ARBEITSAUSSCHUSS: BEMESSUNG UND STANDARDISIERUNG DER VERKEHRSFLÄCHENBEFESTIGUNGEN
FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN

FGSV-Arbeitspapier Nr. 63

Mechanisches Verhalten von unbewehrten Betondecken in Befestigungen für Verkehrsflächen

– Eingangsgrößen in die Bemessung – (Materialkennwerte)

Ausgabe 2003

Die in Form von Arbeitspapieren herausgegebenen Arbeitsergebnisse von Gremien der FGSV stellen Zwischenergebnisse weiter gehender Arbeiten oder kurzfristig erarbeiteter Beiträge zur weiteren Diskussion aktueller Fragen dar.

Diese Arbeitspapiere sind nicht innerhalb der FGSV abgestimmt und deshalb noch nicht als Stellungnahme der FGSV zu betrachten.

Arbeitsgruppe Fahrzeug und Fahrbahn

Arbeitsausschuss: Bemessung und Standardisierung der Verkehrsflächenbefestigungen

Arbeitskreis: Stoffverhalten

Bearbeitergruppe: Beton

Leiterin:	Dr.- Ing Pfeifer, Berlin
Mitarbeiter:	Dr.-Ing. Beckhaus, München
	Dr.-Ing. Gleitz, Dresden
	Dr.-Ing. Hiller, München
	Prof. Dr.-Ing. Hothan, Hannover
	Dr.-Ing. Lempe, München
	Dipl.-Ing. Maliha, Stuttgart
	Dr.- Ing. Mangold, Berlin
	Dipl.-Ing. Noske, Bergisch Gladbach
	Prof. Dr.-Ing. Wellner, Dresden

© 2003 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die des Nachdruckes, der Übersetzung, des Vortrages, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.

Inhaltsübersicht

Seite

0 Vorbemerkungen 3

1 Einführung 3

2 Grundlagen 4

3 Begriffe 5

4 Bemessungsgrößen 8

4.1 Druck- und Zugspannungszustände 8

4.2 Aufnehmbare Momente und zugeordnete baustoffabhängige Eingangsgrößen 8

4.3 Einwirkende Momente und zugeordnete baustoffabhängige Eingangsgrößen 11

5 Stoffeigenschaften 12

5.1 Allgemeines 12

5.2 Verformungsparameter des Straßenbetons 13

5.2.1 Elastizitätsmodul bei Druckbeanspruchung 13

5.2.2 Elastizitätsmodul bei Zugbeanspruchung 14

5.2.3 Querdehnzahl 14

5.2.4 Totalmodul 15

5.3 Festigkeitsparameter des Straßenbetons 15

5.3.1 Druckfestigkeit 15

5.3.2 Zugfestigkeit/Spaltzugfestigkeit 15

5.3.3 Festigkeitskorrelationen 16

5.3.4 Straßenbetonklassen 17

5.3.5 Ermüdungsfestigkeit 18

Literaturverzeichnis 20

0 Vorbemerkungen

Zur Ermittlung der erforderlichen Dicke von Betondecken für Straßenverkehrsflächen wurde entsprechend dem Stand der europäischen Normung ein Bemessungsverfahren nach Grenzzuständen entwickelt. Hierfür steht das Rechenprogramm AWDSTAKO [1] zur Verfügung, das auf dem Fachtechnischen Handbuch "Betondecken für Straßenverkehrsflächen - Lastannahmen, Berechnung, Nachweisführung" [2] beruht. Das Verfahren bzw. Rechenprogramm ermöglicht u.a. die differenzierte Berücksichtigung der bemessungsrelevanten Betoneigenschaften. Deren Definition ist Inhalt des folgenden Arbeitspapiers.

1 Einführung

Die Stoffparameter des Baustoffs Straßenbeton (Definition siehe Abschnitt 3) sind entscheidende Eingangsgrößen in die beanspruchungs- und baustoffgerechte Bemessung und Konstruktion unbewehrter Decken für Verkehrsflächen. Sie sind neben der durch die Bemessung festzulegenden Dicke der Betondecke das dominierende Merkmal für die Aufnahme von Beanspruchungen aus Verkehr und Witterung im Nutzungszeitraum.

Eine Bemessung ohne zutreffende Eingangsgrößen kann nicht zu wirklichkeitsnahen und wirtschaftlichen Ergebnissen führen. Festlegungen für unbewehrte Betonkonstruktionen wurden in der DIN EN 206-1 [3] in Verbindung mit der DIN 1045-2 [4] und in der DIN 1045-1 [5] getroffen. Sie enthalten die grundsätzlichen Regelungen für den Beton und den Betonbau und verweisen darauf, dass für Verkehrsflächen zusätzliche Regelungen zu treffen sind. Die hierfür erforderlichen Modifizierungen und Spezifizierungen hätten den Rahmen der Normen gesprengt.

Das vorliegende Arbeitspapier soll an das o.g. Regelwerk anknüpfen und dient der Bereitstellung der für die Bemessung von Betondecken für Straßenverkehrsflächen erforderlichen baustoffrelevanten Modifizierungen und Erweiterungen.

Bei der Erstellung des Arbeitspapiers wurden die Grundsätze der Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton (ZTV Beton-StB 01 [6]) beachtet, darüber hinaus fanden straßenbauspezifische Forschungs- und Untersuchungsergebnisse Eingang.

Das Arbeitspapier befasst sich nur mit stofflichen bemessungsrelevanten Parametern. Zweckgebunden werden sie als 5%-Quantil oder Mittelwert ausgewiesen.

Da Baustoffkenngrößen sich stets abhängig vom Prüfverfahren darstellen, wird an den betreffenden Stellen auf Besonderheiten in Verbindung mit standardisierten Prüfverfahren hingewiesen.

Die Betonrezeptierung zur Erreichung hoher Festigkeiten und weiterer Eigenschaften ist nicht Bestandteil dieses Arbeitspapiers.

Andere stoffliche Parameter des Betons, wie der Widerstand gegen Frostangriff mit und ohne Taumittel, sowie gegen Betonkorrosion durch Verschleißbeanspruchung, die Anforderungen an die Rauheit und Verkehrslärmminderung der Oberfläche u.ä. sind ebenfalls nicht Bestandteil dieses Arbeitspapiers. Sie können dem hierfür geltenden Regelwerk entnommen werden.

Auch Lastannahmen und konstruktive Parameter sind nicht Bestandteil dieses Arbeitspapiers.

2 Grundlagen

Für eine einfach praktizierbare und doch hinreichend genaue Bemessung wird zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht von einer wahrscheinlichkeitstheoretischen (probabilistischen) Verfahrensweise ausgegangen, sondern von einer semiprobabilistischen Verfahrensweise. Gegenüber älteren Bemessungsverfahren werden hierbei nicht feste Eingangsgrößen und ein globaler Sicherheitsbeiwert, sondern Teilsicherheitsfaktoren verwendet, die Kenntnisse der mathematisch – statistischen Verteilung der einzelnen Eingangsgrößen und eine definierte Verfahrensweise bei der prüftechnischen Ermittlung der Materialkenngrößen voraussetzen.

Angewendet wird ein Bemessungsverfahren nach Grenzzuständen [2]. Dieses beruht darauf, dass einwirkende und aufnehmbare Biegemomente einander gegenüber gestellt werden. Alle Parameter, die für die Größe der einwirkenden und aufnehmbaren Biegemomente relevant sind, unterliegen mathematisch statistischen Verteilungen. Die Bemessung nach Grenzzuständen erlaubt es, den Abstand der Verteilungskurven der Einwirkungen und Widerstände nach Straßenklassen bzw. Nutzungszweck festzulegen und damit eine definierte Ausfallrate am Ende der Nutzungsdauer oder zu einem beliebigen Zwischenzeitpunkt vorzugeben (Bild 1). Damit wird eine anwendungsorientierte und wirtschaftliche Bemessung von Verkehrsflächen möglich.

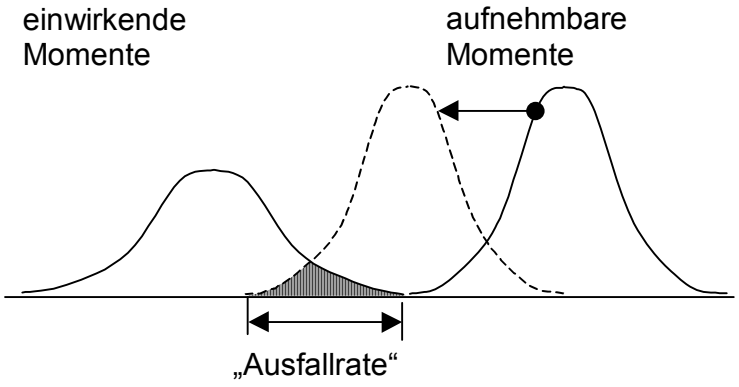

Bild 1: Abstand zwischen den Verteilungsfunktionen der einwirkenden und aufnehmbaren Momente

Die einwirkenden Biegemomente entstehen aus allen äußeren Einflüssen, wie der Beanspruchung aus Verkehr (mit den Details der Achsanordnung, Radanordnung, Reifenaufstandsfläche, des Kontaktdrucks zwischen Reifen und Fahrbahn, des Stoß- bzw. Schwingungsbeiwerts u.a.m.), und aus Witterungsbeanspruchung (mit den Komponenten Erwärmung/Abkühlung von oben, Durchfeuchtung/Austrocknung von oben bzw. unten). Die Quantifizierung dieser Beanspruchung ist nur soweit Thema dieses Merkblattes, wie sie durch Baustoffkenngrößen beeinflusst wird.

Um eine Bemessung nach semiprobabilistischen Verfahrensweisen durchführen zu können, wird im vorliegenden Arbeitspapier zunächst dargestellt, welche Stoffeigenschaften des - unbewehrten - Betons den "Einwirkungen" und "Widerständen" zuzuordnen sind. Die getroffenen Festlegungen basieren auf den Normenreihen DIN EN 206 und DIN 1045 [3 – 5].

Wie in diesen Regelwerken werden

- „charakteristische“ Kenngrößen beim 5%-Quantil, z.B. bei der Festigkeit
- Mittelwerte, z.B. beim E-Modul, der Querdehnzahl, der Wärmedehnzahl

verwendet.

Das Arbeitspapier befasst sich mit Betonen, die gemäß DIN 1045-2 [4] bei Verkehrsflächen der Expositionsklasse XF4 - XM2 zuzuordnen sind.

In der Praxis des Betonstraßenbaus werden vorrangig Betone der Druckfestigkeitsklassen C 25/30 bis C 35/45 verwendet, ggf. jedoch auch Betone höherer Druckfestigkeitsklassen - gemäß DIN EN 206-1 [3] - jeweils nachgewiesen an Laborprobekörpern. [1]

Maßgebend für die Bemessung von Verkehrsflächen ist jedoch die Betonzugfestigkeit, insbesondere als statistische Größe am Bauwerk. Es werden daher zusätzlich Anforderungen an die Zugfestigkeit (Spaltzugfestigkeit) der Betone gestellt, die in die Erstprüfung einzubeziehen sind und deren Einhaltung am Bohrkern nachzuweisen ist. Zur Charakterisierung dieser Betone wird im Folgenden der Begriff "Straßenbeton" eingeführt.

Die in der Tabelle 1 der ZTV Beton-StB 01 [6] festgelegten Anforderungen an den Beton werden hier abweichend definiert, da sich die ZTV Beton-StB auf die standardisierten Bauweisen gemäß den „Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen“ (RStO 01) [7] beziehen, während das vorliegende Arbeitspapier die Grundlage für eine freie Bemessung bildet.

3 Begriffe

Ausfallrate	Rechnerischer Anteil gerissener Platten am Ende der vorgesehenen Nutzungsdauer
Bemessung	im Sinne dieses Arbeitspapiers: Ermittlung der erforderlichen Dicke der unbewehrten Betondecke
Bemessung nach Grenzzuständen	Bemessung so, dass am Ende der vorgesehenen Nutzungsdauer eine auf die Rißbildung bezogene vereinbarte Versagensquote (Ausfallrate) eingehalten wird
charakteristische Zugfestigkeit f_{ctk}	zentrische Zugfestigkeit, die mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % nicht unterschritten wird; (5%-Quantil bei einseitiger Fragestellung, ermittelt als Spaltzugfestigkeit an Zylindern)
charakteristische Bauteilzugfestigkeit $f_{ctk,\,core}$	Zugfestigkeit, im Sinne dieses Arbeitspapiers ermittelt als Spaltzugfestigkeit an Bohrkernscheiben (Prüftermin gemäß ZTV Beton-StB 01 [6], Abschnitt 2.6.4.4), die mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % nicht unterschritten wird (5%-Quantil bei einseitiger Fragestellung)

[1] bis zum Jahre 2004 sind die Festigkeitsklassen B 35 und B 25 der ZTV Beton-StB 01 ersatzweise verwendbar.

charakteristische Festigkeit f_{ck}	Druckfestigkeit $f_{ck,cyl}$ (an Zylindern) bzw. $f_{ck,cube}$ (an Würfeln) entsprechend der Festigkeit, die mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % nicht unterschritten wird (5%-Quantil bei einseitiger Fragestellung)
Dilatation	Ausdehnung einer Platte bzw. Plattenreihe infolge mittlerer Plattenerwärmung bei nicht oder nur teilweise behinderter Verschiebungsmöglichkeit auf der Unterlage
Druckvorspannung infolge Plattendilatation	Längsdruckspannung in einer Platte bzw. Plattenreihe bei Behinderung der Ausdehnung infolge Erwärmung durch Haftung an der Unterlage oder durch feste Einbauten; kann der temporären Reduzierung von Zugspannungen aus Verkehrsbeanspruchung dienen
Elastizitätsmodul E_{ctm}	Mittelwert des beim Zugversuch ermittelten E – Moduls
Elastizitätsmodul E_{cm}	Mittelwert des beim Druckversuch ermittelten E-Moduls des Betons
Erstprüfung	bisher „Eignungsprüfung“ = Grundlage der Betonzusammensetzung
Grenzzustände der Tragfähigkeit (GZT) gemäß DIN 1045-1 [8]	Diejenigen Zustände, bei deren Überschreitung rechnerisch der Einsturz oder andere Formen des Tragwerksversagens (hier z. B. Rissbildung mit ggf. nachfolgender Stufenbildung) eintreten
Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (GZG) gemäß DIN 1045-1 [8]	umfassen (zutreffend für unbewehrte Konstruktionen) die Begrenzung der Spannungen (Momente) in der Betondecke
Kriechen	visko-plastische Verformung; wird auch zur Abschätzung der Spannungsrelaxation verwendet
Materialfaktor k_{bn}	Faktor zur Berücksichtigung der Betonnacherhärtung
Materialfaktor k_{bt}	Faktor aus der mathematisch–statistischen Festigkeitsverteilung (siehe Abschnitt 4.2), bezogen auf die vereinbarte Ausfallrate
M_{Rd}	aufnehmbares Biegemoment (R = resistant, d = design)
probabilistisch	wahrscheinlichkeitstheoretisch
Querdehnzahl μ_c	Querdehnzahl des Betons, z.B. Verhältnis der Querdehung zur Längsstauchung unter Druckbeanspruchung

semiprobabilistisch	vereinfacht („halb“) wahrscheinlichkeitstheoretisch
Spannungsrelaxation	Abbau von länger einwirkenden Spannungen im Beton bei behinderter Plattenverformung
Straßenbeton StC	unbewehrter Beton für Verkehrsflächen, der im Sinne dieses Arbeitspapiers neben der Druckfestigkeit auch durch die Zugfestigkeit (geprüft als Spaltzugfestigkeit) und den Frost-Tau-Widerstand, i.a. auch in Gegenwart von Auftaumitteln, und den Verschleißwiderstand definiert ist (Expositionsklasse XF4 - XM2 der DIN 1045–2 [4]). Es kommen vorrangig die Festigkeitsklassen C 20/25 bis C 35/45, ggf. jedoch auch höhere, zur Anwendung. Gemäß DIN EN 206-1 [3] bedeutet der erste Wert die charakteristische Druckfestigkeit am zylindrischen Probekörper, der zweite Wert die charakteristische Druckfestigkeit am Würfel. Ergänzend wird für den Straßenbeton eine Zugfestigkeit angegeben, so dass eine Dreifach-Bezeichnung entsteht. Beispiel: StC 30/37-3,3
Teilsicherheitsfaktor $\gamma_{c,fat}$	Teilsicherheitsfaktor für Beton beim Ermüdungsnachweis
Totalmodul E_{ctot}	Verformungsmodul des Betons bei einer langsam eingetragenen Belastung, z.B. durch Temperatureinwirkung oder statische Last; Der Totalmodul ist eine Hilfsgröße, ermittelt aus dem Elastizitätsmodul durch Abminderung mit einem Faktor 0,67; dieser Faktor berücksichtigt das Kriech- bzw. Relaxationsverhalten
Vorverformung infolge ungleichmäßiger Temperatur- und Feuchteverteilung im Querschnitt	in situ auftretende konkave Plattenverformung infolge Abkühlung und/oder Schwindens in den oberen Zentimetern; nur teilreversibel bei nachträglicher Erwärmung oder Durchfeuchtung von oben
Wärmedehnzahl α_{cT}	Dehnung des Betons pro Kelvin Erwärmung
Zugvorspannung infolge Plattenkontraktion	Längszugspannung in einer oder mehrerer miteinander zugübertragend verbundener Platten - bei Behinderung des Zusammenziehens - infolge Plattenabkühlung bei ganz oder teilweise behinderter Verschiebungsmöglichkeit auf der Unterlage; kann temporär zur Erhöhung der Zugspannungen aus Verkehrsbeanspruchung führen.

4 Bemessungskenngrößen

4.1 Druck- und Zugspannungszustände

Bei der Bemessung nach Grenzzuständen, z.B. mit dem Programm AWDSTAKO [1], bleiben Längsdruck- bzw. Zugvorspannungszustände des Betons infolge von Temperatur- und/oder Feuchteeinwirkungen unberücksichtigt.

Längsdruckspannungen σ_c in der Plattenreihe, die den unter Biegung an der unteren oder oberen Plattenseite auftretenden Zugspannungen entgegenwirken, entstehen bei Erwärmung nicht mit Sicherheit; vielmehr ist ihr Auftreten abhängig von der Einbautemperatur, den Temperaturverhältnissen in den ersten Monaten nach dem Betoneinbau, der Art der verwendeten Gesteinskörnungen und Zemente.

Zugvorspannungen infolge behinderter Plattenkontraktion bleiben bei der Bemessung i.a. unberücksichtigt, da bei regelgerechter Ausführung jede Einzelplatte mit einer Länge von i.d.R. 5 m für sich allein arbeitet. In dieser Einzelplatte bleibt die Zugvorspannung vernachlässigbar gering, sofern kein Verbund zur Unterlage vorhanden ist.

Da bei Bauweisen mit einer Schichtenfolge gemäß RStO 01 [7] die Reibung zwischen Platte und Unterlage gering ist, werden in diesem Arbeitspapier nur die für die Biegebeanspruchung des Betons relevanten stofflichen Eingangsgrößen weiter behandelt.

4.2 Aufnehmbare Momente und zugeordnete baustoffabhängige Eingangsgrößen

Das Rechenverfahren/-programm nach Grenzzuständen lässt für unterschiedliche Straßenarten/Verkehrsflächen unterschiedliche Ausfallraten zu. Der Anteil gerissener Platten am Ende der normativen Nutzungsdauer wird über den Materialfaktor k_{bt} bezogen auf die Zugfestigkeit des Betons, der sich aus deren mathematisch-statistischer Verteilung ergibt, in die Berechnung eingeführt.

Die rechnerischen Grundlagen ergeben sich mit Hilfe der im Folgenden ergänzend beschriebenen Formelzeichen :

f_d = Berechnungsfestigkeit

f_d^0 = Grundwert der Berechnungsfestigkeit

$\overline{f}_{ct,\,core}$ = Mittelwert der Zugfestigkeit am Bohrkernen

V = Variationskoeffizient [%]

x = Ausfallrate

λ = Funktionswert der Gaußverteilung

λ_x = f(x) .

Die Materialfaktoren k_{bt} sind den Ausfallraten x zugeordnet.

Die zu projektierende und an Bohrkernen nachzuweisende Zugfestigkeit $f_{ctk,core}$ liegt bei x = 5 %.

Auf Grundlage der angenommenen Gaußverteilung ist nach [2] der Grundwert der Berechnungsfestigkeit:

$$f_d 0 = \frac{f_{ctk,core}}{k_{bt}} = \frac{\overline{f}_{ct,core}(1-\lambda \cdot V)}{k_{bt}} \qquad \text{(Gl. 1).}$$

Geht man von einem in praxi sicher erreichbaren Variationskoeffizienten V = 13 % aus, so ergibt sich die folgende Tabelle 1.

Tabelle 1: Teilsicherheitsfaktoren als Funktion der Ausfallrate

x [%]	λ_x	$1-\lambda_x \cdot V$	$k_{bt,x}$
2,3	2,000	0,780	1,076
5	1,645	0,833	1,000
10	1,282	0,865	0,944
15	1,036	0,895	0,909
20	0,842	0,912	0,883
25	0,674	0,932	0,862
30	0,524	0	0,843
40	0,253	0,967	0,813
50	$\pm$ 0	1,000	0,786
60	- 0,253	1,033	0,761
70	- 0,524	1,068	0,736
80	- 0,842	1,110	0,708

Für eine Ausfallrate x = 5 % wird λ = 1,645 und k_{bt} = 1,0;

für eine Ausfallrate x = 50 % bei Ansatz der mittleren Zugfestigkeit $\overline{f}_{ct\ core}$ wird k_{bt} = 0,786.

Die allgemeine Beziehung für $k_{bt,x}$ lautet somit

$$k_{bt,x} = \frac{0,786}{(1-\lambda_x \cdot V)} \qquad \text{(Gl. 2).}$$

Entsprechend den vorgesehenen Ausfallraten sind die Berechnungsfestigkeiten differenziert anzusetzen. Zum Verlauf der Ausfallraten über die Zeit siehe [28].

Dabei ist der Grundwert der Berechnungsfestigkeit:

$$f_d^0 = k_{bn} \frac{f_{ctk,core}}{k_{bt}} \quad [N/mm^2] \qquad \text{(Gl. 3)}$$

und die Berechnungsfestigkeit:

$$f_d = m_b \cdot f_d^0 . \qquad \text{(Gl. 4).}$$

Der Anpassungsfaktor m_b ist für den Ermüdungsfall definiert mit $1/\gamma_{c,fat}$.

Die charakteristische Bauteilzugfestigkeit wird also bei Bemessungsaufgaben zunächst regelmäßig mit dem Materialfaktor k_{bt} modifiziert. Dabei werden die Werte der Tabelle 2 verwendet, denen für die bei der Bemessung zu führenden Nachweise differenzierte Ausfallraten von 2,3 % bis 20 % zugeordnet wurden:

Tabelle 2 : Materialfaktoren als Grundlage der Ausfallraten

Straßenart/ Verkehrsfläche	Materialfaktor			
	k_{bt}		k_{bt}	k_{bn}
	für Nachweis, quasistatisch im		beim Ermüdungsnachweis im	
	GZT	GZG	GZT	
Bundesautobahnen	1,076	1,076	1,000	
Bundesstraßen	1,076	1,076	1,000	
Landesstraßen	1,076	1,000	0,933	1,000
Kreis- und Gemeindestr.	1,076	1,000	0,862	
Flächen mit geringem Qualitätsanspruch	0,933	1,000	0,780	1,000

Der Faktor k_{bn} ermöglicht die Berücksichtigung der Nacherhärtung des Betons. Er kann bei Straßenbetonen eine Größenordnung bis zu mehr als 1,10, also einen Festigkeitszuwachs von ≥ 10 % erreichen. Er wird im Regelfall jedoch nicht berücksichtigt.

Die allgemeine Beziehung für den Bemessungswert des aufnehmbaren Moments lautet

$$M_{Rd} = 0{,}167 \cdot h_d^2 \cdot f_d^0 \qquad \text{(Gl. 5)}$$

wobei also definitionsgemäß $f_{ctk,core}$ in die Bemessung der hier behandelten Verkehrsflächen eingeht, um vermeidbare Unsicherheiten auszuschließen.

Für den Nachweis auf Ermüdungsbeanspruchung bei auf die äquivalente Anzahl gleich großer Achslasten umgerechneter Lastübergänge (siehe RStO 01 [7] und Rechenprogramm AWDSTAKO [1]) ergibt sich die entsprechende Gleichung wie folgt:

$$M_{Rd} = 0{,}167 \cdot h_d^2 \cdot f_d^0 \,/\, \gamma_{c,fat} \qquad \text{(Gl. 6)}$$

mit

h_d = Berechnungsdicke.

In Analogie zu den Teilsicherheitsfaktoren γ nach Abschnitt 3 der DIN 1045-1 [5] werden für den Nachweis bei Ermüdungsbeanspruchung in diese Gleichung die Faktoren $\gamma_{c,fat}$ aus Bild 2 dieses Arbeitspapiers eingeführt. Damit eröffnet sich – über das Angebot der DIN 1045-1 [5] hinausgehend - die für den Straßenbau erforderliche Möglichkeit, $\gamma_{c,fat}$ nach der Anzahl der Lastübergänge zu differenzieren.

Da bisher keine abgesicherten Ermüdungsfaktoren bei Spaltzugbeanspruchung vorliegen, werden für die Berechnung und Nachweisführung zum jetzigen Zeitpunkt hilfsweise die entsprechenden Faktoren bei Biegebeanspruchung verwendet (siehe Abschnitt 5.2.4).

4.3 Einwirkende Momente und zugeordnete baustoffabhängige Eingangsgrößen

Die einwirkenden Momente bestehen aus der Summe der Momente aus Verkehr und Eigengewicht, letztere bei witterungsbedingter Plattenhohllagerung.

Neben der Beanspruchung aus dem Verkehr, sowie der Plattengeometrie und den Auflagerungsbedingungen und den wechselnden Verformungszuständen infolge von Temperatur- und Feuchtegradienten sind für die Größe der einwirkenden Momente die folgenden Betonkennwerte relevant:

Elastizitätsmodul E_{cm} , E_{ctm} — Totalmodul E_{ctot}

Querdehnzahl μ_c — Wärmedehnzahl α_{cT}.

Diese wiederum sind abhängig von der Betonzusammensetzung und der Art der Gesteinskörnung, die als Zuschlag verwendet wird, vom Zementgehalt, sowie vom Feuchtigkeitszustand. So bestehen z.B. für die Wärmedehnzahl α_{cT} die Abhängigkeiten von der Gesteinskörnung bei 65 bis 70 % relativer Luftfeuchte und einem Zementgehalt von 400 kg/m³ gemäß Tabelle 3 [8] .

Tabelle 3: Wärmedehnzahlen

Gesteinskörnung	Wärmedehnzahl α_{cT} [10^{-6}/K]
Quarzgestein	13,4
Quarzsand und -kies	13,0
Granit, Gneis, Liparit	10,2
Syenit, Trachyt, Diorit, Andesit, Gabbro, Diabas, Basalt	9,6
Dichter Kalkstein	7,9

Die Wärmedehnzahl α_{cT} und der Totalmodul E_{ctot} (siehe auch Abschnitt 5.2) gehen linear in das Moment aus Eigengewicht ein, so dass sich, z.B. im Interesse einer wirtschaftlichen Bemessung, die Verwendung bestimmter Arten des Zuschlags mit den zugehörigen Werten empfehlen kann.

Nicht linear, sondern in der 4. Wurzel geht die Querdehnzahl in das Moment aus Verkehrsbelastung ein; die Querdehnzahl ist daher von geringerem Einfluss.

5 Stoffeigenschaften

5.1 Allgemeines

Die im Rahmen der Erstprüfung sowie der Eigenüberwachungs- und Kontrollprüfungen gemäß ZTV Beton-StB [6] zu ermittelnden Qualitätsparameter können nicht unmittelbar als Eingangsgrößen in die Berechnung nach Grenzzuständen dienen:

- dem bisherigen Regelwerk gemäß werden - entsprechend der Definition der Festigkeitsklassen - Druckfestigkeiten geprüft; benötigt werden jedoch für die Bemessung und Nachweisführung Zugfestigkeiten
- aus der Druckfestigkeit kann im zu betrachtenden Einzelfall nicht annähernd genau genug auf die Zugfestigkeit geschlossen werden; das Verhältnis zwischen Druck- und Zugfestigkeit hängt u.a. maßgeblich von Art und Anteil der gebrochenen Gesteinskörnungen, vom Mörtelanteil, von der Haftung zwischen Mörtel und Gestein, von der Verdichtung ab.

Die aus 33 Prüfserien beim Autobahnbau abgeleiteten Korrelationen zwischen beiden Prüfgrößen - Auswertung als Vorarbeit zu diesem Arbeitspapier [9] – ergaben geringe Bestimmtheitsmaße, obwohl die Variationskoeffizienten der Druck- und der Spaltzugfestigkeiten mit i.d.R. 10 bis 12 % relativ günstig und jeweils in der gleichen Größenordnung lagen. Die geringen Variationskoeffizienten der Festigkeiten von Bohrkernserien bestätigten sich auch in einem umfangreichen Ringversuch zur Druck- und Spaltzugfestigkeit von Straßenbeton [10]. Neben der Zugfestigkeit stehen die E-Moduln, Querdehnzahlen und Wärmedehnzahlen für die Bemessung i.A. nicht projektbezogen zur Verfügung.

Es besteht also der Bedarf, die bemessungsrelevanten Materialkenngrößen des Straßenbetons im Falle der freien Bemessung zusätzlich zu ermitteln, so weit sie einen deutlichen Einfluss auf die erforderliche Deckendicke haben.

Würden die Eingangsgrößen, vor allem die Zugfestigkeiten, allein aus den im Rahmen der Qualitätssicherung nachgewiesenen Druckfestigkeiten abgeleitet, so würden nicht kalkulierbare Über- oder Unterbemessungen entstehen.

Gleiches trifft bei Verwendung der Ergebnisse der Biegezugprüfung, die im Rahmen der Erstprüfung durchgeführt wird, zu. Zum einen ist die Prüfmethode nach den ZTV Beton-StB – nicht nur wegen der Prüfung mit einer Einzellast in Balkenmitte – mit erheblichen Streuungen behaftet; dabei kann die Streuung wegen der im Regelwerk nicht geforderten Spaltzugprüfung an Bohrkernen gar nicht bestimmt werden. Die unmittelbare Bestimmung der Spaltzugfestigkeit am Zylinder bei der Erstprüfung, sowie am Bohrkern als Kontrollprüfung ist daher als Grundlage der freien Bemessung unumgänglich.

Die Verwendung der Spaltzugfestigkeit bei der Bemessung von Betondecken ist somit begründet in

- der allgemeinen, international angewendeten Verfahrensweise für die Bemessung unbewehrter Betone
- den nicht vorhandenen festen Korrelationen zwischen Druck- und Zugfestigkeit

und darüber hinaus in der Möglichkeit,

- die Zugfestigkeit in situ als Bauwerksfestigkeit zu prüfen (eine theoretische Bemessung ohne Kenntnis der Zugfestigkeit des Bauwerks schließt die Berücksichtigung eines der Haupteinflüsse aus)

- die Zugfestigkeit an der Deckenober- und -unterseite zu prüfen
- das gleiche Prüfverfahren am Laborprüfkörper und am Bohrkern zu verwenden
- die Zugfestigkeit beim 5 %-Quantil aus Bohrkernprüfungen zu ermitteln, analog zur charakteristischen Druckfestigkeit
- an Bohrkernscheiben *eines* Kerns Druck- und Spaltzugprüfungen durchzuführen.

Die Bemessung, der die hier behandelten Eingangsgrößen dienen, basiert auf folgenden Annahmen:

Für kurzzeitige bzw. dynamische Beanspruchungen kann das Verhalten des Betons als vollelastisch betrachtet werden. Damit gelten die Beziehungen aus der Festigkeitslehre, angefangen vom HOOKEschen Gesetz bis hin zur generellen Anwendung der Elastizitätstheorie. Abhängig von dem Ort der Eintragung der Verkehrslast und von der Plattenvorverformung können sich in einem Bemessungsquerschnitt positive und negative Spannungen abwechseln (Wechselbeanspruchung), was zum derzeitigen Zeitpunkt jedoch noch nicht berücksichtigt werden kann.

Erläuterungen zur Ermüdungsfestigkeit werden im Abschnitt 5.2.4 gegeben.

Beachtet wird bei der Berechnung und Nachweisführung auch, dass Verkehrsflächen aus Beton nicht nur kurz einwirkenden oder dynamischen Beanspruchungen unterliegen, sondern auch langsamen Einwirkungen aus Temperatur- und Feuchtebeaufschlagung oder aus stehendem Verkehr.

Unter derartigen Beanspruchungen zeigt der Beton kein überwiegend elastisches Verhalten. Vielmehr setzen sich entstehende Verformungen aus einem elastischen und einem quasi- plastischen Anteil zusammen; der quasi-plastische Anteil, z.B. aus ungleichmäßigem Schwinden des Querschnitts, ist dabei teilreversibel.

In diesem Fall wird nicht der volle Elastizitätsmodul des Betons spannungswirksam, sondern nur der elastische Anteil an der Gesamtverformung führt zu Spannungen.

Vereinfachend kann für diese Lastfälle rechnerisch ein sogenannter Totalmodul eingeführt werden, der sowohl die elastischen als auch die plastischen Anteile umfasst.

Der Totalmodul ist nicht nach genormten Prüfmethoden ermittelbar, sondern kann nach vorliegenden Untersuchungen gemäß Abschnitt 5.2.4 angesetzt werden. Er korrespondiert mit den Kriechwerten der DIN EN 1045-1 [5]. Darüber hinaus siehe [11] bis [14].

5.2 Verformungsparameter des Festbetons

Obwohl es sich bei den Verformungsparametern um Stoffeigenschaften handelt, werden – wie oben gezeigt – bei der Berechnung und Nachweisführung diese Größen nicht nur für die Ermittlung der aufnehmbaren Momente, sondern auch für die Ermittlung der einwirkenden Momente benötigt. Dort haben die einzelnen Eigenschaften ein unterschiedliches Gewicht.

5.2.1 Elastizitätsmodul bei Druckbeanspruchung

Der Elastizitätsmodul ist nach den ZTV Beton-StB keine nachzuweisende Größe für die Qualitätssicherung im Betonstraßenbau. Der mittlere Elastizitätsmodul E_{cm} bei Druckbeanspruchung kann näherungsweise rechnerisch bestimmt werden aus der Druckfestigkeit. Ein Zusammenhang zwischen dem E_{cm} und der mittleren Druckfestigkeit f_{cm} wird im CEB-FIP Model Code MC 90 [15] wie folgt angegeben:

$$E_{cm} = \alpha_E \times E_{co} \, (f_{cm}/f_{cmo})^{1/3} \qquad \text{(Gl. 7)}$$

mit

E_{co} = Grundwert des E-Moduls = $2{,}15 \times 10^4$ [N/mm²]

f_{cm} = mittlere Druckfestigkeit = $f_{ck} + 8$ [N/mm²] mit f_{ck} als charakteristische Festigkeit

f_{cmo} = 10 N/mm²

α_E = gesteinsabhängiger Beiwert zwischen 1,2 (Kalkstein) und 0,7 (Sandstein) [15].

Damit liegt eine große Streubreite bei der Ermittlung des E_{cm} - Moduls aus der Druckfestigkeit vor. Zu beachten sind wiederum bei der Einschätzung der Beeinflussungsmöglichkeit durch diese Eingangsgröße die prozentualen Anteile der unterschiedlichen Gesteinsarten im Gemisch.

5.2.2 Elastizitätsmodul bei Zugbeanspruchung

Für die bemessungsrelevanten Ansätze ist der Elastizitätsmodul unter Zugbeanspruchung maßgebend.

Obwohl die Spannungs-Dehnungs-Linie unter Druck- und Zugspannung unterschiedlich verläuft und auch die zeitliche Entwicklung des E-Moduls unter Druck und Zug im jungen Alter unterschiedlich ist, wird bis zum Vorliegen eines gesicherten Zusammenhangs zwischen dem Zug–E–Modul und der Spaltzugfestigkeit der Ansatz

$$E_{ctm\,28} \cong 1{,}15 \, E_{cm28} \qquad \text{(Gl. 8)}$$

für vertretbar erachtet [16].

Im Einzelfall ist die unmittelbare Ermittlung des E_{ctm} – Moduls bei der Spaltzugprüfung zu empfehlen, zumal daraus auch E_{ctot} abgeleitet werden kann (siehe Abschnitt 5.2.4).

5.2.3 Querdehnzahl

Die Querdehnzahl hängt von zahlreichen Einflüssen ab, bei höheren Betonfestigkeiten liegt sie bei etwa 0,20 bis 0,25.

Noch höhere Werte treten dann auf, wenn eine Mikrorissbildung entsteht. Da die unbewehrte Betondecke so bemessen wird, dass Mikrorissbildung - abhängig von den zu Grunde zu legenden Ausfallraten - nur in beschränktem Umfang im Laufe der Jahre eintreten darf, kann i.d.R. mit der mittleren Querdehnzahl μ_c = 0,2 nach DIN 1045-2 [4] gerechnet werden.

Für differenziertere Berechnungen kann im Laufe der Ermüdungsbeanspruchung mit einer Steigerung dieser Eingangsgröße bis zu 0,5 gerechnet werden.

5.2.4 Totalmodul

Wie im Abschnitt 3 erläutert, wird für die Spannungsermittlung infolge langsam einwirkender Temperatur- und Feuchtebeanspruchungen ein Totalmodul angesetzt. Messer-

gebnisse hierzu liegen nur durch vergleichende Prüfungen am Biegezugbalken vor [13], [14].

Dabei wurde die Spannungs-Dehnungs-Linie an einem Biegezugbalken unter einer konstant einwirkenden Last über einen Zeitraum von einigen Stunden ermittelt; i.d.R. ergibt sich der Totalmodul zu etwa zwei Dritteln des Elastizitätsmoduls, also

$$E_{ctot} \cong 0{,}67 \cdot E_{ctm} \quad \text{(siehe auch [11])} \qquad \text{(Gl. 9)}.$$

Dieser rechnerische Wert wird zur Verwendung bei der Bemessung empfohlen.

5.3 Festigkeitsparameter des Straßenbetons

5.3.1 Druckfestigkeit

Die Betonfestigkeitsklasse und der damit verbundene Nachweis der charakteristischen Druckfestigkeit an gesondert hergestellten Prüfkörpern (Würfel bzw. Zylinder) dienen der Einordnung des jeweiligen Betons. Außerdem sind sie Grundlage der Qualitätssicherung nach den ZTV Beton-StB 01 [6].

Die Druckfestigkeit ist dabei wohl für die Klassifizierung des Betons, nicht aber für die Bemessung auf Zug beanspruchter unbewehrter Konstruktionen geeignet.

Die vorgeschriebenen Doppelbezeichnungen f_{ck} / $f_{ck,cube}$ (Druckfestigkeit am Zylinder / am Würfel) gemäß DIN EN 206-1 [3] bzw. DIN 1045-2 [4] machen für die zusätzliche Angabe der Zugfestigkeit, wie sie im Straßenbau erforderlich ist, eine Dreifachbezeichnung erforderlich, wie sie bereits für Stahlfaserbetone eingeführt wurde.

5.3.2 Zug-, Spaltzugfestigkeit

Unmittelbare Eingangsgröße in die Bemessung unbewehrter Betonkonstruktionen ist gemäß DIN 1045-1 [5] die Zugfestigkeit. Dies gilt auch für die Bemessung von Betondecken von Straßenverkehrsflächen [1, 2].

Die Zugfestigkeit des Betons muss im Falle einer freien Bemessung bei der Erst- und der Kontrollprüfung bestimmt werden. Da die reine Zugfestigkeit prüftechnisch schwierig zu ermitteln ist, wird ersatzweise die Spaltzugfestigkeit geprüft. Zwischen Zug- und Spaltzugfestigkeit besteht eine gute Korrelation, da beide Prüfungen zum reinen Zugbruch führen.

Entsprechend der zu Grunde liegenden Theorie tritt Sprödbruch ein bei Betonen mit einem Verhältnis Druck- zu Zugfestigkeit $f_{ck} / f_{ct,k} \geq 8$ ist; in diesem Fall wird die Spaltzugfestigkeit gleich der Zugfestigkeit [19].

Dieses Verhältnis trifft bei Straßenbetonen in der Regel zu (siehe Tabelle 4). Die zu ermittelnde Spaltzugfestigkeit kann also ohne Umrechnungsfaktor anstelle der Zugfestigkeit für die Bemessung verwendet werden. Vermerkt sei hier, dass die DIN 1045-1 [5] unabhängig vom jeweiligen Verhältnis Druck zu Spaltzugfestigkeit einen Abminderungsfaktor für die reine Zugfestigkeit gegenüber der Spaltzugfestigkeit von 0,9 vorsieht. Dort werden jedoch keine Betonen hoher Zugfestigkeit behandelt. Eine Präzisierung für den Straßenbeton war also sinnvoll.

In den Tafeln der DIN 1045-1 [5] werden Spaltzugfestigkeiten angegeben, die in der Tendenz unterhalb der Spaltzugfestigkeiten von Straßenbetone angesiedelt sind. Sie

sollten daher für eine Bemessung von Betondecken nicht herangezogen werden, da sie zu Überbemessungen führen würden.

Die Spaltzugfestigkeit muss bei der Erstprüfung mit einem vom ausführenden Unternehmer festzulegenden Vorhaltemaß erbracht und bei der Kontrollprüfung als charakteristische (beim 5%-Quantil liegende) Zugfestigkeit an Bohrkernen nachgewiesen werden – (siehe Tabelle 5).

Bei der Spaltzugfestigkeit liegen bei Einhaltung zusätzlich festgelegter Kriterien die Prüfstreuungen (Variationskoeffizienten) am Bohrkern im gleichen Bereich wie bei der Druckfestigkeit am Bohrkern [9], [10].

Für die Festlegung der Prüfkriterien waren die Grundlagen der Bruchmechanik [19], sowie geometrische und prüfpragmatische Randbedingungen zu beachten. Aufbauend auf DIN 1048-5 [20] und auf umfangreichen Erfahrungen mit der Spaltzugprüfung sind, u.a. zur Geringhaltung der Prüfstreuung, spezielle Prüfbedingungen einzuhalten:

- Die Erstprüfung wird am Zylinder Ø 10 cm nach 28 Tagen Unterwasserlagerung durchgeführt
- Bei der Spaltzugprüfung am Bohrkern gilt:
  Prüfkörper: ∅ 10 cm
  Verhältnis Prüfkörperhöhe / Durchmesser = 0,5; also Prüfkörperhöhe 5 cm
  Trockenlagerung bei Raumtemperatur bis zur Prüfung
  Prüfung nach 56 Tagen
  Streifenbreite der Lasteintragung: 15 mm.

Weitere Prüfbedingungen wie die Art der Lastverteilungsstreifen, Aufbringen der Last, Laststeigerung usw. gemäß DIN 1048-5 [20].

Im Ergebnis eines zur Zeit laufenden Forschungsvorhabens [29] ist eine weitere Qualifizierung der Prüfbedingungen für die Spaltzugfestigkeit von Straßenbetonen zu erwarten.

5.3.3 Festigkeitskorrelationen

Zwischen Druck- und Spaltzugfestigkeit besteht keine auch nur annähernd sichere Korrelation. Für Straßenbeton liegt das Bestimmtheitsmaß bei unterschiedlicher Betonzusammensetzung im Einzelfall zwischen 0,1 und 0,47 [9].

In der Literatur angegeben werden, auf allgemeine Betone bezogen, die Zuordnungen gemäß Tabelle 4, die jeweils einen weiten Bereich umfassen (Auszug aus [8]; ergänzt durch Umrechnung in Prozentsätze).

Tabelle 4: Zuordnungsbereiche zwischen Druck- und Spaltzugfestigkeit

Druckfestigkeit [N/mm²]	Verhältniswert Druck- zu Spaltzugfestigkeit [-]	Prozentsatz Spaltzug- von Druckfestigkeit [%]
20	12,0 bis 8,0	8,33 bis 12,5
30	14,0 bis 9,0	7,14 bis 11,1
40	15,0 bis 10,5	6,66 bis 9,5
50	16,0 bis 11,5	6,25 bis 8,7

Die Korrelationen zwischen Spaltzug- und Druckfestigkeit aus 12 Prüfserien aus dem Autobahnbau (A 19, A 24) ergaben Verhältniswerte zwischen 10,3 und 16,8, lagen also etwa in der gleichen Größenordnung [9]. Durch weitere Untersuchungen belegt, liegt die Spaltzugfestigkeit zwischen 6 % (Sandbeton) und 11 % (Straßenbeton der 70-er Jahre) der Druckfestigkeit. Damit ist $f_{ck} / f_{t,sp,k}$ = 17 bis 9,1 [17].

Es ist also nicht möglich, mit der für die Bemessung erforderlichen Genauigkeit die Zugfestigkeit aus der Druckfestigkeit zu berechnen (siehe Abschnitt 5.1).

5.3.4 Straßenbetonklassen

In der Tabelle 5 werden Straßenbetonklassen vorgeschlagen, die die auf die Betonklassen bezogenen unterschiedlichen Zugfestigkeitsklassen für den Straßenbeton beinhalten

Tabelle 5: Straßenbetonklassen, Spaltzugfestigkeiten am Bohrkern

Straßenbetonklasse	Spaltzugfestigkeit an Bohrkernscheiben $f_{ctk,core}$ [N/mm²]
StC 20/25 - 2,4	2,4
StC 20/25 - 2,7	2,7
StC 25/30 - 2,7	2,7
StC 25/30 - 3,0	3,0
StC 25/30 - 3,3	3,3
StC 30/37 - 3,0	3,0
StC 30/37 - 3,3	3,3
StC 30/37- 3,7	3,7
StC 35/45 - 3,3	3,3
StC 35/45 - 3,7	3,7
StC 35/45 - 4,0	4,0
StC 40/50 - 4,4	4,4

Die Regel - Festigkeitsklassen StC für den „Straßenbeton“ sind unter Anwendung der charakteristischen Festigkeiten f_{ckcyl} / f_{ckcube} gemäß [3] in der Tabelle 5 mit dem Zusatz " – f_{ctk}“ zusammengestellt. Zugeordnet wurden in Spalte 2 die bei der Kontrollprüfung nachzuweisenden Spaltzugfestigkeiten an Bohrkernscheiben. Es sind dies die beim 5%-Quantil nachzuweisenden Größen entsprechend den „charakteristischen Festigkeiten“ bei den Druckfestigkeiten.

Letztere wurden gleich der „Nenn“-zugfestigkeit (Spalte 1) angesetzt, obwohl am Bohrkern i.d.R. höhere Festigkeiten als am Laborprüfkörper nachweisbar sind.

Geprüft werden bei der Kontrollprüfung die obere und die untere Bohrkernscheibe. Die Ergebnisse sind getrennt statistisch auszuwerten. Bei Deckendicken < 22 cm ist nur die obere Bohrkernscheibe zu prüfen und statistisch auszuwerten. Die (dickere) mittlere Bohrkernscheibe verbleibt für die Prüfung der Druckfestigkeit. Es können auch gesonderte Bohrkerne für die Druck- und die Spaltzugprüfung gezogen und geprüft werden.

Bei Planung und Baudurchführung ist zu beachten, dass bei zweischichtigem Betoneinbau die Dicke der oberen Schicht $\geq$ 7 cm vorgesehen werden muss, damit die oberen Bohrkernscheiben mit Sicherheit aus dem Oberbeton bestehen.

5.3.5 Ermüdungsfestigkeit

Für die Bemessung unbewehrter Betondecken für Verkehrsflächen ist beim Ermüdungsnachweis die Berücksichtigung der Abhängigkeit der Ermüdungsfestigkeit von der Anzahl zu erwartender Lastwechsel erforderlich.

Bei der Berechnung und Nachweisführung nach dem Bemessungsprogramm AWDSTAKO [1] wird der Zugriff auf Ermüdungskurven vorausgesetzt - die für die zuvor ermittelte Anzahl gleichgroßer äquivalenter Lastübergänge Eingangsgrößen $\gamma_{c,fat}$ in das Bemessungssystem anbieten.

Für die Spaltzugfestigkeit von Betonen stehen Ermüdungskurven bisher nicht zur Verfügung. Es werden daher die für Straßenbetone ermittelten Ermüdungskurven bei Biegezugbeanspruchung auf elastischer Lagerung nach Kucera/Slachta [2, 12, 14] gemäß Bild 2 verwendet. Diese stellen sich z.Z. nach umfangreichen vergleichenden Recherchen der Bearbeitergruppe [21] bis [26] als am besten geeignet dar. Eine Überprüfung dieser Kurven für die Spaltzugbeanspruchung steht noch aus und erfolgt z.Z. in einem Forschungsvorhaben des BMVBW [29].

Bei Druckbeanspruchung wird nach Klausen und Weigler (siehe Abhandlung in [27]) die Dauerschwingfestigkeit erst nach 10^{10} Schwingspielen erreicht und liegt dann etwa bei 40 % der Kurzzeitfestigkeit. Bis zum Vorliegen genauerer Erkenntnisse wird analog davon ausgegangen, dass es nicht erforderlich ist, den Geltungsbereich der Ermüdungskurven des Bildes 2 einzuschränken, da die Anzahl äquivalenter Achsen im Zeitraum der Nutzungsdauer diese Größe zur Zeit und prognostisch nicht überschreitet.

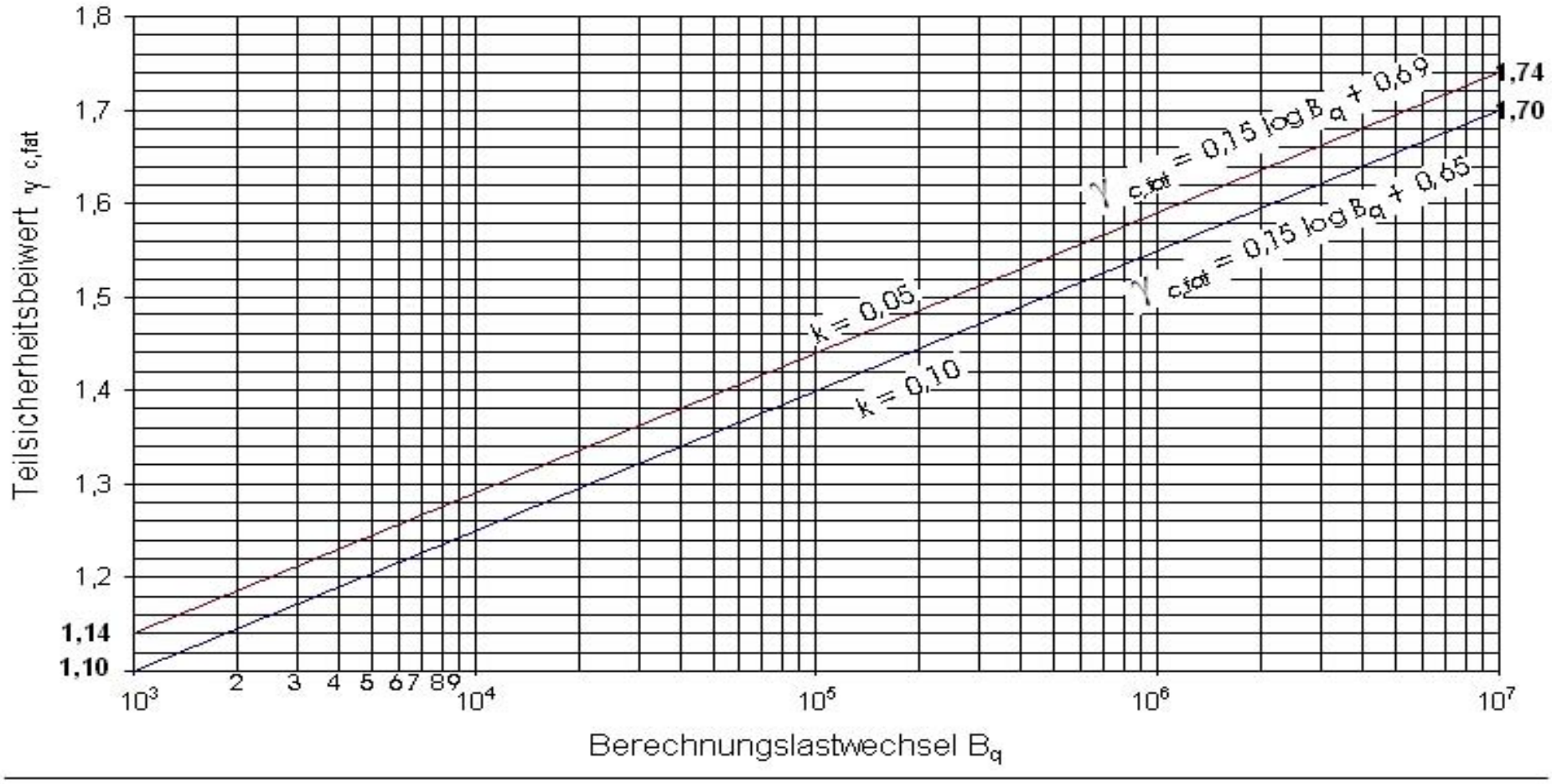

Bild 2: Ermüdungskurven

B_q ist gemäß [7] die bemessungsrelevante Beanspruchung B unter Berücksichtigung der Querverteilung des Verkehrs [2];
k = Bettungszahl [N/mm³]

Literaturverzeichnis

[1] Pfeifer, L.; Kiehne, A.; Villaret, S.: „AWDSTAKO – Version 1“ Rechenprogramm zur Dickenbemessung unbewehrter Betondecken für Fahrbahnbefestigungen, Ausgabe 04-2002

[2] Pfeifer, L.: Fachtechnisches Handbuch „Betondecken für Straßenverkehrsflächen – Lastannahmen, Berechnung, Nachweisführung“

[3] DIN EN 206-1: Beton; Teil 1 Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, Ausgabe 7-2001

[4] DIN 1045-2: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton; Anwendungsregeln zu [3] Ausgabe 2001

[5] DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton; Teil 1 Bemessung und Konstruktion, Ausgabe 2001

[6] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton (ZTV Beton-StB 01), Ausgabe 2001

[7] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO 01), Ausgabe 2001

[8] Hilsdorf, H.K.: Betonkalender, Teil I, Abschnitt A „Beton“, 1995

[9] Moysich; Renziehausen: Gesicherte Eingangsgrößen für die Berechnung unbewehrter Betonkonstruktionen nach Grenzzuständen (Auswertung von Prüfserien der A 10, A 12, A 15, A 16, A 19,..alt), studentische Arbeit Universität Hannover, Faschgebiet Konstruktiver Straßenbau, 1998

[10] Zander, U.: Bericht über Ringversuche an Bohrkernen aus Zementbeton, Zentrallabor des Straßenwesens Magdeburg, 1982 (unveröffentlicht)

[11] Heilmann; Hilsdorf; Finsterwalder: Festigkeit und Verformung von Beton unter Zugspannung, Heft 103 des DAfSt, 1969

[12] Kucera, K.: Die Ermüdung des Betons als Grundlage für die Dimensionierung von Betonfahrbahnen, Die Straße 1962

[13] Pfeifer, L.: Vervollkommnung der Methoden zur Berechnung, Konstruktion und Prüfung von Zementbeton- Straßendecken, OSShD – Zeitschrift 1976

[14] Slachta, E.: vozovky z cementového betonu, Praha 1981

[15] CEB-FIP Model Code MC 90: entnommen aus [8]

[16] Rostasy, F.S.; Henning, W.: Zwang und Rissbildung in Wänden auf Fundamenten, DafStb, Heft 407

[17] Pfeifer, L.: Überarbeitung der Vorschriften für den Betonstraßenbau - Teil 5; Erläuterungen und Begründungen zu einigen Schwerpunkten des Standards TGL 33468-2, Die Straße 1/87

[18] TGL 33468-2: Betonbau; Deckschichten für Straßenverkehrsflächen, Technische Forderungen, Fassung 1987 (DDR-Standard, nicht mehr gültig)

[19] Müller, F.: Anmerkungen zum Spaltzugversuch, Schlussfolgerungen aus theoretischen Untersuchungen zur Felsmechanik und Erfahrungsbericht zur Arbeitstagung der Bearbeitergruppe "Beton" des Arbeitskreises Stoffverhalten am 13.9.1999 in Berlin, unveröffentlicht

[20] DIN 1048-5: Prüfverfahren für Beton Teil 5: Festbeton; gesondert hergestellte Probekörper

[21] Freitag, W.: Das Ermüdungsverhalten des Betons, Beton 6/70

[22] Fröse, D.: Bericht zu Problemen der Betondauerfestigkeit, Schwell- und Wechselbeanspruchung - Literaturauswertung 1973, unveröffentlicht

[23] Hilsdorf, H.K., Kesler, C.E.: Fatigue Strength of Concrete Under Varying Flexural Stresses

[24] Lee, Klaiber, Colenian: Fatique Behaviour of Air - Entrained Concrete, Transp.Research Rec. 1978

[25] Murdock, Kesler: Einfluss des Größenbereichs der Spannung auf die Dauerfestigkeit von unbewehrten Betonbalken, ACI-Journal 1958 (2)

[26] Nordby, G.M.: Ermüdungserscheinungen des Betons

[27] Wesche, Schubert: Baustoffe für tragende Bauteile, Band 2, Beton, Mauerwerk, 1993

[28] Pohl, J.; Villaret, S.: Untersuchungen zum Verlauf der Ausfallrate in Zeitraum der normativen Nutzungsdauer, Unveröffentlichter Teilforschungsbericht 11/84

[29] Baustoffrelevante Eingangsgrößen für die Bemessung von Betonfahrbahnen (laufende Forschungsvorhaben BMVBW)

FGSV AP 63

Herstellung und Vertrieb:
FGSV Verlag GmbH
50999 Köln · Wesselinger Str. 17
Fon: 0 22 36 / 38 46 30 · Fax: 38 46 40
August 2003