

Einfluss der Temperatur auf die Probekörperherstellung bei Niedrigtemperatur- gussasphalt im Rahmen der Kontrollprüfungen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 113

bast

Einfluss der Temperatur auf die Probekörperherstellung bei Niedrigtemperatur- gussasphalt im Rahmen der Kontrollprüfungen

von

Kurt Schellenberg

IFM Dr. Schellenberg Rottweil GmbH

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 113

bast

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 Öffentlichkeitsarbeit.

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

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE 07.0244/2011/ERB:
Einfluss der Temperatur auf die Probekörperherstellung bei
Niedrigtemperaturgussasphalt im Rahmen der Kontrollprüfungen

Fachbetreuung
Franz Bommert

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag
Fachverlag NW in der
Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9323
ISBN 978-3-95606-342-8

Bergisch Gladbach, November 2017

Kurzfassung – Abstract

Einfluss der Temperatur auf die Probekörperherstellung bei Niedrigtemperaturgussasphalt im Rahmen der Kontrollprüfung

An insgesamt zehn willkürlich ausgewählten Baustellen wurden Gussasphaltproben für Kontrollprüfungen entnommen. Gleichzeitig wurden unmittelbar auf den Baustellen Probekörper hergestellt, deren Mischgut nicht – wie bei Kontrollprüfungen üblich – ein zweites Mal erhitzt werden musste.

Die Untersuchungen ergaben, dass keine signifikanten Unterschiede bei den statischen und dynamischen Eindringtiefen vorliegen, wenn die Gussasphalttemperaturen bei der Herstellung der Proben 210 °C, 230 °C oder 250 °C betragen haben.

Die bei einer Gussasphalttemperatur von 230 °C hergestellten Proben weisen keine Unterschiede in ihrer Verformungsbeständigkeit auf, wenn die Proben bis zur Prüfung 24, 48 oder 96 Stunden gelagert waren.

Das Ergebnis der Eindringtiefen (statisch und dynamisch) unterscheidet sich, ob die Proben unmittelbar auf der Baustelle hergestellt werden oder – wie bei den Kontrollprüfungen – nach nochmaligem Erhitzen der Gussasphaltmassen im Labor. Der Gussasphalt auf der Baustelle in Probenformen eingefüllt ist eindruckempfindlicher. Die Ergebnisse differenzieren um einen konstanten Faktor von 1,3-1,5. Insoweit kann das bisherige Verfahren bei Kontrollprüfungen NT-Gussasphalte in Schalen abgefüllt und abgekühlt zur Herstellung von Probewürfeln für ET_{stat} oder Zylinder für ET_{dyn} ins Labor zur bringen beibehalten werden. Man müsste nur die Grenzwerte für die Beurteilung der NT-Gussasphalte entsprechend festlegen. Das bisherige Verfahren, die Proben nicht direkt auf der Baustelle herzustellen, hat den großen Vorteil, dass keine Stromaggregate und Trockenschränke mitgeführt werden müssen, die in schwierigem Gelände unter freiem Himmel die Herstellung der Proben behindern und zu größeren Streuungen der Messergebnisse führen können.

Die Messergebnisse der statischen Eindringtiefe nach 30 Minuten und der dynamischen Eindringtiefe nach 2.500 Lastwechsel liegen auf derselben Höhe, wenn die Eindringtiefen sehr niedrig um und unter 1 mm liegen. Zwischen 1 und 2 mm statischer

Eindringtiefe sind die dynamischen Eindringtiefen um das 2- bis 3-fache höher. In Übereinstimmung mit DIN EN 13108-20 ist bei einer statischen Eindringtiefe unter 2,5 mm der Wert der dynamischen Eindringtiefe zu ermitteln, da eine deutlichere Differenzierung der Ergebnisse erreicht und die Verformungsbeständigkeit des Gussasphaltes in der Wärme damit besser angesprochen werden kann. Insoweit sind die national geltenden Vorschriften z. B. ZTV Asphalt-StB 07 und die TL Asphalt-StB 07 an die DIN EN anzupassen.

Influence of temperature on the production of samples with low-temperature mastic asphalt for inspection tests

Mastic asphalt samples were taken from a total of ten randomly selected construction sites for testing. At the same time, test samples were produced directly on the construction site where the mix did not have to be heated a second time, as is otherwise common in inspection tests.

The tests showed that there were no significant differences in the static and dynamic penetration depths at a mastic asphalt temperature of 210 °C, 230 °C or 250 °C during the production of the samples.

The samples produced at a mastic asphalt temperature of 230 °C showed no differences in their deformation resistance when the samples were stored for 24, 48 or 96 hours before the test.

There is a difference in the indentation test result (static and dynamic) depending on whether the samples are produced directly at the construction site or – as with the inspection tests – after reheating of the mastic asphalt mix in the laboratory. The mastic asphalt filled into specimen moulds at the construction site is more sensitive to indentation. The results differentiate by a constant factor of 1.3-1.5. In this respect, the previous method used for inspection tests – of bringing low-temperature mastic asphalts filled into troughs and cooled down to the laboratory to produce test cubes for static indentation tests (ET_{stat}) or cylinders for dynamic indentation tests (ET_{dyn}) – can be maintained. It is merely necessary to appropriately define the threshold values for the

assessment of the low-temperature mastic asphalts. The hitherto method of not producing the samples directly at the construction site has the major advantage that power generators and drying cabinets do not have to be transported, these making the production of the samples difficult in rough terrain in the open, and possibly leading to substantial deviations in the measurement results.

The measurement results of the static indentation test after 30 minutes and of the dynamic indentation test after 2 500 load changes are at the same level when the penetration depths are very low around and below 1 mm. At a static penetration depth of between 1 and 2 mm the dynamic penetration depths are 2-3 times higher. In accordance with the DIN EN 13108-20, at a static penetration depth of less than 2.5 mm the value of the dynamic indentation must be determined as a greater differentiation of the results can be achieved and the mastic asphalt's deformation resistance under heat can be thus better addressed. In this respect, the valid national regulations, e.g. ZTV Asphalt-StB 07 and the TL Asphalt-StB 07 must be amended to comply with the DIN EN.

Summary

Influence of temperature on the production of samples with low-temperature mastic asphalt for inspection tests

1 Task

For compliance with work safety regulations to reduce fumes and aerosols from hot bitumen it is absolutely essential during the production and working of mastic asphalt to reduce the working temperatures. It is not possible to randomly reduce the working temperatures as the mastic asphalt can otherwise not be laid. As an auxiliary means for reducing viscosities, suitable viscosity-changing binders or viscosity-changing additives can be used in compliance with Section 3.9.1 of the Supplementary Technical Contractual Regulations and Guidelines for the Construction of Paved Traffic Areas with Asphalt (ZTV Asphalt-StB 07) and Section 3.2.6 of the Technical Delivery Conditions for Asphalt Mixes for the Construction of Paved Traffic Areas (TL Asphalt-StB 07).

For road and bridge deck construction work, currently in Germany only low-temperature mastic asphalts are laid.

Inspection tests that, according to the ZTV Asphalt-StB, are to determine whether the properties of the construction materials and the completed work meet the contractual requirements, are based on test methods that relate to non-modified mastic asphalts and also to non-reduced production and working temperatures. In this respect, the question is raised as to whether there is any impact on the test results when the testing temperatures are reduced from the former max. 250 °C to 230 °C – 210 °C with low-temperature mastic asphalts. The question is also to be clarified as to whether there is any influence on the static and dynamic indentation when the test specimens are stored for different lengths of time, between 24 and 96 hours prior to the test.

Low-temperature mastic asphalt samples were taken from ten different construction sites to make test specimens and to test them in the laboratory. Besides taking samples from the construction site, test specimens were also produced at the site, thus omitting the heating up the mastic asphalt a second

time. The results of the tests carried out on these samples concerning resistance to deformation were compared with the results achieved with the samples tested using the usual procedure.

In all samples the workability was measured according to the IfM System VIS-GA at 180 °C – 210 °C – 230 °C.

2 Examination method

The scope of the inspection tests follows Table 26 of the ZTV Asphalt-StB 07 supplementary technical regulations with the test provisions:

- Binder content
TP Asphalt-StB, Part 1,
- Particle size distribution
TP Asphalt-StB, Part 2,
- Recovery of the binder/rotary evaporator
TP Asphalt-StB, Part 3,
- Ring and ball softening point
DIN EN 1427,
- Density of asphalt sample
TP Asphalt-StB, Part 6,
- Indentation test on mastic asphalt cube
TP Asphalt-StB, Part 20,
- Dynamic punch indentation test on mastic asphalt
TP Asphalt-StB, Part 25 A1.
- Determination of workability on mastic asphalt with the IfM-System VIS-GA. In this process the torque is measured at different temperatures, cable-free and with the aid of sensor telemetry. The temperature is measured continuously. The data are also transferred using sensor telemetry.

3 Test results

- Irrespective as to whether the temperature of the mastic asphalt was 250 °C, 230 °C or 210 °C, during the production of the samples the static and dynamic penetration depths were at one level respectively. The production temperature has no influence on the resistance to deformation.
- The measurement results of the static indentation test after 30 minutes and of the

dynamic indentation test are at the same level when the penetration depths are around 1 mm or less. With a static penetration depth of between 1 and 2 mm the dynamic penetration depths are 2-3 times higher.

- At a working temperature of 230 °C a time period of 24, 48 or 96 hours between the making of the samples and the indentation test has no influence on the test result.
- When producing the samples on the construction site there is no additional temperature load caused by a second heating-up of the mastic asphalt, as otherwise the case when producing the samples in the laboratory for inspection tests. The reheating of the mastic asphalt results in reduced penetration depths. The reduction is systematic. That is, the penetration depths determined on samples produced at the construction site are greater by a factor of 1.3-1.5 than the values determined on reheated mixes.
- The ring and ball softening points determined on recovered binder from the ten samples inadequately correlate with the static and dynamic indentation tests. The ring and ball softening points are therefore not suitable for drawing conclusions on the resistance to deformation.
- The workability in [Nm] of the examined mastic asphalts – that all showed adequate workability in practice – is largely a linear function of the temperature of the mastic asphalt. At a mastic asphalt temperature of 210 °C the torque is less than 5.5 Nm, determined using the IfM-System VIS-GA.

4 Conclusions for practice

With the randomly selected mastic asphalts from practice, that all contain viscosity-modified binders or viscosity-modified additives, there was no influence on the deformation resistance (static and dynamic indentation test), regardless as to whether the mastic asphalt temperature was 250 °C, 230 °C or 210 °C when producing the samples.

In future, on the basis of these results, the working temperature during the production of the samples for testing the resistance to deformation can be in the range of 210 °C to 230 °C.

A period of 24 to 96 hours between the production of the samples and the indentation test has no impact on the test result.

A production of the samples on the construction site – this being extremely complex due to the necessity of providing power generators etc. – is not required. In the tests carried out it was established that the samples produced on the construction site showed a penetration depth that was greater by the factor 1.3 to 1.5 compared with test samples produced in the laboratory from re-heated mixes.

A discussion is therefore needed to decide whether this systematic difference needs to be accounted for in the formulation of required values in the technical regulations.

In compliance with the DIN EN 13108-20, at a static penetration depth of less than 2.5 mm the value of the dynamic penetration depth must be determined, as a significant difference in the results can be achieved and the deformation resistance of the mastic asphalt under heat can be better addressed. In this respect the valid national regulations, e.g. ZTV Asphalt-StB 07 and the TL Asphalt-StB 07 are to be amended to comply with the DIN EN.

Inhalt

1	Auftrag	9	7.1.3 Zusammenhang zwischen Erweichungspunkten RuK und den Eindringtiefen (statisch und dynamisch)	15
2	Forschungsziel	9	7.1.4 Verarbeitbarkeit	15
3	Vorgehensweise	9	7.2 Gussasphaltproben auf der Baustelle hergestellt	15
4	Angaben über den Gussasphalt auf den Baustellen	9	7.2.1 Abhängigkeit der statischen und dynamischen Eindringtiefe	15
5	Verfahrensbeschreibung	10	7.2.2 Abhängigkeit der dynamischen Eindringtiefen vom Herstellungsort (Baustelle zu Labor)	15
5.1	Probenentnahme auf der Baustelle	10	7.2.3 Zuordnung von statischen zu dynamischen Eindringtiefen bei den Baustellenproben	16
5.2	Eindringtiefe statisch an Gussasphaltwürfeln	10	8 Zusammenfassung	16
5.3	Dynamischer Stempелеindringversuch an Gussasphalt	10	Literatur	16
5.4	Verarbeitbarkeit von Gussasphalt nach dem IfM-System VIS-GA	10	Anlagen	17
6	Untersuchungsergebnisse	11		
6.1	Ergebnisse der Kontrollprüfungen	11		
6.2	Statische Eindringtiefe (Mittelwerte aus zwei Proben)	12		
6.3	Dynamische Eindringtiefe (Mittelwerte aus zwei Proben)	13		
6.4	Verarbeitbarkeit IfM-System VIS-GA	14		
7	Auswertung der Ergebnisse	14		
7.1	Wiedererwärmtes Mischgut bei Kontrollprüfungen	14		
7.1.1	Abhängigkeit der mechanischen Festigkeiten von der Temperatur des Mischgutes bei der Probekörperherstellung	14		
7.1.2	Abhängigkeit der mechanischen Festigkeiten von der Liegezeit der Proben vor der Prüfung	14		

1 Auftrag

Mit Schreiben der BAST vom 12.10.2011 wurden das IfM Institut für Materialprüfung Rottweil GmbH beauftragt den Forschungsauftrag FE 07.0244/2011/ERB „Einfluss der Temperatur auf die Probeherstellung bei Niedrigtemperaturgussasphalt im Rahmen von Kontrollprüfungen“ entsprechend unserem Angebot vom 27.06.2011 durchzuführen.

Das Projekt begann am 15. Oktober 2011 bei einer Laufzeit von 12 Monaten.

2 Forschungsziel

Der Gussasphalt wird entsprechend ZTV Asphalt-StB 07 zusammengesetzt aus groben und feinen Gesteinskörnungen, Füller und als Bindemittel Straßenbaubitumen oder polymermodifiziertes Bitumen oder einem Gemisch aus Straßenbaubitumen und Naturasphalt.

Zur Einhaltung der Arbeitsschutzbestimmungen insbesondere zur Reduzierung der Dämpfe und Aerosole bei der Verarbeitung des Gussasphaltes bei Temperaturen über 200 °C sind in Übereinstimmung mit Abschnitt 3.9.1 der Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt (ZTV Asphalt-StB 07) und Abschnitt 3.2.6 der Technischen Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen (TL Asphalt-StB 07) geeignete viskositätsveränderte Bindemittel oder viskositätsverändernde Zusätze zu verwenden. Die NT-Gussasphalte können mit niedrigeren Temperaturen hergestellt und weitgehend hohlraumfrei eingebaut werden. Im Jahr 2012 gibt es fast keinen Gussasphalteinbau mehr in der BRD, ohne dass viskositätsverändernde spezielle Kohlenwasserstoffe (Wachse, Paraffine, Amine) zugesetzt werden oder fertige NV Bindemittel von der Raffinerie geliefert werden und zwar mit und ohne Polymerzugabe. Die im Rahmen von Kontrollprüfungen entsprechend ZTV Asphalt-StB durchzuführenden Versuche insbesondere die mechanischen Festigkeiten zur Feststellung ob die Güteeigenschaften der Baustoffe, der Baustoffgemische und der fertigen Leistungen den vertraglichen Anforderungen entsprechen, liegen in der Vergangenheit nur Erfahrungen vor ohne Verwendung von viskositätsverändertem Bindemittel.

Das Forschungsziel bezieht sich daher auf die Frage, inwieweit die Verringerung der Viskositäten bei Verarbeitungstemperaturen von 250 °C, 230 °C und 210 °C des NT-Gussasphaltes, Auswirkungen auf die Ergebnisse der statischen und dynamischen Eindringtiefen hat. Dazu kommt, dass auch die Probeentnahmen auf den Baustellen ohne der zwangsweise erforderliche Wiedererwärmung der NT-Gussasphalte bei der Herstellung von Probekörpern im Labor Veränderungen nach sich ziehen können, die das Ergebnis der Kontrollprüfungen beeinflusst. Gleichzeitig wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens verfolgt ob eine längere Liegedauer der Proben vor der Prüfung Auswirkungen auf das Ergebnis der statischen und dynamischen Eindringtiefen hat. Die Gelegenheit zehn verschiedene großtechnisch hergestellte NT-Gussasphalte aus der Praxis zu prüfen wurde auch genutzt um deren Viskositäten mit dem IfM-System VIS-GA bei 180 °C, 210 °C und 240 °C zu prüfen.

3 Vorgehensweise

An insgesamt zehn verschiedenen Baustellen in Baden-Württemberg, Saarland und Bayern wurden von einem Baustoffprüfer des Institutes Gussasphaltproben aus den Kochern entnommen. Aus dem Gussasphalt wurde mit einem nicht unerheblichen Aufwand vor Ort in heißem Zustand bei 200 °C bis 240 °C Normwürfel für die statische Eindringtiefe und Probezylinder für die Bestimmung der dynamischen Eindringtiefe hergestellt. Ferner wurden an jeder Baustelle ca. 70 kg Gussasphalt in 14 Aluminiumformen in einer Dicke von ca. 4 cm eingefüllt für die Prüfung der asphalttechnologischen Kennwerte im Labor des Institutes.

4 Angaben über den Gussasphalt auf den Baustellen

Die Baustellen wurden auf Wunsch einzelner Firmen anonymisiert und mit den Buchstaben A bis J bezeichnet.

Die Temperaturen bei der Verarbeitung der NT-Gussasphalte auf der Baustelle und die Art des Bindemittels sind für alle Baustellen in Tabelle 1 zusammengefasst.

Baustellenbezeichnung	Temperatur des NT-Gussasphaltes beim Einbau °C	Bindemittels
A	235	PmB NV
B	240	Bitumen NV
C	240	PmB NV
D	220	PmB NV
E	220	PmB NV
F	205	PmB NV
G	210	PmB NV
H	240	PmB NV + Wachs
I	228	PmB NV
J	230	PmB NV

Tab. 1: Art der Bindemittel und Temperaturen des Gussasphaltes beim Einbau

5 Verfahrensbeschreibung

5.1 Probenentnahme auf der Baustelle

Um vorschriftsgemäße homogene, hohlraumfreie Gussasphaltprobekörper vor Ort herstellen zu können war es erforderlich die Gussasphaltformen vor Ort auf 100 °C bis 150 °C (Ziff. 4.2 der TP Asphalt-StB, Teil 20) zu erhitzen. Die heiße Gussasphaltmasse wurde bei 200 °C bis 230 °C in der Mischschale durch Rühren, Kneten und Stochern homogenisiert.

Die Temperaturen wurden in einem Trockenschrank vorgegeben und gesichert. Zur Stromerzeugung für den Betrieb des Trockenschrankes wurde ein Stromaggregat eingesetzt. Die gesamte Ausrüstung ist aufwändig und schwierig zu transportieren, vor allem bei hohen und langen Brücken die neu gebaut werden.

5.2 Eindringtiefe statisch an Gussasphaltwürfeln

Die Prüfungen wurden entsprechend TP Asphalt-StB, Teil 20, Eindringtiefe an Gussasphaltwürfeln durchgeführt, sowohl an den vor Ort als auch an den im Labor an aufgewärmtem Mischgut hergestellten Proben.

5.3 Dynamischer Stempeleindringversuch an Gussasphalt

Die Prüfungen wurden entsprechend Teil 25 A1 der TP Asphalt-StB, „Dynamischer Stempeleindringversuch an Gussasphalt“ durchgeführt, sowohl an den vor Ort als auch den im Labor hergestellten Proben.

5.4 Verarbeitbarkeit von Gussasphalt nach dem IfM-System VIS-GA

Am Institut für Materialprüfung Dr. Schellenberg in Rottweil wurde ein Prüfverfahren IFM-System VIS-GA entwickelt, mit dem die Verarbeitbarkeit des Gussasphaltes über die Bestimmung des Drehmomentes bei verschiedenen Temperaturen angesprochen und bewertet werden kann.

Die Prüfung erfolgt in einem geschlossenen Gussasphaltkocher der Fa. Straßentest GmbH.

Der Antrieb des Rührers verfügt über einen Elektromotor mit zwischengeschaltetem stufenlosen Planetenumlaufgetriebe.

Die Umdrehungsgeschwindigkeit des Rührers beträgt 13 U/min.

Zur Prüfung werden 8-10 kg eines fertig hergestellten Gussasphaltgemisches auf eine Temperatur von 180 °C erwärmt. Das sich bei dieser Temperatur am Rührer einstellende Drehmoment wird über die Auswerteeinheit mit digitaler Temperatur- und Drehmomentanzeige abgelesen.

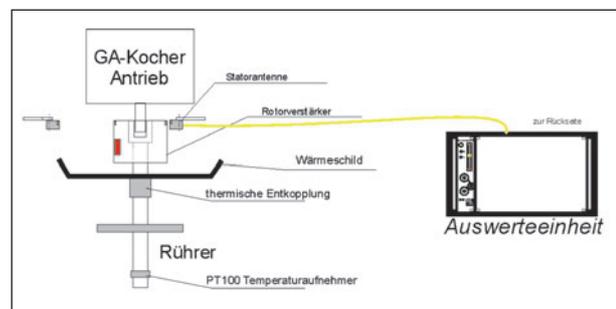


Bild 1: Schematische Darstellung der Messeinrichtung und Auswerteeinheit

Dieser Vorgang wird dann bei Temperaturen von 210 °C und 240 °C wiederholt.

Um eine ständige Temperaturmessung im geschlossenen System vornehmen zu können, wurde am unteren Rührflügel ein Temperaturfühler Typ PT 100 appliziert.

Die hohen Temperaturen erforderten eine thermische Entkopplung zwischen Rührwerk und Messdatenaufnahme der zur Drehmomentmessung erforderlichen DMS-Messstreifen.

Die Datenübertragung von Temperatur und Drehmoment erfolgt kabellos mithilfe der Sensortelemetrie.

6 Untersuchungsergebnisse

6.1 Ergebnisse der Kontrollprüfungen

Die Analyseergebnisse der Mischungen A bis J ergeben sich aus Tabellen 2 und 3.

Probebezeichnung	Eindringtiefen ET	
	statisch nach 30 Minuten [mm]	dynamisch nach 2.500 LW [mm]
A	0,66	0,47
B	2,20	5,65
D	0,86	0,83
E	0,73	0,81
F	1,71	3,41
G	0,69	0,60
H	0,74	0,65
I	1,62	3,17
J	1,15	1,56

Tab. 2: Statische und dynamische Eindringtiefen

Probebezeichnung	Bindemittelmenge M-%	EP RuK °C	Pen. 1/10 mm	el. RS %	Kornzusammensetzung (Siebdurchgang)								
					0,063 mm	0,125 mm	0,25 mm	1 mm	2 mm	5 mm	8 mm	11 mm	16 mm
A	7,3	82,5	23	30	25,3	28,9	34,2	46,8	52,4	66,5	81,0	97,2	100
B	6,9	62,4	20	-	20,3	24,0	29,3	41,0	48,5	64,4	78,1	99,4	100
C	7,3	78,0	19	30	25,3	29,0	33,4	43,8	51,2	69,9	82,0	99,7	100
D	7,1	74,4	22	25	21,3	24,8	28,9	41,2	47,3	64,0	80,3	97,1	100
E	7,0	75,5	21	28	22,4	25,3	29,1	41,0	46,9	63,1	79,9	97,8	100
F	7,0	70,2	21	18	25,1	25,9	30,2	42,3	45,6	62,8	76,2	99,0	100
G	7,7	68,2	22	21	24,3	25,3	27,7	42,2	49,5	65,7	79,1	99,1	100
H	6,9	79,4	20	30	24,1	27,0	32,4	44,4	49,8	63,4	77,1	96,1	100
I	7,0	69,6	25	30	24,2	25,7	27,5	39,9	49,2	64,0	74,9	98,9	100
J	6,7	77,8	26	40	23,9	24,8	27,1	41,6	48,8	65,0	82,0	100	100

Tab. 3: Zusammensetzung der Gussasphalte und Eigenschaften des extrahierten Bindemittels

6.2 Statische Eindringtiefe (Mittelwerte aus zwei Proben)

Bezeichnung	Prüf-temperatur °C	Alter bei Prüfung			
		24 h	48 h	96 h	über 120 h
		statische Eindringtiefen [mm]			
A	210	0,64			
	230	0,63	0,66	0,66	
	250	0,55			
Baustellenprobe wa					0,66
B	210	2,19			
	230	2,10	2,20	2,32	
	250	1,98			
Baustellenprobe wb					3,14
C	210	0,88			
	230	0,91	0,85	0,86	
	250	0,79			
Baustellenprobe wc					1,21
D	210	0,90			
	230	0,90	0,86	0,93	
	250	0,93			
Baustellenprobe wd					1,29
E	210	0,88			
	230	0,68	0,73	0,67	
	250	0,68			
Baustellenprobe we					1,25

Tab. 4: Statische Eindringtiefen

Bezeichnung	Prüf-temperatur °C	Alter bei Prüfung			
		24 h	48 h	96 h	über 120 h
		statische Eindringtiefen [mm]			
F	210	1,82			
	230	1,76	1,71	1,78	
	250	1,63			
Baustellenprobe wf					2,40
G	210	0,87			
	230	0,74	0,69	0,77	
	250	0,76			
Baustellenprobe wg					1,27
H	210	0,78			
	230	0,74	0,74	0,70	
	250	0,69			
Baustellenprobe wh					1,06
I	210	1,57			
	230	1,62	1,62	1,41	
	250	1,45			
Baustellenprobe wi					1,89
B	210	1,13			
	230	1,16	1,15	1,01	
	250	1,07			
Baustellenprobe wj					1,16

Tab. 4: Fortsetzung

6.3 Dynamische Eindringtiefe (Mittelwerte aus zwei Proben)

Die grafische Darstellung der Ergebnisse geht aus den Anlagen 1 bis 12 hervor.

Bezeichnung	Prüf-temperatur °C	Alter bei Prüfung			
		24 h	48 h	96 h	über 120 h
		dynamische Eindringtiefen [mm]			
A	210	0,61			
	230	0,53	0,47	0,53	
	250	0,38			
Baustellenprobe za					0,66
B	210	6,86			
	230	5,63	5,65	7,31	
	250	5,14			
Baustellenprobe zb					8,26
C	210	1,22			
	230	1,12	0,84	1,00	
	250	0,38			
Baustellenprobe zc					1,90
D	210	1,23			
	230	0,99	0,83	0,89	
	250	1,02			
Baustellenprobe zd					2,19
E	210	1,13			
	230	1,01	0,81	0,69	
	250	0,74			
Baustellenprobe ze					1,03

Tab. 5: Dynamische Eindringtiefen

Bezeichnung	Prüf-temperatur °C	Alter bei Prüfung			
		24 h	48 h	96 h	über 120 h
		dynamische Eindringtiefen [mm]			
F	210	4,65			
	230	3,61	3,41	3,6	
	250	3,74			
Baustellenprobe zf					6,14
G	210	0,83			
	230	0,65	0,60	0,64	
	250	0,79			
Baustellenprobe zg					1,43
H	210	0,85			
	230	0,63	0,65	0,62	
	250	0,64			
Baustellenprobe zh					0,81
I	210	3,19			
	230	3,07	3,17	2,89	
	250	2,73			
Baustellenprobe zi					4,44
J	210	1,74			
	230	1,51	1,56	1,18	
	250	1,20			
Baustellenprobe zj					1,53

Tab. 5: Fortsetzung

6.4 Verarbeitbarkeit IfM-System VIS-GA

Probenbezeichnung	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Temperatur °C	Drehmomente in Nm									
180	6,0	5,6	6,3	5,8	6,0	6,4	5,5	6,2	4,6	5,6
210	5,2	4,5	5,6	5,0	5,4	5,4	4,6	5,5	3,8	5,0
240	4,4	3,8	4,7	4,0	4,2	4,6	3,8	4,6	3,04,0	4,2

Tab. 6: Drehmomente in Nm der Gussasphaltnmischungen

7 Auswertung der Ergebnisse

7.1 Wiedererwärmtes Mischgut bei Kontrollprüfungen

7.1.1 Abhängigkeit der mechanischen Festigkeiten von der Temperatur des Mischgutes bei der Probekörperherstellung

Die grafische Darstellung der Ergebnisse in den Anlagen 13, 14 und 15 zeigt, dass bei einer Lagerungszeit der Proben von 24 Stunden vor der Prüfung keine signifikanten Unterschiede bei der statischen und bei der dynamischen Eindringtiefe vorliegen, geprüft bei 210 °C, 230 °C und 250 °C.

Grundsätzlich liegen die Messergebnisse der statischen und dynamischen Eindringtiefe auf derselben Höhe, wenn die Eindringtiefen um oder unter 1 mm betragen. Sobald die statischen Eindringtiefen zwischen 1-2 mm liegen sind je nach Art des Gussasphaltes die dynamischen Eindringtiefen um das 2- bis 3-fache höher (Proben B, F, I) als die statischen Eindringtiefen.

Die Abhängigkeit der statischen von der dynamischen Eindringtiefe ist nach 24 Stunden Liegezeit der Proben bei den Herstellungstemperaturen 210 °C, 230 °C und 250 °C statistisch gut gesichert mit Korrelationskoeffizienten von:

Temperatur °C	Koeffizient %	Anlage
210	96,87	16
230	96,43	17
250	95,74	18

Tab. 7: Korrelationskoeffizienten der statischen und dynamischen Eindringtiefen bei Temperaturen von 210 °C, 230 °C und 250 °C

7.1.2 Abhängigkeit der mechanischen Festigkeiten von der Liegezeit der Proben vor der Prüfung

Wenn die Liegezeit der bei 230 °C hergestellten Proben nicht 48 Stunden (Anlage 19) sondern 96 Stunden (Anlage 20) beträgt gibt es keine wesentlichen Unterschiede.

Die statischen und die dynamischen Eindringtiefen sind für alle geprüften Gussasphalte der Höhe nach weitgehend identisch bezogen auf die Lagerungszeiten der Proben vor der Prüfung. Daraus ist zu folgern, dass es innerhalb der Zeit von 24 und 96 Stunden unbedeutend ist wie lange bis zur Prüfung gewartet wird.

Diese Aussage wird verdeutlicht, wenn man die dynamischen Eindringtiefen und statischen Eindringtiefen bei 230 °C Gussasphalttemperatur nach 24, 48 und 96 Stunden Liegezeit der Proben vor der Prüfung statistisch ausgewertet.

Es liegen durchweg gut gesicherte Abhängigkeiten vor zwischen der statischen und der dynamischen Eindringtiefe bei 230 °C Gussasphalttemperatur und Liegezeiten von 24, 48 und 96 Stunden.

Aus Tabelle 8 sind die Korrelationskoeffizienten ersichtlich.

Liegezeit Stunden	Koeffizient %	Anlage
24	95,05	17
48	97,95	21
96	95,2	22

Tab. 8: Korrelationskoeffizienten der statischen und dynamischen Eindringtiefen bei Wartezeiten von 24, 48 und 96 Stunden bis zur Prüfung

Bis auf die Probe B bei 96 Stunden weisen alle anderen Proben bei allen gewählten Lagerungszeiten gut übereinstimmende dynamische Eindringtiefen auf (Anlage 23). Die Probe B ist nicht polymermodifiziert.

7.1.3 Zusammenhang zwischen Erweichungspunkten RuK und den Eindringtiefen (statisch und dynamisch)

Grundsätzlich ist aus der Literatur bekannt, dass bei Modifizierungen des Asphaltes mit Polymeren der Erweichungspunkt Ring und Kugel keine zuverlässige Größe darstellt zur Beurteilung der Standfestigkeit der Gussasphalte in der Wärme. So ist ein Gussasphalt mit einem Erweichungspunkt von 80 °C nicht unbedingt wärmebeständiger als ein Gussasphalt mit einem Erweichungspunkt von 60 °C. Die beim Forschungsvorhaben vorliegenden Abhängigkeiten ergaben auch geringe Korrelationskoeffizienten zwischen den Erweichungspunkten – festgestellt am rückgewonnenen Bindemittel und den mechanischen Festigkeiten

bei den ET_{stat} 75,23 % (Anlage 24),

bei den ET_{dyn} 66,19 % (Anlage 25).

7.1.4 Verarbeitbarkeit

Die mit dem IfM-System VIS-GA ermittelten Viskositäten in Nm sind grafisch dargestellt der Anlage 26 zu entnehmen.

Die gemessenen Drehmomente zeigen einen weitgehend linearen Verlauf über der Temperatur. Nachdem alle geprüften Gussasphalte aus der Praxis stammen und eingebaut wurden kann gefolgert werden, dass Gussasphalte ausreichend verarbeitbar sind, wenn diese, mit dem IfM-System geprüft, folgende Drehmomente in Abhängigkeit von der Temperatur aufweisen (s. Tabelle 9).

Temperatur °C	Drehmoment N · m
180	< 6,5
210	< 5,5
230	< 5,0

Tab. 9: Grenzen der Drehmomente (System IfM VIS-GA) in Abhängigkeit von der Temperatur

7.2 Gussasphaltproben auf der Baustelle hergestellt

7.2.1 Abhängigkeit der statischen und dynamischen Eindringtiefe

Aus Anlage 27 sind ähnliche „Fieberkurven“ wie bei den im Labor hergestellten Probekörper zu erkennen, die Ausschläge sind etwas größer d. h. die Eindringtiefen sind höher gegenüber den Proben die im Labor hergestellt und bei der Probekörperherstellung nochmals erhitzt wurden. Bei statischen Eindringtiefen unter 2 mm sind die dynamischen Eindringtiefen um 0 bis 0,5 mm höher als die statischen. Erreichen die statischen Eindringtiefen 2 mm oder liegen diese geringfügig höher gehen die dynamischen Eindringtiefen um das 2- bis 3-fache hoch. Die dynamischen Eindringtiefen differenzieren viel stärker.

7.2.2 Abhängigkeit der dynamischen Eindringtiefen vom Herstellungsort (Baustelle zu Labor)

Bei der Herstellung der Probekörper auf der Baustelle entfällt eine zusätzliche Temperaturbelastung durch erneutes Erwärmen der Gussasphaltmasse bei der üblichen Herstellung der Probekörper im Labor im Rahmen von Kontrollprüfungen. Dies hat zur Folge, dass die Eindringtiefen, d. h. die Standfestigkeiten des Gussasphaltes in der Wärme ungünstiger ausfallen gegenüber im Labor hergestellten Probekörpern mit nochmals erwärmten Gussasphalt.

Beim Vergleich der dynamischen Eindringtiefe der Baustellenproben mit der dynamischen Eindringtiefe der Laborproben bei 230 °C Mischguttemperatur und 96 Stunden Wartezeit vor der Prüfung liegt ein linearer Zusammenhang vor der gemäß Anlage 28 einen Korrelationskoeffizient von 93,33 % aufweist.

Die dynamischen Eindringtiefen (mm) sind einander zuzuordnen (siehe Tabelle 10).

Probe hergestellt auf der Baustelle	Probe hergestellt im Labor
ca. 1,5	1
ca. 3	2
ca. 4	3

Tab. 10: Dynamische Eindringtiefen (mm) im Vergleich. Probekörperherstellung auf der Baustelle und im Labor

7.2.3 Zuordnung von statischen zu dynamischen Eindringtiefen bei den Baustellenproben

Auch bei den Baustellenproben ist ein guter Zusammenhang vorhanden zwischen den ermittelten statischen und dynamischen Eindringtiefen. Nach Anlage 29 beträgt der Korrelationskoeffizient 96,62 %.

Dies bedeutet, dass man die Ergebnisse der Eindringtiefen der im Labor hergestellten Proben direkt auf die Ergebnisse der auf der Baustelle hergestellten Proben umrechnen kann. Es ist damit nur eine Frage der Festlegung von Grenzwerten um den Unterschied der Proben zwischen der Herstellung auf der Baustelle und im Labor (Kontrollprüfung) anpassen zu können.

8 Zusammenfassung

Die Verwendung von viskositätsmindernden Zusätzen zum Bindemittel/Gussasphalt ist notwendig zur Reduzierung der Verarbeitungstemperatur von Gussasphalt um die Bildung von Dämpfen und Aerosole zu verringern. Die Forschungsergebnisse zeigen, dass ohne Veränderung der Messwerte für die statischen und dynamischen Eindringtiefen die Herstellungstemperatur der Gussasphaltproben von 250 bis auf 210 °C reduziert werden kann.

Die Gussasphaltproben für die Ermittlung der statischen und dynamischen Eindringtiefen können zwischen 24 und 96 Stunden vor der Prüfung lagern, ohne dass die Wartezeit einen Einfluss auf das Prüfergebnis hat.

Die Verformungsbeständigkeit ist bei dem NT-Gussasphalt signifikant anders, je nachdem ob die Proben unmittelbar auf der Baustelle bei kontrollierter Temperatur hergestellt werden oder ob der Gussasphalt auf der Baustelle in Schalen eingefüllt, abgekühlt und zur Kontrollprüfung wieder erhitzt wird. Die dynamischen Eindringtiefen sind bei den Baustellenproben mit einem konstanten Faktor von 1,3-1,5 linear höher als diejenigen, die man an Proben ermittelt die im Labor durch nochmaliges Erhitzen der Gussasphaltmasse hergestellt werden. Insoweit können die Ergebnisse direkt umgerechnet werden.

Die Messergebnisse der statischen Eindringtiefe nach 30 Minuten und der dynamischen Eindringtiefe nach 2.500 Lastwechsel liegen auf derselben

Höhe, wenn die Eindringtiefen sehr niedrig um und unter 1 mm liegen. Zwischen 1 und 2 mm statischer Eindringtiefe sind die dynamischen Eindringtiefen um das 2- bis 3-fache höher. In Übereinstimmung mit DIN EN 13108-20 ist bei einer statischen Eindringtiefe unter 2,5 mm der Wert der dynamischen Eindringtiefe zu ermitteln, da eine deutlichere Differenzierung der Ergebnisse erreicht und die Verformungsbeständigkeit des Gussasphaltes in der Wärme damit besser angesprochen werden kann. Insoweit sind die national geltenden Vorschriften z. B. ZTV Asphalt-StB 07 und die TL Asphalt-StB 07 an die DIN EN anzupassen.

Aus den Erweichungspunkten RuK und Penetrationen am extrahierten Bindemittel können bei Verwendung von modifizierten Bindemitteln im Gussasphalt die mechanischen Eigenschaften nicht direkt abgeleitet werden.

Die NT-Gussasphalte sind in der Praxis ausreichend verarbeitbar, wenn mit dem Verfahren IfM-System VIS-GA das Drehmoment unter 5,5 Nm beträgt bei einer Prüftemperatur von 210 °C.

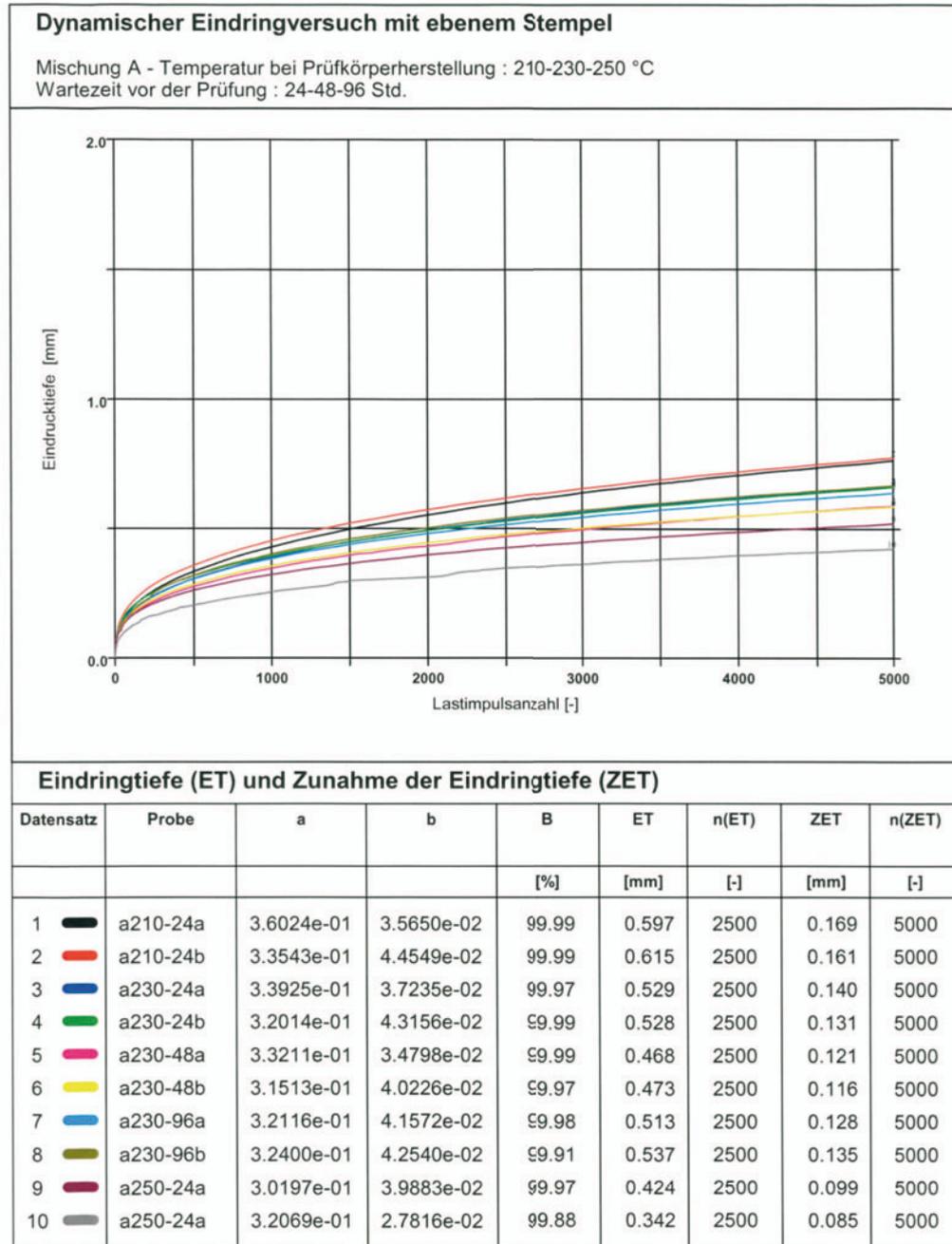
Literatur

SHELLENBERG, K.; EULITZ, H. J.: Ansprache des Fließvermögens von Bitumen und polymermodifizierten Bitumen bei tiefen Temperaturen, Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik des Bundesministeriums für Verkehr, Abteilung Straßenbau Bonn-Bad Godesberg, Oktober 1994

Anlagen

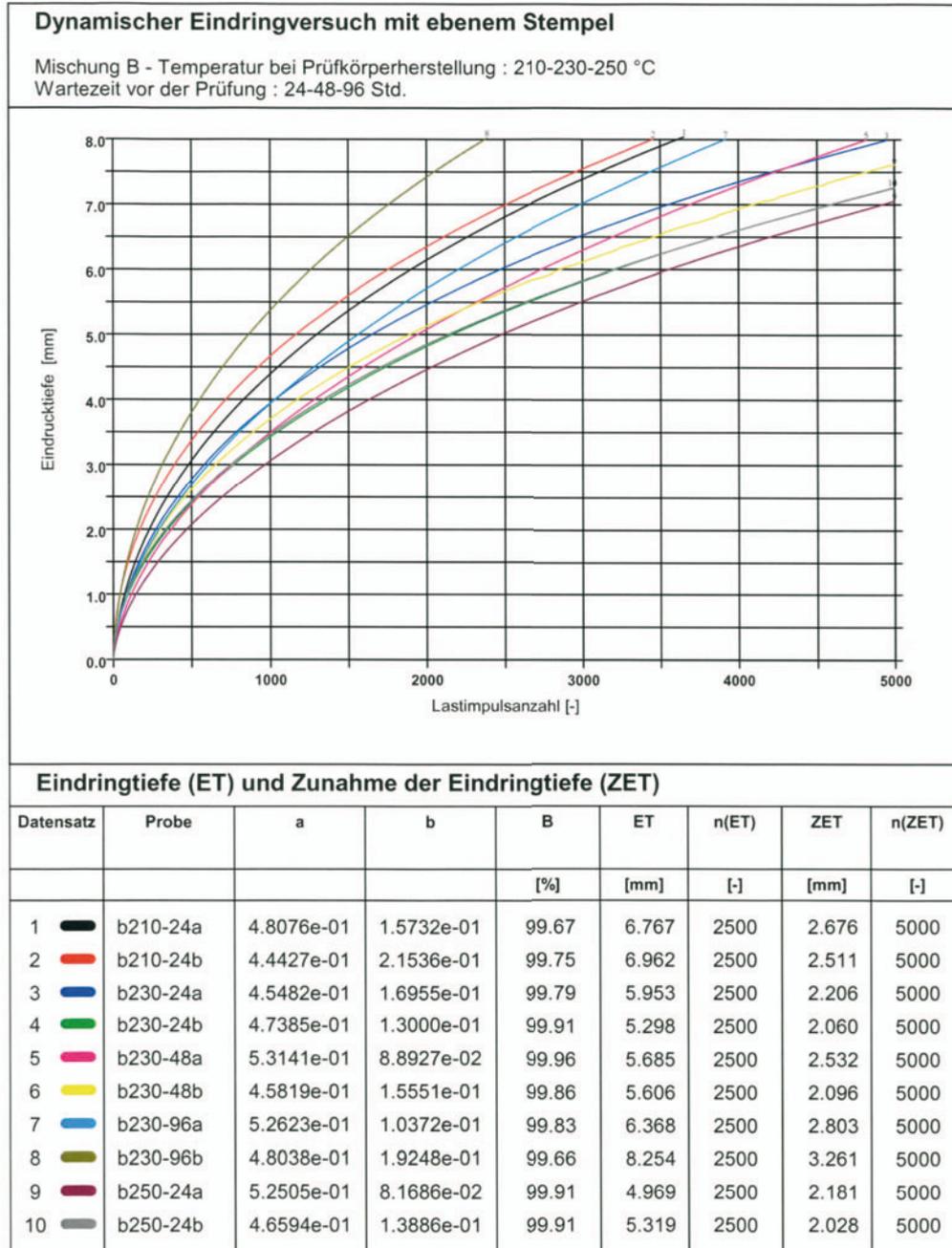
Anlage 1: Grafische Darstellung ET_{dyn} , Mischung A

Institut für Materialprüfung · Dr. Schellenberg Rottweil GmbH



Anlage 2: Grafische Darstellung ET_{dyn} , Mischung B

Institut für Materialprüfung · Dr. Schellenberg Rottweil GmbH

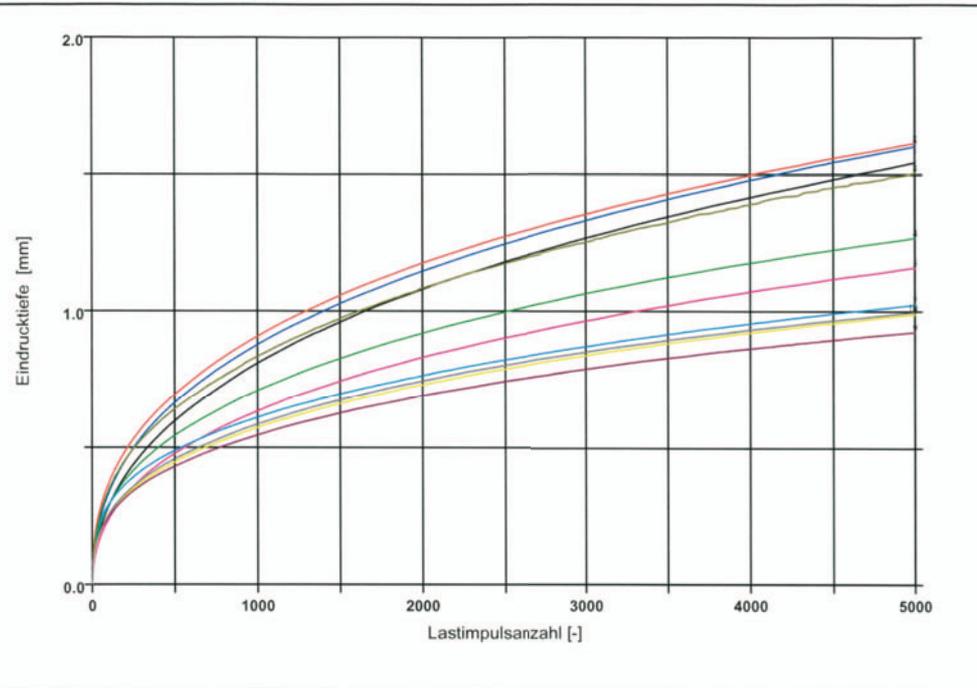


Anlage 3: Grafische Darstellung ET_{dyn} , Mischung C

Institut für Materialprüfung · Dr. Schellenberg Rottweil GmbH

Dynamischer Eindringversuch mit ebenem Stempel

Mischung C - Temperatur bei Prüfkörperherstellung : 210-230-250 °C
Wartezeit vor der Prüfung : 24-48-96 Std.

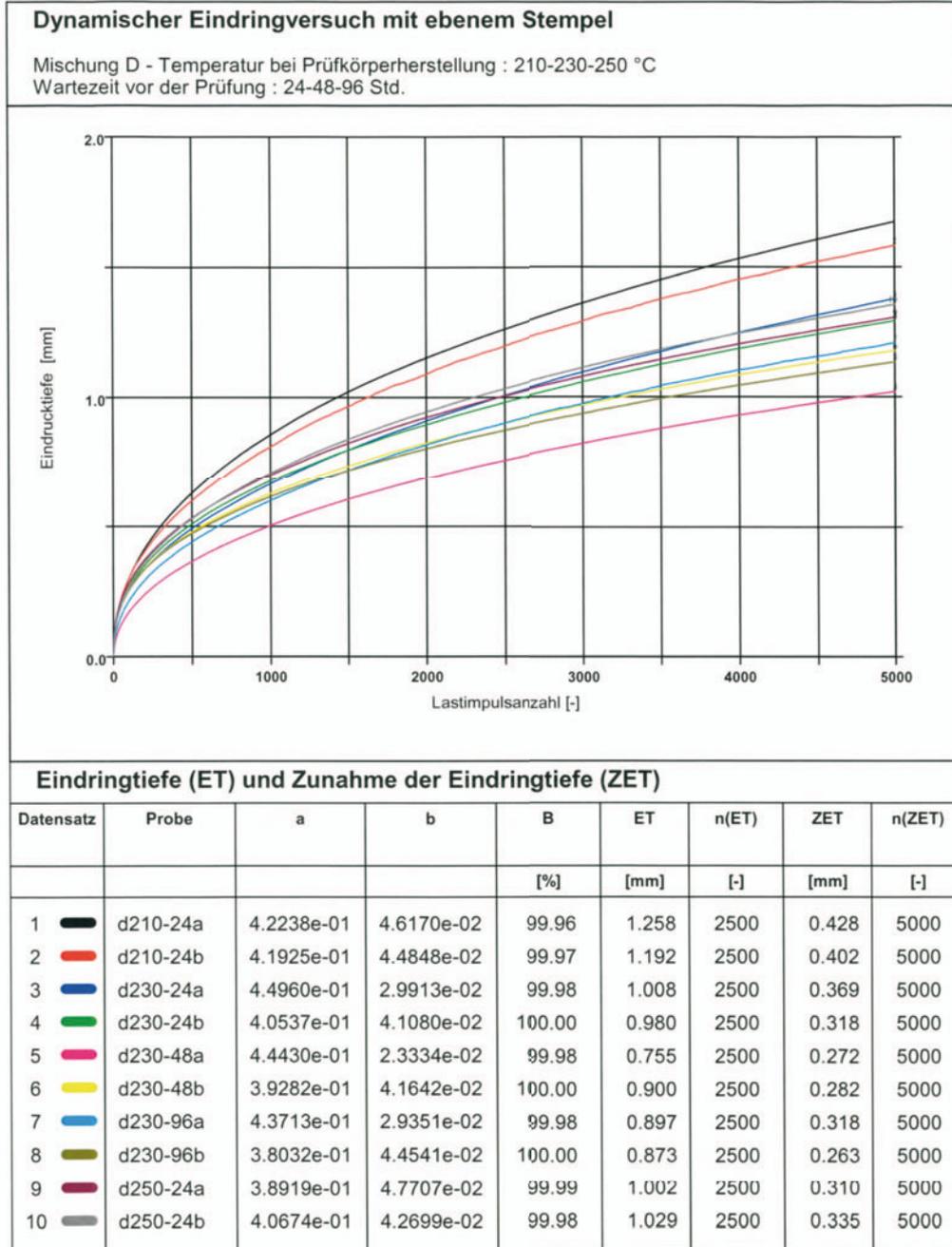


Eindringtiefe (ET) und Zunahme der Eindringtiefe (ZET)

Datensatz	Probe	a	b	B	ET	n(ET)	ZET	n(ZET)
				[%]	[mm]	[-]	[mm]	[-]
1	c210-24a	4.0908e-01	4.7752e-02	99.92	1.172	2500	0.384	5000
2	c210-24b	3.6473e-01	7.2854e-02	99.93	1.264	2500	0.364	5000
3	c230-24a	3.8217e-01	6.2282e-02	99.93	1.239	2500	0.376	5000
4	c230-24b	3.6818e-01	5.5612e-02	99.95	0.991	2500	0.288	5000
5	c230-48a	3.8468e-01	4.4186e-02	99.91	0.896	2500	0.274	5000
6	c230-48b	3.4578e-01	5.2404e-02	99.95	0.784	2500	0.212	5000
7	c230-96a	3.2264e-01	6.5720e-02	100.00	0.820	2500	0.206	5000
8	c230-96b	3.7110e-01	6.4194e-02	99.98	1.171	2500	0.343	5000
9	c250-24a	3.3236e-01	5.4878e-02	99.97	0.739	2500	0.191	5000
10	c250-24b	3.3862e-01	5.6305e-02	99.92	0.796	2500	0.211	5000

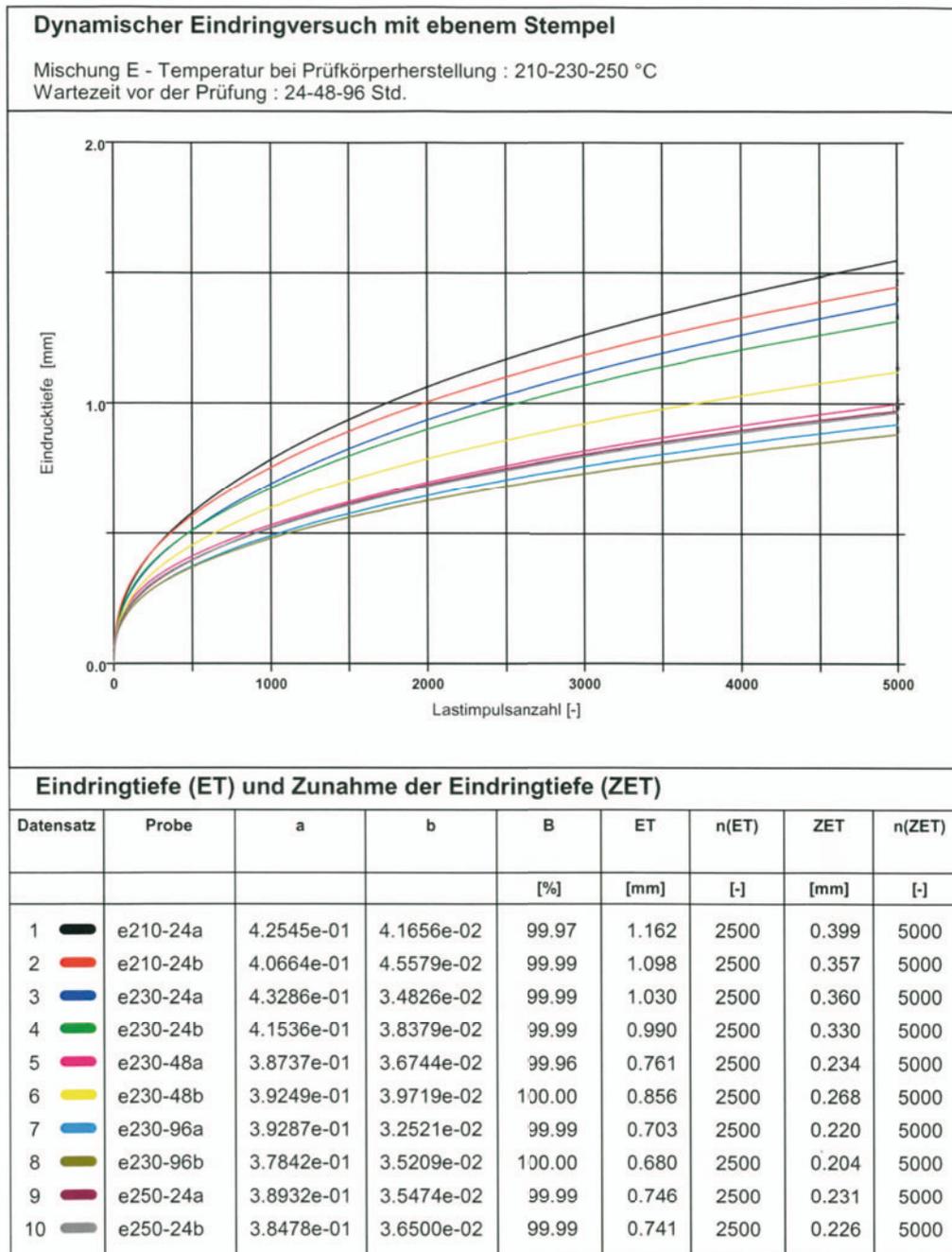
Anlage 4: Grafische Darstellung ET_{dyn}, Mischung D

Institut für Materialprüfung · Dr. Schellenberg Rottweil GmbH



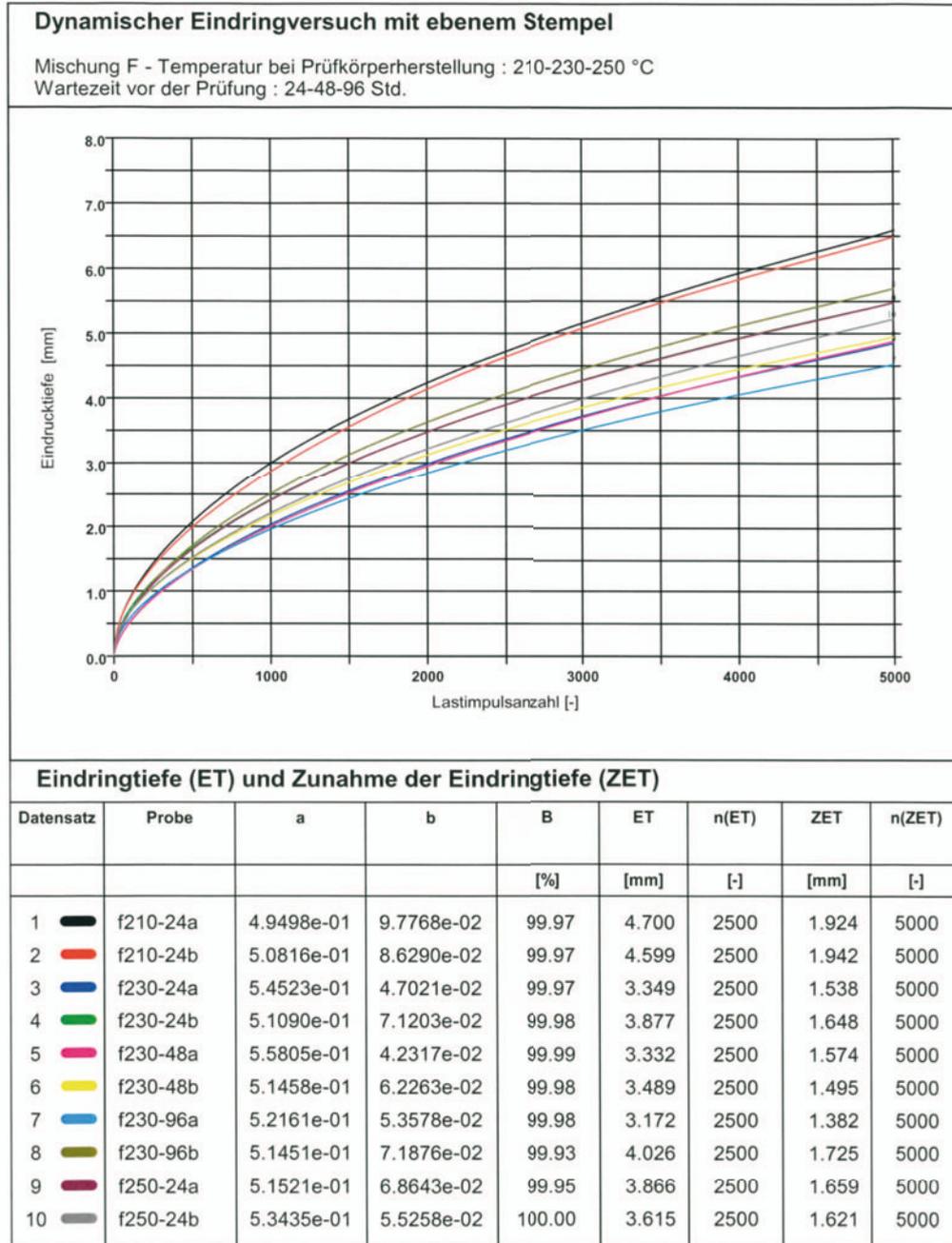
Anlage 5: Grafische Darstellung ET_{dyn} , Mischung E

Institut für Materialprüfung · Dr. Schellenberg Rottweil GmbH



Anlage 6: Grafische Darstellung ET_{dyn} , Mischung F

Institut für Materialprüfung · Dr. Schellenberg Rottweil GmbH

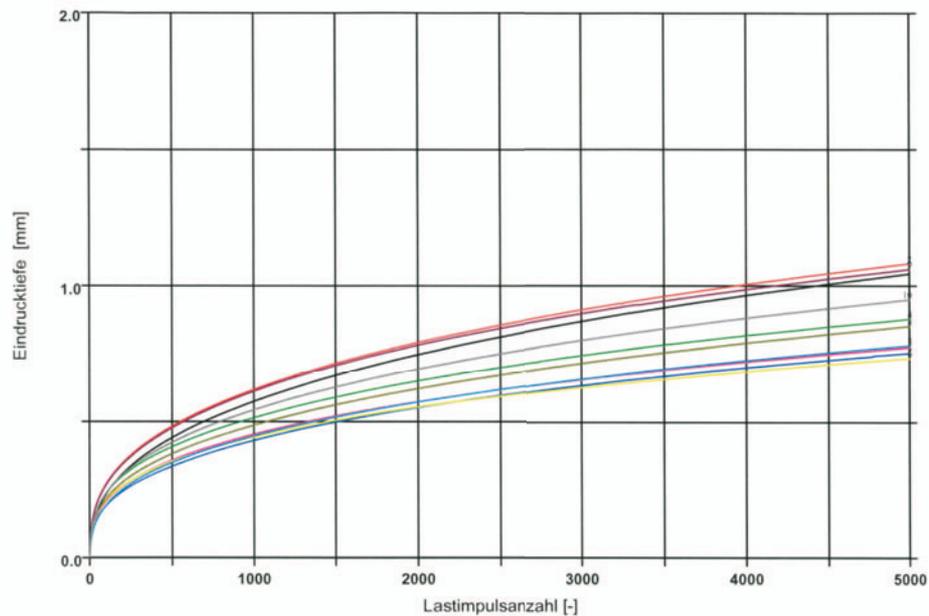


Anlage 7: Grafische Darstellung ET_{dyn} , Mischung G

Institut für Materialprüfung · Dr. Schellenberg Rottweil GmbH

Dynamischer Eindringversuch mit ebenem Stempel

Mischung G - Temperatur bei Prüfkörperherstellung : 210-230-250 °C
Wartezeit vor der Prüfung : 24-48-96 Std.

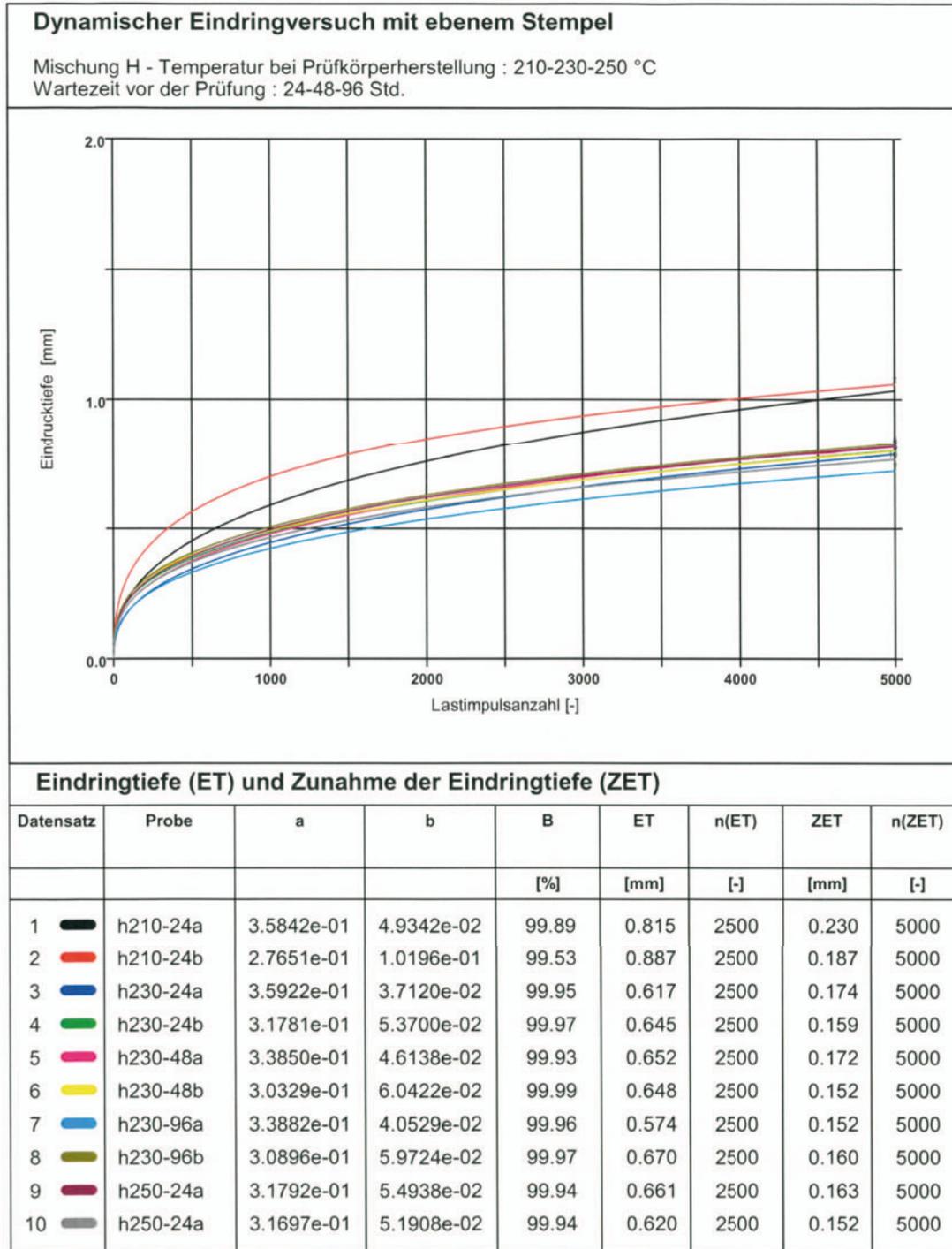


Eindringtiefe (ET) und Zunahme der Eindringtiefe (ZET)

Datensatz	Probe	a	b	B	ET	n(ET)	ZET	n(ZET)
				[%]	[mm]	[-]	[mm]	[-]
1	g210-24a	3.7533e-01	4.2948e-02	99.98	0.810	2500	0.241	5000
2	g210-24b	3.5068e-01	5.4847e-02	99.98	0.853	2500	0.235	5000
3	g230-24a	3.5051e-01	3.8229e-02	99.98	0.593	2500	0.163	5000
4	g230-24b	3.3448e-01	5.0989e-02	99.99	0.698	2500	0.182	5000
5	g230-48a	3.3597e-01	4.4418e-02	99.98	0.615	2500	0.161	5000
6	g230-48b	3.1719e-01	4.9421e-02	99.98	0.591	2500	0.145	5000
7	g230-96a	3.5147e-01	3.9354e-02	99.97	0.616	2500	0.170	5000
8	g230-96b	3.4920e-01	4.3616e-02	99.99	0.670	2500	0.184	5000
9	g250-24a	3.4645e-01	5.5830e-02	99.96	0.840	2500	0.228	5000
10	g250-24b	3.5054e-01	4.8172e-02	99.98	0.748	2500	0.206	5000

Anlage 8: Grafische Darstellung ET_{dyn} , Mischung H

Institut für Materialprüfung · Dr. Schellenberg Rottweil GmbH

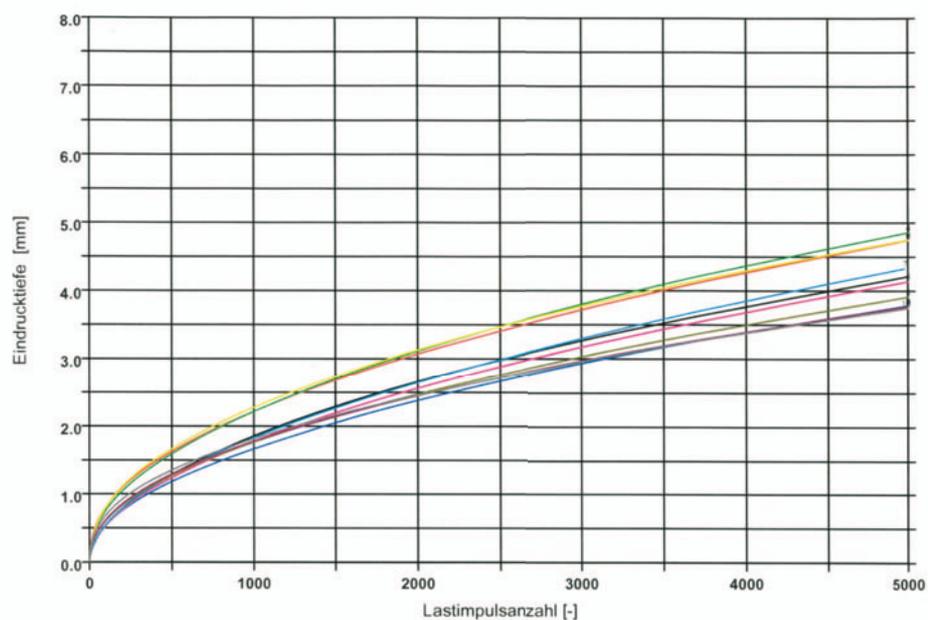


Anlage 9: Grafische Darstellung ET_{dyn} , Mischung I

Institut für Materialprüfung · Dr. Schellenberg Rottweil GmbH

Dynamischer Eindringversuch mit ebenem Stempel

Mischung I - Temperatur bei Prüfkörperherstellung : 210-230-250 °C
Wartezeit vor der Prüfung : 24-48-96 Std.

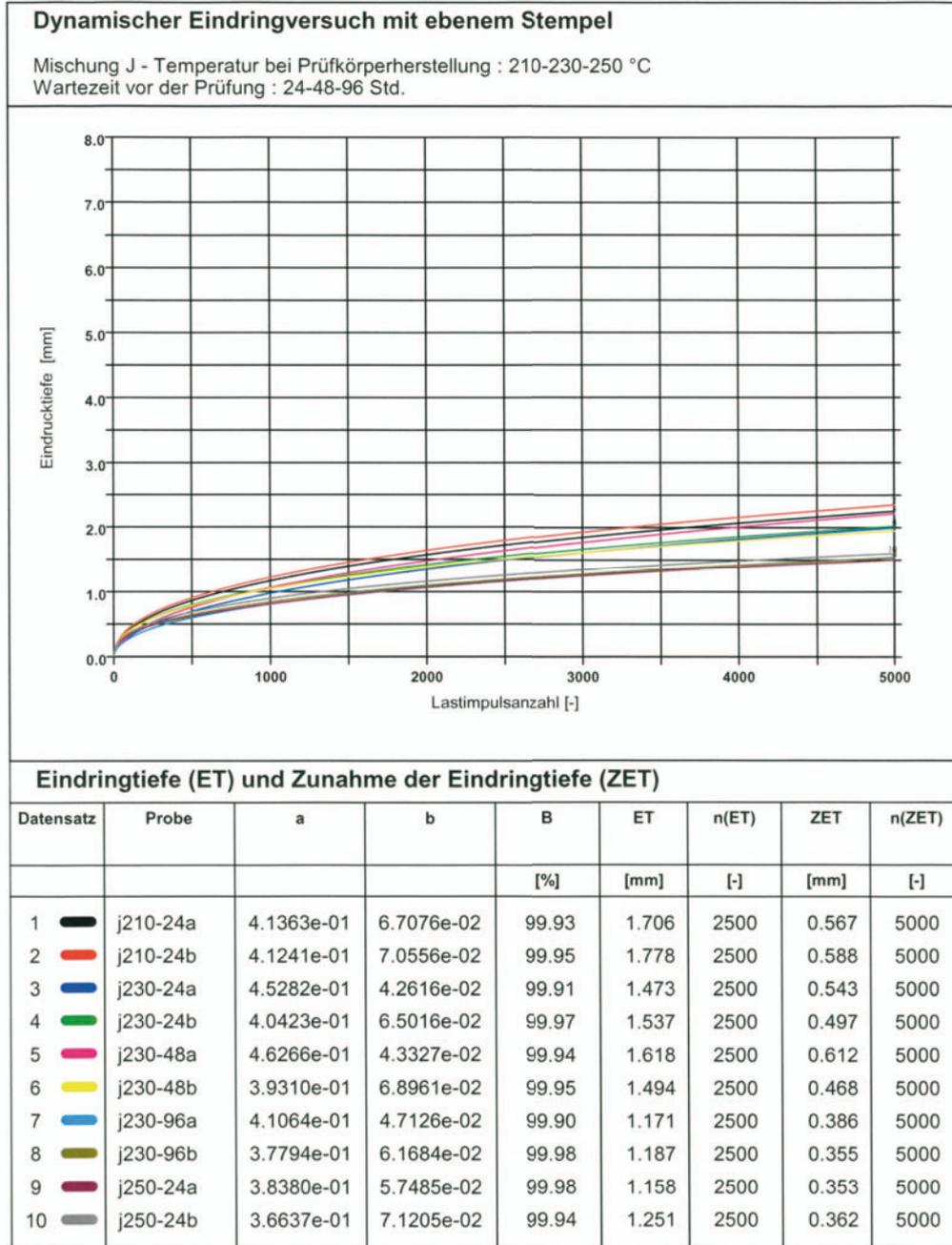


Eindringtiefe (ET) und Zunahme der Eindringtiefe (ZET)

Datensatz	Probe	a	b	B	ET	n(ET)	ZET	n(ZET)
				[%]	[mm]	[-]	[mm]	[-]
1	i210-24a	5.1164e-01	5.4160e-02	99.98	2.966	2500	1.263	5000
2	i210-24b	4.6867e-01	8.7361e-02	99.98	3.418	2500	1.312	5000
3	i230-24a	5.0848e-01	4.9883e-02	99.99	2.665	2500	1.126	5000
4	i230-24b	4.8616e-01	7.7368e-02	99.99	3.471	2500	1.391	5000
5	i230-48a	5.2596e-01	4.6944e-02	100.00	2.876	2500	1.265	5000
6	i230-48b	4.5657e-01	9.7346e-02	100.00	3.465	2500	1.290	5000
7	i230-96a	5.3619e-01	4.5047e-02	100.00	2.990	2500	1.346	5000
8	i230-96b	4.9260e-01	5.8735e-02	99.98	2.771	2500	1.128	5000
9	i250-24a	4.6701e-01	7.0501e-02	100.00	2.723	2500	1.041	5000
10	i250-24b	4.4711e-01	8.2679e-02	99.96	2.733	2500	0.993	5000

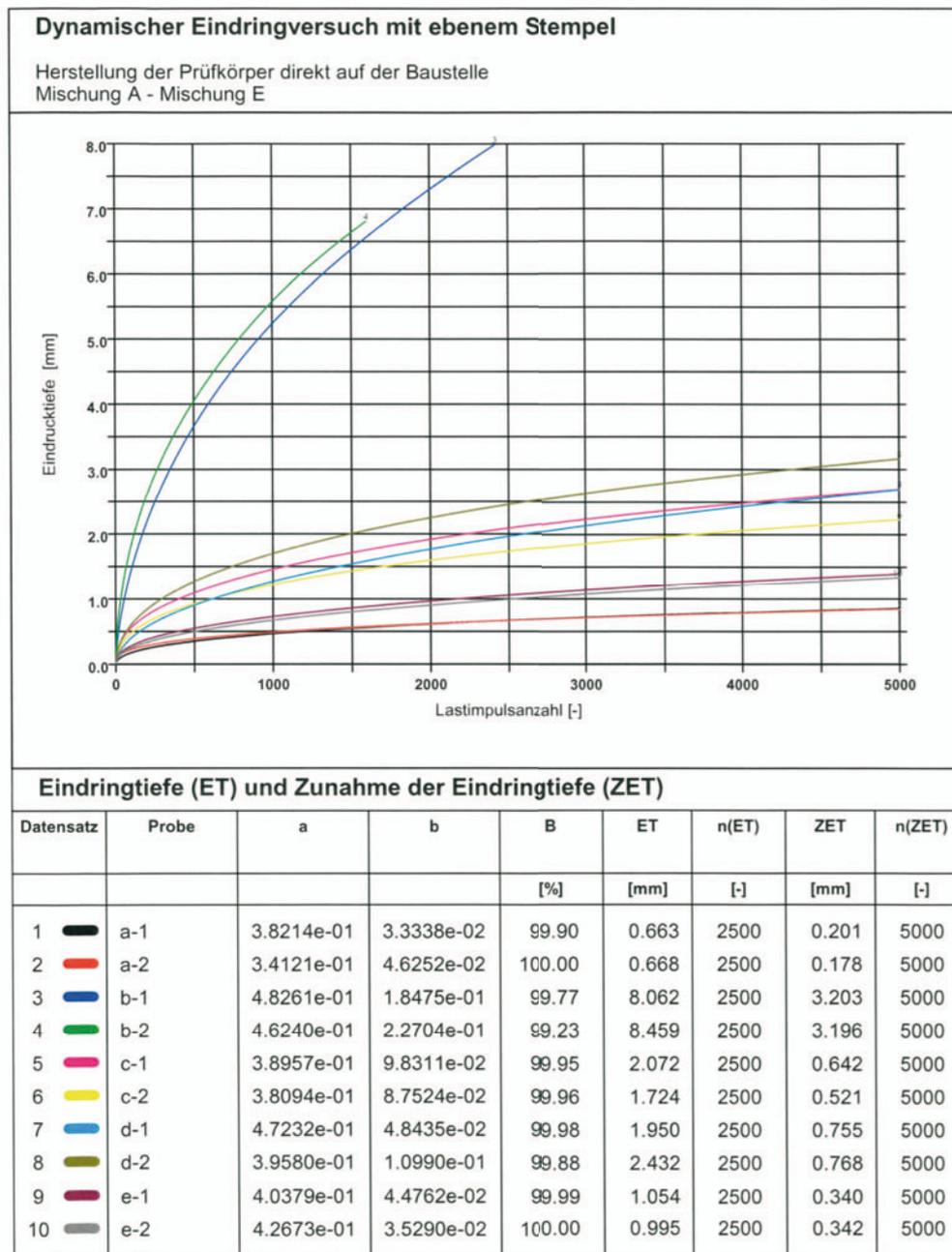
Anlage 10: Grafische Darstellung ET_{dyn} , Mischung J

Institut für Materialprüfung · Dr. Schellenberg Rottweil GmbH



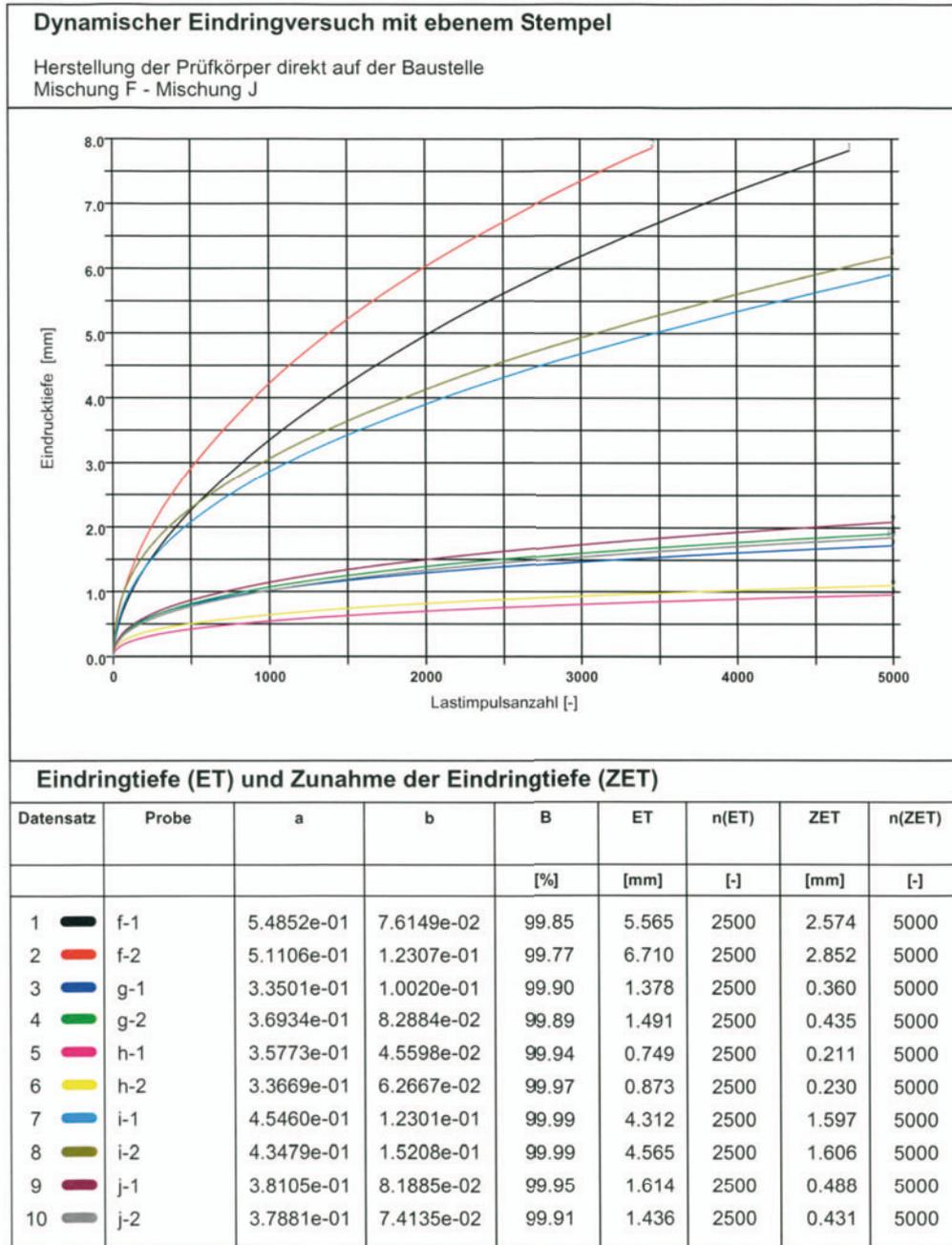
Anlage 11: Grafische Darstellung ET_{dyn} , Mischungen A - E, Baustelle

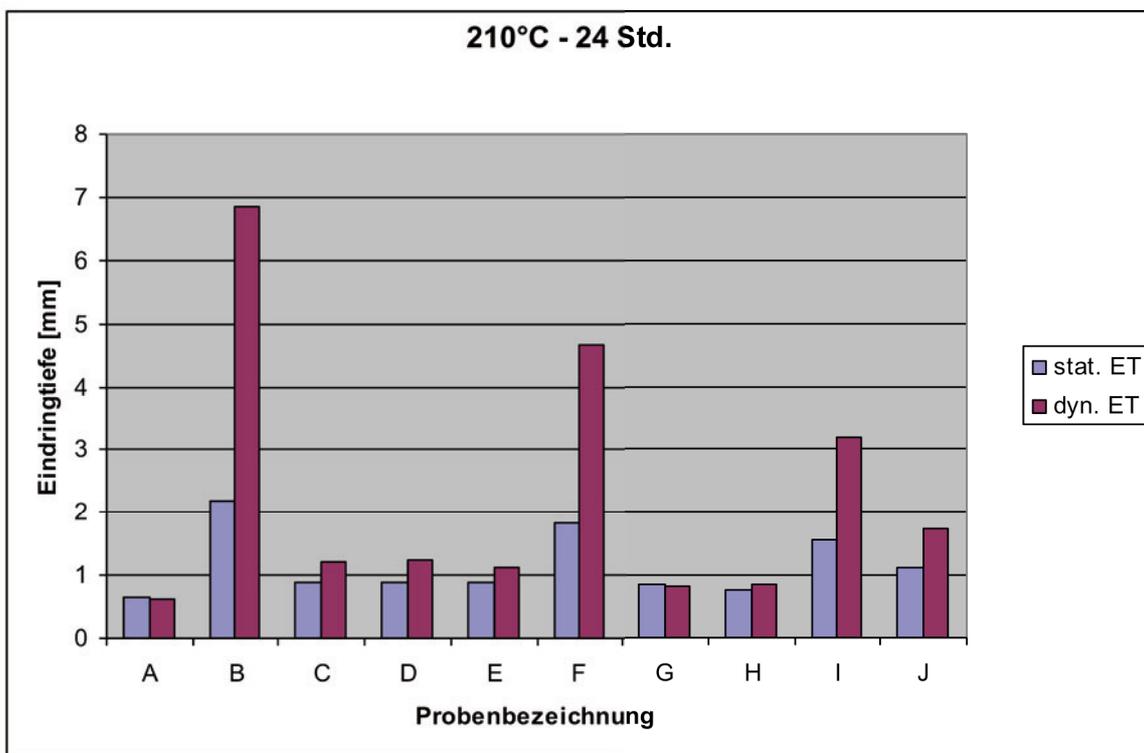
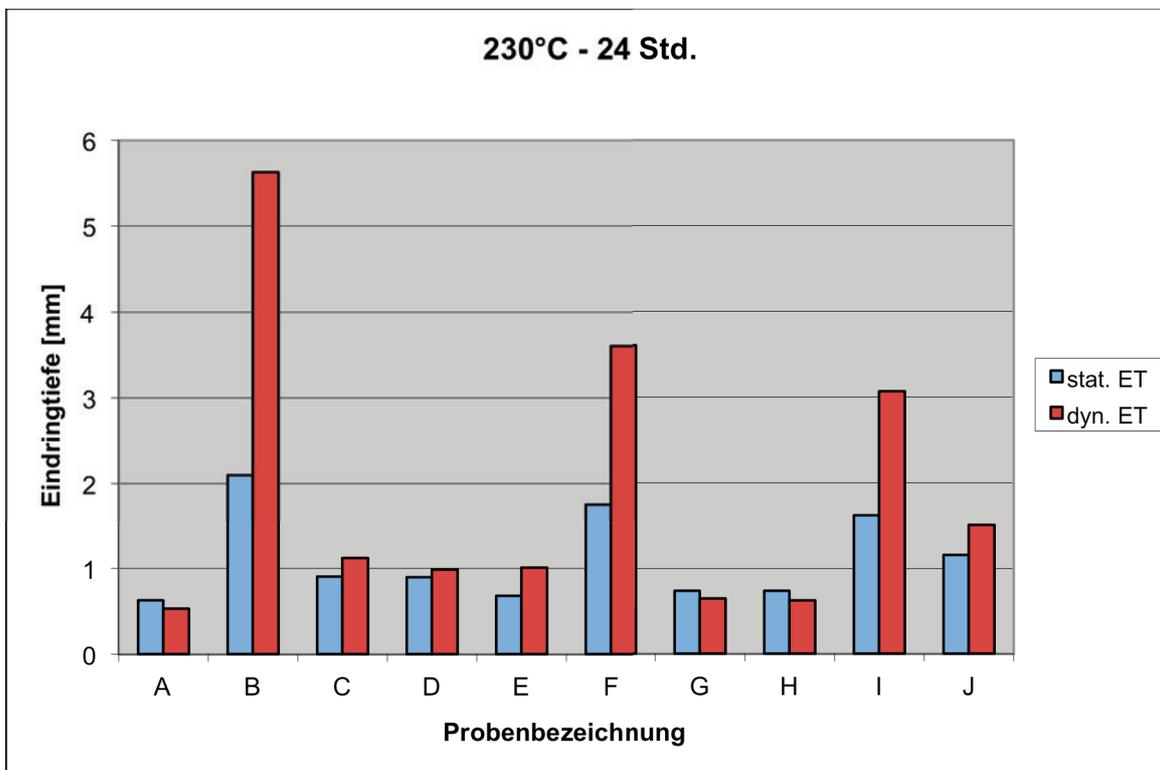
Institut für Materialprüfung · Dr. Schellenberg Rottweil GmbH

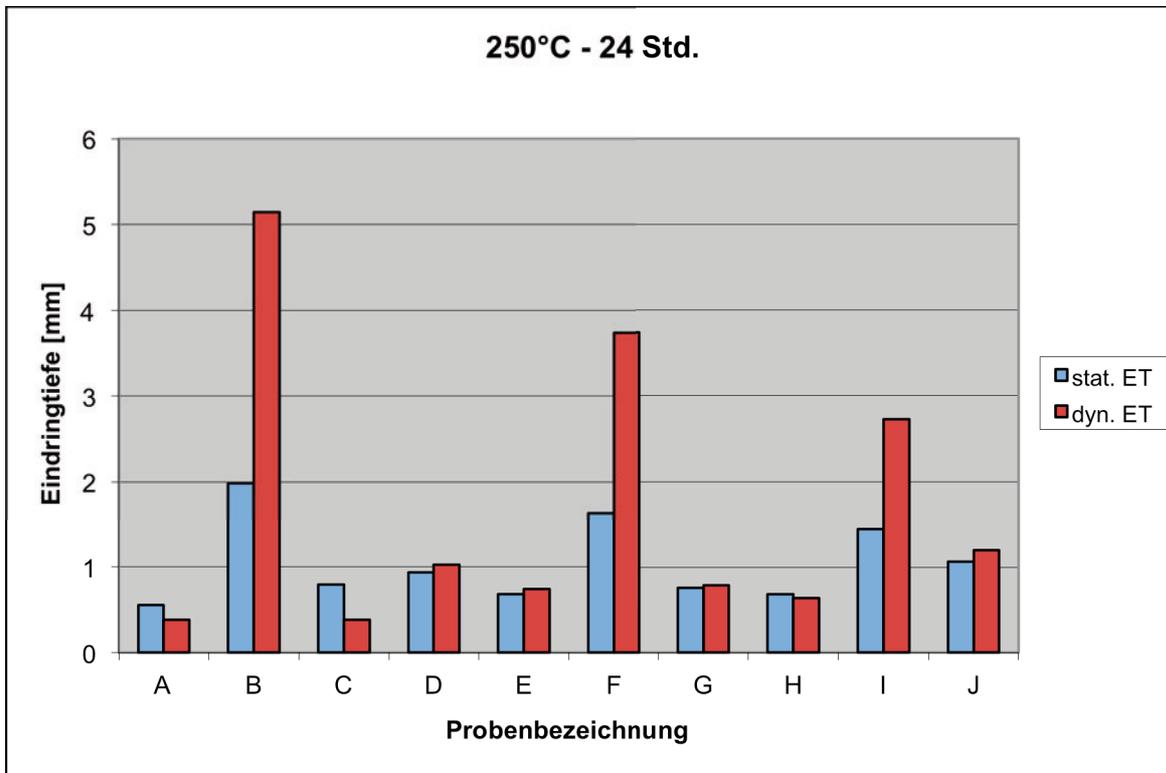
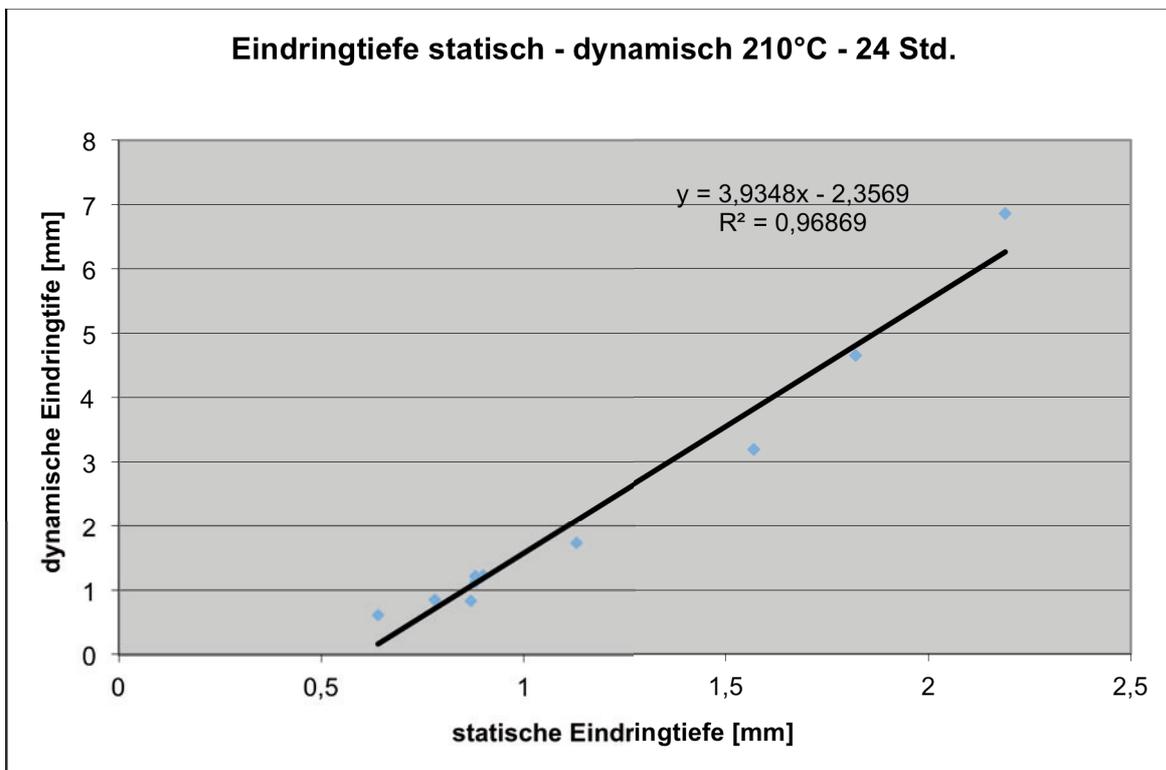


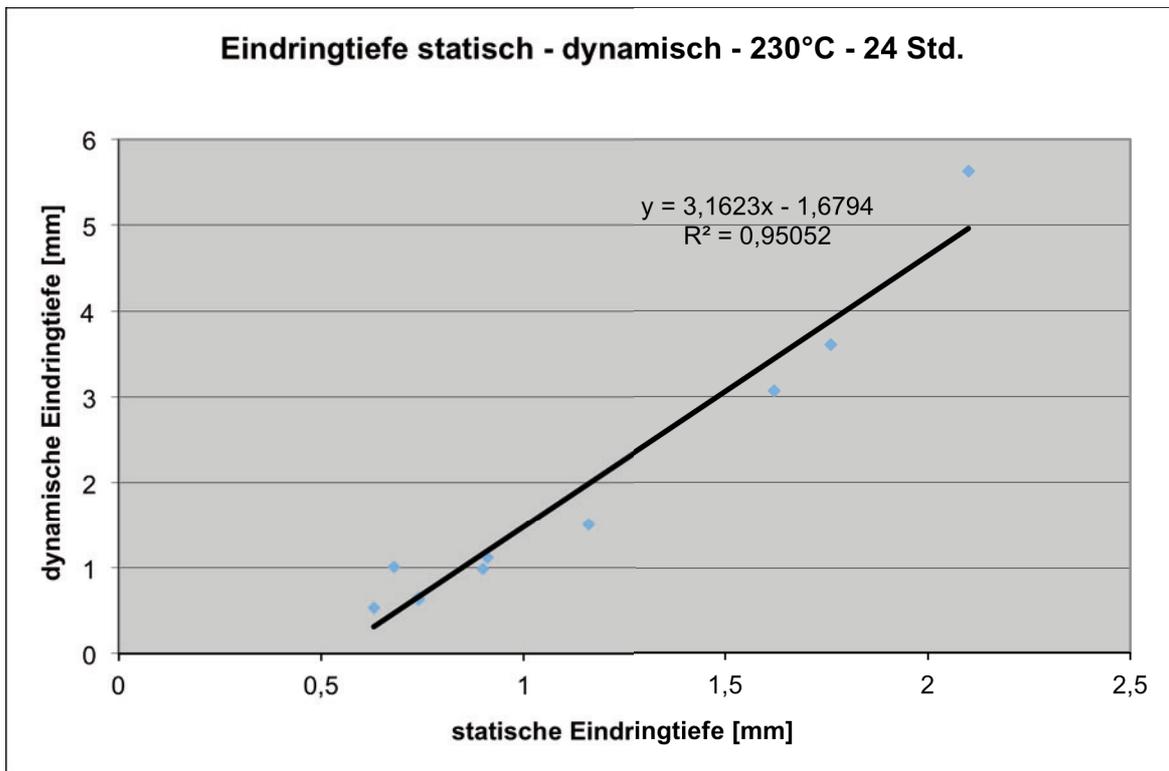
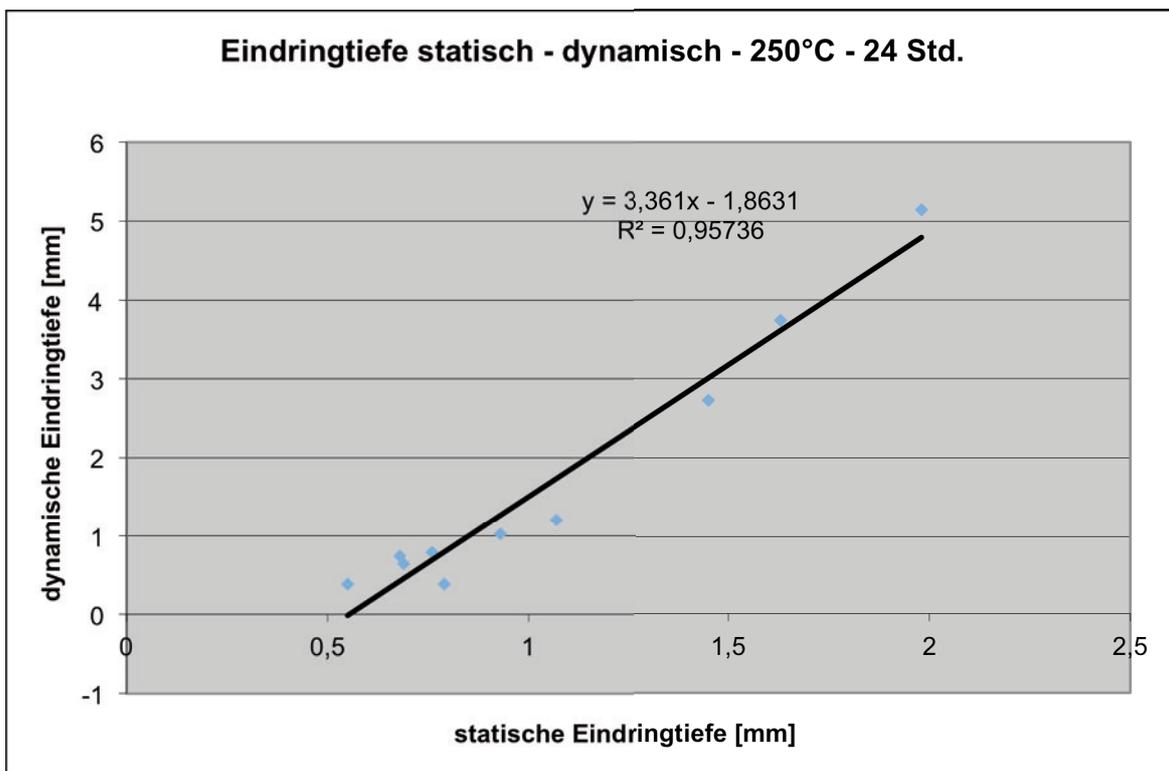
Anlage 12: Grafische Darstellung ET_{dyn} , Mischungen F - J, Baustelle

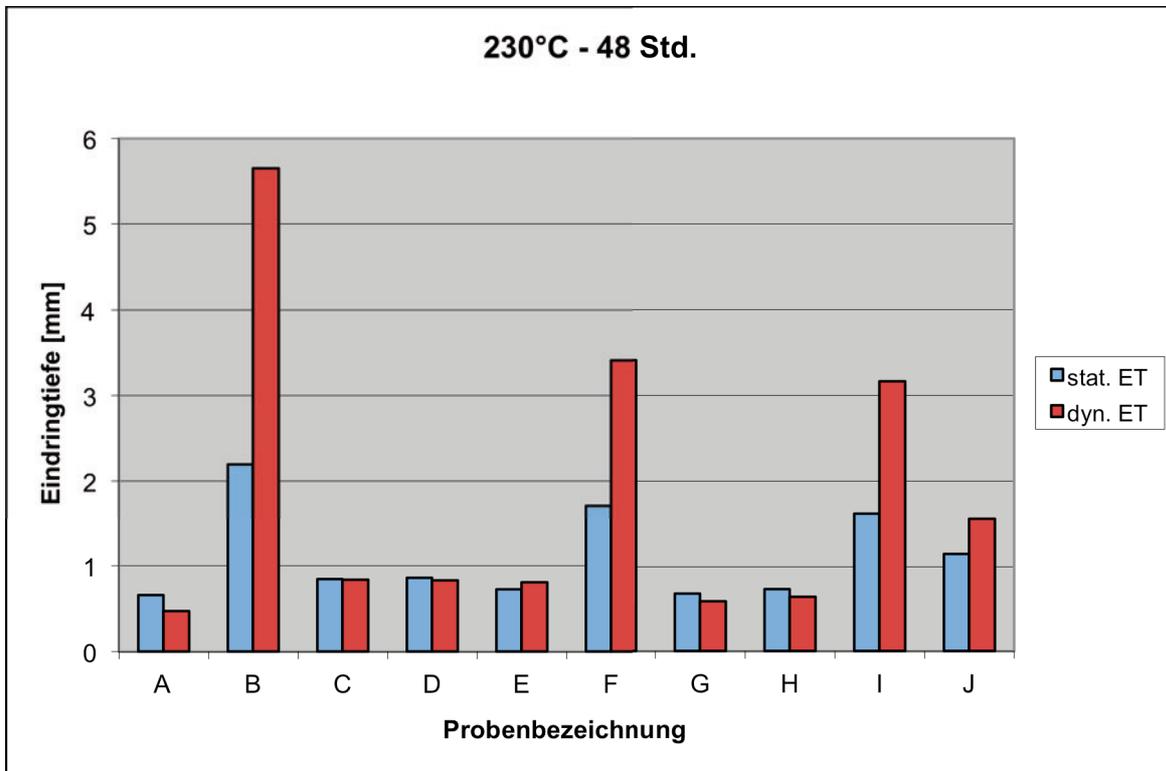
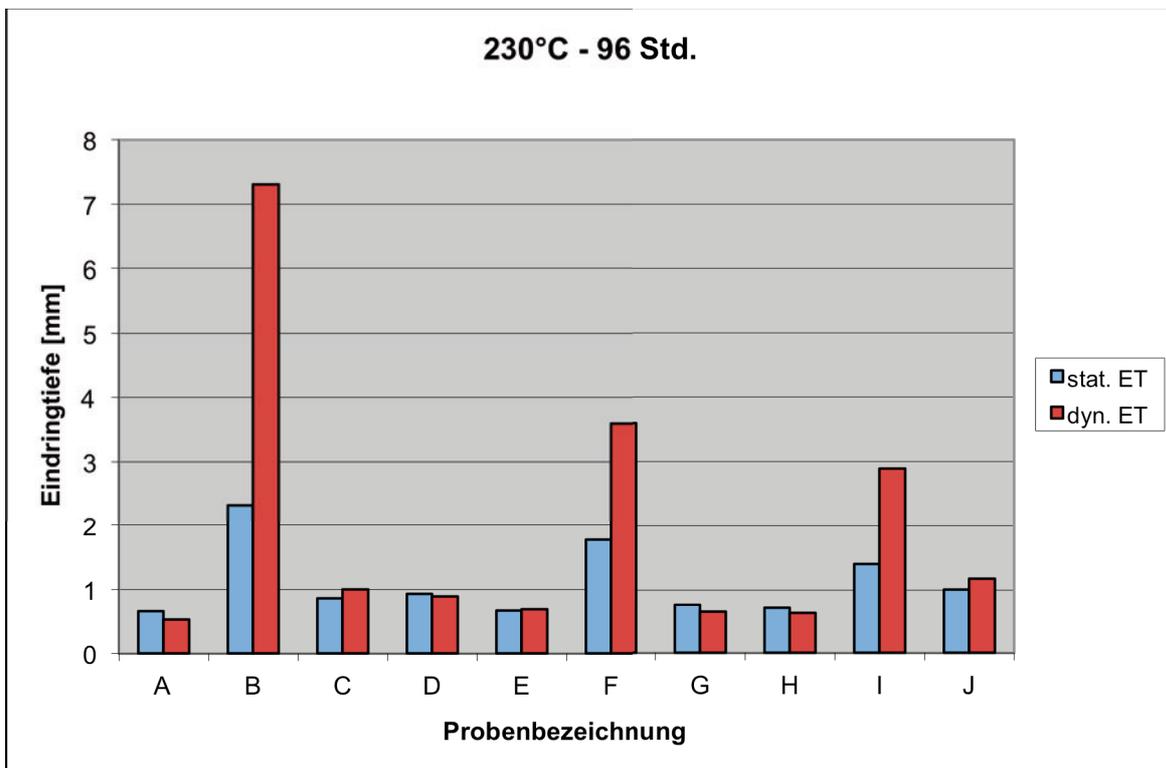
Institut für Materialprüfung · Dr. Schellenberg Rottweil GmbH



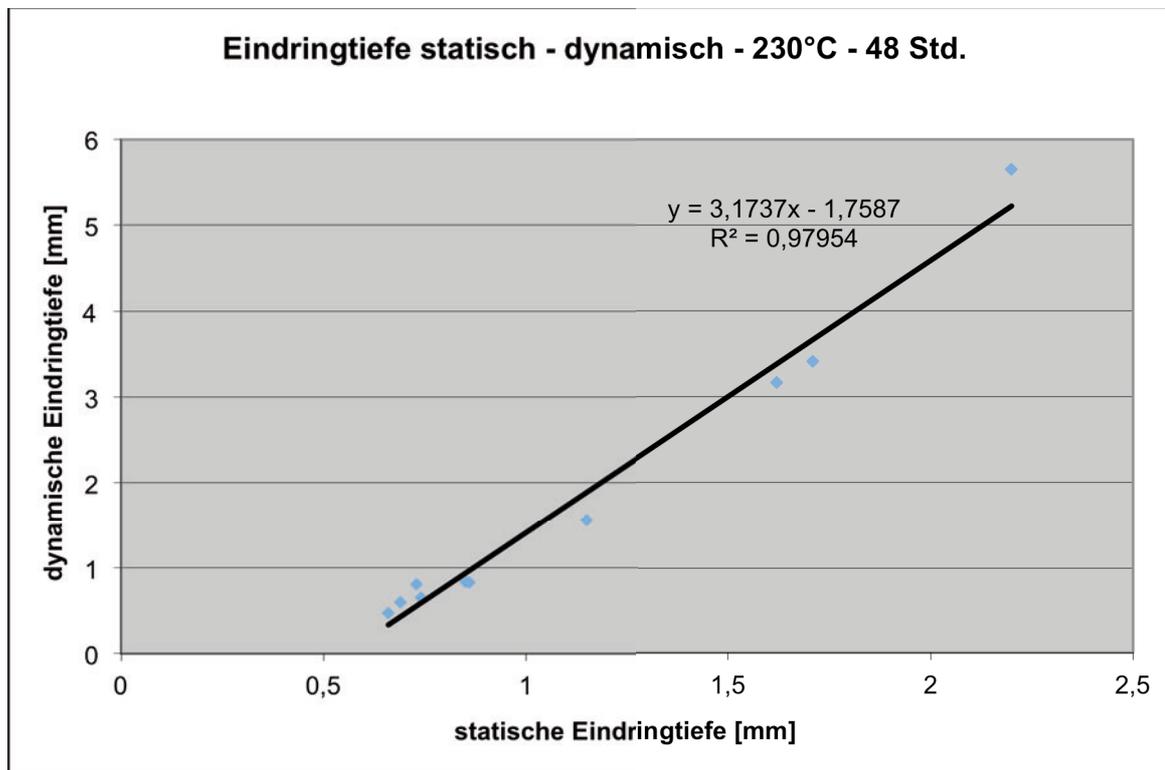
Anlage 13: Grafische Darstellung ET_{dyn} / ET_{stat} , Mischungen A - J, 210 °C - 24 Std.**Anlage 14:** Grafische Darstellung ET_{dyn} / ET_{stat} , Mischungen A - J, 230 °C - 24 Std.

Anlage 15: Grafische Darstellung ET_{dyn} / ET_{stat} , Mischungen A - J, 250 °C - 24 Std.**Anlage 16:** Grafische Darstellung ET_{dyn} / ET_{stat} , Mischungen A - J, 210 °C - 24 Std.

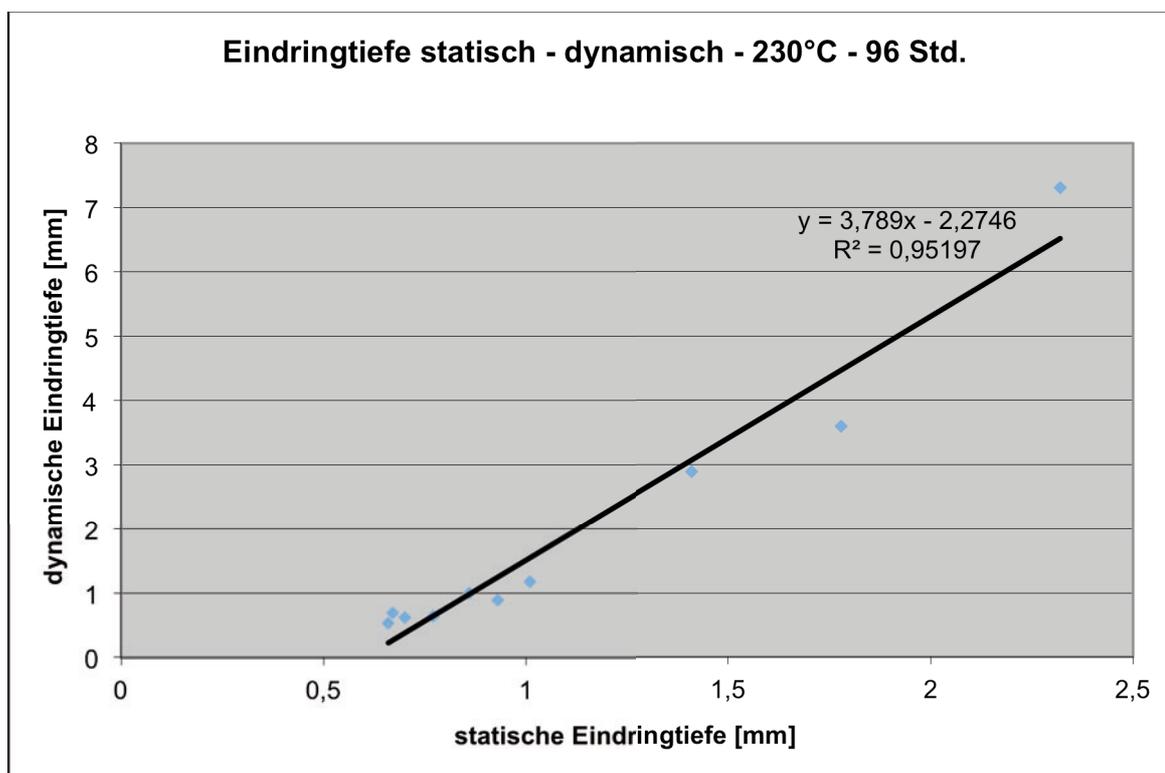
Anlage 17: Grafische Darstellung $ET_{\text{dyn}} / ET_{\text{stat}}$, Mischungen A - J, 230 °C - 24 Std.**Anlage 18:** Grafische Darstellung $ET_{\text{dyn}} / ET_{\text{stat}}$, Mischungen A - J, 250 °C - 24 Std.

Anlage 19: Grafische Darstellung $ET_{\text{dyn}} / ET_{\text{stat}}$, Mischungen A - J, 230 °C - 48 Std.**Anlage 20:** Grafische Darstellung $ET_{\text{dyn}} / ET_{\text{stat}}$, Mischungen A - J, 230 °C - 96 Std.

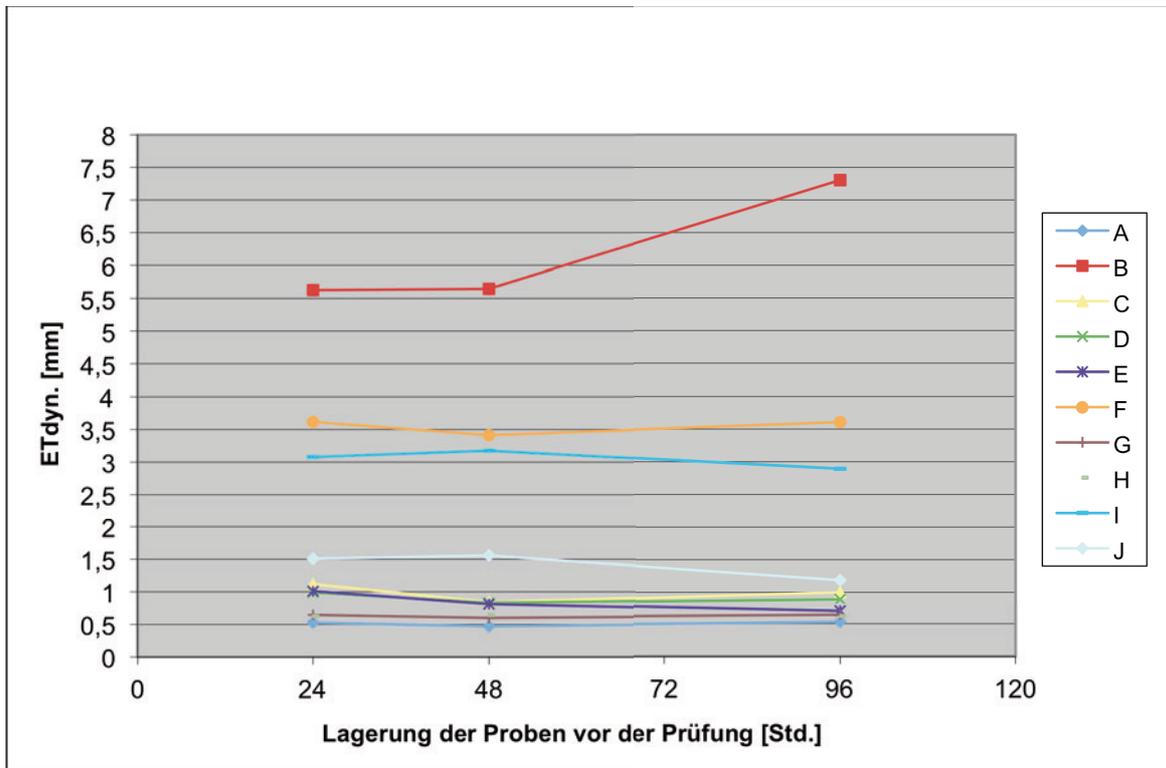
Anlage 21: Grafische Darstellung $ET_{\text{dyn}} / ET_{\text{stat}}$, Mischgut A - J, 230 °C - 48 Std.



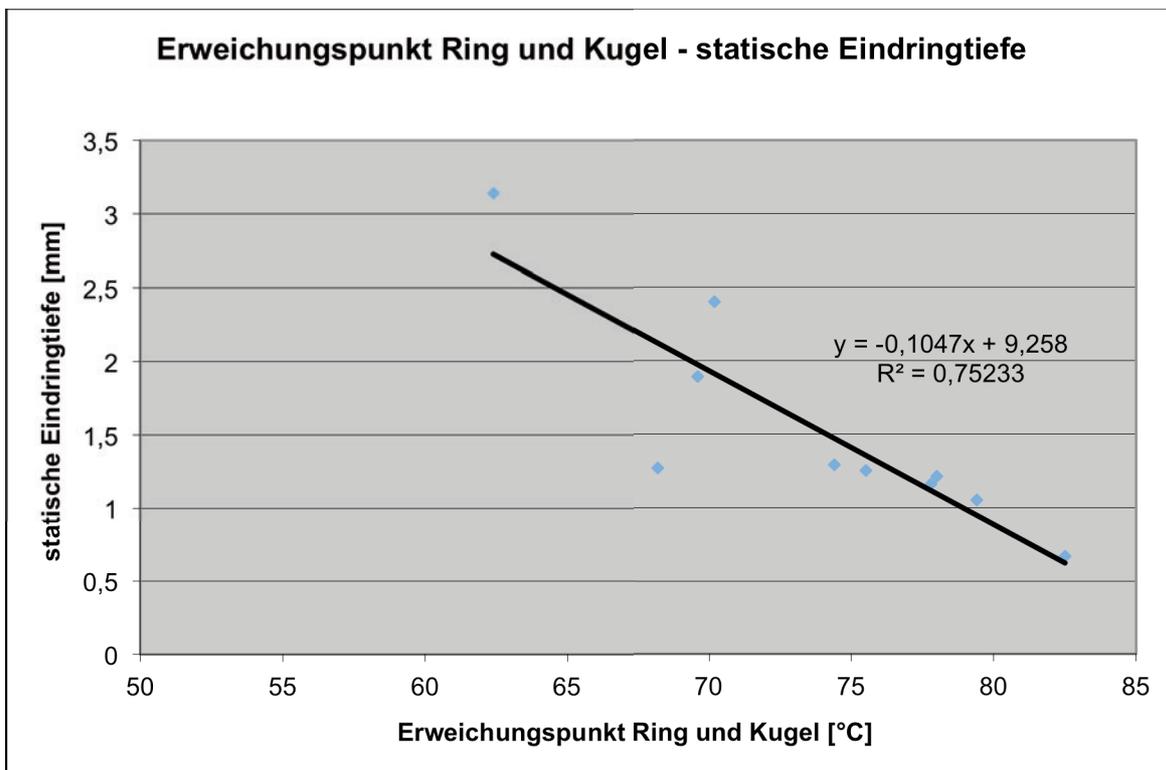
Anlage 22: Grafische Darstellung $ET_{\text{dyn}} / ET_{\text{stat}}$, Mischgut A - J, 230 °C - 96 Std.

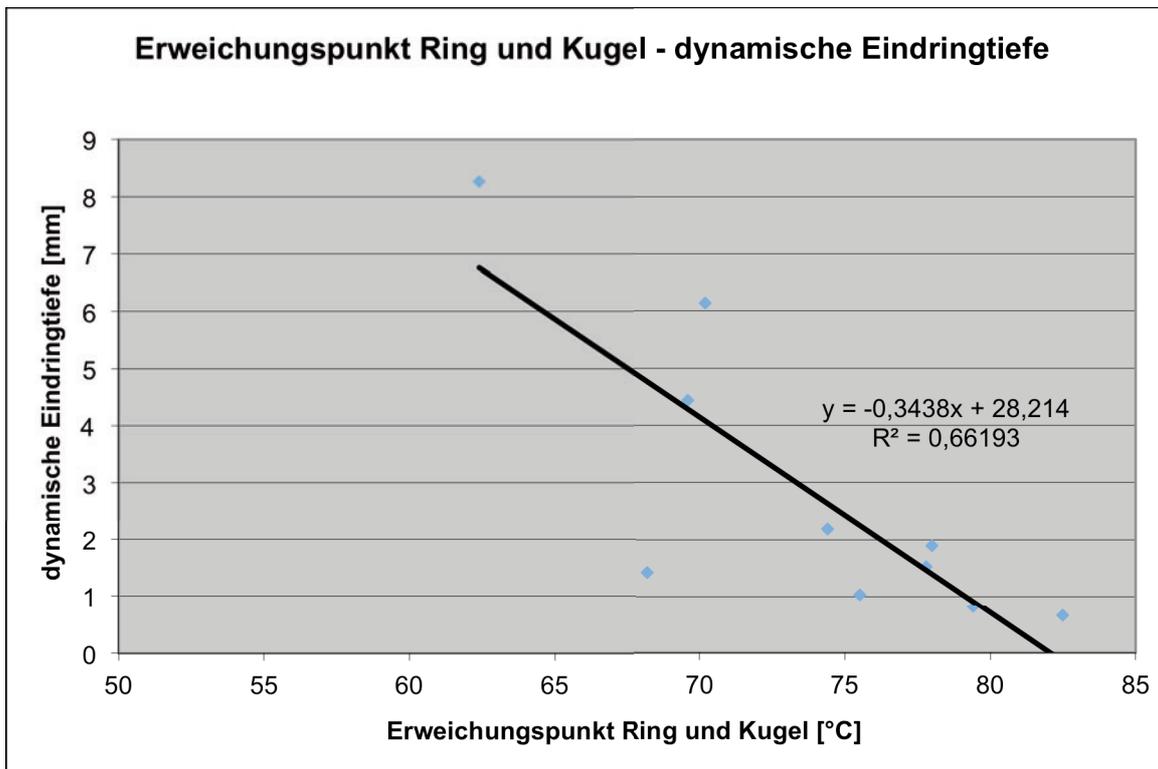


Anlage 23: Grafische Darstellung ET_{dyn} / ET_{stat} , Mischgut A - J, 230 °C - 96 Std.

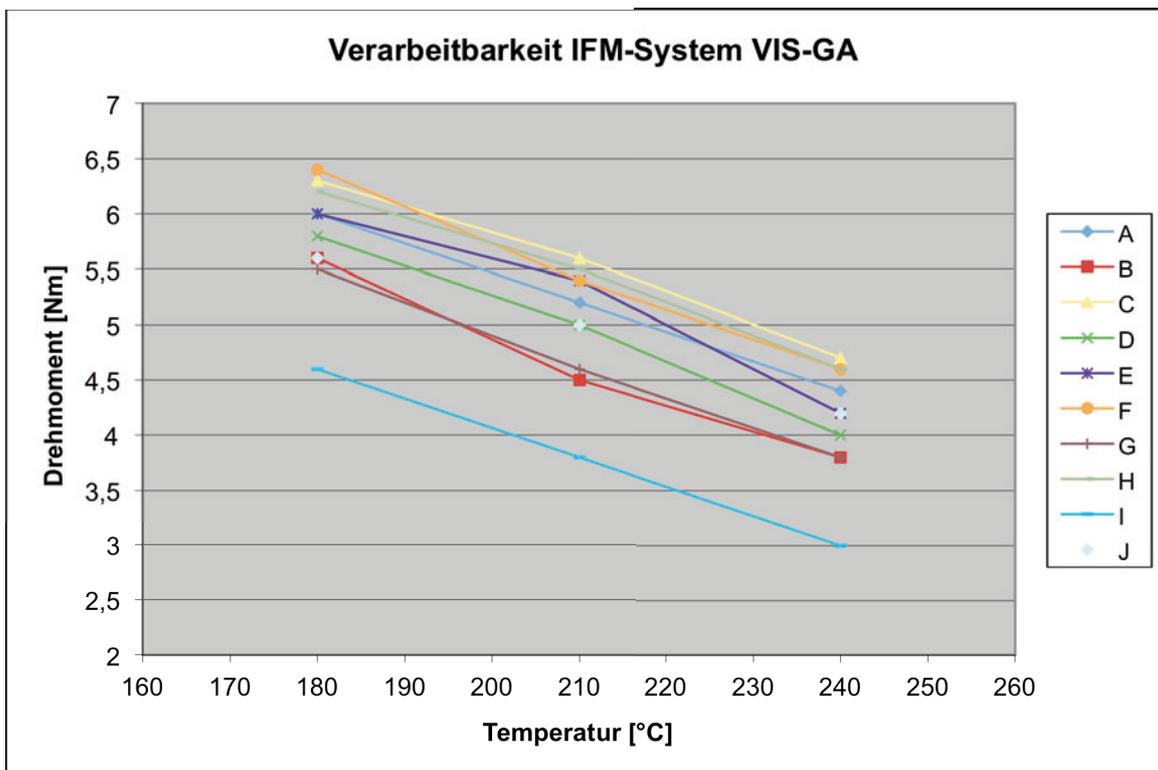


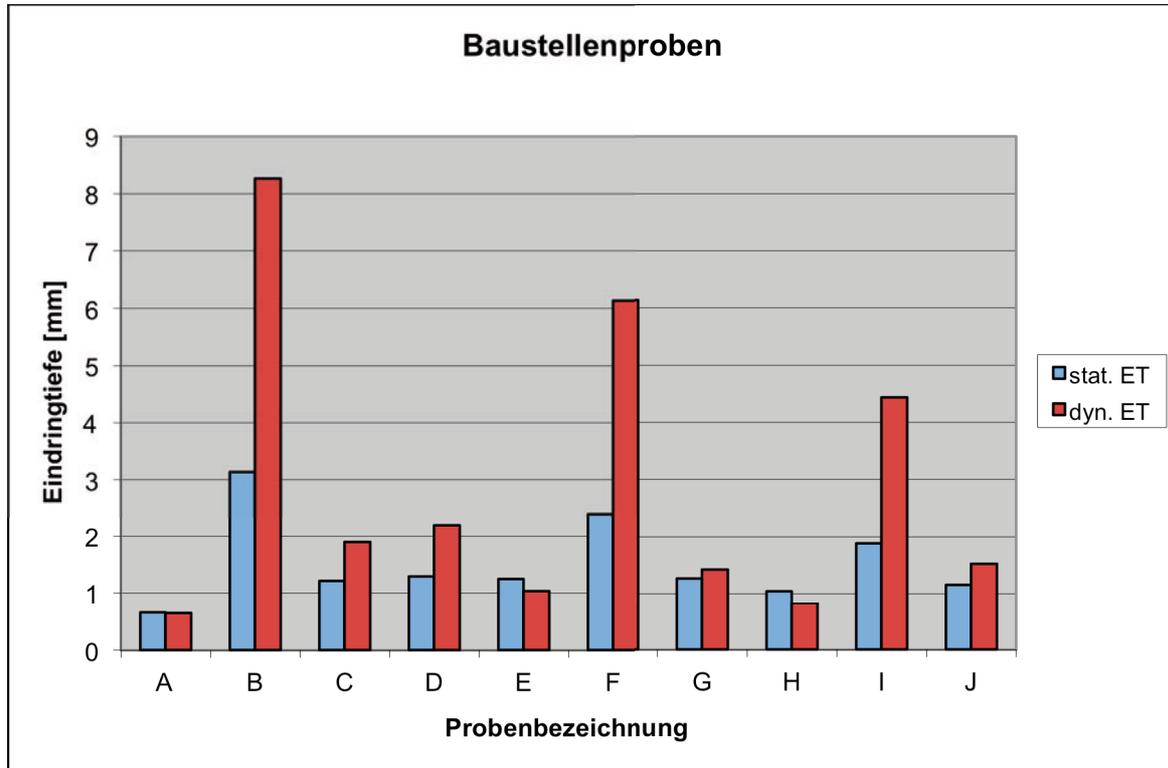
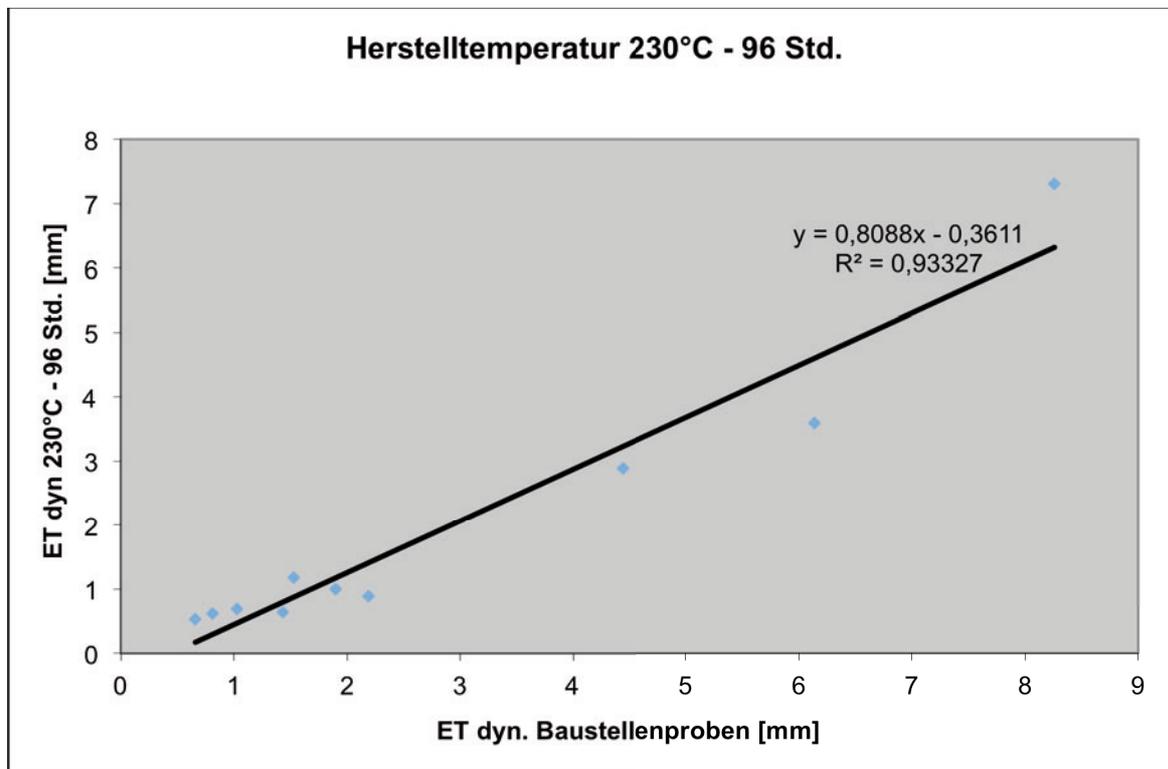
Anlage 24: Grafische Darstellung $ET_{stat} /$ Erweichungspunkt RuK

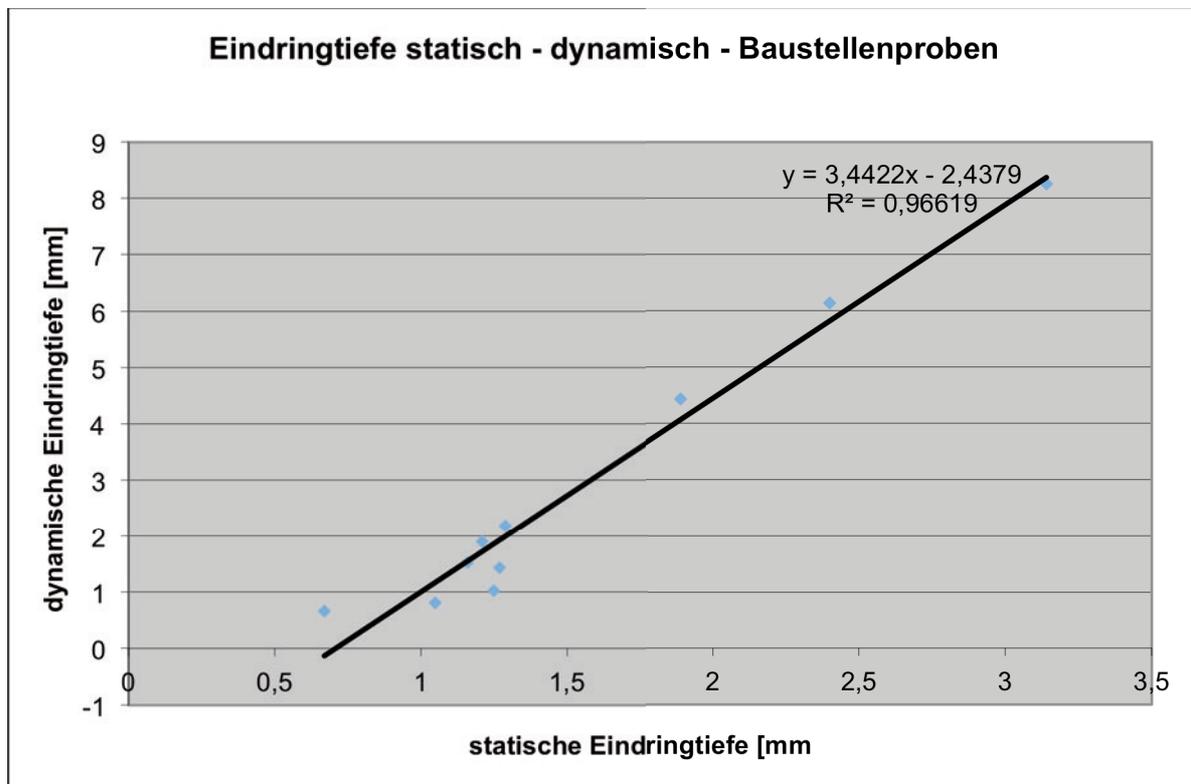


Anlage 25: Grafische Darstellung ET_{dyn} / Erweichungspunkt RuK

Anlage 26: Ergebnisse der Verarbeitbarkeit, Mischung A - J



Anlage 27: Grafische Darstellung ET_{dyn} / ET_{stat} , Baustellenprobe A - J**Anlage 28:** Grafische Darstellung ET_{dyn} / ET_{stat} , Baustellenprobe A - J, 230 °C - 96 Std.

Anlage 29: Grafische Darstellung $ET_{\text{dyn}} / ET_{\text{stat}}$, Baustellenprobe A - J

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Straßenbau“

2011

S 68: Lärmindernder Splittmastixasphalt
Ripke

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

S 69: Untersuchung der Messunsicherheit und der Klassifizierungsfähigkeit von Straßenbelägen
Müller, Wasser, Germann, Kley € 14,50

S 70: Erprobungsstrecke mit Tragschichten ohne Bindemittel aus ziegelreichen RC-Baustoffen
Dieser Bericht liegt außerdem in digitaler Form vor und kann unter [http:// bast.opus.hbz-nrw.de](http://bast.opus.hbz-nrw.de) heruntergeladen werden.
Jansen, Kurz € 16,00

S 71: Enteignung für den Straßenbau – Verfahrensvereinheitlichung – Privatisierung – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ im September 2010 in Bonn € 15,00

S 72: Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten – Teil 2: Neue Baumaßnahmen
Jansen, Pöppel-Decker € 15,00

S 73: Längsebenenheitsauswerteverfahren „Bewertetes Längsprofil“ – Weiterentwicklung der Längsebenenheitsbewertung der Zustandserfassung und -bewertung
Maerschalk, Ueckermann, Heller € 18,50

2012

S 74: Verbundprojekt „Leiser Straßenverkehr 2“ – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche
Projektgruppe „Leiser Straßenverkehr 2“ € 30,50

S 75: Abschätzung der Risiken von Hang- und Böschungsrutschungen durch die Zunahme von Extremwetterereignissen
Krauter, Kumerics, Feuerbach, Lauterbach € 15,50

S 76: 42. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
Maerschalk, Ueckermann, Heller € 18,50

S 77: Netzplanung – Netzbildung – Netzbereinigung
Durner € 16,50

S 78: Untersuchung des Einflusses der Grobtextur auf Messergebnisse mit dem SKM-Verfahren
Bürckert, Gauterin, Unrau € 16,50

2013

S 79: Gussasphalt ohne Abstreuerung
Ripke € 9,00

S 80: Entwicklung einer neuen Versuchstechnik zur Bestimmung der Grenze zwischen halbfestem und festem Boden
Vogt, Birle, Heyer, Etz € 17,50

S 81: Das straßenrechtliche Nutzungsregime im Umbruch – Aktuelle Fragen des Planungsrechts
Durner € 15,00

2014

S 82: Qualitätskontrolle PWS – Wehner/Schulze Quality Control
Teil 1: Auswertung der Kenndaten der PWS Prüfung
Teil 2: Auswertung von Vergleichsuntersuchungen zur Prüfung der Poliereinheit mittels Schleifpapier
Jansen

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

S 83: Die Stellung der Gemeinden im Straßenrecht – aktuelle Probleme des Umweltrechts – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ am 23./24. September 2013 in Bonn
Durner € 17,00

S 84: Anforderungen an die Erhaltung von Radwegen
Maerschalk, Oertelt € 19,00

S 85: Kornformbeurteilung mit dem optischen Partikelmessgerät Camsizer®
Kunz
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2015

S 86: Einfluss des Asphaltgranulates auf die bemessungs- und ermüdungsrelevanten Materialeigenschaften einer zwangsgebundenen, kaltgebundenen und bitumendominanten Tragschicht
Radenberg, Miljković, Schäfer
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 87: Untersuchungen zur Ermittlung von Präzisionswerten für zwei AKR-Schnelltests Durchführung und Auswertung
Müller, Seidel, Böhm
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 88: Verwendung von AKR-geschädigtem Betonaufbruch für hydraulisch gebundene Tragschichten
Hüniger, Börner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 89: Ermittlung von repräsentativen Substanzwerten in homogenen Abschnitten
Villaret, Frohböse, Jähmig, Karcher, Niessen, Buch, Zander
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 90: AKR-Untersuchungen für Fahrbahndecken aus Beton mit Waschbetonoberfläche
Müller, Seidel, Böhm, Stark, Ludwig, Seyfarth
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 91: Straßen im Gesamtsystem der Verkehrsträger
Durner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 92: Längsebenenheitsmesssysteme – Überprüfung der Signalverarbeitungsverfahren nach dem Prinzip der Mehrfachabtastung (HRM)
Neubeck, Wiesebrock
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2016

S 93: Bewertung und Optimierung der Hydrophobierung zur Verminderung des AKR-Schädigungsfortschrittes in Fahrbahndeckenbetonen
Weise, Schrang € 19,50

- S 94: Beanspruchung und Entfernbarkeit temporärer Fahrbahnmarkierung
Kemper, Schacht, Klapproth, Oeser, Beyer € 16,50
- S 95: Bezugsgröße für den Verdichtungsgrad von Schichten ohne Bindemittel
Bialucha, Merkel, Motz, Demond, Schmidt, Ritter, Haas € 14,50
- S 96: Bewertungshintergrund für den Widerstand gegen Polieren von Gesteinskörnungen nach dem PWS-Verfahren
Dudenhöfer, Rückert
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- S 97: Einheitliche Bewertungs- kriterien für Elemente der Straßenverkehrsinfrastruktur im Hinblick auf Nachhaltigkeit – Straße und Tunnel
Fischer, Sauer, Jungwirth, Baumgärtner, Hess, Ditter, Roth, Xalter
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- S 98: Verifikation eines Europäischen Prüfverfahrens zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit von Asphalt
Böhm, Beara
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- S 99: Ansprache und Steuerung von Healing-Effekten bei Asphalt
Wistuba, Alisov, Isailović
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- S 100: Probekörperherstellung für performance-basierte Asphaltprüfungen
R. Roos, C. Karcher, A. Wittenberg
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- S 101: Belastungseinrichtung Mobile Load Simulator MLS10 Sensorik zur Beanspruchungsdetektion im ersten gemeinsamen Versuchsbetrieb
Wacker, Scherckenbach, Rabe, Golkowski
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- S 102: Effizienz technischer Sicherungsmaßnahmen im Erdbau – Lysimeteruntersuchungen unter Laborbedingungen – Teil 1: Bodenmaterial
Kellermann-Kinner, Bürger, Marks € 16,50
- S 103: Effizienz technischer Sicherungsmaßnahmen im Erdbau – Untersuchungen von Bauweisen in Freilandlysimetern – Teil 1: Untersuchungszeitraum 2010 - 2013
Brand, Tiffert, Endres, Schnell, Marks, Kocher € 19,50
- S 104: Nachhaltige und effiziente Sanierung von Schlaglöchern
Thienert, Beckedahl, Koppers, Paffrath, Nafe € 15,00
- S 109: RIVA – Risikoanalyse wichtiger Verkehrsachsen des Bundesfernstraßennetzes im Kontext des Klimawandels
Korn, Leupold, Mayer, Kreienkamp, Spekat € 15,50
- S 110: Vergleichbarkeit der Auslaugraten von Materialien mit und ohne Sandzumischung nach dem Säulenkurzverfahren (DIN 19528)
Lin, Linnemann, Vollpracht € 16,50
- S 111: Bitumenextraktion aus Asphalt mit dem nachwachsenden Rohstoff Octansäuremethylester(Kokosester)
Alisov, Wistuba
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- S 112: Nachweis der flächendeckenden Verdichtungskontrolle von Asphalt
Zander, Buch, Birbaum
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- S 113: Einfluss der Temperatur auf die Probekörperherstellung bei Niedrigtemperaturgussasphalt im Rahmen der Kontrollprüfungen
Schellenberg
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2017

- S 105: Untersuchungen zur Überprüfung des Luftporenanteils als Verdichtungsanforderung bei feinkörnigen Böden und bindigen Mischböden
Lypp, Birle, Heyer, Vogt € 20,50
- S 106: Zusammenhang zwischen Bitumenchemie und straßenbautechnischen Eigenschaften
Radenberg, Nytus, Gehrke
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- S 107: Baustoffe für standfeste Bankette
Koukoulidou, Birle, Heyer € 15,50
- S 108: Neue Wege zur Finanzierung des Straßenbaus – Entwicklungen des europäischen Umweltrechts – Referate eines For-

Fordern Sie auch unser kostenloses Gesamtverzeichnis aller lieferbaren Titel an! Dieses sowie alle Titel der Schriftenreihe können Sie unter der folgenden Adresse bestellen:

Fachverlag NW in der Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel. + (0)421/3 69 03-53 · Fax + (0)421/3 69 03-63

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

www.schuenemann-verlag.de