AiF-Forschungsvorhaben Nr. 10.277

Schlußbericht

Prognostizierung des Haftverhaltens von Asphalten mittels Spaltzugfestigkeitsabfall

Schaffung eines Bewertungshintergrundes

Antragsteller: Deutsches Asphaltinstitut e.V.
Schieffelingsweg 6
53123 Bonn

Forschungsnehmer: Univ.-Prof. em. Dr.-Ing. habil. W. Arand
Institut für Straßenwesen
Technische Universität Braunschweig
Pockelsstraße 3, 38106 Braunschweig

Bearbeiter: Univ.-Prof. em. Dr.-Ing. Wolfgang Arand
Dr.-Ing. Peter Renken
Dipl.-Inform. Stephan Büchler

dai
Deutsches Asphaltinstitut e. V.
Schieffelingsweg 6
D-53123 Bonn
Tel.: (02 28) 9 79 65-0
Fax: (02 28) 9 79 65-11

Braunschweig, 28. April 1998

Prognostizierung des Haftverhaltens von Asphalten mittels Spaltzugfestigkeitsabfall

Schaffung eines Bewertungshintergrundes

Inhalt

		Seite
0.	Kurzfassung	
1.	Einführung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Stand der Kenntnisse	2
1.3	Ziel des Forschungsvorhabens	7
1.4	Administratives	8
2.	Untersuchungsmethodik	9
2.1	Zusammensetzung und Eigenschaften der Asphaltvarianten	9
2.1.1	Bindemittel	9
2.1.2	Mineralstoffe	10
2.1.3	Ergebnisse der Eignungsprüfungen	11
2.2	Probekörperherstellung und Ermittlung der Spaltzugfestigkeit	14
2.3	Mathematische Instrumentarien zur Auswertung der Untersuchungsergebnisse	17
2.3.1	Rangfolgetest	18
2.3.2	Einfacher Varianzvergleich	19
2.3.3	Einfacher Mittelwertvergleich	20
2.3.4	Test auf Normalverteilung	21
2.3.5	Varianzanalysen der mehrfachen Klassifikation	22
2.3.5.1	Varianzanalyse der vierfachen Klassifikation	23
2.3.5.2	Varianzanalyse der dreifachen Klassifikation	29
2.3.6	Einfache Varianzanalyse und modifizierter LSD-Test	29
2.3.7	Potenzielle Regression	30
2.3.8	Potenzverteilung mit Quantilen	31

3.	Untersuchungsergebnisse	34
3.1	Ergebnisse der Spaltzugversuche	34
3.2	Statistische Analysen	47
3.2.1	Varianzanalysen der mehrfachen Klassifikation	47
3.2.1.1	Varianzanalysen der vierfachen Klassifikation	47
3.2.1.2	Varianzanalysen der dreifachen Klassifikation	50
3.2.2	Vergleich mehrerer Mittelwerte	56
3.3	Mathematische Beschreibung der Untersuchungsergebnisse	62
3.3.1	Potenzielle Regression	62
3.3.2	Quantilen zur Abschätzung von Unterschreitungswahrscheinlichkeiten	73
4.	Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse und Schlußfolgerungen	76
4.1	Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse	76
4.2	Vorschläge für die Umsetzung der Untersuchungsergebnisse in die Praxis	78
4.3	Offen gebliebene Probleme	79
5.	Literatur	81

Anlagen

Anlage I: Arbeitsanleitung für die Ansprache des Haftverhalten zwischen Bindemittel und Mineralstoffen in einem verdichteten Asphalt

Anlage II: Spaltzugfestigkeiten von fünf Asphaltvarianten sowie Spaltzugfestigkeitsabfälle in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, der Bindemittelart/-sorte und dem Hohlraumgehalt

0. Kurzfassung

Ein gutes Haften des Bindemittels Bitumen am Gestein ist eine der Grundvoraussetzungen für den dauerhaften Bestand von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt. Über den Spaltzugfestigkeitsabfall von für 24 Stunden bei einer Temperatur von + 50 °C in Wasser gelagerten Marshall-Probekörpern gegenüber trocken gelagerten Probekörpern wurde untersucht, ob und gegebenenfalls wie das Haftverhalten von Asphalten durch eine Reihe von Einflußgrößen bestimmt wird. Gegenstand systematischer Variation waren die Asphaltart/-sorte, die Mineralstoffart und die Bindemittelart/-sorte, jeweils in fünf Stufen, sowie der Hohlraumgehalt in drei Stufen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden unter Anwendung bewertender Methoden der mathematischen Statistik - beispielsweise Tests auf Normalverteilung, Rangfolgetests, einfache Varianz- und Mittelwertvergleiche, einfache Varianzanalysen mit modifizierten LSD-Tests und Varianzanalysen der mehrfachen Klassifikation - ausgewertet.

Als Hauptursache der Variabilität wurde die Asphaltart/-sorte erkannt, so daß es notwendig war, die fünf untersuchten Asphaltvarianten - nämlich Asphaltbeton 0/11 L, Splittmastixasphalt 0/11 S, Asphaltbinder 0/16 und 0/22 sowie Asphalttragschichtmaterial 0/22 der Mischgutart C - getrennt für sich zu betrachten. Bei diesen Betrachtungen erwies sich die Mineralstoffart als mit Abstand stärkste Einflußgröße, gefolgt vom Hohlraumgehalt und der Bindemittelart/-sorte. Bei den eingesetzten Bindemitteln konnte zwischen einer Gruppe haftgünstiger Bitumen und einer Gruppe haftkritischer Bitumen unterschieden werden. Darüber hinaus war es möglich, mit Hilfe potenzieller Regressionsanalysen einen mathematisch abgesicherten Zusammenhang zwischen dem Spaltzugfestigkeitsabfall als Merkmalsgröße zur quantitativen Bewertung des Haftverhaltens und dem Hohlraumgehalt als Einflußgröße herzustellen. Die dabei gewonnenen Potenzfunktionen wurden als eine lückenlose Folge von Medianwerten aufgefaßt, für die Quantilen zur Abschätzung der Unterschreitungswahrscheinlichkeit berechnet werden konnten. Diese Quantilen

bilden die Grundlage zur Festlegung von Anforderungen an den Spaltzugfestigkeitsabfall, die Eingang in Technische Regelwerke finden können.

Mit der Erarbeitung von Vorschlägen für Anforderungen auf der Grundlage von Quantilen der bei systematischer Variation der Versuchsbedingungen experimentell ermittelten Spaltzugfestigkeitsabfälle wurde das Forschungsziel, einen Bewertungshintergrund für die Beurteilung des Haftverhaltens von Asphalten zu schaffen, voll erreicht.

1. Einführung

1.1 Problemstellung

Asphalte als Baustoffe für die Befestigung von Straßen und Plätzen sowie Start- und Landebahnen von Flughäfen bestehen im wesentlichen aus Mineralstoffen und Bitumen. Das Bitumen hat - zusammen mit den feinsten Mineralstoffen, die in das Bindemittel voll eingebettet sind - die Aufgabe, als sogenannter Asphaltmörtel die gröberen Mineralstoffkörner vollständig zu umhüllen und dauerhaft miteinander zu verkitten.

Nach den Technischen Regelwerken richtig hergestellte und sorgfältig verarbeitete Asphalte sind in der Lage, Beanspruchungen durch Wetter und Verkehr für die vorgesehene Nutzungsdauer - und vielfach auch darüber hinaus - wirksam zu widerstehen. Allerdings kann das Haften des Bitumens beziehungsweise des Asphaltmörtels an den gröberen Mineralstoffen aus dem Sand- und Splittbereich durch die Gegenwart von Wasser gefährdet werden, weil Wasser in der Lage ist, durch Bitumen- und Mörtelfilme hindurchzudiffundieren und somit an die Oberfläche der gröberen Mineralstoffkörner zu gelangen. Ein solcher Diffusionsprozeß findet stets dann statt, wenn durch die Anreicherung von Wasser in der Grenzfläche zwischen Mineralstoff und Bitumen beziehungsweise Asphaltmörtel der Energieinhalt des Gesamtsystems verringert wird.

Die Anreicherung von Wasser in den Grenzflächen hat die Ablösung des Bitumens beziehungsweise des Asphaltmörtels von der Oberfläche der gröberen Gesteinskörner zur Folge, wodurch substanzgefährdende Gefügestörungen im Asphalt ausgelöst werden. Derartige Erscheinungen werden vornehmlich in etwas hohlraumreicheren Asphaltschichten - wie beispielsweise Asphaltbinderschichten - beobachtet. Das Auftreten solcher Mängel erzwingt Sanierungsmaßnahmen, bei denen häufig auch völlig intakte Asphaltdeckschichten ausgebaut und durch neue ersetzt werden müssen.

Im Asphaltstraßenbau muß der Auftragnehmer dem Auftraggeber für die Dauer der Gewährleistungsfrist eine bestimmungsgemäße Beschaffenheit der von ihm hergestellten Asphaltschichten gewährleisten. Wenn innerhalb der Gewährleistungsfrist Schäden oder Mängel auftreten, so muß der Auftragnehmer diese auf seine Kosten beseitigen. Werden Asphaltgemische unter Verwendung ungeeigneter Baustoffkomponenten hergestellt und wird damit ein Versagen einzelner Schichten einer Fahrbahnbefestigung herbeigeführt, so können ganze Baulose von Schäden oder Mängeln betroffen sein. Dieses läßt sich vermeiden, wenn im Rahmen erweiterter Eignungsprüfungen auf der Grundlage gezielter Untersuchungen sichergestellt werden kann, daß nur solche Mineralstoffe und Bitumen miteinander verwendet werden, bei denen auch in Gegenwart von Wasser nicht mit Ablösungen des Bindemittels beziehungsweise des Asphaltmörtels von den Oberflächen der gröberen Mineralstoffkörner zu rechnen ist.

1.2 Stand der Kenntnisse

Das Haften zwischen Bitumen und Mineralstoffen ist seit mehr als sechzig Jahren Gegenstand nationaler und internationaler Forschung [1]. Über den bis zum Ende der achtziger Jahre erreichten Wissensstand wird von Arand und Renken anhand von nahezu einhundert Literaturstellen in [2] berichtet.

Das Haften zwischen Mineralstoff und Bitumen wird durch eine Vielzahl von Größen beeinflußt. Als erste Größe ist die **Oberflächenspannung** oder Oberflächenenergie zu nennen, die sich auf die van der Waalsschen Kräfte zurückführen läßt. Eine Mineralstoffoberfläche wird vom Bitumen dann sehr gut benetzt, wenn die Summe der Oberflächenenergie des Bitumens gegenüber der Luft und der Grenzflächenenergie des Bitumens gegenüber dem Mineralstoff möglichst gering ist [3].

Neben der Oberflächenspannung ist die **Viskosität** des Bitumens von großer Bedeutung für das Haftverhalten. Die Viskosität beschreibt den Grad der molekularen Beweglichkeit und die Größe der Anziehungskräfte innerhalb des Bitumens. Bitu-

men mit höherer Viskosität setzen ihrer Verdrängung durch das Wasser einen größeren Widerstand entgegen als Bitumen mit geringerer Viskosität.

Da härtere Bitumen schwerer durch Wasser von der Mineralstoffoberfläche verdrängt werden und somit vermeintlich eine bessere Haftung auf der Gesteinsoberfläche besitzen, kann das Haftverhalten zwischen beiden Partnern auch durch die **Alterung** des Bitumens beeinflußt werden. Dabei sind zwei Wirkungsmechanismen zu beachten: Einerseits kann ein Wasserzutritt an die Mineralstoffoberfläche durch Risse hindurch erfolgen, wenn das Bitumen hart und brüchig geworden ist; andererseits setzt ein härteres Bitumen der Verdrängung von der Mineralstoffoberfläche durch Wasser einen höheren Widerstand entgegen.

Bitumen sind Gemische aus unterschiedlichsten Kohlenwasserstoffen mit Molmassen zwischen rund 300 und etwa 9 000. Moleküle des Bitumens, die einen Dipol-Charakter besitzen, fördern das Haften des Bitumens am Gestein in besonderem Maße, weil sie geeignet sind, die Oberflächenspannung der Mineralstoffe wenigstens teilweise auszugleichen. Daher kann das Haften des Bitumens am Mineralstoff auch durch die **Rohölprovenienz** sowie die **Art der Bitumenherstellung** beeinfiußt werden.

Schon frühzeitig wurde erkannt, daß sich unterschiedliche **Gesteine** unterschiedlich gut vom Bitumen benetzen lassen. Danach unterscheidet man zwischen hydrophilen und hydrophoben Gesteinen [4]. Auf den Oberflächen hydrophober Gesteine spreitet das Bitumen auch in Gegenwart von Wasser, auf hydrophilen wird es durch Wasser verdrängt. Untersuchungen ergaben, daß basische Gesteine wie Basalt oder Diabas hydrophob sind, sauere Gesteine wie Granit oder Porphyr dagegen hydrophil. Allerdings führt die Einteilung in basische und sauere Gesteine nicht immer zu einer richtigen Beurteilung des Haftverhaltens.

Bereits vor Jahrzehnten wurde auch ein Einfluß der **Oberflächenrauhigkeit** der Mineralstoffe auf das Haftverhalten beobachtet [5]. Eine besonders gute Adhäsion läßt sich bei gefügebedingten Vertiefungen der Oberfläche in der Größenordnung

von 0,2 bis 1,5 mm Durchmesser feststellen. Es ist unmittelbar einleuchtend, daß oberflächennahe Poren, Risse und Kapillaren eine physikalische Verankerung des Bitumens im Gestein bewirken können. Abträglich für das Haften sind dagegen Staub oder andere Verunreinigungen an der Oberfläche der Mineralstoffe, da sie die unmittelbare Benetzung der Mineralstoffoberfläche teilweise oder bei Krustenbildung auch vollständig verhindern können.

Eine Ablösung des Bindemittels von der Gesteinsoberfläche ist bisher in der Praxis nur bei Vorhandensein von **Wasser** beobachtet worden. Wasser ist eine dipolare Flüssigkeit, welche die Oberflächenspannung einer Mineralstoffoberfläche auszugleichen in der Lage ist. Einerseits kann Wasser das Bitumen von der Mineralstoffoberfläche verdrängen; andererseits kann es auch durch Bitumenfilme beziehungsweise Mörtelfilme hindurchdiffundieren. Solche Diffusionsprozesse können durch Inhaltsstoffe im Wasser, welche dessen Oberflächenspannung herabsetzen, begünstigt werden. Die Oberflächenspannung von Wässern auf Straßen ist nach Beobachtungen der Praxis stets deutlich geringer als die Oberflächenspannung destillierten oder voll entsalzten Wassers. Beim Wassertransport durch die Bitumen- beziehungsweise Mörtelschicht hindurch handelt es sich um einen Molekulardiffusionsprozeß, der reversibel ist [6]. Das diffundierte Wasser lagert sich in der Grenzfläche zwischen Bitumen und Mineralstoff ab, was so weit führen kann, daß überhaupt keine Bindung mehr vorhanden ist. Der Bitumenfilm läßt sich dann vollständig ablösen [7, 8].

Im Laufe von Jahrzehnten ist eine Vielzahl von **Theorien** zur Erklärung der Mechanismen der Adhäsion entwickelt worden. Nach der **thermodynamischen Theorie** beruht die Adhäsion zwischen Bitumen und Mineralstoffen auf einer Änderung der freien Oberflächenenergie des Systems. Es läßt sich nachweisen, daß Bitumen Mineralstoffe nur dann benetzen kann, wenn deren Oberflächenspannung größer ist als die Oberflächenspannung des Bitumens. Gestützt wird die thermodynamische Theorie durch die Tatsache, daß bei der Benetzung von Mineralstoffen durch Bitumen Immersionswärme in meßbaren Mengen freigesetzt wird [9].

Nach der **Theorie der molekularen Orientierung** nehmen die Moleküle der Bitumenbestandteile eine bestimmte Ausrichtung an, sobald sie in die Nähe der Mineralstoffoberfläche gelangen, um deren Oberflächenspannung auszugleichen. Der positive Dipol des Bitumenmoleküls wandert an die negativ geladene Gesteinsoberfläche [9].

Nach der **chemischen Theorie** werden Adhäsionserscheinungen als Reaktion zwischen den chemischen Bestandteilen des Bitumens und der Mineralstoffe gedeutet [10].

Die **mechanische Theorie** besagt, daß die Oberflächenstruktur der Mineralstoffe zu einer geometrischen Verzahnung des Bitumens mit dem Gestein führt [11]. Allerdings kann man die bessere Adhäsion des Bitumens an rauhen Mineralstoffoberflächen auch anders erklären: Rauhe Oberflächen haben beim Kontakt mit Bitumen eine größere Grenzfläche als glatte Oberflächen und begünstigen somit eine stärkere Adhäsion im Sinne der Theorie der molekularen Orientierung.

Die Theorien zur Erklärung des Haftens von Bitumen am Gestein wurden in der Literatur durch **Theorien zur Erklärung des Versagens** von Haftverbindungen ergänzt. Im wesentlichen sind hier die Porendrucktheorie, die Verdrängungstheorie, die Unterwanderungstheorie und die Filmbruchtheorie zu nennen.

Nach der **Porendrucktheorie** wird Wasser, welches sich zwischen Reifen und Fahrbahn befindet, bei kurzzeitiger Berührung unter hohem Druck in die Hohlräume der Fahrbahnoberfläche gepreßt. Anschließend wird durch Sogkräfte hinter dem Reifen das zuvor eingepreßte Wasser gemeinsam mit losgelösten Bitumenteilchen wieder herausgerissen, was im Laufe der Zeit zu Bitumenverlusten und schließlich zu Haftmängeln führt.

Die **Verdrängungstheorie** stützt sich auf die Tatsache, daß durch Eindringen von Wasser in die Grenzfläche zwischen Bitumen beziehungsweise Asphaltmörtel und

den gröberen Mineralstoffen der Energieinhalt des Gesamtsystems reduziert werden kann.

Nach der **Unterwanderungstheorie** geht die Adhäsion zwischen Bitumen und Mineralstoff verloren, ohne daß der Bitumenfilm als solcher durch den Diffusionsprozeß zerstört wird.

Die **Filmbruchtheorie** sieht die Entstehung von Rissen im Bitumen- beziehungsweise Mörtelfilm durch verkehrslastbedingte Beanspruchungen des Systems bei gleichzeitigem Eindringen von Wasser verursacht.

Angesichts der Vielzahl von Theorien zur Erklärung des Haftverhaltens und des Versagens kann es nicht verwundern, daß national und international immer wieder **neue Prüfverfahren zur Ansprache des Haftverhaltens** zwischen Bitumen und Gestein entwickelt worden sind. Allein 74 Verfahren wurden im Rahmen des unter [2] zitierten Forschungsvorhabens zum Gegenstand eines intensiven Studiums und einer Bewertung gemacht. Auf der Grundlage eines Kriterienkataloges wurden insgesamt vier Verfahren ausgewählt, probeweise im Laboratorium angewendet und nach sorgfältigem Vergleich zwei davon zur praktischen Anwendung in der Straßenbaupraxis empfohlen.

Kriterien zur Auswahl der Prüfverfahren waren im wesentlichen

- eine objektive Quantifizierung des Ergebnisses bei ausreichender Differenzierung,
- eine ausreichende Präzision des Verfahrens unter Wiederholbedingungen,
- die Durchführbarkeit des Verfahrens in normal ausgestatteten Prüfstellen,
- eine unter Zeit- und Kostengesichtspunkten wirtschaftliche Durchführbarkeit sowie
- der Praxisbezug.

Auf der Grundlage der im Rahmen des oben erwähnten Forschungsvorhabens erarbeiteten Untersuchungsergebnisse wurden letztlich die folgenden beiden Verfahren zur Anwendung in der Praxis vorgeschlagen:

- Feststellung der Temperatur der ersten Bindemittelablösung an einem Splitt-Bitumen-Gemisch im statischen Wasserbad und
- Feststellung des Spaltzugfestigkeitsabfalls verdichteter Asphaltgemische ohne und nach Wasserlagerung.

Für das zuletzt erwähnte Prüfverfahren wurde eine "Arbeitsanleitung für die Ansprache des Haftverhaltens zwischen Bindemittel und Mineralstoffen in einem verdichteten Asphalt" erarbeitet, welche ein einheitliches Vorgehen in allen Laboratorien sicherstellt. Diese Anleitung bildet die Grundlage der experimentellen Arbeiten im Rahmen der hier zu referierenden Untersuchungen und ist daher diesem Forschungsbericht als Anlage beigefügt.

1.3 Ziel des Forschungsvorhabens

Die Anwendung eines Prüfverfahrens in der Praxis setzt voraus, daß die mit dem Prüfverfahren ermittelten Merkmalsgrößen zur Beurteilung des Verhaltens eines Baustoffes unter bestimmten Beanspruchungen vor einem abgesicherten Erfahrungshintergrund zuverlässig bewertet werden können.

Im Rahmen des in Rede stehenden Forschungsvorhabens soll daher durch systematische Untersuchung unterschiedlichster Asphalte mit haftkritischen und haftgünstigen Mineralstoffen sowie diversen Bitumen ein Bewertungshintergrund zur sicheren und zuverlässigen Beurteilung des Haftverhaltens zwischen Bindemittel und Mineralstoff anhand des Spaltzugfestigkeitsabfalls ohne und nach Wasserlagerung geschaffen werden.

Auf die ursprünglich ebenfalls beabsichtigte Schaffung einer Grundlage für die quantitative Bewertung der Präzision des Verfahrens unter Wiederhol- und Ver-

gleichbedingungen muß bedauerlicherweise verzichtet werden, da sich - entgegen ursprünglichen Zusagen - angesichts der wirtschaftlichen Situation im Bereich des Bauwesens keine ausreichende Anzahl von Laboratorien für die unentgeltliche Durchführung der erforderlichen Ringanalysen finden ließ.

1.4 Administratives

Zum Antragstermin 30. April 1994 wurde vom Deutschen Asphaltinstitut (DAI) in Bonn über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e.V. (AiF) in Köln der ausgearbeitete Forschungsantrag zum Thema "Prognostizierung des Haftverhaltens von Asphalten mittels Spaltzugfestigkeitsabfall" dem Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi) zur Förderung im Rahmen der Gemeinschaftsforschung eingereicht. Als ausführende Forschungsstelle wurde das Institut für Straßenwesen der Technischen Universität Braunschweig mit dem Forschungsnehmer Univ.-Prof. em. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Arand vorgeschlagen. Auf Empfehlung der Gutachtergruppe I der AiF wurde der Antrag Anfang des Jahres 1995 vom Bewilligungsausschuß befürwortet, so daß mit Datum vom 17./20. Juli 1995 der Auftrag zur Durchführung der Forschungsarbeit über das DAI an das Institut für Straßenwesen der Technischen Universität Braunschweig vergeben werden konnte.

2. Untersuchungsmethodik

2.1 Zusammensetzung und Eigenschaften der Asphaltvarianten

Für die experimentellen Untersuchungen sollen fünf verschiedene Asphaltarten/-sorten - nämlich Asphaltbeton 0/11 L, Splittmastixasphalt 0/11 S, Asphaltbinder 0/16, Asphaltbinder 0/22 und Asphalttragschichtmaterial 0/22 der Mischgutart C - eingesetzt werden. Diese werden mit fünf Bindemittelarten/-sorten - dieses sind zwei Straßenbaubitumen B 65 und B 80 der Firma Shell, zwei Straßenbaubitumen B 65 und B 80 der Firma PCK und ein polymermodifiziertes Bitumen PmB 65 A der Firma elf - sowie fünf Mineralstoffarten - im einzelnen: Basalt, Gabbro, Oolith, Moräne und Quarzit - kombiniert. Zusätzlich werden die so entstandenen Asphaltvarianten auf drei unterschiedliche Niveaus - und zwar Soll-Verdichtungsgrade von etwa 100 %, 97 % und 94 % - verdichtet. Die präparative Aufbereitung der Baustoffkomponenten sowie die Herstellung der Asphaltgemische und Probekörper nach Marshall erfolgen im Laboratorium. Dazu sind zunächst die Eigenschaften der Komponenten zu ermitteln und zu beschreiben (siehe Abschnitte 2.1.1 und 2.1.2); sodann ist mittels Eignungsprüfung die optimale Zusammensetzung der Asphaltgemische festzulegen (siehe Abschnitt 2.1.3).

2.1.1 Bindemittel

Als Bindemittel für die im Laboratorium des Instituts für Straßenwesen der Technischen Universität Braunschweig präparativ nach vorgegebener Rezeptur hergestellten fünf Asphaltarten/-sorten wurden insgesamt fünf Bitumen der Arten/Sorten B 65, B 80 und PmB 65 A eingesetzt. Die Straßenbaubitumen B 65 und B 80 wurden zum einen von der Raffinerie Harburg der Deutschen Shell AG und zum anderen von der Raffinerie in Schwedt der PCK AG dankenswerterweise kostenfrei zur Verfügung gestellt. Die Raffinerie Brunsbüttel der elf bitumen deutschland GmbH stellte ebenfalls unentgeltlich das polymermodifizierte Bitumen PmB 65 A bereit. Eine Überprüfung der Materialkennwerte der Originalbitumen erbrachte die in Tabelle 2.01 zusammengestellten Ergebnisse.

Merkmal	Dimen-sion	Bitumenart / -sorte				
		B 80	B 65	B 80	B 65	PmB 65A
Hersteller-bezeichnung	-	Mexphalte 80	Mexphalte 65	-	-	styrelf 13-80
Herkunft	-	Shell Harburg	Shell Harburg	PCK AG Schwedt	PCK AG Schwedt	Elf-Bitumen Brunsbüttel
Dichte bei T=25°C	g/cm³	1,0189	1,0239	1,0155	1,0188	1,0190
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	45,5	49,5	44,0	50,0	49,5
Penetration bei T=25°C	mm/10	78	54	91	48	76
Brechpunkt nach Fraass	°C	-12	-13	-13	-9	-20
Duktilität	cm	T=7°C 18,3	T=13°C 22,2	T=7°C 16,9	T=13°C 19,7	T=13°C >100
Elastische Rück-stellung bei T=25°C	%	-	-	-	-	56

Tabelle 2.01: Eigenschaften der für die Untersuchung eingesetzten Bitumen im Anlieferungszustand

2.1.2 Mineralstoffe

Als Füllermaterial kam für alle Asphaltvarianten ein Kalksteinmehl der Firma Fels-Werke GmbH aus Seesen/Harz zur Anwendung, das kein Überkorn enthielt. Die Rohdichte wurde zu ρ_R = 2,711 g/cm³ bestimmt.

Im Sandbereich wurde ein rundkörniger Natursand aus Bortfeld bei Braunschweig eingesetzt, dessen Rohdichte ρ_R = 2,456 g/cm³ beträgt. Der Brechsand wurde zusammen mit den Splitten (siehe dort) den entsprechenden Steinbrüchen beziehungsweise Kieswerken entnommen. Die jeweiligen Rohdichten sind in der Tabelle 2.02 dargestellt.

Die fünf geforderten Mineralstoffarten wurden wie folgt gewählt:
- Gabbro der Firma Harzer Gabbro aus Bad Harzburg,
- Basalt der Firma Westerwälder Hartsteinwerke aus dem Steinbruch Stockum,
- Oolith der Firma ISV Ilseder Mischwerke GmbH&Co KG aus dem Steinbruch Schaumburg im Weserbergland,

- Moräne-Splitt der Firma Karl Uhl aus Kehl/Goldscheuer und
- Quarzit der Firma Taunus-Quarzitwerke aus dem Steinbruch Saalburg/Taunus.

Die Rohdichten der Brechsande und der Einzelkornklassen im Splittbereich zwischen 2,0 und 22,4 mm können der Tabelle 2.02 entnommen werden.

Merkmal		Dimension	Gesteinsart				
			Gabbro	Basalt	Oolith	Moräne	Quarzit
Herkunft		-	Bad Harzburg	Westerwald	Weserbergland	Oberrhein	Taunus
Sand 0,09/2,0 mm	ρ_{RM}	g/cm³	2,871	2,999	2,694	2,621	2,628
Splitt 2,0/5,0 mm	ρ_{RM}	g/cm³	2,898	2,973	2,622	2,636	2,643
Splitt 5,0/8,0 mm	ρ_{RM}	g/cm³	2,868	3,030	2,690	2,720	2,638
Splitt 8,0/11,2 mm	ρ_{RM}	g/cm³	2,865	2,976	2,689	2,657	2,635
Splitt 11,2/16,0 mm	ρ_{RM}	g/cm³	2,810	3,008	2,693	2,576	2,635
Splitt 16,0/22,4 mm	ρ_{RM}	g/cm³	2,867	3,128	2,698	2,644	2,642

Tabelle 2.02: Rohdichten ρ_{RM} der Brechsande und der Einzelkornklassen der eingesetzten Splitte

Auch die Mineralstoffe wurden von den oben genannten Unternehmen freundlicherweise kostenfrei zur Verfügung gestellt.

Für die Herstellung des Splittmastixasphalts 0/11 S kam zusätzlich der Faserstoff Arbocel Typ ZZ 8/1 der Firma J. Rettenmaier & Söhne GmbH&Co aus Holzmühle zur Anwendung, der dankenswerterweise ebenfalls ohne Entgelt bereit gestellt wurde.

2.1.3 Ergebnisse der Eignungsprüfungen

Die Zusammensetzung der Mischgutarten/-sorten erfolgte unter Berücksichtigung der ZTV Asphalt-StB 94 und wurde in Eignungsprüfungen unter dreifacher Variation des Bindemittelgehalts festgelegt. Für die Eignungsprüfungen wurden der Asphaltbeton 0/11 L und der Asphaltbinder 0/16 nur mit Bitumen B 80, die restlichen Asphalt-

arten/-sorten nur mit Bitumen B 65, beide von der Firma Shell, hergestellt. Bei den Eignungsprüfungen kam nur der Mineralstoff Gabbro zum Einsatz.

Auf eine ausführliche Beschreibung aller vorgenommenen Variationen wird hier verzichtet; das Ergebnis der Eignungsprüfungen kann der Tabelle 2.03 entnommen werden.

Die Herstellung der einzelnen Asphaltgemische erfolgte in Anlehnung an DIN 1996 Teil 20. Zunächst wurden die erforderlichen Mineralstoffmengen - beginnend mit der gröbsten Körnung - in einen Blecheimer eingewogen und über Nacht in einem Wärmeschrank auf eine Temperatur von rund T = + 170 °C gebracht. Am nächsten Tag wurde die entsprechende Bindemittelmenge in einer Kasserolle innerhalb weniger Minuten auf eine Temperatur von rund T = + 150 °C erwärmt und anschließend zugegeben. Die Herstellung der Probekörper nach Marshall erfolgte nach DIN 1996 Teil 4. Von großer Bedeutung für das angestrebte Erreichen vorgegebener Verdichtungsgrade war die Aufnahme des Verdichtungswiderstandes D während der Herstellung der Marshall-Probekörper.

Die hier gezeigten Mischgutzusammensetzungen bleiben für alle Mineralstoffarten gleich. Dies hat den Vorteil, daß bei den Spaltzugfestigkeitsprüfungen nur der Einfluß der Mineralstoffart untersucht wird. Nachteilig wirken sich dabei die durch die Variation der Mineralstoffart verursachten Veränderungen des Hohlraumgehalts aus, weil dieser einen Einfluß auf den Spaltzugfestigkeitsabfall hat [2]. Um den Hohlraumgehalt bei allen Asphaltarten/-sorten in Kombination mit allen Mineralstoffen möglichst gleich zu halten, müßten die Rezepturen für jede Mineralstoffart variiert werden, was wiederum die Vergleichbarkeit der Ergebnisse beeinträchtigen würde. Auch um angesichts der damit verbundenen Unwägbarkeiten den Arbeitsaufwand in vertretbaren Grenzen zu halten, wurde an der Unveränderlichkeit der Asphaltzusammensetzungen festgehalten, was - wie in Abschnitt 3.2.2 zu sehen sein wird - richtig ist.

Merkmal			Dimen-sion	Asphaltart / -sorte				
				AB 0/11 L	SMA 0/11 S	ABi 0/16	ABi 0/22	ATC 0/22
Korngrößenverteilung	≤ 0,09 mm		M-T	10,0	9,7	6,0	7,0	7,0
	Natursand	0,09/0,25 mm	M-T	1,4	-	0,5	-	3,0
		0,25/0,71 mm	M-T	11,0	-	3,8	-	3,3
		0,71/2,00 mm	M-T	6,3	-	2,1	-	3,0
	Brechsand	0,09/0,25 mm	M-T	3,9	3,0	3,8	5,0	6,0
		0,25/0,71 mm	M-T	5,6	4,2	5,8	7,0	6,7
		0,71/2,00 mm	M-T	9,8	7,6	10,0	6,0	6,0
	2,0/5,0 mm		M-T	22,0	17,7	13,0	10,0	8,0
	5,0/8,0 mm		M-T	12,0	22,5	10,0	11,0	10,5
	8,0/11,2 mm		M-T	18,0	35,0	15,0	14,0	14,0
	11,2/16,0 mm		M-T	-	-	30,0	15,0	15,0
	16,0/22,4 mm		M-T	-	-	-	25,0	17,5
	Summe		M-T	100	99,7	100	100	100
BS-NS-Verhältnis			-	1 : 1	1 : 0	3 : 1	1 : 0	2 : 1
Rohdichte ρ_{RM}			g/cm³	2,7702	2,8554	2,8138	2,8496	2,8056
Arbocel			M-T	-	0,3	-	-	-
Bindemittelsorte			-	B 80	B 65	B 80	B 65	B 65
Bindemittelgehalt			M-%	5,9	6,8	4,2	4,3	3,7
Bindemittelgehalt			M-T	6,270	7,296	4,384	4,493	3,842
Rohdichte ρ_{RB}			g/cm³	1,0189	1,0239	1,0189	1,0239	1,0239
Rohdichte ρ_{RAs}			g/cm³	2,5643	2,5845	2,6735	2,7022	2,6887
Raumdichte ρ_A			g/cm³	2,5236	2,5119	2,5502	2,5678	2,5282
Hohlraumgehalt H_{bit}			V-%	1,6 %	2,8 %	4,6 %	5,0 %	6,0 %
Marshall-Stabilität			kN	9,0	8,4	13,4	12,3	14,9
Marshall-Fließwert			mm/10	5,2	4,6	2,6	4,3	2,8
Verdichtungs-widerstand D			[21Nm]	11,9	24,0	19,8	25,5	20,6
S (k=0,97)*			[21Nm]	2 × 11	2 × 23	2 × 18	2 × 25	2 × 20
S (k=0,94)*			[21Nm]	2 × 7	2 × 15	2 × 11	2 × 16	2 × 12

* S(k=x) = Anzahl der Verdichtungsschläge zum Erreichen eines Verdichtungsgrades von k=x

Tabelle 2.03: Zusammensetzung und Eigenschaften der Asphaltarten/-sorten gemäß Eignungsprüfungen

In Tastversuchen wurde festgestellt, daß bei wiederholten Versuchen die geforderten Verdichtungsgrade nicht exakt eingehalten werden können. Eine gewisse Streuung muß toleriert werden, da die Modalitäten der Probekörperherstellung je nach „Tagesleistung" des durchführenden Laboranten etwas schwanken können. Angestrebt wurden Streuungen der Verdichtungsgrade von nicht mehr als (97 ± 0,5) V-% und (94 ± 1,0) V-%, doch zeigte es sich, daß auch diese Streumaße nicht immer eingehalten werden konnten. Um den großen Umfang der herzustellenden Proben nicht unnötig in die Höhe zu treiben, wurden diese Streuungen toleriert.

2.2 Probekörperherstellung und Ermittlung der Spaltzugfestigkeit

Für die geplanten Versuche waren Probekörper nach Marshall aus präparativ zusammengesetzten Asphalten vorgesehen. Bevor die eigentliche Herstellung geschehen konnte, mußten zunächst Mineralstoffe in ausreichender Menge - in einem Gesamtumfang von etwa 4 t - bevorratet und vorbereitet werden.

Alle Mineralstoffe größer 0,09 mm wurden nach Anlieferung gewaschen und naß gesiebt, anschließend getrocknet sowie nochmals trocken gesiebt, um letzte Über- und Unterkornanteile zu entfernen. Das im Füllerbereich eingesetzte Kalksteinmehl wurde lediglich getrocknet.

Die Herstellung der Probekörper nach Marshall erfolgte nach DIN 1996 Teil 4 und wurde bereits in Abschnitt 2.1 beschrieben.

Das Erreichen angestrebter Verdichtungsgrade wurde durch eine Variation der Anzahl der Verdichtungsschläge erzielt. Hierbei soll auf ein Problem der Herstellung hingewiesen werden. Bei einem gewünschten Verdichtungsgrad von 94 % lag die Anzahl der Verdichtungsschläge teilweise unter 2×10 Schlägen. Wurde ein Mischgut mit geringem Bindemittelgehalt, wie das Asphalttragschichtmaterial 0/22 der Mischgutart C, nur schwach verdichtet, so stellte sich häufig heraus, daß die Proben sich schwer wenden ließen. Das Mischgut war nur äußerst locker verdichtet und die Pro-

bekörper fielen beim Wenden aus der Form. Trotz der geringen Anzahl von Verdichtungsschlägen wurde aber ein Verdichtungsgrad von über 94 % erreicht. Da eine weitere Verringerung der Anzahl der Verdichtungsschläge nicht sinnvoll erschien, wurden die Ergebnisse so akzeptiert. Nach der Herstellung wurden die Höhe und der Duchmesser der Probekörper ausgemessen und registriert.

Das weitere Vorgehen ergibt sich aus der Arbeitsanleitung im Anhang III zu [2], die auch diesem Bericht als Anlage I beigefügt wird. An den Probekörpern wurde zunächst die Raumdichte durch Tauchwägung bestimmt. Hierbei wurde die folgende Vorgehensweise gewählt: Die Hälfte aller Probekörper sollte nach Luftlagerung geprüft werden. Dazu hätten sie nach der Bestimmung der Raumdichte mittels Tauchwägung zunächst wieder getrocknet werden müssen, was normalerweise bei Zimmertemperatur ohne zusätzliche Maßnahmen geschieht. Zum einen würde sich damit eine Verzögerung des Arbeitsablaufes sowie ein zusätzlicher Arbeitsaufwand ergeben, zum anderen könnte nicht sichergestellt werden, daß die Probekörper während der Raumdichtebestimmung auch tatsächlich nicht geschädigt werden würden. Dies wurde dadurch umgangen, daß - nach mehreren Testreihen - die Raumdichte nur noch an den zur Wasserlagerung vorgesehenen Probekörpern bestimmt wurde.

Die durchschnittliche maximale Spannweite der Raumdichte für alle Probekörper einer Asphaltvariante lag bei zweiundzwanzig getesteten Varianten bei a = 0,0291 g/cm³. Der Wiederholgrenze r liegt - abhängig vom Siebrückstand auf dem 22,4 mm Sieb - etwa bei r = 0,0309 g/cm³. Dieser Wert gilt jedoch nur für Marshall-Probekörper, die mit einem Verdichtungsgrad von k = 100 % hergestellt worden sind. Ist der Verdichtungsgrad beziehungsweise die Anzahl der Verdichtungsschläge geringer - in diesem Fall teilweise um mehr als das Fünffache -, so wird die Spannweite der Einzelwerte größer, und die Wiederholgrenze r kann nicht immer eingehalten werden. Da nach den getesteten Varianten die Wiederholgrenze r im Mittel aber eingehalten wurde, darf von einer sehr sorgfältigen Probekörperherstellung ausgegangen werden. Die Raumdichte wurde also nicht mehr für jeden einzelnen Probekörper ermittelt, so daß der Mittelwert der Raumdichte aller wassergelagerten Probekörper einer Variante als Mittelwert aller Marshall-Probekörper dieser Variante gilt.

Diese bereits der Temperierung im Wasserbad und der Raumdichtebestimmung durch Tauchwägung unterworfenen Probekörper wurden dann in einem Exsikkator wassergesättigt. Abweichend von der Arbeitsanleitung wurde auf die erste und letzte Wasserlagerung bei einer Temperatur von T = + 25 °C verzichtet, da diese lediglich die Bestimmung der Raumdichte ermöglichen soll. Somit ergaben sich mit dem wassergefüllten Exsikkator bei einer Temperatur von T = + 1 °C die folgenden Arbeitsschritte:

- 30 Minuten Evakuieren bis zu einem Restdruck von 25 mbar,
- 150 Minuten Lagerung bei einem Vakuum von 25 mbar,
- 60 Minuten Lagerung unter Atmosphärendruck.

Nach der Wassersättigung lagerten die Marshall-Probekörper für 24 Stunden in einem Wasserbad bei einer Temperatur von T = + 50 °C. Anschließend wurden sie über Nacht in eine wassergefüllte Wanne gelegt, die in einen Kühlschrank gestellt wurde. Da ein handelsüblicher Kühlschrank die geforderte Temperatur von T = + 10 °C nicht zuverlässig einhalten kann, wurde dem Kühlschrank ein Temperaturwächter vorgeschaltet, der ersteren auf die geforderte Temperatur regelt. Gleichzeitig mit der Einlagerung der wassergesättigten Probekörper wurden die luftgelagerten Probekörper auf einen Rost in den Kühlschrank gelegt, ohne sie dabei mit dem Wasser in Kontakt zu bringen. Nach der Lagerung über Nacht hatten alle Probekörper die Prüftemperatur von T = + 10 °C erreicht und wurden auf Spaltzugfestigkeit untersucht.

Dazu dient eine Druck-Prüfmaschine nach DIN 51223 mit einer Vorschubgeschwindigkeit von (50 ± 3) mm/min und einer auswechselbaren Druckvorrichtung. Die hier eingesetzte Spaltzugvorrichtung entspricht der in der Arbeitsanleitung vorgestellten, mit einer biegesteifen Grund- und Kopfplatte von L × B × H = 152 × 10 × 8 mm. Das Maximum der aufgebrachten Kraft in N und der dazugehörige Weg in mm wurden notiert, wobei der Weg im weiteren nicht ausgewertet wird. Für jeden der geprüften Probekörper wurde dann die Spaltzugfestigkeit β_{SZ} nach folgender Formel berechnet:

$$\beta_{SZ} = \frac{2 \cdot F_{max}}{\pi \cdot h \cdot d} \quad \left[MPa = N/mm^2\right].$$

Hierin bedeuten:

β_{SZ} = Spaltzugfestigkeit [MPa],

F_{max} = Höchstkraft [N],

h = Höhe des Probekörpers [mm],

d = Durchmesser des Probekörpers [mm].

Aus jeweils zwei Einzelwerten für die Spaltzugfestigkeit wird - getrennt nach Wasser- und Luftlagerung - ein Mittelwert gebildet, so daß insgesamt vier Mittelwerte als Ergebnisse der Spaltzugversuche vorliegen. Aus je zweien von diesen wird der Spaltzugfestigkeitsabfall nach folgender Formel berechnet:

$$\Delta\beta_{SZ} = \frac{\beta_{SZ.tr} - \beta_{SZ.wa}}{\beta_{SZ.tr}} \cdot 100 \quad [\%].$$

Hierin bedeuten:

$\Delta\beta_{SZ}$ = Spaltzugfestigkeitsabfall [%],

$\beta_{SZ.tr}$ = mittlere Spaltzugfestigkeit der trocken gelagerten Probekörper [MPa],

$\beta_{SZ.wa}$ = mittlere Spaltzugfestigkeit der wassergesättigten und wassergelagerten Probekörper [MPa].

2.3 Mathematische Instrumentarien zur Auswertung der Untersuchungsergebnisse

Für die in dieser Forschungsarbeit experimentell ermittelten Meßwerte liegen Rohdatensätze mit bis zu drei Einzelwerten je Teilkollektiv vor. Die Einzelwerte der Teilkollektive können folglich nicht mittels Testverteilungen auf das Vorhandensein von Ausreißern (abweichenden Meßwerten) geprüft werden.

Der Frage, ob und gegebenenfalls welchen Einfluß die Bitumenart/-sorte auf den Spaltzugfestigkeitsabfall nach Wasserlagerung besitzt, wird durch einen Rangfolgetest nachgegangen, der durch einfache Varianzvergleiche und einfache Mittelwertvergleiche ergänzt wird (siehe Abschnitte 2.3.1 bis 2.3.3), nachdem zunächst ein Test auf Normalverteilung durchgeführt wurde (siehe Abschnitt 2.3.4).

Mittels Varianzanalysen der mehrfachen Klassifikation wird abgefragt, ob die Zielgröße Spaltzugfestigkeitsabfall systematisch oder nur zufällig durch die Einflußgrößen Mineralstoffart, Bitumenart/-sorte, Hohlraumgehalt und/oder Asphaltart/-sorte determiniert wird (siehe Abschnitte 2.3.5 , 2.3.5.1 und 2.3.5.2).

Einfache Varianzanalysen werden zusammen mit modifizierten LSD-Tests durchgeführt um festzustellen, ob Gruppen von Merkmalsgrößen - beispielsweise Hohlraumgehalte oder Rangfolgezahlen - im statistischen Sinne gleich oder signifikant voneinander verschieden und wo im letzteren Fall Grenzen homogener Gruppen zu finden sind (siehe Abschnitt 2.3.6).

Liegen systematische Zusammenhänge zwischen rational skalierten Merkmalsgrößen vor, so können diese mittels Regressionsanalysen quantitativ funktional beschrieben werden. Im vorliegenden Fall werden potenzielle Regressionen gerechnet, wobei auch Quantilen zur Potenzfunktion angegeben werden (siehe Abschnitte 2.3.7 und 2.3.8).

2.3.1 Rangfolgetest

Soll die Gleichheit mehrerer nicht normalverteilter Datensätze überprüft werden, so darf ein einfacher Mittelwertvergleich oder auch eine Varianzanalyse - wie in den folgenden Kapiteln beschrieben - nicht angewendet werden. Um statistisch vergleichbares Datenmaterial zu erhalten, können die ermittelten Meßwerte durch Rangzahlen substituiert werden.

Dieses wird hier angewandt, um den Einfluß der Bindemittelart/-sorte auf den Spaltzugfestigkeitsabfall zu ermitteln. Die Spaltzugfestigkeitsabfälle werden dazu in $l = 25$ Gruppen nach Asphaltart/-sorte und Mineralstoffart getrennt. In jeder dieser Gruppen i existieren $n_i = 15$ Meßwerte mit jeweils $k = 5$ unterschiedlichen Bindemittelarten/-sorten. Zunächst wird innerhalb jeder dieser Gruppen die Rangfolge bestimmt. Dazu werden die n_i Stichprobenwerte $x_{i(j)}$ der Größe nach aufsteigend sortiert:

$$x_{i(1)} \leq x_{i(2)} \leq \ldots \leq x_{i(15)} .$$

Hierbei zeigt die runde Klammer beim zweiten Index an, daß es sich um der Größe nach sortierte Stichprobenwerte handelt. Die Zahlen (j) bezeichnen die Rangzahl der einzelnen Stichprobe innerhalb einer Gruppe i. Für den hier vorliegenden Fall werden dann die Rangzahlen der drei Stichproben mit dem gleichen Bindemittel (aber unterschiedlichen Hohlraumgehalten) zu der Rangzahl s_{ik} addiert. Es gilt also:

$$s_{ik} = \sum_{m=1}^{3} x_{i[m]} \quad \text{mit } k = 1 \ldots 5 \text{ und } i = 1 \ldots 25 ; \qquad \text{ferner gilt: } 6 \leq s_{ik} \leq 42,$$

wobei die $x_{i[m]}$ Rangfolgezahlen gleichen Bindemittels bedeuten.

Dieses Verfahren wird auf alle fünfundzwanzig Gruppen einer Bindemittelart/-sorte angewandt. Im Anschluß daran wird der Einfluß der Bindemittelart/-sorte auf das gesamte Datenmaterial untersucht. Dazu werden die Rangfolgezahlen S_{ik} gleichen Bindemittels addiert. Dieses ergibt die Rangfolgezahlsumme r_k:

$$r_k = \sum_{i=1}^{25} s_{ik} \quad \text{mit } k = 1 \ldots 5; \qquad \text{es gilt: } 150 \leq r_k \leq 1050.$$

Die so ermittelten Rangfolgezahlensummen geben - zunächst einmal vorläufig - den Rang der einzelnen Bindemittelart/-sorte für das gesamte Datenmaterial wieder. Die durchschnittliche Rangfolgezahl $\bar{s}_{ik}$ ergibt sich aus der Rangfolgezahlensumme nach Division durch 25. Um festzustellen, ob zwischen den durchschnittlichen Rangfolgezahlen systematische Unterschiede bestehen oder nicht, werden aus den s_{ik} arithmetische Mittel und Standardabweichungen gebildet, mit denen dann einfache Varianz- und Mittelwertvergleiche nach Abschnitt 2.3.2 und Abschnitt 2.3.3 durchgeführt werden können.

2.3.2 Einfacher Varianzvergleich

Soll die Gleichheit der Varianzen zweier normalverteilter Datensätze überprüft werden, so wird nach [12] zunächst die Null-Hypothese aufgestellt, die Varianzen seien gleich:

$$H_o : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 .$$

Die Null-Hypothese wird abgelehnt, wenn die aus den Stichprobenvarianzen berechnete Testgröße

$$\hat{F} = \frac{s_1^2}{s_2^2}$$

bei einer angenommenen Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0{,}05$ den für die Freiheitsgrade $\nu_1 = (n_1 - 1)$ und $\nu_2 = (n_2 - 1)$ (mit n_1, n_2 = Stichprobenumfang) in [13] tabellierten Schwellenwert der F-Verteilung überschreitet; dann wird die Alternativhypothese

$$H_A : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

angenommen, das heißt, die Hypothese der Varianzhomogenität verworfen. Für die Berechnung der Testgröße $\hat{F}$ wird die Stichprobe mit der größeren Varianz als Nr. 1 mit s_1^2 und die andere als Nr. 2 mit s_2^2 bezeichnet.

2.3.3 Einfacher Mittelwertvergleich

Stellt sich die Aufgabe, über einen Mittelwertvergleich festzustellen, ob sich im statistischen Sinne die Mittelwerte zweier Meßreihen mit den Anzahlen n_1 und n_2 der verträglichen Einzelwerte unterscheiden, so wird nach [12] die Null-Hypothese formuliert, daß die Mittelwerte gleich seien, das heißt, die Differenz der Mittelwerte im statistischen Sinne gleich Null ist:

$$H_o : \mu_1 = \mu_2 \ .$$

Die Testgröße $\hat{t}$ zur Überprüfung der Null-Hypothese ist für die Fälle gleicher und ungleicher Stichprobenumfänge sowie gleicher und nichtgleicher Varianzen formelmäßig in Tabelle 2.04 angegeben. Überschreitet die Testgröße $\hat{t}$ bei vorgegebener Überschreitungswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0{,}05$ die für die Anzahl der Freiheitsgrade ν in [12] angegebene Signifikanzschranke der t-Verteilung, so wird die Alternativhypothese

$$H_A = \mu_1 \neq \mu_2$$

akzeptiert; das heißt, die Null-Hypothese auf Homogenität der Stichprobenmittelwerte wird abgelehnt.

Stichproben-umfänge	Varianzen	
	gleich: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$	ungleich: $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
gleich: $n_1 = n_2 = n$	$\hat{t} = \frac{\lvert \bar{x}_1 - \bar{x}_2 \rvert}{\sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2}{n}}}$ $FG = 2n - 2$	$\hat{t} = \frac{\lvert \bar{x}_1 - \bar{x}_2 \rvert}{\sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2}{n}}}$ $FG = n - 1 + \frac{2n-2}{\frac{s_1^2}{s_2^2} + \frac{s_2^2}{s_1^2}}$
ungleich: $n_1 \neq n_2$	$\hat{t} = \frac{\lvert \bar{x}_1 - \bar{x}_2 \rvert}{\sqrt{\left[\frac{n_1+n_2}{n_1 \cdot n_2}\right] \cdot \left[\frac{(n_1-1)\cdot s_1^2 + (n_2-1)\cdot s_2^2}{n_1+n_2-2}\right]}}$ $FG = n_1 + n_2 - 2$	$\hat{t} = \frac{\lvert \bar{x}_1 - \bar{x}_2 \rvert}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$ $FG = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2 - 1}}$

Tabelle 2.04: Vergleich zweier Mittelwerte unabhängiger Stichproben normalverteilter Grundgesamtheiten [16]

2.3.4 Test auf Normalverteilung

Sollen bei der Anwendung bewertender Methoden der mathematischen Statistik Entscheidungen über die Signifikanz oder Nicht-Signifikanz des Unterschiedes zwischen zwei oder mehr empirisch erhobenen Verteilungen getroffen werden, so sind bei Anwendung parametrischer Verfahren, die beispielsweise arithmetische Mittel

und Standardabweichungen als statistische Kenngrößen zur Ermittlung von Testwerten verwenden, die empirisch gewonnenen Stichproben auf Normalverteilung zu prüfen, sofern nicht Normalverteilung aufgrund von Erfahrungen als gegeben angenommen werden kann. Zur schnellen Prüfung einer Stichprobe auf Normalverteilung kann das Verfahren von David und Mitarbeiter [12] angewendet werden. Dieses benutzt den Quotienten q aus der Spannweite a und der Standardabweichung s und vergleicht ihn mit sogenannten kritischen Grenzen. Ist q kleiner als ein unterer Grenzwert oder größer als ein oberer Grenzwert, so ist mit einer gewählten Irrtumswahrscheinlichkeit α davon auszugehen, daß keine Normalverteilung vorliegt. Im Interesse der Schärfe der Aussage sollte die Irrtumswahrscheinlichkeit zu α = 10 % gewählt werden. Dann betragen für einen Stichprobenumfang von n = 25 die Zahlenwerte für

- die untere Schranke: 3,45 und
- die obere Schranke: 4,53.

2.3.5 Varianzanalysen der mehrfachen Klassifikation

Mit Hilfe multipler Varianzanalysen können die Einflüsse von zwei und mehr Faktoren auf die Gesamtvariabilität einer Merkmalsgröße und gleichzeitig die Wechselwirkungen zwischen den Faktoren erkannt und quantitativ ermittelt werden. Das Berechnungsprinzip besteht darin, die Faktoren so einzusetzen, daß sich ihre Effekte und Wechselwirkungen sowie die Variabilität dieser Effekte messen, untereinander vergleichen und gegen die zufällige Variabilität abgrenzen lassen.

Gemäß der Klassifikation von Eisenhart [14] können zur Lösung von Problemen mit varianzanalytischen Methoden grundsätzlich drei Modelle unterschieden werden:

- Modell I mit festen Effekten, wobei die Stufen der Einflußfaktoren gezielt ausgewählt und festgelegt werden,
- Modell II mit zufälligen Effekten, wobei die Stufen der Einflußfaktoren auf Zufallsstichproben aus einer Grundgesamtheit beruhen sowie
- Modell III mit gemischten Effekten, wobei sich die Einflußfaktoren sowohl aus dem Modell I als auch aus dem Modell II ergeben.

Ferner unterscheidet man bei multiplen Varianzanalysen zwischen einer Kreuzklassifikation und einer hierarchischen Klassifikation. Bei der Kreuzklassifikation treten alle Stufen des einen Einflußfaktors in allen Stufen aller anderen Einflußfaktoren auf. Bei der hierarchischen Klassifikation hingegen treten alle Stufen einer Einflußgröße immer nur mit einer Stufe einer anderen Einflußgröße gemeinsam auf.

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Versuche sind so angelegt, daß stets eine Varianzanalyse mit Kreuzklassifikation nach dem Modell I (mit festen Effekten) auf das vorliegende Datenmaterial angewendet werden kann.

2.3.5.1 Varianzanalyse der vierfachen Klassifikation

Bei dem erhobenen Datenmaterial für die Spaltzugfestigkeitsabfälle an Marshall-Probekörpern infolge Wassereinwirkung liegt beim Gesamtdatenkollektiv eine Vier-Variablen-Klassifikation mit Wiederholungen für die Variationsursachen Mineralstoffart, Bitumenart/-sorte, Hohlraumgehalt und Asphaltart/-sorte mit systematisch ausgewählten Stufen der vier Faktoren vor. Da die Variabilitätsanteile der einzelnen Einflüsse und ihre Wechselwirkungen an der Gesamtvarianz interessieren, werden die zu prüfenden Daten einer Merkmalsgröße zunächst in folgende Gruppen unterteilt:

Faktor A (Mineralstoffart)	mit den Stufen i = 1 bis i = a, wobei a Stufen in der Grundgesamtheit auftreten,
Faktor B (Bitumenart/-sorte)	mit den Stufen j = 1 bis j = b, wobei b Stufen in der Grundgesamtheit auftreten,
Faktor C (Hohlraumgehalt)	mit den Stufen k = 1 bis k = c, wobei c Stufen in der Grundgesamtheit auftreten,
Faktor D (Asphaltart/-sorte)	mit den Stufen l = 1 bis l = d, wobei d Stufen in der Grundgesamtheit auftreten auf.

Da angenommen werden darf, daß durch die systematische Auswahl der Stufen a, b, c und d jeweils der ganze relevante Bereich der Faktoren A, B, C und D erfaßt wird, kann das Modell I für alle betrachteten Faktoren zugrunde gelegt werden.

Die Anzahl der Stufen beträgt a = 5, b = 5, c = 3 und d = 5. Total sind $a \cdot b \cdot c \cdot d = 375$ Stufen vorhanden. Jede Stufe umfaßt n = 2 Werte ("Beobachtungen").

Die Gesamtzahl der Meßwerte ist dann gleich $N = a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot n = 750$.

Für das Untersuchungsmaterial wurde ein varianzanalytisches lineares Modell gewählt mit der Modellgleichung:

$$x_{ijklm} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \delta_l + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\alpha\delta)_{il} + (\beta\gamma)_{jk} + (\beta\delta)_{jl} + (\gamma\delta)_{kl} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + (\alpha\beta\delta)_{ijl} + (\alpha\gamma\delta)_{ikl} + (\beta\gamma\delta)_{jkl} + (\alpha\beta\gamma\delta)_{ijkl} + \varepsilon_{ijklm} .$$

Hierbei bezeichnet der Index i stets die Nummer der Stufe des Faktors A, der Index j die des Faktors B, der Index k die des Faktors C, der Index l die des Faktors D, während der Index m die Nummer der Beobachtung m = 1 bis n angibt.
Dabei bedeuten:

x_{ijklm}	einen Beobachtungswert, der in der i-ten Stufe des Faktors A, j-ten Stufe des Faktors B, k-ten Stufe des Faktors C, l-ten Stufe des Faktors D und m-ten Beobachtung liegt,
μ	Gesamtmittel,
α_i bis δ_l	Stufeneffekt der Faktoren A bis D; die Abweichung der Stufenmittel vom Gesamtmittel,
$(\alpha\beta)_{ij}$ bis $(\alpha\beta\gamma\delta)_{ijkl}$	Wechselwirkungseffekt zwischen den im Index angegebenen Stufen der betreffenden Faktoren; so bezeichnet zum Beispiel $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ den Wechselwirkungseffekt zwischen der i-ten Stufe des Faktors A, der j-ten Stufe des Faktors B und der k-ten Stufe des Faktors C,
ε_{ijklm}	Effekt der zufälligen Einflüsse.

In diesem Modell wird vorausgesetzt, daß die Stichproben zufällig aus den $a \cdot b \cdot c \cdot d$ Grundgesamtheiten entnommen worden sind und daß jede dieser Grundgesamtheiten normalverteilt ist mit statistisch gleicher Varianz σ^2; das heißt, die x_{ijklm} sollen un-

abhängig und normalverteilt mit der Varianz σ^2 sein. Für die notwendigen Berechnungen der SQ (Summen der quadratischen Abweichungen) wird folgender Weg gewählt. Zunächst wird die Hilfsgröße K bestimmt:

$$K = \frac{\sum x_{ijklm}^2}{N},$$

wobei x die durch Indizierung gekennzeichneten Meßwerte darstellt. Mit der Hilfsgröße K ergeben sich die Einzeleffekte der Faktoren zu:

$$SQ(A) = \sum_i \frac{x_{i\cdots}^2}{n \cdot b \cdot c \cdot d} - K; \qquad \nu = a - 1,$$

$$SQ(B) = \sum_j \frac{x_{\cdot i \cdot \cdot \cdot}^2}{n \cdot a \cdot c \cdot d} - K; \qquad \nu = b - 1,$$

$$SQ(C) = \sum_k \frac{x_{\cdot \cdot k \cdot \cdot}^2}{n \cdot a \cdot b \cdot d} - K; \qquad \nu = c - 1,$$

$$SQ(D) = \sum_l \frac{x_{\cdot \cdot \cdot l \cdot}^2}{n \cdot a \cdot b \cdot c} - K; \qquad \nu = d - 1,$$

sowie die Wechselwirkungseffekte zwischen zwei Faktoren zu:

$$SQ(AB) = \sum_i \sum_j \frac{x_{ji\cdots}^2}{n \cdot c \cdot d} - K - SQ(A) - SQ(B); \qquad \nu = (a-1) \cdot (b-1),$$

$$SQ(AC) = \sum_i \sum_k \frac{x_{i \cdot k \cdot \cdot}^2}{n \cdot b \cdot d} - K - SQ(A) - SQ(C); \qquad \nu = (a-1) \cdot (c-1)$$

und so weiter.

Die übrigen Summen SQ(AD), SQ(BC), SQ(BD) und SQ(CD) sowie deren Freiheitsgrade FG werden durch entsprechenden Umtausch der Indices und der jeweiligen Anzahl der Stufen analog berechnet. Für die Wechselwirkungseffekte zwischen drei Faktoren gilt:

$$SQ(ABC) = \sum_i \sum_j \sum_k \frac{x^2_{ijk\cdot\cdot}}{n \cdot d} - K - SQ(A) - SQ(B) - SQ(C) - SQ(AB)$$
$$- SQ(AC) - SQ(BC); \qquad \nu = (a-1) \cdot (b-1) \cdot (c-1),$$

$$SQ(ABD) = \sum_i \sum_j \sum_l \frac{x^2_{ij\cdot l\cdot}}{n \cdot c} - K - SQ(A) - SQ(B) - SQ(D) - SQ(AB)$$
$$- SQ(AD) - SQ(BD); \qquad \nu = (a-1) \cdot (b-1) \cdot (d-1).$$

Die Summen SQ(ACD) und SC(BCD) und deren Freiheitsgrade FG werden wieder analog ermittelt.

Schließlich müssen der Wechselwirkungseffekt aller Faktoren:

$$SQ(ABCD) = \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l \frac{x^2_{ijkl\cdot}}{n} - K - SQ(A) - SQ(B) - SQ(C) - SQ(D)$$
$$- SQ(AB) - SQ(AC) - SQ(AD) - SQ(BC) - SQ(BD) - SQ(CD)$$
$$- SQ(ABC) - SQ(ABD) - SQ(ACD) - SQ(BCD);$$
$$\nu = (a-1) \cdot (b-1) \cdot (c-1) \cdot (d-1)$$

und die Gesamtabweichungsquadratsumme (Total):

$$SQ(To) = \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l \sum_m x^2_{ijklm} - K; \qquad \nu = (a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot n) - 1 = N - 1$$

bestimmt werden.

Die Rest- oder Fehlerquadratsumme wird wie folgt festgestellt:

$$SQ(R) = SQ\,(To) - SQ\,(A) - SQ\,(B) - SQ\,(C) - SQ\,(D) - SQ\,(AB)$$
$$- SQ\,(AC) - SQ\,(AD) - SQ\,(BC) - SQ\,(BD) - SQ\,(CD)$$
$$- SQ\,(ABC) - SQ\,(ABD) - SQ\,(ACD) - SQ(BCD) - SQ(ABCD);$$
$$\nu = a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot (n-1).$$

Die Mittleren Quadrate MQ lassen sich durch Teilung der Summen der Abweichungsquadrate SQ durch die zugehörigen Freiheitsgrade ν ermitteln. Mit Hilfe des F-Tests ist dann zu untersuchen, ob die Effekte der Einflußfaktoren und der Wechselwirkungen signifikante Änderungen der Merkmalsgröße bewirken. Gemäß der ge-

stellten Aufgabe sind folgende Null-Hypothesen zu prüfen: Die Einflußfaktoren und deren Wechselwirkungen bewirken in allen Stufen jeweils keinen Effekt. Wird die Null-Hypothese angenommen, so besteht kein Unterschied zwischen den Mittelwerten der Stufen des zu prüfenden Effekts, was bedeutet, daß die Unterschiede zwischen den Stufen dieses Effekts keinen Einfluß auf die Merkmalsänderungen ausüben.

Die Prüfung der Null-Hypothesen erfolgt jeweils durch Vergleich eines rechnerischen $\hat{F}$-Werts, gebildet aus dem Quotienten des jeweiligen Mittleren Quadrats MQ und dem Mittleren Quadrat des Resteinflusses, mit einem theoretischen F-Wert. Ist die Prüfgröße $\hat{F}$ größer als der tabellierte F-Wert der Fisher-Verteilung, so wird die entsprechende Null-Hypothese nicht akzeptiert, das heißt, die der geprüften Variationsursache zugeordnete Varianz ist nicht zufällig, sondern signifikant unterschiedlich von der Fehlervarianz.

Die rechnerischen $\hat{F}$-Werte und die zugehörigen Freiheitsgrade lassen sich für das gewählte varianzanalytische Modell mit festen Effekten aus folgenden Beziehungen ermitteln:

$$\hat{F}(A) = \frac{MQ(A)}{MQ(R)}; \qquad \nu_1 = (a - 1),\ \nu_2 = a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot (n - 1).$$

$\hat{F}(B)$; $\hat{F}(C)$, $\hat{F}(D)$ und deren zugehörigen Freiheitsgrade werden analog ermittelt.

$$\hat{F}(AB) = \frac{MQ(AB)}{MQ(R)}; \qquad \nu_1 = (a - 1) \cdot (b - 1), \quad \nu_2 = a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot (n - 1).$$

$\hat{F}(AC)$, $\hat{F}(AD)$, $\hat{F}(BC)$, $\hat{F}(BD)$, $\hat{F}(CD)$ und deren zugehörigen Freiheitsgrade werden analog ermittelt.

$$\hat{F}(ABC) = \frac{MQ(ABC)}{MQ(R)}; \qquad \nu_1 = (a - 1) \cdot (b - 1) \cdot (c - 1),$$

$$\nu_2 = a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot (n - 1).$$

$\hat{F}(ABD)$, $\hat{F}(ACD)$, $\hat{F}(BCD)$ und deren zugehörigen Freiheitsgrade werden analog ermittelt.

$$\hat{F}(ABCD) = \frac{MQ(ABCD)}{MQ(R)}; \qquad \nu_1 = (a - 1) \cdot (b - 1) \cdot (c - 1) \cdot (d - 1),$$

$$\nu_2 = a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot (n - 1).$$

Die theoretischen F-Werte werden jeweils für ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0{,}05$ für die zugehörigen Freiheitsgrade ν_1 und ν_2 ermittelt.

Weiterhin werden die Varianzkomponenten der Haupt- und Wechselwirkungen ermittelt, um die Effekte dieser Wirkungen abschätzen zu können. In Anlehnung an Weber [15] erweisen sich die Mittleren Quadrate MQ als Summen von Varianzkomponenten, die die Wirkungen und Wechselwirkungen der verschiedenen Einflußfaktoren charakterisieren. Für das gewählte Modell mit festen Effekten lassen sich nach Weber die Varianzkomponenten s^2 aus folgenden Gleichungen bestimmen:

$$\begin{aligned}
MQ &= E(MQ),\\
MQ(A) &= s_R^2 + b \cdot c \cdot d \cdot n \cdot s_A^2,\\
MQ(B) &= s_R^2 + a \cdot c \cdot d \cdot n \cdot s_B^2,\\
MQ(C) &= s_R^2 + a \cdot b \cdot d \cdot n \cdot s_C^2,\\
MQ(D) &= s_R^2 + a \cdot b \cdot c \cdot n \cdot s_D^2,\\
MQ(AB) &= s_R^2 + c \cdot d \cdot n \cdot s_{AB}^2,\\
MQ(AC) &= s_R^2 + b \cdot d \cdot n \cdot s_{AC}^2,\\
MQ(AD) &= s_R^2 + b \cdot c \cdot n \cdot s_{AD}^2,\\
MQ(BC) &= s_R^2 + a \cdot d \cdot n \cdot s_{BC}^2,\\
MQ(BD) &= s_R^2 + a \cdot c \cdot n \cdot s_{BD}^2,\\
MQ(CD) &= s_R^2 + a \cdot b \cdot n \cdot s_{CD}^2,\\
MQ(ABC) &= s_R^2 + d \cdot n \cdot s_{ABC}^2,\\
MQ(ABD) &= s_R^2 + c \cdot n \cdot s_{ABD}^2,\\
MQ(ACD) &= s_R^2 + b \cdot n \cdot s_{ACD}^2,\\
MQ(BCD) &= s_R^2 + a \cdot n \cdot s_{BCD}^2,\\
MQ(ABCD) &= s_R^2 + n \cdot s_{ABCD}^2,\\
MQ(R) &= s_R^2.
\end{aligned}$$

Die dadurch ermittelten s^2 können als prozentuale Anteile an der Gesamtvarianz angegeben werden:

$$s_A^2 + s_B^2 + s_C^2 + s_D^2 + s_{AB}^2 + s_{AC}^2 + s_{AD}^2 + s_{BC}^2 + s_{BD}^2 + s_{CD}^2 + s_{ABC}^2 + s_{ABD}^2 + s_{ACD}^2 + s_{BCD}^2 + s_{ABCD}^2 + s_R^2 ,$$

mit der Bedingung: $s_{(To)}^2 \triangleq 100\ \%$.

2.3.5.2 Varianzanalyse der dreifachen Klassifikation

Die Gleichungen für die Varianzanalyse der dreifachen Klassifikation ergeben sich aus den Gleichungen für die Varianzanalyse der vierfachen Klassifikation durch Schluß von n auf (n - 1).

2.3.6 Einfache Varianzanalyse und modifizierter LSD-Test

Mit Hilfe einer einfachen Varianzanalyse läßt sich die Gleichheit der Mittelwerte mehrerer Stichprobengruppen überprüfen [12]. Die k Gruppen mit je n_i Stichprobenelementen und insgesamt n Elementen müssen normalverteilt sein und gleiche Varianzen aufweisen.

Für die einfache Varianzanalyse wird die Summe der Abweichungsquadrate der Stichprobenwerte um das Gesamtmittel (Q_{gesamt}) in zwei Anteile, die Summe der Abweichungsquadrate aller Einzelwerte x_{ij} um die Gruppenmittelwerte $\bar{x}_i$ ($Q_{innerhalb}$) und die Summe der Abweichungsquadrate der Gruppenmittelwerte $\bar{x}_i$ um das Gesamtmittel $\bar{x}$ ($Q_{zwischen}$), zerlegt.

Die zugehörigen Varianzen oder mittleren Quadrate (MQ) werden als Quotienten aus der Summe der Abweichungsquadrate und dem zugehörigen Freiheitsgrad ν berechnet:

$$- MQ_{zwischen} = s^2_{zw} = \frac{1}{\nu_1} \sum_i n_i \cdot (\bar{x}_i - \bar{x})^2 ,$$

$$- MQ_{innerhalb} = s^2_{in} = \frac{1}{\nu_2} \sum_{ij} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 ,$$

mit $\nu_1 = k - 1, \quad \nu_2 = n - k .$

$MQ_{zwischen}$ wird als Stichprobenfehler und $MQ_{innerhalb}$ als Versuchsfehler bezeichnet.

Entstammen alle Gruppen einer Grundgesamtheit, dann sollten die Varianzen $MQ_{zwischen}$ und $MQ_{innerhalb}$ etwa gleich groß sein. Ist aber der Quotient aus $MQ_{zwischen}$ und $MQ_{innerhalb}$ größer als der kritische Wert der F-Verteilung, so befinden sich unter den Gruppen solche mit unterschiedlichen Mittelwerten μ_i. Die Null-Hypothese, alle Mittelwerte seien gleich:

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = ... = \mu_i = ... = \mu_k = \mu ,$$

wird somit anhand der Prüfgröße

$$\hat{F} = \frac{MQ_{zwischen}}{MQ_{innerhalb}} ,$$

$$\hat{F} = \frac{\frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^{k} n_i \cdot (\bar{x}_i - \bar{x})^2}{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{ni} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}$$

abgelehnt, wenn bei vorgegebener Überschreitungswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0{,}05$

$$\hat{F} > F\ (\nu_1; \nu_2; \alpha)$$

ist.

In diesem Fall sind mindestens zwei Mittelwerte μ_i voneinander verschieden und die Alternativhypothese $\mu_i \neq \mu$ wird für bestimmte i akzeptiert. Die Ablehnung der Null-Hypothese läßt jedoch nicht den Schluß zu, daß alle Mittelwerte signifikant voneinander verschieden sind. Es ist also herauszufinden, welche Mittelwerte oder welche Gruppen von Mittelwerten sich unterscheiden.

Ein multipler Mittelwertvergleich mit Hilfe des modifizierten LSD-Tests gibt darüber Auskunft, welche Mittelwerte zu homogenen Gruppen zusammengefaßt werden

können, das heißt, der gleichen Grundgesamtheit entstammen [12]. Dazu werden die k Mittelwerte der Größe nach absteigend geordnet und es wird geprüft, ob benachbarte Mittelwerte eine größere Differenz Δ aufweisen als die kleinste signifikante Differenz (Least Significant Difference = LSD).

Die kleinste signifikante Differenz berechnet sich bei gleichen Stichprobenumfängen einer Meßreihe zu:

$$LSD = t_{n-k,\alpha} \cdot \sqrt{\frac{2}{n_i}} \cdot MQ_{innerhalb} \cdot ,$$

mit t = Schwellenwert der t-Verteilung bei der Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 0{,}05$,

n_i = Stichprobenumfang einer Meßreihe,

$MQ_{innerhalb}$ = Varianz der Einzelwerte um die Gruppenmittelwerte.

Bei ungleichen Stichprobenumfängen gilt für die kleinste signifikante Differenz benachbarter Mittelwerte:

$$LSD_{(a,b)} = t_{n-k,\alpha} \cdot \sqrt{(\frac{n_a + n_b}{n_a \cdot n_b})} \cdot MQ_{innerhalb} ,$$

mit n_a, n_b = Stichprobenumfang der benachbarten Mittelwerte.

Wenn $\Delta \leq LSD$ ist, läßt sich die Hypothese der Gleichheit benachbarter Mittelwerte nicht ablehnen. Die Grenzen homogener Gruppen von Mittelwerten werden in den entsprechenden Anlagen kenntlich gemacht.

2.3.7 Potenzielle Regression

Die potenzielle Regressionsanalyse kann dann angewendet werden, wenn Grund zu der Annahme besteht, daß die Beziehung zwischen einer abhängigen und einer unabhängigen, normalverteilten Variablen durch eine Funktion des Typs

$$\hat{y}(x) = a + b \cdot x^c$$

beschrieben werden kann. Die Regressionsanalyse kann bei Einsatz entsprechender Software auf der Grundlage der natürlichen Argumente oder bei Einsatz eines

Taschenrechners beziehungsweise eines PC auf der Grundlage logarithmierter Argumente durchgeführt werden. Im letzteren Fall ist obige Funktion zu logarithmieren, so daß sie zu einer Geradengleichung wird:

$$\log \hat{y}(x) = b + c \cdot \log\ x .$$

In beiden Fällen liegt der Regressionsanalyse das Gaußsche Prinzip der Minimierung der Abstandsquadratsumme zugrunde.

Die Potenzfunktion zur Approximation der experimentell ermittelten Daten wird gewählt, weil sie

- monoton steigende Tendenzen im Datenmaterial zutreffend beschreiben kann
- und mit c = 1 den Sonderfall der Geraden einschließt.

Aus Gründen der Plausibilität wird festgelegt, daß

- der Summand a stets größer als a = - 15 sein muß, weil größere Spaltzugfestigkeitszuwächse als 15 % auch bei Hohlraumgehalten von annähernd 0 V-% nicht beobachtet worden sind (siehe vorgreifend Tabellen 3.01 bis 3.15 in Abschnitt 3.1),
- der Faktor b nicht negativ werden darf, weil es für eine Verringerung des Spaltzugfestigkeitsabfalls mit zunehmendem Hohlraumgehalt keine physikalische Erklärung gäbe, und
- der Exponent c nur für den Bereich zwischen c = 0 und c = 1 definiert ist, weil - wie später zu sehen sein wird (siehe im Vorgriff die Tabellen 3.01 bis 3.05 in Abschnitt 3.1) - keine progressiv ansteigenden Spaltzugfestigkeitsabfälle mit zunehmendem Hohlraumgehalt registriert worden sind.

Anmerkung: Zur Auswertung des hier vorliegenden Datenmaterials wurde die Levenberg-Marquardt-Iteration angewendet [16].

2.3.8 Potenzverteilung und Quantile

Mit der Potenzverteilung (siehe Abschnitt 2.3.7) wird im vorliegenden Fall ein mathematischer Zusammenhang zwischen einer empirisch ermittelten Zielgröße - nämlich dem Spaltzugfestigkeitsabfall - und einer ebenfalls empirisch bestimmten Einflußgröße - nämlich dem Hohlraumgehalt - hergestellt, von dem angenommen wird, daß er die experimentell gewonnenen Daten bestmöglich repräsentiert. Betrachtet man die Potenzfunktion in erster Näherung als eine lückenlose Folge von Medianwerten - das sind die 50-%-Werte - einer empirischen Verteilung, so lassen sich aus den Untersuchungsergebnissen Funktionen für beliebige Quantilen - das sind Maßzahlen zur quantitativen Beschreibung von Wahrscheinlichkeiten in Prozent - berechnen, aus denen abgelesen werden kann, in wieviel Prozent aller Fälle ein bestimmter Betrag der Zielgröße - hier: des Spaltzugfestigkeitsabfalls - bei gegebenem Betrag der Einflußgröße - hier: des Hohlraumgehalts - nicht überschritten wird. Umgekehrt kann natürlich auch für bestimmte Hohlraumgehalte eine bestimmte Unterschreitungswahrscheinlichkeit für den Spaltzugfestigkeitsabfall vorgegeben und daraus ein Grenzwert für letzteren abgeleitet werden.

3. Untersuchungsergebnisse

In Kapitel 3 werden zunächst die Ergebnisse der Untersuchungen zur Ermittlung der Spaltzugfestigkeitsabfälle in tabellarischer und graphischer Form dargestellt (siehe Abschnitt 3.1). Es folgen analytische Untersuchungen zur Abschätzung des Einflusses der Mineralstoffart, der Bindemittelart/-sorte, des Hohlraumgehalts und der Asphaltart/-sorte unter Anwendung von Methoden der bewertenden mathematischen Statistik (siehe Abschnitte 3.2, 3.2.1 und 3.2.2). Abschließend werden für die einzigen rational skalierten Größen - nämlich den Spaltzugfestigkeitsabfall und den Hohlraumgehalt - ein funktionaler Zusammenhang gesucht und Quantilen zur Abschätzung von Unterschreitungswahrscheinlichkeiten angegeben (siehe Abschnitt 3.3, 3.3.1 und 3.3.2).

3.1 Ergebnisse der Spaltzugversuche

Die Ergebnisse der Spaltzugversuche an fünf verschiedenen Asphaltarten/-sorten - nämlich Asphaltbeton 0/11 L, Splittmastixasphalt 0/11 S, Asphaltbinder 0/16 und 0/22 sowie Asphalttragschichtmaterial 0/22 der Mischgutart C - mit fünf verschiedenen Mineralstoffarten, fünf verschiedenen Bindemittelarten/-sorten und drei unterschiedlichen Hohlraumgehalten sind in den folgenden Tabellen 3.01 bis 3.05 aufgelistet. Eine ausführlichere Dokumentation der Einzelwerte und Ergebnisse enthält die Anlage II mit den Tabellen A.B.1 bis A.B.5, A.G.1 bis A.G.5, A.O.1 bis A.O.5, A.M.1 bis A.M.5 und A.Q.1 bis A.Q.5. Der erste Buchstabe A dient der Unterscheidung der Tabellen der Anlage von den Tabellen im Text. Mit dem zweiten Buchstaben wird die Mineralstoffart angezeigt: B = Basalt, G = Gabbro, O = Oolith, M = Moräne und Q = Quarzit. Die Ziffern 1 bis 5 identifizieren die Asphaltart/-sorte: 1 = Asphaltbeton 0/11 L; 2 = Splittmastixasphalt 0/11 S; 3 = Asphaltbinder 0/16; 4 = Asphaltbinder 0/22 und 5 = Asphalttragschichtmaterial 0/22 der Mischgutart C. In oben erwähnten Tabellen ist die Mittelwertbildung der Spaltzugfestigkeiten und der Spaltzugfestigkeitsabfälle $\Delta\beta_{SZ}$ im einzelnen nachvollziehbar belegt.

Die Urdaten, die zur endgültigen Feststellung der Spaltzugfestigkeitsabfälle benötigt wurden - wie beispielsweise die Maße der Probekörper oder die Höchstkräfte -, sind hier nicht angegeben. Sie können bei Bedarf im Institut für Straßenwesen der Technischen Universität Braunschweig eingesehen werden.

In den folgenden Tabellen 3.01 bis 3.05 werden für die insgesamt dreihundertfünfundsiebzig Varianten der durchschnittliche Hohlraumgehalt H_{bit}, die zwei Einzelergebnisse der Spaltzugfestigkeitsabfälle $\Delta\beta_{SZ}$ und das Endergebnis als resultierender Mittelwert - ebenfalls $\Delta\beta_{SZ}$ - dargestellt. Mit den Tabellen wird das Datenmaterial für weitergehende statistische Analysen bereitgestellt; sie entbehren aber naturgemäß der Anschaulichkeit. Daher werden die Spaltzugfestigkeitsabfälle in Abhängigkeit vom Hohlraumgehalt in den Abbildungen 3.01 bis 3.05 - getrennt nach Asphaltart/-sorte und Mineralstoffart - auch noch graphisch präsentiert, wobei das gerade eingesetzte Bindemittel an unterschiedlichen Signaturen innerhalb der Diagramme erkennbar ist.

Ein Blick auf die Abbildungen zeigt, daß - unabhängig von der Asphaltart/-sorte und der Mineralstoffart - der Spaltzugfestigkeitsabfall mit zunehmenden Hohlraumgehalt größer wird. Dabei treten bei sehr geringen Hohlraumgehalten - insbesondere bei den beiden Asphaltdeckschichtvarianten - gelegentlich auch Spaltzugfestigkeitszuwächse auf, die ihre Erklärung erstens in prüfverfahrensbedingten Streuungen und zweitens in der Tatsache finden, daß bei Asphaltprobekörpern mit geringen Hohlraumgehalten beim Spaltzugversuch zusätzliche Kräfte mobilisiert werden müssen, um in die Hohlräume eingedrungenes Wasser entgegen dem Fließwiderstand aus diesen auszutreiben.

Die Abbildungen lassen ferner erkennen, daß der Spaltzugfestigkeitsabfall als Merkmalsgröße zur Charakterisierung des Haftverhaltens in nicht unerheblichem Maße durch die Mineralstoffart bestimmt wird. Als extreme Vertreter für haftgünstige und haftkritische Mineralstoffarten erweisen sich in der Mehrzahl aller Fälle der Gabbro und der Quarzit.

Bitumen-art/ -sorte	Mineralstoffart														
	Basalt			Gabbro			Oolith			Moräne			Quarzit		
	H_{bit}	$\Delta\beta_{SZ}$		H_{bit}	$\Delta\beta_{SZ}$		H_{bit}	$\Delta\beta_{SZ}$		H_{bit}	$\Delta\beta_{SZ}$		H_{bit}	$\Delta\beta_{SZ}$	
	V-%	%		V-%	%		V-%	%		V-%	%		V-%	%	
B 65 Shell	0,5	-0,2 5,9	2,8	0,1	-2,5 -2,2	-2,4	0,0	4,6 3,1	3,8	0,1	-6,1 -14,9	-10,5	0,2	1,9 -1,8	0,0
	5,8	33,1 32,3	32,7	3,0	-1,3 9,5	4,1	2,1	12,3 14,5	13,4	2,5	6,0 1,3	3,6	3,5	38,9 41,5	40,2
	7,0	31,2 35,5	33,4	6,5	17,8 15,8	16,8	4,7	22,8 16,3	19,6	4,5	12,7 8,9	10,8	5,8	47,6 36,4	42,0
B 80 Shell	0,1	-12,4 -17,1	-14,8	0,0	-0,3 -4,0	-2,2	0,0	-6,0 -8,6	-7,3	0,2	-5,6 -5,3	-5,4	0,0	0,6 -3,6	-1,5
	4,0	27,2 24,6	25,9	3,2	6,6 0,5	3,6	2,1	6,3 7,6	7,0	2,5	1,6 2,1	1,8	2,9	40,3 41,7	41,0
	5,9	23,9 22,8	23,4	6,9	11,7 6,3	9,0	4,2	28,2 24,7	26,4	5,8	7,8 13,4	10,6	5,7	51,4 39,8	45,6
B 65 PCK	0,3	-7,5 4,1	-1,7	0,4	-4,3 -9,3	-6,8	0,0	10,2 16,7	13,4	0,3	-0,7 -4,1	-2,4	0,5	10,9 5,4	8,2
	4,6	32,3 28,9	30,6	5,7	15,6 14,6	15,1	1,9	23,6 19,2	21,4	2,5	12,3 10,5	11,4	3,4	46,8 42,4	44,6
	8,7	25,7 34,3	30,0	7,9	18,7 14,0	16,4	4,5	37,1 34,3	35,7	5,2	21,9 22,1	22,0	6,5	60,3 64,0	62,2
B 80 PCK	0,3	-7,1 -12,8	-10,0	0,2	-13,0 -17,6	-15,3	0,0	2,0 -2,9	-0,4	0,4	2,5 -0,5	1,0	0,0	1,3 -12,1	-5,4
	5,0	24,3 21,8	23,0	4,7	6,8 -2,0	2,4	1,8	30,8 10,1	20,4	1,8	7,7 5,3	6,5	2,1	27,2 25,3	26,2
	7,2	28,2 24,9	26,6	6,9	14,5 17,1	15,8	2,6	33,3 28,4	30,8	4,4	23,4 21,4	22,4	4,5	49,7 49,8	49,8
PmB 65 A Elf	0,0	-6,5 -8,6	-7,6	0,0	-8,4 8,3	0,0	0,0	8,1 14,2	11,2	0,3	-2,5 -3,6	-3,0	0,0	-2,6 -4,7	-3,6
	2,8	1,9 -4,5	-1,3	2,2	-6,3 30,5	12,1	1,6	7,2 14,7	11,0	2,7	1,7 -0,6	0,6	3,3	12,1 18,8	15,4
	4,5	13,9 9,9	11,9	5,6	10,5 9,1	9,8	3,0	16,0 24,6	20,3	4,1	9,3 12,7	11,0	5,0	27,4 23,2	25,3

Tabelle 3.01: **Spaltzugfestigkeitsabfall** $\Delta\beta_{SZ}$ von **Asphaltbeton 0/11 L** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, von der Bitumenart/-sorte sowie vom Hohlraumgehalt H_{bit}

Bitumen-art/ -sorte	Mineralstoffart														
	Basalt			Gabbro			Oolith			Moräne			Quarzit		
	H_{bit}	$\Delta\beta_{SZ}$		H_{bit}	$\Delta\beta_{SZ}$		H_{bit}	$\Delta\beta_{SZ}$		H_{bit}	$\Delta\beta_{SZ}$		H_{bit}	$\Delta\beta_{SZ}$	
	V-%	%		V-%	%		V-%	%		V-%	%		V-%	%	
B 65 Shell	1,9	4,3 -1,1	1,6	1,2	-9,1 -2,8	-6,0	1,8	24,2 14,4	19,3	3,1	1,3 3,8	2,6	2,3	3,5 9,9	6,7
	3,8	11,4 2,1	6,8	3,4	8,7 15,5	12,1	3,9	4,8 5,9	5,4	5,1	-0,4 -0,2	-0,3	3,3	32,8 18,0	25,4
	7,3	19,1 15,0	17,0	5,0	2,3 19,4	10,8	7,7	12,6 6,2	9,4	7,5	13,3 7,6	10,4	9,9	39,9 29,0	34,4
B 80 Shell	1,9	-1,9 -4,0	-3,0	0,9	-14,2 -5,2	-9,7	1,1	10,6 8,6	9,6	2,7	7,3 3,2	5,2	2,3	17,4 5,9	11,6
	3,6	-0,5 -6,2	-3,4	2,4	-1,4 10,1	4,4	3,6	6,8 1,9	4,4	5,5	2,6 7,1	4,8	5,0	29,0 27,4	28,2
	5,9	2,3 8,3	5,3	6,2	11,4 12,3	11,8	6,5	7,0 2,8	4,9	6,7	14,6 19,2	16,9	5,4	26,2 17,5	21,8
B 65 PCK	2,1	0,0 6,4	3,2	2,3	-1,4 -8,6	-5,0	1,5	9,4 3,4	6,4	2,7	5,9 8,2	7,0	2,0	10,9 6,3	8,6
	3,4	1,4 7,5	4,4	5,0	11,2 0,8	6,0	3,8	26,6 21,5	24,0	5,4	11,2 10,0	10,6	4,5	32,3 24,3	28,3
	7,5	11,5 12,0	11,8	8,8	18,3 19,2	18,8	7,0	38,5 36,3	37,4	8,2	16,4 17,8	17,1	7,2	27,8 40,7	34,2
B 80 PCK	1,9	-5,1 -4,4	-4,8	2,1	-5,0 -2,3	-3,6	1,1	10,9 11,2	11,0	2,7	4,1 4,4	4,2	3,0	34,6 22,4	28,5
	3,4	-1,0 2,4	0,7	4,9	-0,2 11,4	5,6	2,4	21,1 22,6	21,8	5,6	13,7 17,7	15,7	4,2	32,0 38,9	35,4
	7,0	6,2 2,0	4,1	7,5	3,5 3,0	3,2	6,1	21,9 28,4	25,2	8,2	22,1 21,7	21,9	6,5	41,9 39,4	40,6
PmB 65 A Elf	1,9	-5,8 -8,7	-7,2	2,2	-11,1 -5,9	-8,5	1,4	12,7 8,3	10,5	3,1	-4,2 -7,7	-6,0	2,6	0,9 11,5	6,2
	4,7	-1,8 -4,4	-3,1	5,2	-1,4 0,9	-0,2	4,0	28,4 19,5	24,0	6,9	9,4 9,3	9,4	6,0	23,2 19,8	21,5
	6,8	21,7 2,0	11,8	6,7	16,7 5,1	10,9	5,7	21,6 23,9	22,8	7,9	14,3 6,2	10,2	7,4	15,8 30,9	23,4

Tabelle 3.02: **Spaltzugfestigkeitsabfall** $\Delta\beta_{SZ}$ von **Splittmastixasphalt 0/11 S** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, von der Bitumenart/-sorte sowie vom Hohlraumgehalt H_{bit}

Bitumen-art/ -sorte	Mineralstoffart														
	Basalt			Gabbro			Oolith			Moräne			Quarzit		
	H_{bit}	$\Delta\beta_{SZ}$		H_{bit}	$\Delta\beta_{SZ}$		H_{bit}	$\Delta\beta_{SZ}$		H_{bit}	$\Delta\beta_{SZ}$		H_{bit}	$\Delta\beta_{SZ}$	
	V-%	%		V-%	%		V-%	%		V-%	%		V-%	%	
B 65 Shell	5,3	9,0 22,1	15,6	3,4	-2,2 3,0	0,4	3,2	14,5 16,9	15,7	5,4	22,4 22,5	22,4	6,2	53,4 48,0	50,7
	8,0	22,3 29,4	25,8	5,7	17,2 4,0	10,6	5,6	19,8 24,4	22,1	7,4	37,3 33,9	35,6	8,6	55,2 66,6	60,9
	9,9	33,5 21,1	27,3	7,7	16,9 9,7	13,3	9,1	28,4 39,9	34,2	9,5	31,6 26,6	29,1	10,2	61,3 52,6	57,0
B 80 Shell	5,5	30,5 32,2	31,4	3,8	4,7 5,3	5,0	4,3	21,5 22,0	21,8	4,5	23,1 29,5	26,3	5,7	52,4 43,8	48,1
	8,2	34,1 35,4	34,8	6,4	4,6 14,4	9,5	6,0	16,4 18,0	17,2	7,2	30,0 3,4	16,7	7,3	61,3 36,3	48,8
	10,6	29,0 16,6	22,8	8,5	18,8 0,2	9,5	9,8	20,2 35,1	27,6	9,2	31,9 33,1	32,5	10,6	53,6 60,7	57,2
B 65 PCK	5,6	22,4 18,4	20,4	5,4	18,1 24,7	21,4	3,5	25,2 24,9	25,0	5,2	32,4 37,5	35,0	5,9	46,1 40,4	43,2
	8,2	33,4 27,9	30,6	7,5	13,7 17,7	15,7	7,2	48,0 51,9	50,0	7,7	39,3 34,0	36,6	8,0	56,7 59,9	58,3
	11,5	36,0 27,1	31,6	10,7	30,3 30,6	30,4	9,2	47,1 47,2	47,2	10,0	43,7 33,0	38,4	10,1	55,4 50,1	52,8
B 80 PCK	4,1	17,2 30,0	23,6	5,0	24,4 21,9	23,2	3,3	34,4 34,6	34,5	4,6	35,8 47,1	41,4	5,9	50,8 55,7	53,2
	7,8	41,1 31,6	36,4	7,4	18,5 20,4	19,4	6,4	48,4 44,6	46,5	7,6	50,5 35,7	43,1	7,5	46,8 53,7	50,2
	10,0	47,1 26,7	36,9	9,6	17,6 23,5	20,6	9,2	49,0 49,0	49,0	9,8	50,9 48,9	49,9	10,2	63,6 60,8	62,2
PmB 65 A Elf	6,3	15,9 24,7	20,3	4,4	4,2 -3,0	0,6	2,8	24,6 32,3	28,4	4,4	25,0 24,0	24,5	5,3	46,7 46,3	46,5
	7,5	8,9 19,8	14,4	5,9	-1,4 4,1	1,4	5,8	31,0 33,0	32,0	7,2	13,7 11,6	12,6	7,7	52,3 49,3	50,8
	10,4	24,5 17,8	21,2	9,0	15,0 0,3	7,6	8,0	34,8 35,4	35,1	9,0	30,3 24,6	27,4	10,3	54,0 53,7	53,8

Tabelle 3.03: **Spaltzugfestigkeitsabfall** $\Delta\beta_{SZ}$ von **Asphalbinder 0/16** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, von der Bitumenart/-sorte sowie vom Hohlraumgehalt H_{bit}

Bitumen-art/ -sorte	Mineralstoffart														
	Basalt			Gabbro			Oolith			Moräne			Quarzit		
	H_{bit}	$\Delta\beta_{SZ}$		H_{bit}	$\Delta\beta_{SZ}$		H_{bit}	$\Delta\beta_{SZ}$		H_{bit}	$\Delta\beta_{SZ}$		H_{bit}	$\Delta\beta_{SZ}$	
	V-%	%		V-%	%		V-%	%		V-%	%		V-%	%	
B 65 Shell	6,1	15,6 4,7	10,2	3,6	16,9 13,5	15,2	3,2	12,6 27,3	20,0	3,8	-7,6 17,0	4,7	4,9	47,4 39,1	43,2
	7,3	18,7 -9,2	4,8	5,3	-0,8 10,1	4,6	5,5	3,5 9,1	6,3	6,0	9,4 9,4	9,4	7,3	44,0 29,4	36,7
	8,5	-6,2 8,3	1,0	7,4	8,7 12,0	10,4	8,4	13,5 33,3	23,4	7,9	20,5 2,0	11,2	8,9	56,7 43,2	50,0
B 80 Shell	6,1	25,0 15,5	20,2	2,8	3,5 18,1	10,8	2,7	27,2 12,6	19,9	3,5	23,6 -2,9	10,4	3,9	17,8 30,6	24,2
	7,7	19,1 12,0	15,6	4,7	5,3 13,6	9,4	5,0	11,9 18,7	15,3	6,1	25,1 33,5	29,3	6,7	33,7 33,5	33,6
	9,1	33,4 24,0	28,7	7,1	17,2 6,3	11,8	7,2	25,8 10,3	18,0	7,4	38,5 26,3	32,4	8,4	42,9 44,9	43,9
B 65 PCK	6,6	12,8 2,4	7,6	4,1	-0,1 2,5	1,2	3,1	26,7 29,2	28,0	4,5	41,0 6,4	23,7	4,6	45,8 45,3	45,6
	8,8	27,9 17,7	22,8	6,5	10,6 21,4	16,0	6,9	21,6 25,9	23,8	6,8	15,6 32,3	24,0	7,5	11,8 36,5	24,2
	10,3	17,6 22,1	19,8	7,6	13,9 7,3	10,6	7,0	48,9 34,4	41,6	8,4	29,9 26,8	28,4	9,4	55,7 66,6	61,2
B 80 PCK	5,1	18,3 6,5	12,4	4,4	3,3 15,6	9,4	3,1	21,6 48,7	35,2	3,9	28,5 29,7	29,1	4,2	20,7 47,0	33,8
	7,4	18,6 6,0	12,3	7,4	23,7 -8,1	7,8	6,2	34,1 47,0	40,6	6,3	29,2 20,2	24,7	6,9	62,5 50,8	56,6
	8,9	35,8 18,8	27,3	8,7	8,5 3,8	6,2	7,4	39,4 29,4	34,4	7,2	29,5 17,5	23,5	8,0	50,5 62,5	56,5
PmB 65 A Elf	4,8	-6,5 -0,2	-3,4	3,4	3,1 -16,6	-6,8	2,7	22,0 9,2	15,6	3,1	16,1 28,8	22,4	4,9	40,4 26,1	33,2
	7,6	0,1 20,3	10,2	5,7	4,2 -9,9	-2,8	5,4	2,2 3,9	3,0	5,9	20,2 21,4	20,8	7,1	30,5 45,0	37,8
	9,1	17,5 0,2	8,8	6,2	16,8 18,9	17,8	7,7	8,7 12,1	10,4	7,3	33,9 34,7	34,3	8,4	48,6 38,9	43,8

Tabelle 3.04: **Spaltzugfestigkeitsabfall** $\Delta\beta_{SZ}$ von **Asphaltbinder 0/22** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, von der Bitumenart/-sorte sowie vom Hohlraumgehalt H_{bit}

Bitumenart/ -sorte	Mineralstoffart														
	Basalt			Gabbro			Oolith			Moräne			Quarzit		
	H_{bit}	$\Delta\beta_{SZ}$		H_{bit}	$\Delta\beta_{SZ}$		H_{bit}	$\Delta\beta_{SZ}$		H_{bit}	$\Delta\beta_{SZ}$		H_{bit}	$\Delta\beta_{SZ}$	
	V-%	%		V-%	%		V-%	%		V-%	%		V-%	%	
B 65 Shell	7,2	37,6 12,8	25,2	4,1	19,1 2,2	10,6	4,6	46,1 31,1	38,6	5,6	15,9 31,0	23,4	6,0	47,1 34,5	40,8
	9,1	33,4 39,1	36,2	6,5	22,1 17,9	20,0	6,9	24,2 41,2	32,7	8,2	53,5 -0,9	26,3	8,5	59,6 51,6	55,6
	11,0	41,4 39,5	40,4	8,5	40,5 24,7	32,6	10,1	39,4 32,9	36,2	10,7	50,5 45,2	47,8	11,1	70,2 49,1	59,6
B 80 Shell	6,2	13,8 32,8	23,3	4,5	22,6 6,1	14,4	4,2	4,4 42,1	23,2	5,0	30,2 42,2	36,2	6,1	45,4 69,2	57,3
	9,2	19,4 31,6	25,5	6,7	27,0 21,4	24,2	6,9	31,4 35,8	33,6	6,7	40,1 34,8	37,4	8,0	62,0 48,1	55,0
	11,5	42,3 38,5	40,4	9,3	16,5 24,4	20,4	10,4	50,6 49,1	49,8	9,2	38,6 20,9	29,8	9,7	63,6 64,6	64,1
B 65 PCK	6,6	42,9 29,4	36,2	5,3	28,4 29,4	28,9	5,0	50,4 43,6	47,0	4,8	40,8 27,7	34,2	5,9	57,2 47,6	52,4
	9,1	38,7 41,4	40,0	8,0	58,8 39,6	49,2	6,9	64,6 44,1	54,4	7,0	51,4 47,7	49,6	8,2	57,0 54,6	55,8
	10,2	45,7 43,0	44,4	11,0	42,3 53,2	47,8	9,5	50,3 54,6	52,4	10,3	52,7 47,8	50,2	10,4	61,5 66,6	64,0
B 80 PCK	5,9	21,4 27,3	24,4	5,9	55,3 43,7	49,5	4,0	47,1 50,8	49,0	4,9	38,8 20,0	29,4	5,3	61,5 54,2	57,8
	7,8	43,1 34,2	38,6	7,8	53,8 22,3	38,0	6,4	63,0 61,6	62,3	7,6	51,3 45,2	48,2	7,3	50,8 59,6	55,2
	9,6	44,7 46,4	45,6	10,1	48,9 46,2	47,6	9,6	42,0 54,3	48,2	10,1	54,4 61,2	57,8	10,2	71,0 63,7	67,4
PmB 65 A Elf	5,4	16,1 19,4	17,8	5,5	17,6 29,4	23,5	4,7	30,9 21,3	26,1	5,3	30,3 23,9	27,1	6,4	59,3 50,9	55,1
	8,4	33,8 29,8	31,8	7,8	27,3 22,3	24,8	6,3	26,9 36,1	31,5	7,6	46,6 36,1	41,4	8,6	57,0 44,9	51,0
	11,5	51,0 42,2	46,6	10,4	39,1 11,8	25,4	9,1	34,6 53,1	43,8	9,6	33,4 32,5	33,0	10,6	56,4 58,9	57,6

Tabelle 3.05: **Spaltzugfestigkeitsabfall** $\Delta\beta_{SZ}$ von **Asphalttragschichtmaterial 0/22 der Mischgutart C** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, von der Bitumenart/-sorte sowie vom Hohlraumgehalt H_{bit}

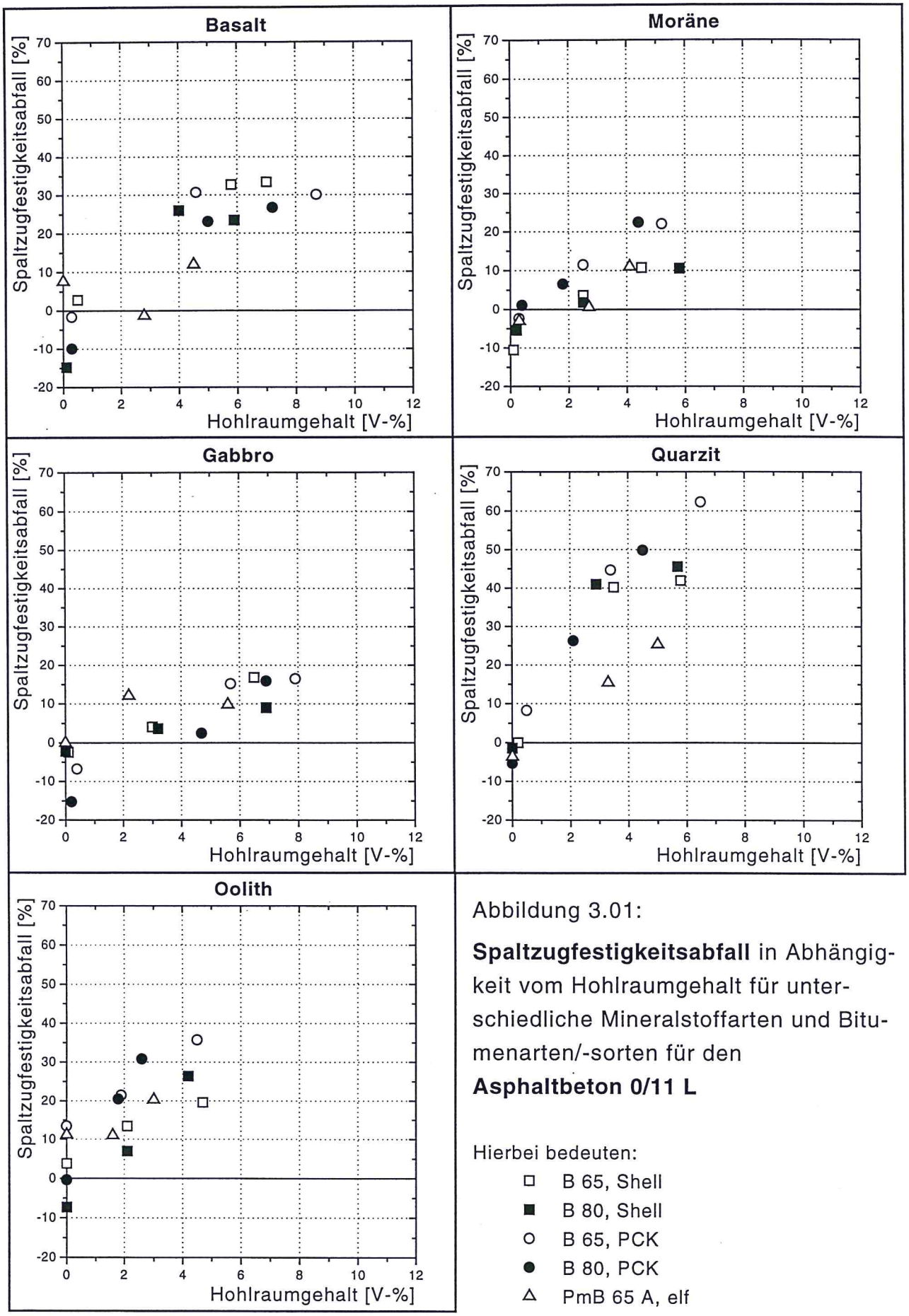

Abbildung 3.01:

Spaltzugfestigkeitsabfall in Abhängigkeit vom Hohlraumgehalt für unterschiedliche Mineralstoffarten und Bitumenarten/-sorten für den **Asphaltbeton 0/11 L**

Hierbei bedeuten:

- □ B 65, Shell
- ■ B 80, Shell
- ○ B 65, PCK
- ● B 80, PCK
- △ PmB 65 A, elf

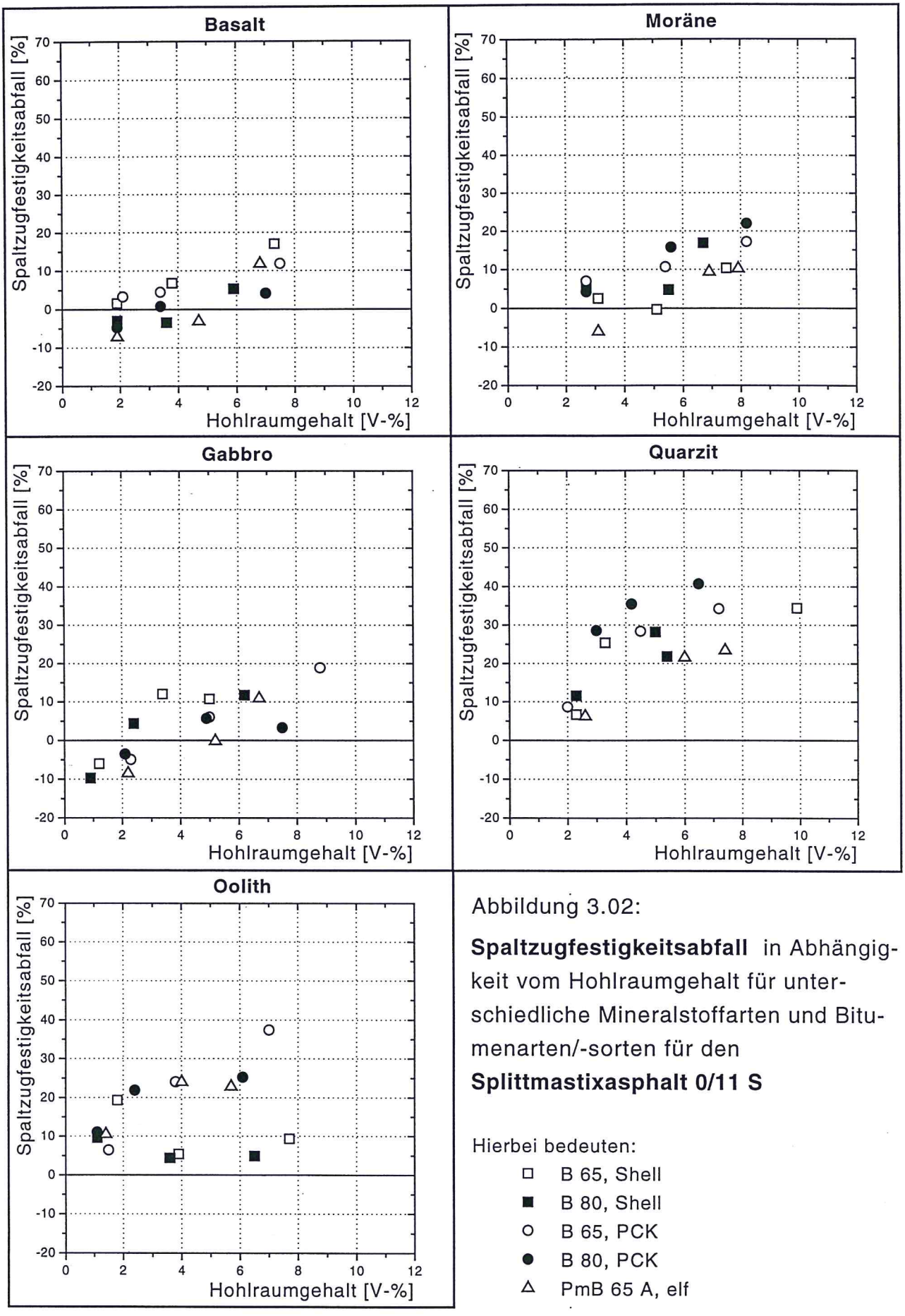

Abbildung 3.02:

Spaltzugfestigkeitsabfall in Abhängigkeit vom Hohlraumgehalt für unterschiedliche Mineralstoffarten und Bitumenarten/-sorten für den **Splittmastixasphalt 0/11 S**

Hierbei bedeuten:

- □ B 65, Shell
- ■ B 80, Shell
- ○ B 65, PCK
- ● B 80, PCK
- △ PmB 65 A, elf

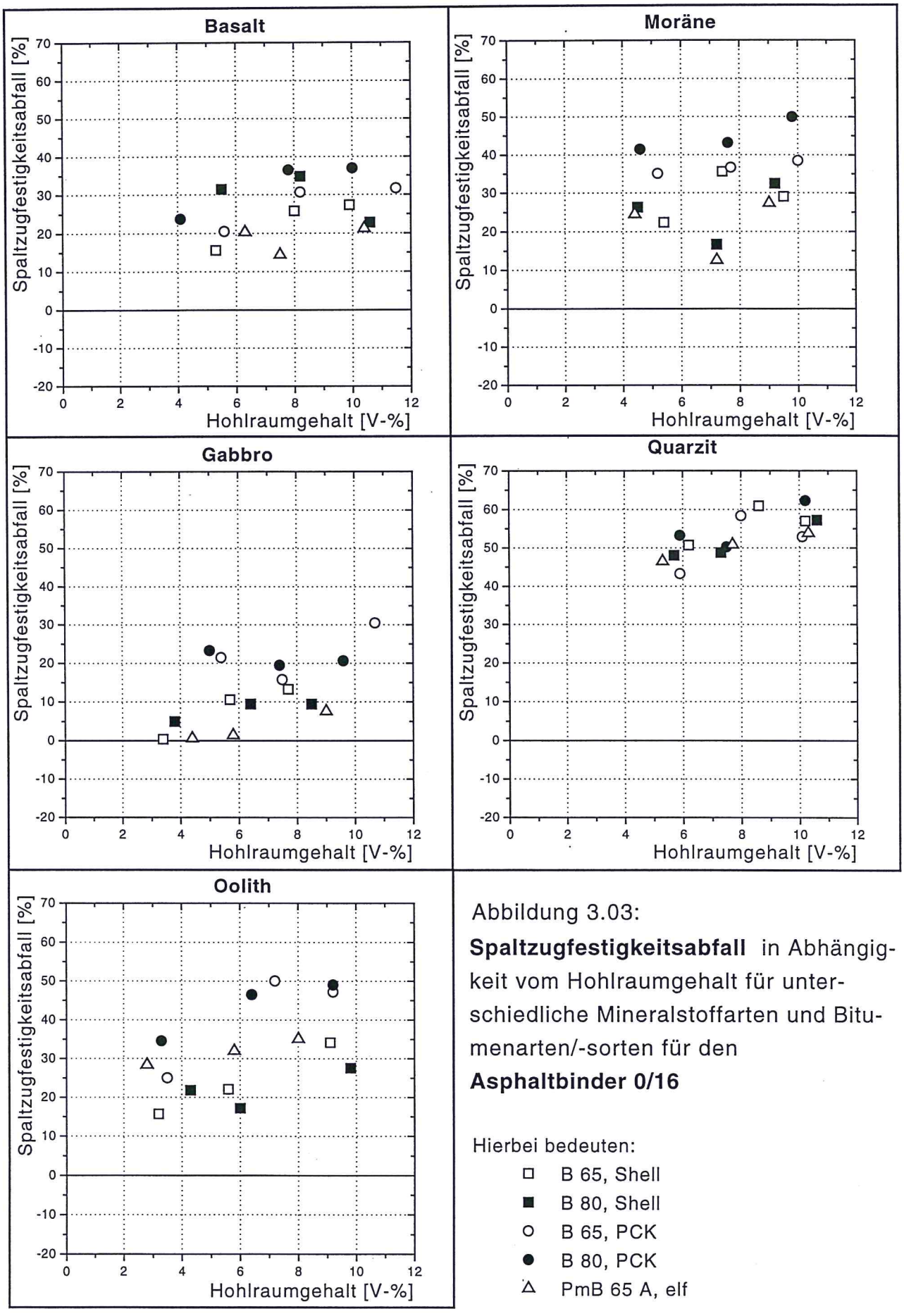

Abbildung 3.03:
Spaltzugfestigkeitsabfall in Abhängigkeit vom Hohlraumgehalt für unterschiedliche Mineralstoffarten und Bitumenarten/-sorten für den
Asphaltbinder 0/16

Hierbei bedeuten:

- □ B 65, Shell
- ■ B 80, Shell
- ○ B 65, PCK
- ● B 80, PCK
- △ PmB 65 A, elf

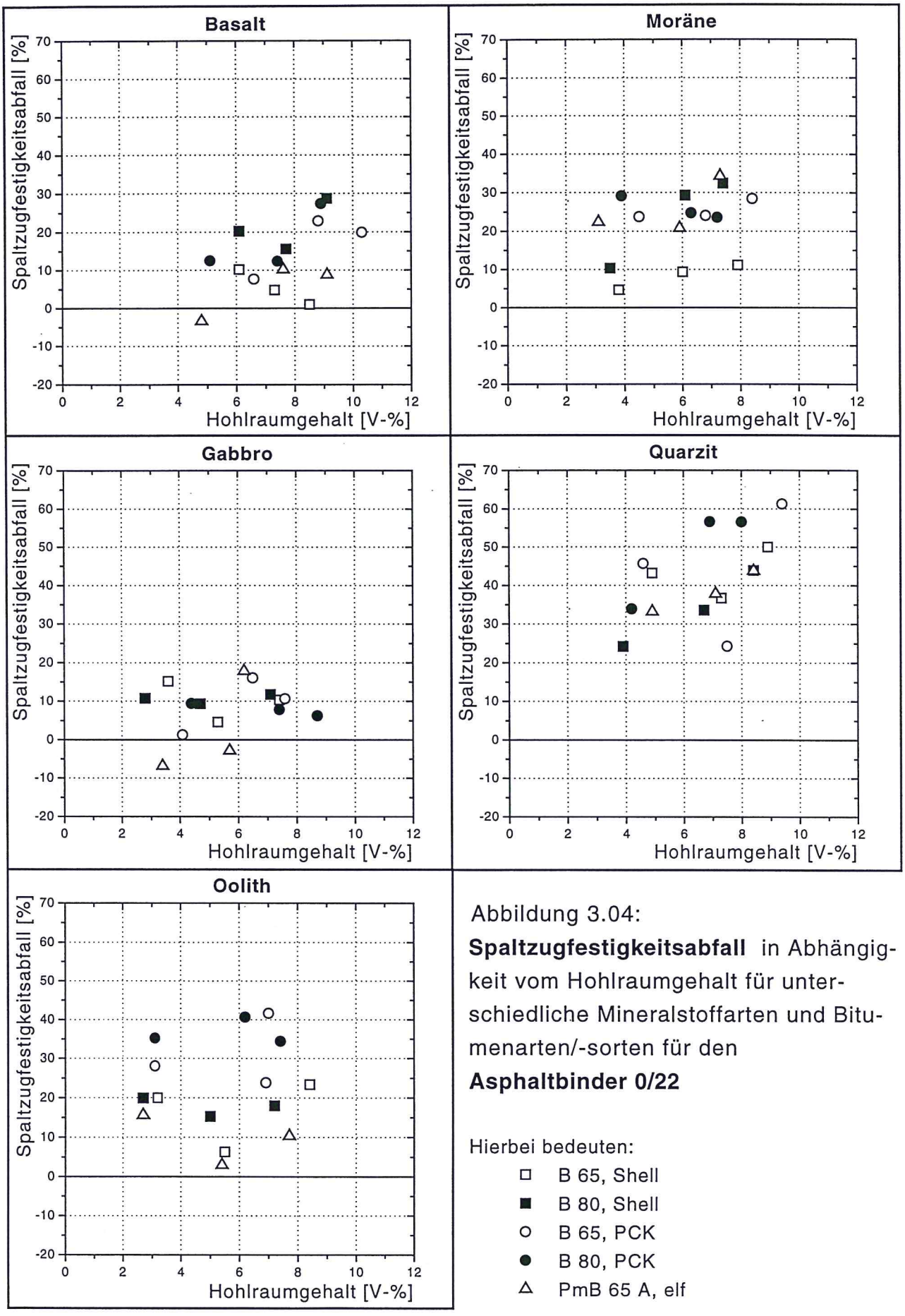

Abbildung 3.04:
Spaltzugfestigkeitsabfall in Abhängigkeit vom Hohlraumgehalt für unterschiedliche Mineralstoffarten und Bitumenarten/-sorten für den
Asphaltbinder 0/22

Hierbei bedeuten:

- □ B 65, Shell
- ■ B 80, Shell
- ○ B 65, PCK
- ● B 80, PCK
- △ PmB 65 A, elf

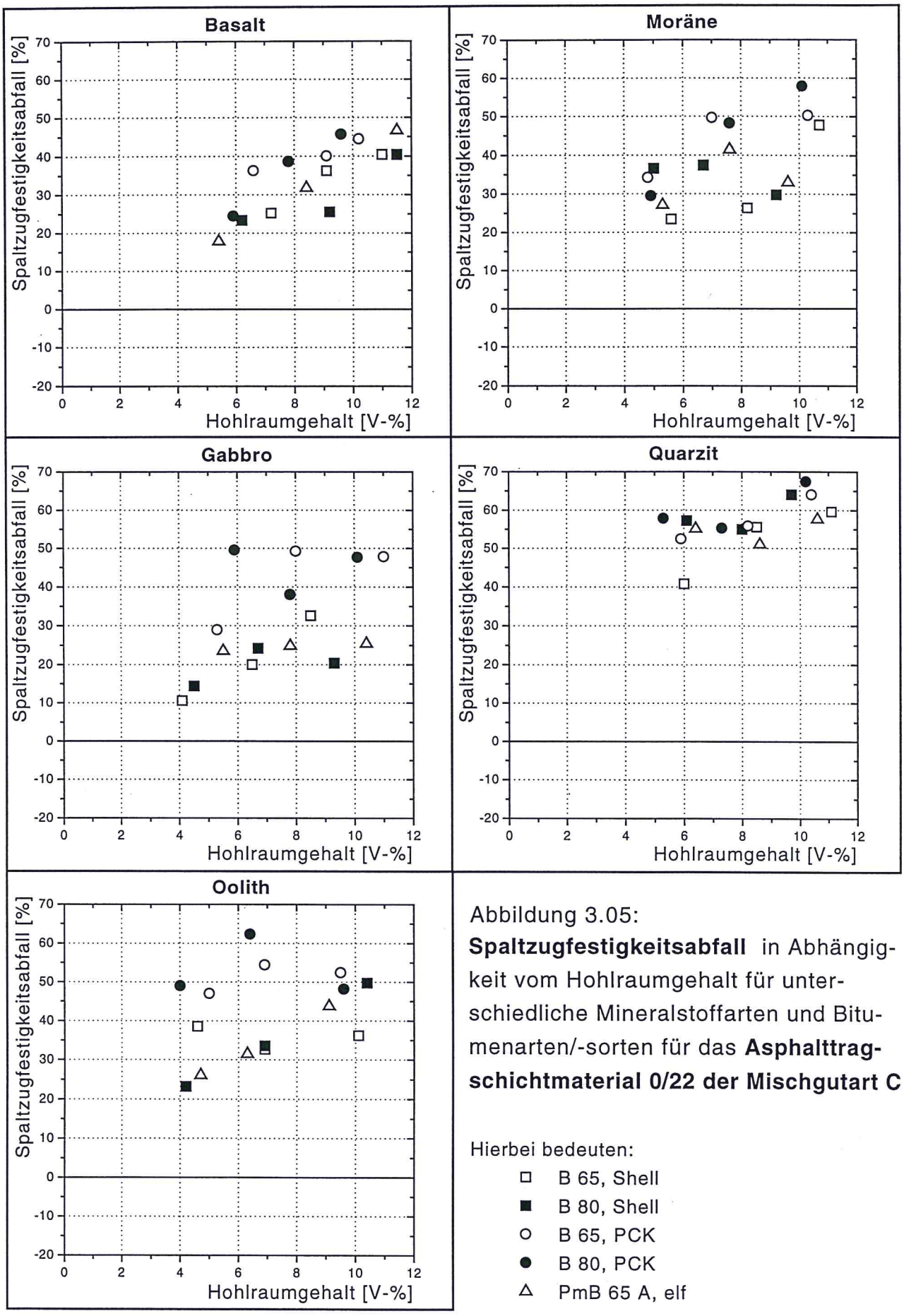

Abbildung 3.05:
Spaltzugfestigkeitsabfall in Abhängigkeit vom Hohlraumgehalt für unterschiedliche Mineralstoffarten und Bitumenarten/-sorten für das **Asphalttragschichtmaterial 0/22 der Mischgutart C**

Hierbei bedeuten:

- □ B 65, Shell
- ■ B 80, Shell
- ○ B 65, PCK
- ● B 80, PCK
- △ PmB 65 A, elf

Vergleicht man die Spaltzugfestigkeitsabfälle der fünf verschiedenen Asphaltarten/-sorten, so sind deutliche Unterschiede erkennbar, die am stärksten bei dem Asphalttragschichtmaterial 0/22 der Mischgutart C und dem Splittmastixasphalt 0/11 S in Erscheinung treten: Während bei dem vergleichsweise hohlraumreichen Asphalttragschichtmaterial sogar bei der Verwendung der als haftgünstig einzustufenden Mineralstoffart Gabbro vergleichsweise große Spaltzugfestigkeitsabfälle bis zu 50 % (relativ) zu beobachten sind, werden beim Splittmastixasphalt 0/11 S selbst bei Einsatz des als haftkritisch bekannten Quarzits nur Spaltzugfestigkeitsabfälle bis zu rund 40 % (relativ) registriert. Ursache für die festgestellten Unterschiede bei den Spaltzugfestigkeitsabfällen dürften zum einen die unterschiedliche Wasserwegsamkeit der Hohlräume und zum anderen die unterschiedliche Diffundierbarkeit der verschieden stark aufgefüllerten Asphaltmörtel der verschiedenen Asphaltvarianten sein.

Von Interesse ist auch die Frage, ob die Bitumenart/-sorte einen Einfluß auf den Spaltzugfestigkeitsabfall besitzt. Nach Augenschein läßt sich diese Frage nur beantworten, in dem man festzustellen versucht, ob die Signaturen für bestimmte Bitumenarten/-sorten in den Diagrammen bevorzugt im oberen oder im unteren Bereich der Stichprobenwerte zu finden sind. In der Tat läßt sich - insbesondere bei den haftkritischeren Gesteinen - ein solcher systematischer Zusammenhang entdecken: Die offenen und geschlossenen Kreis-Symbole für die Straßenbaubitumen B 65 und B 80 der Firma PCK AG liegen in der Mehrzahl aller fraglichen Fälle im oberen Bereich der Stichprobenwerte, was bedeutet, daß die besagten Bitumen möglicherweise ein ungünstigeres Haftverhalten besitzen. Definitiv läßt sich diese Frage nur anhand statistischer Analysen beantworten.

Bedauerlicherweise muß festgestellt werden, daß die Untersuchungsergebnisse relativ stark streuen. Hierfür gibt es mehrere Gründe: Erstens wurden unterschiedliche Bindemittelarten/-sorten eingesetzt, die vermutlich das Haftverhalten systematisch beeinflussen. Zweitens darf nicht vergessen werden, daß Asphaltarten/-sorten mit Größtkorndurchmessern bis zu 22,4 mm in Marshall-Probekörpern mit Durchmessern von nur 101,4 mm untersucht worden sind, für die der Spaltzugversuch in der beschriebenen Form wegen des ungünstigen Verhältnisses von Größtkorn-

durchmesser zu Probekörperdurchmesser nur noch bedingt geeignet ist, weil es je nach Ausrichtung des Probekörpers in der Spaltzugvorrichtung bei ungünstiger Anordnung grober Splittkörner im Probekörper zur „Säulenbildung" kommen kann oder nicht. Drittens werden bei der Feststellung des Spaltzugfestigkeitsabfalls Kollektive von luftgelagerten und wassergelagerten Probekörpern miteinander verglichen, die nach dem Zufallsprinzip ausgewählt sind und nicht zwangsläufig „identische" Grundeigenschaften besitzen müssen.

Um die offen gebliebenen Fragen beantworten zu können, müssen statistische Analysen durchgeführt werden, die in den folgenden Abschnitten beschrieben und kommentiert werden.

3.2 Statistische Analysen

Als Verfahren der bewertenden mathematischen Statistik kommen im Abschnitt 3.2.1 Varianzanalysen der mehrfachen Klassifikation (siehe Abschnitte 2.3.5, 2.3.5.1 und 2.3.5.2) und im Abschnitt 3.2.2 ein einfacher Mittelwertvergleich nach vorausgegangenem Varianzvergleich (siehe Abschnitte 2.3.2 und 2.3.3) sowie ein Rangfolgetest (siehe Abschnitt 2.3.1) mit anschließenden einfachen Mittelwert- und Varianzvergleichen nach vorangegangenem Test auf Normalverteilung (siehe Abschnitt 2.3.4) zur Anwendung. Ergänzt werden diese Untersuchungen durch einfache Varianzanalysen und modifizierte LSD-Tests (siehe Abschitt 2.3.5).

3.2.1 Varianzanalysen der mehrfachen Klassifikation

3.2.1.1 Varianzanalyse der vierfachen Klassifikation

Die vierfache Varianzanalyse soll die Frage klären, ob und gegebenenfalls in welchem Maße der Spaltzugfestigkeitsabfall als Merkmalsgröße zur quantitativen Beurteilung des Haftverhaltens von den gezielt variierten Einflußgrößen - nämlich der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte, dem Hohlraumgehalt und der Asphaltart/-sorte -

systematisch abhängt. Das Ergebnis der vierfachen Varianzanalyse ist in Tabelle 3.06 dokumentiert.

Anzahl der Stufen für Faktor A:	5	Mineralstoffart
Anzahl der Stufen für Faktor B:	5	Bitumenart/-sorte
Anzahl der Stufen für Faktor C:	3	Hohlraumgehalt
Anzahl der Stufen für Faktor D:	5	Asphaltart/-sorte
Anzahl der Einzelwerte je Stufe:	2	Spaltzugfestigkeitsabfall
Anzahl der Stufen insgesamt:	375	
Gesamtzahl der Einzelwerte:	750	

Ursache	SQ	ν	MQ	F (Ursache)
A	67458,286213	4	16864,571553	296,840327
B	13019,795947	4	3254,948987	57,291709
C	23829,488747	2	11914,744373	209,716363
D	91820,365413	4	22955,091353	404,042095
AB	3751,901787	16	234,493862	4,127424
AC	1527,811387	8	190,976423	3,361455
AD	7696,191653	16	481,011978	8,466492
BC	618,707653	8	77,338457	1,361266
BD	3274,491920	16	204,655745	3,602231
CD	7741,806987	8	967,725873	17,033345
ABC	1957,096213	32	61,159257	1,076489
ABD	9289,749013	64	145,152328	2,554886
ACD	4424,255547	32	138,257986	2,433536
BCD	2622,479280	32	81,952477	1,442480
ABCD	9493,714187	128	74,169642	1,305491
Fehler	21305,105000	375	56,813613	
Total	269831,246947	749		

Ursache	ν_1	ν_2	F	Verwerfung der H_0-Hypothese	Varianz-komponente	Varianz-anteil [%]
A	4	375	2,360	ja	108,189928	25,04
B	4	375	2,360	ja	19,683702	4,56
C	2	375	3,036	ja	43,543615	10,08
D	4	375	2,360	ja	143,952606	33,32
AB	16	375	1,664	ja	3,411731	0,79
AC	8	375	1,946	ja	1,314576	0,30
AD	16	375	1,664	ja	9,059044	2,10
BC	8	375	1,946	nein	0,167927	0,04
BD	16	375	1,664	ja	1,724019	0,40
CD	8	375	1,946	ja	16,433701	3,80
ABC	32	375	1,473	nein	-1,301039	
ABD	64	375	1,344	ja	11,830448	2,74
ACD	32	375	1,473	ja	6,408834	1,48
BCD	32	375	1,473	nein	0,778284	0,18
ABCD	128	375	1,259	ja	8,678014	2,01
Fehler					56,813613	13,15
Summe					431,990043	100,00

Tabelle 3.06: Varianzanalyse der vierfachen Klassifikation zur Feststellung des Einflusses der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte, des Hohlraumgehalts und der Asphaltart/-sorte auf die Gesamtvariabilität des Spaltzugfestigkeitsabfalls

Es ist unschwer zu erkennen, daß die Asphaltart/-sorte mit mehr als 33 % (relativ) den größten Varianzanteil zur Gesamtvariabilität beisteuert. Das bedeutet, daß im

Prinzip jede Asphaltart/-sorte für sich getrennt betrachtet werden muß, was im Abschnitt 3.2.1.2 auch geschehen wird.

Als zweitgrößte Variabilitätsursache erweist sich die Mineralstoffart mit einem Varianzanteil von rund 25 % (relativ), wogegen der Beitrag der Bitumenart/-sorte mit einem Varianzanteil von weniger als 5 % (relativ) nur einen vergleichsweise bescheidenen Beitrag zur Gesamtvariabilität leistet. In den deutlich unterschiedlichen Varianzanteilen der Mineralstoffart einerseits und der Bitumenart/-sorte andererseits manifestiert sich die jedem Asphalttechnologen bekannte Tatsache, daß das Haftverhalten von Asphalten vorrangig durch die Gesteinsart und weniger stark durch das Bindemittel bestimmt wird.

Überraschend ist der geringe Einfluß des Hohlraumgehalts auf die Gesamtvariabilität des Spaltzugfestigkeitsabfalls mit einem Varianzanteil von rund 10 % (relativ). Dieser dürfte den - später noch zu überprüfenden - Tatsachen zuzuschreiben sein, daß der Einfluß der Hohlraumgehaltes auf den Spaltzugfestigkeitsabfall mit zunehmendem Hohlraumgehalt geringer wird und daß mit den Asphaltvarianten Asphaltbinder 0/16 und 0/22 sowie Asphalttragschichtmaterial 0/22 der Mischgutart C verhältnismäßig hohlraumreiches Prüfgut zum Gegenstand der Untersuchungen gemacht worden ist.

Trotz teilweise gegebener Signifikanz treten die Wechselwirkungen im Vergleich zum Einfluß der Faktoren A bis D in ihrer Wirkung auf den Spaltzugfestigkeitsabfall deutlich zurück. Bedauerlicherweise ist der Varianzanteil des Zufalls und nicht erklärter Einflußgrößen mit rund 13 % (relativ) vergleichsweise groß, was teilweise auf die bereits im Abschnitt 3.1 diskutierten Ursachen zurückzuführen ist.

Angesichts des dominanten Einflusses der Asphaltart/-sorte auf die Gesamtvariabilität des Spaltzugfestigkeitsabfalls erscheint es angebracht, die Ursachen der Variabilität für jede einzelne Asphaltart/-sorte in Varianzanalysen der dreifachen Klassifikation getrennt zu untersuchen.

3.2.1.2 Varianzanalysen der dreifachen Klassifikation

Die Ergebnisse der dreifachen Varianzanalysen sind in den Tabellen 3.07 bis 3.11 für die fünf Asphaltarten/-sorten Asphaltbeton 0/11 L, Splittmastixasphalt 0/11 S, Asphaltbinder 0/16 und 0/22 sowie Asphalttragschichtmaterial 0/22 der Mischgutart C zahlenmäßig wiedergegeben. Sie werden im folgenden zunächst für jede Asphaltart/-sorte getrennt und anschließend zusammenfassend kommentiert.

Beim **Asphaltbeton 0/11 L** (siehe Tabelle 3.07) wird die Gesamtvariabilität zu knapp 52 % (relativ) durch den Hohlraumgehalt verursacht. Die Ursache dafür ist in der Tatsache zu sehen, daß beim Asphaltbeton 0/11 L im Gegensatz zu allen anderen Asphaltvarianten häufiger auch Probekörper mit dem Hohlraumgehalt etwa Null Gegenstand der Prüfung gewesen sind, bei denen die relative Spreizung der Einfluß-

Anzahl der Stufen für Faktor A:	5	Mineralstoffart
Anzahl der Stufen für Faktor B:	5	Bitumenart/-sorte
Anzahl der Stufen für Faktor C:	3	Hohlraumgehalt
Anzahl der Einzelwerte je Stufe:	2	Spaltzugfestigkeitsabfall
Anzahl der Stufen insgesamt:	75	
Gesamtzahl der Einzelwerte:	150	

Ursache	SQ	ν	MQ	F (Ursache)
A	8780,868400	4	2195,217100	82,299449
B	2535,627733	4	633,906933	23,765390
C	19774,868933	2	9887,434467	370,683342
AB	2715,715600	16	169,732225	6,363320
AC	3631,632400	8	453,954050	17,018895
BC	1276,387067	8	159,548383	5,981524
ABC	1294,271600	32	40,445987	1,516334
Fehler	2000,515000	75	26,673533	
Total	42009,886733	149		

Ursache	ν_1	ν_2	F	Verwerfung der H_0-Hypothese	Varianz-komponente	Varianz-anteil [%]
A	4	75	2,490	ja	53,732560	14,93
B	4	75	2,490	ja	11,502410	3,20
C	2	75	3,120	ja	186,287560	51,76
AB	16	75	1,780	ja	21,547706	5,99
AC	8	75	2,060	ja	41,350806	11,49
BC	8	75	2,060	ja	11,910240	3,31
ABC	32	75	1,600	nein	6,886227	1,91
Fehler					26,673533	7,41
Summe					359,891044	100,00

Tabelle 3.07: Varianzanalyse der dreifachen Klassifikation zur Feststellung des Einflusses der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte und des Hohlraumgehalts von Asphaltbetonen 0/11 L auf die Gesamtvariabilität des Spaltzugfestigkeitsabfalls

größe Hohlraumgehalt besonders groß ist. Den zweitgrößten Varianzanteil liefert die Mineralstoffart mit rund 15 % (relativ), einen vergleichsweise geringen Varianzanteil dagegen die Bindemittelart/-sorte mit nur etwas mehr als 3 % (relativ). Wiederum erweist sich die Mineralstoffart gegenüber der Bindemittelart/-sorte als dominante Einflußgröße für das Haftverhalten, wobei die Wechselwirkung beider Variabilitätsursachen mit einem Varianzanteil von rund 6 % (relativ) anzeigt, daß beide sich gegenseitig beeinflussen. Der Anteil der Wechselwirkung zwischen der Mineralstoffart einerseits und dem Hohlraumgehalt andererseits mit einem Betrag von rund 11,5 % (relativ) belegt, daß bestimmte Gesteine - im besonderen Oolith und Quarzit (siehe Abbildung 3.01) - im Mineralstoffgemisch des Asphaltbetons diesen empfindlicher gegen Änderungen des Hohlraumgehalts werden lassen. Der Varianzanteil für Streuungen und nicht erklärte Einflüsse (Fehler) kann mit rund 7 % (relativ) zufriedenstellen.

Beim **Splittmastixasphalt 0/11 S** (siehe Tabelle 3.08) tritt der dominierende Einfluß der Mineralstoffart mit einem Varianzanteil von rund 40 % (relativ) in Erscheinung. Der Einfluß des Hohlraumgehalts tritt dagegen bereits zurück: Varianzanteil rund 26 % (relativ). Den geringsten Beitrag zur Gesamtvariabilität liefert von allen Einzelfaktoren die Bitumenart/-sorte mit einem Anteil von rund 3 % (relativ). Bemerkenswert erscheint der Umstand, daß die Wechselwirkung zwischen Mineralstoffart und Bitumenart/-sorte wiederum einen Varianzanteil von rund 6 % (relativ) beisteuert. Ausnahmsweise wird beim Splittmastixasphalt 0/11 S auch ein Zusammenwirken aller drei Faktoren - Mineralstoffart, Bitumenart/-sorte und Hohlraumgehalt - registriert: Varianzanteil rund 9 % (relativ). Nicht ganz befriedigen kann der Varianzanteil für zufallsbedingte Streuungen und nicht erklärte Einflüsse mit rund 14 % (relativ), der prüfverfahrenstechnisch bedingt sein dürfte (siehe Abschnitt 3.1, letzter Satz im vorletzten Absatz).

Anzahl der Stufen für Faktor A:	5	Mineralstoffart
Anzahl der Stufen für Faktor B:	5	Bitumenart/-sorte
Anzahl der Stufen für Faktor C:	3	Hohlraumgehalt
Anzahl der Einzelwerte je Stufe:	2	Spaltzugfestigkeitsabfall
Anzahl der Stufen insgesamt:	75	
Gesamtzahl der Einzelwerte:	150	

Ursache	SQ	ν	MQ	F (Ursache)
A	9303,870267	4	2325,967567	92,461496
B	1150,080933	4	287,520233	11,429459
C	4881,597733	2	2440,798867	97,026252
AB	2027,662400	16	126,728900	5,037707
AC	689,132933	8	86,141617	3,424288
BC	434,490267	8	54,311283	2,158974
ABC	1845,442400	32	57,670075	2,292492
Fehler	1886,705000	75	25,156067	
Total	22218,981933	149		

Ursache	ν_1	ν_2	F	Verwerfung der H_0-Hypothese	Varianzkomponente	Varianzanteil [%]
A	4	75	2,490	ja	72,358904	40,03
B	4	75	2,490	ja	5,471671	3,03
C	2	75	3,120	ja	47,160321	26,09
AB	16	75	1,780	ja	11,509804	6,37
AC	8	75	2,060	ja	2,847154	1,58
BC	8	75	2,060	ja	-0,335879	
ABC	32	75	1,600	ja	16,257004	8,99
Fehler					25,156067	13,92
Summe					180,760925	100,00

Tabelle 3.08: Varianzanalyse der dreifachen Klassifikation zur Feststellung des Einflusses der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte und des Hohlraumgehalts von Splittmastixasphalt 0/11 S auf die Gesamtvariabilität des Spaltzugfestigkeitsabfalls

Beim **Asphaltbinder 0/16** (siehe Tabelle 3.09) fällt der große Varianzanteil von mehr als 65 % (relativ) für die Variationsursache Mineralstoffart auf. Ihr folgt die Bitumenart/-sorte mit einem Varianzanteil von rund 10 % (relativ). Erneut wird für die Wechselwirkung zwischen den beiden genannten Variationsursachen ein Varianzanteil von rund 6 % (relativ) ermittelt. Die Wirkung des Hohlraumgehaltes tritt gegenüber ihrem Einfluß bei den beiden Asphaltdeckschichtvarianten mit einem Varianzanteil von nur etwas mehr als 4 % (relativ) deutlich zurück. Wie schon beim Splittmastixasphalt 0/11 S kann auch beim Asphaltbinder 0/16 der Varianzanteil für den Fehler mit 12 % (relativ) nicht voll zufriedenstellen.

Anzahl der Stufen für Faktor A:	5	Mineralstoffart
Anzahl der Stufen für Faktor B:	5	Bitumenart/-sorte
Anzahl der Stufen für Faktor C:	3	Hohlraumgehalt
Anzahl der Einzelwerte je Stufe:	2	Spaltzugfestigkeitsabfall
Anzahl der Stufen insgesamt:	75	
Gesamtzahl der Einzelwerte:	150	

Ursache	SQ	ν	MQ	F (Ursache)
A	25354,907733	4	6338,726933	168,767491
B	4488,402400	4	1122,100600	29,875731
C	1533,385200	2	766,692600	20,413056
AB	2465,693600	16	154,105850	4,103041
AC	446,125467	8	55,765683	1,484752
BC	650,836800	8	81,354600	2,166052
ABC	1529,599200	32	47,799975	1,272666
Fehler	2816,920000	75	37,558933	
Total	39285,870400	149		

Ursache	ν_1	ν_2	F	Verwerfung der H_0-Hypothese	Varianz-komponente	Varianz-anteil [%]
A	4	75	2,490	ja	205,888513	65,33
B	4	75	2,490	ja	31,148004	9,88
C	2	75	3,120	ja	13,547446	4,30
AB	16	75	1,780	ja	17,717646	5,62
AC	8	75	2,060	nein	0,796571	0,25
BC	8	75	2,060	ja	3,355463	1,06
ABC	32	75	1,600	nein	5,120521	1,62
Fehler					37,558933	11,92
Summe					315,133096	100,00

Tabelle 3.09: Varianzanalyse der dreifachen Klassifikation zur Feststellung des Einflusses der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte und des Hohlraumgehalts von Asphaltbindern 0/16 auf die Gesamtvariabilität des Spaltzugfestigkeitsabfalls

Beim **Asphaltbinder 0/22** (siehe Tabelle 3.10) erweist sich wiederum die Mineralstoffart mit einem Varianzanteil von rund 50 % (relativ) als stärkste Ursache der Gesamtvariabilität. Bis auf den Varianzanteil für den Zufall und nicht erklärte Einflüsse von rund 31 % (relativ) liefert die dreifache Varianzanalyse für Einzeleinflüsse und Wechselwirkungen nur Varianzanteile von weniger als 10 % (relativ), wobei die Wechselwirkung zwischen Mineralstoffart und Bitumenart/-sorte mit rund 7 % (relativ) in ähnlicher Größenordnung anfällt wie bei den bisher diskutierten Asphaltvarianten. Der große Varianzanteil des Fehlers mit rund 31 % (relativ) läßt erkennen, daß bei einem Größtkorndurchmesser von 22,4 mm im Mineralstoffgemisch des zu untersuchenden Asphalts wegen der geringen Größe der Marshall-Probekörper die Grenzen des Prüfverfahrens bereits überschritten sind.

Anzahl der Stufen für Faktor A:	5	Mineralstoffart
Anzahl der Stufen für Faktor B:	5	Bitumenart/-sorte
Anzahl der Stufen für Faktor C:	3	Hohlraumgehalt
Anzahl der Einzelwerte je Stufe:	2	Spaltzugfestigkeitsabfall
Anzahl der Stufen insgesamt:	75	
Gesamtzahl der Einzelwerte:	150	

Ursache	SQ	ν	MQ	F (Ursache)
A	19597,217333	4	4899,304333	50,535209
B	2878,208667	4	719,552167	7,422017
C	1718,292133	2	859,146067	8,861896
AB	3880,317333	16	242,519833	2,501537
AC	737,175867	8	92,146983	0,950475
BC	671,214533	8	83,901817	0,865428
ABC	3483,417467	32	108,856796	1,122833
Fehler	7271,125000	75	96,948333	
Total	40236,968333	149		

Ursache	ν_1	ν_2	F	Verwerfung der H_0-Hypothese	Varianz-komponente	Varianz-anteil [%]
A	4	75	2,490	ja	155,783144	49,69
B	4	75	2,490	ja	16,732910	5,34
C	2	75	3,120	ja	15,839081	5,05
AB	16	75	1,780	ja	22,277173	7,11
AC	8	75	2,060	nein	-1,670981	
BC	8	75	2,060	nein	-2,495498	
ABC	32	75	1,600	nein	5,954231	1,90
Fehler					96,948333	30,92
Summe					313,534873	100,00

Tabelle 3.10: Varianzanalyse der dreifachen Klassifikation zur Feststellung des Einflusses der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte und des Hohlraumgehalts von Asphaltbindern 0/22 auf die Gesamtvariabilität des Spaltzugfestigkeitsabfalls

Beim **Asphalttragschichtmaterial 0/22 der Mischgutart C** (siehe Tabelle 3.11) kommen angesichts eines Varianzanteils für den Fehler von rund 35 % (relativ) bereits Zweifel an der Auswertbarkeit der Untersuchungsergebnisse auf. Trotzdem erweisen sich - im Gegensatz zu den Varianzanteilen der Wechselwirkungen - die Varianzanteile der Einzelfaktoren für die Mineralstoffart mit rund 32 % (relativ), für die Bitumenart/-sorte mit rund 15 % (relativ) und für den Hohlraumgehalt mit über 13 % (relativ) als signifikant, so daß sie Gegenstand weiterer Betrachtungen bleiben.

Anzahl der Stufen für Faktor A:	5	Mineralstoffart
Anzahl der Stufen für Faktor B:	5	Bitumenart/-sorte
Anzahl der Stufen für Faktor C:	3	Hohlraumgehalt
Anzahl der Einzelwerte je Stufe:	2	Spaltzugfestigkeitsabfall
Anzahl der Stufen insgesamt:	75	
Gesamtzahl der Einzelwerte:	150	

Ursache	SQ	ν	MQ	F (Ursache)
A	11151,817733	4	2787,954433	28,499989
B	5214,701733	4	1303,675433	13,326881
C	3652,585733	2	1826,292867	18,669361
AB	2521,352267	16	157,584517	1,610915
AC	538,460267	8	67,307533	0,688054
BC	205,468267	8	25,683533	0,262551
ABC	3645,095733	32	113,909242	1,164442
Fehler	7336,725000	75	97,823000	
Total	34266,206733	149		

Ursache	ν_1	ν_2	F	Verwerfung der H_0-Hypothese	Varianz-komponente	Varianz-anteil [%]
A	4	75	2,490	ja	89,232387	31,82
B	4	75	2,490	ja	41,143887	14,67
C	2	75	3,120	ja	36,944221	13,17
AB	16	75	1,780	nein	7,279213	2,60
AC	8	75	2,060	nein	-4,660171	
BC	8	75	2,060	nein	-8,822571	
ABC	32	75	1,600	nein	8,043121	2,87
Fehler					97,823000	34,88
Summe					280,465829	100,00

Tabelle 3.11: Varianzanalyse der dreifachen Klassifikation zur Feststellung des Einflusses der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte und des Hohlraumgehalts von Asphalttragschichtmaterial 0/22 der Mischgutart C auf die Gesamtvariabilität des Spaltzugfestigkeitsabfalls

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die Mineralstoffart in vier von fünf Fällen - Ausnahme: Asphaltbeton 0/11 L mit teilweise gegen Null strebenden Hohlraumgehalten - erwartungsgemäß die stärkste Variabilitätsursache darstellt. Gemessen an den Varianzanteilen der Mineralstoffart werden die Spaltzugfestigkeitsabfälle durch die Bindemittelart/-sorte nur vergleichsweise schwach beeinflußt, woran auch der Anteil der Wechselwirkung zwischen Mineralstoffart und Bindemittelart/-sorte in vier von fünf Fällen von durchschnittlich 6 % (relativ) nichts ändert. Der Einfluß des Hohlraumgehaltes auf die Stabilitätsabfälle nimmt, beginnend bei den Asphaltdeckschichtvarianten über das Asphalttragschichtmaterial bis zu den Asphaltbindern ständig ab. Die schädigende Wirkung des Wassers beginnt - besonders bei haftkritischen Komponenten -, sobald es in den Asphalt eindringen kann, und nimmt dann mit weiter steigenden Hohlraumgehalten nur noch degressiv zu. Die

Varianzanteile für den Fehler bei den Asphaltvarianten mit einem Größtkorndurchmesser von 22,4 mm mit Beträgen von mehr als 30 % (relativ) verlangen nach größeren Probekörpern.

Wegen des nicht immer deutlich zutagetretenden Einflusses der Bindemittelart/-sorte wird diesem im folgenden Abschnitt 3.2.2 gesondert nachgegangen.

3.2.2 Vergleich mehrerer Mittelwerte

Aufgabe der folgenden statistischen Analysen ist es festzustellen, ob die Bindemittelart/-sorte einen signifikanten Einfluß auf den Spaltzugfestigkeitsabfall als Merkmalsgröße zur quantitativen Bewertung des Haftverhaltens von Asphalten besitzt. Voraussetzung für die Anwendung statistischer Bewertungsverfahren ist im vorliegenden Fall die Gleichheit der Hohlraumgehalte der fünf Kollektive von Asphaltvarianten mit unterschiedlichen Bindemitteln. Ob diese Voraussetzung erfüllt ist, wird mit Hilfe einfacher Mittelwertvergleiche nach vorausgegangen Varianzvergleichen (siehe Abschnitte 2.3.2 und 2.3.3) sowie mittels einfacher Varianzanalysen und modifizierter LSD-Tests (siehe Abschnitt 2.3.6) hinterfragt, wobei aufgrund langjähriger Erfahrungen und einer stichprobenartigen Überprüfung von der Normalverteilung der Hohlraumgehalte ausgegangen wird.

Das Ergebnis der Anwendung statistischer Testverfahren zur Klärung der Frage nach Gleichheit oder Ungleichheit der arithmetischen Mittel der Hohlraumgehalte der fünf durch die Verwendung desselben Bindemittels gekennzeichneten Kollektive kann der Tabelle 3.12 entnommen werden. Der Bildung der arithmetischen Mittel und der Standardabweichungen liegen die Zahlenwerte der Tabellen 3.01 bis 3.05 zugrunde. Wie leicht zu sehen ist, besteht nach dem einfachen Mittelwertvergleich bei Gleichheit der Varianzen kein Unterschied zwischen den fünf Gruppenmittelwerten. Diese Aussage wird durch das Ergebnis der einfachen Varianzanalyse bestätigt, nach der vorhandene Unterschiede bei den Mittelwerten im statistischen Sinne nicht signifikant sind. Da schließlich auch der modifizierte LSD-Test keine Grenzen

Gruppe	1	2	3	4	5
Bindemittel	B 65 Shell	B 80 Shell	B 65 PCK	B 80 PCK	PmB 65 A elf
Arithmetisches Mittel	5,7853	5,5040	6,1307	5,6600	5,5747
Standard-abweichung	2,8458	2,8139	2,9041	2,7941	2,7936

Einfacher Varianzvergleich der Gruppen 2 und 3

$\hat{F} = s_1^2/s_2^2 = 1,07 < 1,47 = F(74; 74; 0,05)$

Die Varianzen sind gleich

Einfacher Mittelwertvergleich der Gruppen 2 und 3

$\hat{t} = 1,34 < 1,98 = t(148; 0,05)$

Die Mittelwerte sind gleich

Einfache Varianzanalyse für die Gruppen 1 bis 5

Gesamtmittelwert:	5,7309	n = 375
Mittleres Mittel:	5,7309	
Q innerhalb:	2964,6054	ν_2 = 370
Q zwischen:	18,2772	ν_1 = 4
Q gesamt:	2982,8825	ν = 374
Standardabweichung zwischen den Gruppen:	0,2468	
Standardabweichung innerhalb der Gruppen:	2,8306	
Varianz innerhalb der Gruppen:	8,0124	
Gesamtstandardabweichung:	2,8241	

$\hat{F} = 0,57 < 2,36 = F(\alpha=0,05)$

Der Unterschied der Mittelwerte ist nicht signifikant

Modifizierter LSD-Test für die Gruppen 1 bis 5

Schwellenwert der Student-Verteilung: $t_{(n-k)} = 1,968$ mit $(n-k) = 370$

Gruppe	n_i	sortierte Mittel	Δ	LSD	Aussage
3	75	6,1307			
			0,3454	1,968	
1	75	5,7853			
			0,1253	1,968	
4	75	5,6600			
			0,0853	1,968	
5	75	5,5747			
			0,0707	1,968	
2	75	5,5040			

Keine Grenze homogener Gruppen

Tabelle 3.12: Einfacher Varianz- und Mittelwertvergleich, einfache Varianzanalyse sowie modifizierter LSD-Test für die Hohlraumgehalte aller Asphalt-varianten, getrennt nach der Bitumenart/-sorte

homogener Gruppen erkennen läßt, steht einem Vergleich der Spaltzugfestigkeitsabfälle der Asphaltvarianten mit unterschiedlichen Bindemitteln über einen Rangfolgetest nichts im Wege.

Die Vorgehensweise beim Rangfolgetest ist in Abschnitt 2.3.1 beschrieben. Für die anschließend durchzuführenden Bewertungsverfahren der mathematischen Statistik - nämlich einfache Varianz- und Mittelwertvergleiche sowie einfache Varianzanalyse mit modifiziertem LSD-Test - wird Normalverteilung der Rangfolgezahlen vorausgesetzt. Das Zutreffen dieser Vorausetzung wird - weil beim Rangfolgetest nicht als a priori gegeben zu betrachten - mittels des einfach durchzuführenden Nomalverteilungstests nach David und Mitarbeiter überprüft (siehe Abschnitt 2.3.4). Die Ergebnisse von Rangfolgetest und Normalverteilungstest sind in Tabelle 3.13 dokumentiert.

Im oberen Teil der Tabelle 3.13 sind die Rangfolgezahlen für die fünf Asphaltarten/-sorten und die fünf Mineralstoffarten - getrennt nach Bitumenart/-sorte - spaltenweise aufgelistet. Die Rangfolgezahlen der einzelnen Spalten wurden zu Rangfolgezahlensummen addiert, aus denen erste Hinweise auf den Rang entnommen werden können, wobei eine kleine Rangfolgezahlensumme ein günstiges und eine große Rangfolgezahlensumme eher ein ungünstiges Haftverhalten repräsentiert. Nach dem Test ergibt sich für die fünf eingesetzten Bitumenarten/-sorten die nachstehende Rangfolge:

- Rang 1: PmB 65 A, elf,
- Rang 2: B 80, Shell,
- Rang 3: B 65, Shell,
- Rang 4: B 65, PCK und
- Rang 5: B80, PCK.

Dabei besteht zwischen den beiden Straßenbaubitumen der Shell AG mit fast identischen Rangfolgezahlensummen von 520 und 521 praktisch kein Unterschied. Ähnliches gilt für die beiden Straßenbaubitumen der PCK AG mit Rangfolgezahlensummen von 754 und 759. Der erwartete Einfluß der Viskosität des Bitumens auf das Haftverhalten - weichere Bitumen werden normalerweise kritischer gesehen - ist an den Rangfolgezahlensummen nicht erkennbar. Die Erklärung hierfür ist in der Tatsache zu

Asphaltart/ -sorte	Mineral-stoffart	Bitumenart/-sorte				
		PmB 65 A elf	B 80 Shell	B 65 Shell	B 65 PCK	B 80 PCK
		Rangfolge-zahl s_{ik}	Rangfolge-zahl s_{ik}	Rangfolge-zahl s_{ik}	Rangfolge-zahl s_{ik}	Rangfolge-zahl s_{ik}
AB 0/11 L	Basalt	17	20	34	28	21
	Gabbro	30	21	26	22	21
	Oolith	21	18	19	35	27
	Moräne	14	21	22	31	32
	Quarzit	15	26	24	32	23
SMA 0/11 S	Basalt	19	19	34	31	17
	Gabbro	20	22	28	29	21
	Oolith	13	19	23	25	40
	Moräne	14	26	16	32	32
	Quarzit	31	9	17	31	32
ABi 0/16	Basalt	9	30	19	26	36
	Gabbro	10	17	18	38	37
	Oolith	26	11	14	33	36
	Moräne	11	15	20	32	42
	Quarzit	19	19	31	22	29
ABi 0/22	Basalt	13	37	11	28	31
	Gabbro	18	30	26	27	19
	Oolith	9	17	19	36	39
	Moräne	26	30	7	28	29
	Quarzit	20	15	26	27	32
ATC 0/22	Basalt	22	19	22	31	26
	Gabbro	20	12	14	36	38
	Oolith	13	18	17	36	36
	Moräne	19	22	14	34	31
	Quarzit	17	27	20	24	32
Rangfolgezahlensumme		446	520	521	754	759
Rang		1	2	3	4	5
Arithmetisches Mittel $\bar{s}_{ik}$		17,840	20,800	20,840	30,160	30,360
Standardabweichung s		6,032	6,614	6,768	4,441	6,993
Spannweite a		22	28	27	16	25
Testgröße q		3,647	4,233	3,989	3,603	3,575
untere / obere Schranke		3,45 / 4,53				
normalverteilt ?		ja	ja	ja	ja	ja

Tabelle 3.13: Rangfolgezahlen der Spaltzugfestigkeitsabfälle für jeweils eine Asphaltart/-sorte und eine Mineralstoffart getrennt nach der Bindemittelart/-sorte sowie Normalverteilungstest nach David und Mitarbeiter

suchen, daß bei der vergleichsweise kurzen Wasserlagerung von nur 24 Stunden Dauer vor dem Spaltzugversuch dem Bitumen keine ausreichende Gelegenheit gegeben wird, sich nach der Ablösung von der Gesteinsoberfläche zusammenzuziehen, was bei weicheren Bitumen naturgemäß schneller vor sich geht als bei härteren.

Aus den Einzelwerten der Rangfolgezahlen lassen sich arithmetische Mittel und Standardabweichungen berechnen, welche die Grundlage einfacher Mittelwertvergleiche nach vorausgegangenen Varianzvergleichen bilden. Diese statistischen Kenngrößen - nämlich die arithmetischen Mittel und die Standardabweichungen - sind ebenfalls in Tabelle 3.13 zu finden. Aus den Spannweiten a, die als Differenzen zwischen der größten und der kleinsten Rangfolgezahl einer jeden Spalte zu berechnen sind, und den Standardabweichungen s sind die Testgrößen q für den Normalverteilungstest nach David und Mitarbeiter zu berechnen. Diese Testgrößen q müssen zwischen der unteren und der oberen Schranke der von David und Mitarbeiter aufgestellten Testverteilung liegen, wobei im Interesse der Schärfe der Aussage eine Irrtumswahrscheinlichkeit von α = 10 % zugrunde gelegt wird. Wie ebenfalls der Tabelle 3.13 entnommen werden kann, liegen die Testgrößen q ausnahmslos im Bereich zwischen den Schranken, so daß für alle fünf Bitumenarten/-sorten von einer Normalverteilung der Rangfolgezahlen ausgegangen werden kann. Die Durchführung einfacher Varianz- und Mittelwertvergleiche sowie einer einfachen Varianzanalyse und des modifizierten LSD-Tests ist also zulässig. Deren Ergebnisse sind in Tabelle 3.14 zu finden.

Wie aus den einfachen Varianz- und Mittelwertvergleichen unschwer abzuleiten ist, besteht zwischen den arithmetischen Mitteln der Rangfolgezahlen des polymermodifizierten Bitumens PmB 65 A und der beiden Straßenbaubitumen B 80 und B 65 der Shell AG im statistischen Sinne kein signifikanter Unterschied. Gleiches gilt für die beiden Straßenbaubitumen B 65 und B 80 der PCK AG. Dagegen gehören die drei zuerst genannten Bitumen und die beiden Bitumen der PCK AG nicht zur selben Grundgesamtheit. Diese Aussage wird durch den (nach dem Ergebnis der einfachen Varianzanalyse erforderlichen) modifizierten LSD-Test bestätigt, nach dem zwei hinsichtlich des Haftverhaltens in sich homogene Gruppen von Bindemitteln unterschieden werden müssen, und zwar einerseits das polymermodifizierte Bitumen PmB 65 A

Gruppe	1	2	3	4	5
Bitumen	PmB 65 A, elf	B 80, Shell	B 65, Shell	B 65, PCK	B 80, PCK
Arithmetisches Mittel	17,840	20,800	20,840	30,160	30,360
Standard-abweichung	6,032	6,614	6,768	4,441	6,993

Einfacher Varianz- und Mittelwertvergleich für alle Gruppen untereinander

1 - 2	$\hat{F}$ = 1,20 < 1,98 = F(24;24;0,05)	gleich	$\hat{t}$ = 1,65 < 2,01 = t(48;0,05)	**gleich**
2 - 3	$\hat{F}$ = 1,05 < 1,98 = F(24;24;0,05)	gleich	$\hat{t}$ = 0,02 < 2,01 = t(48;0,05)	**gleich**
3 - 4	$\hat{F}$ = 2,32 > 1,98 = F(24;24;0,05)	ungleich	$\hat{t}$ = 5,76 > 2,02 = t(41;0,05)	**ungleich**
4 - 5	$\hat{F}$ = 2,48 > 1,98 = F(24;24;0,05)	ungleich	$\hat{t}$ = 0,12 < 2,02 = t(41;0,05)	**gleich**
1 - 3	$\hat{F}$ = 1,26 < 1,98 = F(24;24;0,05)	gleich	$\hat{t}$ = 1,65 < 2,01 = t(48;0,05)	**gleich**
1 - 4	$\hat{F}$ = 1,84 < 1,98 = F(24;24;0,05)	gleich	$\hat{t}$ = 8,22 > 2,01 = t(48;0,05)	**ungleich**
1 - 5	$\hat{F}$ = 1,34 < 1,98 = F(24;24;0,05)	gleich	$\hat{t}$ = 6,78 > 2,01 = t(48;0,05)	**ungleich**
2 - 4	$\hat{F}$ = 2,22 > 1,98 = F(24;24;0,05)	ungleich	$\hat{t}$ = 5,87 > 2,02 = t(42;0,05)	**ungleich**
2 - 5	$\hat{F}$ = 1,12 < 1,98 = F(24;24;0,05)	gleich	$\hat{t}$ = 4,97 > 2,01 = t(48;0,05)	**ungleich**
3 - 5	$\hat{F}$ = 1,07 < 1,98 = F(24;24;0,05)	gleich	$\hat{t}$ = 4,89 > 2,01 = t(48;0,05)	**ungleich**

Einfache Varianzanalyse für die Gruppen 1 bis 5

Gesamtmittelwert:	24,0000	n = 125
Mittleres Mittel:	24,0000	
Q innerhalb:	4669,8388	ν_2 = 120
Q zwischen:	3414,1601	ν_1 = 4
Q gesamt:	8083,9990	ν = 124
Standardabweichung zwischen den Gruppen:	5,8431	
Standardabweichung innerhalb der Gruppen:	6,2382	
Varianz innerhalb der Gruppen:	38,9153	
Gesamtstandardabweichung:	8,0743	

$\hat{F}$ = 21,93 > 2,45 = F(α=0,05)

Der Unterschied mindestens eines Mittelwertes ist signifikant

Modifizierter LSD-Test für die Gruppen 1 bis 5

Schwellenwert der Student-Verteilung: $t_{(n-k)}$ = 1,980 mit (n-k) = 120

Gruppe	n_i	sortierte Mittel	Δ	LSD	
5	25	30,360	0,2000	3,4936	**Grenze**
4	25	30,160	**9,3200**	**3,4936**	← **homogener**
3	25	20,840	0,0400	3,4936	**Gruppen**
2	25	20,800	2,9600	3,4936	
1	25	17,840			

Tabelle 3.14: Einfacher Varianz- und Mittelwertvergleich, einfache Varianzanalyse sowie modifizierter LSD-Test für die Rangfolgezahlen aller Asphalt-varianten, getrennt nach der Bitumenart/-sorte

zusammen mit den Straßenbaubitumen B 80 und B 65 der Shell AG und andererseits die Straßenbaubitumen B 65 und B 80 der PCK AG.

Für die weiteren Auswertungen des experimentell gewonnenen Datenmaterials bleibt demzufolge festzuhalten, daß zwischen der Gruppe der haftgünstigeren und der Gruppe der haftkritischeren Bitumen zu unterscheiden ist.

3.3 Mathematische Beschreibung der Untersuchungsergebnisse

Zur mathematischen Beschreibung der Untersuchungsergebnisse im Abschnitt 3.3.1 wird die im Abschnitt 2.3.7 beschriebene Potenzfunktion verwendet. Anschließend werden im Abschnitt 3.3.2 Quantilen für die Spaltzugfestigkeitsabfälle berechnet (siehe Abschnitt 2.3.8), die es gestatten, für bestimmte Hohlraumgehalte Unterschreitungswahrscheinlichkeiten für den Spaltzugfestigkeitsabfall vorzugeben, aus denen Grenzwerte für die Festlegung von Anforderungen in technischen Regelwerken abgeleitet werden können.

3.3.1 Potenzielle Regression

Die Ergebnisse der potenziellen Regressionsrechnung sind in Tabelle 3.15 zahlenmäßig unter Angabe der Regressionsparameter a, b und c und des Bestimmtheitsmaßes B aufgelistet und in den Abbildungen 3.06 bis 3.10 graphisch dargestellt. Dabei wurden - wie bereits in Abschnitt 2.3.7 erwähnt - der Summand a auf Werte größer/gleich -15, der Faktor b auf positive Werte und der Exponent c auf $0 \leq c \leq 1$ beschränkt, um der Forderung nach Plausibilität gerecht zu werden.

In Tabelle 3.15 sind die Asphaltvarianten mit den haftgünstigeren Bitumen - das sind die Straßenbaubitumen B 80 und B 65 der Shell AG und das polymermodifizierte Bitumen PmB 65 A der elf bitumen deutschland GmbH - durch die Ziffer 1 und die haftkritischeren Bindemittel - das sind die Straßenbaubitumen B 80 und B 65 der PCK AG - durch die Ziffer 2 gekennzeichnet.

Asphaltart/ -sorte	Mineralstoffart	Parameter a	b	c	$B = r^2$
-	-	%	-	-	%
AB 0/11 L	Basalt - 1 *	-11,3736	15,7213	0,5410	93,4
	Basalt - 2	-15,0000	19,2095	0,4241	90,9
	Gabbro - 1	-1,5941	4,5265	0,5777	69,9
	Gabbro - 2	-14,1928	6,8169	0,7460	92,0
	Oolith -1	2,4385	5,0617	0,9384	67,6
	Oolith -2	6,4084	10,3232	0,7162	85,9
	Moräne - 1	-9,1541	6,9324	0,6399	89,9
	Moräne - 2	-4,1693	7,4614	0,7969	97,6
	Quarzit - 1	-3,4652	17,9102	0,5159	80,0
	Quarzit - 2	-5,7648	21,9819	0,6134	99,3
SMA 0/11 S	Basalt - 1	-9,9521	3,0338	1,0000	65,6
	Basalt - 2	-15,0000	10,8020	0,3869	59,1
	Gabbro - 1	-15,0000	8,5092	0,6046	62,5
	Gabbro - 2	-9,9117	2,7604	1,0000	75,9
	Oolith -1	12,2556	0,0000	0,0000	-
	Oolith -2	-15,0000	23,0618	0,3814	82,7
	Moräne - 1	-7,0523	2,4056	1,0000	51,7
	Moräne - 2	-4,9003	4,9042	0,7636	88,3
	Quarzit - 1	-15,0000	18,3260	0,4245	69,0
	Quarzit - 2	-15,0000	23,4650	0,4329	69,3
ABi 0/16	Basalt - 1	-15,0000	32,0884	0,0919	1,9
	Basalt - 2	-15,0000	24,5587	0,2984	56,2
	Gabbro - 1	-15,0000	9,8131	0,4396	46,8
	Gabbro - 2	14,9682	0,8966	1,0000	16,8
	Oolith -1	16,3370	1,5942	1,0000	30,4
	Oolith -2	-15,0000	30,3456	0,3477	78,2
	Moräne - 1	17,4717	1,0943	1,0000	8,7
	Moräne - 2	33,0562	1,0257	1,0000	18,3
	Quarzit - 1	-15,0000	43,2567	0,2176	63,6
	Quarzit - 2	-15,0000	39,8130	0,2630	44,5
ABi 0/22	Basalt - 1	-15,0000	6,4152	0,6968	14,6
	Basalt - 2	-5,4692	2,8665	1,0000	51,0
	Gabbro - 1	2,0364	1,1264	1,0000	5,2
	Gabbro - 2	-15,0000	15,9227	0,2130	10,6
	Oolith -1	14,6556	0,0000	0,0000	-
	Oolith -2	-15,0000	43,1631	0,0753	4,8
	Moräne - 1	4,2490	2,6796	1,0000	19,2
	Moräne - 2	25,5667	0,0000	0,0000	-
	Quarzit - 1	16,5039	3,2705	1,0000	57,7
	Quarzit - 2	22,9338	3,4078	1,0000	22,7
ATC 0/22	Basalt - 1	-2,8304	3,8719	1,0000	86,1
	Basalt - 2	-15,0000	15,0229	0,6032	82,6
	Gabbro - 1	-15,0000	17,3530	0,3904	52,4
	Gabbro - 2	-15,0000	33,5869	0,2698	30,1
	Oolith -1	16,3321	2,6535	1,0000	58,5
	Oolith -2	-15,0000	63,1282	0,0333	2,0
	Moräne - 1	20,6948	1,6813	1,0000	19,8
	Moräne - 2	-15,0000	22,7770	0,4872	82,4
	Quarzit - 1	-15,0000	42,8552	0,2342	35,1
	Quarzit - 2	41,6185	2,1749	1,0000	65,1

1 = B 80 + B 65 Shell sowie PmB 65 A elf
2 = B 80 + B 65 PCK

* = zwei Einzelwerte aufgrund von Plausibilitätserwägungen als Ausreißer eliminiert

Tabelle 3.15: **Parameter der Potenzverteilung** zur mathematischen Beschreibung der **Abhängigkeit des Spaltzugfestigkeitsabfalls vom Hohlraumgehalt** der fünf Asphaltarten/-sorten mit jeweils fünf unterschiedlichen Mineralstoffarten sowie **Bestimmtheitsmaße B** der Regression, unterteilt nach haftgünstigen (1) und haftkritischen (2) Bindemitteln

Eine Betrachtung der Parameter der Potenzfunktion in Tabelle 3.15 zeigt, daß

- die Summanden a für die beiden Asphaltvarianten mit Basalt oder Gabbro als Mineralstoff stets um rund 5 bis rund 20 Einheiten kleiner sind als die Summanden a für die drei restlichen Asphaltvarianten mit Oolith, Moräne oder Quarzit als Mineralstoff, was als Hinweis auf günstigere Hafteigenschaften der beiden zuerst genannten Mineralstoffarten interpretiert werden kann,
- die Steigungsmaße b für die Asphaltvarianten mit Basalt oder Gabbro als Mineralstoff um 0 bis höchstens 6 Einheiten kleiner sind als die Steigungsmaße b für die drei anderen Asphaltvarianten, worin sich eine geringere Empfindlichkeit gegenüber Änderungen des Hohlraumgehalts zu manifestieren scheint, und
- die Exponenten c in starker Wechselwirkung zum Steigungsmaß b stehen: Ein kleines b korrelliert mit einem großen c nahe 1 und ein großes b entspricht einem kleinen c nahe 0.

Die Güte der Annäherung der Potenzfunktionen an die experimentell ermittelten Daten kann anhand der Bestimmtheitsmaße B abgeschätzt werden, die in der letzten Spalte von Tabelle 3.15 zu finden sind. Wie leicht nachzuprüfen ist, konnte für die Asphaltbetone 0/11 L mit unterschiedlichen Mineralstoffen im Mittel ein Bestimmtheitsmaß von rund 87 % erreicht werden; bei den Splittmastixasphalten 0/11 S ein solches von knapp 70 %. Bei den beiden Asphaltdeckschichtvarianten kann die Approximation zufriedenstellen. Kein so günstiges Bild ergibt sich bei den Asphaltbindern 0/16 und 0/22 mit durchschnittlichen Bestimmtheitsmaßen B von knapp 37 % und etwas mehr als 23 % sowie beim Asphalttragschichtmaterial 0/22 der Mischgutart C mit einem durchschnittlichen Bestimmtheitsmaß B von etwas mehr als 50 %. In den vergleichsweise kleinen Bestimmtheitsmaßen B bei den Asphaltvarianten mit gröberem Größtkorn schlagen offensichtlich die mit dem Größtkorndurchmesser zunehmenden Prüfstreuungen durch.

Aus den Abhängigkeiten der Summanden a und der Steigungsmaße b von der Mineralstoffart läßt sich ableiten, daß das Prüfverfahren prinzipiell geeignet ist, zwischen haftgünstigen und haftkritischen Gesteinen zu unterscheiden. Dennoch erschweren die mathematisch bedingten Dependenzen zwischen dem Steigungsmaß b und dem Exponenten c das Erkennen von Zusammenhängen zwischen dem Spaltzugfestig-

keitsabfall als Zielgröße einerseits und dem Hohlraumgehalt als Einflußgröße andererseits. Dieses wird durch die Abbildungen 3.06 bis 3.10 ermöglicht.

In den Abbildungen 3.06 bis 3.10 sind die Spaltzugfestigkeitsabfälle für die fünf verschiedenen Asphaltvarianten in Abhängigkeit vom Hohlraumgehalt als Potenzfunktionen zusammen mit den Meßergebnissen graphisch dargestellt, wobei für die Asphaltvarianten mit den haftgünstigeren Bitumen ein durchgezogener Strich als Signatur und für die Asphaltvarianten mit den haftkritischeren Bitumen ein unterbrochener Strich als Signatur gewählt wurde.

Eine vergleichende Betrachtung der Abbildungen 3.06 bis 3.10 zeigt, daß in fast 80 % aller fünfundzwanzig verschiedenen Fälle die Spaltzugfestigkeitsabfälle bei den Asphaltvarianten mit den haftkritischeren Bindemitteln größer sind als bei den Asphaltvarianten mit den haftgünstigeren. Wo dieses nicht der Fall ist, sind die Unterschiede offenkundig nicht systematischer Natur. Im übrigen fällt auf, daß die Unterschiede in den Spaltzugfestigkeitsabfällen dann verhältnismäßig gering sind, wenn letztere entweder sehr klein oder relativ groß ausfallen.

Betrachtet man die Abhängigkeit der Spaltzugfestigkeitsabfälle von der Art der Mineralstoffe, so läßt sich unmittelbar feststellen, daß

- bei den beiden Asphaltdeckschichtvarianten die Mineralstoffarten Basalt und Gabbro scheinbar geeignet sind, gewisse Schwächen der haftkritischen Bindemittel zu kompensieren,
- der Gabbro - unabhängig von der Asphaltart/-sorte - in der Mehrzahl aller Fälle das haftgünstigste Gestein und
- der Quarzit stets das haftkritischste Gestein ist.

Der Festlegung von Anforderungen an das Haftverhalten über den Spaltzugfestigkeitsabfall als quantitatives Kriterium zur Bewertung der Affinität zwischen Mineralstoff und Bitumen müßten also eigentlich die mit Gabbro als Gestein und den haftgünstigeren Bitumen ermittelten Untersuchungsergebnisse zugrunde gelegt werden. Dieses hätte aber zur Folge, daß die Anforderungswerte so eng werden könnten, daß selbst langjährig bewährte Gesteine wie beispielsweise der Basalt von einer

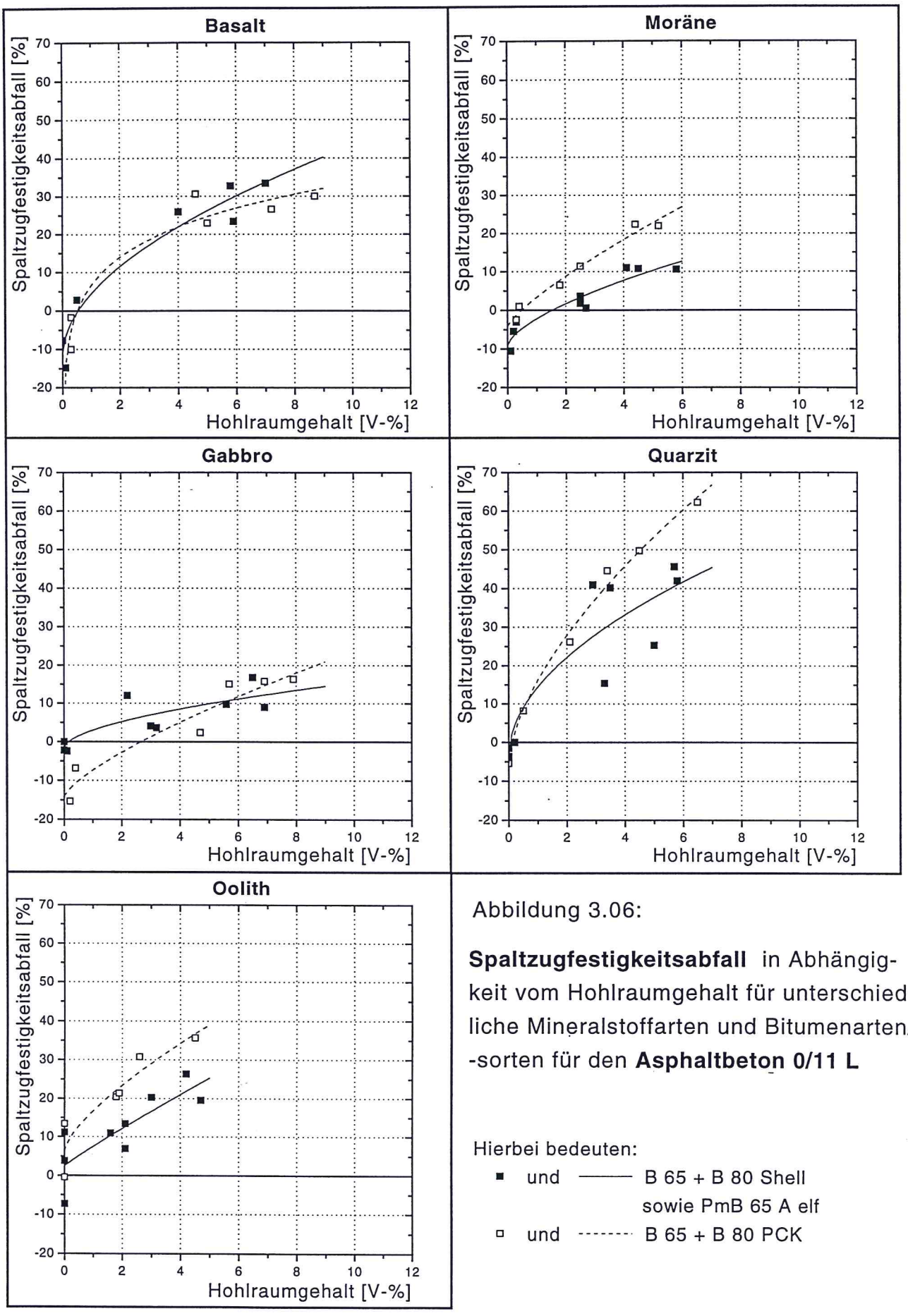

Abbildung 3.06:

Spaltzugfestigkeitsabfall in Abhängigkeit vom Hohlraumgehalt für unterschiedliche Mineralstoffarten und Bitumenarten/-sorten für den **Asphaltbeton 0/11 L**

Hierbei bedeuten:

- ■ und ——— B 65 + B 80 Shell sowie PmB 65 A elf
- □ und ------- B 65 + B 80 PCK

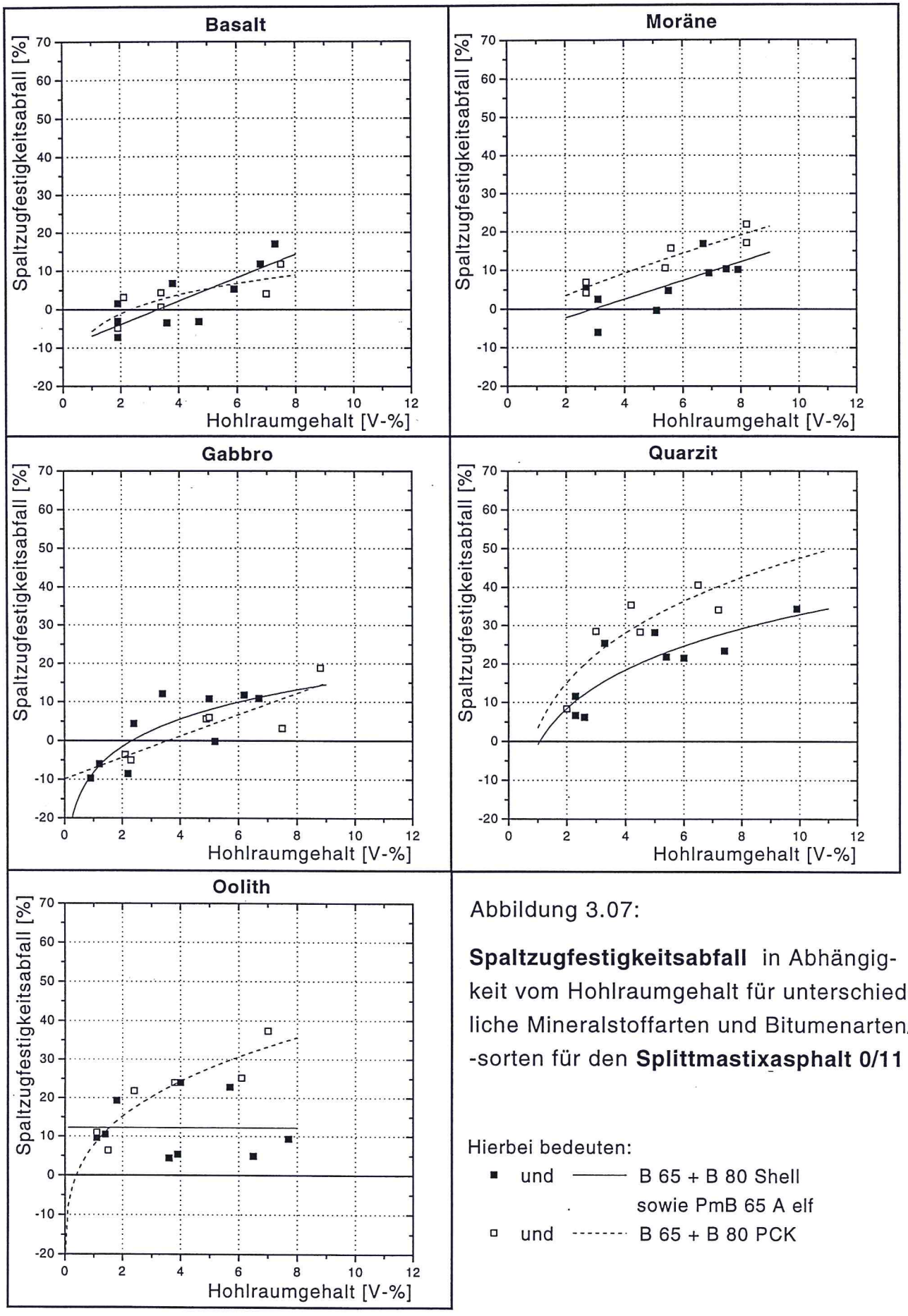

Abbildung 3.07:

Spaltzugfestigkeitsabfall in Abhängigkeit vom Hohlraumgehalt für unterschiedliche Mineralstoffarten und Bitumenarten/-sorten für den **Splittmastixasphalt 0/11 S**

Hierbei bedeuten:

- ■ und ——— B 65 + B 80 Shell sowie PmB 65 A elf
- □ und ------- B 65 + B 80 PCK

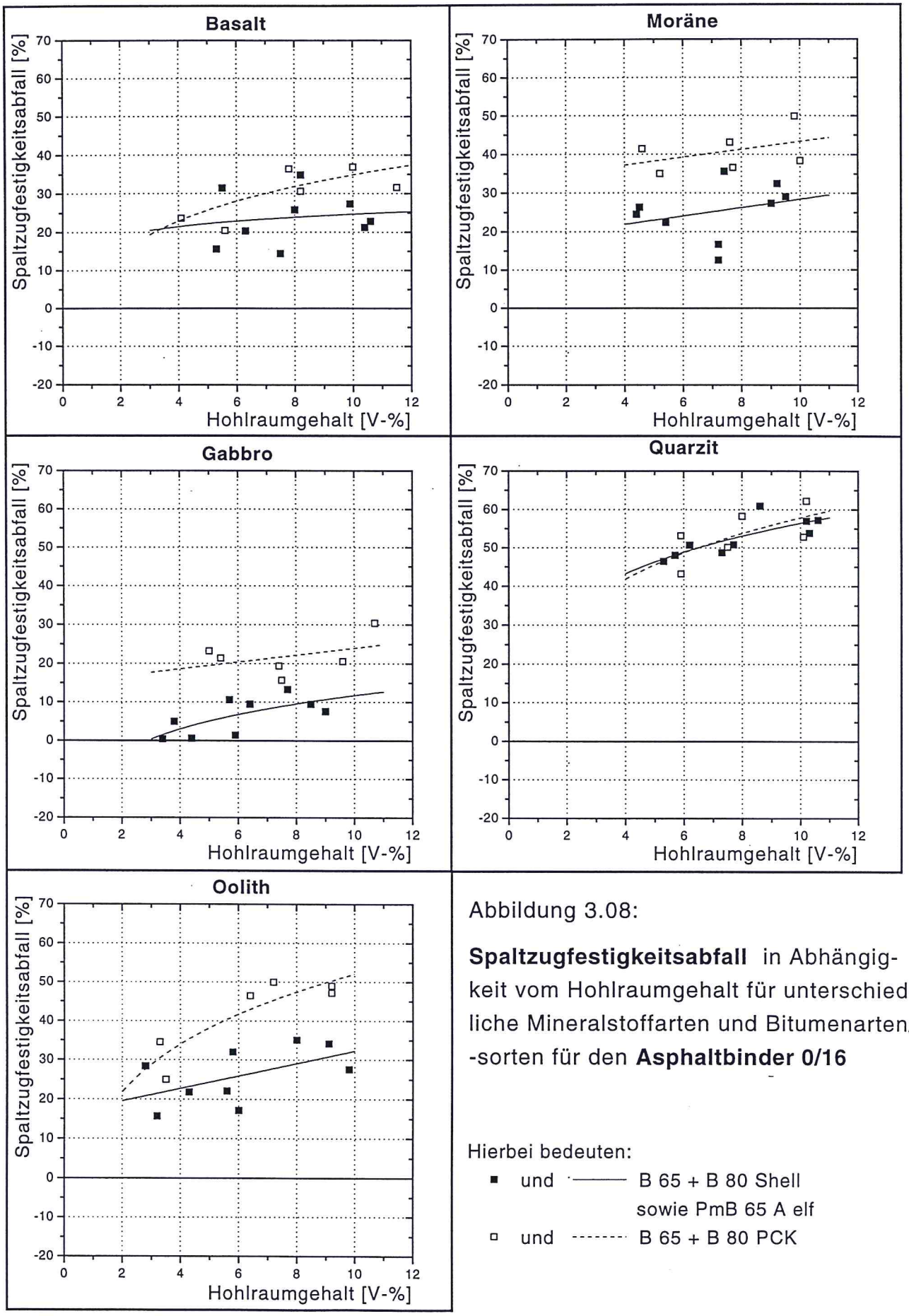

Abbildung 3.08:

Spaltzugfestigkeitsabfall in Abhängigkeit vom Hohlraumgehalt für unterschiedliche Mineralstoffarten und Bitumenarten/-sorten für den **Asphaltbinder 0/16**

Hierbei bedeuten:

- ■ und ——— B 65 + B 80 Shell sowie PmB 65 A elf
- □ und ------- B 65 + B 80 PCK

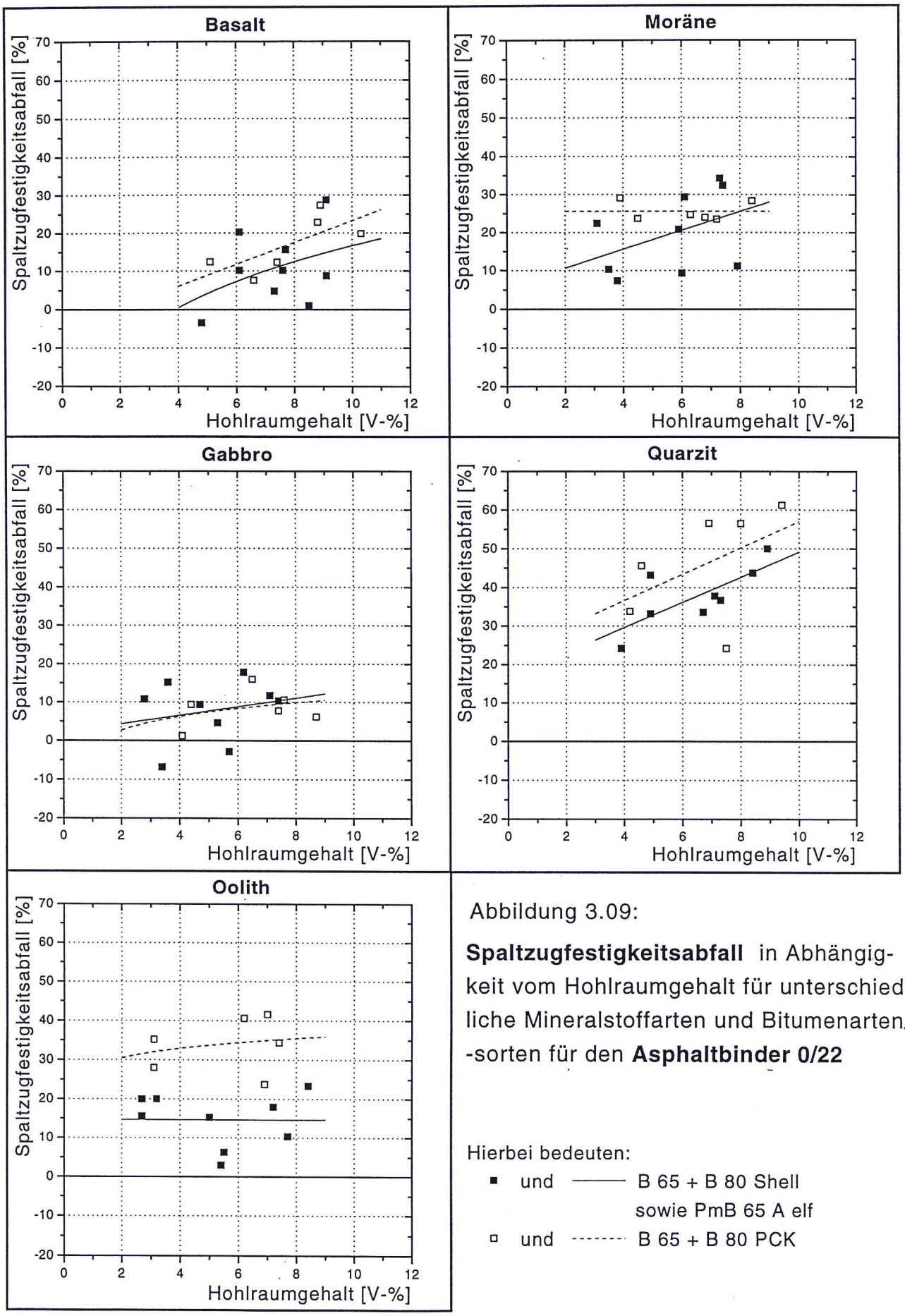

Abbildung 3.09:

Spaltzugfestigkeitsabfall in Abhängigkeit vom Hohlraumgehalt für unterschiedliche Mineralstoffarten und Bitumenarten/-sorten für den **Asphaltbinder 0/22**

Hierbei bedeuten:

- ■ und ——— B 65 + B 80 Shell sowie PmB 65 A elf
- □ und ------- B 65 + B 80 PCK

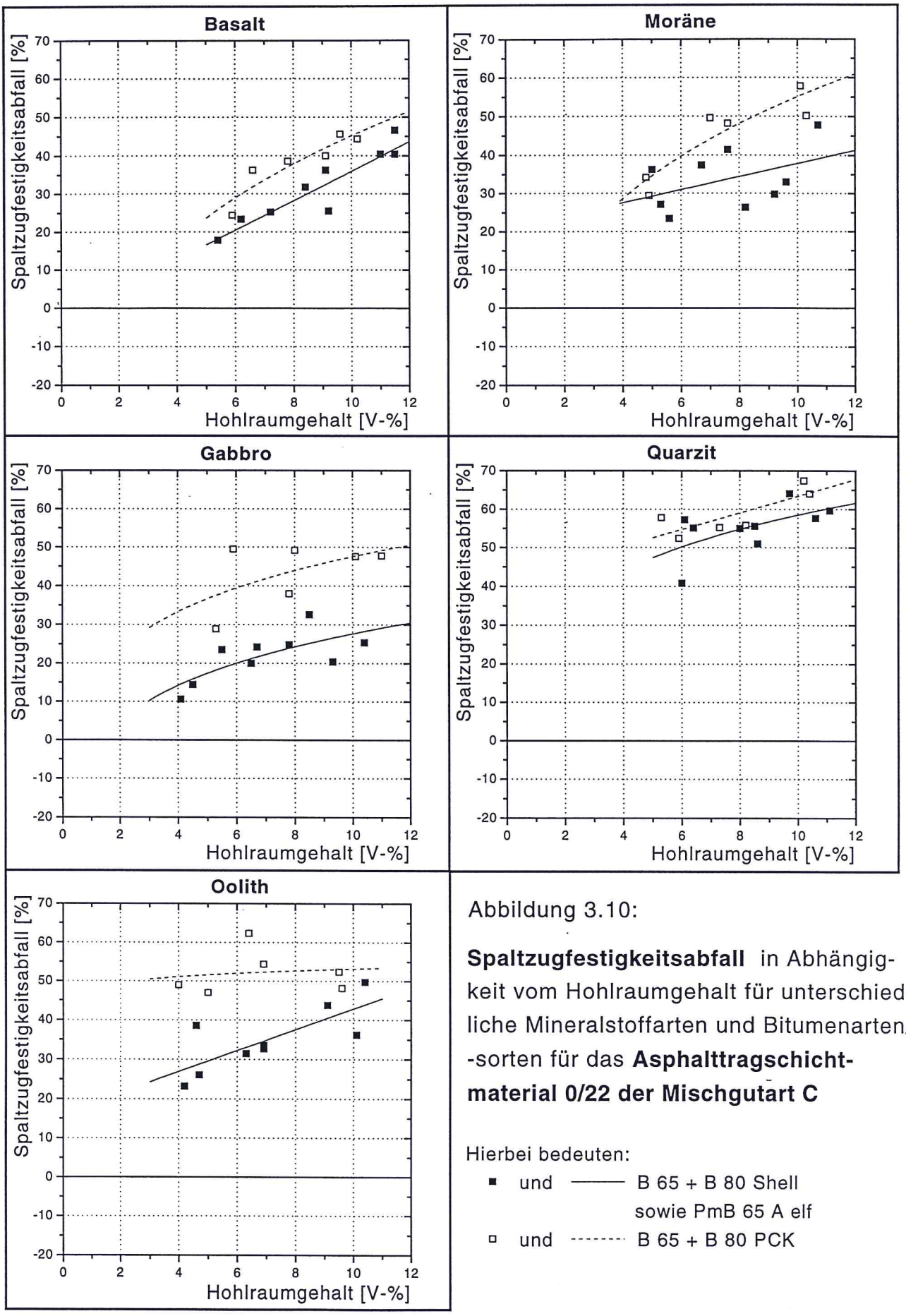

Abbildung 3.10:

Spaltzugfestigkeitsabfall in Abhängigkeit vom Hohlraumgehalt für unterschiedliche Mineralstoffarten und Bitumenarten/-sorten für das **Asphalttragschichtmaterial 0/22 der Mischgutart C**

Hierbei bedeuten:

- ■ und ——— B 65 + B 80 Shell sowie PmB 65 A elf
- □ und ------- B 65 + B 80 PCK

Verwendung in bestimmten Schichten von Asphaltbefestigungen ausgeschlossen werden müßten. Um dieses zu verhindern werden weitere potenzielle Regressionsanalysen durchgeführt, bei denen die mit Basalt und Gabbro als Mineralstoffe in den fünf Asphaltvarianten gewonnenen Untersuchungsergebnisse gemeinsam zum Gegenstand der Betrachtung gemacht werden. Die Ergebnisse dieser Regressionsanalysen sind im oberen Teil der Tabelle 3.16 aufgelistet.

Asphaltart/-sorte	Parameter			$B = r^2$
	a	b	c	
-	%	-	-	%
Asphaltbeton 0/11 L	-5,1964	7,3126	0,6981	65,6
Splittmastixasphalt 0/11 S	-14,0392	6,7855	0,6880	61,2
Asphaltbinder 0/16	-15,0000	9,7371	0,5850	30,2
Asphaltbinder 0/22	-0,6038	1,5766	1,0000	11,4
Asphalttragschichtmaterial C 0/22	-0,6377	3,4634	1,0000	72,2
Asphaltbeton 0/11 L + Splittmastixasphalt 0/11 S	-6,2909	3,3817	1,0000	50,0
Asphaltbinder 0/16 + Asphaltbinder 0/22	-3,4961	2,3592	1,0000	23,3

Tabelle 3.16: **Parameter der Potenzverteilung** zur mathematischen Beschreibung der **Abhängigkeit des Spaltzugfestigkeitsabfalls vom Hohlraumgehalt** der fünf Asphaltarten/-sorten beziehungsweise zusammengefaßter Gruppen davon mit Basalt oder Gabbro als Mineralstoff und haftgünstigem Bitumen als Bindemittel sowie **Bestimmtheitsmaße B** der Regression

Während die Summanden a im Bereich zwischen nahezu 0 und -15 etwa genauso stark streuen wie bei getrennter Betrachtung der Asphaltvarianten mit den fünf unterschiedlichen Mineralstoffarten, stellen sich die Steigungsmaße b und die Exponenten c bei gemeinsamer Betrachtung der Spaltzugfestigkeitsabfälle der fünf Asphaltvarianten mit den Mineralstoffarten Basalt und Gabbro als weniger stark streuend dar. Allerdings lassen sich - vom Asphalttragschichtmaterial 0/22 der

Mischgutart C abgesehen - im allgemeinen nur schlechtere Bestimmtheitsmaße B erreichen.

Mit der aus den letzten beiden Zeilen der Tabelle 3.16 ersichtlichen Zusammenfassung der beiden Asphaltdeckschichtvarianten und der beiden Asphaltbindervarianten zu jeweils einer Gruppe wird schließlich der Versuch unternommen, die Grundlage für eine Reduzierung der Anforderungswerte zu schaffen, wobei allerdings nicht zu übersehen ist, daß dadurch die Schärfe der Aussage - erkennbar an den nicht gerade ermutigenden Bestimmtheitsmaßen B von höchstens 50 % - stark eingeschränkt wird.

3.3.2 Quantilen zur Abschätzung von Unterschreitungswahrscheinlichkeiten

Nachdem die Ergebnisse der Untersuchungen in teilweise zusammengefaßter Form über Potenzverteilungen quantitativ beschrieben worden sind, ist es möglich, die Grundlagen für die Aufstellung von Anforderungen zu schaffen. Dazu sind Quantilen zur Abschätzung von Unterschreitungswahrscheinlichkeiten zu berechnen. Dieses ist unter Anwendung des in Abschnitt 2.3.8 beschriebenen Verfahrens geschehen. Die Ergebnisse der Berechnung können in graphischer Form für die fünf unterschiedlichen Asphaltarten/-sorten der Abbildung 3.11 entnommen werden.

In dieser Abbildung sind die Ergebnisse der potenziellen Regressionsanalysen als vermeintliche Medianwerte beziehungsweise 50-%-Quantilen - an der etwas größeren Strichstärke erkennbar - eingezeichnet. Zusätzlich sind die Quantilen für 5 %, 10 %, 20 %, 80 %, 90 % und 95 % aufgetragen. Dabei besagt beispielsweise der Quantilenwert von 90 %, daß bei gegebenem Hohlraumgehalt der korrespondierende Wert für den Spaltzugfestigkeitsabfall nur in (100 - 90) = 10 % aller Fälle überschritten wird.

Während die Spanne zwischen der 95-%-Quantile und der 5-%-Quantile beim Splittmastixasphalt 0/11 S und beim Asphalttragschichtmaterial 0/22 der Mischgutart C nur etwa 20 % ausmacht, beträgt sie bei den anderen drei Asphaltvarianten zwi-

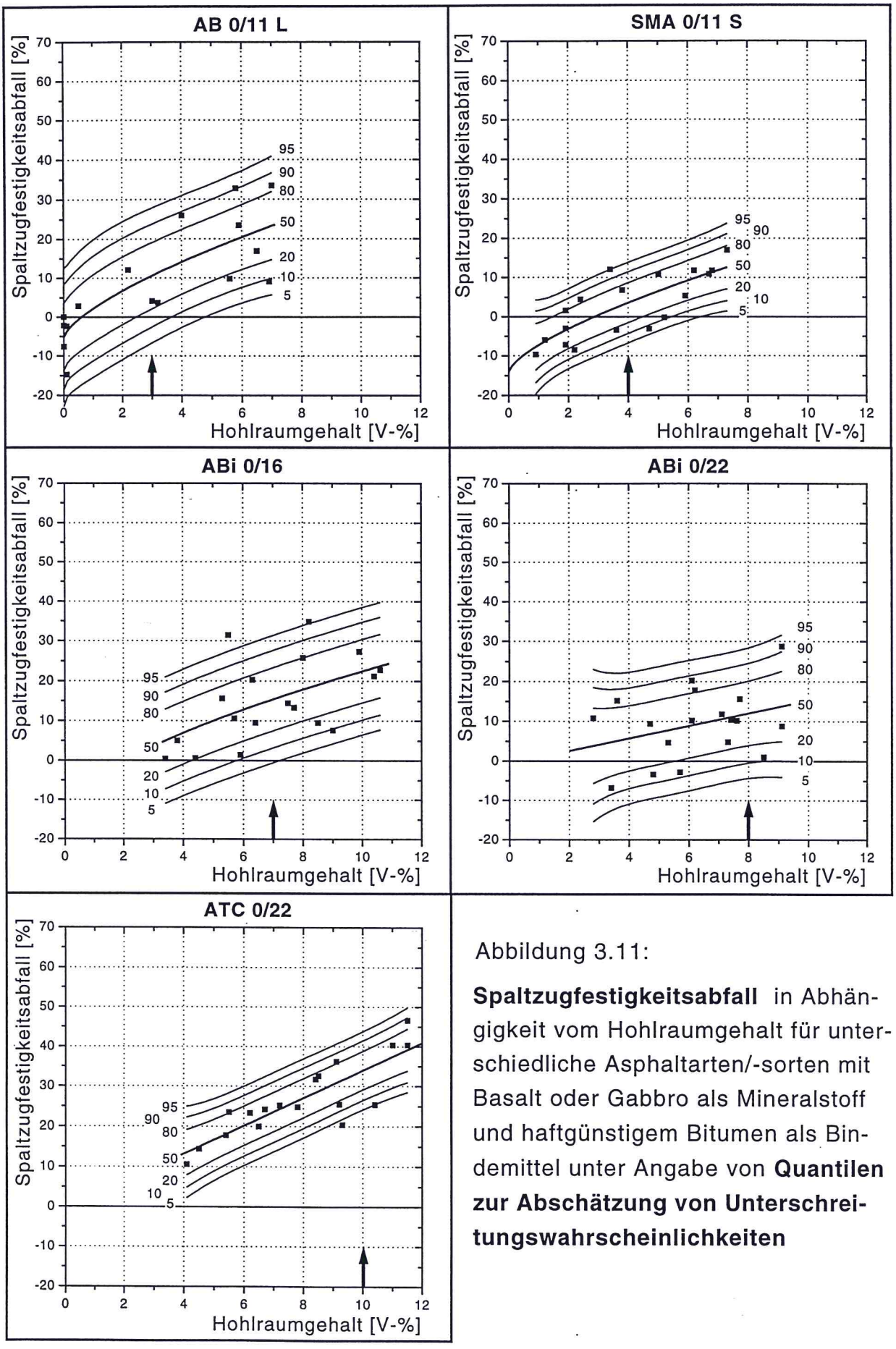

Abbildung 3.11:

Spaltzugfestigkeitsabfall in Abhängigkeit vom Hohlraumgehalt für unterschiedliche Asphaltarten/-sorten mit Basalt oder Gabbro als Mineralstoff und haftgünstigem Bitumen als Bindemittel unter Angabe von **Quantilen zur Abschätzung von Unterschreitungswahrscheinlichkeiten**

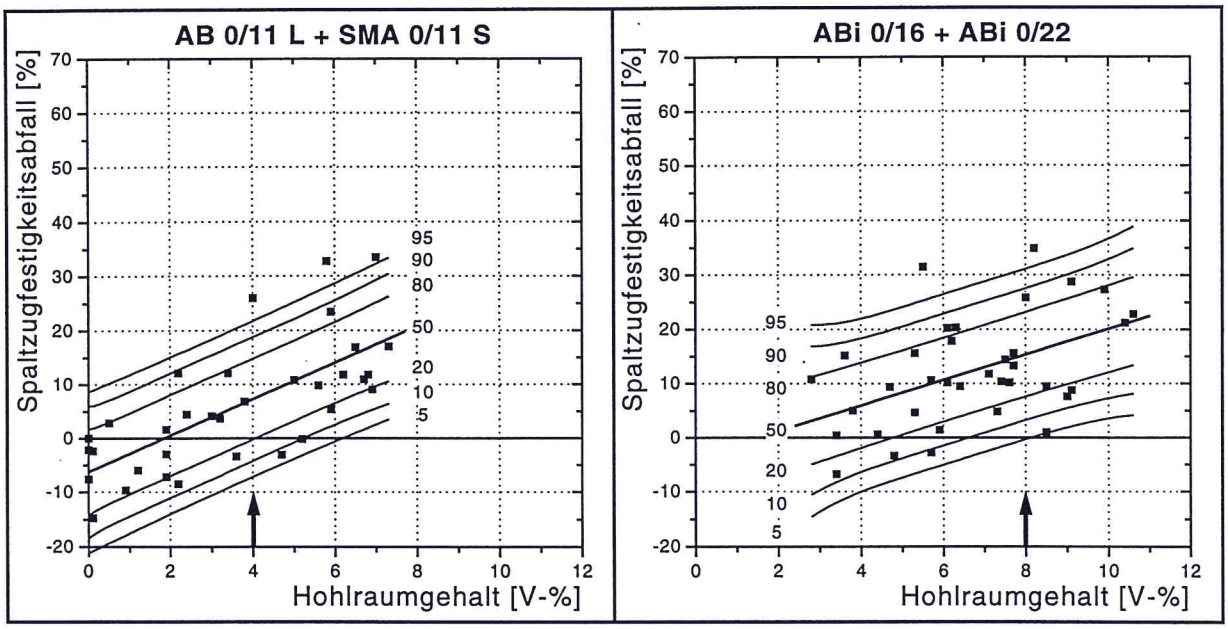

Abbildung 3.12: **Spaltzugfestigkeitsabfall** in Abhängigkeit vom Hohlraumgehalt für unterschiedliche Asphaltarten/-sorten mit Basalt oder Gabbro als Mineralstoff und haftgünstigem Bitumen als Bindemittel unter Angabe von **Quantilen zur Abschätzung von Unterschreitungswahrscheinlichkeiten**

schen 30 und 35 %. Bei den beiden zuerst genannten Asphaltvarianten dürften also Prognosen über das mutmaßliche Haftverhalten aufgrund von Spaltzugversuchen ohne und nach Wasserlagerung der Probekörper mit größerer Zuverlässigkeit möglich sein als bei den Asphaltvarianten mit gröberem Größtkorndurchmesser.

Will man die Quantilen zur Festlegung von Anforderungen verwenden, so muß über dem in Technischen Regelwerken angegebenen asphaltart/-sortenspezifischen Wert für die Obergrenze des Hohlraumgehaltes - auf der Abszissenachse durch einen Pfeil gekennzeichnet - das Lot errichtet und mit der Kurve für die gewünschte Quantile zum Schnitt gebracht werden. Dieser Schnittpunkt ist parallel zur Abszissenachse nach links auf die Ordinatenachse zu übertragen und liefert dort den Zahlenwert für den anforderungsgemäß hinzunehmenden Spaltzugfestigkeitsabfall.

Das oben beschriebene Verfahren zur Abschätzung von Unterschreitungswahrscheinlichkeiten über Quantilen kann entweder für die fünf unterschiedlichen Asphaltarten/-sorten einzeln oder aber auch - wie im folgenden dargelegt - für zu-

sammengefaßte Gruppen daraus angewendet werden. Exemplarisch sind in Abbildung 3.12 die Spaltzugfestigkeitsabfälle für die beiden Asphaltdeckschichtvarianten und die beiden Asphaltbindervarianten unter Verwendung der Zahlenwerte der beiden letzten Zeilen der Tabelle 3.16 gemeinsam mit den Quantilen 5 %, 10 %, 20 %, 80 %, 90 % und 95 % graphisch dargestellt. Die Zusammenfassung mehrerer Asphaltvarianten zu Gruppen bietet den Vorteil, daß die Anzahl der Anforderungswerte reduziert werden kann. Vorschläge für solche werden - zur Vorbereitung der Entscheidung zuständiger Gremien - in Kapitel 4 gemacht.

4. Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse und Schlußfolgerungen

In diesem Kapitel werden zunächst die Untersuchungsergebnisse zusammengefaßt (siehe Abschnitt 4.1), sodann Vorschläge für die Umsetzung der Untersuchungsergebnisse in die Praxis gemacht (siehe Abschnitt 4.2) und schließlich offen gebliebene Probleme behandelt (siehe Abschnitt 4.3).

4.1 Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse

Mittels Spaltzugversuchen wurde über den Quotienten aus der Spaltzugfestigkeit für vierundzwanzig Stunden bei einer Temperatur von + 50 °C wassergelagerter Marshall-Probekörper und der Spaltzugfestigkeit trocken gelagerter Marshall-Probekörper der Spaltzugfestigkeitsabfall als Merkmalsgröße zur quantitativen Bewertung des Haftverhaltens von fünf verschiedenen Asphaltarten/-sorten ermittelt. Dabei wurden die Mineralstoffart in fünf Stufen, die Bindemittelart/-sorte in fünf Stufen und der Hohlraumgehalt in drei Stufen systematisch variiert um festzustellen, ob und gegebenenfalls in welchem Maße der Spaltzugfestigkeitsabfall als Zielgröße durch die oben genannten Einflußgrößen - Asphaltart/-sorte, Mineralstoffart, Bindemittelart/-sorte und Hohlraumgehalt - beeinflußt wird.

Mit Hilfe einer Varianzanalyse der vierfachen Klassifikation wurde festgestellt, daß die Asphaltart/-sorte den größten Beitrag zur Gesamtvariabilität des Spaltzugfestigkeitsabfalls leistet. Die fünf unterschiedlichen Asphaltarten/-sorten müssen also getrennt betrachtet werden, wenn der Einfluß der anderen drei Variationsursachen - Mineralstoffart, Bindemittelart/-sorte und Hohlraumgehalt - sauber herausgearbeitet werden soll. Dieses ist durch Anwendung dreifacher Varianzanalysen geschehen. Dabei erwies sich bei vier von fünf Asphaltarten/-sorten die Mineralstoffart als stärkste (und zwar signifikante) Variationsursache - mit deutlichem Abstand vor dem Hohlraumgehalt und der Bindemittelart/-sorte, wobei auch die beiden zuletztgenannten Einflußgrößen - im Vergleich zum Varianzanteil des Zufalls und nicht erklärter Einflüsse - signifikante Beiträge zur Gesamtvariabilität liefern. Dem Einfluß

von Bindemittelart/-sorte wurde zusätzlich über einen Rangfolgetest mit begleitenden Vergleichen mehrerer Mittelwerte nachgegangen, durch den zwei homogene Gruppen - nämlich eine Gruppe haftgünstiger Bitumen und eine Gruppe haftkritischer Bitumen - unterschieden werden konnten.

Da es sich beim Spaltzugfestigkeitsabfall als Zielgröße und beim Hohlraumgehalt als Einflußgröße um rational skalierte Merkmalsgrößen handelt, konnte versucht werden, über potenzielle Regressionen funktionale Zusammenhänge zwischen beiden herzustellen. Dieses ist mit teilweise sehr guten Bestimmheitsmaßen bis zu B = 99,3 % und teilweise sehr schlechten Bestimmtheitsmaßen B nahe Null gelungen, wobei die besseren Bestimmtheitsmaße bei den beiden Asphaltdeckschichtvarianten mit Größtkorndurchmessern von 11,2 mm und die schlechteren Bestimmtheitsmaße im allgemeinen bei den Asphaltvarianten mit gröberem Größtkorn registriert wurden. Die Ursache für die schlechtere Approximation der experimentell ermittelten Daten dürfte also - zumindest teilweise - einem ungünstigen Verhältnis von Größtkorndurchmesser und Probekörperdurchmesser zuzuschreiben sein. Zusammenfassend läßt sich sagen, daß der Spaltzugfestigkeitsabfall in der Regel mit steigendem Hohlraumgehalt degressiv zunimmt.

Die besten Untersuchungsergebnisse mit vergleichsweise geringen Spaltzugfestigkeitsabfällen lieferten die Asphaltarten/-sorten mit Gabbro als Mineralstoff und den haftgünstigen Bitumen als Bindemittel. An sich müßten diese Ergebnisse der Festlegung von Anforderungen an das Haftverhalten über den Spaltzugfestigkeitsabfall als Merkmalsgröße zur quantitativen Bewertung der Affinität zwischen Mineralstoff und Bitumen zugrunde gelegt werden. Weil dieses aber so enge Anforderungen zur Folge haben könnte, daß selbst langjährig im Asphaltstraßenbau bewährte Gesteine von der Verwendung in bestimmten Schichten ausgeschlossen werden müßten ,wurden weitere Regressionsrechnungen durchgeführt, bei denen die mit Gabbro und Basalt als Mineralstoffe gewonnenen Ergebnisse gemeinsam analysiert wurden.

Die dabei gewonnenen Potenzfunktionen zur Beschreibung des Zusammenhanges zwischen dem Spaltzugfestigkeitsabfall und dem Hohlraumgehalt wurden als eine

lückenlose Folge von Medianwerten aufgefaßt, so daß es möglich wurde, Quantilen zur Abschätzung der Unterschreitungswahrscheinlichkeit zu berechnen. Diese wurden in Graphiken dargestellt und bilden die Grundlage zur Festlegung von Anforderungen an den gerade noch zu tolerierenden Spaltzugfestigkeitsabfall einer jeden Asphaltart/-sorte oder einer Gruppe davon.

4.2 Vorschläge für die Umsetzung der Untersuchungsergebnisse in die Praxis

Im einzelnen können die Quantilen zur Abschätzung von Unterschreitungswahrscheinlichkeiten für den Spaltzugfestigkeitsabfall für die fünf unterschiedlichen Asphaltarten/-sorten mit Basalt und Gabbro als Mineralstoff und haftgünstigem Bitumen als Bindemittel der Abbildung 3.11 im Abschnitt 3.3.2 und für zusammengefaßte Gruppen von Asphaltvarianten der Abbildung 3.12 im selben Abschnitt entnommen werden.

Asphaltart/-sorte	Obergrenze des Hohlraumgehalts	Zulässiger Spaltzugfestigkeitsabfall in Abhängigkeit von der Unterschreitungswahrscheinlichkeit		
-	V-%	80 %	90 %	95 %
Asphaltbeton 0/11 L	3,0	19	24	28
Splittmastixasphalt 0/11 S	4,0	9	12	14
Asphaltbinder 0/16	7,0	24	28	32
Asphaltbinder 0/22	8,0	20	25	29
Asphalttragschichtmaterial C 0/22	10,0	39	42	44
Asphaltbeton 0/11 + Splittmastixasphalt 0/11 S	4,0	15	19	22
Asphaltbinder 0/16 + Asphaltbinder 0/22	7,0	21	26	29

Tabelle 4.01: **Zulässiger Spaltzugfestigkeitsabfall** fünf verschiedener Asphaltarten/-sorten sowie von Gruppen davon für die Obergrenze des Hohlraumgehaltes in Abhängigkeit von der Unterschreitungswahrscheinlichkeit

In Tabelle 4.01 werden zulässige Spaltzugfestigkeitsabfälle für die fünf Asphaltarten/-sorten und zusammgefaßte Gruppen davon in Abhängigkeit von der Obergrenze des in Technischen Regelwerken angegebenen Hohlraumgehalts für drei verschiedene Unterschreitungswahrscheinlichkeiten des Spaltzugfestigkeitsabfalls - nämlich 80 %, 90 % und 95 % - zahlenmäßig angegeben. Diese Zahlenangaben ermöglichen die begründete Festlegung von Anforderungswerten an den Spaltzugfestigkeitsabfall durch die zuständigen Gremien, wobei zur prüftechnischen Ansprache des Haftverhaltens Asphaltprobekörper eingesetzt werden müssen, die auf einen der Obergrenze des in den Technischen Regelwerken angegebenen Bereichs entsprechenden Hohlraumgehalt verdichtet worden sind.

Nach Auffassung des Forschungsbeauftragten sollten auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse bei Orientierung an einer Unterschreitungswahrscheinlichkeit von 90 %

- für Asphaltbetone und Splittmastixasphalte mit 4 V-% Hohlräumen ein Spaltzugfestigkeitsabfall von 20 %,
- für Asphaltbinder mit 7 V-% Hohlräumen ein Spaltzugfestigkeitsabfall von 25 % und
- für Asphalttragschichtmaterial mit 10 V-% Hohlräumen ein Spaltzugfestigkeitsabfall von 40 %

zugelassen werden. Da es sich um vertragsrelevante Werte von erheblicher wirtschaftlicher Tragweite handelt, muß die endgültige Festlegung von Anforderungen den zuständigen Gremien vorbehalten bleiben.

4.3 Offen gebliebene Probleme

Bei der Konzeption dieses Forschungsvorhabens ist beabsichtigt gewesen, auch die Präzision des Verfahrens zur Beurteilung des Haftverhaltens von Asphalten über den Spaltzugfestigkeitsabfall zu ermitteln. Bedauerlicherweise hat eine ganze Anzahl von Prüfstellen, die ursprünglich bereit gewesen sind, sich an einer Ringuntersuchung zu beteiligen, ihre bereits gegebene Zusage zurückgezogen, nachdem bekannt geworden ist, daß für die mit der Ringuntersuchung verbundenen

experimentellen Arbeiten im Laboratorium keine finanziellen Mittel zu Verfügung gestellt worden sind. Die für die Anwendung des Prüfverfahrens in der Praxis erforderliche Kenntnis der Präzision des Verfahrens unter Wiederhol- und Vergleichbedingungen muß folglich noch durch Ringuntersuchungen gewonnen werden.

Bei einer kritischen Betrachtung der Untersuchungsergebnisse ist festgestellt worden, daß die prüftechnisch bedingten Streuungen offenkundig mit zunehmendem Größtkorndurchmesser anwachsen. Dem kann begegnet werden, indem entweder

- die Anwendbarkeit des Prüfverfahrens auf Asphalte mit einem bestimmten Größtkorndurchmesser - beispielsweise 16 mm - beschränkt wird oder
- mit größeren Probekörpern gearbeitet wird.

Die - insbesondere in den graphischen Darstellungen und den Regressionsanalysen - zu Tage tretenden, teilweise recht großen Streuungen der Untersuchungsergebnisse könnten wahrscheinlich vermieden oder wenigstens verringert werden, wenn statt des Spaltzugfestigkeitabfalls zur quantitativen Bewertung des Haftverhaltens von Asphalten ein zerstörungsfrei arbeitendes Prüfverfahren zur Anwendung käme, bei dem ein und derselbe Probekörper zunächst in trockenem Zustand und anschließend nach Wasserlagerung bei einer bestimten Temperatur untersucht werden würde. Als Kriterium zur Beurteilung des Haftverhaltens der Asphalte könnte dabei die Veränderung der Steifigkeit infolge Wasserlagerung dienen.

Braunschweig, den 28. April 1998

Der Forschungsbeauftragte:

(Prof. Dr. Wolfgang Arand)

5. Literatur

[1] Riedl, W.; Weber, H.: Zur Frage der Haftung bituminöser Bindemittel an verschiedenen Gesteinen. Asphalt - Teer - Straßenbautechnik 33 (1933), 677, 693, 713, 729, 749, 793, 809

[2] Arand, W.; Renken, P.: Auswahl und Optimierung einer Methodik zur Prüfung des Haftverhaltens zwischen Bindemittel und Mineralstoffen. Schlußbericht zum Forschungsauftrag Nr. 07.133 G 87 E des Bundesministers für Verkehr, Braunschweig 1991

[3] Gragger, F.: Der Einfluß von Wasser auf bituminöses Mischgut. Schriftenreihe der Ilseder Schlackenverwertung Dr. Schmidt & Co. KG (1971) 11

[4] Veverka, V.: Beitrag zur Lösung der Haftfestigkeitsprobleme im Straßenbau. Wissenschaftliche Zeitung der Hochschule für Bauwesen, Leipzig (1962) 2, 139 - 145

[5] Knight, B.H.: The Adhesion of Bituminous Binders to Road Aggregates. The Surveyor No. 2300 (1938) 93, 77 - 80

[6] Kunst, E.D.; Güsfeldt, K.H.: Mechanismus der Bitumenadhäsion - eine neue Deutung. Straßen- und Tiefbau 29 (1975) 8, 37 - 42

[7] Wilhelmi, R.; Schulze, K.: Grenzflächenvorgänge am System Wasser - bituminöse Bindemittel und ihre Bedeutung für die Baupraxis, Teil 1. Bitumen - Teere - Asphalte - Peche und verwandte Stoffe 5 (1954) 4, 103 - 107

[8] Wilhelmi, R.; Schulze, K.: Grenzflächenvorgänge am System Wasser - bituminöse Bindemittel und ihre Bedeutung für die Baupraxis, Teil 2. Bitumen - Teere - Asphalte - Peche und verwandte Stoffe 6 (1955) 1, 12 - 20

[9] Ensley, K.E.; Zenke, G.: Mikrokalorimetrische Untersuchungen der Wechselwirkungen zwischen Bitumen und Gesteinsstoffen und innerhalb des Bitumens. Bitumen - Teere - Asphalte - Peche 26 (1975) 6, 11 - 17

[10] Raudenbusch, H.: Haftfestigkeit und Grenzflächenerscheinungen. Bitumen 34 (1972) 1, 19 - 23

[11] Vogler, H.: Untersuchungen über die Haftung von Bitumen an verschiedenen Gesteinsarten. Bitumen 42 (1980) 1, 18 - 24

[12] Sachs, L.: Angewandte Statistik. Springer-Verlag Berlin - Heidelberg - New York, 6. Auflage 1984

[13] FGSV: Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen, Teil 2: Behandlung von abweichenden Meßwerten (Ausreißern). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1978

[14] Eisenhart, C.: Assumptions underlying the Analyses of Variance. Biometrics 3, 1951

[15] Weber, E.: Grundriß der biologischen Statistik. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 9. Auflage 1986

[16] Press et al.: Numerical Recipes in C, The Art of Scientific Computing. University Press, New York 1988

[17] Microcal: Origin, User's Manual. Microcal Software Inc., Northampton - MA/USA 1995

Anlage I

Arbeitsanleitung
für die Ansprache des Haftverhaltens
zwischen Bindemittel und Mineralstoffen
in einem verdichteten Asphalt

Braunschweig, im Februar 1991

Schlußbericht des Instituts für Straßenwesen der Technischen Universität Braunschweig zum FA Nr. 7.133 G 87 E des Bundesministers für Verkehr

zur

„Auswahl und Optimierung einer Methodik zur Prüfung des Haftverhaltens zwischen Bindemittel und Mineralstoffen“

vom 28. Februar 1991

Anhang III

Arbeitsanleitung für die Ansprache des Haftverhaltens zwischen Bindemittel und Mineralstoffen in einem verdichteten Asphalt

Gliederung:

1. Zweck und Anwendungsbereich
2. Kurzbeschreibung des Verfahrens
3. Begriffe
4. Geräte und Hilfsmittel
5. Proben
6. Vorbehandlung der Proben
7. Bestimmung der Spaltzugfestigkeit
8. Auswertung und Angabe des Ergebnisses
9. Präzision des Verfahrens

1. Zweck und Anwendungsbereich

Die Arbeitsanleitung beschreibt ein Verfahren, mit dem das Haftverhalten (Affinität) zwischen Bitumen und Mineralstoff in einem verdichteten Asphalt abgeschätzt werden kann.

2. Kurzbeschreibung des Verfahrens

Für die Ansprache des Haftverhaltens zwischen Bitumen und Mineralstoff wird eine Anzahl von Marshall-Probekörpern hergestellt. Eine Hälfte dieser Marshall-Probekörper wird trocken gelagert, die andere Hälfte wird einer statischen Wasserlagerung von 24 Stunden Dauer bei einer Wasserbadtemperatur von T = 50 °C ausgesetzt.

Danach wird an allen Probekörpern die Spaltzugfestigkeit bestimmt. Der prozentuale Abfall der Spaltzugfestigkeit, der sich aufgrund der statischen Wasserlagerung im Vergleich mit den trockenen Proben ergibt, gilt als Maß für die Affinität zwischen Mineralstoff und Bitumen.

3. Begriffe

Affinität ist die Eigenschaft der beiden Komponenten Bitumen und Mineralstoff, miteinander eine stärkere oder schwächere adhäsive Bindung einzugehen. Sie beschreibt das Haftverhalten von Bitumen am Gestein.

Die Spaltzugfestigkeit ist die Fähigkeit eines Körpers, einem Trennbruch einen Widerstand in Form von Zug entgegenzusetzen. Sie wird in einem Spaltzugversuch ermittelt, bei dem ein zylinderischer Probekörper mittels zweier gegeneinander gerichteter gleichgroßer Linienlasten auf gegenüber liegenden, zur Probekörperachse parallel verlaufenden Mantellinien bis zum Eintreten des Bruchs mittels Druck belastet wird. Theoretisch entspricht die Spaltzugfestigkeit der zur Lasteinleitungsrichtung senkrecht stehenden Spannung, die in der Ebene zwischen den Lasteinleitungsstreifen praktisch auf der gesamten Höhe des Probekörpers als Zugspannung

wirkt, sofern kein vorzeitiges Versagen des Probekörpers in Form eines Gleitens (also Schubbruch) auftritt.

4. Geräte und Hilfsmittel

4.1 Druck-Prüfmaschine nach DIN 51223, die mindestens den Anforderungen der Klasse 3 nach DIN 51220 entspricht. Sie muß mit einerEinrichtung zur selbsttätigen Regelung der Vorschubgeschwindigkeit von (50 ± 3) mm/Minute ausgerüstet sein. Diese Vorschubgeschwindigkeit muß von der Prüfmaschine auch unter Last eingehalten werden können.

4.2 Druckvorrichtung, bestehend aus einer Grundplatte und einer Kopfplatte, auf denen jeweils eine Leiste mit quadratischem Querschnitt von 10 mm x 10 mm biegesteif befestigt ist. Die Grundplatte ist mit zwei Führungssäulen versehen; in der Kopfplatte stecken Führungsbuchsen. An Kopf- und Grundplatte sind zweckmäßigerweise Federbleche befestigt, die das zentrierte Einlegen des zylindrischen Probekörpers zur exakten Einleitung der Linienlast sicherstellen sollen.

4.3 Wasserbäder zur Lagerung der Probekörper bei Temperaturen von
T = (50 ± 1)°C, T = (25 ± 1) °C und T = (10 ± 1) °C.

4.4 Geräte und Prüfmittel zur Wassersättigung von Probekörpern gemäß DIN 1996 Teil 9, Prüfung von Asphalt - Quellversuch.

5. Proben

Als Proben dienen nach DIN 1996 Teil 4 hergestellte Probekörper nach Marshall aus Walzasphalt, der entweder nach DIN 1996 Teil 2 entnommen oder nach DIN 1996 Teil 20 hergestellt und nach DIN 1996 Teil 3 vorbereitet wurde. Es sind sechs Probekörper herzustellen.Die Höhe der Probekörper ist auf 0,1 mm zu messen.

6. Vorbehandlung der Probekörper

Von den sechs Marshall-Probekörpern werden nach der Herstellung drei Probekörper bis zum Beginn der Prüfung der Spaltzugfestigkeit für eine Zeitdauer von (72 ± 8) Stunden bei Raumtemperatur (18 bis 28 °C) gelagert.

Die restlichen drei Marshall-Probekörper werden mindestens neun Stunden, jedoch höchstens 24 Stunden lang bei Raumtemperatur von (18 bis 28 °C) gelagert und sodann - also am Tag nach der Probekörperherstellung - gemäß DIN 1996 Teil 9, Abschnitte 7.1, 7.2 und 7.3, wassergesättigt. Im einzelnen sind das folgende Arbeitsschritte:

- 90 Minuten Lagerung im Wasserbad bei einer Temperatur von T = 25 °C,
- 30 Minuten Evakuieren im wassergefüllten Exsikkator bei einer Temperatur von T = 1 °C bis zu einem Restdruck von 25 mbar,
- 150 Minuten Lagerung im wassergefüllten Exsikkator bei einer Temperatur von T = 1 °C und einem Vakuum von 25 mbar,
- 60 Minuten Lagerung im wassergefüllten Exsikkator bei einer Temperatur von T = 1 °C unter Atmosphärendruck,
- 60 Minuten Lagerung im Wasserbad bei einer Temperatur von T = 25 °C.

Unmittelbar nach der Wassersättigung werden die Probekörper für die Dauer von 24 Stunden in einem Wasserbad bei einer Temperatur von T = + 50 °C und anschließend für die Dauer von mindestens 9 Stunden, höchstens aber 24 Stunden, bis zum Beginn der Prüfung der Spaltzugfestigkeit in einem zweiten Wasserbad bei einer Temperatur von T = (10 ± 3) °C gelagert.

7. Bestimmung der Spaltzugfestigkeit

Alle sechs Probekörper sind gemeinsam für die Dauer von (90 ± 10) Minuten bei einer Temperatur von T = (10 ± 1) °C in einem Wasserbad zu lagern. Für die Durchführung der Spaltzugprüfung ist jeweils ein Probekörper aus dem Wasserbad zu entnehmen und mit der Mantelfläche auf die untere Leiste der Prüfvorrichtung zu stel-

len. Der Probekörper ist koaxial so auszurichten, daß die Leisten mit quadratischem Querschnitt an Grund- und Kopfplatte an gegenüberliegenden Mantellinien des zylindrischen Probekörpers angreifen.

Nach Ausrichtung ist der Probekörper über die Leisten mit einer Geschwindigkeit von (50 ± 3) mm pro Minute bis zum Erreichen der Höchstkraft zu belasten.

Die erreichte Höchstkraft ist mit einer Genauigkeit von 10 N zu registrieren.

8. Auswertung und Angabe des Ergebnisses

Die Spaltzugfestigkeit β_{SZ} wird nach folgender Gleichung für jeden einzelnen Probekörper berechnet:

$$\beta_{SZ} = \frac{2 \cdot F_{max}}{\pi \cdot h \cdot d} \quad [N/mm^2].$$

Hierin bedeuten:

F_{max} = Höchstkraft in N,
h = Höhe des Probekörpers in mm,
d = Durchmesser des Probekörpers in mm.

Als Ergebnis der Spaltzugprüfung gilt das arithmetische Mittel der drei Einzelwerte, die für jede Art der Probekörpervorbehandlung getrennt ermittelt worden sind. Das Ergebnis ist auf 0,01 N/mm^2 genau anzugeben.

Der Abfall der Spaltzugfestigkeit $\Delta\beta_{SZ}$ aufgrund der Wassersättigung und der statischen Wasserlagerung wird nach der folgenden Gleichung berechnet:

$$\Delta\beta_{SZ} = \frac{\beta_{SZ,tr} - \beta_{SZ,wa}}{\beta_{SZ,tr}} \cdot 100\ [\%]$$

Hierin bedeuten:

$\beta_{SZ,tr}$ = mittlere Spaltzugfestigkeit der trocken gelagerten Probekörper in N/mm^2,

$\beta_{SZ,wa}$ = mittlere Spaltzugfestigkeit der wassergesättigten und im Wasserbad für eine Dauer von 24 Stunden bei einer Temperatur von T = 50 °C gelagerten Probekörper in N/mm^2.

9. Präzision des Verfahrens

Eine Präzision des Verfahrens kann noch nicht angegeben werden.

Anlage II

Spaltzugfestigkeiten von fünf Asphaltvarianten
sowie Spaltzugfestigkeitsabfälle
in Abhängigkeit von
der Mineralstoffart, der Bindemittelart/-sorte und
dem Hohlraumgehalt

Tabellen

A.B.1 bis A.B.5 für Proben mit Basalt als Mineralstoff
A.G.1 bis A.G.5 für Proben mit Gabbro als Mineralstoff
A.O.1 bis A.O.5 für Proben mit Oolith als Mineralstoff
A.M.1 bis A.M.5 für Proben mit Moräne als Mineralstoff
A.Q.1 bis A.Q.5 für Proben mit Quarzit als Mineralstoff

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Basalt	B 65 Shell	100	0,5	L	3,4200			
				L	3,2254	3,3227		
				W	3,3078		-0,2	
				W	3,3508	3,3293		
				L	3,2145			2,8
				L	3,3732	3,2938		
				W	3,3528		5,9	
				W	2,8460	3,0994		
		97	5,8	L	2,6032			
				L	2,5410	2,5721		
				W	1,7852		33,1	
				W	1,6587	1,7220		
				L	2,3710			32,7
				L	2,5850	2,4780		
				W	1,7284		32,3	
				W	1,6263	1,6774		
		94	7,0	L	2,1503			
				L	2,1592	2,1548		
				W	1,4445		31,2	
				W	1,5193	1,4819		
				L	2,2463			33,4
				L	2,3058	2,2761		
				W	1,5529		35,5	
				W	1,3836	1,4682		
	B 80 Shell	100	0,1	L	2,5830			
				L	2,6598	2,6214		
				W	2,8848		-12,4	
				W	3,0083	2,9466		
				L	2,6490			-14,8
				L	2,7490	2,6990		
				W	3,1799		-17,1	
				W	3,1423	3,1611		
		97	4,0	L	2,3796			
				L	2,3488	2,3642		
				W	1,6751		27,2	
				W	1,7649	1,7200		
				L	2,2744			25,9
				L	2,323	2,2987		
				W	1,7125		24,6	
				W	1,7548	1,7337		
		94	5,9	L	1,9461			
				L	1,7747	1,8604		
				W	1,5055		23,9	
				W	1,3252	1,4154		
				L	1,9123			23,4
				L	1,9577	1,935		
				W	1,4141		22,8	
				W	1,5727	1,4934		

Tabelle A.B.1 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Basalt	B 65 PCK	100	0,3	L	3,2701			
				L	3,3061	3,2881		
				W	3,4727		-7,5	
				W	3,5969	3,5348		
				L	3,0849			-1,7
				L	3,5238	3,3044		
				W	3,3464		4,1	
				W	2,9896	3,168		
		97	4,6	L	2,7974			
				L	2,9707	2,8841		
				W	1,9175		32,3	
				W	1,9855	1,9515		
				L	2,9165			30,6
				L	2,7173	2,8169		
				W	2,0880		28,9	
				W	1,9160	2,0020		
		94	8,7	L	2,3317			
				L	-	2,3317		
				W	1,6045		25,7	
				W	1,8585	1,7315		
				L	2,7042			30,0
				L	2,4540	2,5791		
				W	1,8456		34,3	
				W	1,5456	1,6956		
	B 80 PCK	100	0,3	L	2,9797			
				L	2,9192	2,9494		
				W	3,1695		-7,1	
				W	3,1493	3,1594		
				L	2,9285			-10,0
				L	2,7821	2,8553		
				W	3,1434		-12,8	
				W	3,2954	3,2194		
		97	5,0	L	2,4118			
				L	2,3127	2,3623		
				W	1,8303		24,3	
				W	1,7482	1,7893		
				L	2,2834			23,0
				L	2,1762	2,2298		
				W	1,7655		21,8	
				W	1,7216	1,7436		
		94	7,2	L	1,8746			
				L	2,0889	1,9818		
				W	1,4227		28,2	
				W	1,4230	1,4228		
				L	1,9504			26,6
				L	1,9030	1,9267		
				W	1,3958		24,9	
				W	1,5000	1,4479		

Tabelle A.B.1 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Basalt	PmB 65 A elf	100	0,0	L	2,3807			
				L	2,3726	2,3766		
				W	2,5309		-6,5	
				W	2,5314	2,5312		
				L	2,4299			-7,6
				L	2,3543	2,3921		
				W	2,5858		-8,6	
				W	2,6079	2,5968		
		97	2,8	L	2,2535			
				L	2,2922	2,2728		
				W	2,2277		1,9	
				W	2,2308	2,2292		
				L	2,1969			-1,3
				L	2,1214	2,1592		
				W	2,2587		-4,5	
				W	2,2551	2,2569		
		94	4,5	L	2,1281			
				L	2,0994	2,1138		
				W	1,7949		13,9	
				W	1,8466	1,8207		
				L	2,0752			11,9
				L	2,0579	2,0666		
				W	1,8542		9,9	
				W	1,8701	1,8622		

Tabelle A.B.1: **Spaltzugfestigkeiten** von **Asphaltbetonen 0/11 L** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte, dem Hohlraumgehalt und der Lagerungsart in Luft (L) oder in Wasser (W) sowie Spaltzugfestigkeitsabfälle, jeweils als Einzelwerte und Mittelwerte
hier: Mineralstoffart **Basalt**

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Basalt	B 65 Shell	100	1,9	L	2,6673			
				L	2,7392	2,7032		
				W	2,4125		4,3	
				W	2,7622	2,5873		
				L	2,8318			1,6
				L	2,8339	2,8328		
				W	2,9482		-1,1	
				W	2,7785	2,8634		
		97	3,8	L	2,4717			
				L	2,3842	2,4280		
				W	1,9550		11,4	
				W	2,3498	2,1524		
				L	2,5295			6,8
				L	2,4021	2,4658		
				W	2,4830		2,1	
				W	2,3444	2,4137		
		94	7,3	L	2,0250			
				L	1,8537	1,9393		
				W	1,4289		19,1	
				W	1,7087	1,5688		
				L	1,9729			17,0
				L	2,4409	2,2069		
				W	1,9453		15,0	
				W	1,8065	1,8759		
	B 80 Shell	100	1,9	L	2,1735			
				L	2,1659	2,1697		
				W	2,2017		-1,9	
				W	2,2184	2,2100		
				L	2,1765			-3,0
				L	2,2318	2,2041		
				W	2,3200		-4,0	
				W	2,2646	2,2923		
		97	3,6	L	1,8497			
				L	2,0178	1,9337		
				W	1,9756		-0,5	
				W	1,9107	1,9432		
				L	1,9166			-3,4
				L	1,8285	1,8726		
				W	1,8903		-6,2	
				W	2,0855	1,9879		
		94	5,9	L	1,5625			
				L	1,6610	1,6118		
				W	1,4923		2,3	
				W	1,6568	1,5745		
				L	1,7734			5.3
				L	1,6097	1,6915		
				W	1,6225		8,3	
				W	1,4792	1,5509		

Tabelle A.B.2 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Basalt	B 65 PCK	100	2,1	L	2,9519		0,0	3,2
				L	2,8611	2,9065		
				W	2,8199			
				W	2,9954	2,9077		
				L	3,1071 [1)]		6,4	
				L	2,9919 [1)]	3,0495		
				W	2,7931			
				W	2,9158	2,8544		
		97	3,4	L	2,6195 [1)]		1,4	4,4
				L	2,6326 [1)]	2,6261		
				W	2,6100			
				W	2,5664	2,5882		
				L	2,8598 [1)]		7,5	
				L	2,7000 [1)]	2,7799		
				W	2,6884			
				W	2,4528	2,5706		
		94	7,5	L	2,0131 [1)]		11,5	11,8
				L	2,1888 [1)]	2,1010		
				W	1,7371			
				W	1,9810	1,8591		
				L	2,1821 [1)]		12,0	
				L	2,1129 [1)]	2,1475		
				W	1,7934			
				W	1,9871	1,8903		
	B 80 PCK	100	1,9	L	2,6399		-5,1	-4,8
				L	2,4919	2,5659		
				W	2,6197			
				W	2,7719	2,6958		
				L	2,6199		-4,4	
				L	2,4597	2,5398		
				W	2,6888			
				W	2,6124	2,6506		
		97	3,4	L	2,2266		-1,0	0,7
				L	2,3629	2,2947		
				W	2,2650			
				W	2,3722	2,3186		
				L	2,2619		2,4	
				L	2,1654	2,2136		
				W	2,1227			
				W	2,1974	2,1601		
		94	7,0	L	1,7080		6,2	4,1
				L	1,8685	1,7883		
				W	1,6358			
				W	1,7182	1,6770		
				L	1,8443		2,0	
				L	1,7331	1,7887		
				W	1,8918			
				W	1,6144	1,7531		

[1)] Marshall-Probekörper wurden 6 Tage nach Herstellung geprüft

Tabelle A.B.2 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Basalt	PmB 65 A elf	100	1,9	L	2,1074			
				L	2,3257	2,2161	-5,8	-7,2
				W	2,4682			
				W	2,2227	2,3455		
				L	2,2878			
				L	2,3015	2,2946	-8,7	
				W	2,4958			
				W	2,4911	2,4935		
		97	4,7	L	2,0236			
				L	1,8892	1,9564	-1,8	-3,1
				W	1,9863			
				W	1,9984	1,9924		
				L	2,0263			
				L	1,9223	1,9743	-4,4	
				W	2,0757			
				W	2,0449	2,0603		
		94	6,8	L	1,9061			
				L	1,7962	1,8512	21,7	11.8
				W	1,1946			
				W	1,7034	1,4490		
				L	1,9440			
				L	1,7361	1,8401	2,0	
				W	1,8019			
				W	1,8062	1,8041		

Tabelle A.B.2: **Spaltzugfestigkeiten** von **Splittmastixasphalten 0/11 S** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte, dem Hohlraumgehalt und der Lagerungsart in Luft (L) oder in Wasser (W) sowie Spaltzugfestigkeitsabfälle, jeweils als Einzelwerte und Mittelwerte hier: Mineralstoffart **Basalt**

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeitsabfal	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Basalt	B 65 Shell	100	5,3	L	3,1754		9,0	15,6
				L	2,9585	3,0669		
				W	3,1776			
				W	2,4016	2,7896		
				L	3,2112		22,1	
				L	3,3943	3,3027		
				W	2,3353			
				W	2,8091	2,5722		
		97	8,0	L	2,7063		22,3	25,8
				L	2,4908	2,5986		
				W	2,0379			
				W	2,0005	2,0192		
				L	2,4744		29,4	
				L	2,4468	2,4606		
				W	1,4846			
				W	1,9893	1,7370		
		94	9,9	L	2,2513		33,5	27,3
				L	2,4684	2,3598		
				W	1,4798			
				W	1,6599	1,5698		
				L	-		21,1	
				L	1,9538	1,9538		
				W	1,5284			
				W	1,5531	1,5408		
	B 80 Shell	100	5,5	L	2,7207		30,5	31,4
				L	3,0131	2,8669		
				W	1,8888			
				W	2,0934	1,9911		
				L	2,7305		32,2	
				L	2,6149	2,6727		
				W	1,5960			
				W	2,0267	1,8114		
		97	8,2	L	2,2305		34,1	34,8
				L	2,1854	2,2080		
				W	1,4267			
				W	1,4816	1,4542		
				L	2,1237		35,4	
				L	2,1230	2,1234		
				W	1,3555			
				W	1,3885	1,3720		
		94	10,6	L	-		29,0	22,8
				L	1,5365	1,5365		
				W	1,0951			
				W	1,0867	1,0909		
				L	1,3221		16,6	
				L	1,0460	1,1841		
				W	-			
				W	0,9875	0,9875		

Tabelle A.B.3 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineralstoffart	Bitumenart/-sorte	Soll-Verdichtungsgrad	Hohlraumgehalt	Lagerungsart	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeitsabfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Basalt	B 65 PCK	100	5,6	L	3,3244			
				L	3,5664	3,4454		
				W	2,6381		22,4	
				W	2,7114	2,6748		
				L	3,2875			20,4
				L	3,2865	3,2870		
				W	2,5374		18,4	
				W	2,8255	2,6814		
		97	8,2	L	2,8713			
				L	2,7815	2,8264		
				W	1,8443		33,4	
				W	1,9223	1,8833		
				L	2,8852			30,6
				L	2,7891	2,8372		
				W	1,9909		27,9	
				W	2,1024	2,0466		
		94	11,5	L	1,8416			
				L	2,0389	1,9402		
				W	1,2965		36,0	
				W	1,1869	1,2417		
				L	1,5838			31,6
				L	1,9272	1,7555		
				W	1,2891		27,1	
				W	1,2698	1,2795		
	B 80 PCK	100	4,1	L	3,0970			
				L	3,0962	3,0966		
				W	2,5435		17,2	
				W	2,5848	2,5642		
				L	3,6040			23,6
				L	3,1276	3,3658		
				W	2,4510		30,0	
				W	2,2577	2,3544		
		97	7,8	L	2,9227			
				L	2,6538	2,7882		
				W	1,4210		41,1	
				W	1,8647	1,6429		
				L	2,7932			36,4
				L	2,9232	2,8582		
				W	1,9961		31,6	
				W	1,9145	1,9553		
		94	10,0	L	2,1266			
				L	1,7817	1,9541		
				W	1,0192		47,1	
				W	1,0475	1,0334		
				L	1,8657			36,9
				L	1,8608	1,8632		
				W	1,0970		26,7	
				W	1,6339	1,3655		

Tabelle A.B.3 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Basalt	PmB 65 styrelf	100	6,3	L	2,5763		15,9	20,3
				L	2,5315	2,5539		
				W	2,0400			
				W	2,2572	2,1486		
				L	2,4581		24,7	
				L	2,6784	2,5682		
				W	1,5432			
				W	2,3219	1,9326		
		97	7,5	L	1,9278		8,9	14,4
				L	1,9875	1,9577		
				W	1,7591			
				W	1,8066	1,7829		
				L	2,0821		19,8	
				L	2,2702	2,1761		
				W	1,6143			
				W	1,8745	1,7444		
		94	10,4	L	1,5083		24,5	21,2
				L	1,6852	1,5968		
				W	1,2045			
				W	1,2074	1,2060		
				L	1,6673		17,8	
				L	1,1892	1,4283		
				W	1,2903			
				W	1,0572	1,1738		

Tabelle A.B.3: **Spaltzugfestigkeiten** von **Asphaltbindern 0/16** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte, dem Hohlraumgehalt und der Lagerungsart in Luft (L) oder in Wasser (W) sowie Spaltzugfestigkeitsabfälle, jeweils als Einzelwerte und Mittelwerte
hier: Mineralstoffart **Basalt**

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Basalt	B 65 Shell	100	6,1	L	3,3568		15,6	10,2
				L	3,5991	3,478		
				W	2,9075			
				W	2,9625	2,9350		
				L	3,1298		4,7	
				L	2,4299	2,7798		
				W	2,6941			
				W	2,6031	2,6486		
		97	7,3	L	2,6103		18,7	4,8
				L	2,5735	2,5919		
				W	1,7622			
				W	2,4504	2,1063		
				L	2,7851		-9,2	
				L	2,0356	2,4104		
				W	2,6614			
				W	2,6031	2,6323		
		94	8,5	L	1,8207		-6,2	1,0
				L	1,3918	1,6062		
				W	1,6969			
				W	1,7133	1,7051		
				L	1,6713		8,3	
				L	1,7089	1,6901		
				W	1,4972			
				W	1,6040	1,5506		
	B 80 Shell	100	6,1	L	2,6521		25,0	20,2
				L	2,7480	2,7001		
				W	(1,1691) [2)]			
				W	2,0254	2,0254		
				L	2,7414		15,5	
				L	2,5871	2,6643		
				W	2,1000			
				W	2,4046	2,2523		
		97	7,7	L	1,9680		19,1	15,6
				L	2,2602	2,1141		
				W	1,6505			
				W	1,7721	1,7113		
				L	2,2504		12,0	
				L	2,4612	2,3558		
				W	2,1344			
				W	2,0125	2,0735		
		94	9,1	L	1,8816		33,4	28,7
				L	1,7935	1,8376		
				W	1,4313			
				W	1,0180	1,2247		
				L	1,5355		24,0	
				L	-	1,5355		
				W	1,2727			
				W	1,0598	1,1663		

[2)] Höhe des Marshall-Probekörpers weicht deutlich ab

Tabelle A.B.4 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Basalt	B 65 PCK	100	6,6	L	2,9492		12,8	7,6
				L	2,7392	2,8442		
				W	2,4847			
				W	2,4733	2,4790		
				L	2,7030		2,4	
				L	2,5173	2,6102		
				W	2,7997			
				W	2,2928	2,5463		
		97	8,8	L	2,6748		27,9	22,8
				L	2,6939	2,6844		
				W	1,8480			
				W	2,0217	1,9349		
				L	2,6966		17,7	
				L	2,4490	2,5728		
				W	1,9425			
				W	2,2928	2,1177		
		94	10,3	L	1,9955		17,6	19,8
				L	2,1886	2,0921		
				W	2,0239			
				W	1,4232	1,7236		
				L	1,3939		22,1	
				L	1,8660	1,6300		
				W	1,0692			
				W	1,4697	1,2694		
	B 80 PCK	100	5,1	L	3,0399		18,3	12,4
				L	3,2714	3,1556		
				W	2,7322			
				W	2,4214	2,5768		
				L	3,2994		6,5	
				L	2,9309	3,1151		
				W	2,3626			
				W	3,4636	2,9131		
		97	7,4	L	2,5157		18,6	12,3
				L	2,4517	2,4837		
				W	2,0620			
				W	1,9800	2,0210		
				L	2,7737		6,0	
				L	2,4584	2,6161		
				W	2,4176			
				W	2,5033	2,4604		
		94	8,9	L	2,3566		35,8	27,3
				L	2,4214	2,389		
				W	1,4862			
				W	1,5794	1,5328		
				L	1,9568		18,8	
				L	2,1182	2,0375		
				W	-			
				W	1,6545	1,6545		

Tabelle A.B.4 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Basalt	PmB 65 A elf	100	4,8	L	2,5749		-6,5	-3,4
				L	2,7606	2,6677		
				W	3,0300			
				W	2,6548	2,8424		
				L	26007		-0,2	
				L	2,7329	2,6668		
				W	2,5591			
				W	2,7847	2,6719		
		97	7,6	L	1,9192		0,1	10,2
				L	1,9649	1,9421		
				W	2,0958			
				W	1,7830	1,9394		
				L	2,3096		20,3	
				L	2,5472	2,4284		
				W	2,0697			
				W	1,8002	1,9350		
		94	9,1	L	2,0732		17,5	8,8
				L	1,5235	1,7984		
				W	1,5944			
				W	1,3718	1,4831		
				L	1,8539		0,2	
				L	1,9090	1,8815		
				W	2,0018			
				W	1,7527	1,8772		

Tabelle A.B.4: **Spaltzugfestigkeiten** von **Asphaltbindern 0/22** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte, dem Hohlraumgehalt und der Lagerungsart in Luft (L) oder in Wasser (W) sowie Spaltzugfestigkeitsabfälle, jeweils als Einzelwerte und Mittelwerte
hier: Mineralstoffart **Basalt**

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Basalt	B 65 Shell	100	7,2	L	3,3999			
				L	3,5577	3,4788		
				W	2,6799		37,6	
				W	1,6646	2,1723		
				L	3,4175			25,2
				L	2,1193	2,7684		
				W	2,8850		12,8	
				W	1,9443	2,4147		
		97	9,1	L	1,5562			
				L	2,4606	2,0084		
				W	1,1536		33,4	
				W	1,5228	1,3382		
				L	2,8288			36,2
				L	2,5695	2,6992		
				W	1,5459		39,1	
				W	1,7407	1,6433		
		94	11,0	L	1,1171			
				L	1,2480	1,1826		
				W	1,9385		41,4	
				W	2,1010	2,0198		
				L	1,1536			40,4
				L	1,2107	1,1822		
				W	1,8750		39,5	
				W	2,0302	1,9526		
	B 80 Shell	100	6,2	L	2,2173			
				L	2,6292	2,4232		
				W	1,9356		13,8	
				W	2,2397	2,0877		
				L	2,8432			23,3
				L	2,9254	2,8843		
				W	1,9090		32,8	
				W	1,9686	1,9388		
		97	9,2	L	1,1064			
				L	1,9071	1,5068		
				W	1,0337		19,4	
				W	1,3954	1,2146		
				L	1,8490			25,5
				L	1,7346	1,7918		
				W	1,3731		31,6	
				W	1,0764	1,2248		
		94	11,5	L	1,5226			
				L	1,1938	1,3582		
				W	0,9078		42,3	
				W	0.6603	0,7841		
				L	1,7204			40,4
				L	1,5539	1,6372		
				W	0,9119		38,5	
				W	1,1017	1,0068		

Tabelle A.B.5 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Basalt	B 65 PCK	100	6,6	L	3,2049			
				L	2,7559	2,9804		
				W	(0,9342) [3]		42,9	
				W	1,7014	1,7014		
				L	2,8823			36,2
				L	3,8210	3,3516		
				W	1,9543		29,4	
				W	2,7802	2,3672		
		97	9,1	L	(1,5862) [2]			
				L	2,8605	2,8605		
				W	(0,7113) [3]		38,7	
				W	1,7536	1,7536		
				L	27206			40,0
				L	2,4592	2,2738		
				W	1,6441		41,4	
				W	1,3911	1,5176		
		94	10,2	L	2,2048			
				L	1,8424	2,0236		
				W	1,0687		45,7	
				W	1,1301	1,0994		
				L	2,0067			44,4
				L	1,9032	1,9550		
				W	1,0735 [4]		43,0	
				W	1,1541	1,1138		
	B 80 PCK	100	5,9	L	3,1908			
				L	3,0790	3,1349		
				W	2,2286		21,4	
				W	2,6984	2,4635		
				L	2,6971			24,4
				L	3,6506	3,1738		
				W	2,5085		27,3	
				W	2,1063	2,3074		
		97	7,8	L	2,4712			
				L	2,7385	2,6048		
				W	1,2085		43,1	
				W	1,7540	1,4812		
				L	2,5383			38,6
				L	2,2858	2,4120		
				W	1,6004		34,2	
				W	1,5716	1,5860		
		94	9,6	L	2,0032			
				L	2,1874	2,0953		
				W	1,1542		44,7	
				W	1,1615	1,1578		
				L	2,3607			45,6
				L	1,6972	2,029		
				W	1,0342		46,4	
				W	1,1420	1,0881		

[2] Höhe des Marshall-Probekörpers weicht deutlich ab
[3] Marshall-Probekörper an einer Kante beschädigt
[4] Marshall-Probekörper wurde einen Monat nach Herstellung geprüft

Tabelle A.B.5 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Basalt	PmB 65 A elf	100	5,4	L	2,8410		16,1	17,8
				L	3,2097	3,0254		
				W	2,5303			
				W	2,5445	2,5374		
				L	2,7903		19,4	
				L	2,8182	2,8042		
				W	2,0214			
				W	2,4976	2,2595		
		97	8,4	L	2,2616		33,8	31,8
				L	2,3975	2,3296		
				W	1,5909			
				W	1,4950	1,5430		
				L	2,3233		29,8	
				L	2,8117	2,5675		
				W	1,7061			
				W	1,9004	1,8033		
		94	11,5	L	1,8651		51,0	46,6
				L	1,6504	1,7578		
				W	0,8005			
				W	0.9212	0,8609		
				L	1,4277		42,2	
				L	2,0122	1,7199		
				W	0,9064			
				W	1,0808	0,9936		

Tabelle A.B.5: **Spaltzugfestigkeiten** von **Asphalttragschichtmaterial 0/22 der Mischgutart C** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte, dem Hohlraumgehalt und der Lagerungsart in Luft (L) oder in Wasser (W) sowie Spaltzugfestigkeitsabfälle, jeweils als Einzelwerte und Mittelwerte
hier: Mineralstoffart **Basalt**

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Gabbro	B 65 Shell	100	0,1	L	3,3464			
				L	3,5751	3,4608		
				W	4,4798		-2,5	
				W	3,6120	3,5459		
				L	3,5125			-2,4
				L	3,4512	3,4818		
				W	3,5934		-2,2	
				W	3,5253	3,5594		
		97	3,0	L	2,5808 [6)]			
				L	2,7088 [6)]	2,6448		
				W	2,6921		-1,3	
				W	2,6638	2,6780		
				L	2,5927 [6)]			4,1
				L	2,7406 [6)]	2,6666		
				W	2,3636		9,5	
				W	2,4617	2,4126		
		94	6,5	L	2,2494 [6)]			
				L	2,3341 [6)]	2,2918		
				W	1,8550		17,8	
				W	1,9129	1,8838		
				L	2,1727 [6)]			16,8
				L	2,1503 [6)]	2,1615		
				W	1,6555		15,8	
				W	1,9834	1,8194		
	B 80 Shell	100	0,0	L	2,4365 [6)]			
				L	2,4333 [6)]	2,4349		
				W	2,4188		-0,3	
				W	2,4665	2,4426		
				L	2,4046 [6)]			-2,2
				L	2,3356 [6)]	2,3701		
				W	2,5155		-4,0	
				W	2,4166	2,4660		
		97	3,2	L	2,1227			
				L	2,3384	2,2306		
				W	2,0493		6,6	
				W	2,1157	2,0825		
				L	2,3387			3,6
				L	2,3080	2,2708		
				W	2,2122		0,5	
				W	2,3069	2,2596		
		94	6,9	L	-			
				L	2,0385	2,0385		
				W	1,8020		11,7	
				W	1,7987	1,8004		
				L	2.0685			9,0
				L	1,9673	2,0179		
				W	1,8629		6,3	
				W	1,9179	1,8904		

[6)] Raumdichtebestimmung durch Tauchwägung an luftgelagerten Marshall-Probekörpern

Tabelle A.G.1 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Gabbro	B 65 PCK	100	0,4	L	3,2155			
				L	3,1601	3,1878		
				W	3,2191		-4,3	
				W	3,4325	3,3258		
				L	3,2076			-6,8
				L	2,9759	3,0918		
				W	3,4265		-9,3	
				W	3,3334	3,3800		
		97	5,7	L	2,4339			
				L	2,5642	2,4990		
				W	1,9797		15,6	
				W	2,2405	2,1101		
				L	2,5204			15,1
				L	2,4483	2,4844		
				W	2,2867		14,6	
				W	1,9590	2,1228		
		94	7,9	L	1,9832			
				L	2,2244	2,1038		
				W	1,6193		18,7	
				W	1,8020	1,7106		
				L	2,2272			16,4
				L	2,0981	2,1626		
				W	1,9091		14,0	
				W	1,8104	1,8598		
	B 80 PCK	100	0,2	L	2,6147			
				L	2,7223	2,6685		
				W	3,0080		-13,0	
				W	3,0252	3,0166		
				L	2,7122			-15,3
				L	2,5012	2,6067		
				W	3,0936		-17,6	
				W	3,0363	3,065		
		97	4,7	L	2,0795			
				L	2,1181	2,0988		
				W	1,8948		6,8	
				W	2,0172	1,9560		
				L	1,9644			2,4
				L	1,9311	1,9478		
				W	1,9664		-2,0	
				W	2,0052	1,9858		
		94	6,9	L	1,8325			
				L	1,9763	1,9044		
				W	1,6471		14,5	
				W	1,6095	1,6283		
				L	1,8258			15,8
				L	1,7693	1,7976		
				W	1,5055		17,1	
				W	1,4758	1,4907		

Tabelle A.G.1 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Gabbro	PmB 65 A elf	100	0,0	L	2,8972		-8,4	0,0
				L	2,7502	2,8237		
				W	3,0594			
				W	3,0604	3,0599		
				L	2,8781		8,3	
				L	2,9355	2,9068		
				W	2,3704			
				W	2,9605	2,6654		
		97	2,2	L	2,1382		-6,3	12,1
				L	2,2097	2,1740		
				W	2,4437			
				W	2,1794	2,3116		
				L	2,9024		30,5	
				L	3,0653	2,9839		
				W	1,7805			
				W	2,3691	2,0748		
		94	5,6	L	1,9515		10,5	9,8
				L	2,1923	2,0719		
				W	1,8504			
				W	1,8590	1,8547		
				L	1,9526		9,1	
				L	2,1224	2,0375		
				W	1,8486			
				W	1,8542	1,8514		

Tabelle A.G.1: **Spaltzugfestigkeiten** von **Asphaltbetonen 0/11 L** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte, dem Hohlraumgehalt und der Lagerungsart in Luft (L) oder in Wasser (W) sowie Spaltzugfestigkeitsabfälle, jeweils als Einzelwerte und Mittelwerte
hier: Mineralstoffart **Gabbro**

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Gabbro	B 65 Shell	100	1,2	L	2,4942 [6]		-9,1	-6,0
				L	2,7122 [6]	2,6032		
				W	2,8344			
				W	2,8437	2,8390		
				L	2,9584 [6]		-2,8	
				L	2,8614 [6]	2,9099		
				W	2,9959			
				W	2,9865	2,9912		
		97	3,4	L	2,3348 [6]		8,7	12,1
				L	2,8460 [6]	2,5904		
				W	2,4258			
				W	2,3023	2,3640		
				L	2,6911 [6]		15,5	
				L	2,5506 [6]	2,6208		
				W	2,2607			
				W	2,1701	2,2154		
		94	5,0	L	1,9400 [6]		2,3	10,8
				L	1,8017 [6]	1,8708		
				W	1,7018			
				W	1,9524	1,8271		
				L	2,0886 [6]		19,4	
				L	2,0661 [6]	2,0774		
				W	1,7285			
				W	1,6223	1,6754		
	B 80 Shell	100	0,9	L	1,9111 [6]		-14,2	-9,7
				L	2,0651 [6]	1,9881		
				W	2,2301			
				W	2,3126	2,2714		
				L	(1,7280) [4]		-5,2	
				L	2,3512 [6]	2,3512		
				W	(2,0789) [4]			
				W	2,4726	2,4726		
		97	2,4	L	1,9328		-1,4	4,4
				L	2,1832	2,0580		
				W	2,1777			
				W	1,9938	2,0858		
				L	2,1612		10,1	
				L	2,0854	2,1233		
				W	1,9141			
				W	1,9041	1,9091		
		94	6,2	L	(1,3810) [2]		11,4	11,8
				L	2,0567	2,0567		
				W	1,7652			
				W	1,8798	1,8225		
				L	2,1744		12,3	
				L	1,8704	2,0224		
				W	1,7042			
				W	1,8421	1,7732		

[2] Höhe des Marshall-Probekörpers weicht deutlich ab
[4] Marshall-Probekörper wurde einen Monat nach Herstellung geprüft
[6] Raumdichtebestimmung durch Tauchwägung an luftgelagerten Marshall-Probekörpern

Tabelle A.G.2 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Gabbro	B 65 PCK	100	2,3	L	2,7665		-1,4	-5,0
				L	2,7045	2,7355		
				W	2,6491			
				W	2,8974	2,7732		
				L	2,8460		-8,6	
				L	2,5485	2,6972		
				W	2,9262			
				W	2,9314	2,9288		
		97	5,0	L	2,3191		11,2	6,0
				L	2,5040	2,4116		
				W	1,9440			
				W	2,3379	2,1410		
				L	2,4042		0,8	
				L	2,2319	2,3180		
				W	2,4199			
				W	2,1786	2,2992		
		94	8,8	L	2,1381		18,3	18,8
				L	2,3900	2,2640		
				W	1,8508 [7]			
				W	1,8508 [7]	1,8508		
				L	2,3406		19,2	
				L	2,1485	2,2446		
				W	1,6511 [7]			
				W	1,9765 [7]	1,8138		
	B 80 PCK	100	2,1	L	2,7172		-5,0	-3,6
				L	2,6184	2,6678		
				W	2,7850			
				W	2,8176	2,8013		
				L	2,7282		-2,3	
				L	2,3598	2,5440		
				W	2,5922			
				W	2,6106	2,6014		
		97	4,9	L	2,2521		-0,2	5,6
				L	2,0678	2,1600		
				W	2,1918			
				W	2,1387	2,1653		
				L	2,1389		11,4	
				L	2,2977	2,2183		
				W	1,9449			
				W	1,9841	1,9645		
		94	7,5	L	1,7156		3,5	3.2
				L	1,7283	1,722		
				W	1,6311			
				W	1,6933	1,6622		
				L	1,8310		3,0	
				L	1,7528	1,7919		
				W	1,8190			
				W	1,6575	1,7382		

[7] Marshall-Probekörper lagen drei Tage im Wärmebad

Tabelle A.G.2 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Gabbro	PmB 65 A elf	100	2,2	L	1,9035		-11,1	-8,5
				L	2,0792	1,9914		
				W	2,2928			
				W	2,1317	2,2123		
				L	2,1447		-5,9	
				L	2,1223	2,1335		
				W	2,2763			
				W	2,2434	2,2599		
		97	5,2	L	1,8196		-1,4	-0,2
				L	1,8296	1,8246		
				W	1,9352			
				W	1,7662	1,8507		
				L	1,8929		0,9	
				L	1,7331	1,8130		
				W	1,7550			
				W	1,8366	1,7958		
		94	6,7	L	1,8332		16,7	10,9
				L	1,9310	1,8821		
				W	1,5708			
				W	1,5635	1,5671		
				L	1,8336		5,1	
				L	1,7306	1,7821		
				W	1,8610			
				W	1,5198	1,6904		

Tabelle A.G.2: **Spaltzugfestigkeiten** von **Splittmastixasphalten 0/11 S** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte, dem Hohlraumgehalt und der Lagerungsart in Luft (L) oder in Wasser (W) sowie Spaltzugfestigkeitsabfälle, jeweils als Einzelwerte und Mittelwerte hier: Mineralstoffart **Gabbro**

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Gabbro	B 65 Shell	100	3,4	L	2,2083		-2,2	0,4
				L	2,4333	2,3208		
				W	2,5183			
				W	2,2249	2,3716		
				L	2,2225		3,0	
				L	2,2473	2,2349		
				W	2,1604			
				W	2,1770	2,1687		
		97	5,7	L	1,7928		17,2	10,6
				L	2,15547	1,9738		
				W	1,5552			
				W	1,7122	1,6337		
				L	2,1582		4,0	
				L	1,8913	2,0248		
				W	1,9848			
				W	1,9030	1,9439		
		94	7,7	L	1,5611		16,9	13,3
				L	1,5880	1,5746		
				W	1,3336			
				W	1,2831	1,3084		
				L	1,4505		9,7	
				L	1,5258	1,4882		
				W	1,3881			
				W	1,2985	1,3433		
	B 80 Shell	100	3,8	L	3,0123		4,7	5,0
				L	3,5467	3,2795		
				W	3,0890			
				W	3,1603	3,1246		
				L	3,4433		5,3	
				L	3,2023	3,3228		
				W	3,2366			
				W	3,0539	3,1452		
		97	6,4	L	2,5092		4,6	9,5
				L	2,7095	2,6094		
				W	2,2683			
				W	2,7104	2,4894		
				L	2,9523		14,4	
				L	2,6140	2,7832		
				W	2,3645			
				W	2,4019	2,3832		
		94	8,5	L	2,2579		18,8	9,5
				L	2,4903	2,3741		
				W	2,0796			
				W	1,7763	1,9280		
				L	1,6968		0,2	
				L	2,4178	2,0573		
				W	1,8816			
				W	2,2265	2,0540		

Tabelle A.G.3 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Gabbro	B 65 PCK	100	5,4	L	2,8777			
				L	2,8732	2,8754		
				W	2,3496		18,1	
				W	2,3591	2,3544		
				L	3,0232			21,4
				L	2,7223	2,8727		
				W	2,2788		24,7	
				W	2,0471	2,1630		
		97	7,5	L	2,2676			
				L	2,3289	2,2982		
				W	2,0763		13,7	
				W	1,8921	1,9842		
				L	2,2526			15,7
				L	1,5320	1,8923		
				W	1,4956		17,7	
				W	1,6184	1,5570		
		94	10,7	L	2,0418			
				L	1,9476	1,9947		
				W	1,3733		30,3	
				W	1,4061	1,3897		
				L	1,8546			30,4
				L	1,6620	1,7583		
				W	1,2210		30,6	
				W	-	1,2210		
	B 80 PCK	100	5,0	L*	3,2302			
				L*	3,2193	3,2248		
				W	2,5428		24,4	
				W	2,3314	2,4371		
				L*	3,1820			23,2
				L*	2,6864	2,9342		
				W	2,2811		21,9	
				W	2,3040	2,2925		
		97	7,4	L	1,8524			
				L	2,3977	2,125		
				W	1,6857		18,5	
				W	1,7776	1,7317		
				L	2,3766			19,4
				L	2,2332	2,3049		
				W	1,8420		20,4	
				W	1,8252	1,8336		
		94	9,6	L	1,6359			
				L	1,7419	1,6889		
				W	1,3744		17,6	
				W	1,4078	1,3911		
				L	1,5977			20,6
				L	1,8585	1,7281		
				W	1,5378		23,5	
				W	1,1066	1,3222		

Tabelle A.G.3 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Gabbro	PmB 65 A elf	100	4,4	L	2,1643			
				L	2,1325	2,1484		
				W	2,0239		4,2	
				W	2,0931	2,0585		
				L	2,0474			0,6
				L	1,9355	1,9915		
				W	2,1442		-3,0	
				W	1,9598	2,0520		
		97	5,9	L	1,7938			
				L	1,9446	1,8692		
				W	1,8984		-1,4	
				W	1,8935	1,8960		
				L	1,8843			1,4
				L	1,7597	1,8220		
				W	1,9752		4,1	
				W	1,5191	1,7472		
		94	9,0	L	1,4411			
				L	1,6062	1,5236		
				W	1,3166		15,0	
				W	1,2742	1,2954		
				L	1,5529			7,6
				L	1,5012	1,5271		
				W	1,2868		0,3	
				W	1,7578	1,5223		

Tabelle A.G.3: **Spaltzugfestigkeiten** von **Asphaltbindern 0/16** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte, dem Hohlraumgehalt und der Lagerungsart in Luft (L) oder in Wasser (W) sowie Spaltzugfestigkeitsabfälle, jeweils als Einzelwerte und Mittelwerte
hier: Mineralstoffart **Gabbro**

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Gabbro	B 65 Shell	100	3,6	L	3,6229			
				L	3.6511	3,6370		
				W	2,9029 [8]		16,9	
				W	3,1424 [8]	3,0226		
				L	3,2731			15,2
				L	2,3652	3,2731		
				W	2,8126 [8]		13,5	
				W	2,8488 [8]	2,8370		
		97	5,3	L	2,4637			
				L	2,2136	2,3386		
				W	2,1180		-0,8	
				W	2,5973	2,3576		
				L	2,5650			4,6
				L	2,6668	2,6159		
				W	2,4311		10,1	
				W	2,2718	2,3514		
		94	7,4	L	2,5815			
				L	2,7220	2,6518		
				W	2,4526 [7]		8,7	
				W	2,3904 [7]	2,4215		
				L	2,3162			10,4
				L	2,3256	2,3209		
				W	2,2177 [7]		12,0	
				W	1,8664 [7]	2,0420		
	B 80 Shell	100	2,8	L	2,4293			
				L	2,3368	2,3830		
				W	2,5299		3,5	
				W	2,0678	2,2988		
				L	2,7530			10,8
				L	2,6008	2,6769		
				W	2,0960		18,1	
				W	2,2874	2,1917		
		97	4,7	L	2,2070			
				L	2,2906	2,2488		
				W	2,0055		5,3	
				W	2,2518	2,1286		
				L	2,0839			9,4
				L	2,6264	2,3552		
				W	1,7971		13,6	
				W	2,2724	2,0348		
		94	7,1	L	1,7156			
				L	1,7494	1,7325		
				W	1,3684		17,2	
				W	1,5023	1,4354		
				L	1,2616			11,8
				L	1,6379	1,4498		
				W	-		6,3	
				W	1,3587	1,3587		

[7] Marshall-Probekörper lagen drei Tage im Wärmebad
[8] Marshall-Probekörper lagen eine Woche im Kühlschrank

Tabelle A.G.4 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Gabbro	B 65 PCK	100	4,1	L	2,6159			
				L	3,1515	2,8837		
				W	2,9034		-0,1	
				W	2,8672	2,8853		
				L	2,6279			1,2
				L	2,3495	2,4887		
				W	2,5056		2,5	
				W	2,3486	2,4271		
		97	6,5	L	2,2496			
				L	2,4088	2,3292		
				W	2,1225		10,6	
				W	2,0419	2,0822		
				L	2,6078			16,0
				L	2,3901	2,4989		
				W	2,2431		21,4	
				W	1,6868	1,9650		
		94	7,6	L	1,9271			
				L	2,0112	1,9692		
				W	1,8862		13,9	
				W	1,5044	1,6953		
				L	1,9994			10,6
				L	1,6734	1,8364		
				W	1,8240		7,3	
				W	1,5808	1,7024		
	B 80 PCK	100	4,4	L	2,9999			
				L	2,7166	2,8583		
				W	2,6122		3,3	
				W	2,9152	2,7637		
				L	2,9712			9,4
				L	2,4424	2,7068		
				W	2,8939		15,6	
				W	1,6748	2,2843		
		97	7,4	L	1,6929			
				L	2,0510	1,8720		
				W	1,2368		23,7	
				W	1,6195	1,4282		
				L	1,9846			7,8
				L	1,9307	1,9577		
				W	2,2132		-8,1	
				W	2,0206	2,1169		
		94	8,7	L	1,3850			
				L	2,0679	1,7264		
				W	1,5660		8,5	
				W	1,5918	1,5789		
				L	1,3175			6,2
				L	1,9747	1,6461		
				W	1,6466		3,8	
				W	1,5213	1,5840		

Tabelle A.G.4 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Gabbro	PmB 65 A elf	100	3,4	L	3,2386		3,1	-6,8
				L	2,6097	2,9242		
				W	2,8285 [7]			
				W	2,8389 [7]	2,8337		
				L	2,3381		-16,6	
				L	2,7129	2,5255		
				W	3,0819 [7]			
				W	2,8083 [7]	2,9451		
		97	5,7	L	1,6475		4,2	-2,8
				L	1,9439	1,7957		
				W	1,6494			
				W	1,7895	1,7195		
				L	(1,4368) [2]		-9,9	
				L	1,6390	1,6390		
				W	1,7700			
				W	1,8340	1,8020		
		94	6,2	L	2,6017		16,8	17,8
				L	2,4422	1,7957		
				W	1,9365			
				W	2,2605	1,7195		
				L	2,6070		18,9	
				L	2,5785	1,5379		
				W	2,0296			
				W	2,1766	1,8020		

[2] Höhe des Marshall-Probekörpers weicht deutlich ab
[7] Marshall-Probekörper lagen drei Tage im Wärmebad

Tabelle A.G.4: **Spaltzugfestigkeiten** von **Asphaltbindern 0/22** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte, dem Hohlraumgehalt und der Lagerungsart in Luft (L) oder in Wasser (W) sowie Spaltzugfestigkeitsabfälle, jeweils als Einzelwerte und Mittelwerte
hier: Mineralstoffart **Gabbro**

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Gabbro	B 65 Shell	100	4,1	L	1,9928			
				L	1,8083	1,9006		
				W	1,4792		19,1	
				W	1,5954	1,5373		
				L	1,6063			10,6
				L	1,7832	1,6948		
				W	1,7048		2,2	
				W	1,6114	1,6581		
		97	6,5	L	2,5299			
				L	2,2252	2,3776		
				W	1,8145		22,1	
				W	1,8901	1,8528		
				L	2,4797			20,0
				L	2,6024	2,5410		
				W	2,0550		17,9	
				W	2,1179	2,0864		
		94	8,5	L	(1,3100) [2]			
				L	2,1936	2,1936		
				W	1,2826		40,5	
				W	1,3293	1,3060		
				L	1,9487			32,6
				L	2,1952	2,0720		
				W	1,5665		24,7	
				W	1,5557	1,5611		
	B 80 Shell	100	4,5	L	2,3378			
				L	2,8957	2,6168		
				W	2,2030		22,6	
				W	1,8469	2,0249		
				L	2,5626			14,4
				L	2,3748	2,4687		
				W	2,5209		6,1	
				W	2,1171	2,3190		
		97	6,7	L	1,5230			
				L	2,1957	1,8594		
				W	1,3127		27,0	
				W	1,4027	1,3577		
				L	1,9960			24,2
				L	1,8022	1,8991		
				W	1,6618		21,4	
				W	1,3218	1,4918		
		94	9,3	L	1,2890			
				L	1,3790	1,3340		
				W	1,1371		16,5	
				W	1,0897	1,1134		
				L	1,2485			20,4
				L	1,3897	1,3191		
				W	1,0090		24,4	
				W	0,9852	0.9971		

[2] Höhe des Marshall-Probekörpers weicht deutlich ab

Tabelle A.G.5 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Gabbro	B 65 PCK	100	5,3	L	3,1139		28,4	28,9
				L	2,9091	3,0115		
				W	2,4497			
				W	1,8647	2,1572		
				L	3,1538		29,4	
				L	3,3250	3,2394		
				W	1,9282			
				W	2,6465	2,2874		
		97	8,0	L	2,6609		58,8	49,2
				L	2,6019	2,6314		
				W	1,2457			
				W	0,9213	1,0835		
				L	2,1490		39,6	
				L	2,2257	2,1873		
				W	1,0954			
				W	1,5457	1,3205		
		94	11,0	L	1,8286		42,3	47,8
				L	1,7022	1,7654		
				W	1,0762			
				W	0,9624	1,0193		
				L	1,6038		53,2	
				L	1,8432	1,7235		
				W	0,9474			
				W	0,6654	0,8064		
	B 80 PCK	100	5,9	L	2,7579		55,3	49,5
				L	3,1673	2,9626		
				W	1,1128			
				W	1,5341	1,3235		
				L	3,7475		43,7	
				L	3,3182	3,5329		
				W	2,0059			
				W	1,9754	1,9907		
		97	7,8	L	2,6720		53,8	38,0
				L	2,5028	2,5874		
				W	1,5488			
				W	0,8431	1,1959		
				L	2,1733		22,3	
				L	2,2806	2,2270		
				W	1,4841			
				W	1,9754	1,7298		
		94	10,1	L	1,6882		48,9	47,6
				L	2,0346	1,8614		
				W	0,9417			
				W	0,9620	0,9519		
				L	2,0318		46,2	
				L	1,2500	1,6409		
				W	0,9794			
				W	0,7872	0,8833		

Tabelle A.G.5 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Gabbro	PmB 65 A elf	100	5,5	L	2,3347			
				L	2,6786	2,5067		
				W	1,7240		17,6	
				W	2,4084	2,0662		
				L	2,4577			23,5
				L	2,6920	2,5749		
				W	1,1826		29,4	
				W	2,4519	1,8173		
		97	7,8	L	1,9606			
				L	2,2726	2,1166		
				W	1,5857		27,3	
				W	1,4933	1,5395		
				L	2,0531			24,8
				L	1,3414	1,6973		
				W	1,5578		22,3	
				W	1,0800	1,3189		
		94	10,4	L	1,3033			
				L	1,5008	1,4021		
				W	0,9911		39,1	
				W	0,7154	0,8533		
				L	1,2398			25,4
				L	1,4308	1,3353		
				W	(2,0982) [2)]		11,8	
				W	1,1784	1,1784		

[2)] Höhe des Marshall-Probekörpers weicht deutlich ab

Tabelle A.G.5: **Spaltzugfestigkeiten** von **Asphalttragschichtmaterial 0/22 der Mischgutart C** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte, dem Hohlraumgehalt und der Lagerungsart in Luft (L) oder in Wasser (W) sowie Spaltzugfestigkeitsabfälle, jeweils als Einzelwerte und Mittelwerte
hier: Mineralstoffart **Gabbro**

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Oolith	B 65 Shell	100	0,0	L	3,4686			
				L	3,6465	3,5576		
				W	3,4581		4,6	
				W	3,3318	3,3949		
				L	3,4043			3,8
				L	3,3616	3,383		
				W	3,1860		3,1	
				W	3,3676	3,2768		
		97	2,1	L	3,1309			
				L	3,1474	3,1391		
				W	2,8373		12,3	
				W	2,6680	2,7527		
				L	3,2585			13,4
				L	3,1288	3,1936		
				W	2,6703		14,5	
				W	2,7929	2,7316		
		94	4,7	L	2,7447			
				L	2,6543	2,6995		
				W	2,0439		22,8	
				W	2,1229	2,0834		
				L	2,6951			19,6
				L	2,6608	2,678		
				W	2,2484		16,3	
				W	2,2368	2,2426		
	B 80 Shell	100	0,0	L	2,1309			
				L	2,2015	2,1622		
				W	2,2793		-6,0	
				W	2,3119	2,2956		
				L	2,2217			-7,3
				L	2,1634	2,1926		
				W	2,3707		-8,6	
				W	2,3919	2,3813		
		97	2,1	L	2,1991			
				L	2,2279	2,2135		
				W	2,0420		6,3	
				W	2,1050	2,0735		
				L	2,0592			7,0
				L	2,1241	2,0917		
				W	1,9615		7,6	
				W	1,9047	1,9331		
		94	4,2	L	1,9967			
				L	2,1544	2,0755		
				W	1,4450		28,2	
				W	1,5365	1,4908		
				L	2,1773			26,4
				L	2,1098	2,1435		
				W	1,5763		24,7	
				W	1,6502	1,6132		

Tabelle A.O.1 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Oolith	B 65 PCK	100	0,0	L	3,4239			
				L	3,4793	3,4516		
				W	3,1527		10,2	
				W	3,0451	3,0989		
				L	3,4924			13,4
				L	3,5606	3,5265		
				W	2,9578		16,7	
				W	2,9181	2,9379		
		97	1,9	L	2,8896			
				L	3,0699	2,9798		
				W	2,3775		23,6	
				W	2,1755	2,2765		
				L	2,9445			21,4
				L	2,8828	2,9137		
				W	2,3367		19,2	
				W	2,3695	2,3531		
		94	4,5	L	2,7611			
				L	2,6938	2,7275		
				W	1,6283		37,1	
				W	1,8009	1,7146		
				L	2,8034			35,7
				L	2,6928	2,7481		
				W	1,7674		34,3	
				W	1,8418	1,8046		
	B 80 PCK	100	0,0	L	2,6649			
				L	2,8997	2,7823		
				W	2,6818		2,0	
				W	2,7701	2,726		
				L	2,6489			-0,4
				L	2,6903	2,6696		
				W	2,7636		-2,9	
				W	2,7295	2,7466		
		97	1,8	L	2,7665			
				L	2,7731	2,7698		
				W	1,4949		30,8	
				W	2,3361	1,9155		
				L	2,6260			20,4
				L	2,5709	2,5984		
				W	2,3137		10,1	
				W	2,3575	2,3356		
		94	2,6	L	2,6227			
				L	2,9102	2,7664		
				W	1,8746		33,3	
				W	1,8143	1,8445		
				L	2,7537			30,8
				L	2,4785	2,6161		
				W	1,9659		28,4	
				W	1,7819	1,8739		

Tabelle A.O.1 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Oolith	PmB 65 A elf	100	0,0	L	2,4243			
				L	2,4900	2,4572		
				W	2,3054		8,1	
				W	2,2091	2,2573		
				L	2,5547			11,2
				L	2,5826	2,5686		
				W	2,2095		14,2	
				W	2.1990	2,2043		
		97	1,6	L	2,0867			
				L	2,0887	2,0877		
				W	1,9008		7,2	
				W	1,9733	1,9371		
				L	2,1492			11,0
				L	2,2264	2,1878		
				W	1,9397		14,7	
				W	1,7948	1,8672		
		94	3,0	L	1,9094			
				L	2,1335	2,0215		
				W	1,6939		16,0	
				W	1,7016	1,6978		
				L	2,1538			20,3
				L	2,2522	2,2030		
				W	1,7676		24,6	
				W	1,5556	1,6616		

Tabelle A.O.1: **Spaltzugfestigkeiten** von **Asphaltbetonen 0/11 L** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte, dem Hohlraumgehalt und der Lagerungsart in Luft (L) oder in Wasser (W) sowie Spaltzugfestigkeitsabfälle, jeweils als Einzelwerte und Mittelwerte
hier: Mineralstoffart **Oolith**

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Oolith	B 65 Shell	100	1,8	L	3,1224			
				L	3,0830	3,1027		
				W	2,6290		24,2	
				W	2,0759	2,3525		
				L	3,0500			19,3
				L	2,9721	3,0111		
				W	2,6290		14,4	
				W	2,5282	2,5786		
		97	3,9	L	2,3790			
				L	2,6336	2,5063		
				W	2,2468		4,8	
				W	2,5276	2,3872		
				L	2,5584			5,4
				L	2,3452	2,4518		
				W	2,3575		5,9	
				W	2,2590	2,3082		
		94	7,7	L	1,7783			
				L	1,7196	1,7409		
				W	1,4156		12,6	
				W	1,6414	1,5285		
				L	1,7785			9,4
				L	1,5328	1,6556		
				W	1,5631		6,2	
				W	1,5419	1,5525		
	B 80 Shell	100	1,1	L	2,1845			
				L	1,1405	2,1625		
				W	1,8760		10,6	
				W	1,9909	1,9334		
				L	2,1565			9,6
				L	2,0941	2,1253		
				W	1,8919		8,6	
				W	1,9912	1,9416		
		97	3,6	L	1,8874			
				L	1,8925	1,8900		
				W	1,7317		6,8	
				W	1,7895	1,7606		
				L	1,8281			4,4
				L	1,8292	1,8287		
				W	1,7858		1,9	
				W	1,8004	1,7931		
		94	6,5	L	1,4929			
				L	1,5426	1,5177		
				W	(1,5944) [2]		7,0	
				W	1,4121	1,4121		
				L	1,5498			4,9
				L	1,6045	1,5772		
				W	1,5617		2,8	
				W	1,5045	1,5331		

[2] Höhe des Marshall-Probekörpers weicht deutlich ab

Tabelle A.O.2 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Oolith	B 65 PCK	100	1,5	L	2,9195		9,4	6,4
				L	2,6754	2,7975		
				W	2,5006			
				W	2,5689	2,5347		
				L	2,8823		3,4	
				L	2,8593	2,8708		
				W	2,7870			
				W	2,7594	2,7732		
		97	3,8	L	2,5219		26,6	24,0
				L	2,6895	2,6057		
				W	1,8769			
				W	1,9487	1,9128		
				L	2,5901		21,5	
				L	2,7087	2,6494		
				W	1,9297			
				W	2,2295	2,0796		
		94	7,0	L	2,3886		38,5	37,4
				L	2,3213	2,3549		
				W	1,5070			
				W	1,3919	1,4494		
				L	2,4341		36,3	
				L	2,2297	2,3319		
				W	1,3944			
				W	1,5757	1,4851		
	B 80 PCK	100	1,1	L	2,7445		10,9	11,0
				L	2,6297	2,6871		
				W	2,3727			
				W	2,4152	2,394		
				L	2,6664		11,2	
				L	2,4946	2,5805		
				W	2,1784			
				W	2,4029	2,2906		
		97	2,4	L	2,4568		21,1	21,8
				L	2,5485	2,5027		
				W	2,0202			
				W	1,9302	1,9752		
				L	2,5404		22,6	
				L	2,4425	2,4915		
				W	1,9560			
				W	1,9018	1,9289		
		94	6,1	L	1,8050		21,9	25,2
				L	1,9706	1,8878		
				W	1,4928			
				W	1,4573	1,4750		
				L	2,0847		28,4	
				L	1,9450	2,0149		
				W	1,5916			
				W	1,2941	1,4428		

Tabelle A.O.2 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Oolith	PmB 65 A elf	100	1,4	L	2,5930		12,7	10,5
				L	2,4056	2,4993		
				W	2,2041			
				W	2,1572	2,1807		
				L	2,2726		8,3	
				L	2,2884	2,2805		
				W	2,0903			
				W	2,0924	2,0914		
		97	4,0	L	2,0271		28,4	24,0
				L	2,0201	2,0236		
				W	1,5001			
				W	1,3988	1,4495		
				L	1,9345		19,5	
				L	1,9141	1,9243		
				W	1,5303			
				W	1,5682	1,5493		
		94	5,7	L	1,5610		21,6	22,8
				L	1,7758	1,6684		
				W	1,3563			
				W	1,2604	1,3083		
				L	1,7131		23,9	
				L	1,7385	1,7258		
				W	1,3206			
				W	1,3055	1,3131		

Tabelle A.O.2: **Spaltzugfestigkeiten** von **Splittmastixasphalten 0/11 S** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte, dem Hohlraumgehalt und der Lagerungsart in Luft (L) oder in Wasser (W) sowie Spaltzugfestigkeitsabfälle, jeweils als Einzelwerte und Mittelwerte hier: Mineralstoffart **Oolith**

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Oolith	B 65 Shell	100	3,2	L	3,2862			
				L	3,2212	3,2537		
				W	2,8457		14,5	
				W	2,7213	2,7835		
				L	3,5832			15,7
				L	3,3798	3,4815		
				W	3,0425		16,9	
				W	2,7445	2,8935		
		97	5,6	L	2,6317			
				L	2,7380	2,6849		
				W	2,1441		19,8	
				W	2,1606	2,1524		
				L	2,7628			22,1
				L	2,8260	2,7944		
				W	2,2998		24,4	
				W	1,9233	2,1115		
		94	9,1	L	1,8795			
				L	2,0473	1,9634		
				W	1,3224		28,4	
				W	1,4897	1,4061		
				L	2,1416			34,2
				L	2,3153	2,3153		
				W	1,3551		39,9	
				W	1,4270	1,3910		
	B 80 Shell	100	4,3	L	2,7262			
				L	2,8039	2,7651		
				W	2,4413		21,5	
				W	1,9016	2,1715		
				L	2,7294			21,8
				L	2,6559	2,6927		
				W	2,1210		22,0	
				W	2,0813	2,1012		
		97	6,0	L	1,5854			
				L	2,4162	2,0008		
				W	1,6678		16,4	
				W	1,6786	1,6732		
				L	2,1549			17,2
				L	2,2119	2,1834		
				W	1,9335		18,0	
				W	1,6484	1,7910		
		94	9,8	L	1,6601			
				L	1,5888	1,6244		
				W	1,3724		20,2	
				W	1,2209	1,2967		
				L	1,4135			27,6
				L	1,5257	1,4696		
				W	0,9963		35,1	
				W	0,9117	0,9540		

Tabelle A.O.3 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Oolith	B 65 PCK	100	3,5	L	2,5994			
				L	2,7844	2,6919		
				W	2,0703		25,2	
				W	1,9581	2,0142		
				L	2,8216			25,0
				L	3,1894	3,1894		
				W	2,0526		24,9	
				W	2,4632	2,2579		
		97	7,2	L	2,5643			
				L	2,1076	2,3360		
				W	1,3105		48,0	
				W	1,1173	1,2139		
				L	2,3302			50,0
				L	2,6512	2,4907		
				W	1,1069		51,9	
				W	1,2871	1,1970		
		94	9,2	L	2,1726			
				L	2,0541	2,1134		
				W	1,0677		47,1	
				W	1,1667	1,1172		
				L	1,6564			47,2
				L	1,8246	1,7405		
				W	0,7534		47,2	
				W	1,0851	0,9192		
	B 80 PCK	100	3,3	L	2,7383			
				L	3,1076	2,9230		
				W	1,9787		34,4	
				W	1,8579	1,9183		
				L	2,9487			34,5
				L	2,9216	2,9352		
				W	2,0581		34,6	
				W	1,7784	1,9183		
		97	6,4	L	2,4129			
				L	2,7391	2,576		
				W	1,2896		48,4	
				W	1,3674	1,3285		
				L	2,2417			46,5
				L	2,5665	2,4041		
				W	1,3833		44,6	
				W	1,2816	1,3325		
		94	9,2	L	1,5126			
				L	1,9344	1,7235		
				W	0,8757		49,0	
				W	0,8818	0,8788		
				L	1,6552			49,0
				L	1,6827	1,669		
				W	0,7487		49,0	
				W	0,9551	0,8519		

Tabelle A.O.3 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Oolith	PmB 65 A elf	100	2,8	L	3,4921		24,6	28,4
				L	3,4278	3,4600		
				W	2,6463			
				W	2,5732	2,6098		
				L	3,4210		32,3	
				L	3,0938	3,2574		
				W	2,2979			
				W	2,1128	2,2054		
		97	5,8	L	2,6672		31,0	32,0
				L	2,6253	2,6463		
				W	1,9501			
				W	1,7043	1,8272		
				L	2,4855		33,0	
				L	2,9592	2,7224		
				W	1,7809			
				W	1,8658	1,8234		
		94	8,0	L	1,9715 [5)]		34,8	35,1
				L	1,9516 [5)]	1,9615		
				W	1,0762			
				W	1,4830	1,2796		
				L	1,7998 [5)]		35,4	
				L	2,0693	1,9346		
				W	1,3446			
				W	1,1552	1,2499		

[5)] Marshall-Probekörper sind feucht geworden

Tabelle A.O.3: **Spaltzugfestigkeiten** von **Asphaltbindern 0/16** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte, dem Hohlraumgehalt und der Lagerungsart in Luft (L) oder in Wasser (W) sowie Spaltzugfestigkeitsabfälle, jeweils als Einzelwerte und Mittelwerte
hier: Mineralstoffart **Oolith**

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Oolith	B 65 Shell	100	3,2	L	3,4016		12,6	20,0
				L	3,3595	3,3806		
				W	2,9297			
				W	2,8785	2,9560		
				W	3,0597			
				L	3,3341	3,3341	27,3	
				W	2,6190			
				W	2,2304	2,4247		
		97	5,5	L	2,2815		3,5	6,3
				L	2,4575	2,3695		
				W	2,1955			
				W	2,3796	2,2876		
				L	2,4513		9,1	
				L	2,2604	2,3559		
				W	2,0764			
				W	2,2063	2,1414		
		94	8,4	L	1,4851		13,5	23,4
				L	1,7385	1,6118		
				W	1,2887			
				W	1,4996	1,3942		
				L	1,7481		33,3	
				L	1,8566	1,8028		
				W	1,1769			
				W	1,2279	1,2024		
	B 80 Shell	100	2,7	L	2,6770		27,2	19,9
				L	2,9986	2,8378		
				W	2,2243			
				W	1,9070	2,0656		
				L	3,0879		12,6	
				L	2,4213	2,7546		
				W	2,2011			
				W	2,6143	2,4077		
		97	5,0	L	2,0744		11,9	15,3
				L	1,7878	1,9311		
				W	1,7417			
				W	1,6595	1,7006		
				L	2,1103		18,7	
				L	1,5500	1,8302		
				W	1,4353			
				W	1,5409	1,4881		
		94	7,2	L	1,3907		25,8	18,0
				L	1,8708	1,6307		
				W	1,1990			
				W	1,2195	1,2092		
				L	1,6930		10,3	
				L	1,4743	1,5837		
				W	1,3974			
				W	1,4429	1,4202		

Tabelle A.O.4 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Oolith	B 65 PCK	100	3,1	L	2,9986			
				L	3,1275	3,0631		
				W	2,4107		26,7	
				W	2,0802	2,2455		
				L	3,3172			28,0
				L	2,8326	3,0749		
				W	2,0405		29,2	
				W	2,3138	2,1772		
		97	6,9	L	1,9540			
				L	2,3941	2,1740		
				W	1,7424		21,6	
				W	1,6650	1,7037		
				L	2,4047			23,8
				L	2,6916	2,5482		
				W	1,7991		25,9	
				W	1,9793	1,8892		
		94	7,0	L	1,8230			
				L	1,9220	1,8725		
				W	0,9266		48,9	
				W	0,9871	0,9569		
				L	1,7820			41,6
				L	1,7336	1,7578		
				W	1,1488		34,4	
				W	1,1579	1,1534		
	B 80 PCK	100	3,1	L	2,8284			
				L	3,0166	2,9225	21,6	
				W	2,7249			
				W	1,8561	2,2905		
				L	2,8263			35,2
				L	3,0354	2,9308	48,7	
				W	0,9402			
				W	2,0643	1,5022		
		97	6,2	L	1,8654			
				L	2,0886	1,9770		
				W	0,8523		34,1	
				W	1,7548	1,3036		
				L	2,5995			40,6
				L	2,0027	2,3011		
				W	1,0682		47,0	
				W	1,3701	1,2191		
		94	7,4	L	2,1424			
				L	1,8272	1,9848		
				W	1,1191		39,4	
				W	1,2881	1,2036		
				L	1,5635			34,4
				L	1,4828	1,5231		
				W	(0,6064) [2]		29,4	
				W	1,0747	1,0747		

[2] Höhe des Marshall-Probekörpers weicht deutlich ab

Tabelle A.O.4 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Oolith	PmB 65 A elf	100	2,7	L	2,6049		22,0	15,6
				L	2,1947	2,3998		
				W	1,8108			
				W	1,9333	1,8721		
				L	2,4129		9,2	
				L	2,3998	2,4063		
				W	2,2977			
				W	2,0713	2,1845		
		97	5,4	L	1,7707		2,2	3,0
				L	1,8867	1,8287		
				W	1,7320			
				W	1,8432	1,7876		
				L	1,8404		3,9	
				L	1,8404	1,8404		
				W	1,6305			
				W	1,9067	1,7686		
		94	7,7	L	1,4063		8,7	10,4
				L	1,5676	1,4870		
				W	1,5035			
				W	1,2106	1,3571		
				L	1,4382		12,1	
				L	1,7012	1,5697		
				W	1,3513			
				W	1,4077	1,3795		

Tabelle A.O.4: **Spaltzugfestigkeiten** von **Asphaltbindern 0/22** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte, dem Hohlraumgehalt und der Lagerungsart in Luft (L) oder in Wasser (W) sowie Spaltzugfestigkeitsabfälle, jeweils als Einzelwerte und Mittelwerte
hier: Mineralstoffart **Oolith**

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Oolith	B 65 Shell	100	4,6	L	3,4938			
				L	3,4940	3,4939	46,1	
				W	1,5815			
				W	2,1817	1,8816		
				L	3,3359			38,6
				L	3,2662	3,3011		
				W	2,1541		31,1	
				W	2,3920	2,2731		
		97	6,9	L	2,4305			
				L	1,7660	2,0983		
				W	1,4290		24,2	
				W	1,7512	1,5901		
				L	2,4095			32,7
				L	2,5962	2,5029		
				W	1,6294		41,2	
				W	1,3115	1,4705		
		94	10,1	L	1,7429			
				L	1,9535	1,8482		
				W	1,1318		39,4	
				W	1,1075	1,1197		
				L	1,2399			36,2
				L	2,0801	1,66		
				W	1,0114		32,9	
				W	1,2170	1,1142		
	B 80 Shell	100	4,2	L	2,6393			
				L	2,9878	2,8136		
				W	2,3031		4,4	
				W	3,0757	2,6894		
				L	3,0884			23,2
				L	2,9276	3,0080		
				W	2,0988		42,1	
				W	1,3871	1,7430		
		97	6,9	L	2,2955			
				L	2,5916	2,4436		
				W	1,6099		31,4	
				W	1,7439	1,6769		
				L	2,3971			33,6
				L	2,3328	2,3650		
				W	1,3149		35,8	
				W	1,7226	1,5187		
		94	10,4	L	1,6527			
				L	1,6393	1,6460		
				W	1,0620		50,6	
				W	0,5651	0,8136		
				L	1,8228			49,8
				L	1,5923	1,7076		
				W	0,8312		49,1	
				W	0,9088	0,8700		

Tabelle A.O.5 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Oolith	B 65 PCK	100	5,0	L	2,6071			
				L	2,9806	2,7938		
				W	1,5235		50,4	
				W	1,2501	1,3868		
				L	3,1785			47,0
				L	2,5001	2,8393		
				W	1,6570		43,6	
				W	1,5439	1,6004		
		97	6,9	L	1,9790			
				L	2,8894	2,4342		
				W	0,7056		64,6	
				W	1,0197	0,8627		
				L	2,2463			54,4
				L	2,8212	2,5338		
				W	1,2333		44,1	
				W	1,6018	1,4175		
		94	9,5	L	1,9123			
				L	1,7784	1,8454		
				W	0,9531		50,3	
				W	0,8807	0,9169		
				L	1,8856			52,4
				L	1,4211	1,6534		
				W	0,6920		54,6	
				W	0,8109	0,7514		
	B 80 PCK	100	4,0	L	3,0471			
				L	3,2648	3,1559		
				W	1,3846		47,1	
				W	1,9554	1,6700		
				L	3,3110			49,0
				L	3,6585	3,4848		
				W	1,8442		50,8	
				W	1,5850	1,7146		
		97	6,4	L	2,7959			
				L	2,9027	2,8493		
				W	0,9901		63,0	
				W	1,1174	1,0538		
				L	3,1241			62,3
				L	2,7161	2,9201		
				W	1,1618		61,6	
				W	1,0821	1,1220		
		94	9,6	L	1,0898			
				L	1,3594	1,2246		
				W	0,7016		42,0	
				W	0,7178	0,7097		
				L	1,7165			48,2
				L	1,7118	1,7142		
				W	0,6969		54,3	
				W	0,8688	0,7829		

Tabelle A.O.5 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Oolith	PmB 65 A elf	100	4,7	L	3,1260		30,9	26,1
				L	2,6266	2,8763		
				W	1,7126			
				W	2,2644	1,9885		
				L	2,6502		21,3	
				L	2,1450	2,3976		
				W	1,4131			
				W	2,3603	1,8867		
		97	6,3	L	2,2789		26,9	31,5
				L	1,9190	2,0990		
				W	1,5198			
				W	1,5509	1,5354		
				L	2,2063		36,1	
				L	2,2597	2,2330		
				W	1,4090			
				W	1,4452	1,4271		
		94	9,1	L	1,7094		34,6	43,8
				L	1,6430	1,6762		
				W	1,0699			
				W	1,1225	1,0962		
				L	2,1059		53,1	
				L	1,9353	2,0206		
				W	0,9518			
				W	0,9431	0,9475		

Tabelle A.O.5: **Spaltzugfestigkeiten** von **Asphalttragschichtmaterial 0/22 der Mischgutart C** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte, dem Hohlraumgehalt und der Lagerungsart in Luft (L) oder in Wasser (W) sowie Spaltzugfestigkeitsabfälle, jeweils als Einzelwerte und Mittelwerte
hier: Mineralstoffart **Oolith**

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Moräne	B 65 Shell	100	0,1	L	3,2563		-6,1	-10,5
				L	3,2626	3,2595		
				W	3,3850			
				W	3,5308	3,4579		
				L	3,1245		-14,9	
				L	3,0352	3,0799		
				W	3,5608			
				W	3,5194	3,5401		
		97	2,5	L	3,0872		6,0	3,6
				L	2,9935	3,0404		
				W	2,8162			
				W	2,8974	2,8568		
				L	2,9154		1,3	
				L	2,8341	2,8747		
				W	2,9010			
				W	2,7751	2,8381		
		94	4,5	L	2,5970		12,7	10,8
				L	2,7243	2,6607		
				W	2,4611			
				W	2,1832	2,3221		
				L	2,5762		8,9	
				L	2,5802	2,5782		
				W	2,3940			
				W	2,3010	2,3475		
	B 80 Shell	100	0,2	L	2,5597		-5,6	-5,4
				L	2,6277	2,5937		
				W	2,7383			
				W	(2,5707) [2)]	2,7383		
				L	2,5154		-5,3	
				L	2,4824	2,4989		
				W	2,5738			
				W	2,6885	2,6311		
		97	2,5	L	2,4386		1,6	1,8
				L	2,4287	2,4337		
				W	2,3902			
				W	2,4005	2,3954		
				L	2,4991		2,1	
				L	2,4087	2,4539		
				W	(1,6144) [9)]			
				W	2,4024	2,4024		
		94	5,8	L	1,9446		7,8	10,6
				L	1,8763	1,9105		
				W	1,7694			
				W	1,7540	1,7617		
				L	2,0410		13,4	
				L	1,9335	1,9873		
				W	1,6204			
				W	1,8207	1,7206		

[2)] Höhe des Marshall-Probekörpers weicht deutlich ab
[9)] Raumdichte des Marshall-Probekörpers weicht deutlich ab

Tabelle A.M.1 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Moräne	B 65 PCK	100	0,3	L	3,2980			
				L	3,2844	3,2912		
				W	3,4006		-0,7	
				W	3,2270	3,3138		
				L	3,2981			-2,4
				L	3,2777	3,2879		
				W	3,3989		-4,1	
				W	3,4460	3,4225		
		97	2,5	L	2,9798			
				L	3,0822	3,0310		
				W	2,6832		12,3	
				W	2,6348	2,6590		
				L	3,1477			11,4
				L	3,0404	3,0941		
				W	2,7683		10,5	
				W	(1,6918) [9]	2,7683		
		94	5,2	L	2,6707			
				L	2,8177	2,7442		
				W	2,2403		21,9	
				W	2,0481	2,1442		
				L	2,6249			22,0
				L	2,6210	2,6229		
				W	2,0641		22,1	
				W	2,0226	2,0434		
	B 80 PCK	100	0,4	L	3,0452			
				L	2,9863	3,0157		
				W	2,9354		2,5	
				W	2,9442	2,9398		
				L	2,9755			1,0
				L	3,0057	2,9906		
				W	3,0172		-0,5	
				W	2,9911	3,0042		
		97	1,8	L	2,8859			
				L	2,8839	2,8849		
				W	2,6996		7,7	
				W	2,6271	2,6634		
				L	2,8702			6,5
				L	2,9865	2,9284		
				W	2,7861		5,3	
				W	2,7619	2,7740		
		94	4,4	L	2,5165			
				L	2,4609	2,4887		
				W	2,0296		23,4	
				W	1,7845	1,9071		
				L	2,3582			22,4
				L	2,4110	2,3846		
				W	2,0652		21,4	
				W	1,6849	1,8750		

[9] Raumdichte des Marshall-Probekörpers weicht deutlich ab

Tabelle A.M.1 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Moräne	PmB 65 A elf	100	0,3	L	2,5017		-2,5	-3,0
				L	2,4457	2,4737		
				W	2,4713			
				W	2,6017	2,5365		
				L	2,4296		-3,6	
				L	2,4630	2,4463		
				W	2,5240			
				W	2,5464	2,5352		
		97	2,7	L	2,3235		1,7	0,6
				L	2,3589	2,3412		
				W	2,2857			
				W	2,3158	2,3007		
				L	2,2435		-0,6	
				L	2,2032	2,2234		
				W	2,3169			
				W	2,1546	2,2357		
		94	4,1	L	2,0658		9,3	11,0
				L	2,0439	2,0548		
				W	1,8783			
				W	1,8495	1,8639		
				L	2,1327		12,7	
				L	2,0673	2,1000		
				W	1,8321			
				W	1,8354	1,8338		

Tabelle A.M.1: **Spaltzugfestigkeiten** von **Asphaltbetonen 0/11 L** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte, dem Hohlraumgehalt und der Lagerungsart in Luft (L) oder in Wasser (W) sowie Spaltzugfestigkeitsabfälle, jeweils als Einzelwerte und Mittelwerte
hier: Mineralstoffart **Moräne**

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Moräne	B 65 Shell	100	3,1	L	2,6549		1,3	2,6
				L	2,7697	2,7691		
				W	2,9058			
				W	2,5598	2,7328		
				L	2,7697		3,8	
				L	2,7177	2,7437		
				W	2,6722			
				W	2,6052	2,6387		
		97	5,1	L	2,5002		-0,4	-0,3
				L	2,5387	2,5195		
				W	2,4827			
				W	2,5741	2,5284		
				L	2,4822		-0,2	
				L	2,4904	2,4863		
				W	2,4711			
				W	2,5113	2,4912		
		94	7,5	L	2,3670		13,3	10,4
				L	2,2731	2,3201		
				W	1,9865			
				W	2,0375	2,0120		
				L	2,0775		7,6	
				L	2,0919	2,0847		
				W	1,9655			
				W	1,8879	1,9267		
	B 80 Shell	100	2,7	L	2,3721		7,3	5,2
				L	2,4330	2,4025		
				W	2,2727			
				W	2,1814	2,2271		
				L	2,3099		3,2	
				L	2,2494	2,2797		
				W	2,2099			
				W	2,2020	2,2060		
		97	5,5	L	1,9914		2,6	4,8
				L	1,7347	1,8630		
				W	1,7798			
				W	1,8510	1,8154		
				L	1,8013		7,1	
				L	1,8863	1,8438		
				W	1,8083			
				W	1,6176	1,7130		
		94	6,7	L	1,8380		14,6	16,9
				L	1,7875	1,8128		
				W	1,5909			
				W	1,5068	1,5488		
				L	1,7543		19,2	
				L	1,8202	1,7873		
				W	1,3684			
				W	1,5194	1,4439		

Tabelle A.M.2 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Moräne	B 65 PCK	100	2,7	L	2,9116		5,9	7,0
				L	2,7349	2,8232		
				W	2,6887			
				W	2,6246	2,6567		
				L	2,9575		8,2	
				L	2,9999	2,9787		
				W	2,7694			
				W	2,7013	2,7353		
		97	5,4	L	2,5199		11,2	10,6
				L	2,5591	2,5395		
				W	2,4826			
				W	2,0282	2,2554		
				L	2,3383		10,0	
				L	2,4105	2,3744		
				W	2,1552			
				W	2,1189	2,1370		
		94	8,2	L	2,1857		16,4	17,1
				L	2,1116	2,1487		
				W	1,6739			
				W	1,9167	1,7953		
				L	2,1728		17,8	
				L	2,0330	2,1029		
				W	1,6299			
				W	1,8265	1,7282		
	B 80 PCK	100	2,7	L	2,6681		4,1	4,2
				L	2,5472	2,6077		
				W	2,4917			
				W	2,5118	2,5017		
				L	2,7030		4,4	
				L	2,5564	2,6297		
				W	2,5482			
				W	2,4811	2,5147		
		97	5,6	L	2,2292		13,7	15,7
				L	2,3337	2,2815		
				W	1,9759			
				W	1,9627	1,9693		
				L	1,9715		17,7	
				L	2,3474	2,1595		
				W	1,7033			
				W	1,8494	1,7763		
		94	8,2	L	2,0556		22,1	21,9
				L	2,1660	2,1108		
				W	1,6380			
				W	1,6497	1,6439		
				L	2,0347		21,7	
				L	2,0776	2,0561		
				W	1,6457			
				W	1,5753	1,6105		

Tabelle A.M.2 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Moräne	PmB 65 A elf	100	3,1	L	2,0450		-4,2	-6,0
				L	2,0419	2,0435		
				W	2,1158			
				W	2,1430	2,1294		
				L	1,9374		-7,7	
				L	2,0535	1,9955		
				W	2,0937			
				W	2,2062	2,1500		
		97	6,9	L	1,7344		9,4	9,4
				L	1,6278	1,6811		
				W	1,6133			
				W	1,4319	1,5226		
				L	1,6692		9,3	
				L	1,5188	1,5940		
				W	1,4921			
				W	1,4001	1,4461		
		94	7,9	L	1,5650		14,3	10,2
				L	1,6231	1,5940		
				W	1,3232			
				W	1,4099	1,3666		
				L	1,6117		6,2	
				L	1,5323	1,5720		
				W	1,4783			
				W	1,4706	1,4745		

Tabelle A.M.2: **Spaltzugfestigkeiten** von **Splittmastixasphalten 0/11 S** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte, dem Hohlraumgehalt und der Lagerungsart in Luft (L) oder in Wasser (W) sowie Spaltzugfestigkeitsabfälle, jeweils als Einzelwerte und Mittelwerte hier: Mineralstoffart **Moräne**

Mineralstoffart	Bitumenart/-sorte	Soll-Verdichtungsgrad	Hohlraumgehalt	Lagerungsart	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeitsabfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Moräne	B 65 Shell	100	5,4	L	2,7278			
				L	2,9365	2,8321		
				W	2,2836		22,4	
				W	2,1133	2,1985		
				L	3,1064			22,4
				L	2,7762	2,9413		
				W	2,1624		22,5	
				W	2,3989	2,2806		
		97	7,4	L	2,4925			
				L	2,1985	2,3455		
				W	1,7124		37,3	
				W	1,2291	1,4708		
				L	2,6191			35,6
				L	2,1250	2,3720		
				W	1,5394		33,9	
				W	1,5944	1,5669		
		94	9,5	L	1,7896			
				L	1,9327	1,8612		
				W	1,2327		31,6	
				W	1,3140	1,2734		
				L	1,6349			29,1
				L	1,9523	1,7936		
				W	1,3582		26,6	
				W	1,2743	1,3163		
	B 80 Shell	100	4,5	L	2,9702			
				L	2,5637	27670		
				W	2,2666		23,1	
				W	1,9906	2,1286		
				L	2,8661			26,3
				L	2,8672	2,8666		
				W	2,0506		29,5	
				W	1,9921	2,0214		
		97	7,2	L	2,1077			
				L	(1,3265) [2)]	2,1077		
				W	1,4489		30,0	
				W	1,5010	1,4750		
				L	1,5940			16,7
				L	1,8174	1,7057		
				W	1,7927		3,4	
				W	1,5034	1,6481		
		94	9,2	L	1,5429			
				L	1,4890	1,5160		
				W	1,0429		31,9	
				W	1,0221	1,0325		
				L	1,4074			32,5
				L	1,5419	1,4746		
				W	0,9752		33,1	
				W	0,9975	0,9864		

[2)] Höhe des Marshall-Probekörpers weicht deutlich ab

Tabelle A.M.3 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Moräne	B 65 PCK	100	5,2	L	2,8150		32,4	35,0
				L	2,8315	2,8232		
				W	1,7190			
				W	2,0963	1,9076		
				L	2,7509		37,5	
				L	3,0345	2,8927		
				W	1,6033			
				W	2,0148	1,8091		
		97	7,7	L	2,3137		39,3	36,6
				L	2,3524	2,3331		
				W	1,4478			
				W	1,3865	1,4171		
				L	1,8973		34,0	
				L	2,4730	2,1852		
				W	1,2710			
				W	1,6115	1,4412		
		94	10,0	L	1,7343		43,7	38,4
				L	1,5995	1,6669		
				W	0,9360			
				W	0,9417	0,9389		
				L	1,5214		33,0	
				L	1,8365	1,6790		
				W	1,0745			
				W	1,1760	1,1252		
	B 80 PCK	100	4,6	L	2,7408		35,8	41,4
				L	3,1300	2,9354		
				W	1,9398			
				W	1,8267	1,8832		
				L	2,7065		47,1	
				L	2,5846	2,6456		
				W	1,4142			
				W	1,3861	1,4002		
		97	7,6	L	2,1747		50,5	43,1
				L	2,3196	2,2472		
				W	1,1115			
				W	1,1140	1,1128		
				L	2,0157		35,7	
				L	2,3922	2,2039		
				W	1,5202			
				W	1,3119	1,4161		
		94	9,8	L	2,0270		50,9	49,9
				L	1,7757	1,9014		
				W	0,8870			
				W	0,9797	0,9334		
				L	2,1365		48,9	
				L	1,9402	2,0383		
				W	1,0640			
				W	1,0175	1,0408		

[2] Höhe des Marshall-Probekörpers weicht deutlich ab

Tabelle A.M.3 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Moräne	PmB 65 A elf	100	4,4	L	2,6972			
				L	3,0043	2,8508	25,0	
				W	2,2596			
				W	2,0142	2,1369		
				L	2,4710			24,5
				L	2,5292	2,5001		
				W	1,6165		24,0	
				W	2,1826	1,8996		
		97	7,2	L	1,8673			
				L	1,9388	1,9030		
				W	1,7633		13,7	
				W	1,5227	1,6430		
				L	1,8127			12,6
				L	1,8267	1,8197		
				W	1,5771		11,6	
				W	1,6413	1,6092		
		94	9,0	L	1,6466			
				L	1,4773	1,5619		
				W	1,1215		30,3	
				W	1,0571	1,0893		
				L	1,4552			27,4
				L	1,4247	1,4400		
				W	1,0608		24,6	
				W	1,1103	1,0856		

Tabelle A.M.3: **Spaltzugfestigkeiten** von **Asphaltbindern 0/16** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte, dem Hohlraumgehalt und der Lagerungsart in Luft (L) oder in Wasser (W) sowie Spaltzug-festigkeitsabfälle, jeweils als Einzelwerte und Mittelwerte
hier: Mineralstoffart **Moräne**

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Moräne	B 65 Shell	100	3,8	L	1,7026		-7,6	4,7
				L	2,5693	2,1360		
				W	2,2048			
				W	2,3929	2,2988		
				L	3,4661		17,0	
				L	3,1503	3,3082		
				W	2,9309			
				W	2,5586	2,7447		
		97	6,0	L	2,4552		9,4	9,4
				L	2,1271	2,2912		
				W	2,1075			
				W	2,0428	2,0751		
				L	2,2589		9,4	
				L	2,5835	2,4212		
				W	2,2039			
				W	2,1809	2,1924		
		94	7,9	L	1,5766		20,5	11,2
				L	1,4529	1,5148		
				W	1,0971			
				W	1,3130	1,2050		
				L	1,9498		2,0	
				L	1,0985	1,5242		
				W	-			
				W	1,4937	1,4937		
	B 80 Shell	100	3,5	L	2,7693		23,6	10,4
				L	2,8051	2,7872		
				W	2,0881			
				W	2,1696	2,1288		
				L	2,6419		-2,9	
				L	2,3039	2,4729		
				W	2,4596			
				W	2,6297	2,5446		
		97	6,1	L	2,2259		25,1	29,3
				L	1,8225	2,0242		
				W	1,3485			
				W	1,6830	1,5158		
				L	2,0301		33,5	
				L	1,9526	1,9914		
				W	1,4805			
				W	1,1689	1,3247		
		94	7,4	L	1,4483		38,5	32,4
				L	1,5382	1,4932		
				W	0,7254			
				W	1,1124	0,9189		
				L	1,3310		26,3	
				L	1,3656	1,3483		
				W	0,9099			
				W	1,0785	0,9942		

Tabelle A.M.4 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Moräne	B 65 PCK	100	4,5	L	2,4935			
				L	3,5562	3,0248		
				W	2,0202		41,0	
				W	1,5484	1,7843		
				L	2,2410			23,7
				L	2,8046	2,5228		
				W	2,3490		6,4	
				W	2,3755	2,3623		
		97	6,8	L	2,2342			
				L	(2,0617) [2)]	2,2342		
				W	1,7506		15,6	
				W	2,0199	1,8852		
				L	2,2969			24,0
				L	2,3822	2,3396		
				W	1,6069		32,3	
				W	1,5628	1,5848		
		94	8,4	L	1,5663			
				L	1,5596	1,5630		
				W	1,0607		29,9	
				W	1,1291	1,0949		
				L	1,4468			28,4
				L	1,1792	1,3130		
				W	0,8229		26,8	
				W	1,1004	0,9617		
	B 80 PCK	100	3,9	L	3,0015			
				L	2,6034	2,8025		
				W	1,9634		28,5	
				W	2,0462	2,0048		
				L	2,9239			29,1
				L	3,0069	2,9654		
				W	2,0236		29,7	
				W	2,1473	2,0854		
		97	6,3	L	1,8206			
				L	2,5121	2,1664		
				W	1,3496		29,2	
				W	1,7178	1,5337		
				L	(1,2623) [2)]			24,7
				L	1,9415	1,9415		
				W	1,4909		20,2	
				W	1,6083	1,5496		
		94	7,2	L	1,7991			
				L	1,6445	1,7218		
				W	1,1705		29,5	
				W	1,2578	1,2142		
				L	1,7438			23,5
				L	1,7509	1,7474		
				W	1,2869		17,5	
				W	1,5966	1,4417		

[2)] Höhe des Marshall-Probekörpers weicht deutlich ab

Tabelle A.M.4 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Moräne	PmB 65 A elf	100	3,1	L	2,4523		16,1	22,4
				L	2,4559	2,4541		
				W	2,1674			
				W	1,9493	2,0583		
				L	2,6527		28,8	
				L	2,5664	2,6095		
				W	2,0477			
				W	1,6660	1,8568		
		97	5,9	L	17969		20,2	20,8
				L	1,9525	1,8747		
				W	1,6606			
				W	1,3322	1,4964		
				L	1,8378		21,4	
				L	1,9167	1,8773		
				W	1,5240			
				W	1,4254	1,4747		
		94	7,3	L	1,7237		33,9	34,3
				L	1,9383	1,8310		
				W	0,9559			
				W	1,4637	1,2098		
				L	1,6563		34,7	
				L	1,7679	1,7121		
				W	1,0858			
				W	1,1500	1,1179		

Tabelle A.M.4: **Spaltzugfestigkeiten** von **Asphaltbindern 0/22** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte, dem Hohlraumgehalt und der Lagerungsart in Luft (L) oder in Wasser (W) sowie Spaltzug-festigkeitsabfälle, jeweils als Einzelwerte und Mittelwerte
hier: Mineralstoffart **Moräne**

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Moräne	B 65 Shell	100	5,6	L	2,3257		15,9	23,4
				L	2,3525	2,8391		
				W	1,8305			
				W	2,9465	2,3885		
				L	3,2415		31,0	
				L	3,0507	3,1461		
				W	2,0321			
				W	2,3109	2,1715		
		97	8,2	L	(1,1050) [2)]		53,5	26,3
				L	3,0652	3,0652		
				W	(1,7391) [2)]			
				W	1,4249	1,4249		
				L	1,7854		-0,9	
				L	1,7338	1,7596		
				W	1,8323			
				W	1,7188	1,7756		
		94	10,7	L	1,7075		50,5	47,8
				L	1,7800	1,7438		
				W	0,9541			
				W	0,7733	0,8637		
				L	1,5313		45,2	
				L	1,5810	1,5562		
				W	0,9266			
				W	0,7792	0,8529		
	B 80 Shell	100	5,0	L	2,8171		30,2	36,2
				L	2,5233	2,6702		
				W	2,3087			
				W	1,4205	1,8646		
				L	3,1196		42,2	
				L	3,0096	3,0646		
				W	1,6616			
				W	1,8786	1,7701		
		97	6,7	L	2,1942		40,1	37,4
				L	2,0369	2,1155		
				W	1,2562			
				W	1,2802	1,2682		
				L	2,3774		34,8	
				L	2,4547	2,4161		
				W	1,5440			
				W	1,6071	1,5756		
		94	9,2	L	1,7469		38,6	29,8
				L	1,7818	1,7643		
				W	1,1076			
				W	1,0590	1,0833		
				L	1,3571		20,9	
				L	1,8112	1,5841		
				W	1,1238			
				W	1,3819	1,2529		

[2)] Höhe des Marshall-Probekörpers weicht deutlich ab

Tabelle A.M.5 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Moräne	B 65 PCK	100	4,8	L	2,8634			
				L	3,1578	3,0106		
				W	1,7230		40,8	
				W	1,8435	1,7833		34,2
				L	3,4440			
				L	3,1639	3,3040		
				W	2,6338		27,7	
				W	2,1429	2,3884		
		97	7,0	L	2,6140			
				L	2,6623	2,6382		
				W	1,2830		51,4	
				W	(0,7363) [3]	1,2830		49,6
				L	2,9299			
				L	2,8169	2,8734		
				W	1,6271		47,7	
				W	1,3771	1,5021		
		94	10,3	L	1,3711			
				L	2,1256	1,7484		
				W	0,7860		52,7	
				W	0,8676	0,8268		50,2
				L	1,7302			
				L	1,6599	1,6950		
				W	0,9109		47,8	
				W	0,8578	0,8844		
	B 80 PCK	100	4,9	L	3,0266			
				L	3,3795	3,2031		
				W	2,0757		38,8	
				W	1,8458	1,9608		29,4
				L	2,4376			
				L	3,2327	2,8352		
				W	2,5755		20,0	
				W	1,9581	2,2668		
		97	7,6	L	3,0421			
				L	2,8714	2,9568		
				W	1,2781		51,3	
				W	1,6040	1,4411		48,2
				L	2,7425			
				L	1,1905	1,9665		
				W	1,0700		45,2	
				W	1,0844	1,0772		
		94	10,1	L	1,4865			
				L	1,9262	1,7064		
				W	0,7039		54,4	
				W	0,8524	0,7782		57,8
				L	1,6817			
				L	(0,7163) [2]	1,6817		
				W	0,3437		61,2	
				W	0,9624	0,6531		

[2] Höhe des Marshall-Probekörpers weicht deutlich ab
[3] Marshall-Probekörper ist an einer Kante beschädigt

Tabelle A.M.5 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Moräne	PmB 65 A elf	100	5,3	L	2,7068			
				L	2,9968	2,8518	30,3	
				W	2,7272			
				W	1,2507	1,9890		
				L	3,0109			27,1
				L	3,1145	3,0627		
				W	2,6767		23,9	
				W	1,9822	2,3295		
		97	7,6	L	2,2034			
				L	2,3007	2,2520		
				W	1,1894		46,6	
				W	1,2157	1,2026		
				L	1,7934			41,4
				L	2,3181	2,0557		
				W	1,2119		36,1	
				W	1,4155	1,3137		
		94	9,6	L	2,0137			
				L	1,3700	1,6919		
				W	0,8909		33,4	
				W	1,3612	1,1261		
				L	1,5932			33,0
				L	1,4029	1,4996		
				W	1,0357		32,5	
				W	0,9872	1,0115		

Tabelle A.M.5: **Spaltzugfestigkeiten** von **Asphalttragschichtmaterial 0/22 der Mischgutart C** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte, dem Hohlraumgehalt und der Lagerungsart in Luft (L) oder in Wasser (W) sowie Spaltzugfestigkeitsabfälle, jeweils als Einzelwerte und Mittelwerte
hier: Mineralstoffart **Moräne**

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Quarzit	B 65 Shell	100	0,2	L	3,5879			
				L	3,5680	3,5778		
				W	3,5481		1,9	
				W	3,4700	3,5091		
				L	3,6098			0,0
				L	3,6141	3,612		
				W	3,6363		-1,8	
				W	3,7190	3,6777		
		97	3,5	L	2,9628			
				L	2,9679	2,9653		
				W	1,7662		38,9	
				W	1,8595	1,8129		
				L	3,1299			40,2
				L	2,9422	3,0361		
				W	1,8119		41,5	
				W	1,7393	1,7756		
		94	5,8	L	2,6089			
				L	2,7552	2,6821		
				W	1,5418		47,6	
				W	1,2675	1,4047		
				L	2,7691			42,0
				L	2,6116	2,6904		
				W	1,7209		36,4	
				W	1,7039	1,7124		
	B 80 Shell	100	0,0	L	2,5752			
				L	2,5978	2,5865		
				W	2,6006		0,6	
				W	2,5393	2,57		
				L	2,5556			-1,5
				L	2,4566	2,5061		
				W	2,6285		-3,6	
				W	2,5663	2,5974		
		97	2,9	L	2,2237			
				L	2,3454	2,2846		
				W	1,3372		40,3	
				W	1,3903	1,3638		
				L	2,2358			41,0
				L	2,2887	2,2622		
				W	1,3439		41,7	
				W	1,2929	1,3184		
		94	5,7	L	1,9046			
				L	1,9065	1,9056		
				W	1,0139		51,4	
				W	0,8401	0,9270		
				L	1,9975			45,6
				L	1,9348	1,9662		
				W	1,1525		39,8	
				W	1,2155	1,1840		

Tabelle A.Q.1 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Quarzit	B 65 PCK	100	0,5	L	3,7675			
				L	3,9081	3,8378		
				W	3,4871		10,9	
				W	3,3516	3,4193		
				L	3,6787			8,2
				L	3,6865	3,6826		
				W	3,4983		5,4	
				W	3,4659	3,4821		
		97	3,4	L	3,3203			
				L	3,0183	3,1693		
				W	1,8301		46,8	
				W	1,53394	1,6848		
				L	3,2876			44,6
				L	3,1845	3,2360		
				W	1,7775		42,4	
				W	1,9485	1,8630		
		94	6,5	L	2,6266			
				L	2,6886	2,6576		
				W	1,0953		60,3	
				W	1,0172	1,0562		
				L	2,9285			62,2
				L	2,9287	2,9286		
				W	1,0968		64,0	
				W	1,0095	1,0532		
	B 80 PCK	100	0,0	L	3,1661			
				L	2,7997	2,9829		
				W	2,8708		1,3	
				W	3,0202	2,9455		
				L	2,8575			-5,4
				L	2,9022	2,8799		
				W	3,2017		-12,1	
				W	3,2563	3,229		
		97	2,1	L	3,0711			
				L	3,1697	3,1204		
				W	1,7715		27,2	
				W	2,7692	2,2704		
				L	3,0237			26,2
				L	2,6989	2,8613		
				W	2,1472		25,3	
				W	2,1258	2,1365		
		94	4,5	L	2,5267			
				L	2,6094	2,5681		
				W	1,2579		49,7	
				W	1,3237	1,2908		
				L	2,5154			49,8
				L	2,4157	2,4656		
				W	1,1992		49,8	
				W	1,2760	1,2376		

Tabelle A.Q.1 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Quarzit	PmB 65 A elf	100	0,0	L	2,6193			
				L	2,5954	2,6074		
				W	2,6646		-2,6	
				W	2,6881	2,6764		
				L	2,5906			-3,6
				L	2,5439	2,5672		
				W	2,6704		-4,7	
				W	2,7063	2,6883		
		97	3,3	L	2,2830			
				L	2,3907	2,3368		
				W	2,0720		12,1	
				W	2,0356	2,0538		
				L	2,4344			15,4
				L	2,2237	2,3290		
				W	2,0142		18,8	
				W	1,7694	1,8918		
		94	5,0	L	2,0525			
				L	2,0352	2,0439		
				W	1,4019		27,4	
				W	1,5676	1,4848		
				L	2,1006			25,3
				L	1,9704	2,0355		
				W	1,5070		23,2	
				W	1,6211	1,5640		

Tabelle A.Q.1: **Spaltzugfestigkeiten** von **Asphaltbetonen 0/11 L** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte, dem Hohlraumgehalt und der Lagerungsart in Luft (L) oder in Wasser (W) sowie Spaltzugfestigkeitsabfälle, jeweils als Einzelwerte und Mittelwerte
hier: Mineralstoffart **Quarzit**

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Quarzit	B 65 Shell	100	2,3	L	2,8947		3,5	6,7
				L	2,8166	2,8556		
				W	2,8290			
				W	2,6809	2,7550		
				L	3,0219		9,9	
				L	3,0401	3,0310		
				W	2,6221			
				W	2,8382	2,7302		
		97	3,3	L	2,7651		32,8	25,4
				L	2,6211	2,6931		
				W	1,7018			
				W	1,9180	1,8099		
				L	2,5558		18,0	
				L	2,6638	2,6098		
				W	2,2231			
				W	2,0550	2,1391		
		94	9,9	L	1,8764		39,9	34,4
				L	1,7741	1,8252		
				W	1,1975			
				W	0,9975	1,0975		
				L	1,7642		29,0	
				L	1,7305	1,7474		
				W	1,2130			
				W	1,2676	1,2403		
	B 80 Shell	100	2,3	L	2,2231		17,4	11,6
				L	2,3580	2,2906		
				W	1,8459			
				W	1,9391	1,8925		
				L	2,2455		5,9	
				L	2,2089	2,2272		
				W	2,0797			
				W	2,1127	2,0962		
		97	5,0	L	2,0091		29,0	28,2
				L	1,8903	1,9497		
				W	1,4633			
				W	1,3055	1,3844		
				L	1,9778		27,4	
				L	1,7627	1,8703		
				W	1,2536			
				W	1,4623	1,3580		
		94	5,4	L	1,8873		26,2	21,8
				L	1,7472	1,8173		
				W	-			
				W	1,3409	1,3409		
				L	1,8112		17,5	
				L	1,6765	1,7439		
				W	1,4782			
				W	1,3992	1,4387		

Tabelle A.Q.2 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineralstoffart	Bitumenart/-sorte	Soll-Verdichtungsgrad	Hohlraumgehalt	Lagerungsart	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeitsabfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Quarzit	B 65 PCK	100	2,0	L	3,2719			
				L	3,2068	3,2393		
				W	2,9365		10,9	
				W	2,8357	2,8861		
				L	3,0288			8,6
				L	3,3123	3,1706		
				W	2,9733		6,3	
				W	2,9677	2,9705		
		97	4,5	L	2,5974			
				L	2,7558	2,6766		
				W	1,8912		32,3	
				W	1,7310	1,8111		
				L	2,7256			28,3
				L	2,7769	2,7512		
				W	2,1250		24,3	
				W	2,0425	2,0838		
		94	7,2	L	2,1322			
				L	2,0737	2,1029		
				W	1,6306		27,8	
				W	1,4043	1,5175		
				L	2,4429			34,2
				L	2,1197	2,2813		
				W	1,4143		40,7	
				W	1,2906	1,3524		
	B 80 PCK	100	3,0	L	2,9207			
				L	2,8064	2,8636		
				W	2,0924		34,6	
				W	1,6503	1,8714		
				L	2,8375			28,5
				L	3,0263	2,9319		
				W	2,3873		22,4	
				W	2,1602	2,2738		
		97	4,2	L	2,6678			
				L	2,4681	2,5680		
				W	1,8935		32,0	
				W	1,5996	1,7466		
				L	2,3978			35,4
				L	2,5580	2,4779		
				W	1,4854		38,9	
				W	1,5415	1,5135		
		94	6,5	L	2,3284			
				L	2,2860	2,3072		
				W	1,3170		41,9	
				W	1,3628	1,3399		
				L	2,2749			40,6
				L	2,2505	2,2627		
				W	1,3710		39,4	
				W	-	1,3710		

Tabelle A.Q.2 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Quarzit	PmB 65 A elf	100	2,6	L	1,9074		0,9	6,2
				L	2,0817	1,9946		
				W	2,0358			
				W	1,9178	1,9768		
				L	2,3127		11,5	
				L	2,1290	2,2209		
				W	1,9202			
				W	2,0120	1,9661		
		97	6,0	L	1,7571		23,2	21,5
				L	1,7712	1,7642		
				W	1,3700			
				W	1,3387	1,3544		
				L	1,7245		19,8	
				L	1,7594	1,7420		
				W	1,3203			
				W	1,4742	1,3973		
		94	7,4	L	1,4880		15,8	23,4
				L	1,6078	1,5479		
				W	1,2831			
				W	1,3249	1,3040		
				L	1,7789		30,9	
				L	1,5538	1,6664		
				W	1,1482			
				W	1,1547	1,1515		

Tabelle A.Q.2: **Spaltzugfestigkeiten** von **Splittmastixasphalten 0/11 S** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte, dem Hohlraumgehalt und der Lagerungsart in Luft (L) oder in Wasser (W) sowie Spaltzugfestigkeitsabfälle, jeweils als Einzelwerte und Mittelwerte hier: Mineralstoffart **Quarzit**

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Quarzit	B 65 Shell	100	6,2	L	3,1257			
				L	3,2340	3,1799	53,4	50,7
				W	1,4480			
				W	1,5179	1,4830		
				L	3,1035			
				L	2,8760	2,9897	48,0	
				W	1,6076			
				W	1,5036	1,5556		
		97	8,6	L	2,4566			
				L	1,8495	2,1530	55,2	60,9
				W	1,0121			
				W	0,9164	0,9643		
				L	2,6530			
				L	2,4099	2,5315	66,6	
				W	0,7732			
				W	0,9189	0,8461		
		94	10,2	L	2,0964			
				L	2,0330	2,0647	61,3	57,0
				W	0,7806			
				W	0,8194	0,8000		
				L	1,9394			
				L	1,6030	1,7712	52,6	
				W	0,8952			
				W	0,7855	0,8403		
	B 80 Shell	100	5,7	L	2,8081			
				L	2,8017	2,8049	52,4	48,1
				W	1,2784			
				W	1,3907	1,3346		
				L	2,6399			
				L	2,2710	2,4554	43,8	
				W	1,4373			
				W	1,3208	1,3790		
		97	7,3	L	2,7830			
				L	2,6760	2,7295	61,3	48,8
				W	1,1503			
				W	0,9635	1,0569		
				L	2,2800			
				L	2,1667	2,2234	36,3	
				W	1,4131			
				W	1,4216	1,4173		
		94	10,6	L	1,4116			
				L	1,3648	1,3882	53,6	57,2
				W	0,7132			
				W	0,5744	0,6438		
				L	1,3560			
				L	1,4085	1,3822	60,7	
				W	0,5343			
				W	0,5527	0,5435		

Tabelle A.Q.3 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Quarzit	B 65 PCK	100	5,9	L	3,2014			
				L	3,3590	3,2802		
				W	1,6600		46,1	
				W	1,8792	1,7696		
				L	2,7802			43,2
				L	2,8202	2,8002		
				W	1,5764		40,4	
				W	1,7600	1,6682		
		97	8,0	L	2,6143			
				L	2,5437	2,5790		
				W	1,1265		56,7	
				W	1,1064	1,1164		
				L	2,5059			58,3
				L	2,7070	2,6064		
				W	1,0123		59,9	
				W	1,0799	1,0461		
		94	10,1	L	2,1049			
				L	1,9038	2,0044		
				W	0,8837		55,4	
				W	0,9025	0,8931		
				L	1,9499			52,8
				L	1,9308	1,9404		
				W	1,0577		50,1	
				W	0,8784	0,9681		
	B 80 PCK	100	5,9	L	2,4933			
				L	2,6620	2,5777		
				W	1,2754		50,8	
				W	1,2618	1,2686		
				L	3,0498			53,2
				L	2,7561	2,9029		
				W	1,2986		55,7	
				W	1,2708	1,2847		
		97	7,5	L	2,0752			
				L	2,2827	2,1790		
				W	1,0720		46,8	
				W	1,2485	1,1603		
				L	2,5861			50,2
				L	2,1454	2,3658		
				W	1,0947		53,7	
				W	1,0967	1,0957		
		94	10,2	L	1,7548			
				L	2,3152	2,0350		
				W	0,7413		63,6	
				W	0,7415	0,7414		
				L	1,9218			62,2
				L	1,7021	1,8120		
				W	0,5424		60,8	
				W	0,8767	0,7096		

Tabelle A.Q.3 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Quarzit	PmB 65 A elf	100	5,3	L	3,0078		46,7	46,5
				L	2,4438	2,7258		
				W	1,7401			
				W	1,1648	1,4525		
				L	2,8095		46,3	
				L	2,7206	2,7651		
				W	1,2580			
				W	1,7143	1,4861		
		97	7,7	L	2,3159		52,3	50,8
				L	2,2855	2,3007		
				W	1,1684			
				W	1,0266	1,0975		
				L	2,2924		49,3	
				L	2,1210	2,2067		
				W	1,0867			
				W	1,1490	1,1179		
		94	10,3	L	1,5974		54,0	53,8
				L	1,3753	1,4863		
				W	0,6990			
				W	0,6697	0,6844		
				L	1,5927		53,7	
				L	1,4892	1,5410		
				W	0,7287			
				W	0,6973	0,7130		

Tabelle A.Q.3: **Spaltzugfestigkeiten** von **Asphaltbindern 0/16** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte, dem Hohlraumgehalt und der Lagerungsart in Luft (L) oder in Wasser (W) sowie Spaltzugfestigkeitsabfälle, jeweils als Einzelwerte und Mittelwerte
hier: Mineralstoffart **Quarzit**

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Quarzit	B 65 Shell	100	4,9	L	2,9333		47,4	43,2
				L	3,2412	3,0873		
				W	1,7804			
				W	1,4653	1,6229		
				L	2,8291		39,1	
				L	2,8073	2,8182		
				W	2,0669			
				W	1,3646	1,7157		
		97	7,3	L	2,0358		44,0	36,7
				L	2,7493	2,3926		
				W	1,4662			
				W	1,2136	1,3399		
				L	1,9875		29,4	
				L	2,3921	2,1898		
				W	1,3881			
				W	1,7027	1,5454		
		94	8,9	L	2,3709		56,7	50,0
				L	2,0240	2,1974		
				W	0,9482			
				W	0,9532	0,9507		
				L	1,5784		43,2	
				L	1,9928	1,7856		
				W	1,0940			
				W	0,9330	1,0135		
	B 80 Shell	100	3,9	L	2,5732		17,8	24,2
				L	2,0424	2,3078		
				W	1,7931			
				W	2,0007	1,8969		
				L	2,6696		30,6	
				L	1,7931	2,5522		
				W	1,8201			
				W	1,7208	1,7705		
		97	6,7	L	2,0246		33,7	33,6
				L	2,2624	2,1435		
				W	1,4051			
				W	1,4369	1,4210		
				L	1,9522		33,5	
				L	2,2112	2,0817		
				W	1,3315			
				W	1,4371	1,3843		
		94	8,4	L	1,5201		42,9	43,9
				L	1,4835	1,5018		
				W	0,8529			
				W	0,8621	0,8575		
				L	1,5653		44,9	
				L	1,5778	1,5716		
				W	0,8009			
				W	0,9305	0,8657		

Tabelle A.Q.4 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Quarzit	B 65 PCK	100	4,6	L	2,8409		45,8	45,6
				L	3,3601	3,1005		
				W	1,8024			
				W	1,5603	1,6814		
				L	3,3752		45,3	
				L	3,0656	3,2204		
				W	1,9810			
				W	1,5396	1,7603		
		97	7,5	L	1,7593		11,8	24,2
				L	1,8660	1,8127		
				W	1,4881			
				W	1,7100	1,5991		
				L	2,9255		36,5	
				L	1,9640	2,4448		
				W	1,8516			
				W	1,2547	1,5532		
		94	9,4	L	1,5149		55,7	61,2
				L	1,4639	1,4894		
				W	0,7149			
				W	0,6036	0,6593		
				L	1,6499		66,6	
				L	1,7892	1,7196		
				W	0,5665			
				W	0,5805	0,5735		
	B 80 PCK	100	4,2	L	2,2137		20,7	33,8
				L	1,9698	2,0917		
				W	1,4660			
				W	1,8507	1,6584		
				L	2,9270		47,0	
				L	2,5112	2,7191		
				W	1,3113			
				W	1,5691	1,4402		
		97	6,9	L	2,0929		62,5	56,6
				L	2,7009	2,3969		
				W	0,8905			
				W	0,9080	0,8993		
				L	2,5029		50,8	
				L	2,3519	2,4274		
				W	1,0200			
				W	1,3684	1,1942		
		94	8,0	L	1,4136		50,5	56,5
				L	1,8015	1,6076		
				W	0,6413			
				W	0,9503	0,7958		
				L	1,7435		62,5	
				L	1,9411	1,8423		
				W	0,6867			
				W	0,6938	0,6903		

Tabelle A.Q.4 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Quarzit	PmB 65 A elf	100	4,9	L	2,3585		40,4	33,2
				L	2,3988	2,3786		
				W	1,2939			
				W	1,5401	1,4170		
				L	1,9900		26,1	
				L	1,9623	1,9762		
				W	1,2758			
				W	1,6438	1,4598		
		97	7,1	L	1,5449		30,5	37,8
				L	1,9120	1,7285		
				W	1,3746			
				W	1,0293	1,2020		
				L	2,1203		45,0	
				L	2,0475	2,0839		
				W	1,0218			
				W	1,2689	1,1454		
		94	8,4	L	1,5646		48,6	43,8
				L	1,6910	1,6278		
				W	0,9252			
				W	0,7465	0,8359		
				L	1,8415		38,9	
				L	1,6163	1,7289		
				W	0,9997			
				W	1,1117	1,0557		

Tabelle A.Q.4: **Spaltzugfestigkeiten** von **Asphaltbindern 0/22** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte, dem Hohlraumgehalt und der Lagerungsart in Luft (L) oder in Wasser (W) sowie Spaltzugfestigkeitsabfälle, jeweils als Einzelwerte und Mittelwerte
hier: Mineralstoffart **Quarzit**

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Quarzit	B 65 Shell	100	6,0	L	2,4219			
				L	3,4207	2,9213		
				W	1,0348		47,1	
				W	2,0544	1,5446		
				L	3,2553			40,8
				L	3,3566	3,3060		
				W	2,3178		34,5	
				W	1,8180	2,0679		
		97	8,5	L	2,5768			
				L	1,9820	2,2794		
				W	0,9853		59,6	
				W	0,9853	0,9208		
				L	2,1478			55,6
				L	2,5360	2,3419		
				W	0,9054		51,6	
				W	1,3620	1,1337		
		94	11,1	L	1,6927			
				L	2,0763	1,8845		
				W	0,6171		70,2	
				W	0,5069	0,5620		
				L	1,5156			59,6
				L	1,8342	1,6749		
				W	0,7200		49,1	
				W	0,9834	0,8517		
	B 80 Shell	100	6,1	L	2,9448			
				L	2,8439	2,8944		
				W	1,2937		45,4	
				W	1,8646	1,5792		
				L	3,2204			57,3
				L	3,7637	3,4921		
				W	1,0963		69,2	
				W	1,0583	1,0773		
		97	8,0	L	2,4327			
				L	2,2015	2,3171		
				W	0,9736		62,0	
				W	0,7881	0,8809		
				L	1,5844			55,0
				L	2,1381	1,8613		
				W	0,8295		48,1	
				W	1,1042	0,9669		
		94	9,7	L	1,7295			
				L	1,9326	1,8311		
				W	0,6554		63,6	
				W	0,6761	0,6658		
				L	1,8945			64,1
				L	1,5731	1,7338		
				W	0,6741		64,6	
				W	0,5542	0,6141		

Tabelle A.Q.5 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Quarzit	B 65 PCK	100	5,9	L	3,2015			
				L	2,4681	2,8348		
				W	1,0677		57,2	
				W	1,3561	1,2119		
				L	3,7853			52,4
				L	3,3209	3,5531		
				W	1,4556		47,6	
				W	2,2703	1,8630		
		97	8,2	L	2,1721			
				L	2,8508	2,5115		
				W	1,0836		57,0	
				W	1,0780	1,0808		
				L	2,5727			55,8
				L	2,0206	2,2967		
				W	1,1810		54,6	
				W	0,9065	1,0437		
		94	10,4	L	1,7931			
				L	2,4588	2,1260		
				W	0,9255		61,5	
				W	0,7117	0,8186		
				L	2,1195			64,0
				L	2,2626	2,1910		
				W	0,8394		66,6	
				W	0,6251	0,7323		
	B 80 PCK	100	5,3	L	3,6396			
				L	3,6707	3,6552		
				W	1,4079		61,5	
				W	1,4031	1,4055		
				L	3,7967			57,8
				L	3,6746	3,7356		
				W	1,5940		54,2	
				W	1,8257	1,7099		
		97	7,3	L	2,3960			
				L	2,5575	2,4768		
				W	1,1291		50,8	
				W	1,3059	1,2175		
				L	3,0881			55,2
				L	2,5020	2,7950		
				W	0,9512		59,6	
				W	1,3075	1,1294		
		94	10,2	L	1,4265			
				L	2,2993	1,8629		
				W	0,5168		71,0	
				W	0,5633	0,5401		
				L	1,3526			67,4
				L	1,6020	1,4773		
				W	0,4661		63,7	
				W	0,6061	0,5361		

Tabelle A.Q.5 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Mineral-stoffart	Bitumen-art/-sorte	Soll-Verdich-tungs-grad	Hohl-raum-gehalt	Lage-rungs-art	Spaltzugfestigkeit		Spaltzugfestigkeits-abfall	
					Einzelwert	Mittelwert	Einzelwert	Mittelwert
-	-	%	V-%	-	MPa	MPa	%	%
Quarzit	PmB 65 A elf	100	6,4	L	2,3235			
				L	2,9288	2,6262		
				W	0,8781		59,3	
				W	1,2578	1,0679		
				L	2,8001			55,1
				L	3,0617	2,9309		
				W	1,7889		50,9	
				W	1,0908	1,4398		
		97	8,6	L	2,1634			
				L	2,4275	2,2955		
				W	0,9245		57,0	
				W	1,0495	0,9870		
				L	1,4950			51,0
				L	1,9014	1,6982		
				W	0,8716		44,9	
				W	0,9994	0,9355		
		94	10,6	L	1,9980			
				L	(1,1224) [2)]	1,9980		
				W	0,9548		56,4	
				W	0,7866	0,8707		
				L	1,9133			57,6
				L	(0,9255) [2)]	1,9133		
				W	(0,7153) [2)]		58,9	
				W	0,7872	0,7872		

[2)] Höhe des Marshall-Probekörpers weicht deutlich ab

Tabelle A.Q.5: **Spaltzugfestigkeiten** von **Asphalttragschichtmaterial 0/22 der Mischgutart C** in Abhängigkeit von der Mineralstoffart, der Bitumenart/-sorte, dem Hohlraumgehalt und der Lagerungsart in Luft (L) oder in Wasser (W) sowie Spaltzugfestigkeitsabfälle, jeweils als Einzelwerte und Mittelwerte
hier: Mineralstoffart **Quarzit**