

Kurzbericht „Verstärkung von Biegebauteilen durch eine nachträglich aufgebrachte Aufbetonschicht“ (Forschungsvorhaben DBV 278)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Empelmann, Dr.-Ing. V. Henke, Dipl.-Ing. Ch. Sender
iBMB der TU Braunschweig – Fachgebiet Massivbau

1 Einleitung

Bauten aus Beton, Stahl- und Spannbeton können als überaus dauerhaft bezeichnet werden. Laufend steigende Beanspruchungen, Abnutzung, Änderungen in der Nutzung, Elementarereignisse, aber auch Fehler in Planung und Ausführung führen jedoch häufig zur Notwendigkeit einer nachträglichen Verstärkung.

Zur Durchführung solcher Maßnahmen stehen dem Fachplaner verschiedene Verfahren zur Verfügung. Neben der Verstärkung mittels angeklebter Stahl- oder CFK-Lamellen und bisher insbesondere im Brückenbau gebräuchlichen nachträglich eingebauten externen Spanngliedern, ist die „Verstärkung durch Aufbeton“ eine einfache und wirtschaftliche Maßnahme zur Steifigkeits- und Traglasterrhöhung des bestehenden Bauwerks.

Die Verstärkung durch Aufbeton konnte sich bereits im Stahl- und Holzbau als Stahlverbundbau bzw. Holzverbundbau etablieren und führt gerade beim Bauen im Bestand zu praktikablen und wirtschaftlichen Lösungen. Die Verstärkung von Betonbauteilen ist bislang noch nicht eingehend untersucht worden. Für zahlreiche Fragestellung, sowohl auf der Einwirkungs- wie auch auf der Widerstandsseite der Verstärkungsmaßnahme, liegen noch keine ausreichend abgesicherten Erkenntnisse vor.

2 Ziel des Forschungsvorhabens

In Rahmen des Forschungsvorhabens „Verstärkung von Biegebauteilen durch eine nachträglich aufgebrachte Aufbetonschicht“ soll zunächst eine systematische Literaturrecherche zur Verstärkung von Biegebauteilen durch einen nachträglich aufgebrachten Aufbeton erfolgen. Diese soll den derzeitigen Wissensstand erfassen und sich schwerpunktmäßig auf die folgenden Einflussparameter bei einer Verstärkung mit Aufbeton konzentrieren:

- Belastungsart,
- Tragfähigkeit der Verbundfuge,
- Anwendung von Sonderbetonen.

Im Einzelnen sollen neben Forschungsergebnissen aktueller Arbeiten und derzeitiger Normung auch Verbundsicherungsmaßnahmen in dieser Untersuchung Berücksichtigung finden, um den vorhandenen Wissensstand dieser Thematik aufzuzeigen.

Als angestrebtes Ergebnis des Forschungsvorhabens sollen aktuelle Forschungsergebnisse hinsichtlich der nachträglichen Verstärkung von Biegebauteilen sowohl mit konventionellem Beton, als auch mit innovativen Sonderbetonen, aufgeführt werden. Diese Zusammenstellung dient dazu einen Überblick über durchgeführte Untersuchungen in diesem Bereich zu bieten. Zudem soll eine Zusammenstellung der vorhandenen Anwendungs- und Bemessungsregeln, sowie denen zugrundeliegende Annahmen und Modelle für die Tragfähigkeit der Verbundfuge erarbeitet werden. Abschließend sollen Methoden und Möglichkeiten zur Verbundsicherung von nachträglich ergänztem Aufbeton dargestellt werden.

Durch die Zusammenstellung und die anschließende Bereitstellung des Wissensstandes für nachträglich durch Aufbeton verstärkte Biegebauteile soll eine bessere Sachkenntnis erreicht

werden. Hiermit wird eine Grundlage für weitergehende Arbeiten gelegt, die als Ziel eine fachgerechte und sichere Planung sowie wirtschaftliche Anwendung von „Verstärkungen durch Aufbeton“ hat.

3 Grundlegende Annahmen

Als Verstärkung von Biegebauteilen durch eine nachträglich aufgebrachte Ortbetonschicht wird die Hinzufügung eines Neubetons zu einem bestehenden Biegebauteil verstanden. Als Ortbetonverstärkung kann neben einem oberseitig aufgebrachten Betonquerschnitt („Topping“ als Vergrößerung der Betondruckzone) auch eine seitliche bzw. unterseitige Hinzufügung von Beton (Stegverstärkung bzw. Vergrößerung der Betonzugzone) ausgeführt werden.

Insbesondere die seitliche und die unterseitige Ergänzung werden in der Regel mittels der Spritzbetontechnologie ausgeführt und sollen in diesem Forschungsvorhaben nicht thematisiert werden.

Wesentlicher Bestandteil von Maßnahmen zur Querschnittsergänzung bzw. Querschnittsverstärkung ist die Herstellung eines wirksamen Verbundes zwischen dem vorhandenen und dem neuen Querschnitt, so dass der alte und neue Querschnittsbereich als Gesamtquerschnitt zusammenwirken. Im Einzelnen können hierzu beispielsweise

- unbehandelte Betonoberflächen, wie sie bei schalglatten, bzw. abgezogenen oder planmäßigen Ortbetonergänzungen im Fertigteilbau verwendet werden (Bild 3-1 a)),
- durch Sand-, Hochdruckwasser-, oder Stahlkugelstrahl vorbehandelte Oberfläche (Bild 3-1 b)), oder
- mechanisch aufgeraute Oberflächen mit freigelegter Bewehrung (Bild 3-1 c))

dienen. Die Vorbehandlung der Betonoberfläche dient dazu, die Oberflächeneigenschaften zu verbessern und somit die statische Mitwirkung der Aufbetonschicht zu ermöglichen. Daneben können auch flächige Verbundelemente (z. B. Haftbrücken) oder punktuelle Verbundelemente (z. B. nachträglich eingebaute Bewehrungsstäbe oder Dübel) zur Übertragung der Verbundkräfte in der Fuge zum Aufbeton verwendet werden.

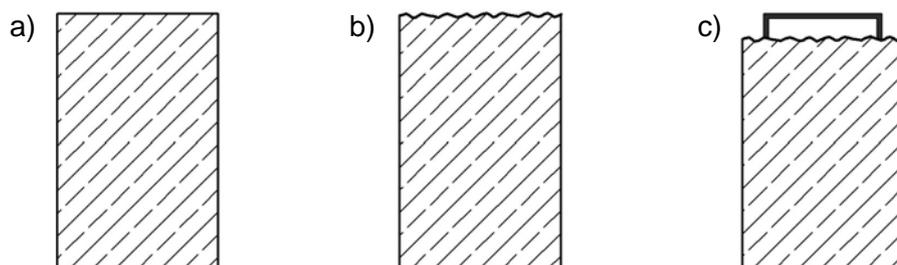


Bild 3-1: Oberflächenbeschaffenheiten für die Ergänzung durch Aufbeton
a) unbehandelte (schalglatte bzw. abgezogene) Oberfläche
b) durch Sand-, Hochdruckwasser- oder Stahlkugelstrahl aufgeraute Oberfläche
c) mechanisch aufgeraute Oberfläche mit freigelegter Bewehrung

In diesem Sachstandsbericht wird der Verbund und die Tragfähigkeit (Widerstandsseite) von planmäßig durch Aufbeton ergänzten Querschnitten, wie sie z. B. im Fertigteilbau bei Elementdeckenplatten oder nachträglich zu ergänzenden Plattenbalkendecken vorliegen, nur soweit berücksichtigt, wie es für die Darstellung der mechanischen Zusammenhänge erforderlich ist.

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt in der nachträglichen Verstärkung von Bauteilen durch Aufbeton. Ein Kennzeichen dieser Bauweise ist, dass bei der ursprünglichen Ausführung eine Aufbetonschicht nicht vorgesehen war. Damit liegen die für einen wirksamen Verbund zwischen vorhandenem und ergänztem Querschnitt benötigten Eigenschaften der Verbundfuge nicht vor und müssen nachträglich hergestellt werden. Ziel der Verstärkungsmaßnahme und somit auch der Bauweise ist die Erhöhung der Tragfähigkeit und/oder der Gebrauchstauglichkeit des Bauteils bzw. eine Verbesserung der Dauerhaftigkeit und des Ermüdungsverhaltens.

4 Tragverhalten von nachträglich durch Aufbeton ergänzten Querschnitten

Beton-Betonverbundquerschnitte ergeben sich durch das planmäßige Zusammenwirken der einzelnen Querschnittsteile – Alt- und Neubeton – zu einem Gesamtquerschnitt. Hierfür ist die Übertragung von Schubspannungen in der Verbundfuge erforderlich. Man unterscheidet in diesem Zusammenhang zwischen starrem und nachgiebigem Verbund.

Starrer Verbund (steifer/voller Verbund) bedeutet, dass keine Relativverschiebungen in der Verbundfuge auftreten und ein vollständiges Zusammenwirken von zwei Querschnittsteilen (Bild 4-1a) vorhanden ist. Der Gesamtquerschnitt wirkt dann als quasi-monolithischer Querschnitt, obwohl auch hier meist infolge der Festigkeitsentwicklung und des zeitabhängigen Betonverhaltens innere Zwangsschnittgrößen unvermeidbar sind. Diese können sich u. U. auf die Rissentwicklung und somit auf das Verbundfugenverhalten auswirken. Ein starrer Verbund wird im Allgemeinen der praktischen Ingenieurbemessung, im Rahmen der nachträglichen Verstärkung von Betonbauteilen durch Aufbeton, zu Grunde gelegt.

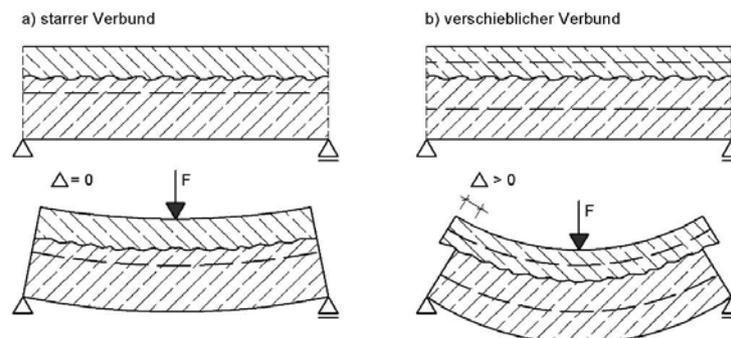


Bild 4-1: Verbundzusammenwirkung von starrem und verschieblichem Verbund

Verschieblicher Verbund (teilweiser bzw. nachgiebiger Verbund) liegt dann vor, wenn die Querschnittsteile nicht vollständig zusammenwirken (Bild 4-1b). Auftretende Zugspannungen senkrecht zur Fuge führen hierbei zu einem großflächigen Entfestigen des Haftverbunds. Erst durch die damit verbundene Rissöffnung und Rissuferverschiebung werden mechanische Verbindungsmittel wie z. B. Bügel oder nachträglich eingebaute Dübel aktiviert. Die Höhe der örtlichen Kraftumlagerungen und die damit einhergehende Verformungszunahme werden maßgeblich durch die Resttragfähigkeit der gerissenen Fuge infolge der Rissuferverzahnung und Reibung sowie die Art, Menge und Verteilung der Verbundbewehrung bestimmt. Ein verschieblicher Verbund kann – je nach Anordnung der Verbindungsmittel – z. B. bei einer Ortbetonerfüllung von Stahl- oder Holzträgern vorhanden sein.

Auf der Grundlage experimenteller Beobachtungen setzt sich die Schubfugentragfähigkeit aus drei fugenparallelen Anteilen zusammen:

- dem Haftverbund bzw. der Adhäsion zwischen Alt- und Neubeton,
- der Reibung,

- der Dübel- bzw. Klemmwirkung der Verbundbewehrung.

5 Zusammenfassung der Untersuchungen

5.1 Sachstand

Im Rahmen dieses Sachstandsberichtes wurden anhand einer Literaturstudie die maßgebenden Parameter auf das Verbundtragverhalten in der Schubfuge zwischen Alt- und Neubeton dargestellt und deren Einfluss auf die Gesamttragfähigkeit herausgearbeitet. Dabei fand im Wesentlichen die Betrachtung der Widerstandsseite des Tragverhaltens statt, und unter Berücksichtigung der Belastungsart (statisch oder dynamisch) wurden insbesondere die Tragfähigkeit der Verbundfuge sowie die Anwendung von innovativen Sonderbetonen bei der nachträglichen Verstärkung durch Aufbeton untersucht.

Die Tragfähigkeit der Verbundfuge von nachträglich durch Aufbeton ergänzten Bauteilen setzt sich aus den Anteilen „Haftverbund bzw. Adhäsion“, „Reibung“ und „Klemm- sowie Dübelwirkung der Verbundfugenbewehrung“ zusammen. Dabei ist die Beschaffenheit der Fugenoberfläche entscheidend für die Übertragung der Schubkräfte zwischen Alt- und Neubeton. Für die Aufrauung der Altbetonoberfläche stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung. Eine Aufrauung der Altbetonoberfläche mittels HDW-strahlen zeigt die besten Ergebnisse hinsichtlich der übertragbaren Verbundkräfte. Dabei erfolgt die Schubkraftübertragung überwiegend mittels Reibung. Eine Aufrauung durch sandstrahlen oder mechanische Methoden zur Aufrauung zeigt hingegen um bis zu 50% geringere übertragbare Schubkräfte. Hierbei erfolgt die Schubkraftübertragung durch Reibung und dem Zuglastanteil der Verbundbewehrung. Liegen geschalte oder schalglatte Altbetonoberflächen vor, erfolgt die Schubkraftübertragung nur durch die Aktivierung des Zuglastanteils und der Dübelwirkung der Verbundbewehrung. Dieser Zuglastanteil wird jedoch in keinem Fall bis zur Fließzuglast der Bewehrung ausgenutzt.

Die Tragfähigkeit der Verbundfuge wird durch eine Oberflächenverschmutzung bei einer statischen Beanspruchung, aber insbesondere auch bei einer dynamischen Beanspruchung deutlich verringert.

Untersuchungen zum Einfluss der Betonkonsistenz und der Betongüte auf die Tragfähigkeit der Verbundfuge haben gezeigt, dass die Verwendung von Beton mit einer steifen Konsistenz und einem niedrigen w/z-Wert zur Vergrößerung der Oberflächenrauigkeit nach dem Betonieren und zu einer Steigerung der Haftzugfestigkeiten beitragen kann. Die Verwendung eines hochfesten Betons führt ebenfalls zu einer Steigerung der Schubfugentragfähigkeit, wobei sich die Handhabung eines hochfesten Betons hinsichtlich einer Aufrauung als schwierig herausgestellt hat. Hochfeste Betone wiesen insbesondere bei dynamischen Beanspruchungen besonders hohe Tragfähigkeiten auf.

Zur Verwendung nachträglich eingebauter Verbindungsmittel liegen derzeit nur wenige Untersuchungen vor. Dabei konnte der Einfluss der Verbundbewehrung auf die Tragfähigkeit in Abhängigkeit der Oberflächenbeschaffenheit nachgewiesen werden. Als Verankerungstiefe der nachträglich eingebauten Verbundbewehrung kann $6 \cdot d_s$ als ausreichend angesehen werden damit sich die volle Schrägzugwirkung einstellt. Kürzere Verankerungstiefen führen zu einem Auszug der Bewehrung. Hinsichtlich dynamischer Beanspruchungen konnte in einzelnen Untersuchungen festgestellt werden, dass bereits wenige hohe wiederholte Einwirkungen die Steifigkeit der Verbindungsmittel reduzieren können.

In allen betrachteten Regelwerken setzt sich die Verbundtragfähigkeit aus den Anteilen „Haftverbund bzw. Adhäsion“, „Reibung“ sowie „Klemmwirkung der Verbundfugenbewehrung“ zusammen. Der Traganteil aus „Dübelwirkung“ wird hierbei lediglich in der ÖNORM berücksichtigt. Die ÖNORM B 4700 setzt hierbei im Gegensatz zu E DIN EN 1992-1-1 und

DIN 1045-1 eine Relativverschiebung der Kontaktflächen voraus und weist zum Teil wesentlich größere Bewehrungsgrade auf als die übrigen hier betrachteten Normen.

In Bezug auf die im Zusammenhang mit der Bemessung der Schubfuge maßgebenden nationalen und internationalen Vorschriften kann festgehalten werden, dass - abgesehen von der Klassifizierung der Oberflächenbeschaffenheiten - keine expliziten Angaben zur nachträglichen Verstärkung von Bauteilen vorhanden sind. Die Regelwerke gehen hierbei immer von einer planmäßigen nachträglichen Ergänzung eines Bauteiles aus. Die Bemessungsansätze zum Verbundtragverhalten der Schubfuge enthalten zum Teil vereinfachende Angaben hinsichtlich der maßgebenden Einflussparameter sowie die der Bemessung zugrunde zu legenden Einwirkungen.

5.2 Offene Fragen und Wissenslücken

Die Vergleichbarkeit einzelner Untersuchungen ist aufgrund zum Teil fehlender Angaben in den Forschungsberichten und fehlender einheitlicher objektiver Messmethoden, z. B. zur Messung der Oberflächenrauheit, kaum möglich. Ferner wurde in den bisher durchgeführten Versuchen zum Teil keine klare Trennung der einzelnen Traganteile „Haftverbund“, „Reibung“ und „Klemm- bzw. Dübelwirkung“ sowie deren gegenseitige Beeinflussung vorgenommen.

Bei einer planmäßigen Ergänzung wird im Allgemeinen von einem monolithischen Querschnitt ausgegangen. Bei einer nachträglichen Verstärkung ist jedoch neben der Schubfugeproblematik auch das Gesamttragverhalten des ergänzten Querschnitts zu betrachten. Auswirkungen möglicher Spannungs- und Schnittgrößenumlagerungen innerhalb des Querschnitts, hervorgerufen durch zeitabhängiges Materialverhalten oder auftretender Steifigkeitsreduzierung durch Rissbildung, auf das Tragverhalten sind noch weitestgehend ungeklärt. Umfassende Untersuchungen bei nachträglich durch Aufbeton ergänzten Bauteilen fehlen hier. Ebenso ist der Einfluss nachgiebiger Verbindungsmittel noch nicht umfassend untersucht worden und hat noch keine Berücksichtigung in der aktuellen Normung gefunden.

Die Verwendung und die Bemessung einer Verstärkung mit innovativen Sonderbetonen ist bisher ebenfalls noch nicht eingehend untersucht worden. Zwar konnten einige Untersuchungen bereits Unterschiede bzgl. einzelner Einflussfaktoren zum herkömmlichen Normalbeton feststellen, allerdings fehlt die Berücksichtigung der zum Teil abweichenden Materialeigenschaften in den Bemessungskonzepten. Untersuchungen zum Einfluss innovativer Sonderbetone im Zusammenhang mit der Verwendung von Verbundsicherungsmaßnahmen, z. B. punktueller Verbindungsmittel, konnten im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nicht recherchiert werden.

Der Einfluss einer dynamischen Beanspruchung bei der nachträglichen Verstärkung durch Aufbeton wurde zwar in einigen Versuchen untersucht, jedoch hinsichtlich der maßgebenden Einflussfaktoren noch nicht eingehend systematisch betrachtet. Die aktuelle Normung berücksichtigt dynamische Einflüsse zum Teil nur durch den Entfall oder eine Reduzierung einzelner Traganteile. Für eine explizite Berücksichtigung dynamischer Beanspruchungen (z. B. Lastwechselzahl, Lastwechselart) in der Normung bedarf es somit noch weiterer theoretischer und experimenteller Untersuchungen.