (10 %)	2011	Ja	3,5	4,0	4,7	Ja / Ja
8	L205, Gudow-Büchen	1.659 (5 %)	2013	Ja	4,4	3,0	4,3	Ja / Ja
9	L3073, Elpenrod - Nieder-Gemünden	1.220 (2,9 %)	2011	Ja	4,0	3,5	4,6	Ja / Ja
10	L3400, Helsa - Friedrichsbrück	605 (2,5 %)	2012	Ja	4,2	3,5	3,4	Ja / Nein

*) zwei EPs für zwei KRC-Materialien

Tab. 3-1: Zusammenstellung der wichtigsten Informationen über die Praxisstrecken

Bei allen ausgewählten Strecken wurde Bitumenemulsion als Bindemittel mitverwendet. Zu den Strecken 1 bis 3 (A30 und B52) ist ergänzend zu erwähnen, dass bereits der Bau wissenschaftlich begleitet wurde, sodass zu diesen Strecken umfangreiche Unterlagen vorhanden sind. [Radenberg et al., 2015; Zander et al., 2007; Weinert, 2009; Schäfer, 2008]

Bei der fünften Strecke (L49) musste zusätzliches Asphaltgranulat von einem externen Lager bei der Herstellung zugemischt werden, da für die notwendige Dicke der KRC-Schicht zu wenig Material vor Ort aus dem Bestand gewonnen werden konnte. Das Mischverhältnis von externem Granulat zu Granulat von der Baustelle wurde im Zuge dieser Baumaßnahme nicht festgehalten.

Auch bei der neunten Strecke wurde eine Mischung aus Granulat von der Baustelle und externem Granulat verwendet. Hier ist allerdings ein festes Mischverhältnis von 70/30 festgelegt und dementsprechend auch eine Erstprüfung durchgeführt worden.

4 Probennahme und Laboruntersuchungen an Bohrkernen

Im Zuge des dritten Arbeitspaketes werden die dimensionierungsrelevanten Eigenschaften der kaltgebundenen Tragschichten an Bohrkernen bestimmt. Für diese Untersuchungen sind je Strecke mindestens 20 Bohrkern notwendig. Zwei für die Bestimmung des Schichtenverbundes zwischen allen gebundenen Schichten und Lagen gemäß [TP Asphalt-StB, Teil 80, 2012]. Vier für die Bestimmung der Steifigkeiten gemäß [TP Asphalt-StB, Teil 26, 2018]. Diese Prüfung ist im Regelfall zerstörungsfrei, sodass an denselben Probekörpern anschließend die Spaltzugfestigkeit gemäß [M KRC, 2005] bestimmt werden kann. Weitere zehn Bohrkern sind für die Bestimmung der Ermüdungseigenschaften gemäß [TP Asphalt-StB, Teil 24, 2018] notwendig. Wenn möglich sollten diese aus belasteten Straßenbereichen entnommen werden, sodass mit drei Proben aus weniger belasteten Bereichen der Ermüdungsfortschritt bestimmt werden kann. Weiterhin werden bei nicht vorhandenem Schichtenverbund zwischen der kaltgebundenen Tragschicht und der darüberliegenden Asphalttragschicht, die Ermüdungseigenschaften auch von der Asphalttragschicht bestimmt.

4.1 Probennahme und Feldmessungen

Die Probennahme der Bohrkern sowie die FWD-Messungen wurden jeweils in Abstimmung mit der zuständigen Straßenbauverwaltung durchgeführt. An dieser Stelle möchten sich die Autoren für die gute Zusammenarbeit und Unterstützung bedanken.

Bei den beiden Streckenabschnitten der A30 (Lfd.-Nr. 1 und 2), konnte für die Probennahme und die FWD-Messungen der Umstand genutzt werden, dass auf diesen Abschnitten im Sommer 2020 eine Decksanierung (Austausch von Deck- und Binderschicht) durchgeführt wurde. Hierdurch konnten die Arbeiten im vollgesperrten Bereich der Baustelle stattfinden.

4.1.1 Dokumentation der Probennahme

In diesem Kapitel werden die Bohrkernentnahmen dokumentiert. Dies erfolgt zum einen über Kartenausschnitte und Lagepläne, in denen die Entnahmepunkte abgebildet sind, zum anderen werden ausgewählte Fotos der Probenentnahme gezeigt. Die Reihenfolge der Streckenabschnitte ist dabei nicht chronologisch, sondern entspricht den Lfd.-Nr. der Steckbriefe aus Kapitel 3.

Die Bohrkernentnahmestellen auf der A30 sind in Bild 4-1 dargestellt. Wobei an den Kilometern 85,75; 86,75 und 87,25 in beiden Fahrtrichtungen die Bohrkern entnommen wurden, während bei Kilometer 85,25 nur in Fahrtrichtung Osten und bei Kilometer 86,25 nur in Fahrtrichtung Westen die Entnahme durchgeführt wurde. Die visuelle Zustandserfassung an den Bohrkernentnahmestellen bestätigte den nur noch befriedigenden bis schlechten Zustand der ZEB-Daten aus dem Jahr 2017.

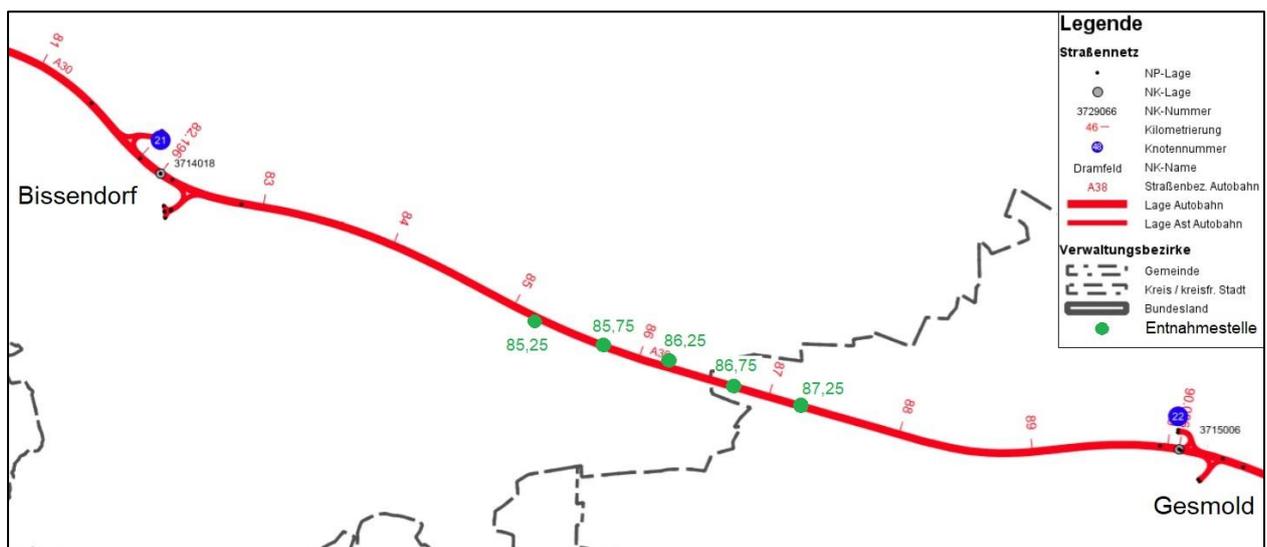


Bild 4-1: Kartenausschnitt der beiden Streckenabschnitte auf der A30 mit Markierung der Entnahmestellen

Die Entnahme fand, gemäß den Auflagen der Straßenverwaltung, an allen in Bild 4-1 markierten Stellen im Seitenstreifen statt. Bild 4-2 und Bild 4-3 zeigen beispielhaft die Entnahmestelle bei Kilometer 86,75 in den beiden Fahrrichtungen. In Bild 4-4 ist der fast vollständig versenkte Bohrkopf dargestellt, der gebundene Aufbau wies in beiden Fahrrichtungen eine Höhe von um die 55 cm auf, wodurch die Entnahme der KRC-Schicht bei nicht gegebenen Schichtenverbund sehr aufwändig war.



Bild 4-2: Probenentnahme im Standstreifen auf der A30 FR Osten bei km 86,75



Bild 4-3: Probenentnahmestelle im Standstreifen der A30 FR Westen bei km 86,75



Bild 4-4: Versenkter Bohrkopf bei der Bohrkernentnahme auf der A30

Die Probennahme auf der B52 fand im Oktober 2020 unter fließendem Verkehr statt. Die Verkehrssicherung wurde freundlicherweise seitens der zuständigen Autobahnmeisterei Schweich bereitgestellt. Bei dem untersuchten Abschnitt der B52 handelt es sich um eine Erprobungsstrecke der Bundesanstalt für Straßenwesen. [Zander et al., 2007] Die Lage der Entnahmestellen sind in Bild 4-5 dargestellt. Hierbei ist zu beachten, dass jeweils in beiden Fahrrichtungen an derselben Kilometrierung die Bohrkern entnommen wurden.



Bild 4-5: Kartenausschnitt der B52 mit Markierung der Entnahmestellen

Bei der Strecke handelt es sich eigentlich um einen Regelquerschnitt 15,5. Aufgrund der starken Verkehrsbelastung wurde dieser aber dauerhaft provisorisch auf zwei Fahrstreifen je Fahrtrichtung ummarkiert. Weiterhin weist die Strecke in FR Luxemburg eine Steigung von 5 % auf. Bezugnehmend auf die ZEB-Daten aus dem Jahr 2015, welche einen guten Zustand dokumentieren, konnten keine Unterschiede festgestellt werden.



Bild 4-6: Probeentnahmestelle auf der B52 FR Trier bei km 15,0

Die Probennahme auf der B3 Wahnhausen-Wilhelmshausen fand mit der direkten Unterstützung durch Hessen Mobil statt. Die Entnahmestellen können Bild 4-7 entnommen werden. In allen Bereichen wurden je 7 Bohrkern entnommen, von denen ein Bohrkern jeweils zwischen den Rollspuren entstammt. Im Rahmen der visuellen und messtechnischen Zustandserfassung in den Bereichen der Entnahmestellen konnten keine nennenswerten Abweichungen zu den ZEB-Daten aus dem Jahr 2015 festgestellt werden.

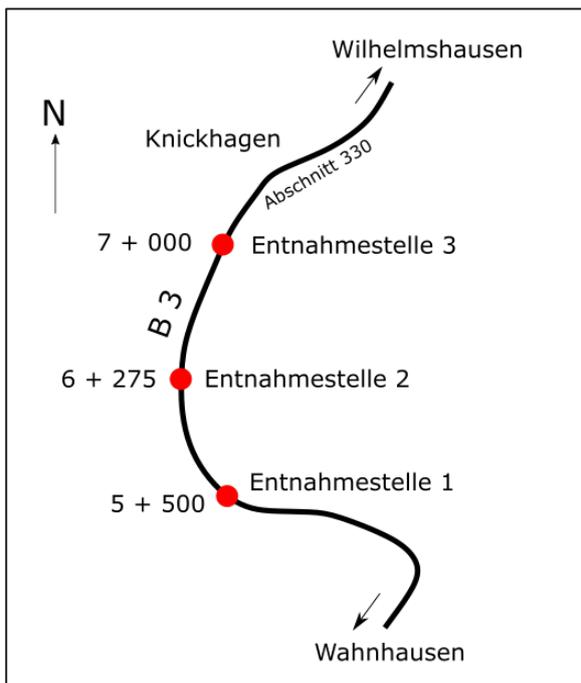


Bild 4-7: Lageplan der Entnahmestellen entlang der B3 Wahnhausen-Wilhelmshausen (links) und Fotodokumentation des Streckenzustandes (rechts)

In Bild 4-8 sind die Entnahmestellen auf einem Kartenausschnitt der L49 markiert (links) sowie die Entnahme bei km 0,935 dokumentiert (rechts). Die Entnahmen bei km 0,6 und 1,71 wurden in FR Greverath und bei km 0,935 in FR Heidweiler durchgeführt. Der gute bis sehr gute Zustand des Streckenabschnittes, gemäß den ZEB-Daten von 2017, konnte auch hier bei der visuellen Erfassung während der Bohrkernentnahme bestätigt werden.



Bild 4-8: Kartenausschnitt der L49 mit Markierung der Entnahmestellen (links) und Foto der Entnahmestelle bei km 0,935 (rechts)

Bei dem Streckenabschnitt auf der L48 wurden in Fahrtrichtung Zummet (Osten) bei den Kilometern 0,45 und 1,418 sowie in Fahrtrichtung Leiven bei Kilometer 1,163 die Bohrkern entnommen. In Bild 4-9 sind diese Entnahmestellen auf einem Kartenausschnitt markiert, sowie die Entnahme bei km 1,418 mit einem Foto dokumentiert. Auch bei diesem Abschnitt konnten keine nennenswerten Unterschiede des Straßenzustandes im Vergleich zu den ZEB-Daten aus dem Jahr 2017 festgestellt werden. Der Zustand war visuell weiterhin als gut zu bewerten.



Bild 4-9: Kartenausschnitt der L48 mit Markierung der Entnahmestellen sowie ein Foto der Entnahme bei km 1+418

Die Bohrkernentnahme auf dem Streckenabschnitt der L114 wurde in FR Weibern bei den Kilometern 2,0 sowie 1,6 durchgeführt. Bei Kilometer 1,355 fand die Entnahme in FR Wehr statt. Die Lage der Entnahmestellen ist in Bild 4-10 (links) dargestellt. Die im Foto in Bild 4-10 (rechts) dokumentierten Netzrisse im Randbereich sowie die Ausmagerungen in der Mitte der Straße, sind für den gesamten Abschnitt repräsentativ. Der visuell schlechte Zustand wird auch durch die FWD-Messung in Kapitel 4.1.2 und die ZEB-Daten bestätigt.



Bild 4-10: Kartenausschnitt der L114 mit Markierung der Entnahmestellen (links) und Foto der Entnahmestelle bei km 0,935 (rechts)

Die Bohrkernentnahmestellen der L205 Gudow-Büchen sind in Bild 4-11 dargestellt. Die Entnahme wurde auf drei Bereiche bei den Kilometern 0,905; 5,610 und 7,410 aufgeteilt. Dort wurden jeweils 6 Bohrkern innerhalb der Rollspur sowie aus dem weniger belastetem Bereich, zwischen den Rollspuren, entnommen (Bild 4-12). Die visuelle und messtechnische Zustandserfassung deckt sich mit den ZEB-Daten aus dem Jahr 2017 gut. Die Fahrbahn lässt in regelmäßigen Abständen Querrissen erkennen. Zur Klärung der Ursache wurden Bohrkern unmittelbar aus den Rissbereichen entnommen. Dabei zeigte sich ein durchgehendes Rissbild durch den kompletten gebundenen Oberbau (Bild 4-13).

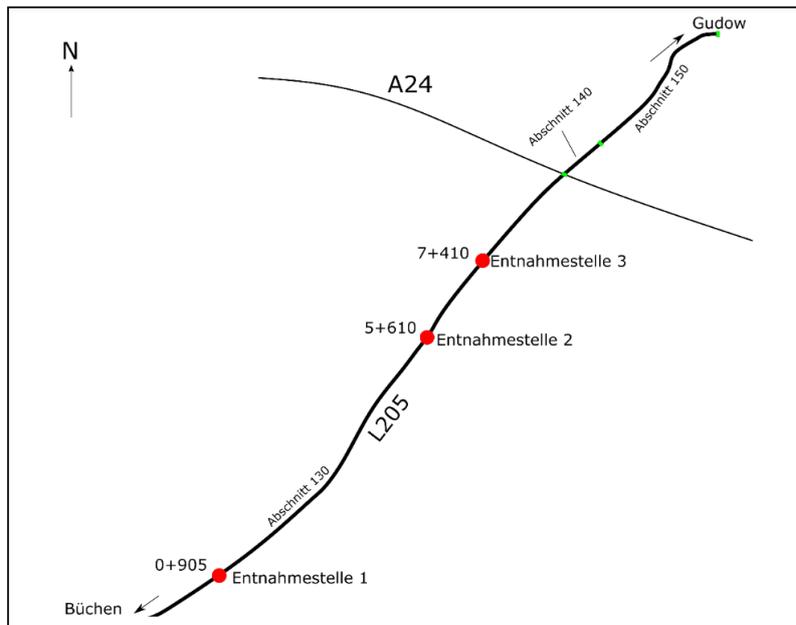


Bild 4-11: Lageplan der Bohrkernentnahmestellen auf der L205 Gudow-Büchen



Bild 4-12: Probenentnahmestelle inner- und außerhalb der Rollspur auf der L205 bei km 7,410



Bild 4-13: Fotodokumentation Querriss (links) und Rissbild im Bohrkern (rechts)

Die Entnahmestellen der Bohrkern der L3073 Elpenrod-Nieder-Gemünde sind Bild 4-14 zu entnehmen. Insgesamt wurden aus den drei Bereichen 21 Bohrkern entnommen. Dabei wurden 18 Bohrkern unmittelbar aus der Rollspur entnommen, die übrigen wurden aus geringer belasteten Bereichen entnommen. Die visuelle und messtechnische Zustandserfassung zeigte keine Auffälligkeiten gegenüber den ZEB-Daten aus 2016.

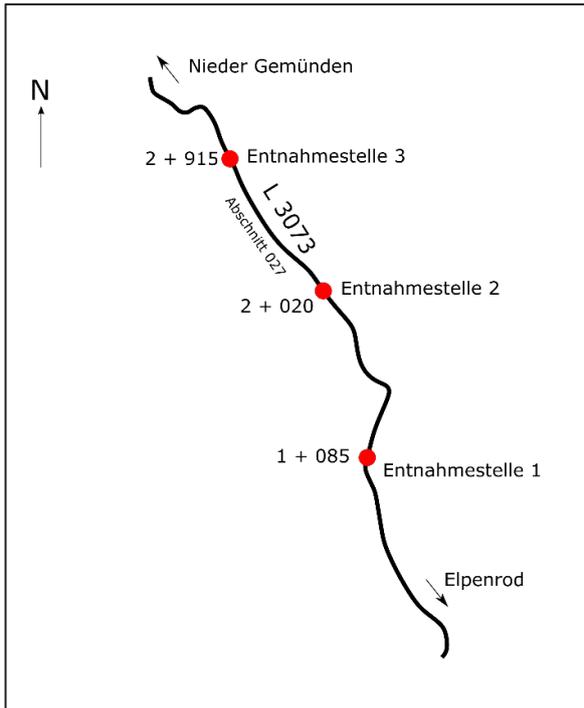


Bild 4-14: Lageplan der Bohrkernentnahmestellen entlang der L3073 Elpenrode-Nieder-Gemünde (links) und Fotodokumentation der Strecke (rechts)

Die Entnahmestellen der Bohrkernentnahmen auf der L3400 Helsa-Friedrichsbrück sind in Bild 4-15 dargestellt. Auch hier wurden sieben Bohrkernentnahmen je Untersuchungsbereich entnommen, davon sechs aus der Rollspur (Bild 4-16). Die visuelle und messtechnische Zustandserfassung stimmt mit den ZEB-Daten aus dem Jahr 2016 gut überein.

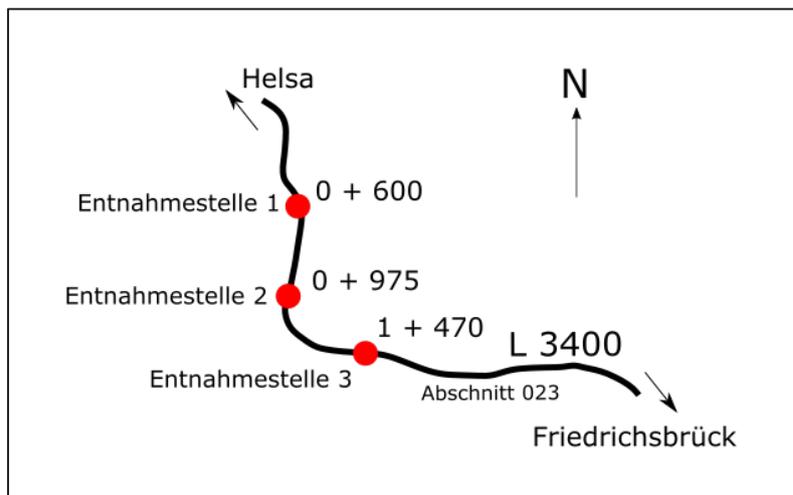


Bild 4-15: Lageplan der Bohrkernentnahmestellen auf der L3400 Helsa-Friedrichsbrück



Bild 4-16: Bohrkernentnahme inner- und außerhalb der Rollspur auf der L3400 bei km 0,975

4.1.2 FWD-Messungen

Die Messung der FWD-Tragfähigkeiten wurde grundsätzlich auf allen Untersuchungsstrecken in der rechten Rollspur des Hauptfahrstreifens durchgeführt. Lediglich an den vier Bohrkernentnahmestellen der beiden Abschnitte der A30, wurde zur Kalibrierung des Systems in der Standspur gemessen. Der Messpunktastand betrug 50 m. Die klimatischen Bedingungen während der Messung sowie die Kilometrierung der Messabschnitte sind in Tab. 4-1 zusammengefasst.

Unter Verwendung von Orientierungswerten gemäß [AP Trag Teil C 2.1, 2014], besteht die Möglichkeit anhand der ermittelten Kenngrößen (elastische Länge l , Schichtmodul M_0 , Tragfähigkeitskennzahl T_z) die Strecken Belastungsklassen der [RStO, 2012], Tafel 1 Zeile 1 zuzuordnen. Hierzu wurden von allen untersuchten Strecken die Mittelwerte und Standardabweichungen sowie ein oberer und ein unterer Grenzwert dieser Kenngrößen berechnet. Die beiden Grenzwerte ergeben sich durch die Addition bzw. Subtraktion der Standardabweichung vom Mittelwert.

Strecke	Witterung	Asphaltkörpertemperatur	Kilometrierung
A30 FR Osten	Sonnig, trocken	22,4 – 25,6 °C	85,24 bis 86,3
A30 FR Westen	Bewölkt, trocken nach Regen	16,0 – 19,8 °C	87,3 bis 85,65
B52	Bewölkt, trocken	11,4 – 11,6 °C	14,9 bis 16,0
B3	Sonnig/bewölkt, trocken	11,7 – 11,9 °C	6,0 bis 7,0
L49	Bewölkt, leichter Regen	11,7 – 11,9 °C	1,5 bis 0,5
L48	Bewölkt, trocken	12,0 – 12,1 °C	0,4 bis 1,4
L114	Bewölkt, leichter Regen	9,6 – 10,0 °C	2,05 bis 1,3
L205	Bewölkt, trocken nach Regen	12,3 – 12,6 °C	7,0 bis 8,2
L3073	Bewölkt, trocken	13,8 – 14,1 °C	2,0 bis 3,0
L3400	Sonnig/bewölkt, trocken	10,5 – 10,7 °C	0,6 bis 1,6

Tab. 4-1: Zusammenfassung der Randbedingungen der FWD-Messungen

Diese Ergebnisse sind in den Tabellen 4-2 bis Tab. 4-10 zusammengefasst. Die in diesen Tabellen aufgeführten Belastungsklassen entsprechen dem Mittelwert. In den Klammern sind die Belastungsklassen gemäß den berechneten Grenzwerten (falls vom Mittelwert abweichend) festgehalten. Auf der Strecke L114, welche bereits einige Schäden aufwies, konnte keine Auswertungen der Tragfähigkeiten anhand der FWD-Messwerte vorgenommen werden. Daher ist auf dieser Strecke der Untergrund bzw. die Gesamtbefestigung als unzureichend tragfähig zu beurteilen.

	Krümmungsradius R_0	Tragfähigkeitskennzahl T_z	Schichtmodul M_0	Elastische Länge l
	[m]	[-]	[N/mm²]	[mm]
Mittelwert	1.618	4,50	492	618
Standardabweichung	333	0,85	161	80
Unterer Grenzwert	1.284	3,65	331	538
Oberer Grenzwert	1.951	5,35	653	698
Belastungsklassen nach TP Trag C2.1		100 (32 bis 100)	1,0 bis 100	32 (10 bis 100)

Tab. 4-2: Zusammenfassung der Ergebnisse der FWD-Messungen auf der A30 FR Osten (Hannover)

	Krümmungsradius R_0	Tragfähigkeitskennzahl T_z	Schichtmodul M_0	Elastische Länge l
	[m]	[-]	[N/mm²]	[mm]
Mittelwert	968	3,08	478	515
Standardabweichung	282	0,66	137	85
Unterer Grenzwert	686	2,43	341	430
Oberer Grenzwert	1.251	3,74	614	599
Belastungsklassen nach TP Trag C2.1		10 (1,8 bis 32)	1,0 bis 100	3,2 (0,3 bis 32)

Tab. 4-3: Zusammenfassung der Ergebnisse der FWD-Messungen auf der A30 FR Westen (Osnabrück)

	Krümmungsradius R_0	Tragfähigkeitskennzahl T_z	Schichtmodul M_0	Elastische Länge l
	[m]	[-]	[N/mm²]	[mm]
Mittelwert	2.438	4,87	339	552
Standardabweichung	611	0,99	97	107
Unterer Grenzwert	1.828	3,87	242	444
Oberer Grenzwert	3.049	5,86	436	659
Belastungsklassen nach TP Trag C2.1		100 (32 bis 100)	1,0 bis 100	32 (10 bis 100)

Tab. 4-4: Zusammenfassung der Ergebnisse der FWD-Messungen auf der B52

	Krümmungsradius R_0	Tragfähigkeitskennzahl T_z	Schichtmodul M_0	Elastische Länge l
	[m]	[-]	[N/mm²]	[mm]
Mittelwert	2.585	6,08	541	548
Standardabweichung	336	0,87	177	85
Unterer Grenzwert	2.248	5,21	364	463
Oberer Grenzwert	2.921	6,96	717	633
Belastungsklassen nach TP Trag C2.1		100	1,0 bis 100	10 (3,2 bis 100)

Tab. 4-5: Zusammenfassung der Ergebnisse der FWD-Messungen auf der B3

	Krümmungsradius R_0	Tragfähigkeitskennzahl T_z	Schichtmodul M_0	Elastische Länge l
	[m]	[-]	[N/mm²]	[mm]
Mittelwert	2.009	3,92	276	512
Standardabweichung	665	0,99	50	85
Unterer Grenzwert	1.344	2,94	226	427
Oberer Grenzwert	2.675	4,91	325	597
Belastungsklassen nach TP Trag C2.1		32 (3,2 bis 100)	1,0 bis 100	10 (1,0 bis 32)

Tab. 4-6: Zusammenfassung der Ergebnisse der FWD-Messungen auf der L49

	Krümmungsradius R_0	Tragfähigkeitskennzahl T_z	Schichtmodul M_0	Elastische Länge l
	[m]	[-]	[N/mm²]	[mm]
Mittelwert	1.344	3,27	372	410
Standardabweichung	458	0,77	97	66
Unterer Grenzwert	886	2,50	275	343
Oberer Grenzwert	1.801	4,04	469	476
Belastungsklassen nach TP Trag C2.1		10 (1,8 bis 32)	1,0 bis 100	1,0 (0,3 bis 3,2)

Tab. 4-7: Zusammenfassung der Ergebnisse der FWD-Messungen auf der L48

	Krümmungsradius R_0	Tragfähigkeitskennzahl T_z	Schichtmodul M_0	Elastische Länge l
	[m]	[-]	[N/mm²]	[mm]
Mittelwert	1.120	2,30	198	451
Standardabweichung	588	0,79	13	53
Unterer Grenzwert	532	1,51	185	398
Oberer Grenzwert	1.707	3,09	211	504
Belastungsklassen nach TP Trag C2.1		1,0 (1,0 bis 10)	1,0 bis 100	1,8 (1,0 bis 10)

Tab. 4-8: Zusammenfassung der Ergebnisse der FWD-Messungen auf der L205

	Krümmungsradius R_0	Tragfähigkeitskennzahl T_z	Schichtmodul M_0	Elastische Länge l
	[m]	[-]	[N/mm²]	[mm]
Mittelwert	2.101	4,12	254	608
Standardabweichung	388	0,59	52	83
Unterer Grenzwert	1.712	3,53	201	524
Oberer Grenzwert	2.489	4,70	306	691
Belastungsklassen nach TP Trag C2.1		32 (10 bis 100)	1,0 bis 100	32 (10 bis 100)

Tab. 4-9: Zusammenfassung der Ergebnisse der FWD-Messungen auf der L3073

	Krümmungsradius R_0	Tragfähigkeitskennzahl T_z	Schichtmodul M_0	Elastische Länge l
	[m]	[-]	[N/mm²]	[mm]
Mittelwert	2.386	5,51	464	559
Standardabweichung	462	1,11	153	93
Unterer Grenzwert	1.924	4,4	311	467
Oberer Grenzwert	2.848	6,63	617	652
Belastungsklassen nach TP Trag C2.1		100	1,0 bis 100	10 (3,2 bis 100)

Tab. 4-10: Zusammenfassung der Ergebnisse der FWD-Messungen auf der L3400

Diese Ergebnisse zeigen, dass die FWD-Ergebnisse sowohl innerhalb der Messstrecken, als auch zwischen den betrachteten Kenngrößen teilweise große Unterschiede aufweisen. Diese Schwankungen innerhalb der Strecken bestätigen die bereits durch die Bohrkernentnahme festgestellte Inhomogenität einiger Strecken. Die aus den Mittelwerten der Tragfähigkeitskennzahl und der Elastischen Länge abgeleiteten Zuordnungen zu einer Belastungsklasse nach den RStO 12 sind in Bild 4-17 gegenübergestellt.

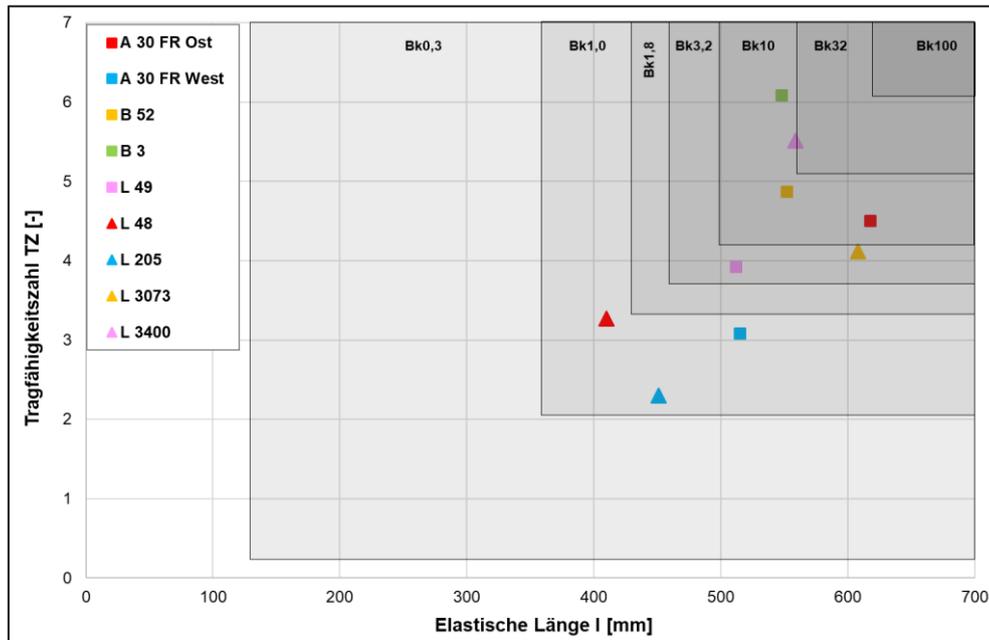


Bild 4-17: Gegenüberstellung der gemäß der elastischen Länge und der Tragfähigkeitszahl zugeordneten Belastungsklassen gemäß RStO 12

Die KRC-Abschnitte auf der A30, der L205 und der L3073 haben eine vergleichsweise hohe elastische Länge (hoher Verhältniswert I/T_z , grün hinterlegt, T_z definiert die Bk-Einordnung) und der KRC-Abschnitt auf der B3 hat eine vergleichsweise hohe Tragfähigkeitszahl (niedriger Verhältniswert I/T_z , rot hinterlegt, I definiert die Bk-Einordnung). Einen Zusammenhang des Verhältniswertes mit konzeptionellen Randbedingungen (z.B. Bindemittelgehalte oder Schichtdickenverhältnis Asphalt/KRC) lässt sich nicht erkennen. Die Auswertungen in Tabelle 4-11 zeigen zudem, dass die aus den FWD-Daten abgeleitete Bk-Zuordnung der Strecken mit einer Nutzungsdauer von bis 10 Jahren gleich oder höher ist als die über die B-Zahl vorgenommene Zuordnung (siehe Anhang, Steckbriefe). Die Strecken mit einer Nutzungsdauer von über 10 Jahren haben dagegen eine aus den FWD-Daten abgeleitete Bk-Zuordnung die zum Teil deutlich unter den B-Zahl abhängigen Zuordnungen liegt. Hier scheint eine Substanzschädigung das Gesamttragverhalten des Oberbaus bereits negativ zu beeinflussen.

Streckenbezeichnung	Krümmungsradius R_0 [m]	Tragfähigkeitskennzahl T_z [-]	elastische Länge I [mm]	Verhältnis I/T_z	Bk _{FWD} / Bk _{ist} / IST-Nutzungsdauer
A 30 FR Ost	1.618	4,5	618	137,3	Bk10 / Bk100 / 18 a
A 30 FR West	968	3,08	515	167,2	Bk1,0 / Bk100 / 17 a
B 52	2.438	4,87	552	113,3	Bk10 / Bk100 / 12 a
B 3	2.585	6,08	548	90,1	Bk10 / Bk1,8 / 12 a
L 49	2.009	3,92	512	130,6	Bk3,2 / Bk1,0 / 6 a
L 48	1.344	3,27	410	125,4	Bk1,0 / Bk1,0 / 6 a
L 205	1.120	2,3	451	196,1	Bk1,0 / Bk1,0 / 9 a
L 3073	2.101	4,12	608	147,6	Bk3,2 / Bk1,0 / 10 a
L 3400	2.386	5,51	559	101,5	Bk10 / Bk0,3 / 9 a

Tab. 4-11: Vergleichende Zusammenfassung der Ergebnisse der FWD-Messungen aller Strecken

Das Bild 4-18 zeigt beispielhaft das Streckenband mit den Ergebnissen der FWD-Messungen für die L205. Diese Messwerte zeichnen sich durch eine gute Gleichmäßigkeit aus, während bei den meisten anderen Strecken (siehe Anhang) deutlich größere Schwankungen der Messwerte festgestellt wurden.

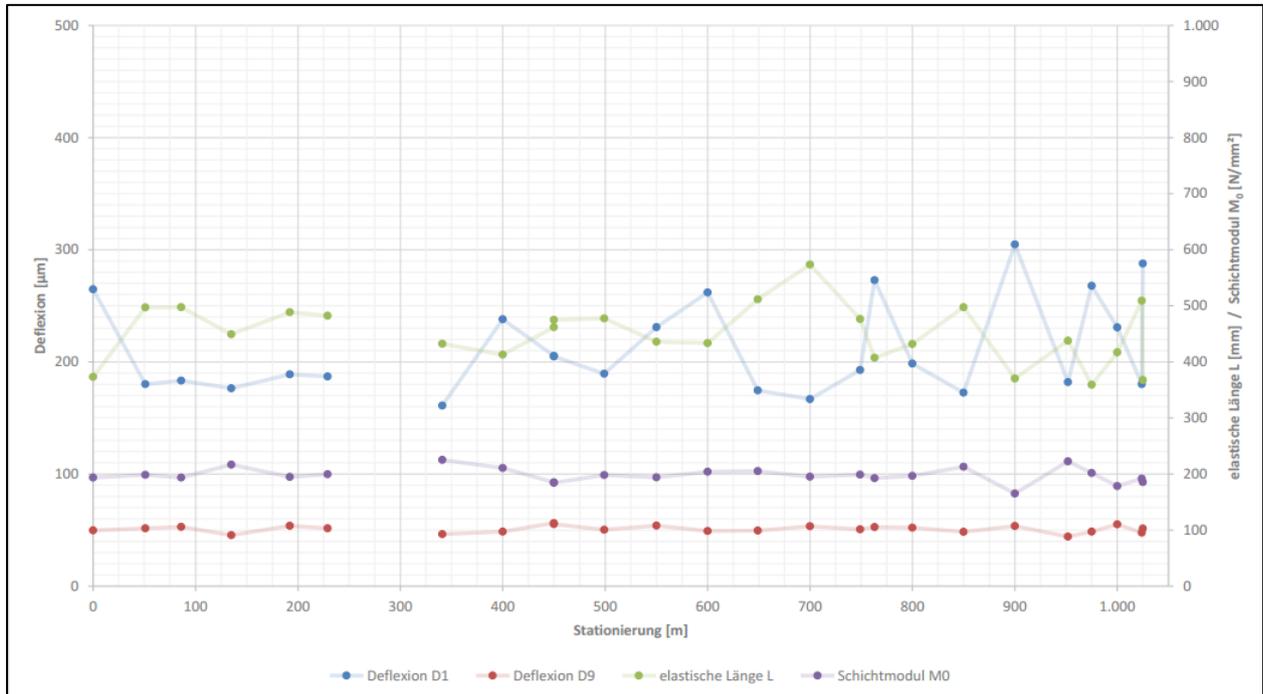


Bild 4-18: Ergebnisse der FWD-Messungen der L205, Gudow-Büchen

4.2 Ergebnisse der Laboruntersuchungen an den Bohrkernen

Nach der Entnahme der Bohrkern wurden diese im Labor gereinigt und fotografiert. Anschließend wurden die Dicken der vorhandenen Schichten gemessen. Weiterhin wurden die Raumdichten sowie die Rohdichten der kaltgebundenen Tragschichten gemäß [TP Asphalt-StB, Teil 5, 2013] und [TP Asphalt-StB, Teil 6, 2020] bestimmt. An zwei Bohrkernen je Strecke wurde, wenn vorhanden, der Schichtenverbund gemäß [TP Asphalt-StB, Teil 80, 2012] ermittelt. Die Ergebnisse dieser vorbereitenden Untersuchungen sind tabellarisch in Abschnitt 4.2.1 dargestellt. Von jeder untersuchten Strecke sind hier auch ein bis zwei repräsentative Fotos der Bohrkern abgebildet. Alle weiteren Fotos sind dem digitalen Anhang zu entnehmen. In Abschnitt 4.2.2 folgt die Darstellung der Ergebnisse der Steifigkeitsuntersuchungen gemäß [TP Asphalt-StB, Teil 26, 2018] (E-Modul und Phasenwinkel) in grafischer Form. Im Anhang sind die Ergebnisse tabellarisch zusammengefasst. Die Spaltzugfestigkeiten gemäß [M KRC, 2005] sind, ebenfalls in tabellarischer Form, in Abschnitt 4.2.3 aufgeführt. Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Bestimmung des Ermüdungsverhaltens gemäß [TP Asphalt-StB, Teil 24, 2018] der KRC-Schichten bzw. der darüber liegenden Heißasphalttragschichten, bei nicht vorhandenem Schichtenverbund, sind analog zu den Ergebnissen der Steifigkeitsuntersuchungen in tabellarischer und grafischer Form in Abschnitt 4.2.4 dargestellt. Die Reihenfolge der Strecken entspricht hierbei immer der Lfd.-Nr. der Steckbriefe aus Kapitel 3.

4.2.1 Ergebnisse vorbereitende Untersuchungen an Bohrkernen

In diesem Abschnitt ist für jede Strecke ein Foto von einem repräsentativen Bohrkern abgebildet (vgl. Bild 4-19 bis Bild 4-30). Für die Strecken A30 FR Westen und die L49 wurden zwei Fotos ausgewählt. Der Hintergrund hierfür ist bei dem Streckenabschnitt der A30 die in Bild 4-20 erkennbare Schädigung der Asphalttragschichten. Bei der L49 sind zwei Fotos ausgewählt worden, da die Bohrkern an der Entnahmestelle 1 bei Kilometer 1,71 (Bild 4-25) auffällige Abweichungen zu den beiden anderen Entnahmestellen aufwiesen.

Der in Bild 4-27 dargestellte Bohrkern der L114 zeigt repräsentativ für die gesamte Strecke bereits einen Riss in der KRC-Schicht.

Neben den Fotos der Bohrkernen sind in diesem Abschnitt die an den Bohrkernen bestimmten Mittelwerte ($\bar{\varnothing}$) der Schichtdicken, der Raumdichten und der Rohdichten sowie deren Standardabweichung (s) tabellarisch zusammengefasst. Ebenfalls in diesen Tabellen aufgeführt ist der resultierende Hohlraumgehalt sowie der Schichtenverbund, falls dieser vorhanden war (vgl. Tab. 4-12 bis 4-21).



Bild 4-19: Bohrkern 1-3 der Strecke A30 FR Osten (Hannover)

		DS	BS	TS2	TS1	KRC2	KRC1
Schichtdicke [mm]	$\bar{\varnothing}$	40,8	74,3	92,8	81,2	105,4	119,0
	s	4,8	7,0	12,3	10,2	20,1	23,6
Raumdichte [g/cm ³]	$\bar{\varnothing}$	2,326	2,394	2,348	2,314	1,941	
	s	0,011	0,028	0,041	0,042	0,057	
Rohdichte [g/cm ³]	$\bar{\varnothing}$	2,413	2,549	2,506	2,496	2,412	
	s	0,004	0,010	0,010	0,016	-	
Hohlraumgehalt [%]		3,7	6,1	6,3	7,3	19,5	
Schichtenverbund [kN]	1.		43,7	39,7	14,8	0	- ¹⁾
	2.		42,6	31	26,3	0	- ¹⁾
	$\bar{\varnothing}$		43,15	35,35	20,55	0	- ¹⁾

¹⁾ nicht bestimmt, da in den meisten Fällen nicht vorhanden

Tab. 4-12: Ergebnisse der Voruntersuchungen an den Bohrkernen der Strecke A30 FR Osten (Hannover)



Bild 4-20: Bohrkern 2-1 der Strecke A30 FR Westen (Osnabrück)



Bild 4-21: Bohrkern 2-3 der Strecke A30 FR Westen (Osnabrück)

		DS	BS	TS2	TS1	KRC2	KRC1
Schichtdicke [mm]	Ø	30,9	94,0	83,1	79,6	108,6	115,6
	s	3,5	4,5	8,7	9,8	23,4	24,2
Raumdichte [g/cm³]	Ø	2,289	2,368	2,381	2,364	2,041	
	s	0,017	0,007	0,050	0,081	0,059	
Rohdichte [g/cm³]	Ø	2,396	2,459	2,507	2,502	2,439	
	s	0,006	0,019	0,017	0,014	-	
Hohlraumgehalt [%]		4,5	3,7	5,0	5,5	16,3	
Schichten- verbund [kN]	1.		41,6	16,4	37,8	0	- ^{*)}
	2.		40,7	18,3	0	0	- ^{*)}
	Ø		41,15	17,35	18,9	0	- ^{*)}

^{*)} nicht bestimmt, da in den meisten Fällen nicht vorhanden

Tab. 4-13: Ergebnisse der Voruntersuchungen an den Bohrkernen der Strecke A30 FR Westen (Osnabrück)

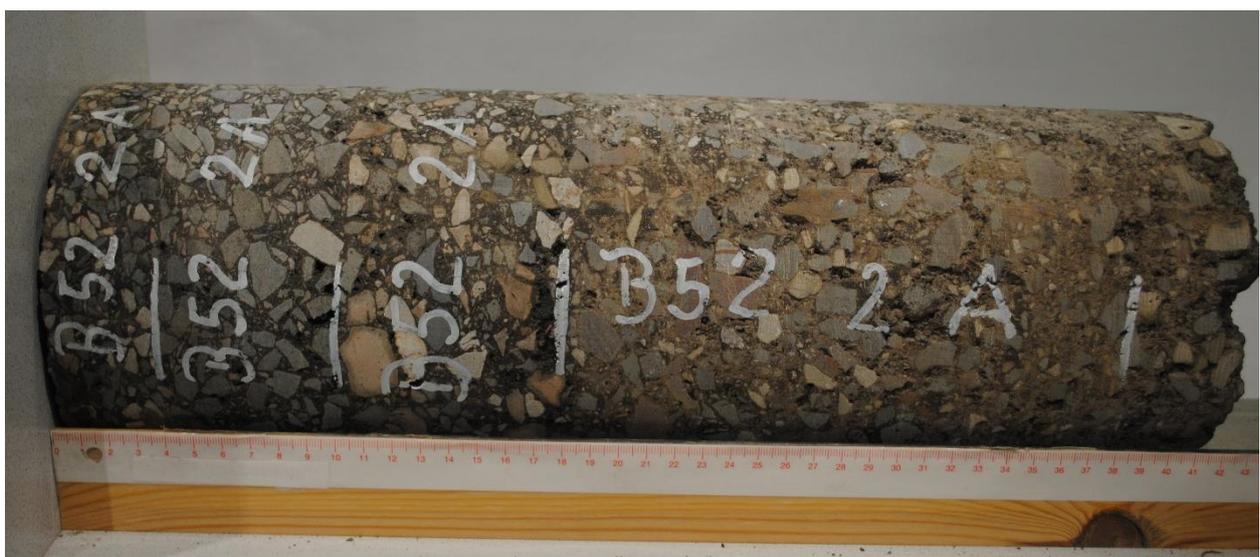


Bild 4-22: Bohrkern 2-A der Strecke B52

			DS	BS	TS	KRC
Schichtdicke	[mm]	Ø	36,1	63,9	65,6	186,7
		s	3,0	6,5	10,8	18,7
Raumdichte	[g/cm³]	Ø	2,343	2,355	2,433	2,147
		s	0,012	0,025	0,046	0,054
Rohdichte	[g/cm³]	Ø	2,421	2,526	2,602	2,467
		s	0,008	0,001	0,070	-
Hohlraumgehalt		[%]	3,2	6,8	6,5	13,0
Schichtenverbund	[kN]	1.		43,4	42,1	33,9
		2.		40,0	42,5	25,1
		Ø		41,7	42,3	29,5

Tab. 4-14: Ergebnisse der Voruntersuchungen an den Bohrkernen der Strecke B52



Bild 4-23: Bohrkern 1-5 der Strecke B3

			DS	BS	TS	KRC
Schichtdicke	[mm]	Ø	38,6	60,6	68,6	166,6
		s	1,8	1,5	9,3	12,2
Raumdichte	[g/cm³]	Ø	2,454	2,562	2,496	2,244
		s	0,018	0,008	0,008	0,075
Rohdichte	[g/cm³]	Ø	2,514	2,687	2,698	2,610
		s	0,009	0,024	0,009	-
Hohlraumgehalt		[%]	2,4	4,7	7,5	14,0
Schichtenverbund	[kN]	1.		44,3	41,9	15
		2.		46,1	37,1	-
		Ø		45,2	39,5	15

Tab. 4-15: Ergebnisse der Voruntersuchungen an den Bohrkernen der Strecke B3



Bild 4-24: Bohrkern 3-C der Strecke L49



Bild 4-25: Bohrkern 1-G der Strecke L49

		DS		TS		KRC	
Schichtdicke	[mm]	Ø	37,5	86,5	173,4		
		s	3,9	4,2	33,0		
Raumdichte	[g/cm³]	Ø	2,346	2,405	2,255		
		s	0,026	0,046	0,069		
Rohdichte	[g/cm³]	Ø	2,425	2,515	2,611		
		s	0,003	0,030	-		
Hohlraumgehalt	[%]		3,3	4,4	13,6		
Schichtenverbund	[kN]	1.		42,5	13,4		
		2.		37,6	20,6		
		Ø		40,05	17,0		

Tab. 4-16: Ergebnisse der Voruntersuchungen an den Bohrkernen der Strecke L49

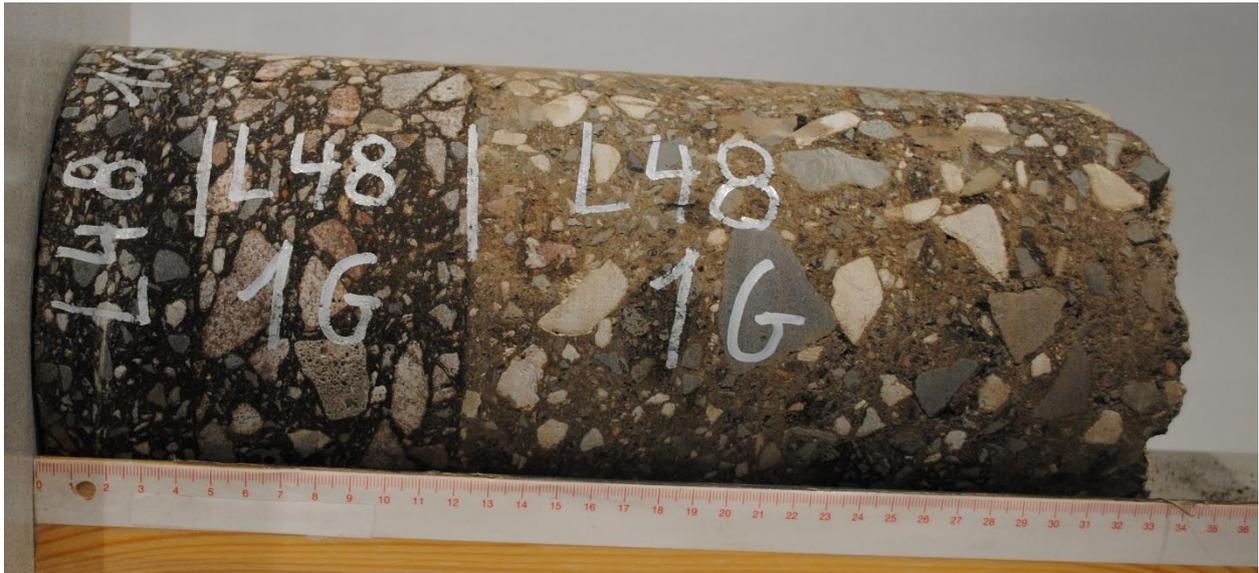


Bild 4-26: Bohrkern 1-G der Strecke L48

		DS	TS	KRC
Schichtdicke	[mm]			
	Ø	39,8	85,4	199,5
	s	5,2	13,2	9,3
Raumdichte	[g/cm³]			
	Ø	2,359	2,363	2,122
	s	0,011	0,029	0,079
Rohdichte	[g/cm³]			
	Ø	2,446	2,544	2,619
	s	0,021	0,019	-
Hohlraumgehalt	[%]	3,6	7,1	19,0
Schichtenverbund	[kN]			
	1.		42,3	15,8
	2.		42,4	10,4
	Ø		42,35	13,1

Tab. 4-17: Ergebnisse der Voruntersuchungen an den Bohrkernen der Strecke L48



Bild 4-27: Bohrkern 2-C der Strecke L114 mit Riss

		DS		KRC	
Schichtdicke	[mm]	Ø	44,7	133,3	
		s	6,8	19,6	
Raumdichte	[g/cm³]	Ø	2,453	2,085	
		s	0,028	0,071	
Rohdichte	[g/cm³]	Ø	2,519	2,649	
		s	0,014	-	
Hohlraumgehalt [%]			2,6	21,3	
Schichtenverbund	[kN]	1.		11,4	
		2.		13,9	
		Ø		12,7	

Tab. 4-18: Ergebnisse der Voruntersuchungen an den Bohrkernen der Strecke L114



Bild 4-28: Bohrkern 1-2 der Strecke L205

		DS		KRC	
Schichtdicke	[mm]	Ø	42,6	228,0	
		s	3,0	7,9	
Raumdichte	[g/cm³]	Ø	2,334	2,199	
		s	0,005	0,053	
Rohdichte	[g/cm³]	Ø	2,429	2,473	
		s	0,004	-	
Hohlraumgehalt [%]			3,9	11,1	
Schichtenverbund	[kN]	1.		21	
		2.		13,8	
		Ø		17,4	

Tab. 4-19: Ergebnisse der Voruntersuchungen an den Bohrkernen der Strecke L205



Bild 4-29: Bohrkern 2-7 der Strecke L3073

			DS	TS	KRC
Schichtdicke	[mm]	Ø	35,8	119,7	183,7
		s	4,7	11,5	15,6
Raumdichte	[g/cm³]	Ø	2,596	2,551	2,261
		s	0,007	0,016	0,040
Rohdichte	[g/cm³]	Ø	2,673	2,752	2,566
		s	0,005	0,007	-
Hohlraumgehalt		[%]	2,9	7,3	11,9
Schichtenverbund	[kN]	1.		40,1	12,7
		2.		49,5	24,3
		Ø		44,7	18,5

Tab. 4-20: Ergebnisse der Voruntersuchungen an den Bohrkernen der Strecke L3073



Bild 4-30: Bohrkern 3-6 der Strecke L3400

			DS	BS	TS	KRC	
Schichtdicke	[mm]	Ø	45,5	56,1	78,1	230,6	
		s	1,0	4,4	5,0	33,4	
Raumdichte	[g/cm³]	Ø	2,548	2,596	2,492	2,237	
		s	0,018	0,009	0,007	0,063	
Rohdichte	[g/cm³]	Ø	2,620	2,687	2,643	2,637	
		s	0,008	0,001	0,002	-	
Hohlraumgehalt		[%]	2,7	3,4	5,7	15,2	
Schichtenverbund	[kN]	1.		44,5	40,3	15	
		2.		43,5	43,3	16,9	
		Ø		44	41,8	16	

Tab. 4-21: Ergebnisse der Voruntersuchungen an den Bohrkernen der Strecke L3400

4.2.2 Steifigkeitsmodul gemäß TP Asphalt-StB, Teil 26

In diesem Abschnitt werden zunächst in Bild 4-31 bis Bild 4-65 von jeder untersuchten gebundenen Schicht die Mittelwerte der an drei Probekörpern gemäß [TP Asphalt-StB, Teil 26, 2018] ermittelten Steifigkeiten und Phasenwinkel grafisch dargestellt. Die im Regelwerk vorgegebenen maximalen Spannweiten der Ergebnisse gelten nur für im Labor hergestellte Probekörper und sind daher hier nicht anzuwenden. Trotzdem zeigt bei allen Untersuchungen zwischen den beiden 10 Hz-Messreihen eine ausreichende Übereinstimmung der Ergebnisse (Abweichung < 15 %). Die Zahlenwerte sind den Tab. A-0-12 bis A-0-48 im Anhang zu entnehmen.

Im Anschluss an die Darstellungen der Steifigkeiten und Phasenwinkel folgen in Bild 4-66 bis Bild 4-83 die aus ebendiesen berechneten Hauptkurven.

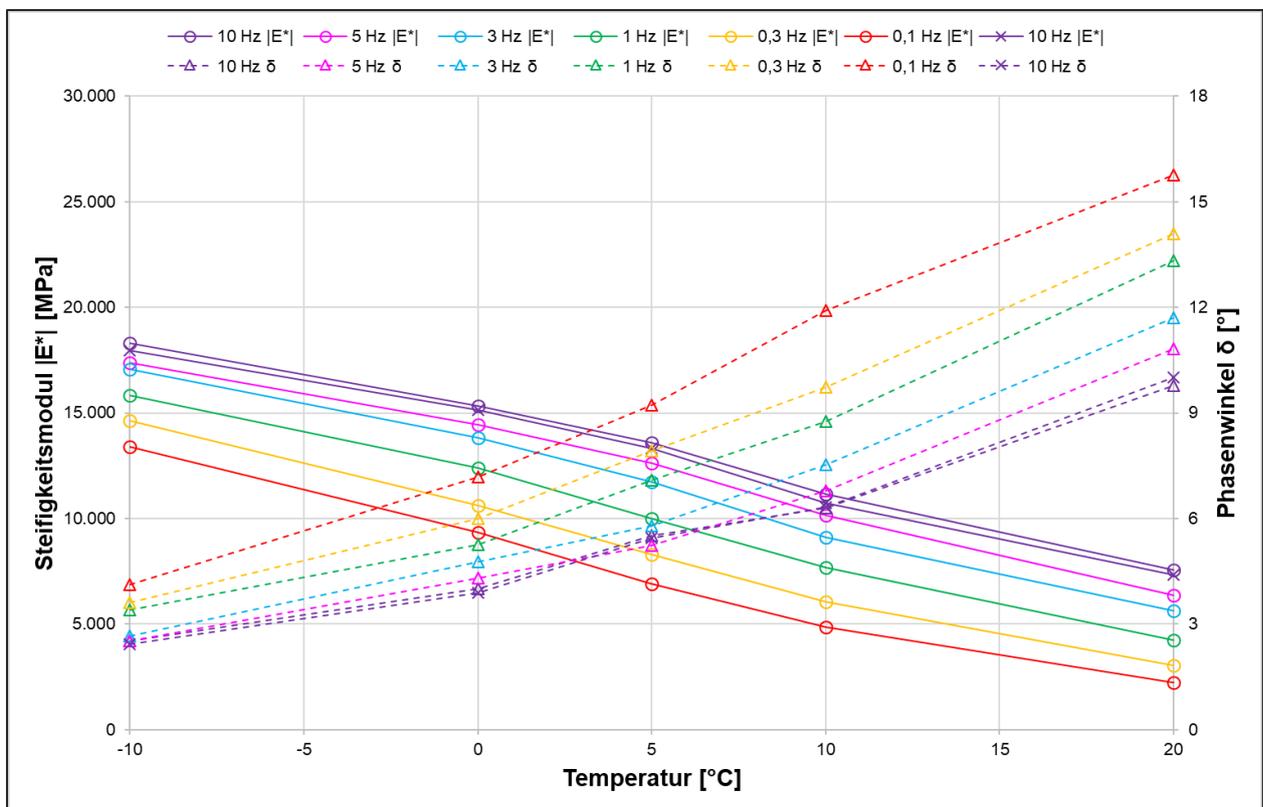


Bild 4-31: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltdeckschicht der Strecke A30 FR Osten (Hannover)

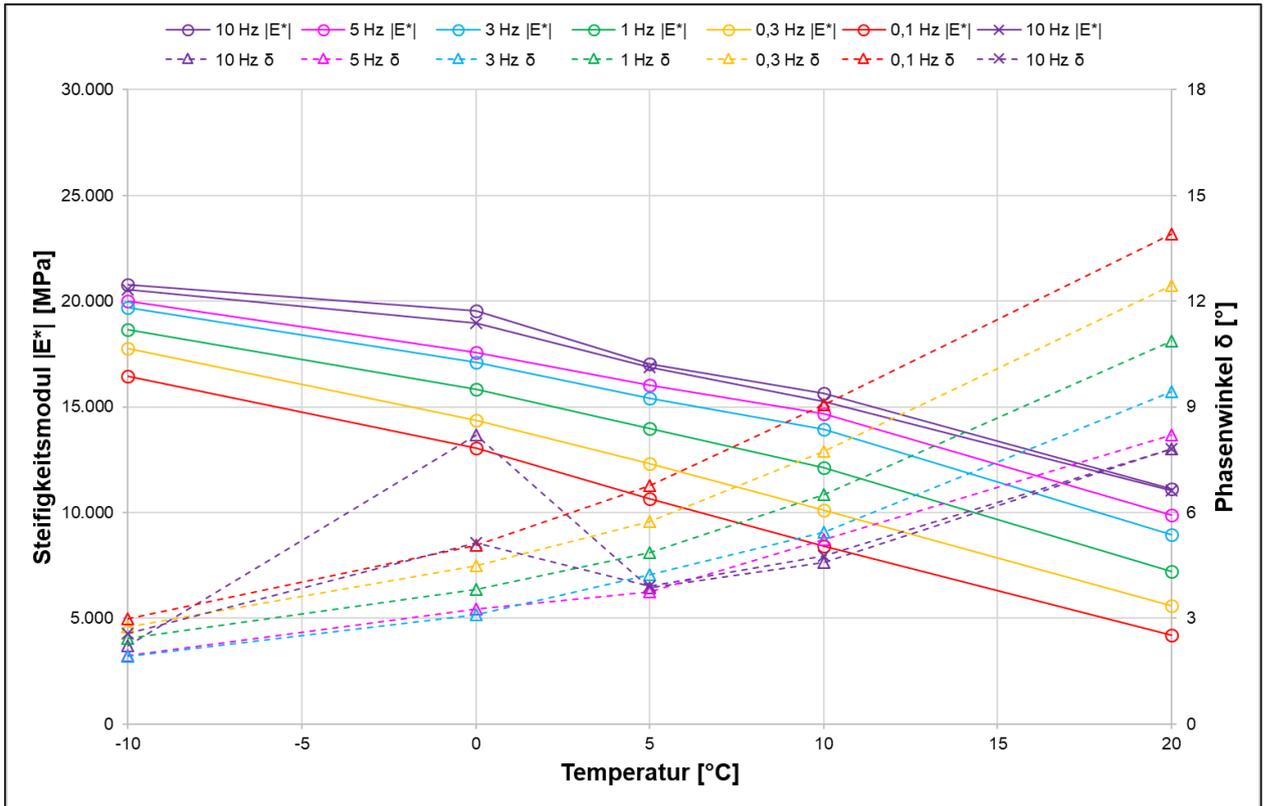


Bild 4-32: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltbinderschicht der Strecke A30 FR Osten (Hannover)

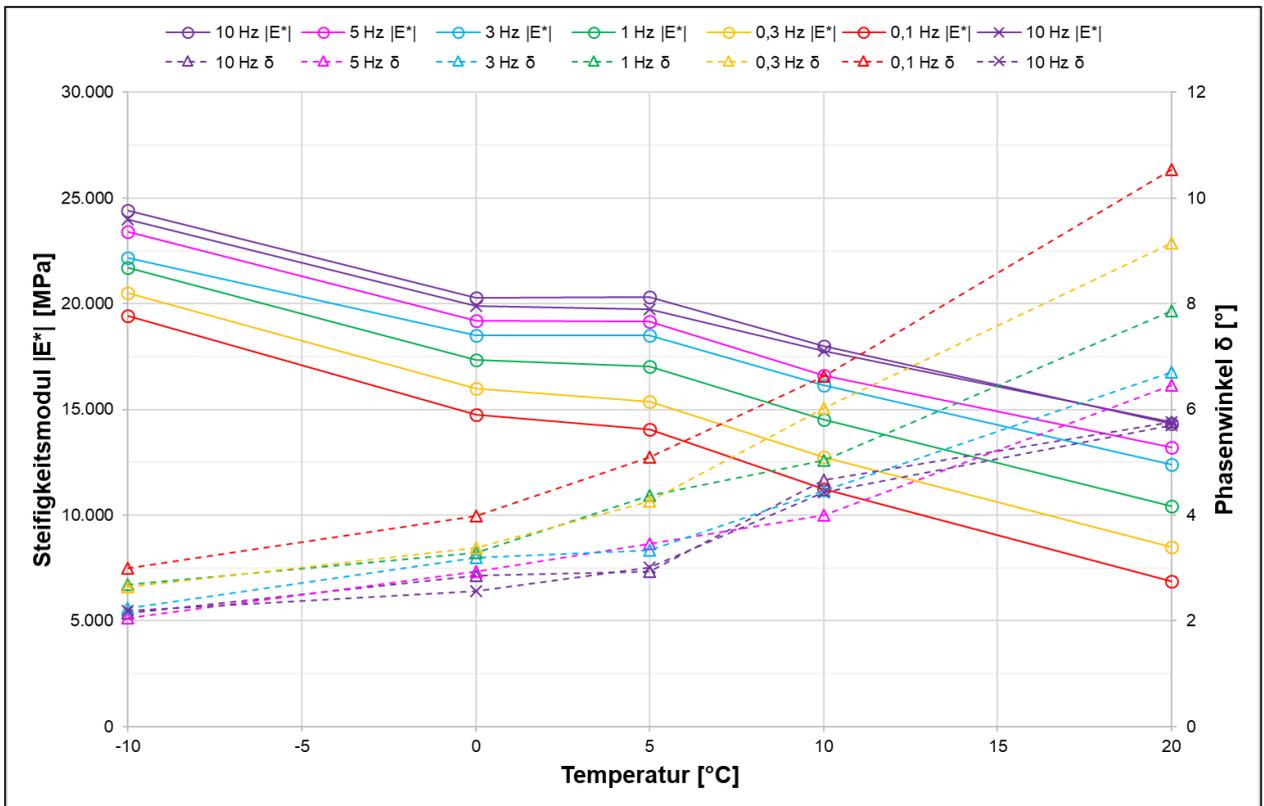


Bild 4-33: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der oberen Asphalttragschicht der Strecke A30 FR Osten (Hannover)

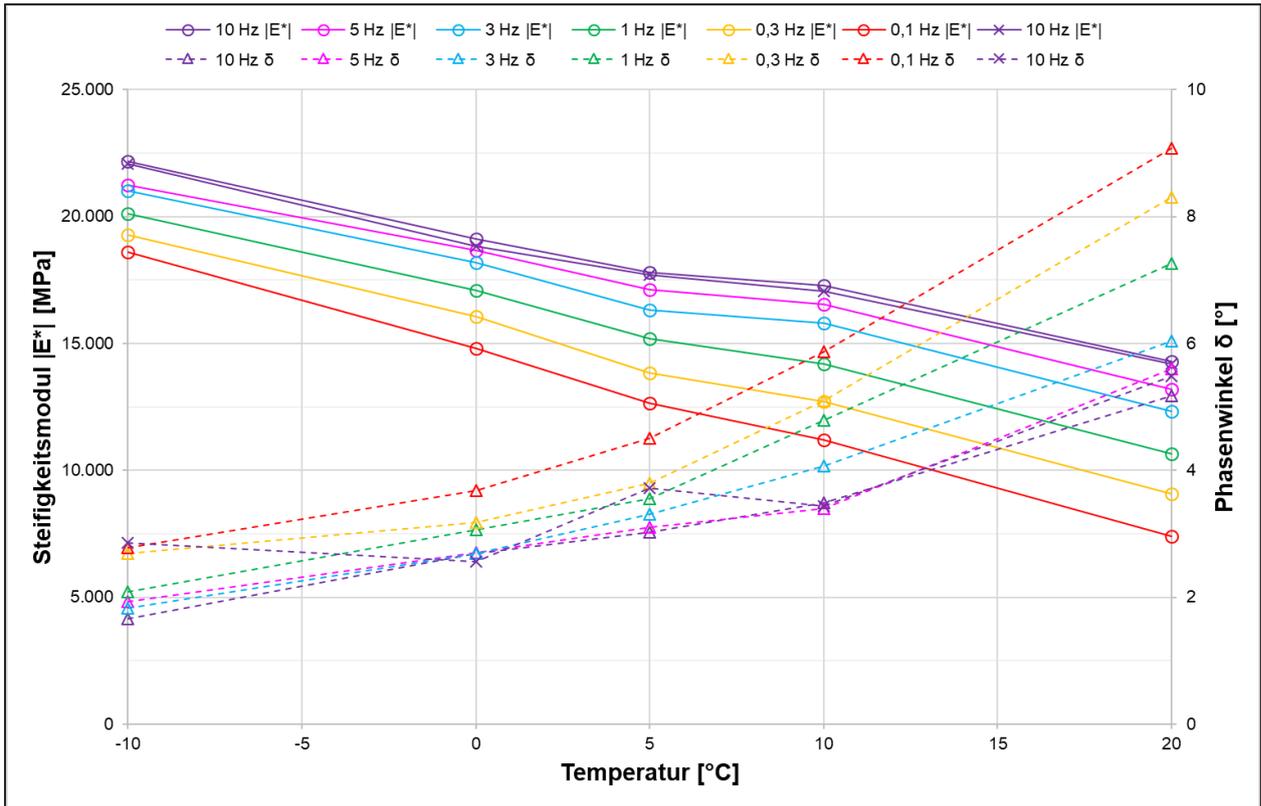


Bild 4-34: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der unteren Asphalttragschicht der Strecke A30 FR Osten (Hannover)

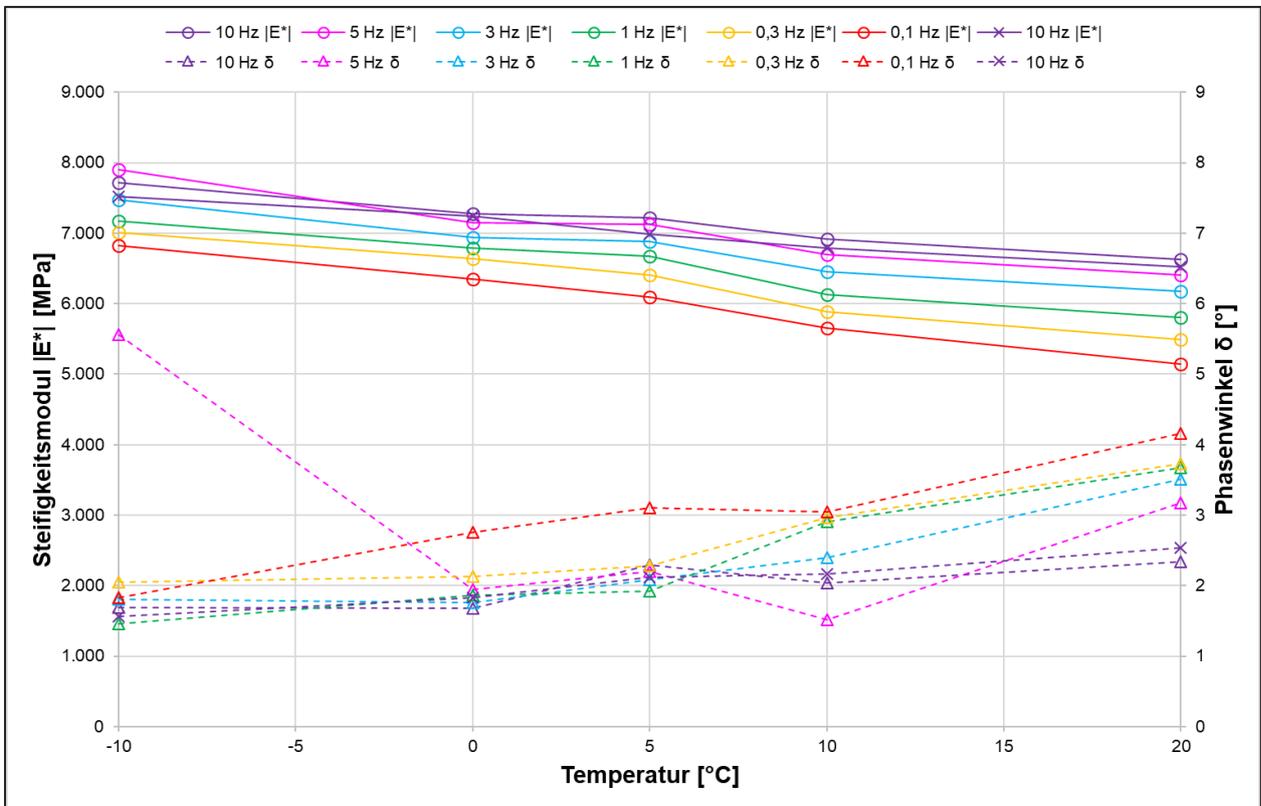


Bild 4-35: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der KRC-Schicht der Strecke A30 FR Osten (Hannover)

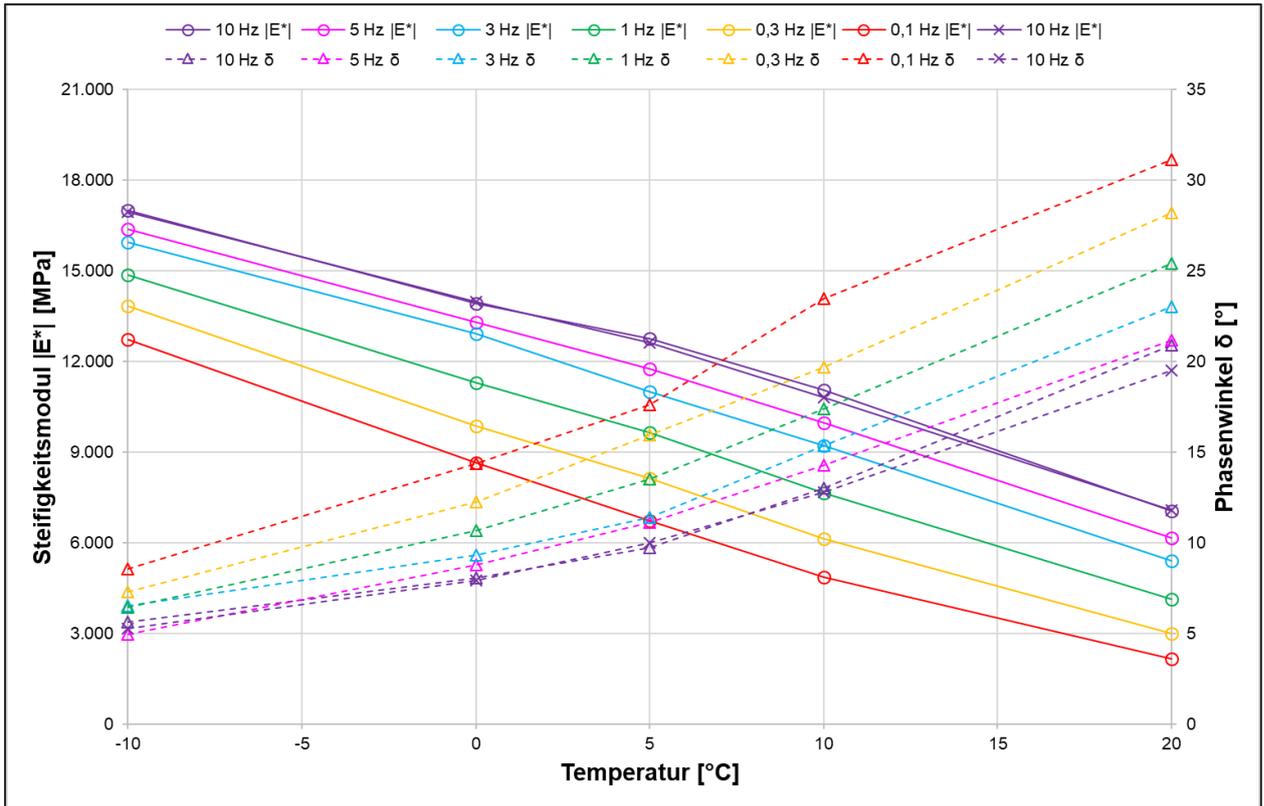


Bild 4-36: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltdeckschicht der Strecke A30 FR Westen (Osnabrück)

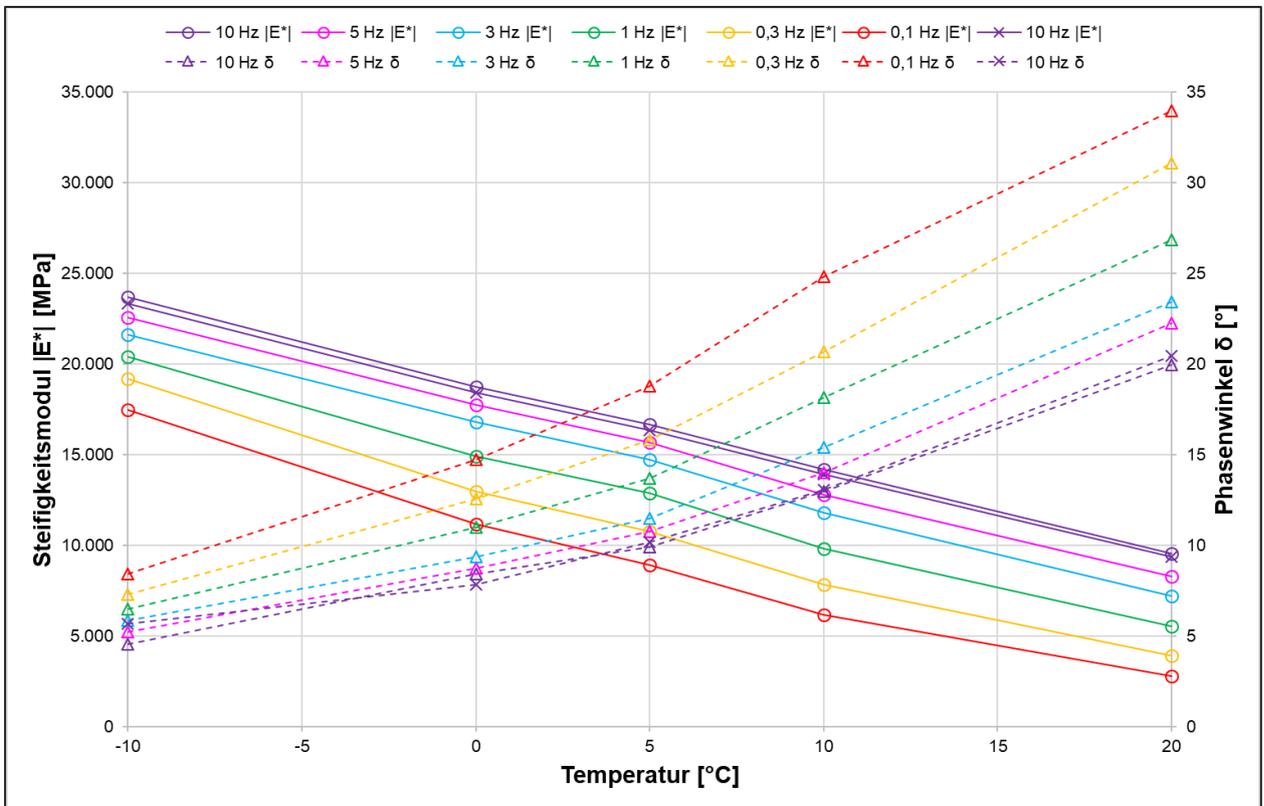


Bild 4-37: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltbinderschicht der Strecke A30 FR Westen (Osnabrück)

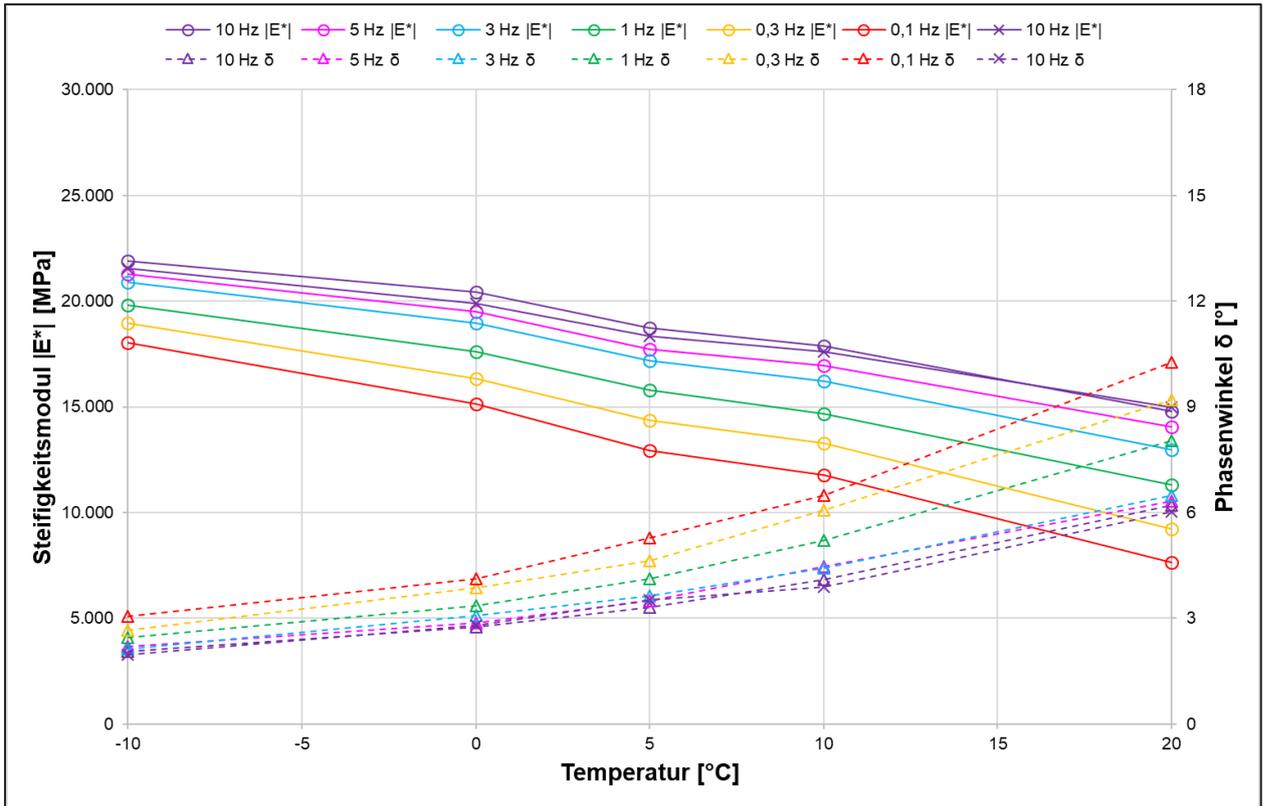


Bild 4-38: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der oberen Asphalttragschicht der Strecke A30 FR Westen (Osnabrück)

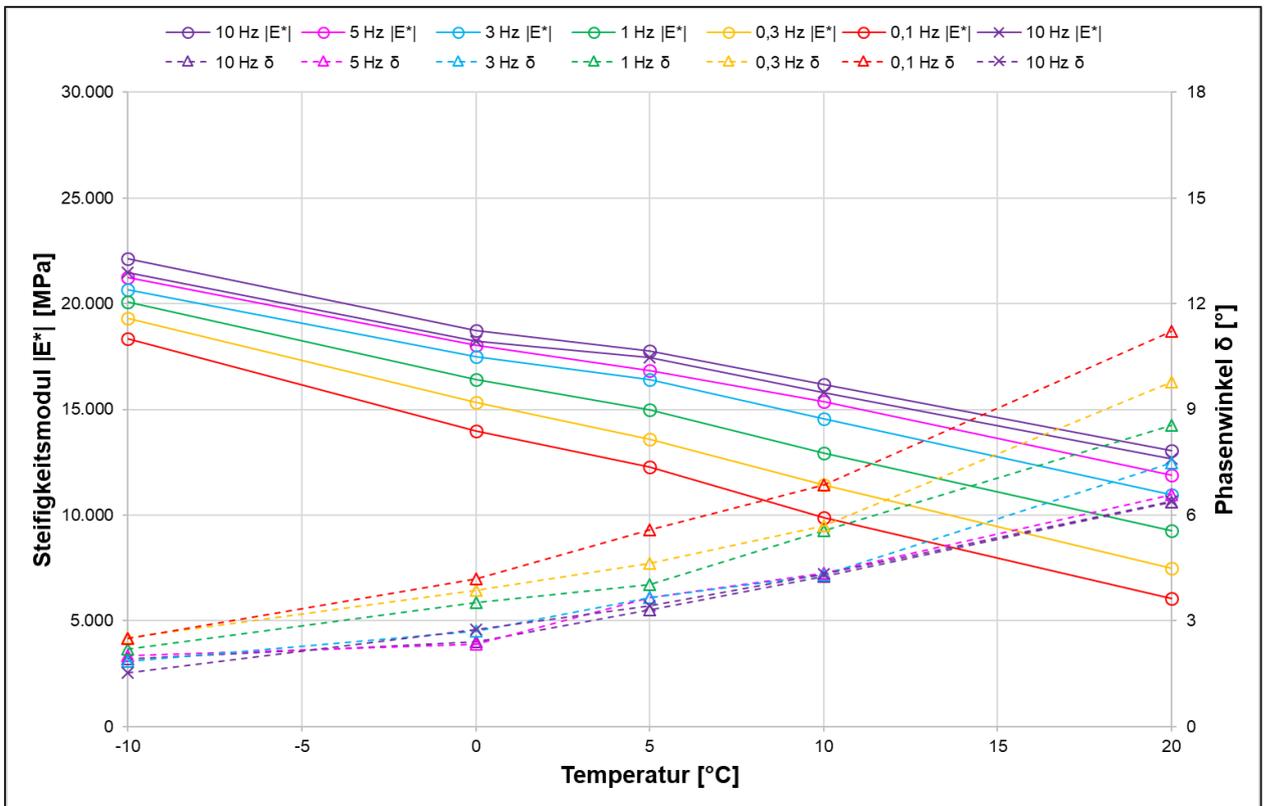


Bild 4-39: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der untere Asphalttragschicht der Strecke A30 FR Westen (Osnabrück)

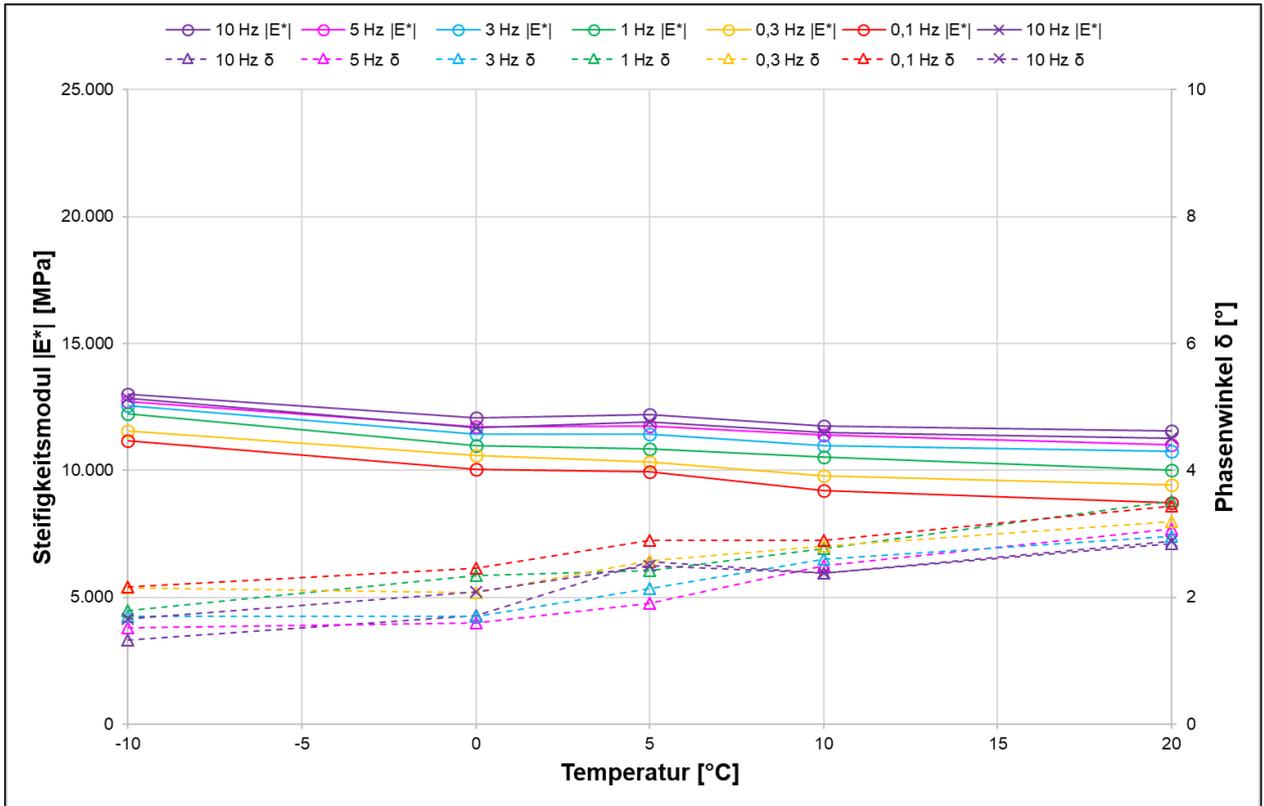


Bild 4-40: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der KRC-Schicht der Strecke A30 FR Westen (Osnabrück - Vergleichsvariante für AP5)

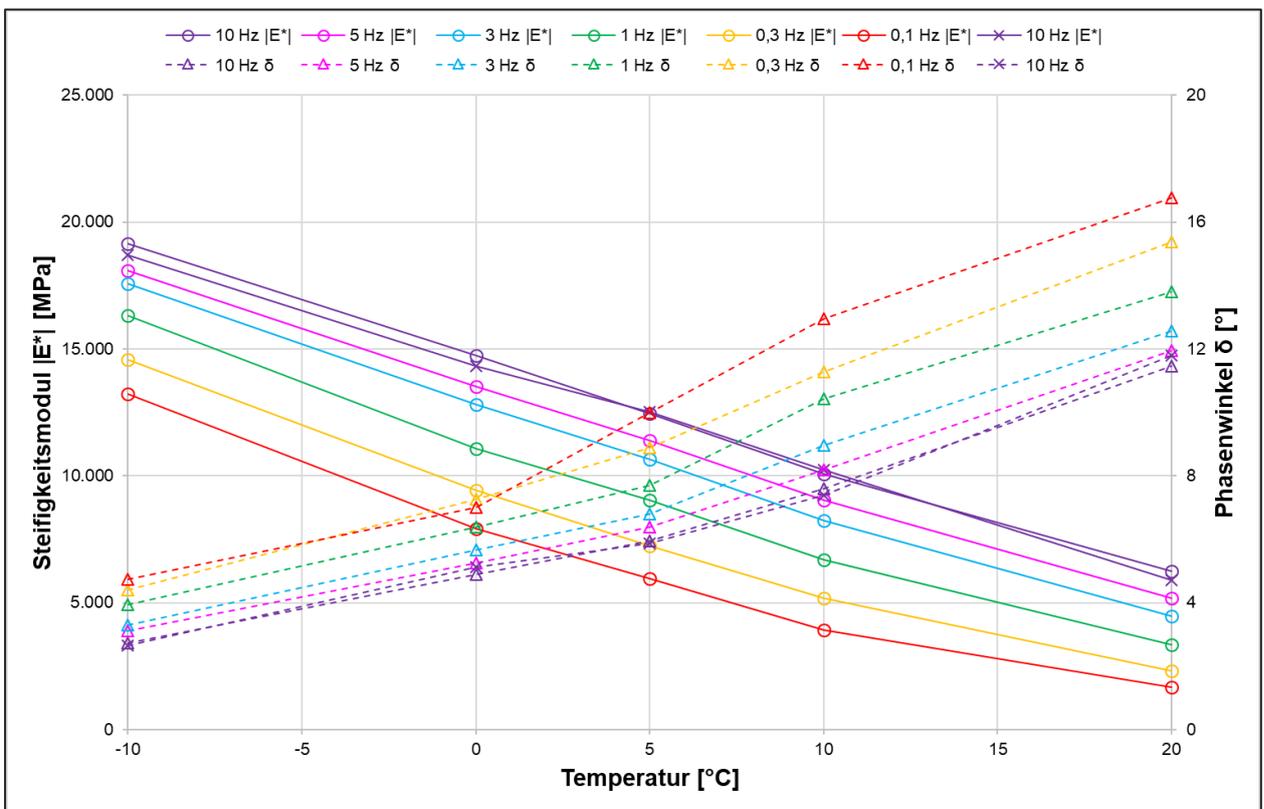


Bild 4-41: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltdeckschicht der Strecke B52

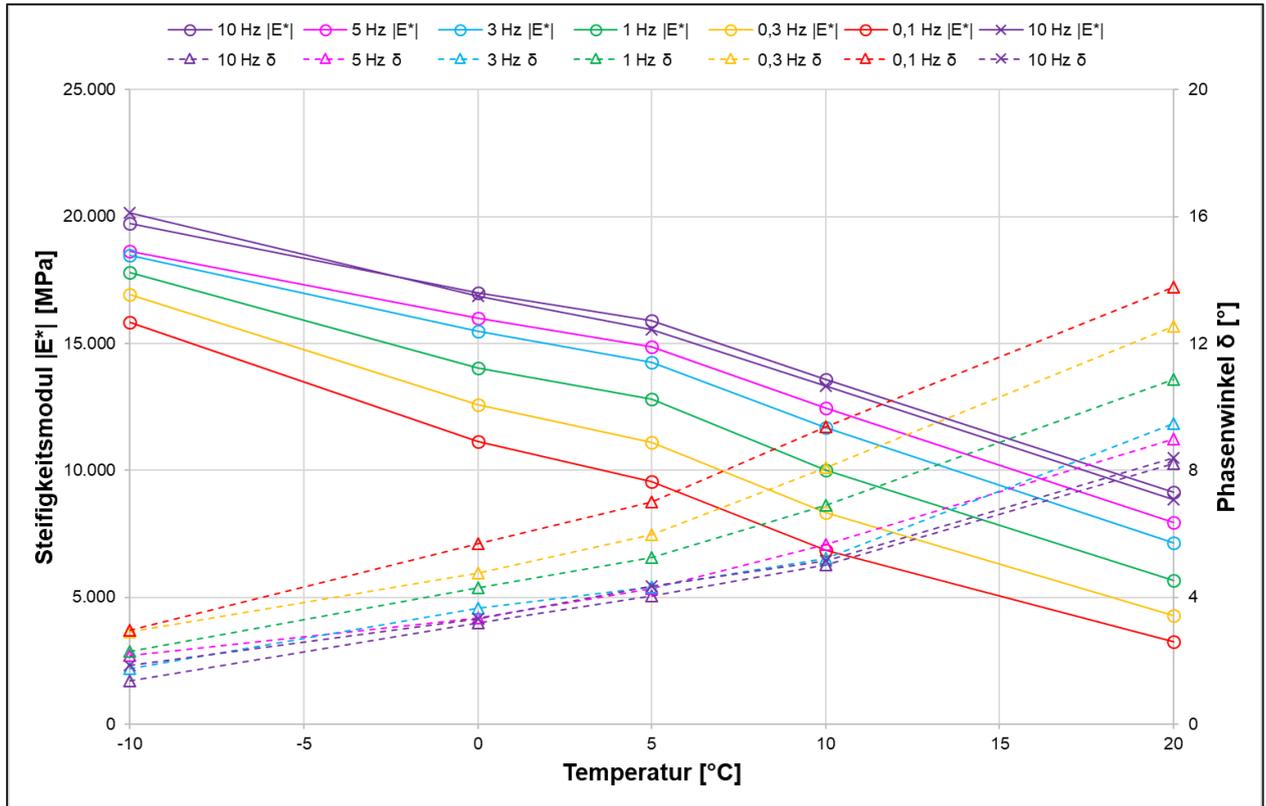


Bild 4-42: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltbinderschicht der Strecke B52

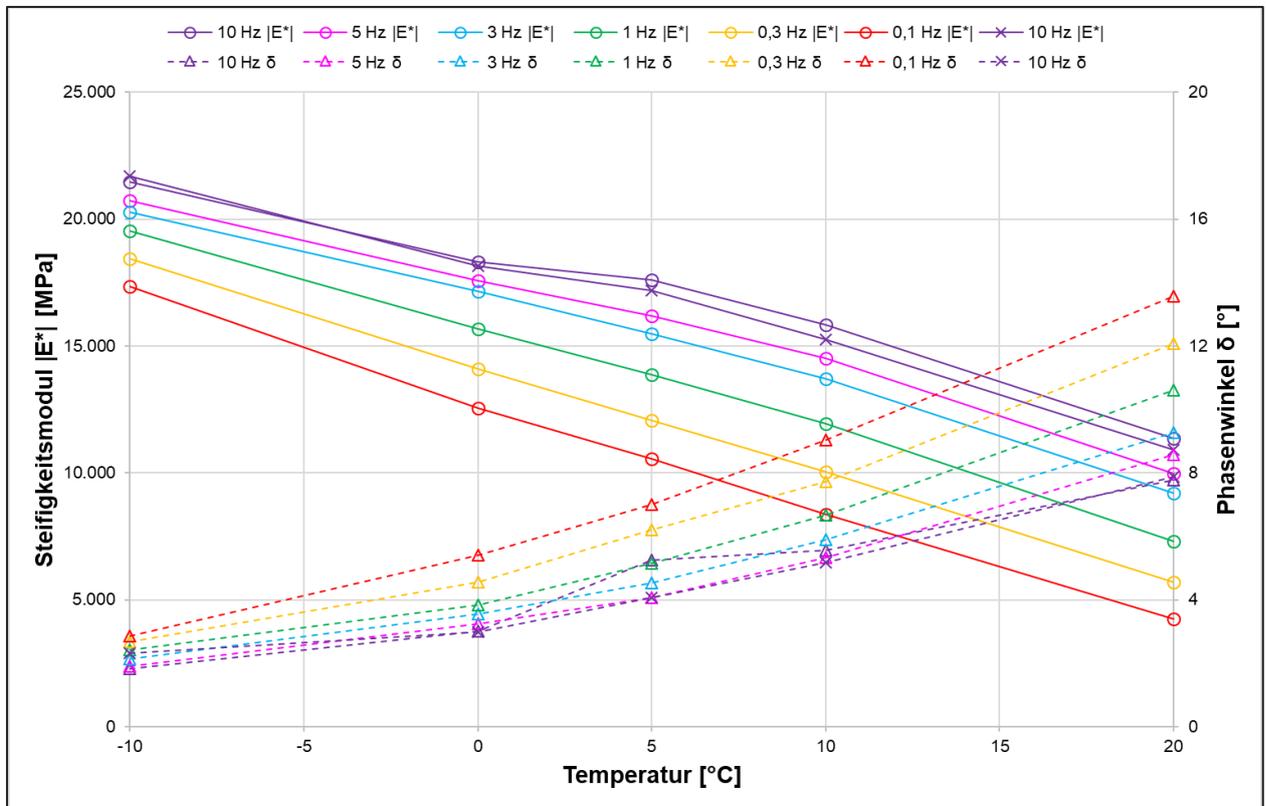


Bild 4-43: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphalttragschicht der Strecke B52

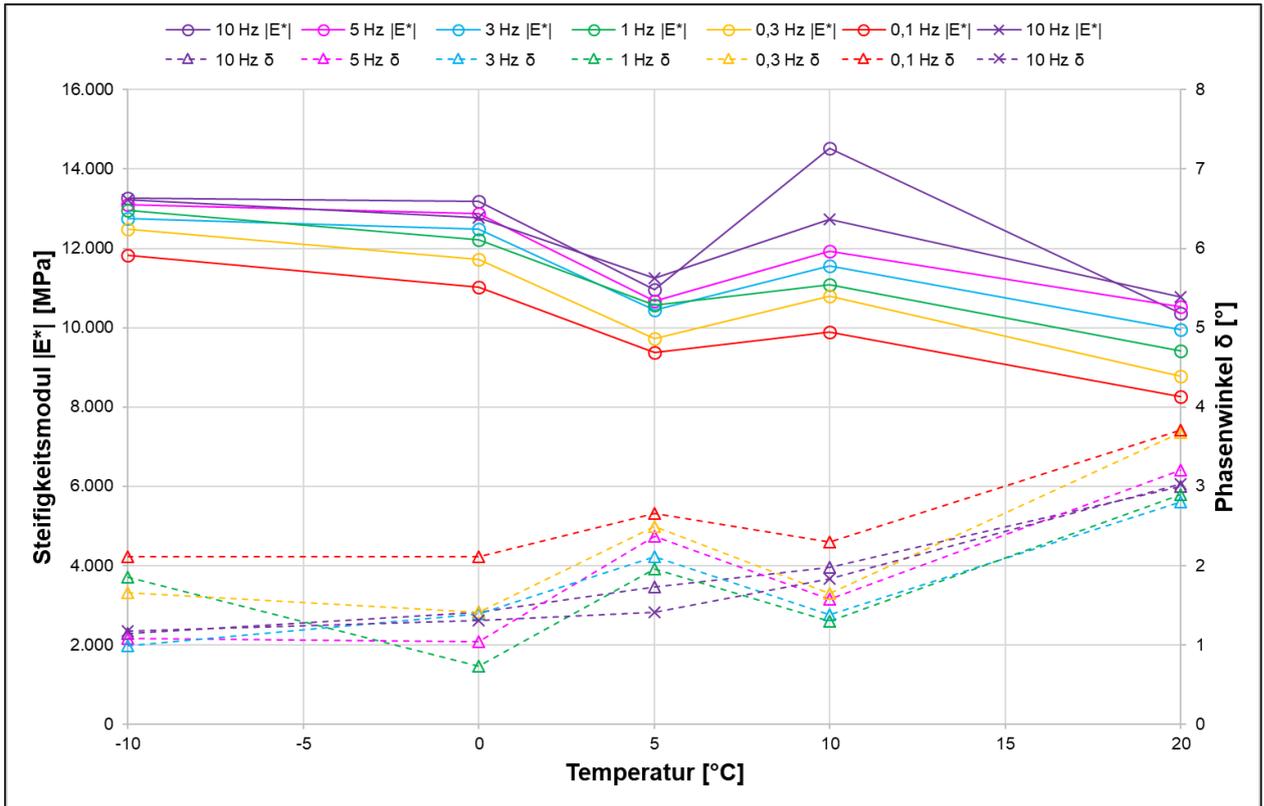


Bild 4-44: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der KRC-Schicht der Strecke B52

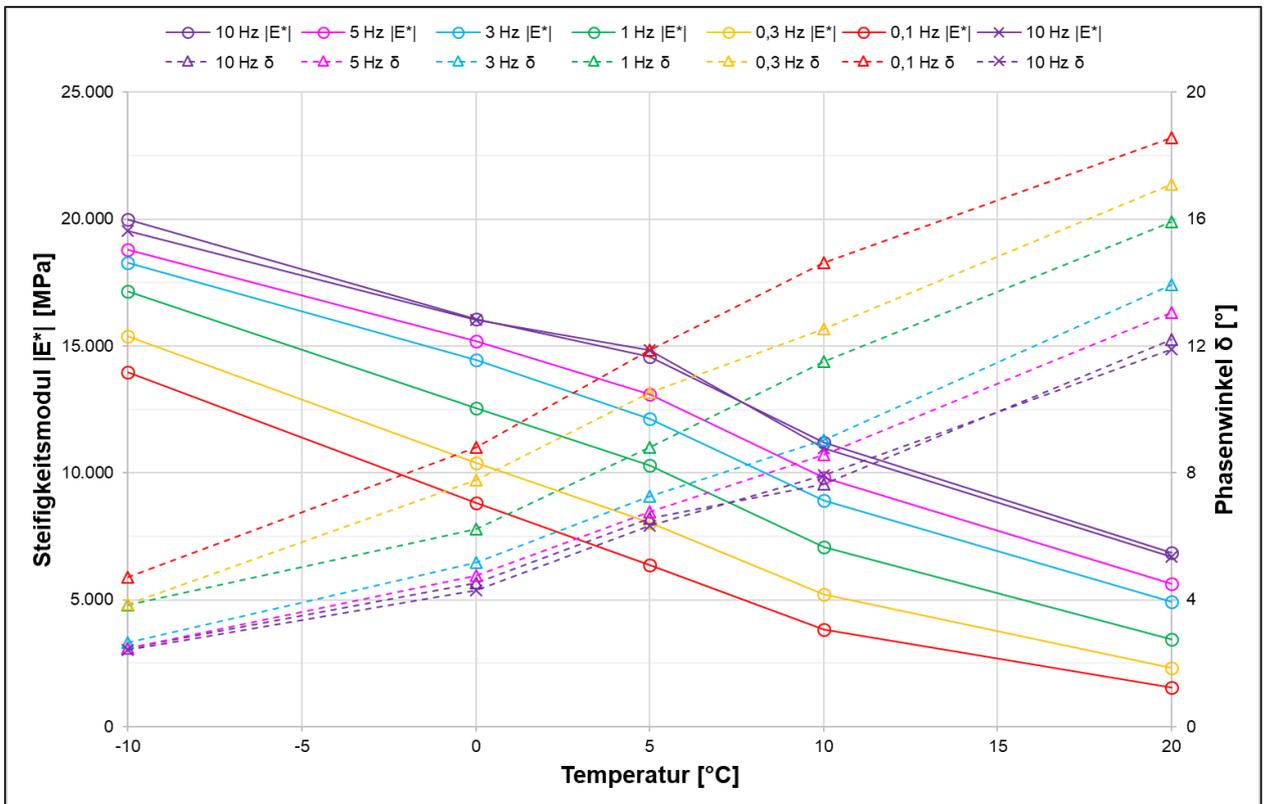


Bild 4-45: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltdeckschicht der Strecke B3

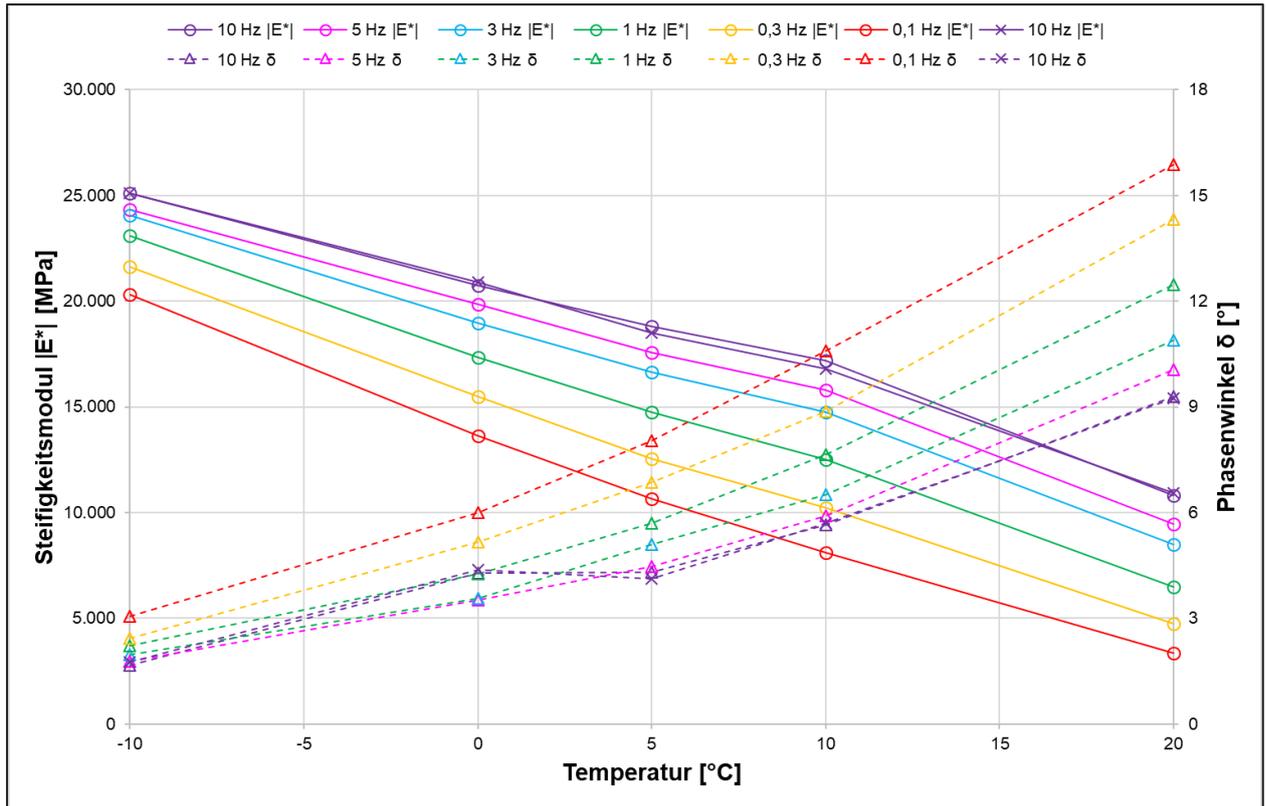


Bild 4-46: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltbinderschicht der Strecke B3

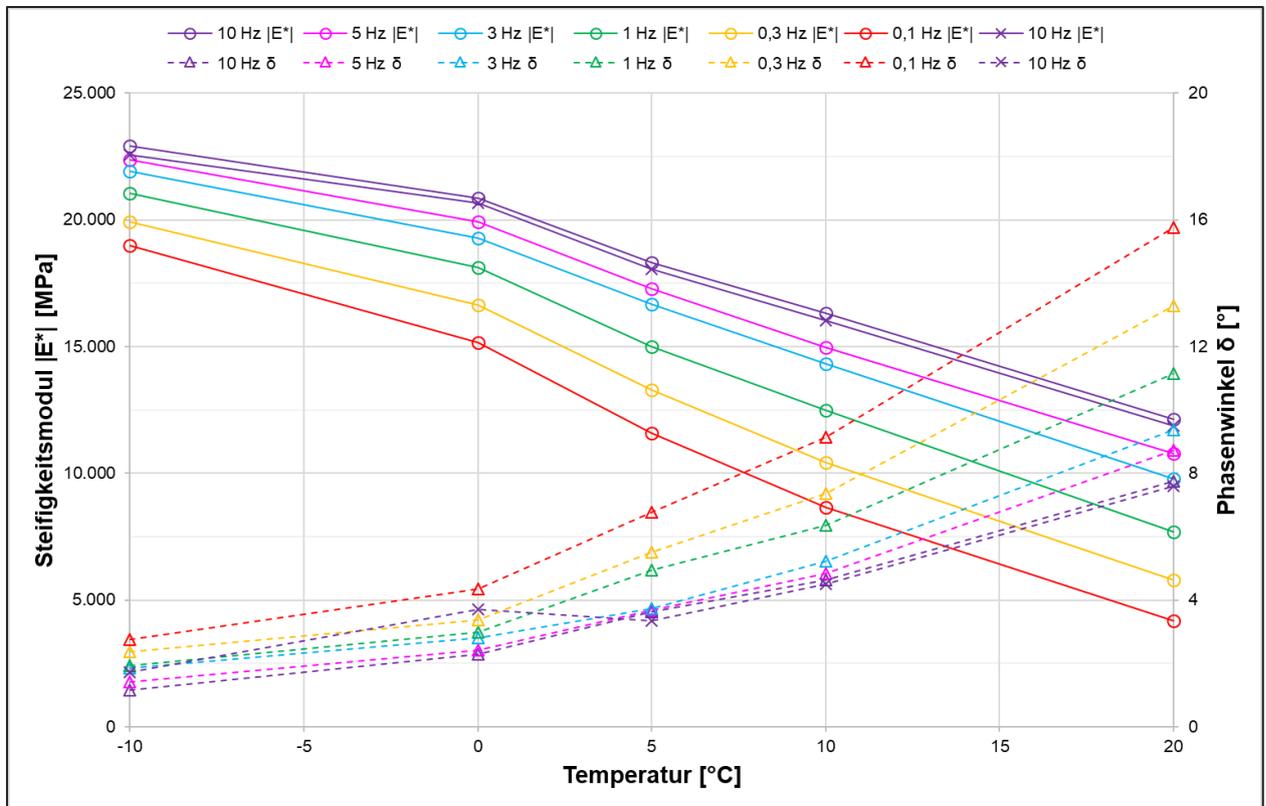


Bild 4-47: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphalttragschicht der Strecke B3

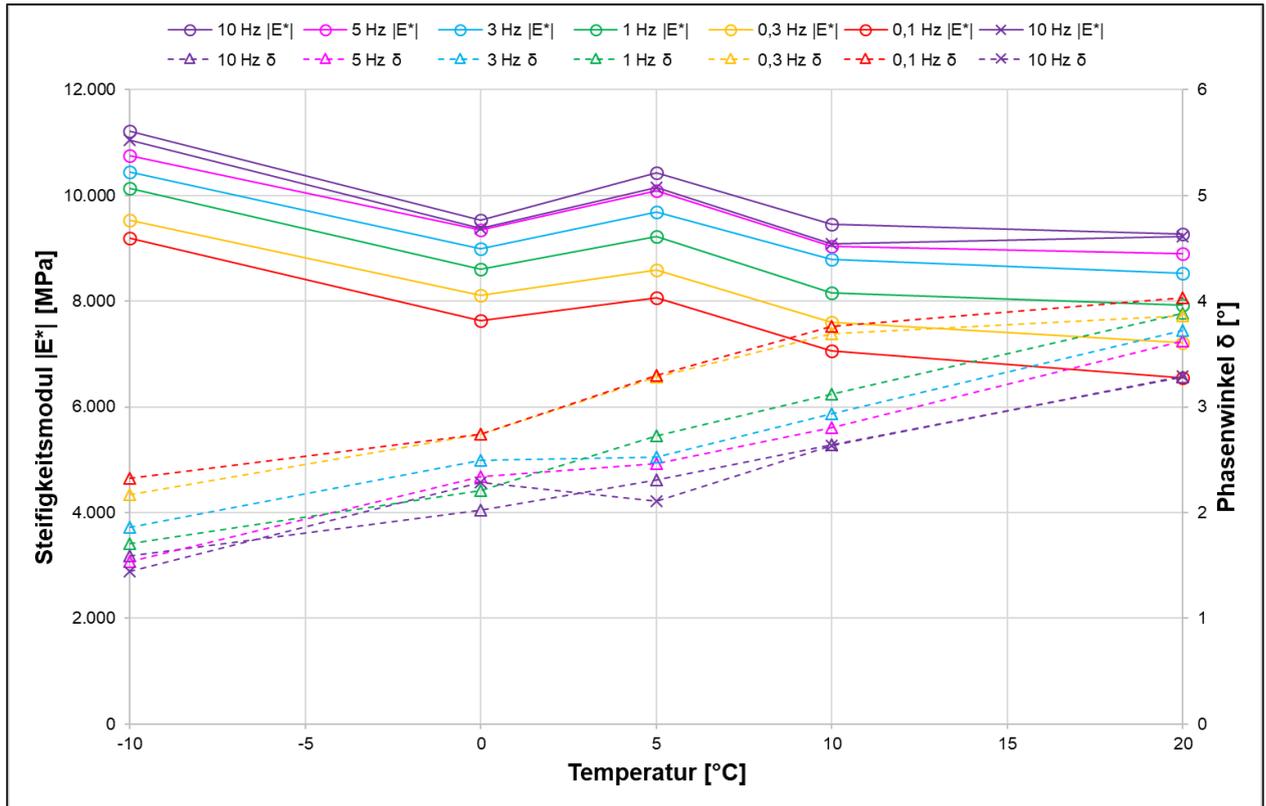


Bild 4-48: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der KRC-Schicht der Strecke B3

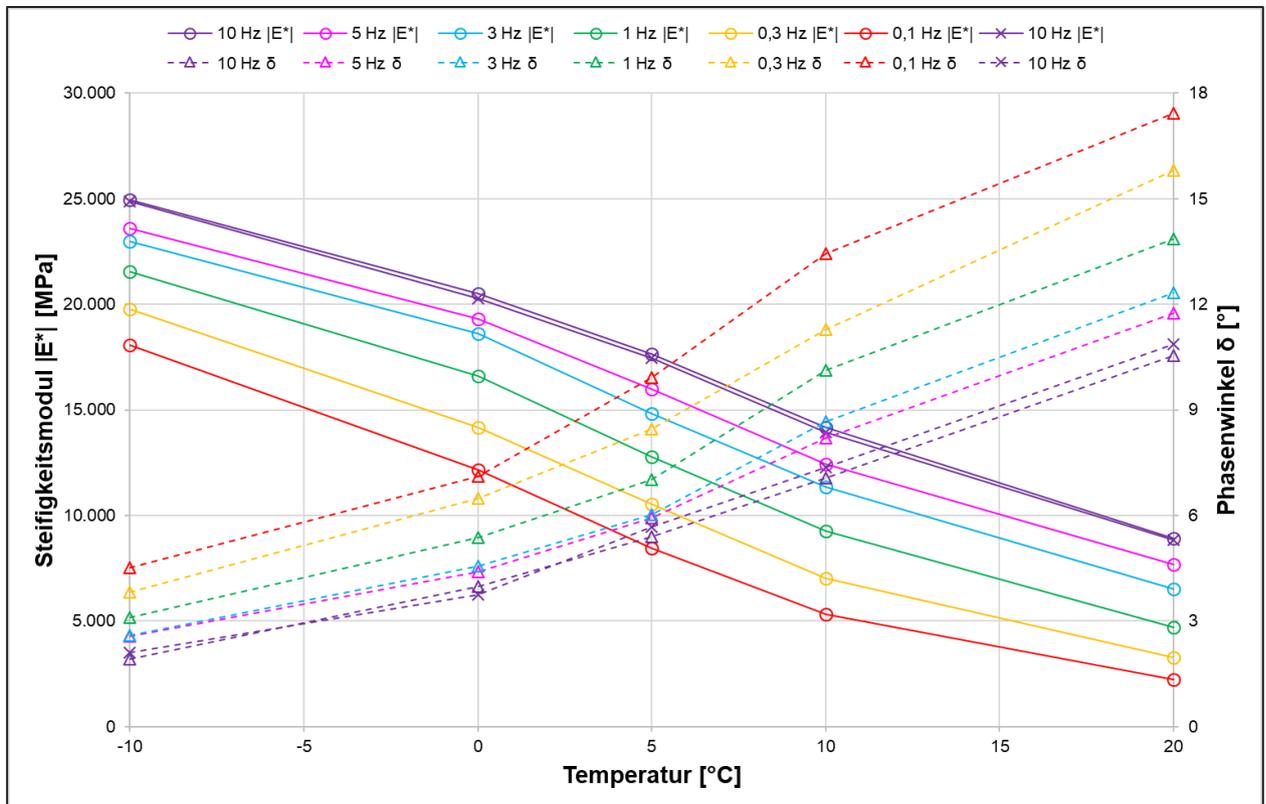


Bild 4-49: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltdeckschicht der Strecke L49

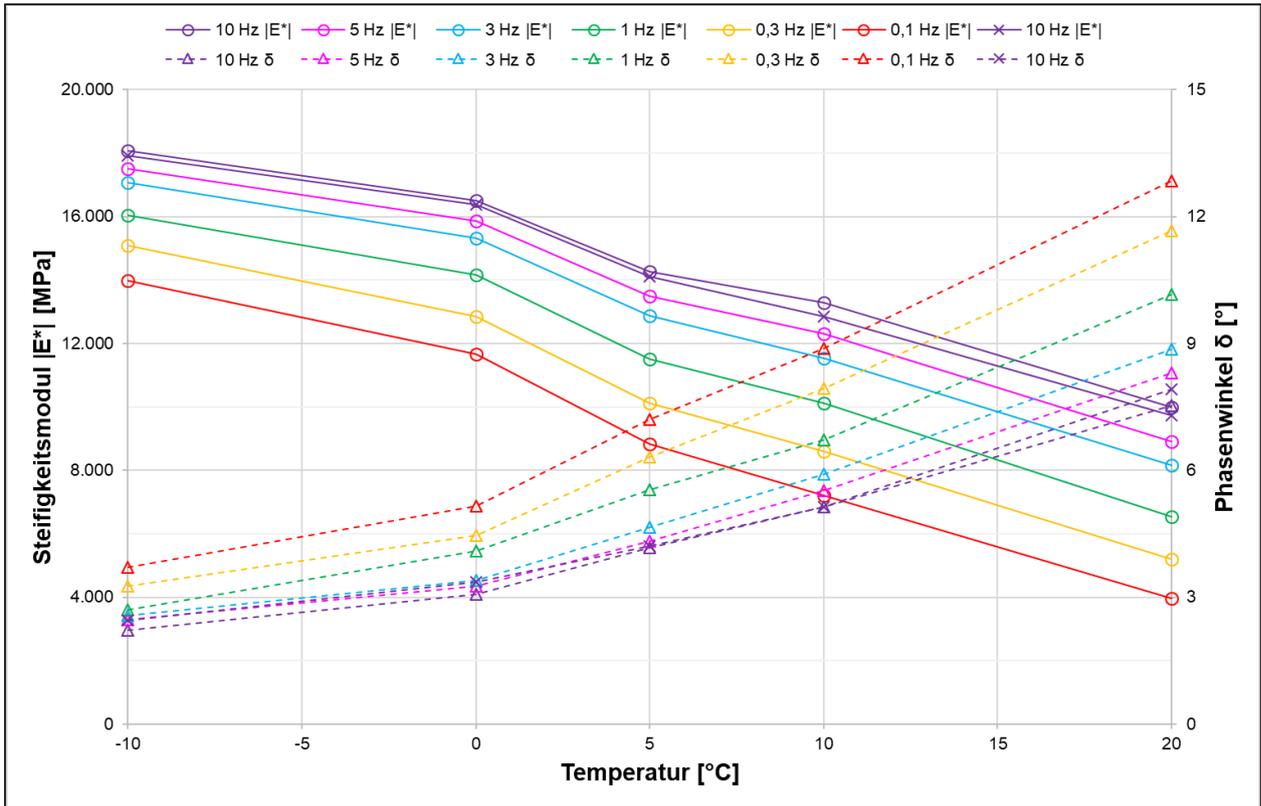


Bild 4-50: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphalttragschicht der Strecke L49

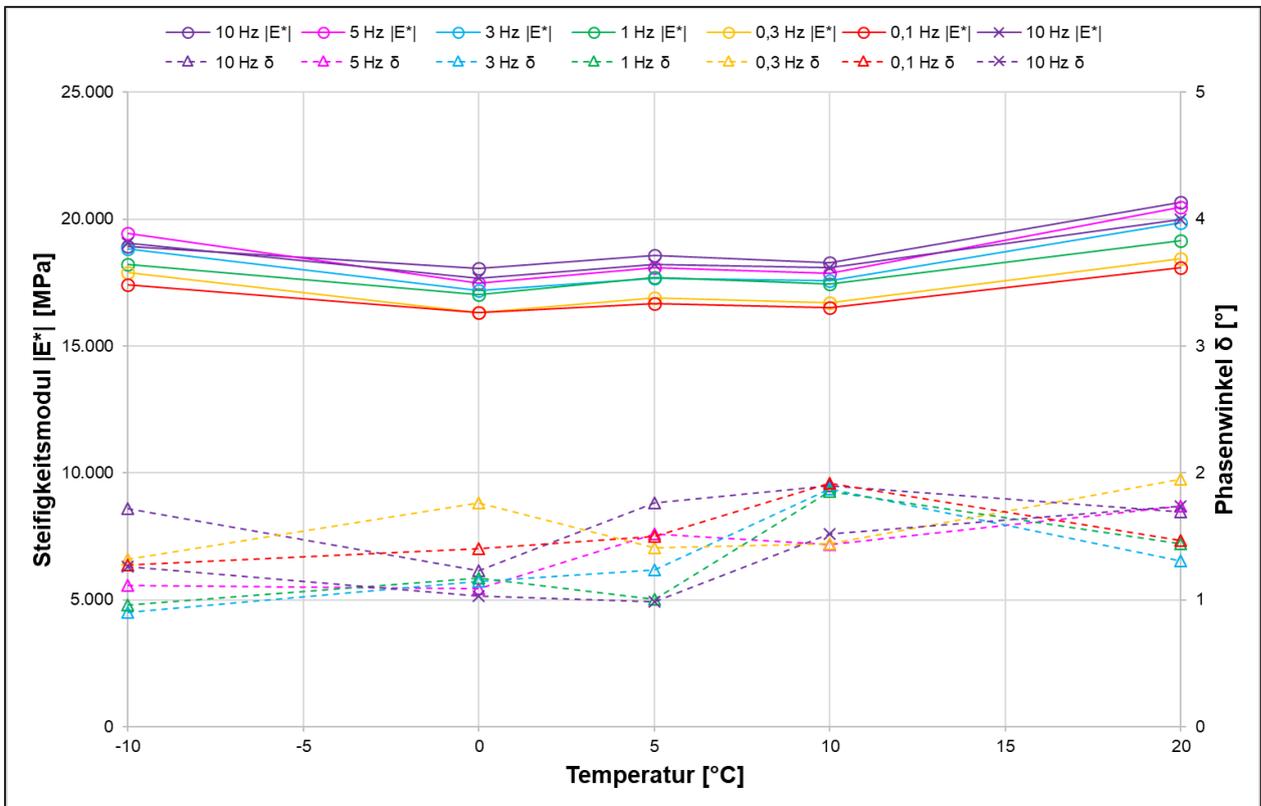


Bild 4-51: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der KRC-Schicht der Strecke L49

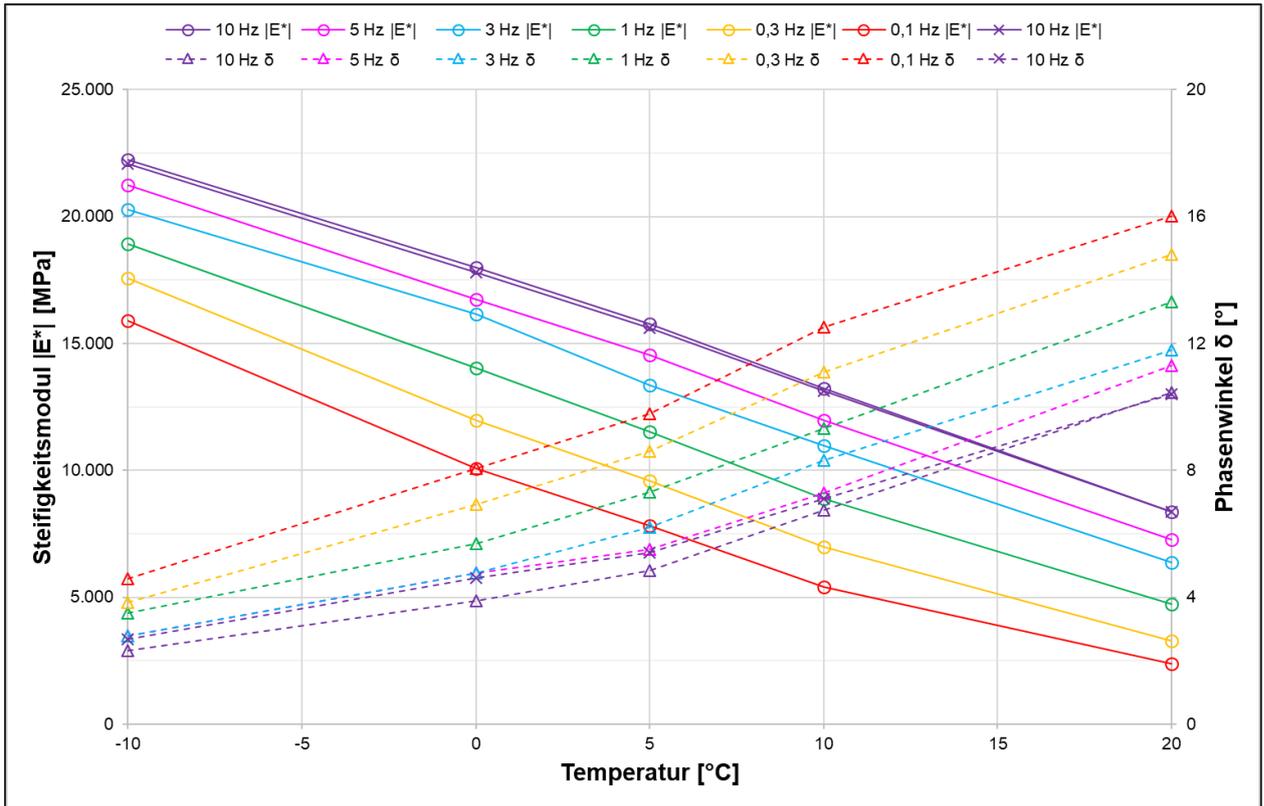


Bild 4-52: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltdeckschicht der Strecke der L48

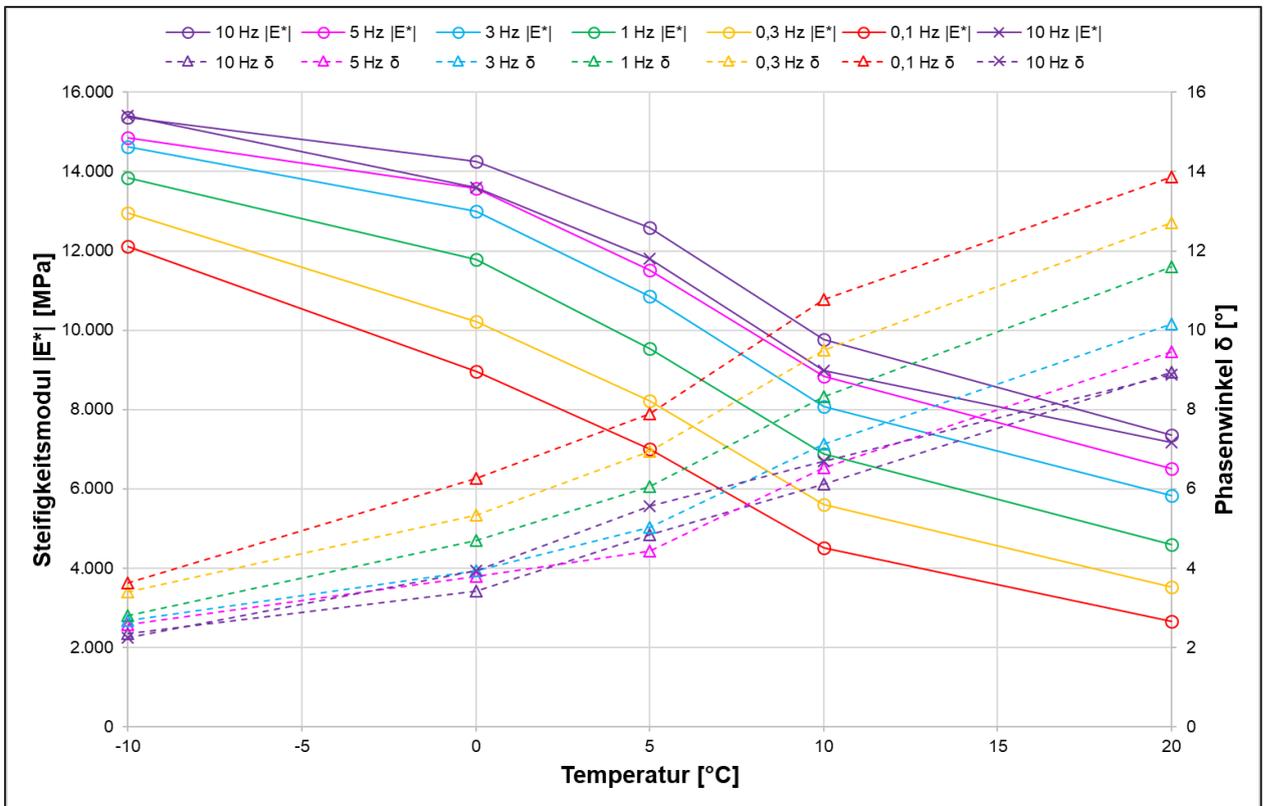


Bild 4-53: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphalttragschicht der Strecke der L48

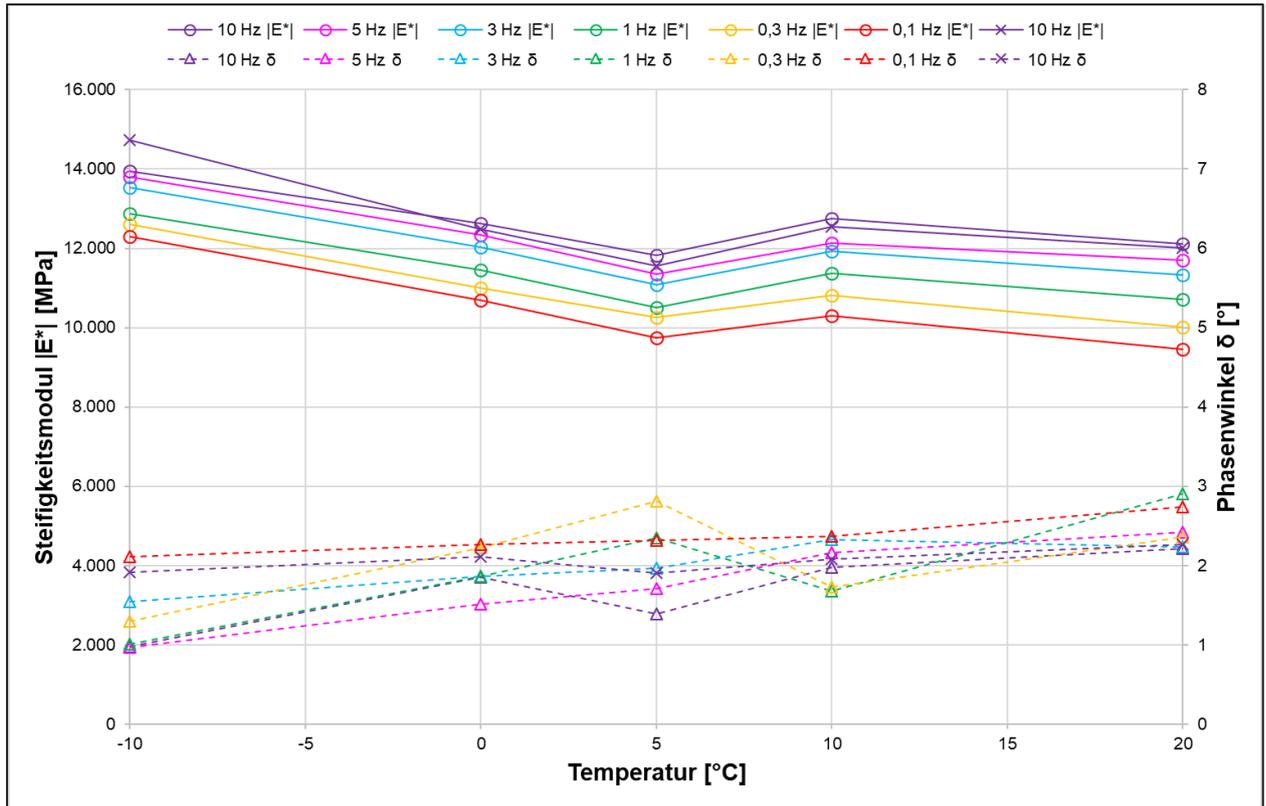


Bild 4-54: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der KRC-Schicht der Strecke der L48

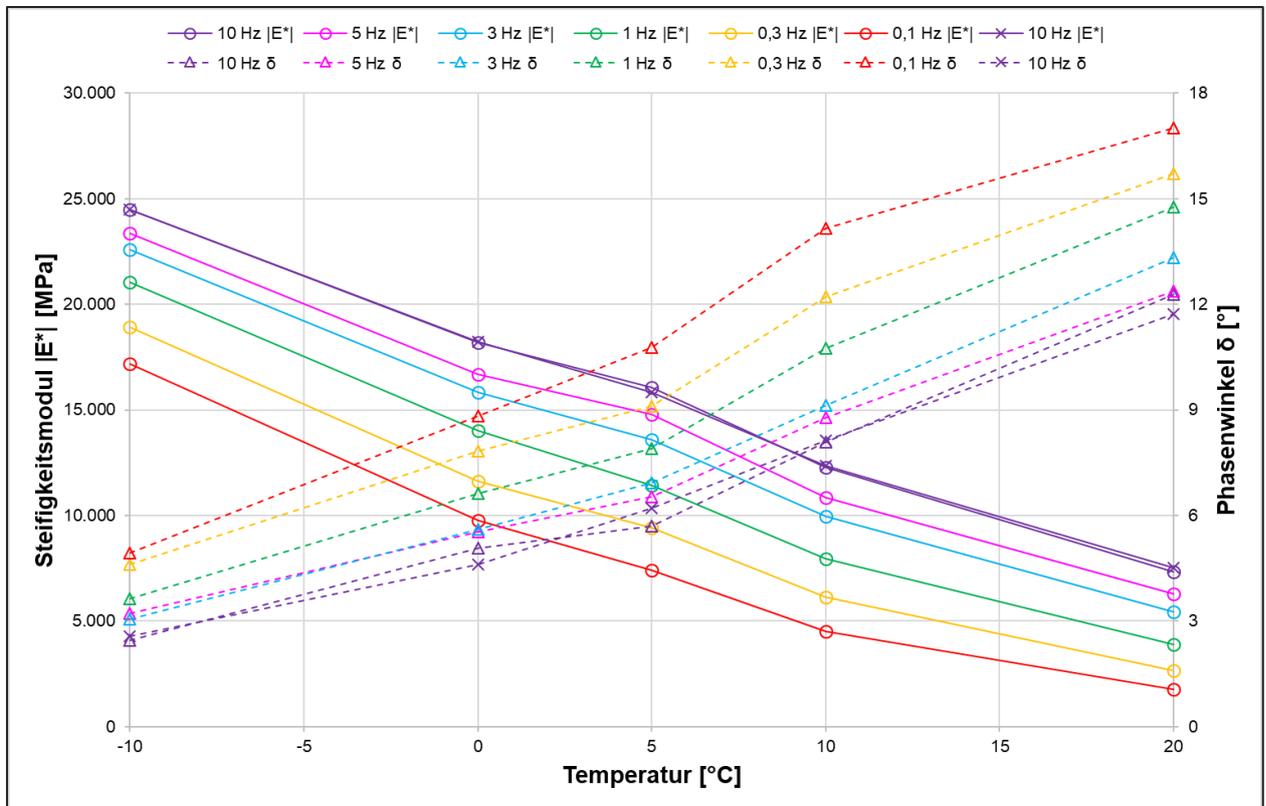


Bild 4-55: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltdeckschicht der Strecke der L114

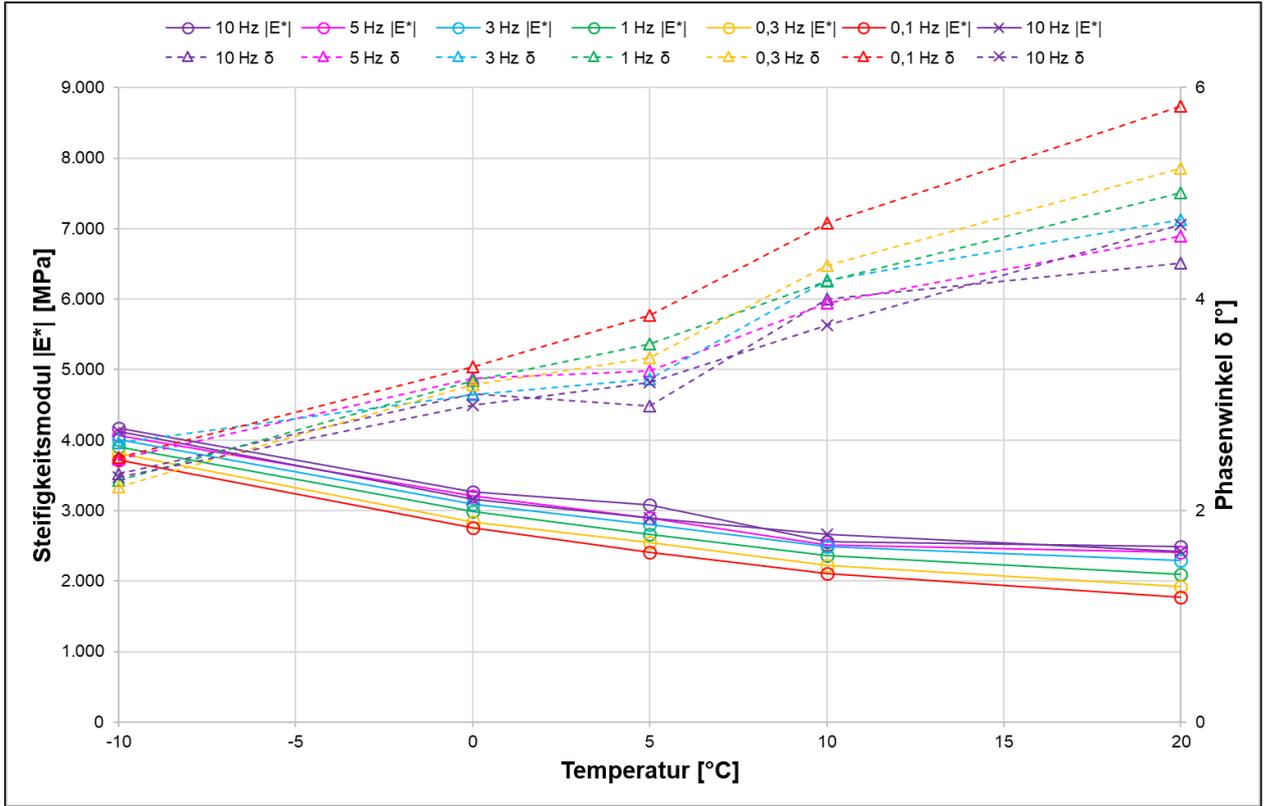


Bild 4-56: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der KRC-Schicht der Strecke der L114

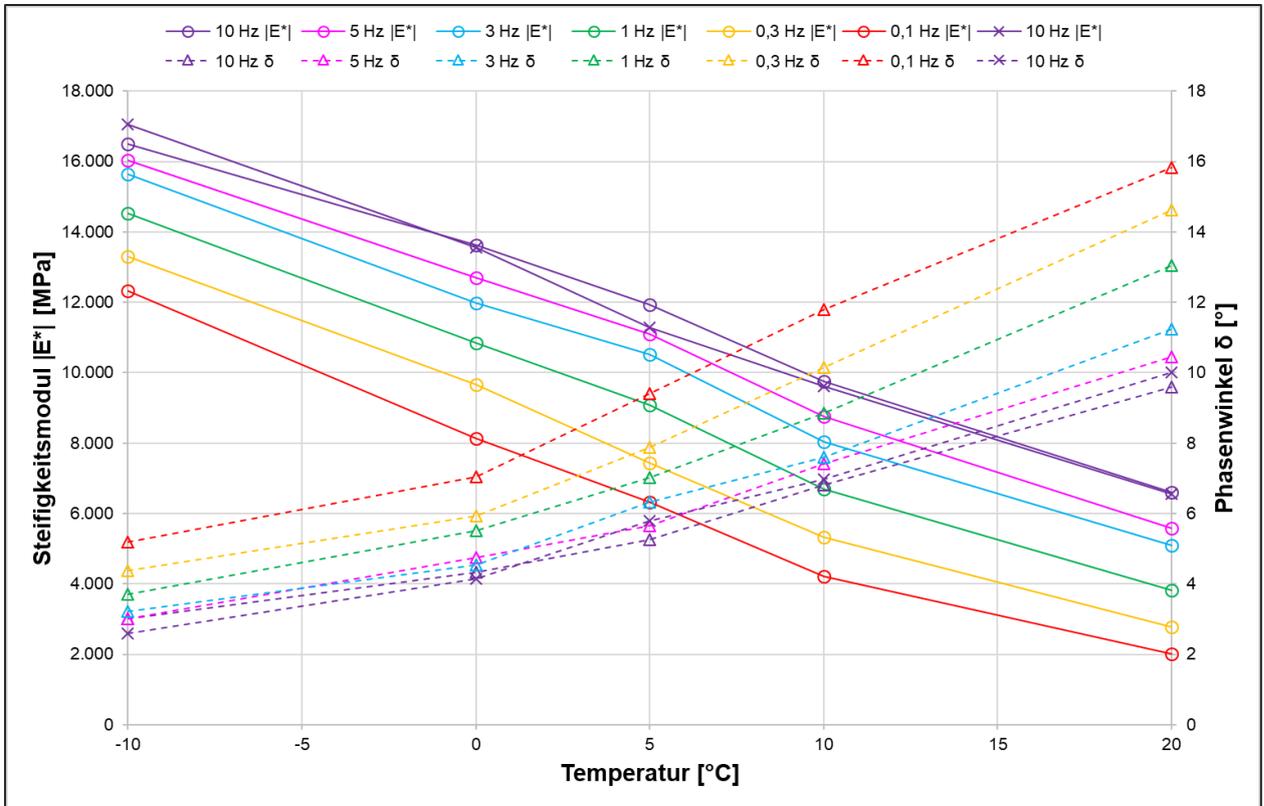


Bild 4-57: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltdeckschicht der Strecke der L205

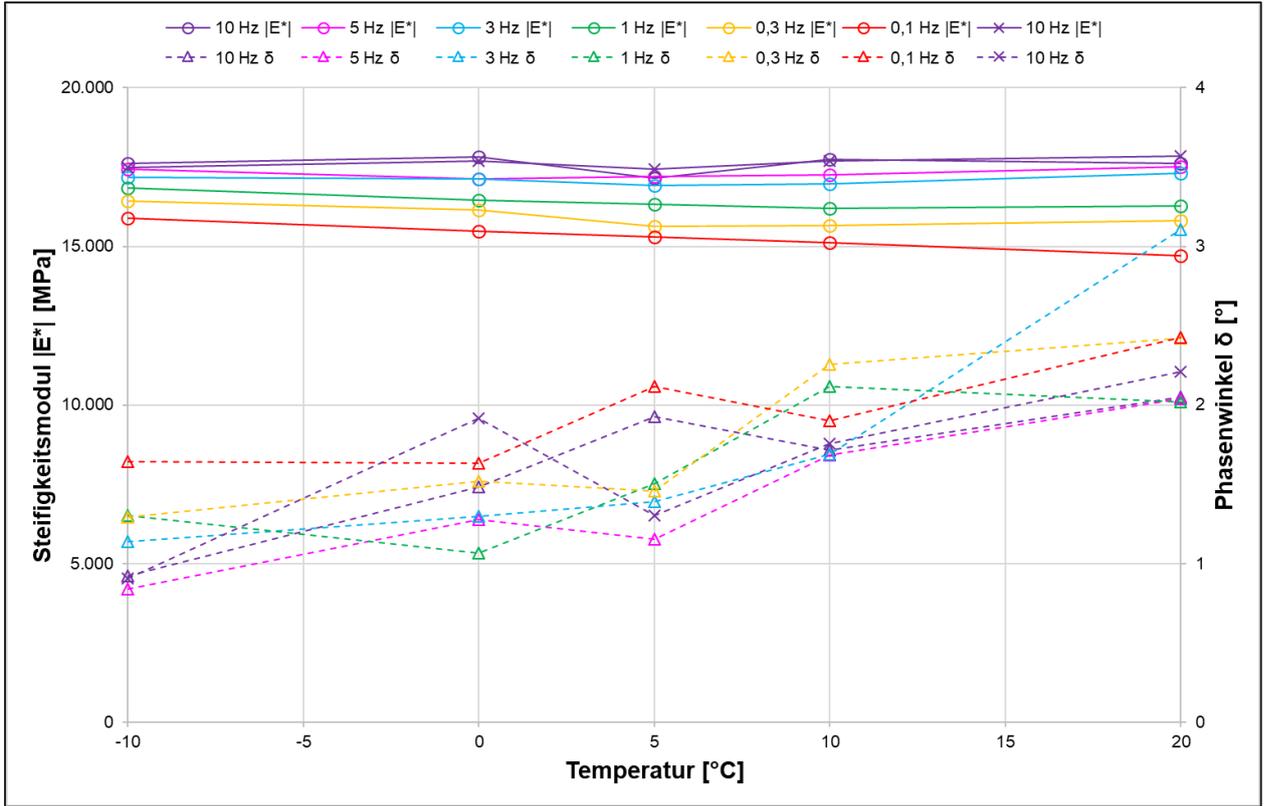


Bild 4-58: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der KRC-Schicht der Strecke der L205

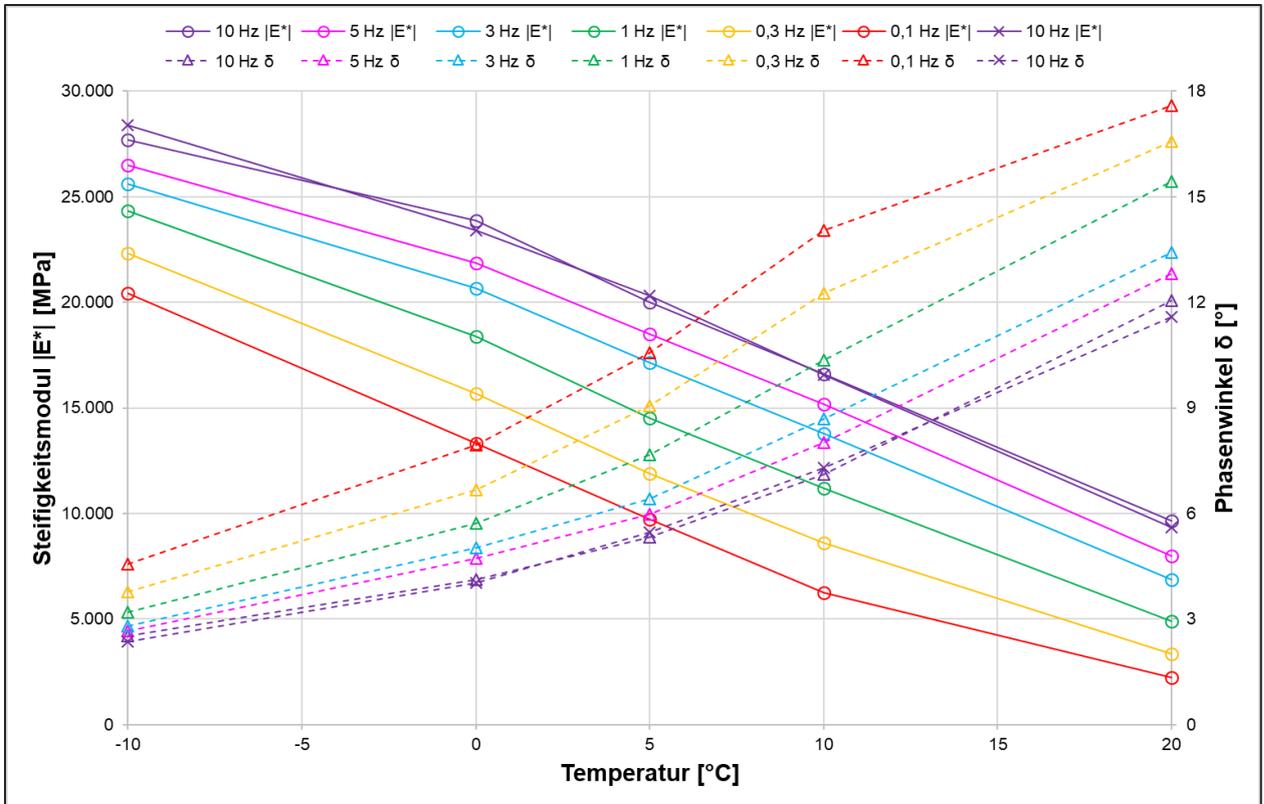


Bild 4-59: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltdeckschicht der Strecke der L3073

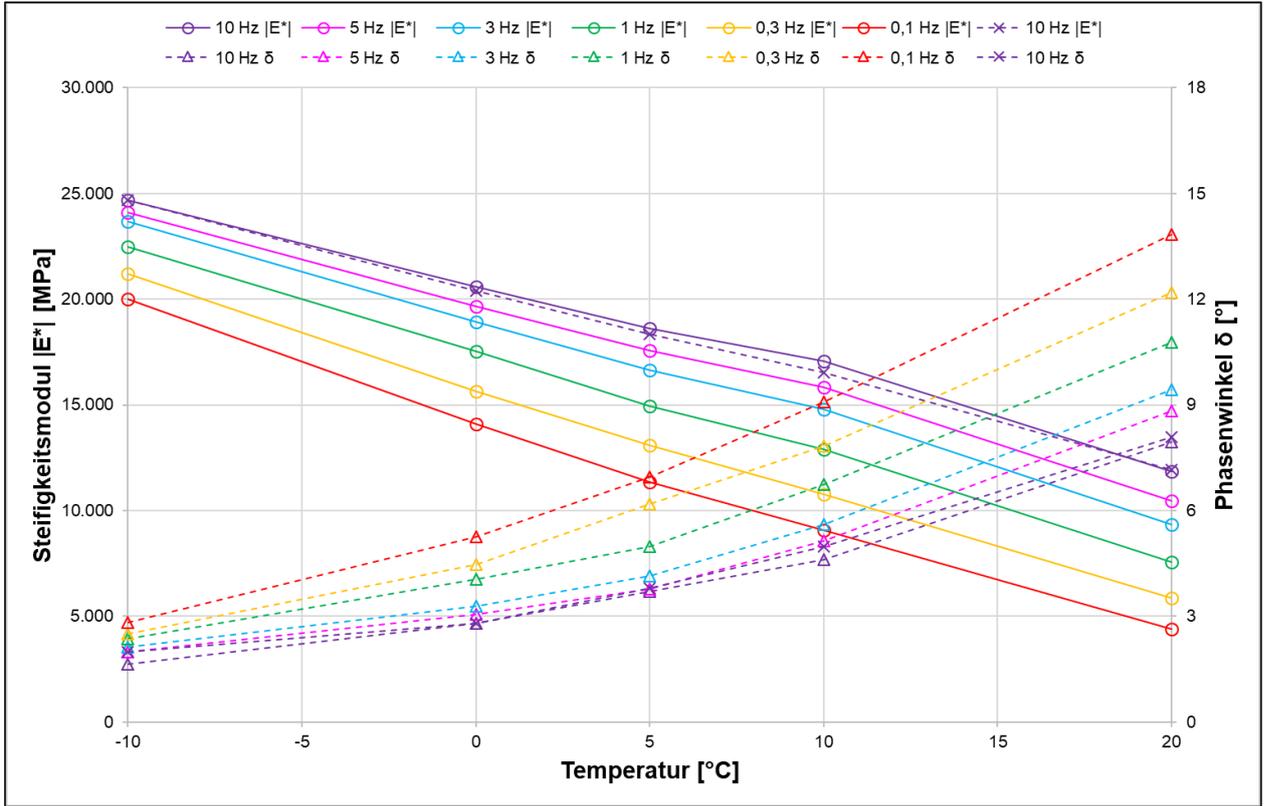


Bild 4-60: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphalttragschicht der Strecke der L3073

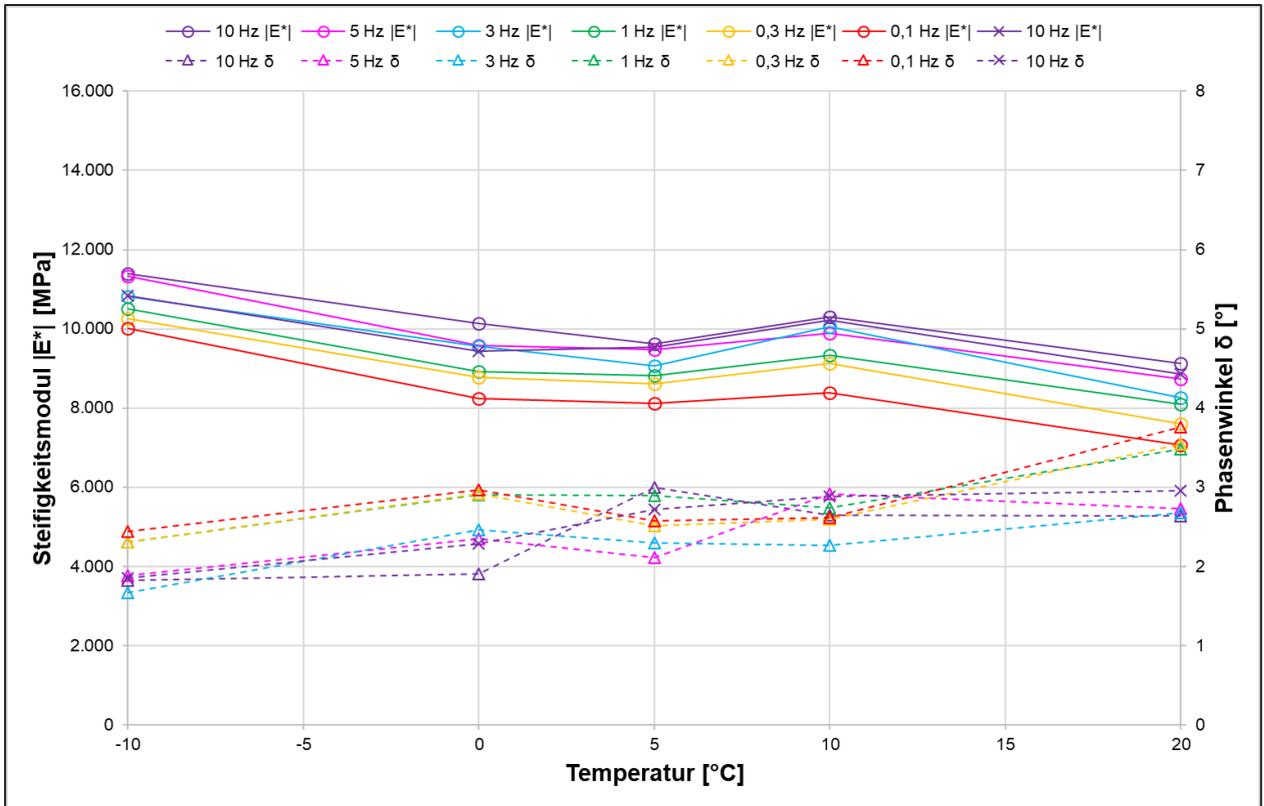


Bild 4-61: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der KRC-Schicht der Strecke der L3073

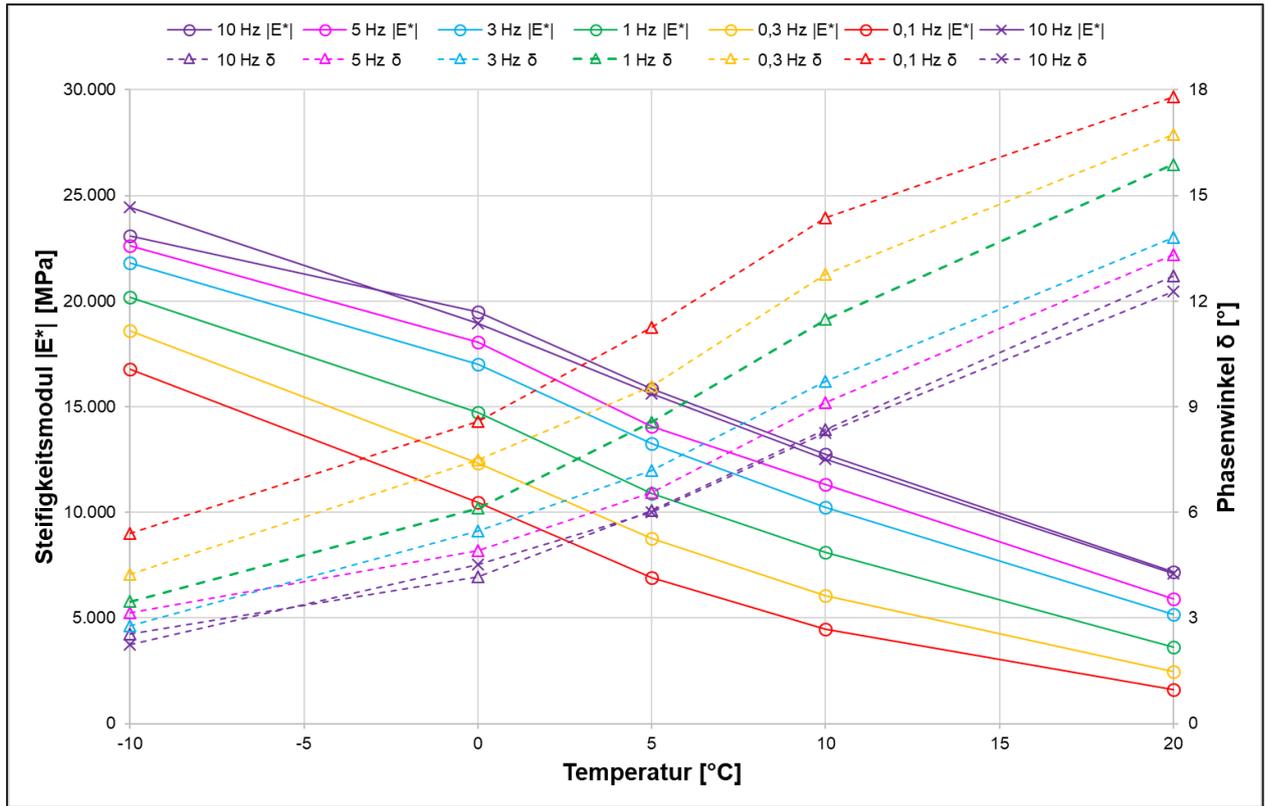


Bild 4-62: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltdeckschicht der Strecke der L3400

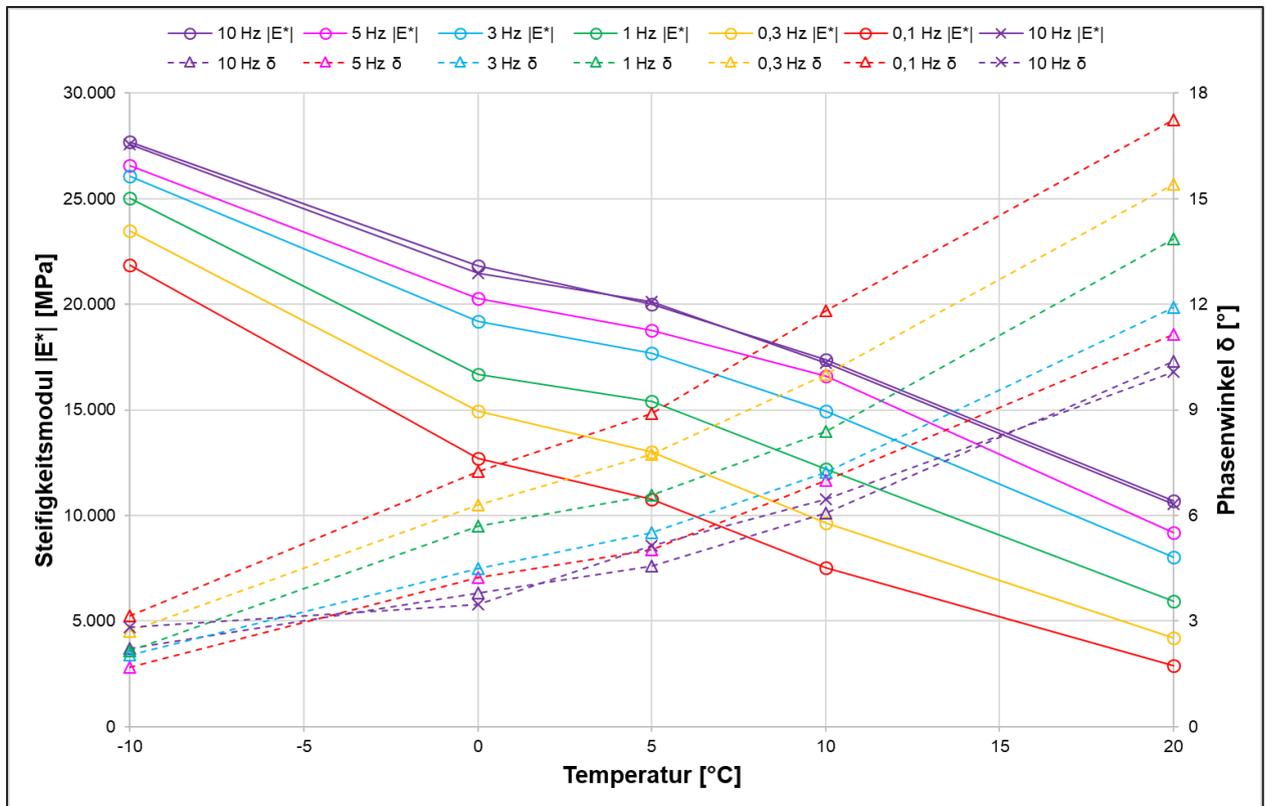


Bild 4-63: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltbinderschicht der Strecke der L3400

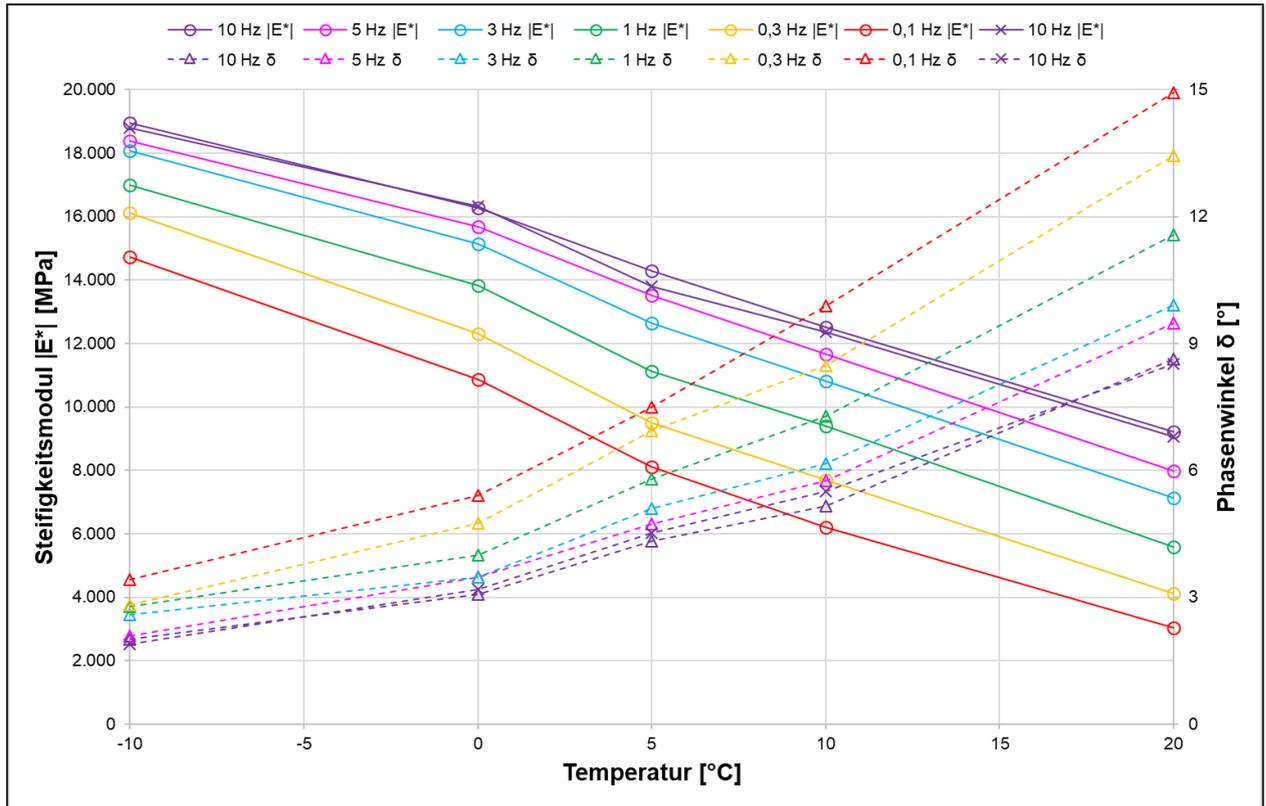


Bild 4-64: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphalttragschicht der Strecke der L3400

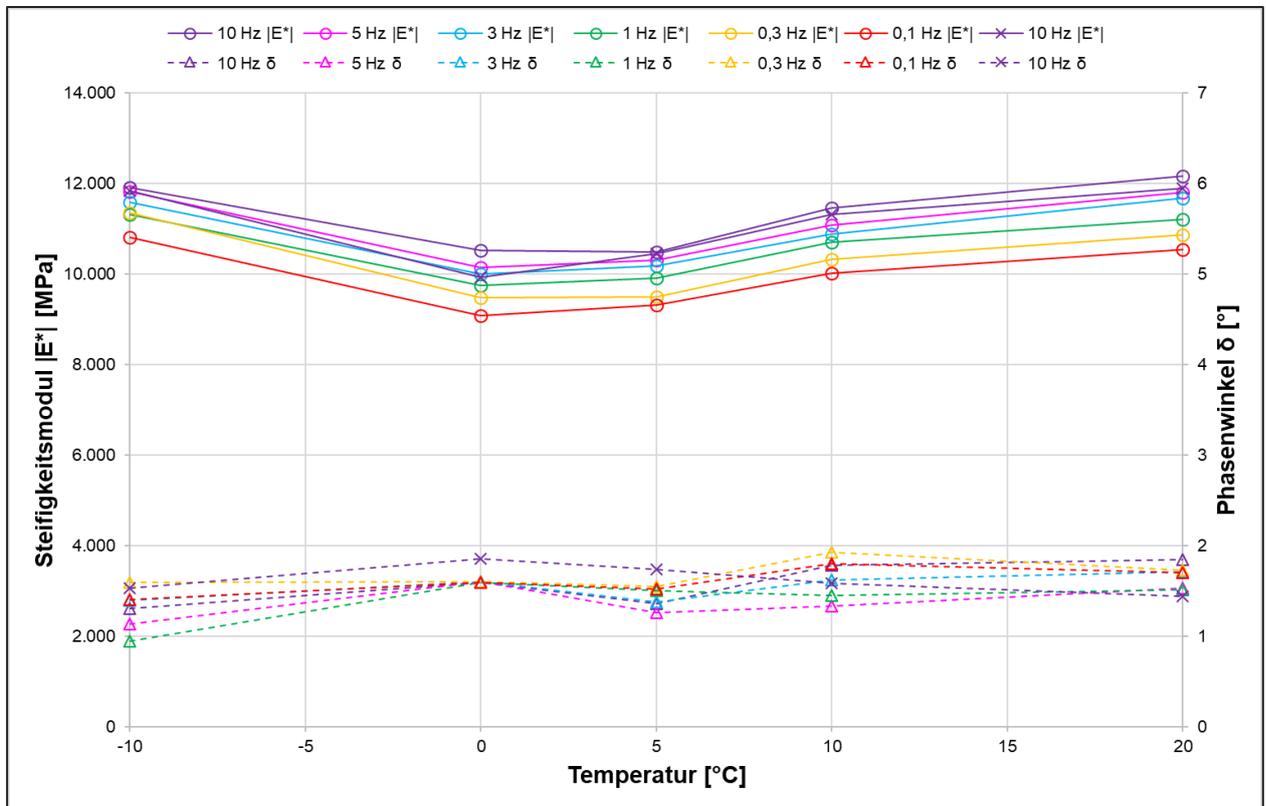


Bild 4-65: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der KRC-Schicht der Strecke der L3400

Anhand der dargestellten Graphen ist deutlich zu erkennen, dass alle untersuchten Heiasphaltschichten viskoelastische Eigenschaften besitzen, ihre Steifigkeiten also mit steigender Prfemperatur und sinkender Frequenz deutlich abnimmt und der Phasenwinkel deutlich zunimmt ($\Delta|E^*| \geq 10.000 \text{ MPa}$ und $\Delta\delta \geq 10^\circ$).

Im Gegensatz hierzu liegen die Phasenwinkel der KRC-Strecken mit Ausnahme der L114 immer unter 5° und die Steifigkeiten nehmen innerhalb der genannten Prüfrandbedingungen maximal um 5.000 MPa ab. Bei der KRC-Schicht der L49 nimmt die Steifigkeit mit steigender Prfemperatur sogar zu.

Für jede untersuchte Schicht können unter Verwendung der Steifigkeitsmodule und der Phasenwinkel Hauptkurven, sogenannte Masterkurven, gemäß [TP Asphalt-StB, Teil 26, 2018] berechnet werden. Diese Methode ist für Heiasphaltschichten erprobt und wird im Zuge der Dimensionierung gemäß RDO/RSO angewendet.

Aufgrund der bereits beschriebenen großen Qualitätsunterschiede zwischen den untersuchten Bohrkernen (auch an derselben Entnahmestelle) sowie der teilweise nicht vorhandenen Bitumendominanz (viskoelastische Eigenschaften), welche wahrscheinlich auf eine - abweichend von der Erstprüfung - höhere Zementzugabe im Zuge der Herstellung zurückzuführen ist, ergaben sich bei der Berechnung der Hauptkurven für die KRC-Schichten einige Schwierigkeiten. Aus diesem Grund sind in Bild 4-66 bis Bild 4-70 die Hauptkurven der KRC-Schichten zunächst einzeln, inklusive der Messwerte, dargestellt.

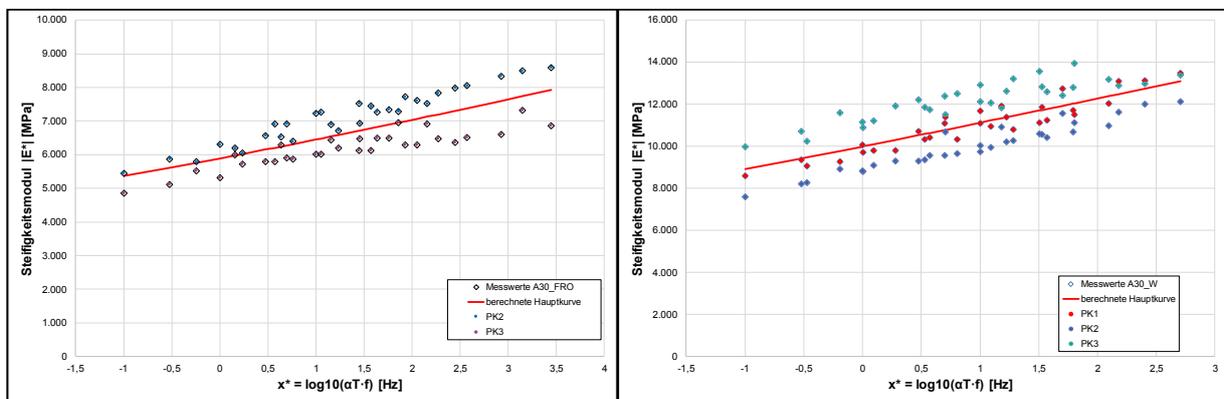


Bild 4-66: Messwerte und berechnete Hauptkurven der KRC-Schicht von der A30 FR Osten (links) und FR Westen (rechts)

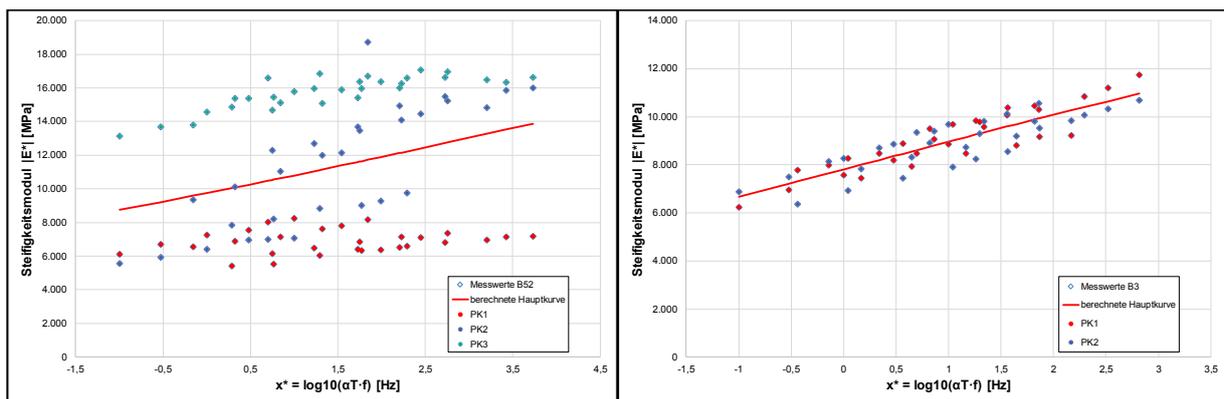


Bild 4-67: Messwerte und berechnete Hauptkurve der KRC-Schicht von der B52 (links) und der B3 (rechts)

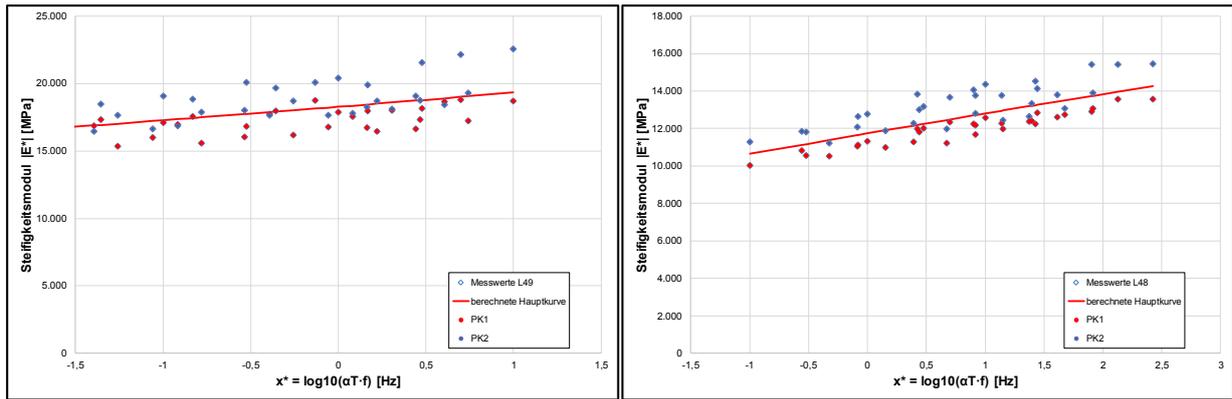


Bild 4-68: Messwerte und berechnete Hauptkurve der KRC-Schicht von der L49 (links) und der L48 (rechts)

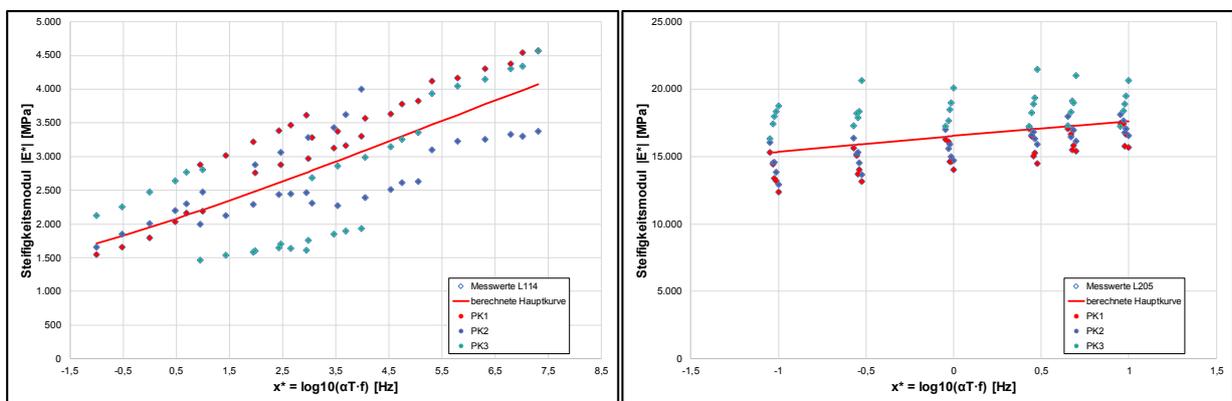


Bild 4-69: Messwerte und berechnete Hauptkurve der KRC-Schicht von der L114 (links) und der L205 (rechts)

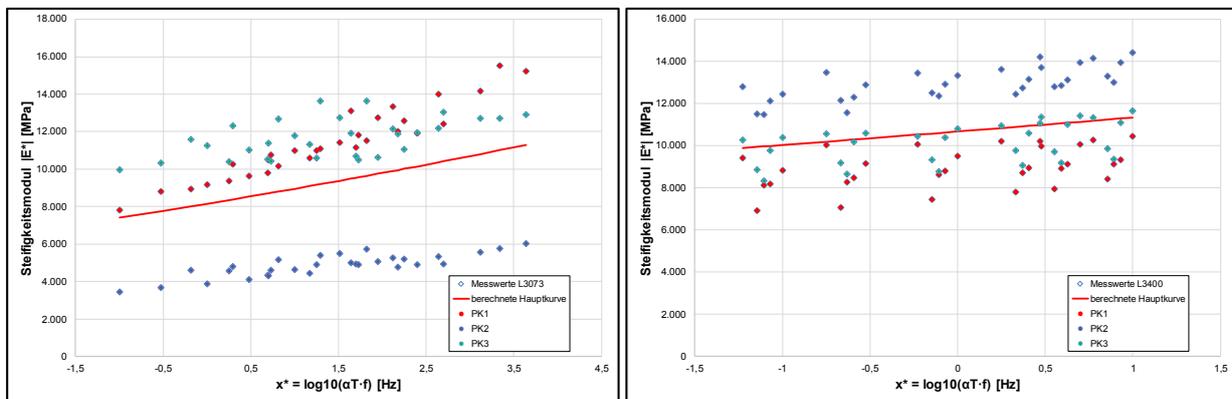


Bild 4-70: Messwerte und berechnete Hauptkurve der KRC-Schicht von der L3073 (links) und der L3400 (rechts)

Bei diesen Darstellungen fallen die Messwerte der Strecken B52 und L3073 (Bild 4-67 (links) und Bild 4-70 (rechts)) deutlich auf, hier liegen die Ergebnisse der einzelnen Bohrkernproben deutlich voneinander getrennt. Diese Steifigkeitsunterschiede können durch inhomogene Eigenschaften in der Schicht oder in vorhandenen Schädigungen einzelner Bohrkernproben begründet werden. Trotz dieser großen Ergebnisstreuung werden die vorhandenen Messwerte zur Ermittlung einer gemeinsamen Steifigkeits-Hauptkurve berücksichtigt. Für den Ausschluss der Messergebnisse einzelner Probekörper fehlt dabei die systematische Grundlage. Für eine umfassende statistische Bewertung der Streubereiche sowie Ableitung verschiedener Hauptkurven aus den Versuchsreihen wäre eine größere Anzahl von untersuchten Probekörpern erforderlich. Unter Berücksichtigung einer größeren Probekörperzahl wäre die Entwicklung von statistischen Modellen möglich, die dann auch probabilistische Anwendungen im Rahmen von Dimensionierungs- und Nutzungsdauerrechnungen ermöglichen würde.

Bei den Messwerten der L205 in Bild 4-69 (rechts) ist deutlich die nicht vorhandene Temperaturabhängigkeit zu erkennen. Trotzdem wurden diese Hauptkurven in Bild 4-71/Bild 4-72 für eine vergleichende Darstellung der zehn KRC-Schichten verwendet. Der Vergleich der konventionellen Asphalt-schichten ist im Anhang dargestellt.

Zum Vergleich der an Bohrkernproben aus den zehn Strecken sind die exemplarisch bei 5 °C und 10 Hz gemessenen Steifigkeitsmoduln in Bild 4-70 dargestellt. Zunächst ist an den Proben aus den Strecken B52 und L3073 die großen Streuweiten der Steifigkeitsmesswerte zu erkennen. Insgesamt weisen alle Strecken, bei denen drei Bohrkernproben geprüft werden konnten, hohe Streuweiten der Steifigkeitsmoduln auf, die zu Variationskoeffizienten zwischen 9,3 % und 46,6 % führen. Lediglich bei den Proben aus Strecken A30 (FR O), B3, L49 und L48 können relativ dicht beieinander liegende Messwerte erkannt werden. Hier waren allerdings auch nur zwei der vorgesehenen drei Probekörper prüfbar, während ein dritter Probekörper aufgrund von Vorschäden nicht untersucht werden konnte.

Die Mittelwerte der Steifigkeitsmoduln spreizen erheblich zwischen 3.078 MPa (L114) und 18.563 MPa (L49), was die große Variabilität der Steifigkeiten von KRC-Baustoffen aufzeigt. In Bild 4-70 ist dieser Vergleich anhand der berechneten Hauptkurven dargestellt. In Bild 4-71 folgen die aus diesen Hauptkurven berechneten Steifigkeits-Temperaturfunktionen für 10 Hz und einer Referenztemperatur von 20 °C.

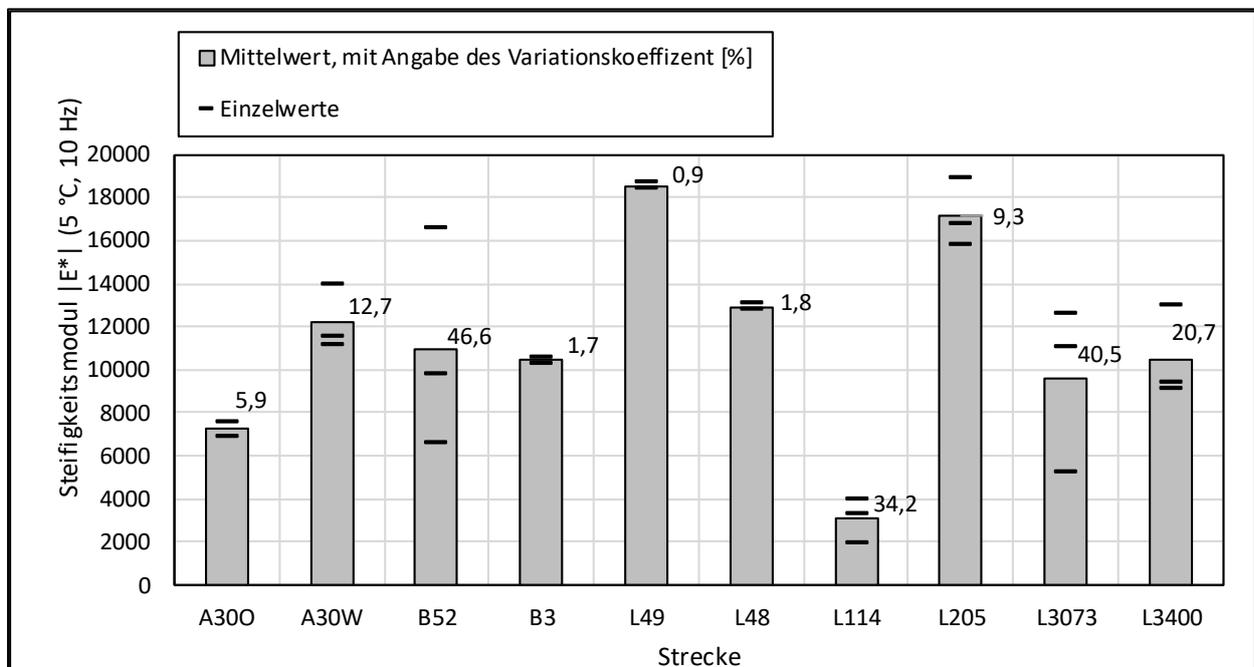


Bild 4-71: An KRC-Proben aus den 10 Untersuchungsstrecken gemessene Steifigkeitsmoduln (Einzelwerte und Mittelwerte mit Angabe der Variationskoeffizienten)

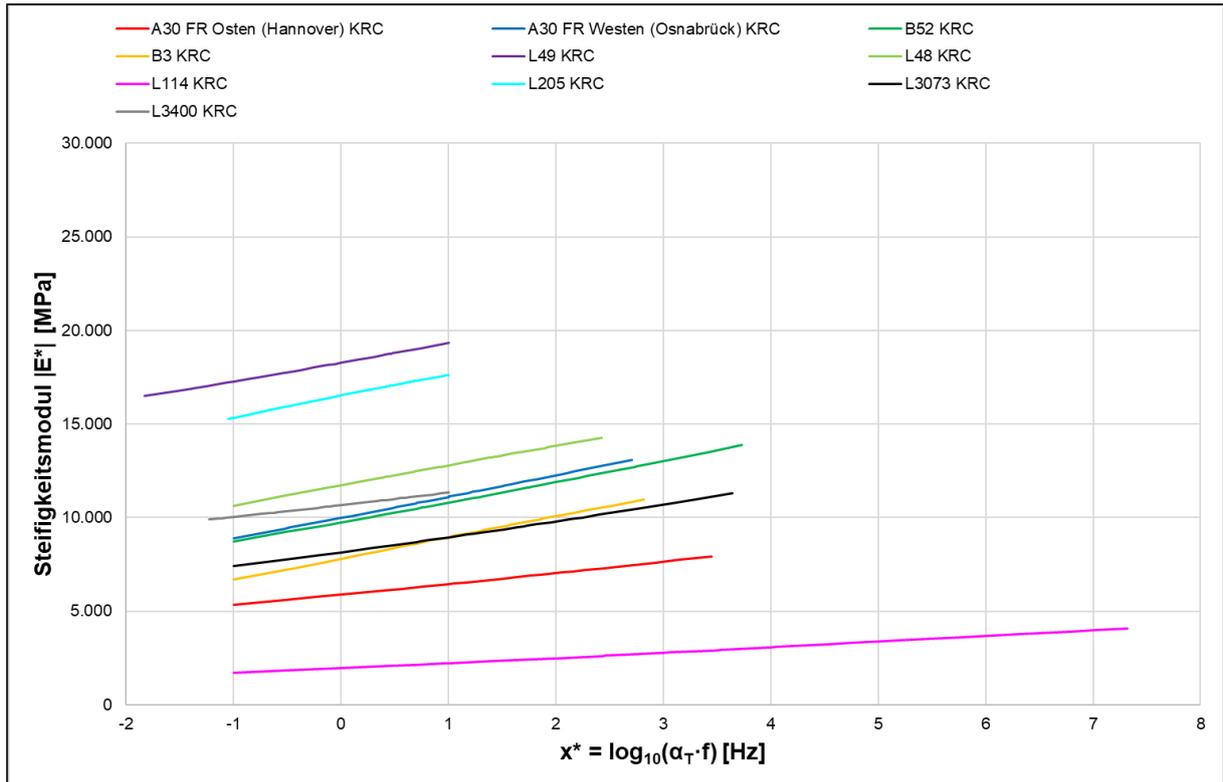


Bild 4-72: Alle Hauptkurven der KRC-Schichten der untersuchten Praxisstrecken

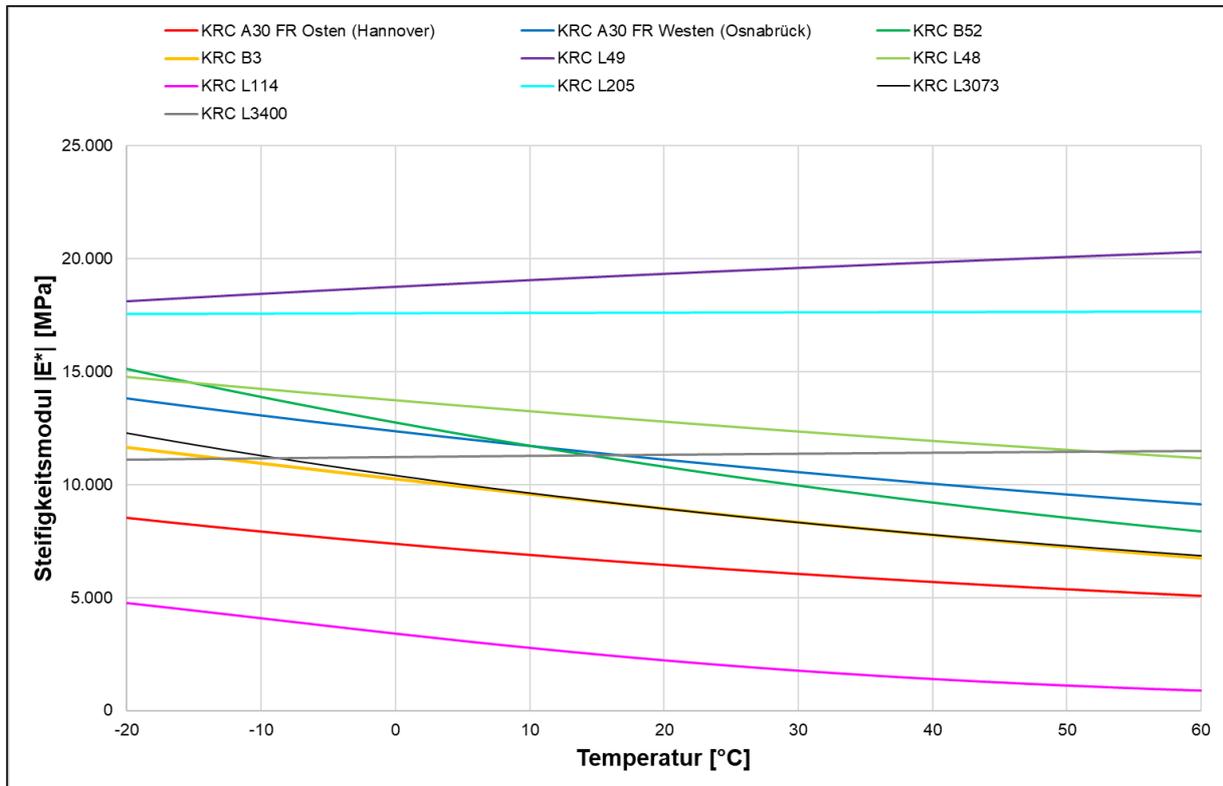


Bild 4-73: Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktionen der KRC-Schichten berechnet aus den Hauptkurven für 20°C und 10 Hz

In den Bildern 4-74 bis 4-83 sind für den Vergleich zum Heißasphalt die Hauptkurven der KRC-Schichten zusammen mit denen der anderen gebundenen Schichten, streckenweise dargestellt. Hierbei wird deutlich, dass keine der zehn KRC-Schichten eine Hauptkurve mit dem für Asphalt typischen Verlauf einer Sigmoidfunktion aufweist. In Tabelle 4-22 sind die Parameter aller Hauptkurven zusammengefasst, wobei nicht plausible Werte kursiv dargestellt sind.

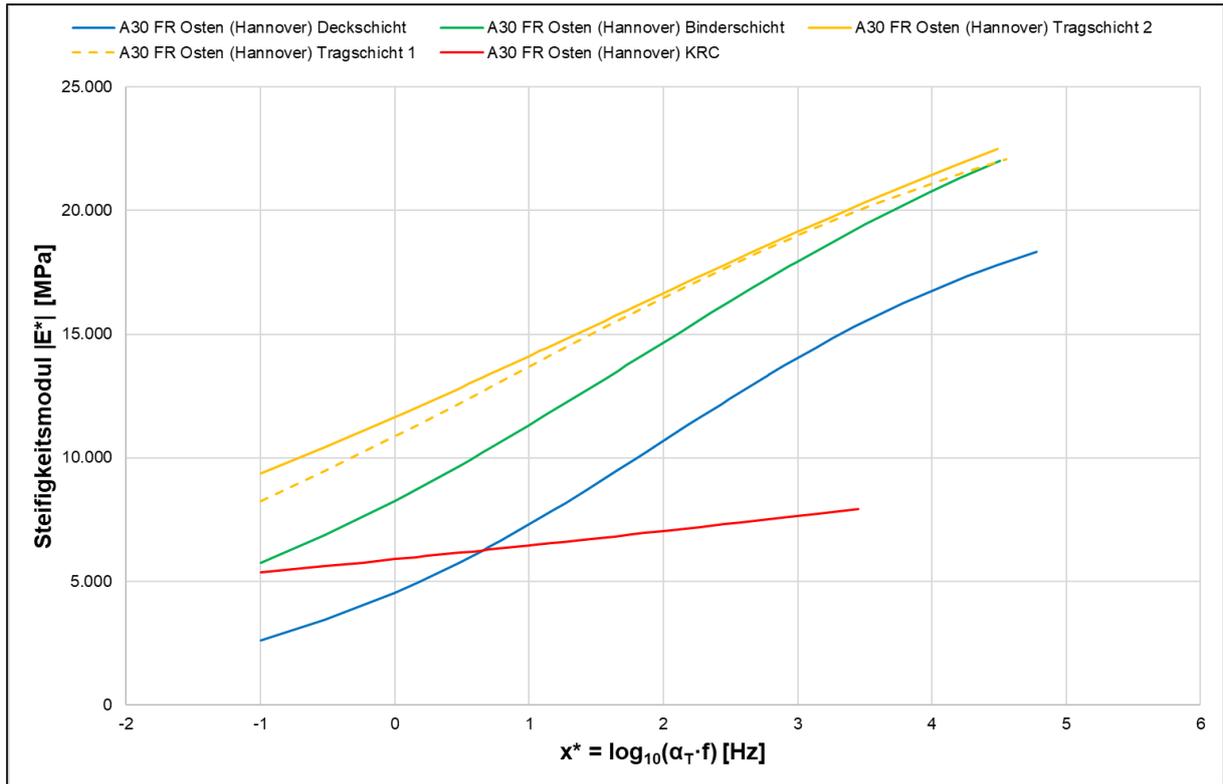


Bild 4-74: Hauptkurven aller Schichten der Strecke A30 FR Osten (Hannover)

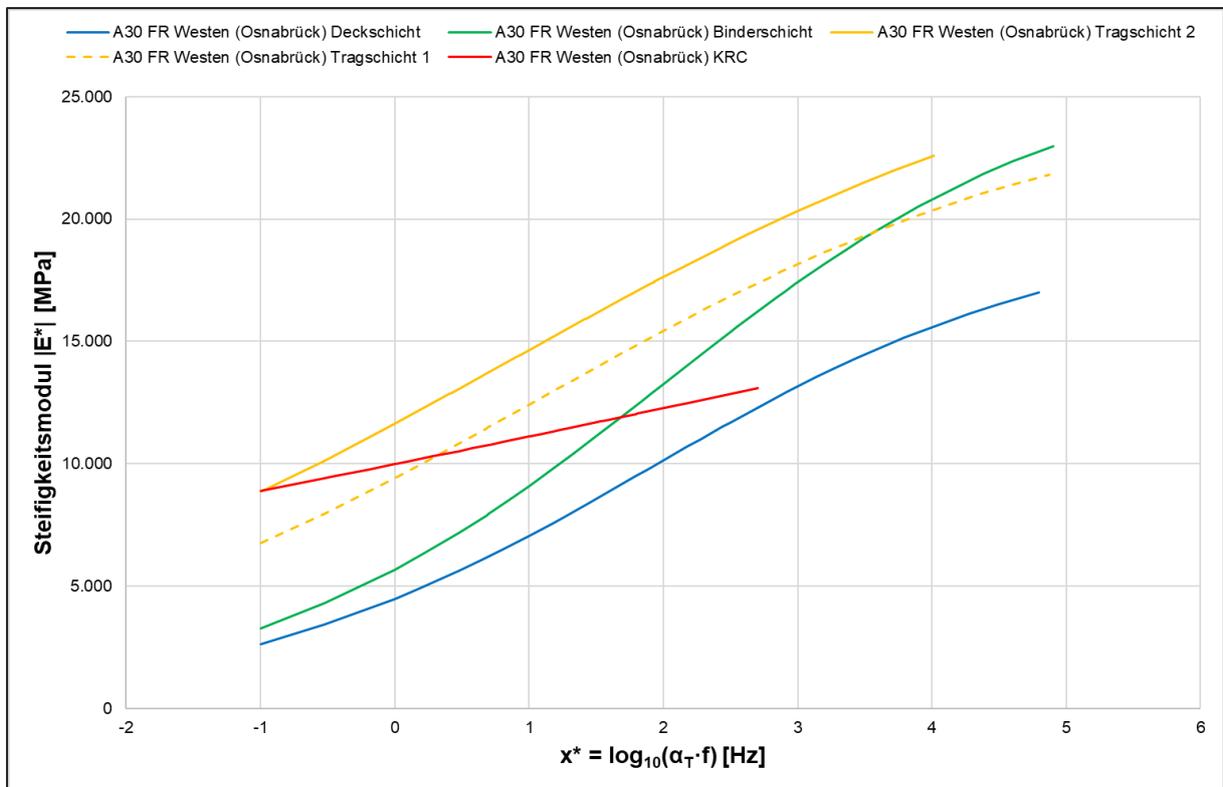


Bild 4-75: Hauptkurven aller Schichten der Strecke A30 FR Westen (Osnabrück)

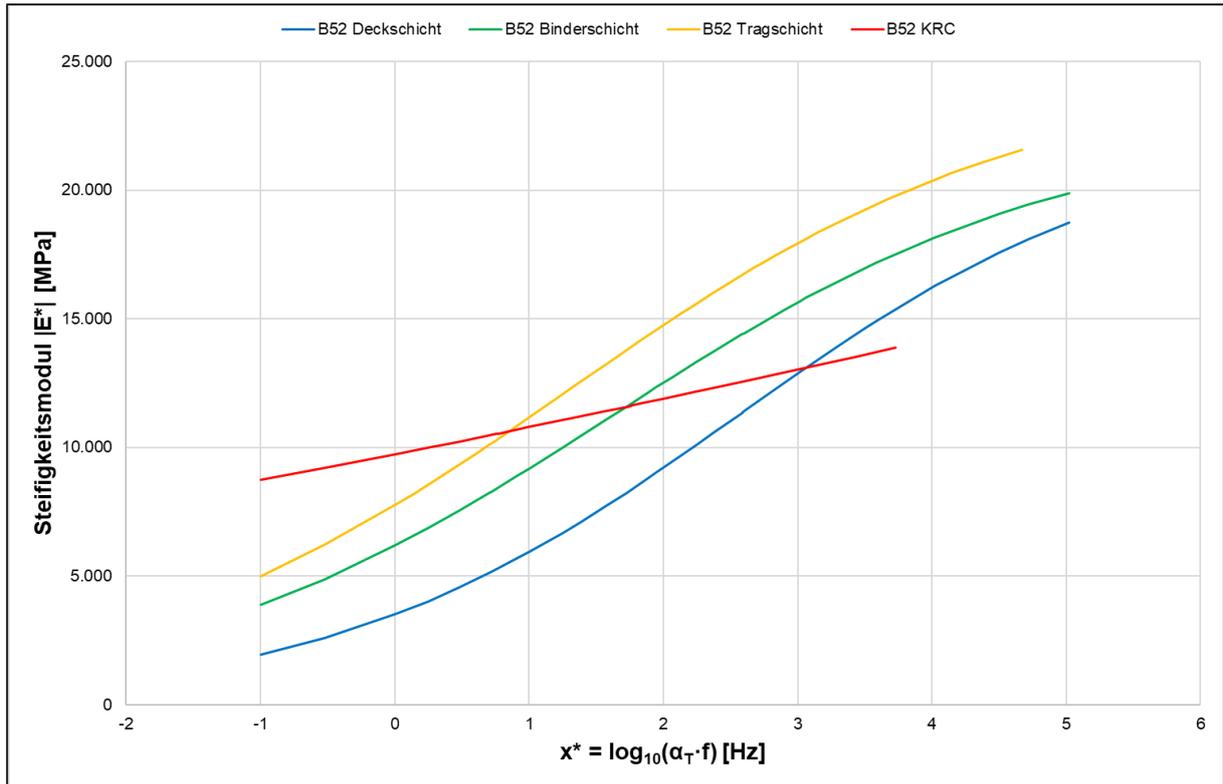


Bild 4-76: Hauptkurven aller Schichten der Strecke B52

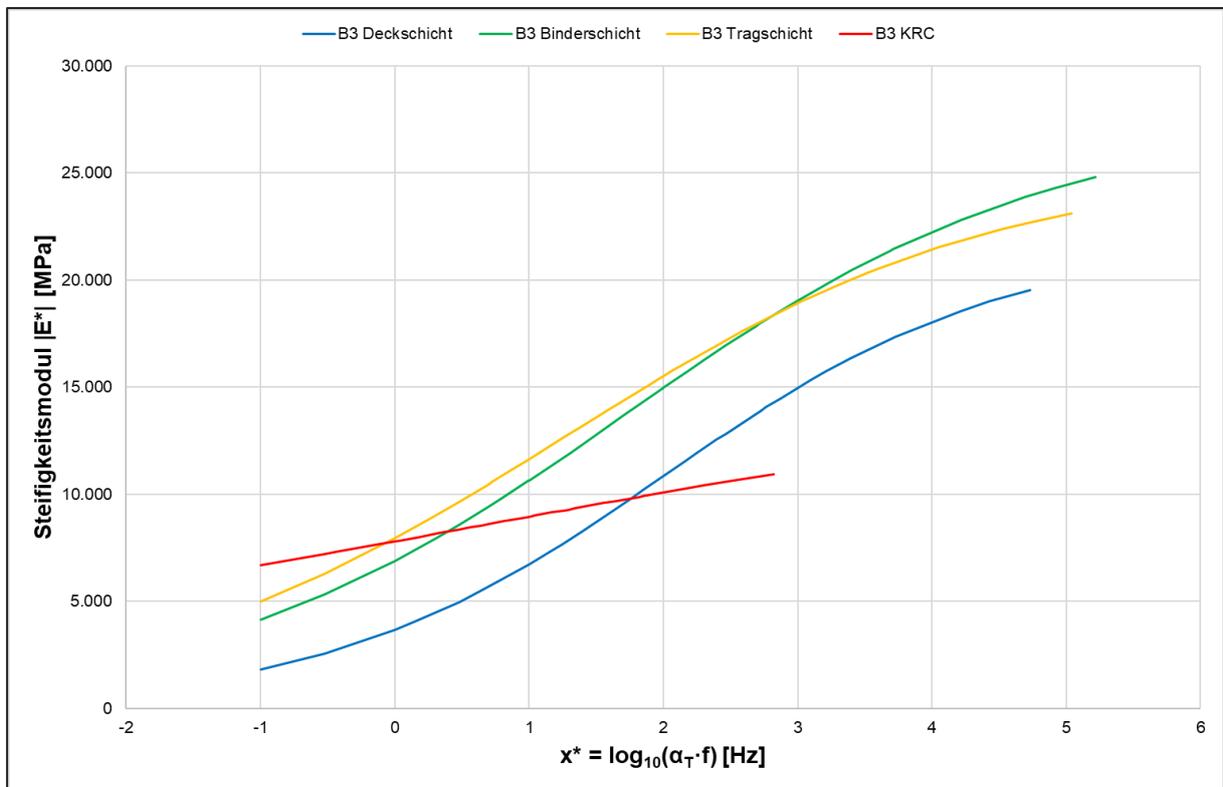


Bild 4-77: Hauptkurven aller Schichten der Strecke B3

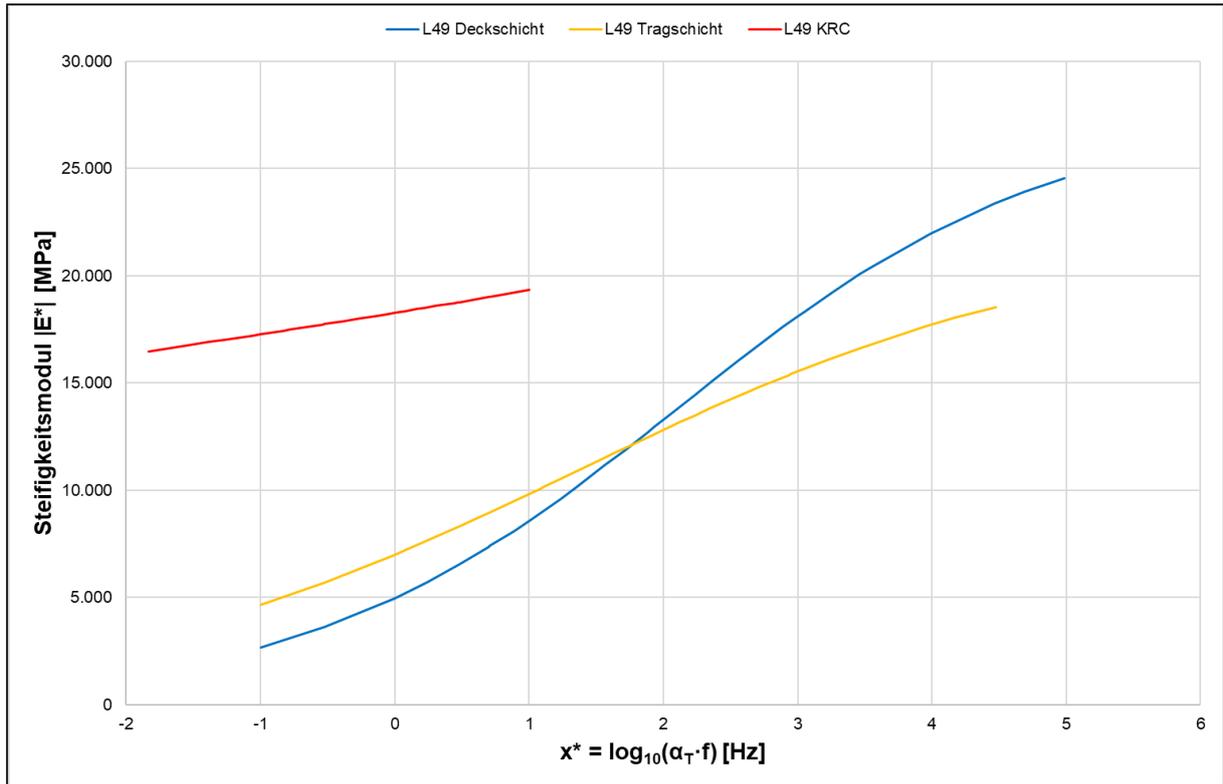


Bild 4-78: Hauptkurven aller Schichten der Strecke L49

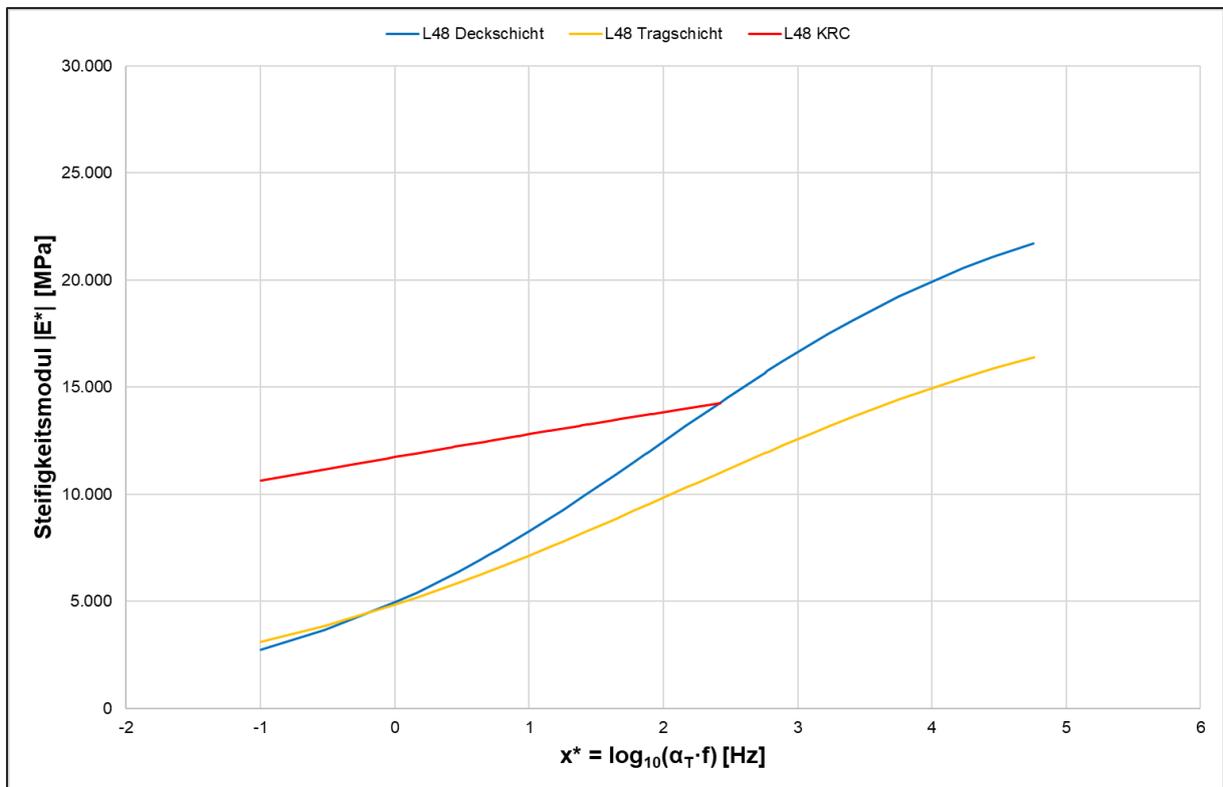


Bild 4-79: Hauptkurven aller Schichten der Strecke L48

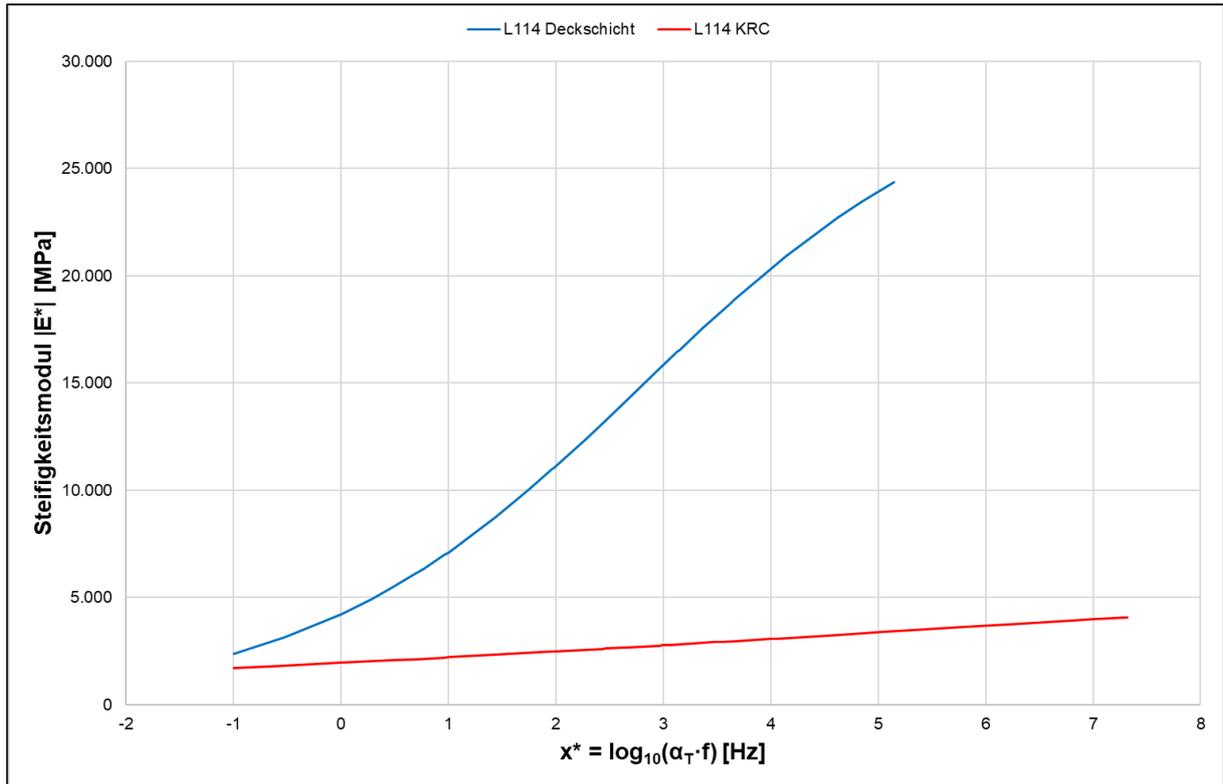


Bild 4-80: Hauptkurven aller Schichten der Strecke L114

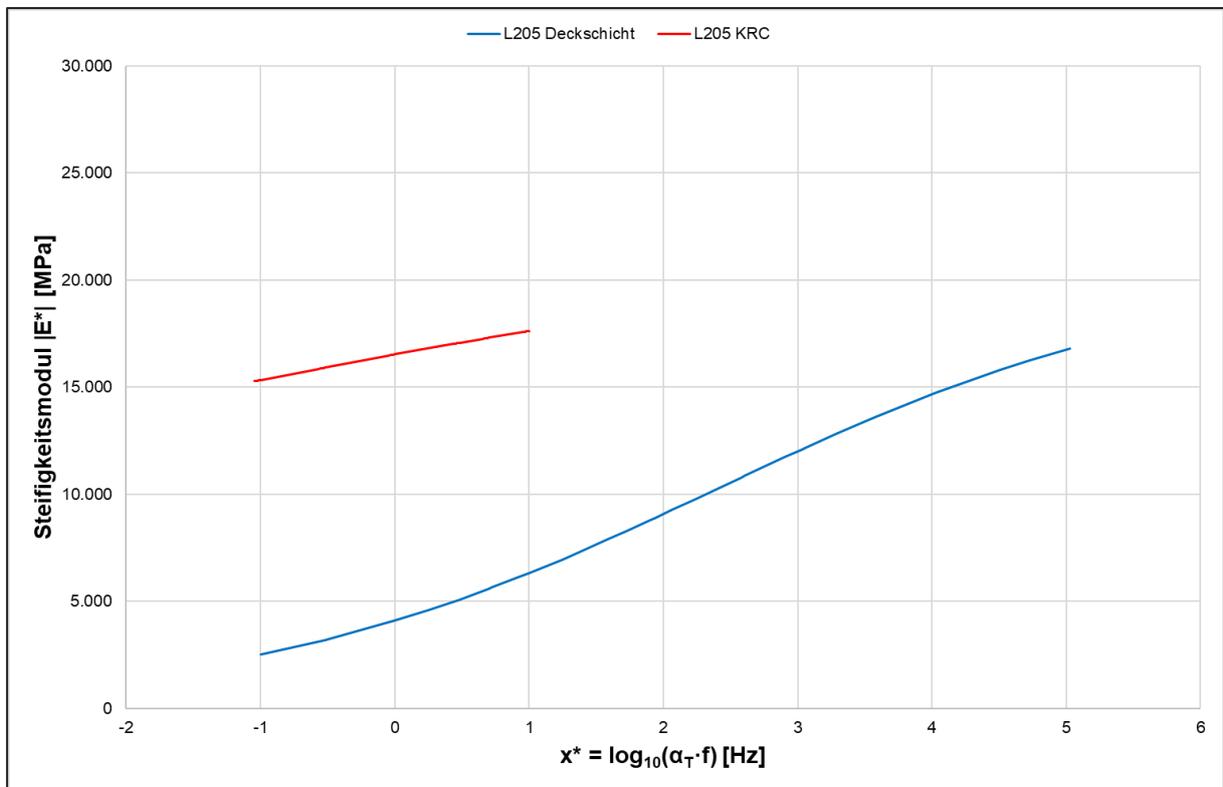


Bild 4-81: Hauptkurven aller Schichten der Strecke L205

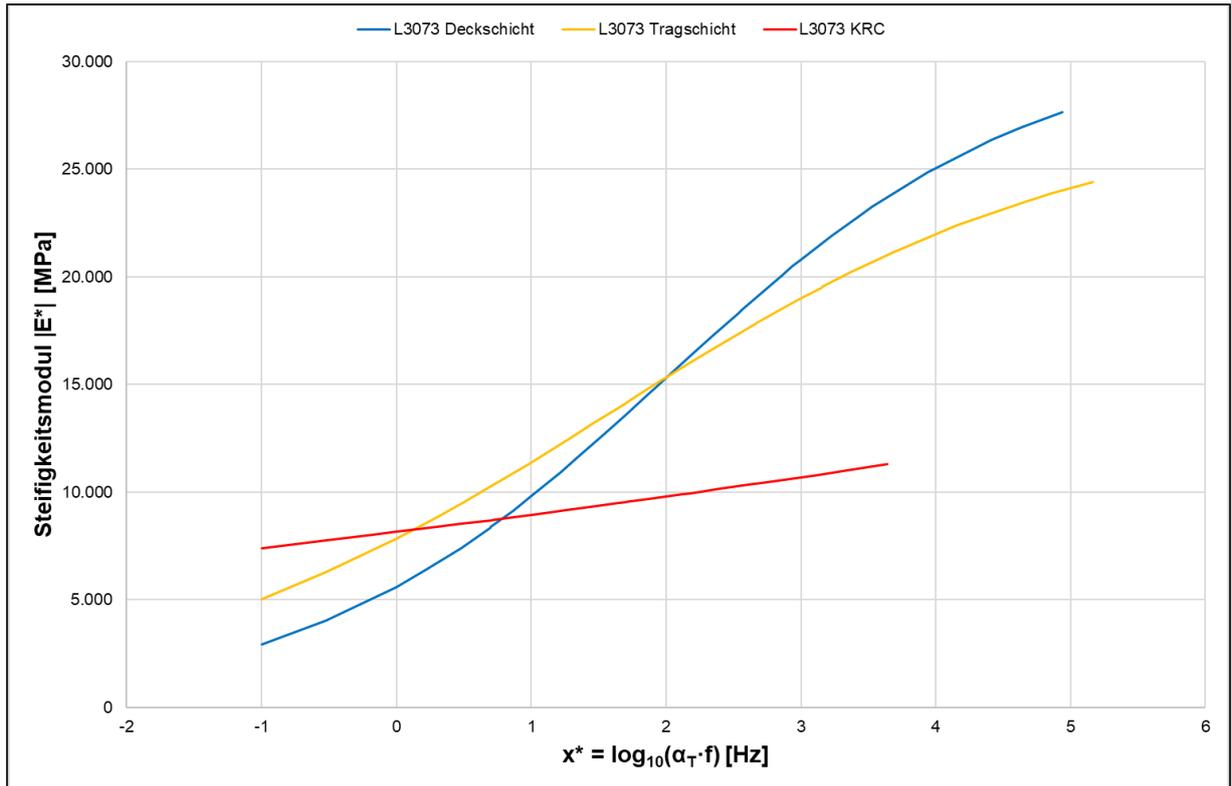


Bild 4-82: Hauptkurven aller Schichten der Strecke L3073

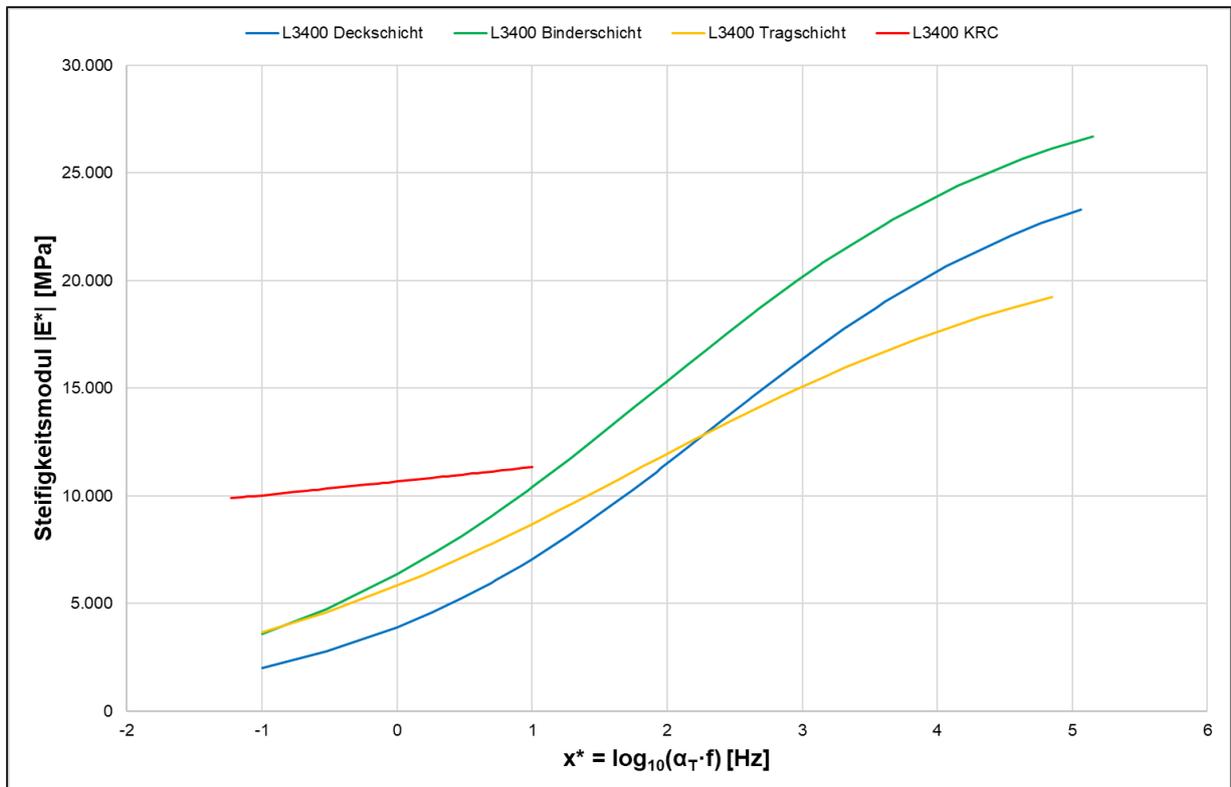


Bild 4-83: Hauptkurven aller Schichten der Strecke L3400

Alle Steifigkeits-Hauptkurven der KRC-Schichten decken im Vergleich zu jenen der konventionellen Asphalt-schichten einen erheblich kleineren Teil der korrigierten Frequenzen (x^*) ab. Dies zeigt, dass eine deutlich geringere Temperaturabhängigkeit besteht, die über den Parameter ϕ (vgl. Tabelle 4.22) bei

Anwendung des Temperatur-Frequenz-Äquivalenzprinzips in die Berechnung der Hauptkurven eingeht. Die Frequenzabhängigkeit selbst wird durch den Hauptkurven-Parameter z_1 abgebildet. Auch dieser weist für die KRC-Schichten geringere Beträge auf als für die konventionellen Asphalttschichten. Insbesondere bei den KRC-Schichten aus den Befestigungen der L49, L205 und L3400 zeigt sich keine oder nur eine sehr geringe Temperaturabhängigkeit des Steifigkeitsmoduls, sodass für die Erstellung der Hauptkurven nur eine geringe temperaturabhängige Frequenzverschiebung erforderlich ist und die korrigierten Frequenzen x^* weiterhin im Bereich der Prüffrequenzen zwischen 0,1 und 10 Hz (entspr. 10^{-1} bis 10^1) liegen.

Strecke	Schicht	z_0	z_1	R^2	φ	$ E^* _{+\infty}$
		[-]	[-]	[-]	[-]	[MPa]
A30 FR Osten (Hannover)	Asphaltdeckschicht	1,303	-0,658	0,96	22.392	21.223
	Asphaltbinderschicht	0,872	-0,483	0,92	20.742	28.001
	Asphalttragschicht 2	0,522	-0,326	0,89	20.658	31.276
	Asphalttragschicht 1	0,376	-0,427	0,97	21.041	26.668
	KRC-Schicht	0,948	-0,128	0,59	14.499	21.086
A30 FR Westen (Osnabrück)	Asphaltdeckschicht	1,220	-0,642	0,98	22.483	19.648
	Asphaltbinderschicht	1,299	-0,652	0,97	23.106	26.433
	Asphalttragschicht 2	0,370	-0,427	0,88	17.839	28.480
	Asphalttragschicht 1	0,520	-0,486	0,83	22.924	25.259
	KRC-Schicht	0,411	-0,185	0,52	10.092	25.056
B52	Asphaltdeckschicht	1,681	-0,661	0,98	23.808	22.376
	Asphaltbinderschicht	0,969	-0,599	0,96	23.817	22.457
	Asphalttragschicht	0,768	-0,593	0,95	21.755	24.465
	KRC-Schicht	0,754	-0,155	0,09	16.155	30.448
B3	Asphaltdeckschicht	1,598	-0,795	0,99	22.089	21.784
	Asphaltbinderschicht	1,095	-0,637	0,99	24.979	27.476
	Asphalttragschicht	0,784	-0,622	0,93	23.931	25.335
	KRC-Schicht	0,118	-0,277	0,77	10.777	16.599
L49	Asphaltdeckschicht	1,517	-0,720	0,99	23.613	27.657
	Asphalttragschicht	0,755	-0,551	0,87	20.591	21.883
	<i>KRC-Schicht</i>	4,198	-0,057	0,26	-4.931	1.234.652
L48	Asphaltdeckschicht	1,394	-0,699	0,99	22.236	24.875
	Asphalttragschicht	1,152	-0,553	0,89	22.253	20.144
	KRC-Schicht	-0,189	-0,204	0,54	8.445	21.453
L114	Asphaltdeckschicht	1,800	-0,642	0,93	24.553	29.766
	KRC-Schicht	0,907	-0,179	0,55	37.405	6.789
L205	Asphaltdeckschicht	1,380	-0,578	0,97	23.848	20.442
	<i>KRC-Schicht</i>	-0,834	-0,229	0,15	-280	23.712
L3073	Asphaltdeckschicht	1,504	-0,747	0,98	23.307	30.752
	Asphalttragschicht	0,925	-0,573	0,97	24.653	27.608
	KRC-Schicht	1,298	-0,120	0,07	15.640	38.026
L3400	Asphaltdeckschicht	1,751	-0,748	0,99	24.075	26.350
	Asphaltbinderschicht	1,296	-0,687	0,97	24.576	29.549
	Asphalttragschicht	1,040	-0,591	0,93	22.782	22.328
	<i>KRC-Schicht</i>	2,300	-0,067	0,06	-1.343	117.048

Die rot markierten Werte sind aufgrund der sehr schlechten Bestimmtheitsmaße (durch Ausreißer beeinflusst) als nicht valide einzuordnen.

Tab. 4-22: Parameter der Hauptkurven

4.2.3 Spaltzugfestigkeit gemäß M KRC

Die Bestimmung der Spaltzugfestigkeit gemäß [M KRC, 2005] erfolgte an zwei bis drei Probekörpern, welche nach der Untersuchung gemäß [TP Asphalt-StB, Teil 26, 2018] keine offensichtliche Schäden aufwiesen. Die Einzelwerte sowie der Mittelwert der Spaltzugfestigkeit, der Bruchdehnung und des Elastizitätsmoduls sind zusammen mit der Trockendichte und der Höhe der Probekörper in den Tabellen Tab. 4-23 bis Tab. 4-32 streckenweise zusammengefasst. Nicht plausible Werte werden ausgeklammert und kursiv geschrieben sowie bei der Berechnung des Mittelwertes nicht berücksichtigt.

Strecke:			A30 FR Osten (Hannover)		
Probekörper:			1-6	2-2	Ø
Spaltzugfestigkeit	β_{SZ}	[N/mm ²]	0,950	0,353	0,651
Bruchdehnung	ε_{SZ}	[%]	0,258	3,462	1,860
Elastizitätsmodul	E_{SZ}	[N/mm ²]	22.734	(2.846)	22.734
Trockendichte	ρ_d	[g/cm ³]	2,016	1,922	
Probekörper Höhe	h	[mm]	89,1	90,1	

Tab. 4-23: Spaltzugfestigkeit bei 5 °C der KRC-Schicht der Strecke A30 FR Osten (Hannover)

Strecke:			A30 FR Westen (Osnabrück)		
Probekörper:			2-4	3-5	Ø
Spaltzugfestigkeit	β_{SZ}	[N/mm ²]	1,116	1,072	1,094
Bruchdehnung	ε_{SZ}	[%]	1,521	0,405	0,963
Elastizitätsmodul	E_{SZ}	[N/mm ²]	35.333	26.550	30.941
Trockendichte	ρ_d	[g/cm ³]	1,966	2,113	
Probekörper Höhe	h	[mm]	92,3	89,6	

Tab. 4-24: Spaltzugfestigkeit bei 5 °C der KRC-Schicht der Strecke A30 FR Westen (Osnabrück)

Strecke:			B52			
Probekörper:			2-A	3-A	4-A	Ø
Spaltzugfestigkeit	β_{SZ}	[N/mm ²]	0,799	1,407	1,709	1,305
Bruchdehnung	ε_{SZ}	[%]	0,468	1,060	0,512	0,680
Elastizitätsmodul	E_{SZ}	[N/mm ²]	(540.418)	12.499	40.449	26.474
Trockendichte	ρ_d	[g/cm ³]	2,150	2,178	2,208	
Probekörper Höhe	h	[mm]	78,8	90,5	85,7	

Tab. 4-25: Spaltzugfestigkeit bei 5 °C der KRC-Schicht der Strecke B52

Strecke:			B3		
Probekörper:			2-4	2-5	Ø
Spaltzugfestigkeit	β_{SZ}	[N/mm ²]	1,027	1,149	1,088
Bruchdehnung	ε_{SZ}	[%]	0,433	0,908	0,670
Elastizitätsmodul	E_{SZ}	[N/mm ²]	21.440	22.735	22.087
Trockendichte	ρ_d	[g/cm ³]	2,215	2,203	
Probekörper Höhe	h	[mm]	90,3	92,0	

Tab. 4-26: Spaltzugfestigkeit bei 5 °C der KRC-Schicht der Strecke B3

Strecke:			L49		
Probekörper:			2-A	2-B	Ø
Spaltzugfestigkeit	β_{sz}	[N/mm ²]	1,481	1,520	1,501
Bruchdehnung	ϵ_{sz}	[%]	0,639	0,350	0,495
Elastizitätsmodul	E_{sz}	[N/mm ²]	43.015	(411.254)	43.015
Trockendichte	ρ_d	[g/cm ³]	2,269	2,312	
Probekörper Höhe	h	[mm]	90,1	90,3	

Tab. 4-27: Spaltzugfestigkeit bei 5 °C der KRC-Schicht der Strecke L49

Strecke:			L48			
Probekörper:			2-C	3-D	3-E	Ø
Spaltzugfestigkeit	β_{sz}	[N/mm ²]	0,980	0,980	1,666	1,208
Bruchdehnung	ϵ_{sz}	[%]	0,366	0,648	0,654	0,556
Elastizitätsmodul	E_{sz}	[N/mm ²]	31.047	37.079	26.006	31.378
Trockendichte	ρ_d	[g/cm ³]	2,148	2,216	2,305	
Probekörper Höhe	h	[mm]	89,2	88,8	79,0	

Tab. 4-28: Spaltzugfestigkeit bei 5 °C der KRC-Schicht der Strecke L48

Strecke:			L114			
Probekörper:			1-F	2-B	3-F	Ø
Spaltzugfestigkeit	β_{sz}	[N/mm ²]	0,483	0,739	0,550	0,591
Bruchdehnung	ϵ_{sz}	[%]	1,219	2,055	1,750	1,675
Elastizitätsmodul	E_{sz}	[N/mm ²]	7.558	9.317	2.200	6.358
Trockendichte	ρ_d	[g/cm ³]	2,145	2,203	2,026	
Probekörper Höhe	h	[mm]	90,0	81,0	90,2	

Tab. 4-29: Spaltzugfestigkeit bei 5 °C der KRC-Schicht der Strecke L114

Strecke:			L205		
Probekörper:			2-5	3-5	Ø
Spaltzugfestigkeit	β_{sz}	[N/mm ²]	1,700	1,651	1,676
Bruchdehnung	ϵ_{sz}	[%]	0,276	0,537	0,406
Elastizitätsmodul	E_{sz}	[N/mm ²]	40.212	43.726	41.969
Trockendichte	ρ_d	[g/cm ³]	2,138	2,145	
Probekörper Höhe	h	[mm]	89,6	89,7	

Tab. 4-30: Spaltzugfestigkeit bei 5 °C der KRC-Schicht der Strecke L205

Strecke:			L3073		
Probekörper:			2-2	3-4	Ø
Spaltzugfestigkeit	β_{sz}	[N/mm ²]	1,311	0,853	1,082
Bruchdehnung	ϵ_{sz}	[%]	1,029	0,727	0,878
Elastizitätsmodul	E_{sz}	[N/mm ²]	26.251	37.501	31.867
Trockendichte	ρ_d	[g/cm ³]	2,244	2,247	
Probekörper Höhe	h	[mm]	88,9	89,5	

Tab. 4-31: Spaltzugfestigkeit bei 5 °C der KRC-Schicht der Strecke L3073

Strecke:			L3400		
Probekörper:			1-2	1-4	Ø
Spaltzugfestigkeit	β_{sz}	[N/mm ²]	0,907	1,072	0,990
Bruchdehnung	ϵ_{sz}	[%]	1,173	0,549	0,861
Elastizitätsmodul	E_{sz}	[N/mm ²]	24.946	27.971	26.458
Trockendichte	ρ_d	[g/cm ³]	2,210	2,208	
Probekörper Höhe	h	[mm]	91,8	90,3	

Tab. 4-32: Spaltzugfestigkeit bei 5 °C der KRC-Schicht der Strecke L3400

Anhand der in Spaltzugversuchen bestimmten E-Moduln und Querdehnzahl klassifiziert [Langhammer, 1998] je nach Bindemitteldominanz in Bitumenbindung (Typ A), bitumen-dominante Bindung (Typ B1), hydraulisch-dominante Bindung (Typ B2) und hydraulische Bindung (Typ C). Werden die in Tab. 2-2 zusammengestellten Kennwertspannen für die verschiedenen KRC-Typen verwendet, so werden mit Ausnahme des Materials aus der L114 allen untersuchten KRC-Schichten einem hydraulischen Bindungstyp zugeordnet, siehe Tab. 4-33. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Einteilung nach Langhammer an im Labor hergestellten und verdichteten Proben nach 28 tägiger Lagerung erfolgte. Offensichtlich kann die Einteilung nicht auf Proben aus langjährig beanspruchten Befestigungen angewendet werden.

Strecke	$E_{sz,tr}$	Typ	$\epsilon_{sz,tr}$	Typ
A30 Ost	22.734	C	0,65	C
A30 West	30.941	C	0,96	C
B 52	26.474	C	0,68	C
B 3	22.087	C	0,67	C
L49	43.015	C	0,50	C
L48	31.378	C	0,56	C
L114	6.358	B2	1,68	B2
L205	41.969	C	0,41	C
L3073	31.867	C	0,88	C
L3400	26.458	C	0,86	C

Tab. 4-33: Aus den Ergebnissen der Spaltzugversuche resultierende Typ-Einteilung des KRC-Materials (nach [Langhammer, 1998])

In Bild 4-84 sind das Elastizitätsmodul E_{sz} und das Steifigkeitsmodul $|E^*|$ der KRC-Schichten gegeneinander der aufgetragen. Die Korrelation der linearen Ausgleichsgeraden ist mit 0,9 sehr gut.

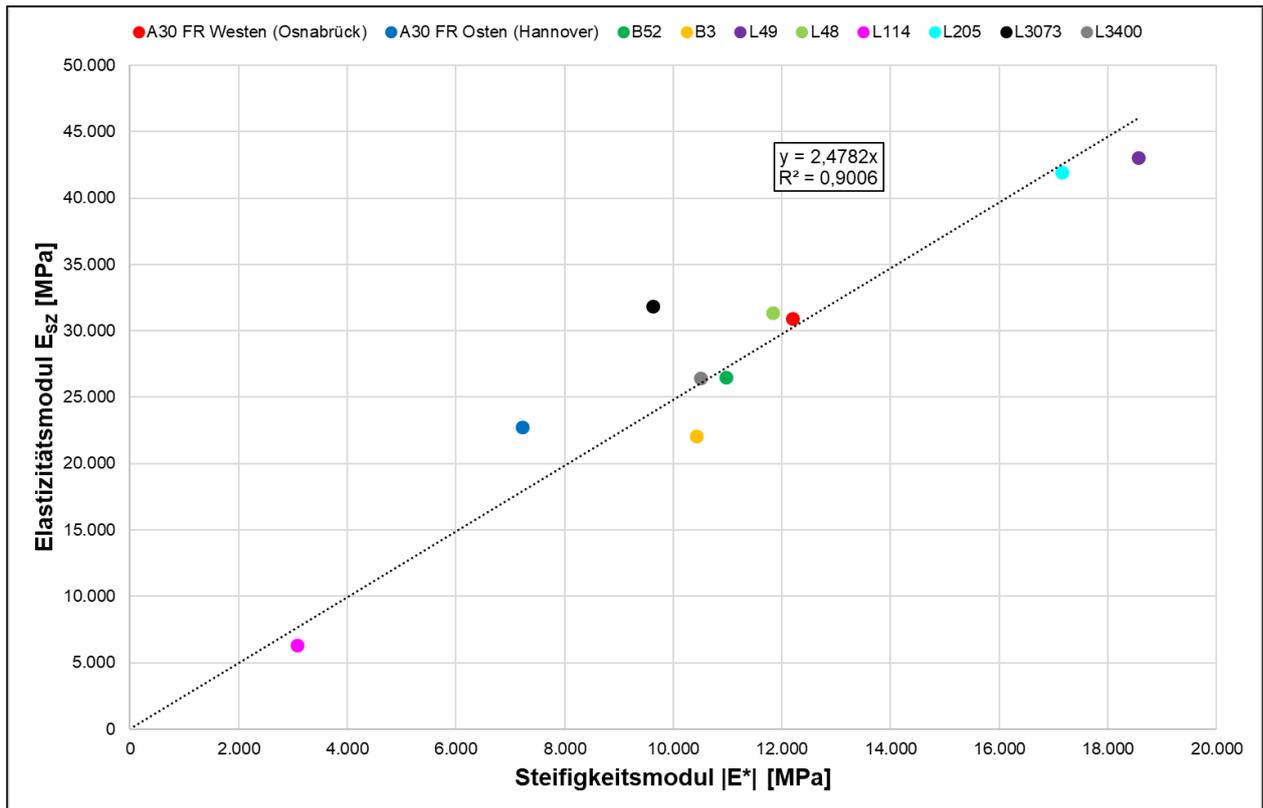


Bild 4-84: Gegenüberstellung der Stifigkeiten bestimmt gemäß [M KRC, 2005] (Tabelle 4-33) und [TP Asphalt-StB, Teil 26, 2018] bei 5 C und 10 Hz (Anhang, Tabellen A-0-12 bis A-0-46)

4.2.4 Ermüdungseigenschaften gemäß TP Asphalt, Teil 24

Die ermittelten Ermüdungsfunktionen der Praxisstrecken können Bild 4-85 bis Bild 4-94 entnommen werden. Tab. 4-34 zeigt die materialspezifischen Parameter der Ermüdungsfunktionen. In Bild 4-95 ist eine Zusammenstellung aller Praxisstrecken gegeben. Neben dem RDO-Kalibrierasphalt ist zudem die Ermüdungsfunktion für eine hydraulisch gebundene Tragschicht (HGT) abgebildet. Aufgrund des fehlenden Schichtenverbundes, wurden auch die Ermüdungseigenschaften der Heißasphalt-Tragschicht beider Praxisstrecken der A30 bestimmt. Die tabellarischen Zusammenstellungen aller Einzelwertmessung je Strecke sind im Anhang aufzufinden. Aufgrund der teilweise hohen Ungleichmäßigkeit der Probekörper (siehe bspw. Bild 4-28) innerhalb einer Strecke wurden die Einzelwerte gemäß [TP Asphalt-StB, Teil 0, 2021] über die Vergleichsstandardabweichung entsprechend bewertet und Ausreißer aussortiert. Die mittlere Abweichung der Messwerte sowie die logarithmische Standardabweichung s_{\log} hierfür wurde nach [Roos et al., 2018] bestimmt.

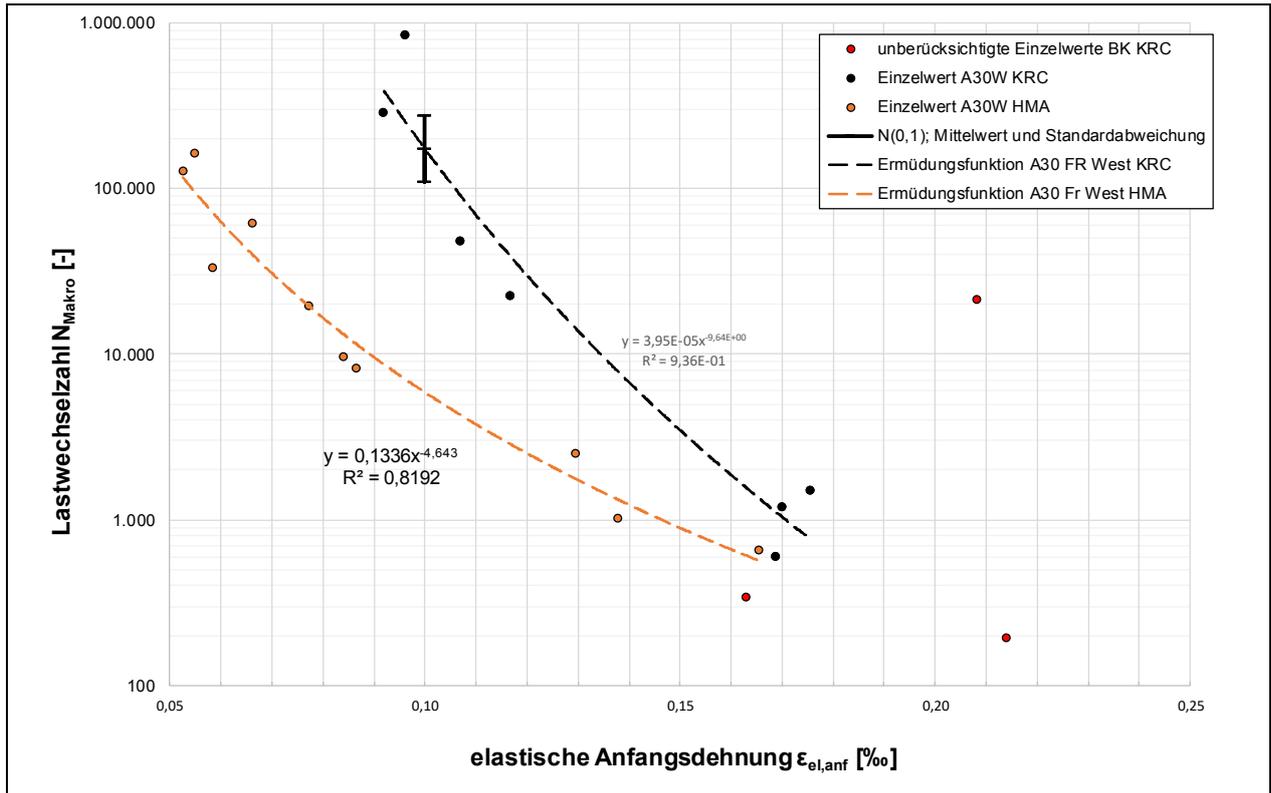


Bild 4-85: Grafische Darstellung der Ermüdungsfunktion und der Einzelwerte gemäß TP Asphalt-StB, Teil 24 der A30 FR West

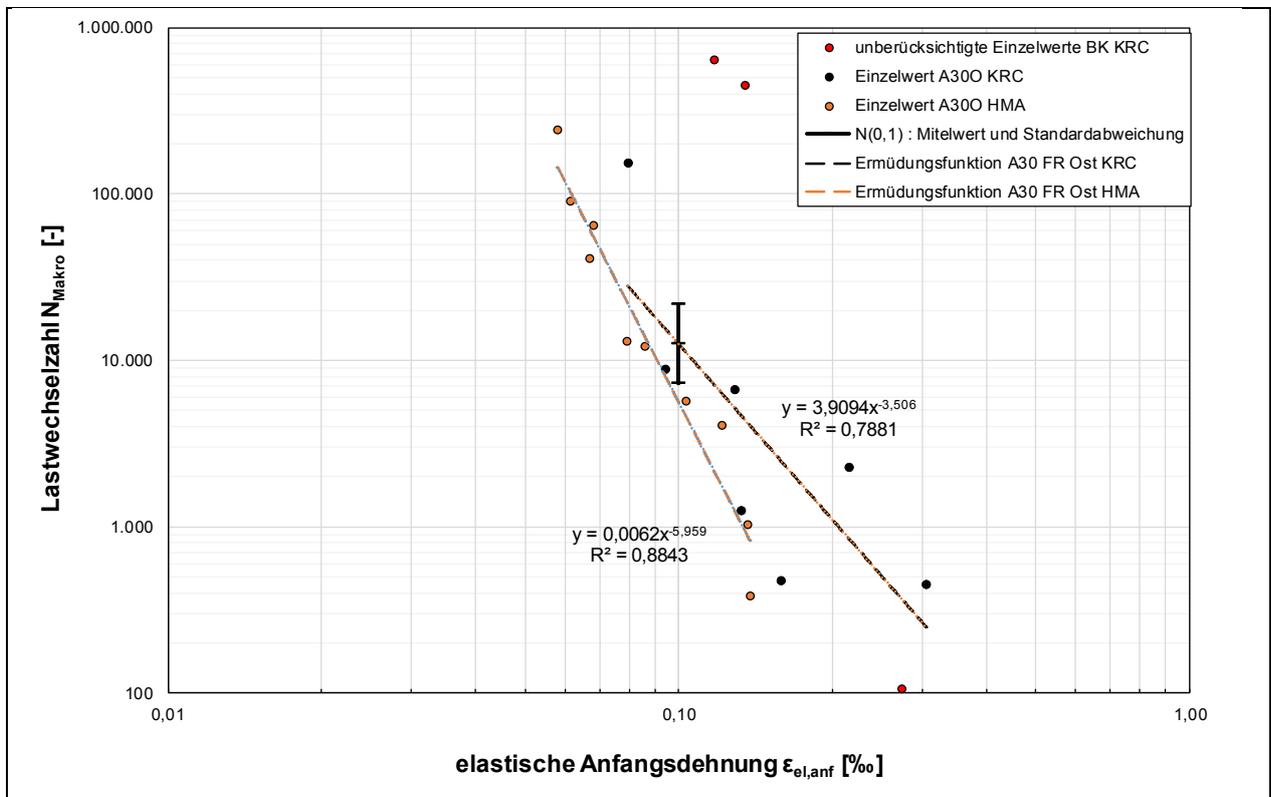


Bild 4-86: Grafische Darstellung der Ermüdungsfunktion und der Einzelwerte gemäß TP Asphalt-StB, Teil 24 der A30 FR Ost

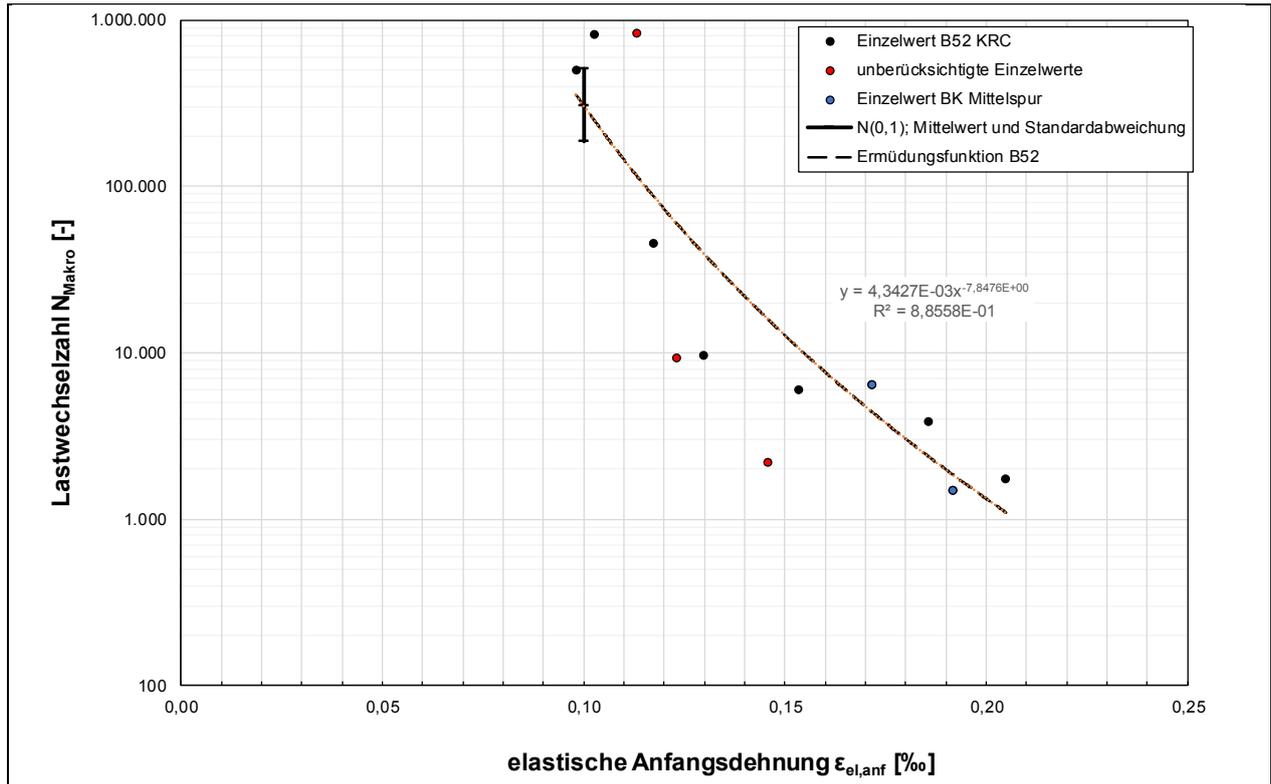


Bild 4-87: Grafische Darstellung der Ermüdungsfunktion und der Einzelwerte gemäß TP Asphalt-StB, Teil 24 der B52

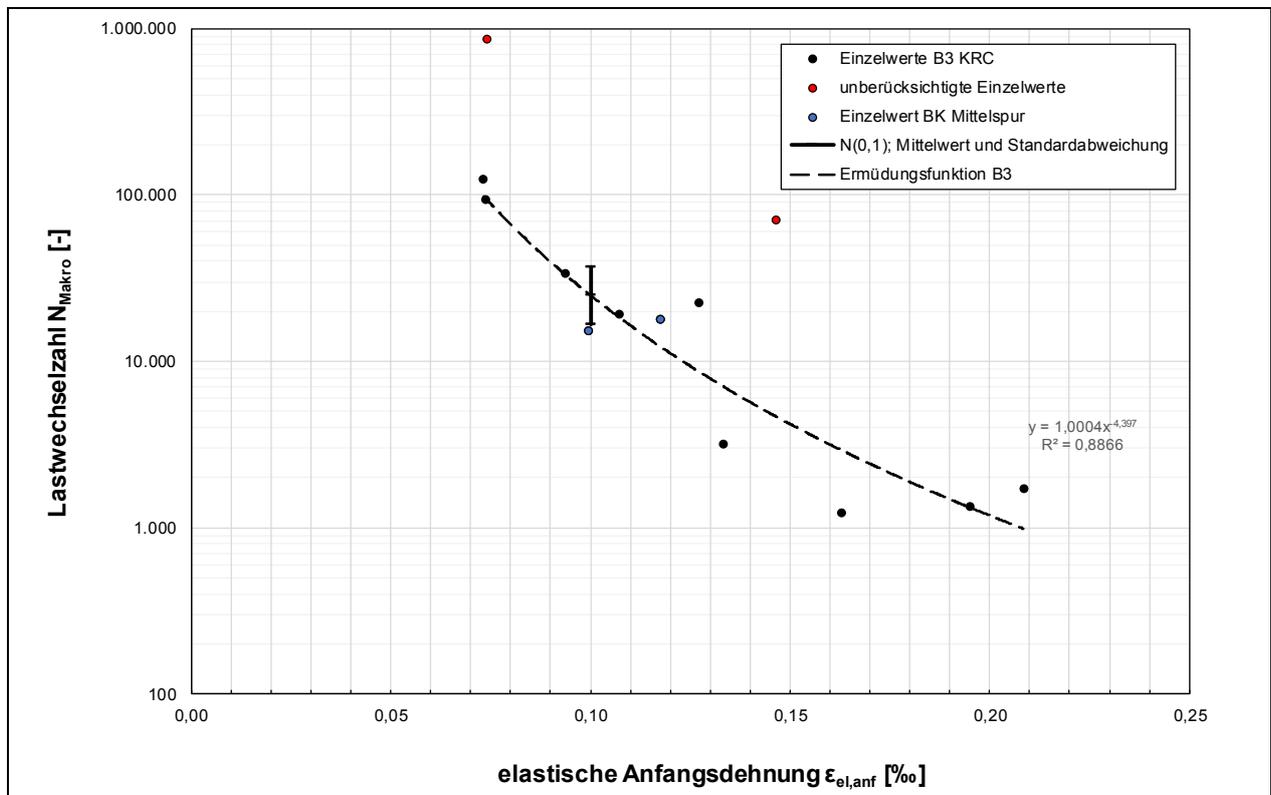


Bild 4-88: Grafische Darstellung der Ermüdungsfunktion und der Einzelwerte gemäß TP Asphalt-StB, Teil 24 der B3

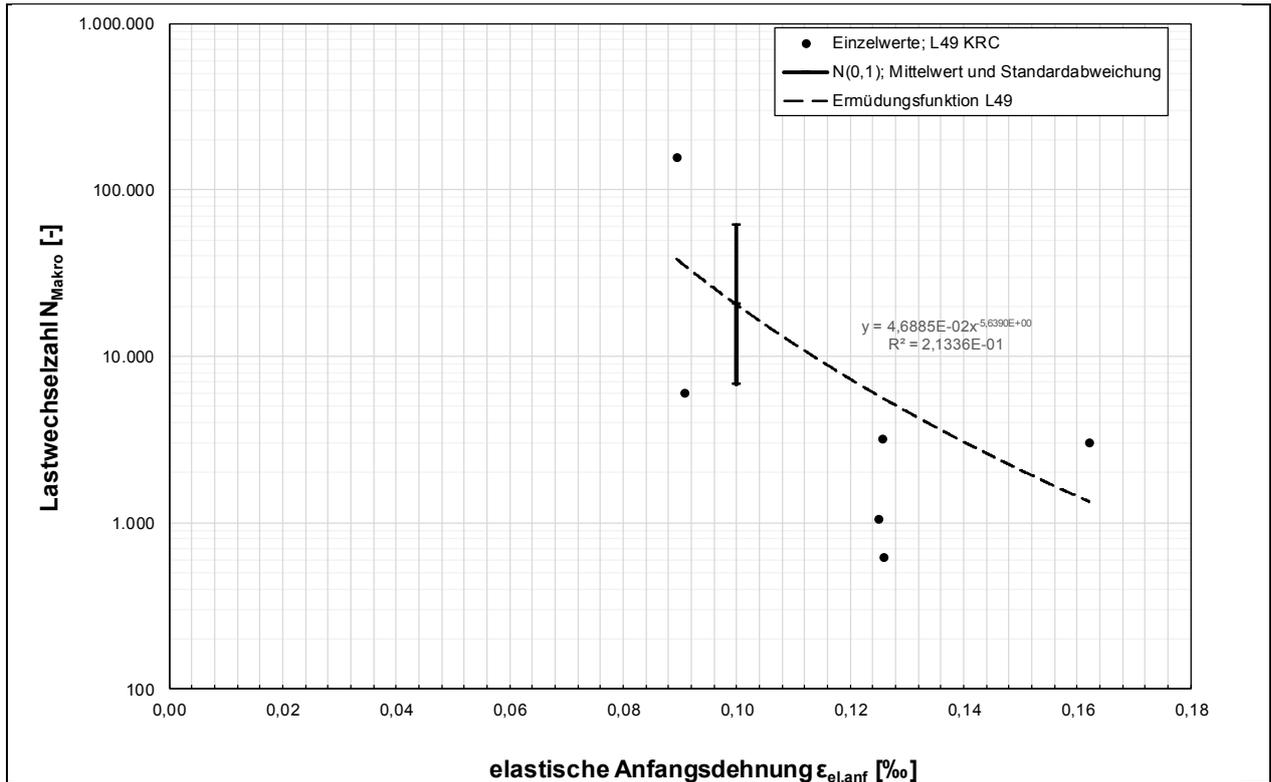


Bild 4-89: Grafische Darstellung der Ermüdungsfunktion und der Einzelwerte gemäß TP Asphalt-StB, Teil 24 der L49

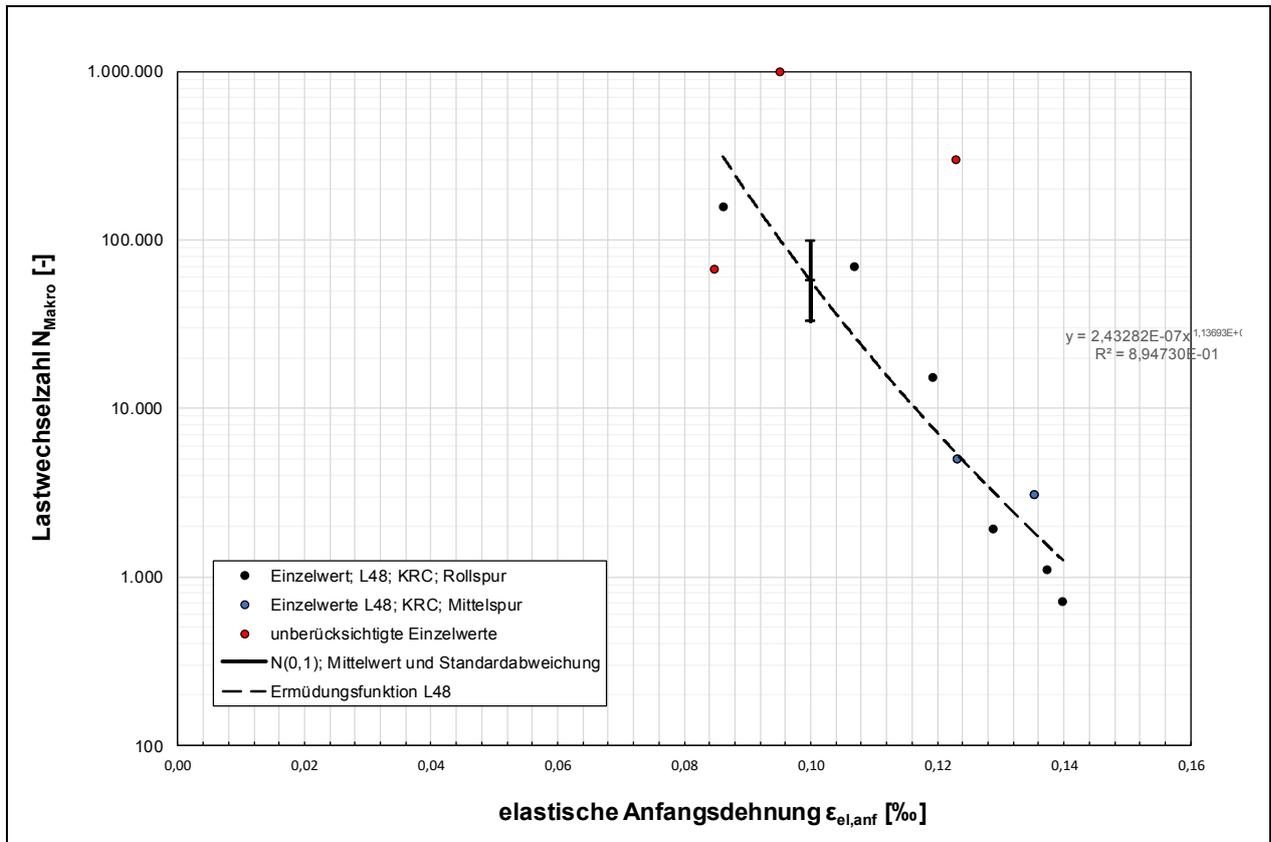


Bild 4-90: Grafische Darstellung der Ermüdungsfunktion und der Einzelwerte gemäß TP Asphalt-StB, Teil 24 der L48

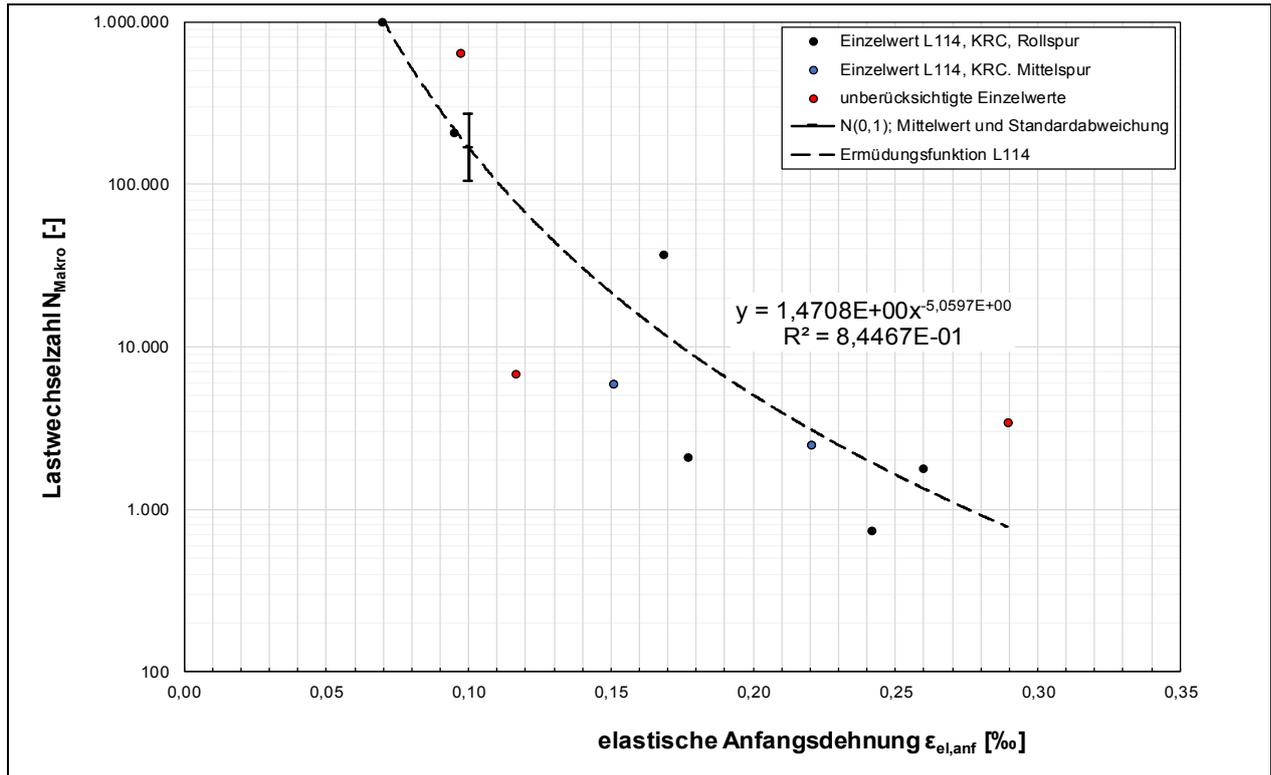


Bild 4-91: Grafische Darstellung der Ermüdungsfunktion und der Einzelwerte gemäß TP Asphalt-StB, Teil 24 der L114

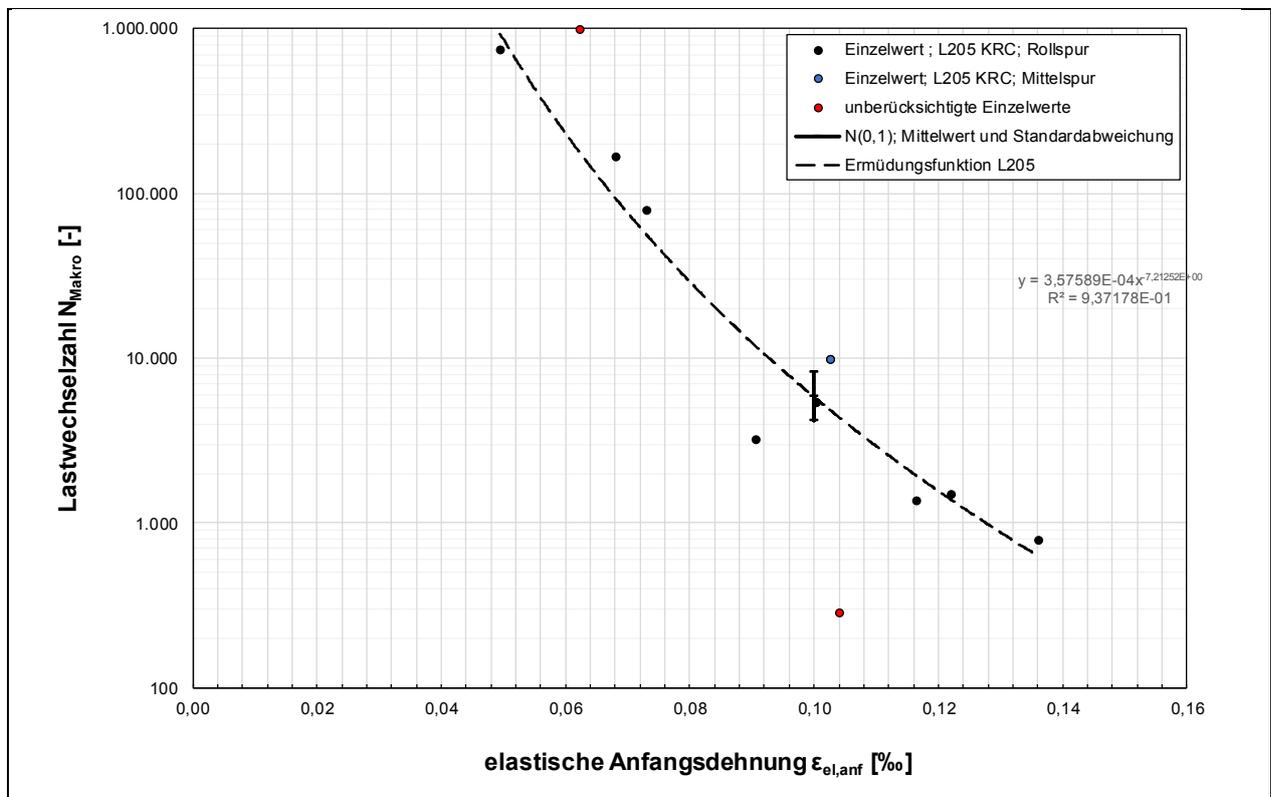


Bild 4-92: Grafische Darstellung der Ermüdungsfunktion und der Einzelwerte gemäß TP Asphalt-StB, Teil 24 der L205

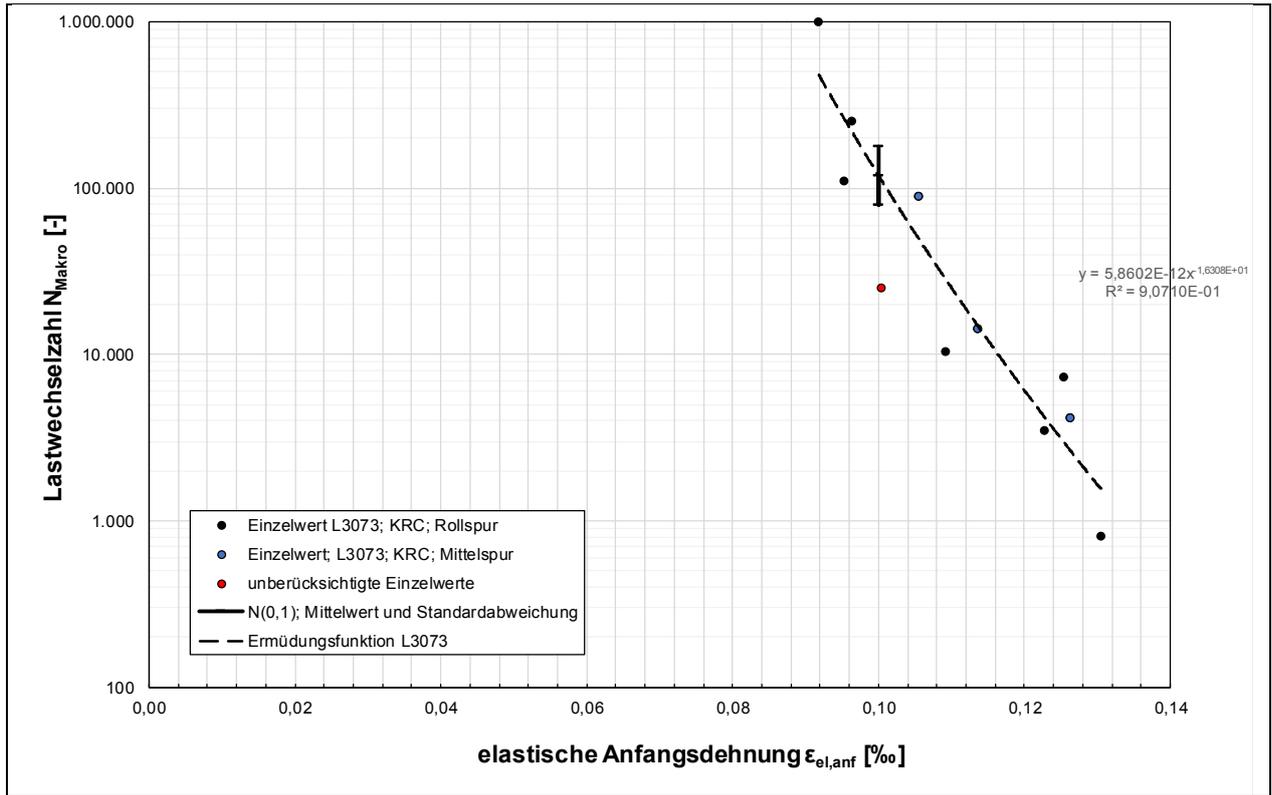


Bild 4-93: Grafische Darstellung der Ermüdungsfunktion und der Einzelwerte gemäß TP Asphalt-StB, Teil 24 der L3073

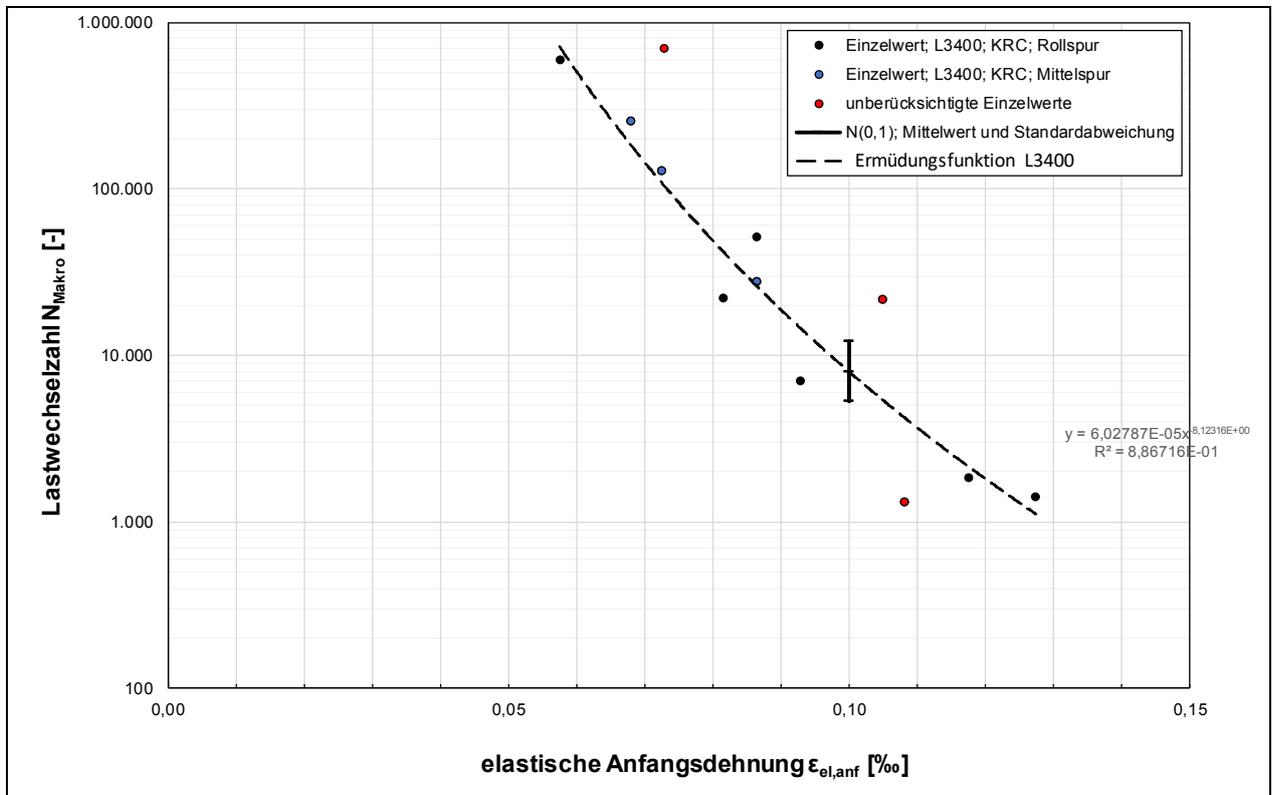


Bild 4-94: Grafische Darstellung der Ermüdungsfunktion und der Einzelwerte gemäß TP Asphalt-StB, Teil 24 der L3400

Strecke	Materialspezifische Parameter		Bestimmtheitsmaß R^2	N_{Makro} ($\epsilon_{\text{el.}}=0,1\text{‰}$)	Standard- abweichung S_{log}
	k [-]	n [-]			
A30 FR West	3,9497E-05	-9,642	0,94	173.206	0,200
A30 FR Ost	3,9094E+00	-3,506	0,79	12.535	0,237
B52	4,3427E-03	-7,848	0,89	305.745	0,218
B3	1,0004E+00	-4,397	0,89	24.956	0,172
L49	4,6885E-02	-5,639	0,21	20.419	0,477
L48	2,4328E-07	-11,369	0,89	56.899	0,237
L114	1,4708E+00	-5,060	0,84	168.754	0,207
L205	3,5759E-04	-7,213	0,94	18.823	0,144
L3073	5,8602E-12	-16,308	0,91	119.100	0,174
L3400	6,0279E-05	-8,123	0,89	8.005	0,180

Tab. 4-34: Zusammenstellung der materialspezifischen Parameter der Ermüdungsfunktionen und Bestimmtheitsmaße der Praxisstrecken

Mit Ausnahme der Untersuchungen zum Ermüdungsverhalten an den Bohrkernen aus der L49 und bedingt auch an denen aus der A30 FR Ost wurden gute bis sehr gute Bestimmtheitsmaße festgestellt.

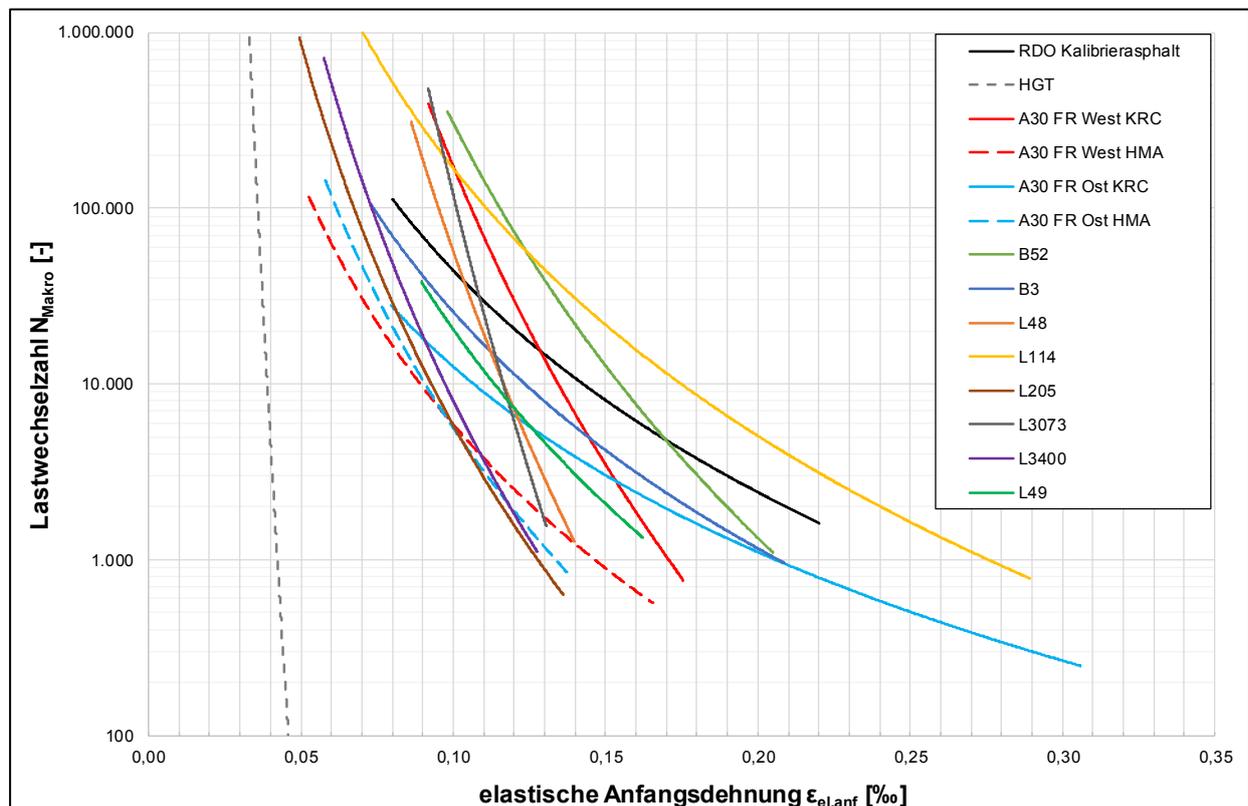


Bild 4-95: Darstellung der Ermüdungsfunktionen aller Praxisstrecken

4.3 Ermittlung der Mischgutzusammensetzung

Zur Identifikation der Zusammensetzung von KRC-Baustoffen wurden Voruntersuchungen an einer ausgewählten Praxisstrecke durchgeführt. Aufgrund der hohen Informationsdichte wurde hierfür die A30 Fahrtrichtung West ausgewählt. Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen wurden alle Strecken hinsichtlich ihrer Mischgutzusammensetzung untersucht. Die Ermittlung des Bindemittelgehaltes erfolgte dabei sowohl mittels Extraktion gemäß [TP Asphalt-StB, Teil 3, 2020] sowie thermoanalytisch gemäß [DIN

EN 12697-39, 2020]. An den Schnittbildern der Bohrkern aller Strecken wurde eine fotooptische Bildauswertung durchgeführt. Zur Überprüfung der Nachweisbarkeit PAK-haltiger Ausbaustoffe fand das Lackansprühverfahren gemäß [AP Nr. 27/2, 2000] Anwendung.

4.3.1 Voruntersuchungen zur Bohrkernaufbereitung

Zur Ermittlung der Möglichkeiten bzw. Grenzen hinsichtlich der Bestimmung der Mischgutzusammensetzung wurden zunächst Voruntersuchungen an Bohrkernen der Praxisstrecke A30 Fahrtrichtung West durchgeführt. Aufgrund der zementhaltigen Bindemittel war die Granulierung eines KRC-Bohrkernes per Hand -trotz Erwärmung- nur sehr grob möglich. Daher wurde eine Brechanlage zur Granulierung verwendet, wodurch eine Bewertung der Sieblinie im Nachgang mit genormtem Vorgehen nicht mehr möglich ist. Zur Festlegung eines geeigneten Größtkorndurchmessers für den Brechvorgang wurden die Bohrkern zunächst auf unterschiedliche Größen gebrochen. Anschließend wurde an den aufbereiteten Proben mittels Extraktionsverfahren der Bindemittelgehalt des Bitumens bestimmt. Hierbei zeigte sich, dass mit zunehmender Verkleinerung des Größtkorndurchmessers ein höherer Bindemittelanteil rückgewonnen werden kann (Tab. 4-35). Damit keine vollständige Zerstörung des Gesteins erfolgt wurde für die weiteren Untersuchungen ein Größtkorndurchmesser von 11 mm gewählt.

Größtkorndurchmesser nach Granulierung [mm]	„Handmethode“	22	11	5
Bindemittelgehalt [M.-%]	2,02	2,78	4,26	4,43

Tab. 4-35: Bindemittelgehalt in Abhängigkeit vom Größtkorn nach dem Brechen

4.3.2 Untersuchungen zur Mischgutzusammensetzung

In Tab. 4-36 sind die ermittelten bituminösen Bindemittelgehalte der Bohrkern aller Praxisstrecken gemäß Extraktionsverfahren nach TP Asphalt-StB Teil 3 sowie unter Verwendung der Thermoanalyse zusammengefasst. Zusätzlich sind auch die Bitumenanteile nach Angaben der Erstprüfung angegeben.

Strecke	Anteil bituminöses Bindemittel [%]		
	Erstprüfung	Extraktionsverfahren	Thermoanalyse
A30 FR West	5,2	4,3	6,2
A30 FR Ost	5,4	4,5	6,7
B52	6,4	5,9	7,4
B3	7,8	5,4	5,6
L49	5,4	3,4	5,8
L48	5,8	5,5	6,5
L114	7,1	5,9	7,5
L205	6,1	3,4	5,4
L3073	6,7	6,4	6,6
L3400	7,1	4,6	4,7

Tab. 4-36: Zusammenstellung der bituminösen Bindemittelanteile der Praxisstrecken

Bei den KRC-Proben aus den Befestigungen der B3, L49, L205 und L3400 beträgt der Unterschied des Gesamt-Bitumengehaltes der Schicht zum in der Erstprüfung angegebenen Wert mehr als 2,0 %.

Im Rahmen der Untersuchungen wurde exemplarisch an einer ausgewählten Praxisstrecke der Zementgehalt gemäß [DIN 52170 Teil 3, 1980] bestimmt. Aufgrund des hohen Zementgehaltes nach Erstprüfung wurde hierfür die Strecke L205 ausgewählt. Tab. 4-37 zeigt das Ergebnis. Die Abweichung lässt sich mit hoher Wahrscheinlichkeit über die Gesteinsart innerhalb des verwendeten Asphaltgranulates begründen. Insbesondere basische Gesteinsarten werden im Rahmen des Verfahrens ebenfalls gelöst, sodass keine Unterscheidung zum Zement möglich ist und eine Bestimmung des Zementgehaltes ausschließlich bei Verwendung unlöslicher Gesteinsarten funktioniert.

Strecke	Anteil Zement [%]	
	Erstprüfung	DIN 52 170 Teil 3
L205	4,4	7,7

Tab. 4-37: Ergebnis der Zementgehaltsbestimmung gemäß DIN 52 170 Teil für KRC-Bohrkerne der L205

4.3.3 Fotooptische Bildauswertung

Die fotooptische Bildauswertung erfolgt softwaregestützt unter der Verwendung der Software IPAS [Coenen, A., Kutay, M.E. & Bahia, H.U. 2012]. Hierdurch soll die Bestimmung der Korngrößenverteilung von Asphaltgemischen ermöglicht werden.

Im Wesentlichen überführt die Software die Original-Bildaufnahme in ein Schwarz-Weiß-Bild und ermittelt dann unter Berücksichtigung der identifizierten Gesteinskörner eine Korngrößenverteilung des Ausschnittes. Bild 4-96 zeigt eine Originalaufnahme sowie das resultierende Schwarz-Weiß-Bild. Zwar ist ein angeschnittenes Asphaltstück zu erkennen, die verwendete Software ist allerdings nicht in der Lage solche Asphaltstücke als einzelnes „Korn“ zu interpretieren. Die fotooptische Bildauswertung kann demnach nur Korngrößenverteilungen analysieren. Die Originalaufnahmen der untersuchten Schnittflächen der Bohrkerne aller Praxisstrecken sind im Anhang aufgeführt.

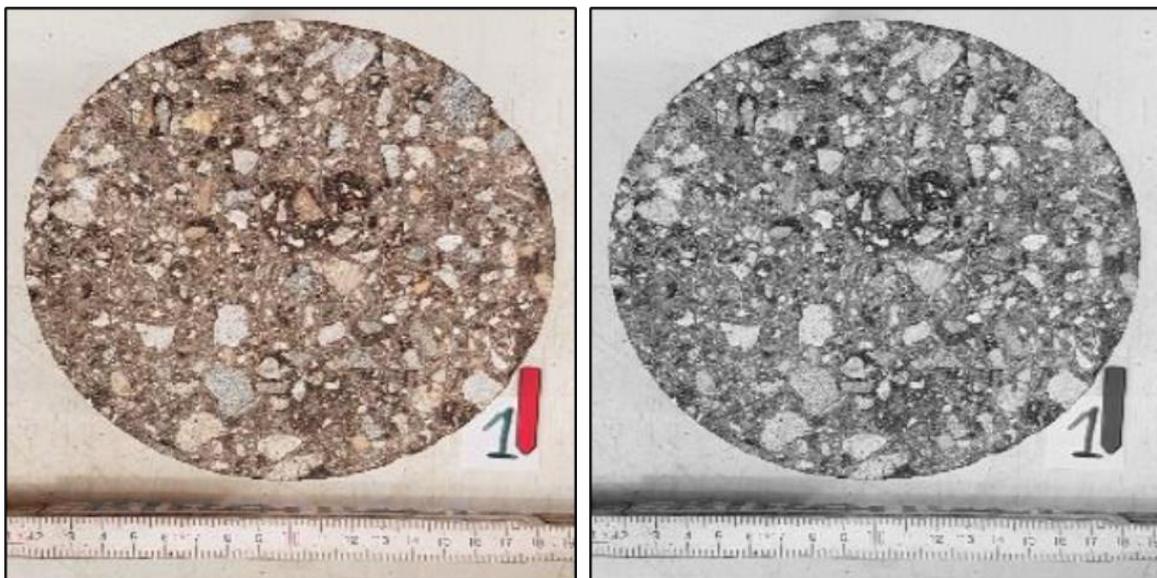


Bild 4-96: Originalaufnahme (links) und zugehöriges Schwarz-Weiß-Bild (rechts) der Software IPAS der Schnittfläche eines Bohrkerne der A30 FR West

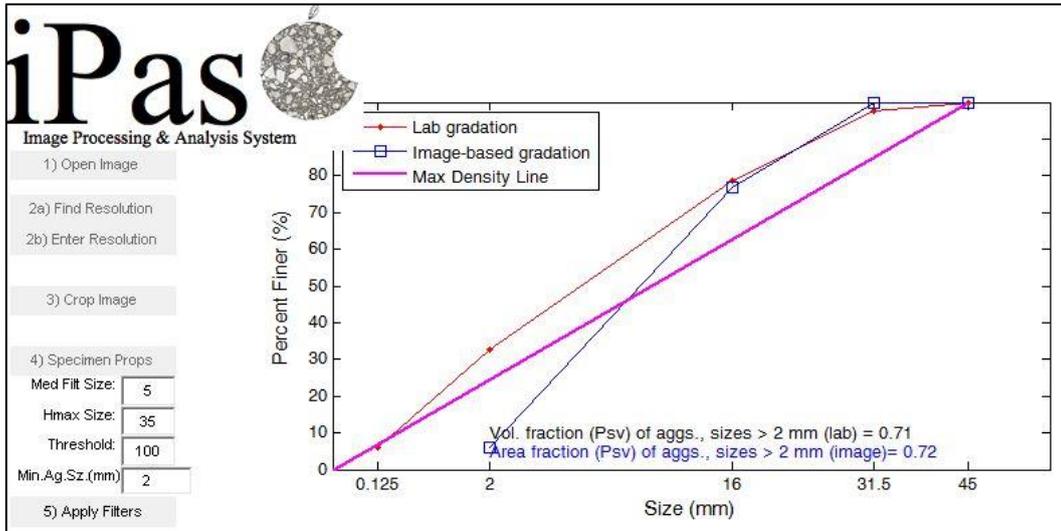


Bild 4-97: Ergebnisdarstellung der Software IPAS zur Ermittlung der Korngrößenverteilung der A30 FR West

Bild 4-97 zeigt exemplarisch die Ergebnisdarstellung in der Software. Neben weiteren Bildanalyse-Funktionen bietet die Software die Möglichkeit der automatischen Erkennung einzelner Gesteinskörner im Schnittbild. Anhand der dabei ermittelten Durchmesser der einzelnen Körner und ihrer Flächenanteile am Bild kann eine Korngrößenverteilung erstellt werden. Diese anhand der Bohrkernschnitte ermittelten Korngrößenverteilungen sind in Bild 4-98 im Vergleich zu den Stückgrößenverteilungen gemäß der Erstprüfung gezeigt. Die Aufnahmequalität der Schnittbilder erlaubte die Erfassung der Einzelkörner bis zu einem Durchmesser von 2 mm oder 1 mm.

Im Vergleich zu den Stückgrößenverteilungen weisen die anhand der Bildanalyse ermittelten Korngrößenverteilungen der Strecken eine größere Ergebnisspreizung auf. Weiterhin zeigen sich unterschiedliche Reihungen hinsichtlich feiner zu grober Korngrößenverteilungen, die für den mittleren Bereich der Korndurchmesser in der Reihenfolge der Legendeneinträge verdeutlicht ist. Hier ist besonders auffällig, dass laut Angaben der Erstprüfung die Stückgrößenverteilung des KRC-Baustoffes der B52 die größte Zusammensetzung aufweist, diese in der Bildanalyse aber die feinste Sieblinie der Körner aufzeigt (Bild 4-98)

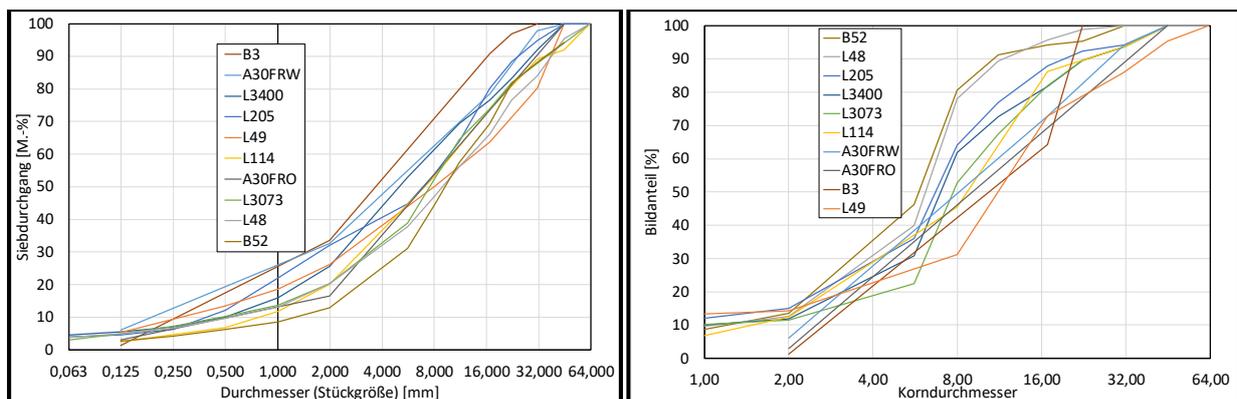


Bild 4-98: Stückgrößenverteilung aus Information der Erstprüfung (links) und anhand der Bildanalyse von Bohrkernproben ermittelte Korngrößenverteilung (rechts) der Untersuchungsstrecken

Für die Stück- bzw. Korndurchmesser von 8 mm und 16 mm sind die Siebdurchgänge aus der Erstprüfung (EP) sowie die anhand der Bildanalyse resultierenden Siebdurchgänge der identifizierten Einzelkörner, die bei der Auswertung von drei Einzelbildern ermittelte Standardabweichung sowie der Verhältniswert aus dem Siebdurchgang (Bildanalyse) zum Siebdurchgang der Erstprüfung in Tab. 4-38 angegeben. Für drei Strecken konnten nicht beide Kennstellen ausgewertet werden, da nicht ausreichend viele Stützstellen aus den Daten der Erstprüfung vorhaben waren.

Bei der Bildanalyse der Bohrkernschnitte von Strecken L205 und L3400 können insbesondere bei der Auswertung der Siebdurchgänge große Abweichungen erkannt werden. Die Bohrkernproben von Strecken L48, L114 und L3073 weisen hingegen deutlich gleichmäßigere Schnittbilder auf.

Hinsichtlich der Siebdurchgangs-Verhältnisse ist zu erwarten, dass die mittels Bildanalyse bestimmten Siebdurchgänge der Einzelkörner höher sind als die der in den Angaben der Erstprüfung enthaltenen Straßenaufbruch-Stücke und die Verhältnismerte demnach $> 1,0$ sind. Hierbei ist auffällig, dass diese Verhältnismerte bei den Strecken A30 West und A30 Ost (16 mm) sowie L49 und L114 (8 mm) < 1 sind, demnach die Siebdurchgänge der Körner geringer sind als die der Granulatstücke. Dieses Ergebnis weist darauf hin, dass große Abweichungen der tatsächlichen Zusammensetzung von der in der Erstprüfung angestrebten Sieblinie erwartet werden müssen. Die für die Strecke L48 und B3 (8 mm) ermittelten Verhältnismerte sind mit Werten $> 1,4$ deutlich höher als die der anderen Strecken, was auf die Anwendung von Ausbauasphalten aus Deck- und Binderschichten oder auf eine nur grobe Zerkleinerung der Ausbauasphalte hindeutet.

Korndurchmesser	8 mm				16 mm			
	Siebdurchgang [%]			Verhältnis	Siebdurchgang [%]			Verhältnis
	Stück (EP)	Korn (Bild)	Stabw .	Bild/EP	Stück (EP)	Korn (Bild)	Stabw.	Bild/EP
A30 FR West	Nicht auswertbar				78,5	72,9	$\pm 6,7$	0,93
A30 FR Ost					90,9	64,4	$\pm 4,1$	0,71
B52					Nicht auswertbar			
B3	57,5	80,7	$\pm 13,6$	1,40	81,7	94,2	$\pm 8,5$	1,15
L49	50,0	31,1	$\pm 13,1$	0,62	63,7	72,8	$\pm 9,2$	1,14
L48	47,1	78,0	$\pm 7,5$	1,65	66,1	95,7	$\pm 2,4$	1,45
L114	53,2	45,6	$\pm 8,3$	0,86	73,7	86,3	$\pm 9,8$	1,17
L205	53,9	64,1	$\pm 26,0$	1,19	80,2	87,9	$\pm 13,5$	1,10
L3073	52,3	52,8	$\pm 0,64$	1,01	73,9	81,9	$\pm 5,5$	1,11
L3400	61,5	61,8	$\pm 22,3$	1,01	76,7	81,7	$\pm 14,5$	1,07

Tab. 4-38: Siebdurchgänge bei 8 mm und 16 mm Stück- bzw. Korndurchmesser aus Angaben der Erstprüfung (EP) sowie anhand der Bildanalyse ermittelt, bei Auswertung von drei Bohrkernschnitten identifiziert Standardabweichung des Siebdurchgangs und Durchgangsverhältnis (Bild/EP)

4.3.4 Detektion von PAK-haltigen Ausbaustoffen

Bild 4-99 zeigt das Erscheinungsbild ausgewählter KRC-Probekörper der Praxisstrecken nach Behandlung mit Klarlackspray. Keine der behandelten Proben lässt eine für das Vorhandensein carbostämmiger Bindemittel typische grünliche bis gelbliche Fluoreszenz der Mörtelmatrix erkennen.

Die Tabelle 4-39 gibt eine Übersicht zur Verwendung von teer- und pechhaltigen Ausbaustoffen im Rahmen der Recyclingmaßnahmen der untersuchten Praxisstrecken, wie sie aus den verfügbaren Unterlagen hervorgeht.

Strecke	Verwendung teer- und pechhaltiger Ausbaustoff
A30 FR West	Nein
A30 FR Ost	Nein
B52	Nein
B3	Ja
L49	Ja
L48	Ja
L114	Ja
L205	Ja
L3073	Ja
L3400	Ja

Tab. 4-39: Übersicht zur PAK-Belastung der verwendeten Ausbaustoffe innerhalb der untersuchten Praxisstrecken

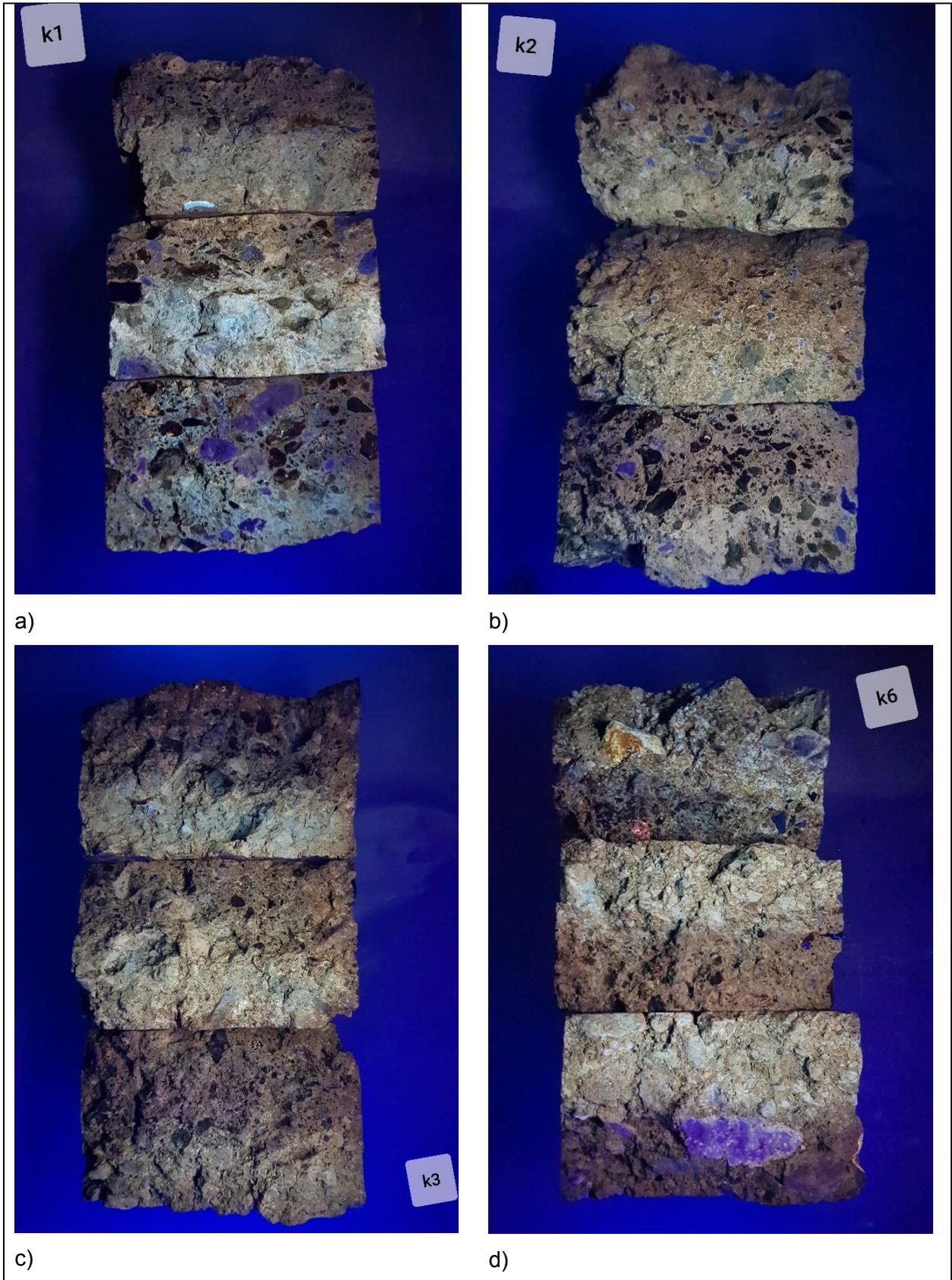


Bild 4-99: Fotodokumentation des Lacksprühverfahrens für die Strecken A30 FR West (a), A30 FR Ost (b), B52 (c) und L48 (d)

5 Validierung der Untersuchungsergebnisse

5.1 Nachstellung einer Untersuchungsstrecke im Labor

5.1.1 Auswahl der Mischgutzusammensetzungen

Um einen Bezug zu einer der zehn Praxisstrecken herzustellen, wurde die auf der BAB30 (A30, BA IV; FR Westen) verwendete Mischgutzusammensetzung weitgehend nachgestellt (siehe Bild 5-1). Der Gehalt an Bitumenemulsion lag bei 3,5 M.-% und der Zementgehalt bei 2,0 M.-%.

Bei den weiteren Labor-Mischgutvarianten wurde ausgehend von der Referenzvariante im Wesentlichen die Bindemittelgehalte (Emulsion oder Zement) variiert, vgl. Tab. 5-1. Bei Variante MG1 wurde unter Verwendung der identischen Ausgangsstoffe eine Zusammensetzung in Anlehnung an die Fuller-Parabel mit möglichst geringen Hohlraumgehalt zwischen den Granulatkörnern angestrebt. Variante MG2 wurde dahingehend zusammengesetzt, dass der Anteil des groben Kalksteinschotters 22/32 durch die grobe Asphaltgranulatfraktion 8/22 ersetzt wurde.

Die resultierenden Zusammensetzungen der neun Mischgutvarianten sind in Tab. 5-2 zusammengestellt. Die Buchstaben B und K am Ende der Variantenbezeichnung kennzeichnen den jeweiligen Ort der Bearbeitung (Bochum und Kassel). Die Referenzvariante B3,5_H2 wurde durch beide Laboratorien hergestellt und untersucht, um bei der Untersuchung der Einflüsse aus der variierten Zusammensetzung nicht kontrollierten Einflüsse aus unterschiedlichen Vorgehensweisen zu vermeiden.

Das Bild 5-1 zeigt die Korn-/Stückgrößenverteilungen der Referenzvariante (MG_{Referenz} , rote Linie) sowie die modifizierten Zusammensetzungen der Varianten B3,5_H2_Fuller_K und B3,5_H2_o22/32_K im Vergleich zu den Stückgrößenverteilungen des Mischgranulates gemäß Eignungsprüfung der Referenzstrecke BAB A30 (West).

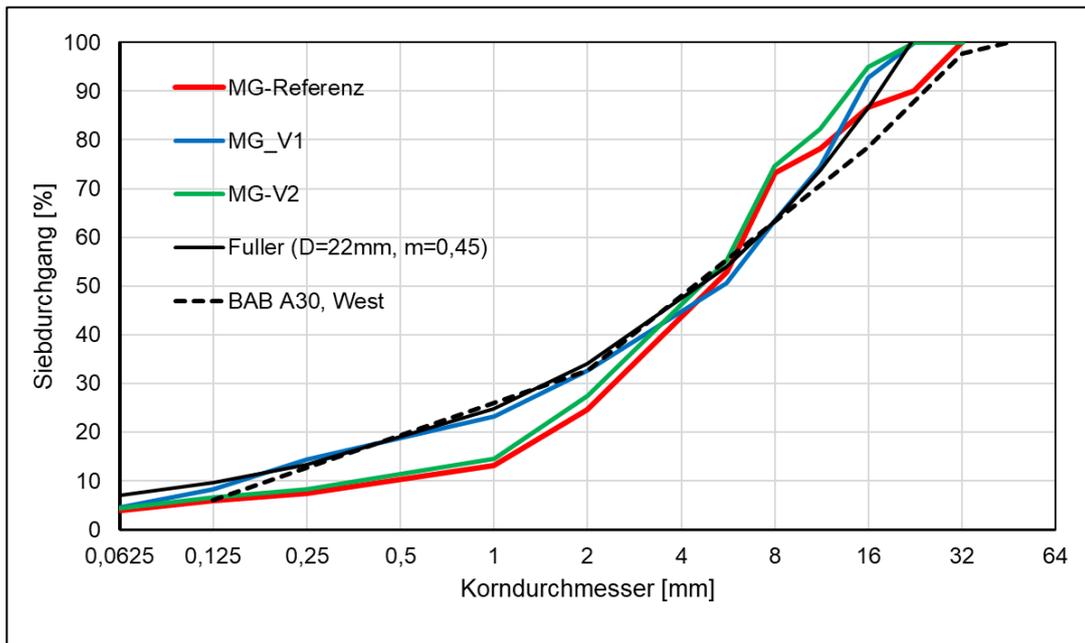


Bild 5-1: Korn-/Stückgrößenverteilung der im Labor gemischten Varianten

Variantenbezeichnung	Erläuterung	Bitumenemulsion [M.-%]	Zement [M.-%]	Korngemischzusammensetzung
B3,5_H2_B und B3,5_H2_K	Referenz	3,5	2,0	MG _{Referenz}
B3,0_H2_B	geringerer Bitumengehalt	3,0	2,0	MG _{Referenz}
B4,0_H2_B	höherer Bitumengehalt	4,0	2,0	MG _{Referenz}
B5,0_H2_B	Höchster Bitumengehalt	5,0	2,0	MG _{Referenz}
B3,5_H1_K	geringerer Zementgehalt	3,5	1,0	MG _{Referenz}
B3,5_H4_K	höherer Zementgehalt	3,5	4,0	MG _{Referenz}
B3,5_H2_Fuller_K	höherer Feinkornanteil (Natursand)	3,5	2,0	MG-V1
B3,5_H2_o22/32_K	ohne 22/32 mm – 10 M.-% mehr AG	3,5	2,0	MG-V2

Tab. 5-1: Zuordnung der im Labor gemischten Varianten

		B3,5_H 2_B / _K	B3,0_H 2_B	B4,0_H 2_B	B5,0_H 2_B	B3,5_H 1_K	B3,5_H 4_K	B3,5_H2_ Fuller_K	B3,5_H2_ o22/32_K
Flugasche	M.-%	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
AG 0/8	M.-%	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	38,9	27
AG 8/22	M.-%	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	45,3	70
Kalkstein 22/32 mm	M.-%	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	0	0
Natursand	M.-%	-	-	-	-	-	-	12,6	0
Bitumen-Emulsion	%	3,5	3,0	4,0	5,0	3,5	3,5	3,5	3,5
Tragschichtbinder	%	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	4,0	2,0	2,0
Wasser	%	3,0	3,2	2,8	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0

Tab. 5-2: Zusammensetzung der im Labor gemischten Varianten

5.1.2 Voruntersuchungen zur Bestimmung der Verdichtungsart

Für die Verdichtung von mit Bitumenemulsion und Zement gebundenen Kaltasphalten wird im Regelwerk der FGSV eine statische Verdichtungsmethode (Duriez-Verdichtung) empfohlen, die nach bisherigem Kenntnisstand einen unzureichenden Verdichtungszustand bewirkt. Die hier verwendete Variante mit einer statischen Verdichtung nach dem Doppelkolbenprinzip (Duriez-Verdichtung) weicht bezüglich der Lasthöhe und der fehlenden Nachregelung der Last von dem Ansatz im FGSV-Regelwerk (z.B. M KRC) ab.

Vor diesem Hintergrund war die Ergründung alternativer Verdichtungsmethoden ein weiteres Teilziel dieses Forschungsprojektes. Im ersten Schritt wurde mit dem Korngemisch der Referenzvariante ein Proctor-Versuch durchgeführt. Dieser Versuch ergab einen optimalen Wassergehalt von ca. 5,5 % bei einer Proctordichte von 2,030 g/cm³. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurden die Zugabewasseranteil der gewählten Verdichtungsvarianten in der Tab. 5-3 gewählt.

Da die meisten Asphaltlabore mittlerweile über ein Walzsektor-Verdichtungsgerät (WSV) verfügen, sollte möglichst ein Verdichtungsansatz mit diesem Gerät gefunden werden. Die beiden anderen Verdichtungsmethoden (Vibrationshammer und Duriez-Verdichtung) sind alternative Verfahren zur Orientierung bei der Bewertung der Methoden.

Die in der Tabelle 5-3 aufgeführten Ergebnisse zeigen recht hohe Unterschiede in der Raumdichte nach Verdichtungsende (2,022 bis 2,285 g/cm³) und dementsprechend unterschiedliche Elastizitätsmodule. Die höchste Raumdichte wurde mit der Duriez-Verdichtung erreicht, wobei diese Proben nicht die höchsten Elastizitätsmodule aufwiesen. Grundsätzlich zeigt sich kein durchgehender Zusammenhang zwischen erreichter Raumdichte und der Spaltzugfestigkeit, was auch an den teilweise unterschiedlichen Wassergehalten in den Gemischen liegen kann.

Anzahl Lagen	Zugabe Bitumenemulsion	Zugabe Wasser	Verdichtungsart	Raumdichte	Elastizitätsmodul EZ
[-]	[%]	[%]	[-]	[g/cm ³]	[MPa]
1	3	3	Vibrationshammer	2,199	14.997
3	3	3	Vibrationshammer	2,233	18.915
3	4	3	Vibrationshammer	2,258	14.593
1	3	3	WSV weggesteuert	2,133	10.704
2	3	3	WSV weggesteuert	2,202	8.215
1	3	4	WSV weggesteuert	2,022	9.495
2	3	4	WSV weggesteuert	2,067	9.131
1	3	4	WSV TP-Asphalt	2,122	9.434
2	3	4	WSV TP-Asphalt	2,148	10.155
2	3	3	WSV TP-Asphalt	2,145	8.390
1	3	3	Duriez – 5min/5MPa	2,285	10.076

Tab. 5-3: Übersicht über die verwendeten Verdichtungsvarianten

5.1.3 Raumdichten der Laborproben

Die Verdichtung der für Performance-Untersuchungen vorgesehenen Probekörper erfolgte mit dem WSV, wobei hier das Verdichtungsregime gemäß TP Asphalt-StB, Teil 33 in einer Lage angewendet wurde.

Für die Varianten, bei denen der Zugabehalt der Bitumenemulsion variiert wurde (Varianten*_B), wurde über die eingewogene Mischgutmasse eine Plattendicke von 100 mm angestrebt. Aus den so hergestellten Platten wurden Bohrkern mit einem Durchmesser von 150 mm entnommen und auf 90 mm planparallel geschliffen. Die Bestimmung der Raumdichten der Bohrkern aus den WSV-Platten erfolgte durch Tauchwägung nach TP Asphalt-StB, Teil 6, Verfahren B.

Für die Varianten, bei denen der Zementgehalt und die Mischgutzusammensetzung variiert wurde (Varianten*_K), wurden die Probekörper auf ein Zielhöhe von 90 mm verdichtet. Ein planparalleles Schleifen der aus WSV-Platten entnommenen Probekörper wurde nicht angewendet. Weiterhin wurde die Raumdichte mittels Ausmessverfahren nach TP Asphalt-StB, Teil 6, Verfahren D bestimmt.

Die Referenz-Variante wurde bei Anwendung beider Probekörper-Herstellungsverfahren untersucht, sodass Vergleichswerte zur Erfassung des Einflusses der Probenherstellung vorliegen.

Zur Untersuchung des Einflusses des Probenalters auf die mechanischen Eigenschaften wurden die Bohrkernproben nach 14-tägiger Lagerung bei Raumtemperatur aus den Probeplatten gebohrt. Anschließend wurde die Lagerung der Asphalt-Probekörper bis zum Prüfzeitpunkt fortgeführt. Die Probekörper wurden somit 28±2, 56±4 und 180±6 Tage nach der Mischgutherstellung und -verdichtung geprüft.

Die Durchführung der Untersuchungen in zwei Laboratorien bedingte unterschiedliches Vorgehen bei der Probekörperlagerung. Die Proben der Varianten mit variiertem Bitumenemulsions-Zugabehalt (Varianten*_B) wurden bei Raumbedingungen (21±2)°C und natürlicher Luftfeuchtigkeit gelagert. Hier erfolgte zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften nach 7 Tagen die Herstellung der Bohrkernproben aus den Probeplatten nach 6 tägiger Lagerung. Um eine Prüfung am nächsten Tag zu ermöglichen, wurden die Probekörper über Nacht bei 40 °C im Trockenschrank gelagert.

Bei den Varianten mit Variation der Zugabe des Boden- und Tragschichtbinders sowie der Mischgranulat-Zusammensetzung (Varianten*_K) erfolgte die Lagerung von Probeplatten und Probekörpern in einem klimatisierten Raum mit gesteuerter Luftfeuchtigkeit (20±1)°C, (65±2) %rLF. Hier wurden zudem die 7 Tage nach der Herstellung zu prüfenden Probekörper bereits nach 5 Tagen Lagerung aus den Probeplatten gebohrt und zwei weitere Tage im klimatisierten Raum gelagert.

Die Unterschiede der angewendeten Probenpräparations- und Lagerungsbedingungen sowie der Verfahren zur Raumdichtebestimmung sind in Tabelle 5-4 zusammengestellt. Mittelwerte und Spannweiten

der Raumdichten der Probekörper, welche für die Bestimmung von Spaltzugfestigkeit, Steifigkeitsmodul und Ermüdungswiderstand verwendet wurden, sind in Tab. 5-5 zusammengestellt.

Variantenbezeichnung	Probekörperherstellung	Lagerungsbedingungen	Raumdictebestimmung
B3,5_H2_B	Verdichtung von Probeplatten (Dicke 100 mm); Bohren und Schleifen der Probekörper auf Prüfmaß (150/90) mm	Raumbedingung (21±2)°C	TP Asphalt-StB, Verfahren B (Tauchwägeverfahren)
B3,0_H2_B			
B4,0_H2_B			
B5,0_H2_B			
B3,5_H2_K	Verdichtung von Probeplatten (Dicke 90 mm); Bohren der Probekörper auf Prüfmaß (150/90) mm (ohne Schleifen)	Klimatisierter Raum (20±1)°C, (65±2) %rLF	TP Asphalt-StB, Verfahren D (Ausmessverfahren)
B3,5_H1_K			
B3,5_H4_K			
B3,5_H2_Fuller_K			
B3,5_H2_o22/32_K			

Tab. 5-4: Angewendete Bedingungen und Verfahren für die Herstellung und Lagerung der Probekörper

Mischgutvariante	Raumdichte [g/cm ³]		
	Min.	Max.	Mittelwert
B3,5_H2_B	2,051 *	2,149	2,100
B3,5_H2_K	1,956*	2,137*	2,041*
B3,0_H2_B	2,003	2,143	2,085
B4,0_H2_B	2,007	2,137	2,081
B5,0_H2_B	1,993	2,142	2,101
B3,5_H1_K	1,986*	2,154*	2,085*
B3,5_H4_K	2,068*	2,389*	2,146*
B3,5_H2_Fuller_K	2,022*	2,182*	2,136*
B3,5_H2_o22/32_K	1,848*	2,149*	2,088*

* Probekörper nicht planparallel geschliffen und Raumdichtebestimmung mittels Ausmessverfahren

Tab. 5-5: Raumdichten der Probekörper für die Performance-Untersuchungen

5.1.4 Spaltzugfestigkeiten vor und nach Wasserlagerung (ITSR)

Die Spaltzugfestigkeit wurde an den aus den WSV-Platten entnommenen Bohrkernen nach 7, 28, 56 und 180 Tagen gemäß M KRC, Anhang 7 bei einer Temperatur von 5 °C ermittelt. Zusätzlich wurden bei drei der Lagerungsdauern Probekörper nach einer dreitägigen Wasserlagerung bei 40 °C gemäß TP Asphalt-StB, Teil 12 geprüft.

Die gemessenen Spaltzugfestigkeiten sind in Tab 5.6 zusammengestellt und in Bild 5.2 und in Bild 5-3 vergleichend dargestellt. Alle Varianten zeigen mit längerer Lagerungsdauer eine Zunahme der Spaltzugfestigkeit. Mit zunehmendem Bitumen- und Zementgehalt können bei allen Lagerungsdauern höhere Festigkeiten erreicht werden.

In Bild 5-4 sind die verbleibenden Spaltzugfestigkeiten nach Wasserlagerung als Kennwert der Wasserempfindlichkeit zusammengestellt. Bei allen Varianten führt die zunehmende Lagerungsdauer zu einer Abnahme des ITS_R-Wertes. Diese Abnahme ist auf die höheren Spaltzugfestigkeiten ITS_d der trocken gelagerten Probekörper zurückzuführen, während die Festigkeit ITS_w der in Wasser gelagerten Probekörper sich weniger stark erhöht. Auch die bei höheren Bitumenzugaben erkennbaren geringeren ITS_R-Werten sind auf die nahezu konstant bleibenden Spaltzugfestigkeiten der nass gelagerten Probekörper zurückzuführen, während die Spaltzugfestigkeit der trocken gelagerten Probekörper deutlich zunimmt.

Lagerungszeit [Tage]	7			28			56		180	
Mischgutvariante	Spaltzugfestigkeit [MPa]: (trocken: ITS _d ; nass: ITS _w / Wasserempfindlichkeit ITS _R)									
	ITS _d	ITS _w	ITS _R	ITS _d	ITS _w	ITS _R	ITS _d	ITS _d	ITS _w	ITS _R
B3,5_H2_B	0,745	0,760	102	0,910	0,945	104	0,880	0,955	0,755	79
B3,5_H2_K	0,509	0,430	84	0,894	0,850	95	1,042	1,060	0,700	66
B3,0_H2_B	0,715	0,740	103	0,820	0,800	98	0,785	0,795	0,755	95
B4,0_H2_B	0,760	0,695	91	1,065	0,960	90	0,970	1,030	0,810	79
B5,0_H2_B	0,725	0,860	119	1,280	1,005	79	1,160	1,470	0,985	67
B3,5_H1_K				0,350	0,400	114	0,660	0,750	0,480	64
B3,5_H4_K	0,840	0,860	102	1,150	1,220	106	1,410	1,500	1,240	83
B3,5_H2_Fuller_K	0,860	0,860	172	0,810	0,850	105	0,920	1,030	0,830	81
B3,5_H2_o22/32_K	0,380	0,380	146	0,880	0,910	103	1,060	1,050	0,820	78

Tab. 5-6: Spaltzugfestigkeiten bei 5 °C

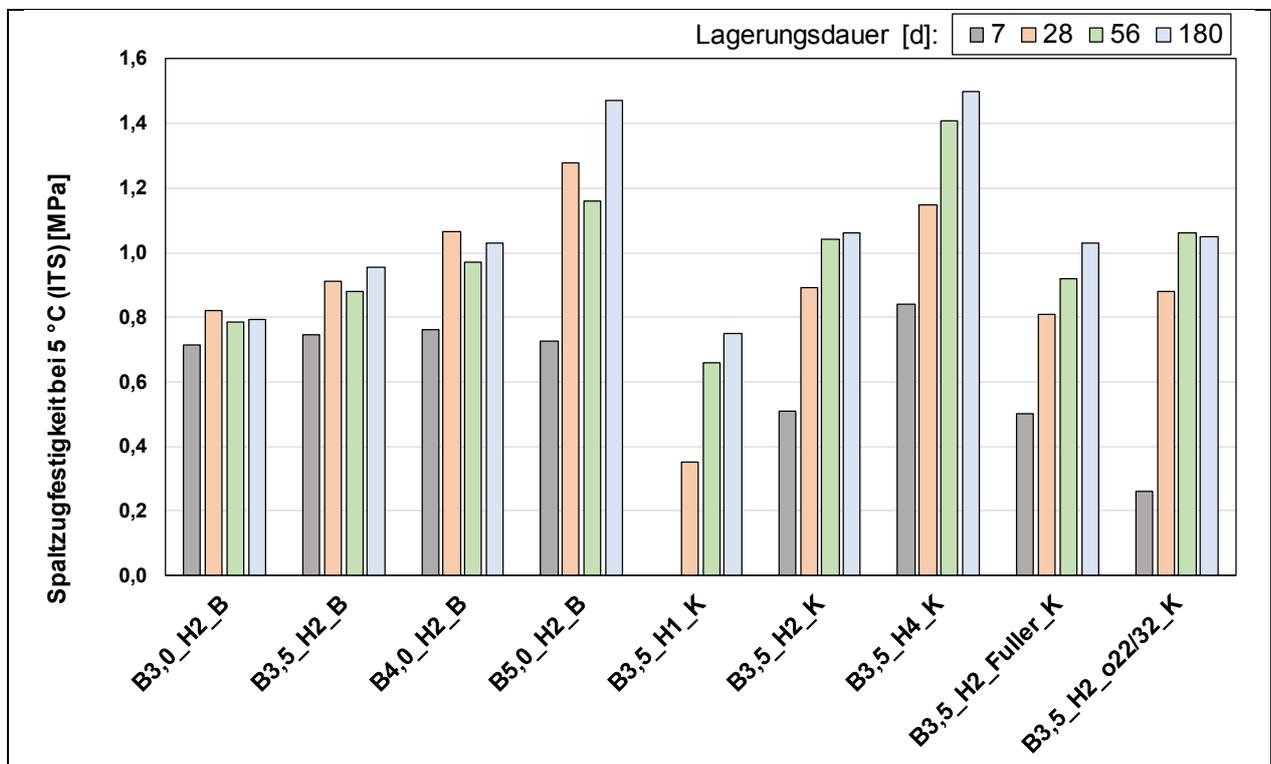


Bild 5-2: Spaltzugfestigkeiten der KRC-Varianten in Abhängigkeit von der Lagerungsdauer

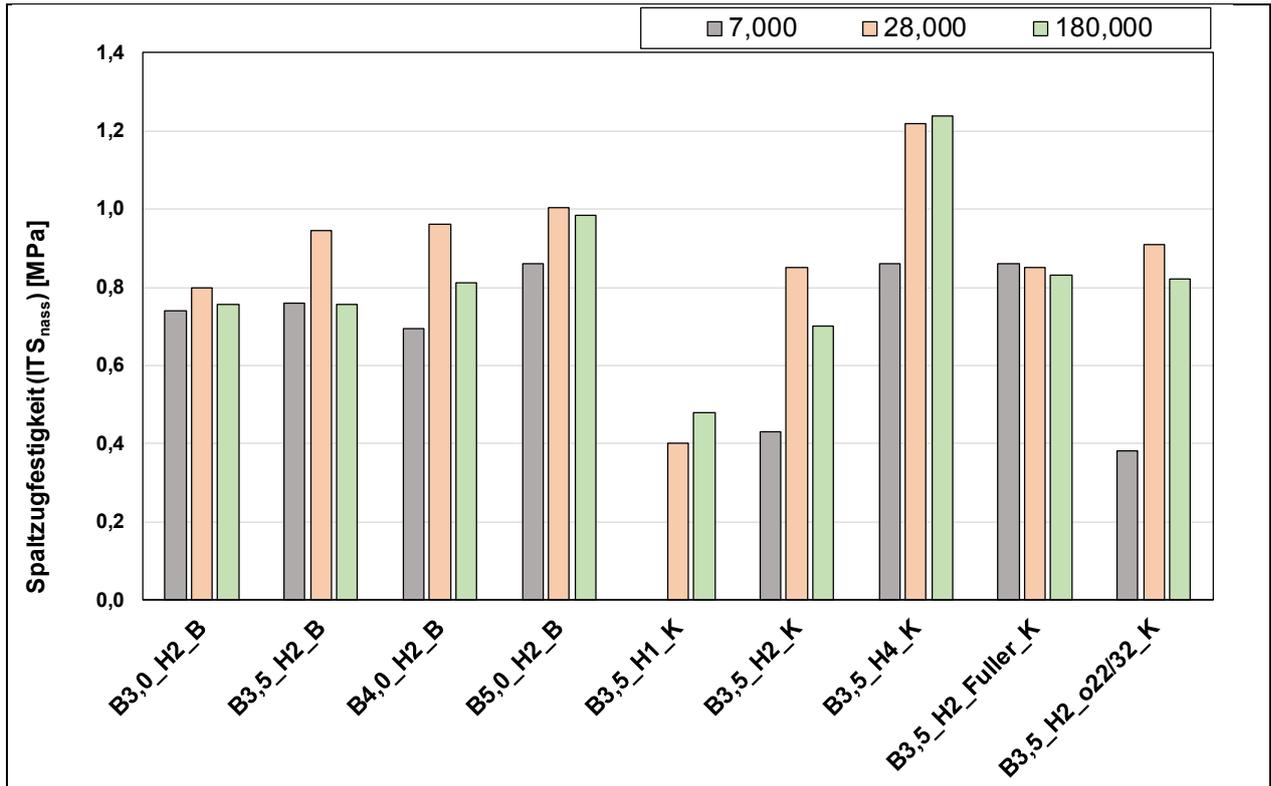


Bild 5-3: Spaltzugfestigkeiten der KRC-Varianten nach Wasserlagerung in Abhängigkeit von der Lagerungsdauer

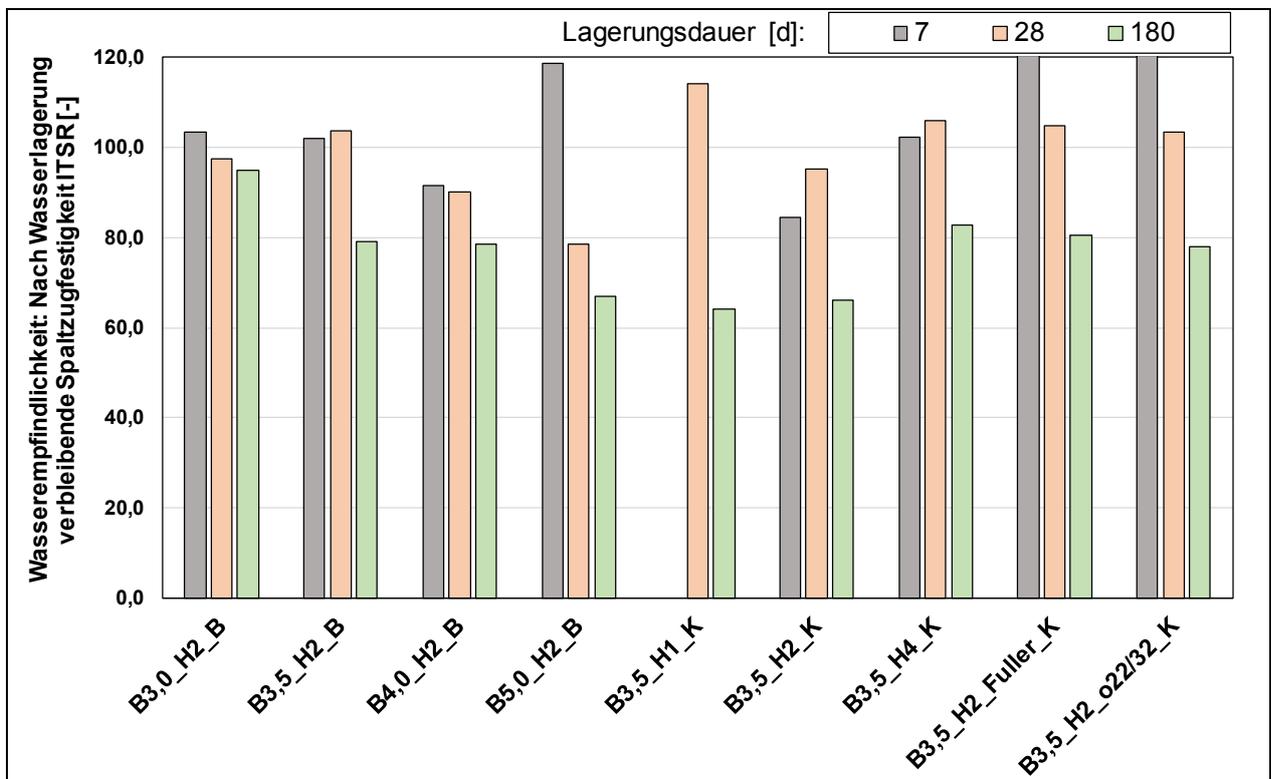


Bild 5-4: Nach Wasserlagerung verbleibende Spaltzugfestigkeit ITS_R

Die Spaltzugprüfungen erfolgten mit der Messung der Probekörper-Querausdehnung, sodass die E-Module und Bruchdehnungen berechnet werden konnten. Diese sind in Tab. 5-7 zusammengestellt und die an trocken gelagerten Probekörpern bestimmten Werte Bild 5-5 und Bild 5-6 vergleichend dargestellt.

Lagerungszeit	7 d				28 d				56 d		180d			
Mischgut-variante	E-Modul E_{sz} [MPa] und Bruchdehnung ϵ_{sz} [%] an trockenen und nass gelagerten Proben													
	$E_{sz,d}$	$E_{sz,w}$	$\epsilon_{sz,d}$	$\epsilon_{sz,w}$	$E_{sz,d}$	$E_{sz,w}$	$\epsilon_{sz,d}$	$\epsilon_{sz,w}$	$E_{sz,d}$	$\epsilon_{sz,d}$	$E_{sz,d}$	$E_{sz,w}$	$\epsilon_{sz,d}$	$\epsilon_{sz,w}$
B3,5_H2_B	13.756	12.486	0,96	1,69	13.991	15.661	0,79	1,09	15.949	1,34	24.604	14.273	0,94	0,90
B3,5_H2_K	4.902	8.879	2,19	1,10	10.389	8.644	1,11	1,12	4.068	1,45	6.780	7.492	1,25	1,01
B3,0_H2_B	13.580	14.404	0,90	0,86	14.723	14.812	0,97	1,04	17.062	0,79	20.215	32.504	2,65	1,11
B4,0_H2_B	12.127	10.726	0,95	1,34	15.770	14.754	0,94	1,08	16.308	0,90	18.281	14.627	0,72	1,12
B5,0_H2_B	10.394	12.460	1,51	1,60	15.543	14.709	1,00	1,19	14.355	1,01	19.209	13.382	1,13	1,38
B3,5_H1_K					4.925	20.532	0,65	0,98	3.886	3,06	4.017	4.942	3,07	1,33
B3,5_H4_K	6.355	12.388	1,33	1,05	6.020	13.913	0,92	0,52	10.567	1,17	21.939	15.015	0,71	0,45
B3,5_H2_Füller_K	7.944	6.332	1,25	0,86	9.189	9.074	0,93	0,83	6.288	1,04	9.768	964	1,07	0,39
B3,5_H2_o22/32_K	9.460	23.169	1,76	0,64	6.288	6.201	1,10	1,13	6.233	1,04	8.194	13.546	0,79	0,71

Tab. 5-7: In Spaltzugversuchen bei 5 °C bestimmte E-Moduln und Bruchdehnungen

Mit zunehmender Lagerungszeit ist bei allen Varianten ein Anstieg des E-Moduls feststellbar, während die Bruchdehnung sich bei den meisten Varianten nur geringfügig ändert. Weiterhin ist auffällig, dass die E-Modulwerte, die in den beiden beteiligten Forschungsstellen (B und K) bestimmt wurden, auf einem unterschiedlichen Niveau liegen. Zudem weisen die den dargestellten Mittelwerten zugrundeliegenden Einzelwerte eine hohe Streuung, z. T. um 100 % des Mittelwertes auf und es mussten zahlreiche Versuchsergebnisse als Ausreißer aus der Mittelwertbildung ausgeschlossen werden.

Aufgrund der systematischen Abweichung zwischen den beiden Forschungsstellen können jeweils nur die Ergebniswerte nach Variation des Bitumenemulsions-Gehaltes sowie der Variation des HRB-Gehaltes bzw. des Mischgranulates getrennt voneinander verglichen werden. Innerhalb der Varianten mit variiertem Bitumenemulsions-Gehalt zeigt sich durch die Steigerung der Bitumenemulsion-Zugabe eine leicht abnehmende Steifigkeit und eine leicht zunehmende Bruchdehnung. Eine höhere Zementzugabe sowie die vorgenommenen Veränderungen der Zusammensetzung des Mischgranulates führen zu ansteigenden E-Moduln, während die Bruchdehnung sich kaum verändert.

Alle beobachteten Unterschiede sind aber unter Berücksichtigung der Versuchsstreuung als eher klein einzuschätzen.

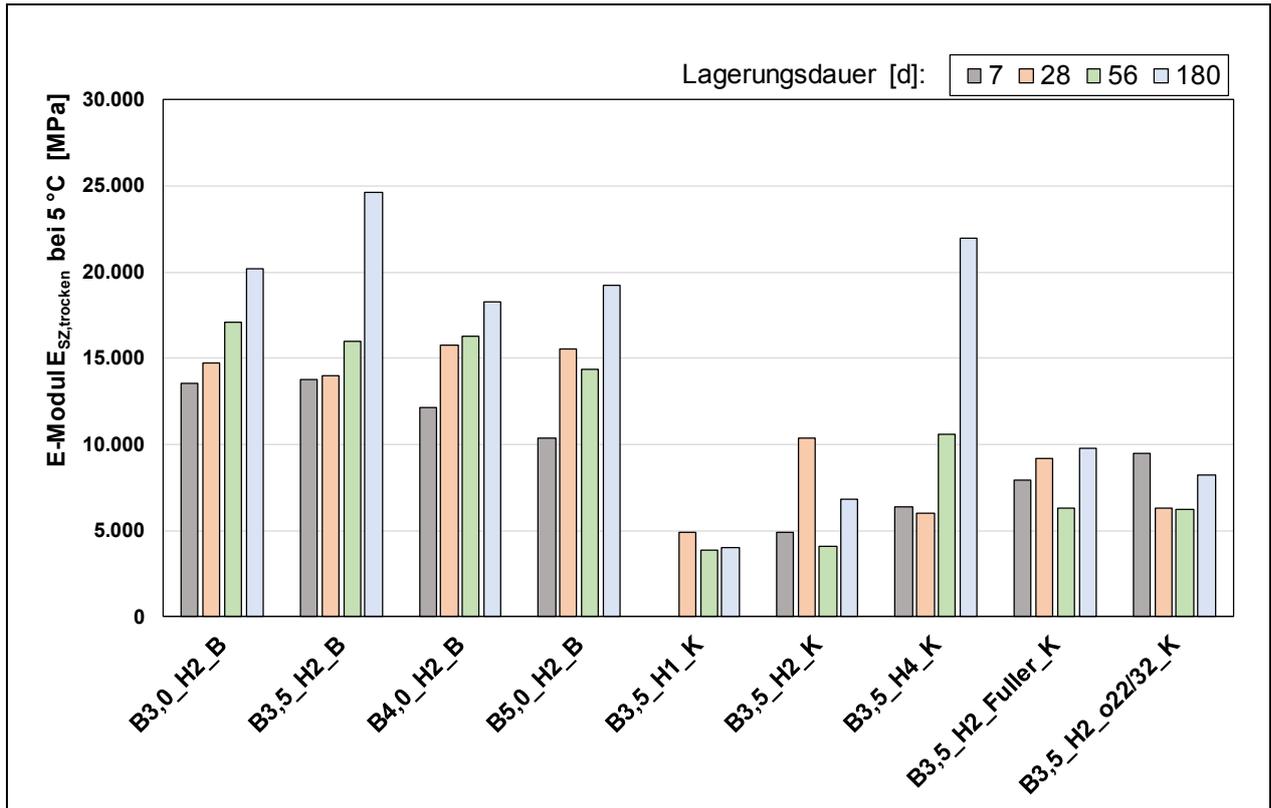


Bild 5-5 In Spaltzugversuchen bei 5 °C bestimmte E-Moduln

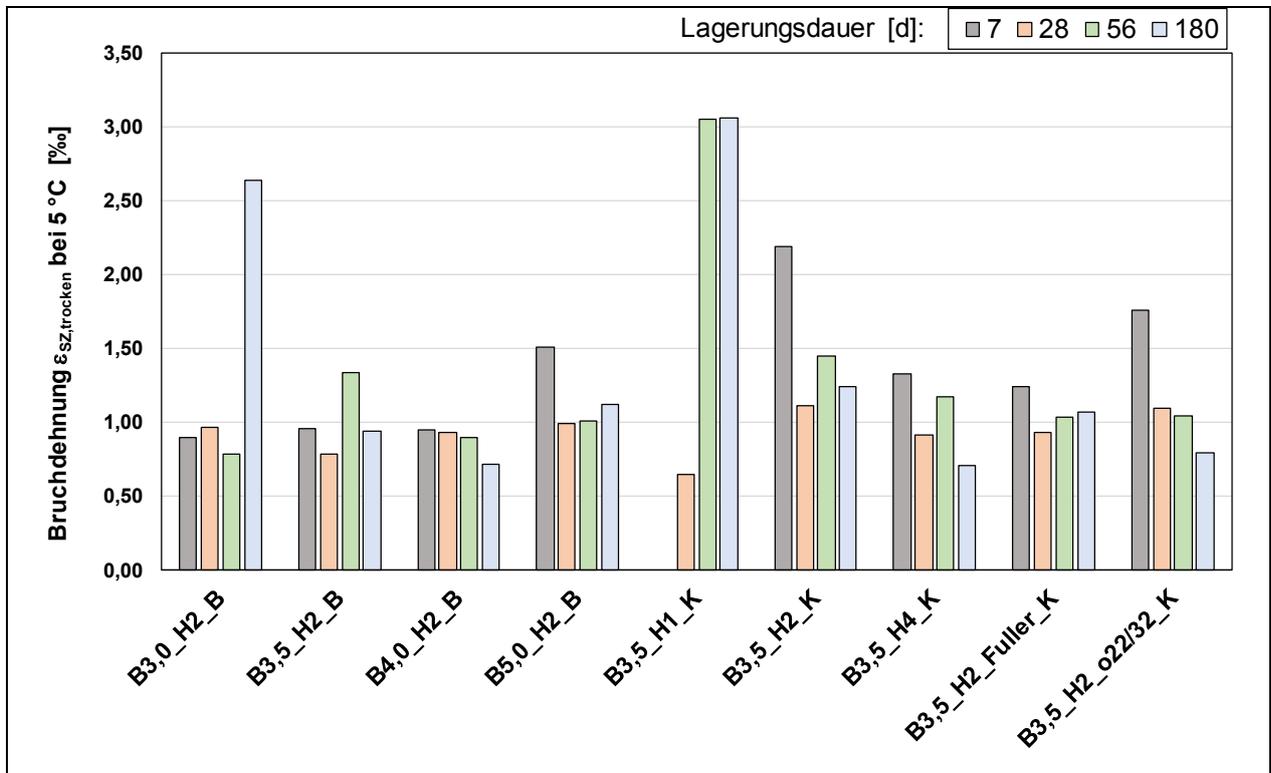


Bild 5-6: In Spaltzugversuchen bei 5 °C bestimmte Bruchdehnungen

Nach der Einteilung von Langhammer (1998), vgl. Tab. 2-2 ergeben sich anhand der nach 28-tägiger Liegedauer bestimmten E-Moduln und Bruchdehnungen für die Varianten der in Tab. 5-8 zusammengestellten Bindungstypen.

Die meisten der im Labor hergestellten KRC-Varianten sind nach dieser Einteilung aufgrund ihrer hohen E-Moduln und geringen Bruchdehnungen als rein hydraulisch einzustufen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass aufgrund der angewendeten Verdichtung mittels Walzsektor-Verdichtungsgerät eine höhere Verdichtung der Probekörper vorliegt als bei den Proben, welche die Grundlage der Einteilung nach Langhammer gebildet haben. Weiterhin zeigen die unterschiedlichen Niveaus der Werte von Varianten aus den beiden hier beteiligten Forschungsstellen, dass weitere Einflüsse aus Probekörperherstellung (Schleifen der Grundflächen) sowie Unterschiede der Probenlagerung zu weniger vergleichbaren Kennwerten geführt haben. Sollte zukünftig weiterhin eine Einteilung der KRC-Art anhand von Kennwerten aus dem Spaltzugversuch erfolgen, so sind die dazu herangezogenen Klassengrenzen zu überarbeiten.

Mischgutvariante	$E_{sz,tr}$	Typ	$\epsilon_{sz,tr}$	Typ
B3,5_H2_B	13.991	C	0,79	C
B3,5_H2_K	10.389	B2, C	1,11	B2
B3,0_H2_B	14.723	C	0,97	C
B4,0_H2_B	15.770	C	0,94	C
B5,0_H2_B	15.543	C	1,00	B2, C
B3,5_H1_K	4.925	B1	0,65	C
B3,5_H4_K	6.020	B1, B2	0,92	C
B3,5_H2_Fuller_K	9.189	B1, B2	0,93	C
B3,5_H2_o22/32_K	6.288	B1, B2	1,10	B2

Tab. 5-8: Aus den Ergebnissen der Spaltzugversuche resultierende Typ-Einteilung des KRC-Materials (nach Langhammer, 1998)

5.1.5 Steifigkeitsmoduln gemäß TP Asphalt, Teil 26

Die in diesem Abschnitt vorgestellten Ergebnisse sind Mittelwerte aus drei Probekörpern, die gemäß [TP Asphalt-StB, Teil 26, 2018] untersucht wurden. Aus den Versuchsergebnissen wurden die Steifigkeiten und die Phasenwinkel berechnet und in den folgenden Abbildungen grafisch dargestellt. Da keine sichtbare Zerstörung bei der Prüfung stattfindet, konnten die Proben jeweils nach 28, 56 und 175 Tagen Lagerung untersucht werden. Damit lässt sich die zeitliche Entwicklung der Schichteigenschaften abschätzen.

Im Anschluss an die Darstellungen der Steifigkeiten und Phasenwinkel folgen in Bild 5-7 bis 5-27 die aus ebendiesen berechneten Hauptkurven.

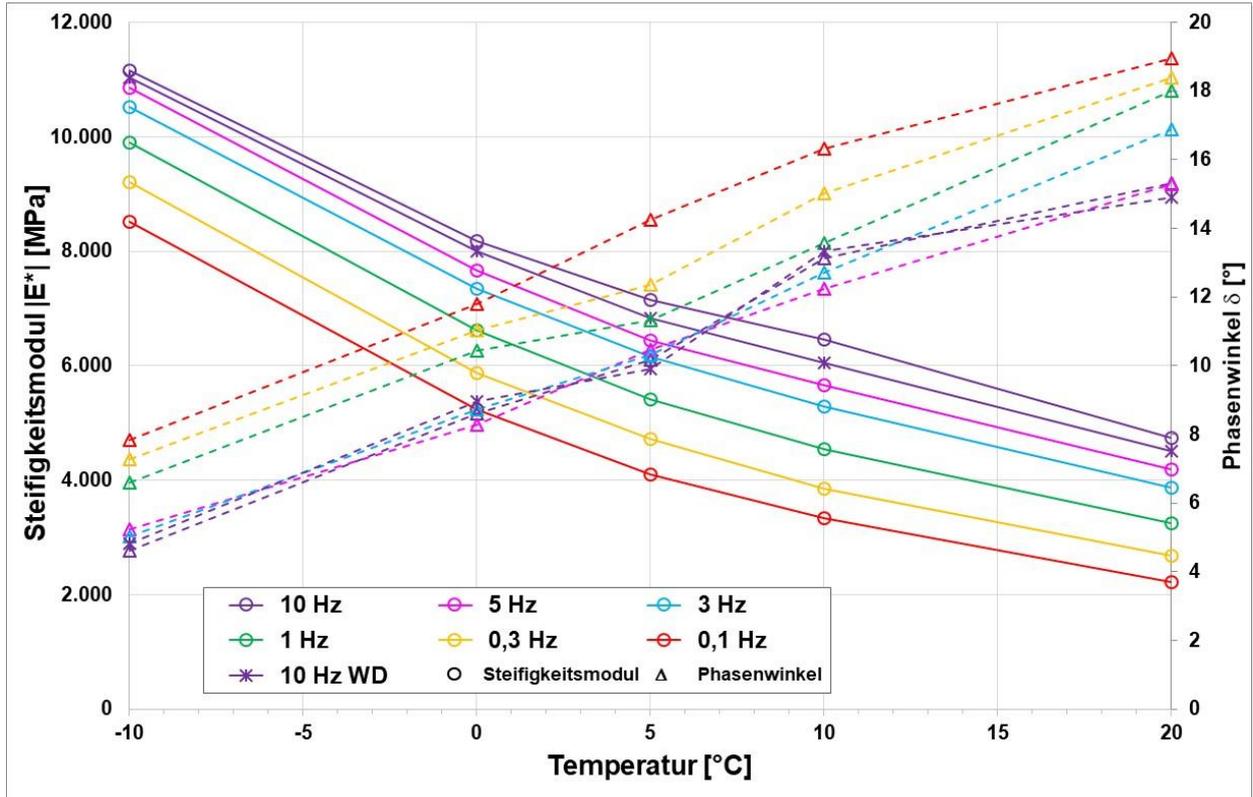


Bild 5-7: Steifigkeitsmodule und Phasenwinkel B3,5_H2_B nach 28 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen

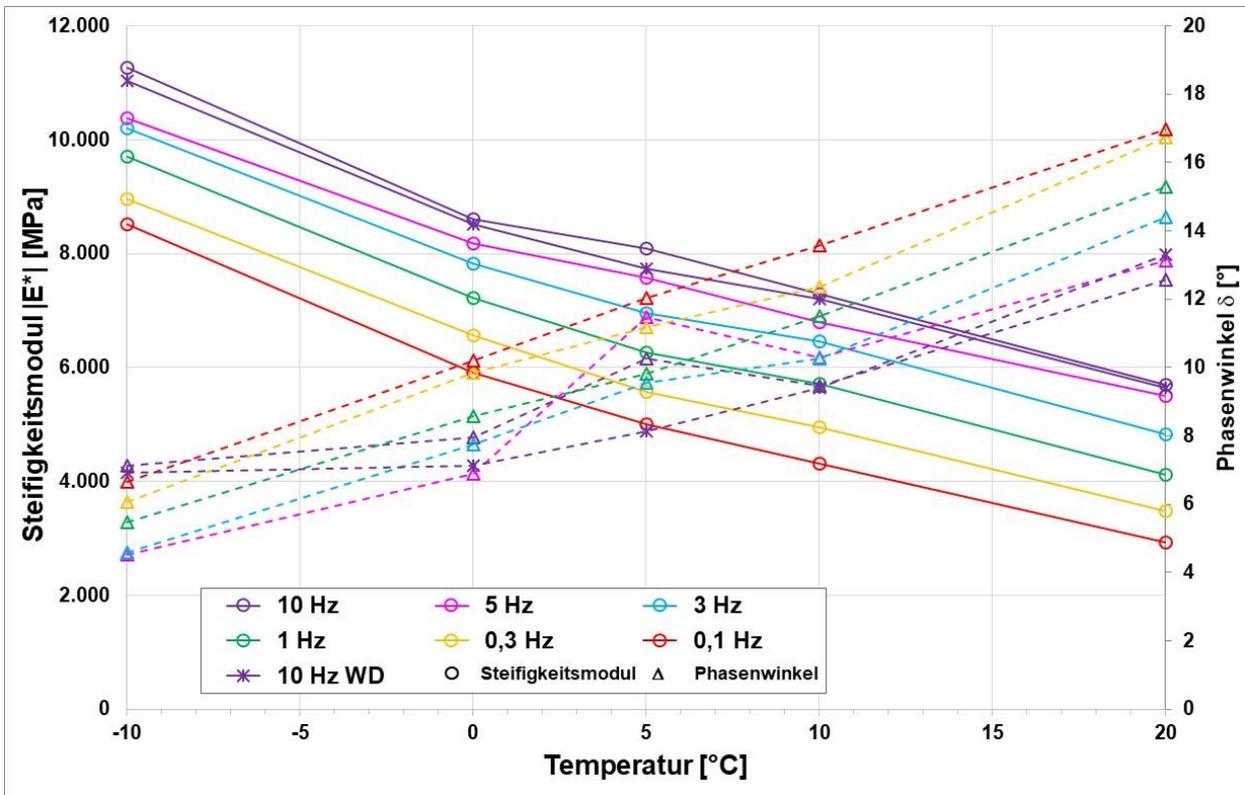


Bild 5-8: Steifigkeitsmodule und Phasenwinkel B3,5_H2_B nach 56 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen

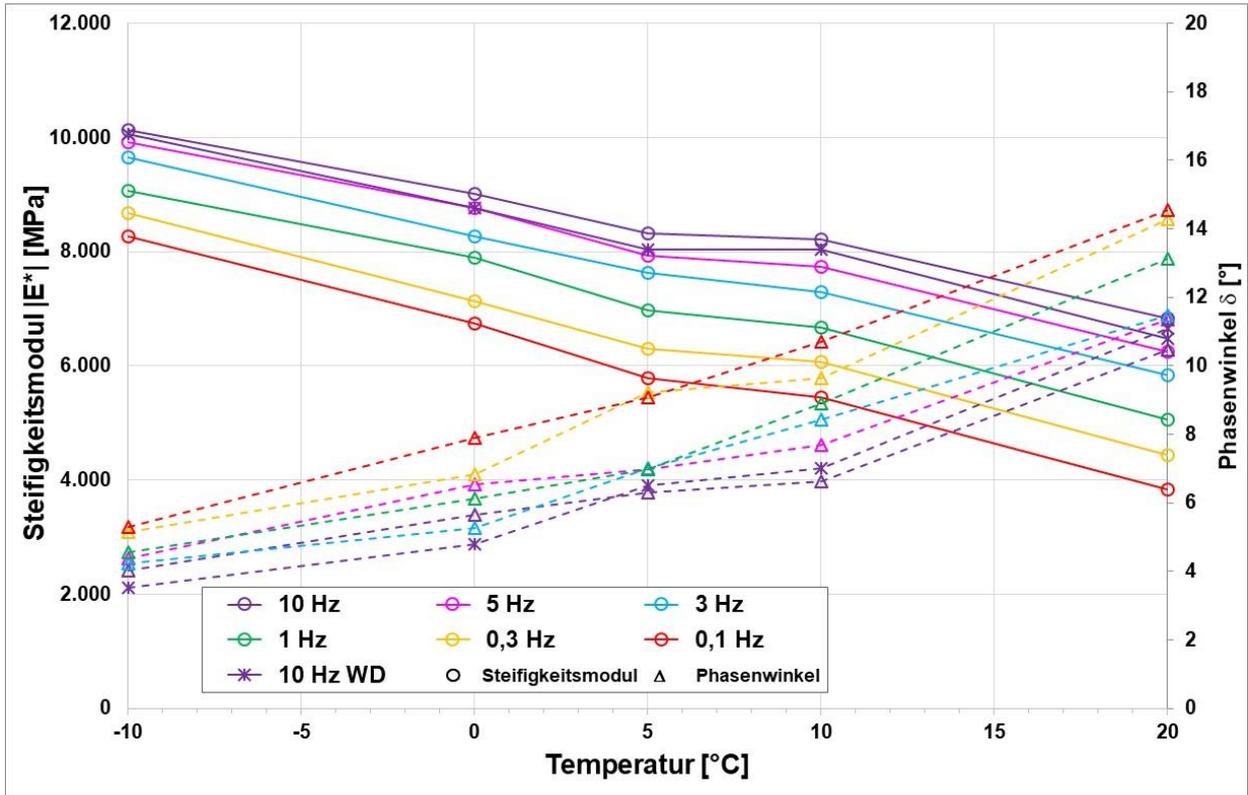


Bild 5-9: Steifigkeitsmodule und Phasenwinkel B3,5_H2_B nach 175 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen

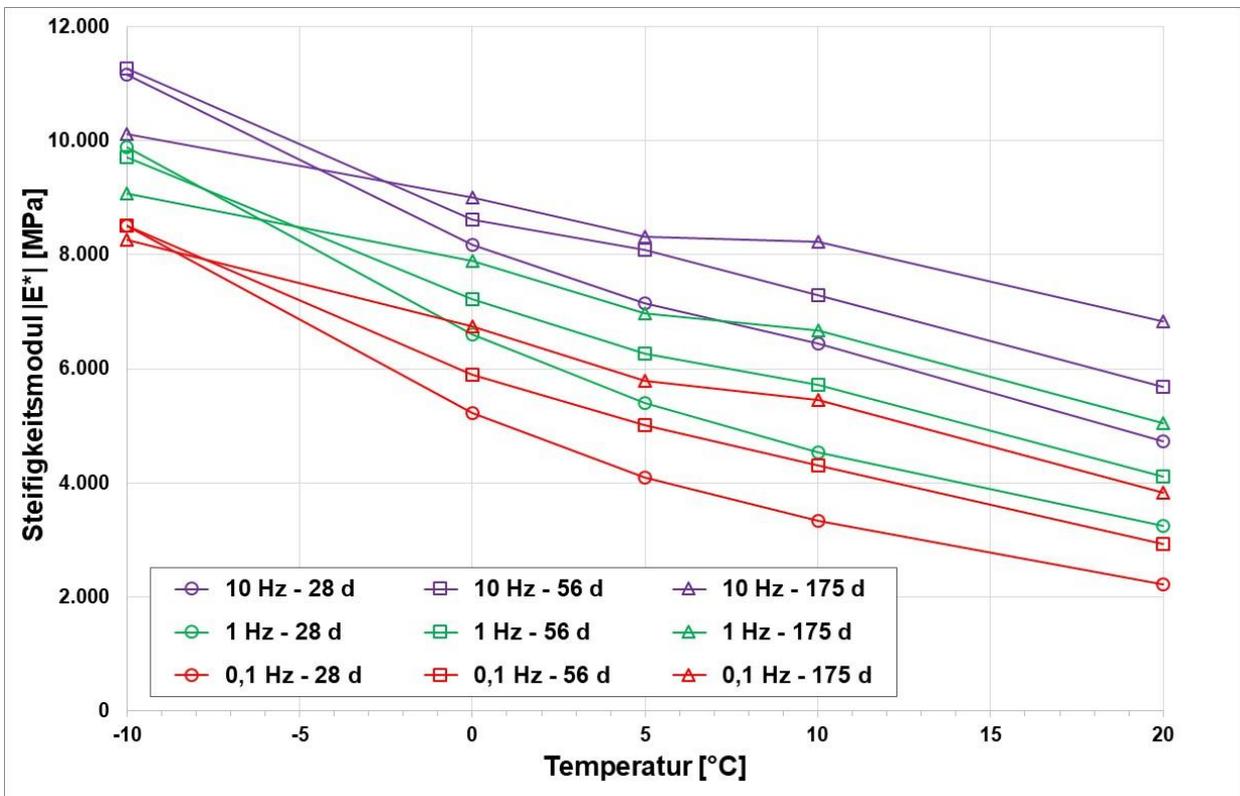


Bild 5-10: Vergleich der Steifigkeitsmodule B3,5_H2_B nach 28, 56 und 175 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen

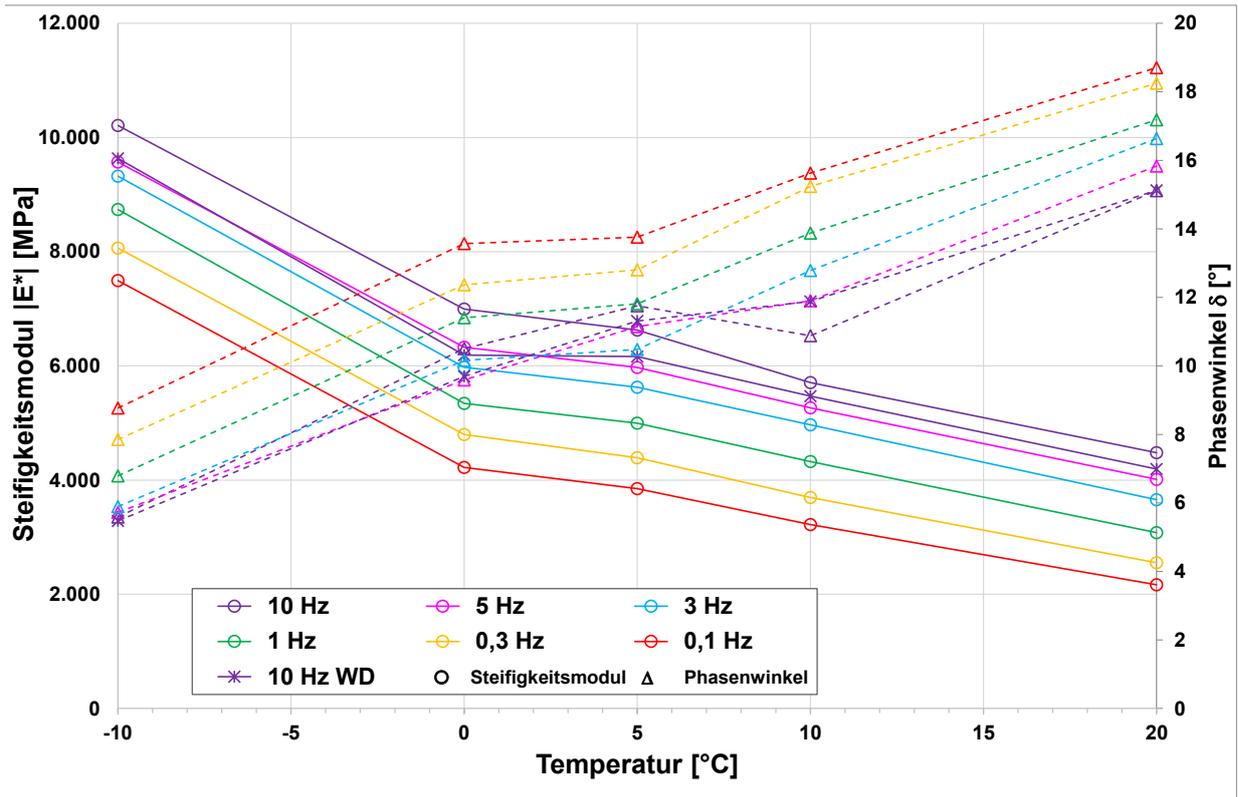


Bild 5-11: Steifigkeitsmodule und Phasenwinkel der Variante B3,0_H2_B nach 28 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen

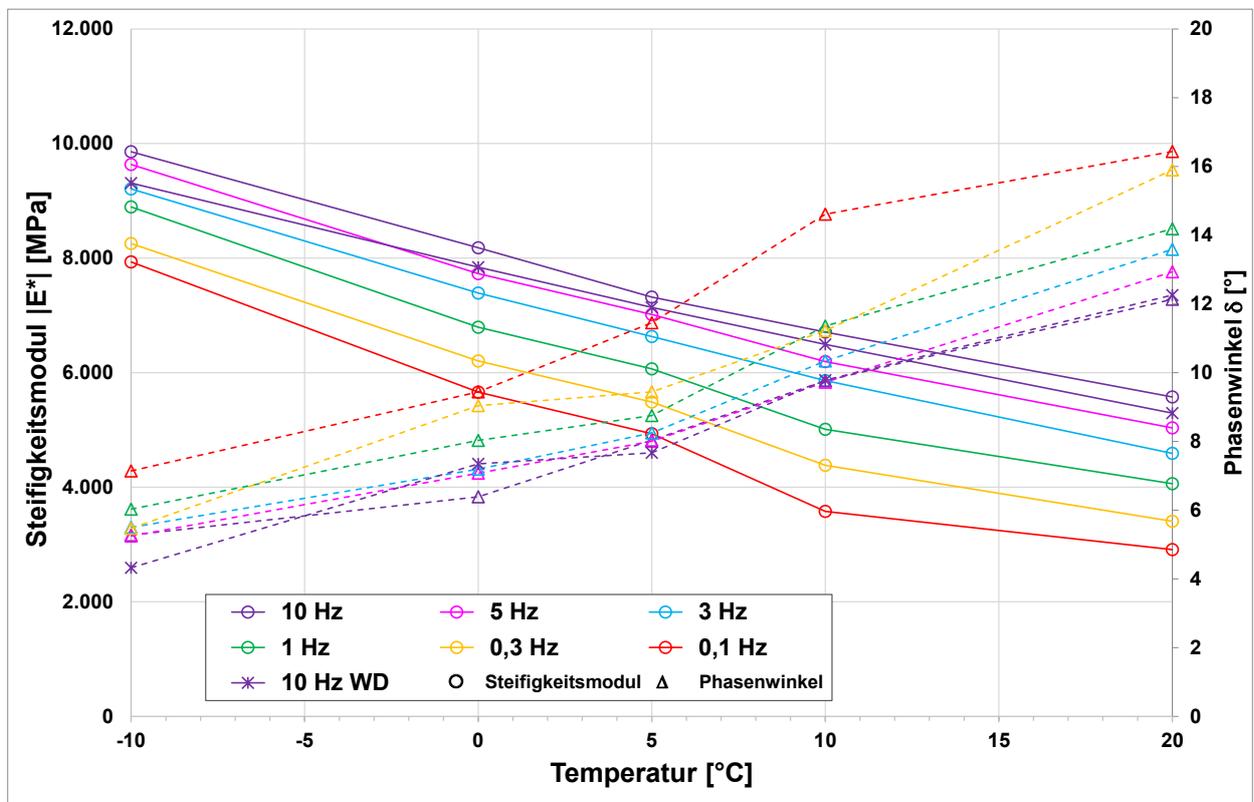


Bild 5-12: Steifigkeitsmodule und Phasenwinkel der Variante B3,0_H2_B nach 56 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen

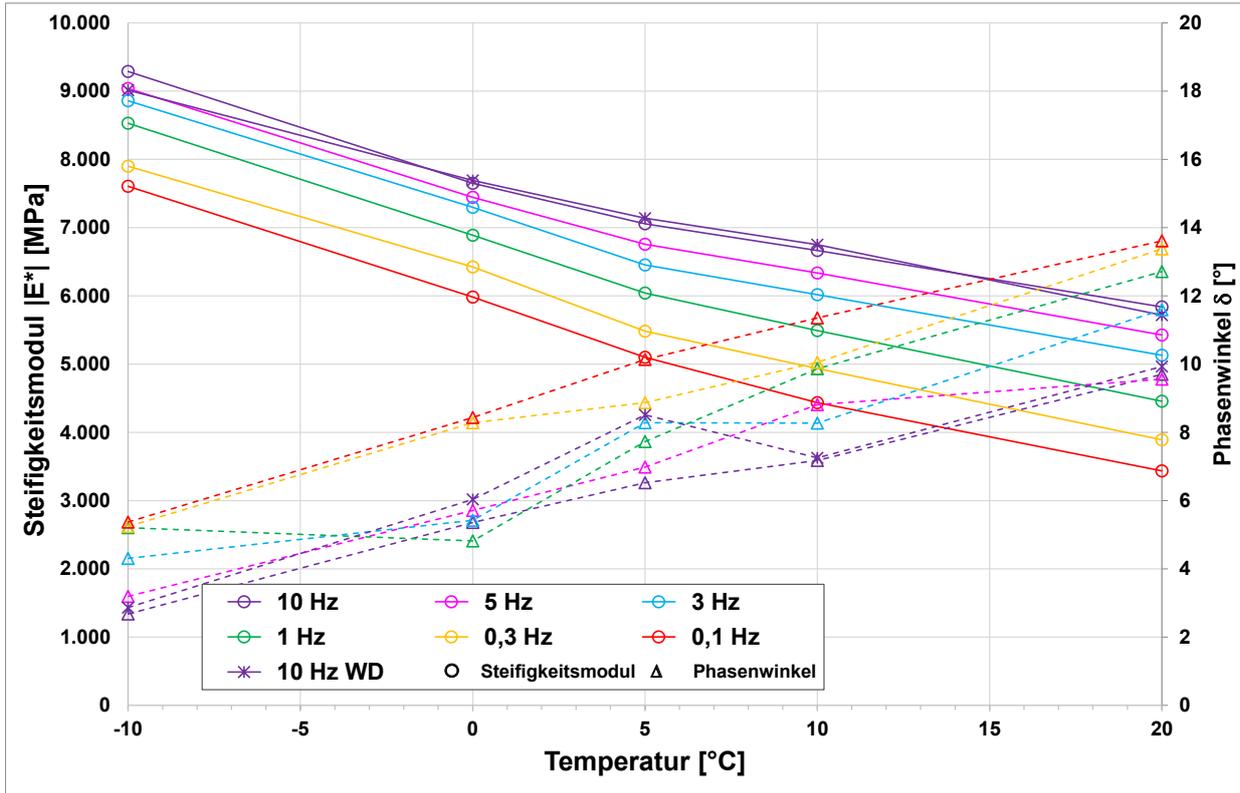


Bild 5-13: Steifigkeitsmodule und Phasenwinkel der Variante B3,0_H2_B nach 175 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen

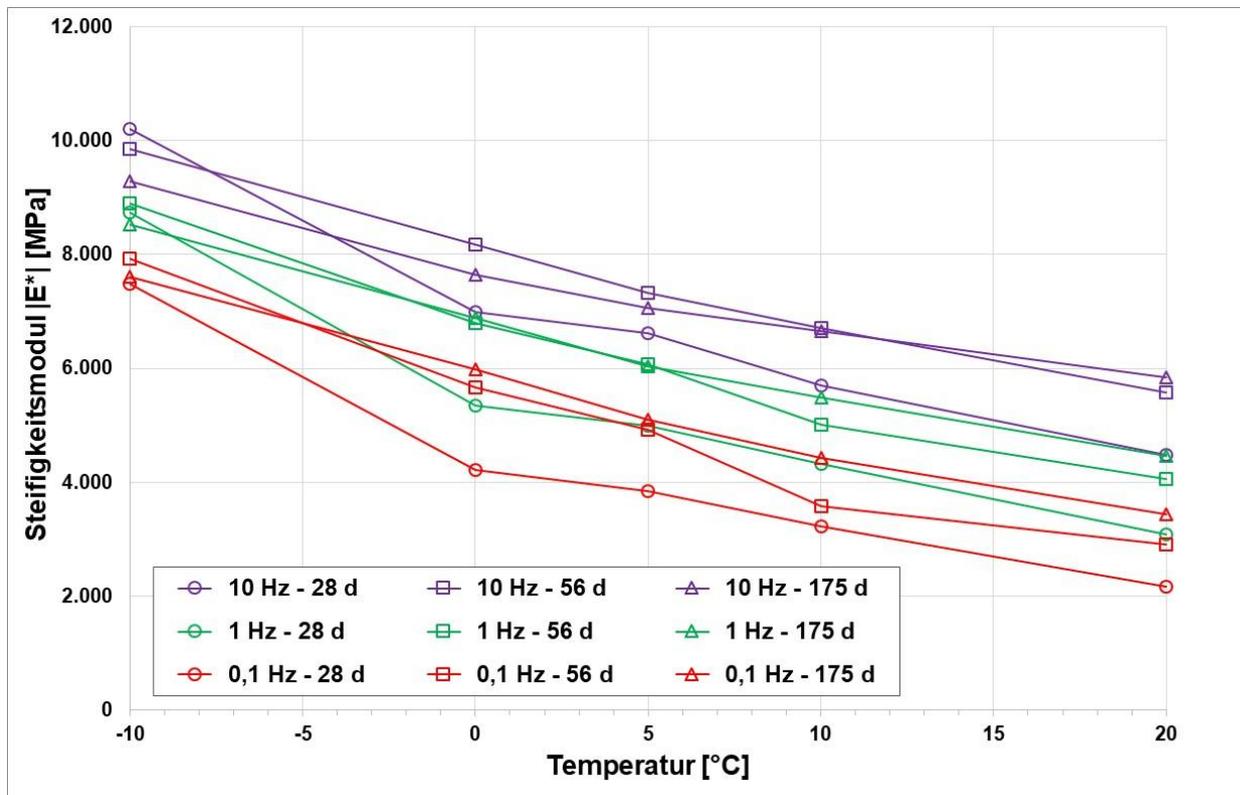


Bild 5-14: Vergleich der Steifigkeitsmodule Variante B3,0_H2_B nach 28, 56 und 175 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen

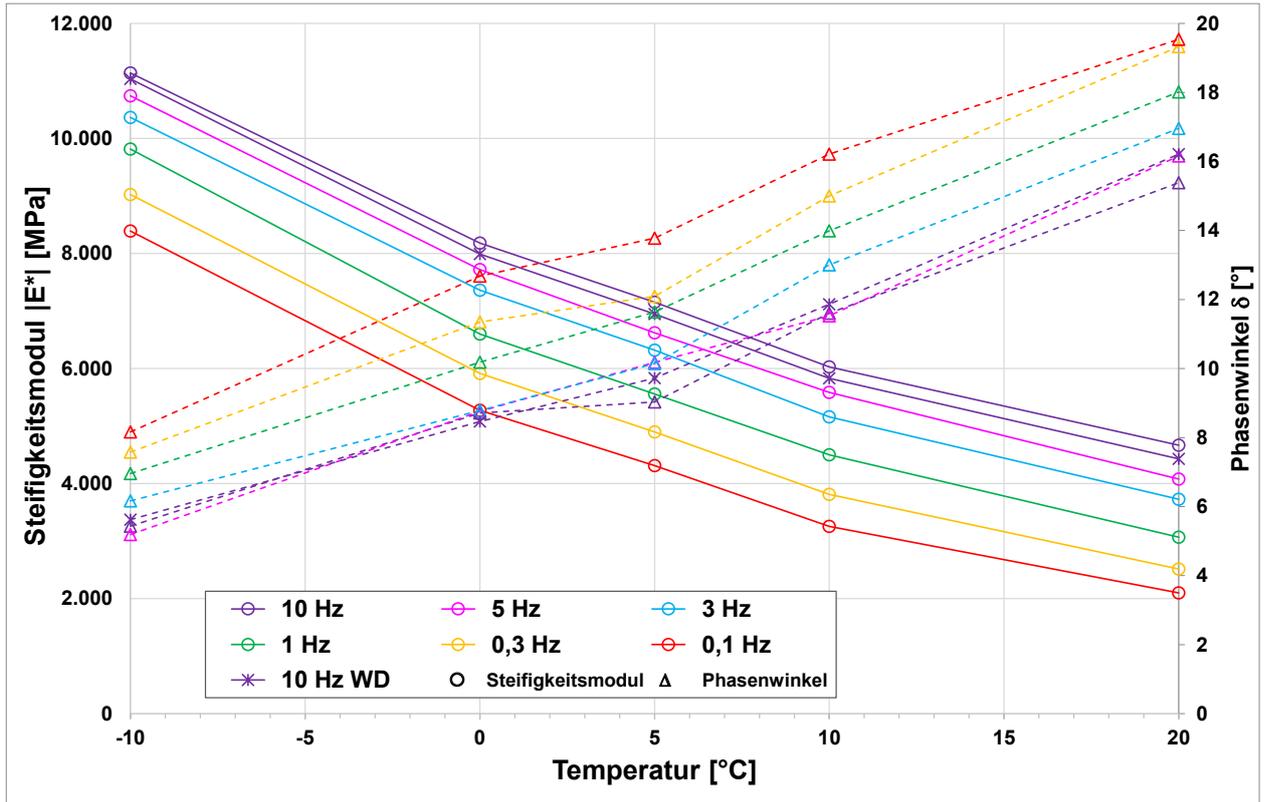


Bild 5-15: Steifigkeitsmodule und Phasenwinkel der Variante B4,0_H2_B nach 28 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen

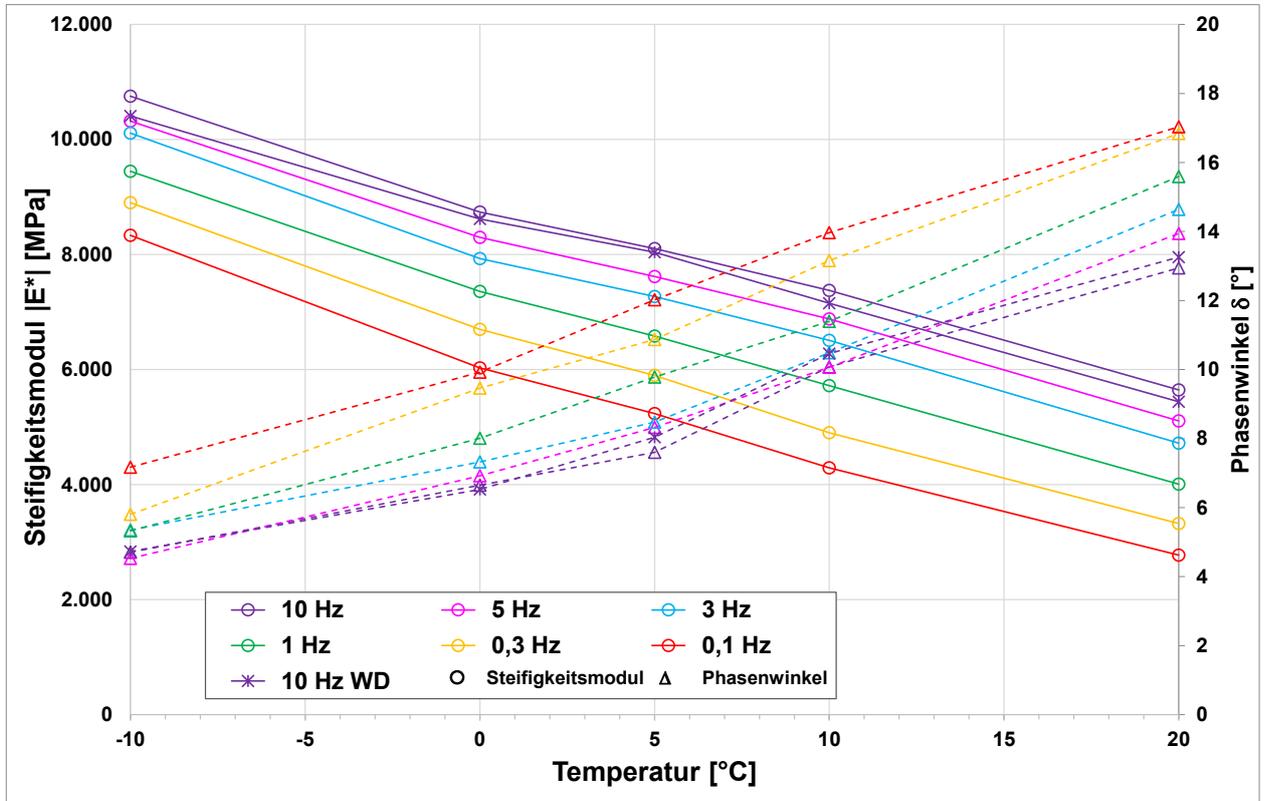


Bild 5-16: Steifigkeitsmodule und Phasenwinkel der Variante B4,0_H2_B nach 56 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen

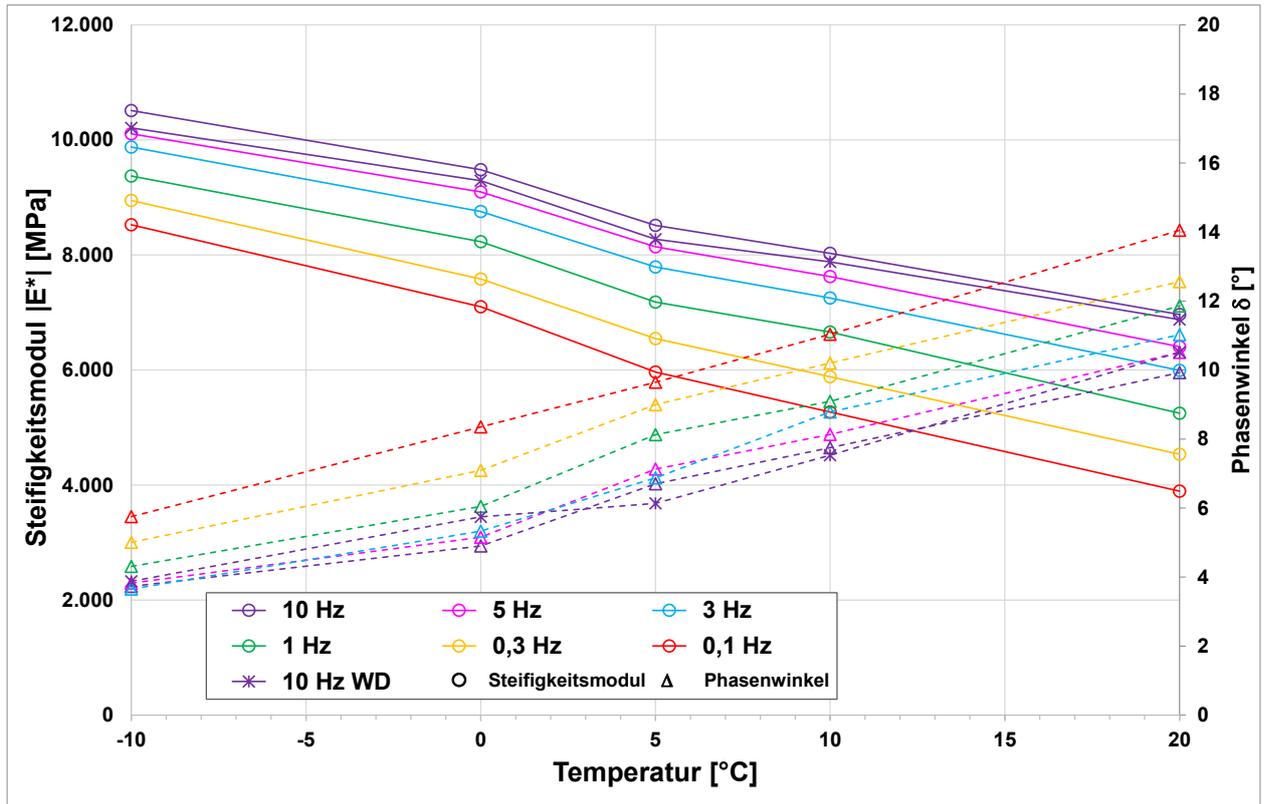


Bild 5-17: Steifigkeitsmodule und Phasenwinkel der Variante B4,0_H2_B nach 175 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen

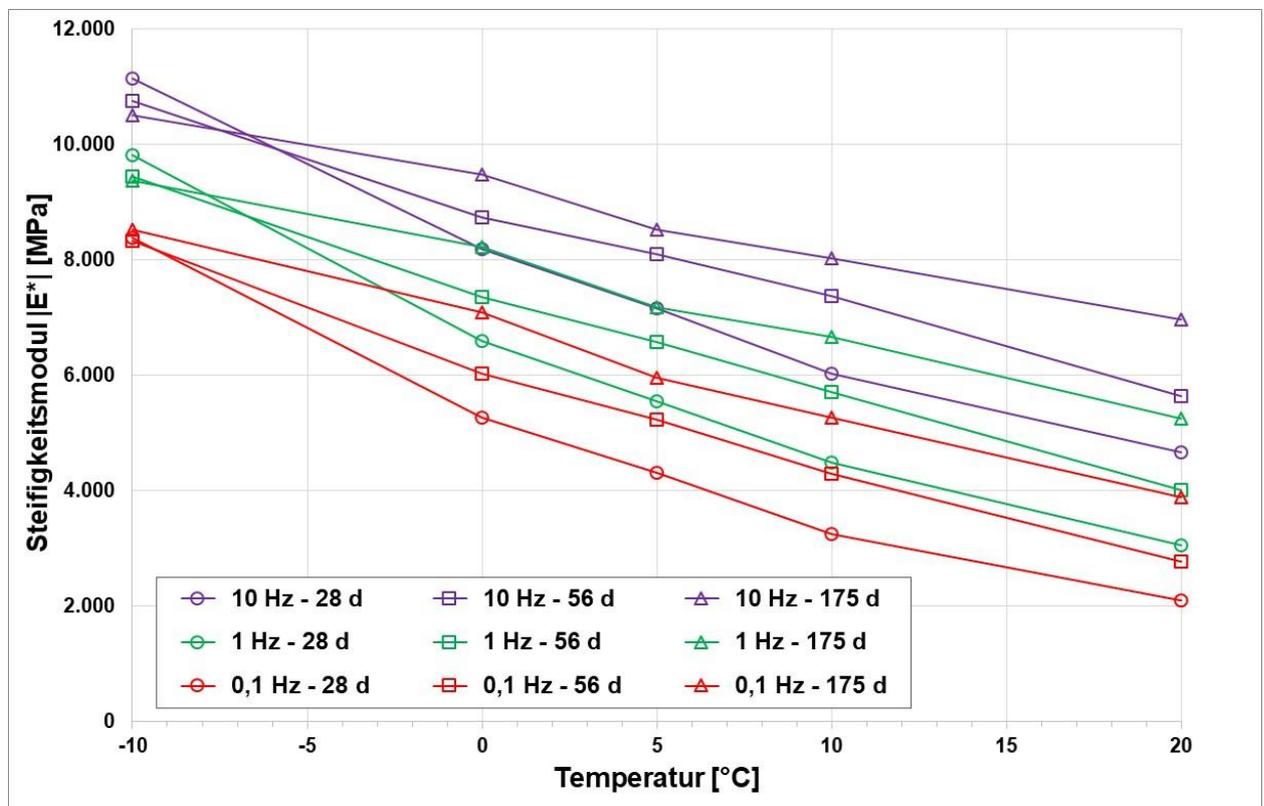


Bild 5-18: Vergleich der Steifigkeitsmodule Variante B4,0_H2_B nach 28, 56 und 175 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen

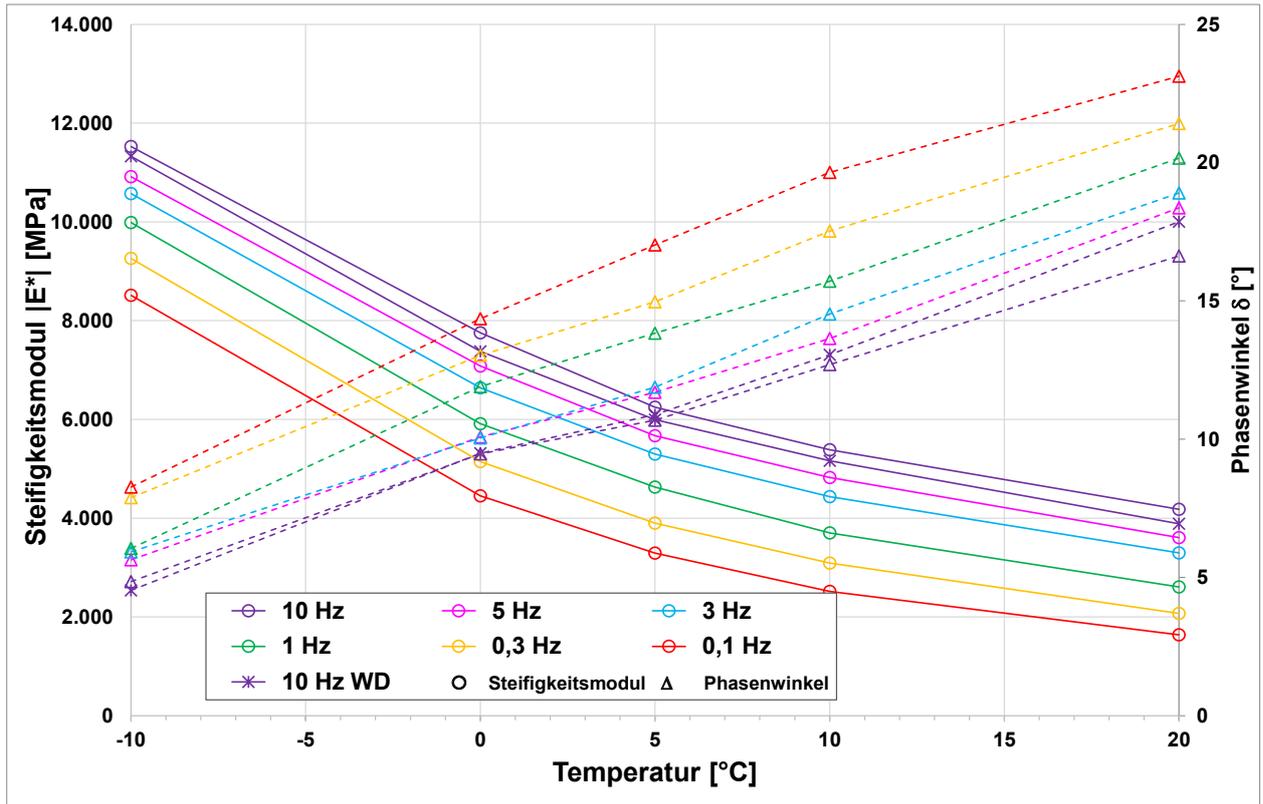


Bild 5-19: Steifigkeitsmodule und Phasenwinkel der Variante B5,0_H2_B nach 28 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen

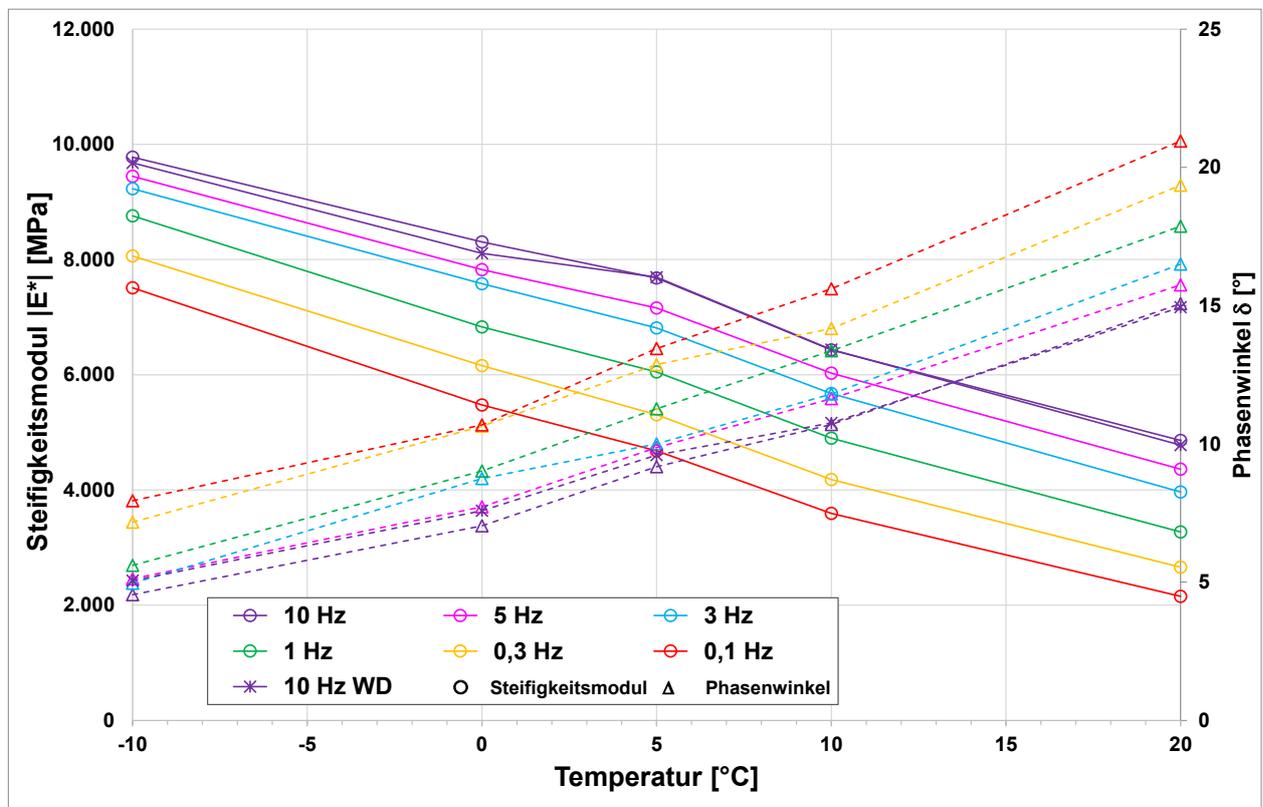


Bild 5-20: Steifigkeitsmodule und Phasenwinkel der Variante B5,0_H2_B nach 56 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen

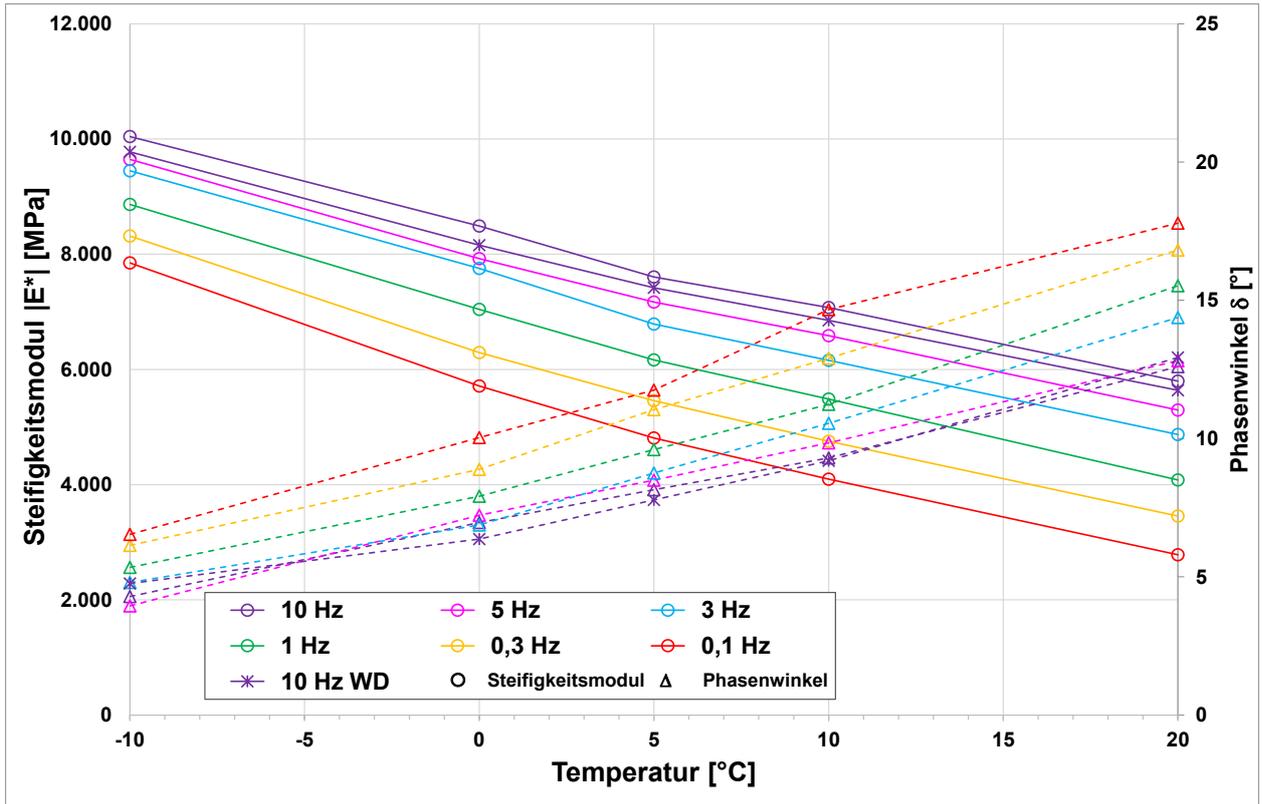


Bild 5-21: Steifigkeitsmodule und Phasenwinkel der Variante B5,0_H2_B nach 175 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen

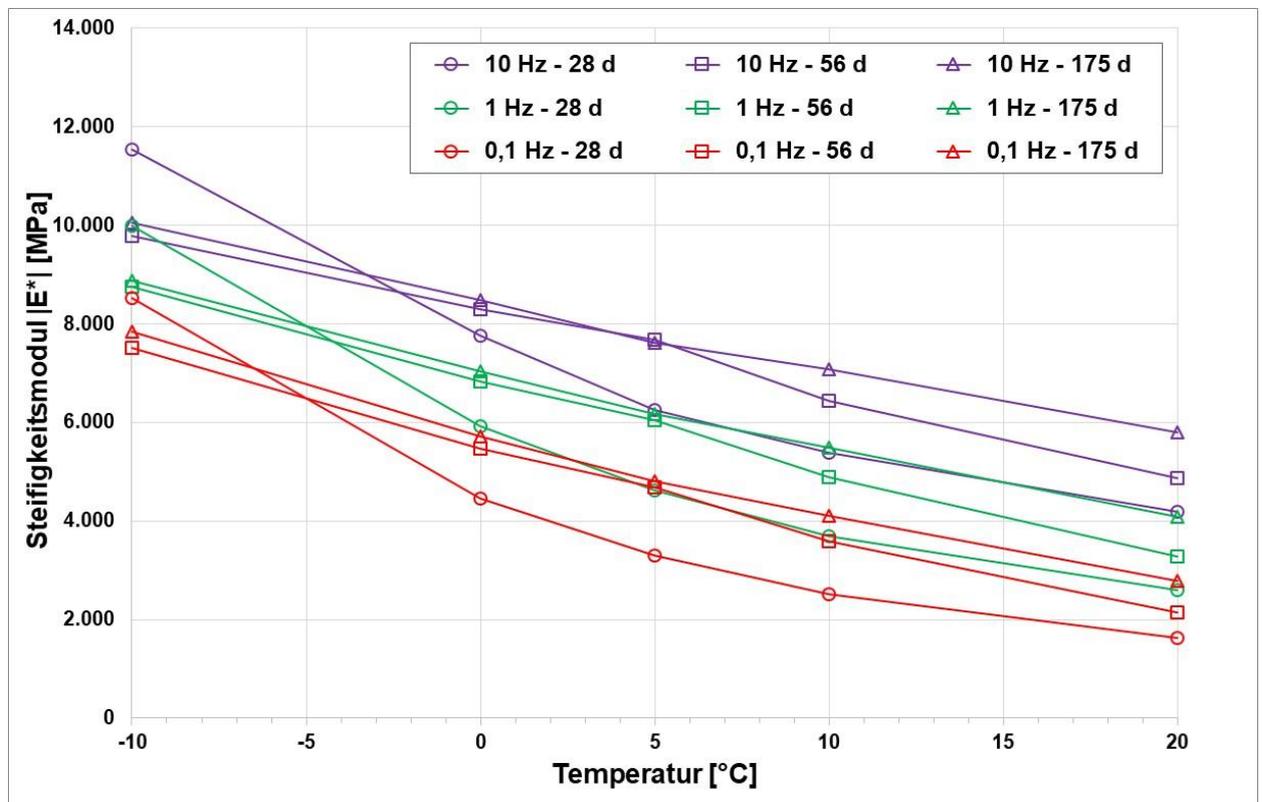


Bild 5-22: Vergleich der Steifigkeitsmodule Variante B5,0_H2_B nach 28, 56 und 175 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen

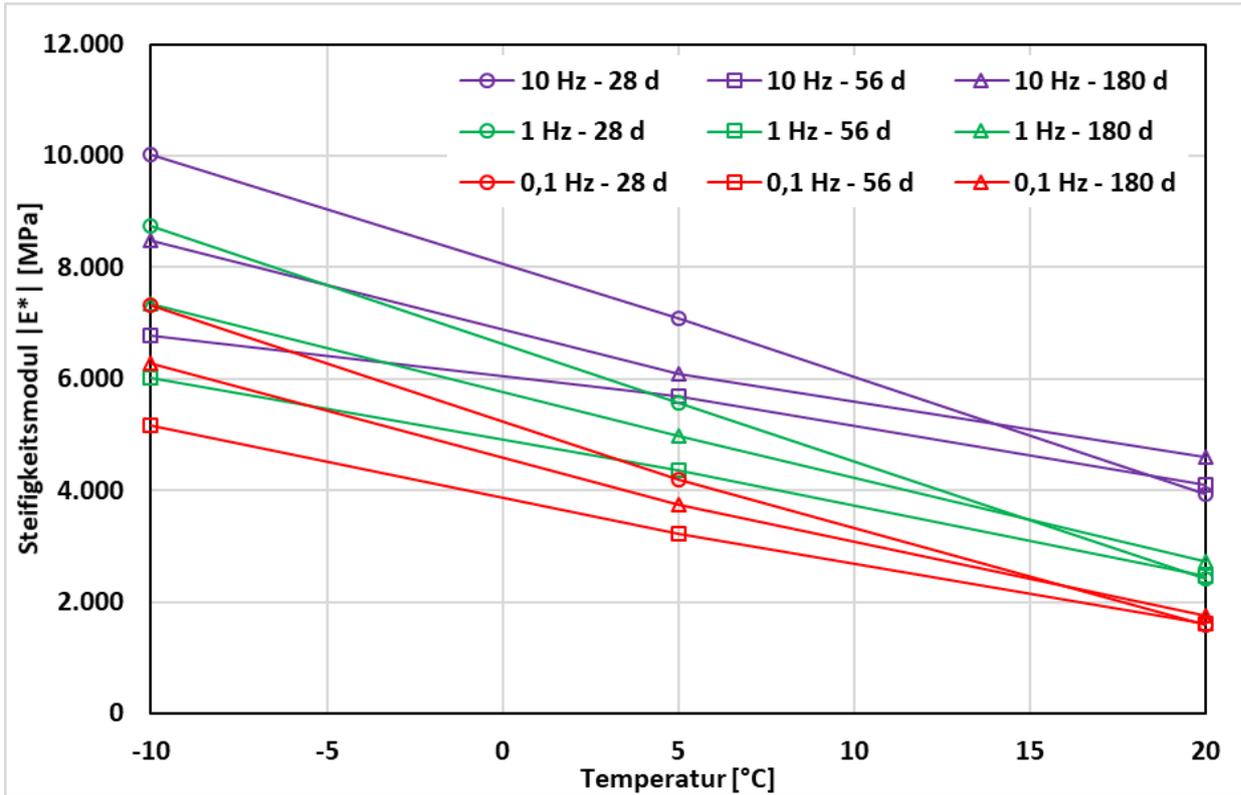


Bild 5-23: Vergleich der Steifigkeitsmodule Variante B3,5_H2_K nach 28, 56 und 175 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen

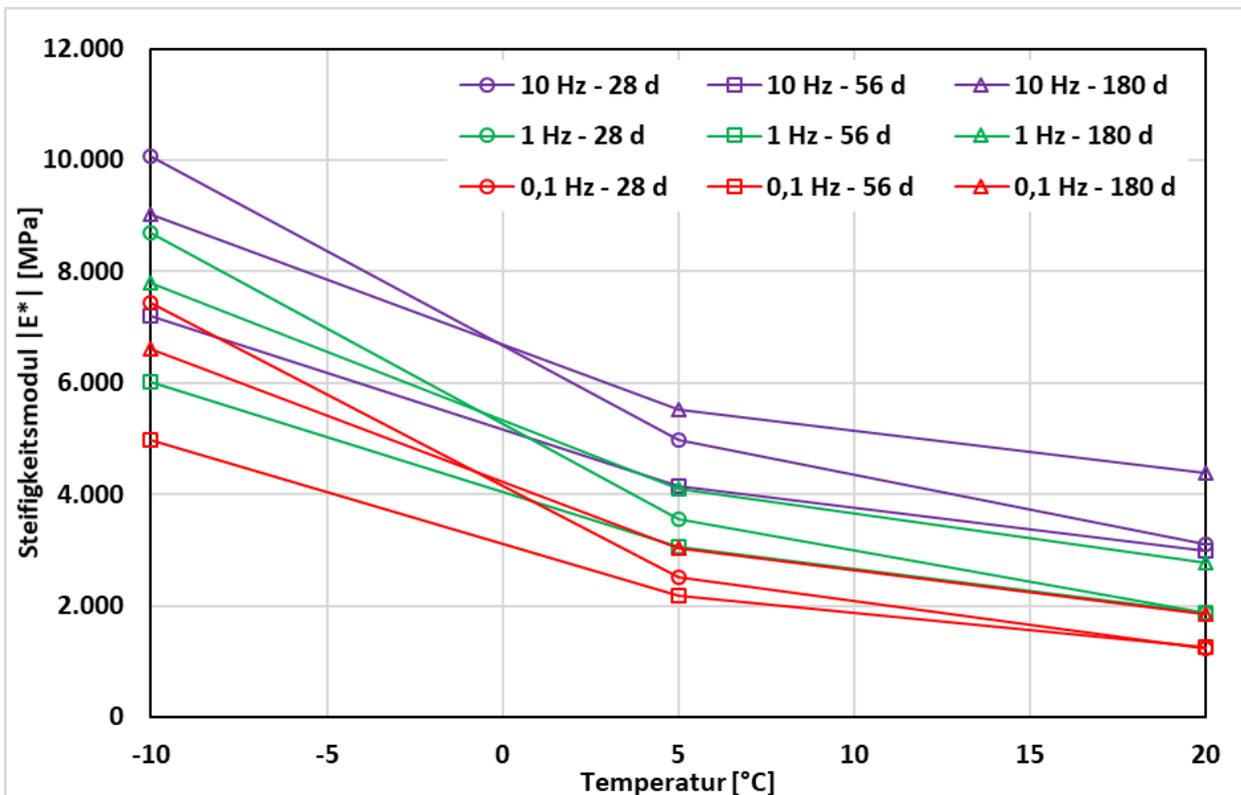


Bild 5-24: Vergleich der Steifigkeitsmodule Variante B3,5_H1_K nach 28, 56 und 175 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen

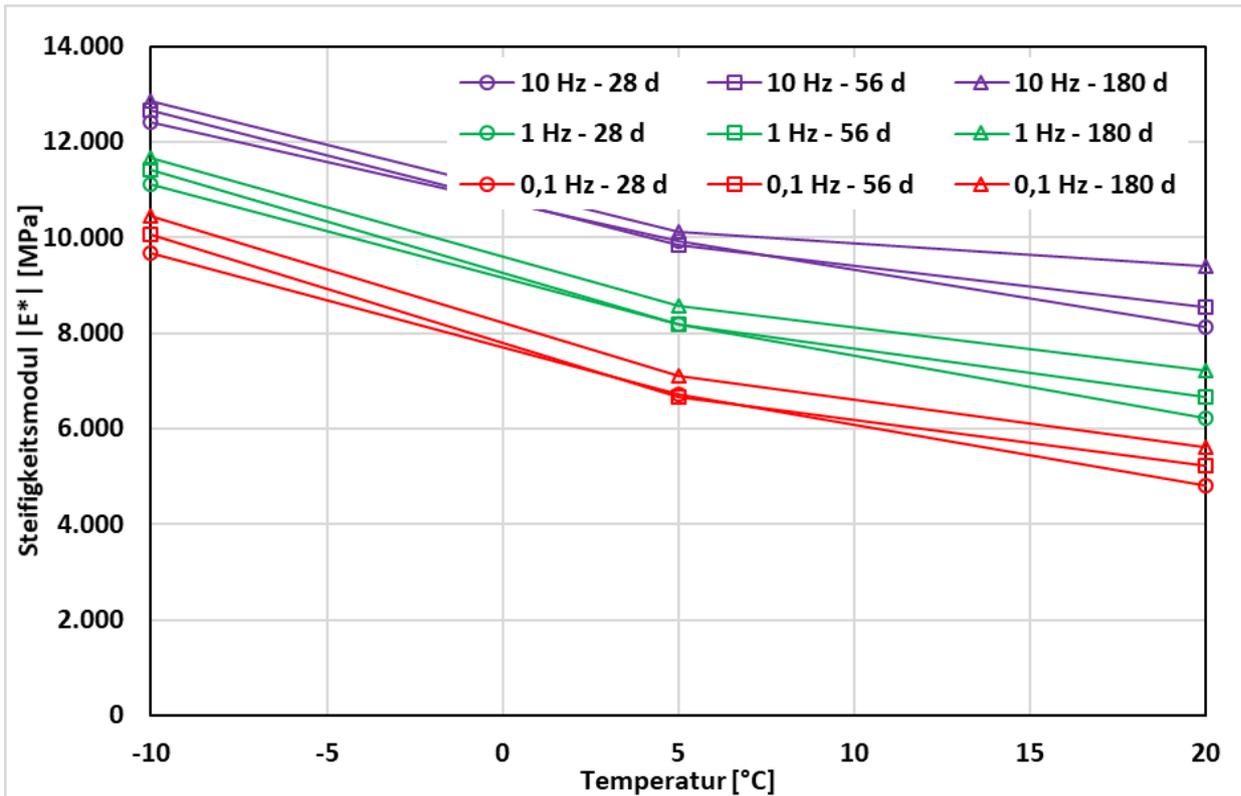


Bild 5-25: Vergleich der Steifigkeitsmodule Variante B3,5_H4_K nach 28, 56 und 175 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen

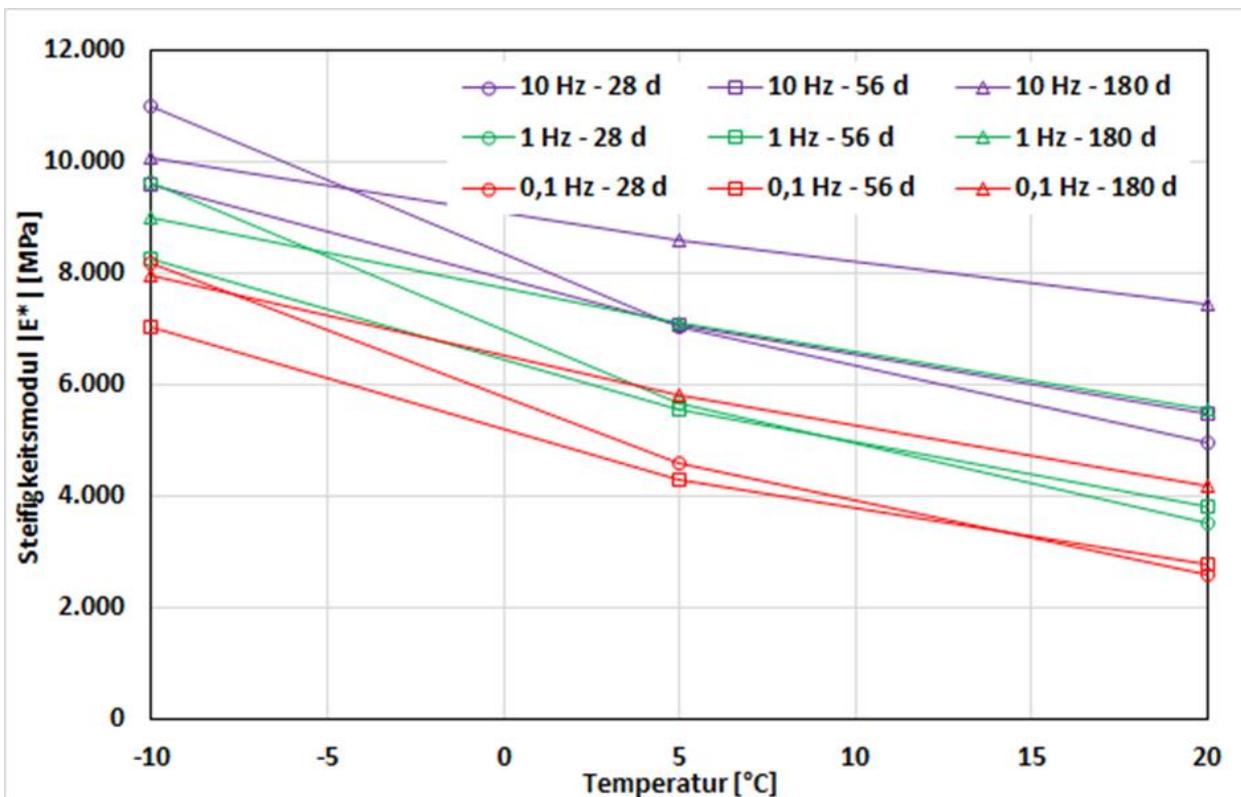


Bild 5-26 Vergleich der Steifigkeitsmodule Variante B3,5_H2_Fuller_K nach 28, 56 und 175 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen

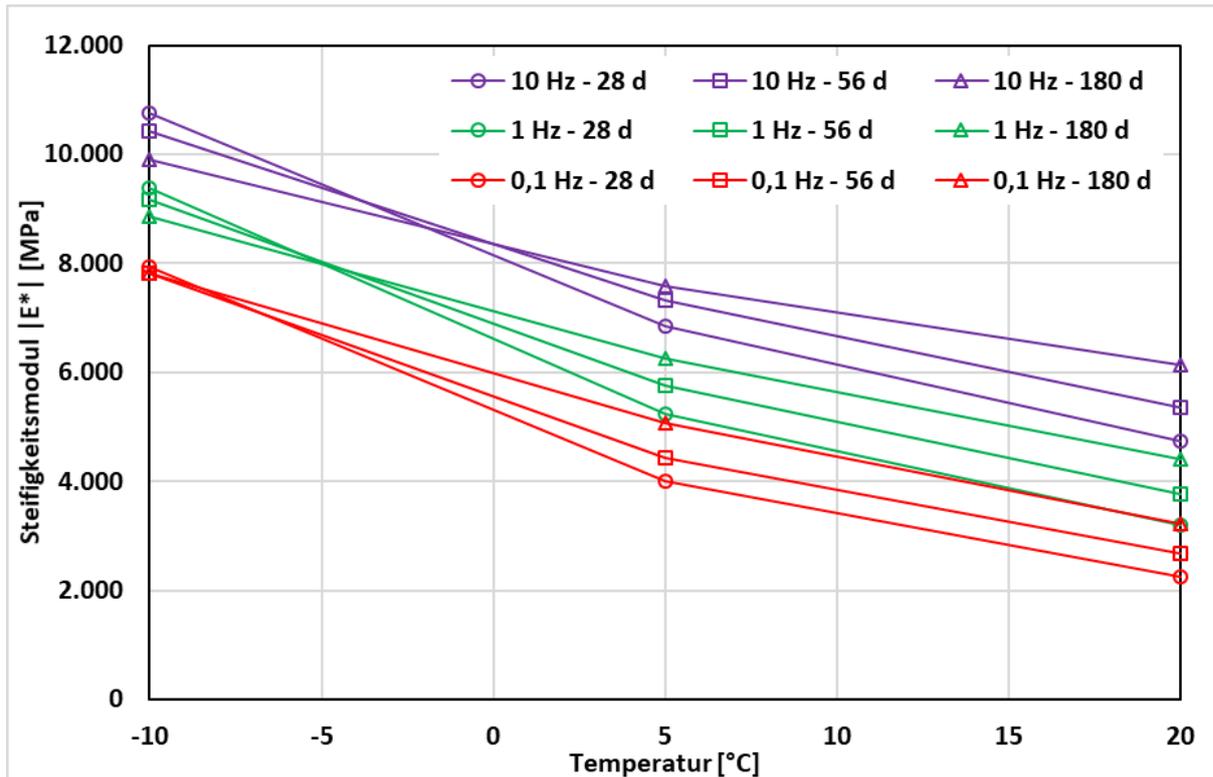


Bild 5-27: Vergleich der Steifigkeitsmodule Variante B3,5_H2_o22/32_K nach 28, 56 und 175 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen

Die Veränderungen der Steifigkeiten in Abhängigkeit von der Lagerungsdauer der Probekörper zeigt einen Einfluss aus der Prüftemperatur und aus der Prüffrequenz. Um dies zu verdeutlichen, sind die gemessenen Steifigkeiten eines Materials als Indexdarstellung in den Bildern 5-28 bis 5-31 aufgeführt. Dabei wurde den Steifigkeiten nach 28 Tagen Lagerungsdauer ein Index 100 zugeordnet und damit als Bezugswert für die jeweiligen Steifigkeiten nach 56 und 175 Tagen definiert.

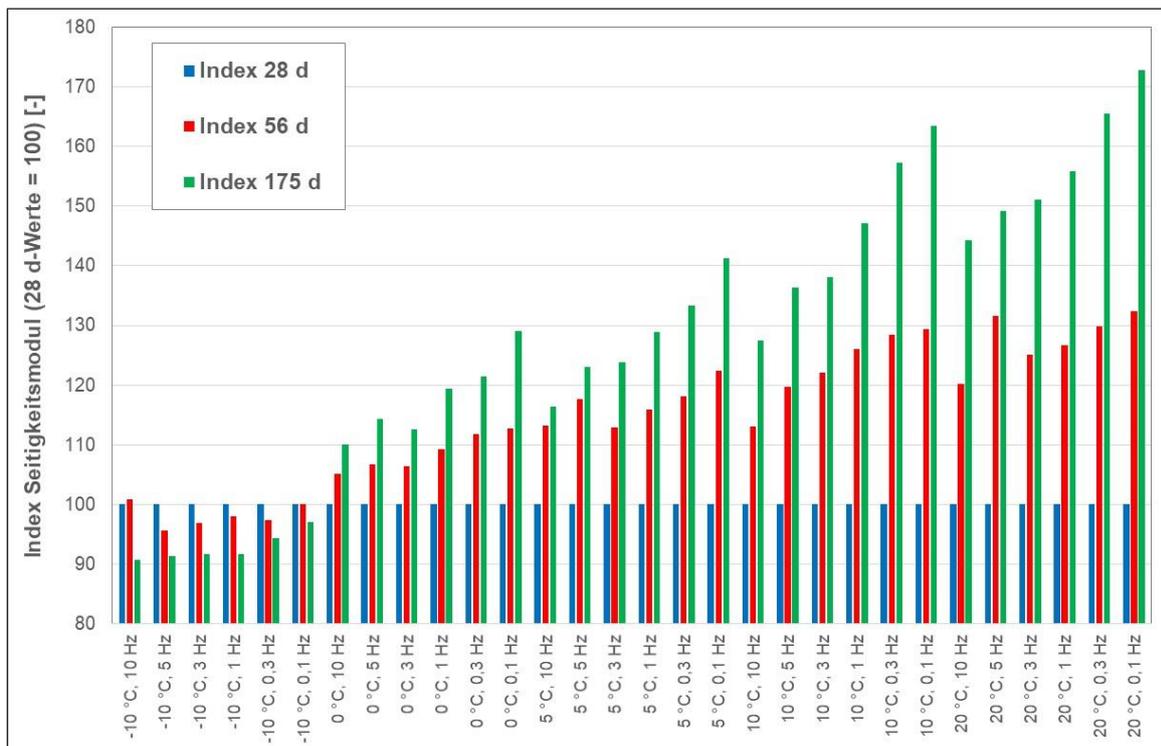


Bild 5-28: Indexdarstellung der Steifigkeitsmodule der Variante B3,5_H2_B nach 28, 56 und 175 Tagen Lagerungsdauer

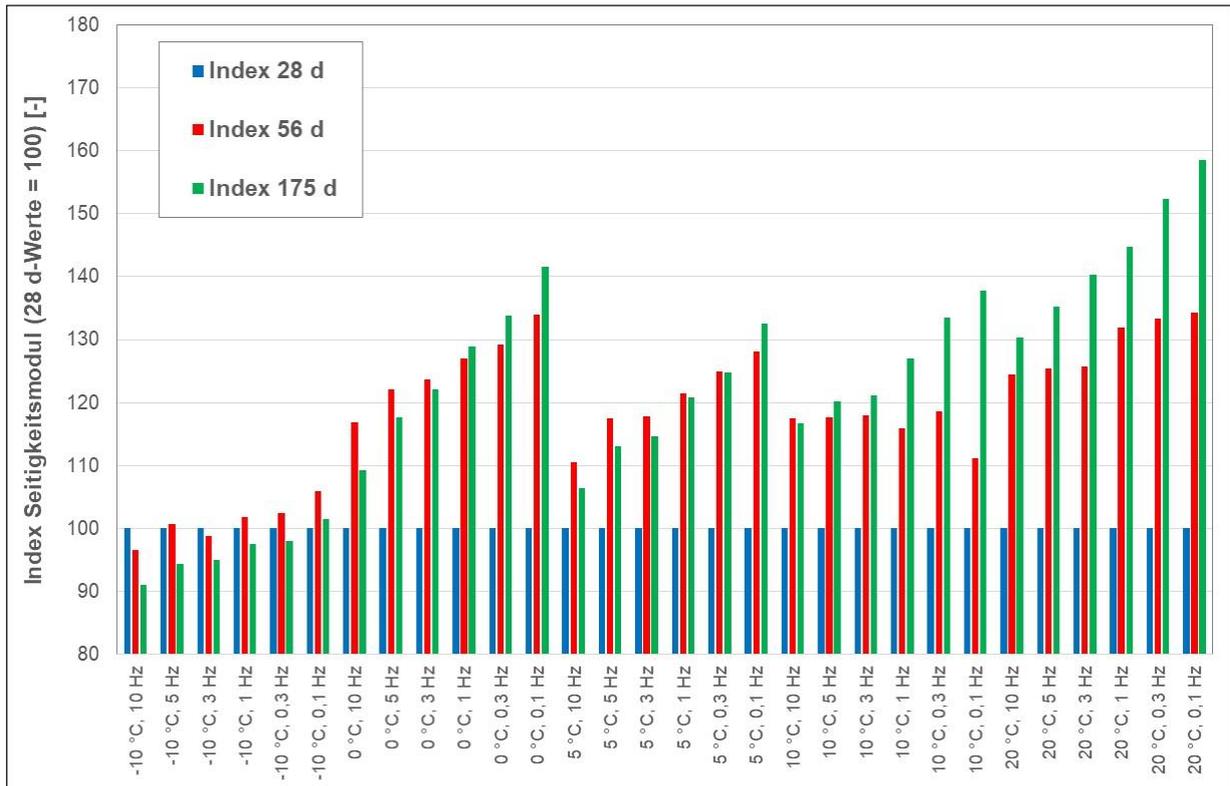


Bild 5-29: Indexdarstellung der Steifigkeitsmodule der Variante B3,0_H2_B nach 28, 56 und 175 Tagen Lagerungsdauer

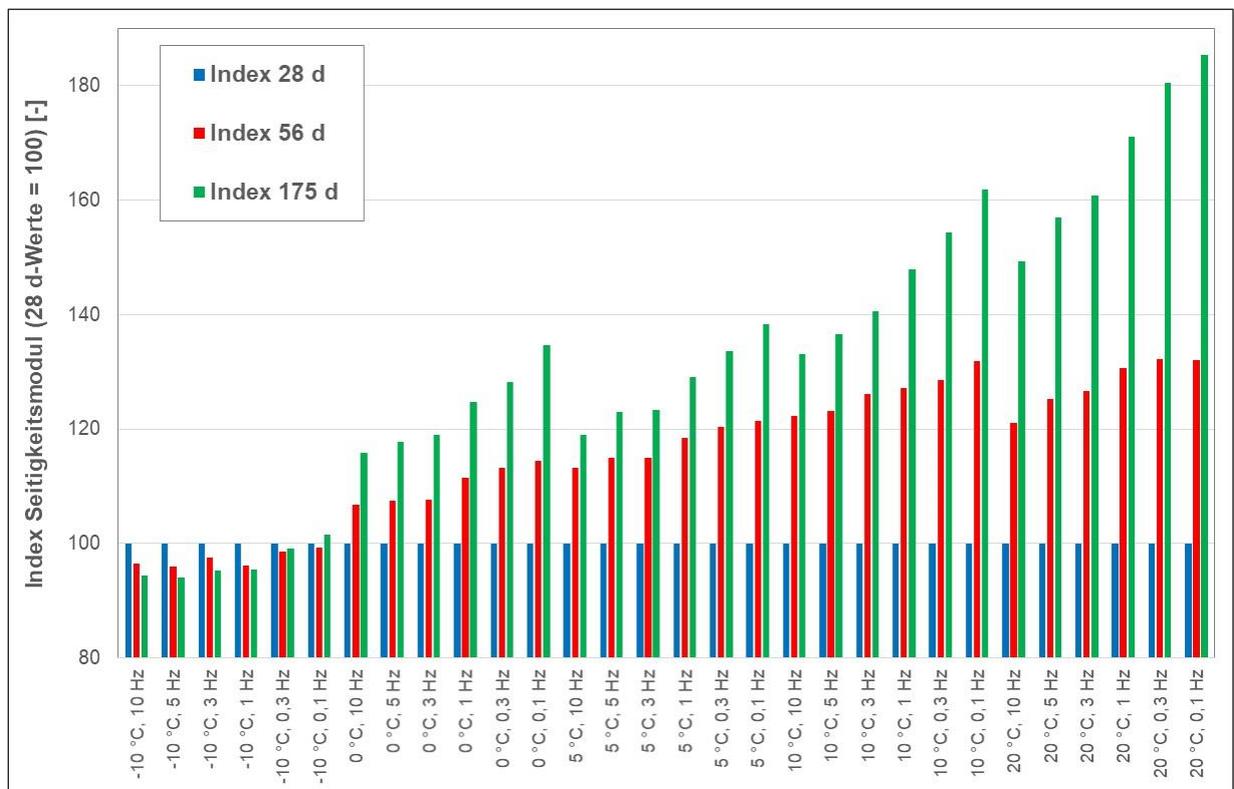


Bild 5-30: Indexdarstellung der Steifigkeitsmodule der Variante B4,0_H2_B nach 28, 56 und 175 Tagen Lagerungsdauer

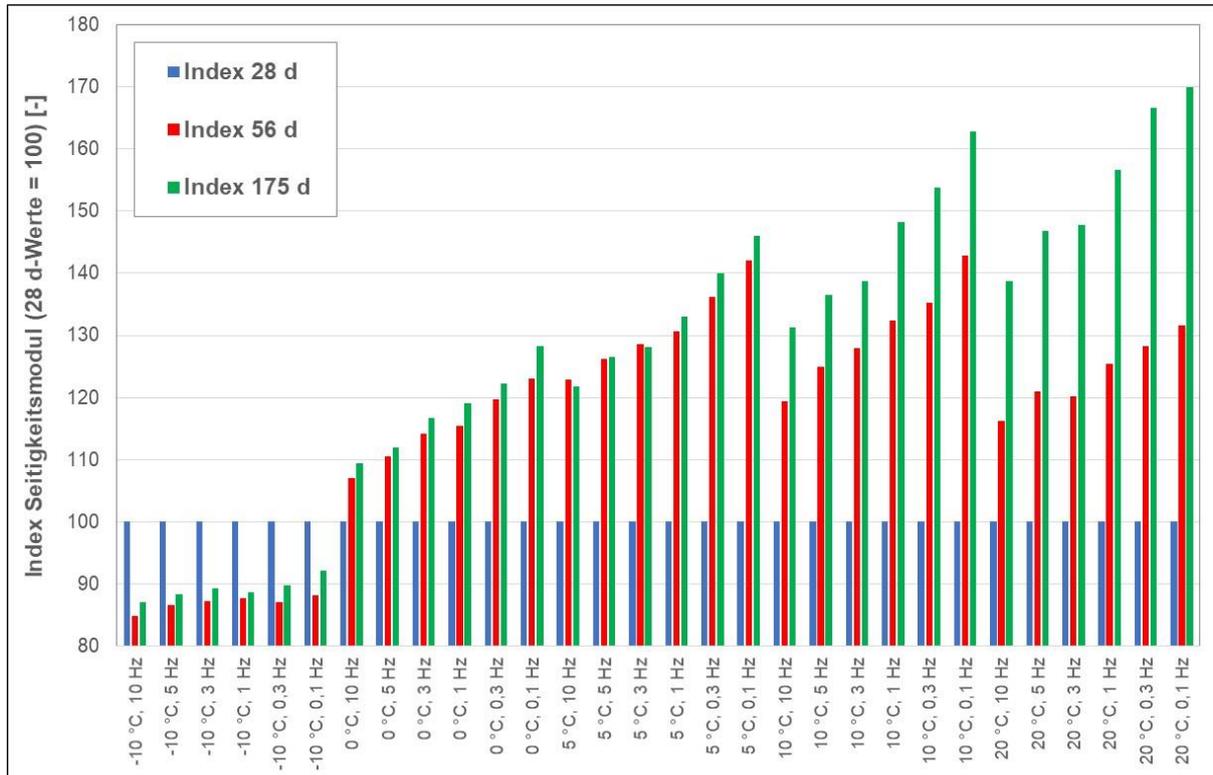


Bild 5-31: Indexdarstellung der Steifigkeitsmodule der Variante B5,0_H2_B nach 28, 56 und 175 Tagen Lagerungsdauer

Die Ergebnisse in Form einer Indexdarstellung zeigen, dass sich die Steifigkeiten im Laufe der Lagerung der Probekörper um bis zu 85 % erhöhen können. Der Grad der Erhöhung ist einerseits temperaturabhängig, andererseits aber auch frequenzabhängig. Die höchsten Steigerungsraten lassen sich bei der höchsten Prüftemperatur (20 °C) und der niedrigsten Frequenz (0,1 Hz) beobachten. Bemerkenswert ist zudem, dass bei der niedrigsten Prüftemperatur (-10 °C) eine Verminderung der Steifigkeit im Laufe der Lagerung der Probekörper auftritt. Der Grad der Minderung ist zwar gering, aber grundsätzlich bei allen Mischgutvarianten vorhanden.

Diese Steifigkeitsveränderung kann auch in den Steifigkeitsmodul-Hauptkurven beobachtet werden, bei denen die Temperatur-Frequenz-Äquivalenz zudem eine Extrapolation in den höheren Temperaturbereich erlaubt. Während die Variante mit hohem Zementgehalt nur eine geringe Veränderung des Steifigkeitsmoduls aufweist, zeigen insbesondere die Varianten mit hohem Bitumenzugabe eine Verdreifachung des Steifigkeitsmodus bei hohen Temperaturen (Bild 5-32).

In Bild 5-33 sind die aus den Steifigkeitsversuchen abgeleiteten Hauptkurven der untersuchten KRC-Varianten in Abhängigkeit von der Temperatur dargestellt. Nach 28 Tagen Lagerungsdauer weisen fast alle geprüften Varianten ähnliche Hauptkurven auf. Lediglich die Varianten, bei denen der Gehalt des hydraulischen Bindemittels variiert wurde, zeigen abweichend Verläufe. Die Prüfung der Varianten nach 180 Tagen Lagerungsdauer hingegen weisen deutlich stärker voneinander abweichende Hauptkurven auf. Nun differenzieren insbesondere die Varianten mit unterschiedlichen Bitumenemulsions-Anteilen stärker.

Eine Lagerungszeit von 28 Tagen bei Raumtemperatur ist nicht ausreichend, um die aus der Mischgutvariation resultierenden Unterschiede, insbesondere hinsichtlich Bitumenemulsions-Zugabe bzw. Mischgranulatzusammensetzung, im Steifigkeitsverhalten aufzuzeigen.

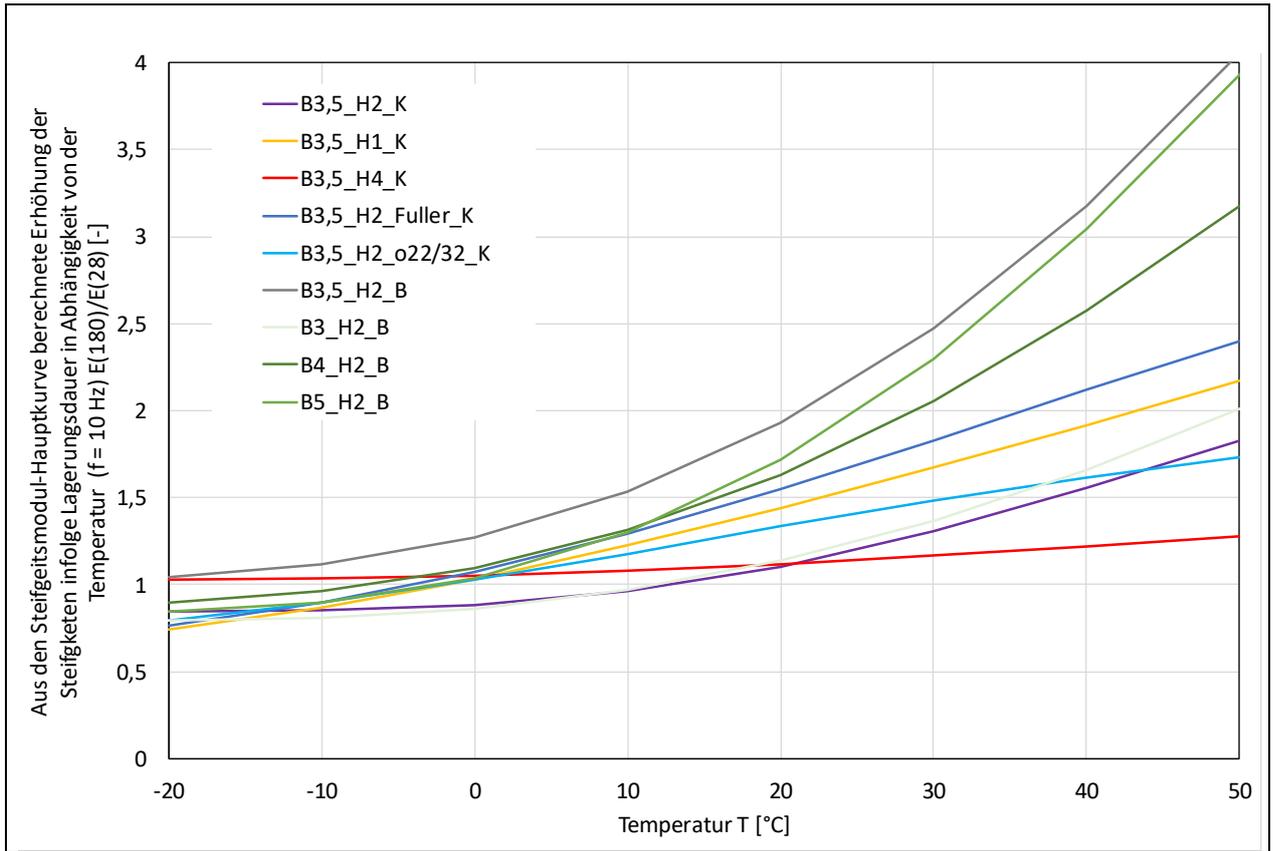


Bild 5-32: Veränderung der Steifigkeitsmodul-Hauptfunktionen infolge Lagerungsdauer in Abhängigkeit von der Temperatur

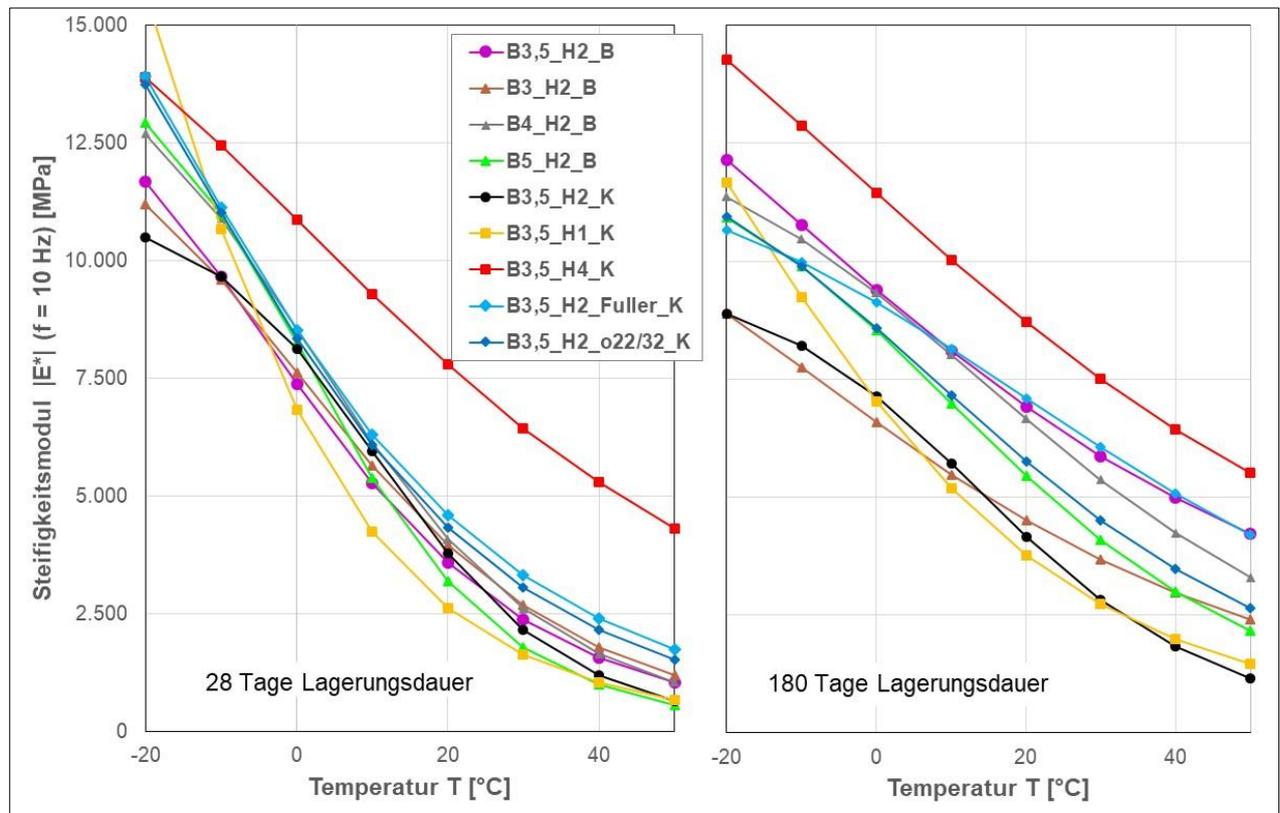


Bild 5-33: Vergleich der temperaturabhängigen Steifigkeits-Hauptkurven nach 28 und 180 Tagen Lagerungsdauer

5.1.6 Ermüdungsverhalten gemäß TP Asphalt-StB, Teil 24

Zur Bestimmung des Widerstandes gegen Ermüdung sowie zur Ermittlung der Ermüdungsfunktionen als Eingangsparameter für Dimensionierungsrechnungen wurden Spaltzug-Schwellversuche gemäß TP Asphalt-StB, Teil 24 durchgeführt. Einheitlich wurde eine Temperatur von 10 °C und eine Prüffrequenz von 10 Hz angewendet. Die Ermüdungsversuche wurden jeweils nach Probekörper-Lagerungsdauern von 28 und 175 bzw. 180 Tagen durchgeführt. Die Einzelergebnisse der Ermüdungsprüfungen sowie die daraus abgeleiteten Ermüdungsfunktionen sind in Bild 5-34 bis Bild 5-42 für die im Labor hergestellten KRC-Varianten zusammengestellt.

In Bild 5-34 und Bild 5-35 sind die Ermüdungsfunktionen für die Vergleichsvariante der KRC-Schicht in der Befestigung der BAB A 30 (FR West) dargestellt. Im niedrigen Dehnungsbereich (< 0,1 %) führt die längere Lagerungsdauer von 180 Tagen im Vergleich zu 28 Tagen zu einer Erhöhung der ertragbaren Lastwechselzahl. Bei der Variante B3,5_H2_B, bei der die Spaltzug-Schwellprüfung an beidseitig geschliffenen Probekörpern durchgeführt wurden, zeigt sich bei einer Dehnung von ca. 0,09 ‰ ein Schnittpunkt der beiden Ermüdungsfunktionen. Bei größeren Dehnungen können die nur 28 Tage gelagerten Probekörper höhere Lastwechselzahlen ertragen als die Probekörper mit längerer Lagerungsdauer.

Bei den Versuchen an der gleichen Variante, die jedoch an ungeschliffenen Probekörpern durchgeführt wurden, wird ein schlechteres Ermüdungsverhalten identifiziert als bei den geschliffenen Probekörpern. Aber auch hier ist ein Schnittpunkt der Ermüdungsfunktionen bei einer Dehnung von ca. 0,1 ‰ zu erwarten. Bei geringeren Dehnungen führt die längere Lagerungszeit zu höheren ertragbaren Lastwechselzahlen.

Ansonsten weist nur Variante B45_H2_B einen Schnittpunkt der nach 28 und 175 Tagen Lagerungsdauer bestimmten Ermüdungsfunktionen im durch Prüfungen abgedeckten Dehnungsbereich auf. Ansonsten zeigt sich bei allen Varianten eine deutliche Erhöhung der ertragbaren Lastwechselzahl durch die längere Lagerungszeit.

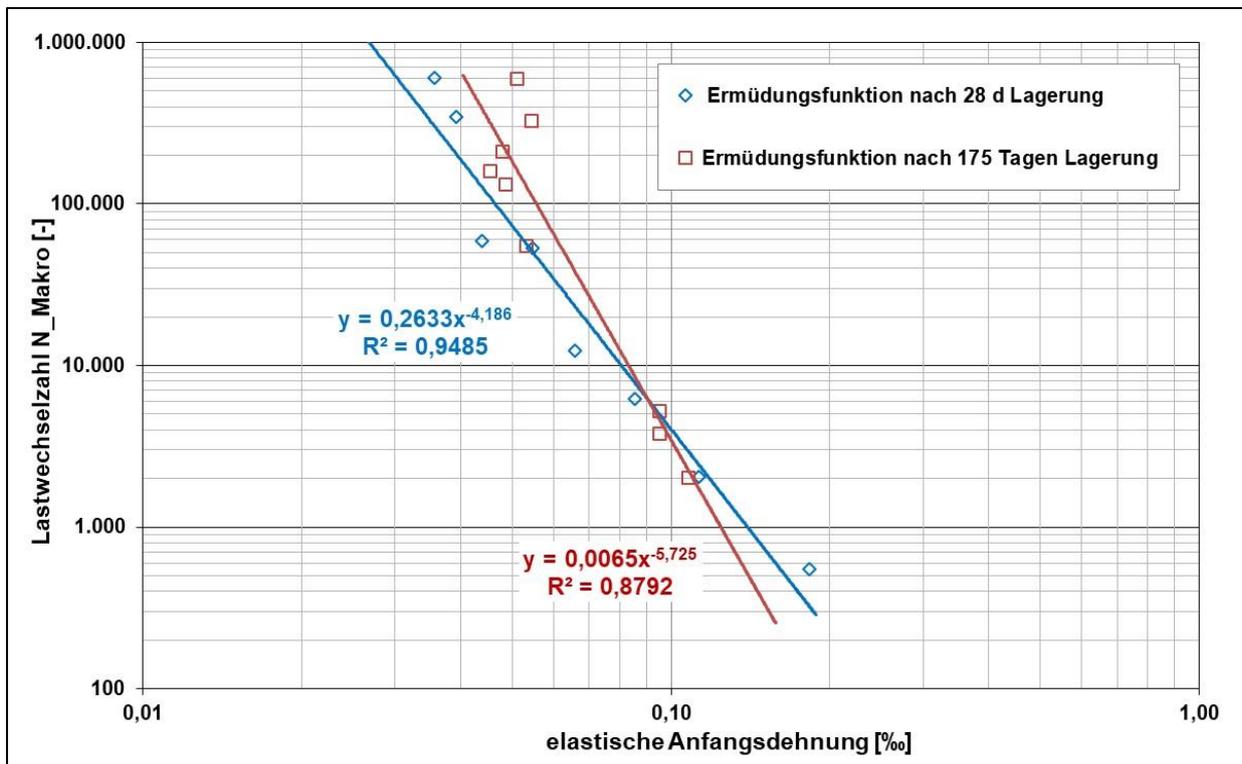


Bild 5-34: Ermüdungsfunktionen der Variante B3,5_H2_B nach 28 und 175 Tagen Lagerungsdauer

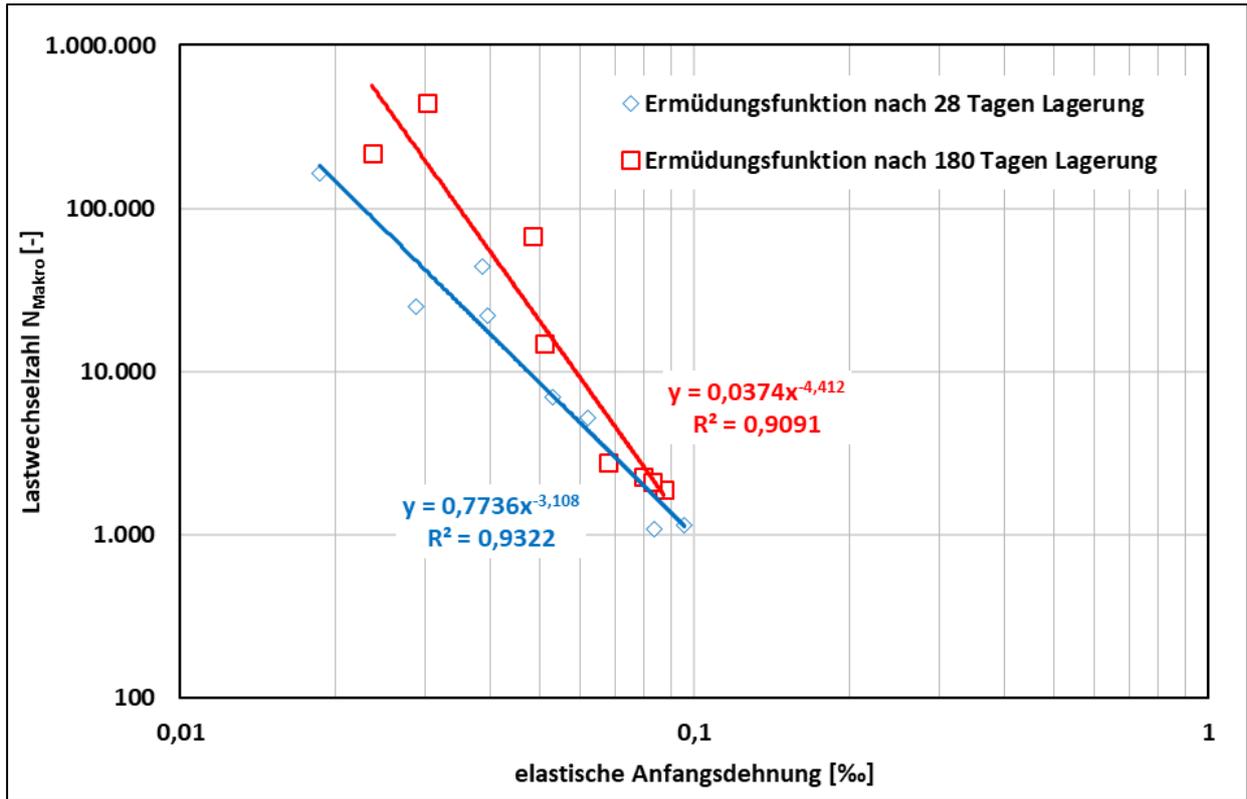


Bild 5-35: Ermüdungsfunktionen der Variante B3.5_H2_K nach 28 und 175 Tagen Lagerungsdauer

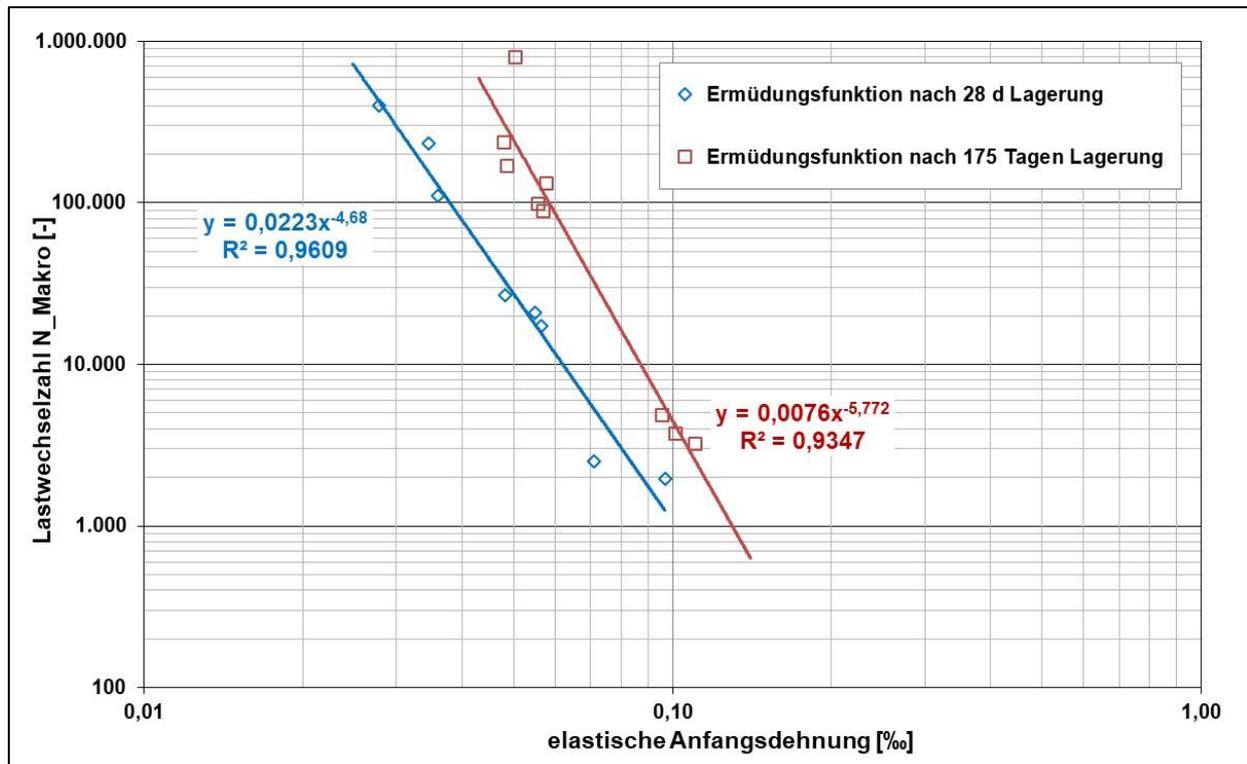


Bild 5-36: Ermüdungsfunktionen der Variante B3.0_H2_B nach 28 und 175 Tagen Lagerungsdauer

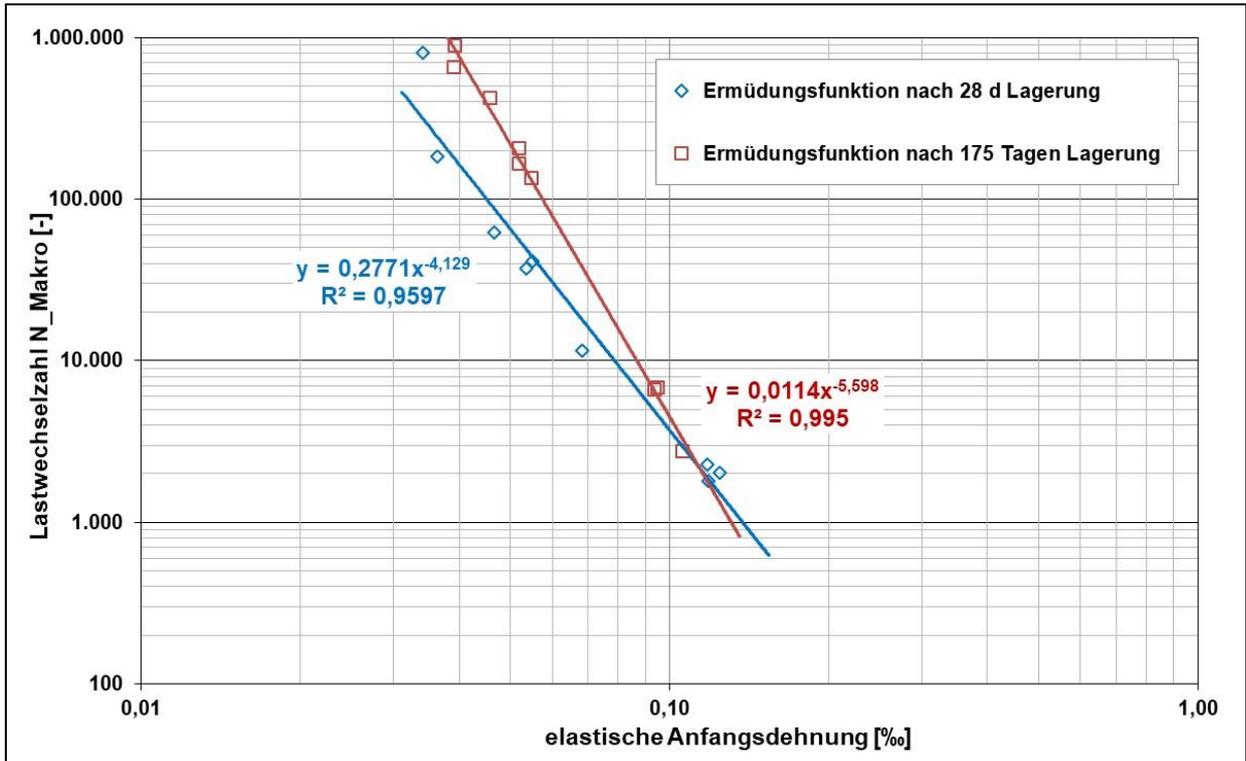


Bild 5-37: Ermüdungsfunktionen der Variante B4,0_H2_B nach 28 und 175 Tagen Lagerungsdauer

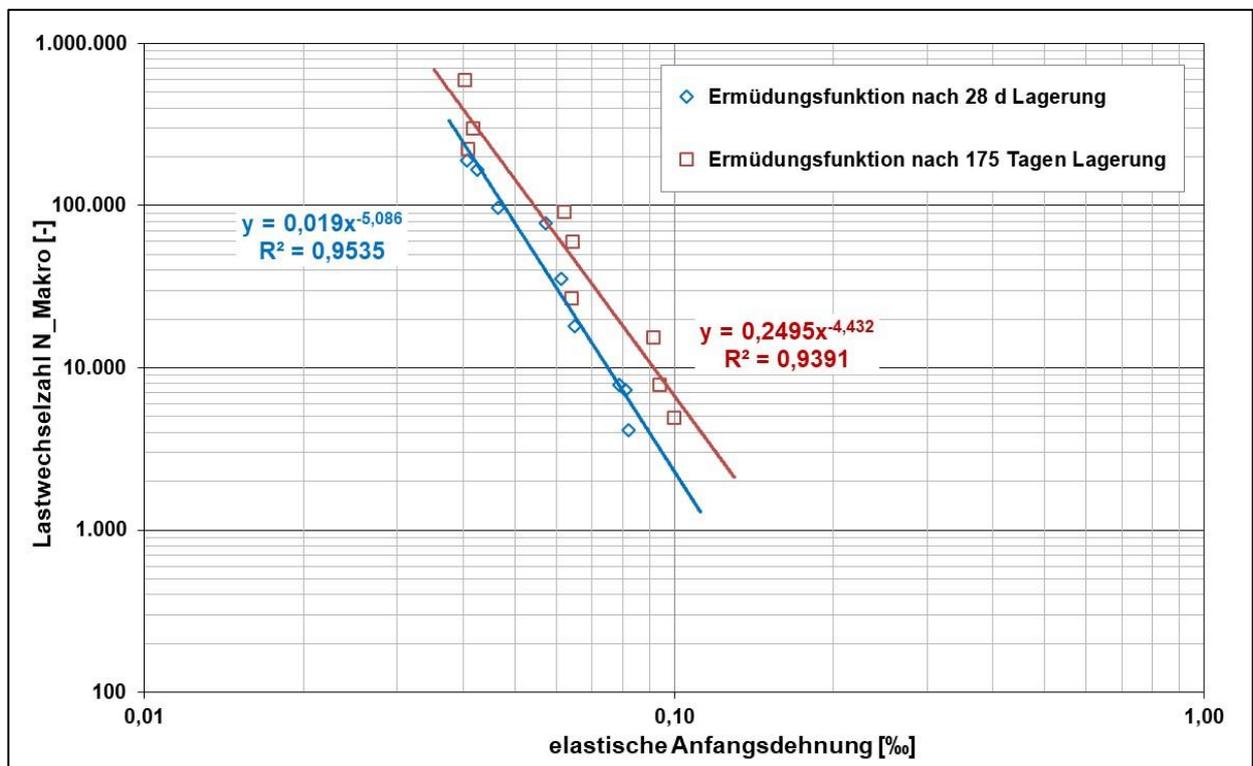


Bild 5-38: Ermüdungsfunktionen der Variante B5,0_H2_B nach 28 und 175 Tagen Lagerungsdauer

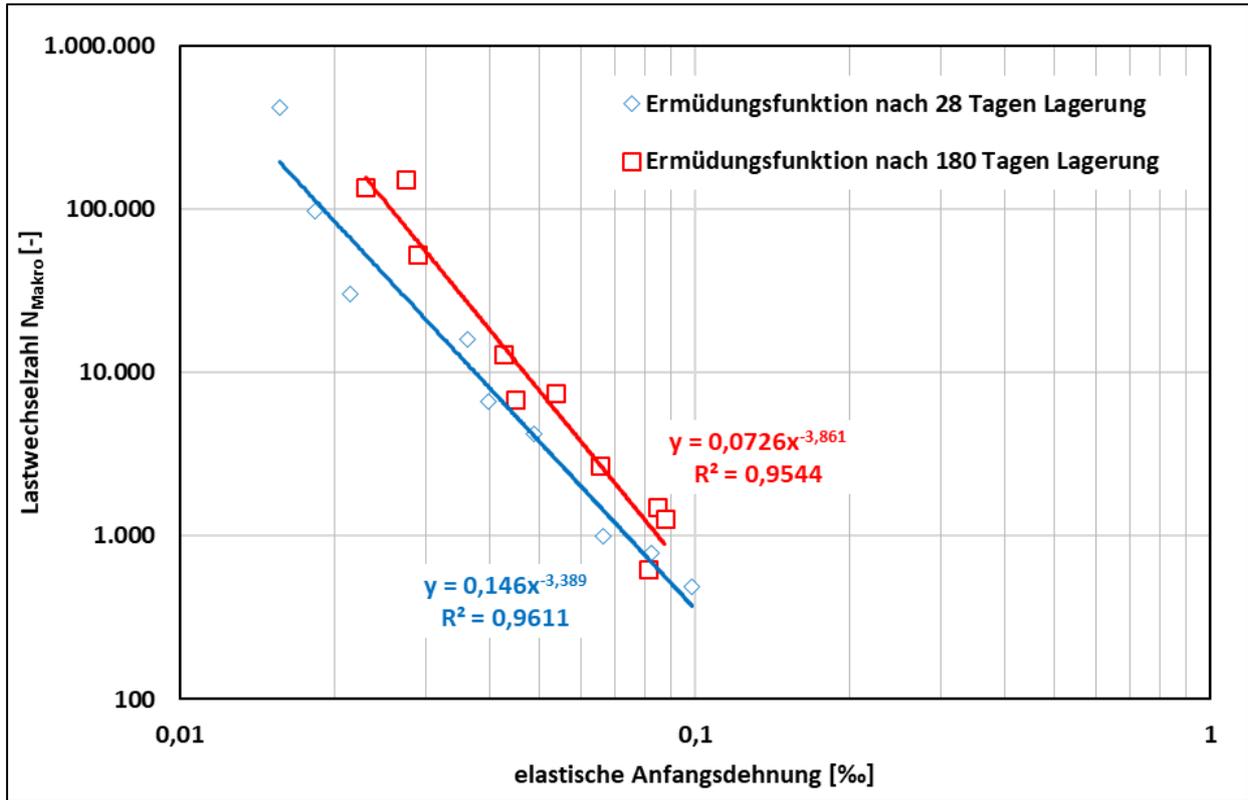


Bild 5-39: Ermüdungsfunktionen der Variante B3,5_H1_K nach 28 und 180 Tagen Lagerungsdauer

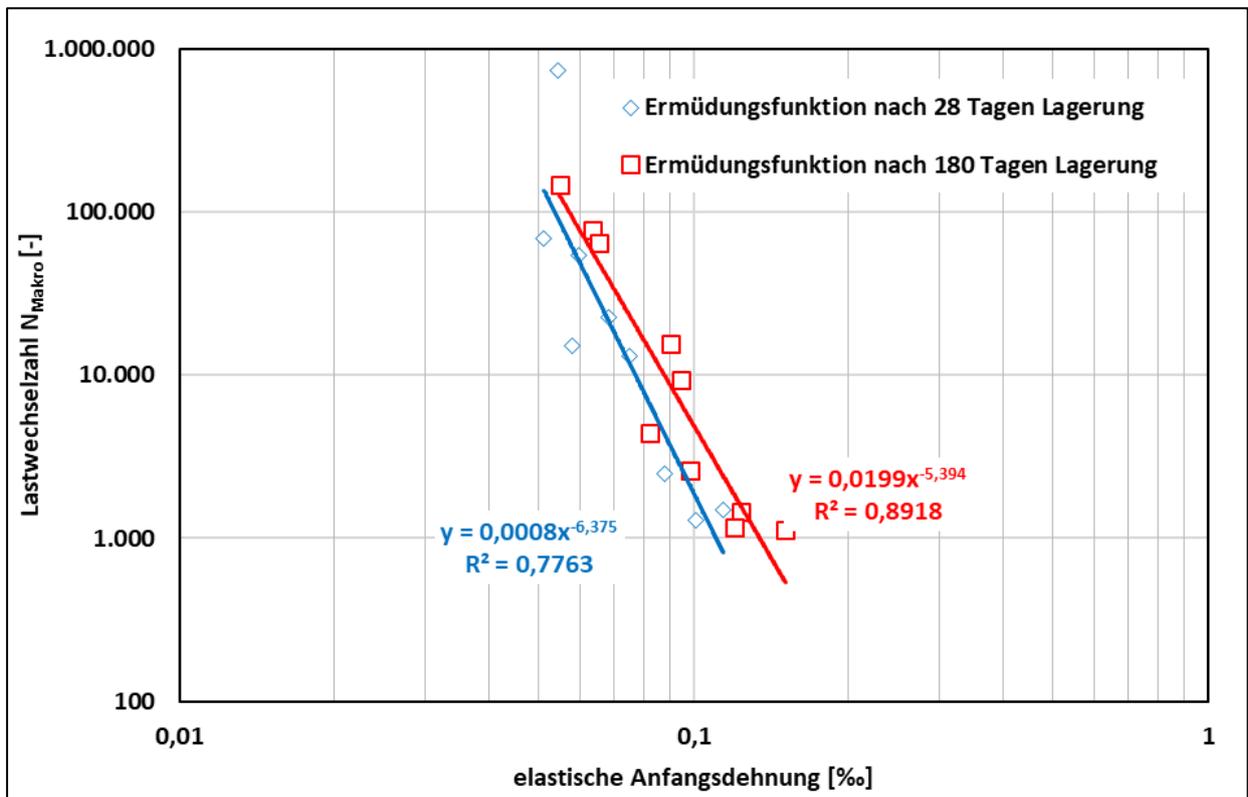


Bild 5-40: Ermüdungsfunktionen der Variante B3,5_H4_K nach 28 und 180 Tagen Lagerungsdauer

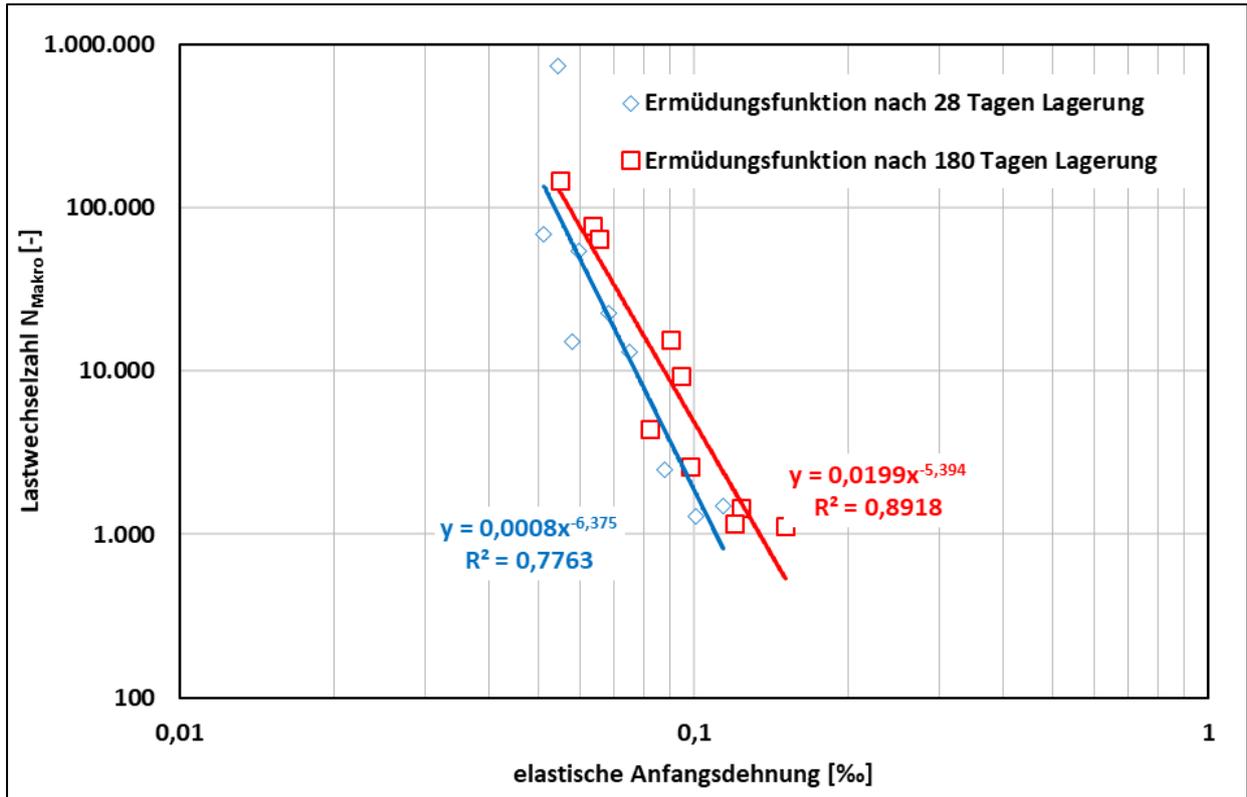


Bild 5-41: Ermüdungsfunktionen der Variante B3,5_H2_Fuller_K nach 28 und 180 Tagen Lagerungsdauer

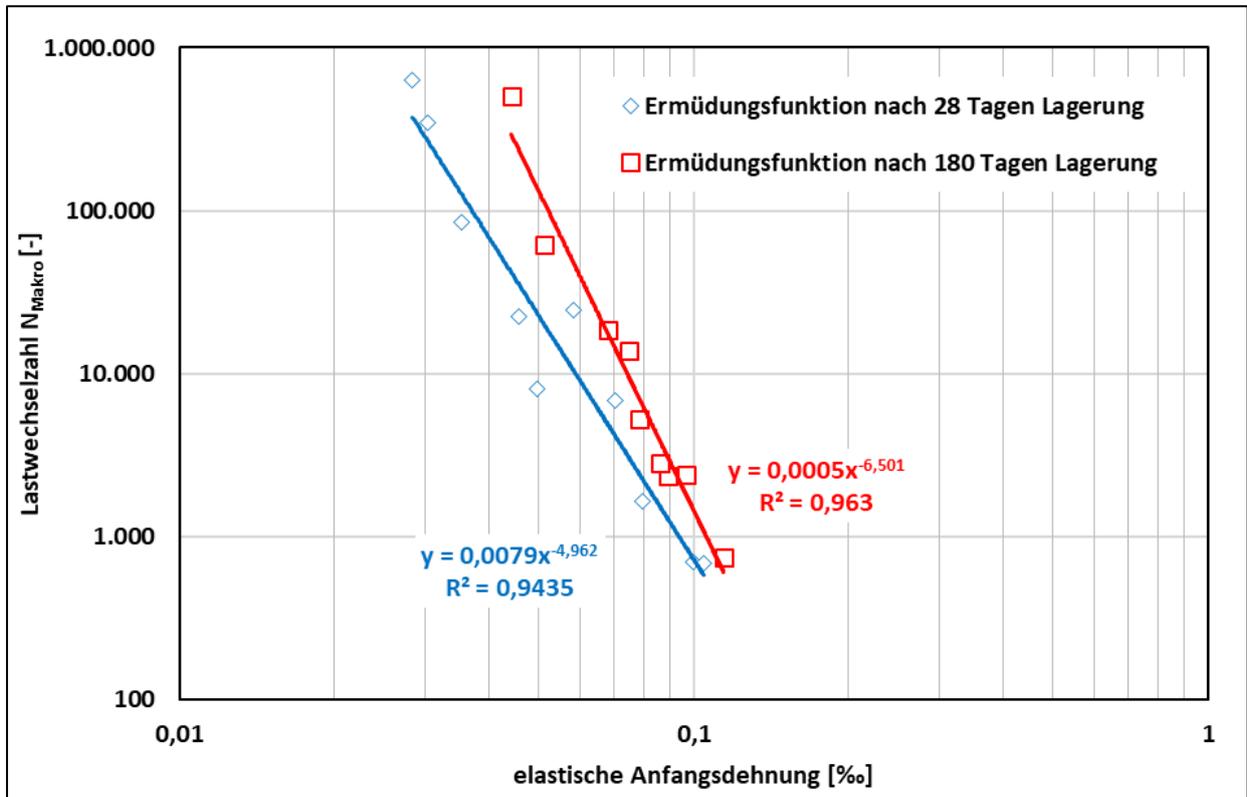


Bild 5-42: Ermüdungsfunktionen der Variante B3,5_H2_o22/32_K nach 28 und 180 Tagen Lagerungsdauer

In Tab.5-9 sind die ermittelten Parameter der Ermüdungsfunktionen für die untersuchten Varianten zusammengestellt. Weiterhin wurden diese verwendet, um die ertragbare Lastwechselzahl für eine Dehnung von 0,05 ‰ (repräsentativ für eine vergleichsweise geringe Dehnung) sowie von 0,1 ‰ als Kennwert für höhere Dehnungsstufen zu berechnen. Zum Vergleich des Ermüdungswiderstandes der geprüften Varianten sind diese Werte in Bild 5-43 und Bild 5-44 dargestellt.

Zunächst fällt in beiden Bildern der große Unterschied zwischen den beiden Referenzvarianten B3,5_H2_B und B3,5_H2_K auf. Offensichtlich können durch das Schleifen der Probekörper Fehlstellen entfernt werden, die zu einem früheren Versagen der Proben im Ermüdungsversuch führen.

Ein Anstieg der Zugabemenge der Bitumenemulsion führt bei der Lagerungszeit von 28 Tagen zu einer leichten Zunahme der bei 0,05 ‰ ertragbaren Lastwechselzahl. An den 180 Tage gelagerten Probekörpern ist kein systematischer Einfluss der Bitumenemulsions-Zugabe erkennbar. Auch für die höhere Dehnungsstufe von 0,1 ‰ ist dieser Zusammenhang unsystematisch.

Hinsichtlich des Einflusses eines höheren Gehaltes an hydraulischem Boden- und Tragschichtbinders ist an den Varianten B2_H1_K, B2_H2_K und B2_H4_K zu erkennen, dass die ertragbare Lastwechselzahl bei beiden Dehnungsstufen und nach beiden Lagerungsdauern stark erhöht wird.

Zum Einfluss der Variation der Mischgranulatzusammensetzung konnte sowohl bei besserer Anpassung an die Fuller-Linie als auch bei höherem Gehalt an Asphaltgranulat statt natürlichem Grobkorn bei gleichen Bindemittelgehalten eine Erhöhung der ertragbaren Lastwechselzahlen erreicht werden.

Variante	Lagerungszeit [Tage]	Ermüdungskurven-Parameter			Berechnete Lastwechselzahl	
		k	n	R ²	N _{Makro} (0,05‰)	N _{Makro} (0,1‰)
B3,5_H2_B	28	2,6330E-01	-4,186	0,95	73.547	4.041
	180	6,5000E-03	-5,725	0,88	182.520	3.451
B3,5_H2_K	28	7,7363E-01	-3,1084	0,96	8.564	993
	180	3,7386E-02	-4,4118	0,91	20.540	965
B3_H2_B	28	2,2300E-02	-4,68	0,96	27.361	1.067
	180	7,6000E-03	-5,772	0,93	245.674	4.496
B4_H2_B	28	2,7710E-01	-4,129	0,96	65.251	3.729
	180	1,1400E-02	-5,598	1,0	218.812	4.518
B5_H2_B	28	1,9000E-02	-5,086	0,95	78.667	2.316
	180	2,4950E-01	-4,432	0,94	145.625	6.746
B3,5_H1_K	28	1,4501E-01	-3,3891	0,96	3.722	355
	180	7,2646E-02	-3,8614	0,91	7.674	528
B3,5_H4_K	28	7,9821E-04	-6,3752	0,76	157.197	1.894
	180	1,9864E-02	-5,3942	0,89	207.054	4.923
B3,5_H2_Fuller_K	28	2,3949E-03	-5,3628	0,96	22.722	552
	180	4,8163E-04	-6,2668	0,96	68.550	890
B3,5_H2_o22/32_K	28	7,9038E-03	-4,9622	0,96	22.584	724
	180	4,5637E-04	-6,5011	0,96	131.052	1.447

Tab. 5-9: Parameter der ermittelten Ermüdungsfunktionen und berechnete Lastwechselzahlen bei 0,05 ‰ und 0,1 ‰ Dehnung

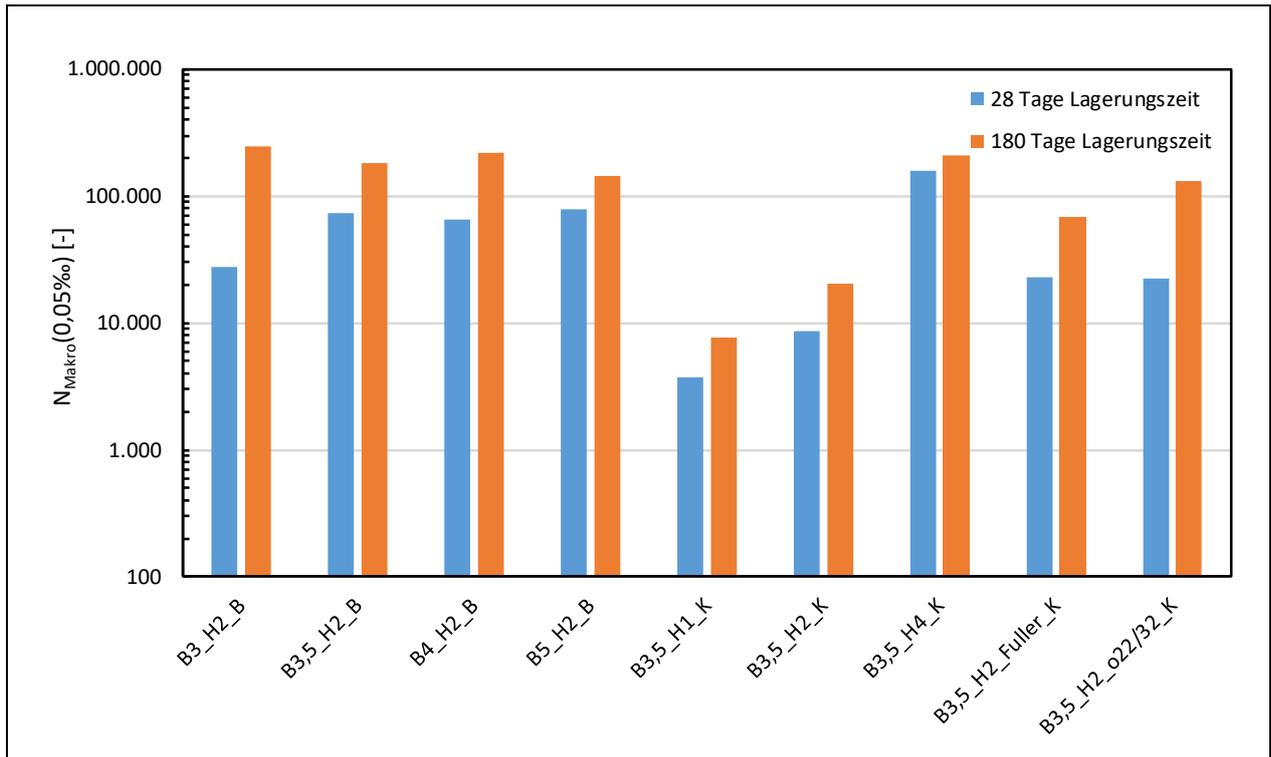


Bild 5-43: Vergleich der untersuchten Varianten hinsichtlich der Lastwechselzahl, die bei einer Anfangsdehnung von 0,05 % zur Makrorissbildung führt für 28 und 180 Tage Lagerungsdauer

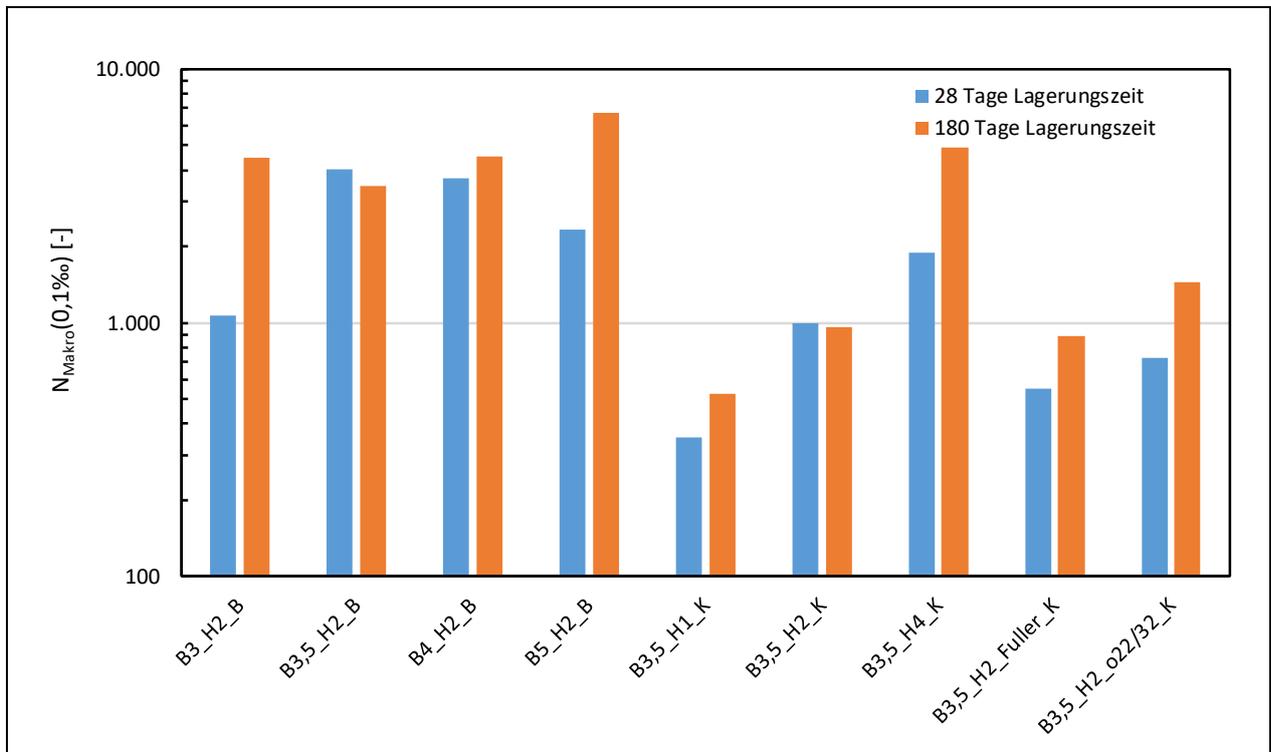


Bild 5-44: Vergleich der untersuchten Varianten hinsichtlich der Lastwechselzahl, die bei einer Anfangsdehnung von 0,1 % zur Makrorissbildung führt für 28 und 180 Tage Lagerungsdauer

Der Einfluss der längeren Lagerungsdauer auf die bei gleichen Dehnungen ertragbare Lastwechselzahl ist in Bild 5-45 als Quotient $N(180 \text{ Tage})/N(28 \text{ Tage})$ dargestellt. Hierbei ist zu erkennen, dass die längere Lagerungsdauer insbesondere bei geringen Dehnungsstufen zu zum Teil erheblich höheren Lastwechselzahlen bis zur Makrorissbildung führen, während bei hohen Dehnungsstufen der Zuwachs an

Ermüdungswiderstand geringer ausfällt. Die zwei Variante B5_H2_B und B2_H4_K weisen einen gegenläufigen Trend auf, bei dem bei kleinen Dehnungen eine längere Probekörperkonditionierung zu geringeren Lastwechselzahlen führt. Bei diesen beiden Varianten sind die Exponenten der nach längerer Lagerungsdauer bestimmten Ermüdungsfunktionen kleiner als die der nach 28 Tagen bestimmten Ermüdungsfunktionen, während bei allen anderen Varianten der gegenläufige Trend vorliegt.

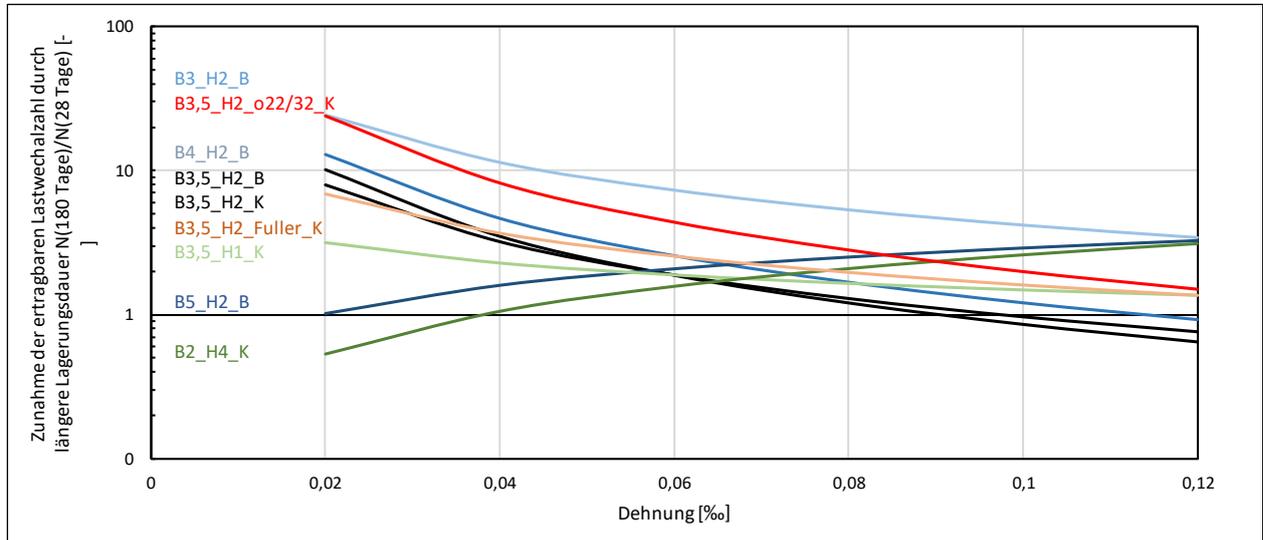


Bild 5-45: Zunahme der ertragbaren Lastwechselanzahl infolge einer verlängerten Lagerungsdauer der Prüfkörper

5.1.7 Triaxialversuche

Zur Bestimmung des nicht-linearen Festigkeitsverhalten wurden Triaxialversuche in Anlehnung an das südafrikanische Dimensionierungsverfahren für bitumen-stabilisierte Baustoffe durchgeführt. [SABITA;2020] Dabei werden zylindrische Probekörper (Durchmesser 150 mm; Höhe 300 mm) aus KRC-Material bei 20 °C und einer mittels Druckluft konstant gehaltener Radialspannung vertikal mit einer Verformungsrate von 3 mm/min belastet. Ergebnis des einzelnen Versuchs ist die dabei aufgetretene maximale Kraft, aus der die Festigkeit berechnet wird. Ergänzend dazu wurde aus der während des Versuchs gemessenen vertikalen Verformung der Sekantenmodul als Kennwert für die Steifigkeit bestimmt. Dazu wurden die bei 30 % und 50 % der maximalen Vertikalkraft gemessenen Verformungen berücksichtigt.

Für die Herstellung der Probekörper wurde ein Vibrations-Verdichtungsgerät verwendet. Die Probekörper wurden jeweils in fünf Lagen von ca. 6 cm hergestellt. Jede Lage wurde für 30 s mit dem Vibrationsverdichter belastet.

Die Triaxialversuche wurden an ausgewählten KRC-Varianten nach variierten Lagerungsdauern und variiert Radialspannung durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tab. 5-10 zusammengestellt.

Die Abhängigkeit der Festigkeit von der im Versuch aufgebrauchten Radialspannung (Stützdruck) ist in Bild 5-46 dargestellt. Mit zunehmender radialer Einspannung werden höhere Vertikalspannungen ertragen.

In Bild 5-47 sind die bei fehlender Radialspannung bestimmten Druckfestigkeiten in Abhängigkeit von der Lagerungszeit dargestellt. Im Vergleich zur Ausgangsvariante mit einer Zugabe von 3,5 M.-% Bitumenemulsion und 2 M.-% Tragschichtbinder bewirkt ein geringerer Gehalt des hydraulischen Bindemittels eine Abnahme der Festigkeit. Durch die Variation der Stückgrößenverteilung des Mischgranulates kann die Festigkeit erhöht werden.

Variante	Lagerungs- dauer [d]	Raumdicke [g/cm³]	Radial- spannung [kPa]	Maximale Kraft [kN]	Festigkeit [kPa]	Steifigkeit E _{30%-50%} [MPa]
B3,5H2_K	7	2,071	0	19,28	1068,3	128,2
		2,054	0	17,87	983,7	106,3
		2,039	100	25,02	1367,8	153,7
		2,090	100	24,44	1346,6	138,6
		2,051	200	34,11	1887,1	215,2
		2,112	200	32,33	1795,6	380,5
	28	2,082	0	28,35	1587,4	104,7
		2,119	0	30,99	1718,9	150,3
		2,129	100	34,03	1900,3	111,8
		2,065	100	31,41	1742,4	96,1
	56	2,101	200	41,86	2353,3	134,1
		2,128	0	37,67	2109,1	194,8
	180	2,082	0	36,51	2030,4	166,9
		2,071	0	47,37	2576,6	285,0
B3,5H2_Fuller_K	7	2,203	0	25,40	1414,7	15,6
		2,153	0	23,00	1263,9	7,3
	28	2,153	0	34,75	1953,3	14,4
		2,122	0	35,31	1951,2	15,0
	56	2,186	0	44,91	2497,9	20,1
		2,217	0	44,42	2487,3	23,2
	180	2,174	0	51,73	2873,3	219,7
		2,201	0	46,54	2588,8	282,6
B3,5H1_K	7		0	14,50	809,7	106,8
			0	14,85	829,2	118,2
	28	2,008	0	17,78	982,5	12,9
		2,028	0	18,38	1019,4	0,4
	56	2,106	0	24,65	1380,3	95,9
		2,102	0	23,91	1335,2	77,0
	180	2,077	0	23,70	1339,4	145,1
		2,061	0	24,44	1368,5	115,2

Tab. 5-10: Ergebnisse der durchgeführten Triaxialversuche

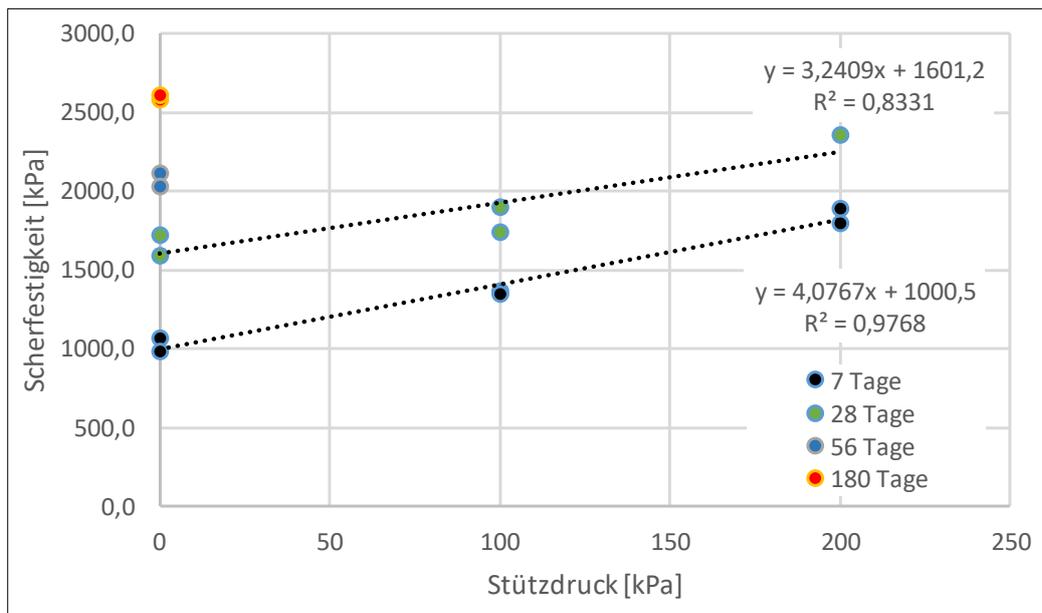


Bild 5-46: In Triaxialversuchen bestimmte Festigkeit der Variante R3,5H2_K in Abhängigkeit von der Radialspannung und der Lagerungszeit

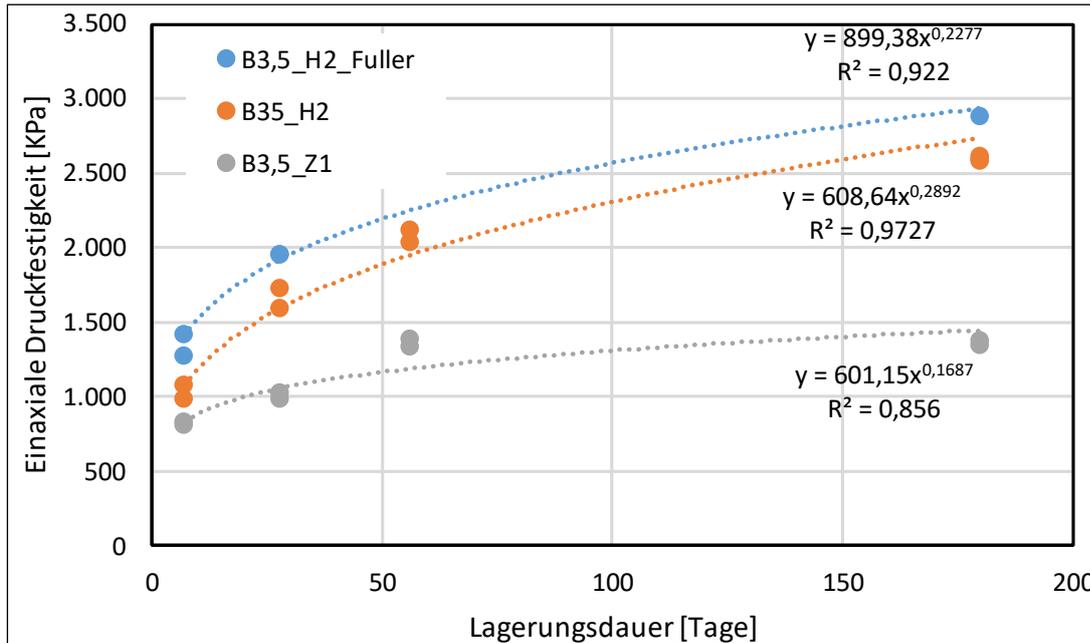


Bild 5-47: In Triaxialversuchen bestimmte einaxiale Festigkeit (Radialspannung $\sigma_{rad} = 0$ kPa) der mit Traixialversuchen untersuchten Varianten in Abhängigkeit von der Lagerungszeit

Für die Ausgangsvariante B3,5_H2-K nach 7 und 28 Tagen Lagerungsdauer wurden Traixialversuche bei Variation der Radialspannung durchgeführt. Hier ist eine Auswertung gemäß dem südafrikanischen Regelwerk (Asphalt Academy, 2009) für bitumen-stabilisierte Materialien (BSM) möglich. Die sich aus den Triaxialversuchen ergebenden Werte für Kohäsion und Scherwinkel sind in Tab. 5-11 zusammengestellt. Während die Kohäsion C höher ist als der südafrikanische Anforderungswert für BSM 1 von 265 kPa, ist der hier ermittelte Scherwinkel kleiner als die Anforderung von 38°. Tatsächlich kamen hier auch höhere Bindemittelgehalte zur Anwendung als bei BSM üblich. Dadurch wird die Spannungsabhängigkeit des Festigkeitsverhaltens reduziert. Bei kürzerer Lagerungsdauer ist aber auch bei dem hier geprüften KRC-Baustoff noch die gering ausgeprägte Bindung anhand der geringeren Kohäsion und des höheren Scherwinkels erkennbar.

Lagerungsdauer	A	B	Scherwinkel θ [°] (Anforderung* $\geq 38^\circ$)	Kohäsion C [kPa] (Anforderung* ≥ 265 kPa)
7 Tage	4,0767	1000,5	37,3	248
28 Tage	3,2409	1601,2	31,9	445

Tab. 5-11: Ergebnisse der Triaxialversuche an Variante B3,5_H2_K bei Variation der Radialspannung (* Anforderungswerte an bitumen-stabilisierte Baustoffe gemäß Asphalt Academy, 2009)

5.2 Computergestützte Berechnungen zur Dimensionierung von KRC-Schichten

Mit dem Ziel, weiterführende Erkenntnisse über die Möglichkeiten zur Dimensionierung von Straßenbefestigungen mit einer KRC-Schicht zu erlangen, wurden mit den Ergebnissen der Performance-Untersuchungen an den Ausbauproben der Praxisstrecken und den im Labor hergestellten Proben Dimensionierungen in Anlehnung an die RDO Asphalt 09 bzw. den Entwurf der RSO Asphalt durchgeführt. Hieraus sollen Dimensionierungsgrundsätze für die Fortentwicklung der FGSV-Regelwerke abgeleitet werden.

5.2.1 Berechnung der Beanspruchungen und rechnerischen Nutzungsdauern für die Befestigungen der zehn Praxisstrecken

Die Ergebnisse der Performance-Untersuchungen an den Praxisstrecken haben gezeigt, dass nahezu alle Ausbauproben der KRC-Schicht einen eher durch das hydraulische Bindemittel dominierenden Materialcharakter haben. Die aus den Ergebnissen abgeleiteten Kennwerte können daher nicht ohne weiteres in ein Straßenoberbaukonzept aus Asphaltsschichten eingebunden werden. Dennoch wurden alle KRC-Schichten in gleicher Weise analog einer Asphalttragschicht bei den Dimensionierungsberechnungen

berücksichtigt. Zu allen Strecken wurden zudem die jeweils Steifigkeitsmoduln der Asphalttschichten über der KRC-Schicht ermittelt. Wenn Schichtenverbund zwischen KRC-Schicht und der darüber liegenden Asphalttschicht vorlag, wurde lediglich der Nachweis gegen Ermüdungsrisssbildung an der Unterseite der KRC-Schicht geführt. Bei den beiden Strecken, bei denen kein Schichtenverbund zwischen Asphalttragschicht und KRC-Schicht vorlag, wurde zusätzlich der Ermüdungsnachweis für die Unterseite der Asphalttragschicht geführt. Die dimensionierungsrelevanten Kennwerte der Steifigkeits-Temperaturfunktionen sowie der Ermüdungsfunktionen sind in den Kapiteln 4.2.2 und 4.2.4 dokumentiert.

Dabei wurden zwei verschiedene Berechnungsverfahren unter Anwendung unterschiedlicher Berechnungsprogramme für jede Strecke durchgeführt.

Zunächst wurden für die Berechnung der Beanspruchungen in der Lastachse (vertikale und horizontale Spannung sowie horizontale Dehnung) das Programm LEAP (Layered Elastic Analysis Programm) eingesetzt. Eine Beschreibung inklusive des Nachweises der Gleichwertigkeit zu BISAR kann [Walther 2014] entnommen werden. In Bild 5-48 bis Bild 5-57 sind die sich aus fünf Oberflächentemperaturen und den gemäß RDO Asphalt 09 hinterlegten Temperaturverläufen die E-Moduln der Befestigungsschichten dargestellt. Weiterhin sind die Beanspruchungsverläufe in der Lastachse infolge einer Auflast von 50 kN (Radlast einer 10-t-Achse) gezeigt.

Die E-Modul-Verläufe in den Befestigungen zeigen, dass die Steifigkeiten der KRC-Schichten eine deutlich geringere Temperaturabhängigkeit aufweisen als die darüber liegenden Asphalttschichten. Bei den Befestigungen der A30 wurde zwischen Asphalttragschicht und KRC-Schicht kein Verbund festgestellt. Entsprechend treten bei den beiden Befestigungen an der Unterseite der Asphalttragschicht hohe Biegezugbeanspruchungen auf. Bei allen anderen Befestigungen wurde ein Verbund zwischen Asphalttragschicht und KRC-Schicht mittels Abscherversuchen bestätigt. Entsprechend zeigen die Berechnungsergebnisse, dass an den Unterseiten der Asphalttragschichten keine Biegezugbeanspruchungen auftreten und somit keine Gefahr der Ermüdungsrisssbildung in der Asphalttragschicht besteht.

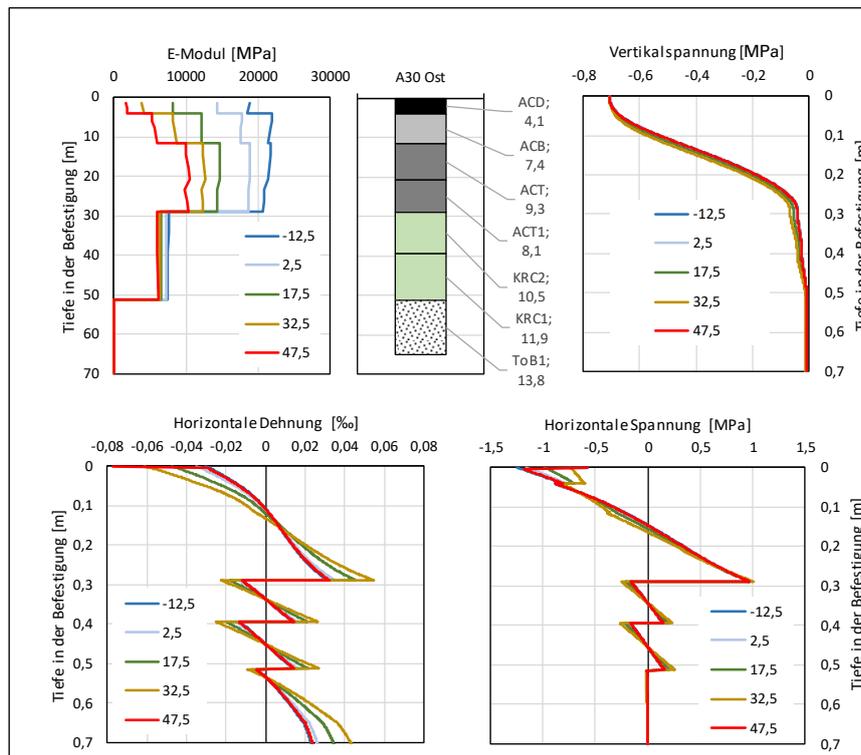


Bild 5-48: Berechnete Beanspruchungen infolge einer Einzelradlast von 50 kN (10-t-Achslast) für fünf Oberflächentemperaturen gemäß RSO Asphalt für die Befestigung der A30 Ost

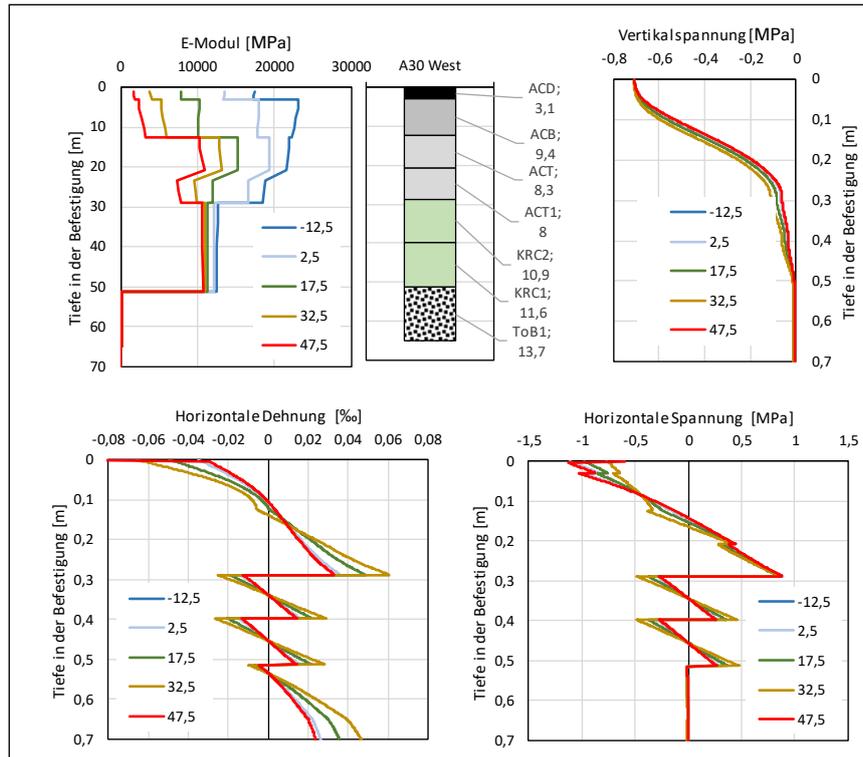


Bild 5-49: Berechnete Beanspruchungen infolge einer Einzelradlast von 50 kN (10-t-Achslast) für fünf Oberflächentemperaturen gemäß RSO Asphalt für die Befestigung der A30 West

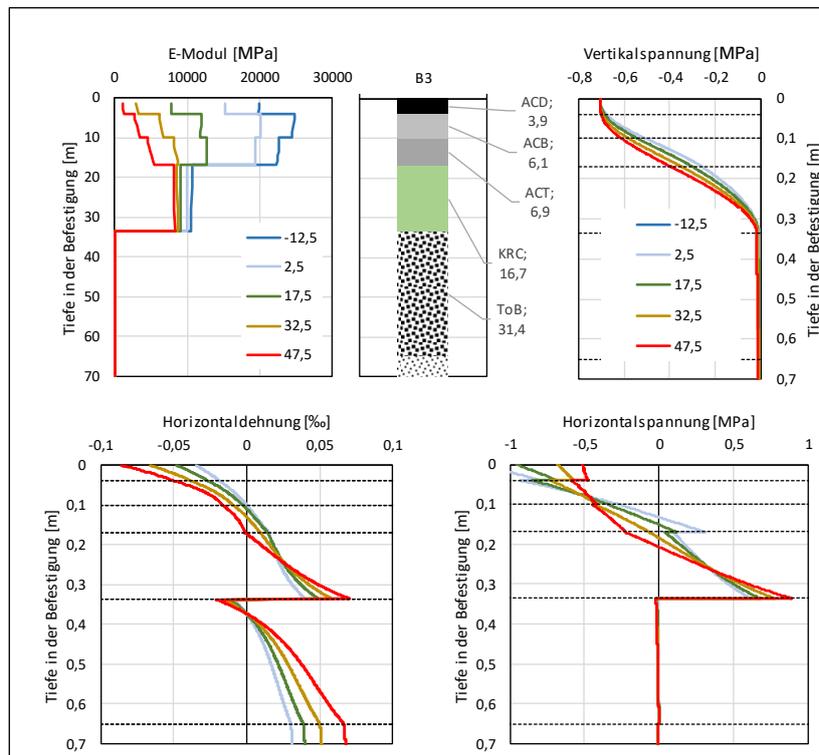


Bild 5-50: Berechnete Beanspruchungen infolge einer Einzelradlast von 50 kN (10-t-Achslast) für fünf Oberflächentemperaturen gemäß RSO Asphalt für die Befestigung der B52

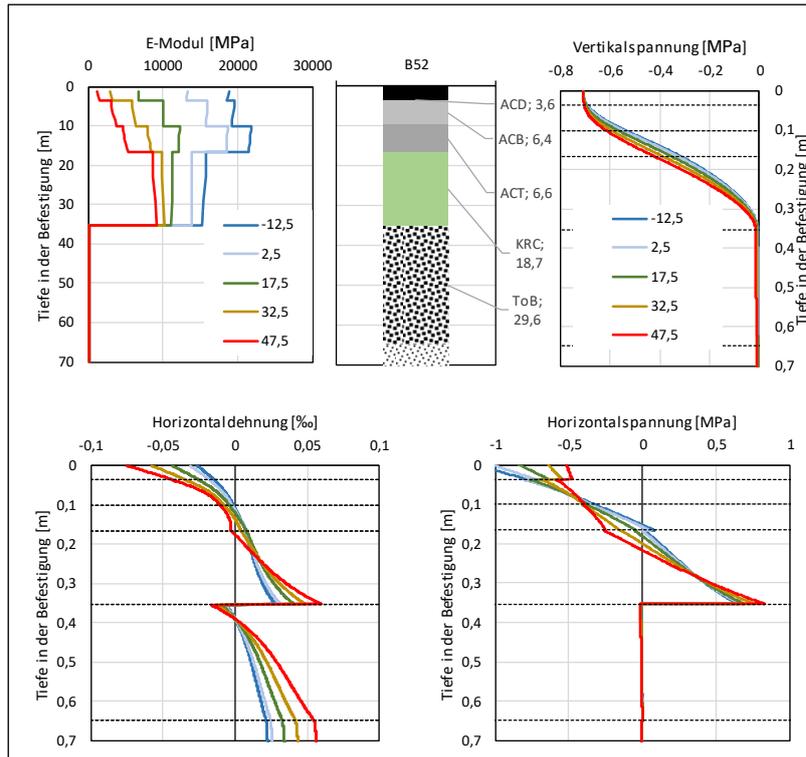


Bild 5-51: Berechnete Beanspruchungen infolge einer Einzelradlast von 50 kN (10-t-Achslast) für fünf Oberflächentemperaturen gemäß RSO Asphalt für die Befestigung der B3

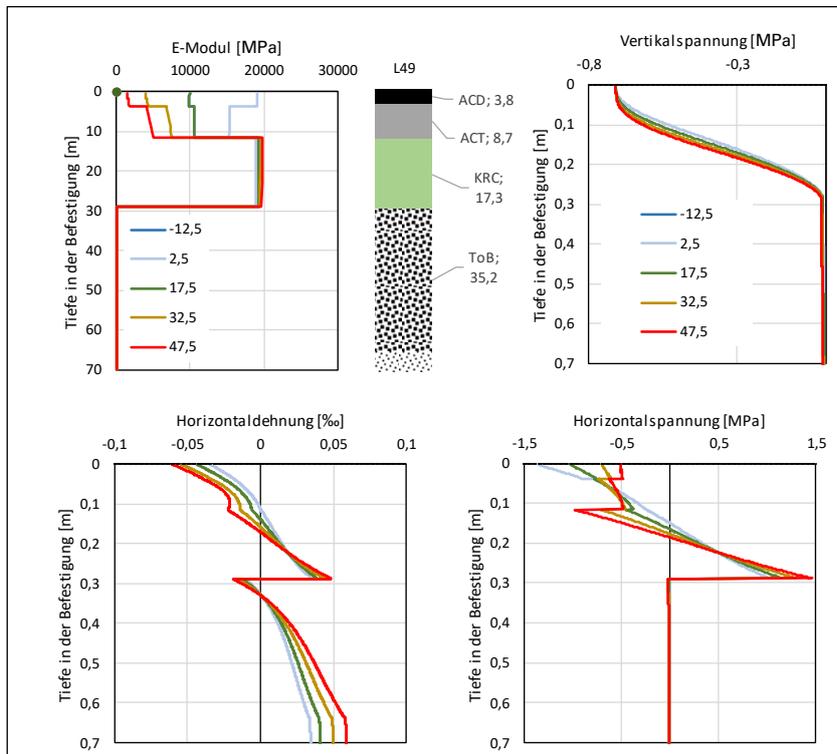


Bild 5-52: Berechnete Beanspruchungen infolge einer Einzelradlast von 50 kN (10-t-Achslast) für fünf Oberflächentemperaturen gemäß RSO Asphalt für die Befestigung der L49

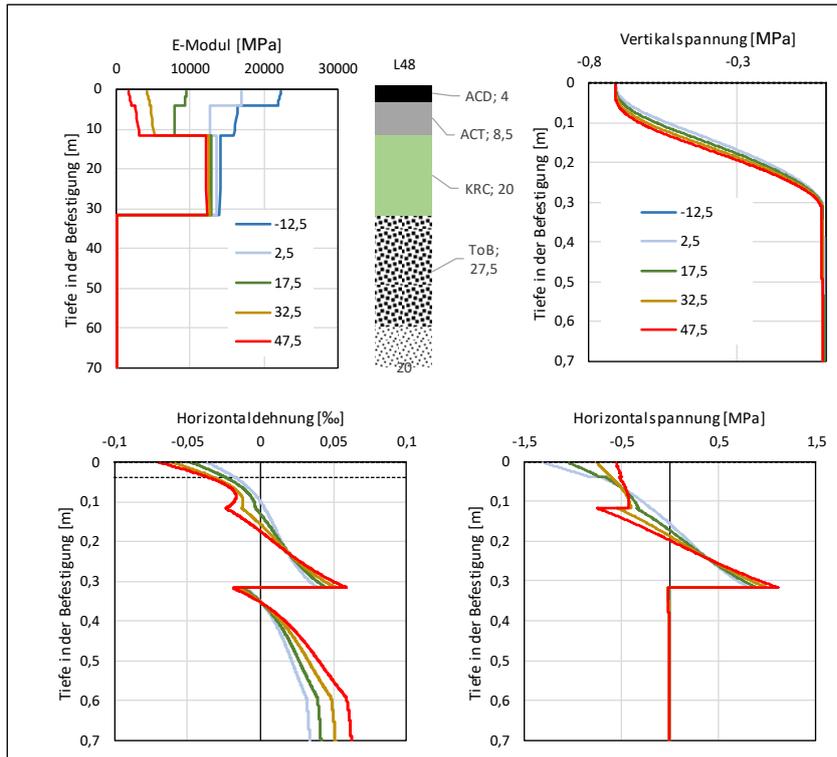


Bild 5-53: Berechnete Beanspruchungen infolge einer Einzelradlast von 50 kN (10-t-Achslast) für fünf Oberflächentemperaturen gemäß RSO Asphalt für die Befestigung der L48

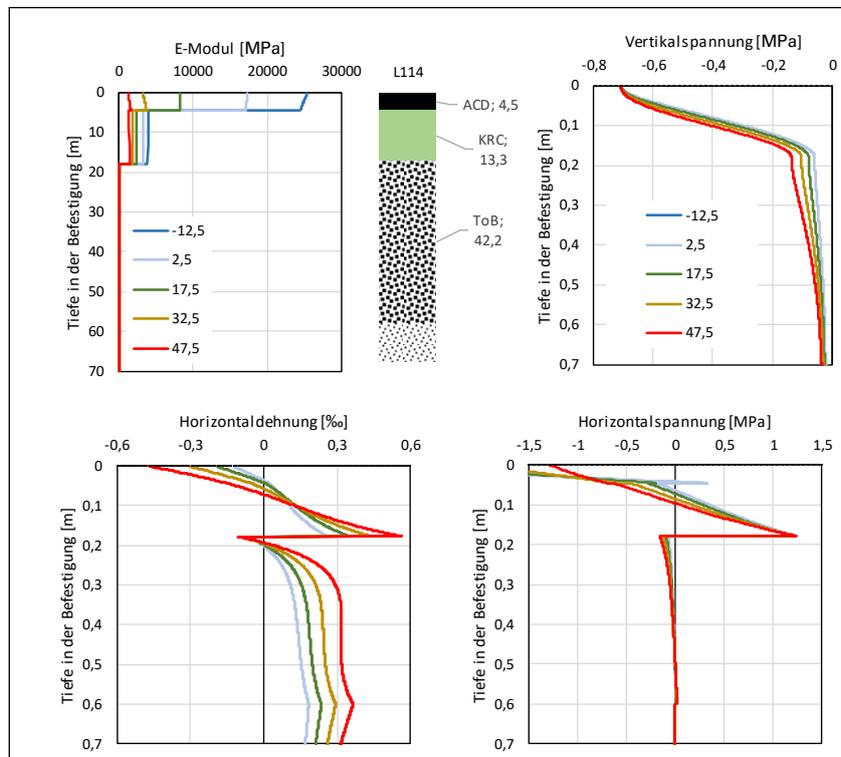


Bild 5-54: Berechnete Beanspruchungen infolge einer Einzelradlast von 50 kN (10-t-Achslast) für fünf Oberflächentemperaturen gemäß RSO Asphalt für die Befestigung der L114

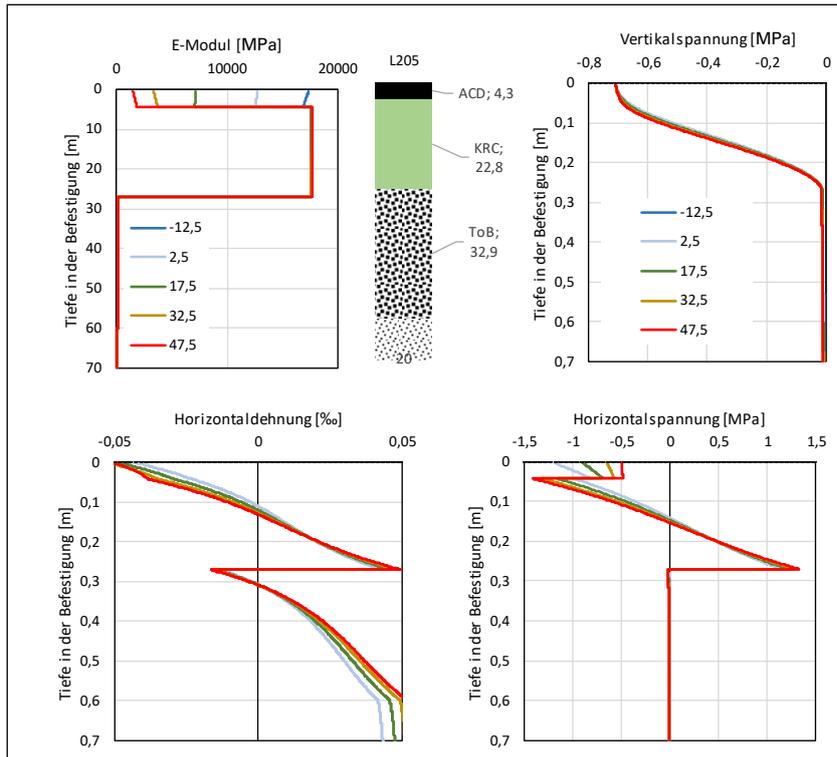


Bild 5-55: Berechnete Beanspruchungen infolge einer Einzelradlast von 50 kN (10-t-Achslast) für fünf Oberflächentemperaturen gemäß RSO Asphalt für die Befestigung der L205

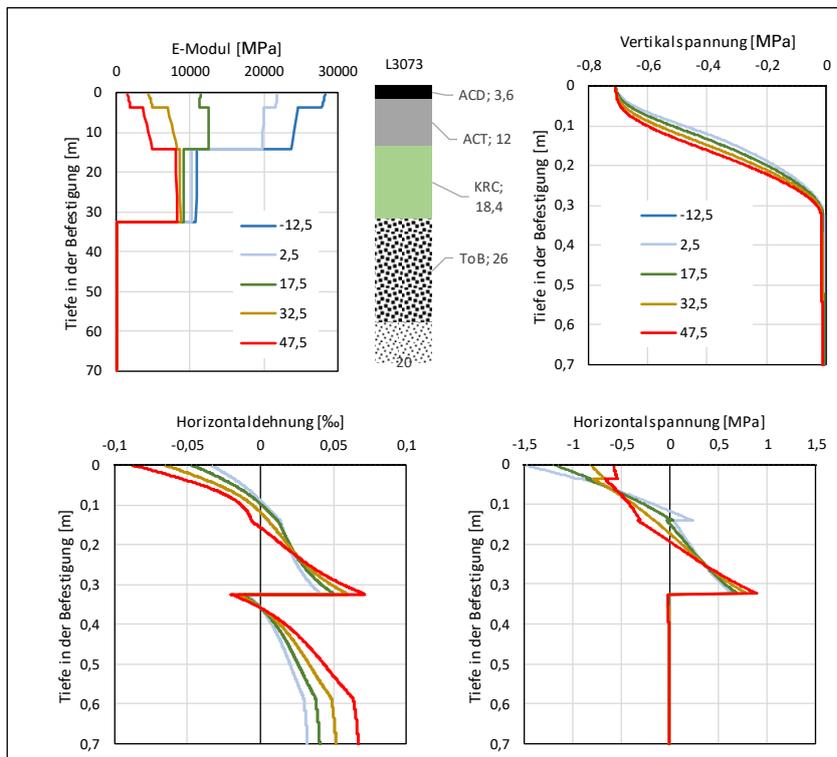


Bild 5-56: Berechnete Beanspruchungen infolge einer Einzelradlast von 50 kN (10-t-Achslast) für fünf Oberflächentemperaturen gemäß RSO Asphalt für die Befestigung der L3073

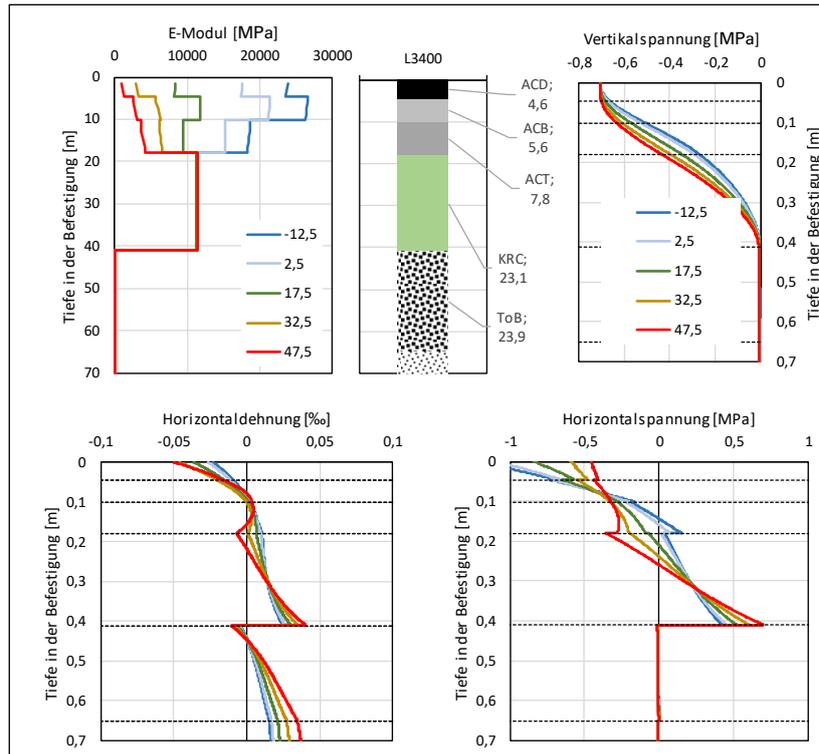


Bild 5-57: Berechnete Beanspruchungen infolge einer Einzelradlast von 50 kN (10-t-Achslast) für fünf Oberflächentemperaturen gemäß RSO Asphalt für die Befestigung der L3400

Die Darstellung der E-Moduln in den Befestigungen zeigt für die KRC-Schichten in der B52 und B3 eine deutliche Temperaturabhängigkeit. Diese ist in den KRC-Schichten der Befestigungen L205, L49 und L3400 nicht vorhanden. Die übrigen Befestigungen weisen eine im Vergleich zu herkömmlichen Asphalttschichten sehr geringe Temperaturabhängigkeit auf.

Unter Anwendung des Nachweises gegen Ermüdungsrisssbildung in Asphalttragschichten nach den RDO Asphalt-StB wurden die Schädigungssummen infolge der Beanspruchungen innerhalb der zwischen Herstellung und Bohrkernentnahme liegenden Nutzungsdauer berechnet. Dabei wurde nur der Nachweispunkt an der Unterseite der KRC-Schicht betrachtet, die als unterste Asphalttschicht interpretiert wurde. Die in den einzelnen Befestigungen angesetzten Dimensionierungsgrößen sowie die ermittelten Schädigungssummen sind in Tab. 5-12 zusammengestellt.

Nur für die Befestigung der L114 ergibt die Berechnung gemäß RDO Asphalt 09, dass die Schädigungssumme von 1 bereits innerhalb der bisherigen Nutzungsdauer erreicht worden ist. Bei allen anderen betrachteten Strecken werden sehr geringe Schädigungssummen erreicht.

Die Strecke L114 weist über der mit 13,3 cm vergleichsweise dünnen KRC-Schicht lediglich eine 4,5 cm dicke Asphaltdeckschicht auf. Weiterhin hat diese Schicht den mit Abstand geringsten Steifigkeitsmodul. Die Temperaturabhängigkeit dieser Schicht weist auf ein eindeutig Asphalt-ähnliches Steifigkeitsverhalten hin. Durch diese Kombination sind die berechneten horizontalen Biegezugdehnungen an der Unterseite der KRC-Schicht vergleichsweise hoch und erreichen bei Belastung durch eine 5-t-Radlast bei allen Oberflächentemperaturfällen Werte von über 0,2 ‰ bis über 0,5 ‰, vgl. Bild 5-54. Bei allen anderen Befestigungen liegen die an der Unterseite berechneten Biegezugdehnungen maximal bei etwa 0,07 ‰. Diese weisen zumeist eine erheblich dickere Überbauung mit Asphalttschichten, dickere KRC-Schichten und höhere Steifigkeiten der KRC-Schicht auf. Dass auch eine dünne Asphaltüberbauung zu geringer Gefahr der Ermüdungsrisssbildung führen kann ist anhand der Befestigung der L205 zu erkennen, bei der die Schädigungssumme im Ermüdungsnachweis der KRC-Schicht sehr gering ausfällt. Diese Schicht ist jedoch anhand des temperaturabhängigen Steifigkeitsmoduls eher als Zementverfestigung anzusehen.

Zum Abgleich der Berechnung der theoretischen Schädigung an der Unterseite der KRC-Schicht ist in Tab. 5-13 der Ermüdungsstatus jeder Strecke verschiedenen, die Befestigungssubstanz beschreibenden Kennwerten, welche im Rahmen des Projekts erhoben wurden, gegenübergestellt. Neben der Dicke des gebundenen Oberbaus sind dies die Zustandswerte für Verformungen und Risssbildung sowie die Ergebnisse der Tragfähigkeitsmessungen.

Strecke	Nutzungs- dauer	Verkehrs- belastung		Faktoren nach RStO				Tem- peratur- zone	Schädigungs- summe
		N	DTV	SV [%]	f _A	f ₁	f ₂		f ₃
A30 O	17	50.000	21	4,5	0,45	1,0	1,0	1	0,042
A30 W	16	50.000	21	4,5	0,45	1,0	1,0	1	2,3·10 ⁻⁶
B52	11	26.000	11	4,5	0,45	1,8	1,0	4	2,1·10 ⁻⁴
B3	11	4.176	6,4	4,0	0,5	1,0	1,0	3	0,019
L49	5	2.676	24	3,3	0,5	1,0	1,0	1	5,0·10 ⁻⁴
L48	5	2.307	7	3,3	0,5	1,8	1,0	4	6,6·10 ⁻⁶
L114	9	2.096	9	3,3	0,5	1,8	1,0	4	5,41
L205	7	1.659	5	3,3	0,5	1,8	1,0	1	8,5·10 ⁻⁵
L3073	9	1.220	3	3,3	0,5	1,8	1,0	3	1,9·10 ⁻⁶
L3400	8	605	3	3,3	0,5	1,8	1,0	3	1,1·10 ⁻⁶

Tab. 5-12: Dimensionierungs-Eingangsgrößen für die Berechnung des Ermüdungsstatus infolge der bis zur Probenahme erfolgten Beanspruchung und resultierend Schädigungssumme für den Ermüdungsnachweis an der Unterseite der KRC-Schicht

Beim Vergleich der beiden Befestigungen der A30 fällt auf, dass die Befestigung der Fahrtrichtung Ost zwar in der Dimensionierungsrechnung eine höhere Schädigungssumme aufweist als die in der Fahrtrichtung West, sowohl Zustandswerte als auch die Tragfähigkeitsmessung jedoch bessere Substanzeigenschaften aufzeigen. Ansonsten passt die geringe Schädigungssumme zu den in den allgemein guten Zustandswerten, die im Rahmen der ZEB erfasst wurden.

Ausgewählte, für eine Bewertung der strukturellen Substanz relevante Befestigungseigenschaften der Untersuchungsstrecken sind zusammengestellt.

Lfd. Nr.	Strecken- abschnitt	DTV (SV) [Kfz/d]	Bel. Klasse	Bau- jahr	Schichtdicke		Zustandswert ZW			FWD		Ermüdungs- status (KRC) [%]
					KRC	Asphalt	AUN	SPT	RISS	Tz	BK (Bild 4-17)	
1	A30 Osten	50.000 (21 %)	Bk100	2003	25	29	1,6	1,8	2,3	4,5	Bk10	4,2
2	A30 Westen	50.000 (21 %)	Bk100	2004	25	31	1,5	1,9	2,9	3,1	Bk1,0	<<1
3	B52	26.000 (15 %)	Bk100	2009	20	18	1,1	1,8	1,0	4,9	Bk10	0,02
4	B3	4.176 (6,4%)	Bk1,8	2009	18	18	1,9	1,2	1,0	6,1	Bk10	1,9
5	L49	2.676 (24 %)	Bk1,0	2015	18	11,5				3,9	Bk3,2	0,05
6	L48	2.307 (7 %)	Bk1,8	2015	18	12	2,3	1,3	1,0	3,3	Bk1,0	<<1
7	L114	2.096 (10 %)	Bk1,8	2011	12	4						541
8	L205	1.659 (5 %)	Bk1,0	2013	16	4	1,2	1,0	1,9	2,3	Bk1,0	<<1
9	L3073	1.220 (2,9 %)	Bk1,0	2011	20	14	1,8	1,3	1,4	4,1	Bk3,2	<<1
10	L3400	605 (2,5 %)	Bk0,3	2012	18	18	1,8	1,1	1,0	5,5	Bk3,2	<<1

Tab. 5-13: Vergleich von charakteristischen Eigenschaften der Praxisstrecken, Zustandsmerkmale (ZEB, Tragfähigkeitseigenschaften und dem anhand der bisher vorliegenden Beanspruchung erreichten Ermüdungsstatus

Zusätzlich wurden zur Substanzbewertung unter Nutzung der Software PaDesTo die Strecken gemäß RDO Asphalt 09 sowie RSO nachgerechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5-14 aufgeführt.

Die mit den dimensionierungsrelevanten Materialkennwerten der an den Bohrkernen der KRC-Schichten berechneten Ermüdungszustände zeigen ein ungewöhnliches und stark heterogenes Bild. Während einige Strecken (5) noch eine rechnerische Nutzungsdauer von weit über 30 Jahren aufweisen (Ermüdungszustände unter 5 %), so wurde bei der anderen Hälfte der Strecken ein Ermüdungszustand von 1000 % berechnet. Ermüdungszustände von 1000 % dokumentieren eine Nutzungsdauer von unter 3 Jahren. Bemessungsrelevant war die Ermüdung der KRC-Schicht. Bei genauerer Betrachtung der Ermüdungsfunktionen der KRC-Schichten zeigt sich überwiegend ein in Abhängigkeit von der Dehnung steiler Anstieg der Ermüdungsfunktion, der typisch für gebundene Baustoffgemische mit hydraulischen Bindemitteln ist. Dieser steile Anstieg bedeutet, dass bei Dehnungen unterhalb der kritischen Grenze eine sehr hohe Anzahl an aufnehmbaren Lastwechseln zu erwarten ist. Oberhalb der kritischen Dehnungsgrenze jedoch reichen rechnerisch einige wenige Lastwechsel aus, um den Ermüdungszustand einzuleiten. Insofern ist zu vermuten, dass bei den Strecken mit sehr niedrigen Ermüdungszuständen alle oder fast alle Lastwechsel unterhalb der kritischen Dehnungsgrenze liegen und bei den Strecken mit einem Ermüdungszustand von 1000 % die jeweilige Dehnungsgrenze bei vielen Lastwechseln erreicht wird.

Aufgrund dieser Erkenntnisse ist zu vermuten, dass die angewendete Dimensionierungsmethode bei KRC-Schichten mit eher hydraulisch-dominantem Verhalten nicht angewendet werden kann. Bei einer Anwendung dieser Methode sollte daher nicht nur eine für Asphalt übliche temperaturabhängige Steifigkeit vorliegen, sondern auch eine asphaltäquivalente Ermüdungsfunktion. Ein Exponent der Ermüdungsfunktion mit einem Wert < -6 kann auf die nicht vorhandene Anwendbarkeit von asphalttypischen Schädigungsmechanismen hinweisen.

Streckenbezeichnung		A30 FR Osten	A30 FR Westen	B3	B 52	L48
B [Mio. äquiv.-10-t-Achslasten]		117,7	117,7	3,1	40,5	2,5
Verkehrsverteilung		BAB Fernverkehr	BAB Fernverkehr	Bundesstraße	Bundesstraße	L+S-Str.
Verkehrssteigerung		2%	2%	1%	1%	1%
Frosteinwirkungszone		Zone I	Zone I	Zone II	Zone I	Zone I
Temperaturverteilung		Zone 4	Zone 4	Zone 3	Zone 4	Zone 4
Substanz-	Ausfallrate	10	10	15	10	15
bewertung	AF deterministisch	3805	3805	3805	3805	3805
RSO	AF probabilistisch	7317	7317	5415	7317	5415
Ermüdungszustand KRC-Schicht nach 30 a / Nutzungsdauer		4,3% / >30a	35,1% / 35,1a	1000% / 0a	1000% / 0a	1000% / 0a
Streckenbezeichnung		L49	L114	L205	L3073	L3400
B [Mio. äquiv.-10-t-Achslasten]		6,2	2,6	1,0	0,4	0,15
Verkehrsverteilung		L+S-Str.	L+S-Str.	L+S-Str.	L+S-Str.	L+S-Str.
Verkehrssteigerung		1%	1%	1%	1%	1%
Frosteinwirkungszone		Zone I	Zone I	Zone II	Zone II	Zone II
Temperaturverteilung		Zone 4	Zone 4	Zone 1	Zone 3	Zone 3
Substanz-	Ausfallrate	15	15	20	20	20
bewertung	AF deterministisch	3805	3805	3805	3805	3805
RSO	AF probabilistisch	5415	5415	5286	4286	4286
Ermüdungszustand KRC-Schicht nach 30 a / Nutzungsdauer		0,2% / >30a	1000% / 2a	0,2% / > 30a	1000% / 0a	0,0% / >30a
Höchstlängsneigung		unter 2 %				
Lage der Gradienten		Einschnitt, Anschnitt				
Wasserverhältnisse Untergrund		kein Grund- und Schichtenwasser bis in eine Tiefe von 1,5m unter Planum				
Entwässerung		Entwässerung der Fahrbahn und Randbereiche über Rinnen bzw. Abläufe und Rohrleitungen				
Kleinräumige Klimaunterschiede		keine besonderen Klimaeinflüsse				

Tab. 5-14: Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen der zehn Praxisstrecken mit dem Programm PaDesTo

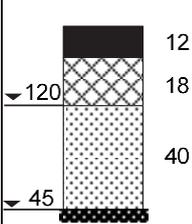
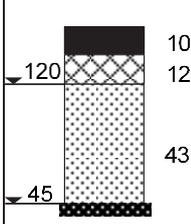
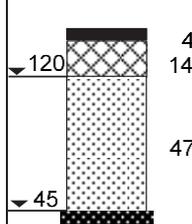
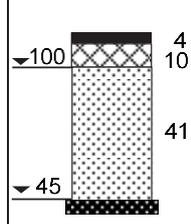
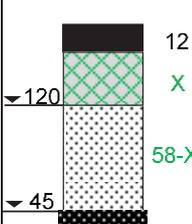
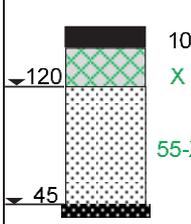
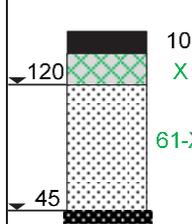
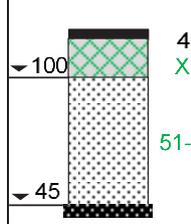
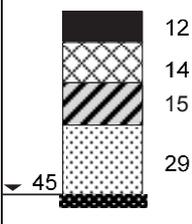
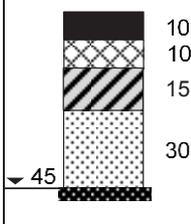
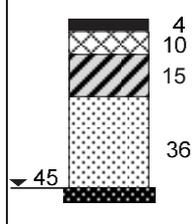
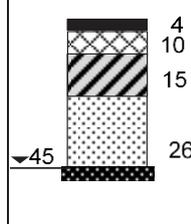
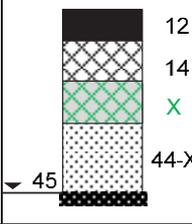
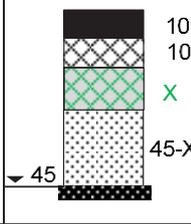
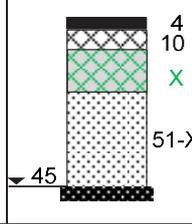
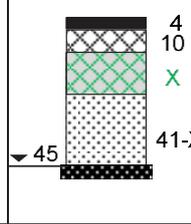
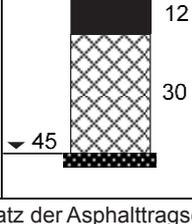
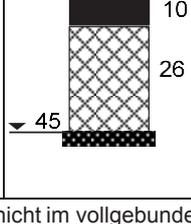
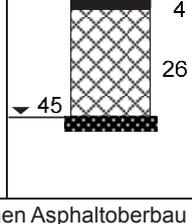
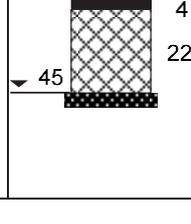
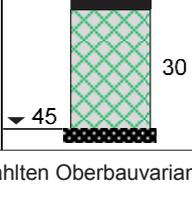
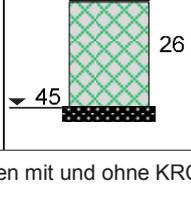
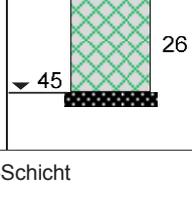
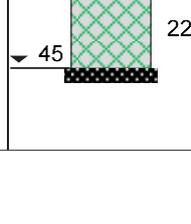
5.2.2 Dimensionierung von fiktiven Beispielen mit Performance-Daten der Laborgemische

Für die Berechnungen von fiktiven Befestigungsbeispielen wurden vier Belastungsklassen und drei Bauweisen gemäß RStO 12 als Referenzaufbauten ausgewählt. Diese wurden dahingehend variiert, dass die Asphalttragschicht oder Verfestigung jeweils durch eine KRC-Schicht ersetzt wurde. Aus den in Kapitel 5.1 untersuchten KRC-Varianten wurden drei ausgewählt, um Beispielbefestigungen rechnerisch zu dimensionieren. Die den Lastansätzen zugrunde liegenden dimensionierungsrelevanten Kenndaten gemäß RStO 12 sind der Tab. 5-15 zu entnehmen. Die sich daraus ergebenden 24 Oberbauvarianten sind in der Tab. 5-16 aufgeführt. Für zwölf dieser Oberbauvarianten wurden die Standardaufbauten gemäß

RStO angewendet. Für die zwölf Oberbauvarianten mit KRC-Schicht wurden die Materialeigenschaften von jeweils drei der im Labor hergestellten KRC-Varianten angewendet. Da die drei alternativen Zeilen mit KRC-Schicht jeweils mit jeweils drei unterschiedlichen KRC-Varianten berechnet wurden, ergeben sich insgesamt 48 Dimensionierungsvarianten, für die der Ermüdungsstatus nach 30-jähriger Nutzungsdauer ermittelt wurde.

Belastungsklasse	Bk0,3	Bk1,0	Bk3,2	Bk32
DTV [Kfz/24h]	280	950	1.800	9.000
SV-Anteil [%]	3	3	5	10
Nutzungszeitraum [a]	30	30	30	30
jährl. Steigerung der VB [%]	3,0	3,0	3,0	3,0
vom DTV erfasste Fahrstreifenanzahl [-]	2 (beide FR)	2 (beide FR)	2 (beide FR)	2 (beide FR)
Fahrstreifenbreite [m]	3,25 – 3,75	3,25 – 3,75	3,25 – 3,75	3,25 – 3,75
Steigung [%]	unter 2,0	unter 2,0	unter 2,0	unter 2,0
mittlere Achsanzahl [-]	4,5	4,5	4,5	4,5
q _{Bm} [-]	0,33	0,33	0,33	0,33
B-Zahl (RStO) [Mio-10-t-Achsen]	0,24	0,81	2,55	25,53

Tab. 5-15: Dimensionierungsrelevante Kenndaten gemäß RStO 12

Zeile	Belastungsklasse	Bk32	Bk3,2	Bk1,0	BK0,3
RStO12, Tafel 1, Zeile 1	Asphalttragschicht auf Frostschuttschicht (Referenzaufbau)				
	Asphaltdecke Asphalttragschicht Frostschuttschicht				
Alternative zu Tafel 1, Zeile 1	KRC-Schicht als Ersatz der Asphalttragschicht auf Frostschuttschicht				
	Asphaltdecke Kaltasphalttragschicht Frostschuttschicht				
RStO12, Tafel 1, Zeile 2.2	Asphalttragschicht auf Verfestigung (Referenzaufbau)				
	Asphaltdecke Asphalttragschicht Verfestigung/HGT Schicht aus frostunempfindlichem Material				
Alternative zu Tafel 1, Zeile 2.2	KRC-Schicht als Ersatz der Verfestigung auf Frostschuttschicht				
	Asphaltdecke Asphalttragschicht Kaltasphalttragschicht Schicht aus frostunempfindlichem Material				
RStO12, Tafel 4, Zeile 1	Vollgebundener Asphaltoberbau (Referenzaufbau)				
	Asphaltdecke Asphalttragschicht				
Alternative zu Tafel 4, Zeile 1	KRC-Schicht als Ersatz der Asphalttragschicht im vollgebundenen Asphaltoberbau				
Asphaltdecke Kaltasphalttragschicht					

Tab. 5-16: Tafel mit den gewählten Oberbauvarianten mit und ohne KRC-Schicht

Für die in den Berechnungen verwendeten Asphaltsschichten (Asphaltdeck-, Asphaltbinder-, und Asphalttragschicht) wurden die in den RDO Asphalt 09 definierten Kennwerte (Steifigkeiten und Ermüdungskurve) der sogenannten Referenzasphalte verwendet.

Aus den Ergebnissen der Laborversuche an den nachgestellten KRC-Gemischen wurden drei Konzepte als Alternative für die Referenzasphalttragschicht ausgewählt. Das erste Konzept (KRC-Z₂₈) repräsentiert eine Mischgutvariante mit erhöhtem Zementgehalt nach einer Lagerungsdauer von 28 Tagen. Die Materialparameter entsprechen den an Variante B3,5_H4_K nach 28 Tagen Lagerungsdauer ermittelten Untersuchungsergebnissen. Das zweite Konzept (KRC-B₂₈) ist ein Konzept mit mittlerem Zementgehalt (2 M.-%) nach ebenfalls 28 Tagen Lagerungsdauer. Hierfür wurden die Materialparameter der Variante B3,5_H2_B angewendet. Diese weist für die Varianten mit mittlerem Zementgehalt einen vergleichsweise hohen Widerstand gegen Ermüdung. Das dritte Konzept (KRC-B₁₈₀) berücksichtigt die Steifigkeitszunahme des Konzeptes 2 durch eine verlängerte Lagerungsdauer von ca. 180 Tagen und entspricht der Variante B3,5_H2_B (geprüft nach 180 Tagen).

Alle drei Varianten zeigen eine, wenn auch verminderte Temperaturabhängigkeit der Steifigkeiten, was auf ein Materialverhalten analog zu einem Asphalt hindeutet und damit der grundsätzlichen Zielsetzung des Forschungsprojektes entspricht. Unter diesen Bedingungen sollte die Anwendung der Dimensionierungsgrundlagen nach den RDO Asphalt 09 für KRC-Schichten mit bitumen-dominantem Charakter möglich sein. Inwieweit die zeitliche Veränderung der Steifigkeiten mit einer Tendenz zu abnehmender Temperaturabhängigkeit diese Einschätzung nach langer Nutzungsdauer verändert, wäre noch zu prüfen.

Die Steifigkeiten der verwendeten Tragschichten sind in Bild 5-58 bzw. Tab. 5-17 aufgeführt und die Ermüdungskurven in Bild 5-59 bzw. Tab. 5-18.

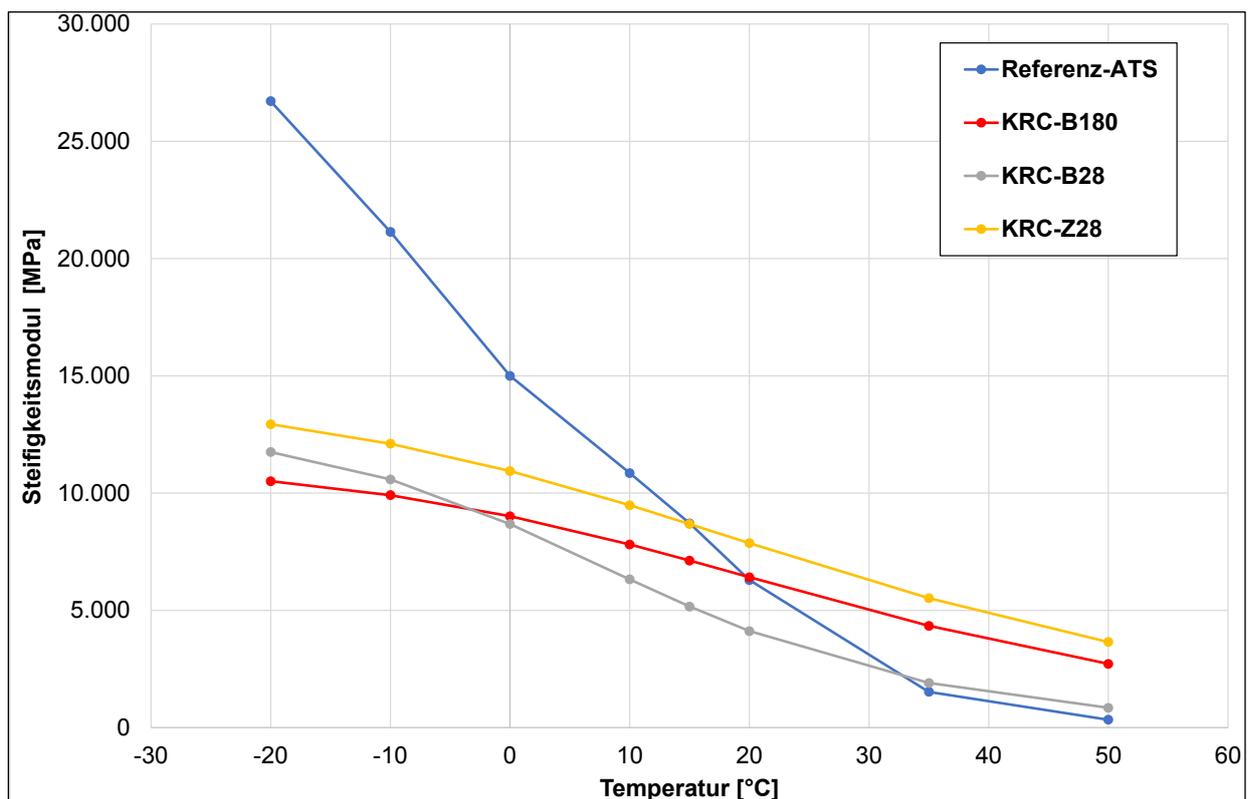


Bild 5-58: Steifigkeiten der für die Dimensionierung ausgewählten bitumen-dominanten KRC-Schichten im Vergleich zur Referenzasphalttragschicht

Steifigkeiten in MPa	Temperaturen in °C							
	-20	-10	0	10	15	20	35	50
Referenz-ATS	26.714	21.143	15.000	10.857	8.714	6.294	1.529	340
KRC-B ₁₈₀	10.507	9.916	9.017	7.812	7.126	6.413	4.343	2.721
KRC-B ₂₈	11.754	10.586	8.683	6.323	5.165	4.118	1.906	845
KRC-Z ₂₈	12.937	12.109	10.944	9.485	8.684	7.866	5.521	3.651

Tab. 5-17: Steifigkeiten der für die Dimensionierungen verwendeten gebundenen Tragschichten

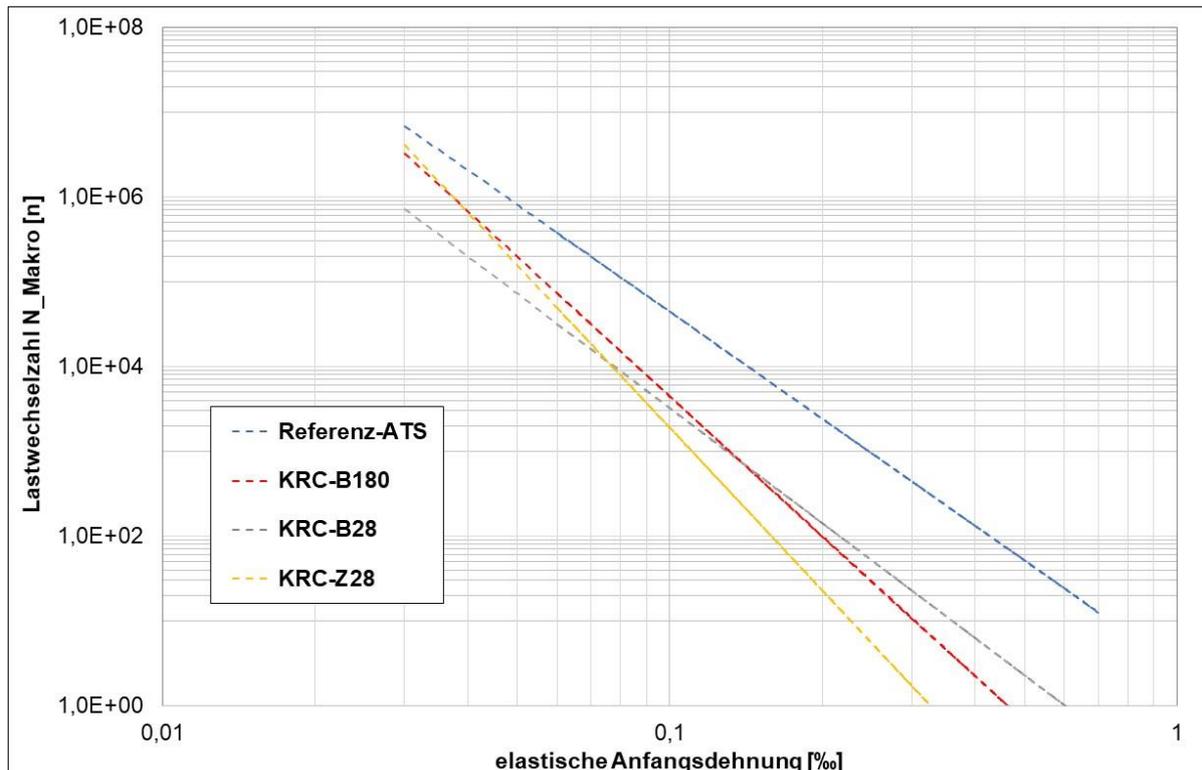


Bild 5-59: Ermüdungskurven der für die Dimensionierung ausgewählten bitumenhaltigen Tragschichten

Ermüdungskoeffizienten	k	n
Referenz-ATS	2,8283	-4,194
KRC-B ₁₈₀	0,01473	-5,480254
KRC-B ₂₈	0,10096	-4,502206
KRC-Z ₂₈	0,000798	-6,375415

Tab. 5-18: Ermüdungskoeffizienten der für die Dimensionierungen verwendeten Tragschichten

Die Dimensionierungsberechnungen mit dem Programm PaDesTo haben bei gegenüber der Mindestdicke der Asphalttragschicht bzw. Verfestigung nach RStO unveränderter Schichtdicke der KRC-Schichten zu den in Tab. 5-19 zusammengestellten Ergebnissen geführt. Für die angenommenen Verkehrsbelastungen werden bei allen Befestigungen gemäß RStO, Tafel 1, Zeile 1, in denen die Asphalttragschicht durch einen der drei untersuchten KRC-Baustoffe ersetzt wurde, Schädigungssummen über 1,0 (bzw. Ermüdungszustände > 100 %) ermittelt, sodass die berechnete Nutzungsdauer die angestrebte Nutzungsdauer von 30 Jahren nicht erreichte. Wird die Zementverfestigung in Aufbauten gemäß RStO, Tafel 1, Zeile 2.2 in gleicher Dicke mit einer KRC-Schicht ersetzt, so führen die angenommenen Verkehrsbelastungen bei Anwendung der Materialeigenschaften aller drei KRC-Baustoffe mit lediglich einer Ausnahme zu Schädigungssummen < 100 %. Nur bei der Befestigung der Belastungsklasse Bk32 unter

Anwendung des KRC-Baustoffes KRC-B₂₈ wird die rechnerische Nutzungsdauer von 30 Jahren nicht erreicht. Besonders die geringen Schädigungssummen, die mit den untersuchten Bauweisen für die Belastungsklassen Bk_{0,3} und Bk_{1,8} zeigen für die KRC-Varianten ein sinnvolles Anwendungs- und weiteres Optimierungspotential. Insbesondere bei den kleineren Belastungsklassen ist denkbar, dass die Schichtdicken der über der KRC-Schicht angeordneten Asphaltsschichten gegenüber den Schichtdicken der üblichen Zementverfestigung reduziert werden können, wenn in der KRC-Tragschicht keine Schwindrisse auftreten.

Auch bei den untersuchten vollgebundenen Oberbauvarianten gemäß Tafel 4 der RStO können drei Befestigungsvarianten identifiziert werden, bei denen der Ermüdungszustand < 100 % beträgt.

Belastungs- klasse	RStO - Tafel 1, Zeile 1			
	RStO-Referenz	KRC-Z ₂₈	KRC-B ₂₈	KRC-B ₁₈₀
	Rechnerische Ermüdungszustände in %			
Bk _{0,3}	139,8	1000	1000	1000
Bk _{1,0}	85,5	1000	1000	676,1
Bk _{3,2}	66,1	824,2	1000	454,4
Bk ₃₂	57,6	288,3	1000	266,5
Belastungs- klasse	RStO - Tafel 1, Zeile 2.2			
	RStO-Referenz	KRC-Z ₂₈	KRC-B ₂₈	KRC-B ₁₈₀
	Rechnerische Ermüdungszustände in %			
Bk _{0,3}	1000	7,8	29,8	5,8
Bk _{1,0}	1000	25,6	97,5	19,2
Bk _{3,2}	0,6	8,5	53,8	8,4
Bk ₃₂	2,3	12,6	122,1	15,9
Belastungs- klasse	RStO - Tafel 4, Zeile 1			
	RStO-Referenz	KRC-Z ₂₈	KRC-B ₂₈	KRC-B ₁₈₀
	Rechnerische Ermüdungszustände in %			
Bk _{0,3}	38,4	185,4	1000	163,3
Bk _{1,0}	37,5	121,7	1000	138,1
Bk _{3,2}	20,7	49,5	629,9	67,9
Bk ₃₂	50,7	75,2	1000	134,4

Ein Ermüdungszustand von 1000 % dokumentiert ein rechnerisches Versagen nach ≤ 3 Jahren

Tab. 5-19: Rechnerische Ermüdungszustände nach 30 Jahren Nutzungsdauer in % bei Annahme der nach RStO genannten Schichtdicken für die ATS bzw. Verfestigung für die KRC-Schichten

Die unter Anwendung einer Asphalttragschicht unter Verwendung der ATS-Referenz aus der RDO Asphalt zeigen ebenfalls bei fast allen Befestigungen Ermüdungszustände <100 %. Die Anpassung der Schichtdicken, mit dem Ziel, einen zum Referenzaufbau äquivalenten Ermüdungsstatus zu erreichen, ergab die in Tab. 5-20 zusammengestellten Schichtdicken. Für die mit KRC-Schichten dimensionierten Befestigungen wurde zudem der im Vergleich zum herkömmlichen Aufbau erforderliche Schichtdickenzuschlag prozentual angegeben.

Bei dem Ersatz der Asphalttragschicht durch die KRC-Varianten in Befestigungen auf Frostschutzschicht (RStO, Tafel 1, Zeile 1) zeigt sich, dass die Verwendung der KRC-Variante KRC-Z₂₈ mit 4 % Zugabe an hydraulischem Bindemittel um 24 % bis 67 % dicker ausgeführt werden müsste als die Asphalttragschicht aus RDO-Referenzasphalt. Wird die KRC-Variante KRC-B₂₈ mit mittlerem Gehalt an hydraulischem Bindemittel angewendet, so müsste fast eine Verdopplung der Schichtdicke erfolgen. Werden jedoch die nach 180 Tagen (KRC-B₁₈₀) bestimmten Materialparameter für die Dimensionierung verwendet, so reduziert sich die rechnerisch erforderlichen Mehrdicke wieder auf 28 % bis 55 %.

Die auch im M VB-K vorgeschlagenen Bauweise nach RStO Zeile 2.2, bei der eine Zementverfestigung durch eine KRC-Schicht ersetzt wird, erfordert hier für die Belastungsklassen Bk_{3,2} und Bk₃₂ prozentuale Schichtdickenaufschläge bis 53 % (KRC-Z₂₈), 150 % (KRC-B₂₈) bzw. 63 % (KRC-B₁₈₀). Bei den

untersuchten geringeren Belastungsklassen erwiesen sich die Aufbauvarianten mit KRC-Schicht anstelle der Verfestigung letzterer überlegen.

Insbesondere für die nach Tafel 4, Zeile 1 berechneten Oberbauvarianten mit einer KRC-Schicht zeigen sich vergleichsweise geringere Schichtdickenmehrbedarfe gegenüber der Referenzvariante von bis zu 18 % (Variante KRC-Z₂₈) und 19 % (KRC-B₁₈₀).

Belastungs- klasse	RStO - Tafel 1, Zeile 1			
	RStO-Referenz	KRC-Z ₂₈	KRC-B ₂₈	KRC-B ₁₈₀
Bk0,3	10 cm	16,7 cm (67 %)	19,5 cm (95 %)	15,5 cm (55 %)
Bk1,0	14 cm	20 cm (43 %)	25 cm (79 %)	19,3 cm (38 %)
Bk3,2	12 cm	17,9 cm (49 %)	23,9 cm (99 %)	17,3 cm (44 %)
Bk32	18 cm	22,4 cm (24 %)	32,9 cm (83 %)	23,1 cm (28 %)
Belastungs- klasse	RStO - Tafel 1, Zeile 2.2			
	RStO-Referenz	KRC-Z ₂₈	KRC-B ₂₈	KRC-B ₁₈₀
Bk0,3*	-	15 cm (0 %)	15 cm (0 %)	15 cm (0 %)
Bk1,0*	-	15 cm (0 %)	15 cm (0 %)	15 cm (0 %)
Bk3,2	15 cm	22,7 cm (53 %)	37,2 cm (148 %)	24,4 cm (63 %)
Bk32	15 cm	20,6 cm (37 %)	37,5 cm (150 %)	22,8 cm (52 %)
Belastungs- klasse	RStO - Tafel 4, Zeile 1			
	RStO-Referenz	KRC-Z ₂₈	KRC-B ₂₈	KRC-B ₁₈₀
Bk0,3	22 cm	25,9 cm (18 %)	34,7 cm (58 %)	26,2 cm (19 %)
Bk1,0	26 cm	29,2 cm (12 %)	> 40,0 cm	30,2 cm (16 %)
Bk3,2	26 cm	28,7 cm (10 %)	> 40,0 cm	30,4 cm (17 %)
Bk32	30 cm	31,4 cm (5 %)	> 40,0 cm	34,1 cm (14 %)

(-) -Werte: Schichtdickenmehrbedarf der KRC-Schicht gegenüber der Referenz

* Befestigungen mit Verfestigung führten zu Schädigungszuständen > 100 %. Für die angenommenen Schichtdicken der KRC-Varianten werden deshalb die üblichen Schichtdicken übertragen

Tab. 5-20: Erforderliche Dicke der KRC-Schichten für äquivalenten Ermüdungszustand zur RStO-Referenz

Unter der Annahme, dass die Befestigungen unter Anwendung der Asphalttragschicht-Referenzvarianten gemäß RDO Asphalt 09 das angestrebte Qualitätsniveau für die Dimensionierung von neuen Asphaltbefestigungen abbilden, können die hier abgeleiteten Schichtdicken-Zuschläge auch für die Anwendung auf empirisch dimensionierte Befestigungen übertragen werden. Hinsichtlich der dimensionierungsrelevanten Materialparameter müssen die KRC-Baustoffe dabei Materialeigenschaften aufweisen, die mindestens den anhand der Varianten B3,5_H4_K (nach 28 Tagen Lagerungsdauer) bzw. B3,5_H2_B (nach 180 Tagen Lagerungsdauer) entsprechen.

In Bild 5-60 und Bild 5-61 sind die dimensionierungsrelevanten Steifigkeits- und Ermüdungsfunktionen der drei ausgewählten, im Labor hergestellten und konditionierten KRC-Varianten zusammen mit den an Bohrkernproben aus langjährig belasteten KRC-Schichten Eigenschaften dargestellt. Hinsichtlich der Steifigkeiten unterschreiten lediglich zwei der Untersuchungsstrecken (A30 O und L114) die Steifigkeiten der Laboratoriums-Varianten. Hinsichtlich der Ermüdungskurve erreichen alle KRC-Ausbauproben höhere Lastwechselzahlen als die für die Dimensionierungen der fiktiven Befestigungen verwendeten KRC-Varianten. Somit kann abgeleitet werden, dass die für die fiktiven Befestigungen ermittelten Schädigungssummen und Schichtdicken weitere Reserven enthalten und bei Anwendung eine ausreichende Dauerhaftigkeit aufweisen sollten.

Für den Nachweis der Steifigkeitsmoduln und des Ermüdungswiderstandes von im Labor hergestellten und untersuchten KRC-Gemischen sollte eine deutlich längere Lagerungsdauer als 28 Tage (z. B. 180 Tage) angewendet werden, da erst dadurch praxisadäquate Steifigkeits- und Ermüdungseigenschaften bestimmt werden können.

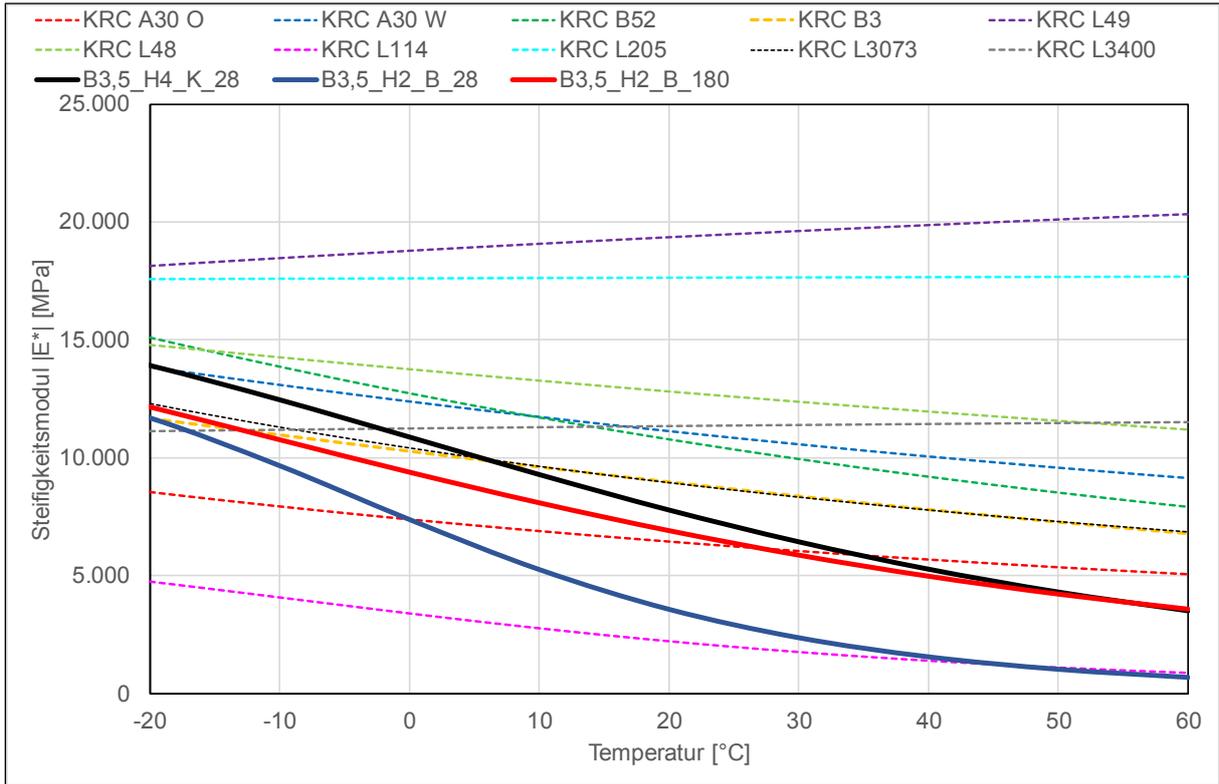


Bild 5-60: Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktionen der bei der Dimensionierung verwendeten KRC-Varianten im Vergleich zu den Steifigkeiten, die an langjährig belasteten Bohrkernproben ermittelt wurden.

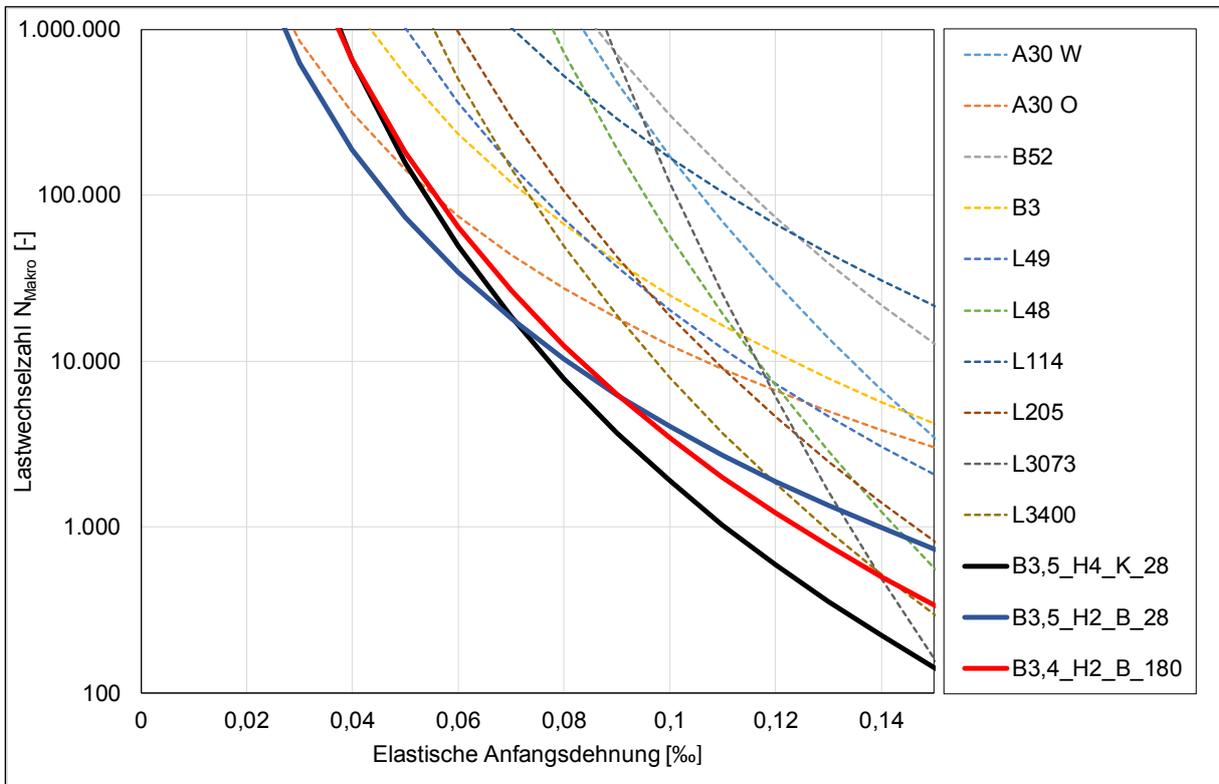


Bild 5-61: Ermüdungsfunktionen der bei der Dimensionierung verwendeten KRC-Varianten im Vergleich zu den Ermüdungsfunktionen, die an langjährig belasteten Bohrkernproben ermittelt wurden

6 Zusammenfassung und Ausblick

In den folgenden Abschnitten werden die wesentlichen Ergebnisse des Forschungsprojektes zusammengefasst.

6.1 Ergebnisse zur Anwendbarkeit von Prüfverfahren gemäß TP Asphalt-StB

Hinsichtlich der Anwendung von Asphalt-Prüfverfahren zur Bestimmung der Eigenschaften von KRC-Baustoffen können folgende Schlussfolgerungen getroffen werden:

- Für die Herstellung von Probekörpern aus KRC-Baustoffen können Probeplatten mittels Walzsektor-Verdichtungsgerät unter Anwendung des Verdichtungsregimes gemäß TP Asphalt-StB, Teil 33 hergestellt werden.
- Nach der Verdichtung ist eine ausreichend lange Lagerungszeit der KRC-Probekörper bzw. KRC-Probeplatten vor der Durchführung von mechanischen Prüfungen bzw. der Herstellung von Probekörpern durch Bohren und Schleifen erforderlich. Insbesondere bei KRC-Gemischen mit geringen Anteilen an hydraulischem Bindemittel wird eine Lagerungsdauer von mindestens 14 Tagen vor dem Herausschneiden von Proben aus verdichteten Probeplatten empfohlen.
- Unterschiedliche Konditionierungen der Probekörper beeinflussen die Materialeigenschaften. So führte das beschleunigte Trocknen von Probekörpern nach der Herstellung über Nacht bei einer Temperatur von 40 °C zu abweichenden Spaltzugfestigkeiten als die Lagerung bei Raumbedingungen. Für die Anwendung von Anforderungen an Steifigkeiten und Festigkeiten sind die Lagerungsbedingungen präzise zu beschreiben und einzuhalten. Für die Festlegung eines Konditionierungsverfahrens sind die hier durchgeführten Untersuchungen nicht ausreichend. Hierfür sind weitere Untersuchungen mit variierenden Lagerungsbedingungen notwendig.
- Für die Erfassung dimensionierungsrelevanter Materialeigenschaften, welche das Langzeitverhalten abbilden, wäre ein Lagerungsverfahren sinnvoll, welches z. B. durch erhöhte Lagerungstemperatur eine beschleunigte Trocknung erlaubt. Gleichzeitig ist jedoch eine Störung der Festigkeitsentwicklung insbesondere des hydraulischen Bindemittels zu vermeiden.
- Spaltzug-Schwellversuche zur Bestimmung von Kennwerten zur Beschreibung des Steifigkeits- und Ermüdungsverhaltens können gemäß den TP Asphalt-StB, Teile 24 und 26 für die Prüfung von KRC-Gemischen eingesetzt werden. Dies betrifft auch das Schleifen der Probekörper-Endflächen, welches einen großen Einfluss auf die ermittelten Eigenschaften hat.
- Die Bestimmung von Bruchdehnung und E-Modul durch Messung der Querdehnung in Spaltzug-Schwellversuchen gemäß TP Asphalt-StB, Teil 23 hat sich als nicht hinreichend robust erwiesen, da die Ergebnisse eine erhebliche Streuung aufweisen und zudem die Vergleichbarkeit nicht gegeben ist. Als mögliche Ursache ist die unzureichende Beschreibung des Prüfverfahrens zu nennen.

6.2 Erkenntnisse aus der Untersuchung von Praxisstrecken mit KRC-Tragschicht

Die Überprüfung von zehn mehrjährig beanspruchten Straßenbefestigungen mit Tragschichten aus KRC-Gemischen zeigen, dass bei keiner der betrachteten Strecke eine ungewöhnlich frühzeitige Schädigung eingetroffen ist. Insgesamt weisen die Ergebnisse der Zustandserfassung und -bewertung, der Tragfähigkeitsmessungen mit dem Falling Weight Deflectometer (FWD) und der rechnerischen Überprüfung der Substanz darauf hin, dass diese Befestigungen vergleichbare Nutzungsdauern zulassen wie Befestigungen mit konventionellem Asphaltoberbau. Im Rahmen der Untersuchungen wurden auch drei deutlich unterdimensionierte Befestigungen untersucht. Zwei Landesstraßen, bei denen über der KRC-Schicht lediglich eine Asphaltdeckschicht eingebaut wurde, zeigen bei gleichwertigen Zustandswerten unterschiedliche Ergebnisse der Berechnung der Nutzungsdauer aus der Basis der der Materialeigenschaften der Ausbauproben.

Insgesamt sind die auf Grundlage der rechnerischen Ermüdungsrissbildung erfolgten Überprüfungen der Bestandsstrecken mitunter unplausibel. Die bei manchen Strecken identifizierten erheblichen Schädigungssummen korrelieren nicht zu den anderen erfassten Substanzmerkmalen. So weisen die Ergebnisse insbesondere der KRC-Varianten, welche augenscheinlich hohe Gehalte an hydraulischem Bindemittel beinhalten und keine asphalttypischen, temperaturabhängigen Steifigkeitsmoduln zeigen, daraufhin, dass andere Schädigungskriterien wichtiger zur Dauerhaftigkeitsbewertung sind als die

klassische Ermüdungsrissbildung infolge horizontaler Dehnungsbeanspruchung. Hier fehlt somit ein Verfahren zur materialspezifischen Berücksichtigung von KRC-Tragschichten mit starren Eigenschaften. Als Hinweise für eine nicht sinnvolle Anwendbarkeit des Ermüdungsnachweises nach den RDO Asphalt 09 kann die nicht vorhandene Temperaturabhängigkeit des Steifigkeitsmoduls sowie eine sehr steil verlaufende Ermüdungsfunktion angesehen werden.

6.3 Erkenntnisse hinsichtlich des Einflusses variiertes Zusammensetzungen

Durch die systematische Variation der Zusammensetzung der KRC-Gemische können folgende Schlussfolgerungen anhand der durchgeführten Laborprüfungen gezogen werden:

- Die Erhöhung der Zugabegehalte der Bitumenemulsion
 - führt zu einer Erhöhung der Spaltzugfestigkeit trocken konditionierter Probekörper. Die Lagerungszeit (zwischen 28 und 180 Tagen) hat dabei keinen Einfluss auf die Unterschiede zwischen den untersuchten KRC-Varianten.
 - führt zu einer geringen Erhöhung der Spaltzugfestigkeit von drei Tage bei 40 °C in Wasser gelagerten Probekörpern, während die Lagerungsdauer keine weitere Veränderung bewirkt. Dadurch erhöht sich scheinbar die anhand des ITSR-Wertes abgeleitete Wasserempfindlichkeit.
 - verändert die nach 28 Tage ermittelten Steifigkeitsmoduln nur geringfügig, während nach 180 Tagen die Zunahme der Steifigkeitsmoduln sich mit zunehmendem Bitumenemulsionsgehalt erhöht.
 - beeinflusst den Ermüdungswiderstand nur geringfügig.
- Die Erhöhung der Zugabeanteile des hydraulischen Tragschicht- und Bodenbinders
 - führt zu ansteigenden Spaltzugfestigkeiten trocken und nass gelagerter Probekörper und zu geringerer Wasserempfindlichkeit.
 - führt zu erheblich höheren Steifigkeitsmoduln nach 28 Tage Lagerung der Probekörper. Eine weitere Erhöhung infolge längerer Lagerungsdauer ist dagegen nur gering.
 - führt zu einer deutlichen Erhöhung des mittels Spaltzug-Schwellversuchen ermittelten Ermüdungswiderstandes.
- Die Optimierung der Zusammensetzung des Mischgranulates hin zu geringerem Hohlraumgehalt zwischen den Gesteinskörnern bzw. Granulatstücken
 - führt nicht zu einer Veränderung der Spaltzugfestigkeit trocken gelagerter Probekörper, jedoch zu einem leichten Anstieg der Spaltzugfestigkeit von bei 40 °C für 3 Tage in Wasser gelagerten Probekörpern und somit zu einer Verringerung der Wasserempfindlichkeit.
 - führt zu einem Anstieg des Steifigkeitsmoduls der 180 Tage lang gelagerten Probekörper, während an 28 Tage konditionierten Proben kaum ein Einfluss erkennbar ist.
 - führt zu einer Erhöhung des Ermüdungswiderstandes.
- Mittels Triaxialversuche konnte für die Variante B3,5_H2_K nach sieben Tage Lagerungsdauer eine Beeinflussung der Scherfestigkeit von der Radialspannung nachgewiesen werden. Diese Abhängigkeit wird durch eine längere Lagerungsdauer (28 Tage) reduziert.

6.4 Erkenntnisse zur Dimensionierung von Asphaltbefestigungen unter Nutzung von KRC-Tragschichten

- Unter Voraussetzung eines asphalt-typischen Schädigungsverhaltens können unter Anwendung des Dimensionierungsverfahrens gemäß RDO Asphalt 09 Befestigungen mit KRC-Tragschichten als Ersatz von Asphalttragschichten oder Verfestigungen konzeptioniert werden. Die dazu erforderlichen Materialparameter sollten nach möglichst langer Konditionierungszeit der Probekörper bestimmt werden, um die dann noch veränderlichen Steifigkeits- und Ermüdungseigenschaften repräsentativ abzubilden.
- Die an im Labor hergestellten Proben bestimmten Steifigkeitsmoduln und Ermüdungswiderstände weisen kleinere Werte auf als die an Bohrkernproben aus langjährig beanspruchten Befestigungen bestimmten Werte. Es ist somit zu erwarten, dass die berechneten Aufbauvarianten eine gewisse Dimensionierungsreserve aufweisen.
- Durch Vergleich zum RDO-Referenzasphalt konnten Schichtdickenzuschläge für KRC-Tragschichten für den Ersatz von Asphalttragschichten und Verfestigungen in Befestigungen gemäß den RStO bestimmt werden:

- Bei Ersatz der Asphalttragschicht in Befestigungen gemäß Tafel 1, Zeile 1 wurden erforderliche Schichtdickenzuschläge zwischen 24 % bis 67 % ermittelt.
- Bei Ersatz der Zementverfestigung durch eine KRC-Tragschicht in einer Befestigung gemäß RStO, Tafel 1, Zeile 2.2 wurden für Belastungsklassen Bk3,2 und Bk32 prozentuale Schichtdickenaufschläge von bis zu 63 % ermittelt. Bei den betrachteten Befestigungen der Belastungsklassen Bk0,3 und 1,0 zeigte sich die KRC-Schicht sogar der Zementverfestigung überlegen.
- Bei Ersatz der Asphalttragschicht im vollgebundenen Oberbau nach Tafel 4, Zeile 1 wurden erforderliche Schichtdickenzuschläge von maximal 19 % ermittelt.
- Insbesondere weil die infolge Nutzungsdauer zu erwartende Erhöhung der Steifigkeiten und des Ermüdungswiderstandes eine gewisse Dimensionierungsreserve bewirkt, scheint der Einsatz von KRC-Gemischen als Ersatz der Asphalttragschichten mit einem Schichtdickenzuschlage von 50 % bei Anwendung der RStO, Tafel 1, Zeile 1 und von 20 % bei Anwendung eines vollgebundenen Oberbaus gemäß RStO, Tafel 4 praktikabel. Bei der baulichen Umsetzung ist dann aber dringend eine hinreichende Gleichmäßigkeit der KRC-Schicht zu gewährleisten.

Literatur

- [**AASHTO, 2020**] AASHTO (2020): Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide. a Manual of Practice. Third Edition. Washington.
- [**AP Trag Teil C 2.1, 2014**] AP Trag Teil C 2.1, 2014: Arbeitspapier Tragfähigkeit von Verkehrsflächenbefestigungen: FGSV Verlag, Köln.
- [**AP 9 S, 2019**] AP 9 S, 2019: Arbeitspapiere zur Systematik der Straßenerhaltung (AP 9), Teil: Erhaltungsplanung, Reihe S: Substanzwert (Bestand): FGSV Verlag, Köln.
- [**AP Nr. 27/2, 2000**] AP Nr. 27/2, 2000: FGSV-Arbeitspapier Nr. 27/2 Prüfung von Straßenausbaumaterial auf carbostämmige Bindemittel - Schnellverfahren: FGSV Verlag, Köln.
- [**AP Nr. 9/A 1.2, 2001**] AP Nr. 9/A 1.2, 2001: FGSV-Arbeitspapier Nr. 9/A 1.2 zur ZEB - Zustandserfassung bei visueller Erfassung: FGSV Verlag, Köln.
- [**Asphalt Academy, 2009**] Asphalt Academy (2009): Technical Guideline: Bitumen Stabilised Materials. A Guideline for the Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilised Materials. TG 2. Second Edition. Pretoria, 2009.
- [**DIN 52170 Teil 3, 1980**] DIN 52170 Teil 3, 1980: Bestimmung der Zusammensetzung von erhärtetem Beton: Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [**DIN EN 12697-39, 2020**] DIN EN 12697-39, 2020: Asphalt - Prüfverfahren - Teil 39: Bindemittelgehalt durch Thermoanalyse: Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [**Bozen-Südtirol, Autonome Provinz, 2016**] Bozen-Südtirol, Autonome Provinz (2016): Verzeichnis der Bezugsbauweisen zur Dimensionierung von Asphaltstrassen. Autonome Provinz Bozen- Südtirol.
- [**Bundesministerium für Arbeit und Soziales, 2020**]. Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2020): Technische Regeln für Gefahrstoffe - Arbeitsplatzgrenzwerte, TRGS 900, vom 12.05.2020. In: Gemeinsamen Ministerialblatt (GMBI).
- [**Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2015**]. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (11.09.2015): Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 16/2015. ARS 16/2015.
- [**Christensen, Donald; Hanz, Andrew; Velasquez, Raul; Arshadi, Amir; Bahia, Hussain, 2014**] Christensen, Donald; Hanz, Andrew; Velasquez, Raul; Arshadi, Amir; Bahia, Hussain (2014): Refinement of Current WisDOT HMA Mixture Application Guidelines Related to NMAS and Aggregate Characteristics. Hg. v. National Technical Information Service. Wisconsin Department of Transportation. Springfield.
- Coenen, A., Kutay, M.E. & Bahia, H.U. 2012.** Aggregate Structure Characterisation of Asphalt Mixtures Using 2-Dimensional Image Analysis. International Journal of Road Materials and Pavement Design, Vol. 13, pp. 433-454.
- [**Etienne, Uta, 2017**] Etienne, Uta (2017): Behandlung von Straßenbaustoffen mit teer-/pechtypischen Bestandteilen. VSVI Hessen, Asphaltstraßentag. Hessen Mobil - Straßen- und Verkehrsmanagement. VSVI Hessen. Friedberg, 18.01.2017. Online verfügbar unter <http://www.vsvi-hessen.de/download/20170118/vsvi20170118etienne.pdf>, zuletzt geprüft am 09.09.2020.
- [**European Asphalt Pavement Association, 2020**] European Asphalt Pavement Association (Hg.) (2020): Asphalt in figures 2018. European Asphalt Pavement Association. Brüssel. Online verfügbar unter www.eapa.org, zuletzt geprüft am 09.09.2020.
- [**Franz, Richard, 2017**] Franz, Richard (2017): Ökobilanzierung und dimensionierungstechnische Betrachtungen an KRC-Schichten. Masterarbeit. Ruhr-Universität Bochum, Bochum. Lehrstuhl für Verkehrswegebau.
- [**Kneisel, Martin, 2019**] Kneisel, Martin (2019): Umgang mit teerhaltigem Straßenaufbruch. Bericht aus Baden-Württemberg. 29. Karlsruher Deponie- und Altlastenseminar 2019.

Umweltministerium Baden-Württemberg - Referat 25 "Kommunale Kreislaufwirtschaft, Abfalltechnik". Arbeitskreis Grundwasserschutz e.V.; Überwachungsgemeinschaft Bauen für den Umweltschutz; Ingenieurgesellschaft Prof. Czurda und Partner mbH. Karlsruhe, 17.10.2019. Online verfügbar unter <http://icp-ing.de/ICP-Seminar/Deponieseminar2019/15-Kneisel.pdf>, zuletzt geprüft am 09.09.2020.

- [**Land Nordrhein-Westfalen, 2020**]. Land Nordrhein-Westfalen (02.02.2020): Verkehrsminister Hendrik Wüst dankt Straßen.NRW für Rekordinvestitionen in Autobahnen, Bundes- und Landesstraßen in Nordrhein-Westfalen. Der Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen hat im vergangenen Jahr nochmal mehr Umsatz gemacht als im Vorjahr. Düsseldorf. Online verfügbar unter <https://www.land.nrw/de/pressemitteilung/verkehrsminister-hendrik-wuest-dankt-strassenrw-fuer-rekordinvestitionen-0>, zuletzt geprüft am 26.08.2020.
- [**Langhammer, Lutz, 1998**] Langhammer, Lutz (1998): Stoffliche und konstruktive Untersuchungen zum Kaltrecycling für Tragschichten. Dissertation. Technische Universität Dresden Fakultät für Bauingenieurwesen Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau Professur für Straßenbau, Dresden.
- [**M KRC, 2005**] M KRC, 2005: Merkblatt für Kaltrecycling in situ im Straßenoberbau: FGSV Verlag, Köln.
- [**M VB-K, 2007**] M VB-K, 2007: Merkblättern für die Verwertung pechhaltiger Straßenausbaustoffe und von Asphaltgranulat in bitumengebundenen Tragschichten durch Kaltaufbereitung in Mischanlagen: FGSV Verlag, Köln.
- [**Merrill, D.; Nunn, M.; Carswell, I., 2004**] Merrill, D.; Nunn, M.; Carswell, I. (2004): A guide to the use and specification of cold recycled materials for the maintenance of road pavements. TRL Report TRL 611. Department of Transport. London (TRL 611), zuletzt geprüft am 18.09.2020.
- [**Mollenhauer, 2017**] Mollenhauer, Konrad (2017): Studie zum Anwendungspotenzial von werksgemischten Kaltbauweisen – Asphalt. FE 07.0282/2015/FRB: Unter Mitarbeit von Konrad Mollenhauer. Bremen: Fachverlag NW (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen und Straßenbau (S), S 114).
- [**Mollenhauer, Konrad; Winter, Marius; Graziani, Andrea; Mignini, Chiara; Bjurström, Henrik; Kalman, Björn et al., 2020**] Mollenhauer, Konrad; Winter, Marius; Graziani, Andrea; Mignini, Chiara; Bjurström, Henrik; Kalman, Björn et al. (2020): Cold Recycled Asphalt Bases for Optimised Energy & Resource Efficient Pavements. Deliverable D5 - International pavement designs with wold recycled material. Kassel.[]
- [**NF EN 13108-31, 2019**] NF EN 13108-31, 2019: Mélanges bitumineux - Spécifications pour le matériau - Partie 31: AFNOR.
- [**NF P98-086, 2011**] NF P98-086, 2011: Dimensionnement structurel des chaussées routières - Application aux chaussées neuves: AFNOR
- [**Radenberg et al., 2015**] Radenberg, Martin; Miljković, Miomir; Schäfer, Volker (2015): Einfluss des Asphaltgranulates auf die bemessungs- und ermüdungsrelevanten Materialeigenschaften einer zwangsgemischten, kaltgebundenen und bitumendominanten Tragschicht. Unter Mitarbeit von Martin Radenberg, Miomir Miljković und Volker Schäfer. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft GmbH (Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen - Strassenbau (S), S86).
- [**RDO Asphalt, 2009**] RDO Asphalt, 2009: Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung des Oberbaus von Verkehrsflächen mit Asphaltdeckschicht: FGSV Verlag, Köln.
- [**RStO, 2012**] RStO, 2012: Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen: FGSV Verlag, Köln.
- [**RStO, 2001**] RStO, 2001: Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen: FGSV Verlag, Köln.
- [**Roos et al., 2018**] Roos, Ralf; Plachkova-Dzhurova, Plamena; Grafmüller, Hedy-Kathlen; Milch, Julian; Hase, Manfred; Schindler, Kerstin et al. (2018): Repräsentative Ermittlung der performance-relevanten Asphalteeigenschaften als Grundlage neuer

Vertragsbedingungen. Unter Mitarbeit von Tobias Paffrath. Bergisch Gladbach: Fachverlag NW (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, S 121).

- [Rühl, Reinhold, 2020] Rühl, Reinhold (2020): Es sind Maßnahmen erforderlich! Der neue Arbeitsplatzgrenzwert erfordert kurz- und mittelfristig Änderungen im Straßenbau. Und gemeinsame Anstrengungen. In: *Asphalt und Bitumen* 6, 2020 (3), S. 36–39.
- [SABITA, 2020] SABITA (2020): Technical Guideline: Bitumen Stabilised Materials. A Guideline for the Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilised Materials. 3. Aufl. Kapstadt: Southern African Bitumen Association (Sabita).
- [Schäfer, Volker, 2008] Schäfer, Volker (2008): Bautechnische Abschlussdokumentation zur Grunderneuerung der Bundesautobahn A30 zwischen AS Hasbergen-Gaste und AS Bruchmühlen. Bauabschnitte I, II, IV und VI. Entwurf. Unter Mitarbeit von Nina Sliwa. Hg. v. Volker Schäfer. Schäfer Consult. Brake.
- [SN 40324, 2019] SN 40324, 2019: Dimensionierung des Strassenaufbaus - Unterbau und Oberbau: Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Zürich.
- [Täube, Andre, 2019] Täube, Andre (2019): MAK-Wert für Bitumen - Eine Herausforderung für den Asphalt! In: *Straße + Autobahn* 70 (06), 497 ff.
- [TP Asphalt-StB, Teil 80, 2012] TP Asphalt-StB, Teil 80, 2012: Technische Prüfvorschrift für Asphalt - TP Asphalt-StB, Teil 80: Abscherversuch: FGSV Verlag, Köln.
- [TP Asphalt-StB, Teil 0, 2021] TP Asphalt-StB, Teil 0, 2021: Technische Prüfvorschrift für Asphalt, Teil 0 Statistische Grundlagen zur Auswertung der Untersuchungen, Schiedsuntersuchungen, Prüfmittelüberwachung, Allgemeine Angaben zum Prüfbericht: FGSV Verlag, Köln.
- [TP Asphalt-StB, Teil 3, 2020] TP Asphalt-StB, Teil 3, 2020: Technische Prüfvorschrift für Asphalt, Teil 3 Rückgewinnung des Bindemittels - Rotationsverdampfer: FGSV Verlag, Köln.
- [TP Asphalt-StB, Teil 24, 2018] TP Asphalt-StB, Teil 24, 2018: Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 24 Spaltzug-Schwellversuch - Beständigkeit gegen Ermüdung: FGSV Verlag, Köln.
- [TP Asphalt-StB, Teil 26, 2018] TP Asphalt-StB, Teil 26, 2018: Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 26 Spaltzug-Schwellversuch - Bestimmung der Steifigkeit: FGSV Verlag, Köln.
- [TP Asphalt-StB, Teil 5, 2013] TP Asphalt-StB, Teil 5, 2013: Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 5 Rohdichte von Asphalt: FGSV Verlag, Köln.
- [TP Asphalt-StB, Teil 6, 2020] TP Asphalt-StB, Teil 6, 2020: Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 6 Raumdichte von Asphalt-Probekörpern: FGSV Verlag, Köln.
- [Walther, 2014] Walther, Axel (2014): Rechnerische Dimensionierung von Asphaltstraßen unter Berücksichtigung stündlicher Beanspruchungszustände. Dissertation. Schriftenreihe Straßenwesen, Heft 28. Braunschweig.
- [Weinert, 2009] Weinert, F. (2009): Dokumentation des Bauvorhabens BAB A 64/B 52 Grunderneuerung im Hoch- und Tiefbau. Versuchsstrecke Kaltrecyclingverfahren B 52 km 13,7 - km 16,1. Böhlen.
- [Wüst, 2018] Wüst, Hendrik (2018): Das Straßensanierungsverfahren "Kaltrecycling in situ": Durch den Bundesrechnungshof gerügt? Antwort auf die kleine Anfrage 942 des Abgeordneten Nic Peter Vogel der Fraktion der AfD. Düsseldorf.
- [Zander, Ulf; Golkowski, Gudrun; Wolf, Andreas, 2007] Zander, Ulf; Golkowski, Gudrun; Wolf, Andreas (2007): Stellungnahme zur Dimensionierung der Oberbauerneuerung auf der B 52 Trier-Ehrang. Bewertung des vorhandenen Oberbaus der B 52 mittels GPR und FWD. Unter Mitarbeit von Regina Fielenbach, Bruno Krause und Dorina Pauli. Hg. v. Bundesanstalt für Straßenwesen. Bundesanstalt für Straßenwesen. Bergisch Gladbach.

Bilder

- Bild 1-1: Ablauf des Forschungsprojektes im Fließdiagramm
Bild 2-1: Illustration der Art der Bindungen zwischen groben (grau) und feinen (grün) Gesteinskörnungen durch Asphaltmörtel (schwarz) und Zement (rot) in unterschiedlichen bitumenhaltigen Kaltmischgutarten [Mollenhauer, 2017]
Bild 2-2: Hauptkurven der Steifigkeitsmodule einer KRC-Schicht [Franz, 2017]
Bild 2-3: Auszug aus dem Tafelwerk zur Dimensionierung mittels Kaltrecyclingmaterial gemäß [Bozen-Südtirol, 2016]
Bild 2-4: Klassifizierung bitumendominanter kaltrecycelter Materialien anhand der nach EN 12697-26 ermittelten Steifigkeit [Merrill et al., 2004]
Bild 2-5: Mindestüberbauungsdicke (Asphaltdeck- und Asphaltbinderschicht) in Abhängigkeit von der Straßenkategorie [Merrill et al., 2004]
Bild 2-6: Funktionsdiagramm zur Dimensionierung bitumen-dominanter Kaltrecyclingschichten für die Fundationsklasse 1 [Merrill et al., 2004]
Bild 2-7: Resultierende Oberbauten im internationalen Vergleich [Mollenhauer et al., 2020]
Bild 2-8: Dicke des gebundenen Oberbaues über die Anzahl an täglichem Schwerverkehr [Mollenhauer et al., 2020]
Bild 2-9: Auswirkungen der Über- und Unterdimensionierung des Oberbaues in Anlehnung des M KRC auf die Dauerhaftigkeit der untersuchten Bestandsstrecken [Mollenhauer et al., 2020]
Bild 3-1: Deutschlandkarte mit der Lage der zehn ausgewählten Strecken
Bild 4-1: Kartenausschnitt der beiden Streckenabschnitte auf der A30 mit Markierung der Entnahmestellen
Bild 4-2: Probenentnahme im Standstreifen auf der A30 FR Osten bei km 86,75
Bild 4-3: Probenentnahmestelle im Standstreifen der A30 FR Westen bei km 86,75
Bild 4-4: Versenkter Bohrkopf bei der Bohrkernentnahme auf der A30
Bild 4-5: Kartenausschnitt der B52 mit Markierung der Entnahmestellen
Bild 4-6: Probeentnahmestelle auf der B52 FR Trier bei km 15,0
Bild 4-7: Lageplan der Entnahmestellen entlang der B3 Wahnhausen-Wilhelmshausen (links) und Fotodokumentation des Streckenzustandes (rechts)
Bild 4-8: Kartenausschnitt der L49 mit Markierung der Entnahmestellen (links) und Foto der Entnahmestelle bei km 0,935 (rechts)
Bild 4-9: Kartenausschnitt der L48 mit Markierung der Entnahmestellen sowie ein Foto der Entnahme bei km 1+418
Bild 4-10: Kartenausschnitt der L114 mit Markierung der Entnahmestellen (links) und Foto der Entnahmestelle bei km 0,935 (rechts)
Bild 4-11: Lageplan der Bohrkernentnahmestellen auf der L205 Gudow-Büchen
Bild 4-12: Probenentnahmestelle inner- und außerhalb der Rollspur auf der L205 bei km 7,410
Bild 4-13: Fotodokumentation Querriss (links) und Rissbild im Bohrkern (rechts)
Bild 4-14: Lageplan der Bohrkernentnahmestellen entlang der L3073 Elpenrode-Nieder-Gemünde (links) und Fotodokumentation der Strecke (rechts)
Bild 4-15: Lageplan der Bohrkernentnahmestellen auf der L3400 Helsa-Friedrichsbrück
Bild 4-16: Bohrkernentnahme inner- und außerhalb der Rollspur auf der L3400 bei km 0,975
Bild 4-17: Gegenüberstellung der gemäß der elastischen Länge und der Tragfähigkeitszahl zugeordneten Belastungsklassen gemäß RStO 12
Bild 4-18: Ergebnisse der FWD-Messungen der L205, Gudow-Büchen
Bild 4-19: Bohrkern 1-3 der Strecke A30 FR Osten (Hannover)
Bild 4-20: Bohrkern 2-1 der Strecke A30 FR Westen (Osnabrück)
Bild 4-21: Bohrkern 2-3 der Strecke A30 FR Westen (Osnabrück)
Bild 4-22: Bohrkern 2-A der Strecke B52
Bild 4-23: Bohrkern 1-5 der Strecke B3
Bild 4-24: Bohrkern 3-C der Strecke L49
Bild 4-25: Bohrkern 1-G der Strecke L49
Bild 4-26: Bohrkern 1-G der Strecke L48
Bild 4-27: Bohrkern 2-C der Strecke L114 mit Riss
Bild 4-28: Bohrkern 1-2 der Strecke L205

- Bild 4-29: Bohrkern 2-7 der Strecke L3073
- Bild 4-30: Bohrkern 3-6 der Strecke L3400
- Bild 4-31: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltdeckschicht der Strecke A30 FR Osten (Hannover)
- Bild 4-32: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltbinderschicht der Strecke A30 FR Osten (Hannover)
- Bild 4-33: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der oberen Asphalttragschicht der Strecke A30 FR Osten (Hannover)
- Bild 4-34: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der unteren Asphalttragschicht der Strecke A30 FR Osten (Hannover)
- Bild 4-35: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der KRC-Schicht der Strecke A30 FR Osten (Hannover)
- Bild 4-36: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltdeckschicht der Strecke A30 FR Westen (Osnabrück)
- Bild 4-37: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltbinderschicht der Strecke A30 FR Westen (Osnabrück)
- Bild 4-38: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der oberen Asphalttragschicht der Strecke A30 FR Westen (Osnabrück)
- Bild 4-39: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der unteren Asphalttragschicht der Strecke A30 FR Westen (Osnabrück)
- Bild 4-40: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der KRC-Schicht der Strecke A30 FR Westen (Osnabrück - Vergleichsvariante für AP5)
- Bild 4-41: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltdeckschicht der Strecke B52
- Bild 4-42: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltbinderschicht der Strecke B52
- Bild 4-43: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphalttragschicht der Strecke B52
- Bild 4-44: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der KRC-Schicht der Strecke B52
- Bild 4-45: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltdeckschicht der Strecke B3
- Bild 4-46: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltbinderschicht der Strecke B3
- Bild 4-47: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphalttragschicht der Strecke B3
- Bild 4-48: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der KRC-Schicht der Strecke B3
- Bild 4-49: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltdeckschicht der Strecke L49
- Bild 4-50: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphalttragschicht der Strecke L49
- Bild 4-51: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der KRC-Schicht der Strecke L49
- Bild 4-52: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltdeckschicht der Strecke der L48
- Bild 4-53: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphalttragschicht der Strecke der L48
- Bild 4-54: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der KRC-Schicht der Strecke der L48
- Bild 4-55: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltdeckschicht der Strecke der L114
- Bild 4-56: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der KRC-Schicht der Strecke der L114
- Bild 4-57: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltdeckschicht der Strecke der L205
- Bild 4-58: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der KRC-Schicht der Strecke der L205
- Bild 4-59: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltdeckschicht der Strecke der L3073
- Bild 4-60: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphalttragschicht der Strecke der L3073
- Bild 4-61: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der KRC-Schicht der Strecke der L3073
- Bild 4-62: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltdeckschicht der Strecke der L3400
- Bild 4-63: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphaltbinderschicht der Strecke der L3400
- Bild 4-64: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der Asphalttragschicht der Strecke der L3400
- Bild 4-65: Steifigkeitsmodul- und Phasenwinkelverläufe der KRC-Schicht der Strecke der L3400
- Bild 4-66: Messwerte und berechnete Hauptkurven der KRC-Schicht von der A30 FR Osten (links) und FR Westen (rechts)
- Bild 4-67: Messwerte und berechnete Hauptkurve der KRC-Schicht von der B52 (links) und der B3 (rechts)

- Bild 4-68: Messwerte und berechnete Hauptkurve der KRC-Schicht von der L49 (links) und der L48 (rechts)
- Bild 4-69: Messwerte und berechnete Hauptkurve der KRC-Schicht von der L114 (links) und der L205 (rechts)
- Bild 4-70: Messwerte und berechnete Hauptkurve der KRC-Schicht von der L3073 (links) und der L3400 (rechts)
- Bild 4-71: An KRC-Proben aus den 10 Untersuchungsstrecken gemessene Steifigkeitsmoduln (Einzelwerte und Mittelwerte mit Angabe der Variationskoeffizienten)
- Bild 4-72: Alle Hauptkurven der KRC-Schichten der untersuchten Praxisstrecken
- Bild 4-73: Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktionen der KRC-Schichten berechnet aus den Hauptkurven für 20°C und 10 Hz
- Bild 4-74: Hauptkurven aller Schichten der Strecke A30 FR Osten (Hannover)
- Bild 4-75: Hauptkurven aller Schichten der Strecke A30 FR Westen (Osnabrück)
- Bild 4-76: Hauptkurven aller Schichten der Strecke B52
- Bild 4-77: Hauptkurven aller Schichten der Strecke B3
- Bild 4-78: Hauptkurven aller Schichten der Strecke L49
- Bild 4-79: Hauptkurven aller Schichten der Strecke L48
- Bild 4-80: Hauptkurven aller Schichten der Strecke L114
- Bild 4-81: Hauptkurven aller Schichten der Strecke L205
- Bild 4-82: Hauptkurven aller Schichten der Strecke L3073
- Bild 4-83: Hauptkurven aller Schichten der Strecke L3400
- Bild 4-84: Gegenüberstellung der Steifigkeiten bestimmt gemäß [M KRC, 2005] (Tabelle 4-33) und [TP Asphalt-StB, Teil 26, 2018] bei 5 C und 10 Hz (Anhang, Tabellen A-0-12 bis A-0-46)
- Bild 4-85: Grafische Darstellung der Ermüdungsfunktion und der Einzelwerte gemäß TP Asphalt-StB, Teil 24 der A30 FR West
- Bild 4-86: Grafische Darstellung der Ermüdungsfunktion und der Einzelwerte gemäß TP Asphalt-StB, Teil 24 der A30 FR Ost
- Bild 4-87: Grafische Darstellung der Ermüdungsfunktion und der Einzelwerte gemäß TP Asphalt-StB, Teil 24 der B52
- Bild 4-88: Grafische Darstellung der Ermüdungsfunktion und der Einzelwerte gemäß TP Asphalt-StB, Teil 24 der B3
- Bild 4-89: Grafische Darstellung der Ermüdungsfunktion und der Einzelwerte gemäß TP Asphalt-StB, Teil 24 der L49
- Bild 4-90: Grafische Darstellung der Ermüdungsfunktion und der Einzelwerte gemäß TP Asphalt-StB, Teil 24 der L48
- Bild 4-91: Grafische Darstellung der Ermüdungsfunktion und der Einzelwerte gemäß TP Asphalt-StB, Teil 24 der L114
- Bild 4-92: Grafische Darstellung der Ermüdungsfunktion und der Einzelwerte gemäß TP Asphalt-StB, Teil 24 der L205
- Bild 4-93: Grafische Darstellung der Ermüdungsfunktion und der Einzelwerte gemäß TP Asphalt-StB, Teil 24 der L3073
- Bild 4-94: Grafische Darstellung der Ermüdungsfunktion und der Einzelwerte gemäß TP Asphalt-StB, Teil 24 der L3400
- Bild 4-95: Darstellung der Ermüdungsfunktionen aller Praxisstrecken
- Bild 4-96: Originalaufnahme (links) und zugehöriges Schwarz-Weiß-Bild (rechts) der Software IPAS der Schnittfläche eines Bohrkernes der A30 FR West
- Bild 4-97: Ergebnisdarstellung der Software IPAS zur Ermittlung der Korngrößenverteilung der A30 FR West
- Bild 4-98: Stückgrößenverteilung aus Information der Erstprüfung (links) und anhand der Bildanalyse von Bohrkernproben ermittelte Korngrößenverteilung (rechts) der Untersuchungsstrecken
- Bild 4-99: Fotodokumentation des Lacksprühverfahrens für die Strecken A30 FR West (a), A30 FR Ost (b), B52 (c) und L48 (d)
- Bild 5-1: Korn-/Stückgrößenverteilung der im Labor gemischten Varianten
- Bild 5-2: Spaltzugfestigkeiten der KRC-Varianten in Abhängigkeit von der Lagerungsdauer
- Bild 5-3: Spaltzugfestigkeiten der KRC-Varianten nach Wasserlagerung in Abhängigkeit von der Lagerungsdauer

- Bild 5-4: Nach Wasserlagerung verbleibende Spaltzugfestigkeit ITSR
- Bild 5-5: In Spaltzugversuchen bei 5 °C bestimmte E-Moduln
- Bild 5-6: In Spaltzugversuchen bei 5 °C bestimmte Bruchdehnungen
- Bild 5-7: Steifigkeitsmodule und Phasenwinkel B3,5_H2_B nach 28 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen
- Bild 5-8: Steifigkeitsmodule und Phasenwinkel B3,5_H2_B nach 56 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen
- Bild 5-9: Steifigkeitsmodule und Phasenwinkel B3,5_H2_B nach 175 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen
- Bild 5-10: Vergleich der Steifigkeitsmodule B3,5_H2_B nach 28, 56 und 175 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen
- Bild 5-11: Steifigkeitsmodule und Phasenwinkel der Variante B3,0_H2_B nach 28 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen
- Bild 5-12: Steifigkeitsmodule und Phasenwinkel der Variante B3,0_H2_B nach 56 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen
- Bild 5-13: Steifigkeitsmodule und Phasenwinkel der Variante B3,0_H2_B nach 175 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen
- Bild 5-14: Vergleich der Steifigkeitsmodule Variante B3,0_H2_B nach 28, 56 und 175 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen
- Bild 5-15: Steifigkeitsmodule und Phasenwinkel der Variante B4,0_H2_B nach 28 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen
- Bild 5-16: Steifigkeitsmodule und Phasenwinkel der Variante B4,0_H2_B nach 56 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen
- Bild 5-17: Steifigkeitsmodule und Phasenwinkel der Variante B4,0_H2_B nach 175 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen
- Bild 5-18: Vergleich der Steifigkeitsmodule Variante B4,0_H2_B nach 28, 56 und 175 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen
- Bild 5-19: Steifigkeitsmodule und Phasenwinkel der Variante B5,0_H2_B nach 28 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen
- Bild 5-20: Steifigkeitsmodule und Phasenwinkel der Variante B5,0_H2_B nach 56 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen
- Bild 5-21: Steifigkeitsmodule und Phasenwinkel der Variante B5,0_H2_B nach 175 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen
- Bild 5-22: Vergleich der Steifigkeitsmodule Variante B5,0_H2_B nach 28, 56 und 175 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen
- Bild 5-23: Vergleich der Steifigkeitsmodule Variante B3,5_H2_K nach 28, 56 und 175 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen
- Bild 5-24: Vergleich der Steifigkeitsmodule Variante B3,5_H1_K nach 28, 56 und 175 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen
- Bild 5-25: Vergleich der Steifigkeitsmodule Variante B3,5_H4_K nach 28, 56 und 175 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen
- Bild 5-26: Vergleich der Steifigkeitsmodule Variante B3,5_H2_Fuller_K nach 28, 56 und 175 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen
- Bild 5-27: Vergleich der Steifigkeitsmodule Variante B3,5_H2_o22/32_K nach 28, 56 und 175 Tagen Lagerungsdauer für unterschiedliche Prüftemperaturen und -frequenzen
- Bild 5-28: Indexdarstellung der Steifigkeitsmodule der Variante B3,5_H2_B nach 28, 56 und 175 Tagen Lagerungsdauer
- Bild 5-29: Indexdarstellung der Steifigkeitsmodule der Variante B3,0_H2_B nach 28, 56 und 175 Tagen Lagerungsdauer
- Bild 5-30: Indexdarstellung der Steifigkeitsmodule der Variante B4,0_H2_B nach 28, 56 und 175 Tagen Lagerungsdauer
- Bild 5-31: Indexdarstellung der Steifigkeitsmodule der Variante B5,0_H2_B nach 28, 56 und 175 Tagen Lagerungsdauer
- Bild 5-32: Veränderung der Steifigkeitsmodul-Hauptfunktionen infolge Lagerungsdauer in Abhängigkeit von der Temperatur
- Bild 5-33: Vergleich der temperaturabhängigen Steifigkeits-Hauptkurven nach 28 und 180 Tagen Lagerungsdauer
- Bild 5-34: Ermüdungsfunktionen der Variante B3,5_H2_B nach 28 und 175 Tagen Lagerungsdauer

- Bild 5-35: Ermüdungsfunktionen der Variante B3,5_H2_K nach 28 und 175 Tagen Lagerungsdauer
- Bild 5-36: Ermüdungsfunktionen der Variante B3,0_H2_B nach 28 und 175 Tagen Lagerungsdauer
- Bild 5-37: Ermüdungsfunktionen der Variante B4,0_H2_B nach 28 und 175 Tagen Lagerungsdauer
- Bild 5-38: Ermüdungsfunktionen der Variante B5,0_H2_B nach 28 und 175 Tagen Lagerungsdauer
- Bild 5-39: Ermüdungsfunktionen der Variante B3,5_H1_K nach 28 und 180 Tagen Lagerungsdauer
- Bild 5-40: Ermüdungsfunktionen der Variante B3,5_H4_K nach 28 und 180 Tagen Lagerungsdauer
- Bild 5-41: Ermüdungsfunktionen der Variante B3,5_H2_Fuller_K nach 28 und 180 Tagen Lagerungsdauer
- Bild 5-42: Ermüdungsfunktionen der Variante B3,5_H2_o22/32_K nach 28 und 180 Tagen Lagerungsdauer
- Bild 5-43: Vergleich der untersuchten Varianten hinsichtlich der Lastwechselzahl, die bei einer Anfangsdehnung von 0,05 ‰ zur Makrorissbildung führt für 28 und 180 Tage Lagerungsdauer
- Bild 5-44: Vergleich der untersuchten Varianten hinsichtlich der Lastwechselzahl, die bei einer Anfangsdehnung von 0,1 ‰ zur Makrorissbildung führt für 28 und 180 Tage Lagerungsdauer
- Bild 5-45: Zunahme der ertragbaren Lastwechselanzahl infolge einer verlängerten Lagerungsdauer der Prüfkörper
- Bild 5-46: In Triaxialversuchen bestimmte Festigkeit der Variante R3,5H2_K in Abhängigkeit von der Radialspannung und der Lagerungszeit
- Bild 5-47: In Triaxialversuchen bestimmte einaxiale Festigkeit (Radialspannung $\delta_{rad} = 0$ kPa) der mit Traixialversuchen untersuchten Varianten in Abhängigkeit von der Lagerungszeit
- Bild 5-48: Berechnete Beanspruchungen infolge einer Einzelradlast von 50 kN (10-t-Achslast) für fünf Oberflächentemperaturen gemäß RSO Asphalt für die Befestigung der A30 Ost
- Bild 5-49: Berechnete Beanspruchungen infolge einer Einzelradlast von 50 kN (10-t-Achslast) für fünf Oberflächentemperaturen gemäß RSO Asphalt für die Befestigung der A30 West
- Bild 5-50: Berechnete Beanspruchungen infolge einer Einzelradlast von 50 kN (10-t-Achslast) für fünf Oberflächentemperaturen gemäß RSO Asphalt für die Befestigung der B52
- Bild 5-51: Berechnete Beanspruchungen infolge einer Einzelradlast von 50 kN (10-t-Achslast) für fünf Oberflächentemperaturen gemäß RSO Asphalt für die Befestigung der B3
- Bild 5-52: Berechnete Beanspruchungen infolge einer Einzelradlast von 50 kN (10-t-Achslast) für fünf Oberflächentemperaturen gemäß RSO Asphalt für die Befestigung der L49
- Bild 5-53: Berechnete Beanspruchungen infolge einer Einzelradlast von 50 kN (10-t-Achslast) für fünf Oberflächentemperaturen gemäß RSO Asphalt für die Befestigung der L48
- Bild 5-54: Berechnete Beanspruchungen infolge einer Einzelradlast von 50 kN (10-t-Achslast) für fünf Oberflächentemperaturen gemäß RSO Asphalt für die Befestigung der L114
- Bild 5-55: Berechnete Beanspruchungen infolge einer Einzelradlast von 50 kN (10-t-Achslast) für fünf Oberflächentemperaturen gemäß RSO Asphalt für die Befestigung der L205
- Bild 5-56: Berechnete Beanspruchungen infolge einer Einzelradlast von 50 kN (10-t-Achslast) für fünf Oberflächentemperaturen gemäß RSO Asphalt für die Befestigung der L3073
- Bild 5-57: Berechnete Beanspruchungen infolge einer Einzelradlast von 50 kN (10-t-Achslast) für fünf Oberflächentemperaturen gemäß RSO Asphalt für die Befestigung der L3400
- Bild 5-58: Steifigkeiten der für die Dimensionierung ausgewählten bitumen-dominanten KRC-Schichten im Vergleich zur Referenzasphalttragschicht
- Bild 5-59: Ermüdungskurven der für die Dimensionierung ausgewählten bitumenhaltigen Tragschichten
- Bild 5-60: Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktionen der bei der Dimensionierung verwendeten KRC-Varianten im Vergleich zu den Steifigkeiten, die an langjährig belasteten Bohrkernproben ermittelt wurden
- Bild 5-61: Ermüdungsfunktionen der bei der Dimensionierung verwendeten KRC-Varianten im Vergleich zu den Ermüdungsfunktionen, die an langjährig belasteten Bohrkernproben ermittelt wurden
- Bild A-0-1: Alle Hauptkurven der Asphaltdeckschichten der untersuchten Praxisstrecken
- Bild A-0-2: Alle Hauptkurven der Asphaltbinderschichten der untersuchten Praxisstrecken
- Bild A-0-3: Alle Hauptkurven der Asphalttragschichten der untersuchten Praxisstrecken
- Bild A-0-4: Bildaufnahmen der ausgewerteten Bohrkern-Schnittflächen der A30 FR West
- Bild A-0-5: Bildaufnahmen der ausgewerteten Bohrkern-Schnittflächen der A30 FR Ost
- Bild A-0-6: Bildaufnahmen der ausgewerteten Bohrkern-Schnittflächen der B52

Bild A-0-7: Bildaufnahmen der ausgewerteten Bohrkern-Schnittflächen der B3
Bild A-0-8: Bildaufnahmen der ausgewerteten Bohrkern-Schnittflächen der L49
Bild A-0-9: Bildaufnahmen der ausgewerteten Bohrkern-Schnittflächen der L48
Bild A-0-10: Bildaufnahmen der ausgewerteten Bohrkern-Schnittflächen der L114
Bild A-0-11: Bildaufnahmen der ausgewerteten Bohrkern-Schnittflächen der L205
Bild A-0-12: Bildaufnahmen der ausgewerteten Bohrkern-Schnittflächen der L3073
Bild A-0-13: Bildaufnahmen der ausgewerteten Bohrkern-Schnittflächen der L3400
Bild A-0-14: Ergebnisse der FWD-Messungen der A30, BA IV; FR Osten
Bild A-0-15: Ergebnisse der FWD-Messungen der A30, BA IV; FR West
Bild A-0-16: Ergebnisse der FWD-Messungen der B52, Trier - Ehrang
Bild A-0-17: Ergebnisse der FWD-Messungen der B3, Wahnhausen - Wilhelmshausen
Bild A-0-18: Ergebnisse der FWD-Messungen der L49, Niersbach – Heidweiler
Bild A-0-19: Ergebnisse der FWD-Messungen der L48, Leiwien – Zummet
Bild A-0-20: Ergebnisse der FWD-Messungen der L 114, Weibern - Wehr
Bild A-0-21: Ergebnisse der FWD-Messungen der L205, Gudow-Büchen
Bild A-0-22: Ergebnisse der FWD-Messungen der L3073, Elpenrod - Nieder-Gemünden
Bild A-0-23: Ergebnisse der FWD-Messungen der L3400, Helsa - Friedrichsbrück

Tabellen

- Tab. 2-1: Zusammensetzungen der verschiedenen Bauabschnitte der BAB 30 [Schäfer, 2008]
- Tab. 2-2: Eingruppierung der Bindungstypen kaltgebundener Tragschichten [Langhammer, 1998]
- Tab. 2-3: Vorschlag für eine Klassifizierung von bitumengebundenen kaltverarbeiteten Baustoffen [Mollenhauer, 2017]
- Tab. 2-4: Mindestbindemittelgehalt der verschiedenen Materialklassen für bituminöse Kaltgemische [NF EN 13108-31, 2019]
- Tab. 2-5: Vorgaben des Elastizitätsmoduls für bituminöse Kaltgemische [NF EN 13108-31, 2019]
- Tab. 2-6: Klassifizierung für bitumen-stabilisiertes Material [SABITA, 2020]
- Tab. 3-1: Zusammenstellung der wichtigsten Informationen über die Praxisstrecken
- Tab. 4-1: Zusammenfassung der Randbedingungen der FWD-Messungen
- Tab. 4-2: Zusammenfassung der Ergebnisse der FWD-Messungen auf der A30 FR Osten (Hannover)
- Tab. 4-3: Zusammenfassung der Ergebnisse der FWD-Messungen auf der A30 FR Westen (Osnabrück)
- Tab. 4-4: Zusammenfassung der Ergebnisse der FWD-Messungen auf der B52
- Tab. 4-5: Zusammenfassung der Ergebnisse der FWD-Messungen auf der B3
- Tab. 4-6: Zusammenfassung der Ergebnisse der FWD-Messungen auf der L49
- Tab. 4-7: Zusammenfassung der Ergebnisse der FWD-Messungen auf der L48
- Tab. 4-8: Zusammenfassung der Ergebnisse der FWD-Messungen auf der L205
- Tab. 4-9: Zusammenfassung der Ergebnisse der FWD-Messungen auf der L3073
- Tab. 4-10: Zusammenfassung der Ergebnisse der FWD-Messungen auf der L3400
- Tab. 4-11: Vergleichende Zusammenfassung der Ergebnisse der FWD-Messungen aller Strecken
- Tab. 4-12: Ergebnisse der Voruntersuchungen an den Bohrkernen der Strecke A30 FR Osten (Hannover)
- Tab. 4-13: Ergebnisse der Voruntersuchungen an den Bohrkernen der Strecke A30 FR Westen (Osnabrück)
- Tab. 4-14: Ergebnisse der Voruntersuchungen an den Bohrkernen der Strecke B52
- Tab. 4-15: Ergebnisse der Voruntersuchungen an den Bohrkernen der Strecke B3
- Tab. 4-16: Ergebnisse der Voruntersuchungen an den Bohrkernen der Strecke L49
- Tab. 4-17: Ergebnisse der Voruntersuchungen an den Bohrkernen der Strecke L48
- Tab. 4-18: Ergebnisse der Voruntersuchungen an den Bohrkernen der Strecke L114
- Tab. 4-19: Ergebnisse der Voruntersuchungen an den Bohrkernen der Strecke L205
- Tab. 4-20: Ergebnisse der Voruntersuchungen an den Bohrkernen der Strecke L3073
- Tab. 4-21: Ergebnisse der Voruntersuchungen an den Bohrkernen der Strecke L3400
- Tab. 4-22: Parameter der Hauptkurven
- Tab. 4-23: Spaltzugfestigkeit bei 5 °C der KRC-Schicht der Strecke A30 FR Osten (Hannover)
- Tab. 4-24: Spaltzugfestigkeit bei 5 °C der KRC-Schicht der Strecke A30 FR Westen (Osnabrück)
- Tab. 4-25: Spaltzugfestigkeit bei 5 °C der KRC-Schicht der Strecke B52
- Tab. 4-26: Spaltzugfestigkeit bei 5 °C der KRC-Schicht der Strecke B3
- Tab. 4-27: Spaltzugfestigkeit bei 5 °C der KRC-Schicht der Strecke L49
- Tab. 4-28: Spaltzugfestigkeit bei 5 °C der KRC-Schicht der Strecke L48
- Tab. 4-29: Spaltzugfestigkeit bei 5 °C der KRC-Schicht der Strecke L114
- Tab. 4-30: Spaltzugfestigkeit bei 5 °C der KRC-Schicht der Strecke L205
- Tab. 4-31: Spaltzugfestigkeit bei 5 °C der KRC-Schicht der Strecke L3073
- Tab. 4-32: Spaltzugfestigkeit bei 5 °C der KRC-Schicht der Strecke L3400
- Tab. 4-33: Aus den Ergebnissen der Spaltzugversuche resultierende Typ-Einteilung des KRC-Materials (nach [Langhammer, 1998])
- Tab. 4-34: Zusammenstellung der materialspezifischen Parameter der Ermüdungsfunktionen und Bestimmtheitsmaße der Praxisstrecken
- Tab. 4-35: Bindemittelgehalt in Abhängigkeit vom Größtkorn nach dem Brechen
- Tab. 4-36: Zusammenstellung der bituminösen Bindemittelanteile der Praxisstrecken
- Tab. 4-37: Ergebnis der Zementgehaltsbestimmung gemäß DIN 52 170 Teil für KRC-Bohrkerne der L205
- Tab. 4-38: Siebdurchgänge bei 8 mm und 16 mm Stück- bzw. Korndurchmesser aus Angaben der Erstprüfung (EP) sowie anhand der Bildanalyse ermittelt, bei Auswertung von drei

- Bohrkernschnitten identifiziert Standardabweichung des Siebdurchgangs und Durchgangsverhältnis (Bild/EP)
- Tab. 4-39: Übersicht zur PAK-Belastung der verwendeten Ausbaustoffe innerhalb der untersuchten Praxisstrecken
- Tab. 5-1: Zuordnung der im Labor gemischten Varianten
- Tab. 5-2: Zusammensetzung der im Labor gemischten Varianten
- Tab. 5-3: Übersicht über die verwendeten Verdichtungsvarianten
- Tab. 5-4: Angewendete Bedingungen und Verfahren für die Herstellung und Lagerung der Probekörper
- Tab. 5-5: Raumdichten der Probekörper für die Performance-Untersuchungen
- Tab. 5-6: Spaltzugfestigkeiten bei 5 °C
- Tab. 5-7: In Spaltzugversuchen bei 5 °C bestimmte E-Moduln und Bruchdehnungen
- Tab. 5-8: Aus den Ergebnissen der Spaltzugversuche resultierende Typ-Einteilung des KRC-Materials (nach Langhammer, 1998)
- Tab. 5-9: Parameter der ermittelten Ermüdungsfunktionen und berechnete Lastwechselzahlen bei 0,05 ‰ und 0,1 ‰ Dehnung
- Tab. 5-10: Ergebnisse der durchgeführten Triaxialversuche
- Tab. 5-11: Ergebnisse der Triaxialversuche an Variante B3,5_H2_K bei Variation der Radialspannung (* Anforderungswerte an bitumen-stabilisierte Baustoffe gemäß Asphalt Academy, 2009)
- Tab. 5-12: Dimensionierungs-Eingangsgrößen für die Berechnung des Ermüdungsstatus infolge der bis zur Probenahme erfolgten Beanspruchung und resultierend Schädigungssumme für den Ermüdungsnachweis an der Unterseite der KRC-Schicht
- Tab. 5-13: Vergleich von charakteristischen Eigenschaften der Praxisstrecken, Zustandsmerkmale (ZEB, Tragfähigkeits- eigenschaften und dem anhand der bisher vorliegenden Beanspruchung erreichten Ermüdungsstatus
- Tab. 5-14: Ergebnisse der Dimensionierungsberechnungen der zehn Praxisstrecken mit dem Programm PaDesTo
- Tab. 5-15: Dimensionierungsrelevante Kenndaten gemäß RStO 12
- Tab. 5-16: Tafel mit den gewählten Oberbauvarianten mit und ohne KRC-Schicht
- Tab. 5-17: Steifigkeiten der für die Dimensionierungen verwendeten gebundenen Tragschichten
- Tab. 5-18: Ermüdungskoeffizienten der für die Dimensionierungen verwendeten Tragschichten
- Tab. 5-19: Rechnerische Ermüdungszustände nach 30 Jahren Nutzungsdauer in % bei Annahme der nach RStO genannten Schichtdicken für die ATS bzw. Verfestigung für die KRC-Schichten
- Tab. 5-20: Erforderliche Dicke der KRC-Schichten für äquivalenten Ermüdungszustand zur RStO-Referenz
- Tab. A-0-1: Steckbrief der ersten Strecke, A30 zwischen Bissendorf und Gesmold in Fahrtrichtung Osten
- Tab. A-0-2: Steckbrief der zweiten Strecke, A30 zwischen Bissendorf und Gemold Fahrtrichtung Westen
- Tab. A-0-3: Steckbrief der dritten Strecke, B52 zwischen Trier und Ehrang
- Tab. A-0-4: Steckbrief der vierten Strecke, B3 Wahnhausen - Wilhelmshausen
- Tab. A-0-5: Erster Steckbrief der fünften Strecke (Baustellenmaterial), L49 Niersbach - Heidweiler
- Tab. A-0-6: Zweiter Steckbrief der fünften Strecke (Ergänzungsmaterial), L49 Niersbach - Heidweiler
- Tab. A-0-7: Steckbrief der sechsten Strecke, L48 Leiwien - Zummet
- Tab. A-0-8: Steckbrief der siebten Strecke, L114 Weibern - Wehr
- Tab. A-0-9: Steckbrief der achten Strecke, L205 Gudow - Büchen
- Tab. A-0-10: Steckbrief der neunten Strecke, L3073 Elpenrod - Nieder-Gemünden
- Tab. A-0-11: Steckbrief der zehnten Strecke, L3400 Helsa - Friedrichsbrück
- Tab. A-0-12: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der A30 FR Osten
- Tab. A-0-13: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der A30 FR Osten BS
- Tab. A-0-14: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der A30 FR O TS2
- Tab. A-0-15: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der A30 FR O TS1

Tab. A-0-16: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der A30 FR O KRC

Tab. A-0-17: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der A30 FR W DS

Tab. A-0-18: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der A30 FR W BS

Tab. A-0-19: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der A30 FR W TS2

Tab. A-0-20: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der A30 FR W TS1

Tab. A-0-21: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der A30 FR W KRC

Tab. A-0-22: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der B52 DS

Tab. A-0-23: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der B52 BS

Tab. A-0-24: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der B52 TS

Tab. A-0-25: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der B52 KRC

Tab. A-0-26: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der B3 DS

Tab. A-0-27: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der B3 BS

Tab. A-0-28: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der B3 TS

Tab. A-0-29: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der B3 KRC

Tab. A-0-30: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L49 DS

Tab. A-0-31: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L49 TS

Tab. A-0-32: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L49 KRC

Tab. A-0-33: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L48 DS

Tab. A-0-34: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L48 TS

Tab. A-0-35: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L48 KRC

Tab. A-0-36: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L114 DS

Tab. A-0-37: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L114 KRC

Tab. A-0-38: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L205 DS

Tab. A-0-39: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L205 KRC

Tab. A-0-40: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L3073 DS

Tab. A-0-41: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L3073 TS

Tab. A-0-42: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L3073 KRC

Tab. A-0-43: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L3400 DS

Tab. A-0-44: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L3400 BS

- Tab. A-0-45: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L3400 TS
- Tab. A-0-46: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L3400 KRC
- Tab. A-0-47: Tabellarischer Zusammenstellung der Ergebnisse gemäß TP Asphalt-StB Teil 24 der A30 FR West (KRC)
- Tab. A-0-48: Tabellarischer Zusammenstellung der Ergebnisse gemäß TP Asphalt-StB Teil 24 der A30 FR West (HMA)
- Tab. A-0-49: Tabellarischer Zusammenstellung der Ergebnisse gemäß TP Asphalt-StB Teil 24 der A30 FR Ost (KRC)
- Tab. A-0-50: Tabellarischer Zusammenstellung der Ergebnisse gemäß TP Asphalt-StB Teil 24 der A30 FR Ost (HMA)
- Tab. A-0-51: Tabellarischer Zusammenstellung der Ergebnisse gemäß TP Asphalt-StB Teil 24 der B52
- Tab. A-0-52: Tabellarischer Zusammenstellung der Ergebnisse gemäß TP Asphalt-StB Teil 24 der B3
- Tab. A-0-53: Tabellarischer Zusammenstellung der Ergebnisse gemäß TP Asphalt-StB Teil 24 der L49
- Tab. A-0-54: Tabellarischer Zusammenstellung der Ergebnisse gemäß TP Asphalt-StB Teil 24 der L48
- Tab. A-0-55: Tabellarischer Zusammenstellung der Ergebnisse gemäß TP Asphalt-StB Teil 24 der L114
- Tab. A-0-56: Tabellarischer Zusammenstellung der Ergebnisse gemäß TP Asphalt-StB Teil 24 der L205
- Tab. A-0-57: Tabellarischer Zusammenstellung der Ergebnisse gemäß TP Asphalt-StB Teil 24 der L3073
- Tab. A-0-58: Tabellarischer Zusammenstellung der Ergebnisse gemäß TP Asphalt-StB Teil 24 der L3400

Anhang

Der in den Tabellen A-0-1 bis A-0-11 angegebene rechnerische Bitumengehalt KRC entspricht der Summe des Bindemittelgehaltes des Asphaltgranulates (tlw. teerhaltig) und des Bindemittelgehaltes der Emulsion. Der rechnerische Gesamtwert ist nicht vollständig aktiv.

Lfd.-Nr.:	1	Streckenbezeichnung:	A30, BA4 Bissendorf-Gesmold FR Osten				
Allgemeine Angaben					Mischgutzusammensetzung		
Jahr des Einbaus:	2003				Bitumenemulsion:	3,0	%
Baulos:	km	82,3	bis km	87,3	Emulsionsart:	C 60 B1-BEM	
Abschnittslänge:	5.000		m		Bindemittelgehalt Asphaltgranulat:	4,0	%
DTV (SV-Anteil):	50.000	Kfz/24h	(21,0)	%	Rechnerischer Bitumengehalt KRC:	5,2	%
Bau-/Belastungsklasse:	Bk100				Zementanteil:	3,0	%
Mischweise:	in plant				Zementart:	CEM I 32,5 R	
Einbaufirma:	ARGE Dallmann, Oevermann, Dieckmann				Wasseranteil:	5,8	%
Dimensionierung					Zement/Bitumen-Verhältnis:	0,6	
Asphaltdeckschicht:	30	mm			Granulat:	85	%
Asphaltbinderschicht:	80	mm			Zugabe-Gestein:	15	%
Asphalttragschicht:	180	mm			Stückgrößenverteilung KP		
Kaltrecyclingschicht:	250	mm			Sieböffnung [mm]	Durchgang [%]	
Erstprüfung					63	100,0	
Hohlraumgehalt:	4-12	%			45	100,0	
Marshall-Stabilität (60 °C):	≥ 2	kN			31,5	100,0	
Marshall-Stabilität (25 °C):	≥ 10	kN			22,4	96,9	
Raumdichte:		g/cm ³			16	90,9	
Wasserempfindlichkeit:		%			11,2		
Verdichtungsgrad:		%			8		
Kontrollprüfung					5,6		
Hohlraumgehalt:	11,9	%			2	33,6	
Spaltzugfestigkeit (7d):		MPa			1		
Spaltzugfestigkeit (28d):		MPa			0,5		
Raumdichte:	2,004	g/cm ³			0,25		
Wasserempfindlichkeit:		%			0,125	1,3	
Verdichtungsgrad:	98,3	%			0,063		
Erhaltungshistorie					ZEB-Daten [Mittelwerte]		
Jahr:	August 2020				Jahr:	2017	
Art:	Erneuerung der Deck- und Binderschicht				ZW AUN:	1,55	
					ZW SPT:	1,76	
					ZW RISS:	2,27	
					ZW RSFA:	1,02	
Anmerkungen					GW:	2,74	
Zum Zeitpunkt der Erstellung der Erstprüfung war im damaligen Entwurf zum [M KRC, 2005] noch die Marshall-Stabilität vorgesehen, weswegen deren Grenzwerte angegeben sind.							

Tab. A-0-1: Steckbrief der ersten Strecke, A30 zwischen Bissendorf und Gesmold in Fahrtrichtung Osten

Lfd.-Nr.:	2	Streckenbezeichnung:	A30, BA 4 FR Westen				
Allgemeine Angaben					Mischgutzusammensetzung		
Jahr des Einbaus:	2004				Bitumenemulsion:	3,5	%
Baulos:	km	87,3	bis km	82,3	Emulsionsart:	C 60 B1-BEM	
Abschnittslänge:	5.000		m		Bindemittelgehalt Asphaltgranulat:	4	%
DTV (SV-Anteil):	50.000	Kfz/24h	(21,0)	%	Rechnerischer Bitumengehalt KRC	5,4	%
Bau-/Belastungsklasse:	Bk100				Zementanteil:	2,0	%
Mischweise:	in plant				Zementart:	CEM I 32,5 R	
Einbaufirma:	ARGE Dallmann, Oevermann, Dieckmann				Wasseranteil:	4,3	%
Dimensionierung					Zement/Bitumen-Verhältnis:	0,4	
Asphaltdeckschicht:	40	mm			Granulat:	82	%
Asphaltbinderschicht:	90	mm			Frischgestein:	18	%
Asphalttragschicht:	180	mm			Stückgrößenverteilung KP		
Kaltrecyclingschicht:	250	mm			Sieböffnung [mm]	Durchgang [%]	
Erstprüfung					63	100,0	
Hohlraumgehalt:	4-12	%			45	100,0	
Spaltzugfestigkeit (7d):		MPa			31,5	97,8	
Spaltzugfestigkeit (28d):	≥ 0,5	MPa			22,4		
Raumdicke:		g/cm³			16	78,5	
Wasserempfindlichkeit:		%			11,2		
Verdichtungsgrad:		%			8		
Kontrollprüfung					5,6		
Hohlraumgehalt:	10,5	%			2	32,6	
Spaltzugfestigkeit (7d):		MPa			1		
Spaltzugfestigkeit (28d):	0,60	MPa			0,5		
Raumdicke:	2,012	g/cm³			0,25		
Wasserempfindlichkeit:		%			0,125	6,0	
Verdichtungsgrad:	101,4	%			0,063		
Erhaltungshistorie					ZEB-Daten [Mittelwerte]		
Jahr:	Juli 2020				Jahr:	2017	
Art:	Erneuerung der Deck- und Binderschicht				ZW AUN:	1,51	
					ZW SPT:	1,94	
					ZW RISS:	2,90	
					ZW RSFA:	1,48	
					ZW GW:	3,37	
Anmerkungen							

Tab. A-0-2: Steckbrief der zweiten Strecke, A30 zwischen Bissendorf und Gemold Fahrtrichtung Westen

Lfd.-Nr.:	3	Streckenbezeichnung:	B52, Trier-Ehrang (3)				
Allgemeine Angaben				Mischgutzusammensetzung			
Jahr des Einbaus:	2009				Bitumenemulsion:	4,0	%
Baulos:	km	14,875	bis km	15,600	Emulsionsart:	C 60 B1-BEM	
Abschnittslänge:	725		m		Bindemittelgehalt Asphaltgranulat	4,0	%
DTV (SV-Anteil):	26000	Kfz/24h	(15,0)	%	Rechnerischer Bitumengehalt KRC:	6,4	%
Bau-/Belastungsklasse:	Bk100				Zementanteil:	4,0	%
Mischweise:	in situ				Zementart:	CEM I 32,5	
Einbaufirma:	Fa. Kutter				Wasseranteil:	3,1	%
Dimensionierung				Zement/Bitumen-Verhältnis:	0,6		
Asphaltdeckschicht:	35	mm			Granulat:	100	%
Asphaltbinderschicht:	65	mm			Frischgestein:		%
Asphalttragschicht:	80	mm			Stückgrößenverteilung KP		
Kaltrecyclingschicht:	200	mm			Sieböffnung [mm]	Durchgang [%]	
Erstprüfung				63			
Hohlraumgehalt:	9,2	%		45	100,0		
Spaltzugfestigkeit (7d):	0,66	MPa		31,5	97,6		
Spaltzugfestigkeit (28d):	0,93	MPa		22,4			
Raumdichte:	2,229	g/cm ³		16			
Wasserempfindlichkeit:		%		11,2			
Verdichtungsgrad:		%		8			
Kontrollprüfung				5,6			
Hohlraumgehalt:	12,9	%		2	16,5		
Spaltzugfestigkeit (7d):		MPa		1			
Spaltzugfestigkeit (28d):	1,21	MPa		0,5			
Raumdichte:	2,231	g/cm ³		0,25			
Wasserempfindlichkeit:		%		0,125	3,0		
Verdichtungsgrad:	98,2	%		0,063			
Erhaltungshistorie				ZEB-Daten [Mittelwerte]			
Jahr:				Jahr:	2015		
Art:				ZW AUN:	1,14		
				ZW SPT:	1,84		
				ZW RISS:	1,00		
				ZW RSFA:	1,00		
				GW:	1,87		
Anmerkungen							
Gemäß [Zander et al., 2007] ist der Straßenaufbau unterdimensioniert. Allerdings sind nach 10 Jahren unter viel stärkerem Verkehr (dauerhafte provisorische Markierung für zwei Fahrstreifen je Richtung) keine Schadstellen festzustellen.							

Tab. A-0-3: Steckbrief der dritten Strecke, B52 zwischen Trier und Ehrang

Lfd.-Nr.:	4	Streckenbezeichnung:	B3, Wahnhausen-Wilhelmshausen				
Allgemeine Angaben					Mischgutzusammensetzung		
Jahr des Einbaus:	2009				Bitumenemulsion:	3,7	%
Baulos:	km	05,276	bis km	07,369	Emulsionsart:	C 60 B1-BEM	
Abschnittslänge:	2.093		m		Bindemittelgehalt Asphaltgranulat:	5,6	%
DTV (SV-Anteil):	4176	Kfz/24h	(6,4)	%	Rechnerischer Bitumengehalt KRC:	7,8	%
Bau-/Belastungsklasse:	Bk 1,8				Zementanteil:	4,0	%
Mischweise:	in situ				Zementart:	CEM II 32,5 R	
Einbaufirma:	Fa. Kutter				Wasseranteil:	3,3	%
Dimensionierung					Zement/Bitumen-Verhältnis:	0,5	
Asphaltdeckschicht:	40	mm			Granulat:	100	%
Asphaltbinderschicht:	60	mm			Frischgestein:		%
Asphalttragschicht:	80	mm			Stückgrößenverteilung EP		
Kaltrecyclingschicht:	180	mm			Sieböffnung [mm]	Durchgang [%]	
Erstprüfung					63	100,0	
Hohlraumgehalt:	11,3	%			45	100,0	
Spaltzugfestigkeit (7d):	0,69	MPa			31,5	94,3	
Spaltzugfestigkeit (28d):		MPa			22,4	88,1	
Raumdichte:	2,270	g/cm ³			16	81,7	
Wasserempfindlichkeit:		%			11,2	69,5	
Verdichtungsgrad:		%			8	57,5	
Kontrollprüfung					5,6	44,4	
Hohlraumgehalt:		%			2	31,2	
Spaltzugfestigkeit (7d):		MPa			1	12,9	
Spaltzugfestigkeit (28d):		MPa			0,5	8,6	
Raumdichte:		g/cm ³			0,25	6,2	
Wasserempfindlichkeit:		%			0,125	4,2	
Verdichtungsgrad:		%			0,063	2,7	
Erhaltungshistorie					ZEB-Daten [Mittelwerte]		
Jahr:					Jahr:	2015	
Art:					ZW AUN:	1,86	
					ZW SPT:	1,18	
					ZW RISS:	1,05	
					ZW RSFA:	1,0	
Anmerkungen					GW:	2,0	

Tab. A-0-4: Steckbrief der vierten Strecke, B3 Wahnhausen - Wilhelmshausen

Lfd.-Nr.:	5.1	Streckenbezeichnung:	L49, Niersbach - Heidweiler (AG1-Baustellenmaterial)		
Allgemeine Angaben				Mischgutzusammensetzung	
Jahr des Einbaus:	2015			Bitumenemulsion:	3,5 %
Baulos:	km		bis km	Emulsionsart:	C 60 B1-BEM
Abschnittslänge:	2.218		m	Bindemittelgehalt Asphaltgranulat	3,1 %
DTV (SV-Anteil):	2676	Kfz/24h	(24,0)	Rechnerischer Bitumengehalt KRC:	5,2 %
Bau-/Belastungsklasse:	Bk1,0			Zementanteil:	3,5 %
Mischweise:	in situ			Zementart:	HRB 32,5 E
Einbaufirma:	Fa. Kutter			Wasseranteil:	8,8 %
Dimensionierung				Zement/Bitumen-Verhältnis:	0,7
Asphaltdeckschicht:	35	mm		Granulat:	100 %
Asphaltbinderschicht:		mm		Frischgestein:	%
Asphalttragschicht:	80	mm		Stückgrößenverteilung EP	
Kaltrecyclingschicht:	180	mm		Sieböffnung [mm]	Durchgang [%]
Erstprüfung				63	100,0
Hohlraumgehalt:	15,0	%		45	100,0
Spaltzugfestigkeit (7d):	0,80	MPa		31,5	81,1
Spaltzugfestigkeit (28d):	0,95	MPa		22,4	
Raumdichte:	2,072	g/cm ³		16	61,1
Wasserempfindlichkeit:	15,7	%		11,2	
Verdichtungsgrad:		%		8	45,8
Kontrollprüfung				5,6	
Hohlraumgehalt:		%		2	24,7
Spaltzugfestigkeit (7d):		MPa		1	17,0
Spaltzugfestigkeit (28d):		MPa		0,5	12,2
Raumdichte:		g/cm ³		0,25	
Wasserempfindlichkeit:		%		0,125	4,4
Verdichtungsgrad:		%		0,063	
Erhaltungshistorie				ZEB-Daten [Mittelwerte]	
Jahr:				Jahr:	
Art:				ZW AUN:	
				ZW SPT:	
				ZW RISS:	
				ZW RSFA:	
Anmerkungen				GW:	
Es wurde keine Kontrollprüfung durchgeführt.					

Tab. A-0-5: Erster Steckbrief der fünften Strecke (Baustellenmaterial), L49 Niersbach - Heidweiler

Lfd.-Nr.:	5.2	Streckenbezeichnung:	L49, Niersbach - Heidweiler (AG2-Ergänzungsmaterial)		
Allgemeine Angaben				Mischgutzusammensetzung	
Jahr des Einbaus:	2015			Bitumenemulsion:	3,5 %
Baulos:	km		bis km	Emulsionsart:	C 60 B1-BEM
Abschnittslänge:	2.218		m	Bindemittelgehalt Asphaltgranulat	3,4 %
DTV (SV-Anteil):	2676	Kfz/24h	(24,0)	Rechnerischer Bitumengehalt KRC:	5,5 %
Bau-/Belastungsklasse:	Bk1,0			Zementanteil:	4,0 %
Mischweise:	in situ			Zementart:	HRB 32,5 E
Einbaufirma:	Fa. Kutter			Wasseranteil:	10,0 %
Dimensionierung				Zement/Bitumen-Verhältnis:	0,7
Asphaltdeckschicht:	35	mm		Granulat:	100 %
Asphaltbinderschicht:		mm		Frischgestein:	%
Asphalttragschicht:	80	mm		Stückgrößenverteilung	
Kaltrecyclingschicht:	180	mm		Sieböffnung [mm]	Durchgang [%]
Erstprüfung				63	100,0
Hohlraumgehalt:	12,0	%		45	100,0
Spaltzugfestigkeit (7d):	0,75	MPa		31,5	79,4
Spaltzugfestigkeit (28d):	0,88	MPa		22,4	
Raumdicke:	2,114	g/cm ³		16	66,3
Wasserempfindlichkeit:	8,5	%		11,2	
Verdichtungsgrad:		%		8	54,2
Kontrollprüfung				5,6	
Hohlraumgehalt:		%		2	27,6
Spaltzugfestigkeit (7d):		MPa		1	20,2
Spaltzugfestigkeit (28d):		MPa		0,5	14,6
Raumdicke:		g/cm ³		0,25	
Wasserempfindlichkeit:		%		0,125	6,1
Verdichtungsgrad:		%		0,063	
Erhaltungshistorie				ZEB-Daten [Mittelwerte]	
Jahr:				Jahr:	2017
Art:				ZW AUN:	1,64
				ZW SPT:	1,56
				ZW RISS:	1,01
				ZW RSFA:	1,00
Anmerkungen				GW:	1,84
KRC-Schicht wurde aus zwei separaten Granulaten hergestellt, die bei der in situ Herstellung in zufälliger Dosierung gemischt wurden. Es wurde keine Kontrollprüfung durchgeführt.					

Tab. A-0-6: Zweiter Steckbrief der fünften Strecke (Ergänzungsmaterial), L49 Niersbach - Heidweiler

Lfd.-Nr.:	6	Streckenbezeichnung:	L48, Leiwen – Zummet			
Allgemeine Angaben				Mischgutzusammensetzung		
Jahr des Einbaus:	2015			Bitumenemulsion:	3,0	%
Baulos:	km		bis km	Emulsionsart:	C 60 B1-BEM	
Abschnittslänge:	1.273		m	Bindemittelgehalt Asphaltgranulat:	4,0	%
DTV (SV-Anteil):	2307	Kfz/24h	(7,0)	Rechnerischer Bitumengehalt KRC:	5,8	
Bau-/Belastungsklasse:	Bk1,8			Zementanteil:	4,0	%
Mischweise:	in situ			Zementart:	CEM I 32,5 R	
Einbaufirma:	Fa. Schnorpfeil			Wasseranteil:	3,7	%
Dimensionierung				Zement/Bitumen-Verhältnis:	0,7	
Asphaltdeckschicht:	40	mm		Granulat:	100	%
Asphaltbinderschicht:		mm		Frischgestein:		%
Asphalttragschicht:	80	mm		Stückgrößenverteilung		
Kaltrecyclingschicht:	182	mm		Sieböffnung [mm]	Durchgang [%]	
Erstprüfung				63	100,0	
Hohlraumgehalt:	16,9	%		45	95,4	
Spaltzugfestigkeit (7d):	0,54	MPa		31,5	84,1	
Spaltzugfestigkeit (28d):	0,77	MPa		22,4	76,6	
Raumdichte:	2,073	g/cm ³		16	66,1	
Wasserempfindlichkeit:		%		11,2	56,1	
Verdichtungsgrad:		%		8	47,1	
Kontrollprüfung				5,6	37,7	
Hohlraumgehalt:		%		2	20,4	
Spaltzugfestigkeit (7d):		MPa		1	13,1	
Spaltzugfestigkeit (28d):	0,95	MPa		0,5	9,6	
Raumdichte:	2,124	g/cm ³		0,25	6,7	
Wasserempfindlichkeit:		%		0,125	4,9	
Verdichtungsgrad:	101,5	%		0,063	3,8	
Erhaltungshistorie				ZEB-Daten [Mittelwerte]		
Jahr:				Jahr:	2017	
Art:				ZW AUN:	2,28	
				ZW SPT:	1,33	
				ZW RISS:	1,00	
				ZW RSFA:	1,00	
Anmerkungen				GW:	2,34	

Tab. A-0-7: Steckbrief der sechsten Strecke, L48 Leiwen - Zummet

Lfd.-Nr.:	7	Streckenbezeichnung:	L 114, Weibern-Wehr			
Allgemeine Angaben				Mischgutzusammensetzung		
Jahr des Einbaus:	2011			Bitumenemulsion:	4,0	%
Baulos:	km		bis km	Emulsionsart:	C 60 B1-BEM	
Abschnittslänge:	1.250		m	Bindemittelgehalt Asphaltgranulat	4,7	%
DTV (SV-Anteil):	2096	Kfz/24h	(10,0)	Rechnerischer Bitumengehalt KRC:	7,1	
Bau-/Belastungsklasse:	Bk 1,8			Zementanteil:	3,5	%
Mischweise:	in situ			Zementart:	HRB 32,5 E	
Einbaufirma:	Fa. Kutter			Wasseranteil:	5,4	%
Dimensionierung				Zement/Bitumen-Verhältnis:	0,5	
Asphaltdeckschicht:	40	mm		Granulat:	100	%
Asphaltbinderschicht:		mm		Frischgestein:		%
Asphalttragschicht:		mm		Stückgrößenverteilung		
Kaltrecyclingschicht:	120	mm		Sieböffnung [mm]	Durchgang [%]	
Erstprüfung				63	100,0	
Hohlraumgehalt:	9,8	%		45	91,9	
Spaltzugfestigkeit (7d):	0,60	MPa		31,5	89,1	
Spaltzugfestigkeit (28d):	0,90	MPa		22,4		
Raumdichte:	2,167	g/cm ³		16	73,7	
Wasserempfindlichkeit:	23,4	%		11,2		
Verdichtungsgrad:		%		8	53,2	
Kontrollprüfung				5,6		
Hohlraumgehalt:	9,7	%		2	20,2	
Spaltzugfestigkeit (7d):		MPa		1	11,8	
Spaltzugfestigkeit (28d):	0,72	MPa		0,5	6,8	
Raumdichte:	2,095	g/cm ³		0,25		
Wasserempfindlichkeit:		%		0,125	2,5	
Verdichtungsgrad:	98,0	%		0,063		
Erhaltungshistorie				ZEB-Daten [Mittelwerte]		
Jahr:				Jahr:	2017	
Art:				ZW AUN:		
				ZW SPT:		
				ZW RISS:		
				ZW RSFA:		
Anmerkungen				GW:		
ZEB-Daten liegen dem Forschungsnehmer vor, dürfen aber nicht veröffentlicht werden.						

Tab. A-0-8: Steckbrief der siebten Strecke, L114 Weibern - Wehr

Lfd.-Nr.:	8	Streckenbezeichnung:	L205, Gudow-Büchen			
Allgemeine Angaben				Mischgutzusammensetzung		
Jahr des Einbaus:	2013			Bitumenemulsion:	3,0 %	
Baulos:	km	0,000	bis km	11,500	Emulsionsart:	C 60 B1-BEM
Abschnittslänge:	11.500		m		Bindemittelgehalt Asphaltgranulat:	4,3 %
DTV (SV-Anteil):	1659	Kfz/24h	(5,0)	%	Rechnerischer Bitumengehalt KRC:	6,1
Bau-/Belastungsklasse:	Bk1,0			Zementanteil:	4,4 %	
Mischweise:	in situ			Zementart:	HRB 32,5 E	
Einbaufirma:	Fa. Kutter			Wasseranteil:	4,1 %	
Dimensionierung				Zement/Bitumen-Verhältnis:	0,7	
Asphaltdeckschicht:	40	mm		Granulat:	100 %	
Asphaltbinderschicht:		mm		Frischgestein:	%	
Asphalttragschicht:		mm		Stückgrößenverteilung		
Kaltrecyclingschicht:	160	mm		Sieböffnung [mm]	Durchgang [%]	
Erstprüfung				63	100,0	
Hohlraumgehalt:	9,7	%		45	100,0	
Spaltzugfestigkeit (7d):	0,65	MPa		31,5	94,8	
Spaltzugfestigkeit (28d):		MPa		22,4	88,3	
Raumdichte:	2,140	g/cm ³		16	80,2	
Wasserempfindlichkeit:		%		11,2	63,9	
Verdichtungsgrad:		%		8	53,9	
Kontrollprüfung				5,6	44,7	
Hohlraumgehalt:	9,8	%		2	32,1	
Spaltzugfestigkeit (7d):	0,69	MPa		1	22,1	
Spaltzugfestigkeit (28d):		MPa		0,5	12,1	
Raumdichte:	2,122	g/cm ³		0,25	6,3	
Wasserempfindlichkeit:		%		0,125	4,5	
Verdichtungsgrad:	100,4	%		0,063	4,0	
Erhaltungshistorie				ZEB-Daten [Mittelwerte]		
Jahr:				Jahr:	2017	
Art:				ZW AUN:	1,15	
				ZW SPT:	1,0	
				ZW RISS:	1,91	
				ZW RSFA:	1,0	
Anmerkungen				GW:	1,1	

Tab. A-0-9: Steckbrief der achten Strecke, L205 Gudow - Büchen

Lfd.-Nr.:	9	Streckenbezeichnung:	L3073, Elpenrod - Nieder-Gemünden					
Allgemeine Angaben				Mischgutzusammensetzung				
Jahr des Einbaus:	2011				Bitumenemulsion:	3,5	%	
Baulos:	km	0,300	bis km	3,700	Emulsionsart:	C 60 B1-BEM		
Abschnittslänge:	3.400		m		Bindemittelgehalt Asphaltgranulat:	4,6	%	
DTV (SV-Anteil):	1220	Kfz/24h	(2,9)	%	Rechnerischer Bitumengehalt KRC:	6,7		
Bau-/Belastungsklasse:	Bk1,0				Zementanteil:	4,0	%	
Mischweise:	in situ				Zementart:	CEM I 32,5 R		
Einbaufirma:	Fa. Schnorpfeil				Wasseranteil:	4,8	%	
Dimensionierung				Zement/Bitumen-Verhältnis:	0,6			
Asphaltdeckschicht:	40	mm		Granulat:	100	%		
Asphaltbinderschicht:		mm		Frischgestein:		%		
Asphalttragschicht:	100	mm		Stückgrößenverteilung				
Kaltrecyclingschicht:	200	mm		Sieböffnung [mm]	Durchgang [%]			
Erstprüfung				63	100,0			
Hohlraumgehalt:	17,1	%		45	94,1			
Spaltzugfestigkeit (7d):	0,67	MPa		31,5	87,9			
Spaltzugfestigkeit (28d):	0,95	MPa		22,4	81,9			
Raumdichte:	2,161	g/cm ³		16	73,9			
Wasserempfindlichkeit:	3,0	%		11,2	64,4			
Verdichtungsgrad:		%		8	52,3			
Kontrollprüfung				5,6	38,9			
Hohlraumgehalt:	10,0	%		2	20,4			
Spaltzugfestigkeit (7d):		MPa		1	13,6			
Spaltzugfestigkeit (28d):	0,98	MPa		0,5	10,2			
Raumdichte:	2,188	g/cm ³		0,25	7,3			
Wasserempfindlichkeit:		%		0,125	4,9			
Verdichtungsgrad:	101,2	%		0,063	3,1			
Erhaltungshistorie				ZEB-Daten [Mittelwerte]				
Jahr:					Jahr:	2016		
Art:					ZW AUN:	1,82		
					ZW SPT:	1,25		
					ZW RISS:	1,44		
					ZW RSFA:	1,44		
Anmerkungen				GW:	1,74			
Es wurde eine Granulat-Mischung aus Granulat von der Baustelle und von Granulat von einem externen Lager im Verhältnis 70/30 verwendet. Die angegebenen Ergebnisse der EP beziehen sich auf diese Mischung.								

Tab. A-0-10: Steckbrief der neunten Strecke, L3073 Elpenrod - Nieder-Gemünden

Lfd.-Nr.:	10	Streckenbezeichnung:	L3400, Helsa-Friedrichsbrück					
Allgemeine Angaben				Mischgutzusammensetzung				
Jahr des Einbaus:	2012				Bitumenemulsion:	3,5	%	
Baulos:	km	0,180	bis km	1,800	Emulsionsart:	C 60 B1-BEM		
Abschnittslänge:	1.620		m		Bindemittelgehalt Asphaltgranulat:	3,4	%	
DTV (SV-Anteil):	605	Kfz/24h	(2,5)	%	Rechnerischer Bitumengehalt KRC:	7,1		
Bau-/Belastungsklasse:	Bk 0,3				Zementanteil:	4,2	%	
Mischweise:	in situ				Zementart:	GeoMent TB 35		
Einbaufirma:	Fa. Kutter				Wasseranteil:	4,1	%	
Dimensionierung				Zement/Bitumen-Verhältnis:	0,6			
Asphaltdeckschicht:	40	mm		Granulat:	78	%		
Asphaltbinderschicht:	60	mm		Frischgestein:	22	%		
Asphalttragschicht:	80	mm		Stückgrößenverteilung				
Kaltrecyclingschicht:	180	mm		Sieböffnung [mm]		Durchgang [%]		
Erstprüfung				63	100,0			
Hohlraumgehalt:	11,0	%		45	100,0			
Spaltzugfestigkeit (7d):	0,74	MPa		31,5	91,9			
Spaltzugfestigkeit (28d):		MPa		22,4	83,2			
Raumdichte:	2,250	g/cm ³		16	76,7			
Wasserempfindlichkeit:	22,0	%		11,2	69,4			
Verdichtungsgrad:		%		8	61,5			
Kontrollprüfung				5,6	52,9			
Hohlraumgehalt:		%		2	25,7			
Spaltzugfestigkeit (7d):		MPa		1	15,9			
Spaltzugfestigkeit (28d):		MPa		0,5	10,0			
Raumdichte:		g/cm ³		0,25	7,1			
Wasserempfindlichkeit:		%		0,125	5,5			
Verdichtungsgrad:		%		0,063	4,5			
Erhaltungshistorie				ZEB-Daten [Mittelwerte]				
Jahr:					Jahr:	2016		
Art:					ZW AUN:	1,79		
					ZW SPT:	1,14		
					ZW RISS:	1,01		
					ZW RSFA:	1,01		
Anmerkungen				GW:	1,59			

Tab. A-0-11: Steckbrief der zehnten Strecke, L3400 Helsa - Friedrichsbrück

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW
		[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]
10 Hz	2-1	19.693	4,8	15.904	7,5	13.802	10,8	12.088	12,9	8.430	17,4
	3-5	18.339	5,3	15.704	8,5	13.159	12,2	11.424	13,8	6.867	22,1
	4-5	16.909	5,1	14.432	8,1	13.796	10,0	9.937	11,1	7.392	19,2
	Ø	18.314	5,1	15.347	8,0	13.586	11,0	11.150	12,6	7.563	19,5
5 Hz	2-1	18.475	5,8	15.012	8,2	13.293	8,7	11.198	11,9	7.006	19,8
	3-5	17.708	4,5	14.656	9,1	12.153	12,2	10.219	16,7	5.813	24,0
	4-5	15.976	4,8	13.652	8,6	12.451	10,5	8.998	12,2	6.248	21,1
	Ø	17.386	5,0	14.440	8,6	12.632	10,5	10.138	13,6	6.356	21,7
3 Hz	2-1	17.872	6,0	14.294	8,3	12.292	11,3	10.102	12,9	6.210	21,3
	3-5	17.370	4,1	14.054	11,2	11.235	14,2	9.091	18,2	5.009	26,3
	4-5	15.982	5,9	13.085	9,0	11.645	9,2	8.193	14,1	5.644	22,6
	Ø	17.075	5,3	13.811	9,5	11.724	11,6	9.129	15,1	5.621	23,4
1 Hz	2-1	17.118	7,0	12.889	10,0	10.384	14,3	8.559	16,5	4.688	24,2
	3-5	16.090	6,6	12.463	12,1	9.529	16,4	7.344	21,2	3.606	29,3
	4-5	14.357	6,9	11.784	9,4	10.046	11,8	7.158	14,9	4.400	26,4
	Ø	15.855	6,8	12.379	10,5	9.986	14,2	7.687	17,5	4.231	26,7
0,3 Hz	2-1	15.609	6,5	11.120	11,3	9.010	14,7	6.831	19,1	3.481	25,4
	3-5	15.097	7,4	10.536	13,4	7.728	18,4	5.482	23,0	2.394	31,6
	4-5	13.172	7,8	10.192	11,3	8.178	14,4	5.894	16,3	3.289	27,5
	Ø	14.626	7,2	10.616	12,0	8.305	15,8	6.069	19,5	3.054	28,2
0,1 Hz	2-1	14.337	7,6	9.944	13,8	7.436	17,5	5.557	22,6	2.596	29,7
	3-5	13.587	9,2	8.925	16,0	6.090	21,3	4.243	27,7	1.688	34,9
	4-5	12.228	8,0	9.125	13,3	7.232	16,5	4.846	21,2	2.380	30,0
	Ø	13.384	8,2	9.332	14,4	6.919	18,4	4.882	23,8	2.221	31,5
10 Hz	2-1	18.835	3,8	15.482	7,3	13.804	10,2	11.756	12,5	7.729	17,2
	3-5	18.383	5,0	15.559	8,3	13.292	12,6	10.739	14,7	6.800	22,8
	4-5	16.616	5,8	14.415	7,8	12.826	9,9	9.751	10,8	7.470	20,0
	Ø	17.945	4,9	15.152	7,8	13.307	10,9	10.749	12,7	7.333	20,0

Tab. A-0-12: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der A30 FR Osten

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW
		[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]
10 Hz	2-1	22.008	6,3	20.956	7,9	17.747	6,8	16.280	8,6	11.623	13,9
	3-5	19.634	3,3	16.949	6,2	16.715	8,3	15.221	8,8	11.448	15,0
	4-5	20.660	3,8	20.738	35,1	16.655	8,1	15.394	10,2	10.317	18,0
	Ø	20.767	4,4	19.547	16,4	17.039	7,8	15.631	9,2	11.130	15,6
5 Hz	2-1	20.908	4,2	19.524	6,7	16.632	6,5	15.249	10,2	10.685	14,6
	3-5	19.025	3,9	15.938	6,5	15.734	7,1	14.548	8,8	10.098	15,0
	4-5	20.054	3,5	17.295	6,5	15.691	8,8	14.244	12,3	8.923	19,6
	Ø	19.996	3,9	17.586	6,5	16.019	7,5	14.680	10,5	9.902	16,4
3 Hz	2-1	20.924	4,2	19.184	5,6	16.210	8,1	14.460	10,4	9.767	18,4
	3-5	18.642	3,3	15.442	6,0	15.065	7,5	14.053	9,3	9.291	17,5
	4-5	19.562	4,1	16.720	7,1	14.970	9,9	13.263	12,9	7.847	20,6
	Ø	19.709	3,8	17.115	6,2	15.415	8,5	13.925	10,9	8.968	18,8
1 Hz	2-1	19.690	4,8	17.619	6,9	14.621	8,8	12.428	11,8	8.014	21,1
	3-5	17.902	4,5	14.420	7,0	14.029	8,9	12.421	12,3	7.540	19,6
	4-5	18.372	5,2	15.469	9,0	13.272	11,5	11.502	15,0	6.073	24,4
	Ø	18.655	4,8	15.836	7,6	13.974	9,7	12.117	13,0	7.209	21,7
0,3 Hz	2-1	18.739	5,2	16.138	8,6	13.120	10,6	10.631	13,8	6.235	22,9
	3-5	16.916	5,4	13.135	8,1	12.553	9,8	10.490	14,0	6.054	24,3
	4-5	17.596	5,9	13.799	10,2	11.277	14,1	9.206	18,6	4.522	27,4
	Ø	17.750	5,5	14.357	9,0	12.317	11,5	10.109	15,5	5.604	24,9
0,1 Hz	2-1	17.526	5,7	14.756	8,9	11.527	12,0	9.125	16,8	4.750	26,6
	3-5	15.576	5,3	11.954	9,5	10.989	12,5	8.889	16,3	4.510	26,7
	4-5	16.275	6,9	12.440	12,2	9.441	16,1	7.264	21,3	3.342	30,2
	Ø	16.459	6,0	13.050	10,2	10.652	13,5	8.426	18,1	4.201	27,8
10 Hz	2-1	21.806	8,0	20.455	9,6	17.708	7,1	15.831	8,6	11.836	13,9
	3-5	19.115	3,6	16.659	4,9	16.521	7,5	15.392	9,0	11.153	14,9
	4-5	20.779	3,7	19.814	16,4	16.433	9,0	14.492	11,0	10.117	18,0
	Ø	20.567	5,1	18.976	10,3	16.887	7,8	15.238	9,6	11.035	15,6

Tab. A-0-13: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der A30 FR Osten BS

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW
		[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]
10 Hz	2-1	26.272	3,5	20.899	5,6	21.859	5,3	20.093	10,6	16.144	9,9
	3-5	22.015	3,7	19.337	4,8	18.438	5,8	16.064	7,9	13.762	11,1
	4-5	24.915	5,6	20.573	6,6	20.630	6,5	17.804	9,5	13.035	13,6
	Ø	24.401	4,3	20.269	5,7	20.309	5,9	17.987	9,3	14.313	11,5
5 Hz	2-1	25.038	3,7	19.841	5,3	20.225	5,8	18.332	6,2	15.085	11,6
	3-5	21.746	4,5	18.238	5,6	17.649	7,3	15.075	8,2	12.427	11,9
	4-5	-	-	19.530	6,7	19.602	7,7	16.374	9,6	12.171	15,3
	Ø	21.746	4,1	19.203	5,9	19.159	6,9	16.594	8,0	13.228	12,9
3 Hz	2-1	-	-	19.381	5,6	19.784	5,4	18.139	8,4	14.282	10,6
	3-5	20.859	4,3	17.639	6,0	16.856	7,1	14.748	8,3	11.856	13,7
	4-5	23.474	4,6	18.469	7,5	18.902	7,6	15.510	10,1	11.057	15,9
	Ø	22.167	4,5	18.496	6,4	18.514	6,7	16.132	8,9	12.398	13,4
1 Hz	2-1	23.524	5,7	18.358	5,5	18.503	8,4	16.379	7,3	12.216	13,4
	3-5	19.814	4,5	16.435	6,2	15.619	8,3	13.603	10,2	10.074	15,1
	4-5	21.840	5,9	17.244	8,0	16.946	9,5	13.636	12,8	9.017	18,8
	Ø	21.726	5,4	17.346	6,6	17.023	8,7	14.539	10,1	10.436	15,7
0,3 Hz	2-1	22.013	4,2	16.803	5,3	16.824	7,5	14.518	10,7	10.173	14,9
	3-5	18.785	5,5	15.085	7,6	14.278	7,7	11.837	11,2	8.266	18,7
	4-5	20.726	6,2	16.035	7,5	14.976	10,4	11.848	14,2	7.024	21,3
	Ø	20.508	5,3	15.974	6,8	15.359	8,5	12.734	12,1	8.488	18,3
0,1 Hz	2-1	21.313	6,0	15.788	6,3	15.518	9,4	13.060	12,0	8.494	17,4
	3-5	17.855	5,9	14.114	8,1	13.038	10,5	10.581	12,7	6.527	20,5
	4-5	19.124	6,1	14.363	9,5	13.563	10,7	10.057	15,0	5.576	25,3
	Ø	19.431	6,0	14.755	8,0	14.039	10,2	11.233	13,2	6.866	21,1
10 Hz	2-1	25.302	3,6	20.032	2,9	20.626	5,5	19.351	8,6	16.595	10,5
	3-5	21.496	5,4	18.659	6,2	18.099	5,9	16.157	8,2	13.186	10,1
	4-5	25.137	4,2	20.984	6,3	20.438	6,6	17.840	9,8	13.459	13,6
	Ø	23.978	4,4	19.892	5,1	19.721	6,0	17.783	8,9	14.413	11,4

Tab. A-0-14: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der A30 FR O TS2

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW
		[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]
10 Hz	2-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3-3	22.638	3,8	18.954	5,8	17.536	5,9	16.979	7,6	13.984	11,8
	4-4	21.719	2,8	19.301	5,0	18.035	6,2	17.589	6,3	14.580	8,9
	Ø	22.179	3,3	19.128	5,4	17.786	6,1	17.284	7,0	14.282	10,4
5 Hz	2-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3-3	22.045	4,0	18.500	6,1	17.135	6,8	16.140	8,0	13.005	12,9
	4-4	20.427	3,7	18.835	4,7	17.136	5,6	16.929	5,6	13.394	9,5
	Ø	21.236	3,9	18.668	5,4	17.136	6,2	16.535	6,8	13.200	11,2
3 Hz	2-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3-3	21.781	4,2	18.269	6,0	16.237	8,2	15.159	8,8	12.000	14,0
	4-4	20.273	3,1	18.112	4,8	16.403	5,1	16.455	7,5	12.635	10,2
	Ø	21.027	3,7	18.191	5,4	16.320	6,7	15.807	8,2	12.318	12,1
1 Hz	2-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3-3	20.713	3,8	17.031	7,0	14.998	7,6	13.440	10,2	10.071	17,0
	4-4	19.529	4,5	17.138	5,2	15.400	6,6	14.934	8,9	11.257	12,1
	Ø	20.121	4,2	17.085	6,1	15.199	7,1	14.187	9,6	10.664	14,6
0,3 Hz	2-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3-3	19.613	5,6	15.968	7,4	13.751	8,3	11.809	11,6	8.470	19,3
	4-4	18.925	5,2	16.144	5,3	13.934	6,9	13.615	8,8	9.683	13,9
	Ø	19.269	5,4	16.056	6,4	13.843	7,6	12.712	10,2	9.077	16,6
0,1 Hz	2-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3-3	18.837	6,3	14.584	8,0	12.251	10,0	10.106	14,2	6.741	20,4
	4-4	18.354	4,8	14.999	6,7	13.078	8,1	12.274	9,2	8.058	15,9
	Ø	18.596	5,6	14.792	7,4	12.665	9,1	11.190	11,7	7.400	18,2
10 Hz	2-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3-3	22.410	4,0	18.684	5,2	17.424	7,0	16.565	8,0	14.033	12,3
	4-4	21.774	7,5	18.952	5,1	18.013	7,8	17.580	5,8	14.362	9,6
	Ø	22.092	5,8	18.818	5,2	17.719	7,4	17.073	6,9	14.198	11,0

Tab. A-0-15: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der A30 FR O TS1

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW
		[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]
10 Hz	2-2	1.610	8,7	-	-	-	-	-	-	-	-
	2-3	8.594	3,9	8.054	3,2	7.520	4,3	7.345	3,4	7.234	5,2
	4-5	6.851	2,9	6.503	3,6	6.918	4,9	6.488	4,8	6.011	4,2
	Ø	5.685	5,2	7.279	3,4	7.219	4,6	6.917	4,1	6.623	4,7
5 Hz	2-2	1.137	9,2	-	-	-	-	-	-	-	-
	2-3	8.486	2,3	7.831	4,5	7.286	4,2	6.932	4,0	6.917	6,0
	4-5	7.323	19,9	6.467	3,3	6.960	4,6	6.466	2,1	5.907	6,7
	Ø	5.649	10,5	7.149	3,9	7.123	4,4	6.699	3,1	6.412	6,4
3 Hz	2-2	998	9,4	-	-	-	-	-	-	-	-
	2-3	8.337	4,0	7.605	3,8	7.269	5,5	6.716	5,6	6.568	7,5
	4-5	6.606	3,2	6.281	3,2	6.499	2,8	6.202	3,9	5.795	6,5
	Ø	5.313	5,5	6.943	3,5	6.884	4,2	6.459	4,8	6.182	7,0
1 Hz	2-2	901	10,0	-	-	-	-	-	-	-	-
	2-3	7.981	3,1	7.446	4,2	6.905	3,9	6.394	6,5	6.302	7,9
	4-5	6.364	2,8	6.133	3,3	6.438	3,8	5.867	5,1	5.315	6,8
	Ø	5.082	5,3	6.790	3,8	6.672	3,9	6.131	5,8	5.809	7,4
0,3 Hz	2-2	814	10,5	-	-	-	-	-	-	-	-
	2-3	7.716	5,0	7.262	4,3	6.529	4,5	6.048	5,7	5.875	8,0
	4-5	6.295	3,2	6.009	4,3	6.286	4,7	5.717	6,2	5.110	6,9
	Ø	4.941	6,2	6.636	4,3	6.408	4,6	5.883	6,0	5.493	7,5
0,1 Hz	2-2	747	11,1	-	-	-	-	-	-	-	-
	2-3	7.522	3,9	6.907	5,7	6.195	6,2	5.786	6,5	5.450	7,8
	4-5	6.126	3,4	5.796	5,4	5.997	6,3	5.516	5,7	4.851	8,8
	Ø	4.798	6,1	6.352	5,6	6.096	6,3	5.651	6,1	5.151	8,3
10 Hz	2-2	534	10,7	-	-	-	-	-	-	-	-
	2-3	8.444	3,9	8.131	3,4	7.155	3,4	7.321	5,2	7.122	5,2
	4-5	6.588	2,4	6.363	4,0	6.811	5,0	6.258	3,5	5.927	5,0
	Ø	5.189	5,7	7.247	3,7	6.983	4,2	6.790	4,4	6.525	5,1

Tab. A-0-16: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der A30 FR O KRC

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW
		[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]
10 Hz	1-3	17.153	5,4	13.196	7,4	12.755	7,4	11.556	12,4	7.111	19,2
	4-2	15.959	5,6	14.333	8,6	12.276	11,2	10.586	12,6	7.217	21,4
	4-3	17.913	5,8	14.261	8,2	13.215	10,6	11.011	14,0	6.826	22,2
	Ø	17.008	5,6	13.930	8,1	12.748	9,7	11.051	13,0	7.051	20,9
5 Hz	1-3	16.525	5,0	12.308	8,6	12.152	10,4	10.712	13,3	6.241	18,9
	4-2	15.485	4,9	13.473	8,2	11.137	11,3	9.529	14,2	6.306	21,5
	4-3	17.135	4,9	14.097	9,5	11.968	11,6	9.671	15,4	5.951	23,2
	Ø	16.381	4,9	13.292	8,8	11.753	11,1	9.971	14,3	6.166	21,2
3 Hz	1-3	16.058	5,9	11.976	9,3	11.476	10,4	9.647	14,5	5.640	21,5
	4-2	14.998	6,5	12.851	9,1	10.319	12,0	9.047	15,6	5.380	23,2
	4-3	16.810	7,1	13.961	9,7	11.251	11,8	8.943	16,0	5.234	24,3
	Ø	15.955	6,5	12.929	9,3	11.015	11,4	9.212	15,4	5.418	23,0
1 Hz	1-3	15.220	6,2	10.817	9,8	10.416	12,0	8.213	16,9	4.307	23,5
	4-2	13.840	6,1	11.322	10,8	8.848	14,5	7.441	18,3	4.204	25,6
	4-3	15.549	7,0	11.778	11,3	9.657	14,1	7.293	17,0	3.897	27,1
	Ø	14.870	6,4	11.306	10,7	9.640	13,5	7.649	17,4	4.136	25,4
0,3 Hz	1-3	14.247	6,9	9.671	12,0	8.597	13,7	6.553	19,1	3.131	26,9
	4-2	13.006	7,3	9.820	12,6	7.525	16,8	6.078	19,8	3.086	26,5
	4-3	14.302	7,7	10.086	12,2	8.258	17,4	5.808	20,2	2.787	31,1
	Ø	13.852	7,3	9.859	12,3	8.127	16,0	6.146	19,7	3.001	28,2
0,1 Hz	1-3	12.805	7,8	8.737	13,4	7.448	15,8	5.335	21,8	2.245	29,3
	4-2	12.181	9,1	8.279	14,8	6.084	19,2	4.777	23,8	2.274	31,0
	4-3	13.206	8,8	8.930	14,9	6.681	17,8	4.468	24,8	1.948	33,2
	Ø	12.731	8,6	8.649	14,4	6.737	17,6	4.860	23,5	2.156	31,2
10 Hz	1-3	16.895	5,1	13.271	7,2	12.867	9,5	-	-	7.109	18,4
	4-2	16.120	5,5	14.113	8,6	12.023	10,5	10.923	12,9	7.277	19,3
	4-3	17.872	5,3	14.526	8,0	12.992	10,0	10.701	12,7	6.901	20,8
	Ø	16.963	5,3	13.970	7,9	12.627	10,0	10.812	8,5	7.095	19,5

Tab. A-0-17: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der A30 FR W DS

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW
		[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]
10 Hz	4-2	24.430	4,4	18.360	9,0	15.845	10,2	13.434	13,4	9.075	21,3
	4-3	22.424	4,8	18.971	8,0	17.619	8,9	15.038	12,1	10.392	17,8
	4-4	24.223	4,4	18.898	8,3	16.548	10,6	14.041	13,3	9.136	20,8
	Ø	23.693	4,6	18.743	8,4	16.671	9,9	14.171	13,0	9.534	20,0
5 Hz	4-2	23.337	5,6	17.131	9,7	14.943	11,7	12.172	15,4	7.850	23,1
	4-3	21.318	5,4	18.273	8,1	16.661	9,4	13.505	12,5	9.115	20,4
	4-4	23.129	4,7	17.888	8,3	15.460	11,3	12.695	14,2	7.918	23,2
	Ø	22.595	5,2	17.764	8,7	15.688	10,8	12.791	14,0	8.294	22,2
3 Hz	4-2	22.331	6,1	16.158	10,3	14.245	13,0	11.117	16,2	6.588	24,8
	4-3	20.128	6,5	17.171	8,2	15.505	10,1	12.489	13,9	8.058	20,9
	4-4	22.469	5,0	17.097	9,6	14.398	11,3	11.835	16,1	7.033	24,6
	Ø	21.643	5,9	16.809	9,4	14.716	11,5	11.814	15,4	7.226	23,4
1 Hz	4-2	21.001	5,9	14.133	12,2	12.245	15,3	9.174	19,1	4.978	28,3
	4-3	19.035	6,9	15.543	10,1	13.860	11,8	10.588	17,2	6.413	24,3
	4-4	21.267	6,6	15.114	10,7	12.495	14,1	9.764	18,1	5.180	28,0
	Ø	20.434	6,5	14.930	11,0	12.867	13,7	9.842	18,1	5.524	26,9
0,3 Hz	4-2	19.708	7,7	12.260	13,8	9.977	16,3	7.050	22,4	3.494	32,7
	4-3	17.838	6,8	13.696	11,4	11.930	14,2	8.678	18,6	4.585	28,4
	4-4	19.977	7,3	13.013	12,5	10.446	16,9	7.730	21,1	3.668	32,1
	Ø	19.174	7,3	12.990	12,6	10.785	15,8	7.819	20,7	3.916	31,1
0,1 Hz	4-2	17.891	8,8	10.132	15,8	8.092	20,3	5.548	26,0	2.418	36,2
	4-3	16.646	8,6	12.148	13,4	10.184	16,9	6.893	22,9	3.388	30,3
	4-4	17.919	7,9	11.274	15,0	8.534	19,2	6.022	25,6	2.527	35,4
	Ø	17.486	8,4	11.185	14,7	8.937	18,8	6.154	24,8	2.778	34,0
10 Hz	4-2	23.904	5,4	17.627	8,2	15.602	11,2	13.457	13,0	8.791	22,0
	4-3	22.490	6,3	18.767	7,8	16.978	9,4	14.586	12,3	10.283	18,4
	4-4	23.696	5,3	18.892	7,5	16.464	10,0	13.733	13,9	9.065	21,0
	Ø	23.363	5,7	18.429	7,8	16.348	10,2	13.926	13,1	9.379	20,4

Tab. A-0-18: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der A30 FR W BS

Temperatur		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW
		[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]
10 Hz	4-2	19.418	3,8	19.032	5,2	17.646	6,3	16.665	7,6	14.700	12,0
	4-3	23.835	4,1	21.797	5,8	20.136	7,0	19.264	8,7	16.267	12,6
	4-4	22.467	4,5	20.431	5,6	18.413	6,5	17.686	8,2	13.409	12,7
	Ø	21.907	4,1	20.420	5,5	18.732	6,6	17.872	8,2	14.792	12,4
5 Hz	4-2	18.714	4,7	18.395	5,6	16.948	6,6	16.009	8,7	13.715	12,6
	4-3	23.186	4,5	20.796	5,7	19.019	7,0	18.278	9,4	15.147	13,1
	4-4	21.992	4,0	19.274	6,0	17.187	7,4	16.615	8,7	13.258	12,2
	Ø	21.297	4,4	19.488	5,8	17.718	7,0	16.967	8,9	14.040	12,6
3 Hz	4-2	18.524	4,3	17.802	6,5	16.303	7,6	15.195	9,0	12.744	11,7
	4-3	22.892	4,7	20.244	5,9	18.538	7,0	17.292	8,7	14.182	13,8
	4-4	21.327	3,9	18.803	6,1	16.666	7,2	16.131	8,8	12.062	13,5
	Ø	20.914	4,3	18.950	6,2	17.169	7,3	16.206	8,8	12.996	13,0
1 Hz	4-2	17.392	5,1	16.776	6,3	15.119	7,8	13.985	10,2	11.538	15,0
	4-3	21.611	4,7	18.906	6,6	17.008	7,9	15.687	10,7	12.157	16,5
	4-4	20.421	4,9	17.128	7,3	15.261	9,0	14.381	10,4	10.200	16,8
	Ø	19.808	4,9	17.603	6,7	15.796	8,2	14.684	10,4	11.298	16,1
0,3 Hz	4-2	16.782	5,5	15.423	7,7	13.680	9,8	12.697	12,2	9.379	18,7
	4-3	20.595	4,8	17.524	7,3	15.336	8,5	14.213	12,7	9.730	17,4
	4-4	19.565	5,7	16.022	8,1	14.031	9,4	12.916	11,4	8.558	19,1
	Ø	18.981	5,3	16.323	7,7	14.349	9,3	13.275	12,1	9.222	18,4
0,1 Hz	4-2	16.039	5,9	14.516	8,1	12.435	10,6	11.323	13,0	8.028	20,2
	4-3	19.581	6,0	16.158	7,9	13.705	10,7	12.462	12,7	7.985	19,9
	4-4	18.535	6,4	14.787	8,7	12.623	10,5	11.546	13,2	6.919	21,5
	Ø	18.052	6,1	15.154	8,2	12.921	10,6	11.777	13,0	7.644	20,5
10 Hz	4-2	18.694	4,2	18.851	5,0	17.277	6,7	16.496	7,7	14.985	11,2
	4-3	23.325	3,8	21.430	5,6	20.071	6,8	19.107	7,7	15.962	12,6
	4-4	22.691	3,8	19.351	6,2	17.667	7,7	17.274	8,0	13.974	12,3
	Ø	21.570	3,9	19.877	5,6	18.338	7,0	17.625	7,8	14.974	12,0

Tab. A-0-19: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der A30 FR W TS2

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW
		[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]
10 Hz	4-2	14.700	12,0	24.847	3,8	18.979	5,2	18.375	7,1	16.526	9,9
	4-3	16.267	12,6	21.673	5,8	19.445	5,4	17.176	7,6	15.742	8,9
	4-4	13.409	12,7	19.865	1,9	17.726	3,8	17.696	5,2	16.261	6,9
	Ø	14.792	12,4	22.128	3,8	18.716	4,8	17.749	6,6	16.177	8,5
5 Hz	4-2	13.715	12,6	24.072	4,9	18.282	5,3	17.428	7,6	15.612	10,9
	4-3	15.147	13,1	20.188	4,2	18.303	4,6	16.088	8,6	14.694	9,2
	4-4	13.258	12,2	19.440	3,0	17.516	4,0	16.978	5,8	15.769	6,1
	Ø	14.040	12,6	21.233	4,0	18.034	4,7	16.831	7,3	15.358	8,7
3 Hz	4-2	12.744	11,7	23.119	3,4	17.858	5,3	16.723	9,0	14.820	10,6
	4-3	14.182	13,8	19.307	5,1	17.919	5,6	15.621	7,1	13.634	9,5
	4-4	12.062	13,5	19.622	2,6	16.771	5,3	16.893	5,8	15.255	5,8
	Ø	12.996	13,0	20.682	3,7	17.516	5,4	16.412	7,3	14.570	8,6
1 Hz	4-2	11.538	15,0	22.234	5,4	16.397	7,8	14.993	9,4	13.051	12,8
	4-3	12.157	16,5	18.962	4,6	16.712	7,8	14.510	8,7	12.097	12,1
	4-4	10.200	16,8	19.024	3,1	16.113	5,6	15.507	6,0	13.627	8,4
	Ø	11.298	16,1	20.073	4,4	16.407	7,0	15.004	8,1	12.925	11,1
0,3 Hz	4-2	9.379	18,7	21.257	5,1	14.883	8,5	13.631	11,1	11.052	12,9
	4-3	9.730	17,4	18.414	4,9	15.770	7,9	12.548	10,1	10.603	12,7
	4-4	8.558	19,1	18.256	5,1	15.335	6,7	14.576	6,5	12.673	8,6
	Ø	9.222	18,4	19.309	5,0	15.330	7,7	13.585	9,3	11.443	11,4
0,1 Hz	4-2	8.028	20,2	20.165	5,0	13.488	10,0	12.027	13,6	9.372	15,3
	4-3	7.985	19,9	17.141	5,5	14.301	8,3	11.401	12,1	8.905	15,5
	4-4	6.919	21,5	17.707	4,5	14.211	6,7	13.378	7,8	11.327	10,4
	Ø	7.644	20,5	18.338	5,0	14.000	8,4	12.268	11,2	9.868	13,7
10 Hz	4-2	14.985	11,2	23.921	3,9	18.418	6,6	18.137	8,5	16.226	9,7
	4-3	15.962	12,6	20.871	3,5	19.158	5,4	16.897	6,7	15.035	9,3
	4-4	13.974	12,3	19.640	1,7	17.076	4,6	17.397	5,3	16.112	7,0
	Ø	14.974	12,0	21.477	3,0	18.217	5,5	17.477	6,8	15.791	8,7

Tab. A-0-20: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der A30 FR W TS1

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW								
		[MPa]	[°]								
10 Hz	2-1	13.485	2,8	12.039	3,3	11.493	4,2	11.850	5,6	11.690	5,6
	2-4	12.122	2,7	10.978	3,2	11.117	6,5	10.573	4,8	10.043	6,8
	3-5	13.395	2,5	13.170	3,7	13.956	4,8	12.836	3,8	12.906	4,7
	Ø	13.001	2,6	12.062	3,4	12.188	5,1	11.753	4,8	11.546	5,7
5 Hz	2-1	13.118	2,2	11.698	3,0	11.119	3,7	11.375	5,3	11.096	6,4
	2-4	12.016	3,6	10.690	3,4	10.604	3,3	10.222	5,1	9.575	6,1
	3-5	12.970	3,3	12.792	3,2	13.557	4,4	12.628	4,5	12.381	5,9
	Ø	12.701	3,0	11.726	3,2	11.760	3,8	11.408	5,0	11.017	6,1
3 Hz	2-1	13.096	3,3	11.226	3,5	10.797	4,4	11.081	5,0	10.707	5,9
	2-4	11.635	2,8	10.417	3,8	10.263	3,9	9.730	5,9	9.297	6,2
	3-5	12.896	4,2	12.591	3,0	13.213	4,5	12.129	4,7	12.198	5,7
	Ø	12.542	3,4	11.412	3,4	11.424	4,3	10.980	5,2	10.734	5,9
1 Hz	2-1	12.734	3,5	10.940	4,9	10.341	4,2	10.327	6,6	10.073	7,6
	2-4	11.565	2,4	9.943	4,0	9.656	4,6	9.358	5,7	8.826	7,3
	3-5	12.427	4,9	12.068	5,1	12.509	5,8	11.858	4,3	11.142	6,2
	Ø	12.242	3,6	10.984	4,7	10.835	4,8	10.514	5,5	10.014	7,0
0,3 Hz	2-1	11.914	3,5	10.430	4,1	9.800	5,3	9.720	4,9	9.347	6,1
	2-4	10.923	4,2	9.558	4,3	9.290	5,3	8.793	5,6	8.225	6,6
	3-5	11.817	5,2	11.754	4,1	11.913	4,8	10.875	6,3	10.719	6,4
	Ø	11.552	4,3	10.581	4,2	10.334	5,1	9.796	5,6	9.430	6,4
0,1 Hz	2-1	11.381	4,1	9.807	5,7	9.264	6,3	9.073	6,1	8.595	7,1
	2-4	10.675	3,8	9.096	4,6	8.928	5,5	8.270	6,0	7.589	7,5
	3-5	11.490	5,1	11.218	4,5	11.594	5,6	10.243	5,3	9.970	6,1
	Ø	11.182	4,3	10.040	4,9	9.929	5,8	9.195	5,8	8.718	6,9
10 Hz	2-1	13.340	2,4	11.773	3,7	11.268	4,7	11.702	5,1	11.430	6,3
	2-4	12.020	3,9	10.329	3,8	10.849	5,6	10.134	4,8	9.815	5,7
	3-5	13.191	3,8	12.991	5,0	13.592	4,7	12.652	4,4	12.531	5,3
	Ø	12.850	3,3	11.698	4,2	11.903	5,0	11.496	4,8	11.259	5,8

Tab. A-0-21: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der A30 FR W KRC

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW								
		[MPa]	[°]								
10 Hz	1-E	18.803	5,3	14.525	10,1	11.786	12,6	9.514	16,2	6.209	24,5
	3-A	20.211	6,0	14.265	10,6	12.883	12,3	9.739	16,3	6.346	24,0
	4-A	18.426	5,1	15.461	8,5	12.679	10,9	10.953	13,1	6.143	20,3
	Ø	19.147	5,4	14.750	9,8	12.449	11,9	10.069	15,2	6.233	22,9
5 Hz	1-E	17.700	6,5	13.209	10,5	10.950	13,3	8.804	17,3	4.816	25,8
	3-A	18.828	6,4	13.286	11,0	11.656	12,5	8.494	16,7	5.354	24,5
	4-A	17.742	5,8	14.036	10,0	11.564	12,4	9.848	15,1	5.381	21,4
	Ø	18.090	6,2	13.511	10,5	11.390	12,8	9.049	16,4	5.184	23,9
3 Hz	1-E	17.106	6,2	12.249	11,6	10.330	13,2	7.872	18,7	4.158	27,3
	3-A	18.481	7,1	12.578	12,3	10.685	14,1	7.848	18,0	4.565	25,7
	4-A	17.163	6,4	13.603	10,1	10.912	13,5	9.038	17,1	4.666	22,4
	Ø	17.583	6,6	12.810	11,3	10.642	13,6	8.253	17,9	4.463	25,1
1 Hz	1-E	15.857	7,7	10.587	13,0	8.468	15,7	6.297	22,3	2.926	28,8
	3-A	17.233	7,4	10.755	13,5	9.021	15,4	6.328	20,3	3.390	28,5
	4-A	15.824	8,6	11.848	11,7	9.603	15,0	7.450	20,0	3.669	25,5
	Ø	16.305	7,9	11.063	12,7	9.031	15,4	6.692	20,9	3.328	27,6
0,3 Hz	1-E	14.369	8,3	9.027	14,9	6.826	18,4	4.663	23,9	1.955	33,1
	3-A	15.220	10,6	8.926	15,9	7.298	17,7	5.057	23,1	2.377	31,8
	4-A	14.132	7,5	10.360	12,9	7.627	17,1	5.821	20,6	2.627	27,3
	Ø	14.573	8,8	9.438	14,5	7.250	17,8	5.180	22,6	2.320	30,7
0,1 Hz	1-E	12.851	9,2	7.558	10,4	5.682	20,7	3.469	26,7	1.345	37,9
	3-A	13.647	10,5	7.541	16,8	5.849	20,0	3.821	26,1	1.734	34,1
	4-A	13.140	8,8	8.616	14,8	6.327	19,2	4.504	24,9	1.941	28,7
	Ø	13.213	9,5	7.905	14,0	5.953	20,0	3.931	25,9	1.673	33,5
10 Hz	1-E	18.362	5,6	13.863	10,8	11.986	13,0	9.563	16,3	4.995	25,8
	3-A	19.212	6,0	14.068	10,4	12.525	12,1	9.924	14,3	6.260	23,2
	4-A	18.536	4,3	15.085	9,6	13.020	10,0	11.184	13,7	6.385	21,7
	Ø	18.703	5,3	14.339	10,3	12.510	11,7	10.224	14,8	5.880	23,6

Tab. A-0-22: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der B52 DS

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW
		[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]
10 Hz	1-E	20.781	0,8	16.961	6,3	16.417	8,2	13.913	10,9	8.654	18,3
	2-E	18.360	3,4	15.879	6,4	14.578	7,4	13.207	8,2	8.865	15,2
	4-A	20.079	3,9	18.114	6,3	16.719	8,5	13.596	11,0	9.913	15,7
	Ø	19.740	2,7	16.985	6,4	15.904	8,1	13.572	10,0	9.144	16,4
5 Hz	1-E	18.879	4,0	16.386	6,4	15.075	9,0	12.602	11,8	7.475	19,9
	2-E	17.891	5,0	14.748	6,5	13.909	7,7	12.298	10,8	7.731	16,9
	4-A	19.176	4,0	16.876	7,2	15.673	8,9	12.481	11,3	8.610	17,1
	Ø	18.649	4,3	16.003	6,7	14.886	8,5	12.460	11,3	7.939	18,0
3 Hz	1-E	18.872	3,9	15.928	8,2	14.542	9,2	11.592	13,0	6.686	20,7
	2-E	17.483	4,0	14.388	6,6	13.291	7,6	11.538	6,1	6.880	17,7
	4-A	19.064	2,6	16.130	7,1	14.900	9,2	11.926	12,3	7.905	18,5
	Ø	18.473	3,5	15.482	7,3	14.244	8,7	11.685	10,5	7.157	19,0
1 Hz	1-E	18.289	4,7	14.290	9,3	12.814	10,7	9.877	15,2	5.072	24,4
	2-E	16.733	4,4	13.138	8,5	12.241	9,6	10.200	11,8	5.717	18,9
	4-A	18.352	4,5	14.659	8,0	13.398	11,2	9.993	14,3	6.192	21,9
	Ø	17.791	4,6	14.029	8,6	12.818	10,5	10.023	13,8	5.660	21,8
0,3 Hz	1-E	17.063	6,2	12.895	9,0	10.927	13,5	8.149	17,5	3.726	26,7
	2-E	16.068	5,1	11.864	9,6	10.700	10,8	8.638	14,8	4.349	22,8
	4-A	17.684	6,2	12.990	10,0	11.684	11,6	8.211	16,2	4.777	25,7
	Ø	16.938	5,8	12.583	9,5	11.104	12,0	8.333	16,2	4.284	25,1
0,1 Hz	1-E	15.921	6,3	11.176	11,9	9.259	15,0	6.420	20,8	2.784	29,4
	2-E	15.042	5,4	10.653	10,6	9.411	12,3	7.306	16,3	3.368	26,1
	4-A	16.591	6,0	11.534	11,6	10.005	14,6	6.846	19,2	3.605	27,2
	Ø	15.851	5,9	11.121	11,4	9.558	14,0	6.857	18,8	3.252	27,6
10 Hz	1-E	20.554	3,5	17.095	7,2	15.553	8,2	13.432	10,9	8.397	17,8
	2-E	18.820	3,4	15.764	6,1	14.373	8,5	13.221	9,2	8.663	15,9
	4-A	21.039	4,2	17.720	6,6	16.710	9,4	13.318	10,7	9.457	16,6
	Ø	20.138	3,7	16.860	6,6	15.545	8,7	13.323	10,3	8.839	16,8

Tab. A-0-23: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der B52 BS

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW
		[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]
10 Hz	1-E	21.451	3,0	17.259	6,1	16.948	16,3	14.630	11,3	10.672	16,0
	2-E	22.303	3,2	19.851	5,0	18.748	7,4	17.236	11,4	12.409	13,5
	4-A	20.657	4,7	17.815	7,0	17.156	7,8	15.624	10,7	11.003	17,1
	Ø	21.470	3,6	18.308	6,0	17.617	10,5	15.830	11,1	11.361	15,5
5 Hz	1-E	20.665	4,4	16.589	6,9	15.257	8,8	13.480	11,6	9.174	17,9
	2-E	21.630	2,9	19.207	5,6	17.491	7,5	15.639	9,4	11.114	15,2
	4-A	19.848	4,0	16.965	6,9	15.825	8,2	14.460	11,0	9.686	18,3
	Ø	20.714	3,8	17.587	6,5	16.191	8,2	14.526	10,7	9.991	17,1
3 Hz	1-E	20.245	4,7	16.313	6,8	14.643	9,5	12.837	12,3	8.537	19,3
	2-E	21.089	3,9	18.604	6,3	16.819	8,5	14.844	10,4	10.251	16,6
	4-A	19.530	4,2	16.510	8,2	14.956	9,1	13.410	12,6	8.783	19,7
	Ø	20.288	4,2	17.142	7,1	15.473	9,1	13.697	11,8	9.190	18,5
1 Hz	1-E	19.476	4,8	14.693	8,1	13.103	11,3	10.998	14,1	6.606	21,8
	2-E	20.453	3,9	17.400	6,2	15.049	9,2	13.276	11,7	8.360	19,5
	4-A	18.662	5,7	14.927	8,8	13.505	10,4	11.589	14,1	6.980	22,4
	Ø	19.530	4,8	15.673	7,7	13.886	10,3	11.954	13,3	7.315	21,2
0,3 Hz	1-E	18.298	5,7	13.118	9,1	11.165	12,7	9.179	16,2	5.209	24,7
	2-E	19.327	4,7	15.868	8,2	13.449	11,4	11.420	13,6	6.575	22,0
	4-A	17.755	5,6	13.351	10,1	11.602	13,1	9.563	16,5	5.252	25,7
	Ø	18.460	5,3	14.113	9,1	12.072	12,4	10.054	15,5	5.679	24,1
0,1 Hz	1-E	17.269	5,5	11.615	11,2	9.568	14,7	7.583	19,5	3.825	28,2
	2-E	18.240	5,1	14.239	9,2	12.089	12,7	9.636	15,8	5.109	24,9
	4-A	16.566	6,5	11.769	11,9	10.008	14,6	7.854	19,0	3.832	28,2
	Ø	17.358	5,7	12.541	10,8	10.555	14,0	8.358	18,1	4.255	27,1
10 Hz	1-E	22.325	7,0	17.200	6,4	16.315	9,3	14.262	10,3	10.144	16,6
	2-E	22.381	2,8	19.694	3,9	18.445	6,6	16.698	10,1	11.934	14,0
	4-A	20.365	4,1	17.600	7,6	16.792	8,4	14.819	10,7	10.659	16,8
	Ø	21.690	4,7	18.165	6,0	17.184	8,1	15.260	10,4	10.913	15,8

Tab. A-0-24: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der B52 TS

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW								
		[MPa]	[°]								
10 Hz	2-B	7.172	4,6	7.348	3,2	6.581	4,7	8.152	3,7	8.246	7,5
	3-A	15.985	2,0	15.218	1,2	9.740	2,6	18.703	5,1	7.049	6,4
	4-A	16.628	0,3	16.964	4,1	16.578	3,0	16.689	3,1	15.778	4,1
	Ø	13.262	2,3	13.177	2,8	10.966	3,5	14.515	4,0	10.357	6,0
5 Hz	2-B	7.127	3,3	7.121	3,3	6.362	5,4	7.793	4,9	8.006	7,4
	3-A	15.861	2,4	14.454	1,9	9.286	3,2	12.146	0,8	6.975	6,6
	4-A	16.327	0,7	17.072	1,0	16.354	5,7	15.873	3,7	16.580	5,2
	Ø	13.105	2,2	12.883	2,1	10.667	4,7	11.938	3,1	10.520	6,4
3 Hz	2-B	6.965	3,9	7.142	4,0	6.346	5,0	7.620	5,4	7.533	7,5
	3-A	14.812	1,5	14.091	1,3	9.024	4,2	11.982	0,8	6.940	6,1
	4-A	16.488	0,6	16.251	3,0	15.953	3,5	15.079	2,1	15.361	3,2
	Ø	12.755	2,0	12.495	2,8	10.441	4,2	11.561	2,8	9.945	5,6
1 Hz	2-B	6.794	3,7	6.832	3,7	6.031	4,1	7.123	5,5	7.261	7,8
	3-A	15.466	5,1	13.462	0,2	8.813	2,7	11.018	0,7	6.400	6,4
	4-A	16.634	2,4	16.369	0,5	16.841	5,0	15.109	1,5	14.571	3,1
	Ø	12.965	3,7	12.221	1,5	10.562	3,9	11.083	2,6	9.410	5,8
0,3 Hz	2-B	6.515	4,2	6.486	5,3	5.529	5,7	6.895	5,3	6.690	9,1
	3-A	14.920	3,2	12.694	0,8	8.214	4,8	10.126	1,4	5.936	7,9
	4-A	15.994	2,5	15.975	2,4	15.435	4,4	15.370	3,2	13.676	5,1
	Ø	12.477	3,3	11.718	2,8	9.726	5,0	10.797	3,3	8.767	7,4
0,1 Hz	2-B	6.404	4,3	6.142	5,8	5.412	6,7	6.540	7,4	6.098	8,8
	3-A	13.680	3,6	12.269	2,4	7.840	4,1	9.346	2,2	5.546	7,8
	4-A	15.417	4,8	14.662	4,4	14.861	5,2	13.779	4,2	13.136	5,6
	Ø	11.834	4,2	11.024	4,2	9.371	5,3	9.888	4,6	8.260	7,4
10 Hz	2-B	7.251	3,8	7.101	4,1	6.584	4,8	8.111	4,2	8.418	7,4
	3-A	15.768	1,0	13.805	1,7	9.475	3,2	12.461	0,6	7.161	6,5
	4-A	16.640	2,2	17.416	2,0	17.694	0,4	17.640	6,2	16.715	4,3
	Ø	13.220	2,4	12.774	2,6	11.251	2,8	12.737	3,7	10.765	6,0

Tab. A-0-25: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der B52 KRC

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW								
		[MPa]	[°]								
10 Hz	2-4	20.098	4,1	15.551	9,1	15.871	15,8	11.111	14,7	6.756	25,6
	2-5	20.192	6,1	15.947	8,6	14.080	11,4	11.575	15,3	7.182	23,4
	2-6	19.698	4,7	16.683	9,5	13.805	12,2	10.871	16,0	6.641	24,2
	Ø	19.996	4,9	16.060	9,1	14.585	13,1	11.186	15,3	6.859	24,4
5 Hz	2-4	19.079	6,0	15.060	10,1	14.087	14,9	9.744	17,8	5.352	27,6
	2-5	18.157	4,5	14.881	8,7	12.795	12,3	10.128	16,3	5.933	24,8
	2-6	19.135	4,2	15.609	9,8	12.427	13,6	9.543	17,4	5.640	25,9
	Ø	18.791	4,9	15.184	9,5	13.103	13,6	9.805	17,1	5.642	26,1
3 Hz	2-4	18.494	4,7	14.095	11,0	12.991	17,2	8.791	19,2	4.730	29,0
	2-5	17.660	6,0	14.259	9,6	11.922	12,2	9.295	16,7	5.244	26,0
	2-6	18.694	5,3	15.013	10,4	11.514	14,1	8.671	18,3	4.784	28,6
	Ø	18.283	5,3	14.456	10,3	12.142	14,5	8.919	18,1	4.919	27,8
1 Hz	2-4	17.387	8,1	12.079	12,6	11.097	19,7	7.120	23,6	3.274	34,0
	2-5	16.658	8,2	12.501	11,5	10.248	16,0	7.314	21,4	3.692	29,7
	2-6	17.464	6,8	13.090	13,2	9.594	17,1	6.798	24,1	3.359	31,7
	Ø	17.169	7,7	12.557	12,4	10.313	17,6	7.077	23,0	3.442	31,8
0,3 Hz	2-4	15.525	8,0	9.998	16,2	8.354	23,0	5.165	26,3	2.198	35,6
	2-5	14.984	7,0	-	-	8.200	18,3	5.498	23,3	2.546	31,8
	2-6	15.646	8,2	10.790	14,9	7.574	21,9	4.972	25,6	2.164	35,1
	Ø	15.385	7,7	10.394	15,6	8.043	21,1	5.212	25,1	2.303	34,2
0,1 Hz	2-4	14.227	9,5	8.317	19,1	6.429	26,5	3.743	30,1	1.424	38,9
	2-5	13.729	8,3	8.959	16,5	6.603	21,9	4.113	27,6	1.692	35,6
	2-6	13.973	10,5	9.148	17,2	6.052	22,8	3.669	30,2	1.478	36,8
	Ø	13.976	9,4	8.808	17,6	6.361	23,7	3.842	29,3	1.531	37,1
10 Hz	2-4	19.912	4,4	15.777	9,3	16.646	14,7	11.000	15,8	6.593	23,8
	2-5	18.849	5,2	15.759	8,2	13.879	11,1	10.962	16,0	6.828	23,6
	2-6	19.864	5,0	16.507	8,3	13.963	12,2	10.938	15,7	6.645	24,0
	Ø	19.541	4,9	16.014	8,6	14.830	12,7	10.966	15,8	6.689	23,8

Tab. A-0-26: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der B3 DS

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW
		[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]
10 Hz	2-4	24.913	2,9	20.388	12,2	19.102	8,9	16.488	11,8	10.703	18,7
	2-5	25.285	3,6	20.471	6,7	18.686	8,8	17.594	10,8	10.685	18,1
	2-6	25.087	3,5	21.360	6,8	18.633	8,1	17.451	11,3	11.024	19,1
	Ø	25.095	3,3	20.740	8,6	18.807	8,6	17.178	11,3	10.804	18,6
5 Hz	2-4	24.325	4,2	19.577	7,0	17.856	9,1	15.244	11,9	9.495	19,7
	2-5	24.400	3,5	19.540	7,4	17.451	8,7	16.113	11,9	9.102	20,6
	2-6	24.227	3,0	20.416	6,6	17.413	9,0	16.009	11,7	9.839	20,0
	Ø	24.317	3,6	19.844	7,0	17.573	8,9	15.789	11,8	9.479	20,1
3 Hz	2-4	23.746	4,1	18.828	7,0	16.768	10,1	14.338	12,4	8.478	21,5
	2-5	24.411	4,4	18.439	7,1	16.423	10,4	14.889	13,7	8.211	21,8
	2-6	24.089	3,4	19.581	7,3	16.801	10,1	15.016	13,0	8.853	22,0
	Ø	24.082	3,9	18.949	7,1	16.664	10,2	14.748	13,0	8.514	21,8
1 Hz	2-4	23.050	4,2	17.301	7,1	14.672	11,0	12.013	15,2	6.488	24,9
	2-5	23.163	5,0	17.117	9,5	14.610	12,0	12.709	16,1	6.235	25,2
	2-6	23.089	4,2	17.578	9,0	14.936	11,2	12.791	14,7	6.724	24,7
	Ø	23.101	4,5	17.332	8,5	14.739	11,4	12.504	15,3	6.482	25,0
0,3 Hz	2-4	21.488	4,9	15.696	10,1	12.651	13,4	9.781	17,6	4.699	28,4
	2-5	21.557	5,3	15.060	10,9	12.451	14,0	10.335	18,3	4.623	28,7
	2-6	21.881	4,5	15.719	10,0	12.603	13,8	10.558	17,4	4.915	29,0
	Ø	21.642	4,9	15.492	10,3	12.569	13,7	10.225	17,8	4.746	28,7
0,1 Hz	2-4	20.064	6,1	13.893	11,7	10.779	16,0	7.923	20,8	3.350	31,5
	2-5	20.373	6,5	13.191	12,6	10.735	16,1	8.242	22,0	3.224	32,2
	2-6	20.523	5,7	13.826	11,8	10.507	16,3	8.164	20,8	3.542	31,5
	Ø	20.320	6,1	13.636	12,0	10.673	16,1	8.110	21,2	3.372	31,8
10 Hz	2-4	24.989	3,4	20.657	12,6	18.632	8,0	16.393	11,5	10.928	18,2
	2-5	24.963	3,8	20.576	6,9	18.764	8,0	17.386	11,2	10.581	19,1
	2-6	25.408	3,4	21.481	6,7	18.163	8,7	16.623	11,5	11.296	18,2
	Ø	25.120	3,5	20.905	8,7	18.520	8,3	16.801	11,4	10.935	18,5

Tab. A-0-27: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der B3 BS

Temperatur		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW
		[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]
10 Hz	1-6	21.479	2,4	19.749	5,1	17.232	6,6	15.335	9,8	11.662	16,1
	2-1	22.789	2,2	21.059	3,7	18.305	7,8	17.146	9,4	12.481	14,9
	2-2	24.451	2,4	21.768	4,9	19.412	7,4	16.443	8,7	12.292	15,5
	Ø	22.907	2,3	20.859	4,6	18.316	7,3	16.308	9,3	12.145	15,5
5 Hz	1-6	20.783	2,5	18.632	4,4	15.981	7,1	14.045	9,8	10.138	18,2
	2-1	22.009	2,8	20.123	5,5	17.248	7,4	15.597	9,3	11.084	16,7
	2-2	24.359	3,3	21.060	4,7	18.675	7,6	15.255	9,9	11.091	17,4
	Ø	22.383	2,8	19.938	4,9	17.301	7,4	14.966	9,7	10.771	17,4
3 Hz	1-6	20.494	3,4	18.420	5,5	15.384	7,8	13.273	11,0	9.249	19,2
	2-1	21.897	3,8	19.502	5,3	16.558	7,1	15.220	9,4	10.152	18,6
	2-2	23.342	4,0	19.907	6,1	18.125	7,4	14.459	11,0	9.905	18,4
	Ø	21.911	3,7	19.276	5,6	16.689	7,4	14.317	10,5	9.769	18,8
1 Hz	1-6	19.575	3,6	17.217	5,4	13.782	10,3	11.799	13,3	7.122	23,1
	2-1	20.863	4,4	18.240	6,1	15.009	9,2	13.059	12,4	8.078	21,6
	2-2	22.693	3,5	18.952	6,4	16.214	10,1	12.608	12,5	7.841	22,2
	Ø	21.044	3,8	18.136	6,0	15.002	9,9	12.489	12,7	7.681	22,3
0,3 Hz	1-6	18.656	4,7	15.686	7,3	12.352	11,2	9.686	15,2	5.364	27,8
	2-1	19.837	4,7	17.203	5,2	13.455	10,9	10.971	14,2	6.140	25,2
	2-2	21.312	4,8	16.990	7,7	14.029	11,0	10.627	14,9	5.888	26,7
	Ø	19.935	4,7	16.626	6,7	13.279	11,0	10.428	14,7	5.797	26,6
0,1 Hz	1-6	17.818	5,2	14.364	8,9	10.899	14,0	7.952	19,1	3.838	32,9
	2-1	18.879	5,8	15.603	7,9	11.719	12,6	9.314	17,4	4.436	30,8
	2-2	20.241	5,5	15.524	9,3	12.122	14,1	8.730	18,2	4.318	30,8
	Ø	18.979	5,5	15.164	8,7	11.580	13,6	8.665	18,3	4.197	31,5
10 Hz	1-6	20.961	3,4	18.768	4,8	17.124	7,2	15.198	9,5	11.296	16,0
	2-1	22.371	3,5	21.726	12,2	17.917	5,2	16.845	9,0	12.240	14,4
	2-2	24.333	3,5	21.490	5,2	19.140	7,6	16.075	8,5	12.111	15,2
	Ø	22.555	3,5	20.661	7,4	18.060	6,7	16.039	9,0	11.882	15,2

Tab. A-0-28: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der B3 TS

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW
		[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]
10 Hz	2-4	11.746	3,0	9.206	3,7	10.304	4,3	10.363	4,9	8.857	5,7
	2-5	10.689	3,4	9.846	4,4	10.559	4,9	8.553	5,6	9.688	7,5
	3-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ø	11.218	3,2	9.526	4,1	10.432	4,6	9.458	5,3	9.273	6,6
5 Hz	2-4	11.189	2,1	9.165	4,9	10.063	4,7	9.839	5,4	8.474	7,1
	2-5	10.333	4,0	9.516	4,5	10.110	5,1	8.244	5,8	9.340	7,4
	3-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ø	10.761	3,1	9.341	4,7	10.087	4,9	9.042	5,6	8.907	7,3
3 Hz	2-4	10.831	3,5	8.798	4,9	9.567	4,4	9.668	5,8	8.194	7,4
	2-5	10.064	3,9	9.197	5,1	9.815	5,7	7.914	5,9	8.855	7,4
	3-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ø	10.448	3,7	8.998	5,0	9.691	5,1	8.791	5,9	8.525	7,4
1 Hz	2-4	10.462	2,9	8.483	4,3	9.059	4,8	8.876	6,4	7.573	7,8
	2-5	9.815	3,9	8.740	4,6	9.401	6,1	7.444	6,1	8.274	7,8
	3-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ø	10.139	3,4	8.612	4,5	9.230	5,5	8.160	6,3	7.924	7,8
0,3 Hz	2-4	9.773	4,5	7.932	5,7	8.474	5,8	8.273	7,7	6.942	8,1
	2-5	9.283	4,2	8.305	5,2	8.695	7,3	6.917	7,1	7.493	7,4
	3-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ø	9.528	4,4	8.119	5,5	8.585	6,6	7.595	7,4	7.218	7,8
0,1 Hz	2-4	9.492	4,8	7.448	5,8	7.992	6,1	7.768	7,7	6.238	8,0
	2-5	8.909	4,5	7.831	5,2	8.127	7,1	6.364	7,3	6.871	8,1
	3-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ø	9.201	4,7	7.640	5,5	8.060	6,6	7.066	7,5	6.555	8,1
10 Hz	2-4	11.041	2,9	9.182	4,8	9.992	4,4	9.943	5,1	8.839	6,6
	2-5	28.683	65,5	9.568	4,4	10.314	4,0	8.229	5,5	9.596	6,5
	3-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ø	19.862	34,2	9.375	4,6	10.153	4,2	9.086	5,3	9.218	6,6

Tab. A-0-29: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der B3 KRC

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW
		[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]
10 Hz	2-A	25.403	4,2	20.329	7,2	17.395	10,8	14.071	14,8	8.820	21,9
	2-E	25.283	3,9	21.237	8,0	17.952	11,1	14.015	13,4	8.736	21,3
	2-F	24.133	3,4	20.024	8,7	17.611	10,4	14.477	14,1	9.156	20,0
	Ø	24.940	3,8	20.530	8,0	17.653	10,8	14.187	14,1	8.904	21,1
5 Hz	2-A	24.025	4,7	18.726	8,5	16.053	11,8	12.277	16,8	7.625	24,2
	2-E	23.943	6,0	19.921	8,7	16.117	11,8	12.692	15,9	7.694	22,2
	2-F	22.824	4,7	19.296	9,2	15.784	12,0	12.390	16,4	7.718	24,1
	Ø	23.597	5,2	19.314	8,8	15.985	11,9	12.453	16,4	7.679	23,5
3 Hz	2-A	23.266	5,0	17.974	9,3	14.854	12,5	11.297	18,5	6.237	25,7
	2-E	23.028	5,7	19.510	9,7	15.051	12,0	11.335	16,5	6.356	25,0
	2-F	22.621	4,9	18.341	8,3	14.593	11,6	11.458	16,9	6.972	23,4
	Ø	22.972	5,2	18.608	9,1	14.833	12,0	11.364	17,3	6.522	24,7
1 Hz	2-A	22.059	5,5	16.329	10,4	12.764	14,2	9.287	20,5	4.405	29,6
	2-E	21.796	6,0	17.036	11,0	12.829	13,8	9.387	19,7	4.654	26,8
	2-F	20.760	7,2	16.479	10,8	12.737	14,1	9.138	20,6	5.114	26,8
	Ø	21.538	6,2	16.615	10,8	12.777	14,0	9.271	20,3	4.724	27,7
0,3 Hz	2-A	19.739	7,5	13.911	13,1	10.491	15,6	6.924	23,2	2.934	32,4
	2-E	20.180	7,3	14.687	12,3	10.601	17,5	7.166	22,1	3.269	31,1
	2-F	19.356	8,2	13.922	13,5	10.494	17,6	6.988	22,3	3.593	31,3
	Ø	19.758	7,7	14.173	13,0	10.528	16,9	7.026	22,6	3.265	31,6
0,1 Hz	2-A	18.361	9,3	11.950	13,5	8.397	19,0	5.224	27,8	1.911	36,7
	2-E	18.386	8,2	12.519	15,0	8.612	20,6	5.415	27,5	2.295	33,7
	2-F	17.495	9,6	12.063	14,2	8.400	19,9	5.316	25,5	2.530	34,1
	Ø	18.081	9,0	12.177	14,2	8.469	19,8	5.318	26,9	2.245	34,8
10 Hz	2-A	25.201	3,9	20.266	8,1	17.546	11,9	14.109	14,9	8.458	23,5
	2-E	25.318	4,5	20.514	6,9	17.780	10,9	13.859	14,0	-	-
	2-F	24.140	4,2	20.112	7,5	17.060	11,3	13.859	15,3	9.196	20,0
	Ø	24.886	4,2	20.297	7,5	17.462	11,4	13.942	14,7	8.827	21,8

Tab. A-0-30: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L49 DS

Temperatur		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW
		[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]
10 Hz	2-E	19.220	4,0	18.122	5,1	16.014	7,8	14.701	9,8	10.810	13,7
	2-F	18.914	3,4	16.590	5,9	14.093	7,6	14.013	8,9	10.737	14,1
	3-C	16.107	5,9	14.847	7,4	12.711	9,6	11.116	12,1	8.418	17,4
	Ø	18.080	4,4	16.520	6,1	14.273	8,4	13.277	10,3	9.988	15,1
5 Hz	2-E	18.433	4,4	17.181	5,1	15.200	7,9	13.703	9,8	9.798	16,0
	2-F	18.534	5,4	16.079	6,2	13.391	8,3	12.979	10,0	9.623	15,0
	3-C	15.573	5,1	14.297	8,2	11.878	9,8	10.236	13,3	7.270	18,8
	Ø	17.513	4,9	15.852	6,5	13.490	8,7	12.306	11,0	8.897	16,6
3 Hz	2-E	18.214	5,0	16.754	6,4	14.561	8,7	12.830	10,9	8.978	16,3
	2-F	17.893	5,0	15.562	6,2	12.870	8,8	12.306	10,6	8.775	16,6
	3-C	15.151	5,3	13.681	7,8	11.161	10,5	9.498	14,0	6.725	20,3
	Ø	17.086	5,1	15.333	6,8	12.864	9,3	11.545	11,8	8.159	17,7
1 Hz	2-E	16.914	5,1	15.605	7,7	13.072	10,3	11.289	12,4	7.127	19,5
	2-F	17.025	5,0	14.520	7,9	11.623	10,7	10.935	12,4	7.142	19,2
	3-C	14.154	6,1	12.380	9,0	9.874	12,2	8.106	15,5	5.340	22,3
	Ø	16.031	5,4	14.168	8,2	11.523	11,1	10.110	13,4	6.536	20,3
0,3 Hz	2-E	16.135	6,0	14.139	8,0	11.559	11,2	9.622	14,3	5.789	22,1
	2-F	15.838	5,8	13.171	8,8	10.194	12,0	9.521	14,6	5.677	22,8
	3-C	13.310	7,7	11.217	10,0	8.583	14,7	6.664	18,7	4.107	25,1
	Ø	15.094	6,5	12.842	8,9	10.112	12,6	8.603	15,9	5.191	23,3
0,1 Hz	2-E	15.059	6,5	13.122	9,0	10.186	13,1	8.144	15,3	4.412	25,0
	2-F	14.788	7,2	11.893	9,5	9.030	13,5	8.024	17,1	4.316	24,8
	3-C	12.122	8,5	9.947	12,3	7.263	16,7	5.468	21,0	3.152	27,3
	Ø	13.989	7,4	11.654	10,3	8.826	14,4	7.212	17,8	3.960	25,7
10 Hz	2-E	19.078	4,5	17.888	6,5	15.976	7,9	14.294	9,5	10.778	14,6
	2-F	18.857	4,6	16.447	6,6	14.050	8,0	13.634	9,1	10.408	15,0
	3-C	15.819	5,5	14.815	7,1	12.327	9,3	10.624	12,2	8.049	17,9
	Ø	17.918	4,9	16.383	6,7	14.118	8,4	12.851	10,3	9.745	15,8

Tab. A-0-31: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L49 TS

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW								
		[MPa]	[°]								
10 Hz	2-A	17.983	3,7	17.319	1,1	18.685	2,5	17.252	3,4	18.728	3,2
	2-B	19.894	3,1	18.766	3,8	18.440	4,5	19.285	4,2	22.584	3,6
	1-D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ø	18.939	3,4	18.043	2,5	18.563	3,5	18.269	3,8	20.656	3,4
5 Hz	2-A	18.779	2,8	16.732	2,1	18.014	2,3	16.653	3,6	18.789	3,3
	2-B	20.074	1,7	18.243	2,2	18.135	3,8	19.097	2,1	22.167	3,6
	1-D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ø	19.427	2,3	17.488	2,2	18.075	3,1	17.875	2,9	20.478	3,5
3 Hz	2-A	17.991	1,4	16.770	1,5	17.552	1,7	16.444	3,1	18.154	3,0
	2-B	19.694	2,2	17.634	3,0	17.807	3,2	18.734	4,3	21.574	2,2
	1-D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ø	18.843	1,8	17.202	2,3	17.680	2,5	17.589	3,7	19.864	2,6
1 Hz	2-A	17.569	2,0	16.040	2,7	17.762	1,7	16.197	4,7	17.886	2,1
	2-B	18.844	1,9	18.009	1,9	17.665	2,3	18.717	2,7	20.416	3,6
	1-D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ø	18.207	2,0	17.025	2,3	17.714	2,0	17.457	3,7	19.151	2,9
0,3 Hz	2-A	17.330	3,0	15.999	3,3	16.972	3,1	15.566	3,2	16.804	2,3
	2-B	18.473	2,2	16.653	3,7	16.853	2,5	17.872	2,6	20.085	5,5
	1-D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ø	17.902	2,6	16.326	3,5	16.913	2,8	16.719	2,9	18.445	3,9
0,1 Hz	2-A	16.927	2,6	15.705	2,2	16.866	2,7	15.339	4,3	17.090	2,7
	2-B	17.919	2,5	16.937	3,4	16.476	3,3	17.658	3,3	19.088	3,2
	1-D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ø	17.423	2,6	16.321	2,8	16.671	3,0	16.499	3,8	18.089	3,0
10 Hz	2-A	18.324	1,8	16.867	2,0	18.134	2,6	16.906	3,4	18.117	3,8
	2-B	19.801	3,3	18.462	2,1	18.320	1,3	19.301	2,6	21.840	3,2
	1-D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ø	19.063	2,6	17.665	2,1	18.227	2,0	18.104	3,0	19.979	3,5

Tab. A-0-32: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L49 KRC

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW								
		[MPa]	[°]								
10 Hz	2-D	21.354	4,2	17.805	7,2	15.559	8,1	13.508	13,1	8.457	19,9
	3-C	22.799	5,0	17.693	8,1	15.228	10,3	12.557	13,7	-	-
	3-G	22.607	4,7	18.497	8,0	16.513	10,7	13.620	13,7	8.284	21,9
	Ø	22.253	4,7	17.998	7,8	15.767	9,7	13.228	13,5	8.371	20,9
5 Hz	2-D	20.178	5,3	16.764	8,7	14.925	9,6	12.325	13,5	7.819	21,4
	3-C	21.919	5,1	16.468	10,2	13.961	11,4	11.378	14,4	7.026	22,4
	3-G	21.598	6,2	16.993	9,7	14.744	12,1	12.231	15,8	6.975	24,0
	Ø	21.232	5,5	16.742	9,5	14.543	11,0	11.978	14,6	7.273	22,6
3 Hz	2-D	19.357	5,0	16.022	8,3	13.674	11,2	11.398	15,0	6.952	22,3
	3-C	20.726	5,9	15.937	10,6	12.769	13,4	10.405	17,1	6.072	22,8
	3-G	20.750	5,7	16.557	9,6	13.616	12,6	11.106	17,9	6.101	25,7
	Ø	20.278	5,5	16.172	9,5	13.353	12,4	10.969	16,6	6.375	23,6
1 Hz	2-D	18.201	6,6	14.135	10,8	12.067	13,1	9.397	18,3	5.433	25,5
	3-C	19.604	6,7	13.671	11,4	11.062	14,6	8.363	17,7	4.472	26,2
	3-G	18.975	7,7	14.261	11,9	11.398	16,2	8.927	19,9	4.327	28,2
	Ø	18.927	7,0	14.022	11,4	11.509	14,6	8.896	18,6	4.744	26,6
0,3 Hz	2-D	16.876	7,4	12.193	12,8	10.325	15,4	7.628	19,9	3.766	27,7
	3-C	18.243	7,1	11.692	14,1	8.966	18,2	6.590	22,2	3.154	29,6
	3-G	17.573	8,5	12.041	14,6	9.439	18,1	6.757	24,5	2.967	31,5
	Ø	17.564	7,7	11.975	13,8	9.576	17,2	6.992	22,2	3.296	29,6
0,1 Hz	2-D	15.570	8,0	10.355	14,6	8.589	16,5	6.051	22,2	2.767	31,1
	3-C	16.569	9,3	9.659	17,0	7.392	20,0	5.111	25,1	2.218	32,1
	3-G	15.602	10,1	10.222	16,7	7.433	22,2	5.041	27,8	2.117	32,8
	Ø	15.914	9,2	10.079	16,1	7.804	19,6	5.401	25,0	2.367	32,0
10 Hz	2-D	21.006	5,1	17.547	8,3	15.467	9,5	13.482	13,0	8.904	19,7
	3-C	22.863	5,4	17.590	9,8	15.577	11,2	12.543	14,6	7.968	20,8
	3-G	22.376	5,6	18.310	9,5	15.817	11,8	13.361	14,9	8.207	22,0
	Ø	22.082	5,4	17.816	9,2	15.621	10,8	13.128	14,2	8.360	20,8

Tab. A-0-33: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L48 DS

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW
		[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]
10 Hz	2-D	14.175	4,3	13.096	6,3	9.756	7,9	8.081	11,8	6.971	16,8
	3-C	17.224	4,4	14.840	7,2	14.640	13,0	10.770	11,7	7.390	17,8
	3-G	14.734	5,4	14.855	7,0	13.385	8,2	10.444	13,2	7.677	19,1
	Ø	15.378	4,7	14.264	6,8	12.594	9,7	9.765	12,2	7.346	17,9
5 Hz	2-D	13.651	4,6	12.267	7,9	9.026	8,8	7.298	12,9	6.192	17,7
	3-C	16.711	5,2	14.114	7,6	13.033	9,1	9.867	12,8	6.535	18,8
	3-G	14.215	5,6	14.332	7,3	12.465	8,6	9.316	13,6	6.823	20,3
	Ø	14.859	5,1	13.571	7,6	11.508	8,8	8.827	13,1	6.517	18,9
3 Hz	2-D	13.419	4,7	11.726	7,5	8.586	10,4	6.866	13,9	5.472	19,1
	3-C	16.593	5,2	13.445	8,2	12.205	9,8	8.975	13,8	5.969	20,7
	3-G	13.874	6,1	13.822	7,9	11.781	10,0	8.376	15,1	6.032	21,1
	Ø	14.629	5,3	12.998	7,9	10.857	10,0	8.072	14,3	5.824	20,3
1 Hz	2-D	12.978	5,1	10.777	9,3	7.601	11,9	5.797	16,2	4.378	22,1
	3-C	15.562	5,6	12.148	9,0	10.702	12,2	7.698	16,5	4.679	22,9
	3-G	12.997	6,1	12.428	9,9	10.282	12,2	7.129	17,3	4.732	24,5
	Ø	13.846	5,6	11.784	9,4	9.529	12,1	6.874	16,6	4.596	23,2
0,3 Hz	2-D	12.176	5,3	9.323	9,6	6.543	13,7	4.742	19,3	3.378	24,9
	3-C	14.725	7,1	10.619	10,9	9.340	13,3	6.266	18,2	3.601	25,1
	3-G	11.991	8,0	10.709	11,5	8.799	14,6	5.787	19,5	3.558	26,3
	Ø	12.964	6,8	10.217	10,7	8.227	13,9	5.598	19,0	3.512	25,4
0,1 Hz	2-D	11.488	6,6	8.333	12,3	5.653	15,6	3.889	21,1	2.605	26,8
	3-C	13.708	6,9	9.273	12,3	7.972	14,9	5.029	21,4	2.700	27,9
	3-G	11.126	8,3	9.295	13,0	7.397	16,8	4.624	22,1	2.676	28,5
	Ø	12.107	7,3	8.967	12,5	7.007	15,8	4.514	21,5	2.660	27,7
10 Hz	2-D	14.305	4,4	12.298	6,8	9.198	8,9	7.461	13,1	6.539	17,0
	3-C	17.333	4,3	14.488	7,4	14.020	14,9	10.056	13,4	7.391	17,9
	3-G	14.584	4,7	13.991	9,3	12.201	9,6	9.433	13,7	7.601	18,3
	Ø	15.407	4,5	13.592	7,8	11.806	11,1	8.984	13,4	7.177	17,7

Tab. A-0-34: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L48 TS

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW								
		[MPa]	[°]								
10 Hz	2-C	13.561	2,9	13.090	3,1	12.743	3,9	12.842	4,2	12.589	4,3
	3-D	15.457	1,0	13.896	4,3	13.069	1,6	14.140	3,7	14.368	4,6
	3-E	12.826	0,0	10.898	0,0	9.674	0,0	11.272	0,0	9.382	0,0
	Ø	13.948	1,3	12.628	2,5	11.829	1,8	12.752	2,6	12.113	3,0
5 Hz	2-C	13.580	0,7	12.626	2,5	12.386	3,8	12.291	3,9	12.348	4,8
	3-D	15.409	3,2	13.812	3,5	12.652	3,0	13.754	4,7	13.658	4,9
	3-E	12.404	0,0	10.573	0,0	9.022	0,0	10.341	0,0	9.123	0,0
	Ø	13.798	1,3	12.337	2,0	11.353	2,3	12.129	2,9	11.710	3,2
3 Hz	2-C	12.908	3,0	12.398	4,5	11.969	4,1	12.175	5,2	12.013	4,8
	3-D	15.419	3,2	13.355	3,0	12.435	3,8	13.779	4,1	13.170	4,2
	3-E	12.309	0,0	10.337	0,0	8.829	0,0	9.811	0,0	8.795	0,0
	Ø	13.545	2,1	12.030	2,5	11.078	2,6	11.922	3,1	11.326	3,0
1 Hz	2-C	12.245	2,9	11.689	3,1	11.238	5,9	11.822	3,9	11.322	5,9
	3-D	14.522	1,2	12.805	4,3	11.999	3,5	13.023	2,8	12.792	5,8
	3-E	11.871	0,0	9.887	0,0	8.290	0,0	9.286	0,0	8.046	0,0
	Ø	12.879	1,4	11.460	2,5	10.509	3,1	11.377	2,2	10.720	3,9
0,3 Hz	2-C	12.257	1,7	11.287	4,6	10.996	5,6	11.138	4,5	10.574	4,8
	3-D	14.082	3,5	12.271	4,3	11.878	5,7	12.629	2,4	11.814	4,6
	3-E	11.462	0,0	9.450	0,0	7.892	0,0	8.702	0,0	7.626	0,0
	Ø	12.600	1,7	11.003	3,0	10.255	3,7	10.823	2,3	10.005	3,1
0,1 Hz	2-C	11.998	4,3	11.058	4,7	10.525	5,6	10.837	5,8	10.037	5,9
	3-D	13.832	4,1	12.068	4,4	11.235	3,6	11.846	3,6	11.279	5,1
	3-E	11.057	0,0	8.955	0,0	7.477	0,0	8.244	0,0	7.075	0,0
	Ø	12.295	2,8	10.694	3,0	9.745	3,1	10.309	3,2	9.464	3,7
10 Hz	2-C	13.350	2,9	12.674	4,5	12.517	3,8	12.850	4,1	12.284	4,5
	3-D	16.098	4,7	13.901	3,9	12.892	3,8	14.180	4,2	14.149	4,5
	3-E	0	0,0	10.902	0,0	9.235	0,0	10.581	0,0	9.622	0,0
	Ø	9.816	2,6	12.492	2,8	11.548	2,5	12.537	2,8	12.018	3,0

Tab. A-0-35: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L48 KRC

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW								
		[MPa]	[°]								
10 Hz	1-D	26.499	4,4	19.094	9,5	17.583	10,4	12.832	16,4	7.006	27,7
	1-G	26.847	4,7	20.606	10,8	17.520	12,6	12.457	17,4	7.487	25,7
	2-A	20.149	5,7	14.847	10,1	13.101	11,1	11.557	14,8	7.549	20,2
	Ø	24.498	4,9	18.182	10,1	16.068	11,4	12.282	16,2	7.348	24,5
5 Hz	1-D	25.559	6,0	17.443	10,3	16.239	13,7	11.188	17,7	5.948	27,8
	1-G	25.139	5,9	19.107	11,6	15.987	13,2	11.039	19,2	6.312	26,2
	2-A	19.437	7,3	13.495	11,3	12.125	12,3	10.281	15,9	6.591	20,2
	Ø	23.378	6,4	16.682	11,1	14.784	13,1	10.836	17,6	6.283	24,8
3 Hz	1-D	24.616	5,3	16.798	11,2	15.079	13,7	10.240	19,1	5.031	28,8
	1-G	24.784	5,2	18.029	11,3	14.676	14,1	10.045	19,5	5.360	28,2
	2-A	18.444	7,8	12.627	11,0	11.061	13,8	9.609	16,2	5.911	23,0
	Ø	22.615	6,1	15.818	11,2	13.606	13,8	9.965	18,3	5.434	26,7
1 Hz	1-D	23.098	6,4	14.766	13,2	12.692	15,6	7.963	22,8	3.317	33,5
	1-G	23.031	6,0	16.244	13,5	12.007	16,5	8.002	22,8	3.779	31,0
	2-A	16.971	9,4	11.000	13,1	9.631	15,3	7.893	18,9	4.628	24,0
	Ø	21.033	7,3	14.004	13,3	11.444	15,8	7.953	21,5	3.908	29,5
0,3 Hz	1-D	20.983	8,7	12.170	15,7	10.494	18,3	6.114	26,4	2.171	34,9
	1-G	20.721	9,0	13.271	15,8	9.841	19,9	5.961	25,0	2.468	33,8
	2-A	15.127	9,9	9.446	15,5	7.956	16,5	6.386	22,0	3.382	25,6
	Ø	18.943	9,2	11.629	15,7	9.430	18,2	6.153	24,4	2.674	31,4
0,1 Hz	1-D	18.916	9,7	10.196	17,5	8.040	23,0	4.413	29,9	1.315	37,9
	1-G	18.855	8,9	11.017	18,1	7.600	23,8	4.153	30,7	1.550	34,2
	2-A	13.831	11,0	8.045	17,3	6.561	17,9	4.953	24,3	2.432	30,0
	Ø	17.201	9,9	9.753	17,6	7.400	21,5	4.506	28,3	1.766	34,0
10 Hz	1-D	26.410	5,2	19.440	8,5	17.555	12,3	-	-	7.317	25,5
	1-G	26.405	4,4	21.128	9,2	17.208	12,8	12.868	17,3	7.642	25,4
	2-A	20.675	5,9	14.115	10,0	12.745	12,1	11.821	15,3	7.613	19,4
	Ø	24.497	5,1	18.228	9,2	15.836	12,4	12.345	16,3	7.524	23,4

Tab. A-0-36: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L114 DS

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW
		[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]
10 Hz	1-F	4.570	5,5	3.822	5,2	3.298	4,9	3.612	5,7	2.190	9,3
	3-A	3.374	4,5	2.633	5,8	4.002	5,0	2.462	8,8	2.472	8,9
	3-F	4.571	4,1	3.358	7,6	1.932	8,1	1.608	9,6	2.805	7,9
	Ø	4.172	4,7	3.271	6,2	3.078	6,0	2.561	8,0	2.489	8,7
5 Hz	1-F	4.541	5,2	3.776	5,8	3.164	5,2	3.471	5,3	2.162	9,2
	3-A	3.306	5,1	2.612	6,0	3.622	6,2	2.449	8,2	2.298	9,0
	3-F	4.340	4,5	3.254	7,8	1.894	8,5	1.636	10,2	2.768	9,3
	Ø	4.062	5,0	3.214	6,5	2.893	6,6	2.519	7,9	2.409	9,2
3 Hz	1-F	4.378	5,4	3.628	5,2	3.129	4,6	3.385	6,4	2.029	10,4
	3-A	3.324	5,1	2.515	5,7	3.434	6,3	2.433	8,5	2.194	9,1
	3-F	4.307	5,4	3.144	7,6	1.849	8,6	1.650	10,2	2.643	9,1
	Ø	4.003	5,3	3.096	6,2	2.804	6,5	2.489	8,4	2.289	9,5
1 Hz	1-F	4.302	4,5	3.571	5,8	2.969	6,0	3.214	5,8	1.795	11,0
	3-A	3.259	4,8	2.395	6,0	3.282	6,6	2.287	9,0	2.009	9,2
	3-F	4.148	4,4	2.987	7,6	1.758	8,8	1.580	10,3	2.475	9,9
	Ø	3.903	4,6	2.985	6,5	2.670	7,1	2.360	8,3	2.093	10,0
0,3 Hz	1-F	4.163	4,2	3.374	5,4	2.879	4,8	3.013	6,1	1.660	10,6
	3-A	3.226	3,9	2.276	6,6	3.062	7,1	2.126	9,1	1.851	10,3
	3-F	4.042	5,2	2.857	7,2	1.699	8,8	1.535	10,6	2.257	10,5
	Ø	3.810	4,4	2.836	6,4	2.547	6,9	2.225	8,6	1.923	10,5
0,1 Hz	1-F	4.120	5,1	3.287	6,3	2.761	6,3	2.883	7,3	1.549	12,2
	3-A	3.095	5,2	2.308	7,0	2.877	7,2	1.992	9,8	1.655	11,9
	3-F	3.934	4,8	2.690	6,9	1.597	9,7	1.463	11,2	2.129	10,8
	Ø	3.716	5,0	2.761	6,7	2.412	7,7	2.113	9,4	1.777	11,7
10 Hz	1-F	4.456	5,1	3.736	5,8	3.241	5,0	3.503	4,9	2.140	9,7
	3-A	3.523	5,3	2.564	5,8	3.548	6,0	2.659	8,1	2.306	9,4
	3-F	4.400	3,6	3.172	6,4	1.891	8,3	1.816	9,5	2.823	9,2
	Ø	4.126	4,6	3.158	6,0	2.893	6,4	2.659	7,5	2.423	9,4

Tab. A-0-37: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L114 KRC

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW								
		[MPa]	[°]								
10 Hz	1-3	17.344	5,1	13.541	9,4	12.068	10,5	-	-	-	-
	1-5	17.239	6,7	14.060	8,1	12.516	10,4	10.481	13,2	7.098	18,4
	1-6	14.957	6,3	13.280	8,5	11.207	10,7	9.054	14,1	6.098	20,0
	Ø	16.513	6,0	13.627	8,7	11.931	10,5	9.768	13,7	6.598	19,2
5 Hz	1-3	16.835	5,6	12.800	9,1	11.117	11,2	-	-	-	-
	1-5	16.749	5,7	13.030	9,5	11.588	11,1	9.295	14,1	5.960	19,7
	1-6	14.539	6,7	12.253	9,8	10.613	11,6	8.210	15,5	5.226	22,1
	Ø	16.041	6,0	12.695	9,5	11.106	11,3	8.753	14,8	5.593	20,9
3 Hz	1-3	16.421	6,8	12.179	9,1	10.565	13,3	-	-	-	-
	1-5	16.252	6,9	12.249	8,0	10.834	12,9	8.626	14,9	5.668	21,6
	1-6	14.230	5,7	11.509	10,2	10.131	11,8	7.451	15,5	4.542	23,4
	Ø	15.634	6,4	11.979	9,1	10.510	12,6	8.039	15,2	5.105	22,5
1 Hz	1-3	15.488	7,1	11.060	11,2	9.192	14,3	-	-	-	-
	1-5	15.224	7,4	11.074	10,4	9.587	13,5	7.223	17,0	4.196	25,7
	1-6	12.910	7,7	10.372	11,4	8.502	14,3	6.193	18,4	3.444	26,5
	Ø	14.541	7,4	10.835	11,0	9.094	14,1	6.708	17,7	3.820	26,1
0,3 Hz	1-3	14.054	8,3	9.589	11,5	-	-	-	-	-	-
	1-5	13.886	8,7	9.746	12,3	7.949	15,8	5.701	20,3	2.996	28,3
	1-6	11.948	9,4	-	-	6.922	15,8	4.938	20,3	2.546	30,2
	Ø	13.296	8,8	9.668	11,9	7.436	15,8	5.320	20,3	2.771	29,3
0,1 Hz	1-3	12.957	8,2	8.334	13,4	6.417	17,9	-	-	-	-
	1-5	12.961	8,7	8.355	13,6	6.722	18,2	4.513	23,1	2.169	31,2
	1-6	11.064	14,3	7.740	15,3	5.813	20,2	3.938	24,0	1.867	32,1
	Ø	12.327	10,4	8.143	14,1	6.317	18,8	2.817	15,7	1.345	21,1
10 Hz	1-3	17.673	4,7	13.733	7,6	12.284	10,3	-	-	-	-
	1-5	17.552	5,1	13.886	8,2	11.152	12,8	10.116	13,9	6.970	19,7
	1-6	15.950	5,8	13.028	9,0	10.434	11,7	9.133	14,1	6.126	20,4
	Ø	17.058	5,2	13.549	8,3	11.290	11,6	6.416	9,3	4.366	13,4

Tab. A-0-38: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L205 DS

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW								
		[MPa]	[°]								
10 Hz	2-2	17.458	1,8	17.407	4,7	15.780	5,3	16.649	3,1	15.678	5,0
	2-5	18.111	2,5	17.668	2,4	16.766	3,9	17.051	2,7	16.574	5,3
	3-5	17.258	1,2	18.401	1,8	18.892	2,5	19.501	4,5	20.625	1,9
	Ø	17.609	1,8	17.825	3,0	17.146	3,9	17.734	3,4	17.626	4,1
5 Hz	2-2	17.048	1,5	16.657	4,3	15.490	3,3	15.794	5,3	15.394	3,8
	2-5	17.998	2,5	16.438	3,1	17.029	3,5	16.954	2,5	16.150	6,5
	3-5	17.271	1,0	18.299	0,2	19.123	0,1	18.977	2,3	20.992	2,0
	Ø	17.439	1,7	17.131	2,5	17.214	2,3	17.242	3,4	17.512	4,1
3 Hz	2-2	17.079	2,4	16.510	4,1	15.033	4,1	15.244	3,2	14.499	4,0
	2-5	17.202	3,2	16.597	2,1	16.840	2,4	16.300	4,5	15.898	3,1
	3-5	17.238	1,2	18.269	1,6	18.881	1,8	19.367	2,5	21.481	11,5
	Ø	17.173	2,3	17.125	2,6	16.918	2,8	16.970	3,4	17.293	6,2
1 Hz	2-2	16.298	1,5	16.101	2,6	14.638	3,2	14.610	3,4	14.004	4,7
	2-5	16.993	3,7	15.583	2,8	15.887	3,0	15.001	4,4	14.717	5,9
	3-5	17.229	2,6	17.667	1,0	18.467	2,8	18.967	4,9	20.068	1,5
	Ø	16.840	2,6	16.450	2,1	16.331	3,0	16.193	4,2	16.263	4,0
0,3 Hz	2-2	15.647	2,6	15.099	3,8	13.707	4,2	14.035	5,0	13.161	5,4
	2-5	16.381	3,0	15.172	4,0	15.297	3,2	14.548	4,1	13.652	6,5
	3-5	17.294	2,1	18.189	1,3	17.880	1,4	18.364	4,5	20.618	2,6
	Ø	16.441	2,6	16.154	3,0	15.628	2,9	15.649	4,5	15.810	4,8
0,1 Hz	2-2	15.288	4,4	14.445	3,8	13.366	5,1	13.184	4,7	12.371	5,9
	2-5	16.042	3,8	14.534	4,2	14.563	4,3	13.863	4,9	12.943	5,2
	3-5	16.318	1,6	17.434	1,8	17.967	3,3	18.327	1,8	18.762	3,5
	Ø	15.883	3,3	15.471	3,3	15.299	4,2	15.125	3,8	14.692	4,9
10 Hz	2-2	17.120	1,1	16.933	3,7	15.814	3,4	16.037	4,0	15.662	5,2
	2-5	17.671	3,1	17.576	3,6	16.975	2,7	17.172	4,2	16.718	5,1
	3-5	17.665	1,3	18.563	4,2	19.488	1,7	19.861	2,3	21.190	3,0
	Ø	17.485	1,8	17.691	3,8	17.426	2,6	17.690	3,5	17.857	4,4

Tab. A-0-39: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L205 KRC

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW								
		[MPa]	[°]								
10 Hz	1-2	27.249	5,1	23.535	7,3	20.612	11,7	16.769	14,1	10.671	22,9
	1-3	29.213	4,7	23.958	8,4	20.078	10,7	17.118	14,0	9.667	24,0
	1-4	26.671	5,4	24.123	9,0	19.281	9,6	15.944	14,5	8.593	25,5
	Ø	27.711	5,0	23.872	8,2	19.990	10,7	16.611	14,2	9.644	24,1
5 Hz	1-2	26.381	5,0	21.336	7,9	19.086	13,0	15.503	15,8	8.843	24,3
	1-3	27.121	4,8	22.676	10,3	19.025	11,0	15.830	15,4	7.952	26,9
	1-4	25.992	6,2	21.555	10,1	17.416	11,9	14.243	16,9	7.223	25,7
	Ø	26.498	5,3	21.856	9,5	18.509	12,0	15.192	16,0	8.006	25,6
3 Hz	1-2	25.762	5,4	20.192	9,7	17.472	12,2	14.421	16,8	7.642	25,6
	1-3	25.940	4,9	21.376	9,8	17.703	11,9	14.186	17,7	6.882	27,1
	1-4	25.121	6,5	20.432	10,6	16.329	14,5	12.795	17,5	6.150	27,8
	Ø	25.608	5,6	20.667	10,1	17.168	12,9	13.801	17,4	6.891	26,8
1 Hz	1-2	24.215	6,0	18.576	10,3	15.118	14,2	11.694	19,4	5.602	29,7
	1-3	25.129	6,1	18.705	11,8	14.709	16,0	11.705	21,0	4.796	30,4
	1-4	23.664	7,2	17.870	12,2	13.683	15,8	10.194	21,8	4.316	32,5
	Ø	24.336	6,4	18.384	11,5	14.503	15,3	11.198	20,7	4.904	30,9
0,3 Hz	1-2	22.336	7,7	15.595	11,7	12.429	17,9	8.991	23,4	3.803	32,3
	1-3	23.153	7,2	16.101	14,2	12.005	17,9	9.029	24,2	3.422	32,7
	1-4	21.497	7,8	15.401	14,2	11.278	18,6	7.766	25,9	2.855	34,5
	Ø	22.329	7,6	15.699	13,4	11.904	18,1	8.595	24,5	3.360	33,1
0,1 Hz	1-2	20.516	8,6	13.409	15,4	10.230	20,4	6.638	27,4	2.556	34,6
	1-3	21.191	8,2	13.560	15,2	9.700	21,0	6.510	28,4	2.268	34,8
	1-4	19.568	10,6	12.991	17,1	9.237	22,0	5.635	28,6	1.852	36,1
	Ø	20.425	9,1	13.320	15,9	9.722	21,1	6.261	28,1	2.225	35,2
10 Hz	1-2	28.641	5,7	22.722	7,2	20.989	9,9	16.939	14,6	9.642	23,0
	1-3	28.973	3,3	24.034	7,8	20.681	11,2	17.257	14,5	9.699	22,3
	1-4	27.594	5,1	23.515	9,1	19.289	11,6	15.466	14,8	8.690	24,2
	Ø	28.403	4,7	23.424	8,0	20.320	10,9	16.554	14,6	9.344	23,2

Tab. A-0-40: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L3073 DS

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW
		[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]
10 Hz	1-7	26.146	3,0	21.443	5,3	19.258	7,8	17.627	9,0	12.567	15,4
	2-6	23.309	3,3	19.164	6,6	17.770	6,6	16.232	9,2	11.739	15,4
	3-6	24.647	3,5	21.210	4,9	18.823	7,9	17.332	9,5	11.314	16,8
	Ø	24.701	3,3	20.606	5,6	18.617	7,4	17.064	9,2	11.873	15,9
5 Hz	1-7	25.168	3,9	20.203	6,6	18.231	7,7	16.575	9,2	10.971	17,6
	2-6	23.163	4,2	18.455	5,9	16.817	7,5	15.131	10,4	10.155	17,2
	3-6	24.022	3,9	20.375	5,8	17.682	7,5	15.776	11,2	10.240	18,2
	Ø	24.118	4,0	19.678	6,1	17.576	7,6	15.827	10,3	10.455	17,7
3 Hz	1-7	25.057	4,4	19.671	6,6	17.162	8,8	15.223	11,3	9.481	19,1
	2-6	22.293	3,5	17.742	6,6	16.046	8,1	14.241	10,4	9.331	18,1
	3-6	23.668	4,9	19.361	6,6	16.718	8,0	14.958	12,0	9.204	19,4
	Ø	23.673	4,3	18.925	6,6	16.642	8,3	14.807	11,2	9.339	18,9
1 Hz	1-7	23.887	4,8	18.180	7,8	15.725	9,9	13.348	13,2	7.726	21,7
	2-6	21.432	4,6	16.458	8,5	14.163	9,7	12.542	13,2	7.601	20,5
	3-6	22.114	4,6	17.923	8,0	14.952	10,4	12.794	13,9	7.357	22,5
	Ø	22.478	4,7	17.520	8,1	14.947	10,0	12.895	13,5	7.561	21,5
0,3 Hz	1-7	22.189	4,0	16.104	8,8	13.485	12,2	11.247	15,5	6.230	23,9
	2-6	20.192	5,3	14.586	9,5	12.717	11,9	10.494	15,5	5.859	23,4
	3-6	21.266	5,7	16.262	8,6	13.049	13,1	10.634	16,0	5.495	25,8
	Ø	21.216	5,0	15.651	8,9	13.084	12,4	10.791	15,7	5.861	24,4
0,1 Hz	1-7	21.119	4,9	14.772	10,0	11.722	13,7	9.726	17,7	4.798	27,1
	2-6	19.027	5,8	13.102	10,9	11.039	13,5	8.814	17,5	4.415	26,9
	3-6	19.903	6,3	14.411	10,6	11.249	14,6	8.658	19,2	3.972	29,0
	Ø	20.017	5,7	14.095	10,5	11.337	13,9	9.066	18,2	4.395	27,7
10 Hz	1-7	26.054	4,3	20.946	5,7	18.920	7,6	17.035	9,4	12.576	15,9
	2-6	23.309	3,5	19.069	5,2	17.391	7,6	15.870	10,1	11.673	15,2
	3-6	24.709	4,1	21.207	5,8	18.696	7,6	16.708	10,4	11.521	17,4
	Ø	24.691	4,0	20.408	5,6	18.336	7,6	16.538	10,0	11.924	16,2

Tab. A-0-41: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L3073 TS

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW								
		[MPa]	[°]								
10 Hz	2-2	15.234	2,9	12.404	2,4	12.591	7,4	11.521	4,9	10.978	6,0
	3-3	6.030	4,9	4.942	4,4	5.210	6,0	5.748	5,7	4.626	7,2
	3-4	12.897	3,1	13.042	4,6	11.061	4,5	13.647	5,2	11.773	2,7
	Ø	11.387	3,6	10.129	3,8	9.621	6,0	10.305	5,3	9.126	5,3
5 Hz	2-2	15.526	4,0	11.909	5,2	12.753	5,2	11.416	4,9	10.489	5,4
	3-3	5.769	5,0	4.890	5,3	5.056	5,2	5.496	6,8	4.325	7,9
	3-4	12.720	2,3	11.942	3,6	10.628	2,2	12.739	5,8	11.382	3,1
	Ø	11.338	3,8	9.580	4,7	9.479	4,2	9.884	5,8	8.732	5,5
3 Hz	2-2	14.168	3,8	12.024	4,7	11.812	5,8	11.098	6,2	9.650	6,2
	3-3	5.559	5,1	4.770	5,0	4.888	4,7	5.411	5,1	4.116	8,6
	3-4	12.723	1,2	11.881	5,0	10.490	3,3	13.643	2,3	11.026	1,3
	Ø	10.817	3,3	9.558	4,9	9.063	4,6	10.051	4,5	8.264	5,4
1 Hz	2-2	13.989	4,6	11.166	6,7	10.997	5,4	10.158	7,7	9.157	5,9
	3-3	5.332	6,2	4.924	5,7	4.902	5,6	5.158	4,8	3.891	8,9
	3-4	12.181	3,0	10.681	5,1	10.581	6,4	12.669	3,9	11.243	6,0
	Ø	10.501	4,6	8.924	5,8	8.827	5,8	9.328	5,5	8.097	7,0
0,3 Hz	2-2	13.353	3,7	10.579	8,6	10.759	3,7	10.255	5,6	8.805	8,3
	3-3	5.253	6,7	4.454	5,8	4.622	5,8	4.818	5,3	3.685	9,1
	3-4	12.150	3,4	11.321	3,0	10.426	5,7	12.311	4,6	10.323	3,9
	Ø	10.252	4,6	8.785	5,8	8.603	5,0	9.128	5,2	7.604	7,1
0,1 Hz	2-2	13.121	5,1	9.801	5,4	9.376	5,6	8.935	7,6	7.806	7,4
	3-3	4.989	5,9	4.350	6,1	4.584	6,1	4.613	6,2	3.441	8,7
	3-4	11.902	3,6	10.543	6,4	10.391	3,7	11.582	1,9	9.955	6,5
	Ø	10.004	4,9	8.231	5,9	8.117	5,1	8.377	5,2	7.068	7,5
10 Hz	2-2	14.609	3,6	12.457	6,8	12.306	6,7	11.913	7,2	10.613	7,6
	3-3	5.260	5,3	4.891	4,9	5.232	5,8	5.760	5,5	4.403	6,2
	3-4	12.659	2,1	10.956	2,1	11.071	3,8	13.010	4,6	11.563	4,0
	Ø	10.843	3,7	9.435	4,6	9.536	5,4	10.228	5,8	8.860	5,9

Tab. A-0-42: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L3073 KRC

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz		E-Modul	PW								
		[MPa]	[°]								
10 Hz	1-6	22.883	5,4	20.012	8,1	15.123	11,9	12.484	16,4	7.679	25,4
	1-7	22.731	4,1	18.485	8,3	15.824	12,4	11.948	17,0	6.223	26,8
	3-5	23.665	5,8	19.970	8,7	16.551	12,0	13.814	16,6	7.671	24,1
	Ø	23.093	5,1	19.489	8,4	15.833	12,1	12.749	16,7	7.191	25,4
5 Hz	1-6	22.703	6,6	18.577	9,2	13.449	12,6	11.216	17,3	5.967	27,1
	1-7	21.994	7,1	17.420	10,3	13.733	14,3	10.616	18,9	5.365	27,1
	3-5	23.117	5,2	18.118	9,9	15.086	12,5	12.181	18,4	6.429	25,7
	Ø	22.605	6,3	18.038	9,8	14.089	13,1	11.338	18,2	5.920	26,7
3 Hz	1-6	21.881	5,5	17.179	11,2	12.777	14,7	10.189	19,3	5.207	26,8
	1-7	21.229	6,9	16.389	10,7	12.736	15,1	9.599	20,3	4.663	28,7
	3-5	22.336	4,3	17.511	10,9	14.209	13,3	10.925	18,8	5.597	27,3
	Ø	21.815	5,6	17.026	10,9	13.241	14,4	10.237	19,5	5.156	27,6
1 Hz	1-6	20.493	7,3	15.271	11,5	10.611	17,0	8.386	21,9	3.756	30,7
	1-7	19.298	6,7	14.095	12,7	10.378	18,4	7.352	24,2	3.159	32,4
	3-5	20.800	6,8	14.843	12,6	11.665	16,0	8.594	22,8	3.964	32,2
	Ø	20.197	6,9	14.736	12,2	10.885	17,1	8.111	23,0	3.626	31,7
0,3 Hz	1-6	18.485	8,0	-	-	8.416	18,1	6.167	24,1	2.579	32,6
	1-7	18.281	8,6	11.971	15,9	8.445	21,2	5.448	26,6	2.171	33,9
	3-5	19.006	8,8	12.715	14,1	9.479	18,2	6.567	25,8	2.597	33,9
	Ø	18.591	8,5	12.343	15,0	8.780	19,2	6.060	25,5	2.449	33,5
0,1 Hz	1-6	16.950	10,6	10.895	16,6	6.821	22,4	4.614	27,5	1.660	35,2
	1-7	16.616	11,0	9.695	18,2	6.450	23,7	3.881	30,7	1.454	36,2
	3-5	-	-	10.787	16,8	7.486	21,3	4.950	27,9	1.701	35,4
	Ø	16.783	10,8	10.459	17,2	6.919	22,5	4.482	28,7	1.605	35,6
10 Hz	1-6	24.886	3,9	19.412	8,4	14.974	12,0	12.551	15,0	7.085	23,8
	1-7	23.627	6,0	18.459	9,7	15.245	12,0	11.667	17,8	6.683	26,0
	3-5	24.849	3,7	-	-	16.631	12,0	13.370	16,7	7.543	23,9
	Ø	24.454	4,5	18.936	9,1	15.616	12,0	12.529	16,5	7.104	24,5

Tab. A-0-43: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L3400 DS

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW								
		[MPa]	[°]								
10 Hz	1-6	26.775	4,1	21.086	6,4	20.803	8,2	16.377	11,2	10.935	19,6
	1-7	28.737	5,9	22.268	9,0	18.942	9,6	16.866	13,3	10.138	21,7
	3-5	27.599	3,4	22.093	7,5	20.336	9,6	18.933	12,0	10.967	21,0
	Ø	27.704	4,4	21.816	7,6	20.027	9,1	17.392	12,2	10.680	20,8
5 Hz	1-6	25.728	2,3	19.928	7,7	19.459	8,9	15.371	12,1	9.631	21,1
	1-7	26.916	4,2	20.212	9,3	17.683	11,0	17.083	16,1	8.635	23,4
	3-5	27.065	3,6	20.654	8,4	19.171	10,3	17.331	13,8	9.263	22,4
	Ø	26.570	3,4	20.265	8,5	18.771	10,1	16.595	14,0	9.176	22,3
3 Hz	1-6	25.429	3,8	18.876	7,8	18.769	10,1	14.322	13,1	8.516	22,2
	1-7	26.276	5,2	19.084	9,3	16.643	11,6	14.498	15,3	7.454	25,5
	3-5	26.524	3,2	19.682	9,8	17.625	11,4	16.018	15,0	8.073	23,7
	Ø	26.076	4,1	19.214	9,0	17.679	11,0	14.946	14,5	8.014	23,8
1 Hz	1-6	24.474	4,0	15.304	11,9	16.367	11,9	12.017	15,2	6.434	26,5
	1-7	25.081	4,3	17.169	11,9	14.308	14,4	11.577	18,0	5.412	28,9
	3-5	25.586	4,8	17.555	10,4	15.547	13,2	13.070	17,1	6.046	27,8
	Ø	25.047	4,3	16.676	11,4	15.407	13,2	12.221	16,8	5.964	27,7
0,3 Hz	1-6	23.330	5,2	15.408	11,3	13.924	13,2	9.660	18,6	4.689	29,1
	1-7	23.009	5,7	14.485	13,3	12.031	17,0	9.103	21,6	3.702	32,3
	3-5	24.162	5,4	14.903	13,1	13.066	16,3	10.257	19,9	4.178	31,1
	Ø	23.500	5,4	14.932	12,6	13.007	15,5	9.673	20,0	4.190	30,8
0,1 Hz	1-6	21.771	6,0	13.274	13,0	11.596	15,7	7.655	21,3	3.270	33,3
	1-7	21.174	6,9	12.125	15,7	9.789	19,4	7.071	25,4	2.566	35,2
	3-5	22.672	6,0	12.743	14,9	10.951	18,3	7.907	24,2	2.882	35,0
	Ø	21.872	6,3	12.714	14,5	10.779	17,8	7.544	23,6	2.906	34,5
10 Hz	1-6	27.157	1,8	21.444	6,6	20.360	10,6	16.546	11,9	10.800	18,7
	1-7	27.201	11,1	20.828	7,4	19.558	10,5	16.645	13,6	10.070	21,4
	3-5	28.328	4,1	22.134	6,9	20.494	9,8	18.440	13,3	10.715	20,4
	Ø	27.562	5,7	21.469	6,9	20.137	10,3	17.210	12,9	10.528	20,2

Tab. A-0-44: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L3400 BS

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW	E-Modul	PW
		[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]
10 Hz	2-5	18.732	4,0	15.513	6,1	13.776	8,0	12.118	9,1	8.923	17,6
	2-6	16.935	4,4	15.726	6,1	13.672	9,3	11.680	11,0	9.243	16,5
	3-2	21.200	3,7	17.616	6,2	15.441	8,7	13.754	10,8	9.471	17,7
	Ø	18.956	4,0	16.285	6,1	14.296	8,7	12.517	10,3	9.212	17,3
5 Hz	2-5	18.058	4,0	14.732	7,7	13.016	9,6	11.450	11,5	7.622	19,1
	2-6	16.643	5,1	14.985	6,6	12.606	9,3	11.163	10,8	7.993	18,4
	3-2	20.424	3,3	17.322	6,6	14.958	9,5	12.375	12,2	8.357	19,4
	Ø	18.375	4,2	15.680	7,0	13.527	9,5	11.662	11,5	7.991	19,0
3 Hz	2-5	17.644	5,8	14.415	7,4	12.084	10,0	10.512	12,8	6.916	20,5
	2-6	16.459	5,3	14.338	7,1	11.904	9,9	10.378	11,3	7.307	18,4
	3-2	20.103	4,4	16.635	6,3	13.959	10,7	11.520	12,9	7.136	20,6
	Ø	18.069	5,2	15.129	6,9	12.649	10,2	10.803	12,3	7.120	19,8
1 Hz	2-5	16.796	5,3	13.070	8,3	10.761	11,5	9.241	14,2	5.354	23,2
	2-6	15.459	5,9	13.280	8,1	10.461	11,6	8.840	14,1	5.798	22,1
	3-2	18.766	5,5	15.103	7,6	12.153	11,7	10.146	15,4	5.639	24,1
	Ø	17.007	5,6	13.818	8,0	11.125	11,6	9.409	14,6	5.597	23,1
0,3 Hz	2-5	16.180	5,7	11.595	9,7	9.114	13,8	7.449	16,6	3.972	27,7
	2-6	14.596	5,8	11.707	9,5	8.961	13,7	7.417	16,3	4.257	25,5
	3-2	17.552	5,4	13.650	9,3	10.440	14,1	8.222	18,0	4.109	27,5
	Ø	16.109	5,7	12.317	9,5	9.505	13,9	7.696	16,9	4.112	26,9
0,1 Hz	2-5	14.717	6,7	10.207	11,4	7.849	15,0	6.134	18,9	2.879	30,9
	2-6	13.539	6,8	10.598	10,8	7.782	14,6	5.744	19,9	3.168	28,7
	3-2	15.961	7,0	11.770	10,3	8.725	15,4	6.697	20,5	3.057	29,9
	Ø	14.739	6,8	10.858	10,8	8.119	15,0	6.192	19,8	3.035	29,8
10 Hz	2-5	18.900	4,0	15.556	6,4	13.690	9,1	12.415	10,7	8.851	17,9
	2-6	17.102	4,4	15.947	6,2	12.608	9,5	11.437	10,5	8.880	15,7
	3-2	20.409	2,9	17.474	6,5	15.129	8,4	13.208	11,7	9.446	17,5
	Ø	18.804	3,8	16.326	6,4	13.809	9,0	12.353	11,0	9.059	17,0

Tab. A-0-45: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L3400 TS

Temperatur:		-10 °C		0 °C		5 °C		10 °C		20 °C	
Prüf- frequenz	PK	E-Modul	PW								
		[MPa]	[°]								
10 Hz	1-2	10.267	2,2	8.403	3,4	9.128	2,7	9.343	3,5	10.436	4,0
	1-3	14.142	4,0	13.305	3,8	13.011	2,5	13.951	3,1	14.426	2,7
	1-4	11.323	1,7	9.854	2,4	9.361	2,9	11.082	4,1	11.651	4,4
	Ø	11.911	2,6	10.521	3,2	10.500	2,7	11.458	3,6	12.171	3,7
5 Hz	1-2	10.212	1,5	7.951	3,0	8.908	3,1	9.127	3,2	10.052	3,3
	1-3	14.209	3,5	12.792	3,9	12.844	1,7	13.119	2,1	13.949	3,2
	1-4	11.050	1,9	9.703	2,8	9.192	2,7	11.007	2,7	11.403	2,7
	Ø	11.823	2,3	10.148	3,2	10.315	2,5	11.084	2,7	11.802	3,1
3 Hz	1-2	10.207	2,1	7.807	3,4	8.721	3,4	8.938	3,3	9.966	3,9
	1-3	13.625	3,6	12.450	3,9	12.745	2,4	13.138	3,2	13.704	3,1
	1-4	10.955	2,7	9.757	2,3	9.067	2,4	10.582	3,2	11.359	3,3
	Ø	11.596	2,8	10.005	3,2	10.178	2,8	10.886	3,2	11.676	3,4
1 Hz	1-2	10.052	2,0	7.435	3,6	8.614	3,2	8.787	3,3	9.493	4,3
	1-3	13.435	1,3	12.491	2,6	12.345	3,7	12.919	2,7	13.319	2,1
	1-4	10.451	2,4	9.332	3,4	8.769	2,1	10.391	2,7	10.810	2,7
	Ø	11.313	1,9	9.753	3,2	9.909	3,0	10.699	2,9	11.207	3,0
0,3 Hz	1-2	10.025	2,1	7.074	4,1	8.263	2,8	8.477	3,6	9.140	3,4
	1-3	13.480	4,1	12.161	2,7	11.578	3,0	12.311	4,8	12.879	3,3
	1-4	10.552	3,4	9.185	2,8	8.640	3,6	10.190	3,2	10.603	3,7
	Ø	11.352	3,2	9.474	3,2	9.494	3,1	10.326	3,9	10.874	3,5
0,1 Hz	1-2	9.404	3,0	6.905	3,4	8.128	3,2	8.182	4,0	8.829	4,4
	1-3	12.790	3,7	11.513	3,0	11.468	2,5	12.120	3,4	12.444	2,7
	1-4	10.263	1,8	8.848	3,2	8.338	3,4	9.772	3,4	10.379	3,1
	Ø	10.819	2,8	9.089	3,2	9.311	3,0	10.025	3,6	10.551	3,4
10 Hz	1-2	10.275	2,8	7.323	4,4	8.811	2,7	8.963	3,9	9.987	3,2
	1-3	14.247	3,8	12.866	3,1	13.218	3,5	14.021	2,8	14.218	2,8
	1-4	10.998	2,6	9.603	3,7	9.311	4,3	10.962	2,8	11.483	2,6
	Ø	11.840	3,1	9.931	3,7	10.447	3,5	11.315	3,2	11.896	2,9

Tab. A-0-46: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchung gemäß TP an der Asphaltdeckschicht der L3400 KRC

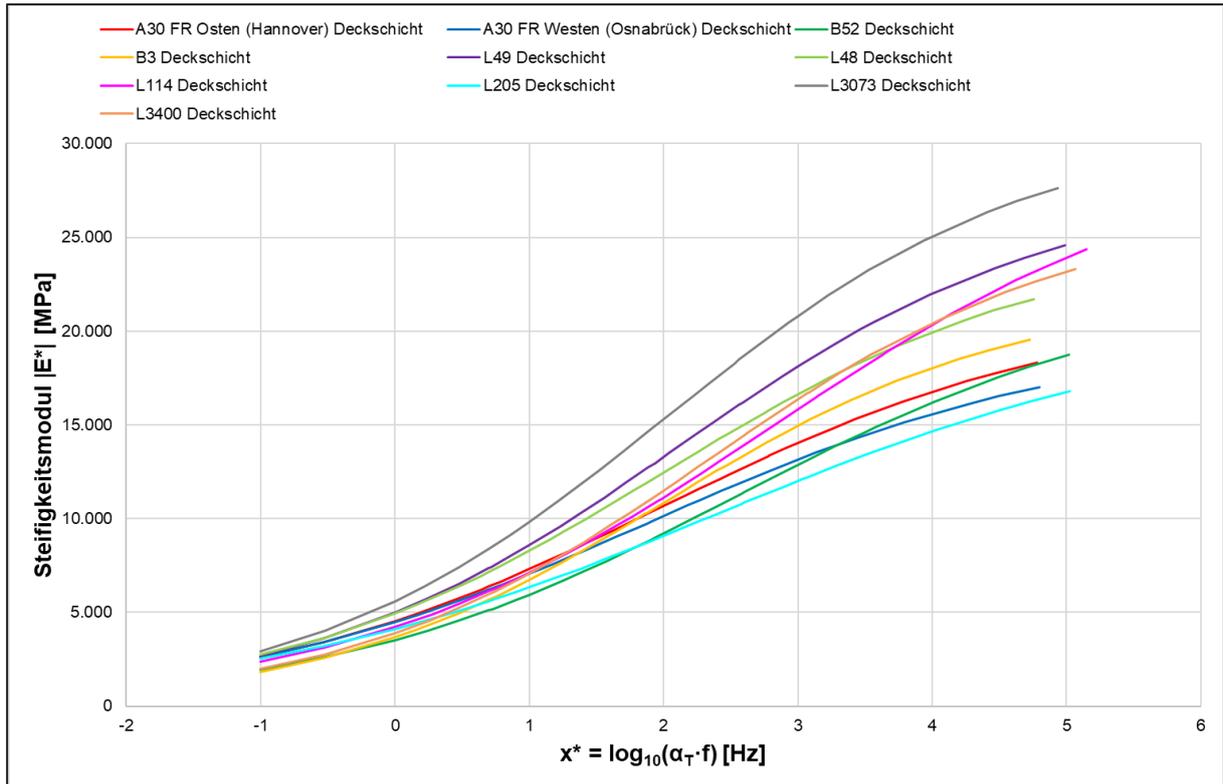


Bild A-0-1: Alle Hauptkurven der Asphaltdeckschichten der untersuchten Praxisstrecken

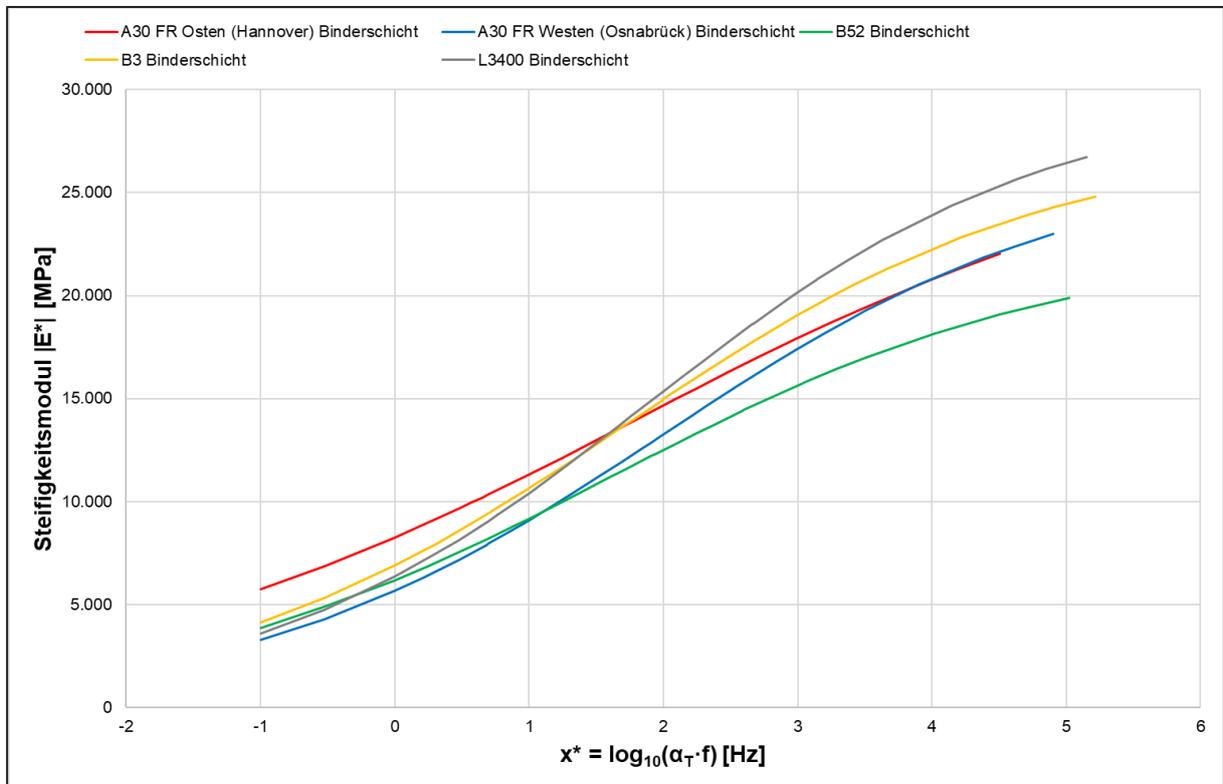


Bild A-0-2: Alle Hauptkurven der Asphaltbinderschichten der untersuchten Praxisstrecken

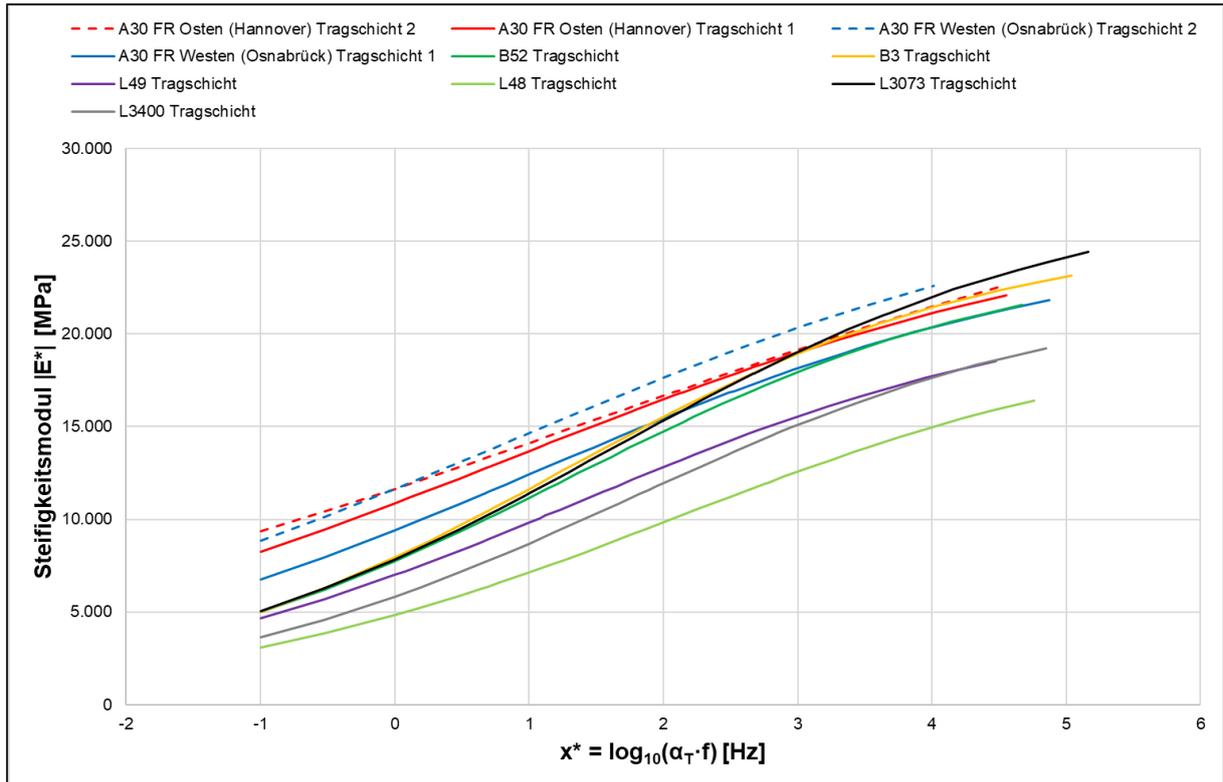


Bild A-0-3: Alle Hauptkurven der Asphalttragschichten der untersuchten Praxisstrecken

Probe	Durchmesser D [mm]	Höhe H [mm]	Raum-dichte ρ_b [g/cm ³]	elastische Anfangs-dehnung $\epsilon_{el,anf}$ [%]	Unter-spannung σ_u [MPa]	Ober-spannung σ_o [MPa]	Steifig-keits-modul E* [MPa]	Last-wechsel-zahl N_{Makro} [-]
133	149,5	90,2	2,005	0,169	0,038	0,842	9031	603
141	149,7	90,3	2,022	0,117	0,038	0,515	7753	22910
131	149,5	89,8	2,054	0,107	0,038	0,693	11614	49001
123	149,8	90,2	2,073	0,170	0,039	0,892	9505	1204
146	149,7	89,8	2,079	0,176	0,039	0,791	8126	1524
114	149,7	90,6	2,121	0,092	0,039	0,793	15546	292156
112	149,7	90,5	2,123	0,096	0,040	0,791	14797	856008
111	150,1	90,1	2,244	0,163	0,038	0,644	7045	344
142	149,7	90,1	1,974	0,208	0,037	0,395	3263	21515

Tab. A-0-47: Tabellarischer Zusammenstellung der Ergebnisse gemäß TP Asphalt-StB Teil 24 der A30 FR West (KRC)

Probe	Durchmesser D [mm]	Höhe H [mm]	Raum-dichte ρ_b [g/cm ³]	elastische Anfangs-dehnung $\epsilon_{el,anf}$ [‰]	Unter-spannung σ_u [MPa]	Ober-spannung σ_o [MPa]	Steifig-keits-modul IE^*I [MPa]	Last-wechsel-zahl N_{Makro} [-]
H1-4-1	149,7	60,4	2,293	0,166	0,038	0,792	8630	657
H1-4-2	149,7	61,1	2,316	0,055	0,037	0,396	12413	165506
H1-4-5	149,7	60,0	2,326	0,058	0,037	0,475	14177	33610
H1-4-4	149,7	60,9	2,332	0,077	0,038	0,653	15107	19648
H1-2-4	149,8	59,3	2,340	0,053	0,037	0,426	14035	129610
H1-1-4	149,7	58,7	2,354	0,138	0,038	0,791	10352	1022
H1-1-1	149,7	60,8	2,367	0,084	0,037	0,593	12523	9707
H1-2-2	149,7	59,3	2,371	0,066	0,037	0,475	12559	62003
H1-1-3	149,7	60,5	2,378	0,130	0,039	0,841	11741	2539
H1-1-2	149,7	60,8	2,627	0,087	0,038	0,643	13262	8298

Tab. A-0-48: Tabellarischer Zusammenstellung der Ergebnisse gemäß TP Asphalt-StB Teil 24 der A30 FR West (HMA)

Probe	Durchmesser D [mm]	Höhe H [mm]	Raum-dichte ρ_b [g/cm ³]	elastische Anfangs-dehnung $\epsilon_{el,anf}$ [‰]	Unter-spannung σ_u [MPa]	Ober-spannung σ_o [MPa]	Steifig-keits-modul IE^*I [MPa]	Last-wechsel-zahl N_{Makro} [-]
226	149,9	89,5	1,832	0,216	0,036	0,198	1422	2264
235n	149,9	88,4	1,920	0,158	0,038	0,644	7248	475
215	149,9	86,8	1,930	0,079	0,036	0,396	8578	154658
216n	149,9	88,5	1,949	0,306	0,038	0,693	4054	450
245	149,9	90,6	1,954	0,129	0,037	0,444	5978	6703
242	149,9	89,2	1,968	0,132	0,038	0,544	7255	1240
214n	149,9	88,7	2,026	0,094	0,038	0,443	8160	8791
235	149,9	90,8	1,894	0,117	0,036	0,396	5014	640580
233	149,9	91,1	1,897	0,135	0,036	0,218	2547	450000
223	149,9	86,9	1,948	0,274	0,039	0,693	4530	106

Tab. A-0-49: Tabellarischer Zusammenstellung der Ergebnisse gemäß TP Asphalt-StB Teil 24 der A30 FR Ost (KRC)

Probe	Durchmesser D [mm]	Höhe H [mm]	Raum-dichte ρ_b [g/cm ³]	elastische Anfangs-dehnung $\epsilon_{el,anf}$ [‰]	Unter-spannung σ_u [MPa]	Ober-spannung σ_o [MPa]	Steifig-keits-modul IE^*I [MPa]	Last-wechsel-zahl N_{Makro} [-]
H2-2-1	149,9	60,0	2,235	0,138	0,036	0,693	9007	384
H2-2-2	149,9	59,3	2,254	0,068	0,037	0,446	11348	65055
H2-3-1	149,9	59,1	2,305	0,104	0,037	0,692	11993	5737
H2-3-2	149,9	57,6	2,306	0,079	0,037	0,594	13324	13079
H2-3-5	149,9	60,7	2,317	0,122	0,039	0,841	12514	4085
H2-4-5	149,9	57,6	2,335	0,067	0,037	0,544	14353	40652
H2-3-4	149,9	61,6	2,335	0,061	0,037	0,515	14737	90655
H2-4-1	149,9	59,0	2,346	0,058	0,037	0,495	14965	243060
H2-1-6	149,9	60,7	2,349	0,137	0,036	0,891	11851	1033
H2-1-3	149,9	59,5	2,365	0,086	0,037	0,594	12267	12193

Tab. A-0-50: Tabellarischer Zusammenstellung der Ergebnisse gemäß TP Asphalt-StB Teil 24 der A30 FR Ost (HMA)

Probe	Durchmesser D [mm]	Höhe H [mm]	Raum-dichte ρ_b [g/cm ³]	elastische Anfangs-dehnung $\epsilon_{el,anf}$ [‰]	Unter-spannung σ_u [MPa]	Ober-spannung σ_o [MPa]	Steifig-keits-modul IE^*I [MPa]	Last-wechsel-zahl N_{Makro} [-]
31a	149,1	89,0	2,077	0,154	0,037	0,347	3826	5950
32d	149,7	91,1	2,090	0,130	0,038	0,545	7400	9605
32c	149,7	90,8	2,098	0,103	0,036	0,346	5728	822003
31d	149,1	91,0	2,109	0,205	0,036	0,346	2865	1750
33d	150,1	90,8	2,182	0,186	0,039	0,792	7684	3839
34d	149,7	90,6	2,185	0,098	0,040	0,891	16448	504710
33c	150,1	90,8	2,199	0,117	0,038	0,644	9792	45409
32e	149,7	86,3	2,096	0,172	0,038	0,594	6142	6418
33e	150,1	90,7	2,211	0,192	0,039	0,892	8430	1491
31b	149,1	90,6	2,142	0,113	0,036	0,278	4036	839008
34b	149,7	91,1	2,204	0,146	0,060	1,274	15777	2200
34c	149,7	91,2	2,232	0,123	0,040	0,942	13892	9306

Tab. A-0-51: Tabellarischer Zusammenstellung der Ergebnisse gemäß TP Asphalt-StB Teil 24 der B52

Probe	Durchmesser D [mm]	Höhe H [mm]	Raum-dichte ρ_b [g/cm ³]	elastische Anfangs-dehnung $\epsilon_{el,anf}$ [‰]	Unter-spannung σ_u [MPa]	Ober-spannung σ_o [MPa]	Steifig-keits-modul IE^*I [MPa]	Last-wechsel-zahl N_{Makro} [-]
K-4-3-1	149,5	90,1	2,170	0,133	0,037	0,445	5798	3203
K-4-2-6	149,7	93,0	2,185	0,195	0,040	0,813	7511	1335
K-4-3-2	149,7	91,0	2,199	0,094	0,037	0,396	7244	33958
K-4-2-1	149,6	90,8	2,205	0,163	0,039	0,792	8769	1223
K-4-2-3	149,7	89,4	2,214	0,074	0,037	0,396	9257	93054
K-4-1-2	149,8	93,4	2,265	0,107	0,037	0,445	7204	19201
K-4-1-1	149,9	89,2	2,278	0,073	0,037	0,495	11857	123404
K-4-1-6	149,8	91,0	2,310	0,209	0,039	0,742	6397	1724
K-4-1-5	149,7	89,0	2,368	0,127	0,038	0,792	11223	22467
K-4-1-7	149,7	89,9	2,396	0,100	0,040	0,992	18127	15254
K-4-2-7	149,8	89,1	2,293	0,118	0,040	0,892	13729	17907
K-4-3-3	149,7	89,7	2,232	0,146	0,037	0,327	3752	71165
K-4-3-7	149,6	88,7	2,187	0,074	0,036	0,297	6674	861952

Tab. A-0-52: Tabellarischer Zusammenstellung der Ergebnisse gemäß TP Asphalt-StB Teil 24 der B3

Probe	Durchmesser D [mm]	Höhe H [mm]	Raum-dichte ρ_b [g/cm ³]	elastische Anfangs-dehnung $\epsilon_{el,anf}$ [‰]	Unter-spannung σ_u [MPa]	Ober-spannung σ_o [MPa]	Steifig-keits-modul IE^*I [MPa]	Last-wechsel-zahl N_{Makro} [-]
K-5-3-e	148,2	90,5	2,239	0,126	0,039	0,912	13158	3191
K-5-1-b	149	89,1	2,255	0,126	0,038	0,594	8369	617
K-5-3-f	148,2	89,9	2,282	0,089	0,037	0,544	10730	157203
K-5-3-c	148,2	90,7	2,305	0,117	0,038	0,693	10643	486255
K-5-1-b	148,2	90,8	2,309	0,091	0,038	0,594	14669	5951
K-5-2-c	149,1	90,4	2,310	0,162	0,039	0,892	9968	3000
K-5-2-d	149,1	89,9	2,314	0,125	0,038	0,822	11885	1050

Tab. A-0-53: Tabellarischer Zusammenstellung der Ergebnisse gemäß TP Asphalt-StB Teil 24 der L49

Probe	Durchmesser D [mm]	Höhe H [mm]	Raum-dichte ρ_b [g/cm ³]	elastische Anfangs-dehnung $\epsilon_{el,anf}$ [‰]	Unter-spannung σ_u [MPa]	Ober-spannung σ_o [MPa]	Steifig-keits-modul IE^*I [MPa]	Last-wechsel-zahl N_{Makro} [-]
62d	149,5	89,2	2,146	0,137	0,038	0,693	9035	1105
63c	150,3	86,0	2,152	0,119	0,037	0,595	8866	15348
63a	149,9	89,4	2,183	0,129	0,039	0,742	10351	1926
63f	149,9	89,6	2,198	0,107	0,037	0,615	10249	69975
63b	149,9	88,3	2,201	0,140	0,038	0,694	8893	711
63e	149,9	89,1	2,237	0,086	0,038	0,594	12232	158551
62f	149,5	89,6	2,135	0,135	0,038	0,713	9436	3060
63g	150,3	85,3	2,178	0,123	0,038	0,663	9618	5020
61c	150,3	90,3	2,070	0,095	0,037	0,327	5787	999156
62b	149,5	90	2,148	0,085	0,038	0,544	11328	67454
61g	150,3	85,9	2,046	0,123	0,037	0,445	6291	298323

Tab. A-0-54: Tabellarischer Zusammenstellung der Ergebnisse gemäß TP Asphalt-StB Teil 24 der L48

Probe	Durchmesser D [mm]	Höhe H [mm]	Raum-dichte ρ_b [g/cm ³]	elastische Anfangs-dehnung $\epsilon_{el,anf}$ [‰]	Unter-spannung σ_u [MPa]	Ober-spannung σ_o [MPa]	Steifig-keits-modul IE^*I [MPa]	Last-wechsel-zahl N_{Makro} [-]
K-7-3-b	148,9	90,6	1,958	0,260	0,036	0,248	1545	1764
K-7-2-d	148,9	90,2	2,017	0,169	0,036	0,248	2375	36684
K-7-3-c	148,9	85,0	2,023	0,097	0,036	0,159	2394	640350
K-7-3-e	148,9	89,6	2,025	0,290	0,036	0,297	1707	3429
K-7-1-a	148,9	89,8	2,106	0,095	0,036	0,199	3243	206802
K-7-1-c	148,9	86,0	2,121	0,177	0,036	0,297	2791	2066
K-7-1-d	148,9	89,5	2,128	0,242	0,036	0,198	1275	742
K-7-1-b	148,9	89,7	2,132	0,070	0,036	0,198	4421	999150
K-7-2-f	148,9	90,1	2,052	0,151	0,037	0,347	3887	5859
K-7-3-g	148,9	85,7	2,072	0,220	0,037	0,347	2665	2504
K-7-1-g	148,9	89,5	2,215	0,117	0,036	0,277	3921	6804

Tab. A-0-55: Tabellarischer Zusammenstellung der Ergebnisse gemäß TP Asphalt-StB Teil 24 der L114

Probe	Durchmesser D [mm]	Höhe H [mm]	Raum-dichte ρ_b [g/cm ³]	elastische Anfangs-dehnung $\epsilon_{el,anf}$ [%]	Unter-spannung σ_u [MPa]	Ober-spannung σ_o [MPa]	Steifig-keits-modul IE*I [MPa]	Last-wechsel-zahl N_{Makro} [-]
K-8-3-2	149,4	89,8	2,123	0,136	0,038	0,993	13281	788
K-8-3-3	149,3	90,7	2,150	0,122	0,039	0,842	12470	1503
K-8-2-3	149,5	90,9	2,158	0,073	0,039	0,691	16942	79750
K-8-3-1	149,3	89,2	2,159	0,091	0,039	0,843	16815	3180
K-8-1-1-II	149,2	89,1	2,165	0,116	0,038	0,743	11469	1360
K-8-2-6-II	149,4	90,0	2,211	0,068	0,038	0,714	18784	165853
K-8-1-3-II	149,2	88,7	2,226	0,100	0,040	0,992	17986	5398
K-8-1-2-I	149,2	88,2	2,244	0,049	0,038	0,595	21323	747950
K-8-2-7	149,3	89,9	2,205	0,103	0,039	0,873	15413	9808
K-8-1-5-II	149,2	89,2	2,244	0,062	0,038	0,613	17497	998058
K-8-2-7	149,3	89,9	2,205	0,103	0,039	0,873	15413	9808
K-8-3-7-II	149,3	89,4	2,237	0,104	0,042	1,192	20958	287

Tab. A-0-56: Tabellarischer Zusammenstellung der Ergebnisse gemäß TP Asphalt-StB Teil 24 der L205

Probe	Durchmesser D [mm]	Höhe H [mm]	Raum-dichte ρ_b [g/cm ³]	elastische Anfangs-dehnung $\epsilon_{el,anf}$ [%]	Unter-spannung σ_u [MPa]	Ober-spannung σ_o [MPa]	Steifig-keits-modul IE*I [MPa]	Last-wechsel-zahl N_{Makro} [-]
K-9-2-5	149,7	88,9	2,236	0,123	0,038	0,544	7829	3486
K-9-1-1	149,8	92,3	2,245	0,096	0,038	0,594	10947	252900
K-9-2-1-II	149,8	88,6	2,247	0,109	0,038	0,663	10845	10339
K-9-3-5	150,0	89,4	2,254	0,095	0,036	0,248	4204	110000
K-9-2-6-II	149,8	90,7	2,257	0,125	0,038	0,544	7659	7266
K-9-1-4	149,7	87,8	2,280	0,131	0,038	0,693	9514	804
K-9-3-1	149,6	89,8	2,308	0,092	0,037	0,317	5791	998052
K-9-1-7	149,8	89,8	2,257	0,105	0,038	0,692	11747	88693
K-9-2-7-II	149,8	90,1	2,260	0,114	0,039	0,712	11234	14277
K-9-3-7	150,1	89,0	2,349	0,126	0,038	0,743	10583	4175
K-9-1-3	149,6	89,5	2,266	0,100	0,038	0,693	12359	25160

Tab. A-0-57: Tabellarischer Zusammenstellung der Ergebnisse gemäß TP Asphalt-StB Teil 24 der L3073

Probe	Durchmesser D [mm]	Höhe H [mm]	Raum-dichte ρ_b [g/cm ³]	elastische Anfangs-dehnung $\epsilon_{el,anf}$ [%]	Unter-spannung σ_u [MPa]	Ober-spannung σ_o [MPa]	Steifig-keits-modul IE^*I [MPa]	Last-wechsel-zahl N_{Makro} [-]
K-10-3-6	150,1	87,9	2,192	0,086	0,037	0,495	10020	51857
K-10-2-3	149,9	89,5	2,203	0,058	0,036	0,258	7287	597160
K-10-2-1	149,6	90,2	2,215	0,108	0,037	0,406	6452	1316
K-10-3-2	149,8	89,4	2,219	0,082	0,038	0,563	12201	21958
K-10-3-4-II	149,7	88,7	2,240	0,118	0,038	0,643	9753	1837
K-10-2-2	149,6	89,8	2,249	0,093	0,037	0,445	8323	7072
K-10-3-1	149,9	88,8	2,276	0,127	0,040	0,892	12667	1405
K-10-1-6-II	150,1	89,8	2,337	0,105	0,040	0,892	15387	21761
K-10-1-7-II	149,7	92,0	2,407	0,086	0,038	0,743	15442	27905
K-10-2-7	150,0	89,3	2,201	0,068	0,037	0,416	10552	254210
K-10-3-7-II	150,1	87,7	2,288	0,072	0,038	0,643	15831	128908
K-10-3-3-II	149,8	90,6	2,250	0,073	0,038	0,544	13169	697409

Tab. A-0-58: Tabellarischer Zusammenstellung der Ergebnisse gemäß TP Asphalt-StB Teil 24 der L3400

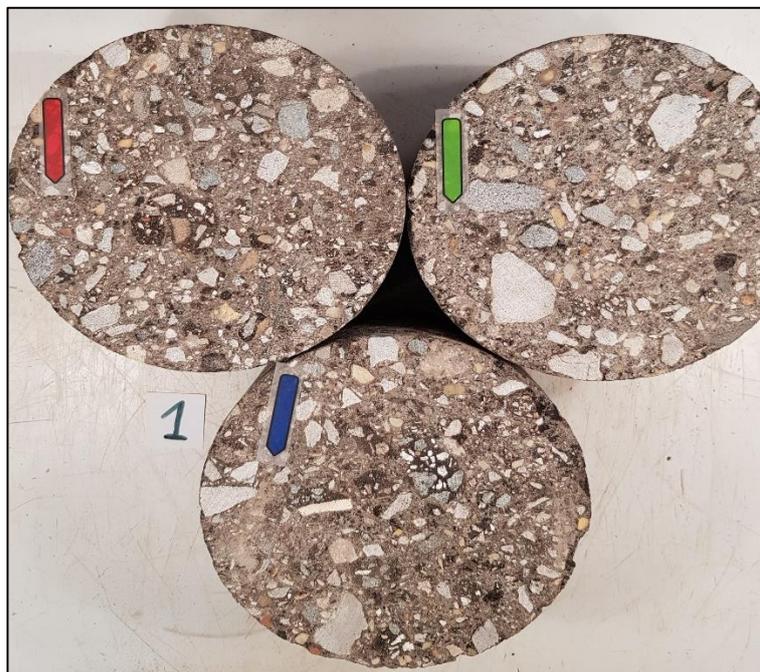


Bild A-0-4: Bildaufnahmen der ausgewerteten Bohrkern-Schnittflächen der A30 FR West



Bild A-0-5: Bildaufnahmen der ausgewerteten Bohrkern-Schnittflächen der A30 FR Ost



Bild A-0-6: Bildaufnahmen der ausgewerteten Bohrkern-Schnittflächen der B52



Bild A-0-7: Bildaufnahmen der ausgewerteten Bohrkern-Schnittflächen der B3



Bild A-0-8: Bildaufnahmen der ausgewerteten Bohrkern-Schnittflächen der L49



Bild A-0-9: Bildaufnahmen der ausgewerteten Bohrkern-Schnittflächen der L48

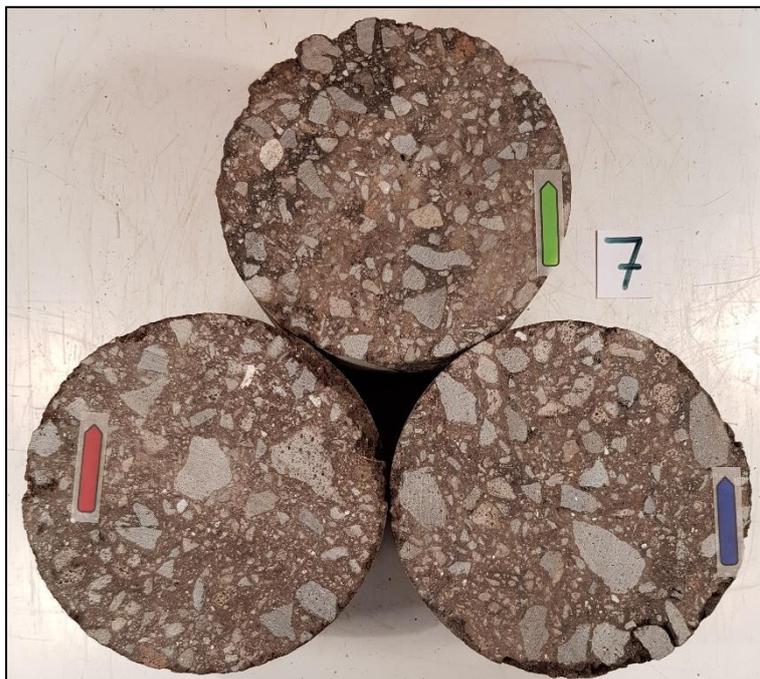


Bild A-0-10: Bildaufnahmen der ausgewerteten Bohrkern-Schnittflächen der L114



Bild A-0-11: Bildaufnahmen der ausgewerteten Bohrkern-Schnittflächen der L205

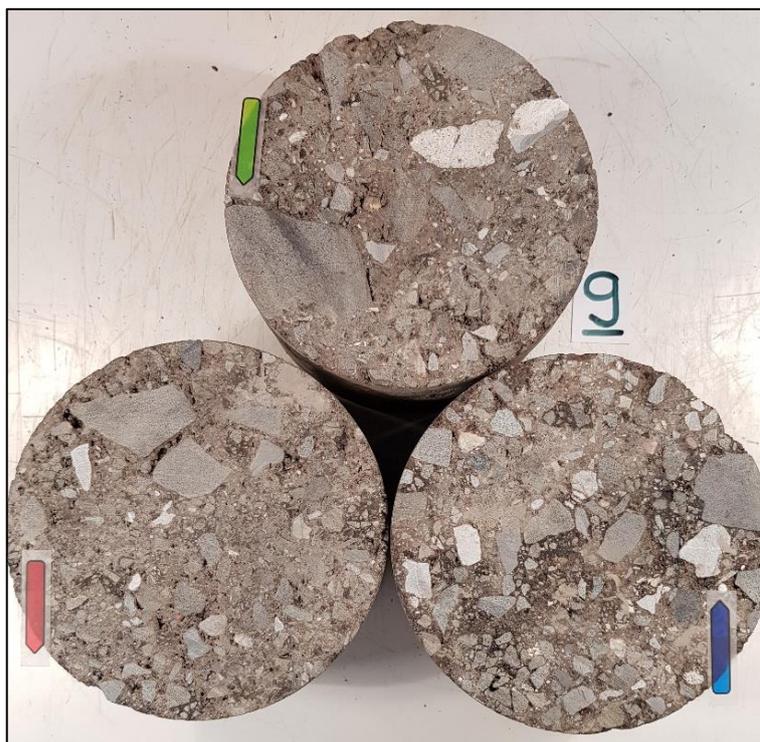


Bild A-0-12: Bildaufnahmen der ausgewerteten Bohrkern-Schnittflächen der L3073



Bild A-0-13: Bildaufnahmen der ausgewerteten Bohrkern-Schnittflächen der L3400

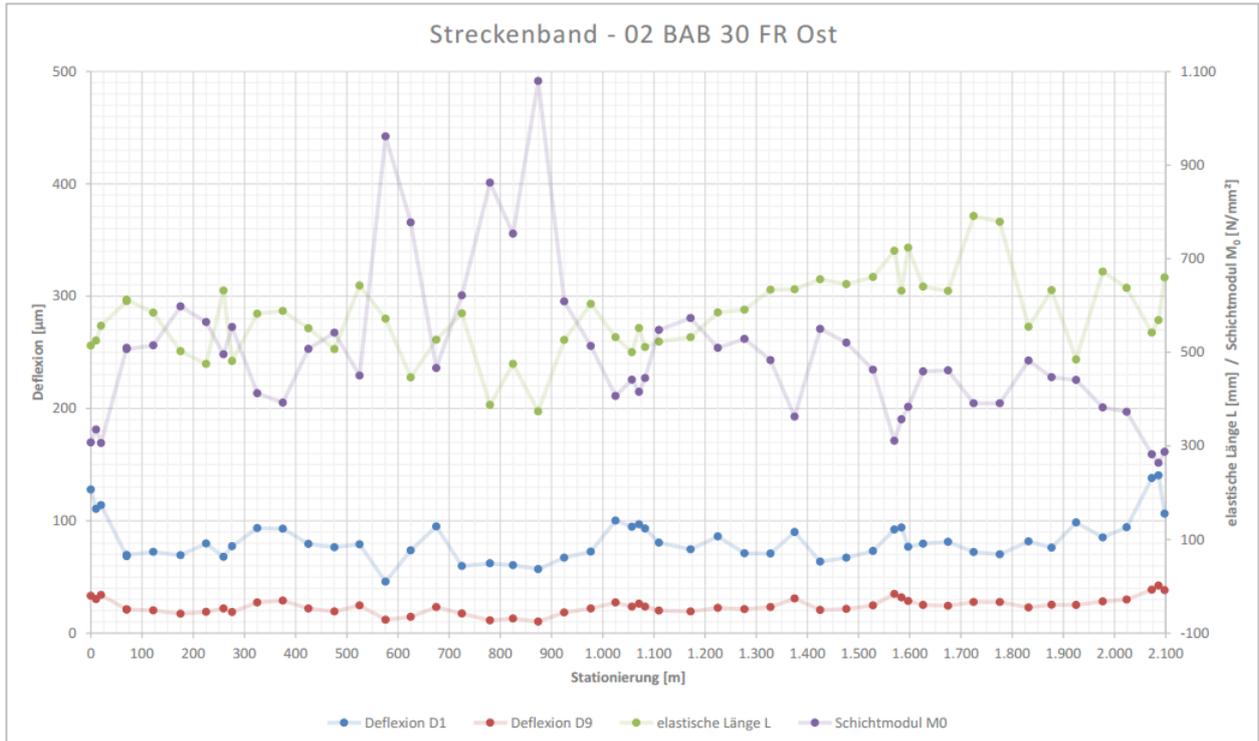


Bild A-0-14: Ergebnisse der FWD-Messungen der A30, BA IV; FR Osten

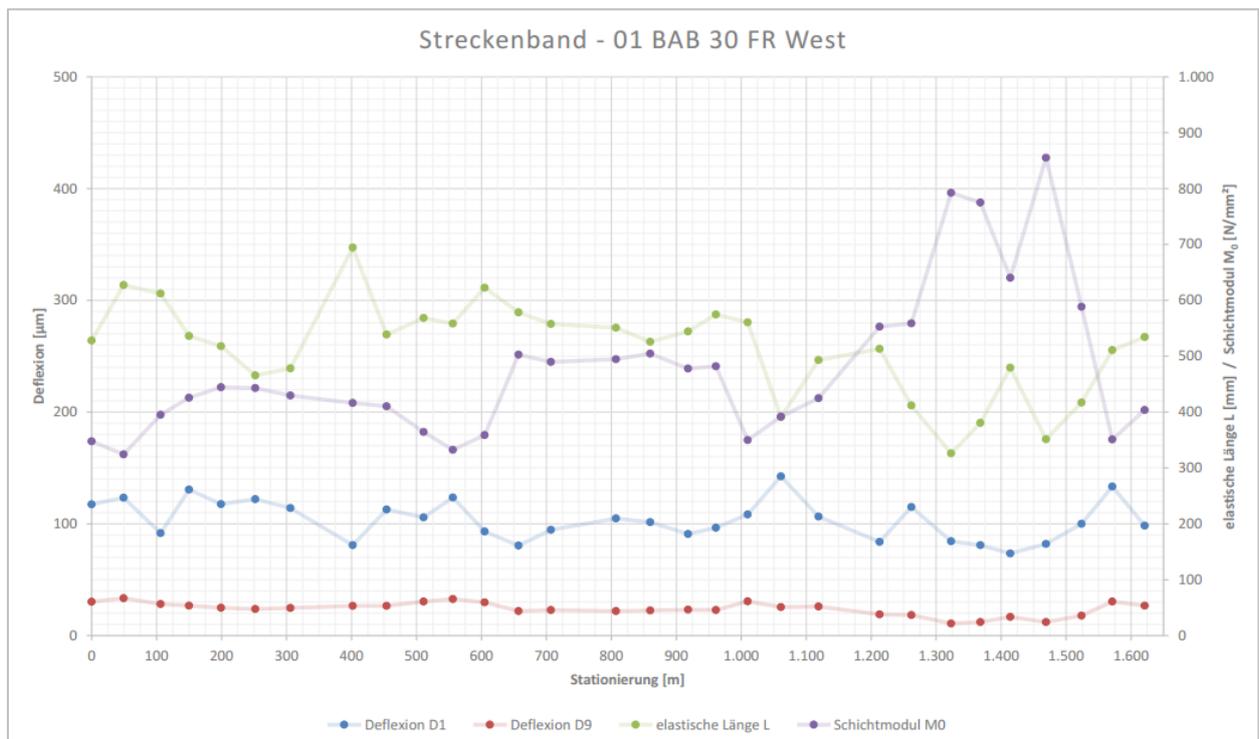


Bild A-0-15: Ergebnisse der FWD-Messungen der A30, BA IV; FR West

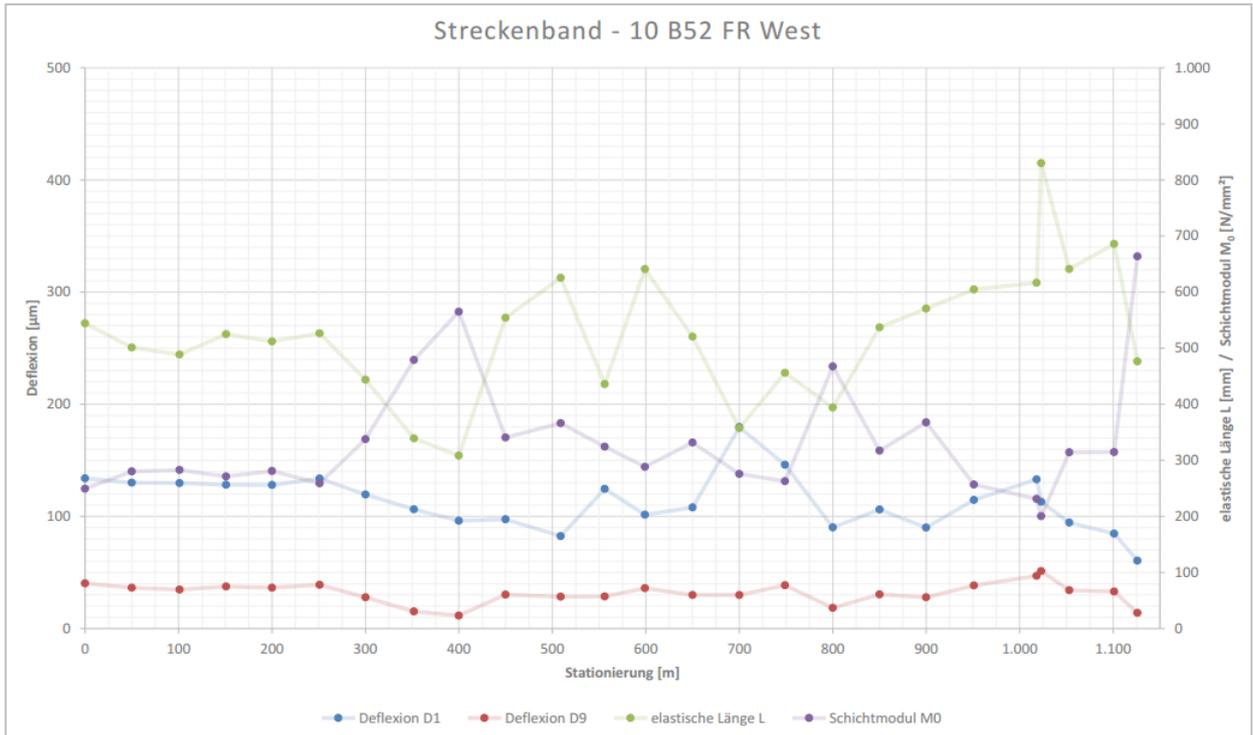


Bild A-0-16: Ergebnisse der FWD-Messungen der B52, Trier - Ehrang

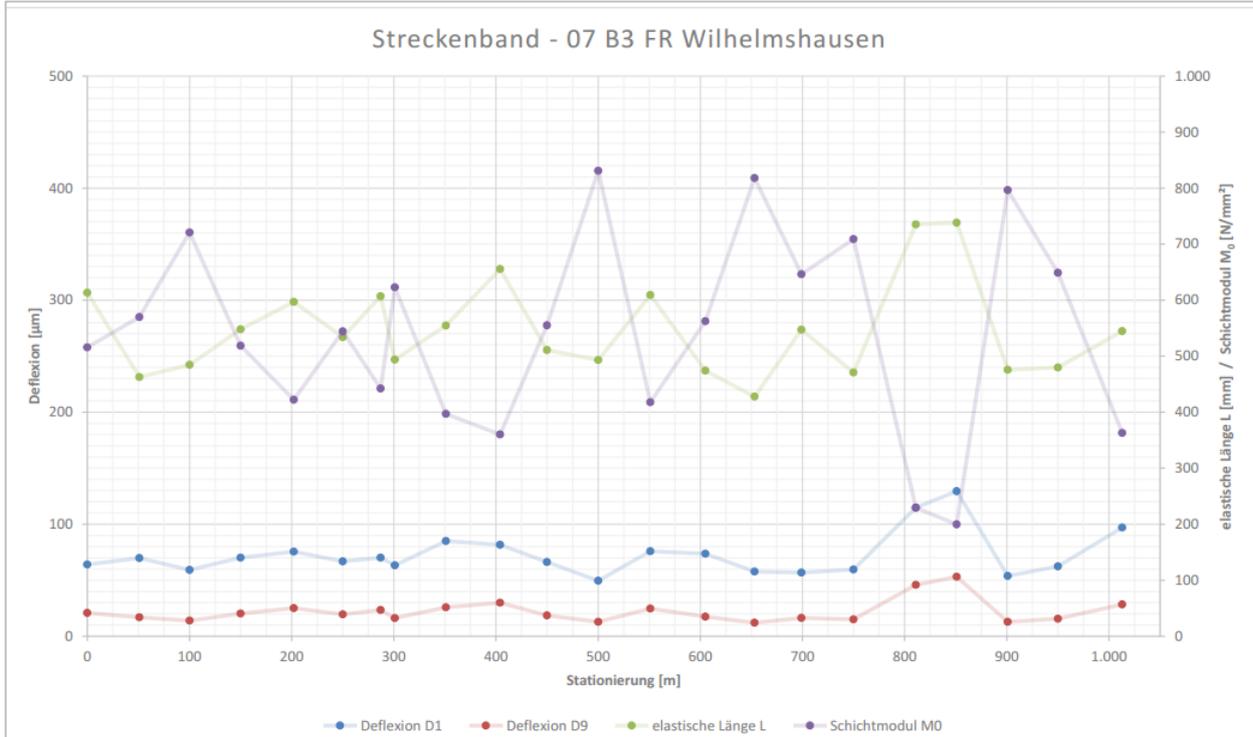


Bild A-0-17: Ergebnisse der FWD-Messungen der B3, Wahnhausen - Wilhelmshausen

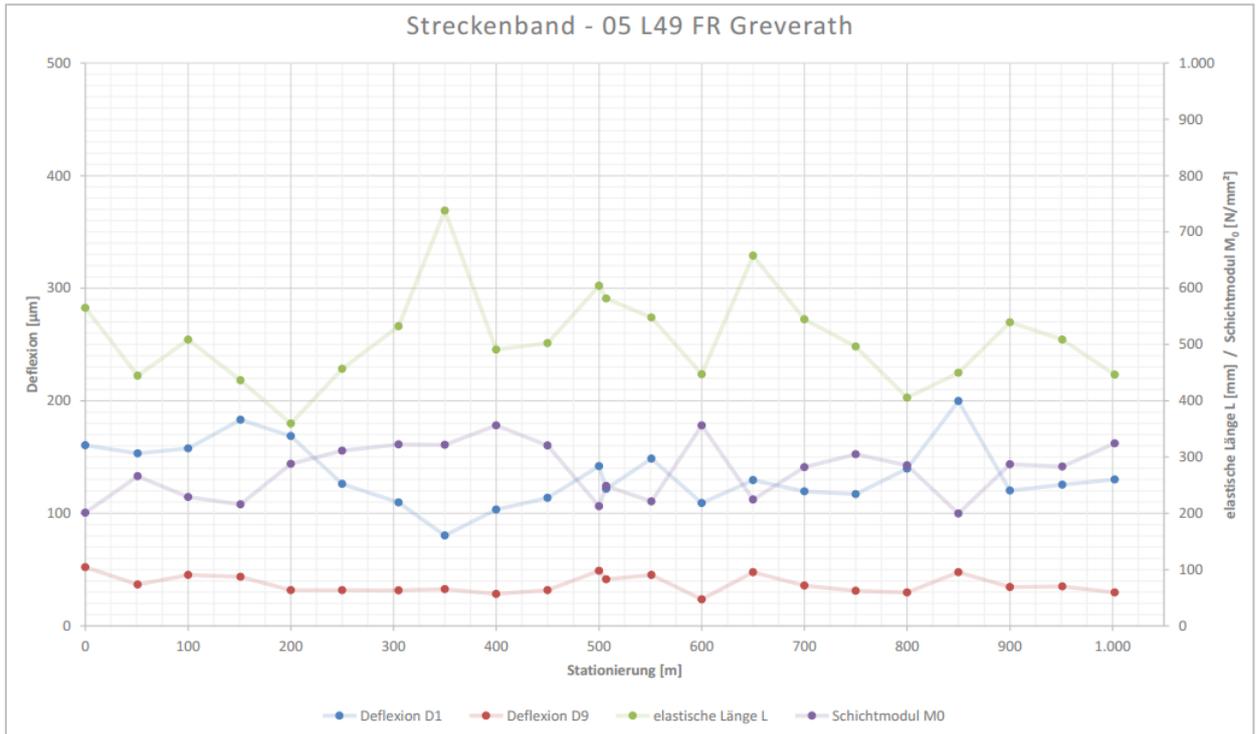


Bild A-0-18: Ergebnisse der FWD-Messungen der L49, Niersbach – Heidweiler

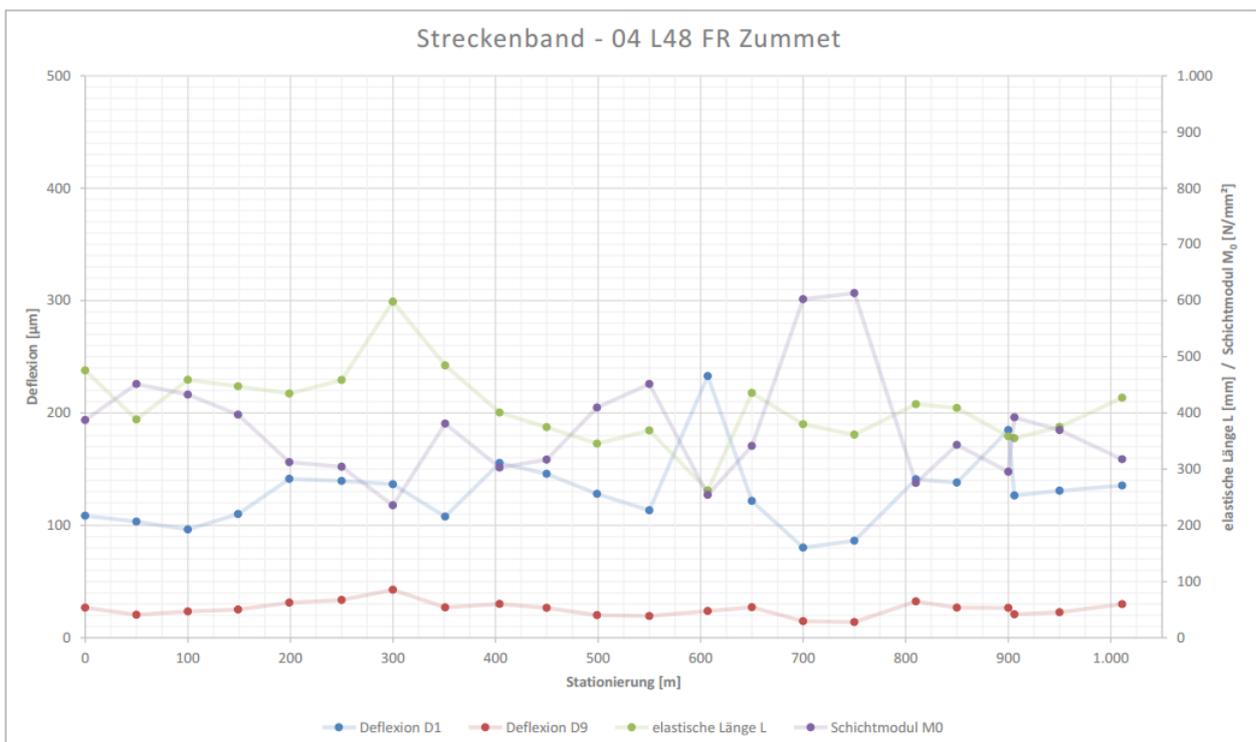


Bild A-0-19: Ergebnisse der FWD-Messungen der L48, Leiwen – Zummet

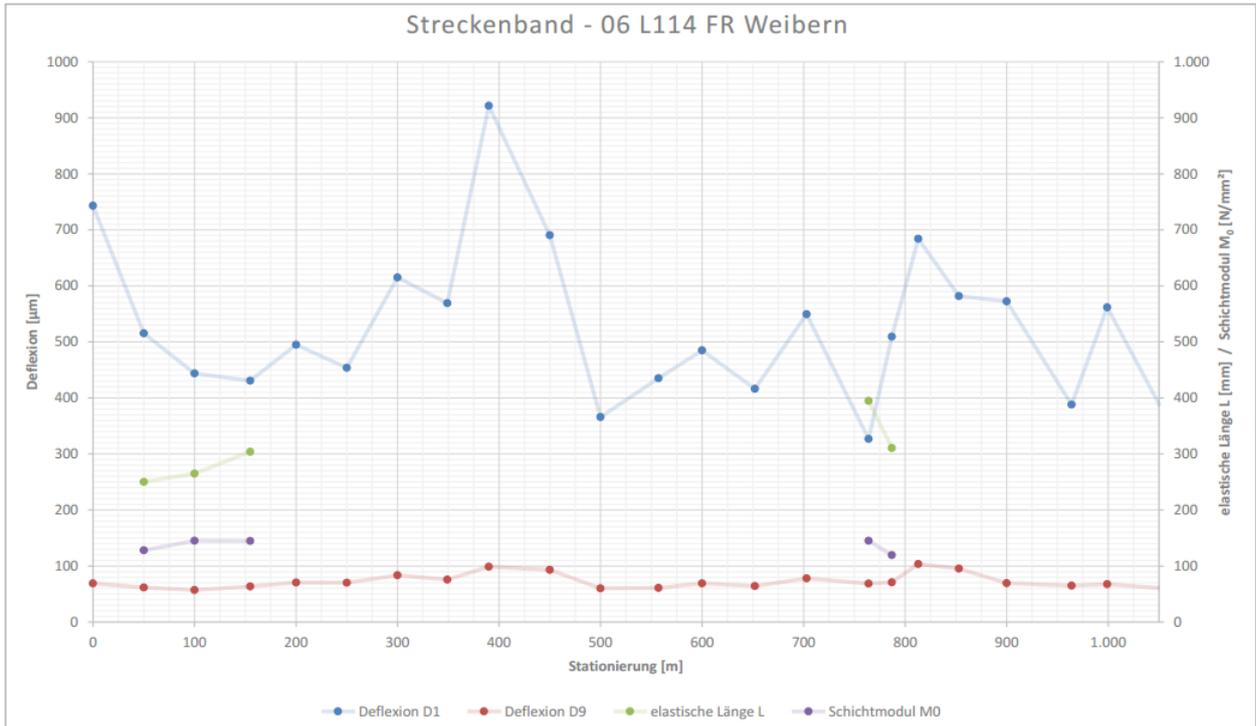


Bild A-0-20: Ergebnisse der FWD-Messungen der L 114, Weibern - Wehr

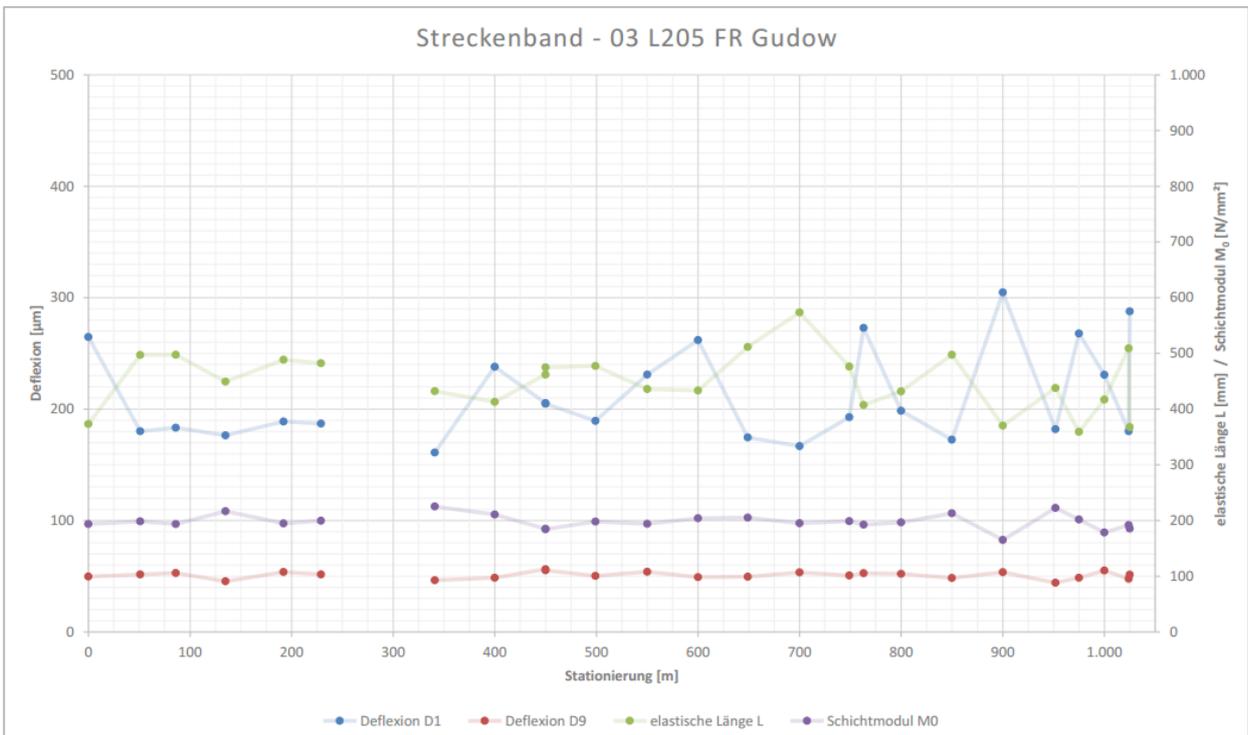


Bild A-0-21: Ergebnisse der FWD-Messungen der L205, Gudow-Büchen

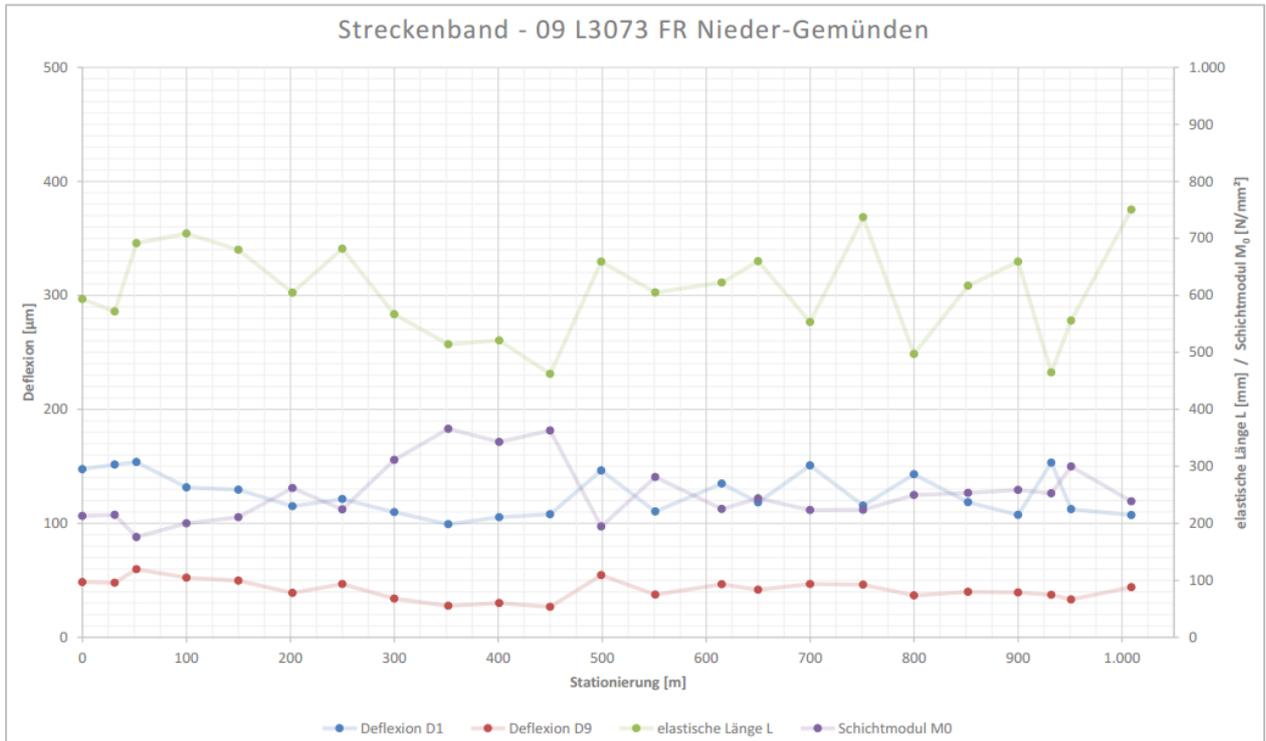


Bild A-0-22: Ergebnisse der FWD-Messungen der L3073, Elpenrod - Nieder-Gemünden

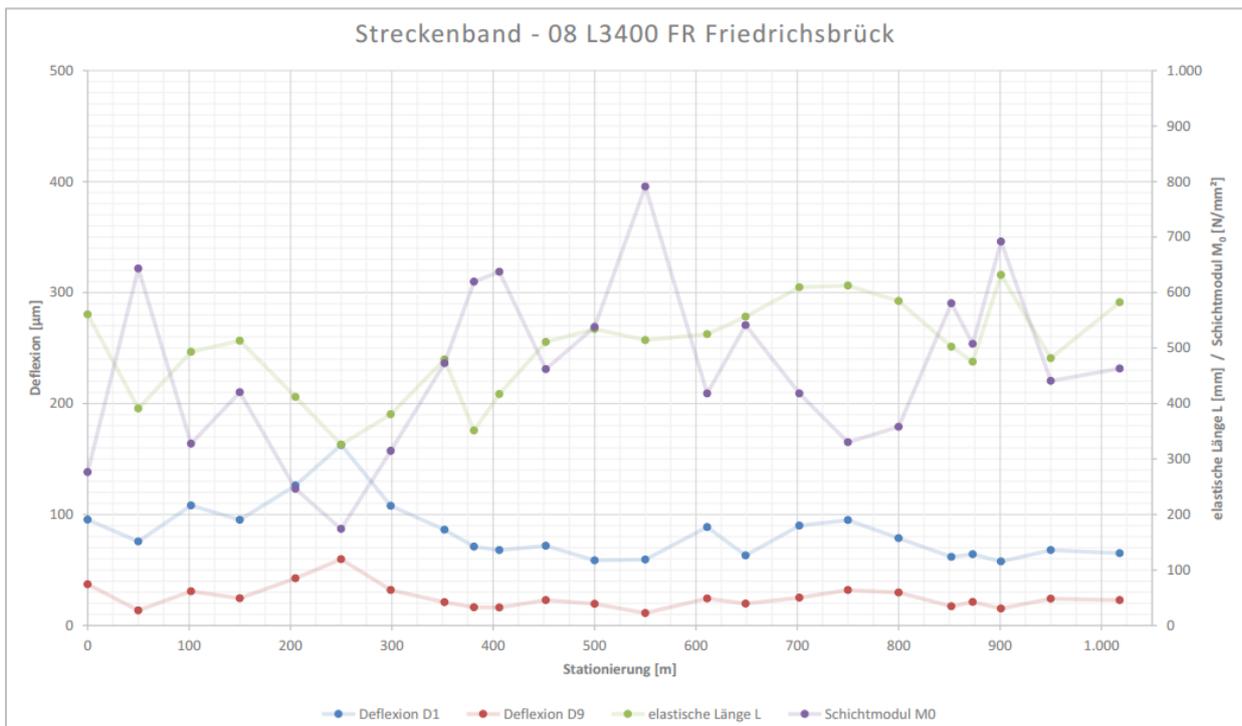


Bild A-0-23: Ergebnisse der FWD-Messungen der L3400, Helsa - Friedrichsbrück

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen Unterreihe „Straßenwesen“

2023

S 192: Analyse von Auswertungs- und Bewertungsverfahren für die Anwendung des Traffic-Speed-Deflectometers auf Asphaltbefestigungen

Čičković, Bald, Middendorf

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 193: Materialsteifigkeit des Straßenbetons im Verlauf des Ermüdungsprozesses

Bolz, Wellner, Lindner, Schulze

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 194: Aspekte der Dimensionierung und Konstruktion zur

Sicherstellung der Verfügbarkeit bei temporärer Nutzung von Randbereichen von Bundesfernstraßen

Wellner, Sommer, Clauß, Spanier, Villaret, Tschernack, Villaret, Gebhardt

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 195: Verfahren zur Bildung und Beschreibung zustandshomogener Abschnitte und repräsentativer Kennzahlen für das Erhaltungsmanagement

Berthold, Großmann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 196: Eignung konventioneller Prüfverfahren für Recycling-Baustoffe und industrielle Nebenprodukte im Erdbau

Huber, Birle, Heyer, Demond

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 197: Lösungsstudie zur Umsetzung der ASR A5.2 im Kontext mit der Herstellung von Betonfahrbahndecken

Tschernack, Gebhardt, Villaret

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 198: Erprobung von Betonfertigteilen für den Neubau und die grundhafte Erneuerung auf dem duraBASt

Alte-Teigeler, Britz, Kispert, Riwe, Tschernack, Villaret, Lüdike

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 199: Identifizierung relevanter Klimaparameter und Bestimmung von Schwellenwerten zu gravitativen Massenbewegungen

Steffen, Brendel

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 200: Einfluss der Betonzusammensetzung von Straßenbetonen auf die Spaltzugfestigkeit unter Berücksichtigung einer ausreichenden Dauerhaftigkeit

Schnellenbach-Held, Eßer, Johansen

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 201: Textilbewehrter Oberbeton als Basis für eine fugenlose Oberfläche von Betonfahrbahnen

Breitenbücher, Neumann, Curbach, Baumgärtel

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

2024

S 202: Schaffung von Grundlagen für eine einheitliche Erfassung der Maschinenrohdaten im Seitenkraftmessverfahren – Weiterentwicklung der SKM-Griffigkeitsmessung durch Berücksichtigung der gemessenen Vertikalkraft

Jürgen Schmidt, Julius Schmidt, Johannes Schmidt, Müller

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 203: Prognose der Wirtschaftlichkeit von Betonfahrbahndecken – Bauweisen RStO/RDO

Beckenbauer, Gebhardt, Riwe, Tschernack, Villaret

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 204: Überprüfung der Auswirkungen der Anwendung der Filterregeln für Geokunststoffe des M Geok E

Moormann, Liebl, Schleeh

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 205: Alternative Verfahren zur Beurteilung Offenporiger Asphaltdeckschichten hinsichtlich Hohlraumgehalt und Verdichtungszustand

Roos, Plachkova-Dzhurova, Schwarzmann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 206: Weiterentwicklung der rechnerischen Dimensionierung von Asphaltstraßen zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit, Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

Neumann, Oeser, Reinhardt, Blasl, Canon Falla, Wellner, Kayser

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

2025

S 207: Optimierung der Kompositbauweise (Durchgehend bewehrte Betondecke mit dünner flexibler Deckschicht)

Freudenstein, Dirnhöfer, Eger

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 208: Verifizierung der Mischgutkonzeptionierung kaltgebundener bitumen-dominanter Tragschichten und Ableitung von Dimensionierungsgrundsätzen

Radenberg, Staschkiewicz, Vienenkötter, Mollenhauer, Winter

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG

Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen · Tel.+(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-48

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.



ISSN 0943-9323
ISBN 978-3-95606-811-9
<https://doi.org/10.60850/bericht-s208>

www.bast.de