

**Vorgespannte flüssigkeitsdichte Betonplatten in
Anlagen beim Umgang mit wassergefährdenden
Stoffen**

Prof. Dr.-Ing. Jörg Reymendt

Vorgespannte flüssigkeitsdichte Betonplatten in Anlagen beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen

Inhalt

Bei Chemikalienlagern, Umfüllplätzen, Auffangräumen oder Produktionsflächen in der chemischen Industrie wird der Planer häufig vor das Problem der geeigneten und kostengünstigen Ausführung der Dichtflächen gestellt. Um bei der Verwendung von wassergefährdenden Flüssigkeiten eine Boden- bzw. Grundwasserverschmutzung mit Sicherheit ausschließen zu können, sind entsprechende Auffangräume bzw. Ableitflächen herzustellen, die den gesamten kritischen Bereich der Anlage als sogenannte Sekundärbarriere umschließen.

Eine wirtschaftliche Lösung bei der Herstellung von Dichtflächen und Auffangräumen ist durch die Betonbauweise gegeben. Die behördliche Anerkennung dieser Bauweise bei Anlagen bei Umgang mit wassergefährdenden Stoffen gemäß Wasserhaushaltsgesetz (WHG) wurde in den letzten 10 Jahren durch die Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ [1] gefördert.

Bei allen konstruktiven und wirtschaftlichen Vorteilen der Betonbauweise bilden notwendige Bauteilfugen bei der Ausführung bis heute eine Schwachstelle der Konstruktion. Nur mit hohem finanziellen Aufwand sind diese Schwachstellen dauerhaft und dicht ausführbar. Häufig ist bereits in der Planungsphase die anfallende Sanierung der Bauteilfugen nach wenigen Jahren Nutzung der Fläche bekannt und wird billiger in Kauf genommen.

1 Einführung

Durch den Einsatz von Spannbeton bei Dichtflächen können großflächige Systeme ohne Bauteilfugen rissfrei hergestellt werden. Ein Teil der höheren Herstellungskosten der Spannbetonkonstruktion wird dabei durch die Kostenersparnis der überflüssigen Fugen, den geringen Wartungsaufwand und die hohe Nutzungsqualität kompensiert. Durch die geeignete Anwendung der Spannbetonbauweise unter Berücksichtigung der in der Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ beschriebenen Berechnungsgrundlagen wird sogar eine kostenmäßige Gleichstellung der Spannbetonbauweise gegenüber der konventionellen Stahlbetonfläche erreicht.

2 Planungsgrundlage bilden die gesetzlichen Anforderungen

Die Anforderungen einer Anlage beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen werden dem Anlagenbetreiber durch das Wasserhaushaltsgesetz WHG [2] auf Bundesebene vorgeschrieben. Seine Sorgfaltspflicht und Verantwortung ist im §19g, dem „Besorgnisgrundsatz“ verankert:

“Anlagen zum Lagern, Abfüllen, Herstellen und Behandeln wassergefährdender Stoffe ... müssen so beschaffen sein, ... dass eine Verunreinigung der Gewässer ... nicht zu besorgen ist.“

Das Wasserhaushaltsgesetz ist bundesweit bindend und wird in einigen Bundesländern, beispielsweise Hessen, durch sogenannte Länderwassergesetze [3] weiter spezifiziert. Alle die Anlagen bzw. Anlagenteile, die dem Besorgnisgrundsatz des Wasserhaushaltsgesetzes unterliegen, werden in Fachkreisen als WHG-Anlagen bezeichnet. Das Wasserhaushaltsgesetz stellt somit eine technisch nicht weiter spezifizierte Anforderung auf. Die technische Umsetzung des Besorgnisgrundsatzes geschieht auf Länderebene durch die Verordnungen für Anlagen beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen VAwS [4], deren Verwaltungsvorschriften VVAwS [5] sowie bundeslandspezifisch weiteren Verordnungen, wie beispielsweise in Hessen die Tankstellenverordnung TankVO [6] nebst zugehöriger Verwaltungsvorschrift TankVwV [7]. Die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser LAWA erarbeitet hierzu länderübergreifend entsprechende Musterverordnungen, die auf Länderebene die Basis für die Verordnungen und Verwaltungsvorschriften bilden (Bild 1).

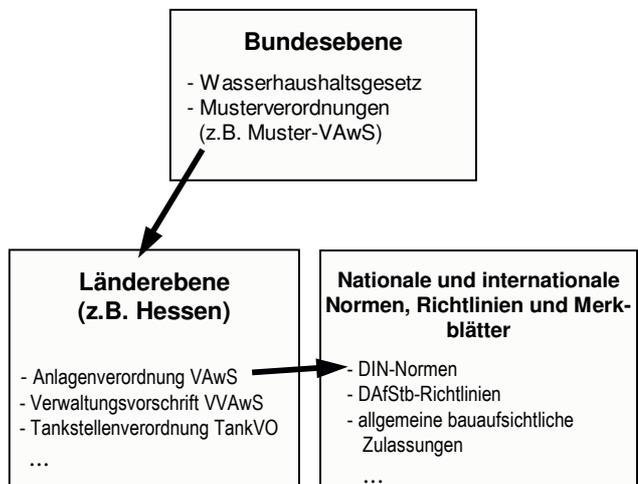


Bild 1 Struktur der gesetzlichen Bestimmungen im Bereich von WHG-Anlagen.

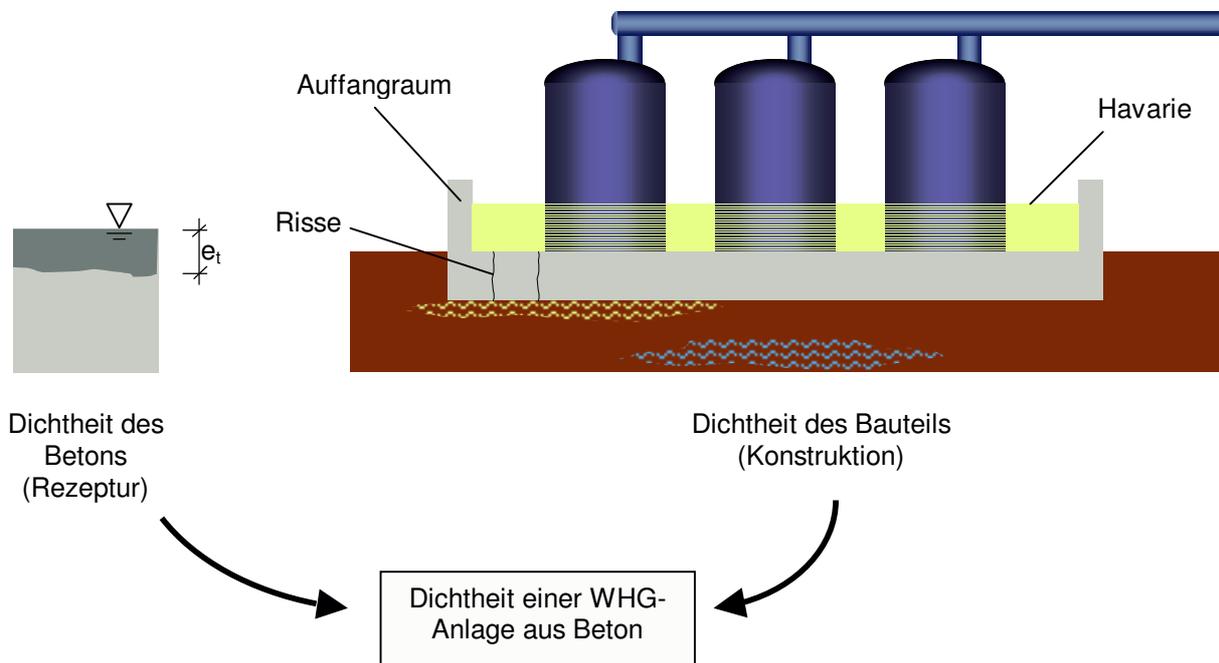
Die Verordnungen und Verwaltungsvorschriften beschreiben für den Planer die notwendigen Anforderungen an bestimmte Anlagen. Für eine ordnungsgemäße Planung und technische Umsetzung werden in den Verordnungen und Verwaltungsvorschriften auf Normen, Richtlinien und Merkblätter anlagenspezifisch verwiesen. Somit bildet z.B. für den Betonbau die Richtlinie des Deutschen Ausschuss für Stahlbeton „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ [1] eine wichtige Planungsgrundlage, die eine behördliche Genehmigung von WHG-Anlagen in Betonbauweise ermöglicht bzw. vereinfacht.

Für die Einhaltung und Umsetzung der gesetzlichen Anforderungen des WHG's ist der Bauherr selbst verantwortlich und haftet – auch bei Unwissenheit oder falscher Beratung durch den Planer – im Havariefall bei technischen Mängeln der Anlage für einen Grundwasserschaden. Der Planer wiederum ist in der Planungsphase für eine richtige und optimale Beratung des Bauherrn bzw. Anlagenbetreibers unter Einhaltung aller gesetzlichen Anforderungen verantwortlich. Die Ausmaße eines Wasserhaushaltsschadens werden häufig unterschätzt. Bereits kleine Mengen an wassergefährdenden Flüssigkeiten können ganze Grundwasserreservate verunreinigen und unter ungünstigen Bedingungen die Trinkwasserversorgung der betroffenen Bevölkerung gefährden. Wie groß die Ausmaße eines solchen Schadens für die Umwelt und in wirtschaftlicher Hinsicht für den Betreiber werden können, haben leider zahlreiche Ereignisse in der Vergangenheit bereits gezeigt.

protokolliert und an die zuständige Wasserbehörde gemeldet. Die Sachverständigenabnahmen sind, je nach Standort der Anlage, Anlagentyp und gesetzlichen Auflagen, wiederkehrend in einem Zeitraum zwischen 1 bis 5 Jahren zu wiederholen. Bei einem Versäumnis drohen dem Betreiber Bußgeldbescheide bis hin zur behördlichen Stilllegung der Anlage. Eine Liste der zugelassenen Sachverständigen nach WHG und VAWS erhält der Betreiber bei seiner zuständigen Umweltbehörde.

3 Flüssigkeitsdichtheit von Betonkonstruktionen

Die Definition der Dichtheit von Konstruktionen in Betonbauweise unterscheidet sich von der Dichtheit von Beschichtungen oder Stahlauskleidungen. Flüssigkeiten, die auf Betonflächen beaufschlagt werden, dringen in die Betonoberfläche ein und werden durch einen kapillaren Flüssigkeitstransport in das Bauteilinnere transportiert. Sind zudem in der Betonkonstruktion Risse vorhanden, dringen die Flüssigkeiten in den Riss ein und können bei Trennrissen das Bauteil vollständig durchströmen. Risse oberhalb 0,1 mm sind bei niedrigviskosen Flüssigkeiten (z.B. Kraftstoffen) bereits kritisch, da bereits nach wenigen Minuten der Riss durchdrungen wird und die Flüssigkeit an der Bauteilaußenseite austritt. Um die Dichtheit von WHG-Anlagen aus Beton sicher stellen zu können, ist aus den genannten Gründen bereits bei der Planung auf die richtige Betonrezeptur und geeignete Konstruktion zu achten (Bild 2).



Die ordnungsgemäße und gesetzeskonforme Herstellung einer Anlage muss der Anlagenbetreiber durch einen Sachverständigen nach Wasserhaushaltsgesetz WHG und Anlagenverordnung VAWS im Rahmen einer Erstabnahme vor Inbetriebnahme bescheinigen lassen. Der Sachverständige prüft die Anlagenteile im Rahmen einer Ordnungsprüfung und einer technischen Abnahme. Die Ergebnisse der Prüfung werden in einer Prüfbescheinigung

Bild 2 Die Dichtheit eines WHG-Bauwerks wird erst durch das Zusammenspiel der Betonrezeptur und der Konstruktion erreicht.

Um eine klare Abtrennung zwischen weißen Wannen aus WU-Beton (wasserundurchlässiger Beton) und Beton bei WHG-Bauwerken zu beschreiben, wird ein dichter Beton im Sinne des WHG's als flüssigkeitsdichter Beton (FD-

Beton) bezeichnet. Die Abgrenzung ist notwendig, da eine Beaufschlagung von Chemikalien und die dabei entstehenden Eindringtiefen mit einer Wasserbeaufschlagung nicht gleichzusetzen sind. Weiße Wannen weisen zudem bei Undichtigkeiten durch Risse einen Selbstheilungseffekt auf, der durch eine Sinterung im Rissverlauf Risse im Bereich bis ca. 0,1 mm verschließt. Dieser Prozess findet bei chemischen Flüssigkeiten in der Regel nicht statt!

4 Prinzip der vorgespannten Bodenplatte bei WHG-Bauwerken

Für die Dichtheit spielt somit ein möglichst ungerissenes Betonbauteil eine wichtige Rolle. Risse in Betonbauteilen sind im Stahlbetonbau grundsätzlich üblich und werden durch die in den Normen (z.B. DIN 1045) geforderten Rissbreitenbeschränkungen in einem für den Nutzer verträglichen Maße begrenzt. Die ersten Risse in Betonflächen entstehen in der Regel bereits wenige Stunden nach Herstellung des Bauteils infolge frühem Betonschwinden und auftretender Hydratationswärme. Nur durch geeignete Nachbehandlungsmethoden und abgestimmte Betonrezepturen lässt sich diese frühe Rissbildung reduzieren bzw. vermeiden. Durch äußere Lasten oder entstehenden Zwang z.B. infolge Betonschwinden oder Temperaturdifferenzen im Jahresgang können Risse jedoch auch zu späteren Zeitpunkten entstehen.

Da das Eindringen von beaufschlagten Flüssigkeiten in Risse bereits ab einer Rissbreite von 0,1 mm, in Abhängigkeit der physikalischen Eigenschaften der Flüssigkeit eine Rolle spielen, ist eine rissfreie Ausführung von Betonbauteilen im Rahmen von WHG-Anwendungen wasserrechtlich nahezu zwingend erforderlich. Durch eine zentrische Vorspannung kann der Betonquerschnitt über die gesamte Fläche überdrückt und so eine Rissbildung vermieden werden. Die Vorspannung wird in der Regel durch Spannlitzen ohne Verbund kreuzweise aufgebracht. Hierzu werden die Litzen in einem Raster mit lichten Abständen zwischen $e = 30\text{ cm}$ bis $e = 70\text{ cm}$ verlegt. Spannanker und Festanker werden dabei versetzt angeordnet (Bild 3). Die Anordnung des Spannankers im Plattenquerschnitt ist in Bild 4 dargestellt.

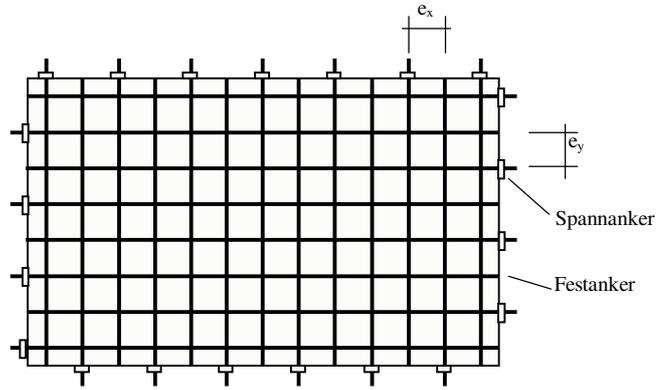


Bild 3 Grundriss einer kreuzweise vorgespannten Betonfläche

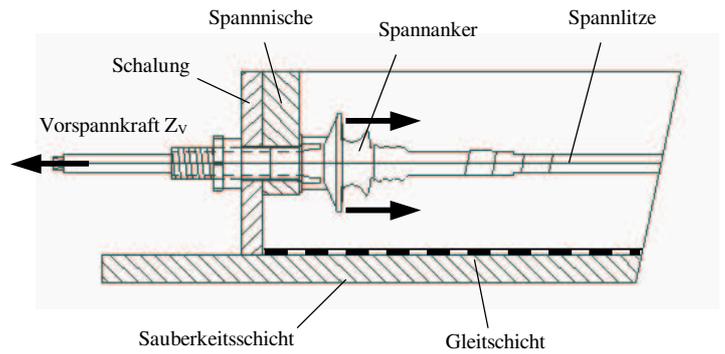
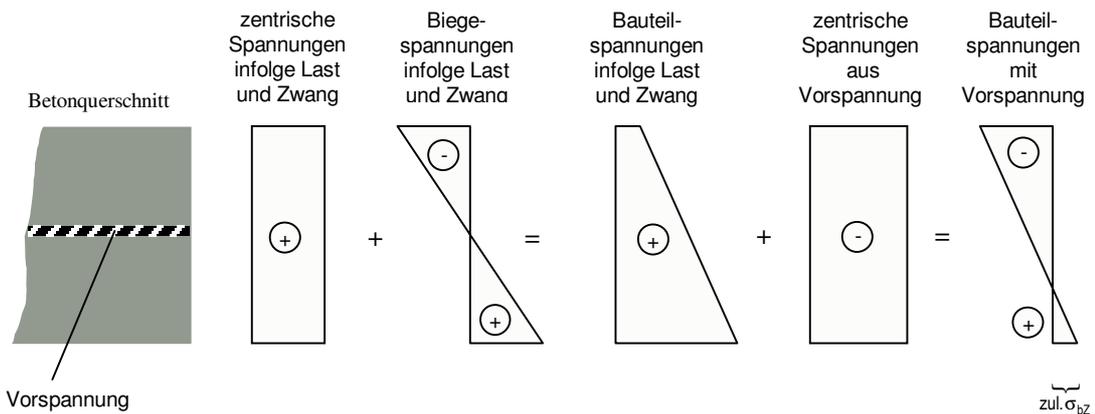


Bild 4 Schnitt durch das System am Plattenrand mit Spannlied und Spannanker

Die Vorspannung wird möglichst zentrisch aufgebracht. Die auftretenden Randzugspannungen infolge Beanspruchungen aus Last- und Zwangzugspannungen über die Bauteilhöhe werden durch die aufgebrachte Vorspannung entweder vollständig überdrückt (volle Vorspannung) oder im Bereich der Betonzugfestigkeit gehalten (teilweise Vorspannung, vgl. Bild 5). Bei einer teilweisen Vorspannung kann die anzusetzende Betonzugfestigkeit gemäß der DAfStb-Richtlinie als zulässige Zugspannung σ_{bz} zugrunde gelegt werden.

Bild 5 Spannungen am Bauteilquerschnitt infolge Last und Zwang bei teilweiser Vorspannung.



Die zum Einsatz kommenden Spannlitzen sind in der Regel fertig konfektioniert und werden inklusive Hüllrohr und Spannanker auf die Baustelle geliefert. Die bauseitigen Verlegearbeiten können somit auf ein Minimum reduziert werden. Die typischen Vorspannkraften eines Spannglieds bei einer 150 mm² - Spannstahllice der Festigkeitsklasse St 1570/1750 betragen $Z_v = 186$ kN.

Um nach Herstellung der Betonfläche die Vorspannung gegen den Beton aufbringen zu können, ragen die Spannglieder an den Spannankern seitlich aus der Betonplatte heraus (Bild 6). Mittels aufgesetzter hydraulischer Spannpressen wird gemäß dem vorgegebenen Spannprotokoll Litze für Litze mit der vorgesehenen Spannkraft versehen. Die aufgebrachten Spannkraften stützen sich gegen den Betonquerschnitt ab und erzeugen dabei die gewünschten Druckspannungen.



Bild 6 Vorgespannte WHG-Hallenfläche mit einer Plattenlänge $l = 65$ m bei einem Spanngliedabstand $e = 50$ cm. Die Spannglieder mit Hüllrohr ragen im Bauzustand zum Aufbringen der Vorspannung aus der Platte heraus.

Um eine frühe Rissbildung infolge Betonschwinden zu vermeiden, werden erste Teilvorspannungen in Höhe von ca. 30 % bereits nach wenigen Tagen auf den Querschnitt aufgebracht. Die endgültige Vorspannung kann erst nach Erreichen der 28-Tage Betondruckfestigkeit aufgebracht werden.

5 Bemessungsdiagramme zur Vordimensionierung von Spannbetonplatten

Die Bemessung einer vorgespannten Betonbodenplatte als WHG-Dichtfläche erfordert eine statische Berechnung mit Dichtheitsnachweis nach der bereits erwähnten DAfStb-Richtlinie [1]. Neben der Richtlinie ist das Bauteil selbstverständlich auch nach der Stahlbetonnorm DIN 1045, bzw. Spannbetonnorm DIN 4227 zu bemessen. Die Schnittgrößenermittlung infolge der äußeren Verkehrslasten (z.B. Gabelstapler, LKW, Hochregallasten) erfolgt in der Regel mit Hilfe eines Finite-Elemente-Programmes (FEM). Maximal auftretende Biegemomente können somit relativ genau ermittelt werden. Weitere Beanspruchungen treten in der Regel infolge Temperaturdifferenzen bei Abkühlung oder Erwärmung der Betonfläche, Beton-



Bild 7 Detail eines Spannglieds am Spannanker mit gefettetem Hüllrohr und Ankerkeilen.

schwinden bzw. Zwang infolge Reibung an der Bauteilsohle auf. Durch die Anordnung einer horizontalen Gleitschicht in Form einer 2-lagigen PE-Folie oder einer speziell abgestimmten Bitumenbahn können horizontale Zwangbeanspruchungen minimiert werden. Dennoch treten bei Aufbringen der Vorspannung horizontale Kräfte infolge Reibung auf, die bei einer statischen Berechnung nicht vernachlässigt werden dürfen. Bei einer Plattenlänge von z.B. 60 m und optimal ausgeführter Gleitschicht treten dennoch während des Aufbringens der Vorspannung infolge Reibung an der Bauteilsohle im Betonquerschnitt zentrische Zugkräfte in einer Größenordnung von 100 – 150 kN/m auf.

Für eine einfache Vordimensionierung einer vorgespannten Betonbodenplatte können die in Bild 8 dargestellten Bemessungsdiagramme verwendet werden. Die Diagramme liefern den erforderlichen Spanngliedabstand e [m] in Abhängigkeit der Biegebeanspruchung und zentrischen Zugkraft infolge Reibung an der Bauteilsohle. Die Diagramme sind jeweils für Plattendicken $d = 25$ und $d = 30$ cm und enthalten Monospannlitzen ohne Verbund aus Spannstahl St 1570/1770 mit einem Stahlquerschnitt $A_z = 150$ mm² und einer zulässigen Vorspannkraft $Z_v = 186$ kN. Einflüsse aus Kriechen und Schwinden wurden pauschal mit 5 % eingearbeitet.

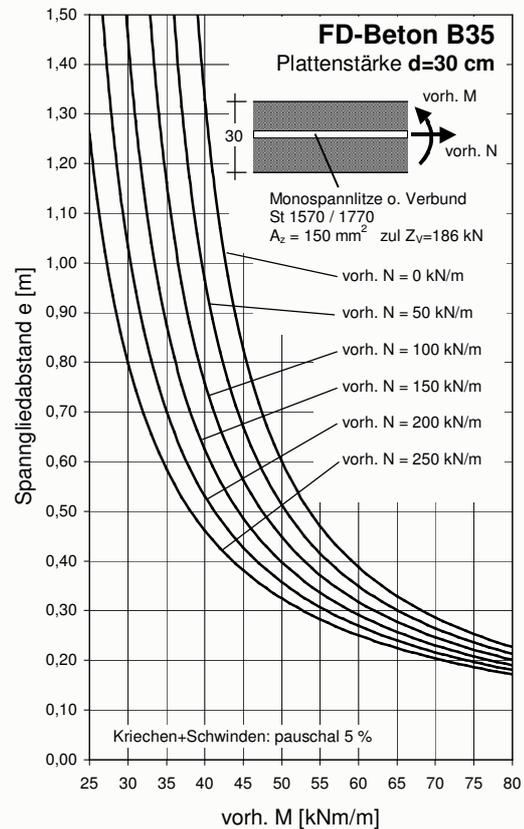
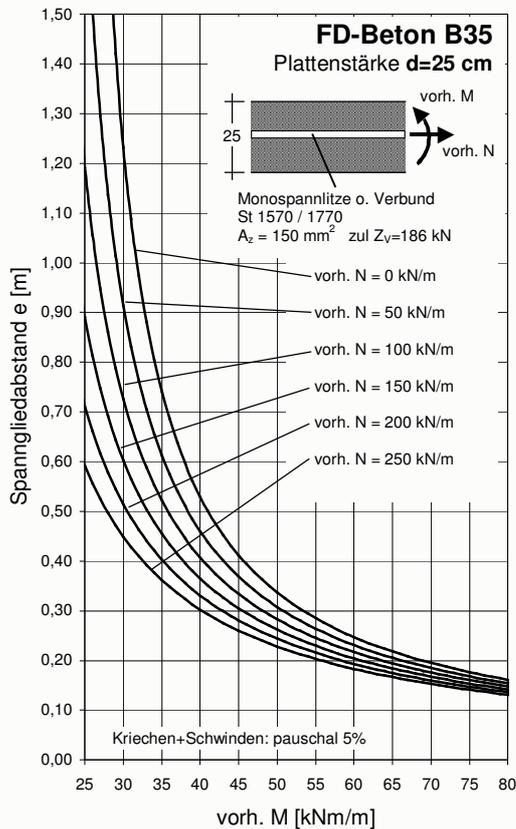


Bild 8 Bemessungsdiagramme zur Vorbemessung von Spannbetonflächen für Plattenstärken $d = 25$ cm und $d = 30$ cm, Nachweis für den ungerissenen Bereich gemäß DAfStb-Richtlinie [1].

Eine Spannbetonplatte der Plattenstärke $d = 25$ cm mit den ermittelten Schnittgrößen vorh. $M = 35$ kNm/m und vorh. $N = 100$ kN/m erfordert beispielsweise einen Spanngliedabstand von 53 cm (vgl. Bild 8).

Trotz der aufgetragenen Vorspannung ist eine Mindestbewehrung aus Betonstahl erforderlich. Die Mindestbewehrung schützt die Betonfläche für den Zeitraum zwischen Abbinden des Betons, bis zum Aufbringen der ersten Teilvorspannung (Schwindvorspannung) in Höhe von ca. 30 % der Endvorspannung, vor auftretenden Rissen. Die Größe der Mindestbewehrung ist abhängig von der Betonfestigkeitsklasse, Plattenstärke, Beanspruchung und Vorspanngrad. Für eine 25 cm starke vorgespannte Betonfläche werden für zentrischen Zwang – je nach Vorspanngrad – Bewehrungsmengen in der Größenordnung zwischen 3,0 und 5,0 cm²/m je oben und unten erforderlich (9,5 – 16 kg/m²). Die Bewehrungsmengen infolge der Mindestbewehrung bei einer konventionell hergestellten WHG-Stahlbetonfläche $d = 25$ cm liegen vergleichsweise durchschnittlich im Bereich zwischen 25 und 32 kg/m².

6 Zusammenfassung

Betonflächen bei Anlagen beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen sind nach den wasserrechtlichen Anforderungen als dichtes Bauwerk herzustellen. Bei großflächigen Betonbauteilen in herkömmlicher Stahlbetonbauweise können sich infolge der äußeren Beanspruchun-

gen sowie der auftretenden Zwangkräfte Risse bilden, die für die erwünschte Dichtheit des Systems nachteilig sind und bei einer wasserrechtlichen Überprüfung durch den Sachverständigen zu Beanstandungen und zu einer anschließenden Sanierung der Flächen führen.

Durch den Einsatz der Spannbetonbauweise können auch große fugenfreie Flächen bis weit über 100 m rissfrei und somit dicht im Sinne des Wasserhaushaltsgesetzes hergestellt werden. Nicht nur die Einsparung der Bauteilfugen und der aus den Fugen entstehenden langfristigen Sanierungskosten, sondern auch die kostengünstigere Mindestbewehrung können bei richtiger Wahl des Systems eine nahezu kostenneutrale Lösung gegenüber der konventionellen Stahlbetonbauweise liefern. Den letztlich hohen Gebrauchswert einer fugenfreien Fläche wird der Bauherr zudem dankend entgegennehmen.

7 Literatur

- [1] Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“, Ausgabe September 1996; DAfStb Berlin
- [2] Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG) Fassung vom 12. November 1996 (BGBl. I S. 1695; 1998 S. 832, 2455; 2000 S. 632, 2048; 27.7. 2001 S. 1950, 2001 S. 2331)
- [3] Hessisches Wassergesetz (HWG) Fassung vom 22. Januar 1990 (GVBl. I 1990 S. 114, S. 197; 1994 S. 425; 1996 S. 110; 384; 1997 S. 241; 2000 S. 508; S. 551, S. 607)
- [4] Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und über Fachbetriebe (Anlagenverordnung - VAwS) vom 16. September 1993 (GVBl. I S. 409; 1995 S. 20, 411; 1997 S. 232; 1999 S. 384; 2000 S. 269)
- [5] Verwaltungsvorschrift zur Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und über Fachbetriebe (VVAwS) vom 31.7.1994 (StAnz. S. 2358; 1995 S. 2692; 1995 S. 3272; 1996 S. 2055; 1996 S. 18); 1997 S. 2695; 1997 S. 3853; 1998 S. 1920)
- [6] Verordnung über Anforderungen an den Umgang mit wassergefährdenden Stoffen an Anlagen zur Betankung von Kraftfahrzeugen (TankVO – Tankstellenverordnung) vom 27. April 1994 (GVBl. I S. 219; 1995 S. 230; 1996 S. 85)
- [7] Verwaltungsvorschrift zur Verordnung über Anforderungen an den Umgang mit wassergefährdenden Stoffen an Anlagen zur Betankung von Kraftfahrzeugen (TankVwV) vom 22. Juni 1994 (StAnz. S. 2303; 1995 S. 879; 1996 S. 2055; 1997; S. 2695)