

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizerische Bauzeitung
<b>Herausgeber:</b>	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
<b>Band:</b>	93 (1975)
<b>Heft:</b>	44
<b>Artikel:</b>	Kunststoff-Verbundverbau: neues Ausbausystem für Hohlräume und Baugruben
<b>Autor:</b>	Rotter, E. / Habenicht, H.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-72859">https://doi.org/10.5169/seals-72859</a>

### **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:** 22.02.2026

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

Das Beispiel zeigt deutlich, dass durch die geringe Ausdehnung der «Wärmebrücke» die mittlere Wärmedurchgangszahl  $k_m$  [Gl. (5)] nur unmerklich höher als diejenige der ungestörten Schicht liegt.

### Temperaturverteilung

Berechnet man im Beispiel nach Bild 2 die Temperaturverteilung elementar, d.h. die beiden Komponenten werden getrennt als ebene Wand berechnet, so erhält man für die Oberflächentemperaturen:

Beton:

$$(7) \quad T_{Wi} = T_i - \frac{k_B(T_i - T_a)}{\alpha_i} = 20 - \frac{3,34 \cdot 20}{6,7} = \\ = 10,03 \text{ } (\text{°C})$$

$$(8) \quad T_{Wa} = T_a + \frac{k_B(T_i - T_a)}{\alpha_a} = 0 + \frac{3,34 \cdot 20}{20} = \\ = 3,34 \text{ } (\text{°C})$$

Stahl:

$$(7') \quad T_{Wi} = T_i - \frac{k_s(T_i - T_a)}{\alpha_i} = 20 - \frac{4,95 \cdot 20}{6,7} = \\ = 5,22 \text{ } (\text{°C})$$

$$(8') \quad T_{Wa} = T_a + \frac{k_s(T_i - T_a)}{\alpha_a} = 0 + \frac{4,95 \cdot 20}{20} = \\ = 4,95 \text{ } (\text{°C})$$

Ein Vergleich mit der digital gerechneten Temperaturverteilung (Bild 4) zeigt, dass der Temperaturverlauf in der Betonwand ab einer Entfernung von etwa einer Wandstärke von der «Wärmebrücke» demjenigen der ebenen Wand entspricht. In der Nähe der «Wärmebrücke» wird die Betontemperatur von der tieferen Temperatur des Stahles beeinflusst, während diese, verglichen mit dem Temperaturverlauf der ebenen Wand, im Mittel um rund 1,5°C höher liegt, also von der Betonwand erwärmt wird. Bemerkenswert ist, dass auch deren Oberflächentemperaturen dadurch etwas höher liegen (rund 1,6°C) als dies die elementare Rechnung erwarten lässt.

Während die Rechenmethode für die mittlere Wärmedurchgangszahl  $k_m$  und die mittlere Wärmestromdichte  $\dot{q}$  nach Gl. (5) allgemein angewendet werden kann, können die Ergebnisse für die Temperaturverteilung nur qualitativ auf andere Anordnungen übertragen werden.

Für die Beurteilung der Gefahr der Tauwasserbildung auf der warmen Seite einer «Wärmebrücke» wird die elementare Berechnung der Oberflächentemperatur nach Gl. (7') empfohlen. Wie der Vergleich mit dem Ergebnis nach Bild 4

zeigt, liegt man damit jedenfalls auf der sicheren Seite. Um aber eine genauere Aussage über die Möglichkeit der Tauwasserbildung machen zu können, ist man entweder auf eine numerische Berechnung mit dem Computer oder auf Messungen angewiesen.

### Verwendete Symbole und Definitionen

$\dot{Q}$	$\left( \frac{\text{kcal}}{\text{h}}, \text{W} \right)$	Wärmestrom
$\dot{q}$	$\left( \frac{\dot{Q}}{A}, \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{h}}, \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$	Wärmestromdichte
$A$	( $\text{m}^2$ )	Fläche
$d$	(m)	Wandstärke
$k$	$\left( \frac{\dot{q}}{T_i - T_a}, \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{h}^\circ}, \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \circ} \right)$	Wärmedurchgangszahl
$\alpha$	$\left( \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{h}^\circ}, \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \circ} \right)$	Wärmeübergangszahl
$\lambda$	$\left( \frac{\text{kcal}}{\text{mh}^\circ}, \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ} \right)$	Wärmeleitfähigkeit
$T$	(°C)	Temperatur
Indices:	$i$ innen I Teil I $B$ Beton $Wi$ Wand innen $m$ mittel	$a$ aussen II Teil II $S$ Stahl $Wa$ Wand aussen

### Literaturverzeichnis

- [1] Gösele, Schüle: Schall, Wärme, Feuchtigkeit. Grundlagen, Erfahrungen und praktische Hinweise für den Hochbau. Zweite überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden/Berlin 1972, Bauverlag GmbH.
- [2] F. Eichler: Bauphysikalische Entwurfslehre, Band 1, Berechnungsgrundlagen. Zweite verbesserte Auflage. Berlin 1969, VEB Verlag für Bauwesen.
- [3] E. Amrein: Element 12, Wärmeisolation. Zürich 1965, VSZS Verband Schweizerischer Ziegel- und Steinfabrikanten.
- [4] H. Kuenzel: Der Wärmeschutz von Ecken «Gesundheits-Ingenieur», Heft 10/1961, S. 297.
- [5] H. Kuenzel: Die Wärmebrücken – Wirkung von Ecken in Bauwerken «Boden, Wand + Decke», Heft 12/1963, S. 754.
- [6] P. Bremi: Berechnung stationärer und instationärer Temperaturfelder mit Hilfe elektronischer Rechenautomaten. Technische Rundschau SULZER – Forschungsheft 1970.

Adresse des Verfassers: Oskar Frei, dipl. Masch.-Ing. ETH, Sonnhalde, 8357 Guntershausen.

## Kunststoff-Verbundverbau

### Neues Ausbausystem für Hohlräume und Baugruben

Von Dr. E. Rotter und Dr. H. Habenicht, Salzburg

DK 691.175

Aus den Erkenntnissen über das Gebirgsverhalten im Zuge der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise und das Werkstoffverhalten der herkömmlichen Ausbaumittel wurde das Erfordernis abgeleitet, Werkstoffe mit besser variierbaren Eigenschaften einzusetzen, damit den Reaktionsweisen des Gebirges besser entsprochen werden kann. Als Lösung hierzu werden Kunststoffe herangezogen, deren Eigenschaften und Wirkungsweise am ehesten geeignet erscheinen. Vor allem weisen sie bei hoher Festigkeit einen weiteren Bereich der Verformbarkeit auf und erlauben somit grössere Deformationen des Gebirges, welche

ihrerseits die Gebirgsspannungen weiter senken. Somit scheint es möglich, den Gebirgstragring auch in schwächeren Gebirgsqualitäten noch wirkungsvoll entwickeln zu können. Die in Betracht gezogene Ausführungsform hat die Gestalt des patentrechtlich geschützten Kunststoff-Verbundverbaus. Dieser besteht aus einem Verbund von Kunststoffankern und einer Kunststoffbeschichtung. In betrieblicher und wirtschaftlicher Hinsicht bringt der Kunststoff-Verbundverbau Verbesserungen durch Einfachheit, Schnelligkeit, Betriebskonzentration und Ersparnis baulicher Massnahmen.

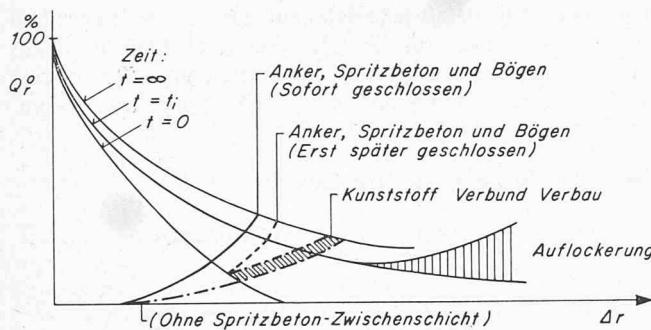


Bild 1. Kennlinien für Ausbau aus herkömmlichen Werkstoffen und für solchen aus Kunststoff nach F. Pacher [5]

## Einleitung

Durch die Anfänge der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise (NÖTM) vor etwa 25 Jahren hat in der Gebirgsbeherrschung und Ausbautechnik untertägiger Hohlräume, so beispielsweise im Tunnelbau, Bergbau, Schacht- und Stollenbau eine entscheidende Wandlung eingesetzt. Bis dorthin bestand der sehr aufwendige und zeitraubende vorläufige Ausbau, der zur unmittelbaren Sicherung der neu geschaffenen Ausbruchsfächen diente und die Bewegung des Gebirges gegen den Hohlräum hin oft auch sofort unterbinden sollte, aus Holz oder Stahl. Seine Einzelemente verstellten den ausgetrockneten Hohlräum stark und mussten vor dem Einbringen des endgültigen Ausbaues (Ringbeton) geraubt werden. Der damit verbundene Arbeits- und Zeitaufwand belastete den Baubetrieb. Die Möglichkeit der Gebirgsauflockerung nach dem Rauben brachte unnötig grosse Gebirgskräfte zur Wirkung. Diese Art des vorläufigen Ausbaues wurde in der Neuentwicklung durch die Verwendung von Gebirgsankern abgelöst, welche den Gebirgskörper verstetzen, ihm höhere Festigkeit verleihen und ihn so aufnahmefähig für die um den Hohlräum entstandenen Randspannungen machen. Die Anker wurden an der Hohlräumlaibung verbunden mit auf die freie Gebirgsoberfläche aufgetragenem Spritzbeton, der noch allenfalls durch Einlegen von Baustahlgitter bewehrt sein konnte. So entstand ein Verbund aus Ankern und Spritzbeton [2], der dem Gebirge das notwendige Mass an Stabilität verlieh, und der sofort nach dem Ausbruch eingebracht werden konnte, also als vorläufiger Ausbau diente, ohne dass er den Querschnitt verstellte oder vor Einbringen des endgültigen Ausbaues geraubt werden musste. Unter Umständen konnte er auch als endgültiger Ausbau allein die Stabilität von Hohlräumen aufrecht erhalten.

Dieser Verbund ist nachgiebig, so dass er dem Gebirge erlaubt, sich gegen den Hohlräum hin zu bewegen und dadurch in ihm entwickelte Spannungen abzubauen. Da sich der Verbund mit dem Gebirge verformt, indem er gedrückt wird, entwickelt er Widerstandskräfte, die mit der Verformung zunehmen. Erreichen die so hervorgerufenen Widerstandskräfte die Grösse der vom Gebirge gegen den Hohlräum (oder den Verbund) ausgeübten Kräfte, so ist ein Gleichgewichtszustand erreicht und das Gebirge stabilisiert.

Dieses Zusammenwirken ist ein Grundbestandteil der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise, der heute zur Routine gewordenen modernen Technik der Sicherung von untertägigen Hohlräumen.

Für die Berechnung des Verbundes in statischer Hinsicht gibt es keine Lehrmeinung und keinen veröffentlichten Vorschlag. Das heisst, sowohl die Erfassung der vom Gebirge entwickelten Kräfte oder Druckwirkungen, als auch die Ermittlung der im Verbund aufgebauten Widerstandskräfte oder Spannungen ist nicht festgelegt. In der Praxis werden die Ausbaumassnahmen zu diesem Zweck nach Erfahrungswerten be-

stimmt. Die getroffenen Massnahmen werden jedoch weitgehend durch Messungen der entwickelten Spannungen und Verformungen begleitet, so dass durch deren Auswertung eine unmittelbare Überwachung und gegebenenfalls eine Korrektur möglich ist.

Je nach dem Mass und der Zeitspanne, in der auf diese Art eine Stabilisierung des Gebirges erreicht werden kann – und diese hängen davon ab, ob das Gebirge standfest, brüchig, nachbrüchig, druckhaft, pseudoplastisch, rollig oder fliessend ist – kann hierzu ein mehr oder weniger starker Ringbeton als endgültiger Ausbau gewählt werden.

So gross auch die Fortschritte durch diese Neuentwicklung waren, es zeichnen sich doch einige Nachteile ab, die beim heutigen Stand der Werkstoffwissenschaften und der Verfahrenstechnik Verbesserungen erwarten lassen.

Ein wichtiger Nachteil liegt in dem verhältnismässig hohen  $E$ -Modul des Spritzbetons und des Verbundes, der bei 120000 kp/cm<sup>2</sup> und darüber liegt, während viele Gebirgsarten einen solchen von 1000 bis 100000 kp/cm<sup>2</sup> aufweisen. Dies bedeutet, dass der Spritzbeton nicht soweit nachgeben kann, bis die Gebirgsspannungen auf das erträgliche Mass abgebaut sind, sondern dass die in ihm entwickelten Spannungen seine Festigkeit überschreiten und er frühzeitig zu Bruch geht. Auch seine geringe Bruchdehnung, die bei 0,2 % liegt, wirkt in diesem Sinne hinderlich, da er für manche Gebirgsarten nicht ausreichend verformt werden kann. Darüber hinaus ist auch die Druckfestigkeit verhältnismässig niedrig (bei rund 150 kp/cm<sup>2</sup>) und mit einer bemerkenswerten Zugfestigkeit kann nicht gerechnet werden.

Auch wirkt nachteilig, dass dieser Verbund doch einer bemerkenswert langen Zeit bedarf, um in höherem Massen tragefest zu werden, da seine Festigkeit erst nach 12 bis 24 h annähernd erreicht ist. Ebenso ist er nicht wasserdicht oder gasdicht. Auch verlangt er die Lagerung und Handhabung einer grossen Vielfalt an Baustoffen und Grösseneinheiten an der Baustelle, verbunden mit hohen Gewichten. Die Anpassungsfähigkeit der Ausbaumassnahmen an die qualitativen Veränderungen des Gebirges ist im Rahmen der Lagerhaltung beschränkt.

## Konzept des Kunststoff-Verbundverbaus

Die Erfahrungen der letzten 20 Jahre haben gezeigt, dass sich viele Gebirgsarten mit Erfolg durch die Einbringung eines Verbundes aus Stahlankern und bewehrtem oder unbewehrtem Spritzbeton in untertägigen Hohlräumen stabilisieren lassen, und dass damit sicherheitliche, verfahrenstechnische, mechanische und wirtschaftliche Vorteile verbunden sind. Die neueren Fortschritte auf dem Gebiet der Werkstoffe, die uns heute insbesondere Kunststoffe in grosser Vielfalt und Menge verfügbar gemacht haben und die damit verbundenen, verhältnismässig einfachen Verfahren der Verarbeitung, erlauben es jedoch, diese Vorteile noch auszuweiten und auf Gebirgsklassen auszudehnen, die bisher noch nicht so gut zu beherrschen waren. Wenn Anker und Flächenbeschichtung aus Kunststoff hergestellt werden, so können unter Nutzung der gleichen mechanischen Wirkungen die Möglichkeiten der NÖTM noch erweitert werden. Ein solches System aus Kunststoff wird im Kunststoff-Verbundverbau verwirklicht [3]. Seine Entwicklung wird von der Gebirgssicherung GmbH, Salzburg, mit Unterstützung durch den Forschungsförderungsfonds zur Förderung der gewerblichen Wirtschaft Österreichs betrieben.

## Qualitative Betrachtungen

Kunststoffe, insbesondere Epoxid-Harze, weisen eine bedeutend grössere Verformbarkeit und einen geringeren  $E$ -Modul auf, als Spritzbeton. Ihre Bruchdehnung geht bis 5 %

und ihr  $E$ -Modul von 5000 bis 100 000  $\text{kp}/\text{cm}^2$ . Dies bedeutet, dass sie die Verformungen des Gebirges weit länger mitmachen können und diesem einen bedeutend weiterreichenen Abbau der Gebirgskräfte ermöglichen (Bild 1). Sie bauen zwar wegen des geringen  $E$ -Moduls die Widerstandskräfte wesentlich langsamer auf, doch besitzen sie grössere Endfestigkeiten, so dass sie letztlich mehr Widerstand leisten können. Ihre Druckfestigkeiten liegen bei 1000  $\text{kp}/\text{cm}^2$ , Zugfestigkeiten bei 100 bis 800  $\text{kp}/\text{cm}^2$  und Scherfestigkeit bei 250 bis 600  $\text{kp}/\text{cm}^2$ . Diese Festigkeiten bedeuten mehr Sicherheit oder geringere tragende Querschnitte als bei Spritzbeton, oder aber die Beherrschung grösserer Gebirgsdrücke. Die bemerkenswert hohe Zugfestigkeit und Scherfestigkeit ermöglicht auch eine andere Art der Krafteinleitung, d.h. die Ausbildung anderswirkender Unterstützungselemente als bei Spritzbeton.

Anderseits ist es jedoch auch möglich, die Endsteifigkeit der Epoxid-Harze sehr hoch einzustellen, so dass ihre Verformbarkeit sehr gering ist und ihre Tragfähigkeit noch früher wirksam wird, wie es z.B. für standfeste Gebirgsarten von Vorteil sein kann.

Die Aushärtungszeit von Epoxid-Harzen kann sehr kurz eingestellt werden, so dass z.B. die Endfestigkeit nach einer Stunde fast völlig erreicht ist, damit eine frühzeitige Tragwirkung eintritt und dadurch betriebliche Wartezeiten vermieden werden.

Epoxid-Harze sind auch wasser- und gasdicht und dienen somit nicht nur als Ausbaumittel, sondern auch als Isolierung. Ihre Korrosionsbeständigkeit setzt sie in eine besonders vorteilhafte Position gegenüber Stahl und Beton.

Bei einem Minimum von Materialsorten im Lager kann eine weitaus bessere und kurzfristigere Anpassung der Ausbaumassnahmen an die Veränderungen der Gebirgsqualität erfolgen als bei herkömmlichen Ausbaumitteln. Ankerlänge, Ankertragkraft, Beschichtungsstärke, Aushärtungszeiten, Endfestigkeiten können unmittelbar vor Ort beschlossen und eingestellt werden.

### Herstellungsverfahren

In dem vorliegenden Verfahren wird der Kunststoff-Verbundverbau (der Verbund aus den Kunststoffdübeln und der Kunststoff-Flächenbeschichtung) in zwei Schritten hergestellt. Diese bestehen im Herstellen der Dübel (Bild 2) und im Herstellen der Flächenbeschichtung (Bild 3). Die Reihenfolge dieser beiden Schritte kann verschieden sein. Es kann zuerst

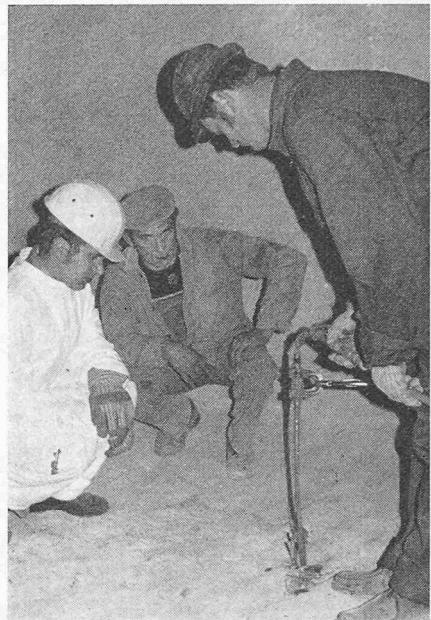


Bild 2. Einpressvorgang von Kunststoffmörtel in ein Sohlebohrloch

Bild 3. Beschichtungsvorgang mit Kunststoffmörtel auf Ulm

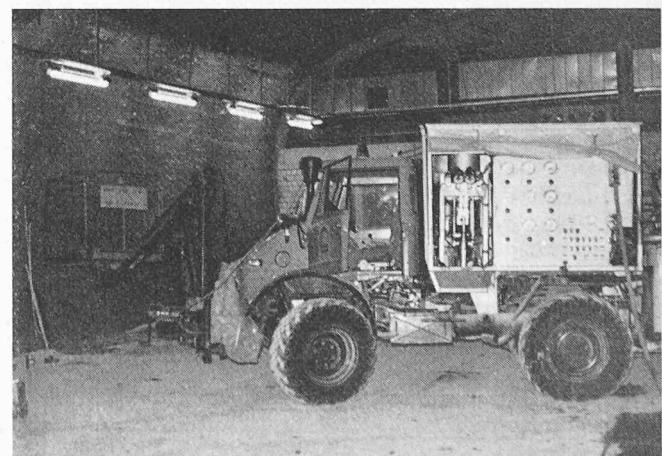


verdübelt und danach beschichtet werden oder umgekehrt. Allfällig mag auch die Gebirgsqualität auf diese Abfolge einen Einfluss ausüben. Vorspannanker aus Kunststoff können ebenfalls zur Verwendung kommen.

Die Beschichtung und Füllmasse für die Dübel besteht aus drei Komponenten. Diese sind die Epoxid-Basismasse, der Epoxid-Härter und ein inertes Füllmittel aus mineralischem Mehl oder Feinsand. Das Füllmittel dient zur Senkung der Materialkosten. Es verringert die Festigkeit geringfügig. Diese drei Komponenten werden in einem eigens dafür entwickelten Gerät (Bild 4) erhitzt, dosiert, vermischt und unter hohem Druck an die Austrittöffnung gepumpt, durch die sie bei der Beschichtung versprüht oder beim Verdübeln in die Bohrlöcher eingepresst werden.

Beim Verdübeln werden die Bohrlöcher durch einen patentierten Verschluss am Bohrlochmund abgedichtet, der dazu dient, den Austritt aus dem Bohrloch zu verhindern, einen mässigen Druckaufbau im Bohrloch, wenn es gefüllt ist, zu ermöglichen und gleichzeitig die Entlüftung während des Einpressens zu erlauben. Zur Erhöhung der Tragkraft der

Bild 4. Beschichtungs- und Verdübelungsgerät hoher Leistung auf geländegängigem Fahrzeug



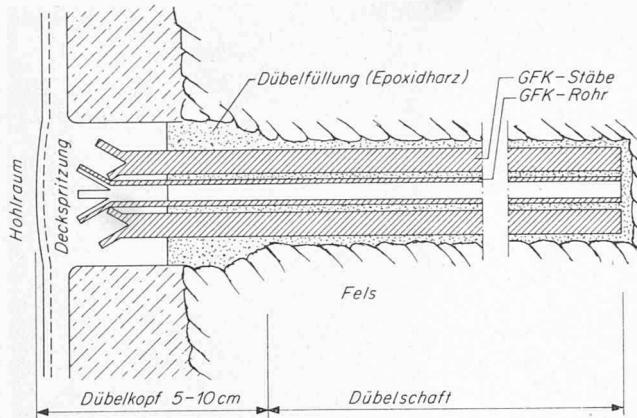


Bild 5. Prinzipskizze der Verbundherstellung zwischen Dübel und Beschichtung

Dübel werden in die Bohrlöcher Glasfaser-Kunststoff-Stäbe oder Glasfaser-Kunststoff-Rohre eingelegt, die eine hohe Zugfestigkeit besitzen und durch deren Auswahl die Tragkraft und Verformbarkeit der Dübel verändert werden kann.

Durch die dünnflüssige Konsistenz des Kunststoffes während des Einpressens schmiegt sich dieser in die Rauigkeit der Bohrlochwand gut ein, dringt in Risse und Klüfte ein und entwickelt so eine innige Verbindung mit dem Gebirge. Der so erreichte gute Formenschluss verhindert auch besser als der bei Spreizankern gegebene Kraftschluss ein Gleiten im Bohrloch. Hierdurch wird auch eine hohe Beständigkeit gegen Lockerungen durch Stosswellen erzielt [4].

Durch Zugabe von Thixotropiermitteln kann der Kunststoff sofort nach Beendigung des Einpressens gelieren, so dass er nicht mehr weiter verfliesst und auch aus aufwärts gerichteten Bohrlöchern nicht austritt, wenn der Bohrlochverschluss nach wenigen Minuten entfernt wird. Durch schnelles Abbinden und Erhärten erreicht er schon nach Zeiten, wie einer Stunde, sehr hohe Festigkeiten und ist daher früh tragfähig.

Die Beschichtung der freien Gebirgsoberfläche wird durch Aufsprühen aus einer Präzisionsdüse vorgenommen, wobei die Schichtdicke durch die Bewegungsgeschwindigkeit der Düse variiert wird. Hierdurch ist eine bestmögliche Anpassung der Beschichtungsstärke an die Erfordernisse des Gebirges gegeben. Die Beschichtung kann wasserdicht ausgeführt werden. Ein Abfliessen oder Abtropfen von der Hohlraumwand wird durch die Thixotropierung und durch die äußerst kurz eingestellten Erhärtungszeiten verhindert. Zur Erhöhung der Schichtdicke kann der Kunststoff auch in mehreren Lagen aufgetragen werden. Dabei ist es auch möglich, zwischen den einzelnen Lagen Glasfasergewebe zur Steigerung der Zug-, Biegezug- und Scherfestigkeit einzulegen.

Der Verbund mit den Kunststoffdübeln wird so hergestellt, dass die Beschichtung den Bohrlochmund miteinschliesst, wobei das Beschichtungsharz mit dem im Bohrlochmund anstehenden Dübelharz abbindet und sich gleichzeitig mit den aus dem Bohrlochmund herausragenden Glasfaser-Kunststoff-Stäben verbindet, die den Kraftfluss noch verbessern. Im Falle, dass die Verdübelung erst nach der Beschichtung erfolgt, werden die Bohrlöcher durch die Beschichtung hindurchgebohrt und bei deren Füllen eine Abdeckhaube auf den Bohrlochmund aufgesetzt, deren Form die Bildung einer nagelkopfartigen Erweiterung ermöglicht. Durch das Abbinden dieser nagelkopfartigen Erweiterung mit der Beschichtung wird wiederum der Verbund gesichert (Bild 5).

## Anwendungsform und Wirkungsweise

Die nutzvolle Anwendung des Kunststoff-Verbundverbauerscheint in allen Formen des untertägigen Hohlraumbaues möglich, d.h. sowohl im Bergbau, im Schacht-, Stollen- und Tunnelbau als auch im Bau von Wasserkraftanlagen, Kavernen und untertägigen Fabrik- und Lagerräumen. Dies gilt für alle Qualitäten des Festgebirges [5].

Dabei ist auch gedacht, nur die einzelnen Komponenten des Verbundes, d.h. entweder nur die Verdübelung oder nur die Beschichtung anzubringen, soweit dies zweckmäßig und ausreichend erscheint.

In standfestem und gebrächem Gebirge ist daran gedacht, das dort vorliegende Erfordernis einer Firstsicherung durch eine Flächenbeschichtung vorzunehmen. Diese Beschichtung kann noch durch Anbringen von kurzen Dübeln stellenweise besser ans Gebirge gebunden werden, welche jedoch nicht so sehr die Verfestigung des Gebirges zum Ziel haben, als eben die Verbesserung der Haftung der Beschichtung. Für den Fall von Wassereintritt zum Hohlraum können die in Frage kommenden Stellen des Querschnittumfanges durch Auftragen der Beschichtung isoliert werden. Wasserstollen, besonders wenn sie gefräst sind, können durch eine rundum geschlossene Beschichtung ebenfalls abgedichtet werden.

In nachbrüchigem Gebirge ist die Herstellung des vollständigen Verbundverbauers vorgesehen, der hier schon Teile des Gebirgsdruckes aufzunehmen hat, jedoch vorwiegend zur Sicherung der Oberflächen und zur Verbesserung des Zusammenhalts der Kluftkörper in der den Hohlraum umgebenden Gebirgszone dient. Da solches Gebirge noch imstande ist, einen bedeutenden Anteil des Gebirgsdruckes in sich aufzunehmen und Sohlen-Hebungen nicht zu erwarten sind, muss dieser Ausbau nicht rundum geschlossen sein, es sei denn, es handelt sich um Wasserstollen oder um eine erforderliche vollständige Isolierung gegen Wasserzutritt oder Wasserverluste.

In druckhaftem, in pseudoplastischem und in rolligem Gebirge ist die volle Ausbildung des Kunststoff-Verbundverbauers vorgesehen und es sind gerade diese Gebirgsklassen, in denen seine Vorteile vollständig genutzt werden können. Durch die Beschichtung wird die freie Oberfläche nicht nur isoliert, sondern auch verklebt, so dass sie besser zusammengehalten wird. Zusätzlich werden auch die aus ihr entwickelten Gebirgskräfte unterfangen und auf die Dübel übertragen, mittels welcher sie in tiefere, gesunde Gebirgszonen abgeleitet werden. Die Dübel bilden im Gebirge steife Elemente, die wie ein tragendes Skelett wirken und die Beweglichkeit des Gebirges aus ihrer innigen Verbindung mit diesem einschränken. Es wird also nicht nur ein Verbund zwischen den Dübeln und der Beschichtung hergestellt, sondern ein solcher entsteht auch aus dem Ineinandergreifen von Beschichtung, Dübeln und Gebirge, so dass sich in dem so erfassten Gebirgsbereich ein neuer Baukörper entwickelt. Dieser wird auch häufig als Gebirgstragring bezeichnet. Dadurch wird das so behandelte Gebirge auf eine höhere Stufe der Festigkeit gebracht als das umliegende Gebirge und ist imstande, höheren Spannungen standzuhalten. Es erhält somit gleichsam eine Mohrsche Hüllkurve, die höher liegt als die des unbewehrten Gebirges. Da das Anwachsen der im Kunststoff-Verbundverbau entwickelten Widerstandskräfte von der erlittenen Verformung abhängt, entwickelt sich zusätzlich mit zunehmender Verformung ein Einspannwiderrstand auf das Gebirge, der mit der Erhöhung des Manteldruckes bei einer Triaxialprobe zu vergleichen ist und der die Lage des zugehörigen Mohrschen Spannungskreises weiter nach rechts verschiebt, also vom Bruchstand entfernt. Dies geschieht beim Kunststoff-Verbundverbau günstiger als bei herkömmlichen Werkstoffen, weil die grosse Verformbarkeit ein weiterrei-

chendes Abbauen der Gebirgsspannungen ermöglicht, währenddessen der Kunststoff noch immer tragfähig bleibt und hohe Festigkeit aufweist.

### Betriebliche Vorteile

Neben seinen günstigen Eigenschaften als Werkstoff und seiner Wirksamkeit im Sinne der NÖTM hat der Kunststoff-Verbundverbau auch bedeutende betriebliche Vorteile. Einer der wichtigsten liegt im Herstellungsverfahren. Weil der Kunststoff-Verbundverbau gleichzeitig als Sicherungs- und Stützmaßnahme, als Isolierung, unter Umständen als Endausbau und als Innenauskleidung wirken kann, ergibt sich die Zusammenlegung von den entsprechenden drei oder vier Arbeitsstellen in eine einzige. Diese umfasst den Bereich des Vortriebes und beschränkt sich auf den Einsatz eines Verarbeitungsgerätes mit einer Mannschaft von ungefähr drei Mann. Diese Einheit kann sehr raumsparend und mobil sein, so dass die Behinderung anderer Betriebsvorgänge unbedeutend wird. Auch die beachtliche Kürze der Einsatzzeiten dieser Einheit trägt zu einem flüssigen Betriebsablauf bei.

Ausbesserung oder Reparatur bei ernsthaften Beschädigungen gestalten sich wegen der geringen Massen und deren guter Bearbeitbarkeit sehr einfach und kurz.

Da eine gute Bearbeitbarkeit des Werkstoffes mit mechanischen Mitteln vorliegt, lassen sich die Elemente des Kunststoff-Verbundverbau leicht schneiden oder fräsen. Diese Eigenheit kommt auch einem Einsatz in Erkundungsstollen, die später auf ein Hauptprofil aufgefräst werden sollen, zugute.

In weitem Bereich ist eine Farbgebung möglich. Die Gestaltung der Oberfläche kann ebenfalls sehr weitgehend variiert werden. Verschiedene Relief-Muster oder glatte, matte oder schaumartige Oberflächenausbildungen sind möglich. Darüberhinaus kann die Oberfläche leicht gewaschen werden. Sie kann aber auch durch weiteres Überschichten oder durch Farbauftragung überdeckt werden.

Wegen der geringen zur Verwendung gelangenden Massen nimmt der Kunststoff-Verbundverbau auch wenig Raum

ein, was sich nicht zuletzt in der Ersparnis an Ausbruch äußert. Besonders bei Auffahrung durch Fräsen erscheint dies von grossem Wert.

### Schluss

Die aufgegriffene Entwicklung hat bisher ermutigende Fortschritte erbracht. Der Prozess der Herstellung ist soweit gediehen, dass an die industrielle Anwendung gegangen werden kann. Da sich noch wegen der Neuheit dieses Ausbausystems in Fragen der statischen Wirksamkeit eine gewisse Zurückhaltung gezeigt hat, ist man bestrebt, Versuchseinsätze in grosstechnischer Form auszuführen. Von Seiten der bisherigen Kenntnisse aus der NÖTM, aus der Wirksamkeit von Ankerungen und Beschichtungen sowie aus den Werkstoffqualitäten scheinen derzeit nur wenig negative Argumente zu bestehen. Es sind auch bereits einige grosstechnische Anwendungen in Form von Verdübelungen im Sohlebereich von Hohlräumen und von Beschichtungen an Firsten und Ulmen erfolgt.

### Literaturverzeichnis

- [1] L. v. Rabcewicz: Die Neue Österreichische Tunnelbauweise. «Der Bauingenieur» 40 (1965), H. 8, S. 289–301.
- [2] E. Rotter: Verbund-Verbau. Vortrag, GDMB, Pyrmont, 20.4.1968; nicht im Druck.
- [3] E. Rotter: Vergleich der konventionellen Gebirgssicherung mit dem Kunststoff-Verbundverbau und Vorschläge. Unveröffentlichter Bericht, Gebirgssicherung Gesellschaft mbH, Salzburg, 22 Seiten (1973).
- [4] H. Habenicht: A Study of the Influence of Shock Waves on the Stability of Rock-Bolt Anchorage. Thesis (M.S.), University of Missouri at Rolla, 1965.
- [5] F. Pacher: Erste gutachtliche Äusserung zur Anwendung des «Kunststoff-Verbundverbau» im Hohlraumbau. Bei Gebirgssicherung Gesellschaft mbH, Salzburg, 14 S., (1974).

Adresse der Verfasser: Baurat h. c. Dipl.-Ing., Dr. techn. E. Rotter und Dipl.-Ing., Dr. mont. H. Habenicht, Gebirgssicherung GmbH, Salzburg, Bergerbräuhofstrasse 27, Österreich.

## Kunststoff-Faserarmierung von Beton

Von Rudolf Enzler, Lichtensteig

DK 691.328:691.175

### Entwicklung

Weltweit befassen sich Unternehmungen seit Jahren mit faserverstärkten Werkstoffen. Asbestzement dürfte unter diesen Produkten wohl der bekannteste Werkstoff sein. Auch die Betonindustrie sucht seit Jahrzehnten eine anwendungsgerechte und werkstoffverbessernde Faserarmierung. Bereits im Jahre 1928 hat ein französischer Bauingenieur ein Patent für faserarmierten Beton eingereicht. Seine Versuche scheiterten an der Möglichkeit, die Fasern mit einfachen Mitteln homogen über den gesamten Betonquerschnitt einzubringen.

Wie der Fachpresse zu entnehmen ist, sind in jüngster Zeit vermehrt Bestrebungen festzustellen, mit Faserarmierung der Betonindustrie neue Impulse zu verleihen, sei es in Form verbesserter Werkstoffe oder preislich günstigerer Produkte. In etlichen Industrielanden sind Entwicklungsgruppen auf der Suche nach anwendbaren Faserarmierungen. In der Schweiz haben sich die Shell (Schweiz) Chemie, Zürich, und die Arheimer AG Forta-Seilwerke, St. Gallen, zusammengeschlossen.

In mehrjährigen Versuchen mit den verschiedensten Fasern entwickelte sich das Forta-Ferro-System, eine Polypropylenfaserarmierung in Netzstruktur. Dieses Faserarmierungssystem wird den verschiedensten Zuschlagstoffen und Mischsystemen gerecht, ist einfach einzubringen und wird der Betonindustrie Vorteile bringen.

### Fibrilierte Polypropylenfaser

Die für die Betonarmierung verwendeten Filmfasern sind ein vollsynthetisches Produkt aus der Gruppe der Polyolefine, gewonnen durch Polymerisation des Kohlenwasserstoffgases Propylen. Die Chemiefaser Polypropylen eignet sich gut zum Beimischen im Beton. Die Faser verhält sich im Beton chemisch neutral, ist korrosionsfest und verrottungssicher. Gegen die zerstörende Wirkung ionischer Strahlen ist sie UV-stabi-

Bild 1

