

# **Statistische Analyse der Bitumenqualität aufgrund von Erhebungen in den Jahren 2000 bis 2005**

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Straßenbau Heft S 52**

The logo consists of the word "bast" in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are slightly shadowed, giving it a 3D appearance. The logo is positioned in the bottom right corner of the page.

# **Statistische Analyse der Bitumenqualität aufgrund von Erhebungen in den Jahren 2000 bis 2005**

von

Volker Hirsch

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Straßenbau Heft S 52**

**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, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

## Impressum

**Bericht zum Forschungsprojekt AP 05.360:**  
Kriterien für die Haltbarkeit bituminöser Schichten

### Herausgeber

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

### Redaktion

Referat Öffentlichkeitsarbeit

### Druck und Verlag

Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven  
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0  
Telefax: (04 71) 9 45 44 77  
Email: [vertrieb@nw-verlag.de](mailto:vertrieb@nw-verlag.de)  
Internet: [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de)

ISSN 0943-9323  
ISBN 978-3-86509-726-2

Bergisch Gladbach, August 2007

## Kurzfassung – Abstract

### Statistische Analyse der Bitumenqualität aufgrund von Erhebungen in den Jahren 2000 bis 2005

Gemäß Erlass des BMVBW StB 26/38.56.05-10/20 Va 94 vom 02.05.1994 werden bei größeren Baumaßnahmen Bitumenproben entnommen und diese im Rahmen von Kontrollprüfungen untersucht. Die Ergebnisse der Bitumenkontrollprüfungen für die Jahre 2000 bis 2005 wurden von der Bundesanstalt für Straßenwesen gesammelt und statistisch ausgewertet. Die statistische Auswertung von Bitumenkontrollprüfungen hat die folgenden Ziele:

- Übersicht der im Straßenbau verwendeten Produkte.
- Gewinnung von Daten zur Beurteilung der Bitumenqualität und der Prüfqualität.
- Identifizierung von Anomalien.

Die im Straßenbau verwendeten Bitumen erfüllen weitgehend die Anforderungen. Auffälligkeiten sind nur hinsichtlich folgender Parameter und Produkte festzustellen:

1. Die Spezifikationen der EN 12591 bezüglich der Erweichungspunkte von nicht-modifizierten Straßenbaubitumen werden eingehalten. Aufgrund einer freiwilligen Selbstbeschränkung der Bitumenproduzenten wurden die Spannen für die Erweichungspunkte stärker eingegrenzt als in der EN 12591 gefordert. Hinsichtlich dieser Spannen muss festgestellt werden, dass bei allen Bitumensorten bis zu 8 Prozent der ermittelten Werte außerhalb der angestrebten Spezifikationen liegen. Dies ist insbesondere für das sehr häufig eingesetzte Bitumen der Sorte 50/70 bedeutsam.
2. Für das Bitumen 30/45 wurde eine beträchtliche Überschreitung der Zunahme des Erweichungspunktes nach thermischer Beanspruchung festgestellt. Messtechnische Einflüsse können weitgehend ausgeschlossen werden, so dass die Ursache hierfür in produktionstechnisch bedingten Einflüssen zu suchen ist.
3. Hinsichtlich des Brechpunktes nach Fraaß scheint eine Verbesserung der Prüfqualität eingetreten zu sein. Besonders das Bitumen der Sorte 50/70 zeigt eine symmetrische statistische Verteilung der Prüfdaten. Die Spannweite in der die Brechpunkte einer Sorte auftreten ist nach wie vor ausgesprochen groß. Polymermodifizierte Bitumen, wie z.B. das PmB 45, zeigen keine Verbesserung der Prüfwertverteilung. Es ist möglich, dass die Brechpunktbestimmung nach Fraaß für die Prüfung nicht-modifizierter Bitumen prinzipiell besser geeignet ist, als für die Prüfung polymermodifizierter Bitumen.
4. Im Rahmen der TL PmB wurden drei Prüfverfahren zur Erfahrungssammlung eingeführt. Als Hilfestellung zur Beurteilung der Prüfergebnisse wurden Orientierungswerte vereinbart.
  - Mit Hilfe des Biegebalken-Rheometers (BBR) wird die Steifigkeit von Bitumenprüfkörpern bei einer Temperatur von  $-16\text{ °C}$  gemessen. Die Orientierungswerte wurden von allen untersuchten PmB erfüllt.
  - Das dynamische Scher-Rheometer (DSR) ermöglicht die Messung des komplexen Schubmoduls und des Phasenwinkels Delta. Während die Orientierungswerte für den Phasenwinkel eingehalten werden können, liegen beim komplexen Schubmodul für PmB 25 etwa 40 Prozent und für PmB 45 sogar mehr als 70 Prozent über dem veranschlagten Orientierungswert.
  - Die Kraftduktilitätsprüfung (KD) entspricht einem direkten Zugversuch und ermöglicht die Messung der bei der Dehnung eines Bitumenprüfkörpers auftretenden Kräfte. Weniger als fünf Prozent der geprüften Proben der Sorte PmB 45 erreichen den angestrebten Orientierungswert von 1 Joule. Eine Ursache ist die zu optimistische Einschätzung bezüglich der Höhe der Formänderungsenergie von PmB 45. Ein weiterer Grund ist die gewählte Prüftemperatur von  $25\text{ °C}$ . Diese Temperatur ist zu hoch um die Eigenschaften eines PmB 45 optimal ansprechen zu können.
  - Für die aufgeführten Verfahren ist sowohl eine Anpassung der Anforderungswerte als auch der Prüfbedingungen erforderlich, um eine möglichst differenzierte und qualitätsorientierte Ansprache der Bitumenprodukte zu ermöglichen.
5. Bezüglich der Datenerfassung wäre eine bessere Dokumentation zur eindeutigen Identifizierung der Bitumenproben nach Raffinerie und Mischanlage wünschenswert.

Im Rahmen des Projektes wurde eine Datenbank erstellt, die eine einfache Dateneingabe und statistische Auswertung ermöglicht. Diese Datenbank hat den Vorteil, dass bei Nutzung durch die beteiligten Prüfinstitute eine Redigitalisierung der Daten vermieden werden kann. Weiterhin stehen die Ergebnisse der statistischen Auswertungen mit Hilfe der in der Datenbank integrierten Auswerteargorithmen sofort nach der Dateneingabe zur Verfügung. Auf diese Weise können statistische Auswertungen zukünftig sehr schnell aktualisiert werden.

## **Statistical analysis of bitumen quality based on surveys conducted from 2000 to 2005**

According to enactment StB 26/38.56.05-10/20 Va 94 dated 02.05.1994 and issued by the Federal Ministry of Transport, Building and Urban Affairs, bitumen samples are to be taken and examined as part of major construction projects. The results of bitumen sample tests conducted from 2000 to 2005 were collected and evaluated statistically by the Federal Highway Research Institute. Statistical evaluations of bitumen test results have the following objectives:

- To obtain an overview of products used for road construction.
- To obtain data for assessing bitumen and test quality.
- To identify anomalies.

The bitumen types used for road construction largely fulfil requirements. Deviances have been established solely in terms of the following parameters and products:

1. EN 12591 specifications concerning the softening points of non-modified road construction bitumen are adhered to. As part of voluntary restrictions self-imposed by bitumen producers, the ranges for softening points have been limited more than specified in EN 12591. In the case of all bitumen types, up to 8 percent of the determined values lie outside these ranges. This is of special significance for the frequently employed bitumen of type 50/70.
2. Following thermal loading, bitumen 30/45 exhibits an excessive increase in the softening point. Because an influence of measurement systems can be largely precluded, the cause for this is to be sought among production-related parameters.
3. The test quality appears to have improved in terms of the break point according to Fraaß. Especially bitumen of type 50/70 exhibits a symmetric statistical distribution of test data. The bandwidth in which a particular type's break points occur is still quite large. Polymer-modified bitumen like PmB 45 exhibits no improved distribution of the test values. Determination of the break point according to Fraaß might be fundamentally more suitable for testing non-modified bitumen than for testing polymer-modified bitumen.
4. As part of TL PmB, three methods of testing were introduced to gather information. Orientation values were agreed as aids in assessing test results.
  - A bending-beam rheometer (BBR) is used to measure the rigidity of bitumen samples at a temperature of  $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ . The orientation values were adhered to by all investigated PmB.
  - A dynamic shear rheometer (DSR) permits measurement of the complex shear modulus and phase angle ( $\delta$ ). While the orientation values for the phase angle are adhered to, those for the complex shear modulus are overshot by about 40 percent in the case of PmB 25 and more than 70 percent in the case of PmB 45.
  - Equivalent to a direct tensile test, the force-ductility test permits measurement of the forces occurring during expansion of bitumen samples. Less than five percent of the tested samples of PmB 45 achieved the target orientation value of 1 Joule. One reason for this is the excessively optimistic assessment of the deformation energy of PmB 45. Another reason is the test temperature of  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a value too high to optimally represent the properties of PmB 45.
  - The mentioned methods need to be adapted in terms of target values and test conditions to permit, as far as possible, a differentiated and quality-oriented analysis of bitumen products.
5. As concerns data acquisition, documentation should be improved to permit a clearer identification of bitumen samples according to refinery and mixing plant.

A database allowing simple data entry and statistical evaluation was created as part of this project. The advantage of this database is that it avoids a re-digitization of data during usage by the involved test institutes. Furthermore, the evaluation algorithms integrated into the database can be used to make the results of statistical evaluation available immediately after the data have been input. This will permit very fast updating of statistical evaluation results in future.

## Inhaltsverzeichnis

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>VERANLASSUNG</b>   | <b>7</b>  |
| <b>2</b> | <b>ZIELSETZUNG</b>  | <b>7</b>  |
| <b>3</b> | <b>GRUNDLAGEN</b>   | <b>7</b>  |
|          | 3.1 Anforderungen   | 7         |
|          | 3.2 Prüfverfahren   | 7         |
| <b>4</b> | <b>DURCHFÜHRUNG DER STATISTISCHEN AUSWERTUNG</b>                    | <b>10</b> |
|          | 4.1 Datengrundlage  | 10        |
|          | 4.2 Vorgehen  | 13        |
|          | 4.3 Statistische Methoden   | 13        |
| <b>5</b> | <b>ERGEBNISSE</b>   | <b>14</b> |
|          | 5.1 Nadelpenetration  | 14        |
|          | 5.2 Erweichungspunkt  | 17        |
|          | 5.3 Brechpunkt nach Fraaß   | 21        |
|          | 5.4 Duktilität  | 25        |
|          | 5.5 Paraffingehalt  | 26        |
|          | 5.6 Dichte  | 27        |
|          | 5.7 Flammpunkt  | 28        |
|          | 5.8 Elastische Rückstellung   | 29        |
|          | 5.9 Homogenität   | 31        |
|          | 5.10 Massenänderung   | 32        |
|          | 5.11 Änderung des Erweichungspunktes nach thermischer Beanspruchung | 35        |
|          | 5.12 Nadelpenetration nach thermischer Beanspruchung                | 38        |
|          | 5.13 Änderung der Duktilität nach thermischer Beanspruchung         | 41        |
|          | 5.14 Elastische Rückstellung  | 42        |
|          | 5.15 Steifigkeit  | 43        |
|          | 5.16 Komplexer Schubmodul   | 45        |
|          | 5.17 Phasenwinkel   | 47        |
|          | 5.18 Kraftduktilität  | 49        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>6</b> | <b>ZEITLICHE VERÄNDERUNG DER BITUMENPRÜFERGEBNISSE</b>   | <b>51</b> |
| 6.1      | Entwicklung des Mittelwertes der Nadelpenetration  | 51        |
| 6.2      | Entwicklung des Mittelwertes des Erweichungspunktes  | 53        |
| 6.3      | Entwicklung des Mittelwertes des Brechpunktes nach Fraaß   | 54        |
| 6.4      | Entwicklung des Mittelwertes der Änderung des Erweichungspunktes<br>nach thermischer Beanspruchung | 56        |
| 6.5      | Entwicklung des Mittelwertes der Änderung der Nadelpenetration nach<br>thermischer Beanspruchung   | 57        |
| <b>7</b> | <b>ZUSAMMENFASSUNG</b>   | <b>58</b> |
| 7.1      | Kompositionelle Parameter  | 63        |
| 7.2      | Physikalische Parameter  | 63        |
|          | 7.2.1 Prüfung des frischen Bitumens  | 63        |
|          | 7.2.2 Prüfung des thermisch gealterten Bitumens  | 64        |
| 7.3      | Sonstige Prüfungen   | 64        |
|          | 7.3.1 Biegebalken-Rheometrie (BBR)   | 64        |
|          | 7.3.2 Dynamische Scher-Rheometrie (DSR)  | 64        |
|          | 7.3.3 Kraftduktilität (KD)   | 65        |
| 7.4      | Schlussfolgerungen   | 65        |
| <b>8</b> | <b>LITERATUR</b>   | <b>66</b> |

## **ANLAGEN**

Anlage 1: Kurzbeschreibung der Prüfmethode

Anlage 2: Statistische Auswertung

Anlage 3: Erläuterungen zur Access-Datenbank

# 1 Veranlassung

Gemäß Erlass des BMVBS StB 26/38.56.05-10/20 Va 94 vom 02.05.1994 werden bei größeren Baumaßnahmen Bitumenproben entnommen und diese im Rahmen von Kontrollprüfungen untersucht. Die Ergebnisse der Bitumenkontrollprüfungen für die Jahre 2000 bis 2005 wurden von der Bundesanstalt für Straßenwesen gesammelt und statistisch ausgewertet.

## 2 Zielsetzung

Die statistische Auswertung von Bitumenkontrollprüfungen hat die folgenden Ziele:

- Überprüfung der Einhaltung der Bitumenspezifikationen, gemäß der jeweils geltenden Lieferbedingungen bzw. Normen.
- Feststellung der Prüfqualität bei Anwendung der Prüfverfahren.
- Identifizierung von möglichen Schwächen der Prüfmethoden.
- Sammlung von Erfahrungen im Umgang mit speziellen Bitumenprüfverfahren, gemäß den Technischen Lieferbedingungen für polymermodifizierte Bitumen (TL PmB).

## 3 Grundlagen

### 3.1 Anforderungen

Die Anforderungen an nicht-modifizierte Straßenbaubitumen sind in der Norm EN 12591 spezifiziert. Diese Norm wurde im April 2000 veröffentlicht. Hinsichtlich des Erweichungspunktes bestehen allerdings aufgrund einer freiwilligen Vereinbarung der Bitumenproduzenten in Deutschland etwas geringere Temperaturspannweiten als es die Norm EN 12591 zulässt. Für die Beurteilung der Kontrollprüfungsergebnisse wurden die in der freiwilligen Selbstbeschränkung festgelegten Werte zugrunde gelegt.

Für polymermodifizierte Bitumen gelten seit 2001 die Anforderungen der Technischen Lieferbedingungen für gebrauchsfertige polymermodifizierte Bitumen (TL PmB 2001). Diese Lieferbedingungen werden zukünftig durch das „Rahmenwerk für die Spezifikation von polymermodifizierten Bitumen“ (EN 14023) bzw. durch das entsprechende nationale Anwendungspapier ersetzt.

### 3.2 Prüfverfahren

Im Rahmen der Bitumenkontrollprüfungen werden die in Tabelle 1 aufgeführten Prüfverfahren verwendet. Eine detaillierte Beschreibung zur Durchführung der Prüfungen ist in Anlage 1 zusammengestellt. Mit der Einführung der EN 12591 im April 2000 sind einige Bitumenprüfverfahren für nicht-modifizierte Straßenbaubitumen weggefallen. Zu diesen Verfahren gehören die in



Trichlorethen und in Cyclohexan unlöslichen Bitumenbestandteile, Aschegehalt, Dichte, kinematische Viskosität und EVT-Wert.

Zusätzliche Prüfverfahren wurden im Rahmen der TL PmB 2001 zur Erfahrungssammlung eingeführt und vorläufige Orientierungswerte vereinbart. Diese Kontrollprüfungsergebnisse wurden ausgewertet und hinsichtlich der vorläufigen Orientierungswerte beurteilt.

**Tabelle 1: Prüfparameter der Bitumenkontrollprüfungen**

| Nr. | Parameter  | Einheit            |
|-----|--|--------------------|
| 1   | äußere Beschaffenheit  |                    |
| 2   | Nadelpenetration   | 0,1 mm             |
| 3   | Erweichungspunkt Ring und Kugel                                | °C                 |
| 4   | Brechpunkt nach Fraaß  | °C                 |
| 5   | Asche  | M.-%               |
| 6   | Trichlorethen-Unlösliches                                      | M.-%               |
| 7   | Cyclohexan-Unlösliches   | M.-%               |
| 8   | Löslichkeit  |                    |
| 9   | Duktilität   | cm                 |
| 10  | Paraffingehalt   | M.-%               |
| 11  | Dichte   | g/ml               |
| 12  | Flammpunkt   | °C                 |
| 13  | Elastische Rückstellung  | %                  |
| 14  | Homogenität  | K                  |
| 15  | Kinematische Viskosität  | mm <sup>2</sup> /s |
| 17  | EVT  | °C                 |
| 18  | Massenänderung   | M.-%               |
| 19  | Änderung des Erweichungspunktes nach thermischer Beanspruchung | K                  |
| 20  | Änderung der Nadelpenetration nach thermischer Beanspruchung   | %                  |
| 21  | Duktilität nach thermischer Beanspruchung                      | cm                 |
| 22  | Elastische Rückstellung nach thermischer Beanspruchung         | %                  |
| 23  | Steifigkeit bei -16°C  | MPa                |
| 24  | Kraftduktilität  | J                  |
| 25  | komplexer Schubmodul G* bei +60°C                              | Pa                 |
| 26  | Phasenwinkel bei +60°C   | Grad               |

grau schattiert: nicht mehr angewendete Verfahren

## 4 Durchführung der statistischen Auswertung

### 4.1 Datengrundlage

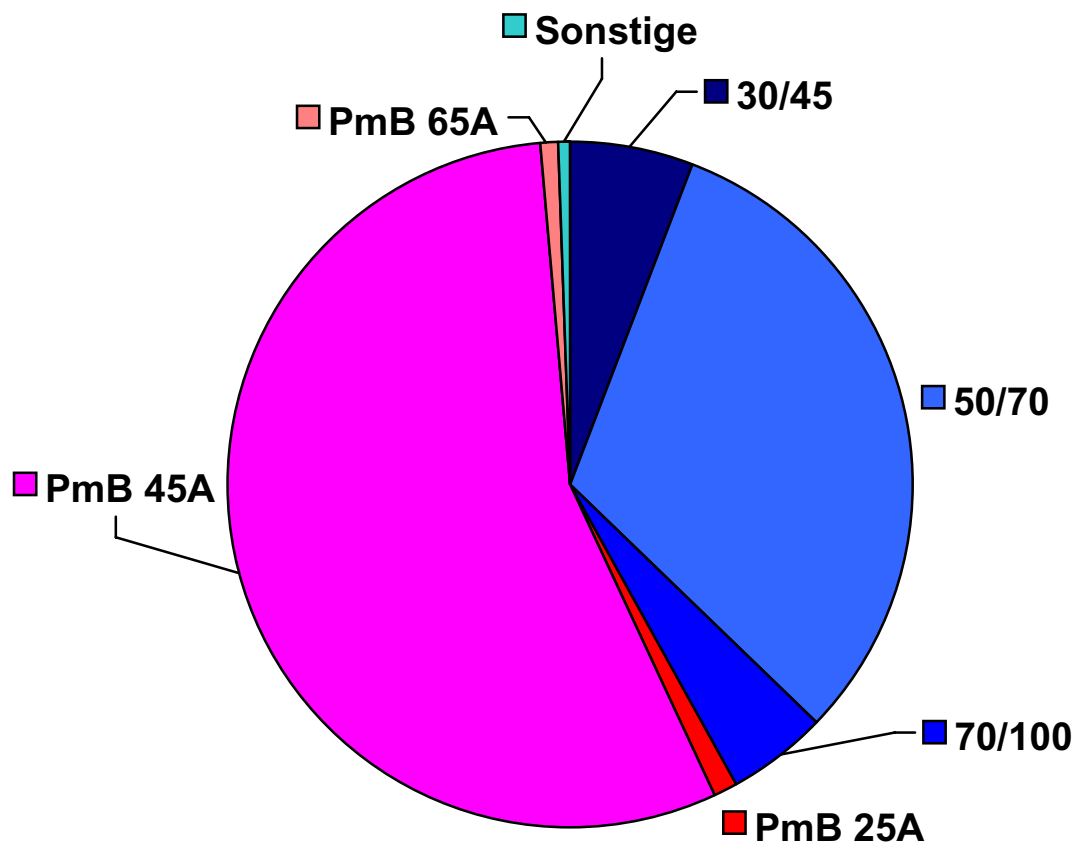
Die im Rahmen von Kontrollprüfungen aus den Jahren 2000 bis 2005 gewonnenen Prüfergebnisse bilden die Grundlage für die statistische Auswertung. Die Kontrollprüfungen werden von den Straßenbauverwaltungen der Länder veranlasst und die Prüfungen von den beauftragten Prüfstellen durchgeführt. Die Ergebnisse der Prüfungen werden in Form von Kopien der Prüfberichte oder als tabellarische Zusammenstellungen an das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) weiter geleitet. Das BMVBS übermittelt diese Unterlagen der Bundesanstalt für Straßenwesen zur statistischen Auswertung. Die Daten werden digitalisiert und mit Hilfe der elektronischen Datenverarbeitung statistisch ausgewertet. Kontrollprüfungen werden seit 1982 durchgeführt und nach Erreichen eines statistisch aussagekräftigen Datenkollektivs ausgewertet. Die Auswertungen sind bisher für die in Tabelle 2 angegebenen Zeitintervalle durchgeführt worden [1, 2, 3, 4, 5, 6].

**Tabelle 2: Auswertungen**

| <b>von</b> | <b>bis</b> |
|------------|------------|
| 01.01.1982 | 31.12.1982 |
| 01.01.1983 | 31.12.1983 |
| 1984       | 1985       |
| 1986       | 1989       |
| 1990       | 1996       |
| 1996       | 2000       |
| 2000       | 2005       |

Das vorliegende Datenkollektiv besteht aus über 1000 Datensätzen. Die Anzahl der Datensätze, je Bitumensorte hängt von der Häufigkeit und der Menge ab, mit der die jeweiligen Sorten im Straßenbau Verwendung finden. Die Verteilung der Datensätze auf die jeweiligen Bitumensorten ist in Diagramm 1 dargestellt. Rückschlüsse auf die exakte Verwendungsmenge und –häufigkeit der Produkte sind allerdings nur unter Vorbehalt möglich. Dennoch ist festzustellen, dass ausschließlich Messdaten von elastomermodifizierten Bitumen vorliegen. Diese werden in der TL PmB 2001 als PmB A bezeichnet. Mit Ausnahme der Benennung der graphischen Darstellungen wurde im folgenden Text auf die Kennzeichnung "A" verzichtet, da sich die Aussagen immer auf elastomermodifizierte Bitumen beziehen.

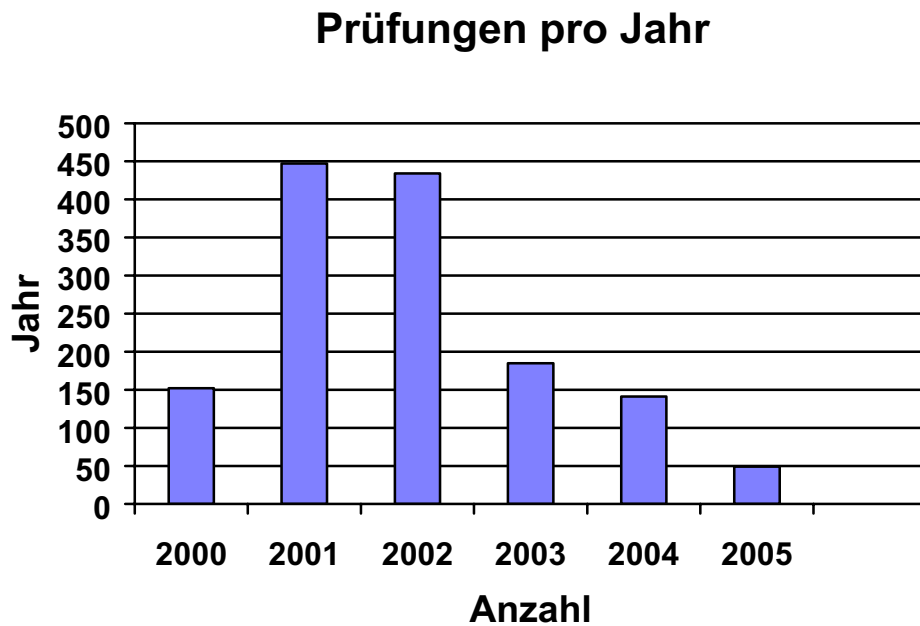
Diagramm 1: Verteilung der Bitumensorten



Für den ausgewerteten Untersuchungszeitraum liegen erstmals seit 1982 mehr Datensätze für polymermodifizierte Bitumen vor, als für nicht-modifizierte Bitumen. Am häufigsten wurde das polymermodifizierte Bitumen PmB 45 geprüft. Relativ wenige Daten ( $\leq 1\%$ ) sind für PmB 25 und PmB 65 vorhanden. Für die seit dem Jahr 2001 in größerem Umfang erhältlichen hochpolymermodifizierten Bitumen (H PmB) liegen keine Messdaten vor. Dies ist vermutlich damit zu erklären, dass H PmB in der Regel nur für spezielle straßenbautechnische Anwendungen eingesetzt werden. Der Einsatz von PmB 65 ist gegenüber dem vorhergehenden Auswertzeitraum erheblich zurückgegangen. Die höhere Anzahl an Datensätzen für die Bitumensorte 30/45 spricht dagegen für eine häufigere Verwendung dieses Produkts.

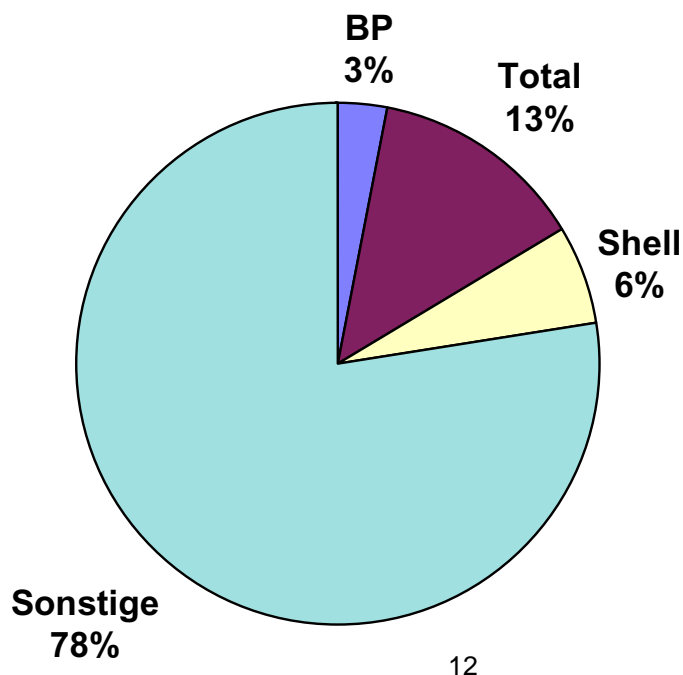
In Diagramm 2 ist das jährliche Prüfaufkommen für alle Bitumensorten für die Zeit von 2000 bis 2005 dargestellt. In den Jahren 2001 und 2002 standen jeweils mehr als 400 Prüfdaten zur Verfügung, dagegen nahm in den Folgejahren das Prüfaufkommen beträchtlich ab.

Diagramm 2: Prüfergebnisse 2000 bis 2007



Die Häufigkeit mit der Produkte verschiedener Bitumenhersteller geprüft wurden, ist in Diagramm 3 dargestellt. Da die Bitumenhersteller nicht immer angegeben sind, ergibt sich ein sehr hoher Anteil von „sonstigen Herstellern“. Die Marktanteile der Bitumenproduzenten lassen sich aus diesem Diagramm nicht ableiten, da in den Bundesländern mit unterschiedlicher Häufigkeit geprüft wurde. Dennoch ist davon auszugehen, dass der Bitumenmarkt nur noch von wenigen Produzenten versorgt wird.

Diagramm 3: Anteil der Proben nach Bitumenproduzenten



## 4.2 Vorgehen

Die zu Verfügung gestellten Daten wurden in eine ACCESS-Datenbank übertragen. Nur von einigen Prüflaboratorien werden die Informationen in digitalisierter Form bereit gestellt. Die eingegebenen Daten werden zunächst auf Plausibilität geprüft. Auf die Anwendung von statistischen Ausreißertests wird verzichtet, da bereits bei früheren Auswertungen kein merklicher Einfluss auf die statistischen Ergebnisse festgestellt werden konnte.

Die Auswertung erfolgte mit Hilfe eines ACCESS-Auswertemoduls, das die Erstellung von Abfragen nach frei wählbaren Kriterien, die Berechnung der statistischen Kenndaten (Anlage 2) und die graphische Darstellung der Daten in Form von Histogrammen ermöglicht.

Darüber hinaus wurden die Ergebnisse der vorherigen statistischen Auswertungen berücksichtigt. Auf diese Weise ist es möglich, die zeitliche Entwicklung der einzelnen Kenngrößen zu verfolgen.

Die Anwendung der auf Anfrage als CD erhältlichen, anonymisierten Datenbank ist in Anlage 3 erläutert.

## 4.3 Statistische Methoden

Eine wichtige Information ist die Häufigkeit, mit der die Prüfwerte in einem vorgegebenen Messgrößenintervall auftreten. Diese Häufigkeitsverteilungen sind für die jeweiligen Bitumensorten ausgewertet und in Form von Histogrammen dargestellt worden. Im Idealfall ist eine Verteilung zu erwarten, die sich bei ausreichend hoher Probenzahl einer „Normalverteilung“ (Gauß'sche Glockenfunktion) annähert. In der Praxis bestimmen zwei Einflüsse die Form eines Histogramms. Zum einen die Qualität des Produkts, d.h. mit welcher Toleranz die jeweiligen Bitumensorten hergestellt werden können (produktionstechnischer Faktor) und zum anderen die Qualität der Prüfung, d.h. mit welcher Prüftoleranz gemessen wird (messtechnischer Faktor). Die Form des Verteilungsdiagramms wird somit durch die Überlagerung des messtechnischen und des produktionstechnischen Einflusses bestimmt. Deutliche Abweichungen von der Normalverteilung weisen auf anomale messtechnisch oder produktionstechnisch bedingte Einflüsse hin. Bei einer ausreichend großen Datenmenge besteht prinzipiell die Möglichkeit, durch gezielte Analyse des Datenbestandes Hinweise auf die Ursachen von Anomalien zu erhalten.

Bei jeder Analyse werden Kenndaten, wie Mittelwert, Standardabweichung, Varianz, Kurtosis (Exzeß), Schiefe und Konfidenzintervall berechnet. Darüber hinaus wird der prozentuale Anteil der außerhalb der Spezifikationen liegenden Meßdaten angegeben.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Nadelpenetration

Hinsichtlich der verwendeten Produkte liegen ausschließlich für die Bitumensorten 30/45, 50/70, und für PmB 45 statistisch repräsentative Messdaten vor.

#### **Bitumen 30/45 (Histogramm 1):**

Für die Nadelpenetration des Bitumens 30/45 liegen 77 Messdaten vor. Die minimale Penetration liegt bei  $29 \frac{1}{10}$ mm und der maximale Wert bei  $58 \frac{1}{10}$ mm. Der Mittelwert beträgt bei  $40 \frac{1}{10}$ mm. Hinsichtlich des oberen Grenzwertes von  $45 \frac{1}{10}$ mm kommt es zu Überschreitungen in der Größenordnung von etwa 8 Prozent.

#### **Bitumen 50/70 (Histogramm 2):**

Für das Bitumen der Qualität 50/70 liegen 438 Messdaten vor. Der Minimalwert liegt bei 41 und der maximale Wert bei  $89 \frac{1}{10}$ mm. Nur ein Prozent der Messdaten unterschreiten den Anforderungswert von  $50 \frac{1}{10}$ mm bzw. etwa zwei Prozent überschreiten den Anforderungswert von  $70 \frac{1}{10}$ mm. Das Histogramm zeigt eine relativ symmetrische Verteilung.

#### **Bitumen 70/100 (Histogramm 3):**

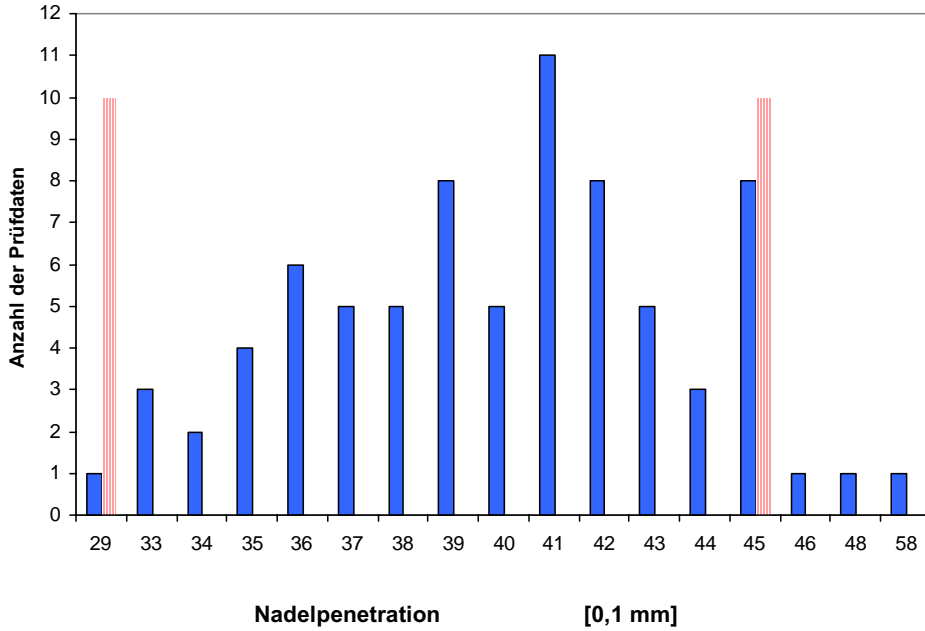
Für das Bitumen der Qualität 70/100 liegen nur 67 Messdaten vor. Bemerkenswert ist, dass fast acht Prozent der geprüften Proben eine niedrigere Nadelpenetration besitzen als gefordert.

#### **PmB 45 (Histogramm 4):**

Für das PmB 45 liegen 421 Messdaten vor. Der Minimalwert liegt bei 15 und der maximale Wert bei  $67 \frac{1}{10}$ mm. Das Histogramm ist etwas asymmetrisch verteilt, mit einem Mittelwert von  $46 \frac{1}{10}$ mm. Etwa 0,5 Prozent der Messdaten unterschreiten den unteren Anforderungswert von  $20 \frac{1}{10}$ mm.

### Histogramm 1:

#### Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: 30/45



**Bundesland:** Alle  
**Hersteller:** Alle  
**Prüfstelle:** Alle  
**Zeitraum:** 01.01.2000 bis 31.12.2005

**Parameter:** Nadelpenetration

**Einheit:** 0,1 mm

**Obere Grenze:** 45

**Untere Grenze:** 30

**Anzahl:** 77

**Mittelwert:** 40,06

**Minimalwert:** 29

**Maximalwert:** 58

**Standardabw.:** 4,24

**Varianz:** 18,01

**Schiefe:** 0,678

**Kurtosis:** 3,227

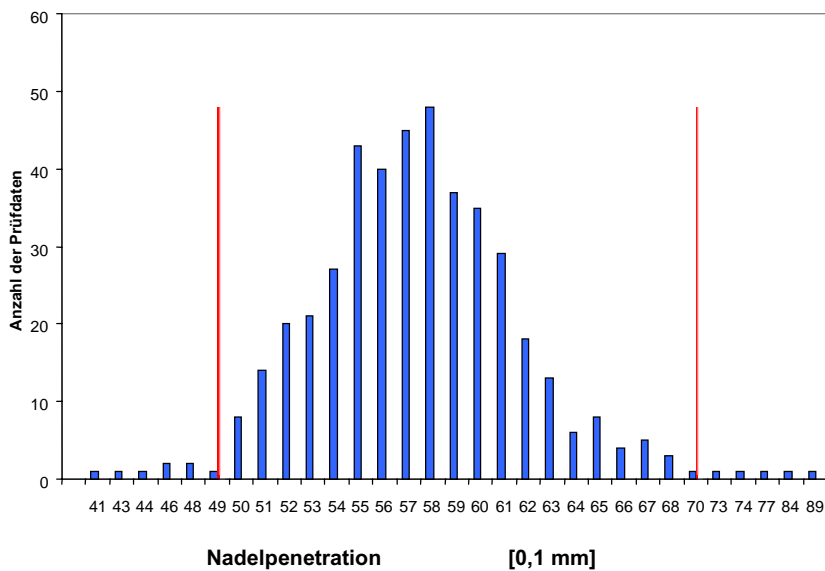
**Konfidenzintervall:** 0,942

**Unterschreitungen [%]:** 1,3

**Überschreitungen [%]:** 3,9

### Histogramm 2:

#### Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: 50/70



**Bundesland:** Alle  
**Hersteller:** Alle  
**Prüfstelle:** Alle  
**Zeitraum:** 01.01.2000 bis 31.12.2005

**Parameter:** Nadelpenetration

**Einheit:** 0,1 mm

**Obere Grenze:** 70

**Untere Grenze:** 50

**Anzahl:** 438

**Mittelwert:** 57,55

**Minimalwert:** 41

**Maximalwert:** 89

**Standardabw.:** 4,76

**Varianz:** 22,65

**Schiefe:** 1,221

**Kurtosis:** 7,010

**Konfidenzintervall:** 0,445

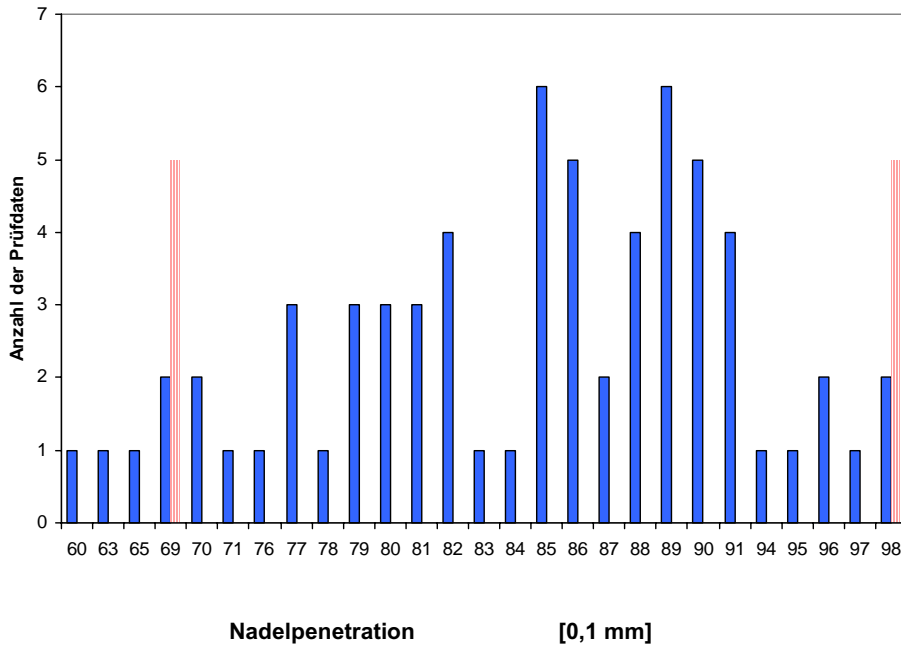
**Unterschreitungen [%]:** 1,8

**Überschreitungen [%]:** 1,1



### Histogramm 3:

#### Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: 70/100



**Bundesland:** Alle  
**Hersteller:** Alle  
**Prüfstelle:** Alle  
**Zeitraum:** 01.01.2000 bis 31.12.2005

**Parameter:** Nadelpenetration

**Einheit:** 0,1 mm

**Obere Grenze:** 100

**Untere Grenze:** 70

**Anzahl:** 67

**Mittelwert:** 83,96

**Minimalwert:** 60

**Maximalwert:** 98

**Standardabw.:** 8,26

**Varianz:** 68,29

**Schiefe:** -0,808

**Kurtosis:** 0,653

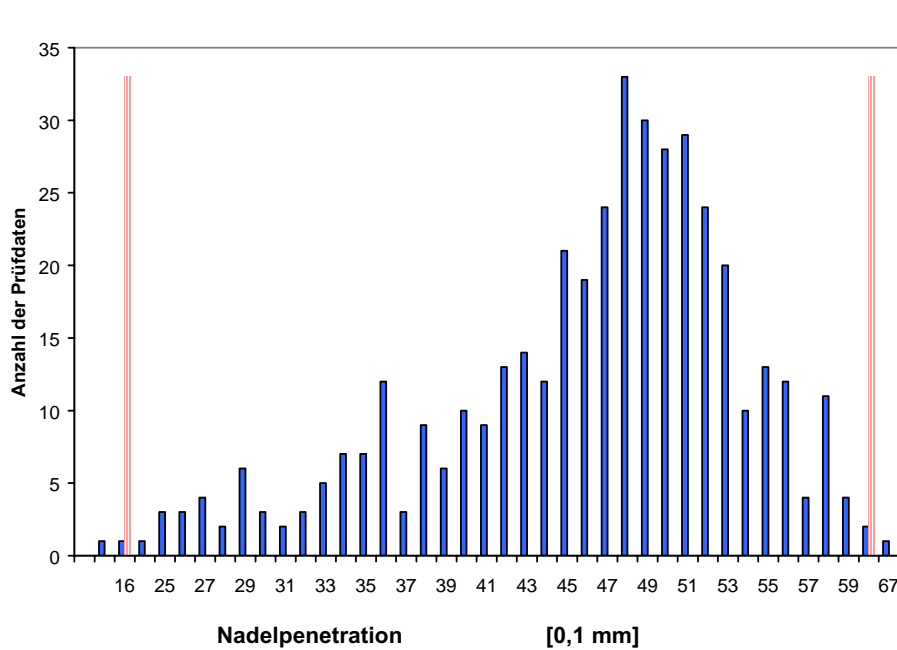
**Konfidenzintervall:** 1,964

**Unterschreitungen [%]:** 7,5

**Überschreitungen [%]:** 0,0

### Histogramm 4:

#### Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: PmB 45 A



**Bundesland:** Alle  
**Hersteller:** Alle  
**Prüfstelle:** Alle  
**Zeitraum:** 01.01.2000 bis 31.12.2005

**Parameter:** Nadelpenetration

**Einheit:** 0,1 mm

**Obere Grenze:** 60

**Untere Grenze:** 20

**Anzahl:** 421

**Mittelwert:** 46,10

**Minimalwert:** 15

**Maximalwert:** 67

**Standardabw.:** 7,94

**Varianz:** 62,99

**Schiefe:** -0,907

**Kurtosis:** 0,892

**Konfidenzintervall:** 0,757

**Unterschreitungen [%]:** 0,5

**Überschreitungen [%]:** 0,2

## 5.2 Erweichungspunkt

### **Bitumen 30/45 (Histogramm 5):**

Ein sehr wichtiger Parameter ist der Erweichungspunkt gemäß dem Ring und Kugel-Verfahren.

In der Norm EN 12591 ist die Spanne des Erweichungspunktes für Bitumen 30/45 zwischen 52 und 60 °C festgelegt. Durch die freiwillige Selbstbeschränkung der Bitumenproduzenten ist der Bereich um jeweils 1°C eingengt. Der Erweichungspunkt soll also zwischen 53 und 59 °C liegen.

Für das Bitumen 30/45 beträgt der Mittelwert aller Erweichungspunkte 56,4 °C. Etwa 2,6 % der Prüfdaten unterschreiten den unteren Grenzwert von 53 °C und 5,1 Prozent überschreiten den oberen Grenzwert von 59 °C. Das Histogramm beruht auf 78 Erweichungspunktprüfergebnissen.

### **Bitumen 50/70 (Histogramm 6):**

Für Bitumen 50/70 sind gemäß EN 12591 Erweichungspunkte zwischen 46 bis 54 °C zulässig. Nach der freiwilligen Selbstbeschränkung der Produzenten ist ein Erweichungspunktbereich zwischen 49 und 54 °C vereinbart worden. Acht Prozent der Messdaten unterschreiten den unteren Grenzwert von 49 °C. Im Vergleich zur Vorperiode ist eine Verschiebung des Maximums der Verteilungskurve um etwa drei °C nach höheren Erweichungspunkten festzustellen. Das Verteilungsdiagramm beruht auf 438 Messungen.

### **Bitumen 70/100 (Histogramm 7):**

Gemäß der Norm EN 12591 ist für Bitumen 70/100 ein Erweichungspunktbereich von 43 bis 51 °C festgelegt worden. Durch die freiwillige Selbstbeschränkung wird dieser Bereich auf 43 bis 49 °C begrenzt.

Die Erweichungspunkte für das Bitumen 70/100 liegen zwischen 44,5 und 51,5 °C. 4,5 Prozent der Messdaten überschreiten den oberen Grenzwert von 49 °C. Das Verteilungsdiagramm beruht auf 67 Messungen.

### **PmB 25 (Histogramm 8):**

Für das PmB 25 liegen nur 15 Prüfdaten vor. Für gesicherte statistische Aussagen ist die Anzahl zu gering. Tendenziell ist jedoch festzustellen, dass bei dieser Sorte eher Überschreitungen des spezifizierten Grenzwertes erfolgen als Unterschreitungen.

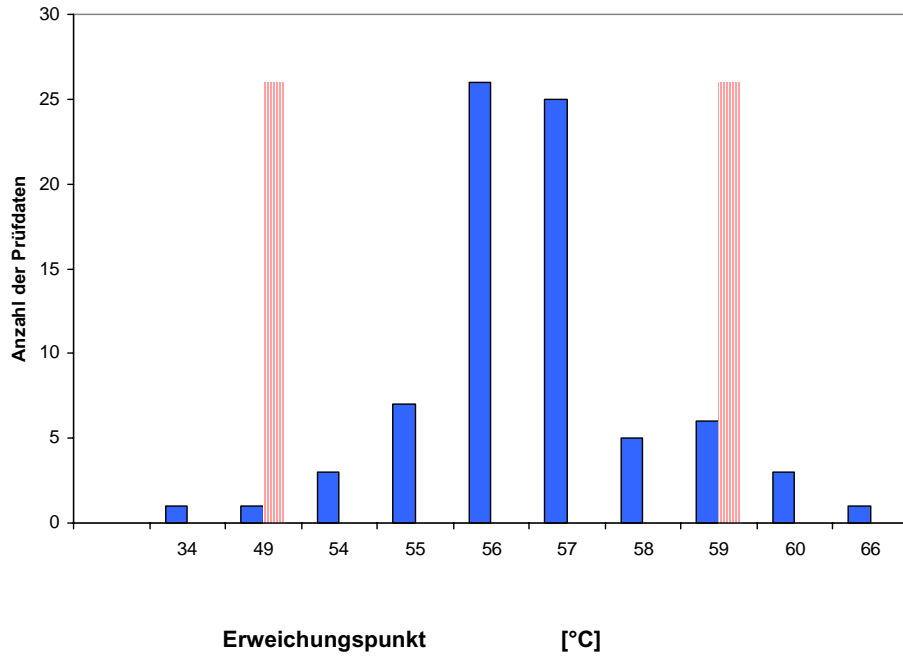
### **PmB 45 (Histogramm 9):**

Der Mittelwert des Erweichungspunktes für PmB 45 liegt bei 59,5 °C.

Der minimale Wert beträgt 49 °C und der maximale Wert 67 °C. Demzufolge überschreiten fünf Prozent aller Messdaten den maximalen Wert von 63 °C. Das Histogramm zeigt eine relativ symmetrische Verteilung. Im Vergleich zu Vorperiode ist eine Asymmetrie des Histogrammes mit einer Verlagerung zu niedrigeren Erweichungspunkten festzustellen.

### Histogramm 5:

#### Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: 30/45



**Bundesland:** Alle  
**Hersteller:** Alle  
**Prüfstelle:** Alle  
**Zeitraum:** 01.01.2000 bis 31.12.2005

**Parameter:** Erweichungspunkt

**Einheit:** °C

**Obere Grenze:** 59

**Untere Grenze:** 53

**Anzahl:** 78

**Mittelwert:** 56,42

**Minimalwert:** 34

**Maximalwert:** 66,4

**Standardabw.:** 3,16

**Varianz:** 10,01

**Schiefe:** -4,408

**Kurtosis:** 34,129

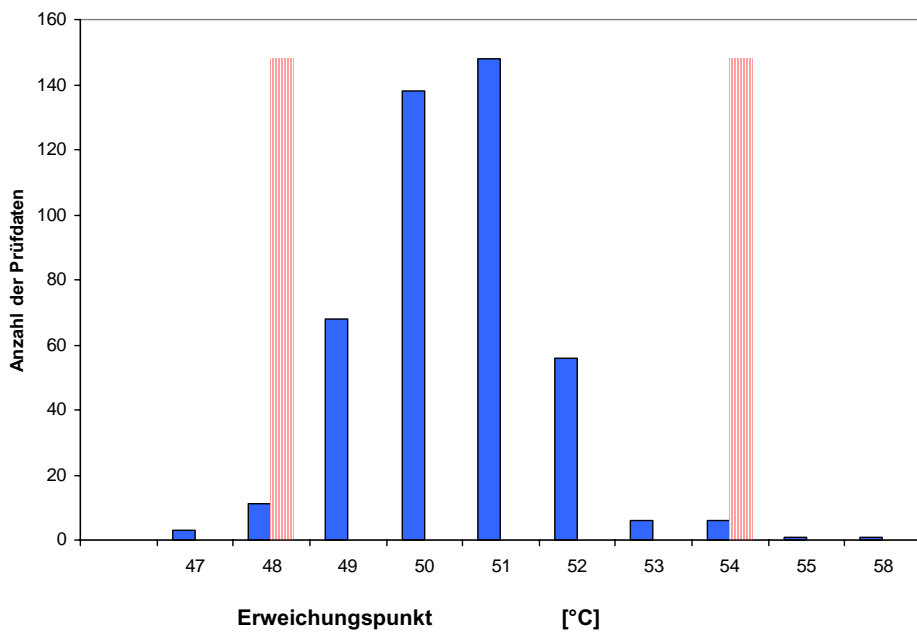
**Konfidenzintervall:** 0,698

**Unterschreitungen [%]:** 2,6

**Überschreitungen [%]:** 5,1

### Histogramm 6:

#### Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: 50/70



**Bundesland:** Alle  
**Hersteller:** Alle  
**Prüfstelle:** Alle  
**Zeitraum:** 01.01.2000 bis 31.12.2005

**Parameter:** Erweichungspunkt

**Einheit:** °C

**Obere Grenze:** 54

**Untere Grenze:** 49

**Anzahl:** 438

**Mittelwert:** 50,43

**Minimalwert:** 46,5

**Maximalwert:** 58,3

**Standardabw.:** 1,15

**Varianz:** 1,32

**Schiefe:** 0,927

**Kurtosis:** 5,622

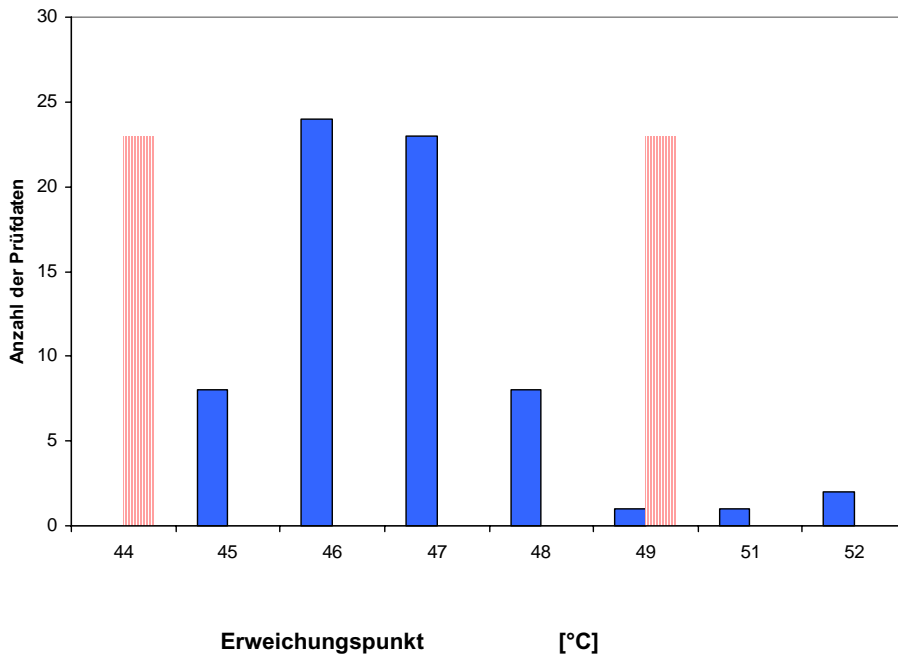
**Konfidenzintervall:** 0,108

**Unterschreitungen [%]:** 8,0

**Überschreitungen [%]:** 0,7

### Histogramm 7:

#### Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: 70/100



**Bundesland:** Alle  
**Hersteller:** Alle  
**Prüfstelle:** Alle  
**Zeitraum:** 01.01.2000 bis 31.12.2005

**Parameter:** Erweichungspunkt

**Einheit:** °C

**Obere Grenze:** 49

**Untere Grenze:** 43

**Anzahl:** 67

**Mittelwert:** 46,71

**Minimalwert:** 44,5

**Maximalwert:** 51,5

**Standardabw.:** 1,38

**Varianz:** 1,91

**Schiefe:** 1,618

**Kurtosis:** 3,943

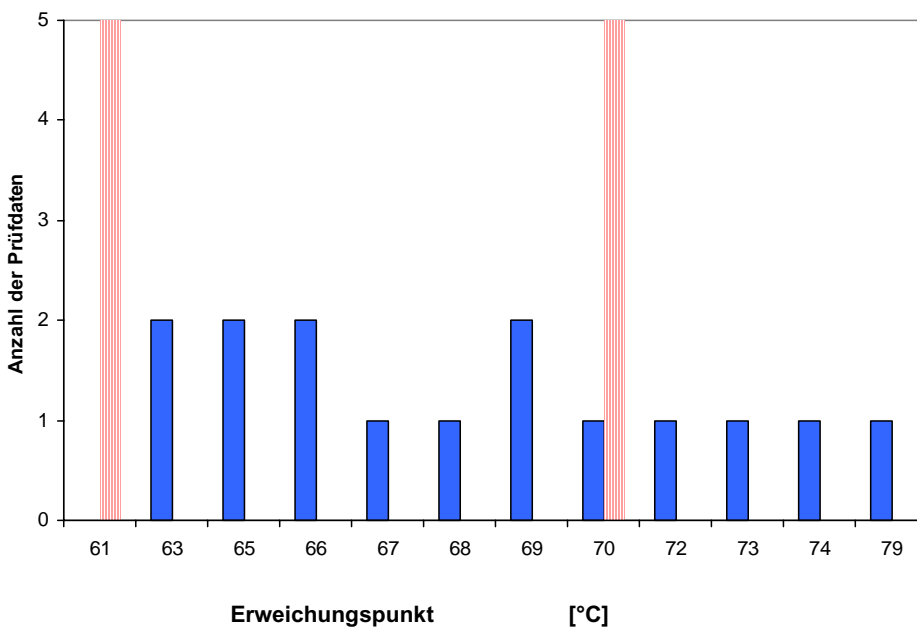
**Konfidenzintervall:** 0,329

**Unterschreitungen [%]:** 0,0

**Überschreitungen [%]:** 4,5

### Histogramm 8:

#### Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: PmB 25 A



**Bundesland:** Alle  
**Hersteller:** Alle  
**Prüfstelle:** Alle  
**Zeitraum:** 01.01.2000 bis 31.12.2005

**Parameter:** Erweichungspunkt

**Einheit:** °C

**Obere Grenze:** 71

**Untere Grenze:** 63

**Anzahl:** 15

**Mittelwert:** 68,59

**Minimalwert:** 63

**Maximalwert:** 79,1

**Standardabw.:** 4,50

**Varianz:** 20,29

**Schiefe:** 0,878

**Kurtosis:** 0,511

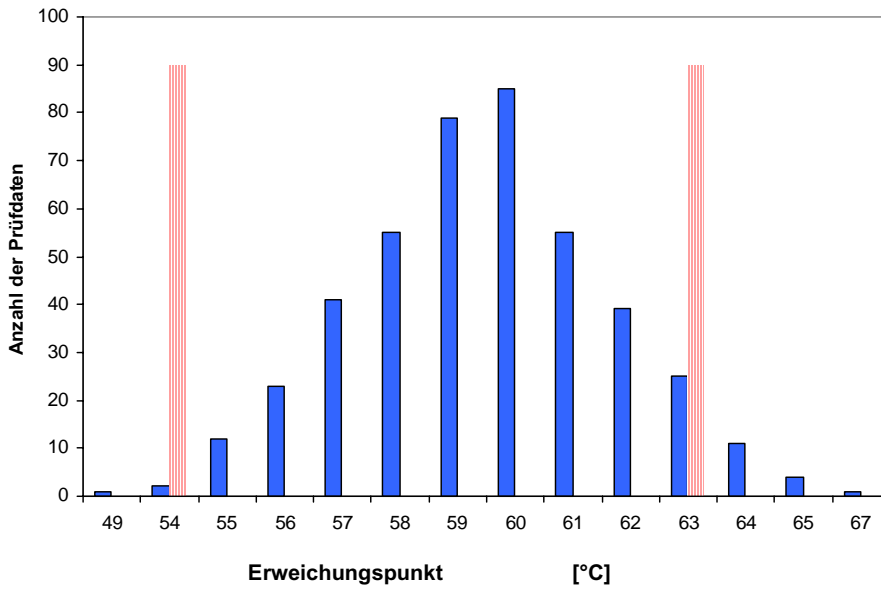
**Konfidenzintervall:** 2,202

**Unterschreitungen [%]:** 0,0

**Überschreitungen [%]:** 26,7

## Histogramm 9:

### Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: PmB 45 A



**Bundesland:** Alle  
**Hersteller:** Alle  
**Prüfstelle:** Alle  
**Zeitraum:** 01.01.2000 bis 31.12.2005

**Parameter:** Erweichungspunkt

**Einheit:** °C

**Obere Grenze:** 63

**Untere Grenze:** 55

**Anzahl:** 433

**Mittelwert:** 59,49

**Minimalwert:** 49

**Maximalwert:** 66,8

**Standardabw.:** 2,21

**Varianz:** 4,89

**Schiefe:** -0,093

**Kurtosis:** 0,820

**Konfidenzintervall:** 0,208

**Unterschreitungen [%]:** 1,2

**Überschreitungen [%]:** 5,1

### 5.3 Brechpunkt nach Fraaß

#### **Bitumen 30/45 (Histogramm 9):**

Für Bitumen 30/45 liegen 65 Prüfdaten vor. Das Histogramm zeigt eine relativ asymmetrische Verteilung. Alle untersuchten Proben besitzen einen Brechpunkt von weniger als  $-5\text{ °C}$ . Der Anforderungswert ist somit von allen untersuchten Proben erfüllt.

#### **Bitumen 50/70 (Histogramm 10):**

Die Messwerte für den Brechpunkt nach Fraaß für das Bitumen 50/70 liegen zwischen  $-20$  und  $-8\text{ °C}$ . Damit ist das Intervall deutlich kleiner als in der vorherigen Periode, bei der eine Spanne von über 21 K auftrat. Die Verteilung des Histogramms ist deutlich symmetrischer ausgebildet als in der Vorperiode. Eine mögliche Erklärung ist, dass die in der vorherigen Auswertung vermuteten messtechnischen Probleme durch qualitätssichernde Maßnahmen behoben wurden.

Alle untersuchten Proben halten den oberen Grenzwert von  $-8\text{ °C}$  ein.

#### **Bitumen 70/100 (Histogramm 11):**

Ein ähnliches Ergebnis erhält man für den Brechpunkt des Bitumens 70/100. Die Brechpunkte liegen zwischen  $-21$  und  $-6\text{ °C}$ . Die Verteilungskurve ist etwas asymmetrisch ausgeprägt. Die statistische Auswertung zeigt, dass 1,6 Prozent aller gemessenen Werte den oberen Grenzwert von  $-10\text{ °C}$  überschreiten.

#### **PmB 25 (Histogramm 12):**

Es liegen nur 15 Prüfdaten für PmB 25 vor. Die gemessenen Brechpunkte liegen zwischen  $-7$  und  $-21\text{ °C}$  und erfüllen somit den Anforderungswert von  $-5\text{ °C}$ .

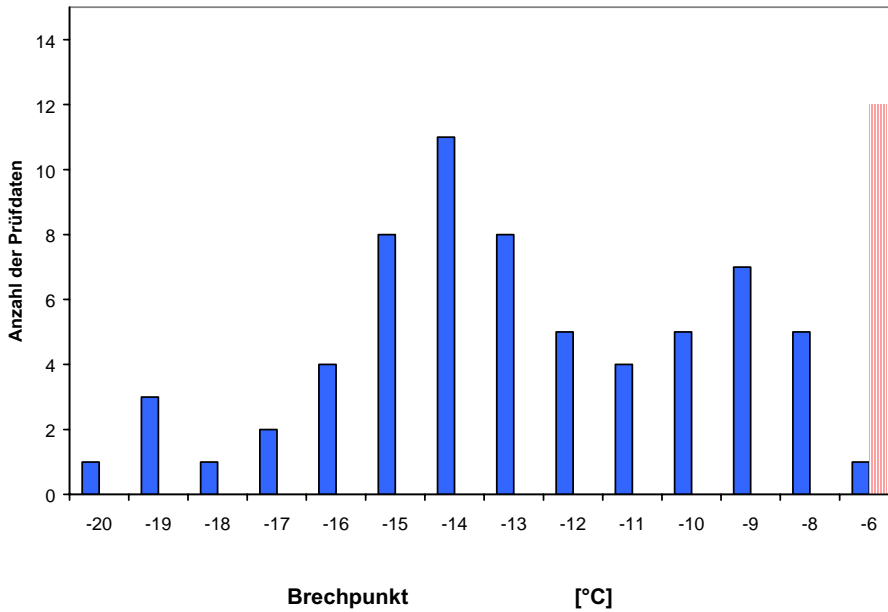
#### **PmB 45 (Histogramm 13):**

Für das polymermodifizierte Bitumen PmB 45 liegen 386 Messdaten vor. Der minimale Wert liegt bei  $-23\text{ °C}$  und der maximale Wert bei  $-5\text{ °C}$ . Acht Prozent aller gemessenen Daten überschreiten den oberen Grenzwert von  $-10\text{ °C}$ .

Die Messdaten des PmB 45 zeigen eine flache und asymmetrische Verteilung. Da die Verteilungskurve des Bitumens 50/70 die zu erwartende symmetrische Verteilung aufweist, können messtechnische Probleme bei der Brechpunktbestimmung nicht die Anomalie verursachen. PmB 45 verschiedener Hersteller unterscheiden sich hinsichtlich des verwendeten Bitumens und Polymere. Ein produktspezifischer Einfluss ist bei den Erweichungspunkten nicht und bei den Nadelpenetrationswerten nur ansatzweise festzustellen. Es ist möglich, dass produktspezifische Einflüsse erst bei den niedrigen Temperaturen der Brechpunktbestimmung deutlicher in Erscheinung treten.

### Histogramm 9:

#### Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: 30/45



**Bundesland:** Alle  
**Hersteller:** Alle  
**Prüfstelle:** Alle  
**Zeitraum:** 01.01.2000 bis 31.12.2005

**Parameter:** Brechpunkt

**Einheit:** °C

**Obere Grenze:** -5

**Untere Grenze:** -20

**Anzahl:** 65

**Mittelwert:** -12,83

**Minimalwert:** -20

**Maximalwert:** -6

**Standardabw.:** 3,17

**Varianz:** 10,05

**Schiefe:** -0,084

**Kurtosis:** -0,481

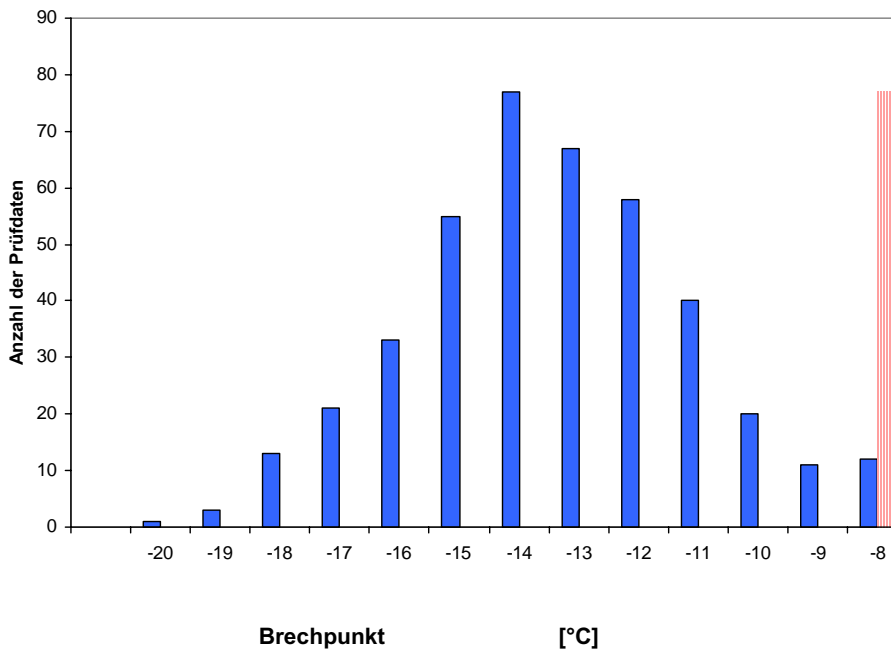
**Konfidenzintervall:** 0,765

**Unterschreitungen [%]:** 0,0

**Überschreitungen [%]:** 0,0

### Histogramm 10:

#### Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: 50/70



**Bundesland:** Alle  
**Hersteller:** Alle  
**Prüfstelle:** Alle  
**Zeitraum:** 01.01.2000 bis 31.12.2005

**Parameter:** Brechpunkt

**Einheit:** °C

**Obere Grenze:** -8

**Untere Grenze:** -20

**Anzahl:** 411

**Mittelwert:** -13,38

**Minimalwert:** -20

**Maximalwert:** -8

**Standardabw.:** 2,33

**Varianz:** 5,43

**Schiefe:** 0,067

**Kurtosis:** -0,115

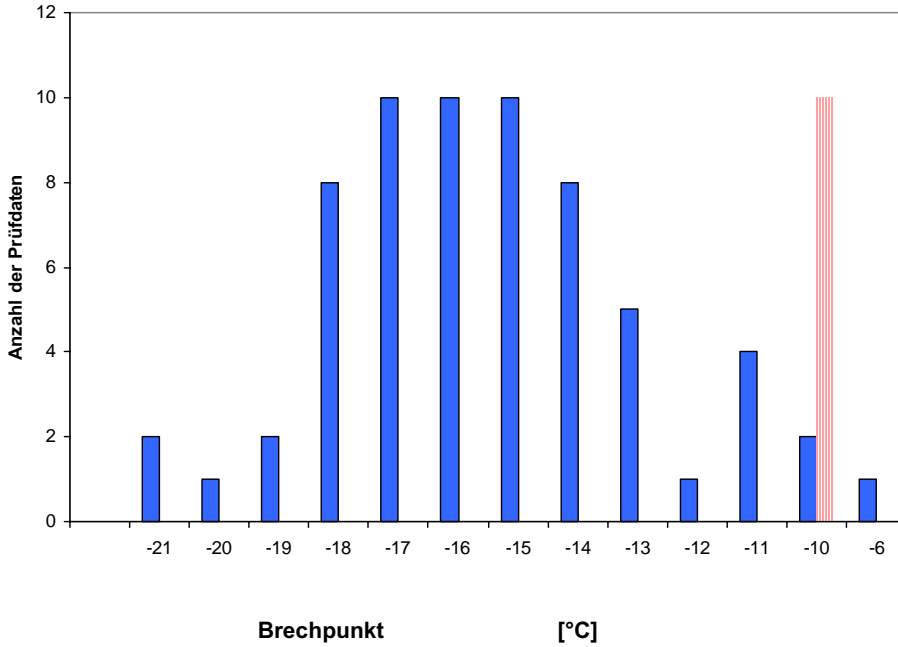
**Konfidenzintervall:** 0,225

**Unterschreitungen [%]:** 0,0

**Überschreitungen [%]:** 0,0

**Histogramm 11:**

**Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: 70/100**



**Bundesland:** Alle  
**Hersteller:** Alle  
**Prüfstelle:** Alle  
**Zeitraum:** 01.01.2000 bis 31.12.2005

**Parameter:** Brechpunkt

**Einheit:** °C

**Obere Grenze:** -10

**Untere Grenze:**

**Anzahl:** 64

**Mittelwert:** -15,36

**Minimalwert:** -21

**Maximalwert:** -6

**Standardabw.:** 2,75

**Varianz:** 7,54

**Schiefe:** 0,660

**Kurtosis:** 1,273

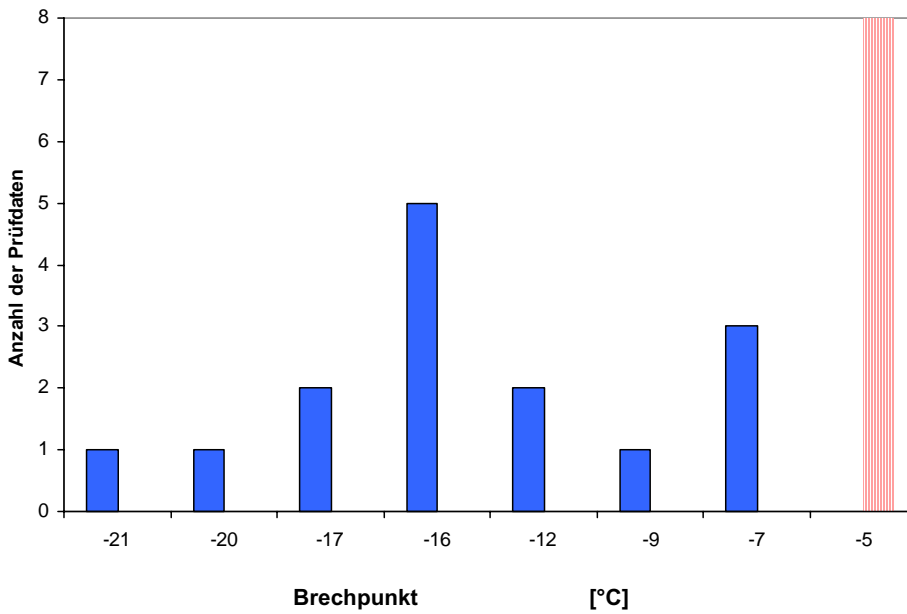
**Konfidenzintervall:** 0,667

**Unterschreitungen [%]:**

**Überschreitungen [%]:** 1,6

**Histogramm 12:**

**Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: PmB 25 A**



**Bundesland:** Alle  
**Hersteller:** Alle  
**Prüfstelle:** Alle  
**Zeitraum:** 01.01.2000 bis 31.12.2005

**Parameter:** Brechpunkt

**Einheit:** °C

**Obere Grenze:** -5

**Untere Grenze:**

**Anzahl:** 15

**Mittelwert:** -13,93

**Minimalwert:** -21

**Maximalwert:** -7

**Standardabw.:** 4,65

**Varianz:** 21,64

**Schiefe:** 0,374

**Kurtosis:** -1,030

**Konfidenzintervall:** 2,274

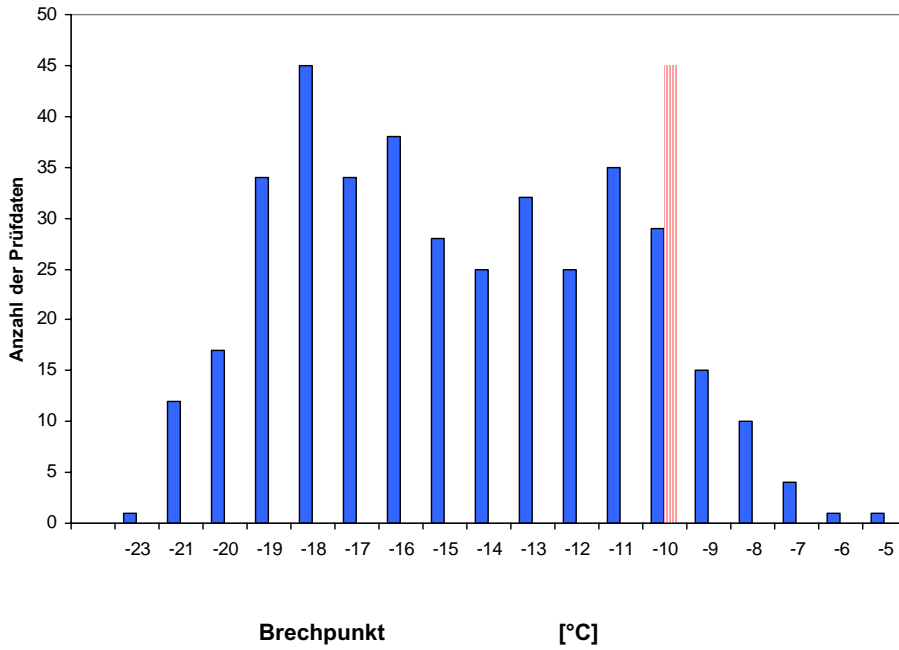
**Unterschreitungen [%]:**

**Überschreitungen [%]:** 0,0



### Histogramm 13:

#### Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: PmB 45 A



**Bundesland:** Alle  
**Hersteller:** Alle  
**Prüfstelle:** Alle  
**Zeitraum:** 01.01.2000 bis 31.12.2005

**Parameter:** Brechpunkt

**Einheit:** °C

**Obere Grenze:** -10

**Untere Grenze:**

**Anzahl:** 386

**Mittelwert:** -14,69

**Minimalwert:** -23

**Maximalwert:** -5

**Standardabw.:** 3,65

**Varianz:** 13,35

**Schiefe:** 0,194

**Kurtosis:** -0,921

**Konfidenzintervall:** 0,364

**Unterschreitungen [%]:**

**Überschreitungen [%]:** 8,0

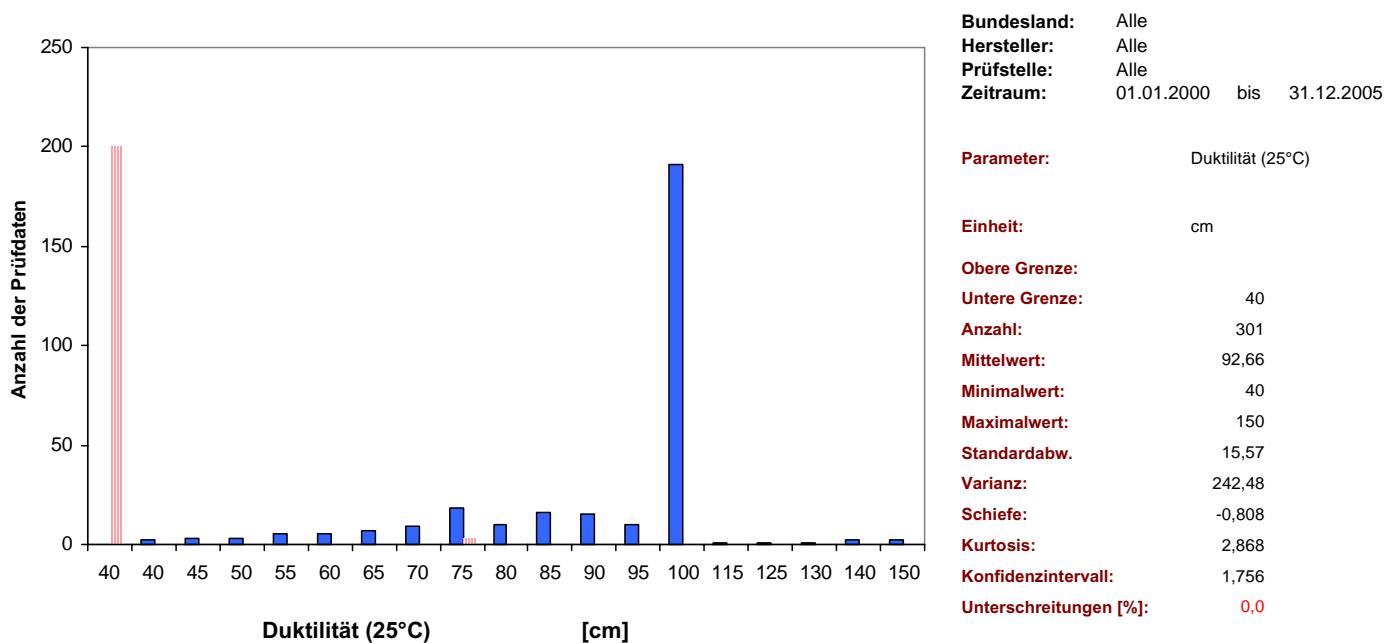
## 5.4 Duktilität

### PmB 45 (Histogramm 14):

Für PmB 45 liegen etwa 300 Messdaten vor. Die Mindestduktilität von 40 Zentimetern wird von allen geprüften Produkten eingehalten. Das Histogramm deutet darauf hin, dass die Prüftemperatur von 25 °C für eine optimale messtechnische Erfassung dieser PmB-Sorte ungünstig gewählt ist. Die vermeintliche Häufung der maximalen Dehnungslänge bei 100 Zentimetern ist auf die gerätetechnische Begrenzung vieler Duktilometer auf diese Messlänge zurückzuführen. Bei einer Prüftemperatur von 15 oder 20 °C neigen weniger duktile Produkte bereits bei kürzeren Dehnungslängen als 100 cm zum Fadenriss. Diese Prüftemperaturen würden eine bessere messtechnische Ansprache der duktilen Eigenschaften von PmB 45 erlauben.

### Histogramm 14:

#### Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: PmB 45 A



## 5.5 Paraffingehalt

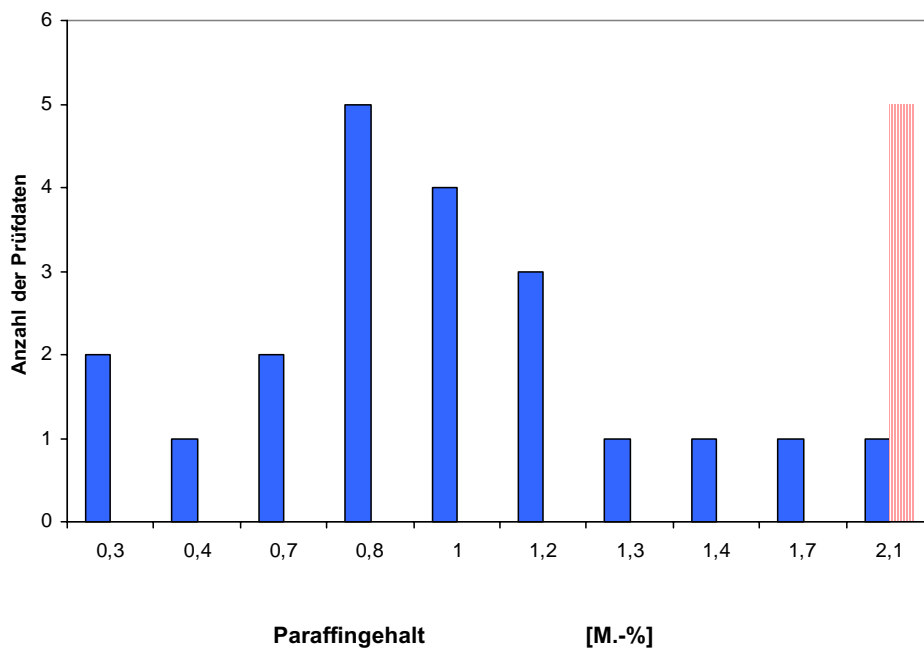
### Bitumen 50/70 (Histogramm 15):

Das Histogramm des Paraffingehaltes für Bitumen 50/70 beruht auf 21 Messdaten. Der Grenzwert von 2,2 Massenprozent Paraffin wird von allen gemessenen Proben eingehalten.

Die geringe Anzahl an Prüfdaten für den in der EN 12591 festgelegten Parameter, lässt darauf schließen, dass der Paraffingehalt nicht mehr routinemäßig bestimmt wird.

### Histogramm 15:

Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: 50/70



**Bundesland:** Alle  
**Hersteller:** Alle  
**Prüfstelle:** Alle  
**Zeitraum:** 01.01.2000 bis 31.12.2005

**Parameter:** Paraffingehalt

**Einheit:** M.-%

**Obere Grenze:** 2,2

**Untere Grenze:**

**Anzahl:** 21

**Mittelwert:** 0,98

**Minimalwert:** 0,29

**Maximalwert:** 2,12

**Standardabw.:** 0,43

**Varianz:** 0,19

**Schiefte:** 0,780

**Kurtosis:** 1,359

**Konfidenzintervall:** 0,180

**Unterschreitungen [%]:**

**Überschreitungen [%]:** 0,0

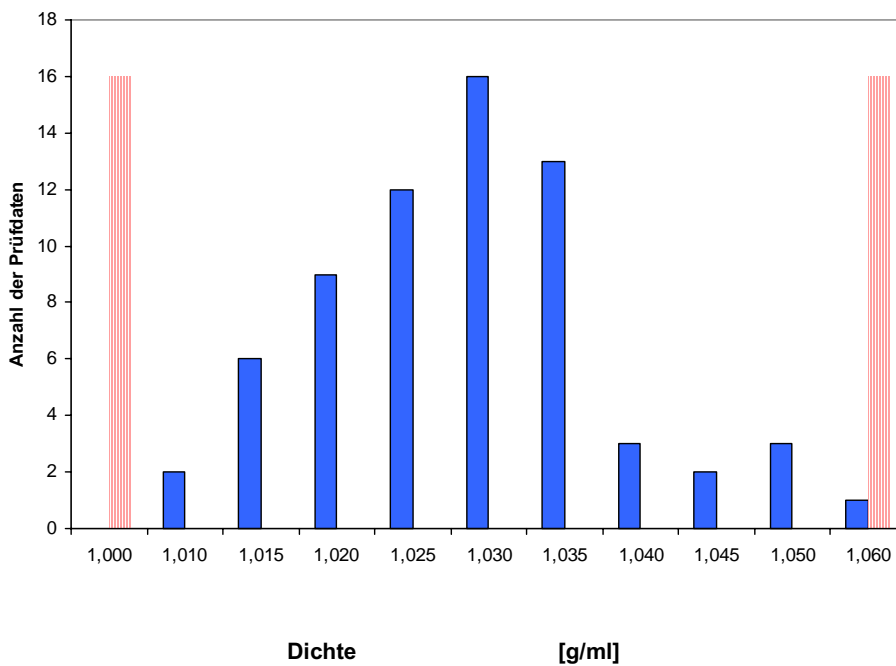
## 5.6 Dichte

### PmB 45 (Histogramm 16):

PmB 45 zeigt eine regelmäßige Verteilung der Prüfdaten bezüglich der Dichte. Dem Histogramm liegen 67 Messdaten zu Grunde. Am häufigsten wurde eine Dichte von 1,030 g/ml gemessen. Alle geprüften Proben liegen innerhalb der Grenzwerte.

### Histogramm 16:

#### Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: PmB 45 A



**Bundesland:** Alle  
**Hersteller:** Alle  
**Prüfstelle:** Alle  
**Zeitraum:** 01.01.2000 bis 31.12.2005

**Parameter:** Dichte

**Einheit:** g/ml

**Obere Grenze:** 1,1

**Untere Grenze:** 1

**Anzahl:** 67

**Mittelwert:** 1,03

**Minimalwert:** 1,009

**Maximalwert:** 1,057

**Standardabw.:** 0,01

**Varianz:** 0,00

**Schiefte:** 0,466

**Kurtosis:** 0,515

**Konfidenzintervall:** 0,002

**Unterschreitungen [%]:** 0,0

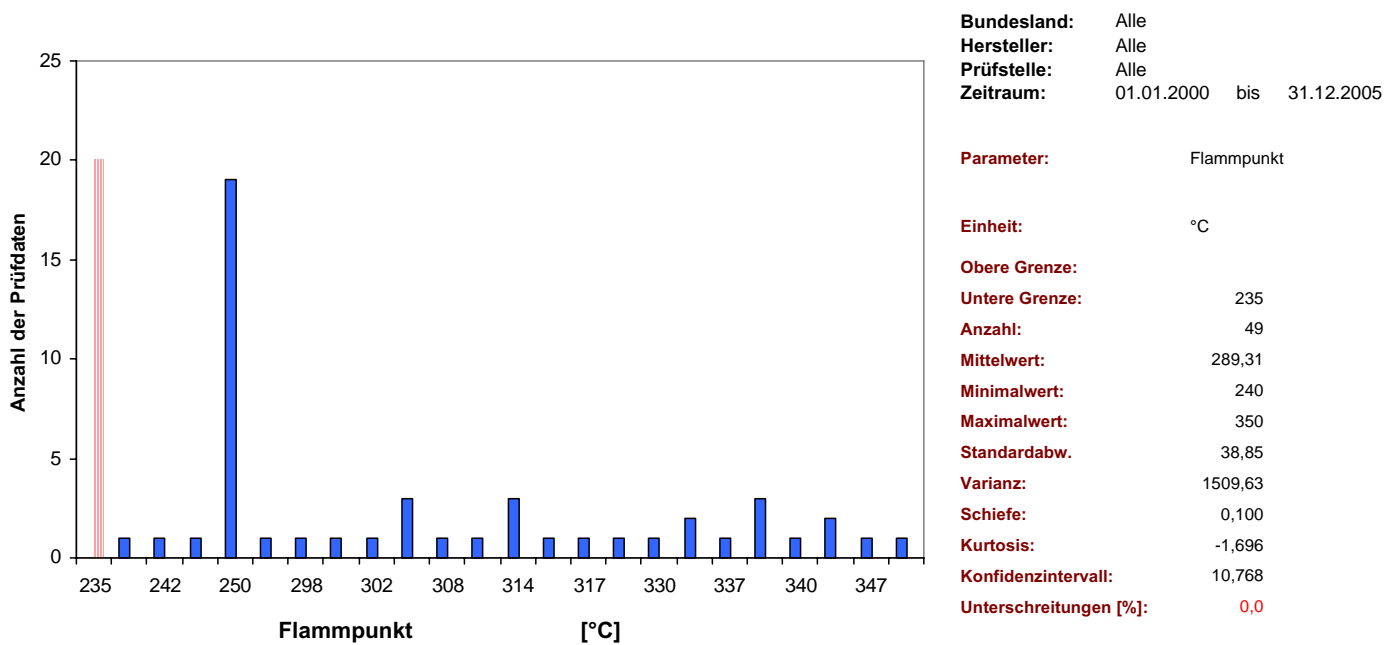
**Überschreitungen [%]:** 0,0

## 5.7 Flammpunkt

Das folgende Diagramm gibt die Häufigkeitsverteilung der Flammpunkte für PmB 45 wieder. Das Diagramm beruht auf ca. 49 Messdaten. Die untere Grenze für den Flammpunkt von 235 °C wurde in keinem einzigen Fall unterschritten (**Histogramm 17**).

**Histogramm 17:**

**Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: PmB 45 A**



## **5.8 Elastische Rückstellung**

### **PmB 25 (Histogramm 17):**

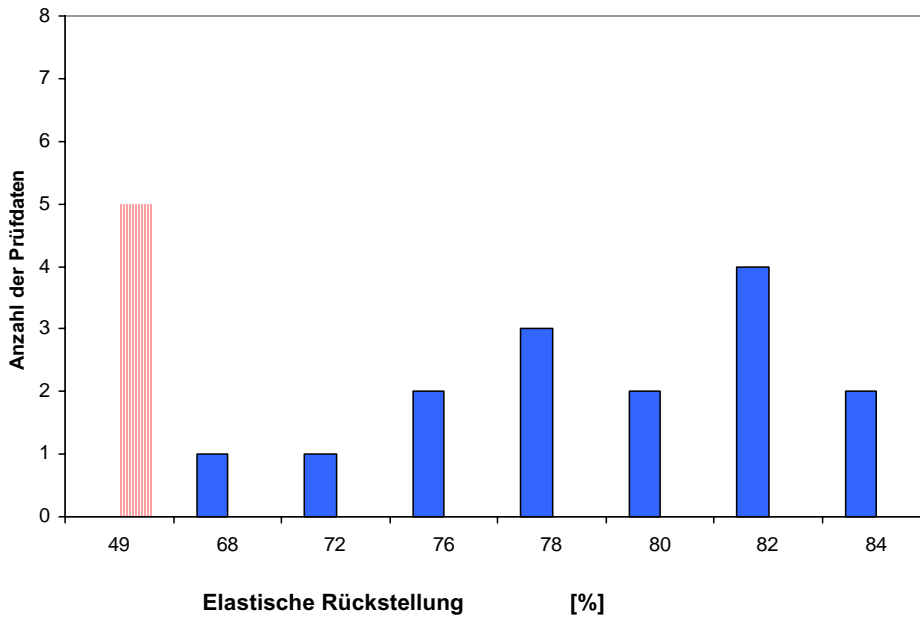
Die Mindest-Rückstellung von 50 Prozent wird von allen Prüfwerten eingehalten. Weitere statistische Aussagen sind aufgrund der geringen Probenzahl mit zu großer Unsicherheit behaftet.

### **PmB 45 (Histogramm 18):**

Die Auswertung der Häufigkeitsverteilung der Bitumenprüfungen für PmB 45 bezüglich der elastischen Rückstellung beruht auf über 400 Messdaten. Alle gemessenen Proben erfüllen die Mindest-Rückstellung von 50 Prozent. Der Mittelwert für die elastische Rückstellung beträgt 75 Prozent. Ansatzweise ist im Bereich von 84 bis 94 Prozent die Ausbildung eines zweiten Maxima zu erkennen. Es ist nicht auszuschließen, dass die elastische Rückstellung unterschiedliche PmB-Produkte bzw. Polymercharakteristika differenziert anspricht.

**Histogramm 17:**

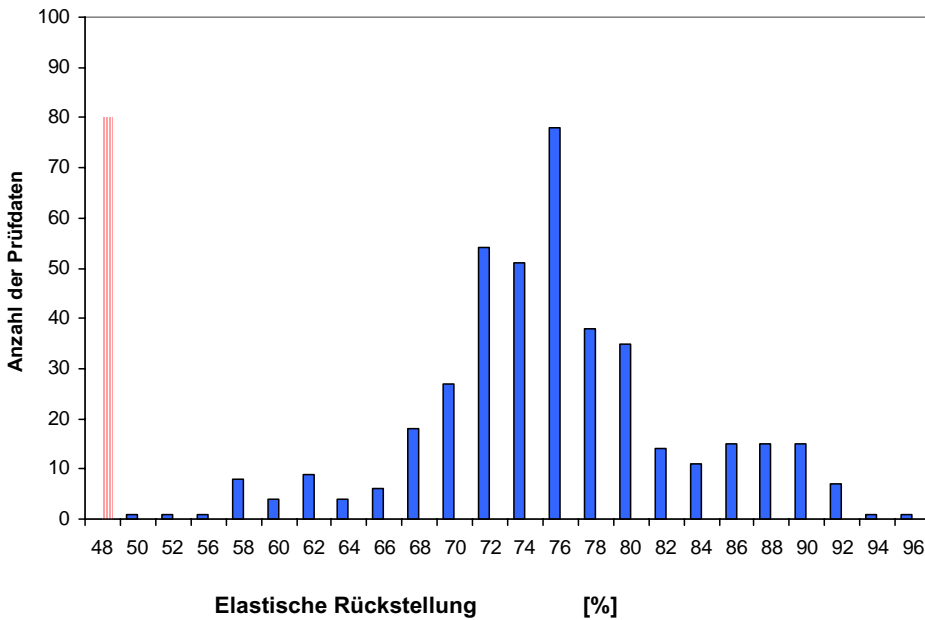
**Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: PmB 25 A**



|                              |                           |
|------------------------------|---------------------------|
| <b>Bundesland:</b>           | Alle                      |
| <b>Hersteller:</b>           | Alle                      |
| <b>Prüfstelle:</b>           | Alle                      |
| <b>Zeitraum:</b>             | 01.01.2000 bis 31.12.2005 |
| <b>Parameter:</b>            | Elastische Rückstellung   |
| <b>Einheit:</b>              | %                         |
| <b>Obere Grenze:</b>         |                           |
| <b>Untere Grenze:</b>        | 50                        |
| <b>Anzahl:</b>               | 15                        |
| <b>Mittelwert:</b>           | 78,33                     |
| <b>Minimalwert:</b>          | 68                        |
| <b>Maximalwert:</b>          | 83                        |
| <b>Standardabw.</b>          | 4,42                      |
| <b>Varianz:</b>              | 19,52                     |
| <b>Schiefe:</b>              | -1,168                    |
| <b>Kurtosis:</b>             | 0,834                     |
| <b>Konfidenzintervall:</b>   | 2,160                     |
| <b>Überschreitungen [%]:</b> | 0,0                       |
| <b>Überschreitungen [%]:</b> |                           |

**Histogramm 18:**

**Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: PmB 45 A**



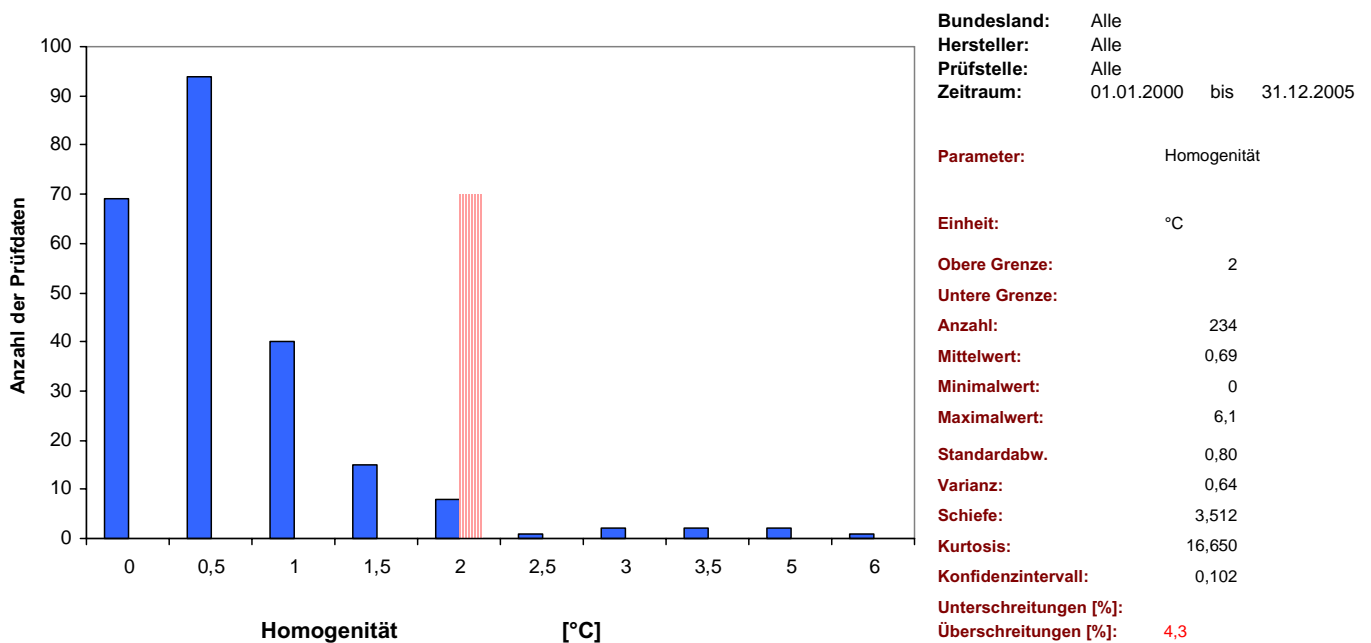
|                              |                           |
|------------------------------|---------------------------|
| <b>Bundesland:</b>           | Alle                      |
| <b>Hersteller:</b>           | Alle                      |
| <b>Prüfstelle:</b>           | Alle                      |
| <b>Zeitraum:</b>             | 01.01.2000 bis 31.12.2005 |
| <b>Parameter:</b>            | Elastische Rückstellung   |
| <b>Einheit:</b>              | %                         |
| <b>Obere Grenze:</b>         |                           |
| <b>Untere Grenze:</b>        | 50                        |
| <b>Anzahl:</b>               | 414                       |
| <b>Mittelwert:</b>           | 75,38                     |
| <b>Minimalwert:</b>          | 50                        |
| <b>Maximalwert:</b>          | 96                        |
| <b>Standardabw.</b>          | 7,33                      |
| <b>Varianz:</b>              | 53,80                     |
| <b>Schiefe:</b>              | -0,018                    |
| <b>Kurtosis:</b>             | 0,719                     |
| <b>Konfidenzintervall:</b>   | 0,706                     |
| <b>Überschreitungen [%]:</b> | 0,0                       |
| <b>Überschreitungen [%]:</b> |                           |

## 5.9 Homogenität

Die Auswertung der Homogenität für PmB 45 beruht auf 234 Messdaten (**Histogramm 19**). 4,3 Prozent der gemessenen Proben überschreiten den Grenzwert von zwei Grad Celsius. Mehr als die Hälfte der untersuchten Proben zeigt eine geringere Temperaturdifferenz als ein Grad Celsius. Die geprüften PmB 45 weisen eine homogene Verteilung der Polymere auf, eine Entmischungstendenz wurde nicht festgestellt.

**Histogramm 19:**

### Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: PmB 45 A





## **5.10 Massenänderung**

### **Bitumen 30/45 (Histogramm 20):**

Es liegen nur 30 Messdaten für Bitumen 30/45 hinsichtlich der Massenänderung vor. Die Anzahl der Messdaten ist zu klein, um gesicherte statistische Aussagen treffen zu können. Generell kann jedoch festgestellt werden, dass die vorhandenen Messdaten keine Überschreitung des Grenzwertes von 0,5 Massenprozent aufweisen. Massenänderung beträgt in der Regel weniger als 0,2 Massenprozent.

### **Bitumen 50/70 (Histogramm 21):**

Die Änderungen der Massen von Bitumen 50/70 wurden anhand von 246 Messdaten ausgewertet. Die Massenverluste sind in der Regel sehr gering und sind meist kleiner als 0,1 Massenprozent. Eine Massenzunahme tritt nur selten auf.

Der Grenzwert für die Massenänderungen liegt bei 0,5 Massenprozent. Dieser Wert wurde in keinem Fall überschritten.

### **Bitumen 70/100 (Histogramm 22):**

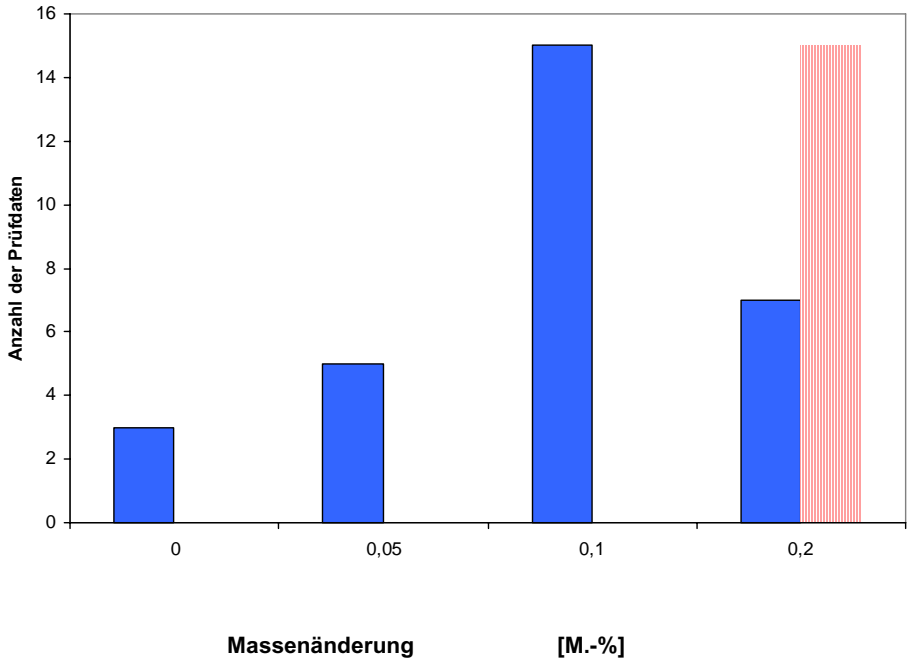
Für die Auswertung der Bitumensorte 70/100 liegen nur 40 Messdaten vor. Der obere Grenzwert von 0,8 Massenprozent wird nicht überschritten. In den meisten Fällen liegt die Massenänderung deutlich unter 0,1 Massenprozent.

### **PmB 45 (Histogramm 23):**

Die Auswertung beruht auf 206 Messungen. Nur in einem Fall wurde der obere Grenzwert von 0,5 Massenprozent überschritten. Für mehr als die Hälfte der Proben beträgt die Massenänderung weniger als 0,1 Massenprozent. Eine Massenzunahme wurde nur in wenigen Fällen beobachtet.

**Histogramm 20:**

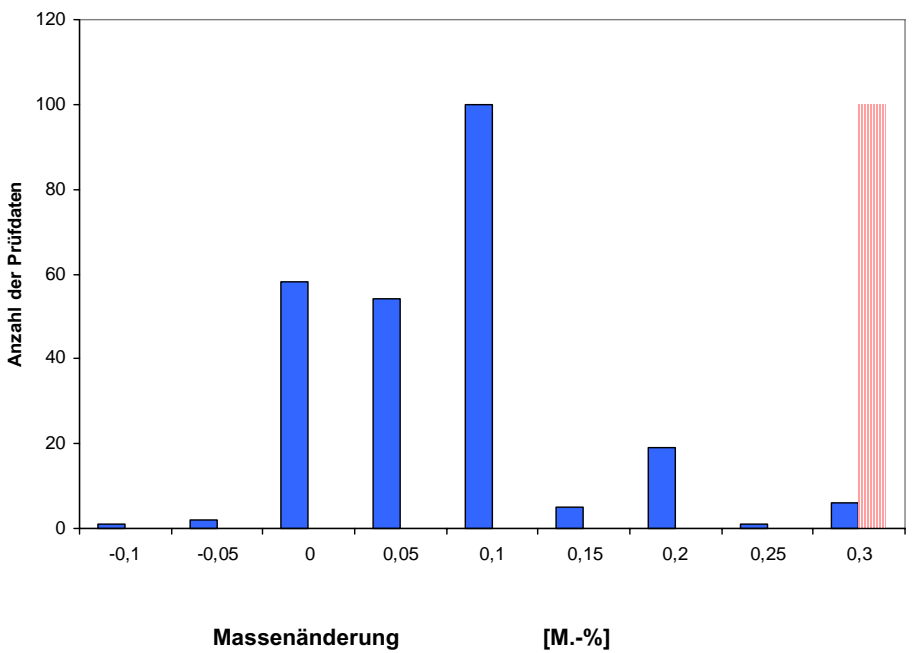
**Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: 30/45**



|                              |                           |
|------------------------------|---------------------------|
| <b>Bundesland:</b>           | Alle                      |
| <b>Hersteller:</b>           | Alle                      |
| <b>Prüfstelle:</b>           | Alle                      |
| <b>Zeitraum:</b>             | 01.01.2000 bis 31.12.2005 |
| <b>Parameter:</b>            | Massenänderung            |
| <b>Einheit:</b>              | M.-%                      |
| <b>Obere Grenze:</b>         | 0,5                       |
| <b>Untere Grenze:</b>        |                           |
| <b>Anzahl:</b>               | 30                        |
| <b>Mittelwert:</b>           | 0,10                      |
| <b>Minimalwert:</b>          | 0                         |
| <b>Maximalwert:</b>          | 0,20                      |
| <b>Standardabw.</b>          | 0,06                      |
| <b>Varianz:</b>              | 0,00                      |
| <b>Schiefe:</b>              | 0,414                     |
| <b>Kurtosis:</b>             | -0,702                    |
| <b>Konfidenzintervall:</b>   | 0,022                     |
| <b>Überschreitungen [%]:</b> | 0,0                       |

**Histogramm 21:**

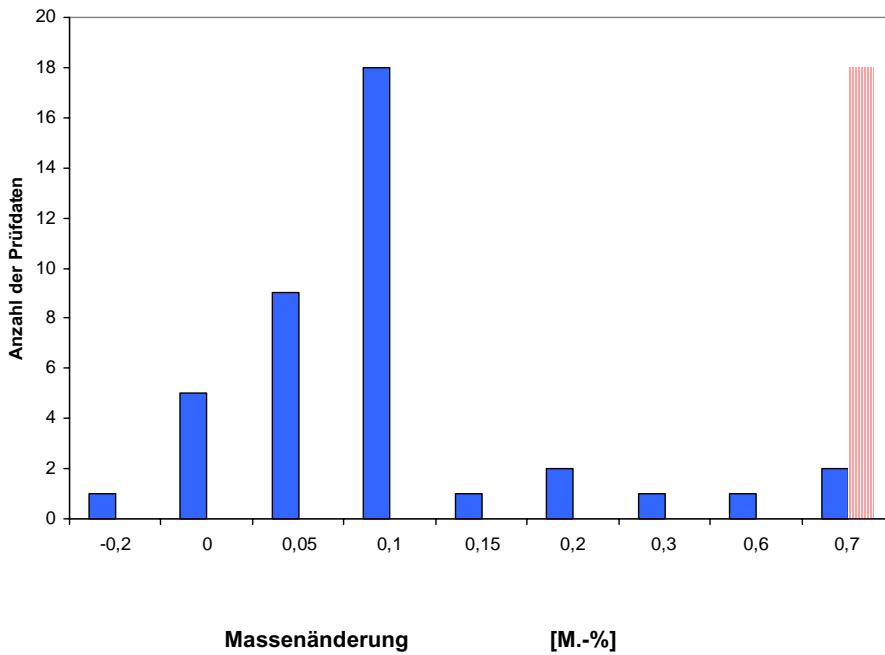
**Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: 50/70**



|                              |                           |
|------------------------------|---------------------------|
| <b>Bundesland:</b>           | Alle                      |
| <b>Hersteller:</b>           | Alle                      |
| <b>Prüfstelle:</b>           | Alle                      |
| <b>Zeitraum:</b>             | 01.01.2000 bis 31.12.2005 |
| <b>Parameter:</b>            | Massenänderung            |
| <b>Einheit:</b>              | M.-%                      |
| <b>Obere Grenze:</b>         | 0,5                       |
| <b>Untere Grenze:</b>        |                           |
| <b>Anzahl:</b>               | 246                       |
| <b>Mittelwert:</b>           | 0,08                      |
| <b>Minimalwert:</b>          | -0,10                     |
| <b>Maximalwert:</b>          | 0,30                      |
| <b>Standardabw.</b>          | 0,07                      |
| <b>Varianz:</b>              | 0,00                      |
| <b>Schiefe:</b>              | 1,143                     |
| <b>Kurtosis:</b>             | 2,093                     |
| <b>Konfidenzintervall:</b>   | 0,008                     |
| <b>Überschreitungen [%]:</b> | 0,0                       |

### Histogramm 22:

#### Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: 70/100



**Bundesland:** Alle  
**Hersteller:** Alle  
**Prüfstelle:** Alle  
**Zeitraum:** 01.01.2000 bis 31.12.2005

**Parameter:** Massenänderung

**Einheit:** M.-%

**Obere Grenze:** 0,8

**Untere Grenze:**

**Anzahl:** 40

**Mittelwert:** 0,12

**Minimalwert:** -0,20

**Maximalwert:** 0,70

**Standardabw.:** 0,17

**Varianz:** 0,03

**Schiefte:** 2,378

**Kurtosis:** 6,322

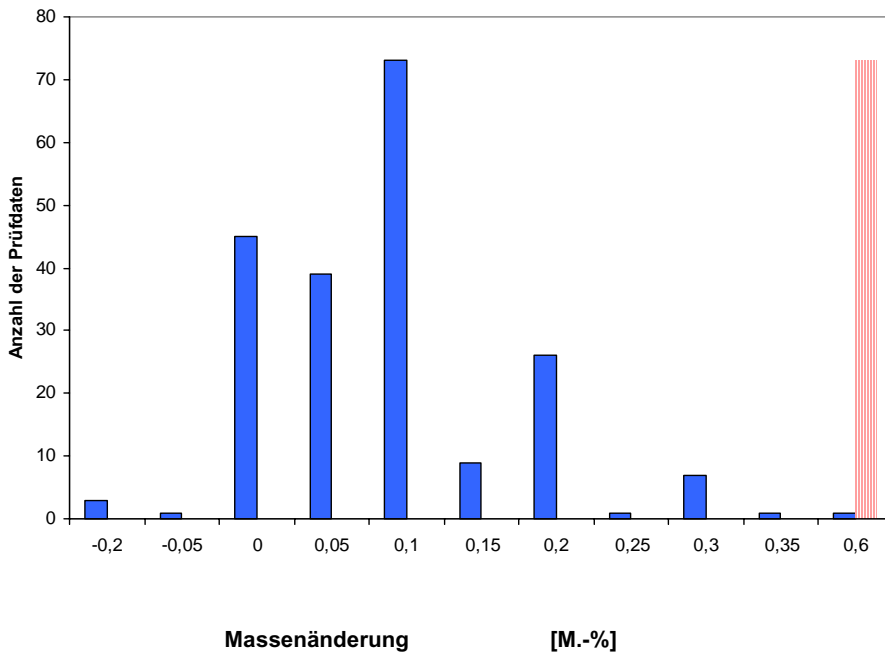
**Konfidenzintervall:** 0,053

**Unterschreitungen**

**Überschreitungen [%]:** 0,0

### Histogramm 23:

#### Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: PmB 45 A



**Bundesland:** Alle  
**Hersteller:** Alle  
**Prüfstelle:** Alle  
**Zeitraum:** 01.01.2000 bis 31.12.2005

**Parameter:** Massenänderung

**Einheit:** M.-%

**Obere Grenze:** 0,5

**Untere Grenze:**

**Anzahl:** 206

**Mittelwert:** 0,09

**Minimalwert:** -0,20

**Maximalwert:** 0,60

**Standardabw.:** 0,09

**Varianz:** 0,01

**Schiefte:** 1,035

**Kurtosis:** 5,942

**Konfidenzintervall:** 0,012

**Unterschreitungen [%]:**

**Überschreitungen [%]:** 0,5

## 5.11 Änderung des Erweichungspunktes nach thermischer Beanspruchung

### **Bitumen 30/45 (Histogramm 24):**

Das Histogramm beruht auf nur 53 Prüfdaten. Der Mittelwert aller Prüfdaten beträgt 7,6 Kelvin und liegt somit sehr nahe am Grenzwert von 8 Kelvin. Mehr als ein Drittel der Werte überschreiten diesen Grenzwert. Auch wenn man berücksichtigt, dass die geringe Probenzahl eine Erhöhung der statistischen Unsicherheit zur Folge hat, ist eine Tendenz dieser Bindemittelsorte zu einer Erhöhung des Erweichungspunktes nach thermischer Beanspruchung nicht auszuschließen.

### **Bitumen 50/70 (Histogramm 25):**

Das Histogramm für die Bitumensorte 50/70 beruht auf 400 Messdaten. Die mittlere Erhöhung des Erweichungspunktes nach thermischer Beanspruchung beträgt etwa 6 Kelvin. Etwas weniger als ein Prozent der Messdaten überschreiten den oberen Grenzwert von 9 Kelvin.

### **Bitumen 70/100 (Histogramm 26):**

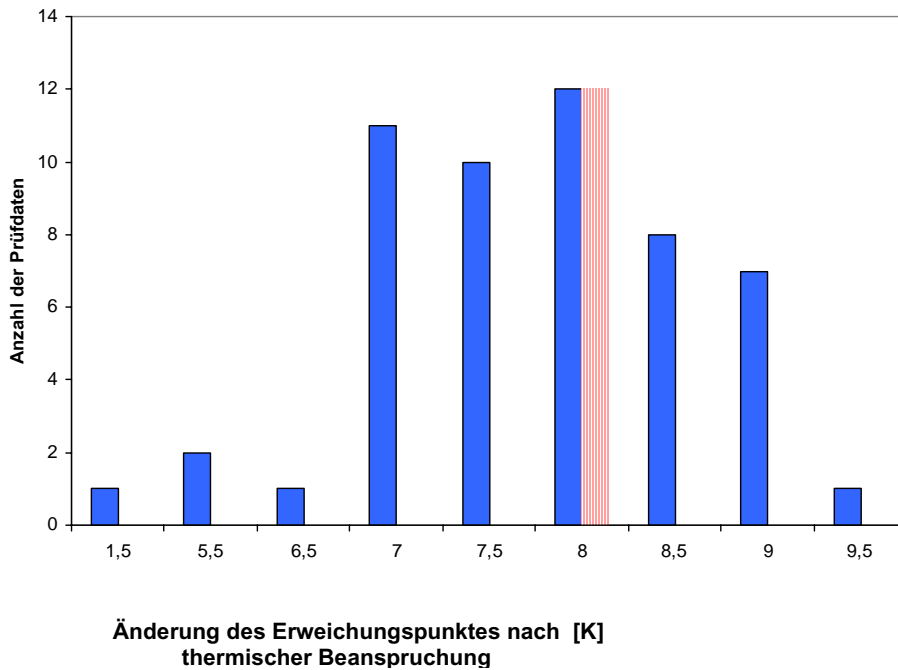
Für Bitumen der Sorte 70/100 liegen nur 65 Messdaten vor. Die mittlere Änderung des Erweichungspunktes nach thermischer Beanspruchung beträgt 5,7 Kelvin. Der obere Grenzwert von 9 Kelvin wird nicht überschritten.

### **PmB 45 (Histogramm 27):**

Für PmB 45 liegen mehr als 280 Messdaten vor. Im Mittel erhöht sich der Erweichungspunkt nach thermischer Beanspruchung um ca. 4,8 Kelvin. Eine Abnahme des Erweichungspunktes erfolgt sehr selten. Der obere Grenzwert von acht Kelvin wurde nur von ca. 2 Prozent der gemessenen Proben überschritten.

### Histogramm 24:

#### Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: 30/45



**Bundesland:** Alle  
**Hersteller:** Alle  
**Prüfstelle:** Alle  
**Zeitraum:** 01.01.2000 bis 31.12.2005

**Parameter:** Änderung des Erweichungspunktes nach therm. Beanspruchung.

**Einheit:** Kelvin

**Obere Grenze:** 8

**Untere Grenze:**

**Anzahl:** 53

**Mittelwert:** 7,63

**Minimalwert:** 1,3

**Maximalwert:** 9,3

**Standardabw.** 1,23

**Varianz:** 1,51

**Schiefe:** -2,710

**Kurtosis:** 12,651

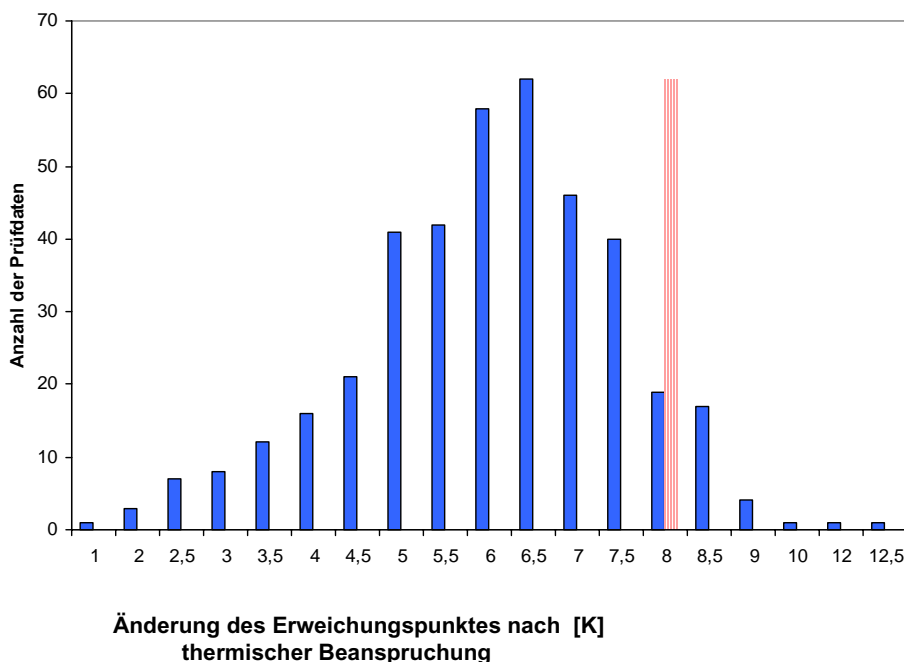
**Konfidenzintervall:** 0,328

**Unterschreitungen [%]:**

**Überschreitungen [%]:** 37,7

### Histogramm 25:

#### Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: 50/70



**Bundesland:** Alle  
**Hersteller:** Alle  
**Prüfstelle:** Alle  
**Zeitraum:** 01.01.2000 bis 31.12.2005

**Parameter:** Änderung des Erweichungspunktes nach thermischer Beanspruchung

**Einheit:** Kelvin

**Obere Grenze:** 8

**Untere Grenze:**

**Anzahl:** 400

**Mittelwert:** 6,06

**Minimalwert:** 1

**Maximalwert:** 12,7

**Standardabw.** 1,52

**Varianz:** 2,32

**Schiefe:** -0,106

**Kurtosis:** 1,365

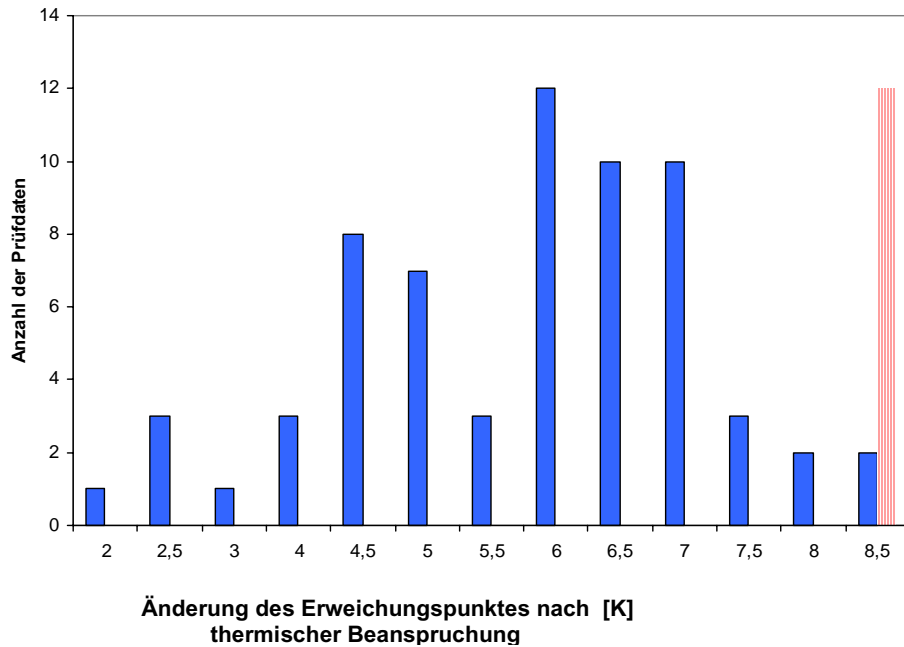
**Konfidenzintervall:** 0,149

**Unterschreitungen [%]:**

**Überschreitungen [%]:** 7,5

### Histogramm 26:

#### Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: 70/100



**Bundesland:** Alle  
**Hersteller:** Alle  
**Prüfstelle:** Alle  
**Zeitraum:** 01.01.2000 bis 31.12.2005

**Parameter:** Änderung des Erweichungspunktes nach thermischer Beanspruchung

**Einheit:** Kelvin

**Obere Grenze:** 9

**Untere Grenze:** 2

**Anzahl:** 65

**Mittelwert:** 5,74

**Minimalwert:** 2

**Maximalwert:** 8,7

**Standardabw.:** 1,45

**Varianz:** 2,10

**Schiefe:** -0,546

**Kurtosis:** 0,176

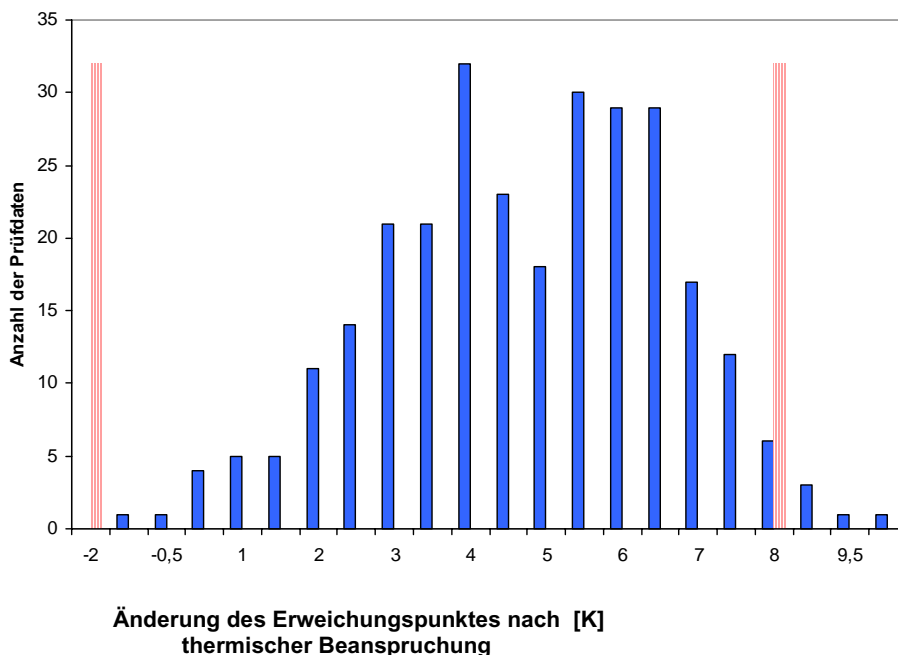
**Konfidenzintervall:** 0,350

**Unterschreitungen [%]:**

**Überschreitungen [%]:** 0,0

### Histogramm 27:

#### Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: PmB 45 A



**Bundesland:** Alle  
**Hersteller:** Alle  
**Prüfstelle:** Alle  
**Zeitraum:** 01.01.2000 bis 31.12.2005

**Parameter:** Änderung des Erweichungspunktes nach thermischer Beanspruchung

**Einheit:** Kelvin

**Obere Grenze:** 8

**Untere Grenze:** -2

**Anzahl:** 284

**Mittelwert:** 4,78

**Minimalwert:** -1,2

**Maximalwert:** 10,3

**Standardabw.:** 1,90

**Varianz:** 3,61

**Schiefe:** -0,168

**Kurtosis:** -0,148

**Konfidenzintervall:** 0,221

**Unterschreitungen** 0,0

**Überschreitungen [%]:** 2,1

## **5.12 Nadelpenetration nach thermischer Beanspruchung**

### **Bitumen 30/45 (Histogramm 28):**

Die Datengrundlage für Bitumen 30/45 besteht aus 53 Prüfwerten. Die verbleibende Nadelpenetration nach thermischer Beanspruchung muss mehr als 53 Prozent betragen. Alle Prüfdaten erfüllen den Anforderungswert. Die im Histogramm 23 festgestellte Erhöhung des Erweichungspunktes nach thermischer Beanspruchung hat offensichtlich keine stärkere Verhärtung zur Folge.

### **Bitumen 50/70 (Histogramm 29):**

Für Bitumen 50/70 liegt eine statistisch relevante Datenmenge von 400 Prüfdaten vor. Am häufigsten tritt eine verbleibende Nadelpenetration von 66 Prozent auf. Der Grenzwert von 50 Prozent wird nicht unterschritten.

### **Bitumen 70/100 (Histogramm 30):**

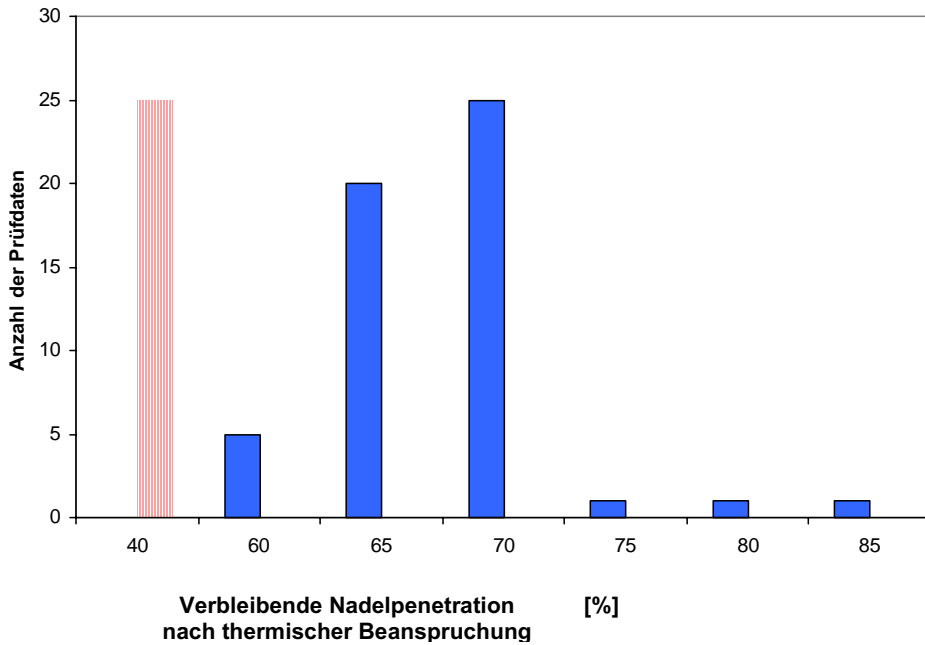
Für das Bitumen der Sorte 70/100 liegen 65 Messwerte vor. Die Spannweite reicht von 52 bis 87 Prozent. Alle gemessenen Proben erfüllen den Grenzwert von 46 Prozent.

### **PmB 45 (Histogramm 31):**

Das Histogramm von PmB 45 beruht auf mehr als 280 Messdaten. Das Maximum liegt bei einer verbleibenden Nadelpenetration von etwa 75 Prozent. Der untere Grenzwert von 60 Prozent wird nur von wenigen Proben unterschritten. Eine Zunahme des Nadelpenetrationswertes nach der thermischen Beanspruchung wurde nicht festgestellt.

**Histogramm 28:**

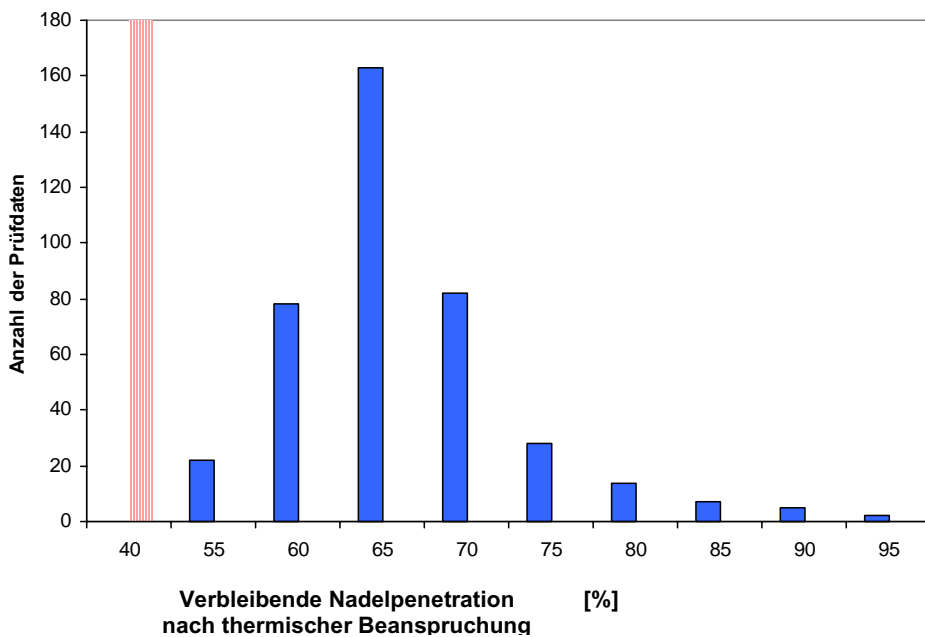
**Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: 30/45**



|                               |   |
|-------------------------------|---|
| <b>Bundesland:</b>            | Alle  |
| <b>Hersteller:</b>            | Alle  |
| <b>Prüfstelle:</b>            | Alle  |
| <b>Zeitraum:</b>              | 01.01.2000 bis 31.12.2005                         |
| <b>Parameter:</b>             | Verbl. Nadelpenetration nach therm. Beanspruchung |
| <b>Einheit:</b>               | %   |
| <b>Obere Grenze:</b>          |   |
| <b>Untere Grenze:</b>         | 53  |
| <b>Anzahl:</b>                | 53  |
| <b>Mittelwert:</b>            | 67,68   |
| <b>Minimalwert:</b>           | 60  |
| <b>Maximalwert:</b>           | 87  |
| <b>Standardabw.</b>           | 4,31  |
| <b>Varianz:</b>               | 18,61   |
| <b>Schiefte:</b>              | 1,755   |
| <b>Kurtosis:</b>              | 7,473   |
| <b>Konfidenzintervall:</b>    | 1,150   |
| <b>Unterschreitungen [%]:</b> | 0,0   |
| <b>Überschreitungen [%]:</b>  |   |

**Histogramm 29:**

**Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: 50/70**

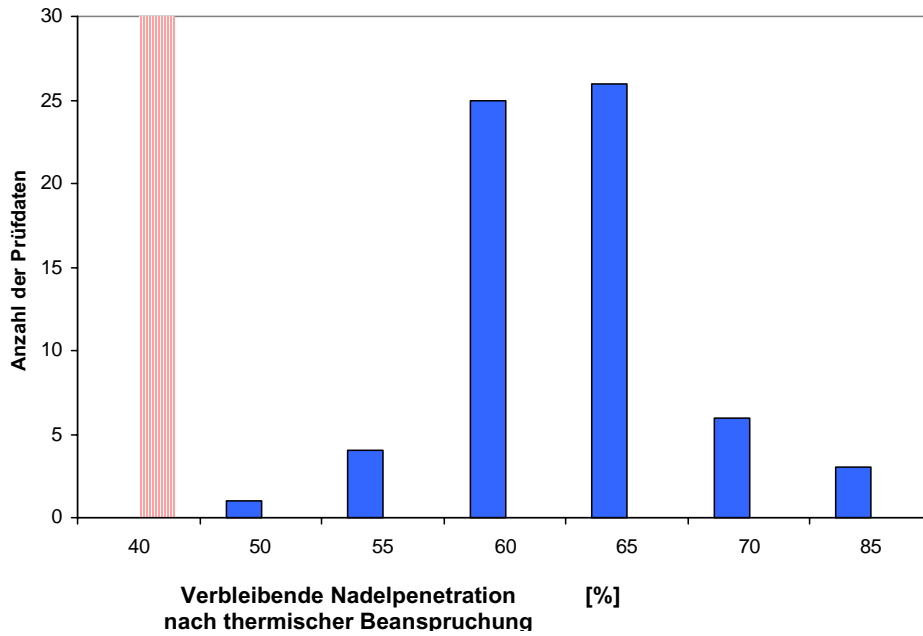


|                               |   |
|-------------------------------|---|
| <b>Bundesland:</b>            | Alle  |
| <b>Hersteller:</b>            | Alle  |
| <b>Prüfstelle:</b>            | Alle  |
| <b>Zeitraum:</b>              | 01.01.2000 bis 31.12.2005                       |
| <b>Parameter:</b>             | Verbl. Nadelpenetration n. therm. Beanspruchung |
| <b>Einheit:</b>               | %   |
| <b>Obere Grenze:</b>          |   |
| <b>Untere Grenze:</b>         | 50  |
| <b>Anzahl:</b>                | 401   |
| <b>Mittelwert:</b>            | 66,45   |
| <b>Minimalwert:</b>           | 53  |
| <b>Maximalwert:</b>           | 96  |
| <b>Standardabw.</b>           | 6,78  |
| <b>Varianz:</b>               | 45,94   |
| <b>Schiefte:</b>              | 1,293   |
| <b>Kurtosis:</b>              | 2,905   |
| <b>Konfidenzintervall:</b>    | 0,663   |
| <b>Unterschreitungen [%]:</b> | 0,0   |
| <b>Überschreitungen [%]:</b>  |   |



### Histogramm 30:

#### Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: 70/100



**Bundesland:** Alle  
**Hersteller:** Alle  
**Prüfstelle:** Alle  
**Zeitraum:** 01.01.2000 bis 31.12.2005

**Parameter:** Verbl. Nadelpenetration n. therm. Beanspruchung

**Einheit:** %

**Obere Grenze:**

**Untere Grenze:** 46

**Anzahl:** 65

**Mittelwert:** 63,48

**Minimalwert:** 52

**Maximalwert:** 87

**Standardabw.:** 6,22

**Varianz:** 38,69

**Schiefe:** 1,960

**Kurtosis:** 5,844

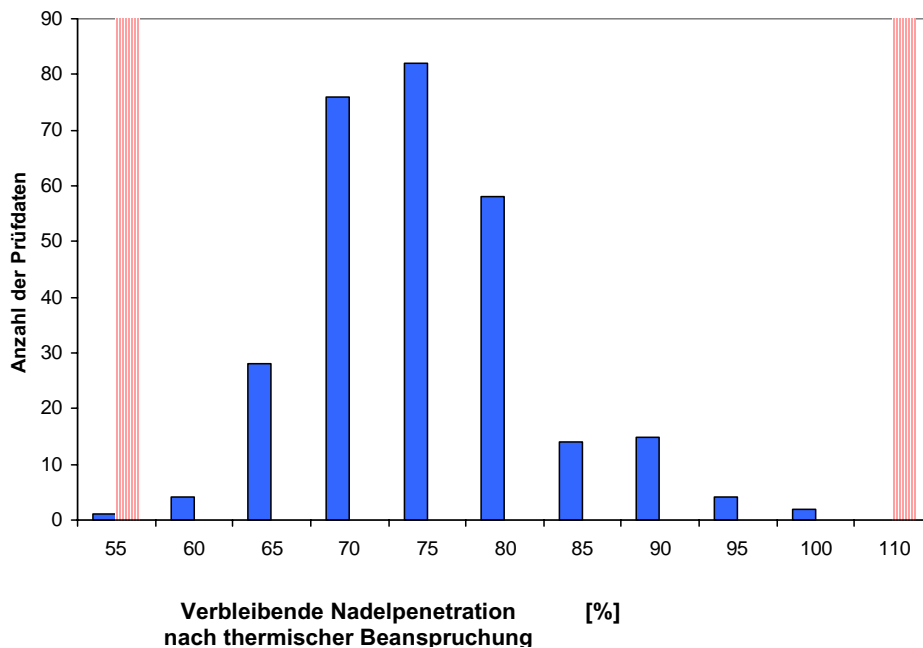
**Konfidenzintervall:** 1,501

**Unterschreitungen [%]:** 0,0

**Überschreitungen [%]:**

### Histogramm 31:

#### Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: PmB 45 A



**Bundesland:** Alle  
**Hersteller:** Alle  
**Prüfstelle:** Alle  
**Zeitraum:** 01.01.2000 bis 31.12.2005

**Parameter:** Verbl. Nadelpenetration n. therm. Beanspr.

**Einheit:** %

**Obere Grenze:** 110

**Untere Grenze:** 60

**Anzahl:** 284

**Mittelwert:** 75,10

**Minimalwert:** 53

**Maximalwert:** 102

**Standardabw.:** 7,25

**Varianz:** 52,59

**Schiefe:** 0,678

**Kurtosis:** 0,932

**Konfidenzintervall:** 0,842

**Unterschreitungen [%]:** 0,4

**Überschreitungen [%]:** 0,0

### 5.13 Änderung der Duktilität nach thermischer Beanspruchung

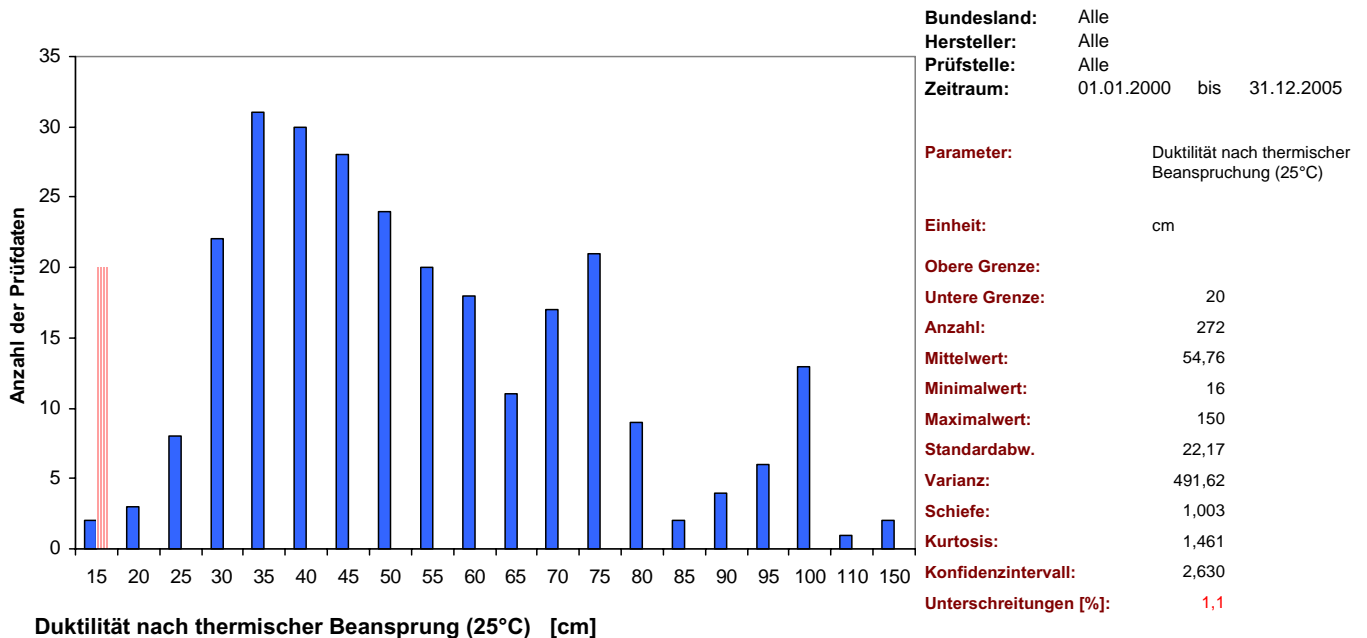
Für Duktilität nach thermischer Beanspruchung besteht nur für PmB 45 eine ausreichende Datengrundlage für eine statistische Auswertung. Duktilitätsprüfungen werden in der Praxis nicht mehr so häufig durchgeführt, wie in der Vergangenheit. Dies könnte eine Folge der Einführung des Kraftduktilitätsprüfverfahrens im Rahmen der Erfahrungssammlung mit neuen Bitumenprüfverfahren sein (TL PmB 2001).

#### PmB 45 (Histogramm 32):

Für PmB 45 wird die Messung der Duktilität nach thermischer Beanspruchung bei einer Temperatur von 25 °C durchgeführt. Der untere Grenzwert beträgt 20 Zentimeter für die Mindest-dehnungslänge. Etwa ein Prozent der geprüften Proben unterschreiten diesen Grenzwert. Das Histogramm ist statistisch relevant, da es auf einer Datenmenge von 272 Proben beruht. Auffällig ist die große Spannweite der gemessenen Duktilitäten, die von 16 bis über 150 Zentimetern reicht. Die Tatsache, dass der größte Teil der untersuchten Proben die Dehnungslänge von 20 cm deutlich überschreitet und diese höhere Dehnungslänge durchaus positiv zu werten ist, rechtfertigt es, über eine Anhebung dieses Grenzwertes zu diskutieren.

#### Histogramm 32:

Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: PmB 45 A

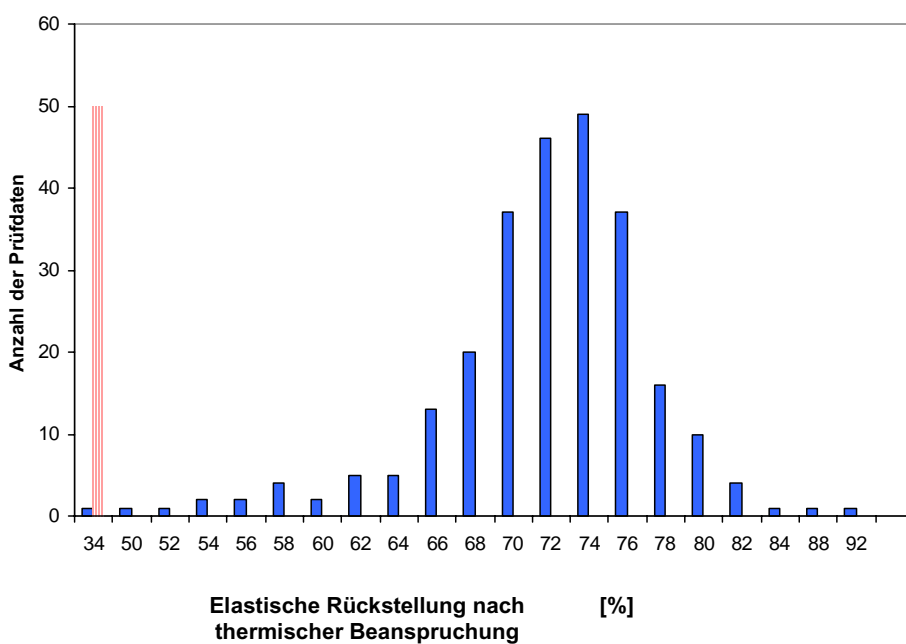


## 5.14 Elastische Rückstellung

Für die elastische Rückstellung nach thermischer Beanspruchung von PmB 45 liegen mehr als 258 Messdaten vor. Im Mittel wird eine elastische Rückstellung von etwa 70 Prozent erreicht. Fast alle Proben erfüllen den unteren Grenzwert von 50 Prozent. (**Histogramm 33**)

**Histogramm 33:**

### Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: PmB 45 A



**Bundesland:** Alle  
**Hersteller:** Alle  
**Prüfstelle:** Alle  
**Zeitraum:** 01.01.2000 bis 31.12.2005

**Parameter:** Elastische Rückstellung  
n. therm. Beanspruchung

**Einheit:** %

**Obere Grenze:**

**Untere Grenze:** 50

**Anzahl:** 258

**Mittelwert:** 71,35

**Minimalwert:** 34

**Maximalwert:** 91

**Standardabw.:** 6,02

**Varianz:** 36,26

**Schiefe:** -1,492

**Kurtosis:** 6,757

**Konfidenzintervall:** 0,733

**Unterschreitungen [%]:** 0,4

**Überschreitungen [%]:**

## 5.15 Steifigkeit

Die Steifigkeit wird mit Hilfe eines Biegebalken-Rheometers (Bending-Beam-Rheometer) gemessen. Diese Messmethode wurde in die TL PmB 2001 zur Erfahrungssammlung eingeführt.

### **PmB 25 (Histogramm 34):**

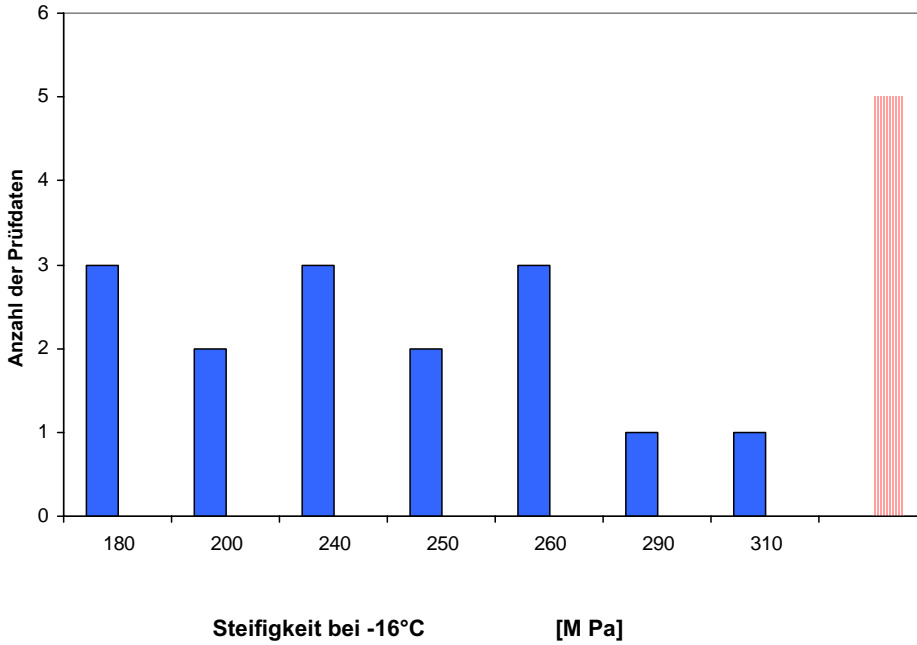
Das Histogramm für PmB 25 beruht auf nur 15 Prüfdaten. Bis auf eine Probe erfüllen alle Werte den Anforderungswert von 300 MPa. Aufgrund der geringen Datengrundlage sind weitergehende Interpretationen nicht möglich.

### **PmB 45 (Histogramm 35):**

Die Datengrundlage für das Histogramm des PmB 45 besteht aus 224 Prüfdaten. Etwa 3% der Prüfdaten überschreiten den vorläufigen Orientierungswert von 300 MPa. Der Mittelwert liegt bei 169 MPa. Es besteht ein ausgeprägtes Maximum und eine relativ enge Verteilung des Histogramms. Eine Reduzierung des oberen Steifigkeitswertes von 300 auf 250 MPa wäre möglich. Zur Zeit wird allerdings über eine Anpassung und Optimierung der Prüfbedingungen diskutiert.

**Histogramm 34:**

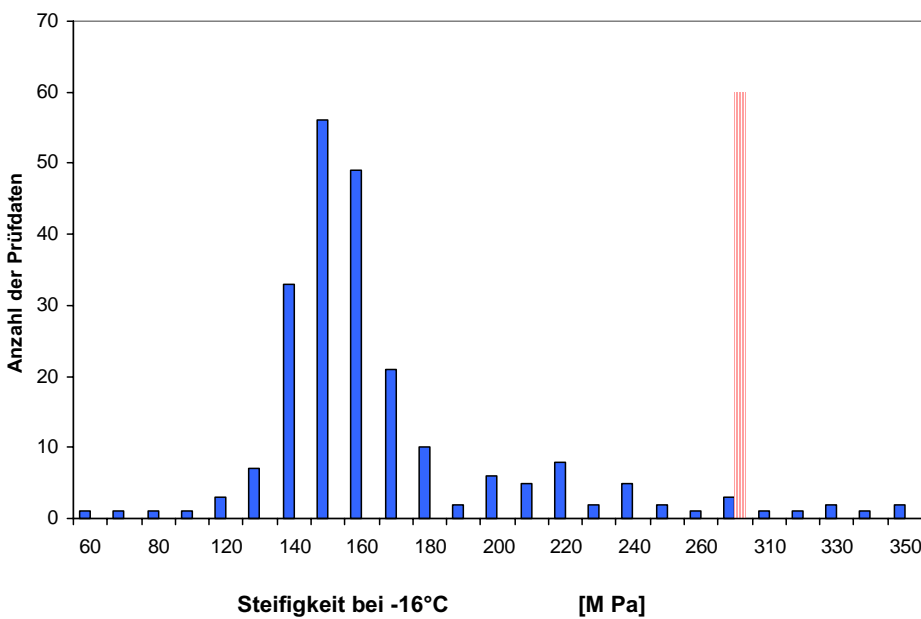
**Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: PmB 25 A**



|                               |                           |
|-------------------------------|---------------------------|
| <b>Bundesland:</b>            | Alle                      |
| <b>Hersteller:</b>            | Alle                      |
| <b>Prüfstelle:</b>            | Alle                      |
| <b>Zeitraum:</b>              | 01.01.2000 bis 31.12.2005 |
| <b>Parameter:</b>             | Steifigkeit bei -16°C     |
| <b>Einheit:</b>               | M Pa                      |
| <b>Obere Grenze:</b>          | 350                       |
| <b>Untere Grenze:</b>         |                           |
| <b>Anzahl:</b>                | 15                        |
| <b>Mittelwert:</b>            | 234,80                    |
| <b>Minimalwert:</b>           | 175                       |
| <b>Maximalwert:</b>           | 311                       |
| <b>Standardabw.</b>           | 40,66                     |
| <b>Varianz:</b>               | 1653,46                   |
| <b>Schiefe:</b>               | -0,002                    |
| <b>Kurtosis:</b>              | -0,530                    |
| <b>Konfidenzintervall:</b>    | 19,880                    |
| <b>Unterschreitungen [%]:</b> |                           |
| <b>Überschreitungen [%]:</b>  | 0,0                       |

**Histogramm 35:**

**Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: PmB 45 A**



|                               |                           |
|-------------------------------|---------------------------|
| <b>Bundesland:</b>            | Alle                      |
| <b>Hersteller:</b>            | Alle                      |
| <b>Prüfstelle:</b>            | Alle                      |
| <b>Zeitraum:</b>              | 01.01.2000 bis 31.12.2005 |
| <b>Parameter:</b>             | Steifigkeit bei -16°C     |
| <b>Einheit:</b>               | M Pa                      |
| <b>Obere Grenze:</b>          | 300                       |
| <b>Untere Grenze:</b>         |                           |
| <b>Anzahl:</b>                | 224                       |
| <b>Mittelwert:</b>            | 168,73                    |
| <b>Minimalwert:</b>           | 59                        |
| <b>Maximalwert:</b>           | 348                       |
| <b>Standardabw.</b>           | 43,99                     |
| <b>Varianz:</b>               | 1935,09                   |
| <b>Schiefe:</b>               | 2,017                     |
| <b>Kurtosis:</b>              | 5,327                     |
| <b>Konfidenzintervall:</b>    | 5,748                     |
| <b>Unterschreitungen [%]:</b> |                           |
| <b>Überschreitungen [%]:</b>  | 3,1                       |

## 5.16 Komplexer Schubmodul

Der Komplexe Schubmodul wird mit dem Dynamischen Scherrheometer gemessen. Dieses Prüfverfahren wurde in die Technischen Lieferbedingungen für polymermodifizierte Bitumen (TL PmB 2001) zur Erfahrungssammlung eingeführt. Es existieren keine vertraglich relevanten Grenzwerte, allerdings wurden auf der Grundlage des damaligen Kenntnisstandes Orientierungswerte vereinbart..

### **PmB 25 (Histogramm 36):**

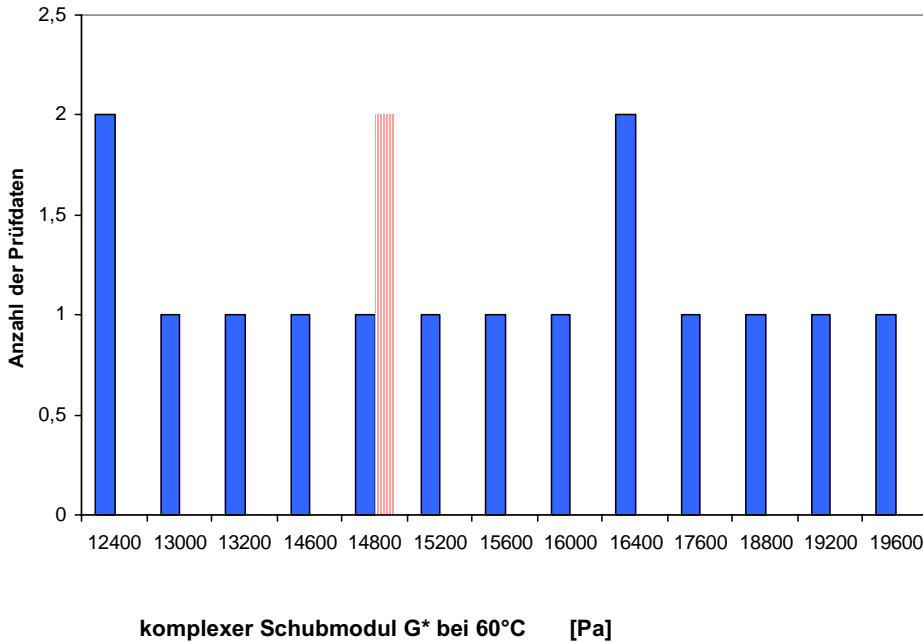
Für die Bitumensorte PmB 25 liegen nur 15 Prüfdaten vor. Ein signifikantes Verteilungsdiagramm lässt sich auf dieser Datengrundlage nicht erstellen. Dennoch kann festgestellt werden, dass fast die Hälfte der untersuchten Proben den zu Orientierung in die TL PmB 2001 eingeführten Mindestwert von 15000 Pa unterschreiten.

### **PmB 45 (Histogramm 37):**

Die Auswertung der vorherigen Periode ergab bereits Hinweise darauf, dass der zur Orientierung dienende Mindestwert für PmB 45 von 7000 Pa nicht eingehalten wird. Für die jetzige Periode liegt eine aussagekräftige Datengrundlage von 225 Prüfdaten vor, die dieses Ergebnis bestätigt. Mehr als 70 Prozent der untersuchten Proben unterschreiten die zur Orientierung festgelegte Mindestanforderung. Der Mittelwert liegt bei 7121 Pa. Die Anpassung des Mindestwertes für den komplexen Schubmodul von 7000 Pa auf einen produktionstechnisch realisierbaren Wert scheint notwendig zu sein. Bei der Festlegung dieses Mindestwertes sollte allerdings berücksichtigt werden, dass ein hoher komplexer Schubmodul, der aus der Wirkung des Polymeren resultiert, durchaus erstrebenswert ist.

**Histogramm 36:**

**Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: PmB 25 A**

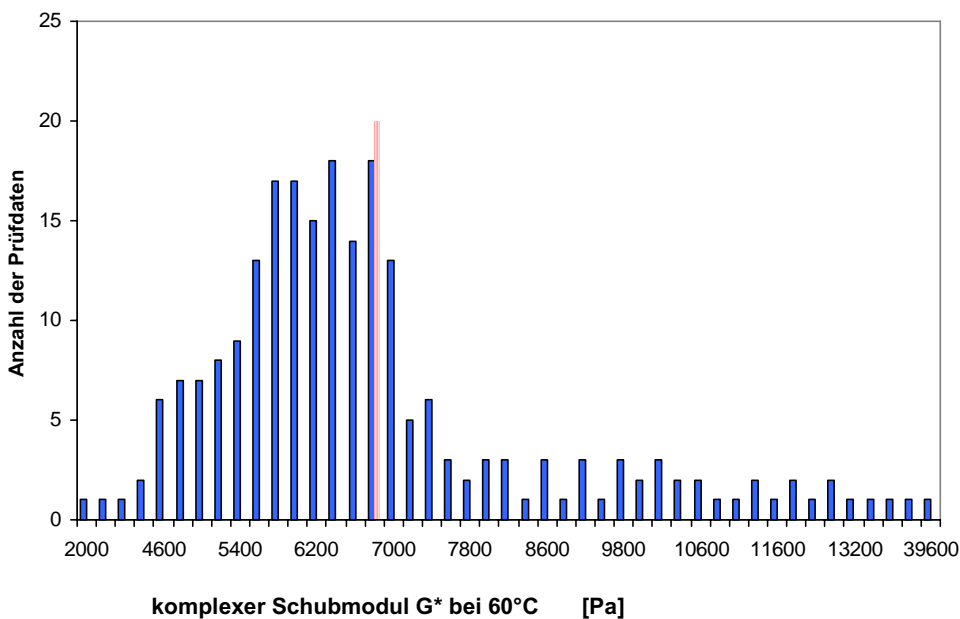


**Bundesland:** Alle  
**Hersteller:** Alle  
**Prüfstelle:** Alle  
**Zeitraum:** 01.01.2000 bis 31.12.2005

**Parameter:** komplexer Schubmodul G\* bei 60°C  
**Einheit:** Pa  
**Obere Grenze:**  
**Untere Grenze:** 15000  
**Anzahl:** 15  
**Mittelwert:** 15674  
**Minimalwert:** 12349  
**Maximalwert:** 19636  
**Standardabw.** 2397,22  
**Varianz:** 5746665  
**Schief:** 0,227  
**Kurtosis:** -0,927  
**Konfidenzintervall:** 1172  
**Unterschreitungen [%]:** 40,0  
**Überschreitungen [%]:**

**Histogramm 37:**

**Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: PmB 45 A**



**Bundesland:** Alle  
**Hersteller:** Alle  
**Prüfstelle:** Alle  
**Zeitraum:** 01.01.2000 bis 31.12.2005

**Parameter:** komplexer Schubmodul G\* bei 60°C  
**Einheit:** Pa  
**Obere Grenze:**  
**Untere Grenze:** 7000  
**Anzahl:** 225  
**Mittelwert:** 7121  
**Minimalwert:** 2094  
**Maximalwert:** 39604  
**Standardabw.** 3537,52  
**Varianz:** 12514056  
**Schief:** 6,133  
**Kurtosis:** 49,519  
**Konfidenzintervall:** 461,208  
**Unterschreitungen [%]:** 71,6

## 5.17 Phasenwinkel

Der Phasenwinkel wird mit dem Dynamischen Scherrheometer gemessen. Dieses Prüfverfahren wurde in die Technischen Lieferbedingungen für polymermodifizierte Bitumen (TL PmB 2001) zur Erfahrungssammlung eingeführt. Es existieren keine vertraglich relevanten Grenzwerte, allerdings wurden auf der Grundlage des damaligen Kenntnisstandes Orientierungswerte vereinbart.

### **PmB 25 (Histogramm 38):**

Es liegen nur 15 Prüfdaten für die statistische Auswertung vor. Alle Proben erfüllen den Orientierungswert des Phasenwinkels von 70 Grad. Aufgrund der geringen Datenzahl ist die Aussagekraft begrenzt.

### **PmB 45 (Histogramm 39):**

Das vorliegende Verteilungsdiagramm beruht auf 225 Prüfdaten. Etwa vier Prozent der Prüfdaten überschreiten geringfügig die vorläufige Mindestanforderung von 75 Grad. Der Mittelwert beträgt 70,9 Grad.





## 5.18 Kraftduktilität

Die Kraftduktilitätsprüfung ist ein weiteres Prüfverfahren, das zur Erfahrungssammlung in die Technischen Lieferbedingungen für gebrauchsfertige polymermodifizierte Bitumen (TL PmB 2001) eingeführt wurde. Es existieren keine vertraglich relevanten Grenzwerte, allerdings wurden auf der Grundlage des damaligen Kenntnisstandes Orientierungswerte vereinbart.

### **PmB 25 (Histogramm 40):**

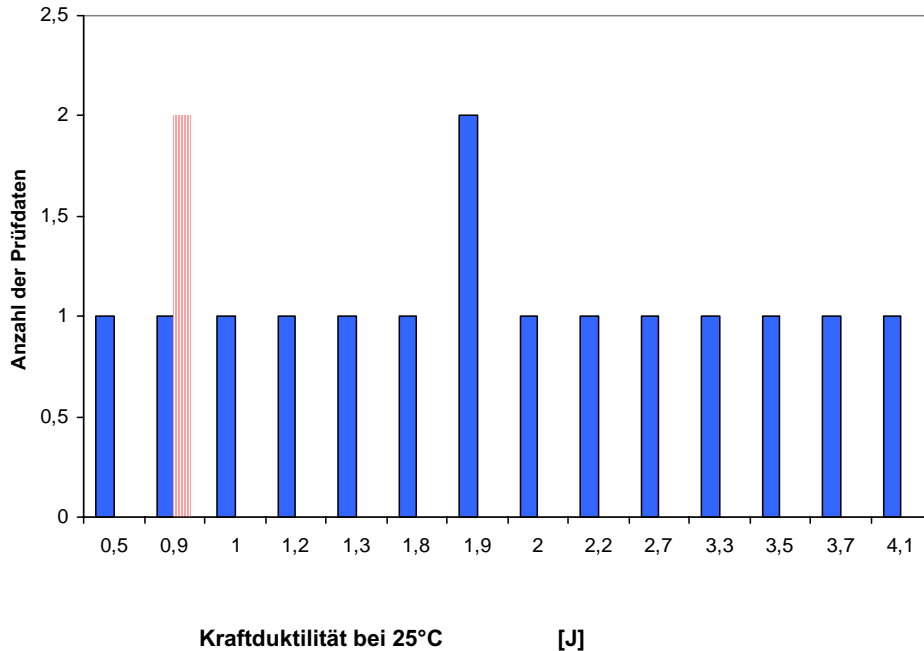
Für PmB 25 sind hinsichtlich der Kraftduktilitätsprüfung nur 15 Prüfdaten verfügbar. Zwei der geprüften Proben erreichen nicht die Mindestduktilität von 1 Joule.

### **PmB 45 (Histogramm 41):**

Mit 234 Prüfdaten besteht eine ausreichende Datengrundlage für eine statistische Auswertung. Es wird deutlich, dass der im Jahr 2001 eingeführte Orientierungswert für die Deformationsenergie (Anfangsposition bis Mindestduktilität) von 1 Joule zu anspruchsvoll gewählt wurde. Etwa 96% der untersuchten Proben erreichen diesen Wert nicht. Es scheint notwendig zu sein, eine Anpassung der Mindestanforderung vorzunehmen oder eine besser angepasste Prüftemperatur zu wählen. Bei der zur Zeit genutzten Prüftemperatur von 25 °C sind die auftretenden Kräfte sehr klein. Einen günstigeren Bereich für die Kraftduktilitätsmessung erhält man bei Temperaturen von 15 oder 20 °C. Prinzipiell ist eine hohe Deformationsenergie durchaus erwünscht, wenn diese primär aus der Wirkung des Polymeren resultiert. Produktionstechnisch lässt sich eine höhere Deformationsenergie aber auch durch die Verwendung eines niedrigviskosen Basisbitumens erzielen. Ein niedrigviskoses Basisbitumen kann allerdings im Tieftemperaturbereich ungünstige Eigenschaften besitzen. Der Verlauf der Kraftduktilitätskurve erlaubt es, relativ einfach zu unterscheiden ob die Deformationsenergie vorwiegend durch ein niedrigviskoses Basisbitumen oder durch den zur Modifizierung genutzten Polymeren bestimmt wird. Eine weitergehende Auswertung der Kraftduktilitätskurve und deren Berücksichtigung in zukünftigen Anforderungen ist deshalb dringend zu empfehlen.

### Histogramm 40:

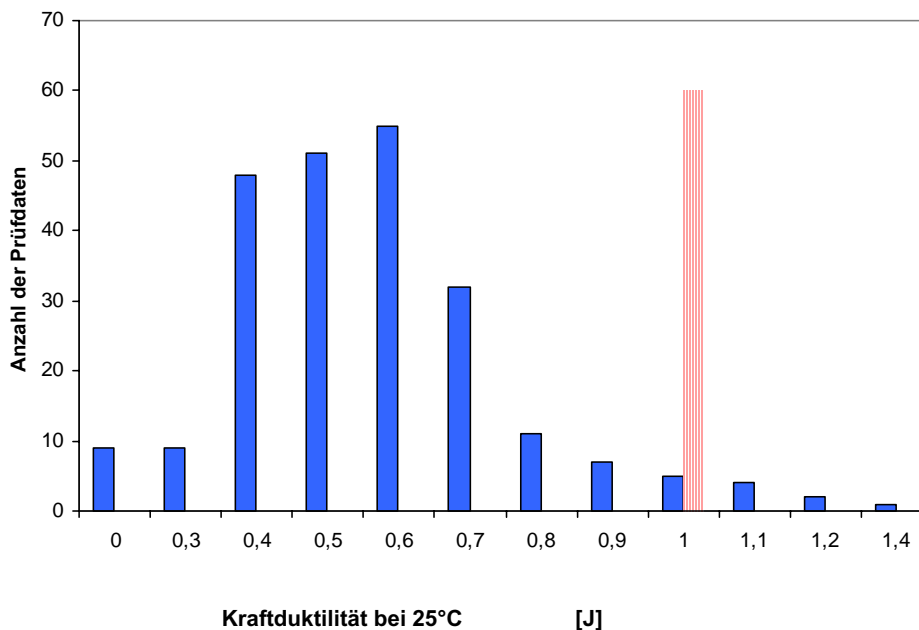
#### Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: PmB 25 A



|                               |                           |
|-------------------------------|---------------------------|
| <b>Bundesland:</b>            | Alle                      |
| <b>Hersteller:</b>            | Alle                      |
| <b>Prüfstelle:</b>            | Alle                      |
| <b>Zeitraum:</b>              | 01.01.2000 bis 31.12.2005 |
| <b>Parameter:</b>             | Kraftduktilität bei 25°C  |
| <b>Einheit:</b>               | J                         |
| <b>Obere Grenze:</b>          |                           |
| <b>Untere Grenze:</b>         | 1                         |
| <b>Anzahl:</b>                | 15                        |
| <b>Mittelwert:</b>            | 2,13                      |
| <b>Minimalwert:</b>           | 0,5                       |
| <b>Maximalwert:</b>           | 4,1                       |
| <b>Standardabw.</b>           | 1,11                      |
| <b>Varianz:</b>               | 1,23                      |
| <b>Schiefe:</b>               | 0,407                     |
| <b>Kurtosis:</b>              | -0,933                    |
| <b>Konfidenzintervall:</b>    | 0,541                     |
| <b>Unterschreitungen [%]:</b> | 13,3                      |
| <b>Überschreitungen [%]:</b>  |                           |

### Histogramm 41:

#### Häufigkeitsverteilung der Messwerte für: PmB 45 A



|                               |                           |
|-------------------------------|---------------------------|
| <b>Bundesland:</b>            | Alle                      |
| <b>Hersteller:</b>            | Alle                      |
| <b>Prüfstelle:</b>            | Alle                      |
| <b>Zeitraum:</b>              | 01.01.2000 bis 31.12.2005 |
| <b>Parameter:</b>             | Kraftduktilität bei 25°C  |
| <b>Einheit:</b>               | J                         |
| <b>Obere Grenze:</b>          |                           |
| <b>Untere Grenze:</b>         | 1                         |
| <b>Anzahl:</b>                | 234                       |
| <b>Mittelwert:</b>            | 0,56                      |
| <b>Minimalwert:</b>           | 0                         |
| <b>Maximalwert:</b>           | 1,4                       |
| <b>Standardabw.</b>           | 0,21                      |
| <b>Varianz:</b>               | 0,05                      |
| <b>Schiefe:</b>               | 0,312                     |
| <b>Kurtosis:</b>              | 2,169                     |
| <b>Konfidenzintervall:</b>    | 0,027                     |
| <b>Unterschreitungen [%]:</b> | 95,7                      |
| <b>Überschreitungen [%]:</b>  |                           |

## 6 Zeitliche Veränderung der Bitumenprüfergebnisse

Die durch Auswertung der Vorperioden erhaltenen statistischen Daten wurden dazu benutzt, die zeitliche Entwicklung der verschiedenen Prüfparameter zu analysieren.

Als Datenmaterial standen die Auswertungen aus folgenden Jahren zur Verfügung:

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| 01.01.1982 | - | 31.12.1982 |
| 01.01.1983 | - | 31.12.1983 |
| 1984       | - | 1985       |
| 1986       | - | 1989       |
| 1990       | - | 1996       |
| 1996       | - | 2000       |
| 2000       | - | 2005       |

### 6.1 Entwicklung des Mittelwertes der Nadelpenetration

Das Diagramm 5 zeigt die zeitliche Entwicklung des Mittelwertes der Nadelpenetration von Bitumen der Sorte 50/70. Der Mittelwert der Nadelpenetration liegt zwischen ca. 55 und 57 Penetrationseinheiten und liegt somit näher am unteren als am oberen Grenzwert. Demzufolge wird die Bitumensorte 50/70 tendenziell etwas „härter“ produziert als es nach der Spezifikationsspanne möglich wäre. Von 1982 bis 1986 ist der Mittelwert weitgehend konstant. Ab 1996 ist eine leichte Erniedrigung des Mittelwertes der Nadelpenetration festzustellen.

Diagramm 5:

Entwicklung des Mittelwertes der Nadelpenetration von Bitumen 50/70

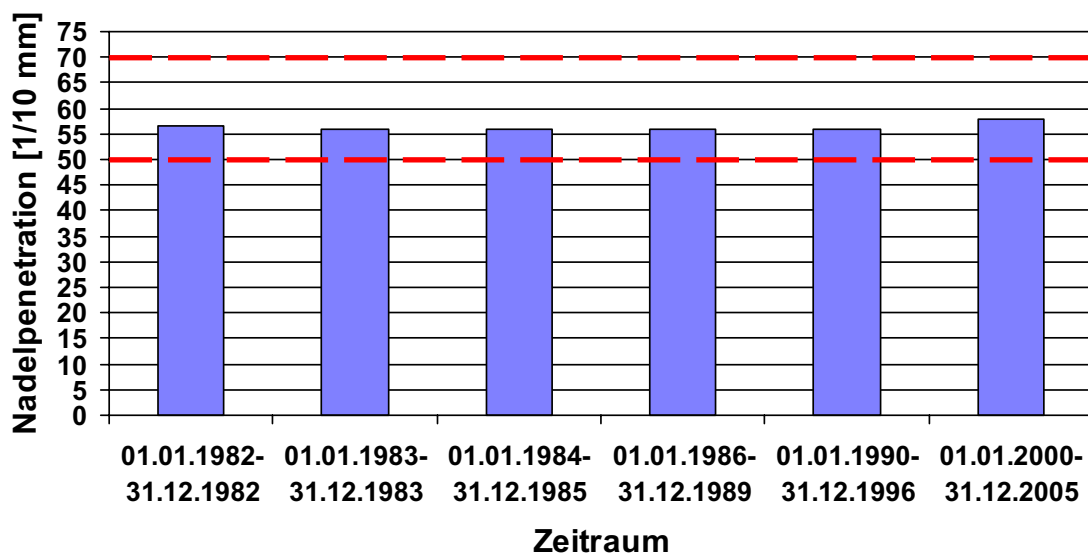
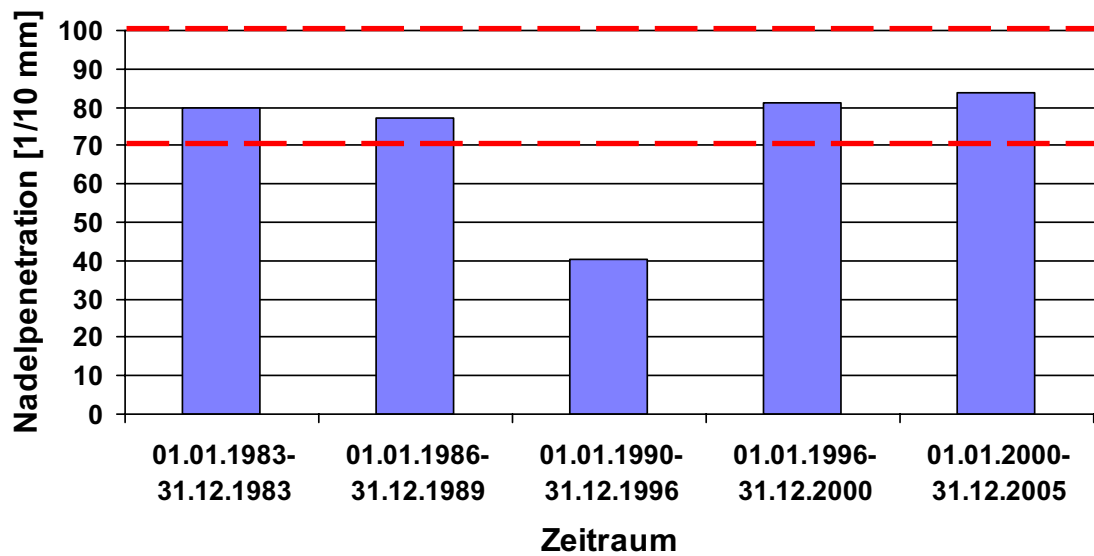


Diagramm 6 zeigt die zeitliche Entwicklung des Mittelwertes der Nadelpenetration von Bitumen der Sorte 70/100. Auch in diesem Fall sind die Werte relativ stabil. Lediglich in der Zeit von 1986 bis 1989 ist eine Abnahme der Penetration festzustellen, deren Ursache nicht ermittelt werden konnte. Wie für Bitumen 50/70 ist auch für die Bitumensorte 70/100 ist eine Tendenz zu „härteren“ Produkten festzustellen.

**Diagramm 6:**

**Entwicklung des Mittelwertes der Nadelpenetration von Bitumen 70/100**



## 6.2 Entwicklung des Mittelwertes des Erweichungspunktes

Der Mittelwert des Erweichungspunktes von Bitumen 50/70 ist seit 1982 relativ konstant. Nur in den Jahren 1984 bis 1989 ist eine leichte Erniedrigung des Erweichungspunktes festzustellen.

Der Mittelwert des Erweichungspunktes für die Bitumensorte 70/100 liegt von 1983 bis 2005 zwischen 47 und 48 °C und ist somit als konstant anzusehen.

Diagramm 7:

Entwicklung des Mittelwertes des Erweichungspunktes von Bitumen 50/70

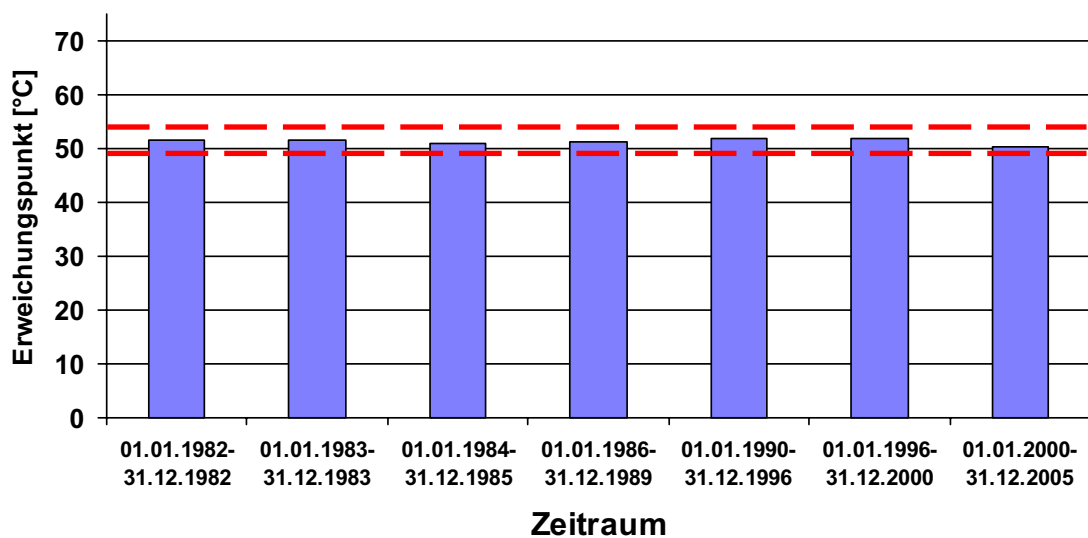
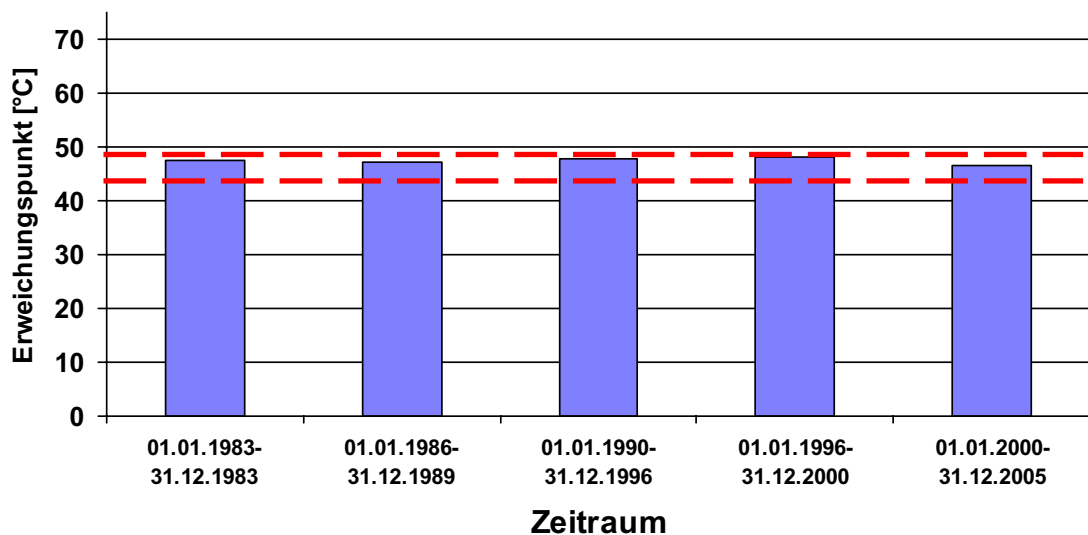


Diagramm 8:

Entwicklung des Mittelwertes des Erweichungspunktes von Bitumen 70/100



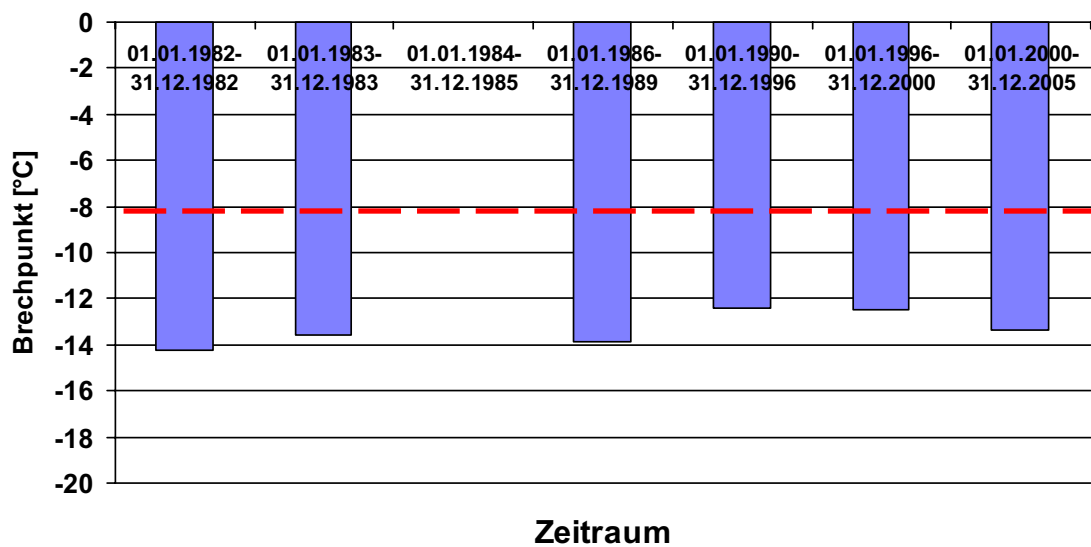
### 6.3 Entwicklung des Mittelwertes des Brechpunktes nach Fraaß

Die Mittelwerte des Brechpunktes nach Fraaß für die Bitumensorte 50/70 liegen zwischen -14 und -12 °C. Für den Zeitraum von 1984 bis 1985 liegen keine Messwerte vor.

Die Mittelwerte für den Brechpunkt der Bitumensorte 70/100 liegen zwischen -16 und -14,5 °C. In der Zeit von 1983 bis 1996 ist ein leichter Anstieg des Brechpunktes festzustellen. Diese Tendenz setzte sich in der Zeit von 1996 bis 2005 nicht fort.

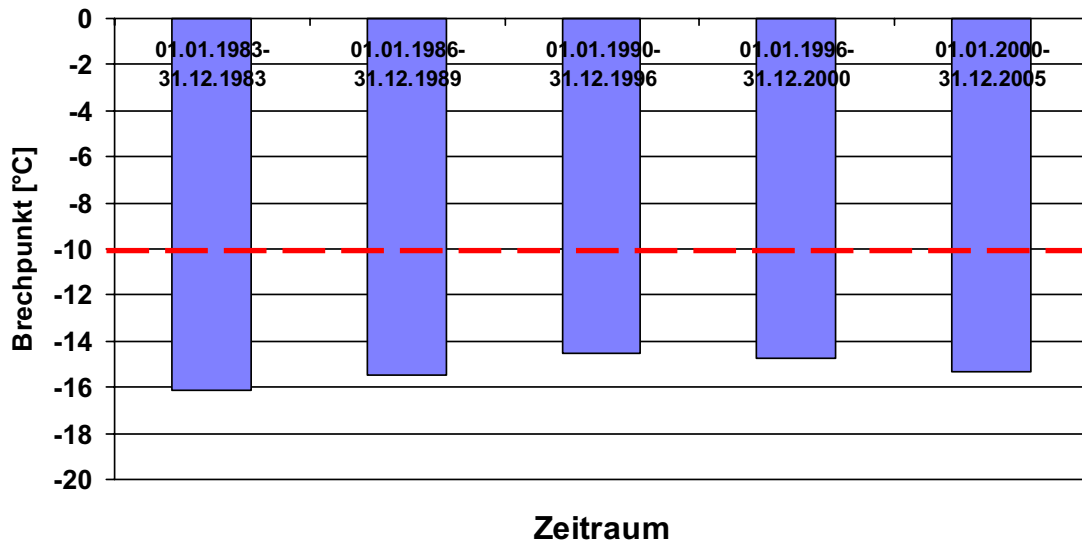
Diagramm 9:

Entwicklung des Mittelwertes des Brechpunktes von Bitumen 50/70



**Diagramm 10:**

**Entwicklung des Mittelwertes des Brechpunktes von Bitumen 70/100**

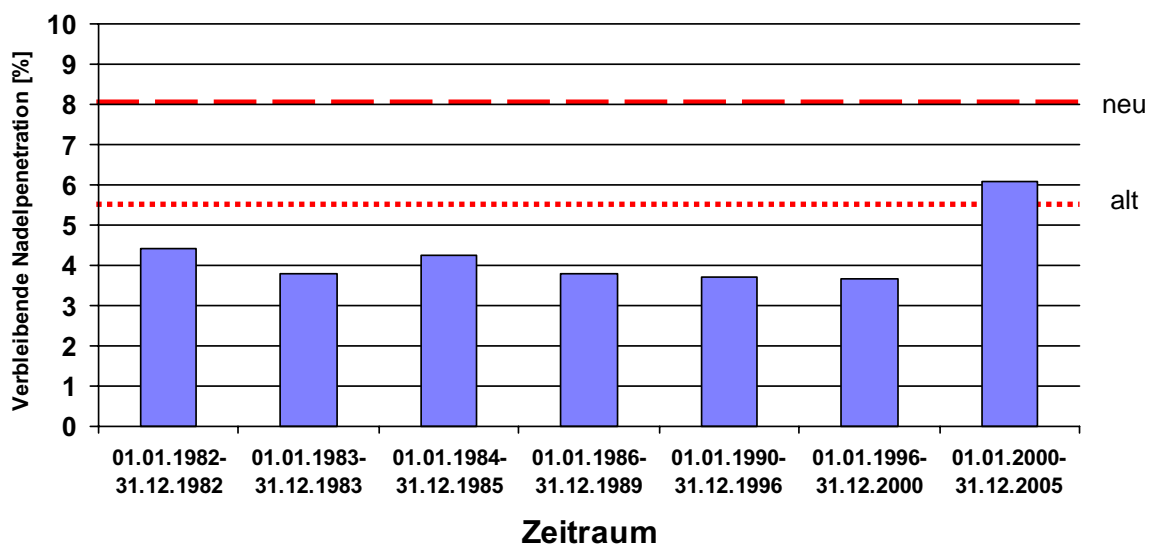




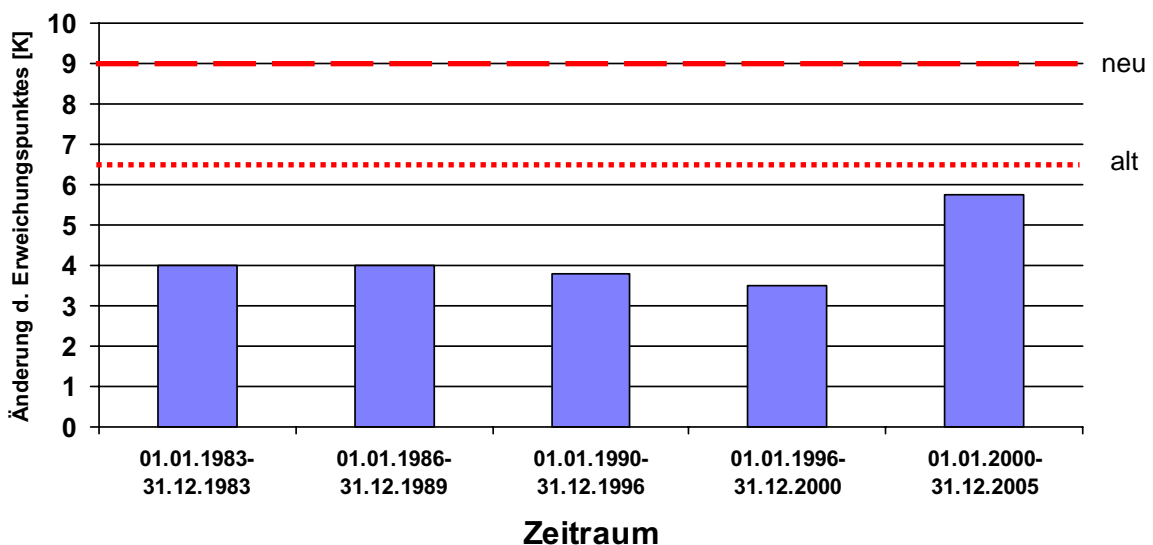
## 6.4 Entwicklung des Mittelwertes der Änderung des Erweichungspunktes nach thermischer Beanspruchung

Nach thermischer Beanspruchung des Bitumens wird der Erweichungspunkt bestimmt und die Differenz zum Erweichungspunkt des frischen Bitumens gebildet. Die Differenz der Erweichungspunkte von Bitumen 50/70 und 70/100 darf gemäß EN 12591 den Wert von 9 Kelvin nicht übersteigen. Die Diagramme 21 und 22 zeigen die Entwicklung des Mittelwertes seit 1982. Die Differenz ist über den gesamten Auswertzeitraum annähernd konstant geblieben (Abnahme < 1K).

**Diagramm 11: Entwicklung des Mittelwertes für die Änderung des Erweichungspunktes von Bitumen 50/70 nach thermischer Beanspruchung**



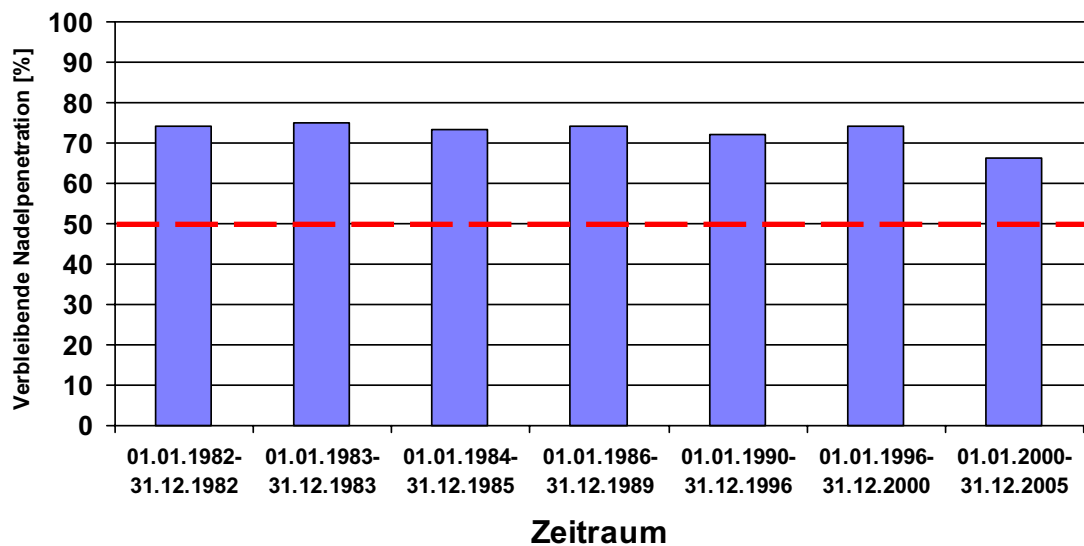
**Diagramm 12: Entwicklung des Mittelwertes für die Änderung des Erweichungspunktes von Bitumen 70/100 nach thermischer Beanspruchung**



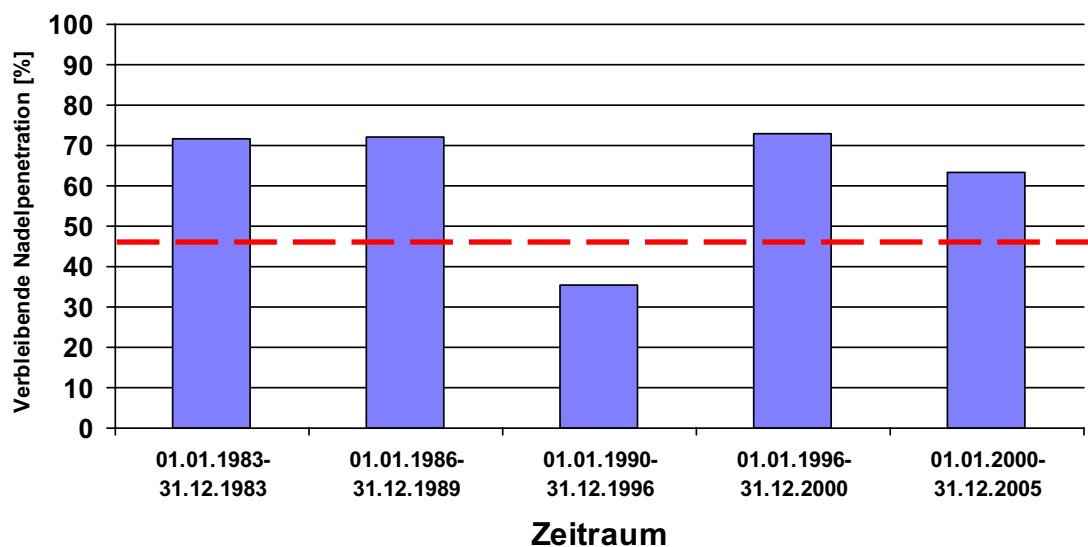
## 6.5 Entwicklung des Mittelwertes der Änderung der Nadelpenetration nach thermischer Beanspruchung

Nach thermischer Beanspruchung wird die Nadelpenetration bestimmt und die prozentuale Änderung des Wertes im Vergleich zum Penetrationswert des frischen Bitumens angegeben. Für die Bitumensorte 50/70 beträgt die Änderung der Nadelpenetration für den Zeitraum von 1982 bis 2005 im Mittel über 50 Prozent. Mit Ausnahme des Mittelwertes für die Zeit von 1990 bis 1996 sind auch für die Bitumensorte 70/100 ähnliche Werte festzustellen.

**Diagramm 13: Entwicklung des Mittelwertes für die Änderung der Nadelpenetration von Bitumen 50/70 nach thermischer Beanspruchung**



**Diagramm 14: Entwicklung des Mittelwertes für die Änderung der Nadelpenetration von Bitumen 70/100 nach thermischer Beanspruchung**



## 7 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der statistischen Auswertung hinsichtlich der Einhaltung der Anforderungswerte für die am häufigsten eingesetzten Bitumensorten 30/45, 50/70, 70/100, PmB 25 und PmB 45 sind in den Tabellen 3 - 6 aufgeführt. Die Prüfparameter sind gestaffelt in kompositionelle Prüfparameter und physikalische Parameter, die auf frisches und thermisch beanspruchtes Bitumen angewendet werden. Über- oder Unterschreitungen der Anforderungswerte sind in den nachstehenden Tabellen durch Fettdruck hervorgehoben. Erhebliche Abweichungen sind rot markiert. Die einzelnen Parametergruppen werden im Folgenden diskutiert.

**Tabelle 3 : Einhaltung der Spezifikationen der Bitumensorte 30/45**

|   | Parameter                       | Einheit | Unterer Grenzwert | Oberer Grenzwert | Unterschreitung [%] | Überschreitung [%] |
|---|---------------------------------|---------|-------------------|------------------|---------------------|--------------------|
| <b>Kompositionelle Parameter:</b>                   |                                 |         |                   |                  |                     |                    |
|   | Löslichkeit *                   | M.-%    | 99                | -                |                     |                    |
|   | Paraffingehalt*                 | M.-%    | -                 | 2,2              |                     |                    |
|   | Massenänderung                  | M.-%    | -                 | 0,5              | -                   | 0                  |
|   | Flammpunkt*                     | °C      | 240               |                  |                     |                    |
| <b>Physikalische Parameter:</b>                     |                                 |         |                   |                  |                     |                    |
| <b>gemessen am frischen Bitumen:</b>                |                                 |         |                   |                  |                     |                    |
|   | Nadelpenetration                | 0,1 mm  | 30                | 45               | 1,3                 | <b>3,9</b>         |
|   | Erweichungspunkt Ring und Kugel | °C      | 53 (52)           | 59 (60)          | 2,6                 | <b>5,1</b>         |
|   | Brechpunkt nach Fraaß           | °C      | -                 | -5               | -                   | 0,0                |
| <b>gemessen am thermisch beanspruchten Bitumen:</b> |                                 |         |                   |                  |                     |                    |
|   | Änderung des Erweichungspunktes | K       | 54                | 8                | -                   | <b>38</b>          |
|   | Verbleibende Nadelpenetration   | %       | 53                | -                | 0                   | -                  |

\* Keine Prüfdaten verfügbar

**Tabelle 3: Einhaltung der Spezifikationen der Bitumensorte 50/70**

|   | <b>Parameter</b>                | <b>Einheit</b> | <b>Unterer Grenzwert</b> | <b>Oberer Grenzwert</b> | <b>Unterschreitung [%]</b> | <b>Überschreitung [%]</b> |
|---|---------------------------------|----------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|
| <b>Kompositionelle Parameter:</b>                   |                                 |                |                          |                         |                            |                           |
|   | Löslichkeit*                    | M.-%           | 99                       | -                       |                            |                           |
|   | Paraffingehalt                  | M.-%           | -                        | 2,2                     |                            | 0                         |
|   | Massenänderung                  | M.-%           | -                        | 0,50                    | -                          | 0                         |
|   | Flammpunkt*                     | °C             | 230                      |                         |                            |                           |
| <b>Physikalische Parameter:</b>                     |                                 |                |                          |                         |                            |                           |
| <b>gemessen am frischen Bitumen:</b>                |                                 |                |                          |                         |                            |                           |
|   | Nadelpenetration                | 0,1 mm         | 50                       | 70                      | 1,8                        | 1,1                       |
|   | Erweichungspunkt Ring und Kugel | °C             | 49 (46)                  | 54                      | <b>8,0</b>                 | 0,7                       |
|   | Brechpunkt nach Fraaß           | °C             | -                        | -8                      | -                          | 0,0                       |
| <b>gemessen am thermisch beanspruchten Bitumen:</b> |                                 |                |                          |                         |                            |                           |
|   | Änderung des Erweichungspunktes | K              | -                        | 9                       | -                          | <b>0,8</b>                |
|   | Verbleibende Nadelpenetration   | %              | 50                       | -                       | 0                          | -                         |

\* Keine Prüfdaten verfügbar

**Tabelle 4: Einhaltung der Spezifikationen der Bitumensorte 70/100**

|   | <b>Parameter</b>                | <b>Einheit</b> | <b>Unterer Grenzwert</b> | <b>Oberer Grenzwert</b> | <b>Unterschreitung [%]</b> | <b>Überschreitung [%]</b> |
|---|---------------------------------|----------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|
| <b>Kompositionelle Parameter:</b>                   |                                 |                |                          |                         |                            |                           |
|   | Löslichkeit*                    | M.-%           | 99                       | -                       | -                          |                           |
|   | Paraffingehalt*                 | M.-%           | -                        | 2,2                     | -                          |                           |
|   | Massenänderung                  | M.-%           | -                        | 0,8                     | -                          | 0                         |
|   | Flammpunkt*                     | °C             | 230                      | -                       | -                          |                           |
| <b>Physikalische Parameter:</b>                     |                                 |                |                          |                         |                            |                           |
| <b>gemessen am frischen Bitumen:</b>                |                                 |                |                          |                         |                            |                           |
|   | Nadelpenetration                | 0,1 mm         | 70                       | 100                     | <b>4</b>                   | 0                         |
|   | Erweichungspunkt Ring und Kugel | °C             | 43                       | 49 (51)                 | 0                          | <b>4,5</b>                |
|   | Brechpunkt nach Fraaß           | °C             | -                        | -10                     | -                          | 1,6                       |
| <b>gemessen am thermisch beanspruchten Bitumen:</b> |                                 |                |                          |                         |                            |                           |
|   | Änderung des Erweichungspunktes | K              | 45                       | 9                       | -                          | 0                         |
|   | Verbleibende Nadelpenetration   | %              | 46                       | -                       | 0                          | -                         |

\* Keine Prüfdaten verfügbar

Tabelle 5: Einhaltung der Spezifikationen der Bitumensorte PmB 25

| Nr.   | Parameter                            | Einheit | Unterer Grenzwert | Oberer Grenzwert | Unterschreitung [%] | Überschreitung [%] |
|---|--------------------------------------|---------|-------------------|------------------|---------------------|--------------------|
| <b>Kompositionelle Parameter:</b>                   |                                      |         |                   |                  |                     |                    |
|   | Flammpunkt*                          | °C      | 235               | -                |                     |                    |
|   | Homogenität*                         | K       | -                 | 2                |                     |                    |
|   | Massenänderung*                      | M.-%    | -                 | 0,5              |                     |                    |
| <b>Physikalische Parameter:</b>                     |                                      |         |                   |                  |                     |                    |
| <b>gemessen am frischen Bitumen:</b>                |                                      |         |                   |                  |                     |                    |
|   | Nadelpenetration*                    | 0,1 mm  | 10                | 40               |                     |                    |
|   | Erweichungspunkt Ring und Kugel      | °C      | 63                | 71               | 0                   | <b>27</b>          |
|   | Brechpunkt nach Fraaß                | °C      | -                 | -5               | -                   | 0                  |
|   | Duktilität bei 25 °C*                | cm      | 20                | -                |                     |                    |
|   | Dichte*                              | g/ml    | 1,000             | 1,100            |                     |                    |
|   | Elastische Rückstellung              | %       | 50                | -                | 0                   | -                  |
| <b>Erfahrungssammlung nach TL PmB 2001:</b>         |                                      |         |                   |                  |                     |                    |
|   | Steifigkeit bei -16 °C (TL PmB 2001) | MPa     | -                 | 350              | -                   | 0                  |
|   | Komplexer Schubmodul bei 60 °C       | Pa      | 15000             | -                | <b>40,0</b>         | -                  |
|   | Phasenwinkel bei 60 °C               | Grad    | -                 | 70               |                     | 0,0                |
|   | Formänderungsarbeit bei 25°C         | J       | 1                 | -                | <b>13,3</b>         | -                  |
| <b>gemessen am thermisch beanspruchten Bitumen:</b> |                                      |         |                   |                  |                     |                    |
|   | Änderung des Erweichungspunktes*     | K       | -2,0              | +8               |                     |                    |
|   | Verbleibende Nadelpenetration*       | %       | 60                | +10              |                     |                    |
|   | Duktilität bei 25 °C*                | cm      | 10                | -                |                     |                    |
|   | Elastische Rückstellung*             | %       | 50                | -                |                     |                    |

\* Keine Prüfdaten verfügbar

**Tabelle 5: Einhaltung der Spezifikationen der Bitumensorte PmB 45**

| Nr.   | Parameter                            | Einheit | Unterer Grenzwert | Oberer Grenzwert | Unterschreitung [%] | Überschreitung [%] |
|---|--------------------------------------|---------|-------------------|------------------|---------------------|--------------------|
| <b>Kompositionelle Parameter:</b>                   |                                      |         |                   |                  |                     |                    |
|   | Flammpunkt                           | °C      | 235               | -                | 0                   | -                  |
|   | Homogenität                          | K       | -                 | 2                | -                   | <b>4,3</b>         |
|   | Massenänderung                       | M.-%    | -                 | 0,5              | -                   | 0,5                |
| <b>Physikalische Parameter:</b>                     |                                      |         |                   |                  |                     |                    |
| <b>gemessen am frischen Bitumen:</b>                |                                      |         |                   |                  |                     |                    |
|   | Nadelpenetration                     | 0,1 mm  | 20                | 60               | 0,5                 | 0,2                |
|   | Erweichungspunkt Ring und Kugel      | °C      | 55                | 63               | 1,2                 | <b>5,1</b>         |
|   | Brechpunkt nach Fraaß                | °C      | -                 | -10              | -                   | 8                  |
|   | Duktilität bei 25 °C                 | cm      | 40                | -                | 0                   | -                  |
|   | Dichte                               | g/ml    | 1,000             | 1,100            | 0                   | -                  |
|   | Elastische Rückstellung              | %       | 50                | -                | 0                   | -                  |
| <b>Erfahrungssammlung nach TL PmB 2001:</b>         |                                      |         |                   |                  |                     |                    |
|   | Steifigkeit bei -16 °C (TL PmB 2001) | MPa     | -                 | 300              | -                   | 3,1                |
|   | Komplexer Schubmodul bei 60 °C       | Pa      | 7000              | -                | <b>71,6</b>         | -                  |
|   | Phasenwinkel bei 60 °C               | Grad    | -                 | 75               |                     | 4,4                |
|   | Formänderungsarbeit bei 25°C         | J       | 1                 | -                | <b>95,7</b>         | -                  |
| <b>gemessen am thermisch beanspruchten Bitumen:</b> |                                      |         |                   |                  |                     |                    |
|   | Änderung des Erweichungspunktes      | K       | -2,0              | +8               | 0                   | <b>2,1</b>         |
|   | Verbleibende Nadelpenetration        | %       | 60                | +10              | 0,4                 | 0                  |
|   | Duktilität bei 25 °C                 | cm      | 20                | -                | 1,1                 | -                  |
|   | Elastische Rückstellung              | %       | 50                | -                | 0,4                 | -                  |

## 7.1 Kompositionelle Parameter

Unter kompositionellen Parametern werden diejenigen Prüfmethode verstanden, mit denen chemische Bestandteile des Bitumens bestimmt werden bzw. durch die Prüfdaten geliefert werden, die einen engen Bezug zur chemischen Zusammensetzung des Bitumens und dessen chemischer Veränderung (Oxidation) haben.

Zu dieser Gruppe von Parametern zählen der Paraffingehalt, die Massenänderung nach thermischer Beanspruchung, die Homogenität und der Flammpunkt. Der Aschegehalt und die in Trichlorethen und Cyclohexan unlöslichen Bestandteile sind in der Anforderungsnorm für Straßenbaubitumen EN 12591 nicht mehr enthalten.

Für die kompositionellen Parameter gilt, dass entweder die jeweiligen Grenzwerte eingehalten wurden oder wie im Fall des PmB 45, die Grenzwerte für die Homogenität und Massenänderung nur geringfügig überschritten wurden.

Für den sicherheitstechnisch bedeutsamen Flammpunkt liegen nur für PmB 45 einige Prüfdaten vor. Die marktüblichen, polymermodifizierten Bitumen scheinen nach den Ergebnissen der Homogenitätstests zu urteilen relativ stabil gegen Entmischung zu sein.

## 7.2 Physikalische Parameter

### 7.2.1 Prüfung des frischen Bitumens

Zu den physikalischen Prüfungen, die am frischen Bindemittel durchgeführt werden, gehören die Nadelpenetration, der Erweichungspunkt Ring und Kugel, der Brechpunkt nach Fraaß. Für polymermodifizierte Bitumen kommen die Dichte und die elastische Rückstellung hinzu.

Die Spezifikationen für die Nadelpenetration werden von allen ausgewerteten Bitumensorten eingehalten. Lediglich für die Sorte 30/45 überschreiten vier Prozent der Prüfwerte den Anforderungswert von  $45 \frac{1}{10}$  mm.

Während die Spezifikationen für den Erweichungspunkt in der vorherigen Auswertungsperiode eingehalten wurden, weichen nun 5 bis 8 Prozent der Prüfdaten von den Anforderungswerten ab. Es ist zu vermuten, dass sich die meisten Bitumenproduzenten an die freiwillige Selbstbeschränkung hinsichtlich des Erweichungspunktes halten. Jedoch wird besonders im Fall der für den Asphaltstraßenbau sehr wichtigen Bitumensorte 50/70, bei der acht Prozent den Spezifikationswert unterschreiten, deutlich, dass dies nicht konsequent geschieht.

Die Histogramme für die Brechpunktbestimmung nach Fraaß weisen eine symmetrischere Verteilung auf, als im vorherigen Auswertungszeitraum. Diese Feststellung trifft insbesondere für die Bitumensorte 50/70 zu. Eine mögliche Erklärung für diese Verbesserung ist, dass messtechnische Probleme behoben wurden. Dennoch ist die Temperaturspanne mit 12 Kelvin immer noch relativ weit.

Die flache und asymmetrische Verteilung der Messdaten des PmB 45 lässt dagegen einen produktspezifischen Einfluss als Ursache erkennen.

Anforderungswerte hinsichtlich der Duktilität bestehen nur noch für polymermodifizierte Bitumen.



Ein Histogramm konnte nur für das PmB 45 erstellt werden. Der Anforderungswert wird eingehalten. Die scheinbare Häufung der maximalen Dehnungslänge bei 100 Zentimetern deutet darauf hin, dass die Prüftemperatur von 25 °C für eine optimale messtechnische Erfassung dieser PmB-Sorte ungünstig gewählt ist. Ähnliches gilt für die Kraftduktilitätsprüfung, die bezüglich der Prüfbedingungen weitgehend einer Duktilitätsprüfung entspricht.

Die Anforderungswerte für die elastische Rückstellung von polymermodifizierten Bitumen werden eingehalten. Ebenfalls problemlos sind die Resultate für die Dichte von PmB 45.

### **7.2.2 Prüfung des thermisch gealterten Bitumens**

Nach thermischer Beanspruchung von Bitumen werden folgende Prüfgrößen bestimmt: Erweichungspunkt Ring und Kugel, Nadelpenetration und zusätzlich die Duktilität und die elastische Rückstellung bei polymermodifizierten Bitumen.

Hinsichtlich der Änderung des Erweichungspunktes nach thermischer Beanspruchung ist festzustellen, dass die Anforderungswerte für Bitumen 30/45 erheblich überschritten werden (40 Prozent). Bei den anderen Bitumensorten sind keine oder nur geringfügige Abweichungen festzustellen. In der Regel führt die thermische Beanspruchung nur zu einem moderaten Anstieg des Erweichungspunktes. Im Gegensatz hierzu nimmt nach der thermischen Beanspruchung der Wert für die Nadelpenetration aufgrund der oxidativen Veränderungen des Bindemittels ab. Die geforderte, verbleibende Nadelpenetration nach thermischer Beanspruchung wird von allen statistisch auswertbaren Bitumensorten erfüllt.

Bezüglich der Duktilitätsprüfung nach thermischer Beanspruchung ist festzustellen, dass der Anforderungswert für die Sorte PmB 45 weitgehend eingehalten ist.

Nur für PmB 45 liegen Messwerte für die elastische Rückstellung in statistisch ausreichender Anzahl vor. Fast alle untersuchten Proben halten den Mindestwert von 50 Prozent ein.

## **7.3 Sonstige Prüfungen**

Im Rahmen der TL PmB wurden drei Prüfverfahren zur Erfahrungssammlung eingeführt. Als Hilfestellung zur Beurteilung der Prüfergebnisse wurden Orientierungswerte vereinbart.

### **7.3.1 Biegebalken-Rheometrie (BBR)**

Mit Hilfe des Biegebalken-Rheometers wird die Steifigkeit von Bitumenprüfkörpern bei einer Temperatur von -16 °C gemessen. Die Orientierungswerte wurden von allen untersuchten PmB eingehalten. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass für PmB 25 eine statistische Aussage aufgrund der geringen Probenzahl mit einer großen Unsicherheit behaftet ist.

### **7.3.2 Dynamische Scher-Rheometrie (DSR)**

Das dynamische Scher-Rheometer ermöglicht die Messung des komplexen Schubmoduls und des Phasenwinkels Delta. Während die Orientierungswerte für den Phasenwinkel eingehalten werden können, liegen beim komplexen Schubmodul für PmB 25 etwa 40 Prozent und für PmB 45 sogar mehr als 70 Prozent über dem veranschlagten Orientierungswert.

Der komplexe Schubmodul hängt von den Eigenschaften des Grundbitumens und den Polymereigenschaften ab (Gehalt, Verteilung, Typ usw.). Ein hoher Wert für den komplexen Schubmodul und ungünstige Tieftemperatureigenschaften deuten auf die Verwendung eines harten Basisbitumens hin. Günstige Tieftemperatureigenschaften und hohe Werte des komplexen Schubmoduls sind meist auf den Einfluss des Polymeren zurückzuführen.

Ein hoher komplexer Schubmodul ist dann als vorteilhaft anzusehen, wenn dieser vorzugsweise durch die Wirkung des Polymeren verursacht ist. Für den komplexen Schubmodul wäre ein Anforderungswert für PmB 45 in einem Bereich von 5000 bis 6000 Pascal nach dem aktuellen Stand der Technik durchaus denkbar. Für PmB 25 lässt sich aufgrund der geringen Datenmenge ein solcher Bereich nicht eingrenzen.

### **7.3.3 Kraftduktilität (KD)**

Weniger als fünf Prozent der geprüften Proben der Sorte PmB 45 erreichen den angestrebten Orientierungswert von 1 Joule. Eine Ursache ist die zu optimistische Einschätzung bezüglich der Höhe der Formänderungsenergie von PmB 45. Ein weiterer Grund ist die gewählte Prüftemperatur von 25 °C. Diese Temperatur ist zu hoch um die Eigenschaften eines PmB 45 optimal ansprechen zu können. Eine Prüftemperatur von etwa 15 °C erlaubt eine differenzierte Messung der verschiedenen PmB-Produkte, da die auftretenden Kräfte in einem günstigeren Messbereich liegen und die Dehnungslängen der Produkte die maximal mögliche Weglänge des Kraftduktimeters überschreiten. Die Kraftduktilitätsprüfung ist zwischenzeitlich im „Rahmenwerk für polymermodifizierte Bitumen“ EN 14023 verankert. Kraftduktimetrische Kurven ermöglichen allerdings noch Interpretationsmöglichkeiten, die über die Formänderungsarbeit hinausgehen [7].

## **7.4 Schlussfolgerungen**

Die im Straßenbau verwendeten Bitumen erfüllen weitgehend die Anforderungen. Eine Ausnahme bildet das Bitumen 30/45, bei dem eine beträchtliche Überschreitung der Zunahme des Erweichungspunktes nach thermischer Beanspruchung festgestellt wurde. Messtechnische Einflüsse können weitgehend ausgeschlossen werden, so dass die Ursache hierfür in produktionstechnisch bedingten Einflüssen zu suchen ist. Die auf freiwilliger Basis eingeschränkten Spezifikationsspannen für die Erweichungspunkte der Straßenbaubitumen werden überwiegend eingehalten. Dennoch liegen bis zu 8 Prozent der ermittelten Werte außerhalb der freiwilligen Spannen, obwohl die Spezifikationen gemäß EN 12591 eingehalten werden.

Hinsichtlich der zur Erfahrungssammlung dienenden Prüfverfahren können die Orientierungswerte teilweise nicht erfüllt werden. Die Gründe dafür sind verschieden und erfordern deshalb unterschiedliche Anpassungen. Sowohl die Anforderungswerte als auch die Prüfbedingungen müssen angepasst werden, um eine möglichst differenzierte und qualitätsorientierte Ansprache der Bitumenprodukte zu ermöglichen.

Bezüglich der Datenerfassung wäre eine bessere Dokumentation zur eindeutigen Identifizierung der Bitumenproben nach Raffinerie und Mischanlage wünschenswert.

## 8 Literatur

- [1] K. Müller; Statistische Analyse der Bitumenqualität in der Bundesrepublik Deutschland aufgrund von Erhebungen im Jahre 1982, Teil 1, Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, 1983.
- [2] K. Müller; Statistische Analyse der Bitumenqualität in der Bundesrepublik Deutschland aufgrund von Erhebungen im Jahre 1983, Teil 2, Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, 1984.
- [3] R. Bull-Wasser; Statistische Analyse der Bitumenqualität in der Bundesrepublik Deutschland aufgrund von Erhebungen für die Jahre 1984 bis 1985, Teil 3, Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, 1998.
- [4] U. Halfmann; Qualitätskriterien von Straßenbaubitumen- Zusammenfassende Bewertung – Unter Zugrundelegung der Teilberichte 1 bis 3 „Statistische Analyse der Bitumenqualität in der Bundesrepublik Deutschland aufgrund von Erhebungen in den Jahren 1982 bis 1985, Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, 1994.
- [5] O. Ripke; Statistische Analyse der Bitumenqualität in der Bundesrepublik Deutschland aufgrund von Erhebungen für die Jahre 1986 bis 1996, Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, 1998.
- [6] V. Hirsch; Statistische Analyse der Bitumenqualität in der Bundesrepublik Deutschland aufgrund von Erhebungen für die Jahre 1996 bis 2000, Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, 2004.
- [7] V. Hirsch; Chemisch-Physikalische Charakterisierung von Normbitumen und PmB, Teil 2, Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, 2005.

## **Anlage 1: Kurzbeschreibung der Prüfverfahren**

### **1. Nadelpenetration (DIN EN 1426)**

Die Nadelpenetration ist ein Maß für die Härte des Bitumens. Sie wird bestimmt durch den Weg, den eine mit 100 Gramm belastete Nadel bei 25 °C in fünf Sekunden in das zu prüfende Bitumen eindringt. Der Messwert (angegeben in 0,1 Millimeter) ist die Grundlage für die Bezeichnung der im Straßenbau verwendeten Bitumensorten.

### **2. Erweichungspunkt Ring und Kugel (DIN EN 1427)**

Da der Übergang vom festen in den flüssigen Zustand bei Bitumen gleitend ist, lässt sich kein Schmelzpunkt, sondern nur ein definierter Erweichungspunkt bestimmen. Nach DIN 52011 wird eine in einen Messring eingefüllte Bitumenschicht unter dem Gewicht einer aufgelegten Stahlkugel langsam erwärmt. Die Bitumenschicht erfährt dabei eine Verformung. Der Erweichungspunkt Ring und Kugel ist die Temperatur, bei der die Verformung eine festgelegte Größe erreicht. Je härter (höherviskos) das Bitumen ist, desto höher liegt sein Erweichungspunkt.

### **3. Brechpunkt nach Fraaß (DIN EN 12 593)**

Das Verhalten von Bitumen in der Kälte lässt sich nach dem Brechpunkt beurteilen, der den Übergang vom viskoelastischen in den starren Zustand kennzeichnet. Eine auf ein Blechplättchen aufgetragene Bitumenschicht wird dabei um ein °C je Minute abgekühlt und nach jeweils einer Minute definiert durchgebogen. Der Brechpunkt nach Fraaß ist die Temperatur (in °C), bei der unter festgelegten Versuchsbedingungen die Bitumenschicht beim Biegen bricht oder Risse bekommt. Die Temperaturdifferenz zwischen Brechpunkt und Erweichungspunkt wird als Plastizitätsspanne eines Bitumens bezeichnet.

### **4. Bestimmung in der Duktilität (DIN 52 013)**

Ein Probekörper wird unter festgelegten Bedingungen unter konstanter Ziehgeschwindigkeit ausgezogen, bis der entstehende Faden reißt. Die erreichte Verlängerung des Probekörpers wird in cm gemessen und als Duktilität angegeben.

### **5. Bestimmung des Paraffingehaltes (DIN EN 12 606-1, Destillationsverfahren)**

Das im Bitumen enthaltene Paraffin wird in dem bei einem festgelegten Destillationsverfahren erhaltenen Destillat bestimmt.

## **6. Bestimmung des Paraffingehaltes (DIN EN 12 606-2, Extraktionsverfahren)**

In Bitumen enthaltenes Paraffin wird bestimmt nach vorhergehender Ausfällung der Asphaltene mit Petrolether und Extraktion der meisten aromatischen Bestandteile mit Oleum. Die von Asphaltene befreite Probe wird in einem solchen Volumen einer Waschlösung aus Ethanol und Ether gelöst, dass alle öligen Bestandteile in Lösung bleiben, wenn zur Kristallisation des Paraffins gekühlt wird. Die Lösung wird auf - 20 °C abgekühlt, das Paraffin wird abfiltriert und auf einem ebenfalls auf - 20 °C gekühlten Filtertiegel gesammelt. Die Paraffinkristalle werden in warmem Toluol wieder gelöst. Das Toluol wird verdampft und der Paraffinrückstand gewogen.

## **7. Bestimmung der Dichte der Bindemittel (EN ISO 3838))**

Die Dichte der Bindemittel wird bei einer Temperatur von 25 °C mit einem Pyknometer bestimmt.

## **8. Bestimmung des Flamm- und Brennpunktes im offenen Tiegel nach Cleveland (DIN ISO 2592)**

Der Prüftiegel wird bis zur Strichmarke mit der zu prüfenden Flüssigkeit gefüllt. Die Temperatur der Probe wird zunächst schnell, dann langsam mit konstanter Geschwindigkeit gesteigert, bis der Flammpunkt erreicht ist. In festgelegten Temperaturabständen wird eine kleine Zündflamme über den Tiegel geführt. Die niedrigste Temperatur, bei der die Zündflamme die über der Flüssigkeit stehenden Dämpfe entzündet, wird als Flammpunkt bezeichnet. Zum Bestimmen des Brennpunktes wird die Prüfung anschließend solange fortgesetzt, bis das Öl durch die Zündflamme entzündet wird und mindestens fünf Sekunden lang brennt.

## **9. Bestimmung der elastischen Rückstellung von modifizierten Bitumen (DIN V 52021-1 bzw. DIN EN 13398)**

Ein Probekörper wird bei einer Temperatur von 25 °C mit einer konstanten Geschwindigkeit von 50 Millimetern pro Minute auf eine vorherbestimmte Länge (200 Millimeter) ausgezogen. Der so erzeugte Faden wird in der Mitte zerschnitten und liefert dadurch zwei Hälften des Fadens. Die durch das Ausziehen erzeugte Spannung zeigt sich im Zurückziehen der beiden Halbfäden. Nach Ablauf einer vorbestimmten Zeit für das Zurückziehen wird die Verkürzung der Halbfäden gemessen und als prozentualer Wert in bezug auf die Auszugslänge angegeben.

## **10. Bestimmung der Lagerbeständigkeit von modifiziertem Bitumen (TL PmB 2001 bzw. DIN EN 13339)**

Der Untersuchungsgang wird nach dem sog. Tubentest durchgeführt. Etwa 75 g PmB werden blasenfrei in eine unlackierte Aluminiumtube von 3 cm Durchmesser und 16 cm Zylinderhöhe bis zu 2/3 ihrer Höhe eingegossen. Ehe das Prüfgut erkaltet ist, wird das offene Tubenende so zusammengedrückt und mehrfach dicht verfalzt, daß keine Luft eingeschlossen wird. Die so verschlossene Tube wird senkrecht stehend 3 Tage bei 18 °C gelagert.

Nach dem Abkühlen auf Raumtemperatur (18 – 28 °C) wird die Tube mit geeigneten Verfahren so weit abgekühlt, bis die Probe aus dem Aluminiummantel geschält werden kann.

Der Probekörper wird nach der Höhe gedrittelt. An den unteren und oberen Probeteilen werden die Erweichungspunkte Ring und Kugel nach DIN EN 1427 bestimmt. Abweichend von DIN EN 12594 wird die Erweichungspunktbestimmung die verfügbare Probemenge von jeweils 25 g für ausreichend angesehen.

#### **11. Bestimmung der Beständigkeit gegen Verhärtung unter Einfluss von Wärme und Luft**

##### **(DIN EN 12607-1: RTFOT-Verfahren)**

Ein rollierender Film eines bitumenhaltigen Bindemittels wird in einem Ofen eine festgelegte Zeit unter konstantem Luftstrom auf eine festgelegte Temperatur erhitzt. Die Auswirkungen von Hitze und Luft werden anhand der Massenänderungen (ausgedrückt in Prozent) und der Veränderungen der Bindemittleigenschaften wie Penetration, Erweichungspunkt oder Viskosität bestimmt, die vor und nach der Erhitzung im Ofen gemessen werden.

#### **12. Bestimmung der Beständigkeit gegen Verhärtung unter Einfluss von Wärme und Luft**

##### **(DIN EN 12607-3: RFT-Verfahren)**

Eine sich bewegendende dünne Schicht des bitumenhaltigen Bindemittels wird eine vorgegebene Zeit bei festgelegter Temperatur in den rotierenden Kolben eines Rotationsverdampfers erhitzt. Die Rotation bewirkt, dass die Substanz in der Probenoberfläche ständig ausgetauscht und eine Hautbildung verhindert wird. Die Wirkungen von Wärme und Luft werden als Massenänderungen (ausgedrückt in Prozent) bestimmt oder als einer Änderung der Eigenschaften des bitumenhaltigen Bindemittels als wie Penetration (siehe DIN 1426), Erweichungspunkt Ring und Kugel oder dynamische Viskosität vor und nach der Verhärtung angegeben.

#### **13. Bestimmung der Streckeigenschaften von modifizierten Bitumen mit dem Kraft-**

##### **Duktilitäts-Verfahren (TL PmB 2001)**

Ein gegossener Probekörper wird in einer speziellen Einrichtung bei einer festgelegten Temperatur unter konstanter Geschwindigkeit bis zum Bruch oder bis maximal möglichen Dehnung gezogen. Die Formänderungsarbeit bis zur Mindestduktilität wird angegeben.

#### **14. Bestimmung der viskoelastischen Eigenschaften von modifizierten Bitumen mit dem Dynamischen Scherviskosimeter (TL PmB 2001 bzw. EN 13589:2003 und DIN EN 13703)**

Die Prüfung erfolgt mit Hilfe eines Rheometers für dynamische Scherbeanspruchung in einer Prüfvorrichtung mit parallelen Platten. Die Messungen werden im verformungskontrollierten Modus, bei einer Frequenz von 1,59 Hz und einer Temperatur des Probenmaterials von 60 °C durchgeführt. Das Verfahren ermöglicht die Messung des komplexen Schubmoduls ( $G^*$ ) und des Phasenverschiebungswinkels ( $\delta$ ) von Bitumen.

### **15. Bestimmung der Tieftemperatureigenschaften von modifizierten Bitumen mit dem Biegebalkenrheometer (TL PmB 2001)**

Das Biegebalken-Rheometer misst die Durchbiegung in der Mitte eines prismatischen Balkens, der durch eine konstant angewandte Last auf seinen mittleren Punkt beansprucht wird. Ein Versuchsbalken wird in das unter Wärmekontrolle stehende Flüssigkeitsbad eingeführt und mit einer konstanten Last 240 Sekunden lang belastet. Die Versuchslast ( $980 \pm 50$  mN) und die Durchbiegung des Balkens in der Mitte werden durch ein rechnergestütztes Datenerfassungssystem überwacht.

Als Versuchstemperatur ist in den Technischen Lieferbedingungen für gebrauchsfertige polymermodifizierte Bitumen eine Temperatur von  $-16$  °C festgelegt. Die Steifigkeit wird über die Biegung nach 60 Sekunden berechnet und mit dem m-Wert zusammen als Ergebnis angegeben.

## Anlage 2: Statistische Verfahren

### a) Mittelwert

Berechnung des Mittelwertes nach:

$$\bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

### b) Standardabweichung

Die Standardabweichung ist ein Maß dafür, wie weit die jeweiligen Werte um den Mittelwert (Durchschnitt) streuen. Die Berechnung der Standardabweichung geht davon aus, daß die Daten eine Stichprobe, gezogen aus einer Grundgesamtheit, darstellen. Für die Berechnung der Standardabweichung wurde die Methode "Erwartungstreue Schätzung" oder "n-1" verwendet.

Die Standardabweichung wurde nach folgender Formel berechnet:

$$s = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}}$$

### c) Varianz

Die Berechnung der Varianz setzt voraus, dass die Daten eine Stichprobe, gezogen aus einer Grundgesamtheit, darstellen. Die Varianz wird nach folgender Formel berechnet:

$$v = \frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}$$

### d) Kurtosis

Die Kurtosis (Exzess) ist ein Maß für die Wölbung (d.h. wie spitz oder flach) einer Verteilung im Vergleich zu der Normalverteilung. Eine positive Kurtosis weist auf eine relativ schmale, spitze Verteilung hin. Eine negative Kurtosis weist auf eine relativ flache Verteilung hin.

Die Berechnung erfolgt nach der folgenden Gleichung:

$$\varepsilon = \left[ \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^4 \right] - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$$



### e) Schiefe

Die Schiefe ist ein Maß dafür, wie asymmetrisch eine eingipflige Häufigkeitsverteilung um ihren Mittelwert ist. Eine positive Schiefe zeigt eine Verteilung an, deren Gipfel sich mehr zu Werten größer dem Mittelwert hin erstreckt. Eine negative Schiefe zeigt eine Verteilung an, deren Gipfel sich mehr zu Werten kleiner dem Mittelwert hin erstreckt.

Die Gleichung zur Berechnung einer Schiefe ist definiert als:

$$\eta = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3$$

### f) Konfidenz

Die Konfidenz ermöglicht die Berechnung des Vertrauensbereiches (Konfidenzintervall) für den Erwartungswert einer Zufallsvariablen. Ein Konfidenzintervall ist ein Bereich, der sich links und rechts des jeweiligen Stichprobenmittels erstreckt. Das Konfidenzintervall ist gleich  $100 \cdot (1 - \alpha)\%$ , was bedeutet, daß ein Wert für  $\alpha$  von 0,05 einem Konfidenzniveau von 95% entspricht.

Ist  $\alpha$  gleich 0,05, dann muß die Fläche unter der Kurve der standardisierten Normalverteilung berechnet werden, die dem Wert  $(1 - \alpha)$  bzw. 95% entspricht. Dieser Wert ist  $\pm 1,96$ .

Für das Konfidenzintervall gilt daher:

$$\tau = \bar{x} \pm 1,96 \left( \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

## Anlage 3

### 1. Nutzung der ACCESS-Datenbank



Die vorliegende Datenbank „Erfassung und Analyse von Bitumenkontrollprüfungen“ wurde entwickelt, um eine Vereinfachung der Datenerfassung, Datenübermittlung und Auswertung zu erzielen. Die Datenbank kann auf Anfrage in einer anonymisierten Version zur Verfügung gestellt werden. Die mit der Durchführung von Bitumenkontrollprüfungen beauftragten Laboratorien haben die Möglichkeit, eigene Prüfdaten eingeben und die Daten an die Bundesanstalt für Straßenwesen schicken. Dieses Vorgehen setzt das Einverständnis der beauftragenden Straßenbauverwaltung voraus. Da die Daten in der Datenbank in einer hochstrukturierten Form vorliegen, ist der einfache Export in andere Anwenderprogramme, wie z.B. Excel und Word jederzeit möglich. Die Bedienung der vorliegenden Datenbank setzt keine ACCESS-Kenntnisse voraus. Grundkenntnisse sind nur für die Nutzung weitergehender Funktionen notwendig. Die aktuelle Version wurde als offenes System gestaltet, die es dem Anwender gestatten, eigene Modifizierungen des Layouts und Erweiterungen der Funktionen vorzunehmen. Es ist allerdings sinnvoll, eine möglichst einheitliche Datenstruktur zu bewahren, um einen unproblematischen Datenaustausch sicherzustellen. Die Datenbank wurde zwar auf Fehler geprüft, jedoch können nicht alle Abfragevarianten getestet werden. Es ist aus diesem Grunde hilfreich, Korrekturen, Verbesserungsmöglichkeiten und Ergänzungen an die Bundesanstalt weiterzuleiten, damit diese bei einer zukünftigen Überarbeitung der Datenbank berücksichtigt werden können.

Ansprechpartner: Dr.-Ing. Volker Hirsch ([Hirsch@bast.de](mailto:Hirsch@bast.de))

## 2. Funktionen:

### – Dateneingabe

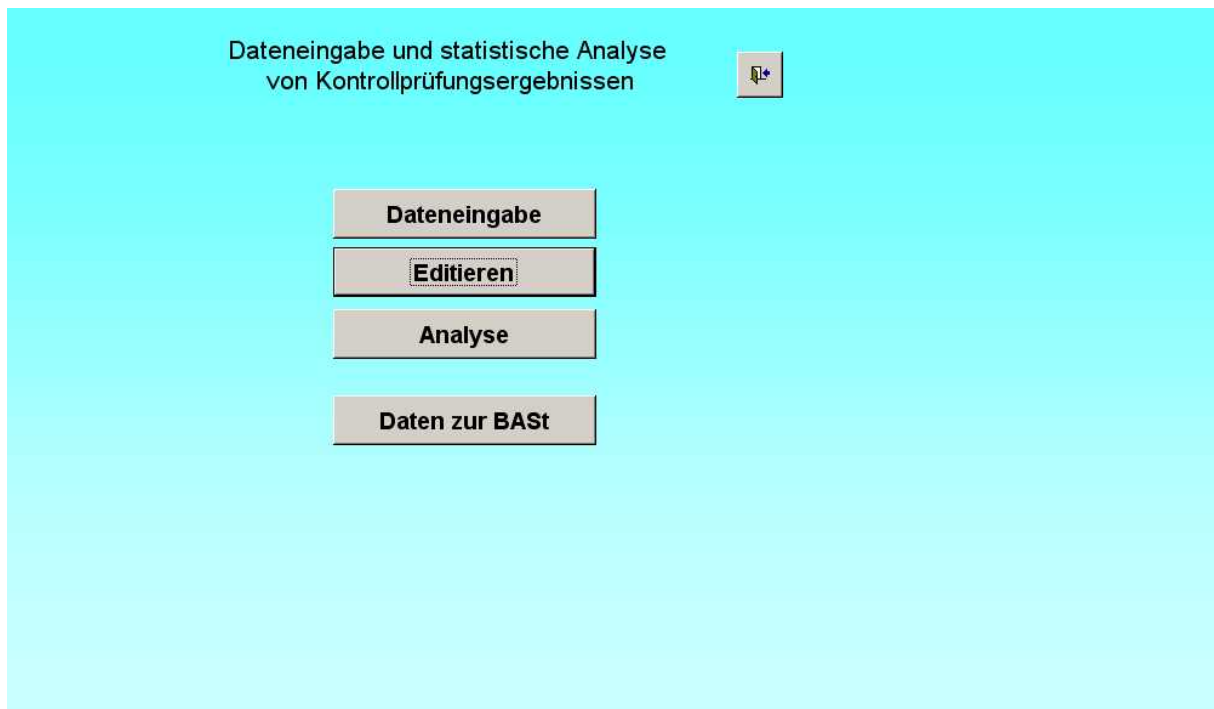
Eingabe der Messdaten, die im Rahmen der Bitumenkontrollprüfungen erhalten wurden.

### – Analyse

Datenanalyse des aktuellen Erhebungszeitraumes und der historischen Entwicklung der statistischen Kenngrößen

### – Daten zur BAST

Übermittlung der eingegebenen Messdaten per e-mail an die BAST (mögliche Nutzung durch Prüflaboratorien).



## a) Dateneingabe

### Probenangaben:

Auf dem Eingabeblatt 1 werden die allgemeinen kennzeichnenden Probedaten eingetragen. Durch Auswahlfelder wird die Eingabe von wiederkehrenden Daten (z.B. Bundesland, Bindemittelsorte usw.) vereinfacht.

### Messdaten:

Die Eingabe von Prüfdaten für Normbitumen und polymermodifizierte Bindemittel erfolgen in unterschiedlichen Datenblättern. (Bsp: Dateneingabe für PmB)

## b) Statistische Analyse

Das Menü „Statistische Analysen“ bietet drei verschiedene Abfragetypen:

- **Sonderabfragen:** Probenaufkommen, Raffinerien, Bindemittelsorte usw.
- **Kombinationsabfragen:** Erstellung von Histogrammen und die Berechnung der statistischen Parameter nach selbst vorgegebenen Kriterien. Die Histogramme können wahlweise am Bildschirm angezeigt oder ausgedruckt werden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit tabellarische Übersichten des gesamten Datenbestandes von Normbitumen und polymermodifizierten Bitumen anzuzeigen oder auszudrucken.
- **Historische Entwicklung:** Nach Eingabe des jeweiligen statistischen Parameters (Mittelwert, Standardabweichung usw.) und die Angabe der Abfragekriterien wird die zeitliche Entwicklung des Parameters in Form eines Balkendiagramms dargestellt.

**Statistische Analyse**

**Sonderabfragen: (1996 - 2000)**

- Entwicklung der Prüfungen
- Verteilung der Bindemittel
- Verteilung der Raffinerien
- Verteilung der Mischgutvarianten
- Verteilung der Laboratorien

**Kombinationsabfragen:**

**Bindemittel:** 50/70

**Parameter:** Nadelpenetration

**Bundesland:** Alle

**Raffinerie:** Alle

**Prüfstelle:** Alle

**Von:** 01.01.1996

**Bis:** 31.12.2000

Diagramm Exportieren

|                         |                        |
|-------------------------|------------------------|
| Diagramm anzeigen       | Diagramm drucken       |
| Bitumentabelle anzeigen | Bitumentabelle drucken |
| PmB-Tabelle anzeigen    | PmB-Tabelle drucken    |

**Historische Analyse:**

**Statistischer Parameter:** Mittelwert

Diagramm anzeigen

**Korrelationsanalyse:**

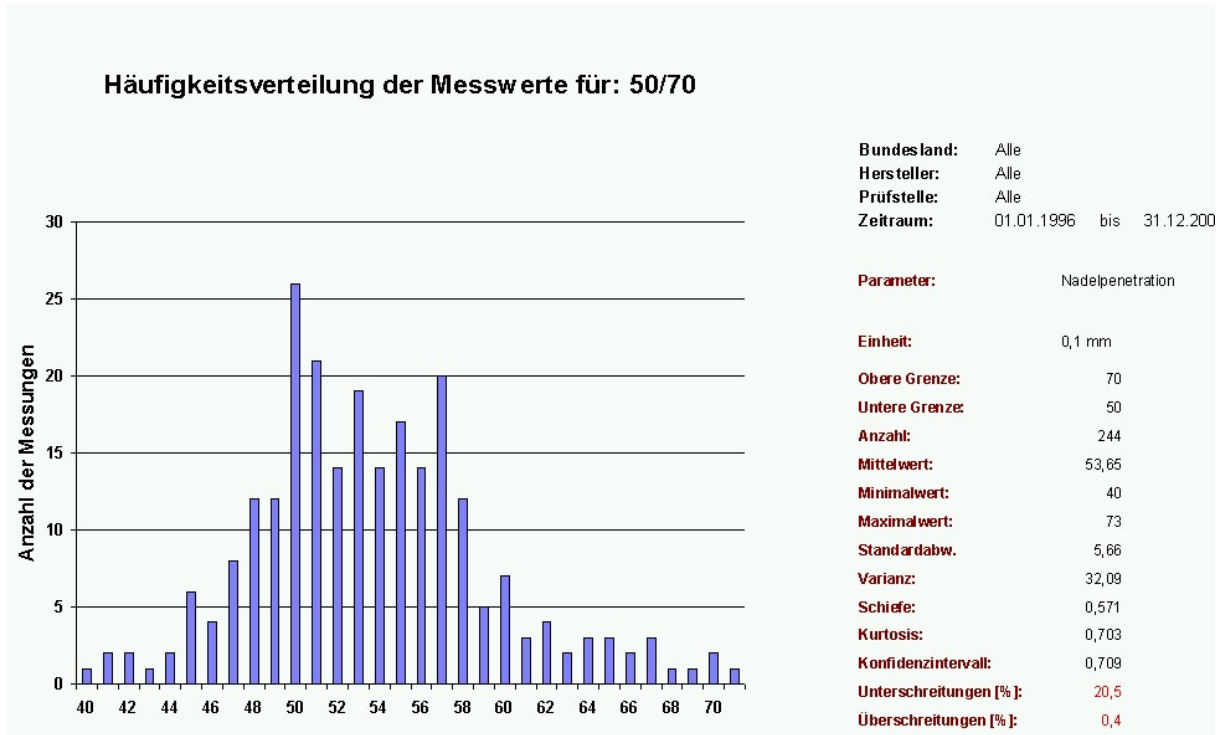
Parameter 1

Parameter 2

OK

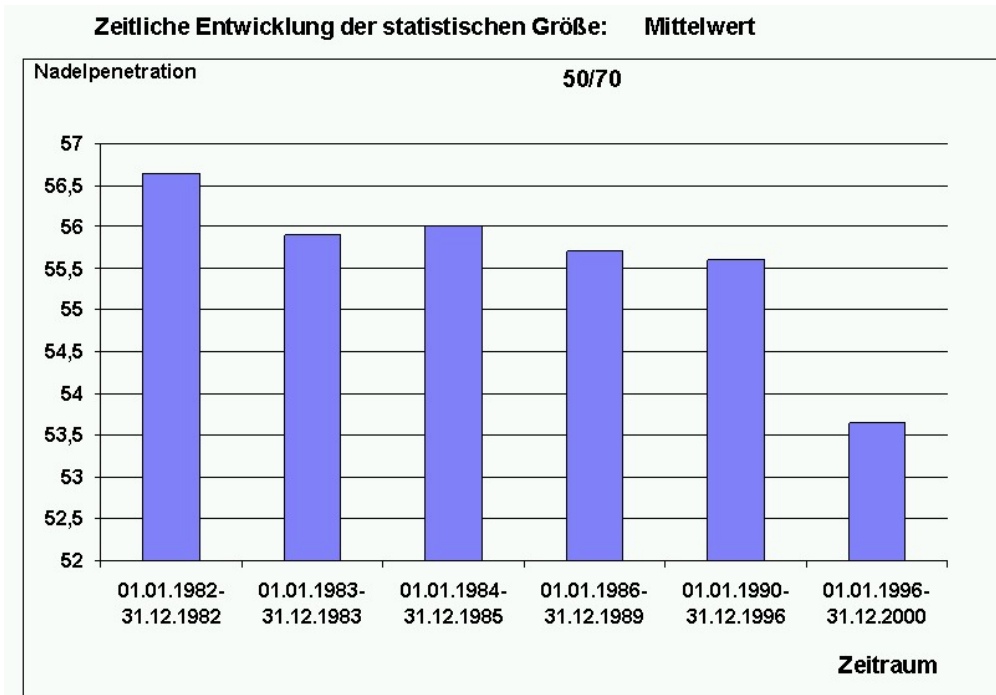
**Kombinationsabfrage:**

Das folgende Beispiel zeigt das Histogramm für die Nadelpenetration und die Bindemittelsorte 50/70.



**Historische Entwicklung:**

Das folgende Beispieldiagramm zeigt die zeitliche Entwicklung des Mittelwertes der Nadelpenetration für die Bindemittelsorte 50/70.



## Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt  
für Straßenwesen

## Unterreihe „Straßenbau“

**1993**

- S 1: Verwitterungsbeständigkeit von Recycling-Baustoffen  
Guth kostenlos
- S 2: Eignung von Grubenbergen als Baustoff für Tragschichten  
ohne Bindemittel  
Guth kostenlos
- S 3: Altlastenerfassung durch geophysikalische Methoden  
Faust kostenlos
- S 4: EPS-Hartschaum als Baustoff für Straßen  
Bull-Wasser kostenlos
- S 5: Baubegleitende Messungen B 73n  
Heinisch, Blume kostenlos
- S 6: Eignung überdeckter Fugen mit Querkraftübertragung  
Fleisch, Bartz kostenlos

**1994**

- S 7: 33. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau  
€ 14,00

**1995**

- S 8: Anleitung Qualitätsmanagementplan Asphalttragschichten  
Freund, Stöckner € 12,50
- S 9: Meßwert- und rechnergestütztes Management der Stra-  
ßenenerhaltung – Niederschrift und Referate des Erfahrungsaustau-  
ches am 16. und 17. Mai 1995 in Berlin € 13,00
- S 10: 34. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau  
€ 14,00

**1996**

- S 11: Der Einfluß der Textur auf Reifen/Fahrbahngeräusch und  
Rollwiderstand  
Ullrich, Glaeser, Sander € 15,00
- S 12: Offenporige Asphaltdeckschichten auf Außerortsstraßen –  
Projektgruppe „Lärmindernde Straßendecken“ € 10,00
- S 13: Qualität von mineralischen Straßenbaustoffen  
Tabbert € 16,50

**1997**

- S 14: 35. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau  
€ 16,50
- S 15: Anforderungen an Fugenfüllsysteme aus Temperaturdeh-  
nungen  
Eisenmann, Lechner € 12,50
- S 16: Sicherheitswirksamkeit ausgewählter Straßenbaumaßnah-  
men im Lande Brandenburg  
Schnüll, Handke, Seitz € 22,00

**1998**

- S 17: Restnutzungsdauer von Asphalttschichten  
Wolf € 13,00

- S 18: 2. Erfahrungsaustausch über rechnergestütztes Stra-  
ßen-  
erhaltungsmanagement € 14,50

- S 19: Einfluß der Bruchflächigkeit von Edelsplitten auf die Stand-  
festigkeit von Asphalten  
Teil 1: Literaturlauswertung  
Beckedahl, Nösler, Straube  
Teil 2: Einfluß des Rundkornanteils auf die Scherfestigkeit von  
Gesteinskörnungen  
H.G. Diel € 16,50

**1999**

- S 20: 36. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau  
€ 14,00
- S 21: Walzbeton: Ergebnisse aus neuester Forschung und lang-  
jähriger Praxis – Kompendium  
Birmann, Burger, Weingart, Westermann  
Teil 1: Einfluß der Zusammensetzung und der Verdichtung von  
Walzbeton auf die Gebrauchseigenschaften (1)  
Schmidt, Bohlmann, Vogel, Westermann  
Teil 2: Einfluß der Zusammensetzung und der Verdichtung von  
Walzbeton auf die Gebrauchseigenschaften (2)  
Weingart, Dreßler  
Teil 3: Messungen an einer Versuchsstrecke mit Walzbeton-Trag-  
schicht an der B54 bei Stein-Neukirch  
Eisenmann, Birmann  
Teil 4: Temperaturdehnung, Schichtenverbund, vertikaler Dichte-  
verlauf und Ebenheit von Walzbeton  
Burger € 17,00

**2000**

- S 22: 3. Bund-Länder-Erfahrungsaustausch zur systematischen  
Straßenenerhaltung – Nutzen der systematischen Straßenenerhaltung  
€ 19,50
- S 23: Prüfen von Gesteinskörnungen für das Bauwesen  
Ballmann, Collins, Delalande, Mishellany,  
v. d. Elshout, Sym € 10,50

**2001**

- S 24: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Unter-  
grund - Konsolidationsverfahren -  
Teil 1: Vergleichende Betrachtung von Konsolidationsverfahren beim  
Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund  
Teil 2: Erfahrungsberichte über ausgeführte Straßenbauprojekte auf  
wenig tragfähigem Untergrund unter Verwendung von Konsolida-  
tionsverfahren  
Koch € 17,50
- S 25: 37. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau  
€ 16,50

**2002**

- S 26: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Unter-  
grund - Aufgeständerte Gründungspolster  
Rogner, Stelter € 14,00
- S 27: Neue Methoden für die Mustergleichheitsprüfung von  
Markierungsstoffen – Neuentwicklung im Rahmen der Einführung  
der ZTV-M 02  
Killing, Hirsch, Boubaker, Krotmann € 11,50
- S 28: Rechtsfragen der Bundesauftragsverwaltung bei Bundes-  
fernstraßen – Referate eines Forschungsseminars der Universität  
des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am  
25./26. September 2000 in Saarbrücken € 13,00
- S 29: Nichtverkehrliche Straßennutzung – Referate eines For-  
schungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeits-  
ausschusses „Straßenrecht“ am 24./25. September 2001 in Saar-  
brücken € 13,50

## 2003

- S 30: 4. Bund-Länder-Erfahrungsaustausch zur systematischen Straßenerhaltung – Workshop Straßenerhaltung mit System –  
€ 19,50
- S 31: Arbeitsanleitung für den Einsatz des Georadars zur Gewinnung von Bestandsdaten des Fahrbahnaufbaues „Straßenrecht“ am 23./24. September 2002 in Saarbrücken  
Golkowski € 13,50
- S 32: Straßenbaufinanzierung und -verwaltung in neuen Formen – Referate eines Forschungsvorhabens der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 23. und 24. September 2003 in Saarbrücken € 13,50
- S 33: 38. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau  
€ 17,50
- S 34: Untersuchungen zum Einsatz von EPS-Hartschaumstoffen beim Bau von Straßendämmen  
Hillmann, Koch, Wolf € 14,00

## 2004

- S 35: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund – Bodenersatzverfahren  
Grundhoff, Kahl € 17,50
- S 36: Umsetzung und Vollzug von EG-Richtlinien im Straßenrecht – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 22. und 23. September 2003 in Saarbrücken € 13,50
- S 37: Verbundprojekt „Leiser Straßenverkehr – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche“  
Projektgruppe „Leiser Straßenverkehr“ € 16,50

## 2005

- S 38: Beschleunigung und Verzögerung im Straßenbau – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen am 27./28. September 2004 in Saarbrücken € 16,50
- S 39: Optimierung des Triaxialversuchs zur Bewertung des Verformungswiderstandes von Asphalt  
Renken, Büchler € 16,00
- S 40: 39. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau  
€ 17,50
- S 41: Chemische Veränderungen von Geotextilien unter Bodenkontakt – Untersuchungen von ausgegrabenen Proben  
Schröder € 13,50
- S 42: Veränderung von PmB nach Alterung mit dem RTFOT- und RFT-Verfahren – Veränderungen der Eigenschaften von polymer-modifizierten Bitumen nach Alterung mit dem RTFOT- und RFT-Verfahren und nach Rückgewinnung aus Asphalt  
Wörner, Metz € 17,50
- S 43: Eignung frostempfindlicher Böden für die Behandlung mit Kalk  
Krajewski, Kuhl € 14,00
- S 44: 30 Jahre Erfahrungen mit Straßen auf wenig tragfähigem Untergrund  
Bürger, Blossfeld, Blume, Hillmann € 21,50

## 2006

- S 45: Stoffmodelle zur Voraussage des Verformungswiderstandes und Ermüdungsverhaltens von Asphaltbefestigungen  
Leutner, Lorenzl, Schmoeckel € 21,00
- S 46: Analyse vorliegender messtechnischer Zustandsdaten und Erweiterung der Bewertungsparameter für Innerortsstraßen  
Steinauer, Ueckermann, Maerschalk € 21,00

- S 47: Rahmenbedingungen für DSR-Messungen an Bitumen  
Dieser Bericht liegt **nur** in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.  
Hase, Oelkers € 24,50

- S 48: Verdichtbarkeit von Asphaltmischgut unter Einsatz des Walzsektor-Verdichtungsgerätes  
Dieser Bericht liegt **nur** in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.  
Wörner, Bönisch, Schmalz, Bösel € 15,50

## 2007

- S 49: Zweischichtiger offenporiger Asphalt in Kompaktbauweise  
Ripke € 12,50
- S 50: Finanzierung des Fernstraßenbaus  
Grupp, Blümel in Vorbereitung
- S 51: Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bestimmung der Haftfestigkeit von Straßenmarkierungsfolien  
Dieser Bericht liegt **nur** in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.  
Killing, Hirsch € 14,50
- S 52: Statistische Analyse der Bitumenqualität aufgrund von Erhebungen in den Jahren 2000 bis 2005  
Dieser Bericht liegt **nur** in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.  
Hirsch € 16,00

---

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Postfach 10 11 10  
D-27511 Bremerhaven  
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0  
Telefax: (04 71) 9 45 44 77  
Email: [vertrieb@nw-verlag.de](mailto:vertrieb@nw-verlag.de)  
Internet: [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de)

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.