

Tragende Bodenplatten von Tiefgaragen

Aspekte bei der Planung und Möglichkeiten für einen effektiven Betonstahleinsatz

Bei den Planern von tragenden Bodenplatten von Tiefgaragen herrscht derzeit eine gewisse Verunsicherung: auf der einen Seite wird auf Planerseite versucht, durch strenge Vorgaben an die zulässigen Rissbreiten und Ansatz des späten Zwangs den Vorgaben an Wasserundurchlässigkeit und Dauerhaftigkeit gegenüber einer Chloridbelastung gerecht zu werden. Dies führt zu meist hohen Bewehrungsgraden, wie eine Parameterstudie im Rahmen dieses Papers aufzeigt. Zum anderen ist der Planer angehalten, wirtschaftlich zu planen. Einen möglichen Ausweg aus diesem Dilemma stellen die im Entwurf des DBV-Merkblatts Parkhäuser und die in der WU-Richtlinie dargestellten Entwurfsgrundsätze (EGS) dar: bei Ansatz des EGS „Risse planen“ kann z. B. durch gezielte Anordnung von Sollriss-Elementen und einer abgestimmten Bewehrungsanordnung Mindestbewehrung eingespart werden. Ein weiterer beleuchteter Aspekt dieses Beitrags ist die Überprüfung der Chloriddichtheit von unterschiedlichen Betonen. Dabei zeigt sich, dass der in der Norm gewählte deskriptive Ansatz, durch hohe geforderte Betondruckfestigkeiten auch eine hohe Dauerhaftigkeit sicherzustellen, nicht zielführend ist. Es ist vielmehr zu empfehlen, bei Wahl eines geeigneten Bindemittels die Betonfestigkeiten möglichst zu reduzieren.

1 Einleitung

Bei der Planung von Tiefgaragenbodenplatten ist eine Vielzahl an Anforderungen aus der Bautechnik, Nutzung und Wirtschaftlichkeit bei einem Bauteil zu berücksichtigen. Treffen die getroffenen Ansätze aus der Planung in der Praxis nicht zu, sind Schäden vorprogrammiert. Feuchtigkeitszutritte bei wasserundurchlässigen Bodenplatten oder erhöhte Chloridkonzentrationen aufgrund schadhafter Oberflächenschutzsysteme werden nicht nur bei älteren Bauwerken festgestellt und haben zu einer verstärkten Auseinandersetzung der Fachwelt mit dem Thema geführt. Es existiert aktuell eine Vielzahl an Veröffentlichungen, die auch untereinander verschiedene Standpunkte vertreten. Eine für alle Bauwerke einheitliche Lösung, mit der die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit und Wasserundurchlässigkeit in wirtschaftlicher und technischer Hinsicht vollends erfüllt werden, ist Kern der fachlichen Diskussion. In diesem Beitrag sollen einzelne Themenpunkte für die Planung von Bodenplatten bei Tiefgaragen beleuchtet und Vorschläge für mögliche Lösungsansätze gegeben werden.

Im Einzelnen werden diese Themen behandelt:

- Identifikation der Randbedingungen bei der Planung von Bodenplatte und Darstellung praxisüblicher Ansätze

Load bearing base plates of underground car parks – Aspects in the planning and possibilities for an effective reinforcement design

There is a certain insecurity existent among planners of load bearing base plates for underground car parks: on the one hand they try to meet the requirements in regard to water impermeability and durability against chloride exposure by fulfilling strict requirements in regard to maximum crack width and late restraints. This leads to high reinforcement contents of the base plates, as shown in a parameter study. On the other hand the planner is obliged to plan economically. A possible way out of this dilemma is shown in the draft of the DBV fact sheet “Car Parks” and the watertight guideline: the design principle (EGS) “planning cracks” allows the reduction of the minimum reinforcement by e. g. targeted placement of crack-inducing elements and reinforcement design. Another discussed aspect of this paper is to verify the tightness against chloride ingress of different concrete mixtures. It is proven that the approach of the standard to ensure the durability by using high strength concrete is not constructive. It is rather to suggest to reduce the strength of the concrete with choosing a suitable binder.

- Parameterstudie zur erforderlichen Bewehrungsmenge in der oberen Lage von Bodenplatten
- Gegenüberstellung der Entwurfsgrundsätze für die Dauerhaftigkeit und Wasserundurchlässigkeit von Bodenplatten
- Gegenüberstellung der Parameter Druckfestigkeit und Dauerhaftigkeit bei verschiedenen Betonsorten und den daraus resultierenden Betonzugfestigkeiten
- Vergleich von Messwerten aus jahreszeitlichen Temperaturverläufen in Tiefgaragen und deren Bewertung im Hinblick auf Zwangsspannungen im späten Alter

2 Randbedingungen für die Planung von Tiefgaragenbodenplatten

2.1 Planungsanforderungen

Bodenplatten von Tiefgaragen können als Gründungsbauteil verschiedene Funktionen erfüllen. Werden die Bodenplatten für den Abtrag vertikaler Lasten herangezogen, spricht man von tragenden Bodenplatten. Als nichttragend werden Bodenplatten bezeichnet, wenn sie ausschließlich als ebene Fahrfläche für die Fahrzeuge dienen und ggf. als horizontales Auflager für Einzel- und Streifenfundamente wirken (aussteifende Wirkung).

Erfordert der Baugrund eine großflächige Einleitung der Gebäudelasten, werden die Bodenplatten über den gesamten Grundriss als Biegebauteil ausgebildet. Im Bereich der Stützen kommt es zu konzentrierten Lasteinleitungen. Dort ergeben sich für die Mehrzahl an Bodenplatten die für die Dimensionierung der erforderlichen Dicken und Bewehrungsgrade bemessungsrelevanten Beanspruchungen.

Die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Bodenplatten sind über die Nutzungsdauer sicherzustellen. Um die Dauerhaftigkeit solcher Bauteile über den Nutzungszeitraum (üblicherweise 50 Jahre) zu gewährleisten, sind diese vor Tausalzen zu schützen. Gelangen Chloride in erhöhter Konzentration an die Bewehrung, kann bei ausreichender Feuchtigkeit Lochfraßkorrosion auftreten. Dies ist bei Bestands-Tiefgaragenbodenplatten der in der Praxis am häufigsten vorgefundene Schadensfall, welcher auch hohe Kosten bei der Instandsetzung nach sich zieht. Neben den konstruktiven Maßnahmen ist auch eine regelmäßige Wartung und Instandhaltung der Tiefgaragen erforderlich, um Schäden dauerhaft zu vermeiden [1, 2].

Sofern die Tiefgarage ins Grundwasser einbindet, kann der Konstruktion noch eine abdichtende Funktion zugewiesen werden. Auch aus Gründen der Instandhaltung/Wartung hat sich die wasserundurchlässige Ausbildung der Bodenplatte und der Außenwände (WU-Bauweise) gegenüber der Ausführung einer vollflächigen Abdichtung an den Außenflächen der Konstruktion durchgesetzt. Schwachstellen an der außenliegenden flächigen Abdichtung können nur sehr schwer lokalisiert werden (vgl. [3]). Eine Instandsetzung der Abdichtungsebene ist zudem technisch und wirtschaftlich sehr aufwendig bzw. bei Bodenplatten im Nachgang technisch nicht möglich.

Eine wesentliche Planungsaufgabe ist das Verhindern des Durchtritts von Feuchtigkeit bzw. Wasser durch die Bodenplatte, was maßgeblich im Rissbereich der Fall ist. Von der Bauteiloberseite kann ungebremster Chlorideintrag eine Schädigung der Bewehrung mit sich bringen. Dies beeinträchtigt langfristig die Standsicherheit. Der Feuchteintrag von der Unterseite durch Grundwasser bringt, sofern dieses nicht betonangreifend ist, maßgeblich eine Beeinträchtigung der Gebrauchstauglichkeit mit sich. Für die Dauerhaftigkeit des Tragwerks hat die Einwirkung von der Bauteiloberseite Priorität.

2.2 Wesentliche Planungsparameter

Die Komplexität in der Planung von Tiefgaragen liegt in der Interaktion fast aller Geometrie- und Materialparameter in den verschiedenen Anforderungen. Die Standsicherheit, Dauerhaftigkeit und ggf. Dichtigkeit ist durch die Wahl geeigneter Baustoffe (Beton, Betonstahl), Bauprodukte (Fugenbänder) und die Menge dieser Baustoffe (Bewehrungsgrad in der Bodenplatte, Mindestdicke der Bodenplatte) zu erfüllen. Die verschiedenen Anforderun-

gen haben Einfluss auf folgende maßgebliche Planungsparameter:

- Ausbildung des Tragwerks (Einzelfundamente, monolithische Bodenplatte)
- Betongüte, Betonsorte (Betondruckfestigkeitsklasse, Hydratationswärme, Zugfestigkeit)
- Betonstahlmenge
- Konstruktionsdetails (Bewegungsfugen, Sollrisse)
- Besondere Maßnahmen (Beschichtungen, Rissbehandlung, etc.)
- Bauausführung (Betonierabschnitte, Betonrezeptur in Abhängigkeit von der Jahreszeit, Nachbehandlung, etc.)

Dabei ist zu beachten, dass sich die Parameter gegenseitig beeinflussen. Die Festlegung der Betongüte hat Einfluss auf die Menge der Mindestbewehrung. Bewegungsfugen verändern die Beanspruchungen in der Bodenplatte und sind in der Modellierung des Tragwerks zu berücksichtigen.

Die Ausgestaltung des Tragwerks (monolithische Bodenplatte/Einzelfundamente, gevoutete Bodenplatte/einheitliche Bodenplattendicke) muss in Abhängigkeit von allen Anforderungen geplant werden. Auch kann mit der Wahl einer geeigneten besonderen Maßnahme, wie z.B. der Festlegung eines rechtzeitigen Verpressens nachträglich auftretender Risse, die Dauerhaftigkeit und die Dichtigkeit eines Bauwerks erreicht werden.

In den Regelwerken zur Dauerhaftigkeit und Wasserundurchlässigkeit sind verschiedene Entwurfsgrundsätze definiert. Es erfordert nun eine Abstimmung zwischen dem Planer und dem Bauherrn mit dem Ziel, dass beide Parteien sich über die projektspezifischen Randbedingungen und die technischen Lösungsmöglichkeiten im Klaren sind. Heft 555 des DAfStb [4] weist in den Erläuterungen auf die Komplexität in der Beeinflussung der Planungsparameter und das erforderliche Zusammenspiel der am Bau Beteiligten für die Erstellung von wasserundurchlässigen Bauwerken hin. Bei Tiefgaragenbodenplatten wird die Situation durch die Dauerhaftigkeitsanforderungen noch verschärft.

2.3 Praxisübliche Ansätze bei der Planung von Tiefgaragenbodenplatten

Der Planer steht nun vor der Aufgabe, für das jeweilige Objekt oben genannte Parameter in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht optimal einzustellen. In der Praxis wird meist nach folgendem Schema vorgegangen:

1. Begrenzung der Rissbreiten zur Erfüllung der Anforderungen an die Dichtigkeit und Gewährleistung der Funktionsfähigkeit von Beschichtungssystemen für die Dauerhaftigkeit der Bewehrung.
2. Sofern aus statisch-konstruktiven Gesichtspunkten keine höheren Festigkeitsklassen erforderlich sind,

wird die Betongüte nach der vorherrschenden XD-Expositionsklasse aus Tabelle E.1DE nach [5] gewählt.

- Mit einer Abschätzung für die Zugfestigkeit zum Zeitpunkt des Erstrisses wird indirekt die maßgebende Zwangseinwirkung für die Ermittlung der Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite definiert.

Zwang in der Bodenplatte entsteht einerseits aus den baustoffspezifischen Eigenschaften des Betons (Schwinden, Hydratationswärmeentwicklung) und andererseits aus Veränderungen der Umgebungstemperatur. Im Regelfall werden oft folgende ingenieurmäßige Annahmen getroffen.

- *Ansatz der 1,0-fachen mittleren Zugfestigkeit des Betons:*

Die volle Zugfestigkeit wird für den Lastfall „später Zwang“ angesetzt, d. h., durch Festpunkte (Aufzugsunterfahrten, Wände) behinderte Schwind- oder Temperaturverformungen erzeugen Zwangspannungen, die zu Rissen führen. Dieser Ansatz liegt auf der sicheren Seite (sofern keine signifikanten Überfestigkeiten durch Nacherhärtung des Betons zu erwarten sind) und erfordert keine Abstimmung der Erhärtungsgeschwindigkeit bei der Betonrezeptur.

- *Ansatz der 0,5-fachen mittleren Zugfestigkeit des Betons:*

Hier wird der sogenannte „frühe Zwang“ abgeschätzt. Erfasst werden in diesem Ansatz Rissbildungen bedingt durch die Eigenspannungen in der Bodenplatte aus dem Abfließen der Hydratationswärme. Hier sind Vorgaben an die Betonrezeptur erforderlich. Bei den

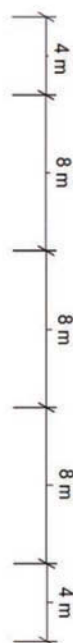
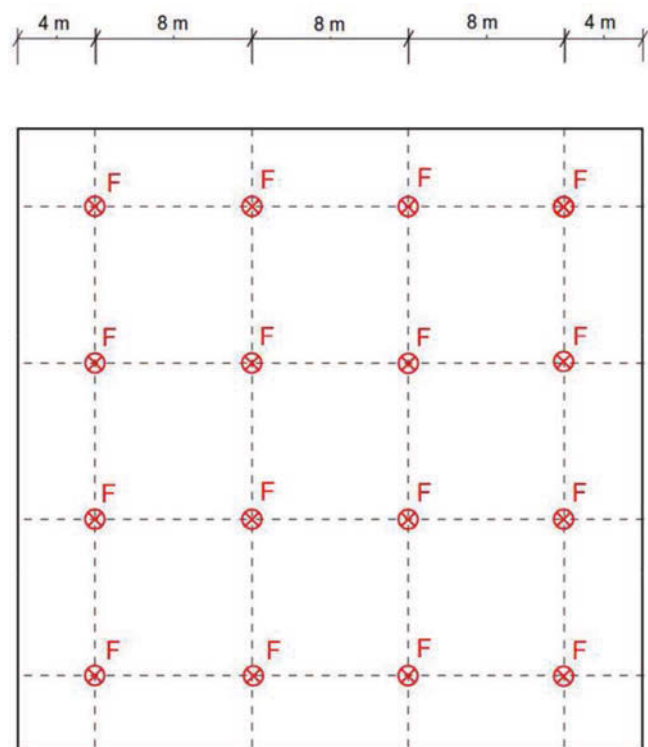
sich aus den Expositionsklassen für Tiefgaragen erforderlichen Mindestbetongüten sind die in diesem Ansatz geforderten langsamen Erhärtungsgeschwindigkeiten nur mit erheblichem Aufwand zu erreichen. Dieser Sachverhalt wird in der Änderung des Nationalen Anhangs der DIN 1992-1-1 [5] erfasst, Erläuterungen hierzu werden in [6] gegeben. Weiterhin muss gesichert sein, dass ein „später“ Zwang (durch Schwinden und Temperaturänderungen) nicht eintritt.

Mit der Festlegung der Betongüte und der Höhe der Zugfestigkeit beim Erstriss wird wesentlich die Betonstahlmenge in der Bodenplatte beeinflusst. Bei üblichen Geschossbauten hat die Bewehrung in der Bodenplatte einen wesentlichen Anteil an der Gesamttonnage des Betonstahls. In der Praxis zeigt sich, dass die erforderliche Mindestbewehrung aus den Anforderungen Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit vor allem für die obere Bewehrungslage von Bodenplatten oftmals maßgebend gegenüber der statischen Bewehrung wird. An einem Rechenbeispiel für ein Bauwerk des üblichen Hochbaus soll der Einfluss der Anforderungen aus Standsicherheit, Dauerhaftigkeit und Dichtigkeit auf die Wahl der Bewehrungsmengen verdeutlicht werden.

3 Parameterstudie für die Mindestbewehrung bei Bodenplatten

3.1 Statisches System Bodenplatte

Es wird der häufige Anwendungsfall eines Bürogebäudes mit eingeschossiger Tiefgarage gewählt. Aus den erforder-



Berechnungsparameter:

Bodenplattendicke:

$$h = 0,50 \div 1,20 \text{ [m]}$$

Geschossanzahl:

$$n = 3 \div 7$$

(= 6 Vollgeschosse + 1 TG)

Bettungsmodul:

$$k = 25 \text{ [MN/m}^3\text{]}$$

Stabdurchmesser Bewehrung:

$$\varnothing = 20 \text{ [mm]}$$

zulässige Rissweite:

$$w_{\text{cal}} = 0,1 \div 0,2 \text{ [mm]}$$

Wasserdruck:

HHW = 2,0 m über OK
Bodenplatte

Bild 1 Eingangswerte Parameterstudie
Input values of parametric study

Tab. 1 Lastannahmen für Parameterstudie
Load assumptions for parametric study

Ständige Lasten	Eigengewicht Geschossdecke Ausbaulast	$g_k = 7,5 \text{ kN/m}^2$ $\Delta g_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$
Veränderliche Lasten	Verkehrslast (Kategorie B1, nach DIN EN 1991-1/NA + Trennwandzuschlag)	$q_k = 2,8 \text{ kN/m}^2$

lichen Parkplatzgeometrien ergeben sich üblicherweise Stützenraster von 8,0 m. Die Tiefgarage bindet in das Grundwasser ein; die Bodenplatte wird in WU-Bauweise geplant und hat eine abdichtende Funktion. Weitere Berechnungsparameter sind in Bild 1 zusammengestellt.

Die Stützenlasten werden über Lasteinzugsflächen (8 m × 8 m) berechnet. Eine Lastabminderung gemäß [7, 8] kommt zum Ansatz. Der Parameterstudie wurden die Lastannahmen gemäß Tab. 1 für die Geschossdecken zugrunde gelegt. Ermittelt werden nun die Biegemomente im Feldbereich der Bodenplatte, d. h. zwischen den Stützen. Die erforderlichen Bewehrungsmengen nach [5, 9] werden für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) und Tragfähigkeit (GZT) ermittelt. Auf eine mögliche Umlagerung der Bodenpressungen wird in diesem Beispiel verzichtet.

3.2 Biegebeanspruchungen in der Bodenplatte

Monolithische Bodenplatten haben die Funktion, die Belastungen aus den Stützen und Wänden gleichmäßig in den Baugrund einzutragen. Aus dieser Tragwirkung entstehen negative Biegemomente in der Platte unter den Stützen und Wänden und positive Biegemomente im Feldbereich zwischen den aufgehenden Bauteilen. Die Verteilung der Biegemomente zwischen Feld und Stützbereich wird in Bild 2 vereinfacht am elastisch gebetteten Balken veranschaulicht (einachsige Tragwirkung).

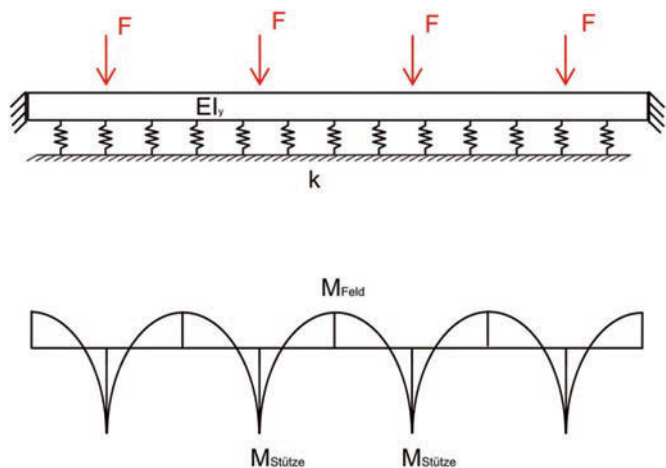


Bild 2 Qualitativer Verlauf der Biegemomente beim elastisch gebetteten Balken
Qualitative distribution of bending moments of the elastic supported beam

Der Verlauf der Biegemomente im unendlich langen elastisch gebetteten Balken wird mit folgender Beziehung berechnet:

$$M(x) = \frac{F}{4\lambda} \cdot e^{-\lambda x} (\cos(\lambda x) - \sin(\lambda x)) \quad (1)$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{k}{4 \cdot EI_y}} \quad (2)$$

Das Maximum der Verlaufsfunktion des positiven Moments M_{Feld} ergibt eine Größe von 20% des Betrags von $M_{\text{Stütze}}$. Dies gilt für den unendlich langen Träger, d. h., die Stützen liegen weiter als $x = \frac{\pi}{\lambda}$ von einander entfernt.

Ist dies nicht der Fall, überlagern sich beide Maxima und M_{Feld} kann bis zu 40% des Betrags von $M_{\text{Stütz}}$ anwachsen. Mit weicherer Bettung bzw. dickerer Bodenplatte erhöht sich damit das Feldmoment zwischen zwei Stützen. Ausrundungen von $M_{\text{Stütz}}$, wie in der Stahlbetonbemessung möglich, bleiben für diese rein modellstatische Betrachtung unberücksichtigt.

Festzuhalten ist, dass die maximale Beanspruchung der Bodenplatten im Bereich der Stützen entsteht. Die Dicke der Bodenplatte wird oftmals aus der Querkraft und Biegebeanspruchung im Bereich der Lasteinleitungspunkte (Stützen, Wandenden) festgelegt. Die für diese Beanspruchung erforderliche Bewehrung liegt in der unteren Lage der Bodenplatte und ist, sofern keine Trennrisse vorhanden sind, keinen Chloriden ausgesetzt. Deutlicher geringer sind die Bemessungsmomente für die obere Bewehrungslage in der Bodenplatte.

3.3 Zwangsbeanspruchungen in der Bodenplatte

Für die Ermittlung der Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreiten sind die in der Bodenplatte zu erwartenden Zwangsbeanspruchungen abzuschätzen. Im Anwendungsbeispiel werden nun die unter 2.3 beschriebenen Ansätze für die Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite aus zentrischem Zwang in der Bodenplatte verglichen. Untersuchungen in [10] zeigen, dass beispielsweise für den Zwang aus der abfließenden Hydratationswärme eher Biegezwang zu erwarten ist. In [11] und [12] werden rechnerische Ansätze beschrieben, die die zu erwartenden Zwangsschnittgrößen wirklichkeitsnäher berechnen lassen.

3.4 Ermittlung der Mindestbewehrung

Aus den errechneten Biegemomenten wird für die Grenzzustände GZG und GZT die erforderliche Bewehrung ermittelt. Die Rissbreite wird im GZG unter der quasi-ständigen Einwirkungskombination auf $w_{\text{max}} = 0,3 \text{ mm}$ begrenzt. Dadurch wird die Mindestanforderung an die Dauerhaftigkeit für die Expositionsklassen XD nach Tabelle 7.1DE der [5] erfüllt. Zusätzlich sind bei Bodenplat-

ten von Tiefgaragen noch weitere besondere Maßnahmen erforderlich.

Der Einfluss der Rissbreitenbegrenzung auf die Mindestbewehrung wird durch folgende Variationen untersucht:

- Begrenzung der Rissbreite auf $w_{\max} = 0,1$ mm; dieser Ansatz kann bei hohen hydraulischen Gefällen aus Abdichtungsgründen erforderlich werden
- Begrenzung der Rissbreite auf $w_{\max} = 0,2$ mm

Mit diesem Ansatz wird in der Regel die Rissüberbrückung bestimmter Oberflächenschutzsysteme, z. B. OS 11 (wobei auf die Gefahr der Blasenbildung durch die Wasserdampfdichtheit bei anstehendem Grundwasser hingewiesen werden muss), ermöglicht und bei bestimmten Grundwasserständen ist die Wasserundurchlässigkeit nachweisbar. Mit den beschriebenen Ansätzen werden nun Bewehrungsquerschnitte für die obere Bewehrungslage im Anwendungsbeispiel berechnet und der erforderlichen Bewehrung aus den Nachweisen im GZG und GZT gegenübergestellt.

3.5 Auswertung der Parameterstudie

Dass die Mindestbewehrung in Tiefgaragenbodenplatten oftmals die erforderliche Bewehrung aus Last an der Oberseite abdeckt, ist allgemein bekannt. Mit der durchgeführten Parameterstudie kann diese Aussage für das Praxisbeispiel quantifiziert werden.

In Bild 3 ist die erforderliche obere Bewehrung für unterschiedliche Plattendicken und Geschosshöhen aufgetragen. Die unteren Kurven zeigen die Ergebnisse der Parameterstudie für die erforderliche Bewehrung der oberen Lage einer Bodenplatte im GZG und GZT. Der Unterschied basiert auf der Spannungsbegrenzung für den Betonstahl aus der Begrenzung der Rissbreite auf $w_{\text{cal}} = 0,3$ mm. Deutlich über diesen Kurvenscharen liegt die für zentrischen Zwang erforderliche rissbreitenbeschränkende Bewehrung. Auch schon für dünnere Bodenplatten mit $h = 0,5$ m werden beim Ansatz der vollen Zugfestigkeit zum Zeitpunkt der Rissbildung Betonstahlmengen erreicht, die deutlich über den aus Last erforderlichen liegen. Vergleichbar wäre hier eine überschüttete Tiefgarage (entspricht etwa der unteren Kurvenschar für zwei Vollgeschosse mit TG), die im Vergleich zum GZT ($8,8 \text{ cm}^2/\text{m}$) eine dreimal höhere Bewehrung aus zentrischem Zwang, $w_{\max} = 0,2$ mm und voller Zugfestigkeit erhält ($27,8 \text{ cm}^2/\text{m}$).

Um die Tragreserve der Bewehrung aus der Mindestbewehrung zur erforderlichen Bewehrung im Grenzzustand der Tragfähigkeit zu verdeutlichen, wird nachfolgend das Biegemoment $m_{d,\max}$ im Grenzzustand der Tragfähigkeit für eine Gebäude mit sechs Vollgeschossen und TG als Vergleichsmaßstab gewählt. Unter Ansatz der im GZG erforderlichen Mindestbewehrung wird nun ein aufnehmbares Biegemoment im GZT, d. h. mit dem Bemessungswert der Streckgrenze des Betonstahls $f_{y,d}$, berechnet. In Bild 4 werden nun die berechneten Biegemomente auf das Biegemoment $m_{d,\max}$ bezogen. Die erforderliche Min-

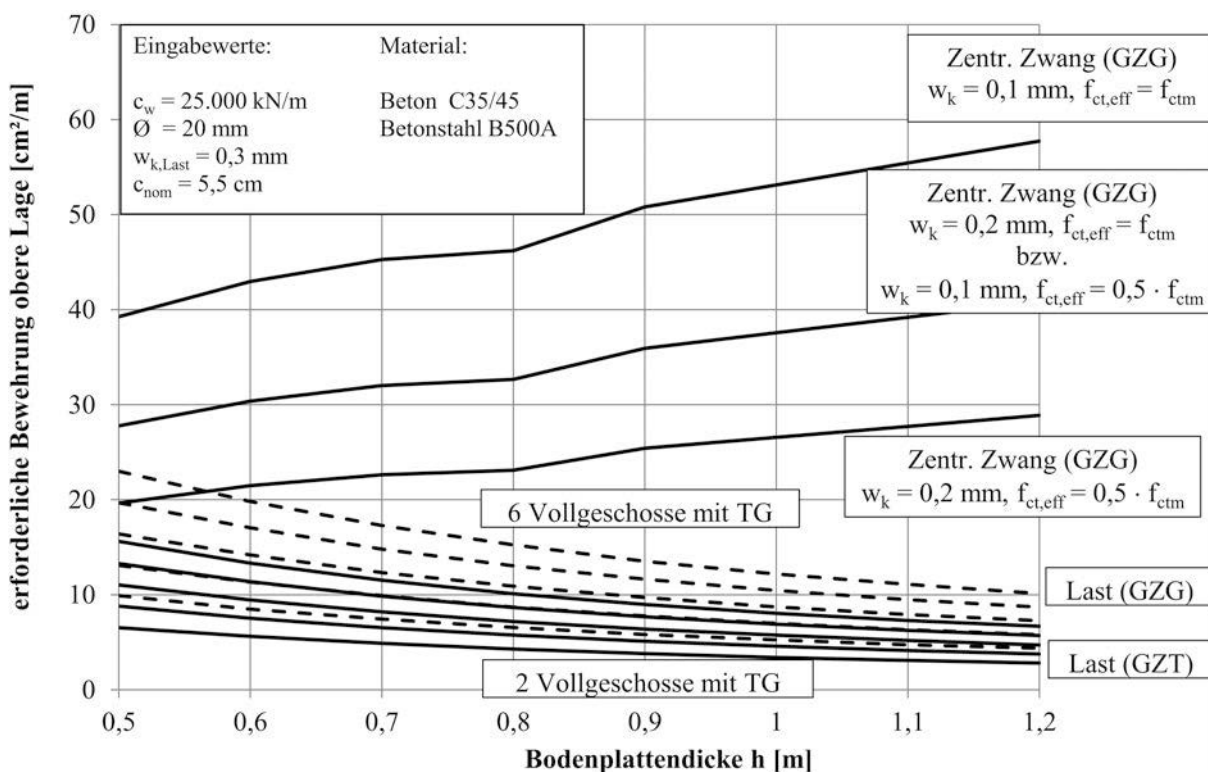


Bild 3 Ergebnisse Parameterstudie – erforderliche Bewehrung (obere Lage)
 Parameter Study: required reinforcement (upper layer)

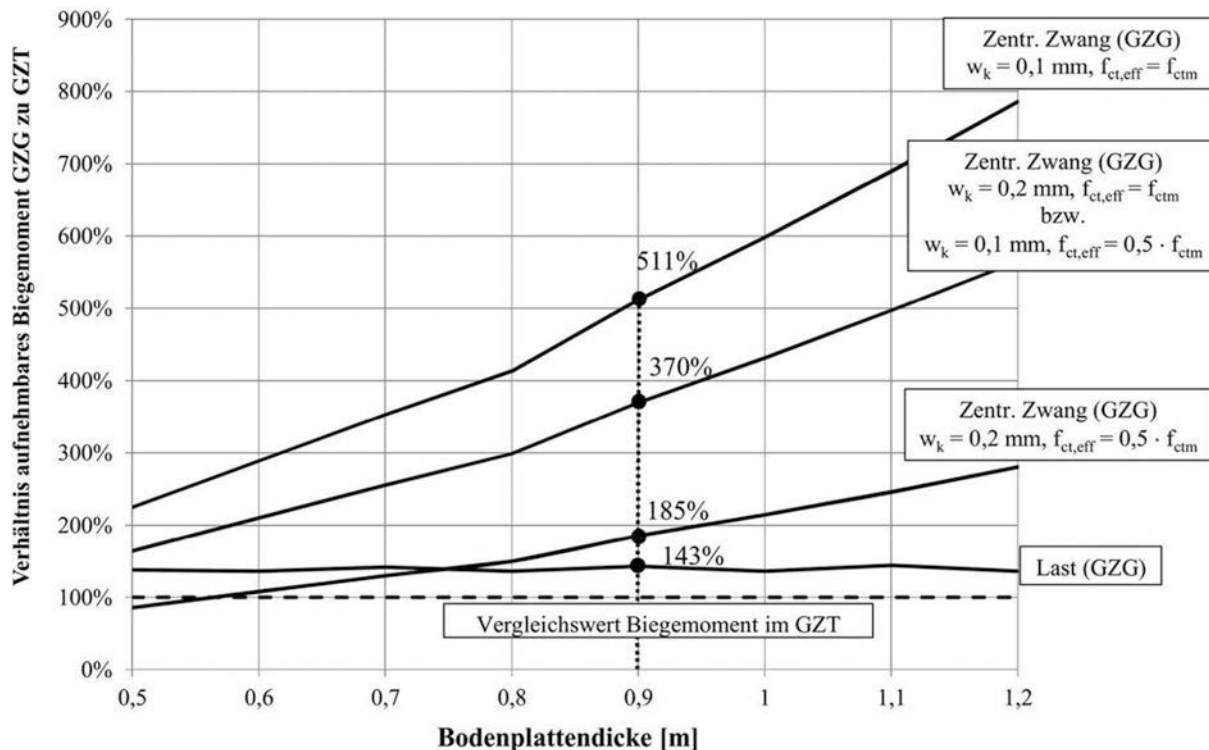


Bild 4 Ergebnisse Parameterstudie – Vergleich aufnehmbare Momente
Parameter Study – comparing the maximum moments

destbewehrung für zentrischen Zwang bei voller Zugfestigkeit und $w_k = 0,2 \text{ mm}$ erbringt für eine Bodenplatte von 90 cm Dicke ein aufnehmbares Biegemoment m_{Rd} , welches mehr als 3,5 mal höher ist als das Biegemoment im GZT. Da der Einfluss der Rissbreiten reziprok über die Wurzelfunktion in die Berechnung der Mindestbewehrung eingeht, erhöht sich dieser Faktor bei einer Halbierung der zulässigen Rissbreite unter Berücksichtigung des statischen Hebelarms um 38%.

Mit dem Ansatz des Lastfalls zentrischer Zwang bei voller Zugfestigkeit und einer Rissbreite von 0,1 mm werden alle möglichen zwangserzeugenden Einflüsse abgedeckt. Dennoch können in den Riss mit einer Breite von 0,1 mm Chloride in kritischer Konzentration bis zum Bewehrungsstahl in kurzer Zeit eindringen und chloridinduzierte Korrosion auslösen. Die Erfüllung der Anforderungen an die Dauerhaftigkeit und Dichtigkeit dominiert jedoch über die Standsicherheit. Gerade bei dicken Bodenplatten ist daher zu prüfen, ob ein Begrenzen der Rissbreiten der wirtschaftliche und im Hinblick auf eine spätere Rissbehandlung technisch sinnvolle Entwurfsgrundsatz ist.

4 Entwurfsgrundsätze

Entwurfsgrundsätze für wasserundurchlässige Bauwerke werden in [13], Erläuterungen dazu in [4] gegeben. Die Dauerhaftigkeit von Betonbauteilen wird normativ in [5] und [9] geregelt. Entwurfsgrundsätze für Parkhäuser sind in [1] angegeben. Das Parkhaus-Merkblatt befindet sich aktuell in Überarbeitung, einen Überblick zum aktuellen

Stand und die Neuformulierung der Entwurfsgrundsätze gibt [6]. Die überarbeitete Ausgabe des DBV-Merkblatts „Begrenzung der Rissbildung im Stahlbeton- und Spannbetonbau“ [14] gibt wesentliche Hinweise zu den möglichen Entwurfsgrundsätzen und den Planungsgrundlagen.

Entscheidend für den Erfolg der Planung ist die Wahl eines durchgängigen Entwurfsgrundsatzes für die Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit. Wird die Dauerhaftigkeit durch eine flächige Beschichtung, verbunden mit einer Begrenzung der Trennrissbreiten, erfüllt und die Wasserundurchlässigkeit mittels Sollrissfuge zu erreichen versucht, sind hier konträre Entwurfsgrundsätze gewählt worden, die zu einer unwirtschaftlichen Lösung oder auch zu Schäden in der Nutzung führen können. Die Planung muss daher abgestimmt und bestenfalls in einer Hand bleiben, um Schnittstellenprobleme mit derartig ungünstigen Folgen zumindest organisatorisch zu vermeiden.

Die Entwurfsgrundsätze für die Aufgabenstellungen Dauerhaftigkeit (nach [6]) und Wasserundurchlässigkeit (nach [13]) sind in Tab. 2 gegenübergestellt. Die WU-spezifischen Anforderungen, wie z.B. an die Mindestbauteildicken oder die Fugenausbildungen, wurden in der Tabelle nicht aufgeführt, sind jedoch zu beachten.

Es hat mit der Überarbeitung von [1] eine Vereinheitlichung der Anzahl der Entwurfsgrundsätze und der Bezeichnungen stattgefunden. Damit wird ein wesentlicher Schritt für eine durchgängige Festlegung der Randbedingungen für die Bemessung von Tiefgaragenbodenplatten gemacht.

Tab. 2 Zusammenführung Entwurfsgrundsätze Wasserdichtigkeit und Dauerhaftigkeit
Survey design principles water impermeability and durability

Grundlage	Rissvermeidung	Risse begrenzen	Risse planen
WU-Richtlinie ([13]) Abschnitt 7	7 (4) a)	7 (4) b)	7 (4) c)
Entwurf DBV-Merkblatt [1]	EGS a	EGS b	EGS c
Rissbreitenbeschränkung/ Rissvermeidung	Vermeidung von Trennrissen durch die Festlegung von konstruktiven, betontechnischen und ausführungstechnischen Maßnahmen	Nachweis der Trennrissbreite nach gewählter Beanspruchungsklasse bzw. nach Leistungsfähigkeit der Beschichtung	Mindestbewehrung nach [5] und [9]
Maßnahme bei Rissen gegen Feuchtezutritt von unten	Abdichtungskonzept für unvorhergesehene Risse festlegen	Abdichtungskonzept für unvorhergesehene breite Risse festlegen	Abdichtungskonzept für geplante und ungeplante Risse festlegen (z. B. Rissinjektion)
Maßnahmen bei Rissen gegen Feuchte- und Chloridzutritt von oben	unvorhergesehene Risse umgehend schließen	Oberflächenschutzsystem als flächige Beschichtung oder flächige, rissüberbrückende Abdichtung mit Schutzschicht	lokaler Schutz der Risse (z. B. rissüberbrückende Bandage, nichtrostende Bewehrung) oder flächige, rissüberbrückende Abdichtung mit Schutzschicht; außerhalb der Rissbereiche: Oberflächenschutzsystem als flächige Beschichtung oder unbeschichtete Bodenplatte

Die Ergebnisse der Parameterstudie zeigen, dass zum Entwurfsgrundsatz „Risse begrenzen“ planerische Alternativen zu finden sind. Eine Möglichkeit wäre, vom Grundsatz „Risse planen“ (vgl. Tab. 2) Gebrauch zu machen. Dies kann beispielsweise durch Einbau von Sollriss-Elementen geschehen, wodurch die Lage der Trennrisse konstruktiv vorgegeben ist. Dadurch können wenige, breite Risse gezielt initiiert werden. Da die Selbstheilung solcher breiten Risse, die den Nutzungsanforderungen nicht mehr entsprechen, nicht gesichert ist, ist üblicherweise eine Abdichtung von Trennrissen gegen Wasser von unten (z. B. Fugenband) erforderlich.

Das Dichtigkeitskriterium kann im Entwurfsgrundsatz (c) nach Heft 555 mit einer auf das Mindestmaß nach DIN EN 1992-1-1 reduzierten Bewehrung in Kombination mit zusätzlichen Maßnahmen erreicht werden. Platziert man im obigen Rechenbeispiel die Sollrisse zwischen den Stützen, kann die Bewehrung im Feldbereich auf die nach DIN 1992-1-1 erforderliche Bewehrung reduziert werden. Sämtliche Verformungen aus Zwang werden bei sinnvoller Bewehrungsanordnung in den Sollrissfugen abgebaut. Es verbleiben mögliche Rissbildungen aus der Biegebeanspruchung in der Bodenplatte. Veränderungen dieser Rissbreite können durch die Variation der Bodenpressungen, durch die veränderlichen Lasten in den Geschossen oder Schwankungen im Grundwasserpegel entstehen. Im Regelfall sind diese Rissbreitenänderungen unkritisch für Oberflächenschutzsysteme.

Mit einem Abdichtungskonzept für Sollrisse (z. B. Rissinjektionen, Injektionsschläuche, Fugenabdichtungen) werden die zusätzlichen Maßnahmen wirtschaftlich und

betriebllich planbar. Die Dauerhaftigkeit der Bewehrung im Bereich der Sollrissfugen kann durch ein lokales Abdichten an der Oberseite (Bandagen) erreicht werden. Will man zukünftige Wartungskosten gänzlich vermeiden, kann im Bereich der Risse nichtrostende Bewehrung (z. B. aus nichtrostendem Stahl, GFK-Bewehrung oder epoxydharzbeschichtete Bewehrung) verwendet werden.

Das gegebene Beispiel zeigt, dass mit den in den Regelwerken gegebenen Entwurfsgrundsätzen dem Planer ein Spielraum gegeben wird, um wirtschaftlich und technisch die Anforderungen an Tiefgaragenbodenplatten erfüllen zu können. Das Argument einer verbesserten Robustheit des Systems bei der Erhöhung der Bewehrung kann bei den vorhandenen Größenordnungen nicht sinnvoll erscheinen. Bei Mehrlasten auf den Stützen wird zudem hauptsächlich die untere Lage höher beansprucht, die obere Lage liefert für die Tragfähigkeit keinen wesentlichen Anteil. Somit ist zu hinterfragen, welches Ziel bei stark konservativen Ansätzen für die Zwangsbeanspruchung überhaupt zu erreichen ist. Ist aus statisch-konstruktiven Gründen eine geringere Mindestbetonfestigkeitsklasse als die aus der Dauerhaftigkeit geforderte ausreichend, bieten sich dem Planer hier weitere Möglichkeiten.

5 XD-Betone: Ist der Ansatz einer Mindestfestigkeit zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit gerechtfertigt?

Nach [1] ist für eine unbeschichtete Bodenplatte nach der Variante 1 u. a. die Expositionsklasse XD3 gefordert. Bei

einem flächigen Oberflächenschutzsystem (Variante 2) ist hinsichtlich der Dauerhaftigkeit gegenüber chloridinduzierter Korrosion die Expositionsklasse XD1 anzusetzen. Damit ist nach [5] eine indikative Mindestfestigkeitsklasse C35/45 für XD3 und C30/37 für XD1 gefordert. Mittels dieses deskriptiven Ansatzes soll also durch Forderung an eine hohe Mindestfestigkeit die Dauerhaftigkeit gegenüber chloridinduzierter Korrosion sichergestellt werden. Nachfolgend wird aufgezeigt, dass dieser Ansatz einer Mindestfestigkeit wenig zielführend ist.

Zunächst wird durch den Ansatz aus [15], veröffentlicht in [2], ermittelt, welche Chloriddiffusionskoeffizienten bzw. Migrationskoeffizienten für XD3 erforderlich sind, um mit hinreichender Zuverlässigkeit eine Dauerhaftigkeit von 50 Jahren sicherzustellen. Als geforderter Zuverlässigkeitsindex am Ende der vereinbarten Nutzungsdauer (hier 50 Jahre) wird nach [16, 17] $\beta = 0,5$ gesetzt. Aus der Nutzungsdauer, dem Zuverlässigkeitsindex und der Expositionsklasse ergibt sich der Ansatz des in Bild 5 dargestellten Nomogramms. Zur Bestimmung der erforderlichen D_{RCM} wird davon ausgegangen, dass die normativ geforderte Betondeckung $c_{min} = 40$ mm eingehalten wird. Die Oberflächenkonzentration $C_{s,\Delta x}$ wird nach [16] vereinfachend zu 2,8 M.-%/z. angesetzt. Der Tatsache, dass unterschiedliche Zemente mit der Zeit mehr oder weniger „chloriddichter“ werden, wird durch Berücksichtigung des Altersexponenten α_{app} Rechnung getragen: so wird ein CEM II/B-V (Portlandflugaschazement) mit zunehmendem Alter signifikant „diffusionsdichter“ (verglichen zu einem CEM I), weshalb der Migrationskoeffi-

zient im jungen Alter höher (= durchlässiger) sein darf. Somit ergibt sich für XD3 ein erforderlicher Diffusionskoeffizient D_{RCM} im Alter t_0 für einen CEM I von $2,0 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$, während der erforderliche D_{RCM} für einen CEM II/B-V $12,6 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ beträgt.

In einem nächsten Schritt werden die Untersuchungsergebnisse zu Chloridmigrationskoeffizienten D_{RCM} aus [18] in Korrelation zu den dabei ermittelten Druckfestigkeiten gesetzt, vgl. Bild 6. Die dargestellten Druckfestigkeitsklassen sind mit einem Vorhaltemaß von 8 N/mm^2 und bei Berücksichtigung einer Lagerung nach 8 Tagen an Luft ($f_{c,dry,cube}$) ermittelt. Dabei zeigt sich ein überraschendes Ergebnis: bei Verwendung eines Portlandzementes kann auch bei sehr hohen Druckfestigkeiten der erforderliche Diffusionskoeffizient D_{RCM} nicht erreicht werden. Dagegen ist auch bei niedrigsten CEM III/B-Betonen der erforderliche D_{RCM} eingehalten. Bei CEM II/B-V genügt rechnerisch bereits eine Betonfestigkeitsklasse C25/30, um die Anforderungen an XD3 einzuhalten.

Es zeigt sich, dass der Ansatz der Norm, durch hohe geforderte Druckfestigkeiten eine hinreichende Dauerhaftigkeit sicherzustellen, nicht zielführend ist. Maßgebend ist vielmehr die Verwendung eines geeigneten Bindemittels, hier v.a. puzzolane (Flugasche) oder latent hydraulische (Hochofenzement) Bindemittel. Dann erfüllen auch Betone mit geringeren als den geforderten indikativen Mindestfestigkeitsklassen die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit.

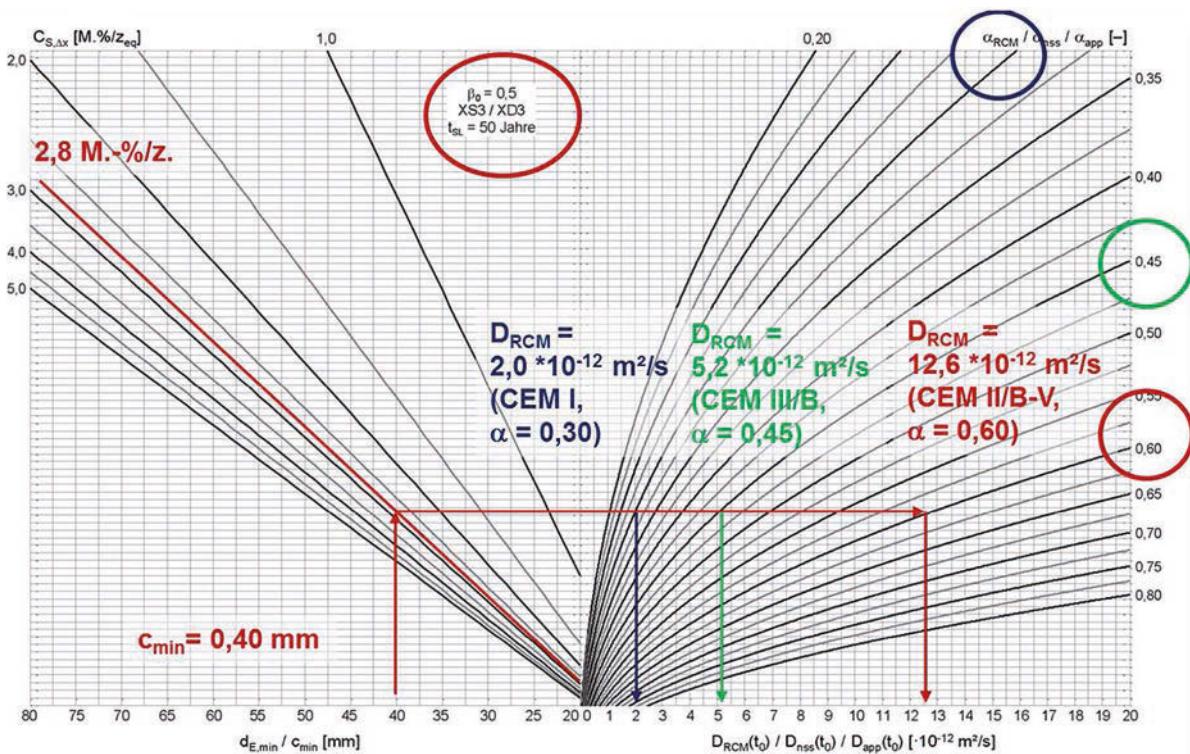


Bild 5 Erforderlicher Migrationskoeffizient zur Sicherstellung einer Dauerhaftigkeit von 50 Jahren bei einer Zuverlässigkeit von $\beta = 0,5$ (Nomogramm aus [15])
 Required migration coefficient to ensure the durability of 50 years with a reliability of $\beta = 0.5$ (Nomogram of [15])

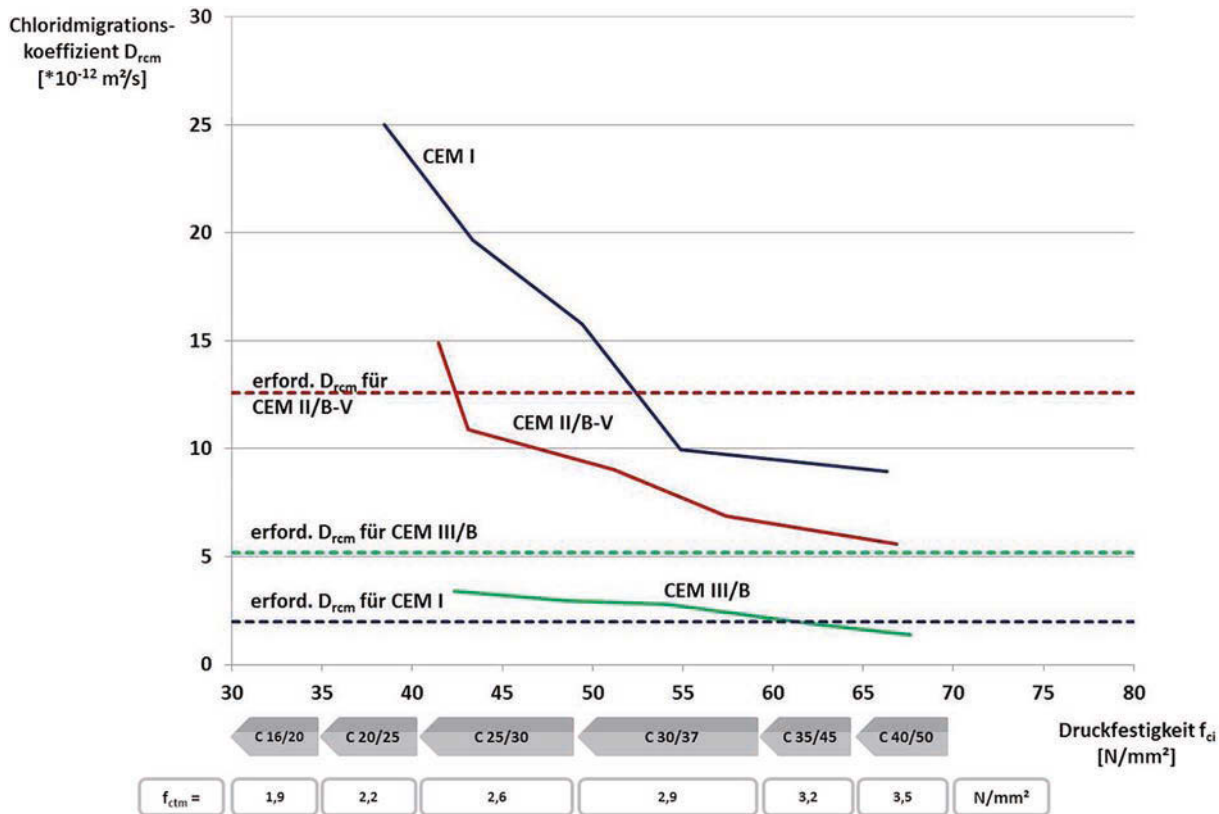


Bild 6 Chloridmigrationskoeffizienten D_{RCM} in Abhängigkeit von der Betonfestigkeit für unterschiedliche Zementarten und die nach [15] ermittelten erforderlichen D_{RCM} – ferner informativ die Betonfestigkeitsklassen und die Zugfestigkeiten nach [9], Daten aus [18]
Chloride migration coefficient D_{RCM} depending on the strength of the concrete for different types of cement and according to [16] determined necessary D_{RCM} – also informative the concrete strength classes and the tensile strength according to [9], data from [18]

Nun führen hohe Druckfestigkeiten normalerweise auch zu höheren Zugfestigkeiten. Dies ist ebenfalls in Bild 6 dargestellt: dort sind die f_{ctm} -Werte in Abhängigkeit von der Betondruckfestigkeitsklasse aus [9] dargestellt. Aus diesem Grund sollte zur Einsparung der rissbreitenbeschränkenden Bewehrung ein möglichst niederfester Beton eingesetzt werden.

Als Fazit kann daher empfohlen werden, für Tiefgaragenbodenplatten in Abhängigkeit von der Expositionsklasse einen leistungsbezogenen Nachweis der ausreichenden Dauerhaftigkeit zu führen. Dadurch kann von den hohen, in der Norm geforderten Mindestfestigkeiten abgewichen werden und rissbreitenbeschränkende Bewehrung eingespart werden. Durch eine sowieso vorgeschriebene regelmäßige Wartung solcher Tiefgaragenbodenplatten können niedrigere Mindestzuverlässigkeiten (hier $\beta = 0,5$) gegenüber Depassivierung projektspezifisch definiert werden.

6 Betrachtung der Zwangsschnittgrößen aus spätem Zwang, Auswertung von Messergebnissen aus der Praxis

Wie in Abschn. 3.4 dargestellt, wird bei Berechnung einer rissbreitenbeschränkenden Bewehrung der frühe Zwang

häufig durch Ansatz der 0,5-fachen mittleren Zugfestigkeit des Betons angesetzt. In [19] wird aufgezeigt, dass dieser Ansatz mit modernen Betonen kaum einzuhalten ist. Dabei ist häufig die Einsparung von Mindestbewehrung „für“ den Bauherrn der Beweggrund des Tragwerkplaners, verbunden mit der Hoffnung, dass später Zwang schon nicht auftreten wird. Begründet wird diese Hoffnung mit dem Argument, die Bodenplatte könne sich ja zwängungsarm verformen. Meist wird der Entwurfsgrundsatz EGS b (vgl. Abschn. 4) verfolgt.

In der Planung werden aber häufig in der Realität vorhandene Festhaltungen der Bodenplatte nicht berücksichtigt. Solche Festhaltungen können sein:

- Vouten unter Stützen und Wänden
- Aufzugsunterfahrten und Schöpfgruben oder sonstige tiefer liegende Bauwerksteile
- Thermische Festhaltungen: z. B. im Winter wärmerer Kellerbereich grenzt an kältere Tiefgarage und verhindert zwängungsfreie Verformung der Tiefgaragenbodenplatte

Nachfolgend wird anhand von Messdaten aus Tiefgaragenbauwerken dargestellt, dass es bei Tiefgaragen mit natürlicher Belüftung allein durch jahreszeitliche Temperaturänderungen in der Bodenplatte bei Verformungsbehin-

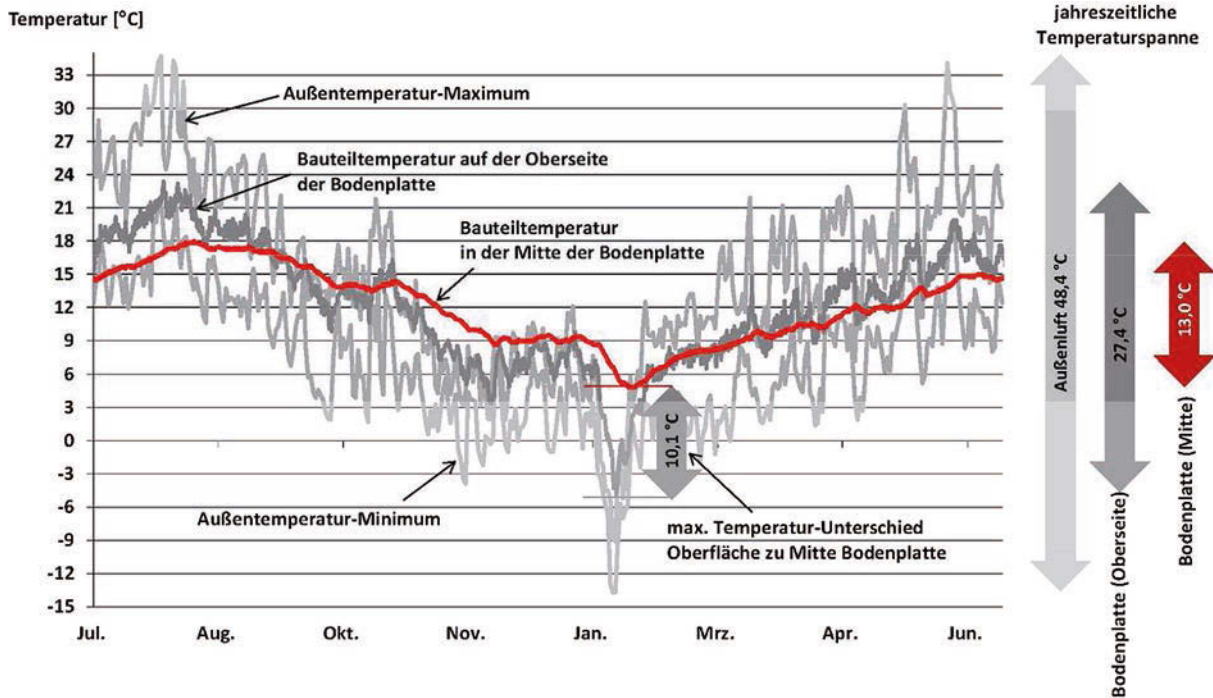


Bild 7 Temperaturverläufe in einer Tiefgarage in Berlin: Außentemperaturen, Oberflächentemperatur auf der Bodenplatte und Temperatur in der Mitte der Bodenplatte
 Temperature gradients in an underground car park in Berlin: the outside temperature, surface temperature on the base plate and temperature in the middle of the floor plate

derung zu Rissbildung im späten Alter kommen kann. Grundsätzlich ist bei der Ermittlung der Zwangsspannungen im Bauteil zusätzlich das Schwindverhalten des Betons zu berücksichtigen. Nachfolgende Betrachtungen konzentrieren sich nur auf den Anteil aus den Temperaturänderungen.

Bild 7 zeigt einen Jahreszyklus der Temperaturen einer Tiefgarage mit natürlicher Belüftung in Berlin. Dabei zeigt sich eine Temperaturspanne der Außentemperaturen von 48,4°C, während auf der Bodenplattenoberseite die Temperaturspanne noch 27,4°C beträgt. Im Inneren der Bodenplatte sind maximal auftretende Temperaturunterschiede von 13,0°C messbar. Geht man vereinfachend davon aus, dass die Hälfte dieser Temperaturspanne von 13°C als zentrische Zugzwangsspannung wirkt, ergibt sich eine Zwangsspannung von 2,15 N/mm² (E-Modul zu 33000 N/mm² gesetzt). Dem steht eine mittlere Zugfestigkeit f_{ctm} nach [9] von 2,9 N/mm² für einen C30/37 entgegen. Aus der mittleren jahreszeitlichen Temperaturveränderung allein muss somit noch nicht mit zentrischer Rissbildung gerechnet werden. Berücksichtigt man aber, dass der Beton an der Oberfläche nochmals um bis zu rd. 10°C kühler ist als der Beton in der Mitte der Bodenplatte, so entsteht ein zusätzlicher Biegezwang von rd. 3,3 N/mm². Da sich die zentrischen Zwangsspannungen und die Zwangsspannungen aus Temperaturgradienten addieren können, überschreiten die Zwangsspannungen bei Verformungsbehinderung bereits die Zugfestigkeit des Betons im späten Alter.

Je nach Lüftungssituation der Tiefgarage können sich aber auch deutlich geringere jahreszeitliche Temperaturschwankungen einstellen: in einer zweigeschossigen Tiefgarage in München, die künstlich belüftet wird, zeigte sich eine Veränderung der Lufttemperatur im 2. UG zwischen Februar und August von lediglich rd. 11°C. In einer über Lichtschächte natürlich belüfteten Tiefgarage in Ingolstadt war die jahreszeitliche max. Temperaturspanne rd. 18°C (zum Vergleich: frei bewitterte TG in Berlin 27°C).

Diese vorgestellten Beispiele von Temperaturmessungen in Tiefgaragen belegen, dass die maximale jahreszeitliche Temperaturspanne stark von der Belüftungssituation abhängt. Bei natürlicher Belüftung mit großen Belüftungsöffnungen muss bei Verformungsbehinderung der Bodenplatte mit Zwangsspannungen im späten Alter gerechnet werden, die die Zugfestigkeiten des Betons überschreiten, was zu Rissbildung führen kann. Aus diesem Grund ist der rechnerische Ansatz des frühen Zwangs (egal, ob 0,5- oder 0,7-fache Betonzugfestigkeit) bei der Auslegung der Mindestbewehrung nur in wohlbegründeten Ausnahmefällen ratsam.

Anders verhält es sich bei Tiefgaragenbodenplatten, die aufgrund von geplanten Sollrissen bereits eine Verformungsfähigkeit in diesen Sollrissen aufweisen und die entstehenden Temperaturdehnungen durch Rissbreitenänderungen in den Sollrissen zwangungsarm aufnehmen können. Es ist natürlich erforderlich, die Bewehrungsanordnung und z.B. die Rissbandage auf diesen Zwang auszuliegen.

7 Zusammenfassung

Bei der Planung von tragenden Bodenplatten von Tiefgaragen werden aktuell häufig sehr hohe Bewehrungsgrade angesetzt, in der Hoffnung, den Anforderungen an Rissbreitenbeschränkung gerecht zu werden. Diese hohen Bewehrungsgrade ergeben sich gerade bei dicken Bodenplatten und Ansatz des späten Zwangs.

Einen möglichen Ausweg aus diesem häufig unwirtschaftlichen Planungsansatz zeigen der Entwurf des DBV-Merkblatts und die WU-Richtlinie auf: hier sind Entwurfsgrundsätze für die Planung hinsichtlich der Wasserundurchlässigkeit und der Dauerhaftigkeit beschrieben. Dabei führt der Entwurfsgrundsatz (EGS) „Rissbreitenbeschränkung“ zu den genannten hohen Bewehrungsgraden. Dagegen kann durch Ansatz des EGS „Risse planen“ der Bewehrungsgrad u. U. deutlich reduziert werden. Als Beispiel für die Ausführung dieses EGS kann die gezielte Anordnung von Sollriss-Elementen mit einhergehender zielführender Wahl der Bewehrung im Sollrissbereich wie auch außerhalb der Sollrissbereiche angeführt werden. Wichtig für den Erfolg der Planung beim EGS „Risse planen“ sind eine auf das statische Tragsystem angepasste Lage der Sollriss-Elemente und eine zielführende Reduzierung der Bewehrung im Sollriss-Bereich. Bei Tiefgaragenbodenplatten im Grundwasser sind die Entwurfsgrundsätze Wasserundurchlässigkeit und Dauerhaftigkeit aufeinander abzustimmen. Es ist zu empfehlen, die Planung in der Hand eines Sachkundigen zu belassen – der idealerweise auch die Beschichtung auf den Entwurfsgrundsatz abstimmt.

Hinsichtlich der Auswahl von Betonen für TG-Bodenplatten zeigt sich, dass die Wahl eines höherfesten Betons

zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit gegenüber XD-Exposition nicht immer zielführend ist. Unter Berücksichtigung statisch-konstruktiver Gesichtspunkte kann es wirtschaftlicher sein, durch einen leistungsbezogenen Nachweis die Dauerhaftigkeit mit einem Beton möglichst geringer Festigkeit nachzuweisen. Damit verringert sich die Zugfestigkeit (und das Schwindmaß sowie der E-Modul, wodurch sich die Zwangsspannungen reduzieren), was zu einer Reduktion der rissbreitenbeschränkenden Bewehrung führen kann.

Auch ist für jedes Bauwerk gesondert zu überprüfen, ob die zu erwartenden jahreszeitlichen Temperaturschwankungen evtl. zu Rissen im späten Betonalter führen können. Beispiele aus Tiefgaragen mit unterschiedlichen Belüftungen zeigen eine große Bandbreite von max. Temperaturspannen. Bei Tiefgaragen mit großen Belüftungsöffnungen muss bei Verformungsbehinderung der Bodenplatte mit Rissen im späten Alter durch Temperaturschwankungen gerechnet werden. Dabei sind für jedes Bauwerk die Randbedingungen gesondert zu betrachten.

Letztlich sind für jedes Bauwerk alle möglichen Entwurfsgrundsätze in wirtschaftlicher Hinsicht und im Hinblick auf die Instandhaltungsmaßnahmen zu prüfen und mit dem Bauherrn abzustimmen. Die Begrenzung der Trennrissbreiten ist nicht immer die zielführende und wirtschaftlichste Lösung. Die Methode basiert auf einer Verteilung der Risse und erhöht damit die zu behandelnden Laufmeter Risse. Zudem werden bei kleinen Rissbreiten die Einsatzmöglichkeiten von bestimmten Rissfüllstoffen beschränkt.

Literatur

- [1] DBV-Merkblatt „Parkhäuser und Tiefgaragen“. 2. überarbeitete Ausgabe September 2010, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V.
- [2] DAfStb-Richtlinie: *Instandhaltung von Betonbauteilen (Instandhaltungs-Richtlinie)*; Gelbdruckentwurf von 14.06.2016.
- [3] LINDER, R.: *Baukörper aus wasserundurchlässigem Beton*. Betonkalender 1986, Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin.
- [4] DAfStb-Heft 555: *Erläuterungen zur DAfStb-Richtlinie wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (inkl. WU-Richtlinie)*. Berlin: Beuth Verlag 2006.
- [5] DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04: Nationaler Anhang (NA) – National festgelegte Parameter – Eurocode 2: *Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Mit Änderung: 2015-12*. Beuth Verlag, Berlin.
- [6] FINGERLOOS, F.; HEGGER, J.: *Erläuterungen zur Änderung des deutschen Nationalen Anhangs zu Eurocode 2 (DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015-12)*. Beton- und Stahlbetonbau 111 (2016), Heft 1, S. 2–8.
- [7] DIN EN 1991-1-1:2010-12: *Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau*.
- [8] DIN EN 1991-1-1/NA:2010-12: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – *Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau*.
- [9] DIN EN 1992-1-1:2011-01: Eurocode 2: *Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*. Beuth Verlag, Berlin.
- [10] DAfStb-Heft 559: Agatz S.: *Herstellungszustand verformungsbehinderter Bodenplatten aus Beton*. Berlin: Beuth Verlag 2006.
- [11] SCHLICKE, D.; TUE, N. V.: *Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite unter Berücksichtigung des tatsächlichen Bauteilverhaltens, Teil 1: Verformungsbasiertes Bemessungsmodell und Anwendung für Bodenplatten*. Beton- und Stahlbetonbau 111 (2016), Heft 3, S. 120–131.
- [12] LOHMEYER G.; EBELING, K.: *Weißer Wannen – einfach und sicher*, 10. überarbeitete und erweiterte Auflage, Verlag Bau+Technik GmbH, 2013.
- [13] DAfStb-Richtlinie: *Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie)*. Ausgabe 2003-11 mit Berichtigung: 2006-03.

- [14] DBV-Merkblatt „Begrenzung der Rissbreiten im Stahlbeton- und Spannbetonbau“. Überarbeitete Ausgabe Mai 2016, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V.
- [15] RAHIMI, A.: *Semiprobabilistisches Nachweiskonzept zur Dauerhaftigkeitsbemessung und -bewertung von Stahlbetonbauteilen unter Chlorideinwirkung*. Dissertation Fakultät Bau, Geo und Umwelt, TU München, München, Juni 2016.
- [16] GEHLEN, C.; SCHIESSL, P.; SCHIESSL-PECKA, A.: *Hintergrundinformationen zum Positionspapier des DAfStb zur Umsetzung des Konzepts von leistungsbezogenen Entwurfsverfahren unter Berücksichtigung von DIN EN 206-1 im Anhang J, für dauerhaftigkeitsrelevante Problemstellungen*. Beton- und Stahlbetonbau 103 (2008), Heft 12, S. 840–851.
- [17] *Positionspapier des DAfStb zur Umsetzung des Konzepts von leistungsbezogenen Entwurfsverfahren unter Berücksichtigung von DIN EN 206-1, Anhang J*. Beton- und Stahlbetonbau 103 (2008), Heft 12, S. 837–839.
- [18] DAfStb-Heft 510: GEHLEN, C.: *Probabilistische Lebensdauerbemessung von Stahlbetonbauwerken – Zuverlässigkeitsbetrachtungen zur wirksamen Vermeidung von Bewehrungskorrosion*. Berlin: Beuth-Verlag 2000.
- [19] MEIER, A.: *Was hat die Festlegung $f_{ct,eff} \leq 0,5 f_{ctm}$ mit Rissen in Betonbauteilen zu tun?* In: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V., Rundschreiben 242, September 2014.

Autoren



Dr.-Ing. Christian Stettner
Zilch + Müller Ingenieure GmbH
Erika-Mann-Straße 63
80636 München
stettner@zm-i.de



Prof. Dr.-Ing. Christoph Dauberschmidt
Hochschule München
Fakultät Bauingenieurwesen
Karlstraße 6
80333 München
daubersc@hm.edu