

GESTALTEN  
MIT  
**BETON**

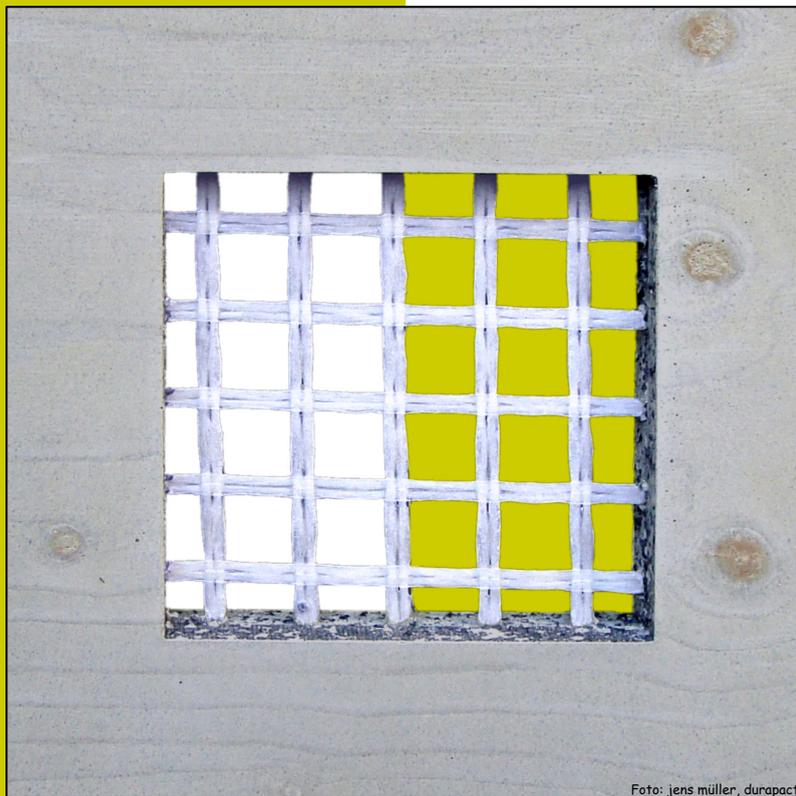


Foto: jens müller, durapact

**WERKANLEITUNG**  
**TEXTILBETON**

**SVEN BACKSTEIN**

**GESTALTEN MIT BETON**

**WERKANLEITUNG  
TEXTILBETON**



Sven Backstein

Herzlich willkommen, lieber Leser. Mit dieser Heftreihe „Gestalten mit Beton“ möchte ich Interessierte mit und ohne Vorkenntnisse an das fachgerechte Arbeiten mit dem Werkstoff Beton jenseits der am Bau üblichen Anwendungen heranführen. Als Ingenieur, Unternehmer und freischaffender Künstler gestalte ich selbst seit vielen Jahren Kunst- und Designobjekte aus Beton und bin von den unendlichen Möglichkeiten dieses außergewöhnlichen Materials nach wie vor fasziniert. Mein Wissen darüber gebe ich regelmäßig in Betonworkshops an Schüler weiter. Mit dem Lehrbuch „Kunst aus Beton“ und meinen Seminaren auf Video und in Heftform spreche ich auch die an, die den weiten Weg zu einem Workshop in meiner Werkstatt nicht auf sich nehmen und lieber im Selbststudium den kreativen Umgang mit Beton erlernen möchten.

Das vorliegende Heft ist eine Einführung in die Arbeit mit textilen Betonbewehrungen. Es gibt wichtige Antworten auf alle relevanten Fragen, die sich dem nicht versierten Anwender zu dieser noch jungen Technologie stellen. Es soll Mut machen, das enorme Potenzial gestalterischer Möglichkeiten auszuschöpfen und bei der Auswahl, Dimensionierung und Verarbeitung von Betontextilien zielsicher das Richtige zu tun.

## Übersicht

Textilbeton ist eine Verbindung aus Textilien und Beton. Um Textilbeton herzustellen, legt man beim Betonieren Gewebe oder Gewirke aus dünnen Garnfasern – also Textilien – in die Betonmasse ein. Die eingelegten Textilien dienen dem Beton nach dem Abbinden als Bewehrung, so wie das sonst die Stahlstäbe und -gitter im Stahlbeton tun. Man ersetzt also ganz einfach den Stahl durch Textilien. Üblicherweise besteht eine textile Bewehrung aus Glasfasern, Carbonfasern oder Basalfasern.

Wichtig für die Wirksamkeit einer solchen Bewehrung ist, dass es sich tatsächlich um Textilien handelt und nicht nur um kurze Einzelfasern oder Faserbündel, die regellos im Beton verteilt sind. Dann hätte man es nämlich nicht mit Textilbeton, sondern mit Faserbeton zu tun, und damit lassen sich nicht annähernd so hohe Festigkeiten erzielen wie mit Textilbeton.

Es gibt eine Reihe von Anwendungen, bei denen die Textilbewehrung gegenüber einer klas-

sischen Stahlbewehrung Vorteile bringt. Das sind vor allem dünnwandige und schalenförmige Teile aus Beton, die durch eine textile Bewehrung überhaupt erst möglich werden. Textilien können nämlich mit minimaler Überdeckung verarbeitet werden, d.h. die Bewehrung darf ganz dicht unter der Betonoberfläche liegen. Bei Stahl wäre das nicht erlaubt, weil er dann rosten könnte. Außerdem schmiegt sich die Textilbewehrung leicht an gekrümmte Konturen an. Ihre besonderen Eigenschaften machen sie zur ersten Wahl bei Möbeln, Tischplatten und Lampenschirmen aus Beton. Weitere typische Anwendungen sind dünne Fassadenplatten sowie das dünn-schichtige Überbetonieren vorhandener Betonsubstanz mit dem Ziel der Verstärkung oder Ertüchtigung.

Anders als Stahl werden Textilien in der Regel nicht schon vorab, sondern erst während des Betoniervorgangs in den Beton eingebracht. Das erspart erheblichen Aufwand und ermöglicht rationellere Arbeitsabläufe. Da sich auch der Zuschnitt von Textilien sehr einfach gestaltet, ist bei der Verarbeitung an tech-

nischer Ausrüstung kaum mehr als eine Schere erforderlich. Die für Stahlbewehrungen üblichen Aufhängungen und Abstandhalter erübrigen sich. Aus diesen Gründen sind Textilbewehrungen auch für weniger versierte Laien und Hobbyisten sehr gut beherrschbar.

## Wozu Bewehrung?

Beton ist ein Werkstoff, der sehr hohe Druckbelastung aushalten kann, unter geringer Zugbelastung aber leider schon versagt. Zur Veranschaulichung: Die Druckkraft die man braucht, um einen Betonwürfel zu zerquetschen, beträgt etwa das Zehnfache der Zugkraft, die ausreicht, um denselben Würfel in zwei Stücke zu zerreißen.

Je nach Art der Belastung (Druck oder Zug) ist Beton also unterschiedlich stark belastbar. Das ist ein großer Nachteil bei einem Werkstoff, den man für konstruktive Zwecke gebrauchen möchte. Um diesen Nachteil auszugleichen, gibt es die Bewehrung. Sie besteht, anders als der Beton, aus einem Werkstoff, der



Foto: paulsberg.co

Der Clubsessel Spurt aus dem Designstudio Paulsberg zeigt eindrucksvoll, welche gestalterischen Möglichkeiten in Textilbeton stecken. Hier wurde Carbonfasertextil in Kombination mit hochfestem Beton verwendet.

besonders gut hohen Zugbelastungen standhalten kann. Fest eingebettet in den Beton übernimmt die Bewehrung bei Zugbelastung die tragende Rolle und sorgt dafür, dass der Beton nicht zerreißt. Bei Druckbelastung hingegen übernimmt die tragende Rolle der Beton.

Damit diese Arbeitsteilung zwischen den Partnern Beton und Bewehrung auch wirklich funktioniert, müssen beide Partner so innig und starr wie möglich miteinander verbunden sein. Es kommt also sehr darauf an, eine feste und durchgehende Verbindung zwischen Beton und Bewehrung zu schaffen.

Die Aufgabe des Verarbeiters besteht nun darin, die Stellen zu kennen, an denen der Beton auf Zug belastet wird und dort die Bewehrung so einzubringen, dass sie „unzertrennlich“ mit dem Beton verbunden ist. Aber natürlich funktioniert das Ganze auch nur dann, wenn die Bewehrung aus dem richtigen Material besteht.

## Textilien

Die einzelnen Fäden, aus denen sich eine textile Bewehrung zusammensetzt, werden als Rovings bezeichnet und bestehen ihrerseits aus vielen sehr dünnen,

endlos langen Einzelfasern, den sogenannten Filamenten. Der Roving ist also ein Strang aus parallel verlaufenden feinsten Filamenten, deren Anzahl typischerweise zwischen 1.000 und 24.000 liegt und deren Durchmesser nur etwa ein Hundertstel Millimeter beträgt.

Mit den Geweben die man vom Laminieren mit Polyester oder Epoxidharz her kennt, lässt sich eine textile Betonbewehrung kaum vergleichen. Denn anders als ein Reaktionsharz dringt Beton nicht hauptsächlich durch Kapillarwirkung, sondern durch seine Fließfähigkeit in die Bewehrung ein. Aufgrund dessen sind

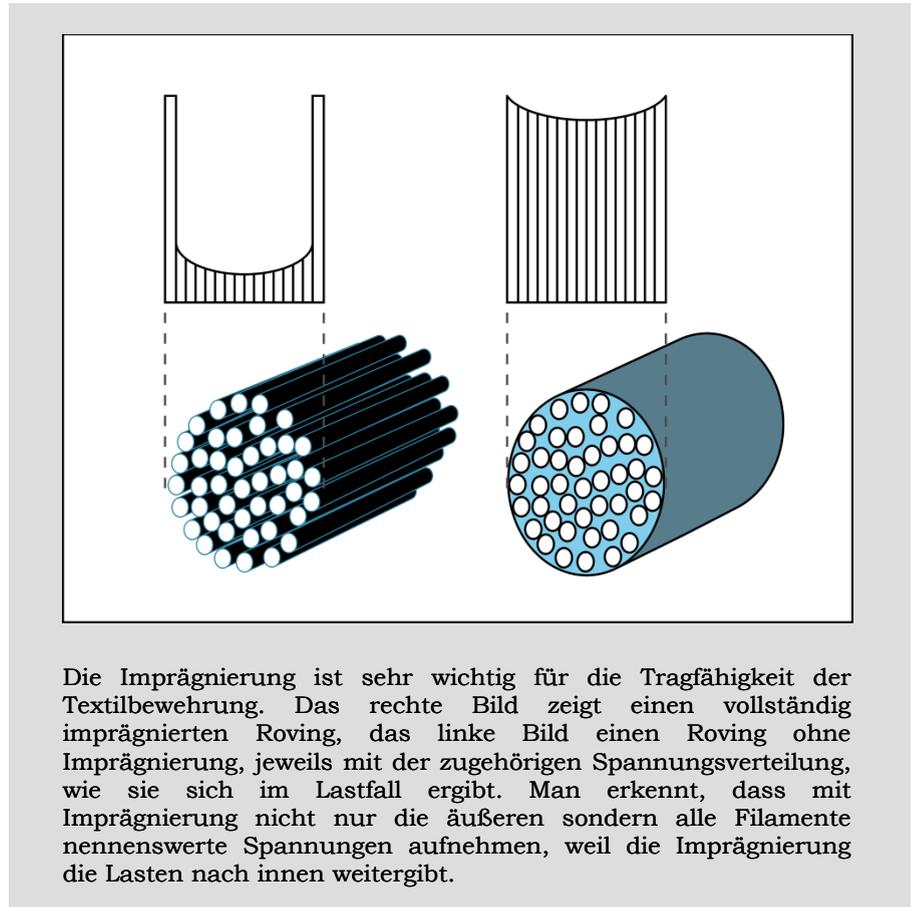
die Textilien für Beton in Art und Aussehen gänzlich anders als die für Harzsysteme.

Beim Betonieren im Gussverfahren wird die Bewehrung von Beton durchflossen, um später fest im erhärteten Beton eingebettet zu sein. Dabei wird, anders als bei einem Harz, vom Beton immer nur der Roving als Ganzes und nicht jedes einzelne seiner Filamente umschlossen. Es kommen also nur die wenigen außen liegenden Filamente in direkten Kontakt mit dem Beton, während die Mehrzahl der Filamente, die sich ja im Inneren des Rovings befindet, nur indirekt eingebettet ist.

Das ist natürlich nicht akzeptabel, denn wie bereits erwähnt, ist für eine effiziente Bewehrung gerade die möglichst innige und durchgehende Verbindung zwischen Beton und Bewehrungsmaterial wichtig. Um das Problem zu lösen, ist der Roving mit einer Imprägnierung getränkt, welche die Aufgabe hat, die einwirkenden Zuglasten möglichst gleichmäßig auf alle Filamente zu verteilen. Erst durch diese Maßnahme lässt sich die Tragkraft sämtlicher Filamente weitestgehend nutzen. Die Imprägnierung spielt hier also die entscheidende Rolle und verkörpert folglich auch einen wesentlichen Anteil des Know-hows, das in einer textilen Betonbewehrung steckt.

Durch die Imprägnierung ist eine Textilbewehrung für Beton immer vergleichsweise steif und lässt sich in schwereren Qualitäten auch nicht auf Rollen wickeln.

Eine Besonderheit stellen solche Textilien dar, die für die Verarbeitung im Laminierverfahren konzipiert sind. Hier wird auf die Imprägnierung teilweise oder ganz verzichtet, wodurch die textilen Gewebe oder Gelege weniger steif sind und sich folglich bei der Verarbeitung besser an gekrümmte und gewölbte Flächen anschmiegen lassen. Um



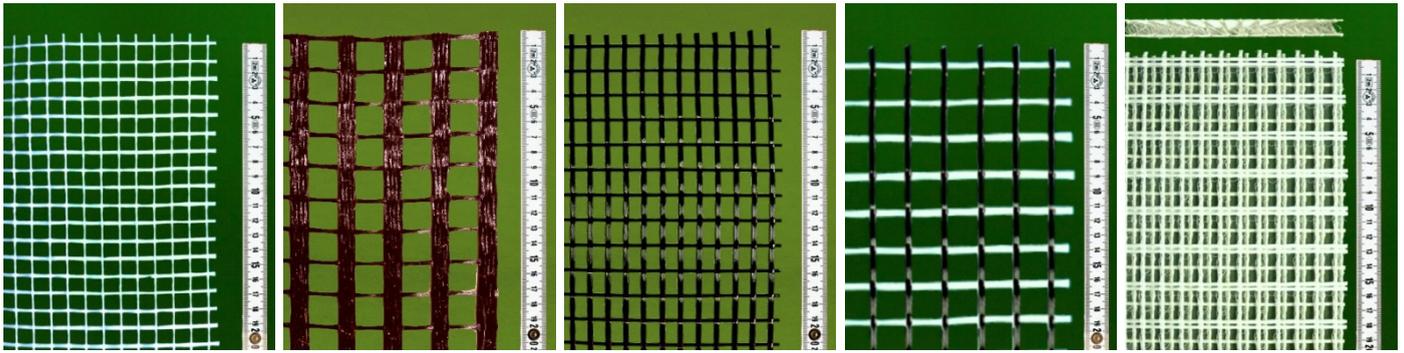
dabei dennoch eine gute Einbindung aller Filamente in den Beton zu erreichen, werden so genannte Kompaktierroller verwendet. Das sind flexible Handwalzen, mit denen das Textil intensiv bearbeitet wird, um den Zementleim des Frischbetons durch Kapillarwirkung vollständig eindringen zu lassen. Ob dadurch das Textil tatsächlich durch und durch mit Zementleim getränkt wird, liegt im Geschick des Verarbeiters.

## Materialpaarung

Bei der Materialauswahl für die Bewehrung ist vor allem auf gute Verträglichkeit mit dem Beton zu achten, denn Beton und Bewehrung sollen ja später als Partner optimal zusammenarbeiten. Genauer gesagt: Der Beton soll die Drucklasten und die Bewehrung soll die Zuglasten übernehmen, und das über einen möglichst langen Zeitraum, ohne dass einer

der beiden Partner versagt, sich auflöst oder den anderen beschädigt.

Damit das funktioniert, darf die Bewehrung im Beton nicht durch Korrosion angegriffen werden. Sonst könnte sie unter Last versagen, und es droht außerdem die Zerstörung des Betons durch Treibwirkung. Eine solche entsteht, wenn die Zersetzung der Bewehrung mit einer Volumenzunahme Verbunden ist. So benötigt beispielsweise rostender Stahl mehr Platz im Beton als ungerosteter Stahl. Es ergibt sich ein hoher Druck im Inneren des Betons, durch den Teile der Betonoberfläche abgesprengt werden. Ähnlich ist es bei einer Bewehrung aus Glas oder Basalt, denn auch diese Stoffe können angegriffen werden. Um das zu verhindern sind Vorkehrungen nötig. Im Falle des Stahls besteht die Vorkehrung darin, ihn möglichst tief in den Beton einzu-



Einige typische textile Bewehrungen für Beton (von links nach rechts): AR-Glastextil 120g/m<sup>2</sup>, Basalttextil 550g/m<sup>2</sup>, Carbontextil 356g/m<sup>2</sup>, AR-Glas+Carbon-Mischttextil 213g/m<sup>2</sup>, AR-Glastextil zweilagig (3D) 1020g/m<sup>2</sup>

betten. Dann sorgt nämlich der hohe pH-Wert (die Alkalität) des Betons dafür, dass kein Rosten möglich ist. Ironischerweise wirkt aber ausgerechnet der hohe pH-Wert, welcher für den Stahl gut ist, auf Glas- und Basaltfasern

schädlich. Sie werden im alkalischen Milieu des Betons angegriffen. Diesem Angriff lässt sich auf unterschiedliche Arten vorbeugen. Erstens kann man auf Betonsorten mit besonders niedrigem pH-Wert zurückgreifen,

beispielsweise Betone auf Basis von CSA-Zement oder Tonerdezement. Zweitens kann man die Fasern mit einer schützenden Imprägnierung behandeln. Und drittens (nur bei Glas) kann man auf alkaliresistente Sorten zurückgreifen, die sogenannten AR-Gläser (AR = alkaliresistent). Von sich aus immun gegen jegliche Korrosion ist lediglich die Carbonfaser.

Doch allein der Korrosionsschutz reicht noch nicht aus. Ebenso wichtig ist, dass das elastische Verhalten der Bewehrung, also ihr E-Modul, zu dem des Betons passt. Man kann sagen: Je steifer desto besser. Denn eine steife Bewehrung kann dem Beton Lasten abnehmen, ohne sich dabei übermäßig zu verformen. So muss sich auch der Beton nur wenig verformen, im Idealfall so wenig, dass er nicht reißt. Eine zu weiche Bewehrung dagegen (denken wir uns ein Gummiseil) würde zwar dieselben Lasten tragen, sich dabei aber so stark dehnen, dass der Beton vorher schon in Stücke gerissen wäre.

### Infobox E-Modul



Viele Werkstoffe, so auch Beton, Stahl, Glas, Basalt und Carbon, verformen sich unter einer vorübergehend aufgetragenen Last, um danach wieder ihre alte Gestalt anzunehmen. Diese nicht bleibende Formänderung bezeichnet man als elastische Verformung. Man kann das mit dem Verhalten einer Zugfeder vergleichen, die sich dehnt, wenn man an ihr zieht und danach wieder genau auf ihre ursprüngliche Länge zurückfedert.

Bekanntlich gibt es verschiedene Arten von Zugfedern, nämlich Weiche, die sich schon durch geringen Zug weit dehnen lassen, und Steife, die sich selbst durch große Zugkraft nur wenig dehnen lassen. Zur Unterscheidung dieser Federn hat man die Federkonstante ‚C‘ eingeführt, was die Sache sehr einfach macht: Große Federkonstante = steife Feder, kleine Federkonstante = weiche Feder. Oder anders gesagt: Je größer ist die Federkonstante ‚C‘ ist, desto steifer ist die Feder.

Praktischerweise kann man ganz analog dazu auch jedem elastischen Werkstoff eine Federkonstante zuordnen, nur dass man anstelle von „Federkonstante“ den Begriff Elastizitätsmodul, kurz E-Modul, verwendet. Wieder gilt ganz einfach: Je größer der E-Modul ‚E‘, desto steifer ist der Werkstoff.

Natürlich gilt das Gesagte nicht nur für Zug- sondern auch für Druckbelastung. Der Werkstoff (oder die Feder) wird bei Zugbelastung elastisch gedehnt und bei Druckbelastung elastisch gestaucht.

## Kennwerte

Um verschiedene Qualitäten von textiler Bewehrung miteinander vergleichen und für den jeweiligen Zweck die richtige Qualität auswählen zu können, bedient man sich der folgenden Kennwerte:

### Werkstoff

Je nach Anforderung kommen in Beton Textilien aus Glasfasern (weiß), Carbonfasern (schwarz) oder Basaltfasern (braun) zur Anwendung.

Sofern Glas verwendet wird, muss es sich um alkaliresistentes Glas (AR-Glas) handeln, damit die Gefahr einer schädlichen Reaktion mit dem alkalischen Beton ausgeschlossen werden kann. Geeignet ist beispielsweise Natriumzirkon-silikatglas mit einem ZrO<sub>2</sub>-Gehalt von 15 – 20 %. Die Zugfestigkeit von AR-Glasfasern ist etwa viermal so hoch wie die von Baustahl.

Basaltfasern sind generell alkaliempfindlich und nicht wie Glas auch in alkaliresistenten Sorten erhältlich. Deshalb sind Bewehrungen aus Basaltfaser nur mit einer entsprechenden Imprägnierung für Beton geeignet. Zwar ist die Zugfestigkeit von Basaltfasern etwa achtmal so hoch wie die von Baustahl und damit doppelt so hoch wie die von AR-Glas, jedoch muss aufgrund der beschriebenen Alkaliempfindlichkeit bei Betonanwendungen von geringe-

ren Werten ausgegangen werden. Man liegt auf der sicheren Seite, wenn man die Zugfestigkeit von Basaltfasern in Beton um 10% höher als die von AR-Glasfasern ansetzt.

Carbonfasern sind nicht alkaliempfindlich und daher ohne Einschränkung für Beton geeignet. Die Zugfestigkeit von Carbonfasern ist etwa zehnmal so hoch wie die von Baustahl.

### Lagenzahl

Textile Bewehrungen werden einlagig (2D-Textil) oder auch zweilagig (3D-Textil) mit definiertem Abstand zwischen beiden Lagen hergestellt. Die zweilagigen Qualitäten werden vorrangig zum Betonieren dünner Platten eingesetzt. Sie erlauben ein sehr einfaches und zugleich präzises Einbringen der oberen und unteren Bewehrung in nur einem Arbeitsgang.

### Flächengewicht

Das Flächengewicht wird im g/m<sup>2</sup> gemessen und gibt an, wie viel Gramm ein Quadratmeter des Materials wiegt. Man nennt diese

Eigenschaft auch die Grammatur. Eine Bewehrung mit hoher Grammatur (schweres Material) hat naturgemäß eine höhere Tragfähigkeit als ein leichteres Material von ansonsten gleicher Art und selbstverständlich auch einen höheren Preis. Vergleicht man allerdings verschiedene Materialien untereinander, so stellt man fest, dass bei gleicher Grammatur Carbontextil erheblich tragfähiger ist als AR-Glastextil und dieses wiederum erheblich tragfähiger als eine Stahlbewehrung gleicher Grammatur.

### Spezifische Dichte

Die spezifische Dichte wird im g/cm<sup>3</sup> gemessen und gibt Aufschluss darüber, wie viel mal schwerer als Wasser das Material ist. Bei AR-Glas- und Basaltfaser beträgt der Zahlenwert etwa 2,7 und bei Carbonfaser etwa 1,8. Im Vergleich zu Beton, der etwa 2,3 mal so schwer ist wie Wasser, wiegt eine Glasfaserbewehrung also geringfügig schwerer und eine Carbonfaserbewehrung geringfügig leichter. Beim Betonieren mit fließfähigem Beton ist es von Vorteil, wenn die Bewehrung

Werkstoffeigenschaften	Beton	Baustahl	AR-Glasfaser	Basaltfaser	Carbonfaser
Druckfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	20 – 150	-	-	-	-
Zugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	2 – 25	310 – 630	1700	1870	4300
E-Modul [kN/mm <sup>2</sup> ]	30 – 80	215	72	88	250
Bruchdehnung [%]	0,01 – 0,03	18 – 26	2,5	1,4	1 – 1,7
Spezifische Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	2300	7860	2680	2700	1770
Gewichtspez. Preis [€/kg]	0,05 - 1	0,5 - 1	15 -30	6 - 12	40 - 80
Festigkeitsspez. Preis [€/kN km]	-	10 - 20	25 - 50	10 - 20	20 - 40
Hitzebeständigkeit [°C]	500	500	400	750	1000

eine ähnliche spezifische Dichte hat wie der Beton, denn so schwebt sie von allein im Beton und macht Abstandshalter in der Regel überflüssig. Zum Vergleich: Baustahl hat eine spezifische Dichte von  $7,9 \text{ g/cm}^3$  und ist damit so schwer, dass er in fließfähigem Beton auf den Boden absinkt.

### Maschenweite

Die Maschenweite wird in mm angegeben und bezeichnet den lichten Abstand zwischen den Rovings. Sie beträgt typischerweise 10 bis 30 mm. Im Vergleich zu Baustahlmatten, deren Maschenweite das Zehnfache beträgt, ist eine textile Betonbewehrung also äußerst feinmaschig. Es ist wichtig, dass die Maschenweite zur Korngröße und Fließfähigkeit des Betons passt, damit der Beton ungehindert durch die Bewehrung hindurchfließen und seinen Bestimmungsort erreichen kann. Deshalb ist bei Textilbeton die empfohlene Korngröße mit weniger als 2 mm sehr viel feiner als sonst am Bau üblich.

### Faserquerschnittsfläche

Die Faserquerschnittsfläche wird in  $\text{mm}^2/\text{m}$  angegeben und ist ähnlich wie das Flächengewicht ein Maß für die Tragfähigkeit des Materials. Sie kann in Längs- und Querrichtung unterschiedlich groß sein. Genau genommen bezeichnet sie die Summe der Querschnittsflächen aller Filamente, die innerhalb eines Streifens von einem Meter Breite in der betreffenden Richtung verlaufen. Würde man also einen 1 Meter breiten Streifen des Materials zu einem Seil verdrillen, so gäbe die Faserquerschnittsfläche an, wie dick dieses Seil ist.

### Reißfestigkeit

Die Reißfestigkeit wird in  $\text{N}/5\text{cm}$  (Newton pro fünf Zentimeter) angegeben und bezeichnet die Kraft, die ein 5 cm breiter Streifen des Materials tragen kann, ehe er

reißt. Der Wert gilt unter idealen Bedingungen und für Material, welches noch nicht im Beton eingebaut ist. Man geht davon aus, dass nach dem Einbau gewisse Unsicherheiten bezüglich des idealen Verbunds mit dem Beton sowie möglicher negativer Wärme- oder Feuchteinflüsse zu berücksichtigen sind. Deshalb wird für die rechnerische Auslegung in der Praxis ein erheblich (bis zu 65%) geringerer als der hier angegebene Wert angesetzt, um in jedem Fall auf der sicheren Seite zu sein. Näheres hierzu auf Seite 12 und 13.

### Elastizitätsmodul

Der Elastizitätsmodul (kurz E-Modul) wird in  $\text{N}/\text{mm}^2$  angegeben und ist ein Maß für die elastische Verformung, die ein Werkstoff erfährt, wenn eine bestimmte Kraft auf ihn einwirkt. Eine Betonbewehrung sollte, wie oben schon erwähnt, einen möglichst hohen E-Modul haben, d.h. sie sollte eine hohe Zuglast aufnehmen können und sich dabei möglichst wenig dehnen.

### Hitzebeständigkeit

Die Hitzebeständigkeit gibt an, welchen Temperaturen die Bewehrung ausgesetzt sein darf ohne zu versagen. Die besten Werte erreicht Carbon mit bis zu  $1000^\circ\text{C}$  (bei entsprechender Imprägnierung), die schlechtesten Glas und Stahl mit 400 bis  $500^\circ\text{C}$ . Basaltfasern liegen mit bis zu  $750^\circ\text{C}$  im Mittelfeld.

### Bruchdehnung

Die Bruchdehnung gibt an um wie viel Prozent sich das Material dehnen lässt, bevor es reißt.

## Preisvergleich

Um die vier Werkstoffe Baustahl, AR-Glas, Basalt und Carbon preislich miteinander vergleichen zu können, muss man ihre unterschiedlichen spezifischen Dichten und Zugfestigkeiten berücksichtigen. Die zu stellende Frage

lautet: Wie viel kostet der laufende Kilometer (Tausend Meter) einer Bewehrung, die eine Last von 1 kN (Tausend Newton) tragen kann. Der ungefähre Marktpreis für Baustahl ist (Stand 1/2017) bei entsprechender Abnahmemenge ca. 10-20 €/kN km. Wie die Tabelle links zeigt, ist AR-Glas bezogen auf seine Tragfähigkeit deutlich teurer als Stahl. Basaltfaser ist erheblich preiswerter als AR-Glas und kann mit Stahl preislich durchaus konkurrieren. Mit ca. 20-40 €/kN km überraschend günstig liegt die vermeintlich teure Carbonfaser.

Man darf bei diesem Vergleich nicht außer Acht lassen, dass Baustahl ein lange eingeführtes Massenprodukt ist, während Textilbewehrungen noch Spezialprodukte und entsprechend teuer in der Herstellung sind. Mit dem derzeit stattfindenden Vormarsch von Glas- Basalt- und Carbonfasern im Baubereich lassen sich mittelfristig deutliche Preissenkungen erwarten.

Es sei noch angemerkt, dass in dem obigen Vergleich nur die Tragfähigkeiten der Werkstoffe im uneingebauten Zustand betrachtet wurden. Im eingebauten Zustand wird sich die Tragfähigkeit der Textilien erheblich reduzieren, wie auf den Seiten 12 und 13 im Abschnitt „Dimensionierung“ genauer ausgeführt wird.

## Zugbelastung

Um eine Vorstellung davon zu vermitteln, wie das Zusammenspiel von Beton und Bewehrung funktioniert soll der folgende einfache Fall betrachtet werden:

Ein senkrecht stehender, 1 m langer Stab aus Beton wird auf Zug belastet. Dazu wird er oben festgehalten und bekommt unten ein Gewicht angehängt. Sagen wir, der Stab ist rund und hat einen Durchmesser von 35,7 mm. Dann ist seine Querschnittsfläche genau  $1000 \text{ mm}^2$  groß. Sagen wir

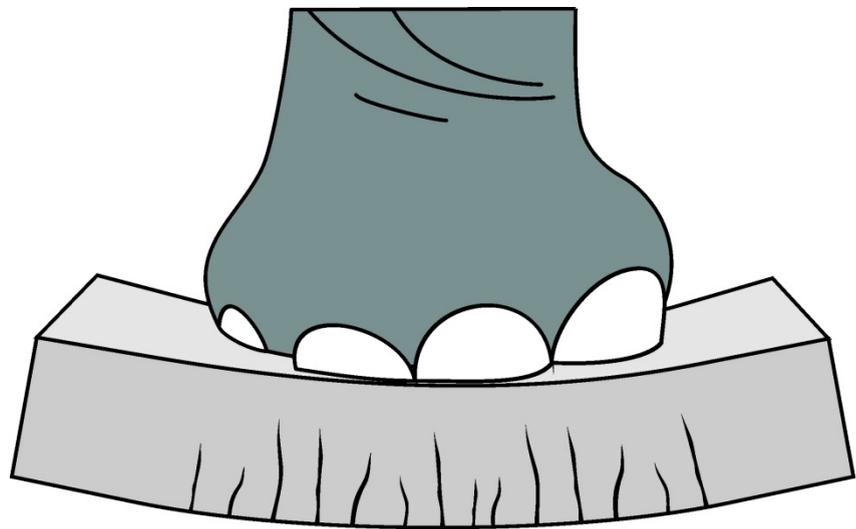
weiter, das angehängte Gewicht wiegt 10.200 kg also gute 10 Tonnen, dann wirkt eine Kraft von genau 100.000 N (hunderttausend Newton oder 100 kN). Teilt man nun die Kraft von 100 kN durch die Fläche von 1000 m<sup>2</sup>, so ergibt sich, dass im Beton eine Zugspannung von 100 N/mm<sup>2</sup> wirkt. Ein Blick in die Tabelle der Werkstoffeigenschaften auf S.6 verrät, dass die Zugfestigkeit von Beton aber nur zwischen 2 und 25 N/mm<sup>2</sup> liegt. Also würde der Betonstab in unserem Beispiel auf jeden Fall zerreißen, es sei denn, er hätte eine Bewehrung.

Natürlich wollen wir nicht, dass der Stab zerreißt, also geben wir ihm eine Bewehrung. Sagen wir, die Bewehrung sei aus Stahl. Der Stahl soll das angehängte Gewicht am besten ganz allein tragen können. Gemäß Tabelle liegt die Zugfestigkeit von Baustahl zwischen 310 und 630 N/mm<sup>2</sup>. Nehmen wir der Einfachheit halber einen mittleren Wert von 500 N/mm<sup>2</sup>. Jeder Quadratmillimeter Stahl kann also 500 Newton tragen. Da die Last 100.000 Newton beträgt, muss die Querschnittsfläche des Stahls 200 mm<sup>2</sup> groß sein (100.000 N ÷ 500 N/mm<sup>2</sup> = 200 mm<sup>2</sup>). Das bedeutet, dass ein Fünftel unseres Betonstabs aus Stahl bestehen muss, denn er hat ja eine Querschnittsfläche von 1000 mm<sup>2</sup>, von denen 200 mm<sup>2</sup> nun aus Stahl sind.

Der im Betonstab eingebettete Stahlstab mit 200 mm<sup>2</sup> Querschnittsfläche hätte einen Durchmesser von etwa 16 mm ( $\pi \div 4 \cdot 16 \text{ mm} \cdot 16 \text{ mm} = 201 \text{ mm}^2$ ).

Nun stellen wir uns die Frage, ob in unserem Fall der Beton Risse bekommen wird oder nicht. Dazu müsste sich der Stahlstab so weit dehnen, dass die Bruchdehnung des Betons überschritten wird. Laut Tabelle sind das 0,01 %. Die Frage lautet also genauer formuliert: Kann unser Stahlstab mit Querschnittsfläche 200 mm<sup>2</sup> eine Zuglast von 100 kN tragen, ohne sich dabei um mehr als

### Infobox Gerissener Beton



Im Laufe seines Lebens ist ein Betonteil fortwährend Zug- und Druckkräften ausgesetzt, welche elastische Verformungen bewirken. An den Stellen wo der Beton gedehnt wird, hilft die Bewehrung zwar, die Lasten zu tragen, sie verhindert aber nicht die Dehnung an sich. Wird ein bestimmtes Maß an Dehnung (Bruchdehnung) überschritten, so hört der Beton auf, sich elastisch wie eine Zugfeder zu verhalten und reißt stattdessen.

In der Regel lässt man es bei Bauanwendungen ganz bewusst zu, dass sich unter hoher Zuglast Risse im Beton bilden, solange es sich um fein verteilte Mikrorisse handelt. Diese Mikrorisse stellen keine Schädigung des Betons dar, denn sie beeinträchtigen nicht seine Fähigkeit, Druckkräfte aufzunehmen.

Ob es tatsächlich zu Mikrorissen kommt, hängt davon ab, wie hoch die im Gebrauch wirkenden Zug- oder Biegelasten sind. Solange sie unterhalb der Reißschwelle liegen, bleibt der Beton „jungfräulich“, d.h. ungerissen. Steigen sie einmal darüber hinaus, so ist der Beton ab diesem Zeitpunkt zwar gerissen, kann aber trotzdem weiterhin Drucklasten tragen, denn die Bewehrung hält ihn ja nach wie vor zusammen. Erst wenn die Lasten so groß werden, dass auch die Bewehrung reißt, ist das Betonteil zerstört.

Natürlich gibt es auch Fälle, in denen Risse im Beton nicht akzeptabel sind, seien sie auch noch so klein, zum Beispiel bei Maschinenbetten oder bei Klangkörpern aus Beton. Hier kommt es nämlich auf das Schwingungsverhalten des Werkstoffes an, und das ist bei gerissenem Beton anders als bei ungerissenem. Man verzichtet für solche Anwendungen in der Regel ganz auf die Bewehrung, wählt stattdessen einen Beton besonders hoher Festigkeit und dimensioniert das Betonteil so reichlich, dass alle auftretenden Zuglasten vom Beton selbst getragen werden können.

0,01 % zu dehnen. Die Antwort steckt im E-Modul des Stahls. Nach der Definitionsgleichung für den E-Modul ist

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

worin ‚E‘ den E-Modul bezeichnet, ‚σ‘ (sprich Sigma) die Zugspannung (Kraft pro Querschnittsfläche) und ‚ε‘ (sprich Epsilon) die Dehnung (Längenänderung pro Gesamtlänge). Setzt man darin unsere Zahlenwerte für Kraft,

Querschnittsfläche und Dehnung ein, so stellt man fest, dass der Stahl dann einen E-Modul von  $5000 \text{ kN/mm}^2$  haben müsste ( $100 \text{ kN} \div 200 \text{ mm}^2 \div 0,0001 = 5000 \text{ kN/mm}^2$ ). Laut Tabelle beträgt der E-Modul von Baustahl aber nur  $215 \text{ kN/mm}^2$ . Folglich könnte die gewählte Stahlbewehrung zwar die Last von gut 10 Tonnen tragen, nicht aber verhindern, dass es zu Mikrorissen im Beton kommt, weil die Dehnung dafür zu groß würde.

Stellt man weitere Berechnungen dieser Art an, tauscht dabei den Stahl gegen AR-Glasfasern, Basalt- oder Carbonfasern aus und variiert auch die Menge an Bewehrung, so gelangt man zu der Erkenntnis, dass der Beton in fast jedem „vernünftigen“ Fall Mikrorisse davontragen wird.

## Biegebelastung

Das wahre Leben ist leider noch etwas komplizierter als der idealisierte Fall einer reinen Zugbelastung. In der Praxis sind es vor allem Biegebelastungen, denen der Beton standhalten muss. Glücklicherweise kann man eine Biegebelastung immer in Druck- und Zugbelastungen zerlegen, aber dazu brauchen wir

zunächst einen kleinen Ausflug in die Statik.

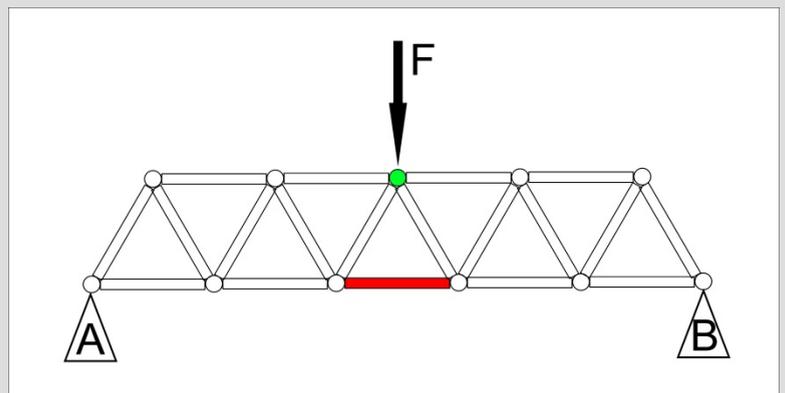
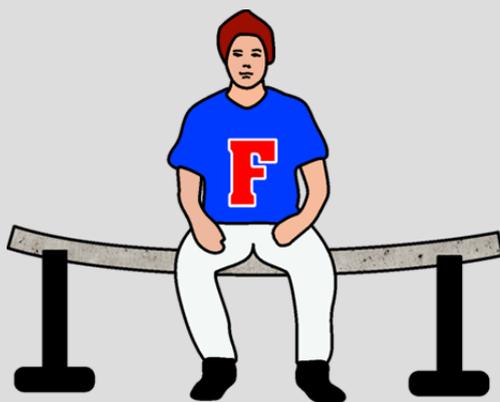
Man stelle sich einen Balken aus Beton vor, der an seinen Enden auf Stützen aufliegt und dazwischen frei tragend ist. Der Balken muss sein Eigengewicht und vielleicht auch noch das Gewicht einer Person tragen, die auf ihm sitzt. Unter dieser Last biegt sich der Balken nach unten durch, weshalb man von einer Biegebelastung spricht. Infolge der Biegung wird die Unterseite des Balkens gedehnt, was darauf schließen lässt, dass hier Zuglasten herrschen. Die Oberseite des Balkens hingegen wird gestaucht, hier herrschen Drucklasten. Da Beton bekanntlich eine hohe Druck- und geringe Zugfestigkeit besitzt, ist mit einem Materialversagen am ehesten auf der Balkenunterseite zu rechnen. In diesem Beispiel braucht der Beton also auf der Unterseite eine Bewehrung, welche die Zuglasten aufnimmt und verhindert, dass der Balken durchbricht.

Nun stellt sich die Frage, wie stark denn die Bewehrung gewählt werden muss, damit ein Bruch auf jeden Fall vermieden wird. So einfach wie in dem

vorherigen Beispiel mit reiner Zuglast ist es leider nicht, weil jetzt nicht nur Kräfte, sondern auch Hebelarme ins Spiel kommen.

Um das zu illustrieren, ersetzen wir in Gedanken unseren Betonbalken durch einen Fachwerkträger. Der besteht aus 19 einzelnen Stäben, die durch 11 Knotenpunkte miteinander verbunden sind. Wie im Bild unten dargestellt ruht der Träger auf den beiden Auflagern A und B, und es wirkt eine äußere Kraft ‚F‘. ‚F‘ steht für die Gewichtskraft der Person, die auf dem Balken sitzt. Weil alles schön symmetrisch ist, trägt jedes der Auflager genau die Hälfte dieser Kraft. Uns interessiert nun, welche Zugkraft in dem rot markierten Stab wirkt, denn dieser Stab repräsentiert die Bewehrung unseres Betonbalkens, der nicht durchbrechen soll.

Die gesuchte Kraft im rot markierten Stab bestimmen wir mit einem kleinen Trick. Dazu müssen wir in Gedanken die rechte Hälfte des Fachwerkträgers entfernen und durch die Kräfte ersetzen, welche sie auf die linke Seite des Fachwerkträgers aus-



Die Lasten, welche die Bewehrung zu tragen hat, lassen sich leichter berechnen, wenn man die Realität durch ein vereinfachtes Modell darstellt. Aus dem Betonbalken wird dabei ein Fachwerkträger, die Stützen werden zu den Auflagern A und B, und das Gewicht der sitzenden Person verkörpert der Kraftpfeil F. Das, was im Beton die Bewehrung tut, erledigt nun der rot markierte Fachwerkstab, dessen Belastung sich einfach ermitteln lässt.

übt. Die Bildfolge rechts veranschaulicht die einzelnen Zwischenschritte dieses Tricks.

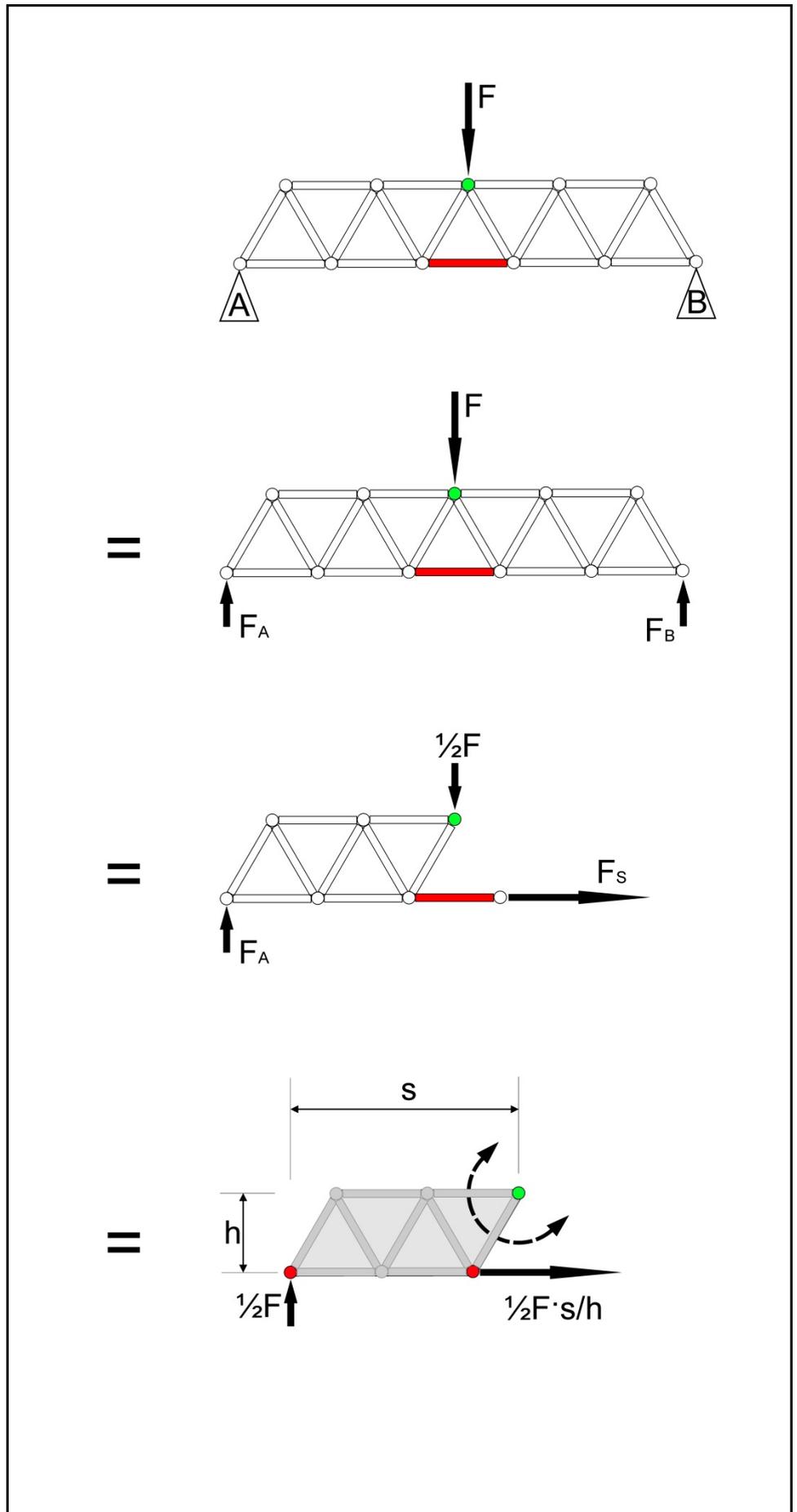
Am Ende reduziert sich damit unsere Aufgabenstellung auf die Frage, welche der angreifenden Kräfte eine Drehung um den grünen Knotenpunkt bewirken könnten.

Da die von oben wirkende Kraft  $F$  genau im grünen Punkt angreift, fehlt ihr der Hebelarm. Sie kann also den halbierten Träger nicht um den grünen Punkt in Drehung versetzen. Dazu sind nur die Kräfte  $F_A$  und  $F_S$  in der Lage.  $F_A$  ist die Stützkraft des Auflagers A, von der wir wegen der Symmetrie wissen, dass sie halb so groß ist wie die Kraft  $F$ , und  $F_S$  ist die gesuchte Zugkraft im roten Stab. Die von diesen beiden Kräften bewirkten Drehmomente müssen sich gerade gegenseitig aufheben, denn es findet ja keine Drehung statt. Da sich ein Drehmoment aus dem Produkt von Kraft und Hebelarm ergibt, braucht man noch die Längen  $h$  und  $s$  der beiden wirksamen Hebelarme. Die Beziehung

große Kraft · kleiner Hebelarm =  
kleine Kraft · großer Hebelarm

führt dann direkt zur gesuchten Kraft  $F_S$ , deren Größe  $\frac{1}{2} \cdot F \cdot s / h$  ist.

Auch wenn eine Festigkeitsberechnung bei Biegebelastung in der Praxis noch etwas anders abläuft, zeigt diese vereinfachte Betrachtung schon ein paar wichtige Zusammenhänge auf. Je höher die Kraft  $F$  und je größer der Abstand zwischen den Auflagern A und B ist, desto größer wird die Last im roten Stab, d.h. desto stärker wird die Bewehrung beansprucht. Hat man beispielsweise vor, eine Tischplatte aus Beton herzustellen, so lässt sich die Frage nach ausreichender Bewehrung nur beantworten, wenn bekannt ist, wie weit die Auflager im Tischuntergestell auseinander liegen und welche



Gewichte die Platte tragen soll. Und fast noch wichtiger ist der Einfluss der Höhe ‚h‘. Je kleiner sie wird (dünne Tischplatte) desto schwerer hat es die Bewehrung.

## Dimensionierung

### Vorbemerkung

Nun steht man irgendwann vor der konkreten Aufgabe, für ein bestimmtes Betonprojekt die richtige Bewehrung in der richtigen Menge zu wählen und an der richtigen Stelle im Beton zu platzieren. Wir unterscheiden in die folgenden drei Anwendungsfälle:

**Fall 1)** Tragende Konstruktionen, für die ein Festigkeitsnachweis geführt werden muss: Hier sind

schon aus Gründen der Zulassung und Gewährleistung Fachleute zuständig, die sich ohnehin auskennen. Wir können den Fall hier also ausklammern.

**Fall 2)** Künstlerische Anwendungen mit organischer (gewölbter) Formgebung: Hier lassen sich keine einfachen Rechenverfahren anwenden, weshalb die Dimensionierung meist nur „aus dem Bauch heraus“ erfolgen kann. Schon aus praktischen Gründen wird man bei gewölbten Flächen immer zu einem leichten und gut biegsamen Textil greifen, das dann mehrlagig verarbeitet werden muss. Es sind mindestens zwei bis drei Lagen erforderlich. Die Hauptrichtung der Textilbahnen sollte von Lage zu Lage

um 60° oder 90° gedreht werden. Benachbarte Bahnen sind um ca. 30 cm zu überlappen. Sofern doch eine genauere Berechnung verlangt wird, kann man sich der Finite-Elemente-Methode bedienen, für die aber in jedem Fall ein Fachmann gebraucht wird.

**Fall 3)** Einfache mobile Betonobjekte für den täglichen Gebrauch, wie z.B. Tischplatten, Lautsprechergehäuse, Sitzbänke, etc. Hier können die folgenden Ausführungen helfen, das Richtige zu tun.

### Vereinfachungen

Um die Sache überschaubar und auch für den Laien verständlich zu halten, wird im Folgenden nur die reine Biegebelastung betrach-

## Laminiertechnik

Bei künstlerischen Anwendungen mit frei geformten gewölbten Flächen muss das Textil biegsam und leicht formbar sein, damit es sich der Kontur gut anschmiegt. Hier wurde ein nicht imprägniertes spezielles Gelege verarbeitet, dessen Maschen sich gegeneinander verschieben lassen. Weil die Imprägnierung fehlt, kommt es sehr darauf an, den Beton sorgfältig in die Fasern einzumassieren, damit auch die im Inneren der Rovings liegenden Filamente so gut wie möglich erfasst werden. Ein weicher Gummwischer leistet dabei wertvolle Dienste. An manchen Stellen geht es nicht ohne Zuhilfenahme der Hände, natürlich unbedingt mit Gummihandschuhen geschützt. Das Objekt wurde mit insgesamt sechs Lagen Glasfasertextil bewehrt. Der Beton (GRUMO®) wurde mit der Putzmaschine lagenweise aufgespritzt. Die Gesamtwandstärke beträgt ca. 14 cm.



tet. Aspekte wie reiner Druck, reiner Zug, Torsion, Scherung und Knickung werden bewusst vernachlässigt, weil sie für die hier betrachtete Art von Anwendungen nicht wichtig sind. Sollte das im Einzelfall anders sein, so ist zur Sicherheit ggf. der Rat eines Fachmannes einzuholen.

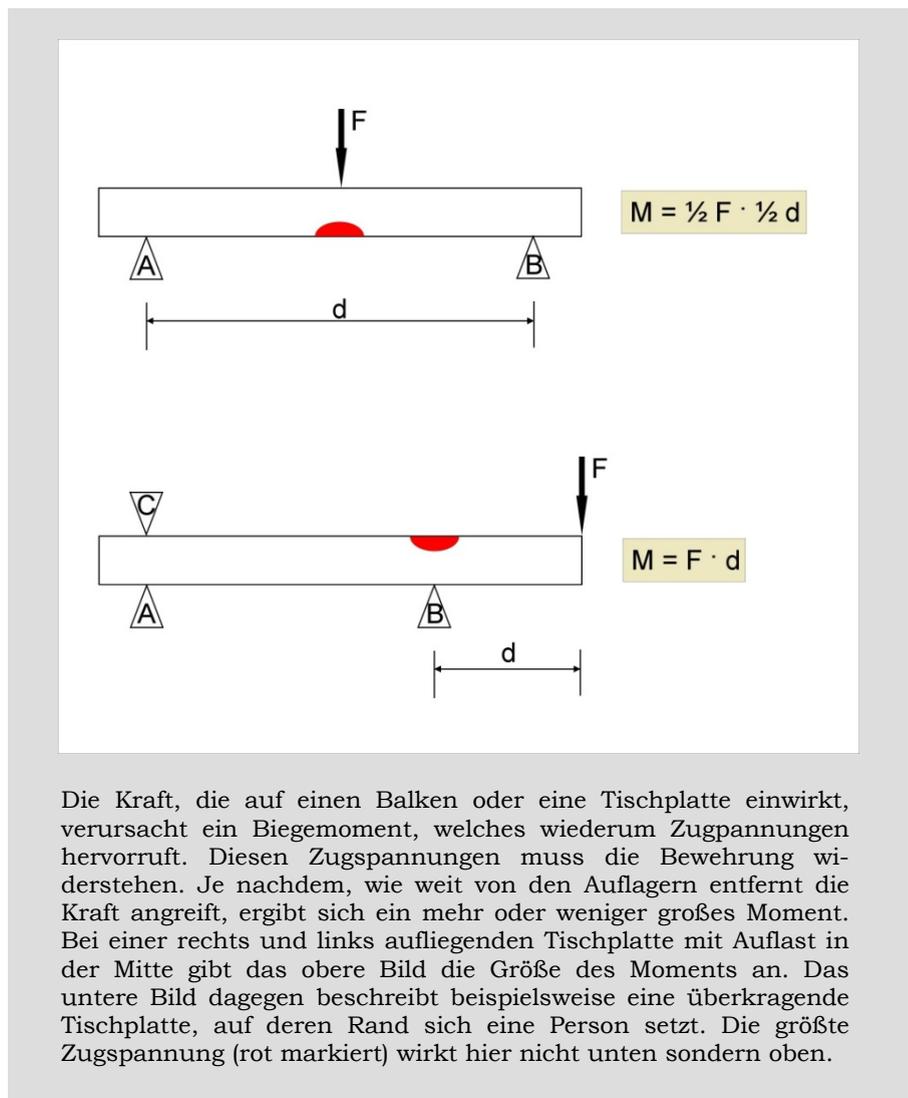
### Lastberechnung

Eine Biegelast (Biegemoment ‚M‘) ergibt sich immer aus dem Produkt von Kraft und Hebelarm. Um also zu bestimmen, welche Biegelast ein Betonteil auszuhalten hat, muss zunächst festgestellt werden, wie groß Kraft und Hebelarm im konkreten Fall sind. Das Bild rechts zeigt zwei typische Beispiele: Oben den Biegebalken auf zwei Stützen und darunter den sogenannten Kragbalken. Die Kraft ‚F‘ verursacht in beiden Fällen ein Biegemoment im Balken. In dem rot markierten Bereich herrschen jeweils die größten Zugspannungen als Folge dieses Biegemoments. Hier würde der Balken (oder die Tischplatte) also brechen, was die Bewehrung verhindern soll. Die Formel zur Berechnung des Moments ‚M‘ ist im Bild angegeben. Die Auflager A, B und C fixieren den Balken in seiner Position.

### Bemessung der Bewehrung

Wenn das Biegemoment ‚M‘ bestimmt ist, kann im nächsten Schritt auch bestimmt werden, wie viel an Bewehrung nötig ist. Wieder geht es um Kraft und Hebelarm, nur dass sich diesmal die Kraft aus Faserquerschnittsfläche ‚A‘ und Fasertension ‚σ‘ ergibt und der „innere“ Hebelarm aus der Lage der Bewehrung im Beton.

Das Bild auf der nächsten Seite zeigt einen dreidimensionalen Schnitt durch unseren Biegebalken. In der Schnittfläche gut zu sehen ist die eingebettete Bewehrung in Form von einzelnen Rovings (schwarze Punkte) mit ihren Querschnittsflächen ‚A<sub>1</sub>‘ bis ‚A<sub>s</sub>‘. Der wirksame innere Hebel-



arm ist ‚e‘. Jeder Roving kann einem Biegemoment widerstehen, das sich aus dem Produkt seiner Querschnittsfläche ‚A‘, seiner maximal zulässigen Fasertension ‚σ<sub>max zul</sub>‘ und seines Abstands ‚e‘ von der Betonaußenkante ergibt. Alle Rovings zusammen können die gesamte Biegelast tragen.

Aus der Breite ‚b‘, die unser Balken hat, und dem Abstand der Rovings voneinander ergibt sich die Anzahl der Rovings, die in einer Bewehrungslage untergebracht werden können. Folglich müssen diese beiden Größen auch noch in die Berechnung einfließen. Man verwendet praktischerweise die vom Hersteller angegebene Faserquerschnittsfläche in mm<sup>2</sup>/m, nennen wir sie einmal

‚Q‘. Damit ist die Gesamtquerschnittsfläche aller Rovings:

$$A_{\text{gesamt}} = Q \cdot b$$

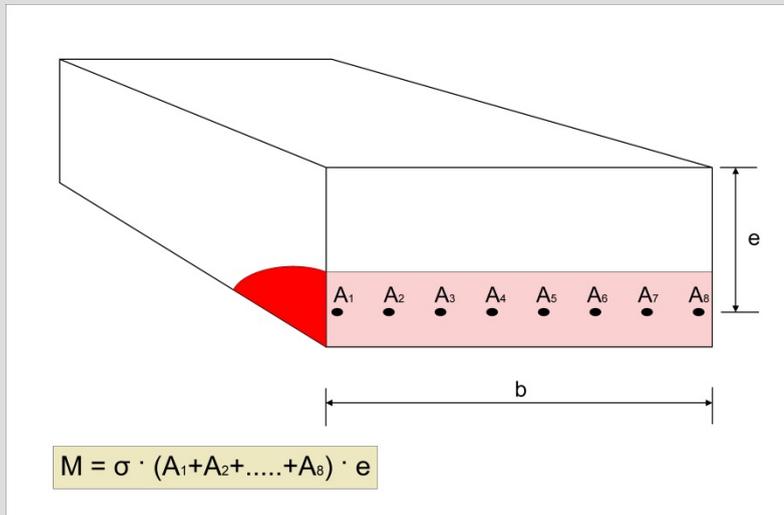
Und die Fasertension ist:

$$\sigma = \frac{M}{Q \cdot b \cdot e}$$

Nun muss nur noch überprüft werden, ob die berechnete Fasertension ‚σ‘ über dem maximal zulässigen Wert ‚σ<sub>max zul</sub>‘ liegt, und schon weiß man, ob die Bewehrung ausreichend ist oder nicht.

### Maximal zulässige Fasertension

Leider ist es nicht erlaubt, die in der Tabelle auf Seite 6 angegebenen Materialkennwerte für die Zugfestigkeit eins zu eins mit



Der Schnitt durch den Biegebalken zeigt die Anordnung der einzelnen Rovings ( $A_1$  bis  $A_8$ ) im Inneren. Sie werden an der Stelle gebraucht, wo die Zugspannung am größten ist (rot markierter Bereich). Die in den Rovings wirkenden Zugkräfte bewirken über den Hebelarm  $e$  ein inneres Moment  $M$ , welches dem von außen aufgebracht Moment genau entspricht. Ist die Größe dieses Moments bekannt, so ist auch die herrschende Zugspannung  $\sigma$  bekannt, und es kann festgestellt werden, ob sie den für das Material zulässigen Wert überschreitet. Tut sie das nicht, so ist der Nachweis der Tragfähigkeit erbracht.

den maximal zulässigen Faserspannungen gleichzusetzen. Es müssen Sicherheitsfaktoren eingerechnet werden, wodurch die nutzbaren Werte deutlich unterhalb der theoretisch möglichen Werte liegen. Hauptsächlich wird damit berücksichtigt, dass die einzelnen Filamente, aus denen sich der Roving zusammensetzt, nicht direkt im Beton eingebettet, sondern nur über die Imprägnierung an den Beton gebunden sind. Infolgedessen kann die Tragfähigkeit der Filamente im Inneren des Rovings nicht voll ausgeschöpft werden.

Wie groß die tatsächliche Belastbarkeit der Bewehrung im einbetonierten Zustand ist, lässt sich durch Zugversuche ermitteln. Entsprechende Zugversuche an Carbonfaserproben haben in einer Untersuchung der Technischen Universität Dresden gezeigt, dass nur etwa ein Drittel

der Zugfestigkeit praktisch nutzbar ist. Um daraus für einen rechnerischen Festigkeitsnachweis ganz und gar zuverlässige Grenzwerte abzuleiten, müssen über Abminderungsfaktoren zusätzliche Unsicherheiten berücksichtigt werden. Auf diese Weise ergibt sich am Ende die sogenannte Bemessungsfestigkeit, die zwar nur etwa ein Fünftel der Zugfestigkeit gemäß Herstellerangabe beträgt, dafür aber ausreichende Sicherheit beinhaltet.

Um an dieser Stelle nicht tiefer in Details einsteigen zu müssen, sei der Einfachheit halber angenommen, dass die von uns gesuchte maximal zulässige Faserspannung  $\sigma_{\text{max zul}}$  immer ein Fünftel der vom Hersteller angegebenen Materialzugfestigkeit beträgt, unabhängig davon, ob es sich um AR-Glasfasern, Basalt- oder Carbonfasern handelt.

## Tischplatte

Nehmen wir den praktischen Fall einer Tischplatte auf zwei Böcken. Wir wollen wissen, welche Bewehrung erforderlich ist, damit die Platte unter Last nicht bricht.

Dafür müssen wir die Biegebelastung kennen, die der Tisch aushalten soll. Sagen wir, die Stützböcke haben einen Abstand  $d$  von 2 m und die Tischplatte soll eine Masse  $m$  (Gewicht) von 500 kg tragen können. Bekanntlich ist:

$$F = m \cdot g$$

was bedeutet, dass wir die Masse  $m$  mit der Erdbeschleunigung  $g$  ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ) multiplizieren, um an die Kraft  $F$  zu kommen. Die einwirkende Kraft beträgt demnach 4905 Newton ( $500 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 4905 \text{ N}$ ). Wie weiter oben schon erklärt, müssen wir die Hälfte der Kraft  $F$  mit der Hälfte des Abstands  $d$  multiplizieren, um in Plattenmitte das Biegemoment  $M$  zu bestimmen. Es ergibt sich ein Biegemoment von 2452,5 Nm ( $4905 \text{ N} \cdot 2 \text{ m} \div 4 = 2452,5 \text{ Nm}$ ).

Wir wollen die Platte möglichst dünn halten und haben uns deshalb für eine Plattendicke von nur 3 cm entschieden. Da die Last von oben drückt, muss die Bewehrung auf der Unterseite der Platte eingelegt werden, denn hier wirken die Zugspannungen. Wir betten die Bewehrung so ein, dass sie 1 cm Abstand zur Plattenunterseite und 2 cm Abstand zur Plattenoberseite hat. Damit beträgt der innere Hebelarm  $e$ , also der Abstand zwischen den Rovings und der Betonaußenkante (Plattenoberseite), 2 cm. Jetzt fehlen uns nur noch die Tischbreite  $b$  und die Faserquerschnittsfläche  $Q$ , um aus der schon bekannten Gleichung

$$\sigma = \frac{M}{Q \cdot b \cdot e}$$

die Faserspannung  $\sigma$  zu bestimmen. Sagen wir, der Tisch ist 1 m breit, und wir haben uns für eine

Bewehrung aus AR-Glasfaser (Typ 66, siehe Tabelle unten) mit einer Faserquerschnittsfläche in Längsrichtung von  $106 \text{ mm}^2/\text{m}$  entschieden. Dann ergibt sich daraus die Faserspannung zu  $1156,8 \text{ N/mm}^2$  ( $2452,5 \text{ Nm} \div 106 \text{ mm}^2/\text{m} \div 1 \text{ m} \div 0,02 \text{ m} = 1156,8 \text{ N/mm}^2$ ).

Gemäß Tabelle liegt die Garnzugfestigkeit von AR-Glasfasern bei  $1700 \text{ N/mm}^2$ . Leider können wir aber aus Sicherheitsgründen nur ein Fünftel davon nutzen, also beträgt unsere maximal zulässige Faserspannung  $340 \text{ N/mm}^2$ . Das bedeutet, dass die berechnete tatsächliche Faserspannung von  $1156,8 \text{ N/mm}^2$  zu hoch wäre. Das Glasfasertextil vom Typ 66 können wir also nicht nehmen.

Wir geben aber noch nicht auf. Da Carbonfasern tragfähiger sind als AR-Glasfasern, machen wir einen zweiten Versuch mit dem Carbontextil vom Typ 214. Nach der Tabelle hat das Material eine Faserquerschnittsfläche in Längsrichtung von  $141 \text{ mm}^2/\text{m}$ . Daraus ergibt sich die tatsächliche Faserspannung zu  $869,7 \text{ N/mm}^2$  ( $2452,5 \text{ Nm} \div 141 \text{ mm}^2/\text{m} \div 1 \text{ m} \div 0,02 \text{ m} = 869,7 \text{ N/mm}^2$ ). Die Garnzugfestigkeit von Carbonfaser liegt bei  $4300 \text{ N/mm}^2$ . Wir nutzen wieder nur ein Fünftel davon und kommen auf einen Wert für die maximal zulässige Faserspannung von  $860 \text{ N/mm}^2$ , was nahezu perfekt zu unserer tatsächlichen Faserspannung von  $869,7 \text{ N/mm}^2$  passt. Das Carbontextil vom Typ 214 ist also in

unserem Fall das Richtige.

## Platzierung

In dem obigen Beispiel haben wir uns auf nur einen Lastfall beschränkt, nämlich den Fall, dass die Last in der Tischmitte von oben wirkt und folglich die Platte nach unten durchgedrückt wird. Wäre die Lastrichtung umgekehrt, so müsste die Bewehrung nicht nahe der Plattenunterseite, sondern nahe der Plattenoberseite platziert werden. Beispielsweise ist das der Fall bei einer überkragenden Tischplatte, wenn sich eine Person auf die Tischkante setzt.

Um auf beide Lastrichtungen vorbereitet zu sein, ist es üblich,

Auswahl Betontextilien	Typ 11	Typ 33	Typ 55	Typ 66	Typ 111	Typ 214	Typ 51/11
Material längs/quer	AR-Glas	Basalt	Carbon	AR-Glas	AR-Glas /Carbon	Carbon	AR-Glas /Carbon
Lagenanzahl	1	1	1	1	1	1	2
Lagenabstand [mm]	-	-	-	-	-	-	10
Flächengewicht [g/m <sup>2</sup> ]	120	225	149	612	213	346	302
Spez. Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	2,68	2,7	1,81	2,68	1,98	1,77	2,33
Maschenweite längs [mm]	10	35	23	12	23	10	23/23
Maschenweite quer [mm]	10	28	23	12	21,5	14	23/23
Faserquerschnittsfl. längs [mm <sup>2</sup> /m]	17	42	34	106	74	141	35/18
Faserquerschnittsfl. quer [mm <sup>2</sup> /m]	17	42	34	99	17	28	18/18
E-Modul längs/quer [kN/mm <sup>2</sup> ]	72	90	250	72	250/72	250	250/72
Garnzugfestigkeit längs/quer [N/mm <sup>2</sup> ]	1700	1870	4300	1700	4300 /1700	4300	4300 /1700

sowohl oben als auch unten jeweils eine Bewehrung einzubauen. Man ist immer bestrebt, die Bewehrung möglichst dicht unter der Oberfläche zu platzieren, weil damit der innere Hebelarm, also der Abstand zur gegenüberliegenden Seite, möglichst groß wird. Allerdings besteht die Gefahr, dass sich die Bewehrung später als Schattmuster an der Oberfläche abzeichnet, wenn sie nicht mindestens 1 cm tief im Beton liegt.

Eine sehr dünne Platte aus Beton benötigt eine erheblich stärkere Bewehrung als eine dicke Platte, weil sie naturgemäß einen kleineren inneren Hebelarm besitzt. Hier kommt es darauf an, die Bewehrung sehr präzise zu

platzieren, um beim Hebelarm keine wertvollen Millimeter zu verschenken. Wenn die Platte sowohl oben als auch unten bewehrt werden soll, muss auch der Abstand zwischen beiden Lagen möglichst exakt eingehalten werden. Speziell für diesen Zweck sind die zweilagigen Textilbewehrungen (3D-Textil) entwickelt worden, welche die Arbeit sehr vereinfachen (siehe Seite 16).

## Ränder & Stöße

Wo eine textile Bewehrung aus mehreren Stücken zusammengesetzt ist, müssen die Stücke sich um ca. 30 cm überlappen. Beim zweilagigen 3D-Textil werden die Stöße durch Auflegen von einlagigem Textil jeweils auf Vorder-

und Rückseite überbrückt.

Die Bewehrung muss nicht ganz bis zum Rand des Betonteils reichen. Es genügt, einen Randabstand von 2 bis 5 cm einzuhalten.

## Betonwahl

Textile Bewehrungen lassen sich in jeder Art von Beton anwenden. Allerdings ist es wichtig, bei der Betonauswahl darauf zu achten, dass der Beton für die gewählte Bewehrung nicht zu grobkörnig ist. Das Größtkorn sollte nicht größer als ein Viertel der Maschinenweite sein.

Außerdem muss der Beton eine ausreichende Druckfestigkeit haben, um bei Biegebelastung nicht

## Betonrechner

Eine praktische Hilfe bei der Auswahl und Dimensionierung der textilen Bewehrung ist der Online-rechner im Moertelshop (<http://www.moertelshop.com/Betonrechner>). Das Rechenwerkzeug basiert auf den hier vorgestellten Formeln und ist sehr einfach zu bedienen.

**Betonrechner**

Rechner für 2-D Textilbewehrung

**BETONRECHNER - Lastberechnung 2D-Textilbewehrung (Biegelast):**

Ausrichtung der Bewehrung =

Spannweite d =  mm, Plattenbreite b =  mm

Plattendicke h =  mm, Überdeckung r =  mm **BERECHNEN**

Ausrichtung der Bewehrung: längs zur Plattenlängsachse

Dimensionen: d = 2000 mm, b = 1000 mm, h = 30 mm, r = 10 mm

- Bei Bewehrung **Typ 11 (AR-Glas, 120 g/m<sup>2</sup>, 2D)** kann die Platte ein Gewicht von 23 kg tragen.
- Bei Bewehrung **Typ 33 (Basaltfaser, 250 g/m<sup>2</sup>, 2D)** kann die Platte ein Gewicht von 70 kg tragen.
- Bei Bewehrung **Typ 55 (Carbon, 149 g/m<sup>2</sup>, 2D)** kann die Platte ein Gewicht von 122 kg tragen.
- Bei Bewehrung **Typ 66 (AR-Glas, 612 g/m<sup>2</sup>, 2D)** kann die Platte ein Gewicht von 146 kg tragen.
- Bei Bewehrung **Typ 103 (Basaltfaser, 550 g/m<sup>2</sup>, 2D)** kann die Platte ein Gewicht von 236 kg tragen.
- Bei Bewehrung **Typ 111 (AR-Glas + Carbon, 213 g/m<sup>2</sup>, 2D)** kann die Platte ein Gewicht von 259 kg tragen.
- Bei Bewehrung **Typ 214 (Carbon, 356 g/m<sup>2</sup>, 2D)** kann die Platte ein Gewicht von 494 kg tragen.
- Bei Bewehrung **Typ 2121 (Carbon, 580 g/m<sup>2</sup>, 2D)** kann die Platte ein Gewicht von 501 kg tragen.

Bei dieser Angabe handelt es sich um einen unbedingten Nennwert. Dabei sind sorgfältige Ausführung und geeignete Betonauswahl vorausgesetzt. Es wird keine Gewähr für die Richtigkeit der Ergebnisse übernommen. Im Zweifelsfall wenden Sie sich an einen Baustatiker.

**Zuletzt angesehen**

Typ 214, Carbonfasertextil, 356 g/m<sup>2</sup>  
ab **44,10 € \***  
70,56 € pro 1 m<sup>2</sup>



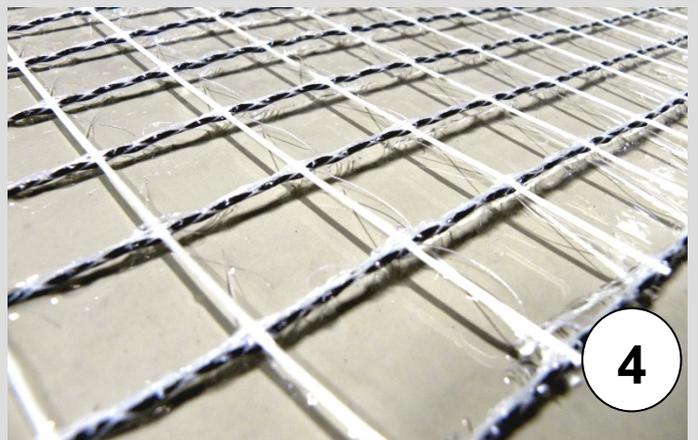
*Beispiel A:* Für die Schalung wird hier Glas verwendet, um der Betonplatte eine spiegelglatte Oberfläche zu verleihen. Bei der Vorbereitung ist es wichtig, die Gussform mit Hilfe einer Wasserwaage genau waagrecht aufzustellen.



Zunächst wird eine etwa 1 cm dicke Schicht Beton (hier MOBY DUR®) eingegossen. Als Trennmittel für die Glasunterlage dient in diesem Fall Teflonspray.



Auf die dünne Betonschicht wird die Textilbewehrung aufgelegt. Die Wahl fiel hier auf ein 3D-Textil, weil die Betonplatte später nur 2,5 cm dick und sowohl von unten als auch von oben auf Biegung belastbar sein soll.



Das Textil besteht aus zwei Lagen, von denen die untere nun in den Beton einsinkt, während die obere herausschaut. Damit ist es genau in der gewünschten Position.



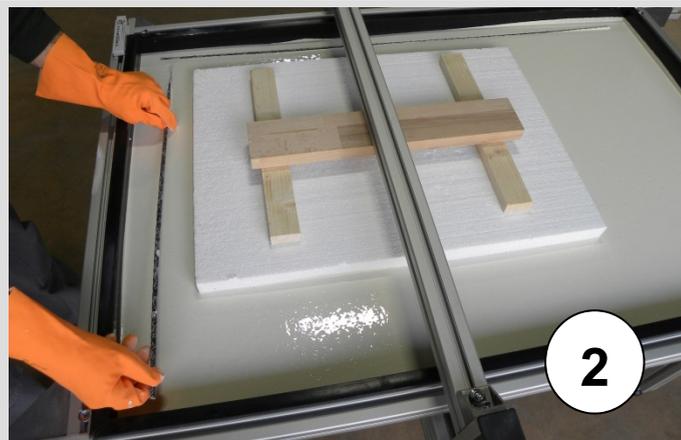
Der Rest des Frischbetons wird eingefüllt und verteilt sich zwischen den noch herausschauenden Maschen des Textils.



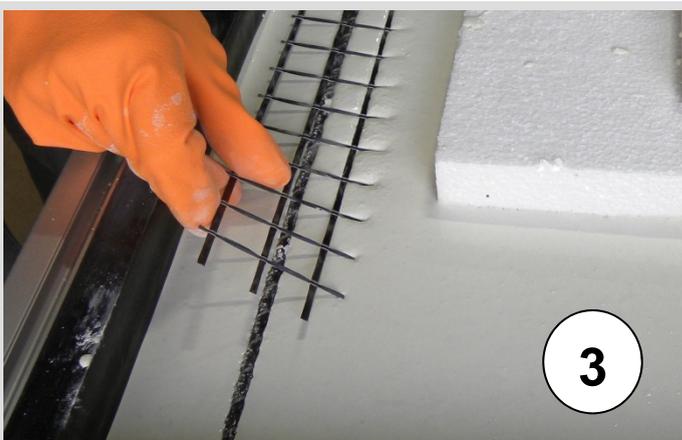
Schließlich ist das Textil komplett in den Beton eingebettet.



*Beispiel B:* Hier ist die Schalung mit Gummifolie ausgekleidet, und die zu gießende Platte soll eine Aussparung haben Die Aussparung wird von einem Verdränger aus Styropor freigehalten, den Hölzer gegen Aufschwimmen sichern.



Zur Verstärkung des schmalen Randes um die Aussparung herum werden Fiberbasaltstäbe eingelegt. Die Textilbewehrung allein wäre in diesen fragilen Bereichen nicht ausreichend.



Zusätzlich wird über den Basaltstab auch noch ein Streifen Textil gelegt. Er hat hier hauptsächlich die Aufgabe, die leichte Tendenz der Stäbe zum Aufschwimmen zu unterbinden, d.h. den Basaltstab in seiner Position zu fixieren.



Die Wahl fiel hier auf ein Carbondtextil, welches in zwei getrennten Schichten eingelegt wird. Das Bild zeigt das Einlegen der unteren Schicht. Danach folgt erneutes Eingießen von Beton sowie Einlegen von Basaltstäben und Carbondtextil.



Die zweite Lage Textil wird nicht mehr übergossen, sondern nur mit Hilfe der Kelle in den Beton gedrückt. Sie kommt damit ideal dicht unter der Oberfläche zu liegen, wird sich allerdings auf der Plattenrückseite später sichtbar abzeichnen.



Hier die fertige Platte nach der Entformung. In die Aussparung soll später ein Kochfeld eingebaut werden.

zu versagen. Denn nach dem Prinzip „Kraft = Gegenkraft“ herrschen bei Biegung ja nicht nur Zugspannungen, sondern auch ebenso große Druckspannungen, nur an anderer Stelle. Die muss der Beton aufnehmen können. Da man bei Textilbeton mit geringen Wandstärken arbeitet, steht nicht viel Beton zur Verfügung, um die Lasten aufzunehmen. Also verwendet man vorrangig hochfesten Beton für diese Zwecke, wie z.B. die auf Dyckerhoff Flowstone® basierende Fertigmischung MOBY DUR®.

## Zusatzbewehrung

In Abhängigkeit von der Form des herzustellenden Betonteils können an bestimmten Stellen Lastkonzentrationen auftreten, die eine zusätzliche Bewehrung erfordern. Beispielsweise ist das der Fall bei einer Küchenarbeitsplatte mit Aussparung für ein Kochfeld. Hier muss die Biegelast, die sich sonst auf die gesamte Plattenbreite verteilt, allein von den beiden dünnen Betonstegen neben der Aussparung aufgenommen werden. Die Stege sind also besonders stark belastet und benötigen deshalb auch eine besonders starke Bewehrung. An solchen Stellen ist es nötig, die textile Bewehrung durch das Einbringen zusätzlicher Bewehrung in Form von Stangenware zu unterstützen.

Hierzu eignen sich grundsätzlich Stäbe aus Betonstahl oder auch Stahlseile. Nachteilig an Stahl ist allerdings, dass sein spezifisches Gewicht erheblich höher ist als das von Beton. Das macht es erforderlich, die Stahlbewehrung mit Unterlagen oder Aufhängungen zu fixieren, so dass sie sich nicht im Beton absenken kann.

Eine sehr komfortable Alternative sind Glas- und Basaltfaserstäbe, die speziell für Betonanwendungen hergestellt werden. Sie haben in etwa dasselbe spezifische Gewicht wie Beton und

bleiben deshalb im Frischbeton auch ohne Fixierung in der Schwebe. Es ist also nicht erforderlich, sie beim Betonieren an Drähten aufzuhängen oder anderweitig abzustützen, was die Arbeit sehr erleichtert. Leider lassen sich diese Stäbe nicht wie Stahlstäbe in jede gewünschte Form biegen, sondern können nur gerade verarbeitet werden.

## Handling

Schwere Betontextilien werden als Plattenware gehandelt, weil sie durch ihre Imprägnierung so steif sind, dass sie sich kaum biegen oder rollen lassen. Mit dem Standardformat von 2 m x 1,25 m lassen sie sich zwar noch gut zuschneiden und verarbeiten, allerdings sind Lagerung und Transport solcher Platten recht aufwendig und in kleinen Mengen nicht rentabel.

Sehr viel handlicher sind die leichten bis mittelschweren Betontextilien, die es in Form von Rollenware gibt. Übliche Rollenbreiten liegen zwischen 0,6 m und 2,5 m. Ein Nachteil der Rollenware ist ihre Tendenz sich nach dem Zuschnitt von allein wieder einzurollen, was sie bei der Verarbeitung etwas widerspenstiger macht als die Plattenware. Im Extremfall kann es erforderlich sein, mit Hilfe von heißem Wasser das Material zu glätten, bevor es

in den Beton eingelegt wird.

## Zuschnitt

Alle textilen Bewehrungen lassen sich einfach mit der Schere zuschneiden. Man sollte beachten, dass durch das Zuschneiden Fasersplinter entstehen und in die Luft gelangen können. Gemeinhin werden Glas- Carbon- und Basaltfasern zwar als nicht lungengängig eingestuft, doch empfiehlt es sich, den Zuschnitt trotzdem im Freien zu erledigen, um möglichen Hautreizungen durch herumfliegenden Faserstaub vorzubeugen.

## Lagerung

Bezüglich der Lagerung sind Betontextilien mit anderen Textilien vergleichbar. Es sollten insbesondere Feuchteinflüsse vermieden werden. Die staubfreie Lagerung in einem beheizten trockenen Raum ist ideal.

## Entsorgung

Alle hier vorgestellten textilen Betonbewehrungen sind weder giftig noch umweltgefährdend. Verschnitte und sonstige Reste können deshalb einfach über den Restmüll entsorgt werden. Im Zweifelsfall sollte der Rat eines lokalen Abfallentsorgers eingeholt werden.

Kunstharzgebundene Stäbe aus Glasfasern (links) oder Basaltfasern (rechts) dienen als zusätzliche Bewehrung an den Stellen wo eine Textilbewehrung allein nicht stark genug ist. Sie haben in etwa die spezifische Dichte von Beton und schwimmen daher im Frischbeton nicht auf oder senken sich ab. Damit sind sie die komfortable Alternative zu Betonstahl.



## Weitere Informationsquellen zum Gestalten mit Beton:

### Der Kanal:

[www.youtube.com/DasBetonCafe](http://www.youtube.com/DasBetonCafe)

Der Videokanal von Sven Backstein mit Beiträgen zu Rezepturen, technischen Fragen und ausgeführten Betonobjekten

### Das Buch:

**Sven Backstein – Kunst aus Beton**

Das Standardwerk zum Lernen und Nachschlagen für den künstlerischen Umgang mit Beton

### Die Heftreihe:

**Sven Backstein – Gestalten mit Beton**

Die praktischen Werkanleitungen zu gestalterischen Aufgaben jenseits des Bauwesens

### Die Workshops:

[www.betoncafe.com/betonkurse](http://www.betoncafe.com/betonkurse)

Das Netzwerk von Lern- und Mitmachwerkstätten mit einem gemeinsamen Kurskalender

### Der Shop:

[www.moertelshop.com](http://www.moertelshop.com)

Der gut sortierte Onlineshop für Betonmischungen und Zutaten mit kompetenter Beratung und schnellem Versand

### Die Galerie:

[www.betoncafe.com/galerie](http://www.betoncafe.com/galerie)

Die Online-Galerie für Betonkunst und –design zum inspirieren lassen und selber präsentieren

## **Impressum**

© 2017 Sven Backstein, [www.moertelshop.com](http://www.moertelshop.com)

Verlag: Backstein Engineering GmbH, Idstein  
(Rheingoldverlag ist ein Handelsname der  
Backstein Engineering GmbH)

Herstellung: Saxoprint GmbH, Dresden

Bilder, Texte, Satz und Layout: Sven Backstein

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation  
in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografi-  
sche Daten sind im Internet über [dnb.d-nb.de](http://dnb.d-nb.de) abrufbar.

**ISBN 978-3-943039-04-7**

### **Rechtliche Hinweise:**

Dieses Heft einschließlich aller seiner Teile und Abbildungen ist  
urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ohne Zustimmung  
des Urheberrechtlich Inhabers ist untersagt. Das gilt insbesondere  
für vollständige oder auszugsweise Vervielfältigungen, Überset-  
zungen, Mikroverfilmungen und Übertragungen auf elektroni-  
sche Systeme.

Die in diesem Heft veröffentlichten Angaben und Ratschläge  
wurden vom Autor sorgfältig geprüft und sind in der Praxis  
erprobt. Die praktische Umsetzung des Beschriebenen kann  
jedoch nur auf eigenes Risiko erfolgen. Eine Haftung für Sach-  
und Personenschäden, die sich aus der Anwendung des  
Dargebotenen ergeben, ist ausgeschlossen.



# Besuchen Sie den Mörtelshop!



PIGMENTE



FARBEN



FERTIGMÖRTEL



WERKZEUG



BEWEHRUNG

Im Mörtelshop finden Sie alles für das Gestalten mit Beton. Wir haben Designermörtel für alle Arbeitstechniken, Bewehrung, Werkzeug, Farben, Pigmente, Zusatzmittel und noch viel mehr. Schauen Sie doch mal herein. Unser Shop ist rund um die Uhr geöffnet.

[www.moertelshop.com](http://www.moertelshop.com)