

Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 134 (2008)
Heft: 21: Tunnel-Lösungen

Sonstiges

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 03.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

GFK-BEWEHRUNGEN IM TUNNELBAU

Beton wird in der Regel mit Stahl bewehrt. In den letzten Jahren tritt zunehmend ein Material, das bislang fast ausschliesslich im Leichtbau zum Einsatz kam, als Alternative für besondere Anwendungen in Erscheinung: Glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) sind extrem belastbar und können – im Gegensatz zu Stahl – einfach geschnitten werden. Deshalb sind GFK-Bewehrungen für den Tunnelbau, insbesondere bei Baugrubenabschlüssen, interessant.

Im Flugzeugbau, in der Automobil- und in der Sportgeräteindustrie werden glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) seit langem verwendet. In neuerer Zeit halten die leichten und extrem belastbaren Werkstoffe auch in der Baubranche Einzug: Glasfaserverstärkte Kunststoffe kommen unter anderem im Brücken- und Fassadenbau oder bei Windturbinen zum Einsatz. Zunehmend etablieren sich die GFK auch als Bewehrungen für besondere Anforderungen. Für die Mehrzahl der Anwendungen wird die Stahlbewehrung aber weiterhin der Normalfall sein. Die Vorteile der GFK-Bewehrung kommen vor allem in stark korrosiver Umgebung oder beim maschinellen Tunnelbau als so genanntes «Soft-Eye» zum Tragen. Bei diesen Spezialanwendungen lohnen sich die faserverstärkten Kunststoffe trotz höheren Materialkosten, da sie deutlich effizientere Bauabläufe ermöglichen oder die Lebensdauer des Bauwerks beträchtlich verlängern.

STARKE MULTITALENTE AM BAU

Ein GFK-Stab besteht aus einem Bündel von Glasfasern, die von einer Kunststoffmatrix umhüllt sind – in der Regel Polyester-, Vinyl-ester- oder Epoxyharz. Das Harz wird normalerweise mit Wärme ausgehärtet. Der Aushärteprozess kann nach einmal erfolgter Polymerisation nicht mehr rückgängig gemacht werden. Die GFK-Stäbe müssen deshalb bereits bei der Produktion in die gewünschte Form gebracht werden. Für eine optimale Verbindung zwischen Beton und GFK-Bewehrung kann die Kunststoffoberfläche speziell bearbeitet oder geformt werden, beispielsweise durch Aufrauung der Harzoberfläche, Aufprägung einer Struktur oder eines Gewindes oder indem die Kunststoff-

oberfläche mit einer Sandschicht überzogen wird.

GFK-Stäbe zeichnen sich dank den eingelagerten Fasern durch eine besonders hohe Zugfestigkeit aus. Die Stäbe bestehen bis zu 80% aus Glas. Die Kunststoffmatrix hält die Fasern lediglich zusammen und schützt sie vor mechanischen und/oder chemischen Einwirkungen. Gegenüber konventionellen Stahlbewehrungen bringen vor allem die vier folgenden Eigenschaften grosse Vorteile:

- Geringe Korrodierbarkeit: Die Lebensdauer eines stahlbewehrten Bauwerks ist direkt abhängig vom Zustand der Bewehrung. Anders als Stahl sind glasfaserverstärkte Kunststoffe mit einem Harz auf Epoxydbasis nach den aktuellen technischen Erkenntnissen korrosionsresistent und können auch in einer korrosionsfördernden Umgebung ohne weitere Schutzmassnahmen eingebaut werden
- Hohe Zugfestigkeit: Die Glasfasern verleihen dem Kunststoff eine sehr hohe Zugfestigkeit, die je nach Produkt und Stabdurchmesser bis über 1000 N/mm^2 betragen kann. Beim Einsatz von Kohlenstofffasern kann sich dieser Wert sogar mehr als verdreifachen.
- Zerspanbarkeit: GFK-Stäbe können zwar kurzfristig deutlich mehr Zugkraft aufnehmen als normale Bewehrungsstäbe gleichen Durchmessers. Senkrecht zur Tragrichtung lässt sich die GFK-Bewehrung jedoch relativ leicht durchtrennen. So kann sich zum Beispiel eine Tunnelbohrmaschine (TBM) ihren Weg ohne Schwierigkeiten durch die Bewehrung hindurch bahnen
- Geringes Gewicht: Eine Bewehrung aus GFK wiegt nur rund ein Viertel so viel wie eine vergleichbare Stahlbewehrung. Bei Baustellen, die wenig Raum für schwere Hebegeräte bieten, erleichtert das den Einbau

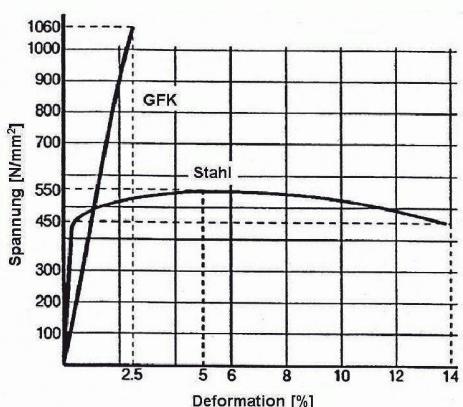
GFK-BEWEHRUNGEN BEMESSEN

Glasfaserverstärkte Kunststoffe zeigen unter Zugbelastung ein linear-elastisches Verhalten bis zum Bruch (Bild 1). Da das Material einen niedrigeren E-Modul als Stahl hat (abhängig von Hersteller und Produkt in der Grössenordnung von 45000 N/mm^2) und trotzdem eine grosse Zugkraft aufnehmen kann, sind die auftretenden Deformationen vergleichsweise gross. GFK reagieren auch auf starke Belastung nicht duktil. Das Versagen des Werkstoffs kündigt sich, anders als bei Stahl, nicht durch grosse Verformungen

an, sondern tritt schlagartig ein. Entsprechend muss durch sorgfältige Dimensionierung und Konstruktion der Bauteile eine Überbeanspruchung der GFK-Bewehrung verhindert werden.

Aufgrund dieser besonderen Eigenschaften werden für GFK andere Bemessungskonzepte angewendet als für Stahl. Stahlbewehrte Bauteile werden in der Regel nach dem Grundsatz «Stahlfliessen vor Betonbruch» dimensioniert. Bei GFK-bewehrtem Beton wird die Bemessung an verschiedenen Versagensarten orientiert, sowohl am Betonbruch als auch an einem Versagen der Faserbewehrung. Da das Versagen der GFK-Bewehrung unangekündigt eintritt, wird hier auf Empfehlung des amerikanischen «Guide for Design and Construction of Concrete reinforced with FRP Bars» mit einem konservativeren Sicherheitsfaktor gerechnet: Die Zugfestigkeit der Bewehrungsstäbe wird im Fall des Faserversagens mit dem Faktor 0.5 multipliziert. Im Fall des Betonversagens treten bedingt durch die Betonstauchungen merkliche Deformationen des Bauteils auf. Diese Pseudoduktilität erlaubt es, den Multiplikationsfaktor auf 0.7 anzupassen.

Bei der Dimensionierung ist neben dem spröden Versagen der GFK-Bewehrung ihr relativ geringer E-Modul zu beachten. Dies kann zu lokal grösseren Rissen im Beton und zu Verformungen sowie, damit zusammenhängend, zu Lastumlagerungen bei anstossenden, konventionell bewehrten Bauteilen führen. Es ist daher entscheidend, GFK-bewehrte Bauteile im Gesamtkontext zu betrachten.



01 Typisches Spannungs-Verformungsverhalten eines GFK-Stabs und eines Stahlstabs
(Bild: Rockbolt Systems AG Rapperswil)

SOFT-EYE IM TUNNELBAU

Bei innerstädtischen Tunnelbauvorhaben im Lockergestein, bei der eine Tunnelbohrmaschine zum Einsatz kommt, wird der Ziel- bzw. Startschacht häufig mit einer bewehrten Schlitz- oder Bohrpahlwand gesichert. Bei einem stahlbewehrten Schachtausbau muss die Bewehrung in dem Bereich, den die Tunnelbohrmaschine passieren soll, vorgängig aufgebrochen werden – ein aufwendiges und zeitraubendes Verfahren, das bezüglich der Arbeitssicherheit auf der Baustelle mit Risiken verbunden ist. Häufig besteht dabei zudem die Gefahr, dass Grundwasser in die Baugrube eindringt. Gerade in diesem Bereich hat sich der Einsatz von GFK-Bewehrung als sehr vorteilhaft erwiesen. Lokal mit GFK-Stäben bewehrte Abschnitte im Bereich der Ein- und Ausfahrt der TBM, so genannte «Soft-Eyes», erlauben der Tunnelbohrmaschine, aus eigener Kraft den Baugrubenabschluss zu durchstossen (Bild 2). Die Bereiche unterhalb respektive oberhalb des Tunnels werden weiterhin konventionell mit Stahl bewehrt.

Grundlage für diese Einsatzmöglichkeit von GFK-Bewehrungen ist ihr sprödes Bruchverhalten. Dieses ermöglicht den Werkzeugen auf dem Schneidrad der Tunnelbohrmaschine, die Bewehrung zu zerstören, in kleine Stücke zu zerlegen und diese zusammen mit dem Beton des Baugrubenabschlusses zu fördern. Damit wird der Schachtausbau für die TBM durchstossbar. Im Gegensatz dazu verhindert Stahlbewehrung das Durchstossen der Bohrpahl- oder Schlitzwand durch ihr Fliessvermögen. Die lokal hohen Kräfte, die durch die Werkzeuge des Schneidrades in den Beton eingetragen werden, werden durch das Fliessen der Stahlbewehrung absorbiert, ohne dass der Beton in kleine Stücke zerlegt würde. Die konventionelle Bewehrung ist für die TBM daher ein Hindernis, das in der Regel nicht überwunden werden kann.

Der Bewehrungskorb eines Soft-Eyes lässt sich auf konventionelle Art montieren. Die GFK-Stäbe werden in der nötigen Länge und Form auf die Baustelle geliefert. Wie bei Stahlbewehrung üblich, können auch hier für die Verbindung der GFK-Stäbe Drähte oder ähnliche Produkte verwendet werden. Für den Übergang von GFK-Stäben zu Stahlstäben und sonstigen hoch belasteten Verbin-



02 Eine Tunnelbohrmaschine durchbricht ein mit GFK-Stäben bewehrtes Soft-Eye in einem Baugrubenabschluss (Bild: Leighton Kumagi Joint Venture, Crows Nest, Australia)

dungen werden üblicherweise Klemmbügel eingesetzt. Schweißverbindungen zwischen GFK und Stahl sind nicht möglich.

WEITERE EINSATZMÖGLICHKEITEN VON SOFT-EYES

Vorgespannte Stahlanker werden oftmals eingesetzt, um die Deformationen des Baugrubenabschlusses zu limitieren und die Standsicherheit zu gewährleisten. Vergleichbar mit der Stahlbewehrung im Beton behindern jedoch solche Stahlanker den Vortrieb einer Tunnelbohrmaschine massiv, weshalb Stahlanker im Bereich der TBM-Ortsbrust nicht erwünscht sind. Seit Jahren hat sich daher in Europa die GFK-vernetzte Ortsbrust durchgesetzt.

Der Einbau von GFK-Ankern muss dabei nicht auf den Bereich der Ortsbrustsicherung vor der TBM beschränkt bleiben. Ähnliche Situationen können entstehen, wenn temporäre Anker eines Pilottunnels oder einer Baugrube in einem Bereich zu liegen kommen, der zu einem späteren Zeitpunkt durch einen Tunnel oder anderweitige Baumassnahmen aufgefahren werden soll. Auch in einer solchen Situation hat die Zerspanbarkeit von GFK-Ankern grosse Vorteile. Sie erspart auf-

wendige Baumassnahmen zum vorgängigen Entfernen der Anker, was bei Stahlankern nötig wäre.

GFK-Bewehrung und Anker ermöglichen heute baulogistisch einfache Lösungen. Ihr Einsatz in Schlitzwänden oder Bohrpählen als Soft-Eyes hat sich etabliert und trägt zu einer effizienteren Bauweise bei. Obwohl die reinen Materialkosten über denjenigen des Stahlpreises liegen, überwiegen die Folgeeinsparungen während der Bauausführung. Mit den heute verfügbaren vorfabrizierten GFK-Bauelementen (Gitterträger, Bewehrungsmatten) eröffnen sich den Ingenieuren zur Lösung anstehender Bauaufgaben neue Möglichkeiten.

Peter Jost, dipl. Bauing. ETH, Head of Construction Technology, Basler & Hofmann Singapore Pte Ltd, peter.jost@bh.com.sg

ARTENREICHE WÄLDER AUSGEZEICHNET

Neun Eigentümer öffentlicher Wälder im Kanton Neuenburg erhalten den Binding-Waldpreis 2008 für ihre langjährigen Anstrengungen, die Artenvielfalt in ihren Wäldern zu fördern.

Stabile Wälder sind eine Voraussetzung dafür, dass der Wald auch in Zukunft seine vielfältigen Funktionen erfüllen kann. Entscheidende Faktoren für die Stabilität sind eine hohe Arten- und Strukturvielfalt. Diese erhöhen die Widerstandskraft gegenüber Schädlingen, Stürmen und Klimaänderungen. Zusammen mit der Schutzfunktion des Waldes gehört die Erhaltung der Biodiversität zu den gemeinwirtschaftlichen Leistungen, die auch durch öffentliche Gelder des Bundes abegolten werden.

Im öffentlichen Wald «Bois de la Montagne de Boudry» bei Neuenburg werden seit vielen Jahren spezielle Anstrengungen zur Förderung der Artenvielfalt unternommen. Dafür erhalten die Waldeigentümer nun den mit 200000 Franken dotierten Binding-Wald-

preis. Besonders eindrücklich ist etwa eine Stelle im Wald von Boudry, wo auf einer Fläche von lediglich einer Drittelhektare 15 verschiedene Baumarten wachsen. Für das Schweizer Mittelland ist eine solche Vielfalt aussergewöhnlich.

Für Martine Gilliard, die der überkommunalen Forstkommission vorsteht und seit 18 Jahren Mitglied der Exekutive der Gemeinde Bevaix ist, sind diese Erfolge die Früchte langjähriger Anstrengungen. Die Gemeinden seien bereit, für ihren vielfältigen Wald auch die nötigen Mittel zur Verfügung zu stellen; der Erlös aus dem Holzverkauf decke nämlich nicht alle Aufwendungen. Pro Einwohner würden 16 Franken pro Jahr ausgegeben. Dass sich diese Investitionen lohnen, davon ist Gilliard überzeugt.

Die Naturschutzbemühungen im Schweizer Wald laufen gegenwärtig auf zwei Schienen. Zum einen werden Flächen der natürlichen Entwicklung überlassen. Zum anderen werden aber auch ganz gezielt Eingriffe vorgenommen, um einzelne Arten, die beispiels-

weise auf Licht angewiesen sind, zu fördern. Unterbleiben solche Eingriffe, setzen sich einige wenige dominante Baumarten durch. Im Mittelland ist das in der Regel die Buche. Laut Pascal Junod, Kreisförster im Kanton Neuenburg, besteht das Grundprinzip einer auf die Vielfalt an Strukturen und Lebensformen ausgerichteten Waldbehandlung darin, nicht überall das gleiche zu tun. «Eine solche waldbauliche Strategie lässt sich aber nur umsetzen, wenn die Waldeigentümer langfristig denken und die Artenvielfalt als Wert anerkennen.» Zudem sei entscheidend, dass auch die Walddarbeiter für die Naturwerte sensibilisiert seien, sagt Junod. Die Bemühungen in Neuenburg dienen jedoch nicht einzig und allein der Biodiversität. Die so gepflegten Wälder sind auch für Erholungssuchende sehr attraktiv. Zudem wachsen in ihnen einige Exklusivitäten wie Eichen, Kirsch- und Nussbäume, deren Holz gesucht ist und sich für gutes Geld verkaufen lässt.

Lukas Denzler, dipl. Forst-Ing. ETH / Journalist,
lukas.denzler@bluewin.ch

DER WALD PRODUZIERT NICHT NUR HOLZ

Produkte des Waldes wie etwa Pilze, Honig und Wildbret werden geschätzt. Dies geht aus einer kürzlich publizierten systematischen Umfrage der Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL)¹ hervor. Diese kommt zum Schluss, dass ein grosses Marktpotenzial besteht, das sich bei entsprechender Werbung und Verkaufsförderung noch ausweiten lässt.

Das Handelsvolumen der so genannten «Nicht-Holz-Waldprodukte» (NHWP) ist sowohl schweizweit als auch international beachtlich. Die WSL-Forscher schätzen es sogar als bedeutender ein als jenes der tropischen Hölzer. Mit «NHWP» werden Produkte pflanzlicher wie auch tierischer Herkunft bezeichnet: Wildbret, Waldhonig, Beeren, Pilze und auch Saatgut.

In der Schweiz hat deren Nutzung zwar eine weit zurückreichende Tradition, ihre wirtschaftliche Bedeutung ging indessen ab Be-

ginn des 20. Jahrhunderts zurück. Dem Forschungsinteresse liegen heute deshalb vielschichtigere Motive zugrunde. Aus einem ökologischen Blickwinkel seien NHWP eine nachhaltige, den Wald schonende und die Biodiversität fördernde Alternative, schreiben die Forschenden. Sozial- und entwicklungs geschichtlich könnten sie eine Chance zur Förderung strukturschwacher Regionen bilden. Zudem werde der Beschäftigung mit derartigen Produkten auch eine kulturelle und spirituelle Bedeutung beigegeben, sie seien wesentlich für das Bewahren von tradierter Wissen.

UMSATZ GUT, GEWINNE MÄSSIG

In Schweizer Wäldern werden jährlich für 18 Millionen Franken Wildfleisch gewonnen, für über 10 Millionen Waldhonig und für rund 9 Millionen Franken Waldpilze. Dieses Potenzial liesse sich vergrossern, denn die Nachfrage nach naturnahen Produkten nimmt steig zu. Dies betrifft vor allem Lebensmittel,

aber auch an Arzneimitteln und Körperpflegeprodukten besteht Interesse. Eine Schwierigkeit für den Ausbau der Vermarktung ergibt sich jedoch aus dem verhältnismässig hohen Lohnniveau in der Schweiz: Produktion und Ernte der grossteils wild wachsenden NHWR-Produkte sind zeitaufwändig und damit kostenintensiv. Darum und wegen bestehender Defizite im Bereich Marketing und Information lassen sich Gewinne derzeit nur bedingt erzielen.

Die Autoren der Studie kommen zum Schluss, dass Nischenprodukte aus dem Wald durchaus marktfähig und förderungswürdig sind. Sie empfehlen Zusammenschlüsse und Kooperationen bei logistischen Abläufen, Direktvermarktung und gezielte Promotion, zum Beispiel mit einem Markenlabel.

Charles von Büren, Fachjournalist SFJ,
bureau.cvb@bluewin.ch

¹ in: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 4/2008