

Fachbereich 1
Studiengang Bauingenieurwesen

Baustoffe im Straßenbau

Umdruck zur Vorlesung



Prof. Dr.-Ing. Joachim Pös · Dipl.-Ing. Martin Beberweil
Sahar Moqim B. Eng.

Wichtige Hinweise:

Zitate und Abbildungen aus technischen Vorschriften, Lehrbüchern und Fachzeitschriften sowie anderen urheberrechtlich geschützten Schrift- und Bildmaterialien wurden in diesen vorlesungsbegleitenden Unterlagen **nur zu Studienzwecken** und mit Angabe der Quelle verwendet.

Weitere Vervielfältigungen und anderweitige Verwendungen sind ohne Genehmigung der zuständigen Stellen/Autoren unzulässig!

Bei bester Mühe sind Fehler trotzdem nicht auszuschließen, deswegen sind wir für Hinweise und Verbesserungsvorschläge sehr dankbar.

(© Bilder Titel: dpa; faz.net, Völkel Mikroelektronik GmbH, banksconstruction.com, stlab.co.za, eurobitume.eu/de)

Zusätzliche Hinweise zur Neuauflage des Skripts:

Mit dieser Ausgabe liegt Ihnen das Skript in vollständig überarbeiteter Version vor. Ich bitte Sie deswegen, alle älteren Unterlagen nicht mehr zu verwenden, da diese Lehrveranstaltung und die anstehende Prüfung direkt Bezug auf dieses neue Skript nehmen.

Wir hoffen, dass Sie mit den neuen Unterlagen gut arbeiten können.

Joachim Pös

Allgemeines zu „Baustoffe im Straßenbau“

Die Lehrveranstaltung

Eingliederung in das Studium

Die Lehrveranstaltung „Baustoffe im Straßenbau“ ist ein Teil des Moduls Baustoffkunde 2 und dem zweiten Fachsemester mit 2 Wochenstunden zugeordnet.

Die Lehrveranstaltung ist als eine gemeinsame Lehr- und Übungseinheit angelegt. Darüber hinaus wird ein großer Teil der Lehrinhalte anhand von Laborversuchen erläutert. Nur eine kontinuierliche Teilnahme über das Semester bietet die notwendige Grundlage, um die erforderlichen Prüfungsleistungen zu erbringen.

**!!!!
Wichtig**

Das Fach „Baustoffe im Straßenbau“ ist auch inhaltliche Grundlage der Lehrveranstaltungen „Straßen- und Gleisbautechnik (Verkehrswesen 2)“ sowie „Praktikum im Straßenbaulabor“. Die Lehrinhalte werden dort nicht nur vorausgesetzt, sondern **in den Abschlussprüfungen auch geprüft**.

Lehr- und Lernziel

Ziel der Lehrveranstaltung ist die Kenntnis der heute wesentlichen Baustoffe und die Beherrschung grundlegender Arbeitsschritte zur Beurteilung und zum fachgerechten Einsatz dieser Stoffe. Ihre Rolle als wesentlicher Faktor in der Verkehrswegebau-technik und ihr Einsatz in anderen Bauingenieursdisziplinen sollen ebenfalls behandelt werden.

Der Leistungsnachweis

Klausur Baustoffkunde

Die Vorlesung „Baustoffe im Straßenbau“ schließt mit der erfolgreichen Teilnahme an der Klausur Baustoffkunde 2 ab. Im Rahmen der insgesamt zweistündigen Prüfung ist dieser Teil als separate 30-minütige Prüfung zu absolvieren.

Aufbau der Gesamtprüfung Baustoffkunde 2

Klausurteil	Hilfsmittel* erlaubt	Bearbeitungszeit
1. Betontechnologie, Teil A	nein	30 Minuten
2. Betontechnologie, Teil B	ja	30 Minuten
3. Baustoffe in der Geotechnik	ja	30 Minuten
4. Baustoffe im Straßenbau	ja	30 Minuten

*Sind Hilfsmittel erlaubt, dürfen sämtliche schriftliche Aufzeichnungen, Fachliteratur und gerechnete Aufgaben sowie ein nicht programmierbarer Taschenrechner verwendet werden.

Gliederung

A. Einführung und Übersicht

- A1. Literatur, Vorschriften, Richtlinien, Merkblätter
- A2. Pechhaltige Bindemittel – nicht mehr im Einsatz

B. Bitumen

- B1. Herkunft und Herstellung
- B2. Eigenschaften und Varianten
- B3. Anforderungen
- B4. Prüfungen und Prüfverfahren für Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel
- B5. Rheologische Untersuchungen
- B6. Viskosität
- B7. Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit - AVCP

C. Asphalt

- C1. Eigenschaften und Varianten
- C2. Entwicklung der Asphalttechnologie
- C3. Asphalt Herstellung
- C4. Asphaltprüfung

A. Einführung und Übersicht

A1. Literatur, Vorschriften, Richtlinien, Merkblätter

A1.1 Fachbücher

1. Hutschenreuther, Wörner
Asphalt im Straßenbau
Verlag für Bauwesen, Berlin
2. Richter, Dietrich
Baufachkunde - Straßenbau und Tiefbau
B. G. Teubner Stuttgart
3. Mentlein, Lorenz
Straßenbau · Straßenbautechnik
Reguvis Fachmedien, Köln
4. Beecken, G. u.a.
Shellbitumen für den Straßenbau und andere Anwendungsgebiete
Deutsche Shell AG, Hamburg
5. M. Lorenz, J. Lorenz
Handbuch Straßenbau
Fraunhofer IRB

A1.2 Schriftenreihen und Nachschlagewerke

1. **Straßenbau von A – Z**
Erich Schmidt Verlag, Berlin
2. **Der Elsner**, Handbuch für Straßen- und Verkehrswesen (erscheint jährlich!)
Otto Elsner Verlagsgesellschaft, Darmstadt
3. **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**
Unterreihe Straßenbau
4. **Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik**
Schriftenreihe des Bundesministeriums für Verkehr
Typo-Druck + Verlagsgesellschaft, Bonn
5. **Forschung im Straßen- und Verkehrswesen**
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
6. **Schriftenreihen von Straßenbaufirmen und Verbänden**
Verschiedene Internetquellen

A1.3 Fachzeitschriften

1. **Straße und Autobahn**
Kirschbaum-Verlag, Bonn – Bad Godesberg
2. **Asphalt**
Deutscher Asphaltverband (DAV) e.V.

A1.4 Vorschriften, Richtlinien, Merkblätter

Das Wichtigste
aus den Vor-
schriften gibt's
im Skript!

A1.4.1 Bauleistungen, Bauvertrag

1. Verdingungsordnung für Bauleistungen (VOB):

Teil A, DIN 1960: Allgemeine Bestimmungen für die Vergabe von Bauleistungen

Teil B, DIN 1961: Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen

Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen:

DIN 18 299: Allgemeine Regelungen für Bauarbeiten jeder Art

DIN 18 317: Verkehrswegebauarbeiten: Oberbauschichten aus Asphalt

DIN 18 318: Verkehrswegebauarbeiten: Pflasterdecken, Plattenbelege, Einfassungen

A1.4.2 Bitumen und Asphalt

1. ZTV = Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für...

1.1 **ZTV Asphalt:** ...den Bau von Verkehrsflächen aus Asphalt

1.2 **ZTVT-StB:** ...Tragschichten im Straßenbau

1.3 **ZTV-LW:** ...die Befestigung ländlicher Wege

1.4 **ZTV BEA:** ...die bauliche Erhaltung von Verkehrsflächen

2. **EN 12043:** Gesteinskörnungen für Asphalt

3. **EN 13108-1:** Asphalttragschichten, Asphaltbinderschichten, Asphaltdeckschichten

4. **EN 13108-2:** Dünne Schichten im Heißeinbau

5. **EN 13108-5:** Splittmastixasphalt

6. **EN 13108-6:** Gussasphalt

7. **EN 13108-8:** Anforderungen an Ausbauasphalt

8. **EN 13108-10:** Gütesicherung von Asphaltmischgut

9. **DIN EN 933-1 Teil1:** Bestimmung der Korngrößenverteilung - Siebverfahren

10. **DIN EN 12591:** Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Anforderungen an Straßenbaubitumen

11. **DIN EN 12594:** Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Vorbereitung von Untersuchungsproben

12. **DIN EN 1425 - DIN EN 1431 · DIN EN 12592 - DIN EN 12596
DIN EN 12606 - DIN EN 12607:**

Prüfung von Bitumen und bitumenhaltige Bindemitteln

13. **DIN ISO 18287:** Bodenbeschaffenheit – Bestimmung der polyzyklischen Kohlenwasserstoffe (PAK) – Gaschromatisches Verfahren mit Nachweis durch Massenspektrometrie (GC –MS)

14. TL = Technische Lieferbedingungen für...

- 14.1 **TL Bitumen:** ...Straßenbaubitumen und gebrauchsfertigen polymermodifizierten Bitumen
- 14.2 **TL Asphalt:** ...Asphaltemischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen
- 14.3 **TL AG:** ...Asphaltgranulat
- 14.4 **TL-Sbit:** Technische Lieferbedingungen für Sonderbindemittel und Zubereitungen auf Bitumenbasis

15. Richtlinien für...

- RSTO:** ...die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen

16. Merkblätter (MB), Empfehlungen und Hinweise der Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen

- 16.1 Merkblatt für die **Wiederverwendung von Asphalt** (M WA)
- 16.2 Merkblatt für die **Verwertung von pechhaltigen Straßenausbaustoffen und von Asphaltgranulat** in bitumengebundenen Tragschichten durch Kalt-aufbereitung in Mischanlagen
- 16.3 Merkblatt für die **Verwertung von Asphaltgranulat und pechhaltigen Straßenausbaustoffen** in Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln
- 16.4 Merkblatt für die **Konzeption und die Erstprüfung von Asphaltemischgut** für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen
- 16.5 Merkblatt für das **Verdichten von Asphalt**
- 16.5 Merkblatt für **Asphaltdeckschichten aus Offenporigem Asphalt** (M OPA)
- 16.6 Merkblatt für den **Bau griffiger Asphaltdeckschichten** (M BgA)
- 16.7 Merkblatt für das **Rückformen von Asphalttschichten** (M RF)

17. Technische Prüfvorschriften für...

- TP Asphalt: ...Asphalt
- TP Gestein: ...für Gesteinskörnungen im Straßenbau

A2. Pechhaltige Bindemittel - nicht mehr im Einsatz

A2.1 Vorbemerkung

Dass pechhaltige Bindemittel noch in der Einführung zu diesem Skript behandelt werden, hat einen triftigen Grund. Sie gehörten zu den über Jahrzehnte angewandten Bindemitteln im Straßenbau, sind aber aufgrund gesundheits- und umweltschädlicher Bestandteile schon seit den 80er-Jahren des vergangenen Jahrhunderts **verboten**.

Dennoch sind pechhaltige Bindemittel auch heute noch ein großes Problem, da sie immer noch in alten Verkehrswegebefestigungen auftauchen und gerade bei Sanierungsarbeiten entsprechend behandelt oder entsorgt werden müssen.

A2.2 Entwicklungsgeschichte von Teer/Pech

Das Ausgangsprodukt von Teer bzw. Pech – die **Kohle**(ngesteine) – ist aus organischen Substanzen aufgebaut. Doch bei der Kohlebildung verwesen die abgestorbenen Organismen nicht, sie verrotten. Dieser Torf wird durch Diagenese (langfristige Gesteinsverfestigung durch chemische und physikalische Vorgänge) zu Braunkohle und durch anschließende weitere Umwandlungsprozesse zu Steinkohle und Anthrazit umgewandelt.

Bild A1: Entstehung von Kohle [Bildatlas der Erde]



Aus weichen, nicht holzigen Bäumen
tropischer Bäume entsteht Torf



Übereinander geschichteter,
gepresster Torf wird zu Kohle

Der für industrielle Anwendungen bestimmte Teer wurde in den meisten Fällen aus Steinkohle (in Osteuropa auch aus Braunkohle) als eine schwarze und zähe Flüssigkeit gewonnen. Sie lässt sich vor allem mit der Nase erkennen: der stechende Geruch ist ein deutliches Zeichen für das Vorliegen eines teer- oder auch pechhaltigen Stoffes.

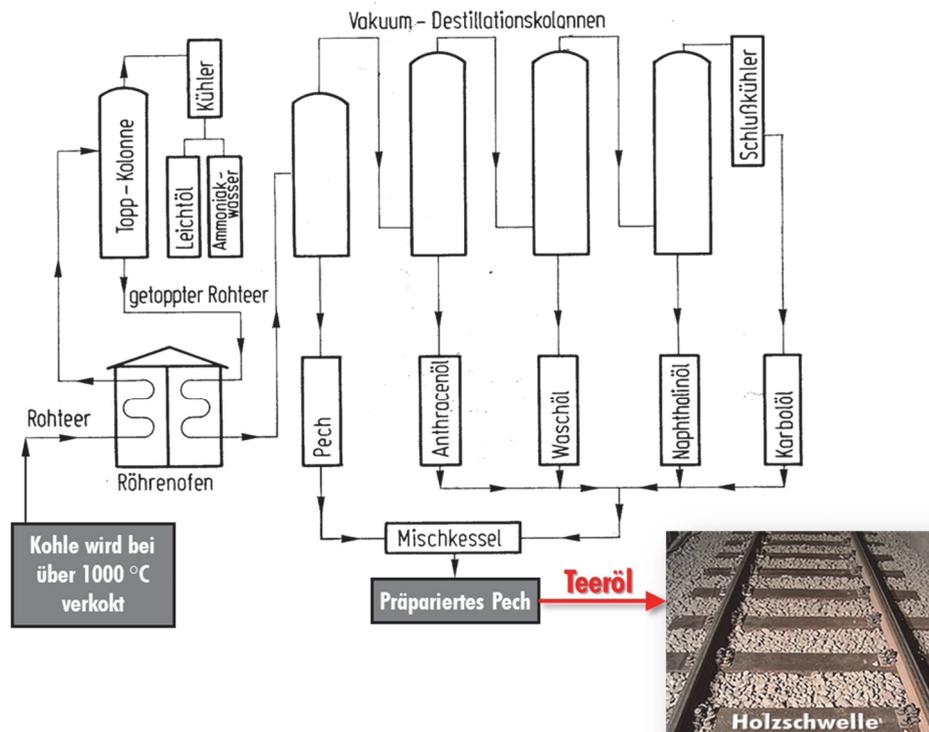
Teer und – im Besondern – Straßenteer hat heute im Gegensatz zu den 50er und 60er Jahren keine Bedeutung, da einige Inhaltsstoffe als gesundheitlich gefährlich eingestuft wurden. Anwendungen im Verkehrswegebau sind deswegen seit Mitte der 80er Jahre nicht mehr zulässig.

Allerdings spielt der Ausbau und die weitere Verwendung oder Entsorgung dieser älteren teer-/pechhaltigen Baustoffe bei der grundhaften Sanierung von Straßen bis heute eine große Rolle.

A2.3 Herstellung von Teer

Teer wird durch einen destruktiven Arbeitsvorgang, der thermischen Zersetzung, hergestellt. Der sog. Rohteer (Steinkohlenteer) fällt bei der Verkokung von Steinkohle (oder Braunkohle) an. Nach gründlicher Entwässerung wird er durch eine darauffolgende Destillation unter Vakuum in verschiedene Teerölfractionen und in Pech zerlegt.

Bild A2: Schema einer Teerdestillation [bearbeitete Quelle: W. Georgy]



Das sog. **Straßenpech** (früher: Straßenteer) wurde durch Mischung von Pech mit bestimmten, für diesen Zweck besonders vorbereiteten, Teerölen hergestellt. Wie bereits erwähnt, werden Pech/Teere bzw. pechhaltige Baustoffe aufgrund ihrer gesundheitsschädlichen Bestandteile in Europa heute nicht mehr als Baustoff eingesetzt.

Eine Ausnahme stellt die Verwendung von Teerölen dar, die zum Schutz und zur Dauerhaftigkeit von Holzschwellen im Gleisbau auch heute noch eingesetzt werden.

Die dem Pech zur Herstellung von Straßenpech zugesetzten Teeröle stammten im Regelfall vor allem aus den Fraktionen Mittelöl (Siedebereich 170 bis 270°C), Schweröl (270 bis 300°C) und Anthracenöl (Siedebereich über 300°C).

Die Eigenschaften von Straßenpech wurden durch die Menge des Pechanteils und durch den Anteil und die Zusammensetzung der zugesetzten Öle beeinflusst und charakterisiert. Auf dem deutschen Markt wurden früher Straßenpeche mit einem Pechgehalt von 59 bis 78 M.-% eingesetzt.

Die Hauptbestandteile eines typischen Straßenpechs sind (Angabe in Massenprozent):

Pech	→ 55 bis 74 M.-%	Anthracenöl	→ 16 bis 28 M.-%
Schweröl	→ 2 bis 10 M.-%	Mittelöl	→ 2 bis 15 M.-%

A2.4 Gefahren durch Pech und Teer

Noch heute werden im Radio Verkehrsmeldungen über „Teerarbeiten“ verbreitet, obwohl dies technisch gesehen absolut falsch ist. Besonders bedenklich ist die Verwechslung mit dem richtigen Ausdruck „Asphalтарbeiten“ deswegen, weil das früher verwendete Bindemittel Straßenteer (heutiger Ausdruck: Straßenpech) als umweltschädlich einzustufen ist und dieses Bindemittel nichts mit dem heute für Asphalte verwendeten umweltverträglichen Bitumen gemein hat.

Während die Herstellung von Bitumen allein durch Destillation bei unter 400 °C, einer rein physikalischen Herstellungsmethode, erfolgt, ist für die Pech-/Teerherstellung eine Pyrolyse (Pyrolyse = Zersetzung chemischer Produkte durch Einwirkung höherer Temperaturen) bei 1200 bis 1300 °C erforderlich. Bei diesem Zersetzungsprozess entstehen Pyrolyseprodukte, deren einzelne Bestandteile größtenteils als krebserregend und/oder erbgutverändernd angesehen werden. Besondere Bedeutung haben in diesem Zusammenhang die sog. **polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (kurz: PAK)** sowie, als weiterer gesundheitsgefährdender Inhaltsstoff, die **Phenole**.

Das Benzo(a)pyren gilt als sog. Leitsubstanz für die PAK. In Pechen können bis zu 10.000 ppm (parts per million) enthalten sein, während in Bitumen nur 1 bis 5 ppm gefunden wurden. Dieser geringe Benzo(a)pyrengehalt gilt als gesundheitlich absolut unbedenklich; viele auf dem Rost gebratene (und nicht verbrannte) Lebensmittel (Steaks, Bratwurst) enthalten manchmal sogar ein Vielfaches dieser Konzentration.

Der Vergleich zwischen Pech/Teer und Bitumen macht deutlich, warum Pech schon seit Jahrzehnten nicht mehr im Straßenbau eingesetzt wird und Bitumen als Standardbindemittel etabliert ist. Doch pechhaltiges Material spielt heute wieder eine große Rolle bei der anstehenden Wiederverwendung oder bei der Entsorgung alter, pechhaltiger Straßenbaustoffe.

Komplette Entwarnung kann aber auch nicht für Bitumen gegeben werden: So werden Dämpfe und Aerosole aus Destillationsbitumen und Air-Rectified Bitumen bei der Heißverarbeitung seit 2018 als „Krebsverdachtsstoffe“ vom Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales geführt.

Bild A3: Zusammenfassender Vergleich Pech/Teer ↔ Bitumen

Pech/Teer	Bitumen
<ul style="list-style-type: none"> Bei der chemischen Pyrolyse von Kohle entstehen krebserregende Zersetzungsprodukte, wie z.B. die PAK. 	<ul style="list-style-type: none"> Durch Destillation werden nur einzelne Bestandteile aus dem Rohöl gewonnen, ohne dass zusätzliche Zersetzungsprodukte entstehen.
<ul style="list-style-type: none"> Benzo(a)pyren ist mit bis zu 10.000 ppm in Pech/Teer enthalten und stellt damit eine Gesundheitsgefahr dar. 	<ul style="list-style-type: none"> Mit 1 bis 5 ppm ist der Benzo(a)pyrengehalt um das bis zu 10.000fache geringer als in Teer; nachweislich keine Gesundheitsgefahr.
<ul style="list-style-type: none"> Pech/Teer darf aufgrund der zu befürchtenden schädlichen Emissionen nicht heiß verarbeitet bzw. wiederverwendet werden; zur Wiederverwendung sind besondere Maßnahmen erforderlich. 	<ul style="list-style-type: none"> Die Emissionen in Asphaltmischwerken sind bei regelgerechtem Betrieb nicht umweltbeeinträchtigend; Bitumen darf heiß verarbeitet und heiß wiederverwendet werden.
<ul style="list-style-type: none"> Pech-/teerhaltige Baustoffe gelten als belastet und werden als Sondermüll eingestuft. 	<ul style="list-style-type: none"> Bitumenhaltige Baustoffe gelten als umweltverträglich.
<ul style="list-style-type: none"> Gefahrenstoff, wassergefährdend Gefahr der Auswaschung von gesundheits- bzw. grundwassergefährdenden Stoffen; besondere Abdichtung/-deckung bei Lagerung erforderlich Sekundäre Schutzmaßnahmen ev. erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> kein Gefahrenstoff; nicht wassergefährdend (keine Wassergefährdungsklasse) nicht kennzeichnungspflichtig keine sekundären Arbeitsschutzmaßnahmen notwendig

B. Bitumen

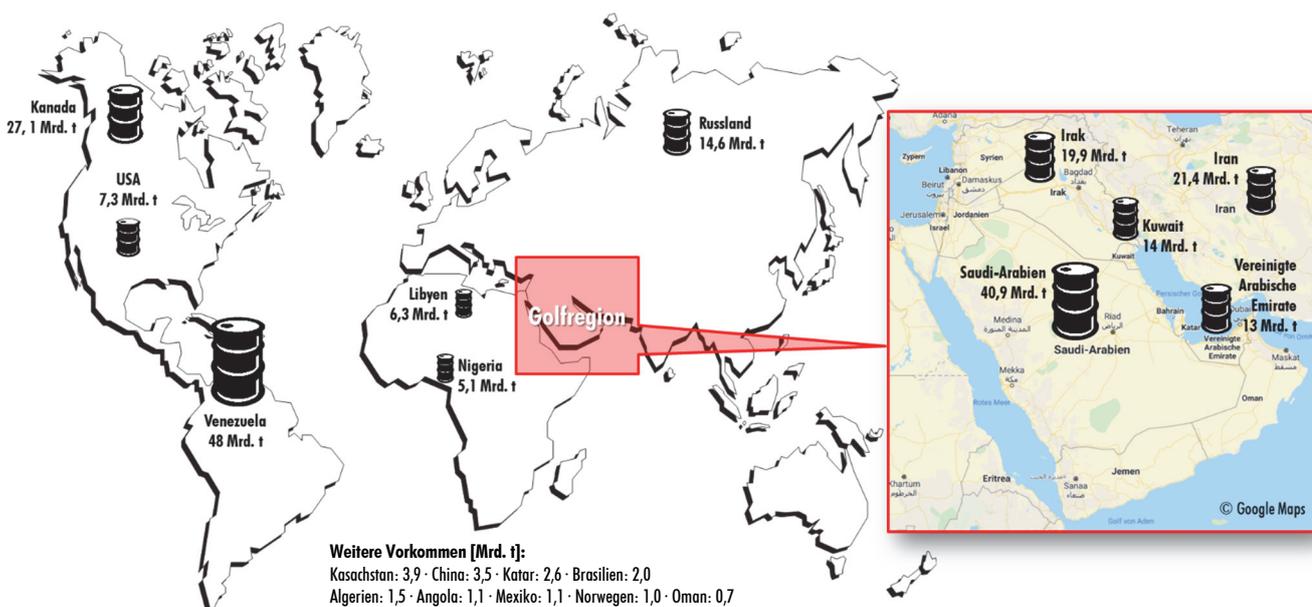
B1. Herkunft und Herstellung

B1.1 Ursprung Erdöl

Erdöl wird als „Rohöl“ in den verschiedensten Regionen der Erde zutage gefördert und dient nicht nur als Energieträger, sondern auch als Rohstofflieferant für unzählige Bau- und Werkstoffe. Als wichtigste Fördergebiete gelten Nord- und Südamerika, Asien, Nordafrika, die GUS-Staaten und die Nordsee.

Die wichtigsten und ergiebigsten Vorkommen lagern im Nahen Osten. Zwei Drittel der Rohölreserven befinden sich allein in Saudi-Arabien, das damit über 40 Milliarden Tonnen (ca. 25 % der gesamten Weltölreserven) verfügt.

Bild B1: Größte Erdölreserven weltweit nach Ländern im Jahr 2018
[bearbeitete Quelle: Statista 2020]



B1.2 Erdöl-Fördertechnik

Erdöllagerstätten befinden sich in entsprechenden geologischen Strukturen und in Speichergesteinen. In den meisten Fällen wird hier auch Erdgas angetroffen, das sich aufgrund der geringeren Dichte oberhalb des Öls anlagert. So stehen die Lagerstätten unter natürlichem Druck, der die Förderung vereinfacht. Ziel gezielter Fördermaßnahmen ist es, diesen Druck möglichst lange aufrecht zu halten.

B1.3 Zur chemischen Zusammensetzung des Erdöls

Die chemische Zusammensetzung des Erdöls ist vom Gewinnungsort - der „Erdölprovenienz“ abhängig. Prinzipiell lassen sich dabei folgende Bestandteile unterscheiden:

- ca. 85 – 90 M.-% Kohlenstoff
- ca. 10 – 14 M.-% Wasserstoff
- ca. 0,1 – 3,0 (maximal bis zu 7) M.-% Schwefel
- ca. 0,1 – 0,5 (maximal bis zu 2) M.-% Stickstoff
- ca. 0 – 1,5 M.-% Sauerstoff

Allen Ölen gemein ist der hohe Anteil an Kohlenwasserstoffen; dabei werden die folgenden Hauptgruppen unterschieden:

- **Paraffine (Alkane)**
Gesättigte Kohlenwasserstoffe mit geraden und verzweigten Molekülketten.
- **Olefine (Alkene)**
Ungesättigte Kohlenwasserstoffe, die, reaktionsfreudiger als Paraffine, als Grundstoffe für die chemische Weiterverarbeitung genutzt werden.
- **Naphtene (Cykloalkane)**
Gesättigte Kohlenwasserstoffe mit Ringen aus meistens fünf, sechs oder sieben Kohlenwasserstoffatomen, die durch eine besondere Kältebeständigkeit gekennzeichnet sind.
- **Aromaten**
Als Grundgerüst der Aromaten dient der besonders stabile Benzolring aus sechs Kohlenstoffatomen mit drei Doppel- und drei Einfachringen. Positive Eigenschaften der Aromaten: Temperaturbeständigkeit, gute Klopfestigkeit in Motoren, Ausgangsstoffe für die chemische Weiterverarbeitung.

Zur prinzipiellen Unterscheidung werden die Erdöle entsprechend ihrer Zusammensetzung nach folgenden Hauptstrukturgruppen unterschieden:

- **Paraffinische** Rohöle
- **Naphtaparaffinische** Rohöle
- **Gemischt paraffinisch-naphtenische** Rohöle

Für die Bitumenherstellung eignen sich in erster Linie ausgewählte Rohöle der beiden letztgenannten Gruppen.

Zur genaueren Festlegung sind alle Erdölprovenienzen in speziellen Handbüchern detailliert mit ihren jeweiligen Zusammensetzungen beschrieben, wodurch man sie gezielt für den jeweiligen Anwendungszweck auswählen und in der Raffinerie zusammenstellen kann.

B1.4 Erste Aufbereitung des Rohöls vor Ort

Das bei der Erdölförderung gewonnene Material muss vor dem Weitertransport in seine verschiedenen Bestandteile zerlegt werden. Neben dem Erdgas, das in sog. „Separatoren“ abgeschieden wird, wird meistens auch noch Salzwasser zutage befördert. Derart belastetes Rohöl kann in Lager- und Transporttanks sowie in der Raffinerie zu erheblichen Korrosionsschäden führen. Man bemüht sich deswegen, bereits direkt nach der Förderung durch Hitze oder durch Zugabe von Chemikalien den Salzgehalt im Rohöl auf ein Minimum zu reduzieren.

B1.5 Rohöltransport

Für den Transport von Rohöl werden prinzipiell zwei Systeme angewandt:

- per Tankschiff über See
- per Pipeline über Land

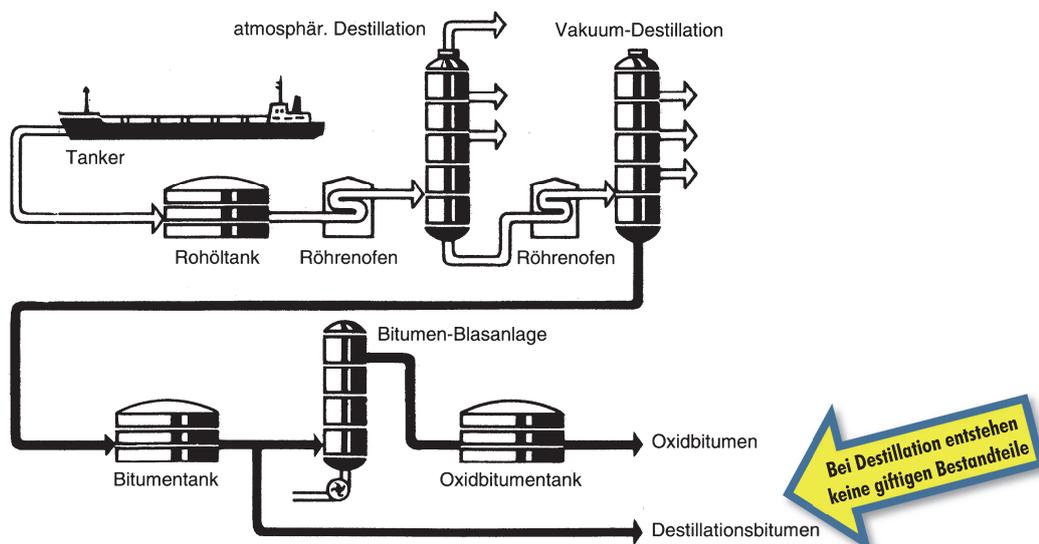
Am Einspeisungsort der Pipelines befinden sich Tanklager, über die das Öl in die Pipelines eingepumpt wird. Auf Bestellung gelangen so verschiedene Rohölpartien („Batches“) an ihren jeweiligen Bestimmungsort (Raffinerie). Was für das später hergestellte Bitumen zu beachten ist, gilt bereits auch schon für das Öl. Je nach Temperatur verändert sich sein Fließverhalten; niedrigere Temperaturen erhöhen den Energieaufwand für das Pumpen, im Extremfall kann es sogar zum Verstopfen der Leitung kommen („Stockpunkt“).

B1.6 Bitumenherstellung

Bitumen ist nur eines der Produkte, das aus Rohöl hergestellt werden kann. Herstellungsort ist die sog. Raffinerie, in der das Öl durch Destillation in verschiedene Primärprodukte aufgespalten wird. Fast alle Mineralöle lassen die Gewinnung von Gasen, Benzin und Mitteldestillaten (z.B. Heizöl) zu, wobei die Ausbeute je nach Gewinnungsort sehr unterschiedlich sein kann.

Ob ein Öl aber tatsächlich auch die Bitumengewinnung zulässt, hängt sehr stark von der jeweiligen chemischen und physikalischen Beschaffenheit ab. Wichtige Indikatoren sind die Dichte und die Gehalte an Schwefel, Vanadium und Normalparaffinen.

Bild B2: Bitumenherstellung in der Raffinerie [Shell Bitumen]



B2. Eigenschaften und Varianten

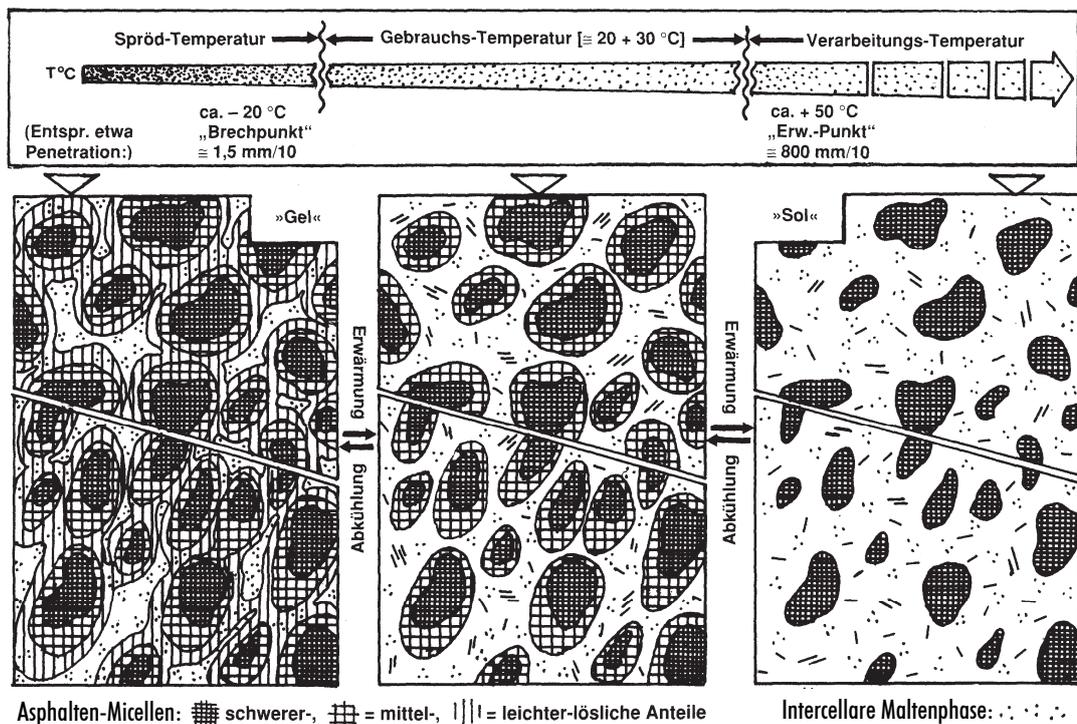
B2.1 Chemische Eigenschaften von Bitumen

Das bei der Aufbereitung von Erdöl gewonnene Bitumen ist ein schwer-flüchtiges, dunkelfarbenes Vielstoffgemisch, das vor allem aus Kohlenwasserstoffen und Kohlenwasserstoffderivaten (aus Kohlenwasserstoff entstandene, andersartige chemische Verbindungen) besteht. Schwefel, Sauerstoff, Stickstoff und Spuren von Vanadium, Nickel und Chrom können zusätzlich enthalten sein.

Bitumen besitzt eine sog. kolloidale Struktur. Dies bedeutet, dass Bitumen nicht als eine echte, homogene Lösung aus einzelnen gelösten Teilchen (Ionen oder Einzelmoleküle) betrachtet werden kann. Vielmehr können in Bitumen Molekülzusammenballungen (Asphalten-Micellen) beobachtet werden.

Sehr vereinfacht darf man sich Folgendes vorstellen: Die schweren Teilchen des Bitumens - die **Asphalten-Micellen** - „schwimmen“ in einer leichteren „Flüssigkeit“, der sog. **intercellaren Maltenphase**. Bei geringen Temperaturen überwiegen die geballten Asphalten-Micellen, man spricht vom sog. **GEL-Zustand** des Bitumens. Steigt die Temperatur, so gehen Teile der Asphalten-Micellen in den flüssigen Zustand über. Überwiegt der flüssige Anteil (intercellare Maltenphase) bei hohen Temperaturen, so wird dies als **SOL-Zustand** bezeichnet. Diese beschriebenen Zusammenhänge sollen in der folgenden Skizze verdeutlicht werden.

Bild B3: GEL- und SOL-Zustand des Bitumens nach Zenke [Bitumen 3/90]



B2.2 Physikalisches Verhalten von Bitumen

Bitumen ist ein **thermoplastischer Stoff**; seine plastischen Eigenschaften sind also von der jeweiligen Gebrauchstemperatur abhängig.

Dies macht Bitumen in vielerlei Hinsicht attraktiv: Wird es verarbeitet, z.B. beim Pumpen, Mischen oder Einbauen, liegt Bitumen in flüssiger Form bei hoher Temperatur vor. Im Nutzungszustand bei Außentemperatur, z.B. als Abdichtungsmaterial oder als Bindemittel in Asphalt, ist es fest und widerstandsfähig. Dieses temperaturabhängige Verhalten wird durch die sog. **Viskosität** (siehe auch Abschnitt B.6) von Bitumen quantitativ festgelegt.

Darüber hinaus gilt Bitumen auch als **viskoelastischer Stoff**. Vereinfachend bedeutet dies, dass Bitumen bei kurzen Belastungen elastisch, bei Dauerbelastungen jedoch plastisch reagiert.

B2.3 Alterung von Bitumen

Der Alterungsprozess von Bitumen kann die Eigenschaften als Bindemittel maßgeblich ändern. Die Bitumenalterung ist irreversibel! Deswegen ist die Kenntnis der verschiedenen Alterungsprozesse wichtig, lassen sich doch die negativen Auswirkungen der Alterung begrenzen und die Wiederverwendung des Bindemittels begünstigen:

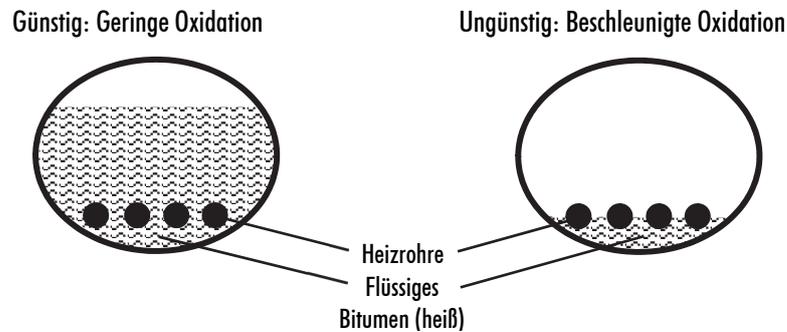
Bei der Heißlagerung von Bitumen, z.B. in der Mischanlage oder auf der Baustelle, ist die sog. **Verdunstungsalterung** zu beachten. Leicht-flüchtige Ölanteile werden durch die hohen Temperaturen abgedampft mit der Folge, dass das Bitumen allmählich verhärtet. (Unnötig) höhere Lagertemperaturen, lange Heißlagerzeiten und große Bindemitteloberflächen (große Kontaktfläche Luft ↔ Bindemittel) können diesen Verhärtungsprozess erheblich beschleunigen. Dies kann im Extremfall dazu führen, dass ein Bitumen nicht mehr für den vorgesehenen Zweck eingesetzt werden kann.

Neben der auf physikalischen Vorgängen beruhenden Verdunstungsalterung ist die sog. **oxidative Alterung** (photo)chemischen Ursprungs. Wesentlicher Auslöser dieser Alterungsart ist der Luftsauerstoff. Licht im sichtbaren Wellenlängenbereich spaltet die Sauerstoffbindungen auf, während UV-Strahlung die Kohlen-Wasserstoffbindungen sowie die Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindungen im Bitumen bricht. Bei diesen chemischen Reaktionen entstehen nicht nur Asphaltene aus den Erdölharzen; ebenso kommt es zu einer Neubildung von Erdölharzen. Doch die Bildung der Erdölharze erfolgt in weitaus geringerem Umfang als die Asphaltbildung. Dies bewirkt ein Ungleichgewicht im „Bitumensystem“, die stabilisierende Wirkung der Harze wird verringert.

Anhaltende oxidative Alterung, überlagert von weiteren Erscheinungsformen der Alterung, ist letztendlich für die sog. **Strukturalterung** verantwortlich, in deren Verlauf sich die innere Struktur des Bitumens maßgeblich ändert. Das Bitumen gewinnt zwar an Härte und innerer Festigkeit, doch diese Änderungen sind verbunden mit dem gleichzeitigen Verlust an Elastizität und Plastizität. Eine geringfügige Abnahme des Volumens ist ebenso möglich wie - bei weit fortgeschrittener Alterung - eine Versprödung des Bitumens.

Man versucht deswegen, den Prozess der Alterung während der Heißlagerung in der Raffinerie oder in der Mischanlage auf ein Minimum zu begrenzen.

Bild B4; Günstige und ungünstige Bitumenlagerung im Tank
[bearbeitete Quelle: Hutschenreuther/Wörner „Asphalt im Straßenbau“]



Starke Alterungserscheinungen können dazu führen, dass Bitumen nicht oder zumindest nicht hochwertig wiederverwendet werden kann.

B2.4 Vermeidung starker Alterung während der Verarbeitung von Bitumen

Wird Bitumen zur Verarbeitung erhitzt, ist ein gewisses Maß an Alterung unvermeidlich. Dies ist vor allem bei der Herstellung, bei der Lagerung und beim Transport von Asphalt, der aus Bitumen und Gesteinskörnungen zusammengesetzt wird (siehe Kapitel C) der Fall. Dennoch lassen sich die Alterungsprozesse auf ein Minimum beschränken, wenn die folgenden Grundsätze beachtet werden:

- Günstige Bitumenlagerung im Tank (siehe oben!)
- Minimierung der Mischzeiten von Bitumen und Gesteinskörnungen in Asphaltmischanlagen (im Regelfall: 15 Sekunden + 12 Sekunden bei Zugabe weiterer Additive)
- Einhaltung der nach TL Asphalt angegebenen maximalen Temperaturen für Bitumen im Lagertank:

Tabelle B1: Höchsttemperatur der Bindemittel im Lagertank [TL Asphalt-StB, Tabelle 2]

Straßenbaubitumensorte	20/30	30/45	50/70	70/100	160/220
Zulässige Höchsttemperatur [° C]	200	190	180	180	170
Polymer Modifizierte Bitumensorte	40/100-65	10/40-65	25/55-55	45/80-50	
Zulässige Höchsttemperatur [° C]	190	190	180	180	

- Keine Überhitzung von Gesteinskörnungen während des Mischprozesses, da die umhüllenden dünnen Bindemittelfilme sonst zu schnell verhärten
- Luftabgeschlossene und möglichst kurze Zwischenlagerung des frisch hergestellten Asphaltmischgutes in der Mischanlage vor dem Abtransport
- Kein Mischguttransport ohne geschlossene Fahrzeuge bzw. ohne Mischgutabdeckung

B2.5 Alterung im Gebrauchszustand von Bitumen

Egal, ob Bitumen allein, z.B. als Dichtungsmasse, oder im Verbund mit Gesteinskörnungen als Asphalt vorliegt, die Alterungsprozesse konzentrieren sich im – erkalteten – Gebrauchszustand vor allem auf die Oberflächen dieser Baustoffe.

Doch auch die Zusammensetzung eines Asphaltes kann die Alterung maßgeblich beeinflussen. Je hohlraumreicher ein Asphalt aufgebaut ist, desto größer ist die Möglichkeit des Luftzutrittes und damit die Neigung zur Oxidation innerhalb einer Asphaltschicht. Der Asphalt verliert seine Flexibilität, wird aber auf der anderen Seite standfester, was durch die allmähliche Verhärtung des Bitumens zu begründen ist. Liegen ungünstige Alterungsbedingungen vor, kann aus einem Bitumen 70/100 nach 20 Jahren Liegezeit durchaus ein Bitumen 20/30 oder sogar ein noch härteres Bitumen werden.

B2.6 Verhalten von Bitumen gegenüber Chemikalien

Die meisten anorganischen Säuren, Salze, aggressive Gewässer, Kohlensäure und Alkalien beeinflussen die Beständigkeit von Bitumen nicht. Doch die Widerstandsfähigkeit von Bitumen gegenüber starken Säuren ist von deren oxidierender Wirkung sowie von der jeweiligen Temperatur des Bitumens abhängig.

Allgemein gilt: Je härter das Bitumen, desto größer die Widerstandsfähigkeit gegenüber Chemikalien. Dies gilt allerdings nicht für Kraftstoffe (Benzin, Diesel), Öle, Fette und viele organischen Lösungsmittel, denen gegenüber Bitumen nicht beständig ist.

B2.7 Weitere Eigenschaften von Bitumen

B2.7.1 Dichte

Die Dichte von Bitumen nimmt mit steigender Härte zu; einen zusätzlichen Einfluss hat die Rohölprovenienz. Die folgenden Werte sollen als erster Anhalt dienen:

Tab. B2: Anhaltswerte für Bindemitteldichten [nach „ESSO Bitumen – Anwendungsleitfaden“]

Bitumensorte	20/30	50/70	160/220
Dichte bei 25° C [g/cm ³]	1,03 – 1,05	1,02 – 1,04	1,01 – 1,03

B2.7.2 Spezifische Wärme und Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit von Bitumen kann als gering bezeichnet werden. Die Eigenschaften sind denen eines Isolierstoffes ähnlich.

Die Wärmeleitfähigkeit für alle Bitumensorten beträgt: 0,16 W/m · K (= 0,14 kcal/mh °C)

B2.7.3 Wärmeausdehnungskoeffizient und elektrische Eigenschaften

Der kubische Wärmeausdehnungskoeffizient liegt im Bereich von 15 bis 200 °C konstant bei 0,0006 °C.

Bitumen ist gering elektrisch leitfähig und verfügt über eine hohe Durchschlagfestigkeit.

B2.8 Die wichtigsten Varianten/Verarbeitungsformen von Bitumen und bitumenhaltigen Bindemitteln

B2.8.1 Destillationsbitumen

Die in einer Raffinerie durch Destillation gewonnenen Bitumensorten werden als Destillationsbitumen bezeichnet. Zu ihnen gehören auch alle konventionellen Straßenbaubitumen (z.B. Bitumen 20/30, 30/45 usw., siehe auch Abschnitt B.3).

B2.8.2 Hochvakuumbitumen

Werden Destillationsbitumen einer zusätzlichen Destillation unter Hochvakuum unterzogen, wird das dabei gewonnene Produkt als Hochvakuumbitumen bezeichnet. Hierdurch erhöhen sich die Untersuchungswerte für den sog. „Erweichungspunkt Ring und Kugel“, während die ermittelte Nadelpenetration weiter abnimmt (siehe auch Prüfverfahren!).

Diese sehr viel härteren Bitumensorten werden vor allem für industrielle Anwendungen benötigt, weswegen sie auch „Industriebitumen“ genannt werden. Als Bezeichnung dient der Erweichungspunkt Ring und Kugel, z.B. H 90/100 (Erweichungspunkt liegt zwischen 90 und 100 °C).

B2.8.3 Oxidationsbitumen

Die Oxidationsbitumen sind eine weitere wichtige Gruppe, die in verschiedenen Industriebereichen und auf Spezialgebieten des Bauwesens Anwendung findet. Die Herstellung erfolgt durch Einblasen von Luft in weiches, meist mit speziellen Fluxölen aufgemischtes Destillationsbitumen. Oxidationsbitumen werden bei 200 bis 290 °C hergestellt, wobei der Sauerstoff der über Düsen eingeblasenen Luft eine ständig zunehmende Vernetzung der Kohlenwasserstoffe im Bitumen bewirkt. Während der Erweichungspunkt Ring und Kugel ansteigt, geht die Nadelpenetration aufgrund der zugegebenen Fluxöle nicht so stark zurück. So ist dieses Bitumen auch im kalten Zustand immer noch elastisch, wird aber bei höheren Temperaturen nicht gleich weich.

Gerade diese Eigenschaften machen Oxidationsbitumen zum guten Kleber und Deckaufstrich (heiß zu verarbeiten!) sowie zum idealen Bindemittel zur Herstellung von Bitumendichtungsbahnen. Aufgerollte Dichtungsbahnen lassen sich gut abrollen und einbauen, werden aber unter Sonneneinstrahlung nicht instabil, da das Bitumen nicht schmilzt.

Oxidationsbitumen lassen sich mit verschiedenen Kombinationen von Erweichungspunkt und Penetration herstellen. So liefert die Bitumenindustrie u.a. zwei Bitumensorten mit demselben Erweichungspunkt bei 85 °C, aber zwei verschiedenen Penetrationen. Die Bezeichnung derartiger Bitumen erfolgt über die Benennung „Erweichungspunkt_{RuK}/Penetration“, also im oben genannten Beispiel 85/25 und 85/40.

Vorsicht ist bei der Verarbeitung von Oxidationsbitumen geboten, da die dabei auftretenden heißen Dämpfe zumindest im Verdacht der Gesundheitsgefährdung stehen.

B2.8.4 Fällungsbitumen

Bei der Gewinnung hochwertiger Schmierölgrundstoffe lassen sich durch spezielle Fällungsreaktionen die sog. Fällungsbitumen gewinnen. Dabei wird aus schweren Anteilen des Rohöls mit Hilfe von Propan bei erhöhtem Druck, aber niedrigen Temperaturen das Bitumen von den Schmierölfractionen getrennt.

B2.8.5 Polymermodifiziertes Bitumen (PmB)

Ein PmB ist im Regelfall ein Destillationsbitumen (Straßenbaubitumen), das durch Zugabe von 3 bis 5 % Polymeren in seinen Eigenschaften gezielt verändert wird. Als wichtigste Polymergruppen (Elastomere, Plastomere) gelten heute:

- **SBR/SBS** Styrol-Butadien-Copolymere/-Blockcopolymere
- **EPDM** Ethylen-Propylen-Dien-Terpolymer
- **EVA** Ethylen-Venylacetat-Copolymer
- **ACM** Ethylen-Acrylester-Copolymer

Polymermodifizierte Bitumen werden in den meisten Fällen gebrauchsfertig hergestellt. Das bedeutet, dass sie bereits als PmB geliefert und z.B. in der Mischanlage als fertiges Bitumen zugegeben werden.

Alternativ können die Polymere auch erst in der Mischanlage mit dem Bitumen vermischt werden. Dies wird z.B. bei Asphaltmischanlagen, die über keine zusätzlichen Bitumentanks verfügen, häufiger gemacht. Dann kann die Polymerzugabe in fester (Granulat, Pulver, Blöcke, Sheets), in flüssiger (Emulsion, Schmelze, Lösung) oder in voraufgeschlossener Form als Masterbatch (hochkonzentriertes, in der Raffinerie vorgefertigtes PmB, das mit Destillationsbitumen „verdünnt“ wird) erfolgen.

PmB verfügen über Eigenschaften, die mit denen von Destillationsbitumen vergleichbar sind. Allerdings verspricht man sich vom Einsatz der Polymere eine Verbesserung der Eigenschaften, wie z.B. eine Erhöhung des Erweichungspunktes Ring und Kugel sowie die Erniedrigung des Brechpunktes nach Fraaß. Die hierdurch bedingte Vergrößerung des knetbaren Bereiches (auch „Plastizitätsspanne“ genannt) soll die Kälte- und Hitzebeständigkeit von Asphalten positiv beeinflussen.

Ein ganz wesentlicher Unterschied von PmB zu anderen Bitumensorten besteht in der **elastischen Rückformung**. Dieser Effekt zeigt sich vor allem durch den Aufbau elastischer Gegenkräfte bei einer Zwangsverformung. Vereinfacht kann man vom „Gedächtnis“ eines PmBs sprechen, dass seine Ursprungsform nicht „vergisst“ und nach einer Verformung unbedingt wieder in seine ursprüngliche Beschaffenheit zurück „will“, was solchen Bindemitteln zu einem großen Teil sogar gelingt. Derartige Eigenschaften sind nicht nur bei hochbelasteten Verkehrswegen - vor allem auf Brücken - von Bedeutung, sie haben sich auch bei der Herstellung von Bitumenbahnen bewährt.

Die Bezeichnung der gebrauchsfertigen Polymermodifizierten Bitumen bezieht sich auf den Wertebereich der Nadelpenetration und die Mindest-Anforderungswert für den Erweichungspunkt Ring und Kugel. Darüber hinaus werden gebrauchsfertige elastomermodifizierte Bitumen mit dem Buchstaben „A“ gekennzeichnet, während gebrauchsfertige plastomermodifizierte Bitumen den Buchstaben „C“ erhalten.

B2.8.6 Besondere Bitumen/Bindemittel

Das sog. **Multigrade-Bitumen** wird so modifiziert, dass es sich unempfindlicher gegenüber Temperaturveränderungen verhält als andere Bitumenarten. Das Bindemittel ist hoch viskos und soll eine höhere Widerstandsfähigkeit gegenüber langsam fahrendem Schwerverkehr aufweisen.

Gummimodifiziertes Bitumen (rubberised Asphalt) wird durch Einmischen von Gummizusätzen (Elastomeren) in seiner Eigenschaft so verändert, dass es eine erhöhte Viskosität aufweist. Eigenschaften, wie Alterungsbeständigkeit, geringe Oxidation und Erhöhung der Elastizität sollen hierdurch verbessert werden.

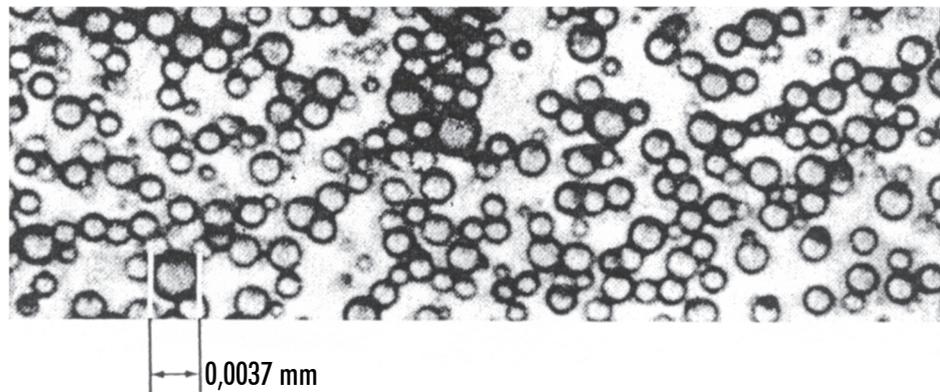
Transparentes oder farbloses Bindemittel ist ein Ersatzstoff für Bitumen mit ansonsten sehr ähnlichen Eigenschaften. Je nach Hersteller ist es anders zusammengesetzt, muss aber die Anforderungen für Bitumen ebenfalls erfüllen. Der Vorteil dieses Bindemittels liegt darin, dass es sich mit Farbpigmenten mischen lässt, um so u.a. farbige Asphalte herstellen zu können.

B2.8.7 Bitumenemulsionen

Bitumenemulsionen sind Gemische aus Destillationsbitumen und Wasser, in denen das Bitumen durch Zusatz eines Emulgators in mikroskopisch kleinen Tröpfchen im Wasser verteilt ist. Die für die Verarbeitung des Bitumens notwendige Dünnpflüssigkeit bleibt dadurch auch in kaltem Zustand erhalten.

Wasser und Bitumen sind eigentlich nicht mischbar, was durch die hohe Grenzflächen- spannung zwischen den beiden Komponenten erklärbar ist. Doch diese Spannung wird bei der Herstellung von Bitumenemulsion durch Zugabe eines Emulgators so weit herab- gesetzt, dass das Bitumen im Wasser mit mechanischer Arbeit in einer Kolloidmühle (über- dimensionales „Rührgerät“) in feinste kugelförmige Teilchen dispergiert werden kann.

Bild B5: Bitumenemulsion unter dem Mikroskop [ARBIT-Schriftenreihe, Heft 50]



Da die Emulgatormoleküle über einen wasserunlöslichen (apolaren) und einen wasser- löslichen (polaren) Teil verfügen, verankern sich die wasserunlöslichen Teile bei der Emulgierung im Bitumen, während die wasserlöslichen Teile im Wasser verbleiben. Durch Ionisation bilden sich gleichsinnige Ladungen auf der Oberfläche der Bitumen- kügelchen, die eine gegenseitige Abstoßung der Bitumenteilchen bewirken und somit ein Zusammenfließen (Koagulation) des Bitumens verhindern.

Der Charakter dieser Ladungen definiert die Bezeichnungen der Bitumenemulsionen:

- **Kationische** Bitumenemulsionen: Die Bitumenkügelchen sind positiv geladen.
- **Anionische** Bitumenemulsionen: Die Bitumenkügelchen sind negativ geladen.

Bitumenemulsionen sind leicht verarbeitbar, da die wichtigste Eigenschaft des Bitumens, die Binde- und Klebkraft, erst nach der Trennung von Wasser und Bitumen voll aktiviert wird. Dies erfolgt bei sachgemäßer Lagerung und Verarbeitung erst beim Kontakt mit Gesteinsstoffen.

Kommt dieser Kontakt zustande, beginnt der sog. **Brechvorgang**, eine chemisch-physikalische Reaktion, in deren Verlauf die Bitumenteilchen zusammenfließen (Koagulation) und sich mit den Gesteinsstoffen fest verbinden. Das zur Emulsion gehörende Wasser wird ausgeschieden und kann (soll!) anschließend verdunsten.

Im Verkehrswegebau werden vor allem kationische Bitumenemulsionen, deren Sorten in den Technischen Lieferbedingungen für Bitumenemulsionen zusammengefasst sind, eingesetzt. Die Bezeichnungen variieren je nach Zusammensetzung und Einsatzgebiet, wie das folgende Beispiel zeigen soll:

Bild B6: Beispiel für die Bezeichnung einer Bitumenemulsion [TL BE-StB]

Bitumenemulsion C60BP4-S					
C	60	B	P	4	S
kationisch	Nenngehalt Bindemittel [M.-%]	Bindemittelart Straßenbaubitumen	Zugabe von Polymeren	Klasse des Brechverhaltens	Herstellung Schichtenverbund

Eine besondere Variante der Bitumenemulsion ist der sog. **Haftkleber**, bei dessen Herstellung die Emulsion zusätzlich mit einem Lösungsmittel versetzt wird. Diese sehr dünnflüssigen Emulsionen verfügen über eine gute Benetzungsfähigkeit und kurze Brechzeiten. Sie können Staubreste, die nach Reinigung von Asphaltoberflächen in den Poren verbleiben, durchdringen und aktivieren zusätzlich durch die zugesetzten Haft- und Lösungsmittel das Bitumen in der behandelten Asphaltschicht.

Derartige Haftkleber werden, genauso wie Bitumenemulsionen ohne Lösungsmittel, zur Gewährleistung bzw. zur Unterstützung eines ausreichenden Schichtenverbundes zwischen den verschiedenen Schichten eines Asphaltoberbaus eingesetzt.

B2.8.8 Bitumenlösungen

Bitumenlösungen werden durch Zusatz von Lösungsmitteln auf Basis von Mineralölen und -derivaten hergestellt. Je nach Einsatzzweck werden dabei **Fluxbitumen**, **Kaltbitumen** oder auch **Bitumenanstrichstoffe**, **gefüllte Bitumenlösungen** und **Kaltklebmassen aus Bitumen (auch: Bitumen-Kaltkleber)** unterschieden.

Bitumenanstrichstoffe mit einem Bitumengehalt von ca. 30 bis 80 M.-% werden vor allem als Voranstrich im Hochbau eingesetzt. Diese dünnflüssigen Bitumenlösungen werden auf Unterkonstruktionen oder im Bereich von Anschlüssen zur Staubbinding und zur Haftverbesserung für zu verklebende Abdichtungen eingesetzt.

Gefüllte Bitumenlösungen werden mit Gesteinsmehlen und Fasern versetzt, um so dickere, pastenförmige Bindemittelfilme zu ermöglichen. Sie eignen sich vor allem zum Bautenschutz von Flächen, die der Witterung ausgesetzt sind. Die zugesetzten Füllstoffe wirken nicht nur stabilisierend, sie tragen auch dazu bei, vorzeitige Alterung zu vermeiden.

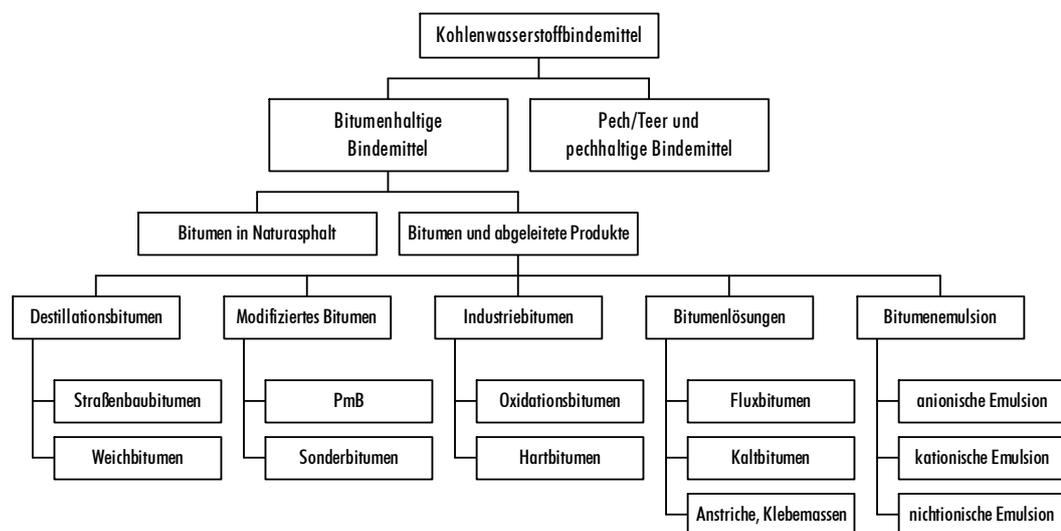
Die zäheren Kaltklebmassen aus Bitumen werden für das punkt- oder streifenweise Aufkleben von Dampfsperren, Wärmedämmschichten aus Schaumstoffen und Mineralfasern oder zum Aufbringen von Abdichtungslagen aus Bitumenbahnen eingesetzt.

Flux- und Kaltbitumen finden vor allem im Verkehrswegebau Verwendung. Kaltbitumen lässt sich zum Beispiel zur Herstellung von Kaltasphaltnischgut für kleine Verkehrsbaureparaturstellen verwenden, für die der Einsatz von Heißmischgut nicht lohnen würde.

Der Einsatz der kalt verarbeitbaren Bitumensorten ermöglicht es, Mischgut bereits auf Vorrat zu produzieren und längere Zeit zu lagern. In fast allen Straßenmeistereien ist deswegen Kaltasphaltemischgut, als Reparaturbaustoff gelagert, zu finden.

Fluxbitumen wurde in der Vergangenheit als „Verschnittbitumen“ mit Teerölen versetzt. Diese Öle werden heute aus Gründen des Umweltschutzes durch andersartige Lösungsmittel (erd-ölstämmige Fluxöle) ersetzt. Fluxbitumen wird nur noch gelegentlich, zum Beispiel zur Durchführung von Oberflächenbehandlungen (zum Aufkleben von Splitt), im Straßenbau eingesetzt.

Bild B7: Alle relevanten Kohlenwasserstoffbindemittel im Überblick



B3. Anforderungen

B3.1 Straßenbaubitumen / Bitumen für Verkehrsbau

Für Straßenbaubitumen sind die Beschaffenheitsvorschriften in der Europäischen Norm EN 12591 bzw. in den TL Bitumen-StB zusammengefasst. Die Bezeichnung erfolgt mit der für die jeweilige Sorte geltende Anforderungsspanne für die Nadelpenetration. Diese Anforderungen werden mit verschiedenen Laboruntersuchungen (siehe noch folgende Abschnitte!

Tabelle B3: Anforderungen an Bitumen [TL Bitumen-StB, EN 12591]

Bitumen-sorte	Nadelpenetration bei 25 °C (Pen ₂₅) [$\frac{1}{10}$ mm]	Erweichungspunkt Ring und Kugel (EP _{RuK}) [° C]	Brechpunkt nach Fraaß (BP) [° C]
160/220	160 – 220	35 – 43	≤ – 15
70/100	70 – 100	43 – 51	≤ – 10
50/70	50 – 70	46 – 54	≤ – 8
30/45	30 – 45	52 – 60	≤ – 5
20/30	20 – 30	55 – 63	–

Tabelle B4: Anforderungen an Straßenbaubitumen [TL Bitumen-StB, Tabelle 1]

Merkmal oder Eigenschaft	Einheit	Prüfmethode	Bitumensorte				
			20/30	30/45	50/70	70/100	160/220
Penetration bei 25 °C	0,1 mm	DIN EN 1426	20 bis 30	30 bis 45	50 bis 70	70 bis 100	160 bis 220
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	DIN EN 1427	55 bis 63	52 bis 60	46 bis 54	43 bis 51	35 bis 43
Flammpunkt	°C	DIN EN ISO 2592	≥ 240	≥ 240	≥ 230	≥ 230	≥ 220
Löslichkeit	°C	DIN EN 12592	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0
Penetrationsindex		DIN EN 12591, Annex A	NR	NR	NR	NR	NR
Kinematische Viskosität bei 135 °C	mm ² /s	DIN EN 12595	NR	NR	NR	NR	NR
Dynamische Viskosität bei 60 °C	Pa · s	DIN EN 12596	NR	NR	NR	NR	NR
Brechpunkt nach Fraaß	°C	DIN EN 12593	-	≤ - 5	≤ - 8	≤ - 10	≤ - 15
Beständigkeit gegen Verhärtung unter Einfluss von Wärme und Luft nach DIN EN 12607-1 bei 163 °C:							
verbleibende Penetration	%	DIN EN 1426	≥ 55	≥ 53	≥ 50	≥ 46	≥ 37
Zunahme des Erweichungspunktes Ring und Kugel	°C	DIN EN 1427	< 8	< 8	< 9	< 9	< 11
Massenänderung a)	%	DIN EN 12607-1	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,8	< 1,0

a) Die Massenänderung kann positiv oder negativ sein.

Zusätzliche Prüfverfahren zur Erfahrungssammlung

Merkmal oder Eigenschaft	Einheit	Prüfmethode	Bitumensorte				
			20/30	30/45	50/70	70/100	160/220
Kraftduktilität bzw. Formänderungsarbeit	—	Abschnitt 5.2 der TL Bitumen	IA	IA	IA	IA	IA
Verformungsverhalten im dynamischen Scherrheometer (DSR)	—	Abschnitt 5.3 der TL Bitumen	IA	IA	IA	IA	IA
Verhalten bei tiefen Temperaturen Biegebalkenrheometer (BBR)	—	Abschnitt 5.4 der TL Bitumen	IA	IA	IA	IA	IA

NR = No Requirements = Keine Anforderungen

IA = Ist anzugeben

B3.2 Flux- und Kaltbitumen

Die Anforderungen an Flux- und Kaltbitumen, die im Rahmen dieser Lehrveranstaltung nicht weiter behandelt werden können, sind in verschiedenen Vorschriften (u.a. TL Sbit-StB zu finden, der Inhalte bei Bedarf nachzuschlagen sind.

B3.3 Polymermodifizierte Bitumen (PmB)

Die folgenden Tabellen enthalten die Anforderungen an Polymermodifizierte Bindemittel, die gebrauchsfertig - also bereits mit Polymeren vermischt - vorliegen.

Werden Polymere erst in der Mischanlage zugesetzt, Für Bitumen, die erst in der Mischanlage mit Polymeren versetzt, sind zusätzliche Anforderungen einzuhalten.

Tabelle B5: Anforderungen an Elastomermodifizierte Bitumen (PmB A) [TL Bitumen-StB, Tabelle 2]

Merkmal oder Eigenschaft	Einheit	Prüfmethode	Bindemittelsorten									
			KL	120/200-40 A	KL	45/80-50 A	KL	25/55-55 A	KL	10/40-65 A	KL	40/100-65 A
Penetration bei 25 °C	0,1 mm	DIN EN 1426	9	120 bis 200	4	45 bis 80	3	25 bis 55	2	10 bis 40	5	40 bis 100
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	DIN EN 1427	10	≥ 40	8	≥ 50	7	≥ 55	5	≥ 65	5	≥ 65
Kraftduktilität: Formänderungsarbeit bei der angegebenen Temperatur *)	J/cm ²	DIN EN 13589 DIN EN 13703	5	≥ 2 (bei 0 °C)	3	≥ 2 (bei 5 °C)	6	≥ 2 (bei 10 °C)	6	≥ 2 (bei 10 °C)	2	≥ 3 (bei 5 °C)
Flammpunkt	°C	DIN EN ISO 2592	4	≥ 220	3	≥ 235	3	≥ 235	3	≥ 235	3	≥ 235
Brechpunkt nach Fraaß	°C	DIN EN 12593	9	≤ -20	7	≤ -15	5	≤ -10	3	≤ -5	7	≤ -15
Elastische Rückstellung bei 25 °C	°C	DIN EN 13398	5	≥ 50	5	≥ 50	5	≥ 50	5	≥ 50	3	≥ 70
Elastische Rückstellung bei 10 °C	%	DIN EN 13398	0	NR	0	NR	0	NR	0	NR	0	NR
Plastizitätsbereich	°C	DIN EN 14023, Abschnitt 5.1.9	0	NR	0	NR	0	NR	0	NR	0	NR
Lagerbeständigkeit Differenz der Erweichungspunkte	°C	DIN EN 13399 DIN EN 1427	2	≤ 5	2	≤ 5	2	≤ 5	2	≤ 5	2	≤ 5
Lagerbeständigkeit Differenz der Penetrationen	0,1mm	DIN EN 13399 DIN EN 1426	0	NR	0	NR	0	NR	0	NR	0	NR

Beständigkeit gegen Verhärtung unter Einfluss von Wärme und Luft nach DIN EN 12607-1 bei 163 °C:

Massenänderung	%	DIN EN 12607-1	3	≤ 0,5	3	≤ 0,5	3	≤ 0,5	3	≤ 0,5	2	≤ 0,3
verbleibende Penetration	%	DIN EN 1426	7	≥ 60	7	≥ 60	7	≥ 60	7	≥ 60	7	≥ 60
Zunahme des Erweichungspunktes Ring und Kugel	%	DIN EN 1427	2	≤ 8	2	≤ 8	2	≤ 8	2	≤ 8	2	≤ 8
Abfall des Erweichungspunktes Ring und Kugel	%	DIN EN 1427	2	≤ 2	2	≤ 2	2	≤ 2	2	≤ 2	3	≤ 5
Elastische Rückstellung bei 25°C	%	DIN EN 13398	4	≥ 50	4	≥ 50	4	≥ 50	4	≥ 50	4	≥ 50
Elastische Rückstellung bei 10°C	%	DIN EN 13398	0	NR								

Zusätzliche Prüfverfahren zur Erfahrungssammlung

Verformungsverhalten im dynamischen Scherrheometer (DSR)	—	Abschnitt 5.3 der TL Bitumen	1	IA								
Verhalten bei tiefen Temperaturen Biegebalkenrheometer (BBR)	—	Abschnitt 5.4 der TL Bitumen	1	IA								

*) - siehe Abschnitt 5.2 der TL Bitumen

NR = No Requirements = Keine Anforderungen

IA = Ist anzugeben

Tabelle B6: Anforderungen an Plastomermodifizierte Bitumen (PmB C) [TL Bitumen-StB, Tabelle 3]

Merkmal oder Eigenschaft	Einheit	Prüfmethode	Bindemittelsorten					
			KL	45/80-50 C	KL	25/55-55 C	KL	10/40-65 C
Penetration bei 25 °C	0,1 mm	DIN EN 1426	4	45 bis 80	3	25 bis 55	2	10 bis 40
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	DIN EN 1427	8	≥ 50	7	≥ 55	5	≥ 65
Kraftduktilität: Formänderungsarbeit bei der angegebenen Temperatur *)	J/cm ²	DIN EN 13589 DIN EN 13703	3	≥ 2 (bei 5 °C)	2	≥ 3 (bei 5 °C)	6	≥ 2 (bei 10 °C)
Flammpunkt	°C	DIN EN ISO 2592	3	≥ 235	3	≥ 235	3	≥ 235
Brechpunkt nach Fraaß	°C	DIN EN 12593	7	≤ -15	5	≤ -10	3	≤ -5
Elastische Rückstellung bei 25 °C	°C	DIN EN 13398	0	NR	0	NR	0	NR
Elastische Rückstellung bei 10 °C	%	DIN EN 13398	0	NR	0	NR	0	NR
Plastizitätsbereich	°C	DIN EN 14023, Abschnitt 5.1.9	0	NR	0	NR	0	NR
Lagerbeständigkeit Differenz der Erweichungspunkte	°C	DIN EN 13399 DIN EN 1427	2	≤ 5	2	≤ 5	2	≤ 5
Lagerbeständigkeit Differenz der Penetrationen	0,11mm	DIN EN 13399 DIN EN 1426	0	NR	0	NR	0	NR
Beständigkeit gegen Verhärtung unter Einfluss von Wärme und Luft nach DIN EN 12607-1 bei 163 °C:								
Massenänderung	%	DIN EN 12607-1	3	≤ 0,5	3	≤ 0,5	3	≤ 0,5
verbleibende Penetration	%	DIN EN 1426	7	≥ 60	7	≥ 60	7	≥ 60
Zunahme des Erweichungspunktes Ring und Kugel	%	DIN EN 1427	2	≤ 8	2	≤ 8	2	≤ 8
Abfall des Erweichungspunktes Ring und Kugel	%	DIN EN 1427	2	≤ 2	2	≤ 2	2	≤ 2
Elastische Rückstellung bei 25°C	%	DIN EN 13398	0	NR	0	NR	0	NR
Elastische Rückstellung bei 10°C	%	DIN EN 13398	0	NR	0	NR	0	NR

Zusätzliche Prüfverfahren zur Erfahrungssammlung

Verformungsverhalten im dynamischen Scherrheometer (DSR)	—	Abschnitt 5.3 der TL Bitumen	1	IA	1	IA	1	IA
Verhalten bei tiefen Temperaturen Biegebalkenrheometer (BBR)	—	Abschnitt 5.4 der TL Bitumen	1	IA	1	IA	1	IA

*) - siehe Abschnitt 5.2 der TL Bitumen

NR = No Requirements = Keine Anforderungen

IA = Ist anzugeben

B3.4 Hartbitumen/Hochvakuumbitumen und Oxidationsbitumen

Für Hartbitumen (auch: Hochvakuumbitumen) sowie Oxidationsbitumen wurden nur teilweise Festlegungen in technischen Regelwerken getroffen. Für harte Straßenbaubitumen gilt die DIN EN 13924-1, deren Spezifikationen in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst sind. Weitere Kenn- daten für Hart- und Oxidationsbitumen für den Industriebereich finden sich in den darauffolgenden Tabellen.

Tabelle B7: Spezifikationen für harte Straßenbaubitumen [DIN EN 13924-1, Tabelle 1]

Eigenschaften	Prüfverfahren	Einheit	Klassen		
			2	3	4
Penetration bei 25 °C	EN 1426	0,1 mm	15 bis 25 ^c	10 bis 20	5 bis 15
Erweichungspunkt ^b	EN 1427	°C	55 bis 71 ^{b,c}	58 bis 78 ^b	60 bis 76 ^b
Beständigkeit gegen Verhärtung	Änderung der Masse ^d	EN 12607-1	%	≤ 0,5	–
	Verbleibende Penetration		%	≥ 55	–
	Anstieg des Erweichungspunktes		°C	≤ 8	≤ 10
Flammpunkt	EN ISO 2592	°C	≥ 235	≥ 245	–
Löslichkeit	EN 12592	% (Massenanteil)	≥ 99,0	–	–

a Die Sorten werden mit dem Nennpenetrationsbereich bei 25 °C bezeichnet.

b WICHTIG - Vom Lieferanten muss um einen Mittelwert herum ein begrenzter Bereich des Erweichungspunktes von ± 5 °C angegeben werden; der Gesamtbereich muss innerhalb des in der Tabelle angegebenen Bereiches liegen.

c Bei der Auswahl von Klassenkombinationen ist vorgesehen, dass mit „c“ gekennzeichnete Werte, falls ausgewählt, nur mit der weicheren Sorte, Penetration 15/25, angewendet werden dürfen.

d Die Massenänderung kann positiv oder negativ sein.

Tabelle B8: Typische Kenndaten für Hartbitumen - Industrieanwendungen [Asphalt Taschenkalender]

Eigenschaften	Einheit	Hartbitumensorten nach DIN EN 13303 (Bezeichnung erfolgt über den Erweichungspunkt)						Prüfung nach DIN EN-
		H 80/90	H 90/100 Standard	H 90/100 Spezial	H 100/110	H 110/120 H 120/130	H 150/160 H 160/170	
Erweichungspunkt R. u. K.	°C							1427
Nadelpenetration (100 g, 5 s, 25 °C)	0,1 mm	4 – 7	4 – 7	0 – 4	0 – 4	0 – 4	0 – 1	1426
Flammpunkt COC mindestens	°C	250	250	250	250	250	250	ISO 2592
Dynamische Viskosität bei 180 °C	mPas	900	1500	< 600	2500	3500	5000	13302

Tabelle B9: Typische Kenndaten für Oxidationsbitumen - Industrieanwendungen [Asphalt Taschenkalender]

Eigenschaften	Einheit	Oxidationsbitumensorten nach DIN EN 13304 (Bezeichnung erfolgt über den Erweichungspunkt/Nadelpenetration)						Prüfung nach DIN EN-
		85/25 85/40	95/30 95/35 95/40	100/25 100/35 100/40	105/15 115/15 120/15	110/30	135/10	
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	80 – 90	90 – 100	95 – 105	100 – 125	105 – 115	130 – 140	1427
Nadelpenetration - (100 g, 5 s, 25 °C)	0,1 mm	20 – 30 35 – 45	25 – 35 30 – 40 35 – 45	20 – 30 30 – 40 35 – 45	10 – 20	25 – 35	5 – 15	1426
Brechpunkt nach Fraaß - höchstens	°C	– 10 – 20	– 15 – 20 – 20	– 18 – 20 – 20	– 8	– 20	– 5	12593
Duktilität bei 25 °C - mindestens	cm	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	DIN 52013
Flammpunkt COC - mindestens	°C	250	250	250	250	250	250	22592
Dynamische Viskosität bei 180 °C	mPas	700	1500	2500	4000	4000	8000	13302

B3.5 Bitumenemulsionen

Bitumenemulsionen für den Straßenbau werden anhand der „Technischen Lieferbedingungen für Bitumenemulsionen“ klassifiziert. Allerdings werden hier ausschließlich kationische Emulsionen gelistet. Die in der folgenden Tabelle aufgeführten Anforderungen beziehen sich beispielhaft auf Produkte zur Verbesserung des Schichtenverbundes von Asphalttschichten. Die TL führen darüber hinaus noch Emulsionen für Versiegelungen, Dünne Asphaltdeckschichten in Kaltbauweise (DSK) und Oberflächenbehandlungen (OB) auf.

Tab. B10: Anforderungen an Bitumenemulsionen zur Herstellung des Schichtenverbundes [TL BE-StB, Tab. 2]

Merkmal	DIN EN	Einheit	C60BP4-S		C40B5-S		C60B4-S		
			Kl.	Anforderung	Kl.	Anforderung	Kl.	Anforderung	
Bestimmungen an der Bitumenemulsion									
Brechverhalten: Brechwert (Forshammer Füller*)	13075-1	keine	4	110 bis 195	5	> 170	4	110 bis 195	
Eindringfähigkeit	12849	min	0	KA	1	0S	0	KA	
Bindemittelgehalt	1428	M.-%	6	58 bis 62	3	38 bis 42	6	58 bis 62	
Ausflusszeit, 2 mm bei 40 °C*)	12846-1	s	3	15 bis 70	2	≤ 20	3	15 bis 70	
Siebrückstand 0,5-mm-Sieb	1429	M.-%	4	≤ 0,5	4	≤ 0,5	4	≤ 0,5	
Siebrückstand nach 7 Tagen 0,5-mm-Sieb			4	≤ 0,5	4	≤ 0,5	4	≤ 0,5	
Haftverhalten mit Referenzgesteinskörnung*)	13614	%	3	≥ 90	2	≥ 75	2	≥ 75	
Bestimmungen am rückgewonnenen Bindemittel (Rückgewinnung nach DIN EN 13074-1)									
Penetration bei 25 °C*)	1426	0,1 mm	3	≤ 100	5	≤ 220	5	≤ 220	
Erweichungspunkt Ring und Kugel*)	1427	°C	4	≥ 50	8	≥ 35	8	≥ 35	
Kohäsion (nur Typ BP)									
Kraftduktilität*)	13589, 13703	J/ cm ²	4	≥ 1 (bei 5 °C)		–		–	
Brechpunkt nach Fraaß	12593	°C	5	– 10		–		–	
elastische Rückstellung bei 10 °C	13398	%	3	≥ 50		–		–	
Bestimmungen am rückgewonnenen und stabilisierten Bindemittel (Bindemittelstabilisierung nach DIN EN 13074-2)									
Penetration bei 25 °C*)	1426	0,1 mm	1	DS	1	DS	1	DS	
Erweichungspunkt Ring und Kugel*)	1427	°C	1	DS	1	DS	1	DS	
Kohäsion (nur Typ BP)									
Kraftduktilität*)	13589, 13703	J/ cm ²	1	DS		–		–	
elastische Rückstellung bei 10 °C	13398	%	1	DS		–		–	

*) wesentliche Merkmale nach DIN EN 13808

B4. Prüfungen und Prüfverfahren für Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel

B4.1 Feststellung der äußeren Beschaffenheit nach EN 1425

Diese Prüfung setzt sehr stark auf den Menschen mit seinen Sinnen. Oft lassen sich Dinge per Auge oder Nase wahrnehmen, die für die weiteren Untersuchungen und die Beurteilung von bituminösen Bindemitteln von Bedeutung sein können.

Grundsätzlich wird die Untersuchung der äußeren Beschaffenheit an einer Probe in ihrem Behälter (meistens Eimer oder ähnliches Gefäß) durchgeführt. Probemasse, Verpackung und Beschriftung sowie eventuelle Beschädigungen von Probe und Probengefäß sind festzuhalten.

Anschließend sind - bei Raumtemperatur - zu untersuchen und zu protokollieren:

- Aussehen der Oberfläche des Bindemittels (z.B. glänzend, matt, Farbe)
- Vorhandensein von Fremdstoffen (z.B. freies Wasser, Staub, Rost)
- Konsistenz (z.B. flüssig oder fest)

- bei flüssigen Bindemitteln: die Homogenität bei vorsichtigem Rühren mit dem Glasstab; festzuhalten ist das mögliche Vorhandensein von Klumpen, Agglomeraten (Gesteinsmassen aus Lavabrocken bzw. zusammenschmolzene, feinkörnige Erze), Sedimenten usw.
- Geruch (üblicher Bitumengeruch oder ein anderer typischer Geruch z.B. von Teer, Lösemitteln usw.)

Der abschließende Prüfbericht muss mindestens die folgenden Informationen enthalten, was analog für alle im folgenden dargestellten Prüfungen gilt:

- Typ und vollständige Kennzeichnung des geprüften Produktes
- Hinweis auf die zugrundeliegende Prüfnorm (hier: EN 1425); Prüfungsdetails
- die Ergebnisse der Untersuchungen (siehe oben!)
- eine Angabe möglicher Abweichungen von der vorgegebenen Durchführung der Untersuchungen
- Datum der Prüfung

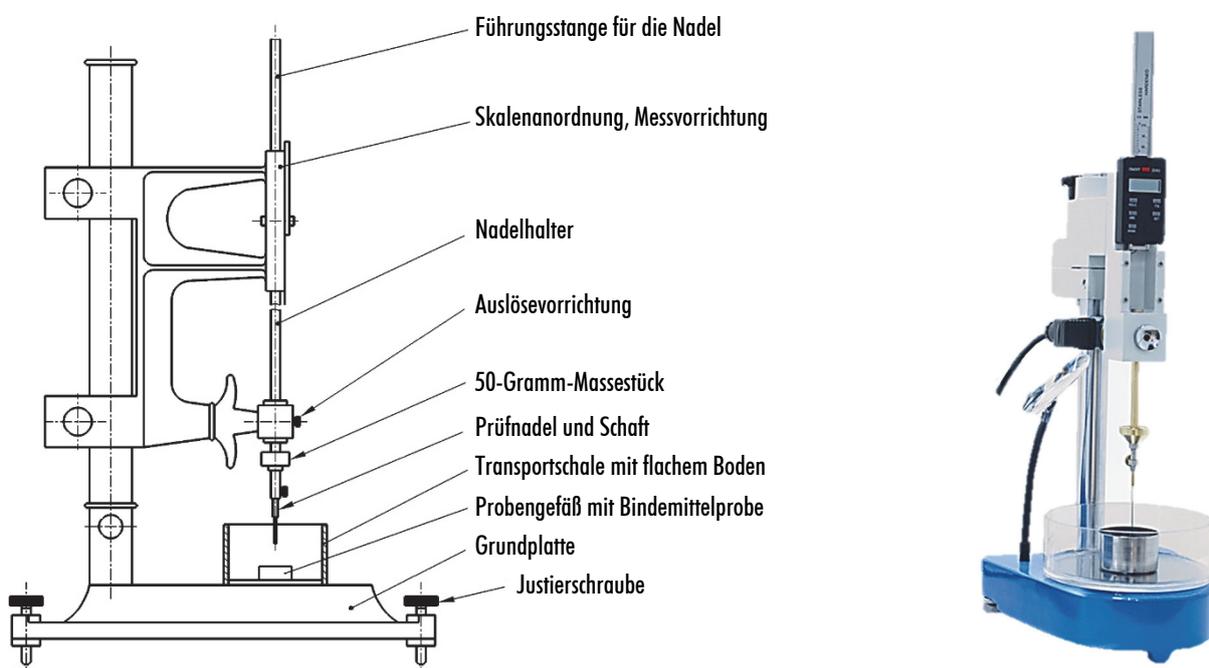
**Labor-
demo!**

B4.2 Bestimmung der Nadelpenetration nach EN 1426

Mit Hilfe der Penetration (Eindringung) einer Nadel in eine Bindemittelprobe wird eine Messgröße für die Konsistenz eines Bindemittels bestimmt. Oder genauer, der Norm entsprechend: „Penetration = Konsistenz, ausgedrückt als Wegstrecke in Zehntel-Millimeter, die eine genormte Nadel unter festgelegten Bedingungen von Temperatur, Last und Belastungsdauer senkrecht in einer Probe des zu untersuchenden Materials zurücklegt.“

Die Nadelpenetration wird mit Hilfe eines sog. Penetrometers bestimmt. Dabei dringt eine genormte Nadel in die temperierte Analysenprobe ein. Für Penetrationen bis höchstens $330 \cdot 0,1$ mm (z.B. für alle „normalen“ Straßenbaubitumen) gelten die folgenden Prüfparameter: 25 °C Temperatur, 100 g Belastung der Nadel, 5 Sekunden Belastungsdauer. Werden höhere Penetrationen als $330 \cdot 0,1$ mm erwartet, muss die Temperatur auf 15 °C gesenkt werden, während alle anderen Prüfparameter unverändert bleiben.

Bild B8: Beispiel für Penetrometer [bearbeitete Quellen: DIN EN 1426, Bild 1; www.hightrendte.com]



Nachdem das Probengefäß mit dem darin eingefüllten Bindemittel im Temperierungsbad des Penetrometers positioniert wurde, wird die Nadel zunächst langsam exakt auf die Probenoberfläche herabgesenkt; anschließend erfolgt die eigentliche Messung. Mindestens 3 Messungen mit drei verschiedenen Penetrationsnadeln innerhalb von 2 Minuten sind erforderlich. Ob weitere Bestimmungen notwendig sind, hängt von der größten Abweichung zwischen höchstem und niedrigstem Wert (in deutschen Vorschriften auch „Spannweite“ genannt) ab. Hierfür sind die in der folgenden Tabelle aufgeführten Werte zu beachten.

Tabelle B11: Zulässige Abweichung der einzelnen Nadelpenetrationsbestimmungen [EN 1426]

Penetration [0,1 mm]	bis 49	50 bis 149	150 bis 249	250 und darüber
Größte Abweichung zwischen der höchsten und niedrigsten Bestimmung	2	4	6	8

Das Ergebnis der Prüfung zur Bestimmung der Nadelpenetration ist der arithmetische Mittelwert der annehmbaren Bestimmungen (Einhaltung der zulässigen Abweichung!), gerundet auf die nächste ganze Zahl und angegeben in Zehntel-Millimeter.

Weitere Hinweise zur statistischen Auswertung (siehe auch Kapitel D!) sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Tab. B12: Präzision für die Bestimmung der Nadelpenetration [DIN EN 1426, Tabelle 3]

Prüfbedingungen	Penetration [0,1 mm]	Wiederholpräzision r	Vergleichpräzision R
25 °C Prüftemperatur 100 g Nadelgewicht 5 Sekunden Prüfdauer	< 50	2	3
	≥ 50	4 % des Mittelwertes	6 % des Mittelwertes
15 °C Prüftemperatur 100 g Nadelgewicht 5 Sekunden Prüfdauer	≥ 50	5 % des Mittelwertes	8 % des Mittelwertes
	< 50	2	4
5 °C Prüftemperatur 200 g Nadelgewicht 60 Sekunden Prüfdauer	≥ 50	9 % des Mittelwertes	13 % des Mittelwertes



B4.3 Bestimmung des Erweichungspunktes - Ring- und Kugel-Verfahren - nach DIN EN 1427

Mit dem Erweichungspunkt (früher: Erweichungspunkt Ring und Kugel) wird die Temperatur bestimmt, bei der ein Bitumen bzw. ein bitumenhaltiges Bindemittel eine bestimmte Konsistenz erreicht.

Dabei gilt nach Norm das folgende Untersuchungsprinzip: „Zwei in geschulterte Ringe aus Kupfer-Zink-Legierung gegossene Bitumenschichten sind mit kontrollierter Temperaturänderung in einem Flüssigkeitsbad zu erwärmen, wobei jede Schicht eine Stahlkugel trägt. Der Erweichungspunkt ist als Mittelwert der Temperaturen anzugeben, bei denen die beiden Bitumenschichten so weit erweicht sind, dass die vom bitumenhaltigen Bindemittel eingeschlossenen Kugeln die Messstrecke von $(25,0 \pm 0,4)$ mm zurückgelegt haben.“

Je nach (zu erwartender) Bitumenhärte sind für die Untersuchung verschiedene Badflüssigkeiten (destilliertes Wasser, Glycerol) auszuwählen. Für zu erwartende Erweichungspunkte zwischen 28 °C und 80 °C ist frisch abgekochtes, abgekühltes, destilliertes oder entmineralisiertes Wasser (5.2.1) einzusetzen. Werden Erweichungspunkte über 80 °C und bis zu 150 °C erwartet, kommt Glycerol zum Einsatz.

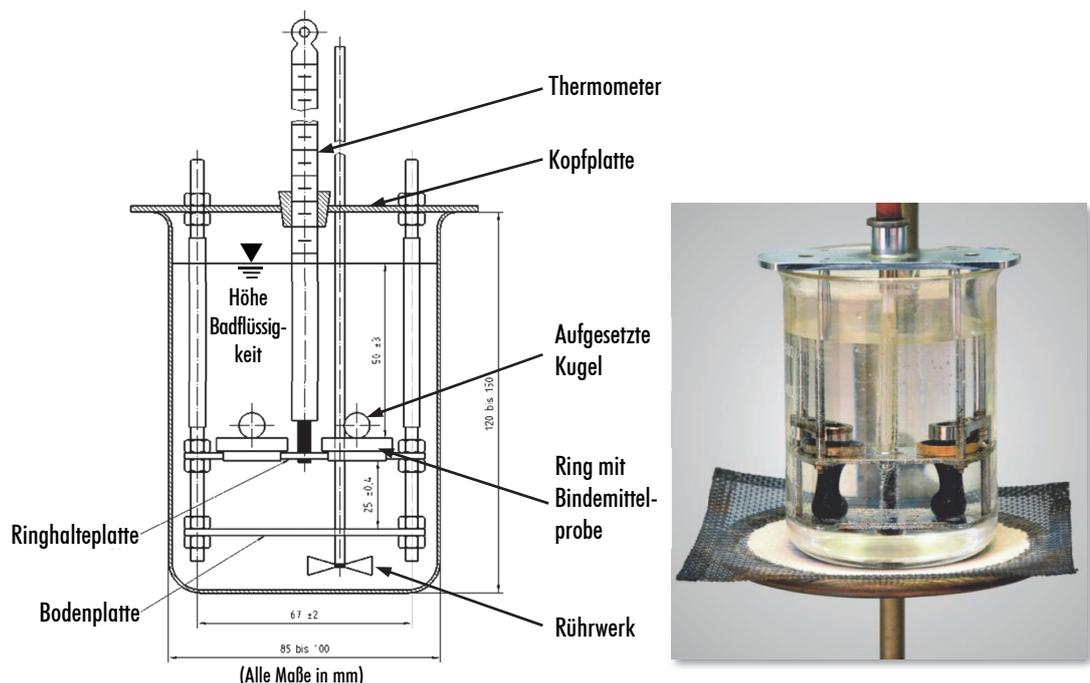
Das Untersuchungsbad wird zunächst auf die jeweilige Anfangstemperatur gebracht: Bei Verwendung von Wasser beträgt diese 5 °C ± 1 °C, bei Glycerol 30 °C ± 1 °C. Die eingesetzten, in die Ringe eingefüllten Bitumenproben müssen mindestens 15 min bei dieser Anfangstemperatur lagern, dürfen aber maximal 20 Minuten in der Badflüssigkeit verbleiben. Anschließend wird die Badflüssigkeit durch Erwärmen und Rühren so behandelt, dass die Untersuchungstemperatur gleichmäßig um 5 °C/min (4,4 bis 5,6 °C) ansteigt. Für jeden Ring und jede Kugel ist die vom Thermometer angezeigte Temperatur in dem Augenblick maßgebend, in dem das die Kugel umgebende Bitumen die Bodenplatte der Versuchseinrichtung berührt (siehe auch Skizze!).

Die Prüfung muss wiederholt werden, wenn die in der folgenden Tabelle aufgeführten Wiederholpräzision zwischen den beiden Einzelwerten überschritten werden.

Tabelle B13: Präzision für den Erweichungspunkt [DIN EN 1427, Tabelle 1]

Badflüssigkeit	Bitumenart	Wiederholpräzision, r [°C]	Vergleichpräzision, R [°C]
Wasser	nichtmodifiziert	1,0	2,0
Wasser	polymermodifiziert	1,5	3,5
Glycerol	oxidiert	1,5	5,5

Bild B9: Erweichungspunkt: Gestellaufbau im Becherglas (links) und abgeschlossener Versuch (rechts) [bearbeitete Quellen DIN EN 1427, Bild 5 - Vialit Asphalt]



Das Ergebnis zur Bestimmung des Erweichungspunktes ist der Mittelwert der beiden während des Versuches bestimmten Einzelwerte, soweit die zulässigen Abweichungen eingehalten wurden.

Bei Erweichungspunkten bis 80 °C ist das Ergebnis auf 0,2 °C genau anzugeben. Erweichungspunkte über 80 °C erfordern eine Ergebnisangabe auf 0,5 °C genau.

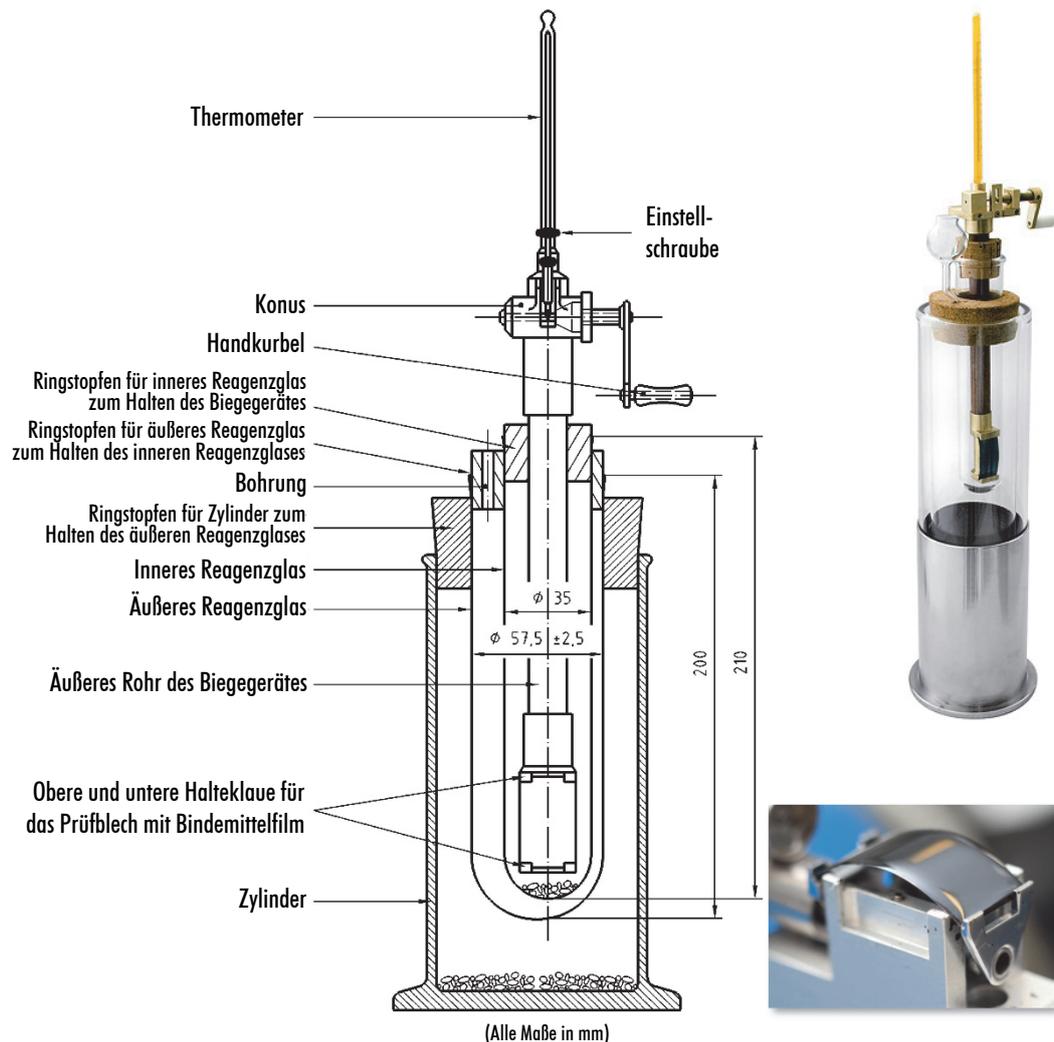


B4.4 Bestimmung des Brechpunktes nach Fraaß nach DIN EN 12593

Der sog. Brechpunkt nach Fraaß ist durch die Temperatur definiert, bei der ein bitumenhaltiger Bindemittelfilm vorgeschriebener Dicke unter ganz bestimmten Belastungsbedingungen reißt.

Das Prinzip der Versuchsdurchführung wird nach Norm wie folgt beschrieben: „Eine Probe eines bitumenhaltigen Bindemittels wird in gleichmäßiger Dicke auf ein Metallblech aufgebracht. Dieses Blech wird mit konstanter Geschwindigkeit abgekühlt und wiederholten Biegungen bis zum Bruch der Bindemittelschicht unterworfen; die Temperatur, bei welcher der erste Riss auftritt, wird als Brechpunkt nach Fraaß angegeben.“

Bild B10: Brechpunktgerät nach Fraaß (links und rechts oben) gebogener Bindemittelfilm auf Prüfblech (rechts unten) [be. Quellen: DIN EN 12593, Bild 3 - Crea Petrochemical - ARBIT]



Zur Versuchsdurchführung wird das sog. Brechpunktgerät nach Fraaß (siehe vorhergehende Seite!) eingesetzt, mit dessen Hilfe die notwendigen Verformungen des Metallbleches mit dem aufgeschmolzenen Bindemittelfilm aufgebracht werden können. Die notwendige gleichmäßige Abkühlung (1 °C/min) wird durch den Einsatz von 99%-igem Alkohol verwendet (Äthanol) gewährleistet. Der Versuch muss bei einer Temperatur von mindestens 15 °C über dem erwarteten Brechpunkt beginnen.

Mit dem Durchbiegen des Prüfbleches soll bei einer Temperatur von (10 ± 2) °C oberhalb des erwarteten Brechpunktes begonnen werden. Innerhalb einer Minute muss die periodische Biegebeanspruchung durch Drehen der Handkurbel (1 Drehung pro Sekunde) aufgebracht (11 Drehungen = 11 Sekunden) und - ohne Unterbrechung - wieder zurückgenommen (11 Drehungen = 11 Sekunden) werden. Während der dann noch verbleibenden (38 ± 5) Sekunden bleibt das Biegegerät in Anfangsstellung. Wird der erste Riss im Bitumenfilm beobachtet, wird die entsprechende Temperatur festgehalten.

Die Abfolge der Einzelbestimmungen und deren Gültigkeiten kann der folgenden Aufstellung entnommen werden.

Tabelle B14: Abfolge und zulässige Abweichungen der Einzelbestimmungen für den Brechpunkt nach Fraaß [nach DIN EN12593, Bild 7]

Anzahl ermittelter Einzelwerte	Zulässige Abweichungen der Einzelwerte	Abweichung eingehalten	Abweichung überschritten
Zunächst Festlegung des erwarteten/geschätzten Werts T_j			
1 (T_0)	$ T_0 - T_1 \leq 2$ °C	Wiederholung der Bestimmung zum Erhalt von T_1	Durchführung von zwei neuen Bestimmungen und Erhalt von T_2 und T_3
1 (T_1)	$ T_0 - T_1 \leq 3$ °C	T_0 und T_1 sind gültig \Rightarrow Mittelwert = Ergebnis Prüfung abgeschlossen	weitere zwei Einzelbestimmungen (T_2, T_3) erforderlich
2 (T_2, T_3)	$ T_2 - T_3 \leq 3$ °C	T_2 und T_3 sind gültig \Rightarrow Mittelwert = Ergebnis Prüfung abgeschlossen	weitere zwei Einzelbestimmungen (T_4, T_5) erforderlich
2 (T_4, T_5)	$ T_4 - T_5 \leq 3$ °C	T_4 und T_5 sind gültig \Rightarrow Mittelwert = Ergebnis Prüfung abgeschlossen	Angabe von Durchschnittswerten und Streuung der Bestimmungen T_0, T_1, T_4, T_5 oder T_2, T_3, T_4, T_5

Der Brechpunkt nach Fraaß in °C ist der Wert, der sich aus dem Mittelwert von zwei (oder vier) gültigen Einzelbestimmungen ergibt und auf die nächstliegende gerade Zahl aufgerundet wurde.

Weitere Hinweise zur statistischen Auswertung enthält die folgenden Tabelle.

Tabelle B15: Präzision für die Bestimmung des Brechpunktes nach Fraaß [DIN EN 12593, Tabelle 1]

	Wiederholpräzision, r [°C]	Vergleichpräzision, R [°C]
Brechpunkt nach Fraaß	3	6

B4.5 Bestimmung der Löslichkeit nach EN 12592

Die Löslichkeit eines Bitumens oder bitumenhaltigen Bindemittels ist der Anteil des Bindemittels, der in einem bestimmten Lösemittel löslich ist.

Eine Probe eines bitumenhaltigen Bindemittels wird in einem Lösemittel (Toluol, Xylol) gelöst und in einem Filtertiegel durch eine Glaspulverschicht filtriert. Die dabei im Filter zurückbleibende unlösliche Substanz wird gewaschen, getrocknet und gewogen.

Als Ergebnisse werden entweder der Massenanteil der unlöslichen Bestandteile (x_i) oder der Massenanteil der im Lösemittel löslichen Bestandteile (x_s) in Prozent berechnet:

$$x_i = \frac{m_A}{m_B} \cdot 100 \quad x_s = 100 - \left[\left(\frac{m_A}{m_B} \right) \cdot 100 \right] \quad \text{mit: } \begin{cases} m_A: \text{Gesamtmasse der unlöslichen Bestandteile [g]} \\ m_B: \text{Gesamtmasse der trockenen Probe [g]} \end{cases}$$

Das Ergebnis der Untersuchungen wird als Löslichkeit bezeichnet; sie setzt sich aus dem Mittel zweier Einzelbestimmungen des Massenanteils der löslichen Bestandteile x_s zusammen. Die Angabe der Löslichkeit erfolgt auf 0,05 % genau.

B4.6 Beständigkeit gegen Verhärtung nach EN 12 607, Teile 1, 2 und 3

Zur Untersuchung der Beständigkeit eines Bitumens/eines bitumenhaltigen Bindemittels bietet der Katalog der Normung drei Verfahren an:

B4.6.1 Das RTFOT-Verfahren („Rolling Thin Film Oven Test“), DIN EN 12607-1

Ein sich drehender Bindemittelfilm wird in einem Ofen eine festgelegte Zeit unter konstantem Luftstrom auf eine festgelegte Temperatur erhitzt. Die Auswirkungen von Hitze und Luft werden anhand von Masseänderung (Gewicht vorher/nachher) und der Veränderung der Bindemittleigenschaften (Erweichungspunkt, Penetration) bestimmt, die vor und nach der Erhitzung gemessen werden.

B4.6.2 Das TFOT-Verfahren („Thin Film Oven Test“), DIN EN 12607-2

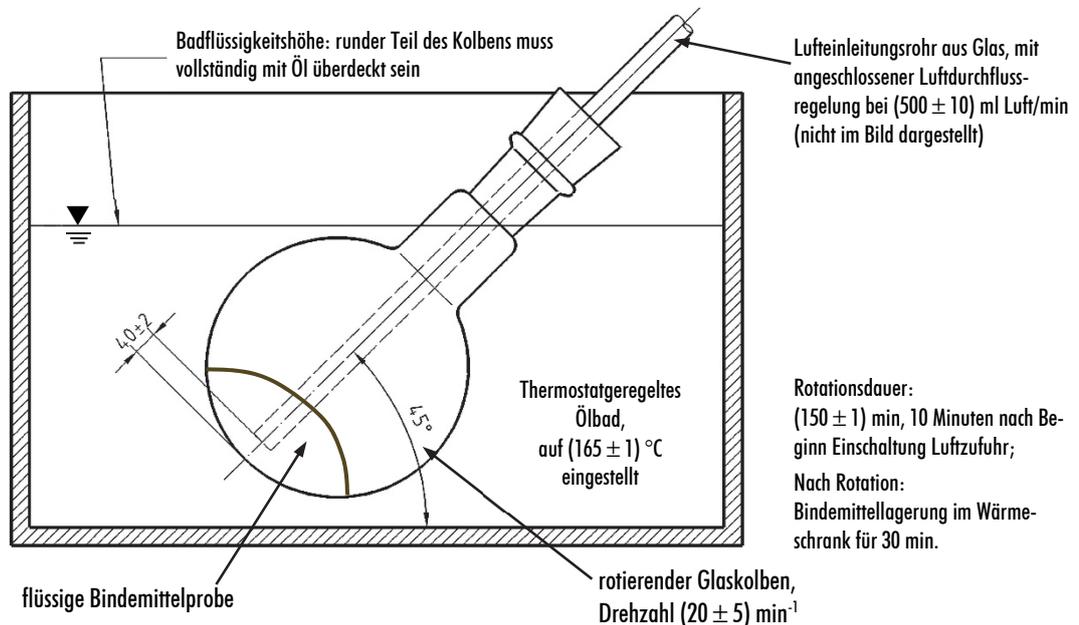
Ein dünner Bindemittelfilm wird in einer Wärmekammer eine festgesetzte Zeit auf eine bestimmte Temperatur erwärmt. Die Wirkungen von Hitze und Luft auf das Bindemittel werden analog zum RTFOT-Verfahren bestimmt.

B4.6.3 Das RFT-Verfahren („Rotating Flask test“), DIN EN 12607-3

Beim RFT-Verfahren wird eine flüssige, sich bewegende Bindemittelprobe in einem vorgegebenen Zeitraum bei festgelegter Temperatur in einem rotierenden Glaskolben eines Rotationsverdampfers erwärmt. Mit der ständigen Rotation wird bewirkt, dass das Probematerial an der Oberfläche ständig ausgetauscht und damit eine Hautbildung verhindert wird.

Die Auswirkungen von Hitze und Luft lassen sich anhand von Masseänderung (Gewicht vorher/nachher) und der Veränderung der Bindemittleigenschaften (Erweichungspunkt, Penetration) bestimmen, die vor und nach der Erhärtung des Bindemittels im Kolben gemessen werden. Wichtige Prüfungsdetails sind der folgenden Skizze zu entnehmen.

Bild B11: Versuchsanordnung RFT-Verfahren [bearbeitete Quelle: DIN 12607-3, Bild 1]



Nach Hitze- und Luftbeanspruchung im Rotationsverdampfer sowie der Lagerung der Probe (mit Kolben) im Wärmeschrank wird die Probe im Exsikkator abgekühlt und anschließend gewogen. Aus dem Eingangsgewicht und dem Gewicht nach thermischer Beanspruchung lässt sich die Masseänderung berechnen:

$$\text{Masseänderung [g]} = \frac{m_A - m_E}{m_E} \cdot 100 \quad (- = \text{Masseverlust}; + = \text{Massezunahme})$$

mit m_E : Masse der Probe vor der Verhärtung [g] m_A : Masse der Probe nach der Verhärtung [g]

Nach der Messung wird die Bindemittelprobe im Kolben auf eine Temperatur von 80 bis 90 °C oberhalb des erwarteten Erweichungspunktes vorsichtig erhitzt und anschließend in die entsprechenden Formen und Gefäße für die Untersuchung der Bindemittleigenschaften (Penetration, Erweichungspunkt) gegossen.

Nach erneuter Durchführung der Untersuchungen zur Bestimmung der Penetration und des Erweichungspunktes (siehe auch: Ausführungen weiter vorne!) ergeben sich die folgenden Kenndaten:

$$\text{Verbleibende Penetration bei } 25 \text{ °C} = 100 \cdot \frac{P_2}{P_1} [\%] \quad \text{mit: } \begin{cases} P_1: \text{Pen}_{25} \text{ vor Verhärtung [0,1 mm]} \\ P_2: \text{Pen}_{25} \text{ nach Verhärtung [0,1 mm]} \end{cases}$$

$$\text{Erhöhung des Erweichungspunktes Ring und Kugel} = T_2 - T_1 [\text{°C}] \quad \text{mit: } \begin{cases} T_1: \text{EP}_{\text{RUK}} \text{ vor Verhärtung [°C]} \\ T_2: \text{EP}_{\text{RUK}} \text{ nach Verhärtung [°C]} \end{cases}$$

Das Ergebnis der Masseänderung ist auf 0,01 % genau anzugeben. Für alle anderen Ergebnisse und die Bewertung dieser Werte gelten die jeweiligen Vorschriften!

Als weiterer Anhalt für die statistische Bewertung dienen die in der folgenden Tabelle aufgeführten Grenzwerte.

Tabelle B16: Präzision für das RFT-Verfahren [DIN 12607-3, Tabelle 1]

Eigenschaft	Wiederholpräzision r	Vergleichpräzision R
Masseänderung [% absolut] (> 0,30 % und < 0,80 %)	0,15	0,20
verbleibende Penetration bei 25 °C [% absolut]	7	10
Erhöhung des Erweichungspunktes, Ring- und Kugel-Verfahren		
Werte < 6,5 °C	1,5	2,0
Werte ≥ 6,5 °C	3,0	4,0
Verhältnis der dynamischen Viskositäten bei 60 °C [% des Mittelwerts]	10	20

Diese Präzisionswerte sind bei anderen Bedingungen und auf modifizierte Bitumen und Industriebitumen nicht automatisch anwendbar. Für modifizierte Bitumen sollten sie so lange, wie keine Angaben zu den einzuhaltenden Kriterien vorliegen, nur als Richtwerte angesehen werden.

Zusammenfassend lässt sich das hier beschriebene Verfahren als „Kurzalterungsprüfung“ umschreiben. Wie in den Anforderungen der EN 12 591 ablesbar ist, dürfen sich die Qualitätsmerkmale eines Bitumens (Pen_{25} , EP_{RUK}) auch nach dieser Prüfung nicht wesentlich verändern.

B4.6 Weitere Prüfungen in der Kurzübersicht

Der **Paraffinanteil** in Bitumen ist deswegen von Bedeutung, da ein größerer Paraffingehalt die Bitumeneigenschaften verschlechtert. Nach EN 12 606, Teil 1 wird dieser Anteil durch ein spezielles Destillationsverfahren bestimmt. Mehr als 2,2 M.-% (Massenprozent) gelten nach EN 12 591 deswegen als ungünstig, da bei Kälte Auskristallisationen eintreten können und ein größerer Paraffinanteil dann zur Versprödung des Bindemittels führen könnte.

Als **Flammpunkt** wird diejenige Temperatur bezeichnet, bei der die über der erhitzten Probe befindlichen Dämpfe nach Zündung verpuffen, ohne dass sich dabei das Bindemittel selbst entzündet. Das zur Bestimmung des Flammpunktes notwendige Untersuchungsverfahren ist in der EN 22592 beschrieben. Je nach Bitumenhärte liegen die Flammpunkte etwa 210 bis 310 °C über der Verarbeitungstemperatur.

Der **Aschegehalt** liefert eine Aussage über die Reinheit des Bitumens. Der Anteil feinsten anorganischer Bestandteile trägt zur Verunreinigung von Bitumen bei und wird deswegen durch Veraschen einer Bitumenprobe ermittelt.

Weitere Kenngrößen sind die u.a. **Säurezahl**, ein Maß für die Neutralisation von Bitumen durch Kalilauge KOH [mg/g Bitumen), und die **Verseifungszahl**, ein Wert für die Kalilaugenmenge, die, bezogen auf ein Gramm Bitumen, notwendig ist, um die enthaltenen Säuren völlig zu verseifen.

Der sog. **Siebrückstand** bezieht sich vor allem auf die Prüfung von Bitumenemulsionen nach EN 1429. Hiermit wird der Anteil an Stoffen im Bindemittel bestimmt, die größer als 0,500 mm ($R_{0,500}$) und/oder größer als 0,160 mm ($R_{0,160}$) sind. Da derartige grobe Teilchen die Reinheit und Verarbeitbarkeit eines Bindemittels negativ beeinflussen können, ist der zulässige Siebrückstand sehr gering.

Über die Prüfung des Siebrückstandes nach längerer Lagerungszeit lässt sich darüber hinaus auch die **Lagerbeständigkeit** testen. Hiermit wird die Eigenschaft einer Emulsion umschrieben, innerhalb eines festgesetzten Zeitabschnittes nicht mehr grobe Teilchen (z.B. durch vorzeitiges Zusammenfließen von Bitumenteilchen) zu bilden als in den Anforderungen für Bitumenemulsionen festgelegt ist.

Bei der Untersuchung der **Wassereinwirkung auf Bindemittelüberzüge** wird ein Mineralstoffgemisch (ausgesiebte, gewaschene Gesteinsstoffe) mit dem zu prüfenden Bindemittel gemischt. Nach anschließender, längerer Wasserlagerung der Probe wird geprüft, ob der Bindemittelüberzug die Mineralstoffe vollständig bedeckt.

Mit Hilfe von **Siedeanalysen** in verschiedenen Temperaturstufen lassen sich die verschiedenen Bestandteile eines Bindemittels aus einer Probe „herausfiltern“ und mengenmäßig erfassen.

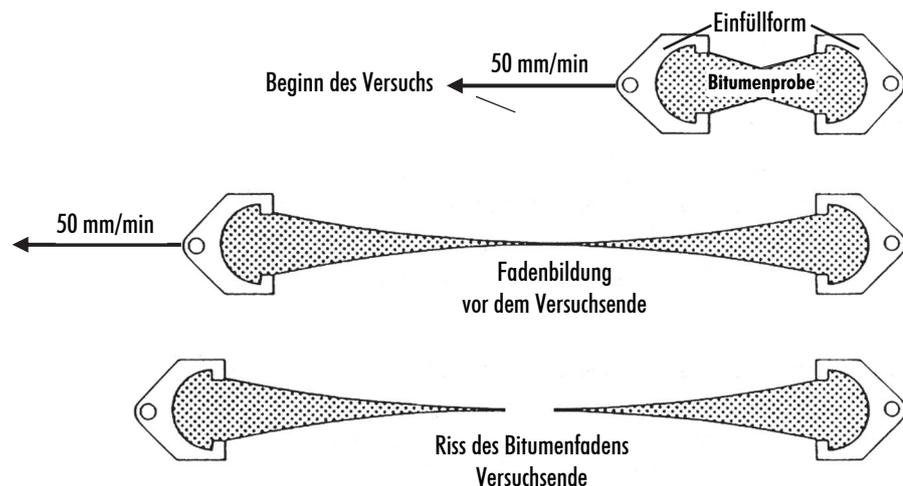
B5. Rheologische Prüfungen

B5.1 Bestimmung der Duktilität nach DIN 52 013

Eine versuchsgemäße Annäherung an das plastische Verhalten von Bitumen ist durch die Bestimmung der Duktilität oder **Streckbarkeit** gegeben. Sie ist ein Maß für das „Fadenziehvermögen“ des Bitumens.

Im Versuchsverlauf wird ein vorher präparierter Probekörper aus Bitumen unter konstanter Ziehgeschwindigkeit von 50 mm/min im Temperierbad (z.B. bei 7, 13 oder 25 °C, je nach Anforderung) auseinandergezogen, bis der dabei entstehende Faden reißt. Die dabei erzwungene Verlängerung des Probekörpers wird in cm gemessen und als Duktilität bezeichnet. Das Prinzip der Versuchsdurchführung mit einem Duktilometer kann aus der folgenden Skizze abgelesen werden.

Bild B12: Bestimmung der Duktilität (Prinzipskizze)



Insgesamt werden zwei Probeteile einer Bitumenprobe untersucht. Als Ergebnis wird der Mittelwert der Einzelbestimmungen auf 1 cm gerundet angegeben. Dabei sind die in den folgenden Tabellen angegebenen Abweichungen und Ergebnisangaben zu beachten.

Die Einzelwerte sind zulässig, wenn bei Mittelwerten von bis zu 50 mm maximal 20 mm voneinander abweichen. Bei Mittelwerten über 50 mm dürfen sie 40 % des Mittelwertes nicht überschreiten.

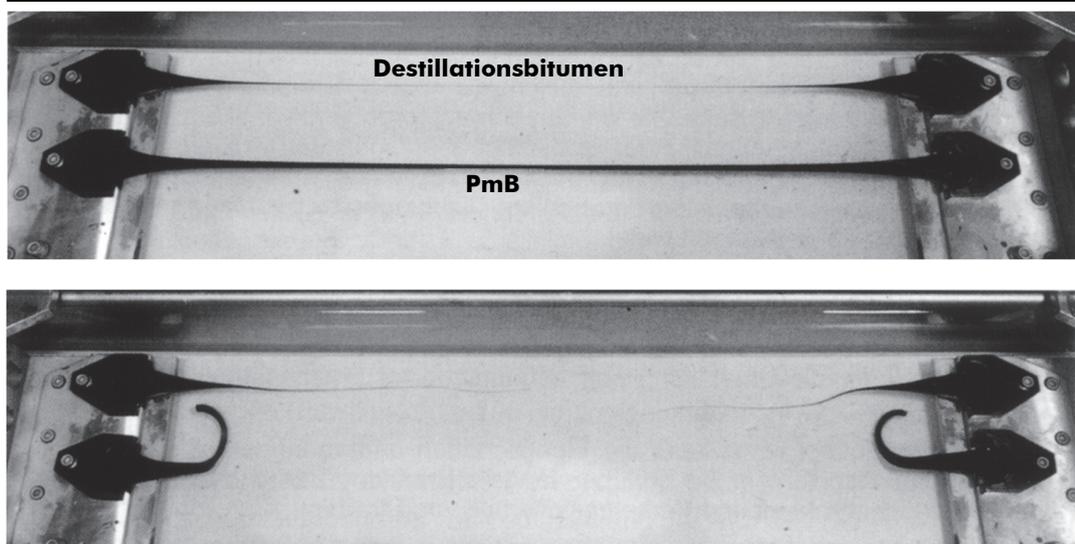
Labor-
demo !

B5.2 Elastische Rückstellung

In Ergänzung des oben erläuterten Verfahrens zur Bestimmung der Duktilität kann für polymermodifizierte Bitumen (PmB) mit der gleichen Versuchsanordnung die sog. elastische Rückstellung ermittelt werden.

Dabei wird einer besonderen Eigenschaft eines PmB, sich nämlich nach Zugbelastungen zurück zu formen, Rechnung getragen. Um diese Fähigkeit auch quantitativ bestimmen zu können, werden zwei Probeteile der PmB-Probe bei 25 °C im Duktilometer bis auf 20 cm Länge gestreckt; dann wird der Vorschub ausgestellt. Die Fäden beider Probeteile werden anschließend in der Mitte mit einer Schere durchgeschnitten. Nach 30 Minuten erfolgt die Messung des Abstandes zwischen den Fadenenden. Angegeben wird die elastische Rückstellung in %, bezogen auf die ursprüngliche Fadenlänge von 20 cm.

Bild B13: Vergleich Destillationsbitumen und PmB im Duktilometer [Shell Bitumen]



B6. Viskosität

B6.1 Grundlagen

Die Viskosität eines Bitumens/bitumenhaltigen Bindemittels spielt für die Temperaturbereiche eine Rolle, in denen das Bindemittel in flüssiger Form vorliegt. Doch flüssig ist nicht gleich flüssig. Je nach Temperatur lässt sich allein am Fließverhalten per Augenschein Unterschiedliches beobachten: Sehr zähflüssig wirkt das Bindemittel bei Temperaturen im Bereich des Erweichungspunktes, weiter ansteigende Hitze macht Bitumen zunehmend dünnflüssiger. Doch der Augenschein genügt nicht: Allein die Erfassung des Fließverhaltens von Bitumen beschäftigt eine große Zahl ausgewiesener Experten (Rheologen).

Für den Gebrauch im Ingenieurwesen ist es allerdings sinnvoll, dem Fließverhalten über die Untersuchung der Viskosität (Zähflüssigkeit) von Bitumen näher zu kommen. Dabei gilt per Definition: „Viskosität ist die Eigenschaft einer Flüssigkeit, der gegenseitigen laminaren Verschiebung zweier benachbarter Schichten infolge innerer Reibung einen Widerstand entgegenzusetzen“.

Oder an einem Beispiel nicht ganz so wissenschaftlich erläutert: Rührt man mit einem Stock durch einen Eimer Farbe, spürt man den Widerstand dieser eher zähen Flüssigkeit, also ihre Viskosität. Diesen Widerstand quantitativ in Abhängigkeit von der jeweiligen Temperatur zu erfassen, dienen, sehr vereinfachend dargestellt, die Untersuchungsverfahren zur Bestimmung der Viskosität.

Warum sind Untersuchungen zur Viskosität überhaupt notwendig? Wird Bitumen verarbeitet, muss es nicht nur in flüssiger Form vorliegen, für die jeweiligen Verarbeitungsformen sind bestimmte Viskositäten - oder genauer: bestimmte Äquiviskositätsspannen (Bereiche gleicher Viskosität) - für einen reibungslosen Arbeitsablauf erforderlich. So erfordert das Aufspritzen von Bitumen eine Äquiviskositätsspanne von etwa 50 bis 70 mm²/s (sehr dünnflüssig), während für das Pumpen Spannen von 1000 bis 1800 mm²/s (bereits zähflüssiger) ausreichen.

Je nach Härte und Temperatur ergeben sich unterschiedliche mittlere Viskositäten und Gebrauchsfähigkeiten von Bitumen, wie die folgenden Tabellen verdeutlichen.

Tabelle B17: Mittlere Viskositäten und Gebrauchstemperaturen von Straßenbaubitumen
[Esso Bitumen, Laboratoriumshandbuch]

Bitumen	Mittlere Viskositäten [mm ² /s] von Straßenbaubitumen bei...			
	...100 °C	...125 °C	...150 °C	...175 °C
160/220	2.100	480	150	58
70/100	4.000	800	230	85
50/70	6.000	1.100	310	110
30/45	11.000	1.900	490	160
20/30	30.000	4.000	830	220

Bitumen	Pumpfähigkeit bei...	Mischfähigkeit bei...	Spritzfähigkeit bei...
160/220	113 °C	143 °C (max. 170 °C*)	180 °C
70/100	122 °C	154 °C (max. 180 °C*)	192 °C
50/70	127 °C	160 °C (max. 180 °C*)	201 °C
20/30	147 °C	180 °C (max. 190 °C*)	222 °C

* höhere Temperaturen führen beim Mischen zu einer deutlichen Veränderung der Bitumeneigenschaften

B6.2 Definitionen in Zusammenhang mit dem Begriff „Viskosität“

Vor den Versuchsbeschreibungen sollen an dieser Stelle zunächst die Begriffe kinematische und dynamische Viskosität nach Euro-Norm (DIN EN 12 595, DIN EN 12 596) unterschieden, definiert und erläutert werden.

Als **kinematische Viskosität** wird das „Verhältnis von dynamischer Viskosität zur Dichte einer Flüssigkeit bei der Temperatur der Viskositätsbestimmung“ bezeichnet. Sie gilt als Maß des Widerstandes einer Flüssigkeit gegen Fließen unter Einwirkung der Gravitation (mit Berücksichtigung des Eigengewichtes über die Dichte). Die SI-Einheit der kinematischen Viskosität ist zwar m²/s, für praktische Anwendungen hat sich jedoch die Einheit mm²/s bewährt.

Die **dynamische Viskosität** ist das „Verhältnis von Schubspannung zum Geschwindigkeitsgefälle“. Sie gilt ebenfalls als Maß des Widerstandes einer Flüssigkeit gegen Fließen unter Wirkung der Schwerkraft (aber ohne Berücksichtigung des Eigengewichtes über die Dichte). Sie wird üblicherweise mit dem Begriff „Viskosität einer Flüssigkeit“ gleichgesetzt. Für die dynamische Viskosität gilt Pa · s als SI-Einheit.

Als **Newtonsche Flüssigkeit** gilt eine „Flüssigkeit mit einer Viskosität, die unabhängig vom Geschwindigkeitsgefälle ist“. Nur wenn das Verhältnis zwischen Schubspannung und Geschwindigkeitsgefälle konstant ist, spricht man vom Newtonschen Fließen einer rein viskosen Flüssigkeit. Flüssigkeiten in diesem Zustand sind dünnflüssig!

B6.3 Bestimmung der kinematischen Viskosität nach DIN EN 12595

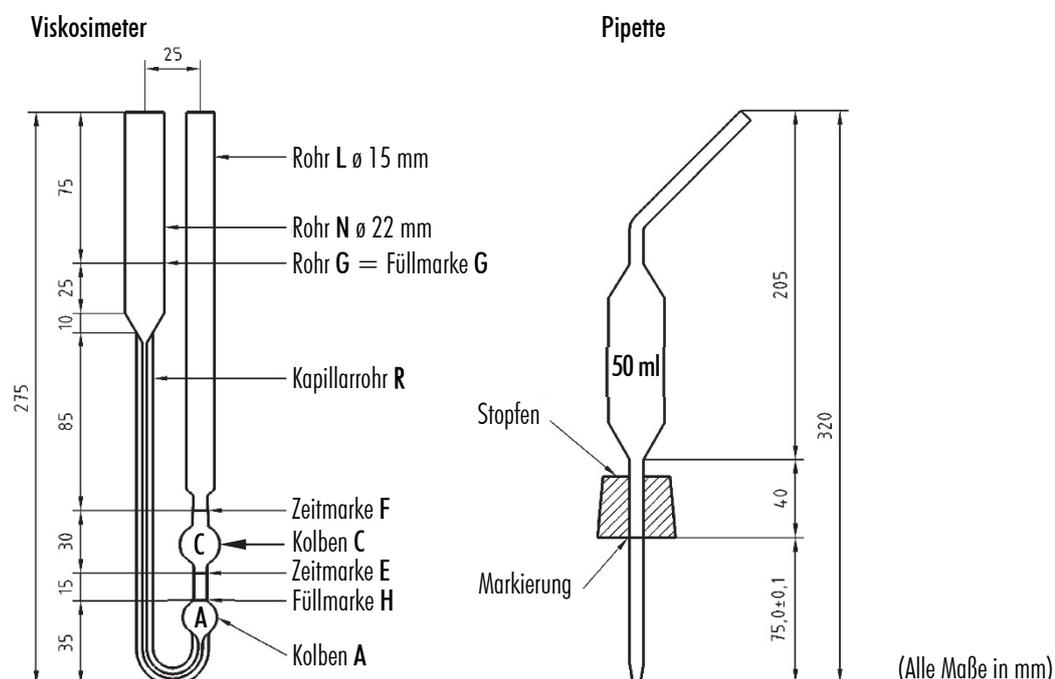
Beim Versuch zur Ermittlung der kinematischen Viskosität wird die Zeit bestimmt, die ein festgelegtes Volumen einer Flüssigkeit benötigt, um bei einer vorgegebenen Temperatur durch ein kalibriertes Glas-Kapillar-Viskosimeter zu fließen.

Nach Norm werden insgesamt drei Viskosimeter (Cannon-Fenske, Zeitfuchs Kreuz-Arm- und BS/IP/RFU-Rohr Rückfluss-Viskosimeter) angeführt, die als geeignet für die Versuchsdurchführung angesehen werden. Andere Viskosimeter, die vergleichbare Ergebnisse ermöglichen, sind ebenfalls zulässig.

Das Verfahren wird am Beispiel des BS/IP/RFU-Rohr Rückfluss-Viskosimeter (siehe nächste Seite!) erläutert: Zunächst ist das Viskosimeter in ein vorbereitetes Temperierbad (135 °C für Normalbitumen) mit der jeweiligen, bereits konstanten Prüftemperatur zu setzen und so zu befestigen, dass das Rohr L senkrecht gehalten wird. Die erhitzte, flüssige Bindemittelprobe ist durch das Rohr N bis gerade über die Füllmarke G in einem nicht unterbrochenen Flüssigkeitsfaden einzufüllen. Erreicht der untere Meniskus (= gewölbte Oberfläche einer Flüssigkeit in einer engen Röhre) des Bindemittels den Bereich etwa 5 mm unterhalb der Füllmarke H, ist der Fluss durch Aufsetzen eines Stopfens auf Rohr L zu unterbrechen.

Wenn die Bindemittelprobe die Badtemperatur erreicht hat, ist der Stopfen wieder zu lösen, bis die Bindemittelprobe die untere Füllmarke H erreicht. Danach muss Rohr L erneut mit dem Stopfen verschlossen werden; die Bindemittelüberschüsse oberhalb von Füllmarke G sind mit Hilfe einer speziellen Pipette (siehe Skizze, rechte Seite!) zu entfernen. Vor dem Versuchsbeginn müssen der obere Meniskus mit Marke G übereinstimmen.

Bild B14: BS/IP/RF-U-Rohr Rückfluss-Viskosimeter [bearbeitete Quelle, DIN EN 12595, Bild A.2]



Die eigentliche Messung beginnt mit dem Lösen des Stopfens auf Rohr L: Sobald die äußere Kante des unteren Meniskus die untere Zeitmarke E erreicht, beginnt die Zeitmessung auf 0,1 Sekunde genau, bis die Zeitmarke F erreicht wird. Beträgt die dabei ermittelte Durchflusszeit weniger als 60 Sekunden, ist der Versuch mit einer Kapillare geringeren Durchmessers zu wiederholen.

Der Mittelwert aus drei korrekten Ablesungen geht in die Berechnung der kinematischen Viskosität ein. Hierfür gilt:

$$v = C \cdot t \quad \text{mit} \quad \left\{ \begin{array}{l} C: \text{Kalibrierkonstante des Viskosimeters [mm}^2/\text{s}^2 \\ \text{(siehe nachfolgende Tabelle!)} \\ t: \text{Ausflusszeit [s]} \end{array} \right.$$

Die kinematische Viskosität ist unter 1000 mm²/s nur zahlenmäßig, bei einem Gesamtwert über 1000 mm²/s mit der Prüftemperatur zusammen anzugeben.

Bei Messzeiten von 60 bis 100 s ist der Variationskoeffizient anzugeben:

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 [\%] \quad \text{mit} \quad \left\{ \begin{array}{l} s: \text{Standardabweichung} \\ \bar{x}: \text{Mittelwert} \end{array} \right.$$

Maße und Messbereiche für das BS/IP/RFU Rohr-Viskosimeter sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle B18: Maße und Bereiche der kinematischen Viskosität des BS/IP/RFU-Rohr Rückfluss-Viskosimeters [DIN EN 12595, Tabelle A.2]

Größe Nr.	Nominelle Viskosimeter-Konstante [mm ² /s ²]	Bereich der kinematischen Viskosität [mm ² /s]	Innendurchmesser Kapillarrohr R (± 2 %) [mm]	Länge Kapillarrohr R [mm]	Innendurchmesser bei E, F und H [mm]	Volumen Kolben C (± 5 %) [ml]
4	0,1	6 bis 100	1,26	185	3,0 bis 3,3	4,0
5	0,3	18 bis 300	1,64	185	3,0 bis 3,3	4,0
6	1,0	60 bis 1.000	2,24	185	3,0 bis 3,3	4,0
7	3,0	180 bis 3.000	2,93	185	3,3 bis 3,6	4,0
8	10	600 bis 10.000	4,00	185	4,4 bis 4,8	4,0
9	30	1.800 bis 30.000	5,50	185	6,0 bis 6,7	4,0
10	100	6.000 bis 100.000	7,70	210	7,70	4,0
11	300	18.000 bis 300.000	10,00	210	10,00	4,0

Tabelle B19: Präzisionswerte [DIN EN 12595, Tabelle 1]

Prüfbedingungen/Probematerial	Wiederholpräzision r (% vom Mittelwert)	Vergleichpräzision R (% vom Mittelwert)
Untersuchungstemperatur 135 °C:	< 600 mm ² /s	6
	≤ 600 mm ² /s	9
Untersuchungstemperatur 60 °C:	Weichbitumen	9
	Weichbitumen nach Verhärtung (TFOT)	20
	Verhältnis der kinematischen Viskosität bei 60 °C (nur bei KV-Verhältnis < 1,5)	16

B6.4 Bestimmung der dynamischen Viskosität nach DIN EN 12596

Das Prinzip der Versuchsdurchführung ähnelt den Verfahren zur Bestimmung der kinematischen Viskosität. Allerdings wird das Fließen von Bitumen hier durch ein Vakuum erzielt. Im Versuch wird die Zeit bestimmt, die ein bestimmtes Volumen einer Flüssigkeit benötigt, um bei einer festgelegten Temperatur mittels Vakuum durch ein Kapillarrohr zu fließen.

Auch für dieses Verfahren sind drei verschiedene Kapillar-Viskosimeter vorgesehen, von denen an dieser Stelle das „Asphalt-Institut Vakuum-Kapillar-Viskosimeter“ mit der dazu gehörenden Prüfmethode an dieser Stelle näher vorgestellt wird.

Der Beginn der Prüfung sieht zunächst das Einfüllen einer erhitzten, flüssigen Bindemittelprobe bis zur Fülllinie E \pm 2 mm vor. Das Viskosimeter ist auf 60 °C vorzuwärmen; im Falle von Luftblasen in der Probe auf (135 \pm 5,0).

Anschließend ist das Viskosimeter innerhalb von 5 Minuten so im Bad zu befestigen, dass die oberste Markierung für die Zeitmessung mindestens 20 mm unterhalb der Flüssigkeitsoberfläche des Bades liegt. Das Vakuum ist auf (40.000 \pm 100) Pa einzustellen und über eine Leitung mit Ventil an das Viskosimeter anzuschließen.

Nachdem sich das Viskosimeter mindestens 30 Minuten im Bad befunden hat, ist durch Öffnen des Ventils der Bindemittelfluss freizugeben. Die Zeiten, die die Oberkante des Meniskus braucht, um von F nach G, von G nach H und von H nach I zu gelangen, sind jeweils zu stoppen. Zeiten, die zwischen 60 und 1000 Sekunden liegen, sind im Prüfbericht ebenso anzugeben wie die Bezeichnungen der Zeitmarkenpaare.

Die dynamische Viskosität berechnet sich mit dem gemittelten Wert aus zwei aussagekräftigen Ablesungen nach der folgenden Formel. Dabei ist der Kalibrierungsfaktor K entsprechend dem Paar von Markierungen, zwischen denen die aussagefähigen Ablesungen stattgefunden haben, aus der nachfolgenden Tabelle abzulesen.

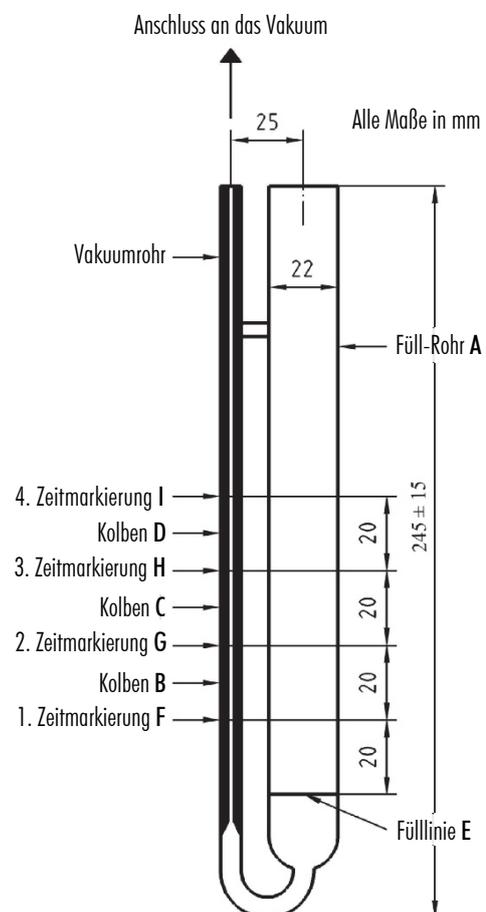
$$\eta = K \cdot t \quad \text{mit}$$

K: Gewählter Kalibrierungsfaktor
des Viskosimeters [Pa]

t: Durchflusszeit [s]

Die Viskosität wird als Mittelwert der Viskositäten, die aus den Ablesungen aller verwendeten Kolben berechnet wurden, unter 1 000 Pa · s auf drei signifikante Stellen genau oder über 1 000 Pa · s ganzzahlig, zusammen mit der Prüftemperatur angegeben.

Bild B15: Asphalt-Institut
Vakuum-Kapillar-Viskosimeter
[bearbeitete Quelle:
DIN EN 12596, Bild A.2]



Sind Prüfungen mit Zeitablesungen von 60 bis 1000 s durchgeführt worden, muss der Variationskoeffizient CV, der die Standardabweichung der Probe geteilt durch den Mittelwert darstellt, berechnet werden:

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 [\%]$$

mit s: Standardabweichung der Probe

\bar{x} : Mittelwert

Angaben zu Maßen und Messbereichen des Viskosimeters sowie zur Präzision des Verfahrens sind den folgenden Tabellen zu entnehmen.

Tabelle B20: Standard-Viskosimeter-Größen, Kapillarradien, angenäherte Kalibrierungsfaktoren K und Viskositätsbereiche [DIN EN 12596, Tabelle A.2]

Viskosimetergröße	Kapillarradius [mm]	Angenäherter Kalibrierungsfaktor K ^{a)} bei 40 000 Pa Vakuum [Pa]			Viskositätsbereich ^{b)} [Pa · s]
		Rohrabschnitt B	Rohrabschnitt C	Rohrabschnitt D	
25	0,125	0,2	0,1	0,07	4,2 bis 80
50	0,25	0,8	0,4	0,3	18 bis 320
100	0,50	3,2	1,6	1,0	60 bis 1.280
200	1,0	12,8	6,4	4,0	240 bis 5.200
400	2,0	50,0	25,0	16,0	960 bis 20.000
400 R ^{c)}	2,0	50,0	25,0	16,0	960 bis 140.000
800 R ^{c)}	4,0	200,0	100,0	64,0	3.800 bis 580.000

^{a)} Genaue Kalibrierungsfaktoren müssen mit Standard-Viskosimetern bestimmt werden.

^{b)} Die in dieser Tabelle enthaltenen Viskositätsbereiche entsprechen Füllzeiten von 60 s bis 400 s. Längere Flusszeiten (bis 1000 s) sind anwendbar.

^{c)} Spezielle Ausführungen für Dachbitumen besitzen zusätzliche Markierungen bei 5 mm und 10 mm über der Zeitmarke F. Wenn diese Markierungen angewendet werden, wird der angestiegene Höchstbereich der Viskosität ausgehend vom Kalibrierungsfaktor des Kolbens B erreicht.

Tabelle B21: Präzision für die Bestimmung der dynamischen Viskosität mit Vakuum-Kapillaren [nach DIN 12596, Abschnitte 10.1 und 10.2]

	Wiederholpräzision r [Pa · s]	Vergleichpräzision R [Pa · s]
Dynamische Viskosität η	6 % des Mittelwertes dürfen nur in einem von 20 Fällen überschritten werden.	Für $\eta \geq 2000$ Pa · s dürfen 10 %, für $\eta < 2000$ Pa · s dürfen 20 % des Mittelwertes in nur einem von 20 Fällen überschritten werden.

**Labor-
demo !**

B6.5. Älteres Verfahren: Bestimmung der Viskosität durch Messung mit dem Kugelzieh-Viskosimeter

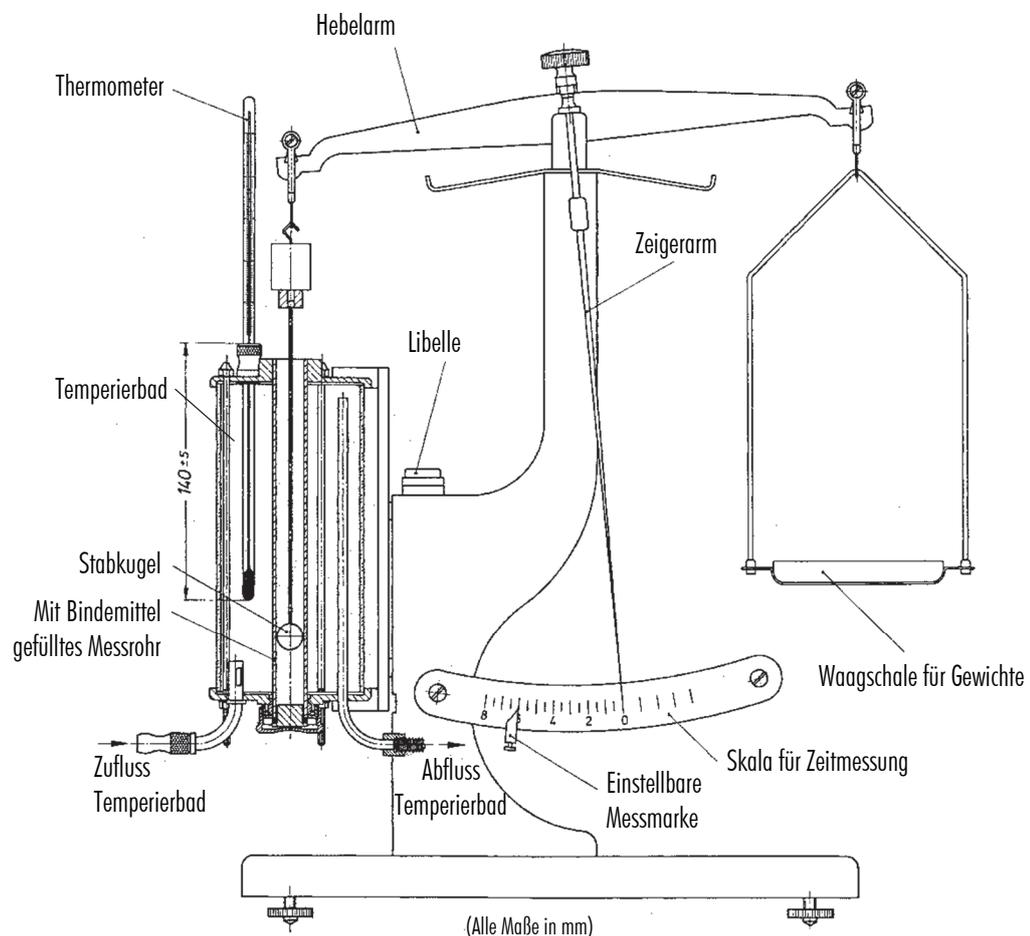
Wichtige Vorbemerkung:

Das an dieser Stelle vorgestellte Verfahren gehört der „Prüfungsvergangenheit“ an und **darf für wissenschaftliche Untersuchungen schon länger nicht mehr angewandt werden**. Die betreffende Norm DIN EN 12596 führt dieses Viskosimeter schon lange nicht mehr auf, so dass es auch **nicht mehr prüfungsrelevant** ist.

Für genauere und normgerechte Untersuchungen stehen in unserem Labor andere Viskosimeter und ein hochkomplexes Rheometer zur Verfügung. Einziger Wermutstropfen: Man sieht nichts oder nur sehr wenig während der Prüfung! Deswegen benutzen wir dieses Verfahren **nur noch im Rahmen unserer Labordemonstrationen**, da es die Thematik der Viskosität aus unserer Sicht im Labor am anschaulichsten zeigt.

Bei der Laboruntersuchung mit dem Kugelzieh-Viskosimeter wird eine an einem dünnen Stab befestigte Stabkugel aus Metall durch ein mit der Bindemittelprobe gefülltes Rohr gezogen. Die Zeit, in der die Stabkugel einen vorgegebenen Weg zurücklegt, ist das Maß für die Viskosität. Das nach dem Prinzip einer gleicharmigen Balkenwaage aufgebaute Versuchsprinzip ist der folgenden Skizze zu entnehmen.

Bild B16: Prinzipskizze des Kugelzieh-Viskosimeters [alte DIN 52007, Teil 2]



Für die Versuchsdurchführung werden je nach Viskositätsbereich verschiedene Stabkugeln eingesetzt. Dabei gehört zu jeder Stabkugel eine ganz bestimmte Messstrecke (Zeigerweg), die beim Nullpunkt auf der Skala beginnt und bei der einstellbaren Messmarke endet. Zu jedem Kugelzieh-Viskosimeter gehört ein amtlicher Prüfschein, in der die Messstrecke und die zu jeder Stabkugel gehörende Gerätekonstante **K** eingetragen sind.

Vor der eigentlichen Messung wird die Stabkugel so tief in das Messrohr eingetaucht, dass der Zeiger ca. 2 cm vor der Nullmarke steht. Anschließend wird ein Gewicht **m** auf die Waagschale gelegt, das die Stabkugel durch die temperierte Bindemittelprobe nach oben zieht. Mit einer Stoppuhr wird die Zeitspanne **t** gemessen, die der Zeiger von der Nullmarke bis zur Messmarke auf der Skala benötigt. Das Gewichtsstück ist dabei so auszuwählen, dass der Zeiger die Messstrecke innerhalb von 10 bis 60 Sekunden durchläuft. Diese Messung wird insgesamt dreimal durchgeführt, und die drei ermittelten Zeiten werden arithmetisch gemittelt.

Insgesamt muss diese Untersuchung bei drei um mindestens 20 °C auseinanderliegenden Prüftemperaturen durchgeführt werden (also 3 Untersuchungen mit jeweils drei Zeitmessungen). Dabei sollte die höchste Temperatur dynamische Viskositätswerte unter 1000 mm²/s, die niedrigste Werte über 1000 mm²/s ermöglichen.

Zur Kontrolle des **newtonschen Fließens** sind die Untersuchungen mit einem um den Faktor 2 leichteren oder schwereren Gewichtsstück bei der jeweiligen Prüftemperatur zu wiederholen. Verhält sich das geprüfte Bindemittel wie gewünscht – also rein viskos –, müssen sich bei der Auswertung in etwa die gleichen Viskositäten wie vorher ergeben.

Die Berechnung der **dynamischen Viskosität** η erfolgt nach folgender Gleichung:

$$\eta = K \cdot m \cdot t \text{ [mPa} \cdot \text{s]}$$

mit

K: Stabkugel-Konstante gemäß Prüfschein [mPa/g]

m: Masse des Gewichtsstückes [g]

t: Zeit, die der Zeiger vom Nullpunkt bis zur Messmarke (siehe Prüfschein) benötigt [s]

Die **kinematische Viskosität** ν ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$\nu = \eta / \rho \text{ [mm}^2\text{/s]}$$

mit

η : dynamische Viskosität [mPa · s]

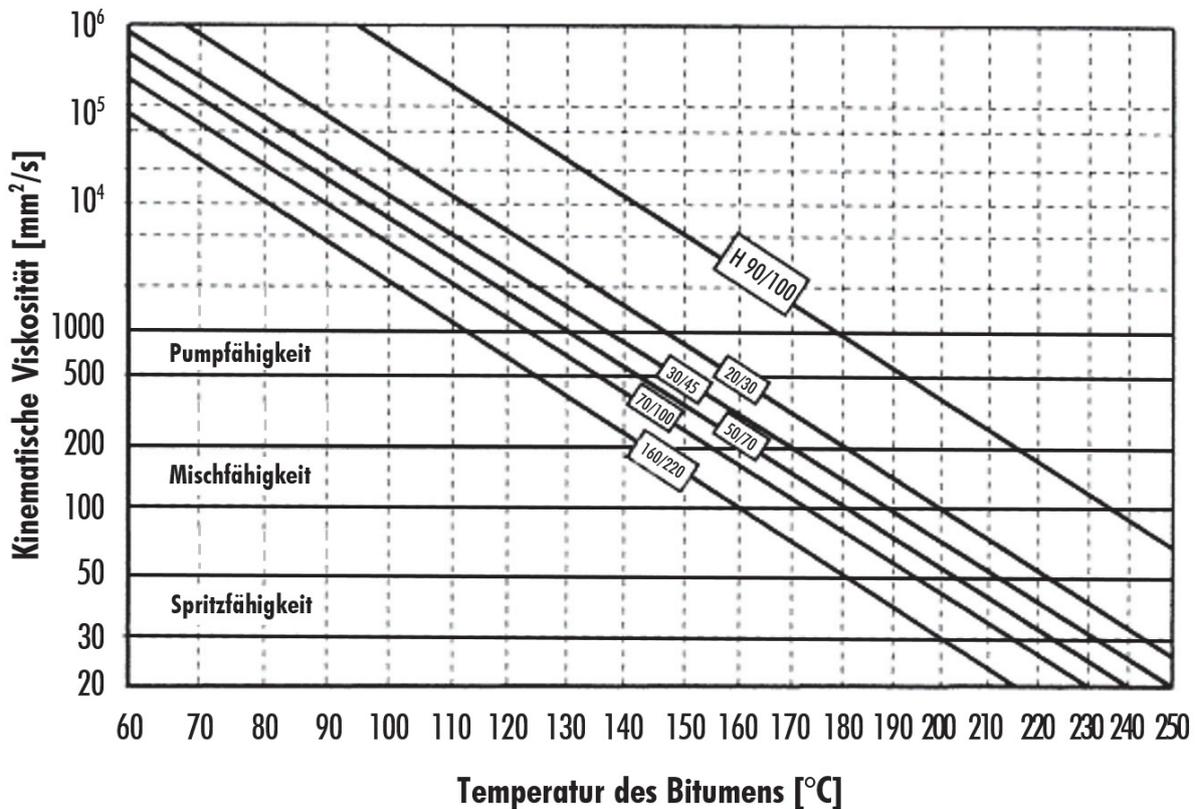
ρ : Dichte des Bindemittels bei der entsprechenden Prüftemperatur [g/cm³]

B6.6 Abhängigkeiten zwischen Bindemitteltemperatur und Viskosität

Die Verarbeitung und der Transport von Bitumen erfordert die Einhaltung bestimmter Viskositäten. Wie bereits an anderer Stelle erläutert, sind diese Viskositäten abhängig von der jeweiligen Temperatur.

Das nachfolgende Diagramm zeigt auf, welche Temperaturbereiche für unterschiedliche Bindemittel einzuhalten sind, um sie z.B. pumpen oder mischen zu können.

Bild B17: Viskositäts-Temperatur-Diagramm für Bitumen [bearbeitete Quelle: Thienel, Universität der Bundeswehr München, Skript Bauchemie und Werkstoffe des Bauwesens - Bitumen, Bild 4]



H 90/100 = Hartbitumen nach DIN EN 13305

B6.7 Berechnung des Penetrationsindexes gemäß DIN EN 12591, Anhang A

Die bisherigen Ausführungen haben deutlich gemacht, wie eng die Viskosität mit der Temperatur und der Härte eines Bindemittels verknüpft ist. Doch je nach Gewinnungsort und Herstellungsart eines Destillationsbitumens kann ein weiteres Unterscheidungsmerkmal von Bedeutung sein: die Temperaturempfindlichkeit. Je größer die Temperaturempfindlichkeit eines Bitumens, desto stärker verändern sich seine rheologischen Eigenschaften - wie z.B. die Viskosität - bei zu- oder abnehmender Temperatur.

Um diese Temperaturempfindlichkeit von Destillationsbitumen quantitativ zu erfassen, bedient man sich des sog. Penetrationsindexes (nach Annahmen von Pfeiffer und Van Doormal). Leider hat man bei der Bezeichnung dieses Indexes nach Norm auf das bereits im Grundbau angewandte Kürzel I_P (Plastizitätszahl) zurückgegriffen. Um Verwechslungen zu vermeiden, wird der früher in Deutschland übliche Ausdruck P.I. mit angeführt. Der Penetrationsindex berechnet sich nach folgender Formel:

$$I_P \text{ (P.I.)} = \frac{20 \cdot EP_{RuK} + 500 \cdot \lg Pen_{25} - 1952}{EP_{RuK} - 50 \cdot \lg Pen_{25} + 120} [-]$$

Dabei ist:

EP_{RuK} : Erweichungspunkt (Ring und Kugel) [°C]

Pen_{25} : Penetration bei 25 °C [0,1 mm]

Das Ergebnis wird auf 0,1 gerundet angegeben.

Je mehr die dabei ermittelten Werte im negativen Bereich liegen, desto größer ist die Temperaturempfindlichkeit des Destillationsbitumens. Bitumen mit positivem Vorzeichen sind dementsprechend weniger temperaturempfindlich.

Destillationsbitumen mit einer hohen (I_P im Bereich von $-2,3$ bis -1) oder niedrigen Abhängigkeit der Viskosität (I_P im Bereich von $> +0,5$ bis $+1,8$) von der Temperatur kommen für bautechnische Zwecke nicht in Frage.

Zur Beurteilung der Zuverlässigkeit der Ergebnisse dient die folgende Tabelle.

Tabelle B22: Präzision für die Bestimmung der dynamischen Viskosität mit Vakuum-Kapillaren [nach DIN EN 12591, Abschnitte A6.1 und A6.2]

	Wiederholpräzision r [-]	Vergleichpräzision R [-]
Penetrationsindex I_P (P.I.)	Nur in einem von 20 Fällen darf der Wert 0,3 überschritten werden.	Nur in einem von 20 Fällen darf der Wert 0,5 überschritten werden.

B7. Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit - AVCP

B7.1 Grundlagen

Der Hersteller von Bitumen muss stets nachweisen können, dass er die Anforderungen, die in Normen und weiteren Vorschriften (z.B. TL Bitumen-StB) festgelegt wurden, mit seinem jeweiligen Produkt auch einhält. Dies erfolgt durch...

- ...die Feststellung/Festlegung des Produkttyps (z.B. Bitumen 20/30)
- ...eine regelmäßige werkseigene Kontrolle und Bewertung des Produkts

Die sog. Bauproduktenverordnung (Verordnung (EU) Nr. 305/2011) beschreibt im Anhang V die erforderlichen Kontrollsysteme, die sich abgekürzt **AVCP** nennen: **A**ssessment and **V**erification of **C**onstancy of **P**erformance = Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit.

B7.2 Erstprüfung/Typprüfung

Die Erstprüfung, auch Typprüfung genannt, ist erforderlich, wenn ein Bitumen zum ersten Mal auf den Markt gebracht werden soll bzw. wenn sich die Eigenschaften eines bereits auf dem Markt befindlichen Produktes z.B. durch neue Ausgangsstoffe verändert haben.

Die bei der Erstprüfung ermittelten Ergebnisse müssen als Grundlage für die fortlaufende Kontrolle aufgezeichnet und für 10 Jahre aufbewahrt werden. Da die Erstprüfung eine Geltungsdauer von 5 Jahren aufweist, sind sie regelmäßig zu wiederholen und aufzuzeichnen und aufzubewahren.

B7.3 Werkseigene Produktionskontrolle

Der Hersteller ist verpflichtet, ein System der Werkeigenen Produktionskontrolle (WPK) einzuführen, zu dokumentieren und zu betreiben. Hierzu gehören festgelegte Abläufe und Verfahren, Kontrollen, Prüfungen bzw. Beurteilungen und Angaben zur Verwendung der Ergebnisse im Sinne einer ständigen Qualitätskontrolle der Produkte. Hiermit soll sichergestellt werden, dass die Produkte stets den Anforderungen der Normen und Vorschriften entsprechen.

Eine WPK gemäß den Anforderungen der DIN EN ISO 9001 in Kombination mit den Regelungen der TL Bitumen-StB erfüllt alle genannten Anforderungen.

Im Fall von Abweichungen, die bei der WPK zutage kommen, müssen die ermittelten Ergebnisse und die getroffenen Maßnahmen zur Gegensteuerung aufgezeichnet und mindestens 5 Jahre vorgehalten werden.

B7.3 Prüfverfahren

Die Prüfungen zur Produktionskontrolle haben anhand der in der TL Bitumen aufgeführten Normen zu erfolgen.

B7.4 Leistungserklärung

Wurde die WPK durch eine amtliche Aufsichtsstelle/notifizierende Stelle zertifiziert und stimmen die Ergebnisse der WPK mit den Anforderungen der TL Bitumen überein, muss jedem Abnehmer/Käufer eine sog. Leistungserklärung zur Verfügung gestellt werden.

Nach Bauproduktenverordnung muss die Leistungserklärung mindestens die folgenden Angaben aufweisen und in deutscher Sprache verfasst sein:

- Beschreibung des Produkts
- vorgesehener Verwendungszweck und gegebenenfalls besondere Verwendungshinweise (Kenncode!)
- Name und Anschrift des Herstellers und Herstellungsortes
- System der Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit (Anhang V der Bauproduktenverordnung - System 2+ - sowie Angaben zur Tätigkeit der notifizierenden Stelle und deren Kennnummer)
- Erklärte Leistung unter Bezug zu den wesentlichen Merkmalen durch
 - Angaben zu den Bindemittleigenschaften in Form von Nennwerten und Nennbereichen
 - die Angabe „keine Leistung festgestellt“ (KLF) für Eigenschaften, die zur Erfahrungssammlung dienen
 - die Angaben „keine Leistung festgestellt“ (KLF) für maßgebende Eigenschaften
- datierter Verweis auf die Lieferbedingungen und die entsprechenden Normen (DIN EN 12591 für Straßenbaubitumen, DIN EN 14023 für Polymermodifizierte Bitumen)
- Name und Funktion der zur Unterzeichnung der Leistungsberechtigung ermächtigten Person im Namen des Herstellers oder seines Bevollmächtigten

B7.5 CE-Kennzeichnung

Folgende Angaben sind gemäß TL Bitumen-StB dem CE-Kennzeichen hinzuzufügen:

- Kennnummer der notifizierten Stelle
- Name und eingetragene Anschrift des Herstellers, oder Bildzeichen
- die letzten beiden Ziffern des Jahres, in dem das Kennzeichen erstmalig angebracht wurde
- Referenznummer der Leistungserklärung
- datierter Verweis auf die zugrundeliegende Europäische Norm, entsprechend der nachfolgenden Zuordnung:
→ Straßenbaubitumen DIN EN 12591
→ Polymermodifizierte Bitumen DIN EN 14023
- eindeutiger Kenncode des Produkttyps
- vorgesehener Verwendungszweck und gegebenenfalls besondere Verwendungshinweise
- erklärte Leistung durch Angaben zu den Bindemittleigenschaften, sofern sie in der Leistungserklärung ausgewiesen sind

Bild B18: Beispiel für die Angaben zur CE-Kennzeichnung bei Straßenbaubitumen und Polymermodifizierten Bitumen mit Erläuterungen (grau unterlegt)
[bearbeitete Quellen: TL Bitumen-StB, Bilder 1 & 2]

 01234	 01234	CE-Kennzeichnung, bestehend aus dem „CE“-Zeichen Kennnummer der notifizierten Stelle
AnyCo Ltd., P.O.-Box 21, B-1050 09 001-EU-BauPVO-2013-07-15	AnyCo Ltd., P.O.-Box 21, B-1050 10 002-EU-BauPVO-2013-07-16	Name und eingetragene Anschrift des Herstellers, oder Bildzeichen Die letzten beiden Ziffern des Jahres, in dem das Kennzeichen erstmalig angebracht wurde Referenz-Nummer der Leistungserklärung
EN 12591:2009 Straßenbaubitumen: 50/70 Für den Bau und die Instandhaltung von Straßen, Flugplätzen und sonstigen Verkehrsflächenbefestigungen	EN 14023:2010 Polymermodifiziertes Bitumen: 25/55-55 A, Für den Bau und die Instandhaltung von Straßen, Flugplätzen und sonstigen befestigten Flächenbefestigungen	Nummer der Europäischen Norm, wie im Amtsblatt der EU veröffentlicht Eindeutiger Kenncode des Produkttyps Vorgesehener Verwendungszweck des Produktes, wie in der angewendeten Europäischen Norm angegeben
Konsistenz bei mittlerer Gebrauchstemperatur Penetration bei 25 °C 50 bis 70 x 0,1 mm Konsistenz bei erhöhter Gebrauchstemperatur Erweichungspunkt Ring und Kugel 46 °C bis 54 °C Dauerhaftigkeit der Konsistenz bei mittlerer Gebrauchstemperatur Beständigkeit gegen Verhärtung bei 163 °C Verbleibende Penetration bei 25 °C ≥ 50 % Dauerhaftigkeit der Konsistenz bei erhöhter Gebrauchstemperatur Beständigkeit gegen Verhärtung bei 163 °C Zunahme des Erweichungspunktes ≤ 9 °C	Konsistenz bei mittlerer Gebrauchstemperatur Penetration bei 25 °C 25 bis 55 x 0,1 mm Konsistenz bei erhöhter Gebrauchstemperatur Erweichungspunkt Ring und Kugel ≥ 55 °C Kohäsion mit dem angewendeten Prüfverfahren Kraftduktilität ≥ 2 J/cm ² Dauerhaftigkeit der Konsistenz bei mittlerer Gebrauchstemperatur Beständigkeit gegen Verhärtung bei 163 °C Verbleibende Penetration bei 25 °C ≥ 60 % Dauerhaftigkeit der Konsistenz bei erhöhter Gebrauchstemperatur Beständigkeit gegen Verhärtung bei 163 °C Zunahme des Erweichungspunktes ≤ 8 °C Gefährliche Stoffe weniger als x ppm	Deklarierte Leistung

C. Asphalt

C1. Eigenschaften und Varianten

C1.1 Grundlagen

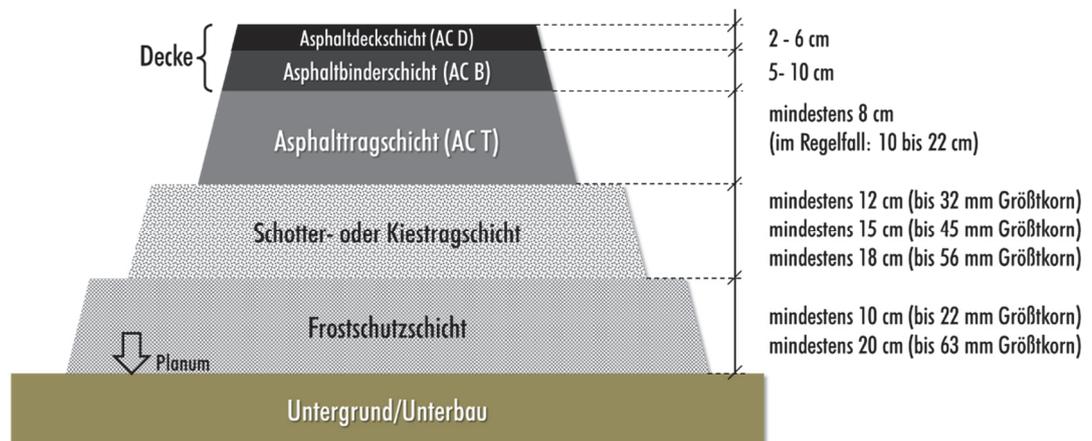
Als Asphalt wird eine natürliche oder technisch hergestellte Mischung aus Gesteinskörnungen, Bindemittel (i.d.R. Bitumen) und, so erforderlich, weiteren Zusätzen bezeichnet.

Neben Fußbodenbelägen im Hochbau und Abdichtungskonstruktionen im Wasserbau findet technisch hergestellter Asphalt vor allem im Verkehrswegbau Anwendung. Aus konstruktiven Gründen wird Asphalt in verschiedenen Schichten des gesamten Straßenoberbaus eingesetzt:

- Deckschicht (z.B. Asphaltbeton, Splittmastixasphalt, Gussasphalt)
- Binderschicht
- Tragschicht
- Tragdeckschicht (z.B. für Feld- und Radwege)
- Sonderkonstruktionen (z.B. wasserdurchlässige Oberbauten, Farbasphalte etc.)

Der prinzipielle Aufbau einer Straße kann der folgenden Abbildung entnommen werden:

Bild C1: Prinzip für den Oberbau einer Straße [eigene Darstellung]



Es kommen nicht immer alle in der Abbildung aufgeführten Schichten zum Einsatz. Wie eine Straße/ein Verkehrsweg letztendlich aufgebaut wird, hängt u.a. von folgenden Eingangsparametern ab:

- Verkehrsfunktion
- Verkehrsbelastungen (vor allem des Schwerverkehrs)
- Örtliche Rahmenbedingungen (Frosteinwirkung, Lage innerhalb oder außerhalb geschlossener Ortschaften, Lage in Damm oder Einschnitt etc.)

In den „Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RSTO)“ sind Aufbau und Schichtdicken der Straßenkonstruktionen zu finden.

C1.2 Gesteinskörnungen/Korngrößenverteilung

Eine der beiden wichtigen Komponenten im Asphalt - das Bitumen - wurde bereits in Kapitel B ausführlich behandelt. Die Gesteinskörnung ist die zweite wesentliche Komponente, die sich aus den folgenden Bestandteilen zusammensetzt:

- Füller (Gesteinsmehl mit einer Korngröße $\leq 0,063$ mm)
- Sand (gebrochen oder ungebrochen) von 0,063 bis 2 mm Korngröße
→ sog. **feine Gesteinskörnung**
- Splitt ab 2 mm Korngröße
→ sog. **grobe Gesteinskörnung**

Im Verkehrswegbau werden größtenteils natürliche Festgesteine als Gesteinskörnungen eingesetzt, die in Steinbrüchen gewonnen werden und als magmatische und metamorphe Gesteine sowie als Sedimentgesteine bereits aus „Baustoffe in der Geotechnik“ bekannt sind. Hinzu kommen Recyclingbaustoffe, wie abgefrästes Asphaltgranulat, und industrielle Nebenprodukte, z.B. Schlacken oder Flugasche.

Bild C2: Gewinnung von Gesteinskörnungen im Steinbruch [Mineral Baustoff GmbH]



Damit Gesteinskörnung und Bitumen ein möglichst tragfähiges Gerüst ergeben, müssen die verwendeten Gesteine aus **gebrochenem** Korn und einer Mischung aus groben (Korngröße von 2 bis 45 mm) und feinen Gesteinskörnungen (Korngröße kleiner als 2 mm) bestehen.

Gesteinskörnungsgemische, die für die Herstellung von Asphalt eingesetzt werden, setzen sich meistens aus unterschiedlichen **Korngruppen** bzw. **Lieferkörnungen** zusammen. Die jeweilige Bezeichnung der Korngruppen richtet sich nach dem Verhältnis von **Kleinstkorn d** zu **Größtkorn D**. **d** ist dabei die untere Siebgröße in mm, während **D** die obere Siebgröße definiert.

Beispiele für in Asphalt verwendete Korngruppen sind 0/2, 2/5, 5/8, 8/11. Für eine Korngruppe 8/11 sind also $d = 8 \text{ mm}$ und $D = 11 \text{ mm}$. Anders ausgedrückt: Eine Korngruppe bzw. Lieferkörnung 8/11 enthält Körner, die einen Durchmesser von 8 bis 11 mm aufweisen. Darüber hinaus gibt es - technisch bedingt - geringe Anteile an Körnern, die kleiner als 8 mm (**Unterkorn**) und größer als 11 mm (**Überkorn**) sind. Unter- und Überkorn dürfen allerdings bestimmte Grenzen nicht übersteigen.

Bild C3: Basaltsplitt der Korngruppe/Lieferkörnung 8/11 [Wunderwerk]



Die wesentlichen Anforderungen an Gesteinskörnungen, die in Asphalten zum Einsatz kommen sollen, sind in den „**Technischen Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau (TL Gestein-StB)**“ enthalten. Sie enthalten unter anderem Angaben zu

- Korngrößenverteilung von Korngruppen
- Kornform
- Widerstand gegen Zertrümmerung, Polieren, Oberflächenabrieb sowie Frost und Hitze

Details hierzu werden in der Lehrveranstaltung „Straßen- und Gleisbautechnik“ sowie im „Praktikum im Straßenbaulabor“ behandelt.

C1.3 Asphaltzusammensetzung

Asphalt wird je nach Typ und gewünschter bzw. geforderter Funktion unterschiedlich zusammengesetzt. Grundsätzlich gleich ist aber die Zusammenstellung aller Anforderungen an den jeweiligen Asphalt. Die „**Technischen Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen (TL Asphalt-StB)**“ enthalten alle wesentlichen Angaben zu den Baustoffen, zur Zusammensetzung des Asphaltmischgutes und zu den technischen Eigenschaften des Asphaltmischgutes.

Die Eigenschaften, die eine eingebaute Asphaltenschicht zu erfüllen hat, sind in den „**Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt (ZTV Asphalt StB)**“ aufgeführt.

Wie im Abschnitt C1.2 bereits beschrieben, besteht Asphalt aus einem Gesteinskörnungsgemisch, das aus verschiedenen Lieferkörnungen zusammengesetzt wird, sowie aus einem Anteil Bindemittel. Hinzu kommen ggf. noch weitere Zusätze, z.B. zur Stabilisierung des Gemisches oder zur Erhöhung der Tragfähigkeit.

Die Anforderungen an das jeweilige Asphaltmischgut und die eingebaute Asphaltsschicht werden in den bereits erwähnten Vorschriften erläutert; ergänzend erfolgt die grafische Darstellung der zulässigen Sieblinienbereiche für die Kornverteilung der Gesteinskörnungsgemische. In der folgenden Abbildung sind alle wesentlichen Anforderungen an ein Beispielmischgut zusammengefasst.

Bild C4: Anforderungen an Deckschicht aus Asphaltbeton AC 8 D N
[bearbeitete Quellen: TL Asphalt, ZTV Asphalt]

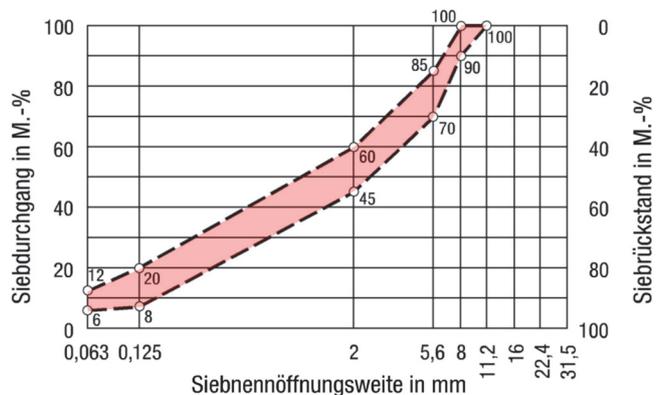
Bezeichnung	Einheit	AC 8 D N
BAUSTOFFE		
Gesteinskörnungen (Lieferkörnung)		
Anteil gebrochener Kornoberflächen		$C_{90/1}$
Widerstand gegen Zertrümmerung		SZ_{22}/LA_{25}
Widerstand gegen Polieren		PSV _{angegeben} (42)
Mindestanteil feiner Gesteinskörnung mit $E_{CS} 35$	%	
Bindemittel, Art und Sorte		50/70 70/100
ZUSAMMENSETZUNG ASPHALTMISCHGUT		
Gesteinskörnungsgemisch		
Siebdurchgang bei		
16 mm	M.-%	
11,2 mm	M.-%	100
8 mm	M.-%	90 bis 100
5,6 mm	M.-%	70 bis 85
2 mm	M.-%	45 bis 60
0,125 mm	M.-%	8 bis 20
0,063 mm	M.-%	6 bis 12
Mindest-Bindemittelgehalt		$B_{min6,4}$
IM LABOR VERDICHTETES ASPHALTMISCHGUT		
Minimaler Hohlraumgehalt MPK		$V_{min1,5}$
Maximaler Hohlraumgehalt MPK		$V_{max3,5}$
Hohlraumfüllungsgrad	%	ist anzugeben

Anforderungen an eingebaute Asphaltsschicht AC 8 D N:

- Einbaudicke: 3,0 bis 4,0 cm
- Einbaumenge: 75 bis 100 kg/m²
- Verdichtungsgrad: $\geq 98,0\%$
- Hohlraumgehalt: $\leq 5,5\%$ Vol.-%
- Schichtenverbund: 15 kN zwischen Asphaltbetondeckschicht und Bindschicht



Sieblinienbereich (in rot) für Asphaltmischgut AC 8 D N:



C2. Entwicklung der Asphalttechnologie

Asphalt hat eine lange Geschichte, von der einige der wichtigen Stationen in der folgenden Aufstellung enthalten sind:

- **3200 v. Chr. - Mesopotamien:**
Verwendung von Asphalt als Baumaterial
- **3000 v. Chr. - Mesopotamien:** Verwendung von Naturasphalt als Bodenbeläge und in Kanälen
- **2300 v. Chr. - Indien:** Hofbefestigungen aus Asphalt
- **800-500 v. Chr. - Euphrat:** Einsatz von Bitumen als Bindemittel für Brückenbau
- **1737 - Schwaben:** Einführung der „Packlage“ im Straßenbau
- **1815 - Schottland:** John Loudon McAdam entwickelt „Makadam“-Befestigung (siehe Abb. rechts!)
- **1822 - Vereinigte Staaten:** Erste Straße in Makadam-Bauweise im Bundesstaat Maryland
- **1832/38 - Großbritannien:** Beginn Teerstraßenbau
- **1837 - Frankreich:** Gussasphaltdecke mit eingestreutem Splitt auf Place de la Concorde in Paris
- **1842 - Österreich:** Entwicklung von Gussasphalt für den Straßenbau in Innsbruck
- **1854 - Frankreich:** Einsatz von „Stampfasphalt“
- **1859 - Erste Erdölbohrung:** Start bituminöser Straßenbau
- **1870/71 - USA:** Smedt erfindet den Walzasphalt
- **1877:** Beginn modernen Straßenbaus mit ungebundenen und gebundenen Schichten

Bilder C5.1-5.3: Makadam-Bauweise im Laufe der Zeit [M. Niggemann - Angewandter Straßenbau]

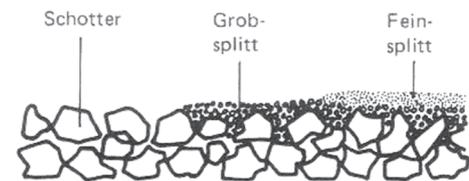
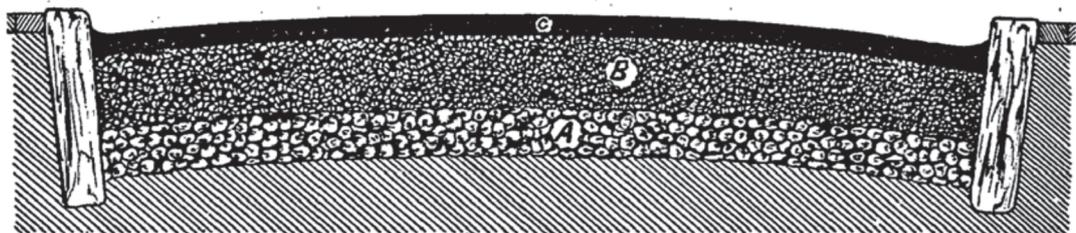


Bild C6: Straßenaufbau nach US-Patent von 1877 [M. Niggemann - Angewandter Straßenbau]



- **1893 - USA:** Entwicklung mobiler Asphaltmischer
- **1900 - USA:** Erster „Stampfer“ für den Asphaltstraßenbau
- **1913 - Europa:** Anwendung der Walzasphaltbauweise
- **1925:** Einsatz von Hartgussasphalt
- **1930er Jahre - USA:** Erste Fertiger
- **1929 - Deutschland:** Erster Schlepp-Verteiler für Asphalt
- **1938 - Deutschland:** Erster selbstfahrender Fertiger
- **ab 1945:** Maschineller Gussasphalteinbau wird zum Standard
- **1950 - Deutschland:** Erster Schwarzdeckenfertiger
- **1956 - Deutschland:** Fertiger mit „schwimmender“ Bohle
- **1958 - Deutschland:** Erste Vibrationswalze
- **1981 - Deutschland:** Erste „Pressleiste“ zur weiteren Verdichtung des Asphaltes durch einen Fertiger
- **1983:** Tandemwalze mit Oszillationstechnologie
- **1994:** Steigerung der Einbaubreite durch einen Fertiger auf 16 m
- **2008:** Entwicklung des Einbauverfahrens für Kompaktasphalt (Einbau von Deck- und Binderschicht in einem Arbeitsgang „heiß auf heiß“)
- **2019 - Deutschland:** Vorstellung des größten Straßenfertigers der Welt mit einer max. Einbaubreite von 18 Metern

Bilder C7.1-7.3: Erster mobile Asphaltmischer, erster Asphaltstampfer, früherer Asphaltfertiger [M. Niggemann - Angewandter Straßenbau]

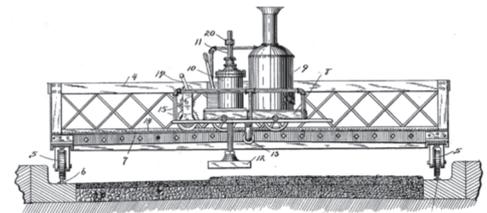
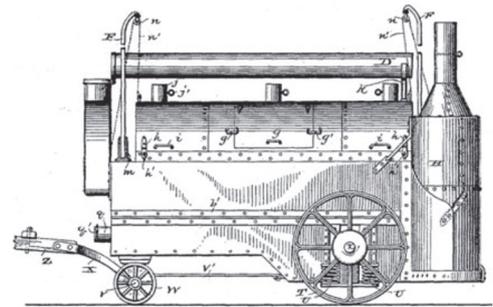


Bild C8.1 & 8.2: Walze mit oszillierender Vibration (links), Größter Straßenfertiger der Welt (rechts) [Hamm, Vögele]

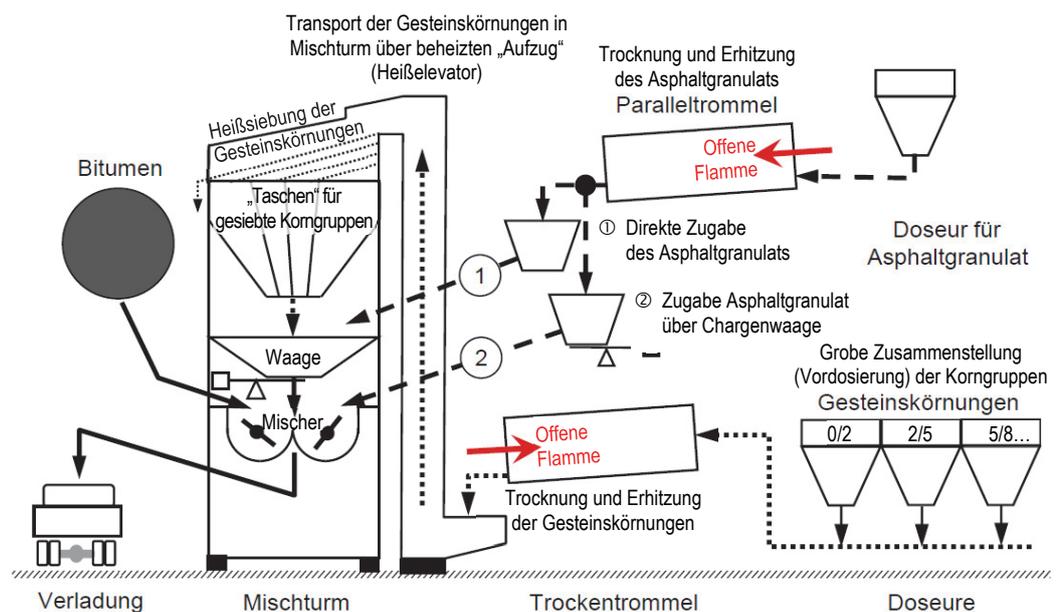


C3. Asphaltherstellung

Außer den sog. Naturasphalten, die zum Beispiel in Trinidad als Asphaltsee vorkommen, werden Asphalte für den Verkehrswegbau technisch in sog. **Asphaltmischanlagen** hergestellt. Ziel ist es dabei, ein möglichst homogenes Gemisch aus Füller, feiner und grober Gesteinskörnung sowie Bitumen in großen Mengen bereitzustellen. Die Einhaltung der jeweiligen Rezeptur des Asphaltes wird über eine zentrale Steuerung gewährleistet, die einzelnen Gesteinskörnungen sowie die Bitumenmenge werden dabei erhitzt, eingewogen und vermischt.

Asphalt kann in einem kontinuierlichen Prozess mit ständiger Zugabe aller Komponenten „pausenlos“ hergestellt werden, was für sehr große Mengen, z.B. beim Autobahnbau, von Vorteil sein kann. Beim - meistens angewandten - diskontinuierlichen Prozess werden einzelne Chargen gemischt, und die Asphaltproduktion erfolgt „portionsweise“ in einer Menge von bis zu 5 Tonnen pro Mischvorgang, der etwa 45 bis 60 Sekunden dauert. Dabei können der Mischung auch Recyclingmaterial als Asphaltgranulat und weitere Additive zugegeben werden.

Bild C9: Schema einer Chargenmischanlage für Asphalt
[bearbeitete Quelle: Baustoffrecycling - A. Müller]



Für die Qualität des Asphaltes ist die Einhaltung der Rezeptur von größter Bedeutung. Hierfür wird das Gemisch aus verschiedenen Gesteinskörnungen zunächst grob vordosiert und anschließend in der Trockentrommel getrocknet und erhitzt. Danach wird das Gesteinskörnungsgemisch in einem Heißelevator (beheizter „Aufzug“ mit Bechergefäßen) in den oberen Bereich des Mischturms befördert, wo die exakte Heißsiebung des Gesteinskörnungsgemisches zur Aufteilung in einzelne Korngruppen (0/2, 2/5, 5/8 etc.) erfolgt; Über- und Unterkorn werden dabei entfernt. Die ausgesiebten Korngruppen werden in den einzelnen Taschen der Heißsibung (Vorratsilos) aufbewahrt. Zur Herstellung der Asphaltmischung werden die Gesteinskörnungen/Korngruppen aus den einzelnen Silotaschen nacheinander und nach Rezept in die Waage gegeben und dort gewogen. Der Füller wird getrennt zugegeben und ebenfalls verwogen. Nach dem Wiegen aller Gesteinskörnungen gelangt die Mischung in den Zwangsmischer, wo das Bitumen per Eindüspumpe zugegeben wird. Nach dem Mischvorgang wird der Asphalt entweder zwischengelagert oder direkt einem LKW zum Abtransport übergeben.

C4. Asphaltprüfung

C4.1 Erstprüfung (Typprüfung)

C4.1.1 Grundlagen

Jede Asphaltmischgutsorte, die im Verkehrswegebau eingesetzt werden soll, muss zunächst einer Erstprüfung unterzogen werden. Hierfür muss der Asphalt in einer anerkannten Prüfstelle als Laborprobe zusammengesetzt, auf seine Eignung hin untersucht und als geeigneter Baustoff „freigegeben“ werden. Für die Freigabe sind die Vorgaben der bereits erwähnten **„Technischen Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen (TL Asphalt-StB)“** maßgebend. Die im Labor ermittelte Rezeptur ist die Grundlage für die Herstellung des jeweiligen Mischgutes in der Asphaltmischanlage. Deswegen werden die Ergebnisse in einem sog. Erstprüfungsbericht zusammengefasst, der nicht nur im Mischwerk vorliegen, sondern auch einem Auftraggeber bei Verlangen vorgelegt werden muss.

Der Erstprüfungsbericht gilt nur für eine Asphalzzusammensetzung und einen Mischguttyp. Die Gültigkeit ist auf 5 Jahre beschränkt.

Neben den TL Asphalt-StB sind weitere Vorschriften für eine Erstprüfung zu beachten:

- „Merkblatt für die Konzeption und die Erstprüfung von Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen (M KEP)“
- DIN EN 13108-20: Asphaltmischgut, Mischgutanforderungen, Teil 20: Typprüfung

Mit der Erstprüfung bzw. dem Erstprüfungsbericht wird also der Eignungsnachweis für einen Asphalt erbracht. Nach den „Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt (ZTV Asphalt StB)“ müssen dabei unter anderem folgende Details enthalten sein:

- Art und Herkunft des Asphaltmischgutes
- Art, Gewinnungsort und Hersteller der zertifizierten Gesteinskörnungen
- Kornanteil grober Gesteinskörnungen im Gesteinskörnungsgemisch in M.-%
- Anteil der Kornklasse feiner Gesteinskörnungen 0,063/2 im Gesteinskörnungsgemisch in M.-%
- Fülleranteil kleiner 0,063 mm im Gesteinskörnungsgemisch in M.-%
- Bindemittelart und -sorte
- Bindemittelgehalt in M.-%
- Art der Zusätze, soweit enthalten sowie Menge der Zusätze in M.-%
- bei Mitverwendung von Asphaltgranulat:
 - Art und Menge in M.-%
 - Erweichungspunkt Ring und Kugel des rückgewonnenen Bindemittels aus dem Asphaltgranulat sowie am resultierenden Bindemittelgemisch, der sich bei Verwendung von Asphaltgranulat ergibt
 - Art und Sorte des Zugabebindemittels
- gegebenenfalls die Ergebnisse weitergehender Prüfungen
- Erklärung über die Eignung für den vorgesehenen Verwendungszweck

Zur Durchführung der erforderlichen Prüfungen im Labor existieren eine Menge weiterer Vorschriften, die in den „**Technischen Prüfvorschriften für Asphalt (TP Asphalt-StB)**“ zusammengefasst sind.

C4.1.2 Durchführung der Prüfung

Für eine Erst- bzw. Typprüfung an Asphalt muss zunächst die für den Einsatz vorgesehene Gesteinskörnung überprüft werden: Dazu gehören die Kontrolle der Unterlagen des Herstellers, wie Leistungserklärungen und CE-Kennzeichnungen, sowie die Beurteilung nach Augenschein.

Danach erfolgt die Bestimmung der Kornverteilungen der einzelnen Lieferkörnungen sowie deren Rohdichten. Aufbauend auf den Kornverteilungen der einzelnen Lieferkörnungen kann die Kornverteilung des Gesteinskörnungsgemisches für den Asphalt konzipiert werden. Wie dies im Einzelnen funktioniert, wird in der Lehrveranstaltung „Straßen- und Gleisbautechnik“ eingehender behandelt. Im Prinzip geht es dabei darum, eine passende Gesamtgesteinskörnungsmischung aus verschiedenen Lieferkörnungen so zusammenzustellen, dass sie zum Beispiel zwischen die beiden gestrichelten Linien in den roten Bereich der Sieblinie passt (siehe Bild C4!).

Erfüllt das Gesteinskörnungsgemisch die Anforderungen an die jeweilige Asphaltmischgutsorte, können Probemischungen und Probekörper im Labor hergestellt werden. Je nach Mischgut und verwendetem Bindemittel sind dabei folgende Temperaturen einzuhalten:

Tabelle C1: Mischtemperatur von Walzasphalt mit Straßenbaubitumen und mit Polymermodifiziertem Bitumen nach TL Bitumen-StB [TP Asphalt, Teil 35 A]

Bitumenart und -sorte	Mischtemperaturen von Walzasphalt [°C]
Straßenbaubitumen	
20/30	180 bis 200
30/45	175 bis 195
50/70	150 bis 170
70/100	145 bis 165
160/220	135 bis 155
Polymermodifiziertes Bitumen	
10/40-65	175 bis 195
25/55-55	150 bis 170
45/80-50	
120/200-40	145 bis 165
40/100-65	150 bis 170

Anmerkungen: Bei Verwendung hier nicht aufgeführter Bitumenarten/-sorten sind die Angaben des Herstellers zu beachten.
Für die Herstellung von **Gussasphalt** darf die Mischtemperatur 230 °C nicht überschreiten.

Probemischungen sollten, bei gleichem Gesteinskörnungsgemisch, mit unterschiedlichen Bindemittelgehalten ausgeführt werden. Dabei sollte der Abstand der verschiedenen Bindemittelgehalte bei mindestens 0,3 M.-% liegen. Erfahrungen haben gezeigt, dass der maximale Abstand 0,5 M.-% nicht überschreiten sollte.

Im Fall des in Bild C4 gezeigten Beispiels (Asphaltbeton AC 8 D N) ist der minimale Bindemittelgehalt mit $B_{\min 6,4}$ angegeben, liegt also bei 6,4 M.-%. Für eine Erstprüfung könnten also 3 Serien mit Bindemittelgehalten von 6,4, 6,9 und 7,3 M.-% als erster Ansatz zum Einsatz kommen. Weitere Prüfungen (siehe Abschnitt C4.3) müssten dann zeigen, ob die gewählten Gehalte die erforderlichen Anforderungen bereits einhalten oder weitere Mischungen notwendig sind. Dies kann unter Umständen durchaus eine längere Zeit, also Tage oder sogar Wochen, in Anspruch nehmen.

Bei Erfüllung aller Anforderungen ist die Erstprüfung abgeschlossen. Der Erstprüfungsbericht mit allen Details zur Rezeptur kann an den Hersteller weitergegeben und Auftraggebern bei Bedarf vorgelegt werden. Der Asphalt darf somit im Mischwerk „an den Start gehen“ und auf der Baustelle eingesetzt werden.

C4.2 Kontrollprüfungen

C4.2.1 Grundlagen

Mit Kontrollprüfungen kann der Auftraggeber feststellen, ob die Güteeigenschaften der Baustoffe, der Baustoffgemische und der fertigen Leistung die vertraglichen Anforderungen erfüllen. Wie diese Prüfungen im Einzelnen durchzuführen sind, kann den **„Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt (ZTV Asphalt-StB)“** entnommen werden.

Die jeweiligen Ergebnisse sind Grundlage der Bauabnahme. Probenahmen und Prüfungen, die auf der Baustelle erfolgen, führt der Auftraggeber in Anwesenheit des Auftragnehmers durch. Dies kann auch in Abwesenheit des Auftragnehmers stattfinden, wenn er den rechtzeitig bekannt gegebenen Termin nicht wahrnimmt.

C4.2.2 Gesteinskörnungen

Werden Gesteinskörnungen angeliefert, können Durchschnittsproben entnommen und untersucht werden. Dabei sind die folgenden Mindest-Probemengen zu beachten:

- Füller (Gesteinsmehl) 2 kg
- Lieferkörnungen bis 8 mm: 5 kg
- Lieferkörnungen über 8 mm: 15 kg

C4.2.3 Bindemittel

Am Asphaltmischwerk sollen vom eingesetzten Bindemittel im Asphaltmischwerk Durchschnittsproben, die aus 3 Teilproben von jeweils 2 kg bestehen, entnommen werden. Eine dieser 3 Teilproben wird dann nach den Vorgaben der **„Technischen Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen (TL Asphalt-StB)“** untersucht.

Geben äußere Eigenschaften, wie fehlende Gleichmäßigkeit, Farbe, Glanz, Geruch oder Verunreinigungen Anlass zu Bedenken, ist eine weitere Probe zu entnehmen und zu untersuchen.

C4.2.4 Asphaltmischgut und erbrachte Bauleistung (eingebaute Schicht)

Die folgende Tabelle enthält eine Übersicht der bei einer Kontrollprüfung an Asphaltmischgut und eingebauter Asphaltdeckschicht durchzuführenden Untersuchungen. Die mit „X“ bezeichneten Prüfungen sind je nach Mischgut und Leistung durchzuführen; die mit „–“ bezeichneten Prüfungen kommen nicht infrage.

Tabelle C2: Art und Umfang der Kontrollprüfungen an Asphaltmischgut und der eingebauten Schicht [nach ZTV Asphalt-StB, Tabelle 26]

Schicht / Art der Prüfung	Asphaltdeckschicht aus					
	Asphalttragschicht	Asphalttragdeckschicht	Asphaltbinderschicht	Asphaltbeton, Splittmastixasphalt	Gussasphalt	Offenporigem Asphalt
1. Asphaltmischgut¹⁾²⁾						
1.1 Korngrößenverteilung	X	X	X	X	X	X
1.2 Bindemittelgehalt	X	X	X	X	X	X
1.3 TR&B des rückgewonnenen Bindemittels	X	X	X	X	X	X
1.4 Elastische Rückstellung des rückgewonnenen Polymermodifizierten Bindemittels	–	–	X	X	X	X
1.5 Raumdichte und Hohlraumgehalt am Probekörper	X	X	X	X	X ³⁾	X
1.6 Statische Eindringtiefe (einschl. Zunahme nach weiteren 30 Minuten)	–	–	–	–	X	–
2. Eingebaute Schicht						
2.1 Einbaudicke bzw. Einbaumenge	X	X	X	X	X	X
2.2 Hohlraumgehalt ¹⁾	X	X	–	X	–	X
2.3 Verdichtungsgrad ¹⁾	X	X	X	X	–	X
2.4 Schichtenverbund ¹⁾	–	–	X	X	X	–
2.5 Profilerecte Lage (Quernehmung)	X	X	X	X	X	X
2.6 Ebenheit	X	X	X	X	X	X
2.7 Griffigkeit	X	X	–	X	X	X

¹⁾ Für jede Schicht und je angefangene 6000 m² Einbaufläche eine Probe; bei Bedarf Erhöhung der Probenanzahl (z.B. bei Stadtstraßenbau, bei Brückenbelägen)

²⁾ Gegebenenfalls besondere Zuschlagstoffe und Zusätze

³⁾ Nur Raumdichte am Probewürfel

C4.2.5 Schiedsuntersuchungen

Bestehen begründete Zweifel des Auftraggebers oder des Auftragnehmers an den Ergebnissen einer Kontrollprüfung, kann eine sog. Schiedsuntersuchung erforderlich werden. Hierbei handelt es sich um die Wiederholung der bereits erfolgten Kontrolluntersuchung.

Sie wird auf Antrag eines Vertragspartners durch eine staatlich anerkannte Prüfstelle, die nicht die Kontrollprüfung durchgeführt hat, vorgenommen und tritt an die Stelle der ursprünglichen Prüfung und deren Ergebnisse.

Die Kosten der Schiedsuntersuchung mit allen Nebenkosten hat derjenige zu tragen, zu dessen Ungunsten das Ergebnis ausfällt.

C4.3 Bestimmung der wichtigsten Kenngrößen

C4.3.1 Grundlagen

Egal, ob Erst- oder Kontrollprüfung an Asphalt, die dabei zu ermittelnden wichtigsten Kenngrößen und Prüfungen sind zum großen Teil gleich.

C4.3.2 Bestimmung der Korngrößenverteilung und des Bindemittelgehaltes

Die Korngrößenverteilung eines Asphaltes wird durch Siebanalyse bestimmt. Hierfür gilt der Teil 2 der „Technischen Prüfvorschriften für Asphalt (TP Asphalt-StB)“.

Bild C10: Aussieben einer Lieferkörnung (links) und Zusammenstellung eines Gesteinskörnungsgemisches (rechts) im Rahmen einer Erstprüfung für Asphalt [eigene Aufnahmen im Rahmen des Praktikums im Straßenbaulabor]



Für eine **Erstprüfung** wird das geeignete Gesteinskörnungsgemisch für den vorgesehenen Asphalt erstmals zusammengesetzt. Hierfür werden die einzelnen Lieferkörnungen (z.B. 0/2, 2/5, 5/8 etc.) per Siebung analysiert und danach zu einem Gesteinskörnungsgemisch zusammengesetzt.

Bild C11: Beispiel einer Siebanalyse für eine Erstprüfung von Asphalt
[aus „Straßen- und Gleisbautechnik“]

Prüfsieb- nennweite [mm]	Siebdurchgänge der einzelnen Lieferkörnungen[M.-%]					Gesamtdurchgang Gesteinskörnung- gemischs [M.-%]
	Füller 0/0,063	fGk 0/2	gGk 2/5	gGk 5/8	gGk 8/11	
16					100,0	100,0
11,2				100,0	97,4	98,9
8			100,0	89,7	13,9	61,2
5,6		100,0	90,5	7,8		39,9
2		87,6	3,2			23,5
0,71		50,9				17,1
0,125	100,0	28,3				13,5
0,063	89,0	15,1				10,4
Anteil [M.-%]	9	16	15	17	43	100

Der Asphalt entsteht sozusagen zum ersten Mal im Labor: Nachdem das passende Gesteinskörnungsgemisch gefunden wurde, wird der geeignete Bindemittelgehalt bestimmt. Nach diversen weiteren Tests wird die zweckmäßige Mischung aus Gesteinskörnungsgemisch und Bitumen ermittelt; dieser Asphalt wird dann im Erstprüfungsbericht mit allen Untersuchungsergebnissen zusammengestellt.

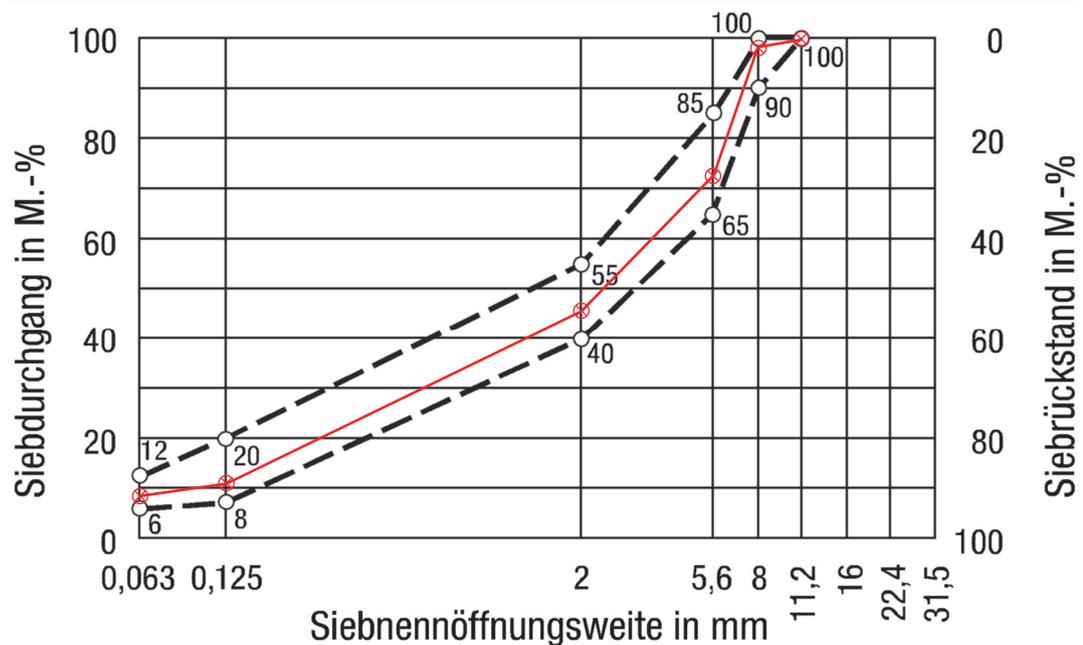
Im Fall einer **Kontrollprüfung** muss dafür die Asphaltprobe mit einem Lösungsmittel „ausgewaschen“ werden, so dass nur noch das Gesteinskörnungsgemisch verbleibt, das dann nach Trocknung gesiebt werden kann. Der Prozess der Trennung von Gesteinskörnung und Bindemittel wird **Extraktion** genannt und kann nach verschiedenen Verfahren (heiß oder kalt) unter Einsatz von verschiedenen Lösungsmitteln durchgeführt werden.

Der Vorteil der Extraktion liegt darin, dass dabei auch das Bindemittel zurückgewonnen werden kann. Somit lässt sich nicht nur das Gesteinskörnungsgemisch auf seine korrekte Zusammensetzung gemäß Erstprüfungsbericht überprüfen (siehe Bild C13a und b!), sondern auch der geforderte Bindemittelgehalt (siehe Bild C14!). Die wichtigsten Arbeitsschritte zur Durchführung einer Extraktion lassen sich dem Teil 1 der „**Technischen Prüfvorschriften für Asphalt (TP Asphalt-StB) - Bindemittelgehalt**“ entnehmen.

Bild C12a: Beispiel einer Siebanalyse der Gesteinskörnung nach einer Extraktion des Bindemittels aus dem Asphalt]

Prüfsiebennweite [mm]	Rückstand auf dem Sieb		Siebdurchgang
	[g]	[M.-%]	[M.-%]
..22,4			
16			
11,2		0	100,0
8	19,7	2,1	97,9
5,6	236,9	25,2	72,7
2	257,6	27,4	45,3
1	137,2	14,6	30,7
0,25	143,8	15,3	15,4
0,125	47,0	5,0	10,4
0,063	16,9	1,8	8,6
Auffang < 0,063	80,9	8,6	0
Summe [%]	940	100,0	

Bild C12b: Ermittelte Sieblinie der Gesteinskörnung nach einer Extraktion des Bindemittels aus dem Asphalt [bearbeitete Quelle: TL Asphalt, Bild E 17]



Die Siebanalyse im Rahmen der Kontrollprüfung ergibt, dass die Grenzwerte (gestrichelte Linien) den Anforderungen für Asphaltdeckschichtmischgut AC 8 D S (gemäß Technischen Lieferbedingungen für Asphalt) entsprechen, da die ermittelte rote Sieblinie für den Siebdurchgang zwischen den erlaubten Grenzwerten liegt!

Bild C13: Extraktionsanlage und Rotationsverdampfer
[Uni Siegen, Asphalt Testing Solutions & Engineering]



links: Extraktionsanlage zur Trennung von Gesteinskörnung und Bindemittel-Lösungsmittelgemisch. Der Füller wird separat durch Zentrifugierung des Bindemittel-Lösungsmittelgemisches zurückgewonnen.

rechts: Rotationsverdampfer zur Trennung von Lösungsmittel und Bitumen

Für die Berechnung des **löslichen Bindemittelanteils** stehen zwei Methoden mit folgenden Gleichungen zur Verfügung:

Differenzverfahren: Differenz zwischen Einwaage der Asphaltprobe und Auswaage des Gesteinskörnungsgemisches:

$$B_{SD} = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100 \text{ [M.-%]}$$

mit

$$\left\{ \begin{array}{l} m = \text{Einwaage der Asphaltprobe (trocken) [g]} \\ \text{wobei } m = m_e \cdot 100 / (100 + w) \\ m_e = \text{Einwaage der Asphaltprobe (feucht) [g]} \\ w = \text{Wassergehalt [\%]} \\ m_1 = \text{Auswaage des Gesteinskörnungsgemisches (trocken) nach Extraktion [g]} \end{array} \right.$$

Rückgewinnungsverfahren: Masse des rückgewonnenen Bindemittels bezogen auf die trockene Asphalteinwaage:

$$B_{SR} = \frac{m_b}{m} \cdot 100 \text{ [M.-%]}$$

mit

$$\left\{ \begin{array}{l} m_b = \text{rückgewonnenes Bindemittel [g]} \\ m = \text{Einwaage der Asphaltprobe (trocken) [g]} \end{array} \right.$$

Bei der Extraktion lässt sich nur der lösliche Anteil des Bindemittels bestimmen. Es verbleibt aber immer ein geringer Anteil an unlöslichem Bindemittel, das durch die Extraktion nicht herausgelöst werden kann. Dieser **unlösliche Bindemittelanteil** kann näherungsweise wie folgt berechnet werden:

$$B_{unl} = 0,014 \cdot F + 0,1 \text{ [M.-%]} \quad \text{mit} \quad F = \text{Feinanteil} < 0,063 \text{ mm im Gesteinskörnungsgemisch}$$

Somit ergibt sich als Gesamtergebnis für den Bindemittelgehalt **B**:

$$B = B_{SD} \text{ (aus Differenzverfahren)} \text{ oder } B_{SR} \text{ (aus Rückgewinnungsverfahren)} + B_{unl}$$

Die Ergebnisse für B_{SD} , B_{SR} und B_{unl} sind auf 0,01 M.-% gerundet anzugeben. Das Ergebnis für **B** wird auf 0,1 M.-% gerundet angegeben.

C4.3.3 Herstellung von Probegemischen und Probekörpern im Labor

Für **Erstprüfungen** ist, wie bereits dargestellt, zunächst die Kornverteilung des zu entwickelnden Asphaltes zu ermitteln. Um im nächsten Schritt auch die passende Bindemittelmenge zu bestimmen, wird das Gesteinskörnungsgemisch mit unterschiedlichen Bindemittelgehalten versetzt. Dabei sollten die Bindemittelgehalte um mindestens 0,3 M.-% auseinanderliegen und zumindest 3 Asphaltprobemischungen mit unterschiedlichen Bindemittelgehalten hergestellt werden. Im Labor kommt hierfür ein spezieller Mischer zum Einsatz.

Bild C14: Einfüllen von Gesteinskörnungsgemisch (links) und Bindemittel (rechts) in den Labormischer im Rahmen einer Erstprüfung [Praktikum im Straßenbaulabor]



Im Rahmen von **Kontrollprüfungen** ist ein Zusammensetzen des Asphaltes im Labor nicht erforderlich, da die Probenahme des fertig gemischten Asphaltes auf der Baustelle erfolgt. Dabei wird der aus dem Mischwerk angelieferte Asphalt direkt am Straßenfertiger entnommen, in Eimer gefüllt und in die Prüfstelle transportiert. Nach Einbau des Asphaltes werden weitere Proben direkt aus der Asphaltbefestigung - im Regelfall in Form von Bohrkernen - entnommen.

Bild C15: Asphaltprobenahme direkt am Straßenfertiger (links) und durch Bohrkernentnahme (rechts)



Im Gegensatz zur Erstprüfung, mit der die Rezeptur des Asphaltes bestimmt wird, klärt die Kontrollprüfung, ob die Vorgaben aus der Erstprüfung in der Asphaltmischanlage tatsächlich eingehalten wurden und ob der Asphalt richtliniengemäß eingebaut wurde.

Hierzu werden verschiedene Laboruntersuchungsverfahren eingesetzt. Je nach Test wird hierfür das Asphaltmischgut in loser Form oder als Probekörper (Marshall-Probekörper, Gussasphaltprobewürfel) verwendet.

C4.3.4 Bestimmung der Rohdichte am Asphaltmischgut

Im Rahmen von **Erstprüfungen** kann die Rohdichte des Asphaltes anhand der Rohdichte des Gesteinskörnungsgemisches und der Dichte des Bindemittels bestimmt werden. Dies setzt voraus, dass diese Dichten zuvor im Labor ermittelt wurden und die Asphaltmischungsrezeptur im Rahmen der Erstprüfung bereits feststeht (siehe Abschnitt C4.3.2!). Für die Bestimmung der Dichten werden im Regelfall sog. Pycnometer eingesetzt. Wie dies erfolgt, wird für die Kontrollprüfung im Folgenden noch erläutert.

Die Rohdichte kann dann als harmonisches Mittel bestimmt werden. Diese Mittelwertbestimmung kommt - im Gegensatz zum arithmetischen Mittel - immer bei sog. Verhältniszahlen (Brüchen) zum Einsatz, wie dies bei der Rohdichteberechnung der Fall ist.

Für die einzelnen im Asphalt eingesetzten Gesteinskörnungen/Lieferkörnungen 1,2,3 bis i gilt zunächst:

$$G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_i = 100 \text{ [M.-\%]}$$

mit $G_1 - G_i$ = Gesteinskörnungsgehalt in M.-%

Zur Bestimmung der Rohdichte des Gesteinskörnungsgemisches wird dann das harmonische Mittel aus den einzelnen Rohdichten der Lieferkörnungen berechnet:

$$\rho_{R,G} = \frac{100}{\frac{G_1}{\rho_{R,G_1}} + \frac{G_2}{\rho_{R,G_2}} + \frac{G_3}{\rho_{R,G_3}} + \dots + \frac{G_i}{\rho_{R,G_i}}} \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

mit $\rho_{R,G}$ = Rohdichte des Gesteinskörnungsgemisches

Der Asphalt setzt sich aus einem Anteil Bindemittel **B** und einem Anteil Gesteinskörnungsgemisch **G** zusammen. Damit gilt:

$$B + G = 100 \text{ [M.-\%]}$$

Als Ergebnis einer Erstprüfung sind die prozentualen Anteile für B und G bekannt. Da die Rohdichten für Bindemittel und Gesteinskörnung ebenfalls vorliegen, kann zur Berechnung der Rohdichte des Asphalts wiederum das harmonische Mittel herangezogen werden:

$$\rho_m = \frac{100}{\frac{B_{\%}}{\rho_{25}} + \frac{G_{\%}}{\rho_{R,G}}}$$

mit

- $B_{\%}$ = Bindemittelgehalt in Massenprozent (M.-%)
bezogen auf 100 M.-% Asphalt
- $G_{\%}$ = Gesteinskörnungsgemischgehalt in Massenprozent (M.-%)
bezogen auf 100 M.-% Asphalt
- ρ_{25} = Rohdichte des Bindemittels bei $T = 25^{\circ} \text{C}$
- $\rho_{R,G}$ = Rohdichte des Gesteinskörnungsgemischs

Zur Bestimmung der Rohdichte am Asphaltmischgut im Rahmen einer **Kontrollprüfung** wird der Asphalt in loser, krümeliger Form sowie ein sog. **Flaschenpyknometer** benötigt. Die maßgebenden Arbeitsschritte bei der Rohdichtermittlung sind den „**Technischen Prüfvorschriften für Asphalt - Teil 5, Rohdichte von Asphalt**“ zu entnehmen.

Im ersten Arbeitsschritt ist zunächst das Flaschenpyknometer bereitzustellen, das gereinigt, kalibriert und im Bereich des Schliffaufsatzes eingefettet sein muss. Das so vorbereitete leere Pyknometer muss zunächst gewogen werden (**Gewicht m_1**).

Danach muss die Asphaltprobe auf ca. 110 °C erwärmt werden; die Probemenge sollte mindestens das 50-fache des Größtkorns im Gramm betragen.

Beispiel Größtkorn: 11 mm $\Rightarrow 11 \cdot 50 \cong 550$ Gramm

Ein Mindestgewicht von 250 Gramm darf auf keinen Fall unterschritten werden.

Die erhitzte Probe wird danach getrocknet und granuliert, also in möglichst kleine Stückchen ≤ 6 mm zerlegt. Dies kann manuell oder mit Hilfe eines Granuliergerätes erfolgen.

Bild C16: Flaschenpyknometer [TP Asphalt]

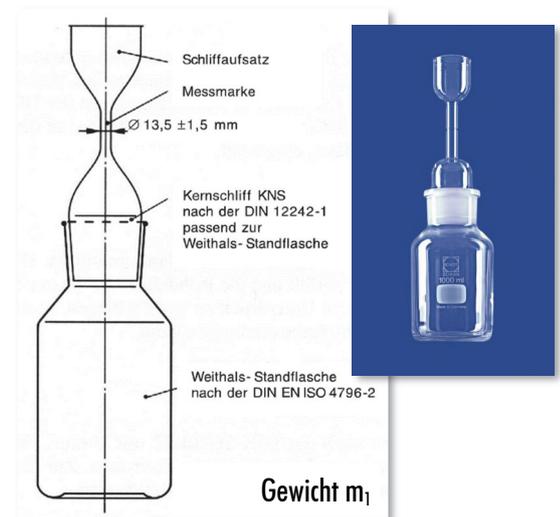


Bild C17: Asphaltgranulierung [Infratest]



Im nächsten Arbeitsschritt wird die Asphaltprobe nach Abnehmen des Schliffaufsatzes ins Pyknometer gefüllt, wobei das Pyknometer zu 2/3 gefüllt sein sollte. Das Pyknometer mit der Probe wird anschließend erneut gewogen (**Gewicht m_2**).

Anschließend wird das Pyknometer mit Wasser bis 2 cm unterhalb des Schliffes gefüllt und der Schliffaufsatz wird aufgesetzt. Die noch enthaltene Luft wird danach durch Rütteln und Schütteln des Pyknometers entfernt. Dann wird das Pyknometer in einem Vakuumsystem mit einem Unterdruck von 30 hPa gelagert, um auch die letzten Luftrückstände zu entfernen.

Tritt keine Luft mehr aus (aus dem Wasser steigen keine Blasen mehr auf), wird das Pyknometer bei $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ im Wasserbad für mindestens 90 Minuten gelagert.

Bild C18: Pyknometer ohne Füllung(①), Pyknometer mit Asphalt (②),
Pyknometer mit Asphalt und Wasserfüllung im Wasserbad (③)
[Bachelor-Thesis Kurtoglu, Aalener Baustoffprüfinstitut]



Nach der Lagerung wird das Pyknometer bis zur Füllmarke mit Wasser aufgefüllt und erneut gewogen (Gewicht m_3). Durch die Kalibrierung ist das Volumen bis zur Füllmarke bekannt, so dass die Berechnung der Asphaltrohddichte wie folgend erfolgen kann:

$$\rho_m = \frac{m_2 - m_1}{V_{Pt} \cdot \frac{m_3 - m_2}{\rho_w}}$$

mit

$$\left\{ \begin{array}{l} m_1 = \text{Masse des Pyknometers + Aufsatz [g]} \\ m_2 = \text{Masse Pyknometer + Aufsatz + Probe [g]} \\ m_3 = \text{Masse Pyknometer + Aufsatz + Probe + Wasser [g]} \\ V_{Pt} = \text{Volumen Pyknometer bis Messmarke [cm}^3\text{]} \\ \rho_w = \text{Dichte des Wassers bei } 25^\circ\text{C} = 0,997 \text{ g/cm}^3 \end{array} \right.$$

**Labor-
demo!**

C4.3.5 Bestimmung der Raumdichte an Asphaltprobekörpern

Egal, ob Erst- oder Kontrollprüfung, die Raumdichte von **Walzasphalten** wird in beiden Fällen an sog. **Marshall-Probekörpern** (Durchmesser = 101,6 mm; Höhe = $63,5 \pm 2,5$ mm) untersucht. Diese Probekörper werden im Labor durch Schlagverdichtung mit einem Marshall-Verdichtungsgerät hergestellt; maßgebend für die Herstellung sind die „**Technischen Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 30**“.

Der zu untersuchende Asphalt wird zunächst in eine Mischschale gegeben, abgedeckt und in einem Wärmeschrank (Wärmekammer) auf die erforderliche Verdichtungstemperatur gebracht:

- $(135 \pm 5)^\circ\text{C}$ bei Verwendung von Straßenbaubitumen gemäß TL Bitumen-StB
- $(145 \pm 5)^\circ\text{C}$ bei Verwendung von Polymermodifiziertem Bitumen nach TL Bitumen-StB

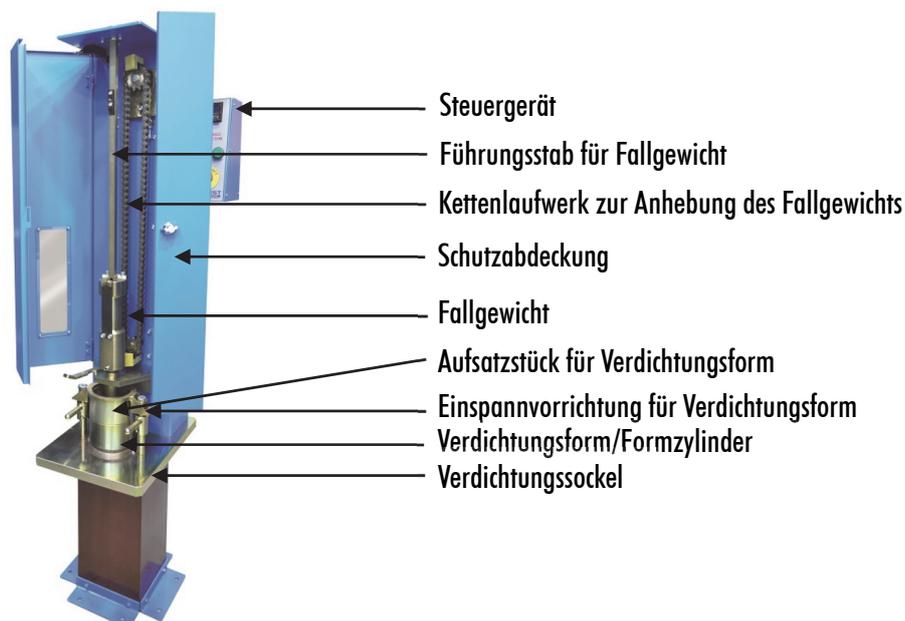
Anschließend wird der erwärmte Asphalt aus der Mischschale mit Hilfe eines Aufsatzstückes in den Formzylinder/die Verdichtungsform für den Marshall-Probekörper eingefüllt. Sofort nach dem Einfüllen wird der Zylinder in das Marshall-Verdichtungsgerät eingesetzt, der Fallhammer wird aufgesetzt und die Schlagverdichtung kann beginnen.

Hierbei wird die Asphaltprobe innerhalb von einer Minute mit 50 Schlägen aus einer Fallhöhe von (460 ± 3) mm verdichtet. Nach den 50 Schlägen wird der Formzylinder mit der Asphaltprobe gedreht und es erfolgen erneut 50 Verdichtungsschläge in der bereits beschriebenen Art und Weise. Nach Abkühlung werden die Marshall-Probekörper aus dem Formzylinder über eine hydraulische Auspressvorrichtung ausgeformt.

Bild C19: Einfüllen des erwärmten Asphaltes in den Formzylinder (①), Einsetzen des Formzylinders in das Marshall-Verdichtungsgerät (②), Ausformen des Marshallprobekörpers (③), ausgeformte fertiggestellte Marshall-Probekörper (④) [Praktikum im Straßenbaulabor]



Bild C20: Funktionsprinzip des Marshall-Verdichtungsgerätes [bearbeitete Quelle: PCTE]



Die Raumdichte von Gussasphalt an sog. **Gussasphalt(probe)würfeln** (Größe = 70,7 · 70,7 · 70,7 cm) untersucht, ganz gleich, ob es sich um eine Erst- oder Kontrollprüfung handelt. Genaue Anweisungen, wie diese Würfel herzustellen, sind den „**Technischen Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 20**“ zu entnehmen.

Zunächst wird das Gussasphaltemischgut in einer Wärmekammer vortemperiert und anschließend in einer Mischschale homogenisiert, wobei die Mischguttemperatur 230 °C nicht überschreiten darf. Das Mischgut wird anschließend in die auf 100 bis 150 °C vortemperierten Herstellformen gefüllt und durch Stochern mit einem Spatel so verteilt, dass alle eingeschlossenen Luftblasen entweichen können. Danach wird das Material mit Hilfe eines Hartholzstampfers in die Ecken der Form gedrängt.

Bild C21: Gussasphalt in Herstellform für Würfel [Heinrich Hart GmbH]



Nach ca. 15 Minuten muss der abgekühlte, aber noch warme Gussasphalt mit einer heißen planebenen Platte an der Oberfläche geglättet werden. Ist der Asphalt auf Raumtemperatur abgekühlt, kann er aus der Form genommen und den weiteren Untersuchungen unterzogen werden.

Zur Bestimmung der Raumdichten an Marshall-Probekörpern und Gussasphaltprobewürfeln gibt es unterschiedliche Möglichkeiten. Grundsätzlich gilt aber für die Raumdichte der folgende Zusammenhang:

$$\rho_b = \frac{\text{Masse (Gewicht) der Asphaltprobe [g]}}{\text{Volumen der Asphaltprobe [cm}^3]} = \frac{m_A}{\text{Vol.}_A}$$

Am häufigsten wird in Laboren zur Ermittlung der Raumdichte das folgende Verfahren nach den „**Technischen Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 6**“ eingesetzt:

Der trockene Probekörper ist zunächst auf 0,1 g genau zu wiegen (**Masse m_1**). Anschließend wird der Probekörper (90 ± 30) Minuten im Wasserband auf (25,0 ± 0,1) °C temperiert, wobei der Probekörper von anhaftenden Luftblasen zu befreien ist. Der Probekörper wird danach im Wasser, also unter Auftrieb, gewogen (**Masse m_2**). Im nächsten Schritt wird der Probekörper aus dem Wasser genommen, mit einem feuchten Ledertuch abgetupft und erneut gewogen (**Masse m_3**).

Der Berechnung der Raumdichte erfolgt abschließend nach der folgenden Gleichung (Archimedes lässt freundlich grüßen!):

$$\rho_b = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \cdot \rho_w \quad \text{mit} \quad \left\{ \begin{array}{l} m_1 = \text{Masse des trockenen Probekörpers [g]} \\ m_2 = \text{Masse des Probekörpers in Wasser [g]} \\ m_3 = \text{Masse des abgetupften Probekörpers [g]} \\ \rho_w = \text{Dichte des Wassers bei 25°C} = 0,997 \text{ g/cm}^3 \\ \text{(darf vereinfachend mit 1,0 g/cm}^3 \text{ angenommen werden)} \end{array} \right.$$

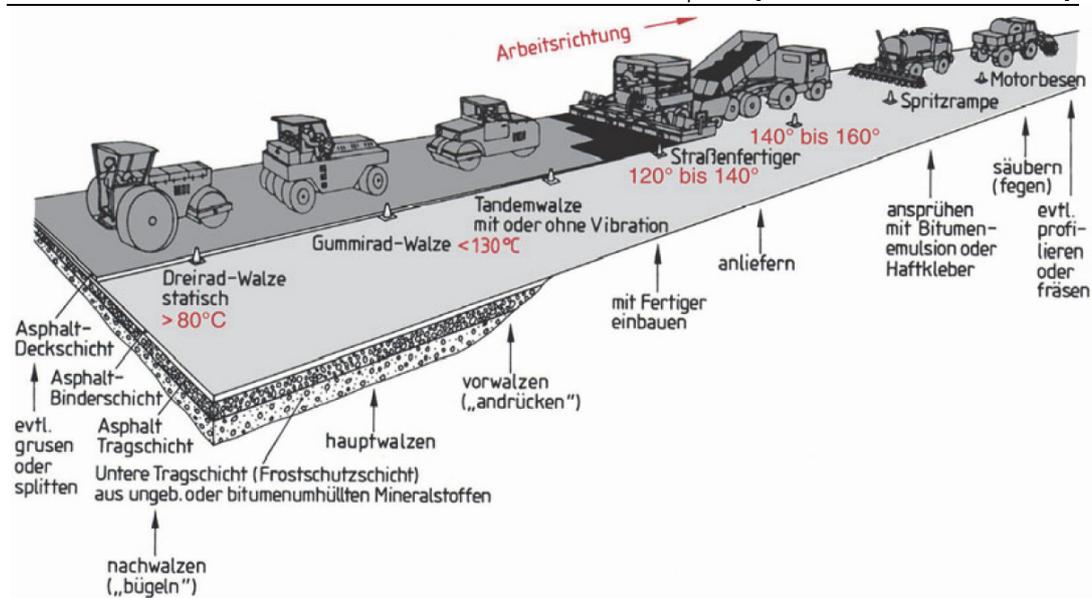
C4.3.6 Ermittlung von Verdichtungsgrad und Hohlraumgehalt

Mit den bereits erläuterten Kennwerten Roh- und Raumdichte lassen sich weitere wichtige Daten zur Beschreibung von Asphalt bestimmen.

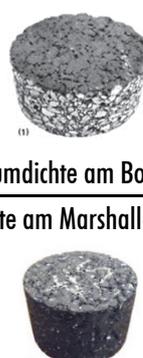
Der Name Walzasphalt, der u.a. die Mischgutarten Asphaltbeton, Splittmastixasphalt, Offenporiger Asphalt umfasst, definiert es bereits eindeutig: Dieser Asphalt muss beim Einbau verdichtet, also gewalzt werden, um zukünftige Verkehrsbelastungen schadlos aufnehmen zu können. Die folgende Abbildung zeigt das dazugehörige Einbauprinzip:

Der sog. **Verdichtungsgrad** gibt deswegen Auskunft darüber, ob der Walzasphalt tatsächlich ordnungsgemäß auf der Baustelle verdichtet wurde.

Bild C22: Einbau von Walzasphalt [Baufachkunde, D. Richter]



Zur Ermittlung des Verdichtungsgrades k muss als Referenzgröße die Raumdichte am Marshallprobekörper durch Tauchwägung bestimmt werden (siehe Abschnitt C4.3.5!). Mit der gleichen Methode wird auch die Raumdichte am Bohrkern der eingebauten Asphaltdeckschicht untersucht. Beide Werte gehen in die folgende Gleichung ein:

$$\text{Verdichtungsgrad } k = \frac{\text{Raumdichte am Bohrkern}}{\text{Raumdichte am Marshall-Probekörper}} \cdot 100 = \frac{\rho_{b,c}}{\rho_{b,i}} \cdot 100 [\%]$$


Im Rahmen von Kontrollprüfungen gelten Werte für $k \geq 98 \%$ im Regelfall für Walzasphalte als ausreichend. Bei Werten um die 100 % Verdichtungsgrad liegt man immer auf der sicheren Seite.

Für alle Walzasphalte gilt, dass sie auch im eingebauten Zustand einen gewissen **Hohlraumgehalt** - also einen Anteil Luft - aufweisen müssen. Dieser Anteil an Hohlräumen wird für Marshallprobekörper (MPK) und für Bohrkern ermittelt. Für MPK aus Asphaltbeton für Deckschichten soll dieser Hohlraumgehalt im Bereich von 1,5 bis 4,5 Vol.-% liegen; im eingebauten Zustand sind Werte von $\leq 5,5$ bis 6,5 Vol.-% noch zulässig. Man spricht in diesem Zusammenhang auch oft von hohlraumarmen Asphalten.

Im Fall ausreichender Hohlräume bietet eine Asphaltdeckschicht ein fest mit Bitumen verklebtes Korngerüst, das sich je nach Temperatur elastisch bzw. viskoelastisch verhält und damit eine gewisse Beweglichkeit bei Belastungen ermöglicht, ohne sich dabei dauerhaft zu verformen. Der Hohlraumgehalt darf andererseits nicht zu groß gewählt werden, damit der Asphalt ausreichend gegen eindringendes Wasser, Salz, Schmutz und UV-Strahlen geschützt ist.

Voraussetzung hierfür ist ein Korngerüst, bei dem sich die einzelnen Gesteinskörner durch die Verdichtung aufeinander abstützen und die Verkehrslasten in die weiteren Schichten schadlos abtragen können. Die Verdichtung sorgt auch für eine glatte und dichte Oberfläche des Asphaltes.

Bild C23: Prinzipskizze eines verdichteten Asphaltbetons mit geringen Hohlräumen (weiß) und einem stützenden Gesteinskörnungsgerst (schwarz) [ARBIT-Schriftenreihe]



Für die Berechnung des Hohlraumgehaltes einer Walzasphaltschicht werden als Eingangsgößen die bereits behandelten Roh- und Raumdichten des Asphaltes benötigt. Sie sind Bestandteil der folgenden Bestimmungsgleichungen für die Hohlraumgehalt V (englisch „Voids“ für Hohlräume, in DIN-Normen auch als V_a bezeichnet):

$$V = V_a = \left\{ 1 - \frac{\rho_b}{\rho_m} \right\} \cdot 100 = \left\{ \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} \right\} \cdot 100 \text{ [Vol.-%]}$$

mit

ρ_b = Raumdichte des Asphaltprobekörpers

ρ_m = Rohdichte der Asphaltprobe

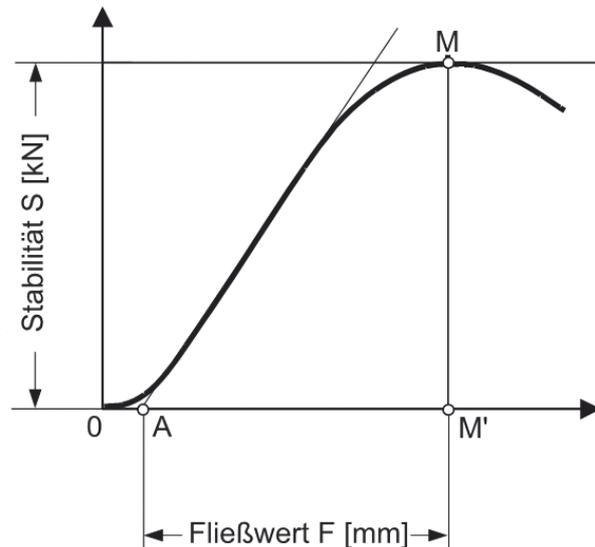
Im Zusammenhang mit dem Hohlraumgehalt sind zwei wichtige Ausnahmen zu nennen:

- Offenporige Asphalte, deren **große Hohlräume** (24 – 28 Vol.-%) ganz gezielt für einen Durchfluss von Wasser sorgen sollen
- Gussasphalte, die grundsätzlich **keine Hohlräume** aufweisen

C4.3.7 Bestimmung der Marshall-Stabilität und des Marshall-Fließwertes an Asphaltprobekörpern

Die Herstellung der Marshall-Probekörper (MPK) war in früheren Zeiten oft auch mit der Bestimmung der Marshall-Stabilität nach den „**Technischen Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 34**“ verbunden. Hierzu werden die Probekörper bei vorgegebener Temperatur senkrecht zur Verdichtungsrichtung mit 50 mm/min. weggeregelt belastet. Dabei verformen die beiden Druckschalen des Versuchsgerätes den Probekörper bis zur Zerstörung des Asphaltgefüges. Als Ergebnis werden der maximale Widerstand gegen Verformung, die **Marshall-Stabilität S**, sowie die Verformung bei Höchstlast, der **Marshall-Fließwert F**, wie in unten rechts dargestellter Abbildung ermittelt.

Bild C24: Versuchsaufbau und Kraft-Verformungsdiagramm zur Ermittlung der Marshall-Stabilität S und des Marshall-Fließwertes F [Tinius Olsen, TP Asphalt-StB, Teil 34]



Mittlerweile werden aber keine Grenzwerte für diesen Versuch mehr angegeben, da sich diese nach heutigem Wissenstand nicht bewährt haben. Eine wissenschaftliche Beurteilung der Asphaltstabilität auf Basis von Marshall-Stabilität und -Fließwert ist somit nicht oder nur sehr bedingt möglich. Aus diesem Grund wird auf die Durchführung und die Angabe von Marshall-Versuchsergebnissen, z.B. im Rahmen von Kontrollprüfungen, verzichtet. Bauvertragliche Anforderungen an Stabilität und Fließwert wurden ebenfalls ersatzlos gestrichen.

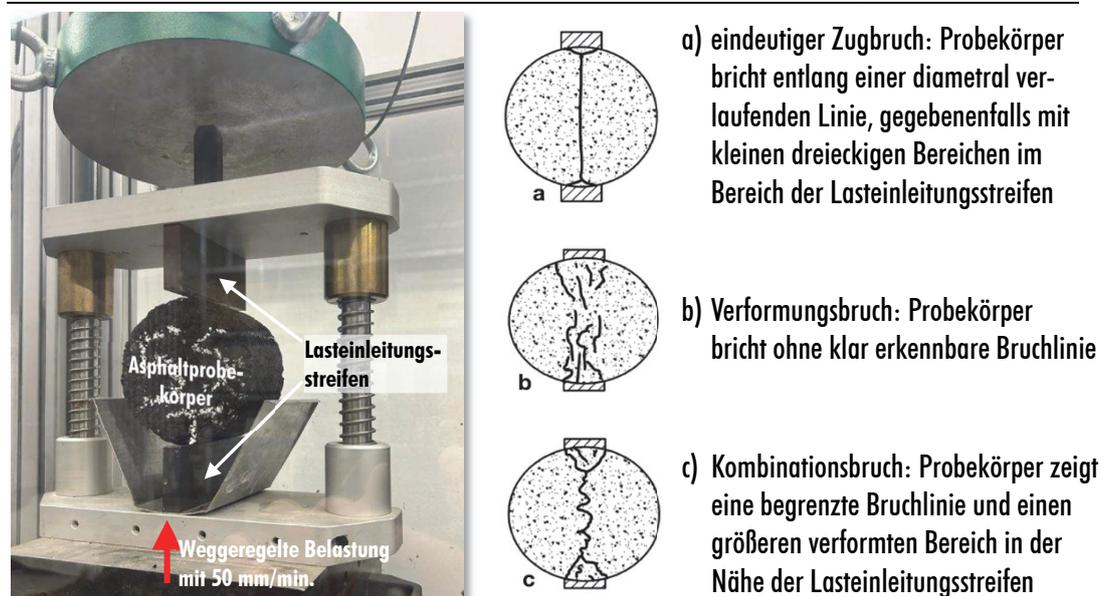
Bei der Konzeption von Walzasphaltemischungen kann der Versuch aber eine Orientierung bei der Festlegung des optimalen Bindemittelgehaltes bieten, so dass einige Institute den Marshall-Versuch bei Erstprüfungen einsetzen. Darüber hinaus kann er als Steuergröße dienen und Hinweise auf die Gleichmäßigkeit einer Asphaltproduktion bieten, so dass manche Asphaltmischwerke den Marshall-Versuch im Rahmen der Eigenüberwachung einsetzen. Darüber hinaus lassen sich die ermittelten Ergebnisse für Stabilität und Fließwert gut zur Identifikation von veränderten Bindemittelleigenschaften, von mechanisch wirksamen Mischguteigenschaften (z. B. Füllerart) sowie von veränderten Asphaltgranulatzugaben beim Recycling verwenden.

C4.3.8 Bestimmung der Spaltzugfestigkeit/Indirekten Zugfestigkeit (IST) an Asphaltprobekörpern

Die Bestimmung der Spaltzugfestigkeit, der auch an unserer Hochschule durchgeführt wird, ist eine Ergänzung des Marshall-Versuchs. Bei ähnlichen Versuchsbedingungen wird der Probekörper auf die Prüftemperatur von $(15 \pm 2)^\circ\text{C}$ temperiert, in einer Druckprüfmaschine zwischen zwei Lasteinleitungstreifen befestigt und diametral zur Zylinderachse mit konstanter Vorschubgeschwindigkeit von 50 mm/min. bis zum Bruch belastet.

Die Spaltzugfestigkeit ergibt sich aus der beim Bruch erreichten Höchstlast und der Festigkeit ITS, die sich aus den Maßen des Probekörpers ergibt. Zusätzlich ist die Bruchart anhand der Kriterien in der folgenden Abbildung zu bestimmen.

Bild C25: Versuchsaufbau und Brucharten bei der Bestimmung der Spaltzugfestigkeit [TP Asphalt-StB, Teil 23]



Zur Berechnung der Spaltzugfestigkeit gilt folgende Gleichung:

$$\text{Spaltzugfestigkeit: ITS} = \text{Indirect Tensile Stress} = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot D \cdot H} \text{ [MPa]}$$

mit $P = F_{\max} = \text{Höchstlast [N]}$ $D = \text{Durchmesser}_{\text{Probekörper [mm]}}$ $H = \text{Höhe}_{\text{Probekörper [mm]}}$

Wie der Marshall-Versuch kann die Ermittlung der Spaltzugfestigkeit Rückschlüsse auf die Bindemittleigenschaften erlauben und - optisch an den Bruchstellen - Auskunft über die Verklebung der einzelnen Gesteinskörner geben. Die Ergebnisse lassen auch eine Bewertung des Haftverhaltens zwischen Bindemittel und Gesteinskörnung zu. Hierfür muss die Spaltzugfestigkeit nach Luft- und nach Wasserlagerung ermittelt werden. Nach Fritsche (2009) ist von guter Haftung auszugehen, wenn der Wert nach Wasserlagerung über 75 % des Wertes nach Luftlagerung erreicht. Werte von 65 bis < 75 % sprechen für eine brauchbare Haftung. Als ungenügend gelten alle Werte < 65 %.

Rückschlüsse auf die Festigkeit und Tragfähigkeit eines Asphaltes sind nach bisherigem Stand der Forschung allerdings nicht möglich.

C4.3.9 Bestimmung der Eindringtiefe an Gussasphaltprobewürfeln

Gussasphalt ist eine der teuersten, aber auch flexibelsten und haltbarsten Asphaltvarianten. Er wird nicht nur auf hochbelasteten Straßen, wie Autobahnen und mehrstreifigen Bundesstraßen, eingesetzt; auch im Hochbau erfreut sich das hohlraumfreie und absolut wasserdichte Asphaltgemisch großer Beliebtheit als geschliffener Bodenbelag und begehrter Estrich oder als Abdichtungsmaterial auf Dächern, Brücken oder in Parkhäusern.

Wie bereits in Abschnitt C4.3.5 dargestellt, unterscheiden sich die Probekörper für Gussasphalt von denen des Walzasphaltes; das gilt auch für die bereits beschriebene Herstellung der Gussasphaltprobewürfel.

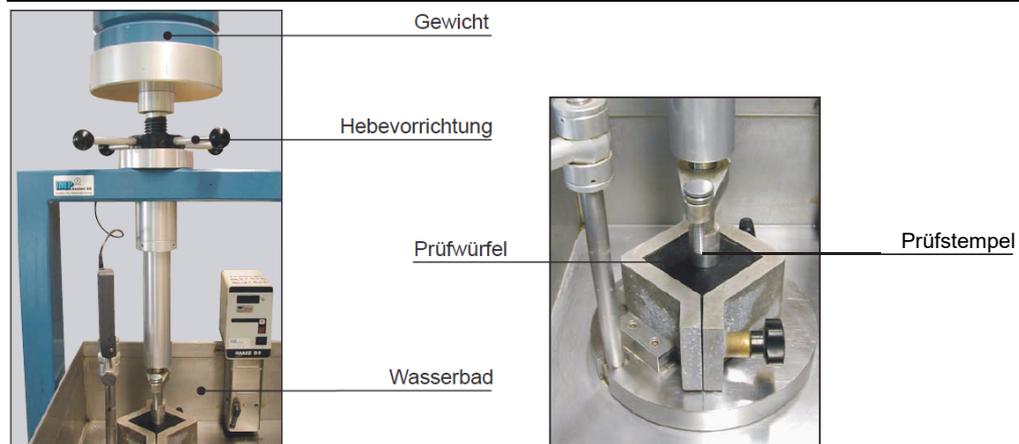
An den $70,7 \cdot 70,7 \cdot 70,7$ cm großen Würfeln werden zur Prüfung des Verformungswiderstandes Eindringversuche durchgeführt: Hierfür werden die Probewürfel zunächst im Wasserbad auf 40 °C temperiert.

Nach 10-minütiger Aufbringung einer Vorbelastung wird die eigentliche Prüfkraft von 525 N mit einem Prüfstempel aufgebracht und die Eindringtiefe nach 30 und 60 Minuten abgelesen.

Bild C26: Gussasphaltprobewürfel [celtest]



Bild C27: Versuchsanordnung zur Bestimmung der Eindringtiefe an Gussasphalt [IMP]



Die im Straßenbau eingesetzten Gussasphalte sollen nach 30 Minuten Eindringtiefen von mindestens 1 bis maximal 3 mm aufweisen. Die Zunahme nach weiteren 30 Minuten darf den Wert von 0,4 mm nicht überschreiten.

C4.3.10 Weitere technologische Kenndaten

Viele weitere Prüfverfahren und Kenndaten stehen zur Beschreibung und zur Beurteilung von Asphalt zur Verfügung. Einige davon werden in der Lehrveranstaltung Straßen- und Gleisbautechnik behandelt und bauen auf den in dieser Lehrveranstaltung dargestellten Inhalten auf. Sie sollten das Skript also nicht gleich „für immer“ abheften, sondern als Nachschlagewerk im 4. Semester griffbereit halten.