

Risskontrolle durch Vorspannung und Glasfaserzusätze

Th. Friedrich

Domostatik AG Zürich, Schweiz

Vortrag gehalten an der Tagung "Braunschweiger Bauseminar 1997"; 13. - 14. November 1997

und veröffentlicht im Tagungsband - Braunschweiger Bauseminar 1997 "Innovatives Bauen"; Heft 136 Braunschweig 1997

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. H. Falkner; Dr.-Ing. M. Teutsch

Vortrag in modifizierter Form gehalten:

an der Konferenz "22nd conference on our World in Concrete and Structures"; Singapore 25. - 27. August 1997

und veröffentlicht im Tagungsband "Conference Documentation Volume XVI - Our World in Concrete and Structures";

Herausgeber: C. T. Tam, 1997

RISSKONTROLLE DURCH VORSPANNUNG UND GLASFASERZUSÄTZE

Th. Friedrich

Domostatik AG Zürich, Schweiz

1. Stahlbeton: Hervorragende Eigenschaften und seine Mängel

Stahlbeton wird im Vergleich mit den übrigen Baustoffen weltweit am meisten angewendet. Seine hervorragenden Eigenschaften in Bezug auf Gestaltung, Aussehen und Tragfähigkeit haben ihm diesen ausgezeichneten Platz ermöglicht. In den früheren Jahren seiner Anwendung stand fast ausnahmslos seine hohe Tragfähigkeit als Verbundbaustoff im Vordergrund. Die in den letzten Jahren verschiedentlich aufgetretenen Probleme mit der Dauerhaftigkeit, hervorgerufen durch die Korrosion der Bewehrung, haben dazu geführt, beim Entwurf von Stahlbetonkonstruktionen zusätzlich auf eine genügende Gebrauchstauglichkeit zu achten. Dazu zählen die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit, die Funktionstüchtigkeit und das Aussehen des Tragwerks. Zur Einhaltung der Anforderungen sind vorgegebene Grenzwerte in Bezug auf Risse, Verformungen, Schwingungen, Dichtigkeit und weitere Kriterien der Beständigkeit einzuhalten. Ein entscheidendes Kriterium ist die Rissbildung, da sie massgeblichen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit (z.B. Korrosion der Bewehrung), auf die Funktionstüchtigkeit (z.B. Dichtigkeit) und auf das Aussehen des Tragwerks hat. In den letzten Jahren haben sich demzufolge viele Untersuchungen mit der Rissbildung, ihrer schädlichen Auswirkung und ihrer Begrenzung beschäftigt. Nach dem derzeitigen Stand der Technik sind Risse weitgehend mit Hilfe entsprechenden Bewehrungsmengen und zugehöriger Verteilung zu begrenzen. Die nach diesen Anforderungen ermittelte Bewehrungsmenge ist oftmals weitaus grösser als die statisch erforderliche.

Trotz des Mangels und dem damit verbundenen hohen Aufwand zur Begrenzung bzw. Beseitigung der Rissbildung ist Stahlbeton eine robuste Bauweise, die vielfältig eingesetzt werden kann. Dank den Bemühungen, Risse in Betonkonstruktionen zu begrenzen oder gänzlich zu verhindern, erschliesst sich dem Baustoff Beton ein interessantes, neues Anwendungsgebiet. Der Konstruktion aus Beton lässt sich nämlich nicht nur die übliche Tragfunktion, sondern auch diejenige der Dichtfunktion zuweisen, ohne dass zusätzliche Massnahmen in Form von Abdichtungen ergriffen werden. Zu dieser Art von Konstruktion zählen flüssigkeitsdichte Bauwerke zum Schutz der Umwelt vor wassergefährdenden Stoffen.

Die Suche nach geeigneten Verfahren, um diese Aufgaben elegant und wirtschaftlich zu lösen, hat zu der nachstehend beschriebenen Technik geführt. Ausgehend von der bekannten und überlegenen Technik der Vorspannung wurde nach Ergänzungen gesucht, um einen Betonkörper vom Zeitpunkt seiner Entstehung bis zur Nutzung lückenlos rissfrei zu halten. Experimente an Betonkörpern mit verschiedenen Faserarten haben dann sehr deutlich veranschaulicht, dass eine Mikrobewehrung aus Glasfasern die ideale Ergänzung zur Vorspanntechnik ist. In ihrer zeitlichen Wirkung ergänzen sich die beiden Verfahren perfekt, um einen im wesentlichen rissfreien Körper aus Beton herzustellen [1].

Mit dieser neuen Technik eröffnen sich für den Werkstoff Stahlbeton neue Anwendungsmöglichkeiten, die bislang anderen Techniken, bzw. Verfahren vorbehalten waren.

2. Rissbildungsmechanismen von Betonelementen

Beton besitzt im Gegensatz zu einer hohen Druckfestigkeit nur eine geringe Zugfestigkeit. Überschreiten die durch äussere Einwirkungen am homogenen Betonquerschnitt hervorgerufenen Zugspannungen den Widerstand, so bildet sich ein Riss. Eine in der Zugzone vorhandene Bewehrung kann entsprechend ihrer Anordnung und Grössenordnung die Rissbreite begrenzen und auf mehrere fein verteilte Einzelrisse verteilen. Die gesamte Zugkeilkraft wird beim Überschreiten der Zugspannung frei und wird vom Stahl übernommen. Ist die vorhandene Bewehrung unterdimensioniert, oder ist keinerlei Bewehrung vorhanden, entsteht ein klaffender Riss.

Bei den äusseren Einwirkungen unterscheidet man zwischen solchen aus Verformungen und aus Lasten. Werden die Verformungen behindert, entstehen proportional zu den Steifigkeiten Kräfte. Lässt sich die Schnittkraftverteilung infolge der Einwirkungen aus Lasten relativ einfach ermitteln, ist deren Ermittlung bei der Einwirkung aus behinderten Verformungen bedeutend aufwendiger. Dazu ist die Grösse und die Verteilung der Verformungen zu bestimmen, die Steifigkeit oder die mögliche Verformungsfähigkeit zu kennen, sowie die jeweilige Behinderung zu lokalisieren. Verformungen bzw. Dehnungen entwickeln sich bereits im jungen, erhärtenden Beton und können in dieser Phase ohne

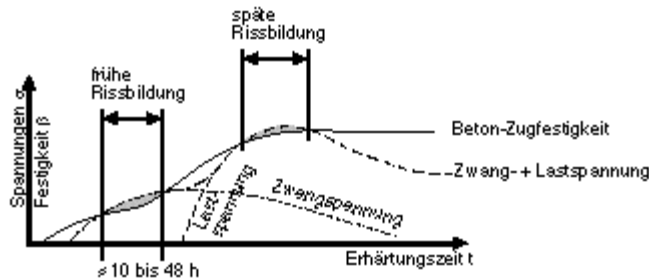


Bild 1: Rissbildung in jungem und altem Beton

jegliche Einwirkung von Lasten zu Rissen führen und damit das Betongefüge stören. Am ausgehärteten Beton wirken i.d.R. gleichzeitig Einwirkungen aus äusseren Lasten und aus behinderten Verformungen. Entsprechend dem Zeitpunkt ihres Auftretens unterscheidet man zwischen Rissen im jungen Beton, die ausschliesslich durch behinderte Verformungen entstehen und Rissen im alten Beton, die durch die kombinierte Wirkung von Lasten und behinderten Verformungen entstehen [Bild 1].

2.1 Einwirkungen und entsprechender Widerstand am jungen Beton

Nach dem Einbringen und Verdichten des Frischbetons setzt die chemische Reaktion der Bindemittel mit dem Anmachwasser ein. Durch die Hydratation entsteht Wärme und demzufolge entwickelt sich die Verformung. Während am Anfang sich mehr Wärme entwickelt als abgeführt wird, dehnt der Körper sich aus. Die mit einem niedrigen Elastizitätsmodul aufgebauten Druckspannungen sind jedoch in der Summe geringer als die später durch das Abkühlen hervorgerufenen Zugspannungen. Nach dem Erreichen eines Temperaturmaximums, fliesst mehr Wärme ab als nachgeliefert wird, und der Körper zieht sich zusammen. Die zuvor aufgebaute Druckspannungsreserve ist jedoch nicht ausreichend, um die durch die Abkühlung entstehenden Zugspannungen auszugleichen [Bild 2].

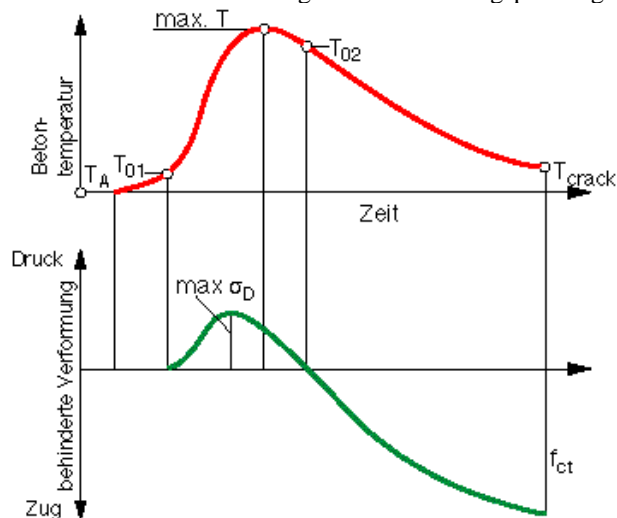


Bild 2: Temperatur- und Spannungsentwicklung in behinderten Betonelementen infolge Hydratation

Parallel zu diesem Prozess setzt mit dem Austrocknen des Betons der Schwindvorgang ein, dessen Volumenverringerung ebenfalls zu einer Verkürzung führt. Weitere Einflüsse wie das chemische Schwinden oder Setzungen durch Abgabe von überschüssigem Wasser (Bluten) führen zu zusätzlichen Verformungen. Sämtliche Einflüsse überlagern sich und die aufsummierten Verkürzungen führen bei Behinderung zu Zugkräften, bzw. -spannungen, die bei Überschreiten der Zugfestigkeit zu Rissen führen.

Besonders gefährdet sind Grenzflächen wie z.B. Oberflächen und Arbeitsfugen, wo ein beschleunigtes Abfliessen der Wärme einerseits und eine schnelle Austrocknung andererseits stattfindet. Dabei entsteht zusätzlich eine über die Querschnittsform unterschiedliche Verformung, die zu Eigenspannungen führt. Daraus resultieren i.d.R. Zugspannungen an den Rändern, die sich mit den übrigen aus der äusseren Behinderung hervorgerufenen Spann-

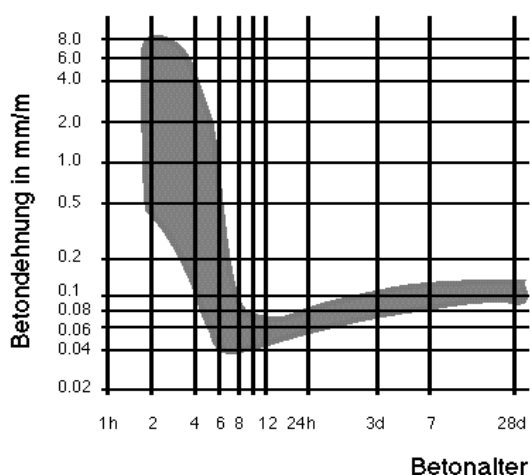


Bild 3: Dehnfähigkeit von jungem Beton

gen überlagern. Die Folge davon sind an den Oberflächen entstehende Schalenrisse, die nur wenige Zentimeter in den Querschnitt eindringen.

Den aufgeführten Einwirkungen aus Verformungen steht in der jungen Phase des Betons eine nur sich langsam entwickelnde Betonfestigkeit bzw. geringe Verformungsfähigkeit gegenüber. Mit Beginn der Verarbeitung ist eine grosse Verformungsfähigkeit gegeben, die jedoch innerhalb weniger Stunden nach dem Erstarrungsbeginn auf ein Minimum absinkt. [Bild 3].

Nach diesem Minimum bei ca. 6 - 8 Stunden nimmt die Dehnfähigkeit, bzw. der Zugwiderstand erst wieder langsam zu. Diese Phase ist äusserst kritisch für die Rissbildung, da die bereits durch Verformungen erzeugten Zwangskräfte auf den geringen Widerstand treffen.

2.2 Einwirkungen und entsprechender Widerstand am alten Beton

Nachdem die Festigkeit des Betons sich nahezu vollständig entwickelt hat, setzt die Einwirkung infolge äusserer Lasten ein. Deren Auswirkungen überlagern sich mit zu diesem Zeitpunkt neu auftretenden Verformungen. Dazu zählt das über einen längeren Zeitraum wirksame Schwinden und die Temperatureinwirkung infolge tageszeitlicher und jahreszeitlicher Veränderung. Je nach Lage und Exposition des Bauteils treten diese Verformungen vollumfänglich auf oder sind weitgehend zu vernachlässigen. Deren Einfluss auf die behinderte Verformung ist von Fall zu Fall zu prüfen. Die durch das Schwinden hervorgerufenen Verformungen verursachen bei Behinderung langsam sich aufbauende Kräfte, die durch die Relaxation des Betons entsprechend abgebaut werden. Infolge der mit der Zeit anwachsenden Verformungen, bzw. Kräfte werden diese nahezu wieder abgebaut, und sind somit in ihrer vollen Auswirkung nicht zu berücksichtigen.

Die der Wärmeeinwirkung ausgesetzten Bauteile erfahren eine Ausdehnung und bei Abkühlung ein Zusammenziehen. Die der Witterung direkt ausgesetzten Bauteile machen die grössten Verformungen mit. Deren Oberflächen reagieren auf die Aufwärm- und Abkühlphasen am raschesten, während die Kernbereiche auf die tageszeitlichen Schwankungen bedeutend träger reagieren.

Beim Nachweis der maximalen Zugspannungen und deren Vergleich mit dem vorhandenen Widerstand sind alle Einflüsse aus Lasten mit denjenigen aus behinderten Verformungen zu überlagern.

3. Massnahmen gegen Rissebildung

Vielerlei Massnahmen sind bislang bekannt und werden mehr oder weniger erfolgreich angewendet. Je nach Entstehung der Risse, im jungen oder alten Beton werden unterschiedliche Massnahmen angewendet.

In der Phase des jungen Betons versucht man bislang ausschliesslich die Einwirkungen in ihrer absoluten Grösse und in ihrem zeitlichen Auftreten zu beeinflussen. Dabei greift man auf folgende Massnahmen zurück. Mit der gezielten Auswahl der einzelnen Komponenten der Betonzusammensetzung, wie Zuschlag, Zementart bzw. -gehalt, Ersatz durch andere Bindemittel und Wassergehalt lässt sich Einfluss nehmen sowohl auf die Wärmeentwicklung und als auch das Schwindverhalten. Mit einer qualifizierten und über einen längeren Zeitraum wirksamen Nachbehandlung des Betons können die Einwirkungen zeitlich derart verzögert werden, dass diese zu keinem Zeitpunkt grösser sind als der jeweilige Widerstand. Frührisse haben entscheidenden Einfluss auf die Dauerhaftigkeit von Konstruktionen. Selbst bei einem anschliessenden Selbstheilungseffekt bilden Frührisse den Ausgangspunkt für eine Rissbildung in einem späteren Stadium.

Risse zum späteren Zeitpunkt lassen sich mit Sicherheit nicht vollständig vermeiden. Einzig mit einer kräftigen Vorspannung liessen sich sämtliche Risse überdrücken. Aus wirtschaftlichen Gründen scheidet eine derart dimensionierte Vorspannung jedoch aus. In vielen Fällen genügt jedoch bereits eine teilweise Vorspannung, die die Vorzüge einer schlaffen Bewehrung mit einer mässigen Vorspannung kombiniert. Erfahrungsgemäss liefert eine leichte Vorspannung



Bild 4: Vorspannung für eine Bodenplatte

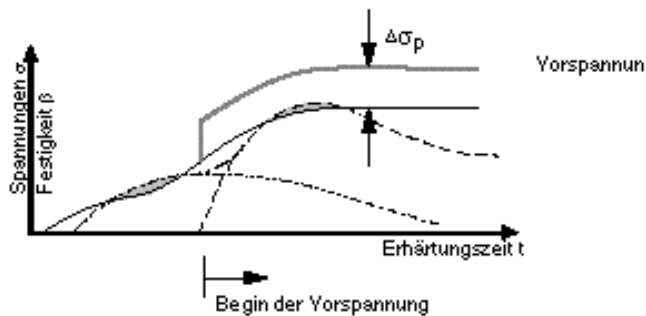


Bild 5: Festigkeitssteigerung infolge Vorspannung

in der Grössenordnung von $\sigma = 0.5 - 2.0 \text{ N/mm}^2$ bereits eine ausreichende Druckspannungsreserve [Bild 4], um Risse zu vermeiden oder in ihren Auswirkungen zu begrenzen [2].

Die Wirkung der Vorspannung ist zweifach. Die im Querschnitt exzentrisch angeordnete Spannkraft wirkt mit dem Moment bzw. Umlenkkraft den äusseren Einwirkungen entgegen und reduziert diese teilweise oder vollständig. Die vorhandene Normalkraft liefert zusätzlich eine gleichmässige Druckspannung, die von einer zentralen Beanspruchung vorgängig aufgebracht werden muss. Die absolute Grösse des Zugwiderstandes wird auf diese Weise durch die Druckspannungsreserve [Bild 5] vergrössert.

Die Wirkung der Vorspannung ist jedoch auf die Rissbildungsphase des alten Betons begrenzt, da zur Einleitung der Spannkräfte eine minimale Betonfestigkeit vorhanden sein muss. Damit scheidet deren positive Wirkung auf die Frührisbildung aus. Allenfalls lassen sich bereits vorhandene Risse überdrücken, um deren Einfluss auf die Dauerhaftigkeit zu begrenzen.

4. Neuartiges, praxistaugliches Verfahren zur Begrenzung der Rissbildung

Mit den vorgenannten Massnahmen lässt sich nur unzureichend die Frührisbildung kontrollieren. Die genannten Massnahmen sind aufwendig und nur wenig geeignet für den praxistauglichen Einsatz auf der Baustelle. Im Bewusstsein, die Dauerhaftigkeit der Betonkonstruktionen entscheidend durch die Vermeidung von Frührisen zu beeinflussen, kommt einer praxistauglichen Massnahme in der frühen Phase des Betons die entscheidende Bedeutung zu. Während mit den vorgenannten Massnahmen die Einwirkungsseite beeinflusst wird, besteht durch geeignete Verfahren die Möglichkeit, den Widerstand des Beton in der frühen Phase zu verbessern. Eine gezielte Verbesserung des Widerstandes kann dem zeitlichen Verlauf der Einwirkungen angepasst werden, um stets grösser zu sein. Die aufwendigen Massnahmen zur Nachbehandlung des Betons können damit reduziert werden.

Eine Möglichkeit, den Widerstand von Beton zu vergrössern, besteht in der Zugabe von Fasern. Gängige Faserarten sind Stahl-, Kunststoff- und Glasfasern. Stahlfasern sind in der Lage das Nachrissverhalten des Betons zu verbessern, sie haben jedoch keinen Einfluss auf die Frühfestigkeit des Betons. Gegenüber Stahlfasern liefern textile Fasern bereits bei kleinen Mengen (ca. 1 - 5 Gew. %) eine sehr grosse Anzahl an Einzelfasern. Eine derartige Mikrobewehrung durchdringt den Zementstein nahezu gleichmässig und vollständig. Die zugehörige grosse Oberfläche der Fasern ermöglicht eine ausreichende Krafteinleitung über Verbund und somit die volle Wirksamkeit der Einzelfasern. Die vielen Einzelfasern mitsamt ihrer grossen Oberfläche verleihen dem Betongemisch eine erhöhte Dehnfähigkeit insbesondere in der frühen Phase. Versuche an Betonplatten mit Kunststoff- und Glasfasern bestätigen, dass die Rissbildung infolge schnellem Austrocknen an der Oberfläche und infolge Schwinden reduziert bzw. vermieden werden kann. Weitere Versuche mit Glasfasern im Beton [3] zeigen sehr deutlich, dass darüberhinaus die Festigkeit des Betons in den ersten Stunden gesteigert wird. Im Gegensatz zu den Kunststofffasern bewirken Glasfasern weitaus ausgeprägter nicht nur eine Steigerung der Zugfestigkeit [Bild 6] sondern auch eine Steigerung der Druckfestigkeit [Bild 7]. Diese Eigenschaften begünstigen die kombinierte Anwendung mit Vorspannung. Denn mit der Steigerung der Zugfestigkeit lässt sich

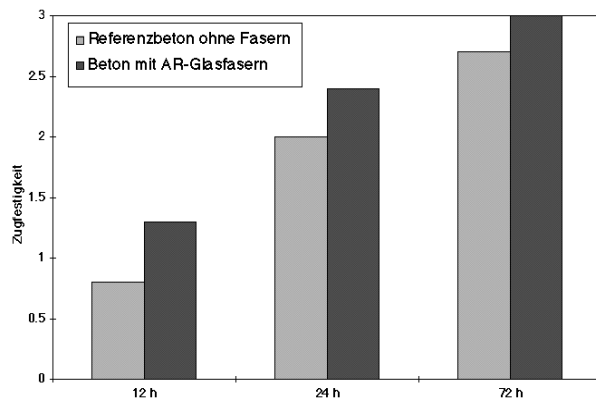


Bild 6: Zugfestigkeitssteigerung infolge AR-Glasfasern

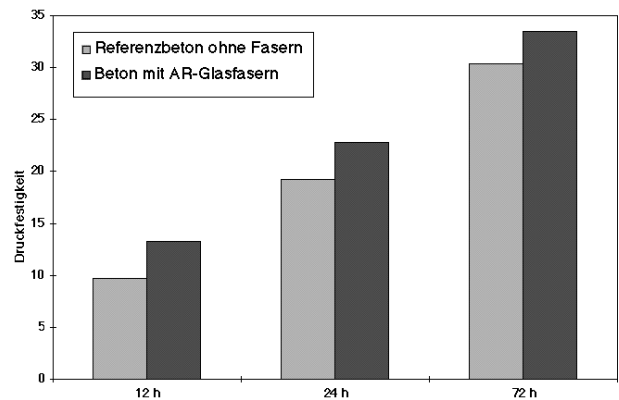


Bild 7: Druckfestigkeitssteigerung infolge AR-Glasfasern

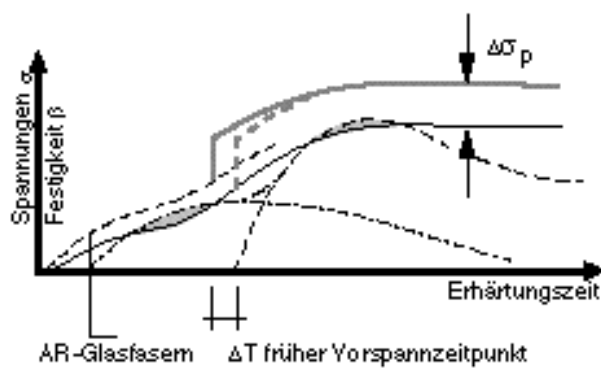


Bild 8: Festigkeitssteigerung infolge Vorspannung und AR-Glasfasern

einerseits die Rissbildung in der frühen Phase verhindern, und mit der Steigerung der Druckfestigkeit kann die Vorspannkraft zu einem früheren Zeitpunkt aufgebracht werden [Bild 8]. Die kombinierte Anwendung von Glasfasern im Beton und Vorspannung ermöglicht lückenlos vom Zeitpunkt des Einbringens des Betons bis zum vorgesehenen Nutzungszustand die Rissbildung zu vermeiden. Damit gelingt es, einen nahezu rissfreien Betonkörper herzustellen. Damit verbunden ist dessen grössere Dauerhaftigkeit und verbessertes Verhalten im Gebrauchszustand. Der Beton erfüllt die hohen Anforderungen im Hinblick auf Aussehen und Dichtigkeit.

In der Anwendung erweist sich das Verfahren äusserst praxistauglich. Die Glasfasern lassen sich problemlos in den Beton einmischen und gleichmässig untermischen. Die Verarbeitung des Betons mit Glasfaserzusatz ist ebenso unproblematisch. Das Einbringen und Verdichten des Betons bereitet keinerlei Schwierigkeiten. Die grosse Oberfläche der Fasern bindet Wasser und dadurch wird die Konsistenz steifer. Mit dem Zuführen von Verdichtungsenergie wird die Ausgangskonsistenz wieder erreicht. Die Oberflächenbearbeitung in manueller oder maschineller Form ist im Gegensatz zu Beton mit sonstigen Fasern bei Verwendung mit Glasfasern nicht beeinträchtigt.

5. Anwendungen

Bevorzugte Anwendungen für dieses Verfahren sind Konstruktionen mit erhöhten Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit wie die Dauerhaftigkeit, die Funktionstüchtigkeit und das Aussehen des Tragwerks. Dazu gehören insbesondere Bauwerke, für die eine hohe Dichtigkeit gegen Eindringen von i.d.R. flüssigen Stoffen gefordert wird. Zu dieser Kategorie von Konstruktionen zählen Parkdecks, Auffangwannen bzw. -behälter für wassergefährdende Stoffe und Bauteile im Grundwasser.

Die in den Versuchen [3] abgeklärten Fragen nach der optimalen Dosierung, Faserart und Faserlänge haben weitere Informationen geliefert über die Festigkeitsentwicklung und damit über den Zeitpunkt für das Aufbringen der Vorspannkraft. Ergänzend dazu wurden praxiserprobte Baustellenversuche im Zusammenhang mit der jeweiligen Objektanwendung durchgeführt und ausgewertet. Die in den Laborversuchen festgestellten Eigenschaften von Beton mit Glasfaserzusätzen haben sich in den Baustellenversuchen bestätigt. Somit konnten erste Anwendungen erfolgreich mit dem neuartigen Verfahren „Beton mit Glasfaserzusatz in Kombination mit Vorspannung“ ausgeführt werden.

5.1 Parkdeck „Mr. Wash“ in Hamburg

Querschnitt A-A

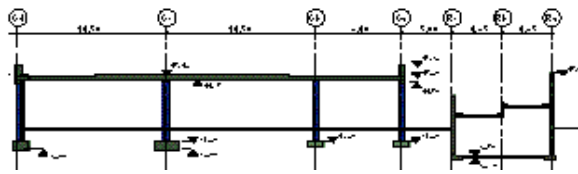


Bild 9: Parkdeck mit Rampen für Autowaschanlage



Bild 10: Rampenkonstruktion für Autowaschanlage

Die Oberflächen wurden nach dem Einbringen des Betons geglättet und mechanisch aufgeraut, um die Griffigkeit zu gewährleisten. Den Kosten für die Glasfasern steht die bedeutend grössere Ersparnis für die Abdichtung gegenüber. Die Anlage ist mittlerweile in Betrieb genommen und hat die an sie gestellten Anforderungen an eine rissfrei, und dichte Oberfläche erfüllt.

Bei dem Bauwerk handelt es sich um eine Autowaschanlage mit weiteren Serviceeinrichtungen wie Tankstelle und Ölwechselstation. Aufgrund beschränkter Platzverhältnisse mussten zusätzliche Flächen in einer zweiten Etage geschaffen werden. Dazu wurde der gesamte Bereich der Tankanlage und der Ölwechselstation mit einem Parkdeck überbaut [Bild 9]. Die Fläche von ca. 60.0 x 40.0 m wurde in einzelnen Arbeitsabschnitten erstellt, weist jedoch im Endzustand keinerlei Dehnungsfugen auf. Wie vorgängig erwähnt ist die Wirkung der Vorspannung eine zweifache. Aus statischer Sicht dient die Vorspannung der Überbrückung der grossen unterzugsfreien Spannweite von bis zu 15.0 m und reduziert damit die Beanspruchungen aus den äusseren Einwirkungen wie Eigen- und Verkehrslasten. Der Normkraftanteil aus Vorspannung vergrössert den Widerstand der Zugkraft, um somit weitere Einflüsse aus Zwangbeanspruchungen rissfrei aufzunehmen. Die zum Parkdeck führenden Rampen stellen in sich sehr lange Bauwerke dar, die durch vielfältige Einbauten und geometrische Anordnung der Stützwände in ihrer Ausdehnung behindert sind [Bild 10]. Infolge der Nutzung der Räume unterhalb der Rampe für die Technik und Installation der gesamten Anlage waren höchste Anforderungen an die Dichtigkeit der Platten gestellt. Sämtliche Oberflächen der Rampenplatten und des Parkdecks wurden ausschliesslich aus Beton mit Glasfaserzusatz und Vorspannung hergestellt und mit keinerlei Abdichtung versehen. Die Oberfläche

5.2 Teststrecken der Firma Bosch in Boxberg

Um die Wirkungsweise der verschiedenen elektronischen und mechanischen Autofahrhilfen wie z.B. ABS unter ungünstigsten Bedingungen zu testen, baut die Firma Bosch in Boxberg ein grösseres Testgelände. Unter anderem werden dort fugenlose Betonstrecken mit einer Länge von $L=150\text{m}$ und Wasserbecken unterschiedlicher Füllhöhe von $L=120\text{m}$ und $L=42\text{m}$ fugenlos erstellt [Bild 11,12,13]. Die Anforderungen sehen Rissfreiheit und Dichtigkeit für die Becken vor. Die Anwendung einer Vorspannung in Verbindung mit einer zusätzlichen schlaffen Bewehrung stand von Anfang an im Vordergrund, um die grosse Länge fugenlos sicher zu erstellen. Die Suche nach Lösungen, die Vorspannung so früh wie möglich aufzubringen hat dann den Ausschlag für eine alternative Lösung in Beton mit Glasfaserzu-

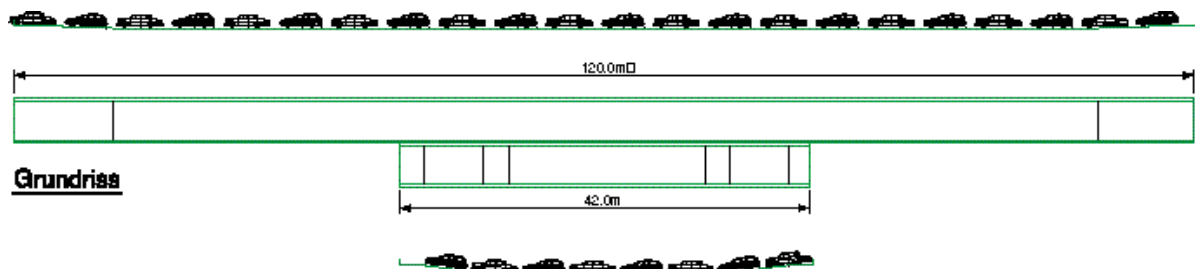


Bild 11: Fugenlose Becken für Teststrecken von Bosch

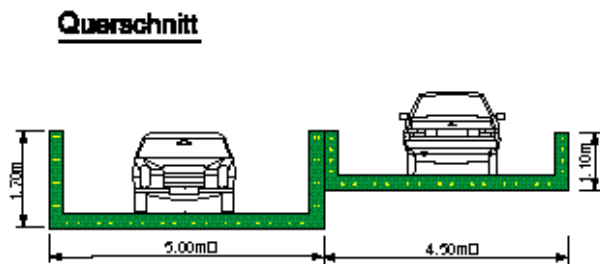


Bild 12: Querschnitt der Beckenkonstruktion

satz gegeben. Für den alternativen Entwurf konnte die vorgesehene Bewehrung reduziert werden, da deren Gröszenordnung für den Fall der abfliessenden Hydrationswärme dimensioniert war. Bereits die Einsparungen an Bewehrung bewegen sich kostenmässig im Rahmen der eingesetzten Glasfasermenge. Die andernfalls erforderlichen Massnahmen für das stufenweise Aufbringen der Vorspannkraft konnten entfallen und bringen somit den Kostenvorteil.

Diese Anwendung zeigt erneut, dass für dauerhafte und rissfreie Konstruktionen kein wirtschaftlich überzogener Aufwand betrieben werden muss. Im Gegenteil, die mit Glasfasern und Vorspannung ausgeführten Konstruktionen sind den nach der derzeit gängigen Technik konstruierten Bauwerken wirtschaftlich ebenbürtig, und bieten darüber hinaus eine mit anderen Mitteln nicht zu erzielende Dauerhaftigkeit.



Bild 13: Vorgespannte Bodenplatte der Beckenkonstruktion

5.3 Tankstellenflächen

Für die Flächen im Bereich der Abfüllstationen von Tankstellen werden höchste Anforderungen an die Dichtigkeit gestellt, um eine Verunreinigung des Grundwassers durch eindringende Mineralöle auszuschliessen. Die der Witterung ausgesetzten Bodenplatten werden durch mannigfaltige Einwirkungen aus Lasten und Verformungen beansprucht.

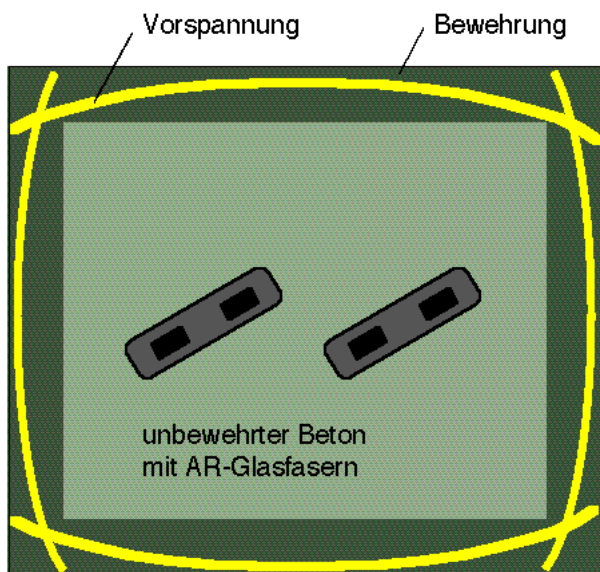


Bild 14: Dichte Betonflächen ohne Fugen

Die Beanspruchungen müssen aufgenommen werden und die Funktionstüchtigkeit als Dichtfläche muss gesichert sein. Verschiedene Bauweisen in Ortbeton oder mit vorgefertigten Platten unter Ausbildung aufwendiger und unterhaltsintensiver Fugenkonstruktionen werden derzeit ausgeführt.

Als Alternative ist eine fugenlose Platte in Ortbeton mit Glasfaserzusatz und unter Einsatz einer Vorspannung geplant. Die in den Randbereichen angeordnete Vorspannung drückt allseits zentrisch auf die Platte und liefert eine Druckspannung über den gesamten Plattenbereich [Bild 14]. Aus statischen Gründen ist nur eine zusätzliche Bewehrung in den Randstreifen erforderlich. Der übrige Bereich ist nur mit Glasfasern bewehrt. Die fugenlose Bauweise stellt eine dauerhafte, dichte und unterhaltsarme Konstruktion dar. Erste Anwendungen werden derzeit ausgeführt.

5.4 Weitere und zukünftige Anwendungen

Weitere Anwendung nach dem neuartigen Verfahren sind derzeit in der Planung und kurz vor der Ausführung. Dabei handelt es sich um Behälterkonstruktionen als Auffangbecken für wassergefährdende Stoffe, sowie um Wannen im Grundwasser. Je nach Beanspruchungsart sind auch Konstruktionen nur mit Glasfasersatz im Beton ohne eine zusätzliche Vorspannung zur Ausführung geeignet. Für Kellerkonstruktionen bestehend aus Bodenplatte und umlaufenden Wänden sind die rein statischen Beanspruchungen aus äusseren Lastenwirkungen auf lokale Stellen beschränkt und lassen sich mit entsprechender Bewehrung abdecken. Zusätzliche Beanspruchungen aus Verformungen infolge Schwinden und Temperatur treten bei im Grundwasser stehenden Konstruktionen nicht auf. Somit ist nur die Frührisbildung zu kontrollieren. Diese wiederum ist ausschliesslich mit Glasfasern beherrschbar. Mit Ausnahme der wenigen, lokal begrenzten statisch beanspruchten Stellen kann die gesamte Konstruktion als wasserdichte Wanne ohne eine aufwendige Bewehrung nur mit Hilfe der Glasfasern erstellt werden. Derzeit sind zwei derartige Konstruktionen in der Planung und stehen vor der Ausführung.

Zukünftige Ausführungen nach dem vorgenannten Verfahren sind im Bereich von flüssigkeitsdichten Konstruktionen in Form von Auffangtassen, bzw.-becken, Behältern sowie für dauerhafte Konstruktionen wie z.B. Parkdecks und Bodenplatten anwendbar, entsprechend der oben dargestellten Projektpalette.

6.0 Ein neuartiges Verfahren vom Versuch zur praktischen Anwendung

Die Suche nach Lösungen für flüssigkeitsdichte Konstruktionen in Beton hat dazu geführt, das allseits bekannte Verfahren vom vorgespannten Stahlbeton um die Möglichkeiten eines faserbewehrten Betons zu erweitern. Das bekannte Problem der Frührisbildung durch Abfließen der Hydratationswärme und Schwinden kann elegant mit der Zugabe von Glasfasern gelöst werden. Bislang hat man teilweise vergeblich versucht, dem Problem durch entsprechende Anordnung von Bewehrung und durch eine aufwendige Nachbehandlung zu begegnen. Die Bewehrung erweist sich jedoch in diesem frühen Stadium infolge des mangelnden Verbunds als nicht sehr wirksam, und die Nachbehandlung erweist sich in ihrer vollen Konsequenz als zu aufwendig und demzufolge wenig praxistauglich. Um die Wirkung der Fasern in der frühen Phase nachzuweisen, wurden verschiedene Versuche im Vergleich mit normal bewehrten und Stahlfaserbewehrten Betonkörpern wie Plattenstreifen und zylindrische Prüfkörpern durchgeführt. Dabei zeigt sich sehr deutlich die überlegene Wirkung der Glasfasern gegenüber den übrigen Verfahren, die Frührisbildung zu begrenzen bzw. zu verhindern, und die Zug- und Druckfestigkeit zu steigern. Diese kombinierte Verbesserung der Betoneigenschaften in der Phase des jungen Betons, macht die Verwendung von Glasfasern als Zusatz im Beton mit einer Vorspannung derart interessant.

Die Auswertung der Laborversuche hat sehr rasch zu einigen praktischen Anwendungen für konkrete Bauvorhaben geführt. Die Verbesserung der Betoneigenschaften hat sich auch unter Baustellenbedingungen bestätigt. Die Praxistauglichkeit konnte ebenfalls mit der Ausführung von Objekten nachgewiesen werden.

Die kombinierte Verwendung von Glasfasern im Beton und einer Vorspannung ermöglicht die Herstellung von rissfreien Betonkonstruktionen. Damit kann der Baustoff Stahlbeton neben seiner allseits bekannten Eigenschaft, Beanspruchungen sicher abzutragen, weitere Funktionen wie eine gute Dauerhaftigkeit und Dichtigkeit wahrnehmen. Damit eröffnen sich dem Baustoff Beton neue Anwendungsmöglichkeiten, wie sie derzeit im Bereich des Umweltschutzes für flüssigkeitsdichte Konstruktionen gefordert werden. Einige vorgängig dargestellten Bauobjekte verdeutlichen diesen zukünftigen Anwendungsbereich.

7. Literatur

- [1] T. Friedrich - Verfahren zur Herstellung eines im wesentlichen rissfreien Körpers aus Beton; CH-Patent angemeldet 2806/96, 1996
- [2] T. Friedrich - Vorgespannter Stahlbeton für dichte Bauwerke; Braunschweiger Bauseminar 1995 „Dichte Bauwerke“, Universität Braunschweig, 1995
- [3] RWTH Aachen - Versuchsreihe an Betonkörpern mit NEG AR-Glasfasern, Versuchsbericht, Aachen 1997