

**SCHRIFTENREIHE**

Lehrstuhl für Straßenwesen und Erdbau  
Technische Universität Braunschweig  
o. Professor Dr.-Ing. Wolfgang Arand

---

# **STRASSENWESEN**

---

**Peter Renken**

**Verdichtbarkeit  
von Asphaltbetongemischen  
und ihr Einfluß auf die  
Standfestigkeit**

---

**Heft 3**

**Braunschweig, 1980**

Inhalt	Seite
1. Aufgabenstellung	1
2. Behandlung des Problems in der Literatur	3
2.1 Verdichtbarkeit	3
2.2 Verformungswiderstand	12
3. Verdichtbarkeit	18
3.1 Gegenstand der Untersuchung	18
3.1.1 Auswahl der Baustoffe	18
3.1.2 Variationen	20
3.1.3 Herstellen der Baustoffgemische und der Marshall-Probekörper	27
3.1.4 Prüfverfahren	29
3.2 Untersuchungsergebnisse	29
3.2.1 Darstellungsweise der Ergebnisse	29
3.2.2 Kompositioneller Einfluß	31
3.2.2.1 Bindemittel nach Sorte und Gehalt	32
3.2.2.2 Füller nach Art und Gehalt	35
3.2.2.3 Verhältnis von Natursand zu Brechsand	35
3.2.2.4 Kornanteil größer 2 mm	39
3.2.2.5 Größtkorndurchmesser	41
3.2.2.6 Gleichzeitige Variation mehrerer Einflußgrößen	41
3.2.3 Zusammenfassende Darstellung	49
3.3 Statistische Auswertung	52
3.3.1 Verträglichkeitskriterien	52
3.3.2 Schätzen der Parameter der exponentiellen Verdichtungsfunktion	52
3.3.2.1 Regressionsanalyse	52
3.3.2.2 Näherungsrechnung über Linearisierung der exponentiellen Verdichtungsfunktion	58
3.3.3 Prüfen des Verteilungstyps	61
3.3.4 Sensitivitätsanalysen	66
3.3.4.1 Streuung der Einzelwerte	66
3.3.4.2 Empfindlichkeit gegen Verschiebungen der Gruppenmittelwerte	69
3.4 Einfaches, für die Praxis anwendbares Verfahren zur Bestimmung des Verdichtungsparameters	74
3.5 Zusammenhang des Verdichtungsparameters mit kompositionellen Einflußgrößen	79
3.6 Zusammenhang des Verdichtungsparameters mit sekundären Dichtemerkmale	83
4. Verformungswiderstand	85
4.1 Gegenstand der Untersuchung	85
4.1.1 Auswahl der Baustoffe	86
4.1.2 Variationen	86
4.1.3 Herstellen der Baustoffgemische und der Marshall-Probekörper	88
4.1.4 Prüfverfahren	89
4.1.4.1 Marshall-Prüfung	89
4.1.4.2 Kriechtest	90

## II

		Seite
4.2	Untersuchungsergebnisse	93
4.2.1	Darstellungsweise der Ergebnisse	93
4.2.2	Kompositioneller Einfluß	96
4.2.2.1	Bindemittelgehalt	96
4.2.2.2	Füller nach Art und Gehalt	99
4.2.2.3	Verhältnis von Natursand zu Brechsand	104
4.2.2.4	Kornanteil größer 2 mm	104
4.2.2.5	Größtkorndurchmesser bei konstant gehaltenem Bindemittelgehalt	109
4.2.3	Zusammenfassende Darstellung	112
4.2.4	Einfluß des Verdichtungsgrades	116
4.3	Statistische Auswertung	134
4.3.1	Verträglichkeitskriterien	134
4.3.2	Regressionsanalysen für die Stabilitätsprüfungen	137
4.3.3	Lineare Regressionen für die Kriechdehnung	140
4.3.4	Streuung der Einzelwerte für die Steifigkeit $S_{mix}$	145
4.4	Zusammenhang mit kompositionellen Einflußgrößen	146
4.5	Zusammenhang mit sekundären Dichtemerkmale	149
5.	Analytische Zusammenhänge	149
5.1	Zusammenhang zwischen den mechanischen Merkmalsgrößen	149
5.2	Zusammenhang zwischen der Verdichtbarkeit und den mechanischen Merkmalsgrößen	152
6.	Zusammenfassung	154
7.	Literatur	159
Anhang	Ergebnisblätter zur Bestimmung der Verdichtbarkeit	

## 6. Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, einen vermuteten Zusammenhang zwischen der Verdichtbarkeit und der Standfestigkeit von Asphaltbetongemischen experimentell zu überprüfen. Dazu war es zunächst notwendig, Kriterien zur Beschreibung dieser Eigenschaften zu finden, um Einflüsse aus kompositioneller Variation bestimmen und quantifizieren zu können.

Hinsichtlich der Eigenschaft Verdichtbarkeit konnte eine physikalisch interpretierbare Definition gefunden und experimentell abgesichert werden, die von der Beobachtung ausgeht, daß die mit einer bestimmten Verdichtungsarbeit erzielbare Dichteänderung vom momentanen Dichtezustand abhängt. Sie führt auf eine dreiparametrische Exponentialfunktion, bei der der Parameter C im negativen Exponenten die Krümmung der Verdichtungsfunktion beschreibt und ein Maß für die Verdichtbarkeit eines Asphaltgemischs darstellt. Dieser Parameter C wurde als universeller Verdichtungsparameter C eingeführt, denn er bestimmt die Größe der zu investierenden Verdichtungsarbeit, um ein bestimmtes Dichteniveau zu erreichen.

Hinsichtlich der Bewertung der Standfestigkeit von Asphaltgemischen wurde in Anlehnung an die Empfehlungen des "Kolloquiums 77" [2] auf Ergebnisse aus dem einaxialen Kriechversuch zurückgegriffen.

Da die Marshall-Prüfung routinemäßig in allen Laboratorien zur Anwendung kommt, wurden zusätzlich Marshall-Stabilität und Marshall-Fließwert an den normgerecht hergestellten Marshall-Probekörpern festgestellt, um zu überprüfen, ob und in welchem Maße diese beiden Merkmale zur Erklärung der Materialeigenschaften von Asphaltgemischen beitragen.

Diese Prüfverfahren, der Kriechtest und die Marshall-Prüfung, wurden darüber hinaus auch für eine Anzahl unterschiedlich zusammengesetzter Mischgutvarianten an mit variierter Schlagverdichtung hergestellten Marshall-Probekörpern durchgeführt, so daß auch der Einfluß des Verdichtungsgrades auf die Ergebnisse der mechanischen Prüfungen ermittelt werden konnte.

Aufgrund umfangreicher Untersuchungen, bei denen rund 1500 Marshall-Probekörper hergestellt und untersucht worden sind, konnte der Einfluß einer Reihe kompositioneller Parameter auf die Größe des Verdichtungsparameters C und der mechanischen Merkmalsgrößen bestimmt und damit festgestellt werden, inwieweit die gewählten Prüfverfahren zwischen unterschiedlich zusammengesetzten Mischgutvarianten differenzieren und wie genau diese Merkmalsgrößen bestimmbar sind.

Für die besonders interessierenden Größen dieser Untersuchungen, die Größe des universellen Verdichtungsparameters C sowie die Größe der Steifigkeit  $S_{mix}$ , wurden in der Tendenz eine gleichartige Beeinflussung durch eine Reihe von kompositionellen Parametern und auch gleiche Abhängigkeiten von sekundären Dichtemerkmale ermittelt, so daß der vermutete Zusammenhang zwischen der Verdichtbarkeit einerseits und der Standfestigkeit andererseits von Walzasphaltgemischen als erwiesen gelten kann. Im einzelnen ergaben sich folgende Tendenzen: Die Beträge für den Verdichtungsparameter C sowie die Steifigkeit

$S_{mix}$

- werden mit zunehmendem Bindemittelgehalt deutlich kleiner, das Asphaltgemisch leichter verdichtbar und weniger standfest. Der Einfluß der Bindemittelsorte auf die Verdichtbarkeit ist verhältnismäßig gering.
- fallen mit zunehmendem Füllergehalt stark ab. Die Art des verwendeten Gesteinsmehls besitzt einen nicht vernachlässigbaren Einfluß.
- steigen mit zunehmendem Brechsandanteil im Korngrößenbereich 0,09/2 mm deutlich an.
- reagieren auf Änderungen des Kornanteils größer 2 mm im mittleren Bereich verhältnismäßig schwach. Bei Massenanteilen an Korn größer 2 mm von mehr als 60 Gew.-% erfordert die Verdichtung der Asphaltgemische einen erhöhten Verdichtungsaufwand, die Größe für die Steifigkeit  $S_{mix}$  reagiert dagegen indifferent.
- fallen bei Veränderung des Größtkorndurchmessers bei konstant gehaltenem Bindemittelgehalt stark ab. Bei vergleichbarem Hohlraumgehalt bleibt die Verdichtbarkeit der Asphaltgemische durch die Variation des Größtkorndurchmessers praktisch unbeeinflusst.
- steigen mit zunehmendem Hohlraumgehalt  $H_{bit}$  sowie fiktivem Hohlraumgehalt des Mineralstoffgemischs  $H_{Mbit}$  in normgerecht verdichteten Marshall-Probekörpern deutlich an.

- fallen mit zunehmendem Hohlraumfüllungsgrad HFB der normgerecht hergestellten Marshall-Probekörper deutlich ab.

Aufgrund dieser experimentell abgesicherten Ergebnisse und der ausgeprägten Abhängigkeit des Verdichtungsparameters C von kompositionellen Einflußgrößen darf die Anwendbarkeit des entwickelten Konzeptes zur quantitativen Bewertung der Verdichtbarkeit von Asphaltgemischen als erwiesen gelten. Der Verdichtungsparameter C läßt sich genau genug bestimmen und differenziert zwischen unterschiedlich zusammengesetzten Mischgutvarianten hinreichend.

Auch mit dem Merkmal Steifigkeit  $S_{mix}$  aus dem Kriechversuch konnten die Mischgutvarianten differenziert angesprochen werden, obwohl festgestellt wurde, daß die Steifigkeit  $S_{mix}$  nicht genauso sicher bestimmbar ist wie der Verdichtungsparameter C. Außerdem ist besonders darauf hinzuweisen, daß sich im Verlauf der experimentellen Arbeiten herausgestellt hat, daß der Kriechversuch nicht für beliebig zusammengesetzte Mischgutvarianten angewendet werden kann. Insbesondere für sehr hohlraumreich aufgebaute Asphaltgemische liefert der Kriechversuch unplausible Ergebnisse.

Diese Feststellung gibt Anlaß, zu einer Untersuchung anzuregen, in der die Grenzen der Anwendbarkeit des Kriechtests an Marshall-Probekörpern erarbeitet werden sollen. Für diese Problemstellung wäre es auch wünschenswert, den Zusammenhang zwischen der Steifigkeit  $S_{mix}$  aus Marshall-Probekörpern mit der Standfestigkeit der unter Baustellenbedingungen verdichteten fertigen Asphalttschicht unter Zuhilfenahme geeigneter Prüfverfahren festzustellen, zumal von Huschek [2] nur eine unbefriedigende Korrelation zwischen der Kriechdehnung  $\epsilon_{60}$  aus Marshall-Probekörpern und zugehörigen Bohrkernen gefunden wurde.

Mit der Auswertung der Marshall-Prüfung an den normgerecht hergestellten Probekörpern konnten bereits bekannte Erkenntnisse bestätigt werden, denn die Marshall-Stabilität lieferte für die überwiegende Anzahl der Mischgutvarianten keine differenzierende Aussage. Es wurde jedoch festgestellt, daß der Marshall-Fließwert durchaus zur globalen Abschätzung des Gebrauchsverhaltens von Asphaltgemischen herangezogen werden kann und durch einige kompositionelle Veränderungen beeinflusst wird.

Hinsichtlich des Einflusses des Verdichtungsgrades auf die Größen von Marshall-Stabilität und der Steifigkeit  $S_{mix}$  wurde erstaunlicherweise festgestellt, daß einerseits die Stabilität am Marshall-Probekörper signifikant von der investierten Verdichtungsarbeit abhängt - ein Zusammenhang, der sich mathematisch formulieren läßt - andererseits aber die Größe für die Steifigkeit  $S_{mix}$  nur unwesentlich von dem Dichtezustand des untersuchten Marshall-Probekörpers beeinflußt wird.

Da nachgewiesen wurde, daß ein Zusammenhang besteht zwischen der über den Verdichtungsparameter C quantitativ zu bewertenden Verdichtbarkeit von Asphaltbetongemischen und ihrer über den Kriechtest anzusprechenden Standfestigkeit, ergibt sich daraus die Möglichkeit, Mischgut hinsichtlich seiner Verdichtbarkeit zu klassifizieren und hinsichtlich der Sortenvielfalt einzuengen und die Mischgutaufbereitung zu rationalisieren [30].

Der Kriechtest wurde zwar schon von mehreren Fachleuten zur Beurteilung der Standfestigkeit von Asphaltbetongemischen herangezogen. Im Verlaufe umfangreicher Voruntersuchungen zu der vorliegenden Abhandlung hat sich jedoch gezeigt, daß der Kriechversuch sich nicht so einfach und kostengünstig durchführen läßt, wie oft angenommen wird. Zwar läßt sich das Grundgerät selbst relativ preiswert herstellen, aber, um zuverlässige Ergebnisse zu gewinnen, ist umfangreiches Zubehör erforderlich, da die gemessenen Kriechdehnungen in ganz erheblichem Maß von den Versuchsbedingungen beeinflußt werden. Neben einer Vorrichtung zum planparallelen Schleifen der Marshall-Probekörper und einer elektronischen Registriereinrichtung sollte eine stoßfreie Lastabsenkautomatik eingesetzt werden.

Aufgrund der Ergebnisse aus den experimentellen Untersuchungen zu der hier bearbeiteten Problemstellung kann besonders der Verdichtungsparameter C zur Beurteilung des mechanischen Verhaltens von Asphaltgemischen empfohlen werden. Die notwendigen Marshall-Probekörper lassen sich in jedem Labor mit Sorgfalt herstellen. Im Hinblick auf die Sensitivität des Verdichtungsparameters C gegen Streuungen der Einzelwerte soll das arithmetische Mittel der Raumdichten aus drei,

besser aus vier Einzelwerten berechnet werden.

Für die routinemäßige Praxis wurde ein Nomogramm entwickelt, mit dessen Hilfe es gelingt, unter Heranziehung der mittleren Raumdichten an bei nur drei ausgewählten Schlagzahlen je Probekörperseite ( $S = 5$ ,  $S = 25$ ,  $S = 100$ ) hergestellten Marshall-Probekörpern ohne großen rechentechnischen und labortechnischen Aufwand zuverlässige Schätzwerte für den Verdichtungsparameter  $C$  zu gewinnen.

Da dieses entwickelte Konzept nur für den hier behandelten Variationsbereich experimentell abgesichert ist, wird angeregt, weitergehende Untersuchungen unter Berücksichtigung anderer kompositioneller Parameter wie Mineralstoffart und Korngrößenverteilung anzustellen. Durch systematische Variation aller kompositioneller Einflußgrößen gleichzeitig kann es dann gelingen, über multiple varianzanalytische Ansätze die Einflüsse kompositioneller Art auf die Mischguteigenschaften analytisch zu beschreiben.

Wünschenswert ist es weiterhin, darüber Kenntnis zu gewinnen, ob die in unterschiedlichen Laboratorien ermittelten Ergebnisse hinsichtlich des Verdichtungsparameters  $C$  miteinander verträglich sind. Dieser Frage sollte im Rahmen einer Ringanalyse nachgegangen werden. Es ist schon jetzt zu vermuten, daß unter Zuhilfenahme des jahrelang erprobten und bald voll ausgereiften Verdichtungsgerätes nach Marshall hinsichtlich des Verdichtungsparameters  $C$  verträgliche Ergebnisse eher zu erreichen sind als mit dem einfachen Kriechtestgerät hinsichtlich der Größe für die Steifigkeit  $S_{\text{mix}}$ .