

Fugenlose, rissefreie Industriefussböden

TH. FRIEDRICH
Domostatik AG Zürich, Schweiz

Summary

Different application requires industrial floors without any joints and preferable without any cracks. This goal will only be achieved by the means of prestressing and by an increase of deformation capacity of the concrete material with the help of steel fibres and AR-Glassfibres. Information on the use and successful application of prestressing with single strands are given. The paper reports on small and large projects built with the help of this technology. Some new aspects of using an AR-Glassfibre net to increase the deformation capacity in the top layer of an industrial floor are given.

1. ANFORDERUNGEN AN INDUSTRIEFUSSBÖDEN

Industriefussböden bilden den Abschluss zum Untergrund und dienen als Plattform für die vorgesehene Nutzung. Entsprechend der Nutzung sind verschiedene Aufgaben von der Bodenplatte zu übernehmen. Die Ableitung von Einzel- und Flächenlasten in den Untergrund muss sichergestellt sein. Darüber hinaus sollte die Oberfläche der Platte den Anforderungen aus dem täglichen Betrieb dauerhaft genügen. In vielen Fällen wird zudem eine dichte Fläche verlangt, um das Eindringen von Flüssigkeiten in den Untergrund zu verhindern. In der Regel ist auf eine zusätzliche Beschichtung zu verzichten, so dass die Betonkonstruktion die Trag- und Dichtfunktion gleichzeitig zu erfüllen hat.

Die beiden letztgenannten Forderungen bedingen rissefreie (oder allenfalls fein verteilte, kleinste Risse) Konstruktionen. Aufgrund der Beanspruchungen aus Last und Zwang ergeben sich jedoch Spannungen und Dehnungen, die zu Rissen führen, sobald die Zugfestigkeit bzw. Dehnfähigkeit überschritten ist.

Im Einzelnen ist sehr genau zu untersuchen, in welcher Form sich die Beanspruchungen zusammensetzen und welche Widerstände des Betonbaustoffs mit den entsprechenden Zusätzen zu erreichen sind. Bedingt durch das nichtlineare Materialverhalten des Betons ist der Vergleich der Beanspruchungen mit dem Widerstand über die Verformung bzw. Dehnung zu führen, anstelle von Kräften bzw. Spannungen [6]. Dies bietet sich um so mehr an, als die Haupteinwirkungen aus Verformungen infolge Schwinden und Temperatur herührt.

Daraus lässt sich zugleich die wichtigste Anforderung an ein rissefreies Material für den Industriefussboden formulieren. Eine ausreichende Verformungsfähigkeit muss gesichert sein, um die Einwirkungen aus Zwang und Last unter Wahrung der Nutzungsanforderungen wie z.B. Dichtigkeit aufnehmen zu können.

2. EINWIRKUNGEN

Es gilt klar zu unterscheiden zwischen den Einwirkungen infolge Last und solchen infolge Zwang. Im Hinblick auf die jeweiligen Einwirkungen können bereits konstruktive Massnahmen, oder eine entsprechende Konstruktion gewählt werden, die die Auswirkungen bereits entsprechend reduzieren.

2.1 Einwirkungen infolge Lasten

Für die Verteilung der Beanspruchungen in die Platte und in den Untergrund ist das Verhältnis der Steifigkeiten massgebend [1]. Durch die Anordnung von verschieden steifen Unterbauten lässt sich die Beanspruchung in der obersten Schicht auf ein ab-

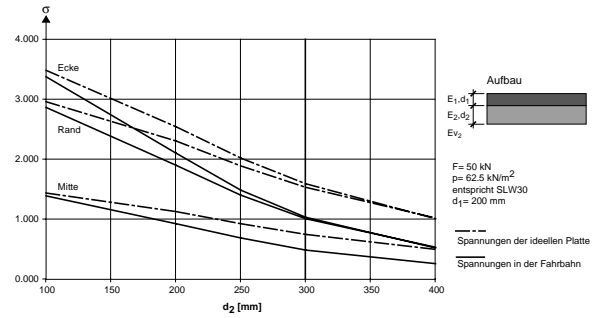


Bild 1: Einfluss der Tragschicht auf die Beanspruchungen der Betonplatte

solutes Minimum reduzieren. Damit ist der Aufbau der Konstruktion vorgegeben, indem die Einwirkungen aus Last über einen sehr tragfähigen Unterbau aufgenommen wird. Die oberste Schicht verbleibt dann weitgehend für die übrigen Einwirkungen aus Zwang.

In Bild 1 wird dieser Sachverhalt sehr eindrücklich dargestellt. Die Einwirkung infolge einer Einzellast verteilt sich auf die beiden Schichten d1 und d2. Je steifer die Unterschicht d2 wird, um so mehr reduziert sich die Beanspruchung in der obersten Platte.

Im Hinblick auf allfällige Fugenanordnungen sei noch angemerkt, dass sich die Beanspruchung infolge einer randnahen Einzellast gegenüber der mittigen Anordnung verdoppelt (siehe Bild 1, Rand/Ecke im Vergleich zu Mitte). Bei kleinformatigen, durch viele Fugen unterteilte Plattenelemente bestimmt somit die randnahe Einwirkungen die Plattenstärke. Bei fugenlosen grossen Plattenelementen ist der höher beanspruchte Plattenrand anteilmässig von geringer Bedeutung. Der bei grossen Plattenabmessungen in seinem Ausmass eng begrenzte (Bild 2) höher beanspruchte Plattenrand lässt sich lokal durch entsprechende Massnahmen im Widerstand verstärken. Aufgrund des erhöhten Aufwands infolge erhöhter Randbean-

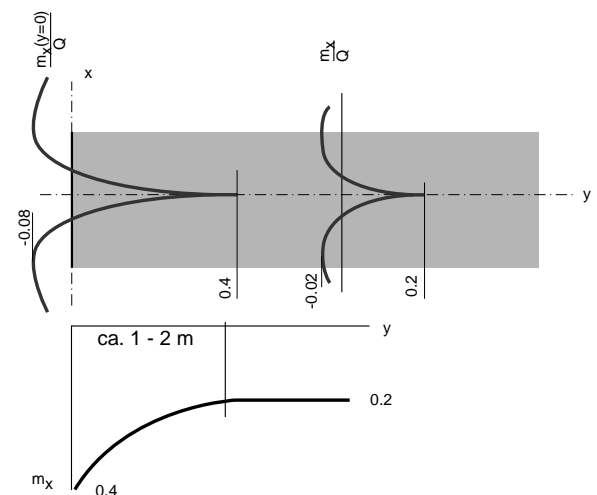


Bild 2: Verlauf der Biegemomente vom Rand zur Mitte

spruchung bei kleinformatischen Platten ist zwingend die fugenlose Platte als Konstruktionsform zu wählen.

Flächige Lasten werden in der Regel direkt über flächige Pressung in den Untergrund abgeleitet und verursachen aufgrund der gleichmässigen Verformung keine Beanspruchungen. Zonenweise flächige Lastanordnungen führen jedoch zu geringen Beanspruchungen in der Platte.

2.2 Einwirkungen infolge Verformungen

Schwinden und Temperatur verursachen i.d.R. linear über den Querschnitt verteilte Dehnungen. Über die Länge der Platte aufsummiert ergeben sich Verdrehungen (aufsummierte Verwölbungen) und Verschiebungen (aufsummierte Dehnungen) an den Plattenenden. Die Verdrehungen werden an der freien Entfaltung durch das Eigengewicht der Platte behindert und entsprechend werden Beanspruchungen erzeugt. Die Verschiebung der Plattenenden wird durch die zwischen Plattenunterseite und Bodenoberkante wirkende Reibkraft behindert (Bild 3). Die sich von den Enden zum Zentrum hin aufbauende maximale Kraft wird entweder von der Plattenlänge oder von der absoluten Grösse der Dehnung ($\epsilon \rightarrow \sigma_{\text{Zwang}}$) begrenzt.

Schwinden und jahreszeitliche Schwankungen der Temperatur werden über eine längere Zeitphase

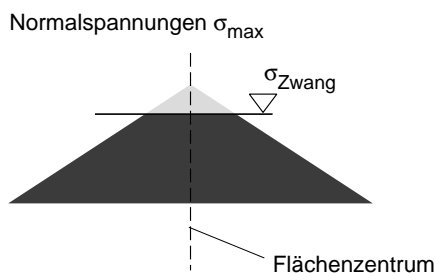
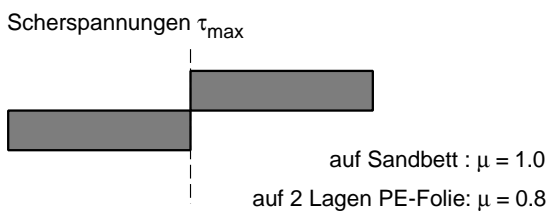
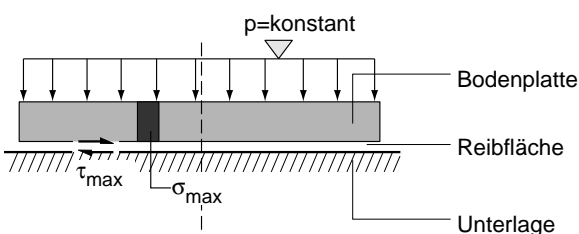


Bild 3: Normalkräfte in der Betonplatte infolge Bodenreibung

aufgebaut und sind entsprechenden Relaxationen ausgesetzt [6]. Somit sind die Auswirkungen geringer anzusetzen.

2.3 Kombinierte Einwirkungen aus Last und Zwang

Überlagert man die Einwirkungen, ergibt sich i.d.R. folgendes Bild. Die zentrischen Verformungen (Dehnungen) infolge Schwinden und Temperatur erzeugen den Hauptanteil der Querschnittsbeanspruchung. Die Überlagerung mit den Verdrehungen (Krümmungen) aus Lasteinwirkung einerseits und Schwinden bzw. Temperatur andererseits vergrössert die maximale Randdehnung nochmals. Dabei stammt etwa ca 80 - 90 % aus Schwinden und Temperatur. In Bild 4 sind die entsprechenden Verformungen für die beiden extremsten Einwirkungen [3] bei der Platte im Freien einerseits und bei der Platte in der Halle andererseits aufgetragen. Es dominiert der zentrische Anteil infolge Schwinden und Temperatur. Selbst die Krümmungsanteile werden von Schwinden und Temperatur massgeblich beeinflusst.

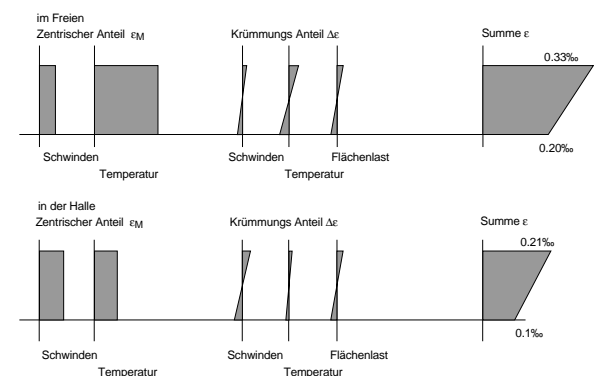


Bild 4: Vergleich der Verformungen infolge Einwirkungen auf die Betonplatte

3. WIDERSTÄNDE

Die Beanspruchungen der Platte werden hauptsächlich von den zentrischen Verformungen aus Schwinden und Temperatur bestimmt. Die zusätzlichen Verdrehungsanteile vergrössern die Beanspruchungen an der Plattenober- bzw. -unterseite. Um die Beanspruchungen zuverlässig aufnehmen zu können, muss das Material die entsprechenden Verformungsfähigkeiten aufweisen. Eine derartige Verformungsfähigkeit des Betonmaterials lässt sich i.d.R. ohne zusätzliche Massnahmen nicht realisieren. Es bieten sich folgende Möglichkeiten an:

- Begrenzung der Plattenabschnitte durch Fugen;
- Verwendung von Vorspannung;
- Steigerung der Verformungsfähigkeit des Materials durch gezielte Faserbewehrung;

Während die erstgenannte Massnahme konstruktiver Art ist, wird mit den beiden letztgenannten eine gezielte Materialverbesserung bewirkt.

3.1 Anordnung von Fugen

Die über die Plattenlänge infolge Reibung mit dem Untergrund aufgebaute Kraft lässt sich begrenzen durch die absolute Plattenlänge. Ein gängiges Mittel ist die Anordnung von Fugen. Fugen sind jedoch selbst Schwachstellen und erfordern laufenden Unterhalt. Oftmals stören die Plattenunterbrechungen den Betrieb, wie z.B. bei Luftkissenförderfahrzeugen, oder die Beanspruchungen durch die laufende Überfahrt beschädigen die Kanten. Das führt dann zu kontinuierlichen Schädigungen. Die Untersuchung der Dauerhaftigkeit an verschiedenen Fugenübergängen hat das in Bild 5 dargestellte Ergebnis geliefert. Deutlich wird die kurze Lebensdauer der Fugen und die damit vorzunehmende Sanierung [5].

Fugen sind sicherlich ein taugliches Mittel, die Beanspruchungen in der Platte zu begrenzen, sie bieten jedoch nicht die gewünschte Dauerhaftigkeit für einen störungsfreien Betrieb.

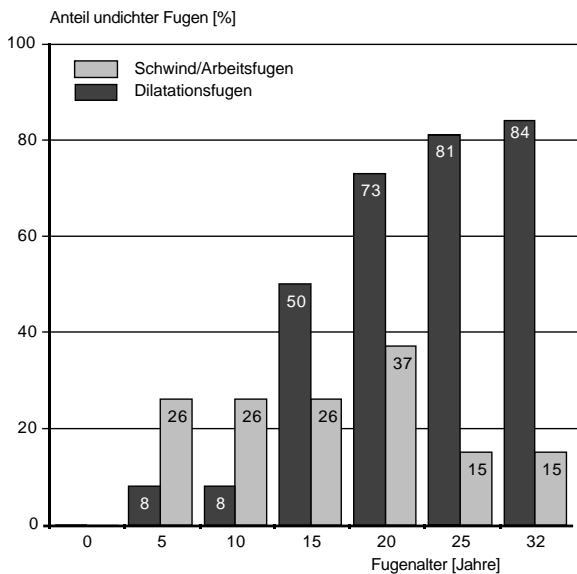


Bild 5: Dauerhaftigkeit von Fugenkonstruktionen

3.2 Verwendung von Vorspannung

Eine zentrisch angeordnete Vorspannung überträgt über die an den Plattenrändern angeordneten Verankerungen Druckspannungen, bzw. -dehnungen. Diese sind als zusätzliche Vergrösserung der Dehnungsfähigkeit des Betonmaterials zu betrachten, da diese Reserve zuerst aufgebraucht werden muss, bevor die natürliche Dehnfähigkeit in Anspruch genommen wird. Die von der Vorspannung über den Querschnitt gleichmässig erzeugte Dehnungsreserve passt optimal in das Bild der Beanspruchungen, da diese sich wie zuvor erwähnt hauptsächlich aus zentrischen Anteilen zusammensetzen (siehe Bild 4).

Die Vorspannung bietet auch bei Überbeanspruchungen mit Rissbildung gewisse Vorteile. Die über eine elastische Verformung des Stahls erzeugte Kraft ist in der Lage, die durch eine kurzzeitige Überbeanspruchung entstandenen Risse nach der Entlastung wieder zu schliessen. Entstehen Risse aus zusätzlicher Biegebeanspruchung, verbleibt zumindest ein Teil des Querschnitts dank der Vorspannung überdrückt.

3.3 Erhöhung der Verformungsfähigkeit durch Faserbewehrung

Bekanntlich lässt sich durch die Zugabe von Fasern die Verformungsfähigkeit des Materials steigern [2]. Üblich und weitgehend bekannt ist die Verwendung von Stahlfasern. Neuerdings hat man die Fähigkeit der alkaliresistente Glasfasern erkannt und versucht sie zur Verbesserung der Gefügeeigenschaften einzusetzen. Glasfasern verhindern die Mikrorissbildung und wirken wie eine innere Nachbehandlung. Die in den frühen Stunden der Erhärtung sich bildende Risse durch Fröhschwinden oder schnelles Austrocknen können somit verhindert werden. Damit wird der Gefügezusammenhalt erhöht. Stahlfasern wirken hauptsächlich bei der Ausbildung eines Risses, indem sie die Rissufer zusammenhalten. Damit wird die Verformungsfähigkeit über eine fein verteilte Rissbildung hinaus gesteigert. Die kombinierte Verwendung von Stahl- und Glasfasern trägt zur Steigerung der Verformungsfähigkeit bei, und bietet damit ausreichende Möglichkeiten zur Aufnahme der äusseren Einwirkungen.

4. VERWENDUNG DER VORSPANNUNG

Von den zuvor erwähnten Massnahmen zur Steigerung der Verformungsfähigkeit ist die Vorspannung ein zuverlässiges und einfach zu handhabendes Mittel. Sie ermöglicht fugenlose und rissefreie Flächen, die den zuvor gestellten Anforderungen an eine optimale Nutzung genügen.

4.1 Dimensionierung der Vorspannung

Die Grösse der Vorspannung richtet sich nach den zu kompensierenden zentrischen Verformungsgrössen. Man entscheidet sich für eine aufzubringende Druckspannung infolge Vorspannung. Eine zentrische Druckspannung in der Grössenordnung von 1.0 - 2.0 N/mm² ist i.d.R. bereits ausreichend. Über die an den Deckenränder angebrachten Verankerungen wird eine gleichmässige Druckspannung in die Platte eingeleitet. Damit wird der Platte eine konstante Stauchung (vergleichbar einer initialen Vordehnung) eingeprägt. Zur optimalen Aus-



Bild 6: Abschalung mit Verankerungen für einen Bauabschnitt

nutzung dieses Dehnungszustandes ist der Zeitpunkt der Vorspannung von grosser Bedeutung. Die aufgebrachte Spannung in Kombination mit dem aktuellen Elastizitätsmodul bestimmt die eingepreßte Verformung. Um eine möglichst grosse eingepreßte Verformung aufzubringen, sollte die Vorspannung zum frühest möglichen Zeitpunkt erfolgen, wenn der Elastizitätsmodul noch gering ist. Bestimmend für den Zeitpunkt ist die minimale Druckfestigkeit des Betons, die von der Verankerung gefordert wird. Integrierte Randabschalungen mit eingebauten Verankerungskörpern (Bild 6) ermöglichen eine Verteilung der konzentrierten Ankerkraft und tragen so zu geringen lokalen Druckspannungen bei. Somit kann die Vorspannung sehr früh bereits bei sehr geringen Druckfestigkeiten des Betons aufgebracht werden.

4.2 Verlust der Spannkraft infolge Kriechen und Schwinden

Durch die zeitlichen Verformungseigenschaften des Betons entzieht sich der Beton der konstanten Beanspruchung durch Verkürzung infolge Schwinden und durch Kriechen unter konstanter Druckbeanspruchung. Infolge der geringen Druckspannungen aus Vorspannung ist deren Auswirkung auf die Verluste jedoch gering. Bei den eingangs erwähnten Druckspannungen aus Vorspannung in der Grössenordnung von 1.0 - 2.0 N/mm² belaufen sich die Verluste auf ca. 10.0 - 15.0%.

4.3. Verlust aus Reibung mit dem Baugrund

Analog dem zuvor erwähnten Verformungsmechanismus aus Schwindens bzw. Temperatur werden durch die Verkürzung der Platte durch Vorspannung Reibungskräfte geweckt, die eine Zugspannung in der Platte hervorrufen. Somit wird die am Plattenende vollständig vorhandene Spannkraft entlang der Platte abgebaut. In Abhängigkeit von der Reibung und der Plattenlänge kann die durch Vorspannung erzeugte Druckspannung von z.B. 1.0 N/mm² nach einer bestimmten Länge vollständig

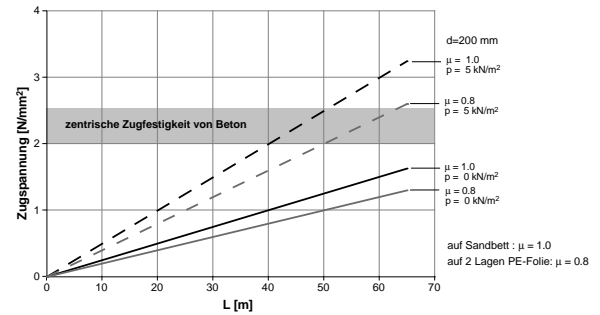


Bild 7: Normalkräfte in der Betonplatte infolge Bodenreibung

abgebaut sein (siehe Bild 7). Mit entsprechenden Gleitfolien (zwei Lagen PE) kann diesem Abbau entgegengewirkt werden.

Beim Nachweis der zulässigen Spannungen über die gesamte Plattenfläche sind die regionalen Auswirkungen des Spannkraftverlustes zu berücksichtigen. Da die grössten Beanspruchungen i.d.R. am Plattenrand aus Lasteinwirkung auftreten, und die Vorspannung am Plattenrand meistens vollständig vorhanden ist, kann der Spannungsverlust zur Plattenmitte hin in Kauf genommen werden.

Weiterhin ist darauf zu achten, dass innerhalb der einzelnen in den Ausmassen begrenzten Bauabschnitten direkt vorgespannt wird, um die Reibungsverlust ebenfalls so gering wie möglich zu halten.

5. VORSPANNTÉCHNIK UND AUSFÜHRUNG

Um ein leichte zentrische Vorspannung bei den relativ dünnen Platten ($d \approx 150 - 300$ mm) zu erzielen, genügen kleine Kabeleinheiten. Durchgesetzt haben sich für diese Anwendung Monolitzen ohne Verbund mit einer Spannkraft von $P_0 \approx 180 - 200$ kN. Die Spannlitzen haben bereits werksgemert einen Korrosionsschutz bestehend aus einer Fettschicht und einer extrudierten PE-Hülle. Damit entfällt der nachträgliche und aufwendige Injektionsvorgang der Hüllrohre auf der Baustelle. Mit dem Spannen der Litzen sind sämtliche Spezialarbeiten abgeschlossen. Die fertige Litze ist sehr handlich (Durchmesser $\varnothing 20$ mm) und lässt sich leicht einbauen. Für diese geringen Spannkraften sind ebenso kleine Ankerkörper erforderlich, die sich leicht an die Schalung montieren lassen (siehe Bild 8). Die geringe Spannung hinter der Ankerplatte erlaubt ein frühes Spannen bereits bei einer minimalen Betondruckfestigkeit von $f_c \geq 20.0$ N/mm².

Die i.d.R. auf Länge bereits konfektionierten Spannglieder werden auf Distanzhaltern und entsprechend dem vorgesehenen Abstand innerhalb des Grundrisses der Platte ausgelegt. Die feste Verankerung ist bereits werkseitig befestigt und muss nur noch in ihrer Lage fixiert werden. Die bewegliche Verankerung wird vorgängig an die Sei-

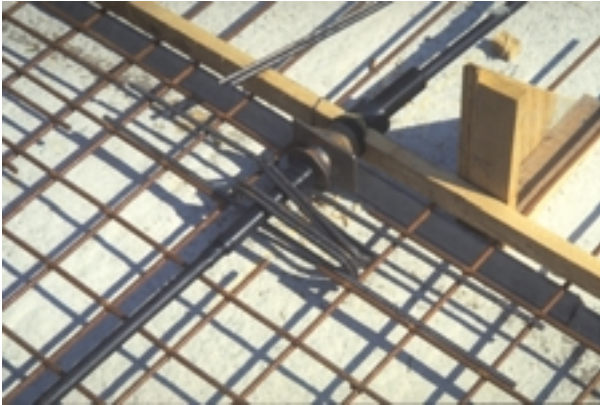


Bild 8: Spannanker an der Abschnittsgrenze



Bild 9: Teilweise bewehrter Bauabschnitt

tenschalung montiert und das freie Ende der Litze durchgeschoben (Bild 9). Zur Sicherung der Kräfteinleitung im Ankerbereich ist eine Spaltzugbewehrung erforderlich. Neuere Entwicklungen sehen vor, den gesamten Ankerbereich als vorfabrizierten Ankerkörper aus Faserbeton mit den Abmessungen der endgültigen Bodenplatte zu erstellen und am Plattenrand einzulegen. Damit ist ein noch früheres Vorspannen bei geringen Betondruckspannungen möglich.

Entsprechend dem Baufortschritt werden Arbeitsabschnitte mit entsprechenden Arbeitsfugen festgelegt. Die Spannglieder werden i.d.R. an den Arbeitsabschnitten abgespannt und für die weiteren Abschnitte angekoppelt. Einfach zu handhabende Kupplungen erleichtern diesen Vorgang. Werden die Bauabschnitte im täglichen Rhythmus aneinander betoniert, so empfiehlt sich, die Spannglieder an den Arbeitsfugen ungekoppelt durchlaufen zu lassen und erst nach der Erstellung mehrerer Bauabschnitte gesamthaft vorzuspannen.

Im Bereich der Arbeitsfugen mit abgespannten Spanngliedern sind die parallel zur Arbeitsfuge verlaufenden Spannglieder zu konzentrieren und ein Anteil davon erst mit dem nächsten Bauabschnitt vorzuspannen.

Das Aufbringen der Spannkraft für jedes einzelne Spannkabel erfolgt nach einer festgelegten Spannreihenfolge und nachdem die minimale Betondruckfestigkeit erreicht ist.

Zum Spannen sind bei den geringen Spannkraften handliche, leichte Spannpressen erforderlich, die über eine Hydraulikpumpe gesteuert werden. Nach dem Spannen werden die Litzenüberstände abgeschnitten und das Ende der Verankerung mit Fett ausgegossen und mit einem Deckel versehen.

6. ANWENDUNGEN

Verlangen die Anforderungen aus der Nutzung der Betonplatte Rissefreiheit, Dichtigkeit und Fugenlosigkeit, so ist die Anwendung einer leichten Vorspannung erforderlich. Zu dieser Kategorie von Bauobjekten gehören:

- Industrieböden mit Staplerbetrieb und führerlos gesteuerten Transportfahrzeugen;
- Umschlagflächen für wassergefährdende Stoffe;
- Platten für Hochregallager;
- Bodenplatten für Parkflächen;
- Tankstellenflächen;

In diesen Bereichen wurden vorgespannte Betonplatten ausgeführt. Das Spektrum reicht von aus Lasten und/oder Verformungen hochbeanspruchten Platten unterschiedlichster Abmessungen. Flächen im Freien als auch innerhalb einer Hallenkonstruktion gehören dazu und entsprechend ist die Beanspruchung aus Verformungen von grossem bzw. geringem Ausmass. Aufgrund der Darstellung in Bild 4 sind Bodenplatten im Freien nur mit einer Vorspannung zuverlässig fugenlos und rissefrei zu erstellen. Kleine Flächen (20 x 10 m) für Tankstellenbereiche, Flächen mittlerer Grösse (40 x 80 m) für Hochregallager und grosse Flächen (100 x 230 m) für Parkflächen wurden so erstellt. Diese Anwendungen konnten fugenlos ausgeführt werden und haben sich hinsichtlich Rissefreiheit bewährt.

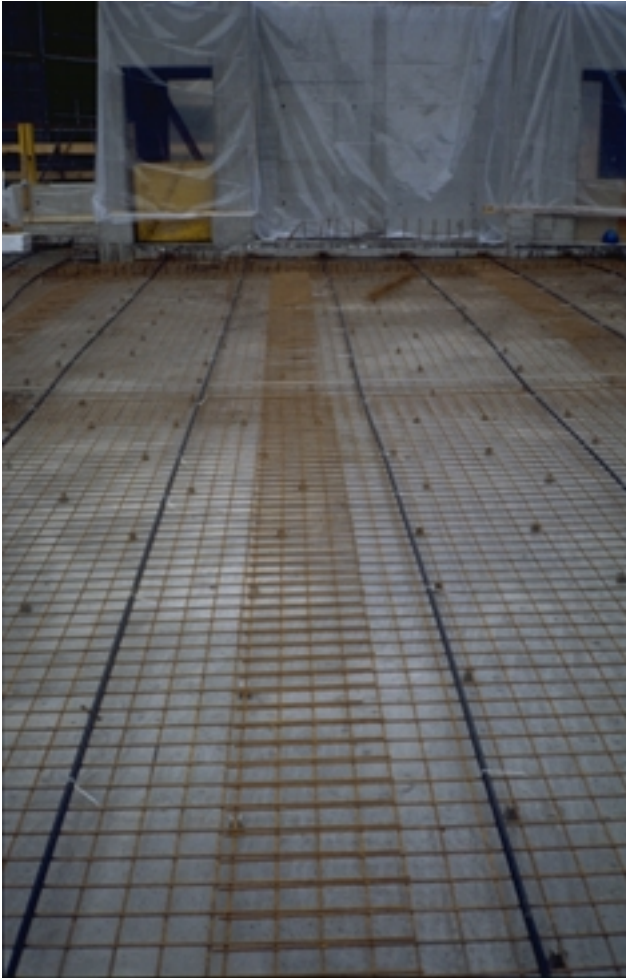


Bild 10: Bewehrung und Monolitenvorspannung

Die meisten dieser Flächen wurden teilweise noch mit einer zusätzlichen schlaffen Bewehrung versehen (Bild 10), sei es aus statischen Gründen, oder wie auch geschehen, weil die prüfende Instanz einer unbewehrten Betonplatte nicht zustimmte.

7. ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN

Aufgrund der Überlegungen unter Punkt 2 und 3.3 ist die Vergrößerung der Verformungsfähigkeit das oberste Ziel, um rissfreie und fugenlose Platten zu bauen. Wie bereits angedeutet ist eine Faserbewehrung dazu in der Lage. Aus verschiedenen Überlegungen sind Stahl- bzw. alkaliresistente Glasfasern oder eine Kombination davon zu verwenden. Um die Rissbildung in der frühen Erhärtungsphase zu unterbinden haben sich die Glasfasern äusserst bewährt. Sie steigern in dieser Phase nicht nur die Verformungsfähigkeit, sondern auch die Druckfestigkeit, was ein früheres Vorspannen erlaubt.

Bedingt durch die extremen Verformungen an der Oberseite der Platte (siehe Bild 4) erscheint es sinnvoll, einen im Verbund stehenden zweischichtigen Aufbau der Platte auszuführen. Die oberste,



Bild 11: Einbau eines AR-Glasfasernetzes in der obersten Deckschicht

relativ dünne Schicht (< 5 cm) wird aus einem extrem verformungsfähigen Material erstellt. Diese gewünschte Verformungsfähigkeit wird erzielt durch die Verwendung eines feinkörnigen Betonmaterial mit einem hohen Glasfaseranteil. Zusätzlich wird in die oberste Schicht eine Glasfasermatte (Bild 11) eingebaut, die in der Lage ist, allfällig entstehende Risse äusserst fein zu verteilen, und somit unschädlich zu machen [4]. Die einzubauende Glasfasermatte wird direkt auf die noch frische erste Schicht gelegt und anschliessend aufbetoniert. Der Verbund der beiden Schichten ist gewährleistet, und die Glasfasermatte begrenzt die Verformungen an der Schnittstelle der beiden Schichten.

In Kombination mit einer Vorspannung kann diese Bauweise auch für extremste Beanspruchungen eingesetzt werden. Das Vorhalten von aufzunehmender Verformungsfähigkeit in Verbindung mit gesteigerten Materialverformungen ist eine ideale Antwort auf extremste Einwirkungen.

Im Bereich der Vorspannung sind neuste Entwicklungen soweit, auch kleinste Flächen mit geringstem Aufwand vorzuspannen. Damit wird das Spektrum erweitert von den grossen Flächen hin zu den Standardanwendungen, um die überragenden Vorteile der Vorspannung voll zu nutzen. Einzig die Vorspannung in Kombination mit Glasfasern ermöglicht sowohl tragende als auch dichte Konstruktionen. Vorerst als Anwendung für spezielle Auffang- und Umschlagflächen gedacht, eröffnet sich ein neuer Markt für die Bodenplatten dichter Kellergeschosse von Einfamilienhäusern.

LITERATUR

[1] G. Lohmeyer: Betonböden im Industriebau - Hallen und Freiflächen; Schriftenreihe der Baubereitung Zement

[2] Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen; Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 416

[3] DAfStb-Richtlinie Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, September 1996

[4] J-D. Wörner, St. Deuser: Oberflächennahe Textilbewehrung im Stahlbetonbau, Bauen mit Textilien Heft 1, 1998

[5] SIA, Schweizer Ingenieur und Architekt Nr. 19, 1991

[6] DAfStb-Seminar: Sicherheit von Betonkonstruktionen technischer Anlagen für umweltgefährdende Stoffe, Berlin 1995