

Einflussgrößen bei der Bemessung hoch belasteter Betonstraßen

22

1 Einleitung

Das Konstruktionsprinzip der Betonstraße unterscheidet sich wesentlich von dem der flexiblen, in Asphaltbauweise hergestellten Oberbaubefestigung. Das aus biegesteifen, bewehrten oder verdübelten und verankerten Betonplatten bestehende Deckensystem weist gegenüber flexiblen Bauweisen eine um ein Vielfaches günstigere Lastübertragung auf die Unterlage auf. Die Betonplatte wirkt ähnlich wie eine Fundamentplatte, die zur Übertragung von schweren Lasten auf den Untergrund angewandt wird, und bedarf daher bei ausreichender Bemessung keiner weiteren druckverteilenden Unterlage. Die plastischen Verformungen des Untergrundes bzw. des Unterbaus bleiben klein.

Ein weiteres wesentliches Merkmal ergibt sich aus den Eigenschaften des Baustoffs Beton und seiner Unempfindlichkeit gegenüber Temperaturen: Der erhärtete Beton unterliegt keinen wesentlichen Veränderungen hinsichtlich der Materialeigenschaften und seines Gefüges. Betondecken sind daher gegenüber Brems- und Anfahrkräften und der bei flexiblen Straßenbefestigungen dadurch häufig auftretenden Spurrinnenbildung in der Regel unempfindlich. Hinsichtlich der Beanspruchung von Betondecken im Straßenbau steht daher im Bezug auf die Materialeigenschaften neben der Druckfestigkeit vor allem die Biegezug- bzw. Zugfestigkeit im Vordergrund.

Bei der Bemessung der Betondecken ist zu unterscheiden zwischen den Spannungen aus Temperatur- und Verkehrslasteinwirkung sowie aus Schwinden und Quellen. Daher ist das Hauptaugenmerk auf die Ermitt-

lung der Zug- und Biegezugbeanspruchung sowie auf die Plattenwölbungen zu richten. Diese können in Abhängigkeit von der Bauweise der Deckensysteme sehr unterschiedlich sein. Bei der Beurteilung der Beanspruchungen im Rahmen der Dimensionierung ist neben der Größe der auftretenden Spannungen auch ihre Häufigkeit und die Einwirkungs-dauer in Betracht zu ziehen. Dementsprechend sind unterschiedliche maßgebliche Bemessungsfälle zu unterscheiden.

2 Bauweisen

Grundsätzlich kann bei Betondecken hinsichtlich der Einflussgrößen bei der Bemessung eine Unterteilung in folgende vier Bauweisen vorgenommen werden:

- a) Unbewehrte Betondecken ohne Raumfugen mit Plattenlängen kleiner als die 25fache Plattendicke
- b) Bewehrte Betondecken mit Raumfugen und Plattenlängen größer als die 25fache Plattendicke, Flächenbewehrung im oberen Bereich des Querschnittes

c) Durchgehend stark bewehrte Betondecken mit freier Rissbildung, Bewehrung im mittleren Bereich des Querschnittes

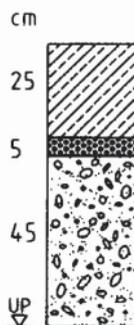
d) Vorgespannte Betonfahrbahnen

Die in Österreich für Betondecken maßgebliche RVS 8S.06.32 [1] sieht die unbewehrte, fugenlose Bauweise als Standardbauweise vor.

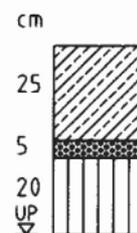
Hinsichtlich der Oberbaukonstruktion von Betonstraßen werden Bautypen mit Betondecken auf

- a) ungebundener Tragschichte
- b) Asphalttragschichte und ungebundener oder stabilisierter Tragschichte
- c) stabilisierter Tragschichte (mit und ohne Vliesstoff als Zwischenschichte)

auf einer entsprechenden Frostschutzschichte unterschieden. Der österreichische Bemessungskatalog für Standardaufbauten RVS 3.63 [1] sieht zwei Bautypen auf ungebundener und zementstabilisierter Schichte mit einer jeweils 5 cm dicken bituminösen Tragschichte als Zwischenschichte vor (beispielhaft dargestellt für die Lastklasse S in der Abb. 1).



a) Bautyp 5, Lastklasse S (gem. RVS 3.63): Betondecke auf ungebundener Tragschichte



b) Bautyp 6, Lastklasse S (gem. RVS 3.63): Betondecke auf zementstabilisierter Tragschichte

Abb. 1: In der österreichischen RVS 3.63 [1] für Betondecken vorgesehene Bautypen für Betondecken der Lastklasse S

Die Tragfähigkeit der gewählten Oberbaukonstruktion und damit der Aufbau der unter der Betondecke gewählten Oberbaukonstruktion ist aufgrund der guten lastverteilenden Wirkung speziell bei hoch belasteten Betonstraßen mit größeren Deckendicken nur selten bemessungsrelevant. Unterschiedlich und auch wesentlich für die Nutzungsdauer sind das Ausmaß des Verbunds der darunter liegenden Schichte mit der Betondecke und die über die Lebensdauer bestehenden (möglichst gleichmäßigen) Auflagerbedingungen.

3 Schwind- und Temperaturspannungen

Bei den infolge Schwindens und Temperaturänderungen aktivierten Spannungen handelt es sich um so genannte Zwängungsspannungen, die ihre Ursache in der behinderten Verformung der Betondecke haben. Zu unterscheiden ist der Zustand nach der Herstellung der Betondecke und dem Gebrauchszustand nach ausreichender Aushärtung.

3.1 Erhärtungsphase

Wenige Stunden nach der Herstellung des Betons tritt infolge des einsetzenden exothermen Ablaufes der Hydratation eine Wärmeentwicklung auf. In Abhängigkeit von der Betonrezeptur, der Beton- u. Lufttemperatur sowie der Sonneneinstrahlung wird das Temperaturmaximum nach 4 bis 20 Stunden erreicht. Dieser Vorgang führt zur Ausdehnung des Betons. Durch das plastische Verhalten in dieser Grünphase werden aber nur geringe Druckspannungen aufgebaut. Diese Phase ist entscheidend

für die Nullspannungstemperatur der Platte im Gebrauchszustand. Anschließend beginnt sich der Beton wieder abzukühlen und versucht sich zu verkürzen. Dies ist immer verbunden mit der Ausbildung von Zugspannungen (Schwindspannungen), die beim Überschreiten der beim jungen Beton noch geringen Zugfestigkeit zur Ausbildung von Schwindrissen an der Oberfläche führen. Durch eine entsprechende Nachbehandlung (Wasser, Abdeckfolien etc.), durch die das vorzeitige Austrocknen des Betons und eine zu starke Erwärmung vermieden wird, sowie durch einen zeitgerechten Fugenschnitt kann die Ausbildung von Schwindrissen vermieden werden.

Schwindrisse, die von der Oberfläche ausgehen, erweitern sich infolge Belastung der Betonplatte im Gebrauchszustand zu beiden Seiten. Durch eine nahe der Oberfläche befindliche Bewehrung mit kleinem Stababstand kann dieser Rissaufweitung bei Betondecken mit großem Fugenabstand entgegengewirkt werden. Gleichzeitig wird ein Durchschlagen des Risses über den gesamten Querschnitt während der Gebrauchsdauer behindert. Der notwendige Bewehrungsprozentsatz für oberflächennahe Längsbewehrung zur Verhinderung des Rissdurchschlags liegt dabei für Platten mit Längen von 10 m bei 0,06 % und für 20 m bei 0,12 %; wobei die Querbewehrung mind. 40 % der Längsbewehrung betragen soll [2]. Allerdings kann die Tausalzbehandlung im Winter zu einem raschen Durchrosten der oberflächennahen Bewehrung führen.

3.2 Gebrauchszustand

Bei der Bemessung von Betondecken sind im Gebrauchszustand neben der Verkehrsbelastung zusätzliche Beanspruchungen aus Temperatur- und Feuchtigkeitsänderungen zu berücksichtigen.

Gleichmäßige Temperaturerhöhung führt zu einer Längenänderung der Betonplatte. Wird diese behindert, wie dies bei der österreichischen Regelbauweise ohne Raumfugen der Fall ist, kommt es zur Ausbildung von Druckspannungen. Im Sommer, bei hohen Temperaturen, werden dadurch die Biegezugspannungen aus Verkehrslast und ungleichmäßiger Erwärmung zum Teil überdrückt. Dies führt zu zusätzlichen Reserven und wird in der Bemessung nicht berücksichtigt. Allerdings besteht durch die sich in heißen Sommern ausbildenden Druckspannungen die Gefahr des Ausknickens der Betondecke. Die Knickfiguren stehen dabei im engen Zusammenhang mit der Art der Längskraftübertragung. In Abhängigkeit von der Fugenausbildung kann die Resultierende unterhalb („blow up“) oder oberhalb der Nulllinie liegen (Abb. 2).

Bei ungleichmäßiger Erwärmung von oben versucht sich die Betonplatte hochzuwölben. Dieser Hochwölbung wirkt das Eigengewicht entgegen und sie aktiviert ein Biegemoment, das an der Plattenunterseite zu Biegezugspannungen (Wölbspannungen) führt, die sich mit den Biegezugspannungen aus der Verkehrslast überlagern. Dabei stellt sich in Abhängigkeit von der Straßenoberflächentemperatur und dem Bodenwärmestrom in der Betondecke ein Temperaturgradient ein. Für die im Bemessungskatalog

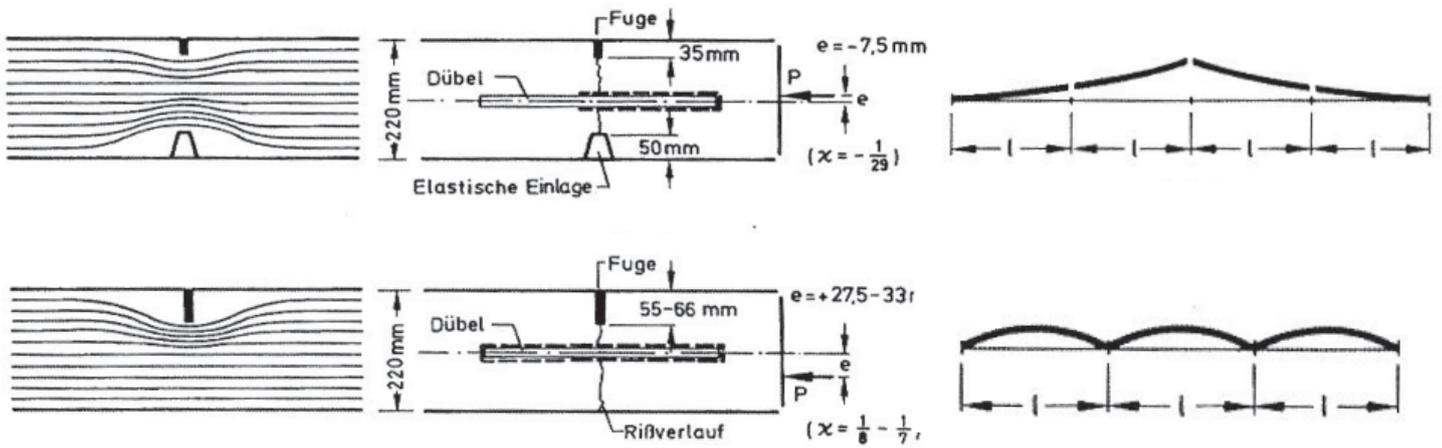


Abb. 2: Zusammenhang zwischen Fugenausbildung, Längskraftübertragung von Druckspannungen und Knickfigur, nach [2]

der RVS 3.63 [1] vorgesehenen Plattendicken wurde bei den Berechnungen der Wölbspannungen ein ungünstigstenfalls auftretender positiver Temperaturgradient von $\Delta t = 0,09 \text{ K/mm}$ für 5 % der Nutzungsdauer in Ansatz gebracht. Dabei wird ein linearer Temperaturgradient über den Betondeckenquerschnitt angenommen. Die Abbildung 3 zeigt die in Anhängigkeit von der kritischen Plattenlänge l sich einstellenden Verformungsbilder und beispielhaft die numerisch simulierten

Verformungen in einem verdübelten Betondeckensystem (Plattengeometrie: $3,70 \times 5,75 \text{ m}$, Plattendicke $0,25 \text{ m}$, $\Delta t = 0,09 \text{ K/mm}$) mit einer Länge $l < \text{krit } l$. Die resultierenden Wölbspannungen ergeben sich somit aus der jeweils gewählten Plattengeometrie. Durch die in Österreich vorgeschriebene Begrenzung der maximalen Feldlänge mit der 1,5fachen Feldbreite und des Abstands der Querfugen für den Regelfall mit der 25(30)fachen Deckendicke ist die

Länge $l < 0,9 \text{ krit } l$ und es ist nur eine reduzierte Wölbspannung anzusetzen.

Durch die Plattenkrümmung an den Rändern und Fugen kann es speziell bei Raumfugen von unverdübelten Deckensystemen zu plastischen Verformungen kommen. Die so erzeugte Hohllage im Bereich der Plattenränder erhöht die Beanspruchung aus der Verkehrslast und bewirkt bei Nässe eine ungünstige Pumpwirkung.

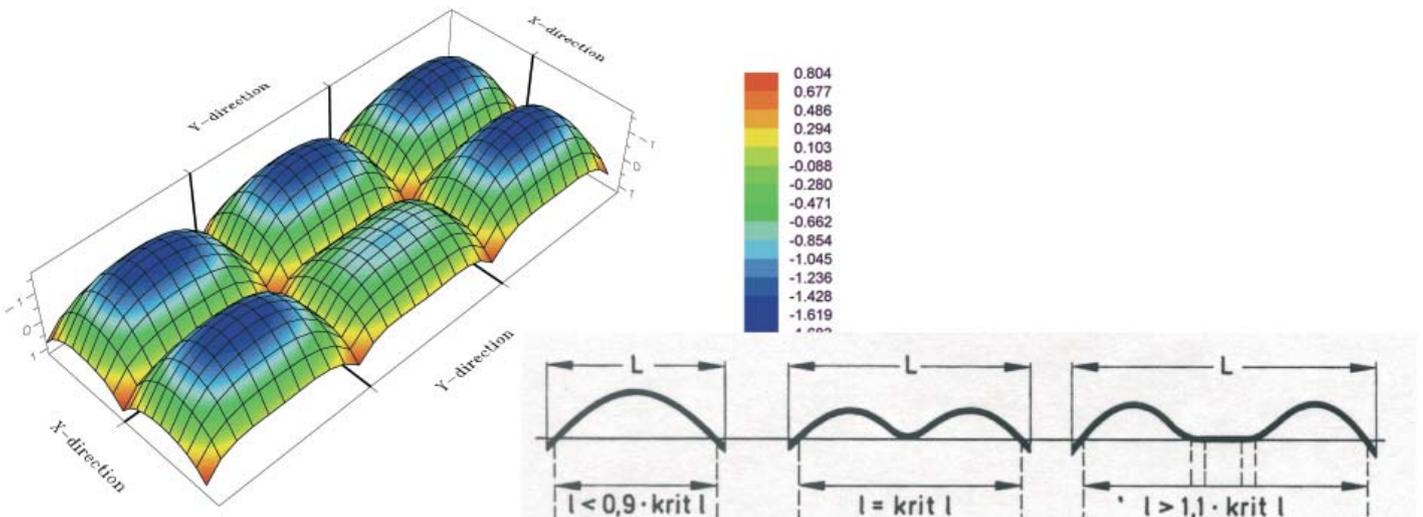


Abb. 3: Verformungsbilder der Betondecke infolge ungleichmäßiger Erwärmung von oben in Abhängigkeit der Plattenlänge

Jüngste Untersuchungen zeigen [3; 4], dass speziell bei der Bemessung hoch belasteter und daher dicker Betondeckensysteme eine Reduzierung dieser auf der sicheren Seite liegenden Temperaturgradienten entsprechend den jeweiligen klimatischen Gegebenheiten erfolgen kann, um die tatsächliche Temperaturbeanspruchung realistischer zu prognostizieren. Beispielsweise wurden für einen Autobahnabschnitt bei Wien auf Grundlage von numerisch simulierten Temperaturverteilungen in der Betondecke die in Tab. 1 zusammengestellten maßgeblichen Temperaturgradienten ermittelt [3].

Tab. 1: Maximale Temperaturgradienten Δt in der Betondecke, abgeleitet für die A 23 Südosttangente Wien [3]

Betondeckendicke	Temperaturgradient Δt [°K/mm]	
	Vertrauensbereich 50 %	Vertrauensbereich 95 %
25 cm	0,081	0,087
27 cm	0,075	0,081
30 cm	0,067	0,073

Die Biegezugbeanspruchung aus der Temperaturbeanspruchung wird bei den Bemessungsberechnungen als konstante Unterspannung bei der Ermittlung der zulässigen Lastwechsel bzw. der zulässigen Verkehrsbelastung bei vorgegebener Nutzungsdauer berücksichtigt. Dabei ergibt sich mit zunehmender Temperaturgradienten eine Abminderung der aufnehmbaren Verkehrsbeanspruchung bzw. eine deutlich verkürzte theoretische Lebensdauer. Daher ist der möglichst realistische Ansatz der tatsächlichen Temperaturgradienten speziell bei der Bemessung von hoch belasteten, di-

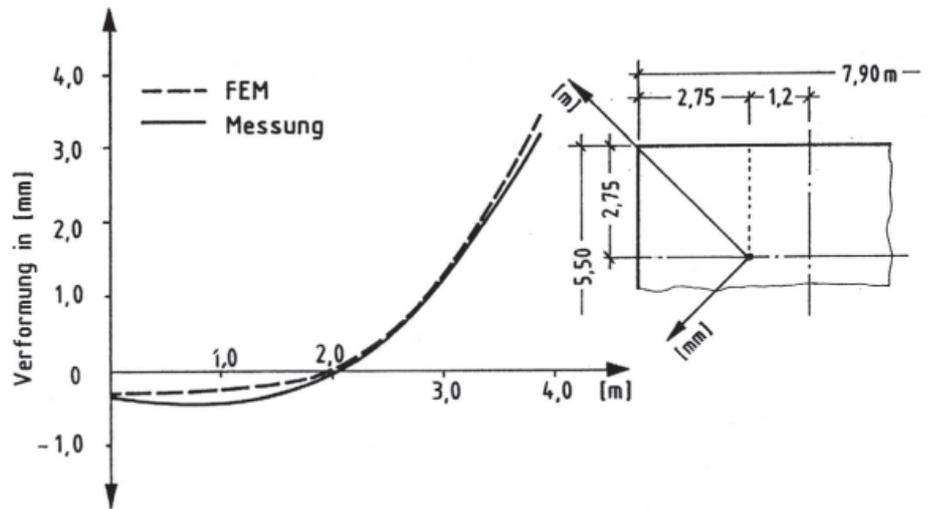


Abb. 4: Aufschüsseln einer 17,8 cm (7 in.) dicken Betondecke (7,90 m x 5,50 m) durch Austrocknen von oben (Messung) und Verformung durch einen Temperaturgradienten von $-0,1$ K/mm (FE-Simulation), nach [5]

cken Betondecken von entscheidender Bedeutung.

Grundsätzlich nicht bemessungsrelevant ist die Beanspruchung der Betondecke durch ungleichmäßiges Abkühlen von oben. Dadurch kommt es zu einem Hochwölben der Ränder, wobei die Biegezugspannungen, die an der Oberseite der Decke auftreten, um ca. 60 % kleiner sind im Vergleich zu einer Erwärmung von oben [2].

Neben der Beanspruchung durch Temperatur führt die Volumenänderung durch oberflächliches Schwinden bei Betonfahrbahndecken zu einem Hochwölben der Fahrbahnränder bzw. bei Verformungsverhinderung zu entsprechenden Zwängungsspannungen. Durch den nichtlinearen Verlauf des Schwindmaßes über den Querschnitt treten in der Regel in den oberflächennahen Bereichen Eigenspannungen auf. Zu unterscheiden sind in den verschiedenen Stadien der Erhärtung und Alterung des Betons folgende Arten des Schwindens:

- a) Chemisches Schwinden bei der Hydratation des Zementleims
- b) Schwinden des noch nicht erhärteten Betons infolge Austrocknens nach der Verdunstung des Oberflächenwassers
- c) Schwinden durch Austrocknung des erhärteten Betons über die Oberfläche, wobei sich ein unterschiedliches Schwindmaß über den Querschnitt einstellt

Im Gebrauchszustand kann dies bei hohem Feuchtigkeitsgefälle und damit unterschiedlichem Schwindmaß über den Querschnitt zu einer negativen Krümmung der Systemachse und zu dementsprechenden Spannungen führen. Das damit verbundene Aufwölben der Platte wird als „Aufschüsseln“ bezeichnet. Ein Überfahren der Plattenränder kann dabei zu Eckabbrüchen und Rissen entlang der Fugen führen. In der Abb. 4 werden die gemessenen Verformungen an einer Betondecke infolge Schwindens den Simulationsergebnissen bei Ansatz

einer ungleichförmigen Abkühlung von oben gegenübergestellt.

Die oberflächlichen Unterschiede der Austrocknung sind allerdings unter mitteleuropäischen Klimaverhältnissen für den Gesamtquerschnitt sehr dicker Betondecken für ein Aufwölben der Plattenränder von eher untergeordneter Bedeutung [4] und müssen in der Regel daher bei der Bemessung nicht berücksichtigt werden.

4 Verkehrslastspannungen

Zur Abschätzung der Biegebeanspruchung und Verformungen einer Betondecke (d. s. die Primärwirkungen) als Folge der Verkehrslasten stehen drei grundsätzliche Methoden zur Verfügung:

- a) Analytische Lösungen des Systems „Platte auf elastischer Unterlage“ basierend auf den Gleichungen

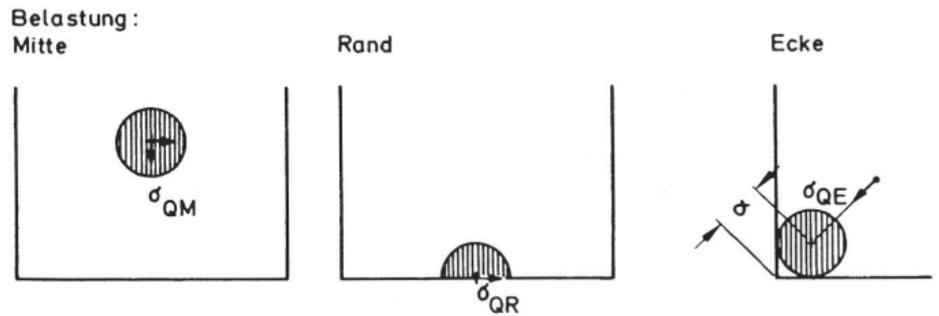


Abb. 5: Maßgebliche Lastfälle für Verkehrslastspannungen beim Berechnungsverfahren nach Westergaard [2]

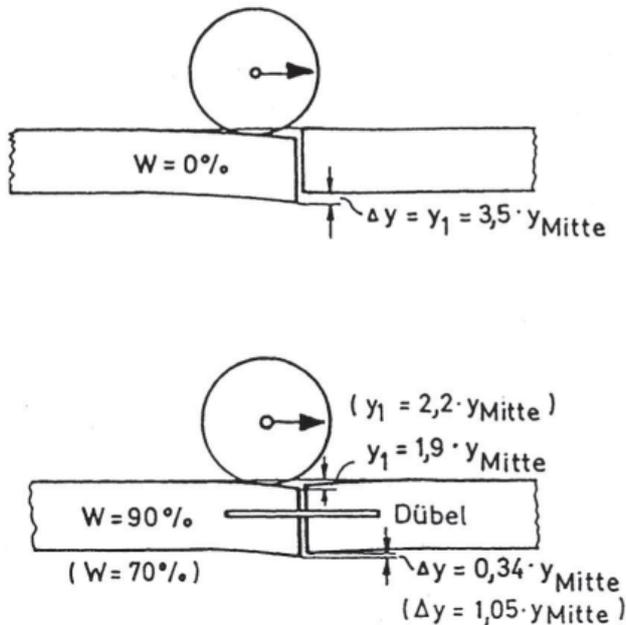
von Westergaard [6], wobei der Untergrund durch den so genannten Bettungsmodul beschrieben wird

- b) Einflusstafeln, die zur Ermittlung des Einflusses von Nachbarlasten herangezogen werden können
- c) Numerische Methoden basierend auf der Methode der Finiten Elemente (FEM)

Die ursprünglich von Westergaard abgeleiteten analytischen Lösungen

beziehen sich auf Belastungen einer elastischen Platte mit kreisrunden Einzelachslasten für die Lastfälle „Plattenmitte“, „Plattenrand“ und „Plattenecke“ (Abb. 5). Basierend auf diesen Gleichungen entwickelte Cauwelaert [7] erstmals auch Lösungen, bei denen für Randlasten das Ausmaß der Querkraftübertragung auf eine angrenzende Platte beliebig gewählt werden kann. Die von Pickett und Ray [8] ausgearbeiteten Einflusstafeln ermöglichen zusätzlich

Abb. 6: Ermittlung des Wirksamkeitsindex nach [2]



$$\text{Wirksamkeitsindex } W = \frac{2 \cdot y_2}{y_1 + y_2} \cdot 100 [\%]$$

y_1 = Einsenkung des belasteten Fugenrandes
 y_2 = Einsenkung des unbelasteten Fugenrandes
 y_{Mitte} = Einsenkung beim Lastfall Plattenmitte

die Berücksichtigung von mehreren Lasten. Beiden Methoden liegt die Elastizitätstheorie zugrunde, wonach die Spannungen den Dehnungen proportional sind, und beide gehen von einem einfachen linear elastischen Untergrundmodell, dem so genannten Winkler-Modell, aus.

Allgemein kann hinsichtlich der Primärwirkungen infolge von Radlasten auf Betondecken auf Grundlage der Gleichungen von *Westergaard* Folgendes festgehalten werden:

- Eine Vergrößerung der Dicke der Betondecke führt bei gleicher Radlast zu einem überproportional starken Spannungsabbau, hingegen hat eine Minderdicke eine merkliche Spannungserhöhung zur Folge
- Eine Schwankung des Bettungsmoduls um $\pm 50\%$ bewirkt bei gleicher Radlast und Plattendicke eine nur unwesentliche Änderung der Biegespannungen
- Die Biegezugspannungen beim Lastfall „Plattenrand“ und „Plattenecke“ sind etwa gleich groß ($\sigma_{QM} \cong \sigma_{QE}$) und etwas mehr als doppelt so groß wie beim Lastfall „Plattenmitte“ ($\sigma_{QM} \cong 2 \sigma_{QE}$). Durch Querkraftübertragung im Fugenbereich mittels Dübel wird die Biegezugspannung abgemindert.

Bei der Spannungsermittlung für das Überrollen einer Querruge kann bei einer wirksamen Rissverzahnung (Scheinfuge) sowie bei verdübelten Fugen die für den Lastfall freier Plattenrand berechnete Biegezugspannung abgemindert werden. Der Abminderungsfaktor kann anhand des Wirksamkeitsindexes beurteilt werden. Dieser lässt sich durch eine Messung der Einsenkungen der Fugenränder berechnen (siehe Abb. 6).

Aufgrund umfangreicher Untersuchungen in den USA [9] beträgt der Wirksamkeitsindex bei Rissverzahnung im Fugenbereich 60 % und entspricht damit einer Querkraftübertragung von max. 30 %, wobei zur Aktivierung der Querkraftübertragung eine geringe Rissöffnung notwendig ist. Für die Bemessung hoch belasteter Betondecken sollte bei unverdübelten Scheinfugen der Wirksamkeitsindex daher nicht in Ansatz gebracht werden.

Bei verdübelten Fugen kann dagegen unabhängig von der Fugenöffnung über die gesamte Nutzungsdauer von einem Wirksamkeitsindex von mindestens 60 %, entsprechend einer Querkraftübertragung von mindestens 40 %, ausgegangen werden [2]. Damit tritt rechnerisch im Bereich der Radspuren am Plattenrand ungünstigstenfalls eine um etwa

15-20 % höhere Biegezugspannung als beim Lastfall „Plattenmitte“ auf. Bei stark belasteten Betonstraßen sind daher aus bemessungstechnischer Sicht Dübel vorzusehen. Die Dübel müssen derart ausgebildet werden, dass ein Reißen der Scheinfugen nicht verhindert wird (z. B. durch Kunststoffbeschichtung), und sollen korrosionsbeständig sein.

Um die Systemwirkung von mehreren Betonplatten auf gebundenen und ungebundenen Tragschichten, die mit mehreren Lasten beansprucht werden, zu untersuchen, empfehlen sich speziell für gesonderte Bemessungsaufgaben bei hoch belasteten Betondecken FE-Modelle. Damit lassen sich spezielle Lastfälle sowie komplexere Materialmodelle für die Tragschichten und den Untergrund berücksichtigen. Weiters können auch Verkehrslastspannungen am

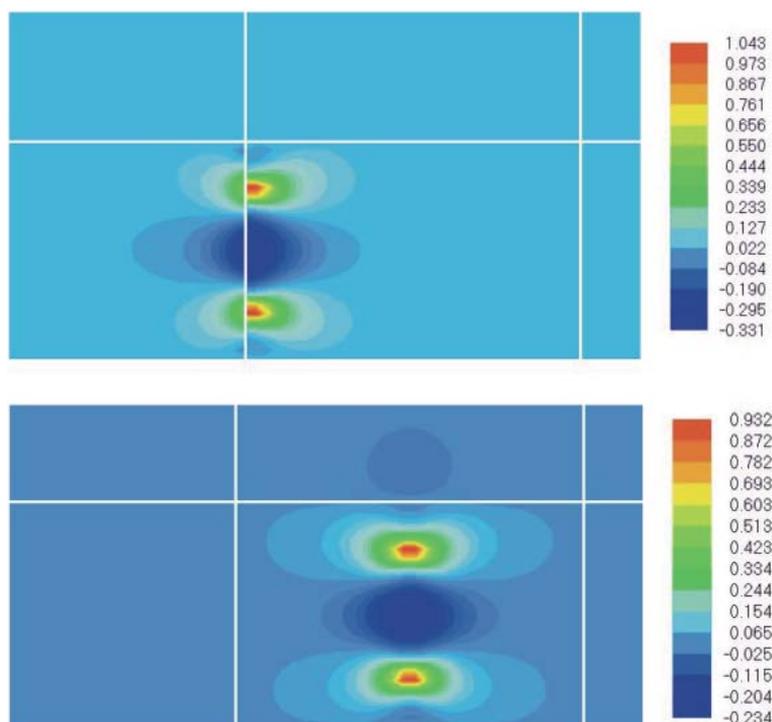


Abb. 7: FE- Simulation der Verkehrslastspannungen unter einer 115 kN Achslast (Plattengeometrie: 3,75 x 5,75 m, Dicke: 25 cm, 23 Dübel je Querruge)

verformten System, z. B. infolge ungleichmäßiger Temperaturverteilung, ermittelt und die Querkraftübertragung an der Scheinfuge mittels eines Dübelmodells simuliert werden (siehe Abb. 7).

Bei durchgehend bewehrten Betondecken mit freier Rissbildung kann aufgrund der geringen Rissöffnung von einem Wirksamkeitsindex von 90 bis 100 % ausgegangen werden. Damit ist der Beanspruchungsfall Fuge nicht mehr bemessungsrelevant, womit eine Reduzierung der Dicke der Betondecke möglich ist. Für einen gewünschten maximalen mittleren Rissabstand können die Deckendicke und der prozentuelle Anteil der notwendigen Längsbewehrung beispielsweise auf Grundlage einer empirischen Formel nach dem US AASTHO Design Guide [10] abgeschätzt werden.

5 Material- und Baustoffkenngrößen

Die Materialkenngrößen des Straßenbaubetons sind entscheidende Faktoren für die Bemessung und Konstruktion speziell unbewehrter Betondecken. Sie sind neben der im Rahmen der Dimensionierung festzulegenden Dicke der Betondecke entscheidend für die Beanspruchungen aus Verkehr und Temperatur bzw. Feuchtigkeit. Die Eigenschaften des unbewehrten Betons werden dabei neben der Druckfestigkeit maßgebend durch die Zugfestigkeit, den Frost-Tau-Widerstand bei Gegenwart von Auftaumitteln und den Verschleißwiderstand definiert. Bemessungsrelevantes Kriterium des Straßenbetons ist die Zugfestigkeit.

Allerdings ist es nicht möglich, mit der für die Bemessung erforderlichen Genauigkeit die Zugfestigkeit aus der in der Regel bekannten Druckfestigkeit f_{ck} abzuleiten. Bei gesonderten Bemessungen für hoch belastete Betondecken empfiehlt es sich daher, die Zugfestigkeit im Rahmen der Eignungsprüfung zu bestimmen und bei der Abnahmeprüfung eine charakteristische Zugfestigkeit für die hergestellte Betondecke zu ermitteln.

Da die reine Zugfestigkeit prüftechnisch schwierig zu bestimmen ist, sollte ersatzweise die charakteristische Spaltzugfestigkeit f_{ctk} geprüft werden, wie dies in der österreichischen RVS 8S.06.32 [1] vorgesehen ist. Dabei kann von einem Sprödbruch ausgegangen werden, wenn das Verhältnis von Druckfestigkeit zu Spaltzugfestigkeit $f_{ck} / f_{ctk} \geq 8$ ist. In diesem Fall kann für die Bemessungsberechnungen die Spaltzugfestigkeit der Zugfestigkeit gleichgesetzt werden. Nach [11] trifft dieses Verhältnis in der Regel für Straßenbetone zu und die Spaltzugfestigkeit kann ohne Umrechnungsfaktoren anstelle der Zugfestigkeit für die Bemessung verwendet werden. Dadurch ist es möglich, die Zugfestigkeit mit demselben Prüfverfahren am Laborprüfkörper und am Bohrkern zu bestimmen.

Neben der Zugfestigkeit gehen der E-Modul, die Querdehnzahl sowie die Wärmedehnzahl des Straßenbetons in die Berechnungen ein. Für die bemessungsrelevanten Ansätze ist der mittlere Elastizitätsmodul unter Zugbeanspruchung E_{ctm} maßgebend. Wird dieser nicht unmittelbar bei der Spaltzugprüfung bestimmt, lässt er sich über den mittleren E-Modul des

Betons unter Druckbeanspruchung E_{cm} über den Zusammenhang ausreichend genau $E_{ctm} = 1,15 \cdot E_{cm}$ abschätzen (vgl. dazu [11]). Die Querdehnzahl μ hängt von zahlreichen Einflüssen ab. Bei höheren Betonfestigkeiten, wie sie für hoch belastete Betondecken Verwendung finden, liegt sie bei etwa $\mu = 0,2$ bis $0,25$. Die Wärmedehnzahl α_{cT} ist abhängig von der Betonrezeptur, der Art der Gesteinszusammensetzung und dem Feuchtigkeitsgehalt und kann mit $\alpha_{cT} = 10 [10^{-6}/K]$ angesetzt werden. Eine gezielte Beeinflussung der temperaturbedingten Spannungen durch die Wahl der Zuschläge und eine damit verbundene (geringfügige) Veränderung der Wärmedehnzahl ist jedoch nicht möglich.

Bei der Bemessung von Betondecken ist für den Ermüdungsnachweis der Zusammenhang zwischen der Ermüdungsfestigkeit des Betons und den zu erwartenden Lastwechseln herzustellen. Dazu muss das Ermüdungsverhalten unter Zugbeanspruchung bekannt sein. Unter Berücksichtigung der über mehrere Stunden gleich bleibenden Biegezugbeanspruchung aus ungleichmäßiger Erwärmung von oben und der kurzfristig einwirkenden Biegezugbeanspruchung aus Verkehrsbelastung ist bezüglich der zulässigen Biegezugspannung von der Dauerfestigkeit β_{bz} des Betons auszugehen. Die zulässigen Übergänge der Normachlast (Ermüdungsbeanspruchung) wurden bei den Bemessungsberechnungen zur Erstellung der Standardbauweisen gemäß RVS 3.63 dann bei Ansatz der Wölbspannung σ_w als vorgegebene Unterspannung durch Überlagerung mit der Verkehrslastspannung σ_Q aus dem Smith'schen Schaubild

abgeleitet (Abbildung 8, siehe dazu auch [12]). Diese Ermüdungskurven haben sich bei der Erarbeitung des österreichischen Oberbaustandards als am besten geeignet erwiesen. In Zukunft wäre es aber wünschenswert, bei Nachweisführung anhand der Zugfestigkeiten (abgeleitet aus Spaltzugfestigkeiten) für die Bemessungsberechnungen verbesserte, auf die Spaltzugfestigkeiten bezogene Ermüdungsbeziehungen verwenden zu können.

6 Maßgebliche Bemessungsfälle

Um dem Umstand Rechnung zu tragen, dass speziell bei hoch belasteten Betondecken unterschiedliche Beanspruchungskonstellationen für das Versagen maßgebend werden können, sind bei der Dimensionierung unterschiedliche Grenzzustände zu untersuchen.

Als Ergebnis der Berechnungen sind dabei zunächst die unter Extrembeanspruchung, d. h. die bei hohen Achs- und Radlasten und großem positiven Temperaturgradienten auftretenden Spannungsverhältnisse zu ermitteln (Grenzzustand der Tragfähigkeit, GZT). Aus den Berechnungen der Grenzzustände der Tragfähigkeit GZT werden die Grenzwerte von Achslasten für Einzelachsen sowie Tandem- und Tridemaggregate abgeleitet, bei denen als Folge der Überschreitung der Biegezugfestigkeit des Betons mit spontanen Rissbildungen in der Betondecke zu rechnen ist.

Weiters müssen in Verbindung mit Ermüdungsgleichungen die zufolge der Dauerbeanspruchung auftreten-

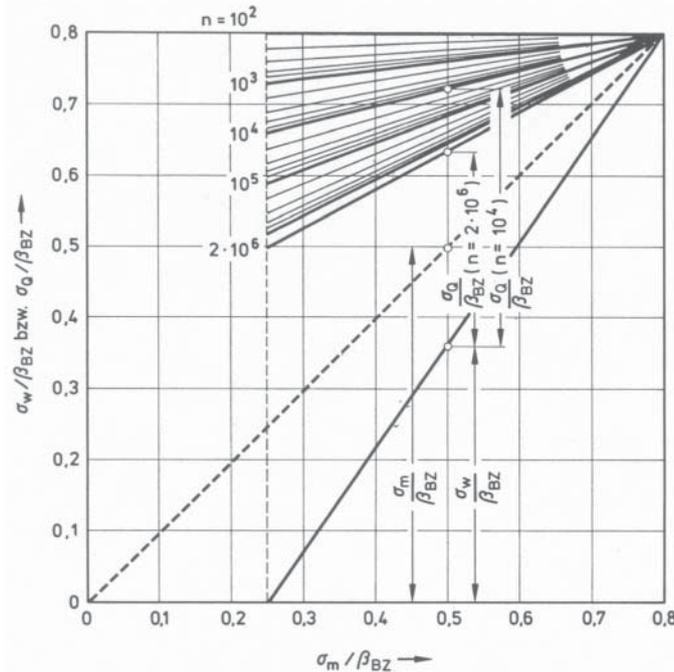


Abb. 8: Smith'sches Schaubild zur Ermittlung der zulässigen Lastwechsel (Ermüdungsbeanspruchung), aus [2]

de Materialermüdung und damit die theoretische strukturelle Lebensdauer der Betondeckenkonstruktion (Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit GZG) abgeschätzt werden. Dabei sind im Rahmen der individuellen Bemessung spezifische Ansätze für die Art und Dauer der Überlagerung von verkehrslast- und temperaturbedingten Beanspruchungssituationen zu treffen.

7 Zusammenfassung

Die Dimensionierung von hoch belasteten Betonstraßen ist zunächst auf die unterschiedlichen Bauweisen abzustimmen. Unbewehrte, raumfugenlose Deckensysteme sind in ihrer Wirkungs- und Konstruktionsweise grundsätzlich zu unterscheiden von verdübelten oder durchgehend bewehrten Bauweisen. Damit sind auch unterschiedliche Einflussgrößen bei der Ermittlung der maßgeblichen Temperatur-, Schwind- und Verkehrslastspannungen zu beachten.

Bei den temperaturbedingten Spannungszuständen sind grundsätzlich jene in der Erhärtungsphase von jenen im Gebrauchszustand zu unterscheiden. Bemessungsrelevant im Gebrauchszustand sind jedenfalls die durch ungleichmäßige Erwärmung von oben auftretenden Wölbspannungen. Diese sind mit den Verkehrslastspannungen zu überlagern. Für die Ermittlung dieser Spannungen stehen unterschiedliche Berechnungsmodelle zur Verfügung. Für Sonderbemessungen bei hoch belasteten Betondecken empfehlen sich jedenfalls numerische Modelle auf Grundlage der Finiten Element FE-Methode.

Entscheidende Faktoren für die Zuverlässigkeit der Bemessungsberechnung sind jedenfalls die angesetzten Materialkenngrößen. Bemessungsrelevant ist bei Betonstraßendecken die Zugfestigkeit des Betons. Da eine Ableitung der Zugfestigkeit aus der Druckfestigkeit nicht zuverlässig möglich ist, sollte in Zukunft die Spalt-

zugfestigkeit als Beurteilungskriterium herangezogen werden. In diesem Zusammenhang wäre die Ableitung zuverlässiger Korrelationen zwischen der Ermüdungsbeständigkeit und der Spaltzugfestigkeit wünschenswert.

Da die aufnehmbaren und auftretenden Belastungen aber immer voneinander unabhängige Zufallsgrößen enthalten und in den Berechnungsmodellen von idealisierten Bedingungen ausgegangen werden muss, ist eine rein theoretische Betrachtung für sich allein nur zur Abschätzung des Beanspruchungsverhaltens geeignet. Im Rahmen von analytischen Bemessungsberechnungen können aber auf Grundlage von Sensitivitätsanalysen gezielte Empfehlungen für die konstruktive Ausbildung von Betondecken gegeben werden. Damit wird eine zuverlässige Beurteilung von Beanspruchungs- und Konstruktionsvarianten speziell von hoch belasteten Betonstraßen auch außerhalb der standardisierten Aufbauten möglich.

Literatur

- [1] RVS, Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau. Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr. RVS 3.63 (1998): Bautechnische Details, Oberbaubemessung RVS 8S.06.32 (2001): Deckenarbeiten, Betondecken, Deckenherstellung.
- [2] Eisenmann J., Leykauf G.: *Betonfahrbahnen*, Handbuch für Beton, Stahlbeton- und Spannbetonbau. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 2. Auflage, 2003.
- [3] Blab R.: Dimensionierung von hoch belasteten Betondecken im Bereich der A23 Südosttangente Wien. *Gutachtliche Stellungnahme* im Auftrag der Wiener Magistratsabteilung MA 28, Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung, Technische Universität Wien, Wien, 2003.
- [4] Lechner B.: *Der Temperaturgradient als Bemessungsgröße bei der Dimensionierung von dicken Betondecken*. Mitteilungen des Prüfamtes für Bau von Landverkehrswegen der Technischen Universität München, Heft 69, München, 1996.
- [5] Wisman J.F., Harr M.E., Leonards G.A.: Warping Stresses and Deflections in Concrete Pavements. *Proceedings*, 39th Annual Meeting Highway Research Board, Washington, 1960.
- [6] Westergaard, H. M.: Stresses in Concrete Pavements Computed by Theoretical Analysis. *Public Roads*, Vol. 7, No. 2, 1962.
- [7] Cauwelaert, F. van: A Rigorous Analytical Solution of a Concrete Slab submitted to Interior and Edge Loads with No, Partial and Full Shear Transfer at the Edge. *Proceedings of the 5th Intern. Conference on Concrete Pavement Design and Rehabilitation*, Vol. 1, Purdue University, Indiana USA, 1993.
- [8] Pickett G., Ray G.K.: Influence Charts for Concrete Pavement. *Transactions*, ASCE, Vol. 116, pp 49-73, 1951.
- [9] Colley B. E., Humphery H. A.: *Aggregate Interlock at Joints in Concrete Pavements: Research and Development Laboratories*, Portland Cement Association, Illinois USA, 1966.
- [10] AASHTO: *Guide for Design of Pavement Structures*. American Association of State Highway and Transportation Officials, USA, 1993.
- [11] Peifer L., Kiehne A., Hönow S.V.: *Bemessungsverfahren für Betonoberbau*. Reihe Forschung Straßenbau und Verkehrstechnik, Heft 856, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnwesen, Bonn, 2002.
- [12] Litzka J., Molzer C., Blab R.: *Modifikation der Österreichischen Bemessungsmethode zur Dimensionierung des Straßenoberbaues*. Schriftenreihe Straßenforschung, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Heft 465, Wien, 1996.