

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 114 (1996)
Heft: 44

Artikel: Verstärkung von Mauerwerksbauten mit CFK-Lamellen
Autor: Schwegler, Gregor
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-79070>

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: 03.04.2026

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

Gregor Schwegler, Zürich

Verstärkung von Mauerwerkbauten mit CFK-Lamellen

Um die Erdbebensicherheit eines Gebäudes weiterhin zu gewährleisten, wird eine Tragwand nachträglich mittels federleichter Kohlenstofffaserlamellen (CFK-Lamellen) verstärkt, die auf das Mauerwerk aufgeklebt und in den Geschossdecken verankert werden. Im Vorfeld der Anwendung wurde diese Art der nachträglichen Verstärkung von Mauerwerk an der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Empa in Dübendorf getestet. Die Grossversuche bestätigten die Effizienz der Verstärkungsmethode.

Seit einigen Jahren haben sich die Ingenieure vermehrt mit Sanierungen und Umbauten bestehender Bausubstanz auseinandersetzen. Auflagen von Baubehörden und Denkmalpflege sowie ökologische Überlegungen lassen den Abbruch bestehender Gebäude oftmals nicht zu, was besonders für Altbauten in Stadtzentren gilt. Die Erdbebensicherheit ist dabei ein zentrales Problem, da die meisten älteren Gebäude nicht für Erdbeben dimensioniert sind. Architekten und Ingenieure sind gefordert, ökonomische Lösungen zu suchen, um die Tragwerke und Tragelemente erdbebenresistent auszubilden.

Wenn Wohnbauten in Bürogebäude oder Shopping-Center umgewandelt werden, sind grössere Eingriffe in die bestehende Tragstruktur meistens unumgänglich. Alte Tragstrukturen müssen durch neue ersetzt oder aber verstärkt werden. In vielen Fällen ist es wünschenswert, die

bestehenden Tragstrukturen zu belassen und zu verstärken. Voraussetzung ist, dass sie ökonomisch verstärkt werden können und die angestrebte Nutzung nicht beeinträchtigt wird.

Im Stadtzentrum von Zürich werden zurzeit zwei sechsgeschossige Mauerwerkgebäude aus den 30er Jahren zu einem Geschäftshaus zusammengefasst. Die Eingriffe in die bestehende Tragstruktur sind gross. Die alten Holzdecken werden durch Betondecken ersetzt, und die bestehenden Mauerwerktragwände werden zum grössten Teil abgebrochen. Wenige neue Betontragwände gewährleisten die Gebäudestabilität. Einige der verbleibenden Mauerwerktragwände werden mittels CFK-Lamellen nachträglich verstärkt [1]. Dank dieser Verstärkungsmassnahme kann die Erdbebenresistenz des Gebäudes gewährleistet werden. Die CFK-Lamellen werden auf die Mauerwerkoberflächen aufgeklebt und in den angrenzenden Geschossdecken und den Betonstützen verankert.

Diese Verstärkungsmethode wurde in Grossversuchen an der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Empa in Dübendorf eingehend getestet. Die Grossversuche zeigen, dass der Tragwiderstand und die Duktilität der verstärkten Mauerwerktragwände wesentlich gesteigert werden kann [2]. Da die CFK-Lamellen einfach und kostengünstig zu applizieren sind, ist diese Verstärkungsmethode sehr erfolgversprechend. Nachfolgend werden die Applikation der CFK-Verstärkung und die Bemessung der CFK-verstärkten Mauerwerktragwände detailliert beschrieben.

Umbauprojekt

Der Umbau betrifft die gesamte Tragstruktur der bestehenden Mauerwerkgebäude (Bild 1). Nur wenige Tragelemente bleiben erhalten, alle tragenden Innenwände sind vom Abbruch betroffen. Die hofseitige Fassade wird ebenfalls abgebrochen und durch eine Leichtbaukonstruktion ersetzt. Die Fassade zur Mühlebachstrasse hin bleibt erhalten, doch wird im mittleren Fassadenbereich eine grosse Fensteröffnung herausgebrochen (Bild 2). Im Erdgeschoss werden alle tragenden Aussenwände entfernt und die Fassadenstützen im Schaufensterbereich neu angeordnet (Bild 3). Die Brandmauern zu den Nachbargebäuden bleiben bestehen.

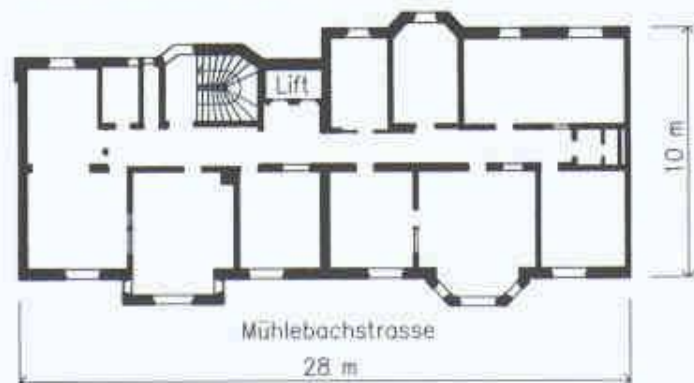
Diese massiven Eingriffe ins bestehende Tragsystem führen zu einem markant veränderten dynamischen Verhalten des Bauwerks. Steifigkeit und Tragwiderstand werden stark verändert, was bei der Erdbebenebemessung zu berücksichtigen ist.

Erdbebenresistenz

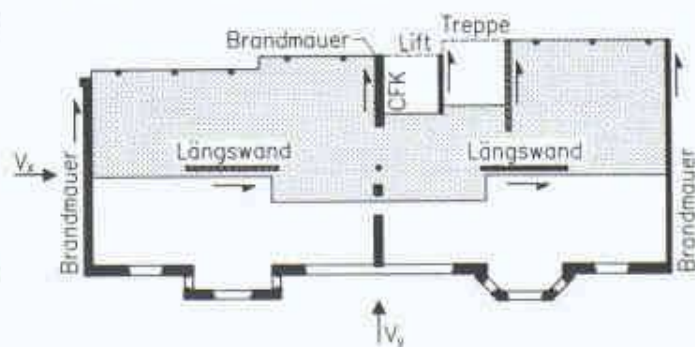
Die horizontal auf das Gebäude wirkenden Erdbebenkräfte müssen über die steifen Geschossdecken auf die einzelnen Tragwände verteilt werden. Zur Ableitung der Erdbebenkräfte in die Fundamente stehen in Gebäudequerrichtung die zwei neuen Treppenhaustragwände, die aus baupolizeilichen Gründen zu erhaltende Brandmauer beim Lift sowie die bestehenden zweischaligen Brandmauern zu den Nachbargebäuden zur Verfügung (Bild 2). In Gebäudequerrichtung sind Steifigkeit, Masse und Tragwiderstand annähernd symmetrisch angeordnet.

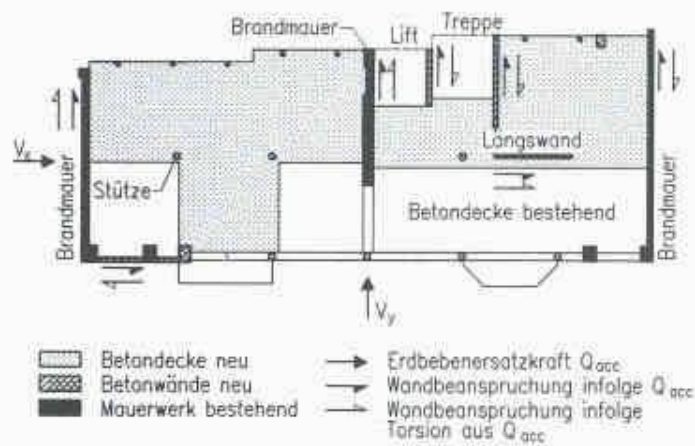
In der Gebäudemitte sind vom ersten bis vierten Obergeschoss zwei Tragwände in Gebäudelängsrichtung angeordnet,

1 Bestehende Tragstruktur vor dem Umbau, 2. OG



2 Tragstruktur nach dem Umbau, 1. bis 4. OG





welche die horizontalen Erdbebenkräfte ableiten. Im Erdgeschoss wird eine der beiden Tragwände durch eine in der Fassade exzentrisch angeordnete Tragwand ersetzt. Sollte es zu einem Erdbeben kommen, resultieren aus dieser exzentrisch angeordneten Tragwand grössere Torsionskräfte, welche die Tragwände im Erdgeschoss zusätzlich beanspruchen.

Die Steifigkeit der bestehenden Holzhalkendecken ist nicht ausreichend, um allfällige Erdbebenkräfte auf die Tragwände zu verteilen. Aus diesem Grund werden neue Geschossdecken betoniert, welche die Horizontalkräfte in die Tragwände einleiten. Die Beanspruchungen der wenigen Tragwände sind bei einem Erdbeben sehr hoch, was die Verstärkung der alten Mauerwerktragwand im Liftbereich, in diesem Fall durch CFK-Lamellen, erfordert.

Verstärkungsmaterial CFK

CFK-Lamellen sind eine Kombination aus hochfesten Kohlenstoffasern und einer Epoxidharzmatrix. Die hohen Festigkeiten und Steifigkeiten der unidirektional aufgebauten CFK-Lamellen werden durch die hochfesten Kohlenstoffasern erreicht. Die Herstellung der CFK-Lamellen erfolgt im Pultrusionsverfahren (Strangziehverfahren). Dank diesem Verfahren können die Lamellen beinahe endlos produziert und in Rollen auf die Baustelle geliefert werden. CFK-Lamellen haben gegenüber Stahllamellen den Vorteil, dass sie nicht korrodieren und ein wesentlich besseres Ermüdungsverhalten sowie sehr hohe Zugfestigkeiten aufweisen. Zudem sind CFK-Lamellen sehr leicht und dadurch äusserst handlich in der Anwendung. Bild 4 zeigt die wichtigsten Materialeigenschaften der eingesetzten CFK-Lamellen.

Im Vergleich zu Stahllamellen weisen CFK-Lamellen ein linear-elastisches Mate-

rialverhalten auf. Plastische Verformungsreserven sind bei den CFK-Lamellen nicht vorhanden, und die Bruchdehnung der CFK-Lamellen ist mit $\epsilon_{cu} = 1,4\%$ um ein Mehrfaches höher als die Fließdehnung des Stahls. Diese Materialeigenschaften sind bei der Anordnung einer CFK-Verstärkung zu berücksichtigen und mit in die Berechnungen einzubeziehen. Die Grossversuche an der Empa zeigten, dass eine optimierte Anordnung der CFK-Lamellen auf den Mauerwerktragwänden die Duktilität des Mauerwerks wesentlich erhöht [2, 3].

Anordnung der CFK-Verstärkung

Vor dem Applizieren der Lamellen sind vorstehende Lager- und Stossfugen zu entfernen, damit die CFK-Lamellen nicht durch den scharfkantigen Fugenmörtel beschädigt werden. Grössere Unebenheiten im 70jährigen Mauerwerk werden mittels Epoxidharzmörtel ausgeglichen. Bei geringeren Unebenheiten genügt es, die Unebenheiten direkt mit dem Epoxidharzklebstoff zu überbrücken. Die CFK-Lamellen werden anschliessend kreuzweise auf die vorbereiteten Mauerwerkoberflächen appliziert.

Die Verankerung der CFK-Lamellen erfolgt in den angrenzenden Betondecken und -stützen. Die Geschossdecken wirken somit im Bereich der Lamellenverankerungen als lokale Lastverteilungswellen, wodurch konzentrierte Kräfteinleitungen ins Mauerwerk vermieden werden können. Im Bereich der Verankerung der Lamellenenden werden Vertiefungen in den Beton gespitzt oder Kernbohrungen angeordnet. Sind die Verankerungsbereiche ausgebrochen, werden die Lamellenenden mit einer Haftbrücke versehen, in die Vertiefungen oder Kernbohrungen hineingeführt und die Hohlstellen mit Epoxid-Ver-

Verstärkungsmaterial	Zugfestigkeit [N/mm ²]	E-Modul E [N/mm ²]	Bruchdehnung ϵ_{cu} [%]
C-Faser T 700	2400	150 000	1,4
Stahl FeE 235	235	210 000	>5%

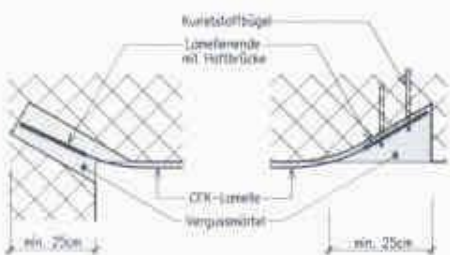
4
Vergleich der Materialeigenschaften von CFK-Lamellen mit Stahllamellen

gussmörtel ausgegossen. Dank diesem neuartigen Verankerungsverfahren ist es oft möglich, die volle CFK-Lamellenzugkraft auf kürzester Strecke im Beton zu verankern (Bild 6).



5
Anordnung der CFK-Lamellen auf der Mauerwerktragwand

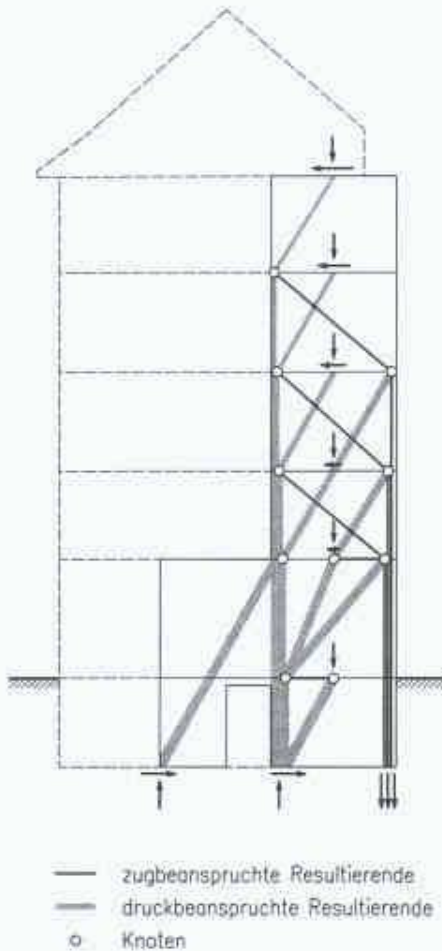
6
Endverankerung der CFK-Lamellen im Beton



Bemessung verstärkter Tragwände

Für die Berechnung CFK-verstärkter Tragwände kann die Methode der Spannungsfelder verwendet werden [4]. Diese Methode ermöglicht es, den Tragwiderstand einfach und genügend genau abzuschätzen. Der Verlauf der inneren Kräfte in den Tragwänden wird mit Hilfe von Fachwerkmodellen beschrieben. Die Kräfte der einzelnen Stäbe des Fachwerks entsprechen den resultierenden inneren Kräften, im folgenden mit Resultierenden bezeichnet. Durch Umwandlung der Resultierenden in statisch äquivalente Spannungsbereiche entstehen die Spannungsfelder. In Bild 7 wird der Verlauf der Spannungsfelder für die mit CFK-Lamellen verstärkte Mauerwerktragwand dargestellt. Um die Darstellung nicht zu überlasten, ist nur die eine Symmetriehälfte der Spannungsfelder eingezeichnet.

Die auf der Höhe der Geschossdecken angreifenden horizontalen Erdbebenkräfte bewirken zusammen mit den Normkräften in den Tragwänden diagonale Spannungsfelder, welche die Druckkräfte ableiten. Die Zugkräfte werden über die CFK-Lamellen abgetragen. Ein Spannungsfeld weist über seine gesamte Länge eine einachsige Spannungsverteilung auf. Demgegenüber entstehen in den als Knoten bezeichneten Krafteinleitungszonen zweiachsige Spannungszustände, während die ausserhalb der Spannungsbereiche liegenden Zonen spannungslos sind. Bei der Wahl der Lamellenanordnung ist darauf zu achten, dass der Neigungswinkel der Lamellen bezüglich der Vertikalen möglichst gross ist. Je flacher die Lamelle auf der Tragwand angeordnet ist, desto grösser sind die Schubkräfte, die abgetragen werden können. Die Berechnung von verstärkten Mauerwerktragwänden mit Hilfe der Methode der Spannungsfelder ist in [2] und [3] detailliert beschrieben.



7

Spannungsfeld der CFK-verstärkten Mauerwerktragwand

Um den Applikationsaufwand für die Verstärkung möglichst gering zu halten, wird die Tragwand nur einseitig verstärkt. Die Grossversuche an der Empa zeigten, dass die daraus resultierenden Exzentrizitäten keinen nennenswerten Einfluss auf den Tragwiderstand der Tragwand haben und somit vernachlässigbar sind [2].

Literatur

- [1] Ernst Basler und Partner AG, Ingenieurunternehmen, Zollikon; Konkret 1995, Unternehmenspublikation 95
- [2] Schwegler G.: Verstärken von Mauerwerk mit Hochleistungsfaserverbund-Werkstoffen. Dissertation, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Dübendorf, Empa-Bericht Nr. 229, 1994
- [3] Schwegler G.: Nachträgliche Verstärkung von Bauwerken mit CFK-Lamellen. SIA-Empa-Dokumentation D 0128, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1995
- [4] Mattoni A., Schwartz J., Thürlimann B.: Bemessung und Konstruktion von Spannungsfeldern. Vorlesung ETHZ, Zürich, 1988

Schlussfolgerung

Diese Art der Verstärkung bietet die Möglichkeit, die Erdbebenresistenz der mittleren Brandmauer um das Mehrfache zu steigern. Alternative Verstärkungsmethoden wären das Aufbringen von Spritzbeton oder aber der Ersatz der bestehenden Brandmauer durch eine Tragwand aus Beton. Da die Brandmauer aus baupolizeilichen Gründen erhalten werden muss und sie mit Spritzbeton mindestens 70 cm stark geworden wäre, wurde die CFK-Verstärkung gewählt. Die Ausführung der CFK-Verstärkung erwies sich als sehr einfach. Da die Methode handlich und flexibel ist, wird das System der CFK-Verstärkung gegenüber den heute gängigen Verstärkungsmethoden konkurrenzfähig.

Adresse des Verfassers:

Gregor Schwegler, dipl. Bauing, ETH, Dr. sc. techn., Ernst Basler und Partner AG, Fraumünsterstrasse 22, 8022 Zürich