

KONFEKTIONIERTE NATURFASER AUS FLACHS ZUR ERHÖHUNG DER BRANDBESTÄNDIGKEIT VON BETON UND MÖRTEL

Dipl.-Ing. Dr. techn. Christoph NIEDEREGGER

Leiter der Forschungs- und Prüflaboratorien, Bau fakultät der Universität Innsbruck

Ausgangssituation

Der stetig zunehmende Verkehr führt nicht selten dazu, dass die Kapazitäten der Verkehrswege erreicht oder gar überschritten werden und die damit verbundenen Risiken, speziell in Tunnels und anderen unterirdischen Verkehrsanlagen, ansteigen. Schwere Brandunglücke in Verkehrstunnels in den letzten Jahren haben gezeigt, welche verheerenden Folgen solche Ereignisse auslösen können. Neben der Tragik um Opfer und Verletzte solcher Katastrophen entstehen erhebliche volkswirtschaftliche Schäden. [4]

Der übliche Baustoff für Tragstrukturen in Tunnelbauten ist Beton.

Im Brandfall kann Beton (bei üblicher Zusammensetzung) infolge der lang andauernden thermischen Belastung durch Abplatzungen bis zur Stahlarmierung zerstört werden.

Die Abplatzungen entstehen vor allem durch die Feuchtigkeit im Beton, welche durch die hohen Temperaturen in Wasserdampf umgewandelt wird und nicht aus den Poren entweichen kann. Dies verursacht Risse und später Abplatzungen. [4]

Dadurch kann unter Umständen flankierend die für die Standsicherheit wesentliche Bewehrung freigelegt bzw. der tragende Betonquerschnitt reduziert werden. Darunter leiden Tragfähigkeit, Dichtigkeit und Raumabschluss der Konstruktion wobei Selbst- und Fremdrettungsmaßnahmen im Brandfall erschwert bzw. stark beeinträchtigt werden. Dies hat zu einer verstärkten Forschungstätigkeit im Bereich der Brandbeständigkeit von Beton geführt.

Die Sicherstellung des baulichen Brandschutzes, die Minimierung des Schadensumfanges und die Möglichkeit einer raschen und kostengünstigen Instandsetzung von Tragwerken sind das übergeordnete Ziel der Erhöhung der Brandbeständigkeit von Mörtel- und Betonprodukten. [1]

Untersuchungsgegenstand

Die Auswirkung einer Naturfaser, in diesem Fall einer konfektionierten Flachsfaser (FF), in Beton und Mörtel auf das Abplatzverhalten des Betons ist Grundlage der Forschungsarbeit.

Flachsfasern (FF) erhöhen im Unterschied zu künstlichen Fasern (und auch anderen Naturfaserarten) aufgrund natürlicher Gegebenheiten, welche Transportvorgänge erleichtern, zuverlässig die Brandbeständigkeit von Beton- und Mörtelprodukten.

Stand der Technik

Beton hat eine gegenüber der Druckfestigkeit reduzierte Zugfestigkeit. Durch Beigabe von Fasern können verschiedenste Betoneigenschaften, in Abhängigkeit von Betonausgangsqualität, Faserart und Faserdosierung beeinflusst bzw. verbessert werden. Insbesondere bezieht sich dies auf Frisch- und Festbetoneigenschaften.

So kann die Biegezugfestigkeit (mit Stahlfasern und konstruktiven Kunststofffasern / Makrofasern), die Frühschwindrissneigung (mit Kunststofffasern / Mikrofasern), das Nachrissverhalten für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit und der Tragsicherheit (mit Stahlfasern / Makrofasern) und die Brandbeständigkeit (mit Kunststofffasern / Mikrofasern) beeinflusst / verbessert werden.

Flachsfaser

Geprüft wurde eine hochreine konfektionierte Flachsfaser eines deutschen Herstellers, die in ähnlicher Form seit 1992 als Prozessfaser bei der Herstellung von Reibbelägen eingesetzt wird. Es han-

Bild 1: Fasergranulat



delt sich dabei um ein Veredelungsprodukt aus Langflachs, gereinigtem Schwungwerg und Hechelwerg in wechselnden Gewichtsanteilen, das durch geeignete Produktionsverfahren langfristig gleichartige Fasereigenschaften aufweist und mithin unabhängig von jahresbedingten Eigenschaftsschwankungen ist. Die Faserlänge beträgt 3 bis 9 mm.

Die Fasern wurden in einer speziellen Aufbereitungsform geliefert, die ein Einmischen in den Beton erleichterte. Das Material wurde in Mengen von 1,5 bzw. 2 kg/m³ Beton eingesetzt.

Brandversuche

Die Versuchskörper wurden mit Abmessungen von 60 x 50 x 30 (cm) hergestellt. Die Prüfung erfolgte in den Laboratorien der Fakultät für Bauingenieurwissenschaften und am Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften der Universität Innsbruck.

Die Dicken der Probekörper entsprechen Bauteilabmessungen, wie sie z. B. für Tunnelinnenschalen üblich sind.

Die Lagerung der Versuchskörper erfolgte bis zur Versuchsdurchführung in Wasser. Eine aufgebrauchte Vorspannung der Versuchskörper erfolgte unmittelbar vor dem Versuch. Durch die Vorspannung wird eine Dehnungsbehinderung simuliert und ein Lastzustand erzeugt, wie er in den zu untersuchenden Tragwerken auftreten kann.

Durch eine zusätzliche Serie mit Luftporenbeton wurde eine aktuelle Entwicklung in der Betontechnologie berücksichtigt und eine eventuelle Alternative zum herkömmlichen Brandschutz durch eine Einfuhr von Feinluft im Ausmaß >10 % ohne Faserzugabe untersucht (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Ergebnisse der Brandversuche am 0-Beton ohne Faserzugabe, 2FX (2 kg/m³ FF), 1,5FX (1,5 kg/m³ FF) und Luftporenbeton (11 % Feinluft, keine Fasern)

Betonstandard	Gewicht vor Brand	Gewicht nach Brand	Abplatzung + Feuchte	Abplatzung	Bemerkung
	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	
0-Beton ohne Faserzugabe	211,5	204	7,5	4,5	deutliche Abplatzungen
2FX (2 kg/m ³ Flachsfasern)	204	201	3	0	keine Abplatzung durch Brand
1,5FX (1,5 kg/m ³ Flachsfasern)	211	208	3	0	keine Abplatzung durch Brand
Luftporenbeton (11 % Feinluft, keine Fasern)	197	185	12	9	starke Abplatzungen



Bild 2: Keine Abplatzungen aufgrund Brandeinwirkung am 1,5FX (1,5 kg/m³ FF)



Bild 3: Deutliche Abplatzungen am 0-Beton und am LP-Beton ohne Fasern (11 % Luft)

Der Versuchsbeton wurde nach der österreichischen Richtlinie „Innenschalenbeton“ zusammengestellt. Der Gesamtwassergehalt betrug dabei 165 kg/m^3 bei einem anrechenbaren Bindemittelgehalt von 332 kg/m^3 .

Nach Versuche wurde die beflammete Oberfläche visuell untersucht und die Abplatzungen wurden festgehalten. Der abgeplatzte Beton wurde gewogen, die Tiefe der Abplatzungen gemessen.

Die Gefahr von Abplatzungen hängt von mehreren Faktoren ab, welche eingehend in vorangegangenen Forschungsarbeiten (z.B. in [1]) untersucht wurden. Diese sind:

- maximale Brandraumtemperatur und Geschwindigkeit des Temperaturanstieges
- Feuchtegehalt des Betons
- Dichtigkeit des Betons
- Bauteilgeometrie und Bewehrungsanordnung
- Porenvolumen-, Ausbildung und Porengrößenverteilung
- Zwangsspannungen im Bauteil
- Art der Gesteinskörnung

Für eine erhöhte Brandbeständigkeit und eine reduzierte Abplatzneigung von Beton ist aber vorrangig eine ausreichende Gasdurchlässigkeit entscheidend.

Eine gleichmäßige Einmischung und Verteilung der Fasern im Beton ist notwendig und ist mit Flachfasern (FF) gewährleistet – dies sowohl als Haufwerkszugabe als auch als Granulat bei gängigen Mischzeiten.

Ergebnisse

Durch Flachfaserzugabe konnte das Abplatzen des Betons durch die gewählten Dosierungen von 1,5 und 2,0 (kg/m^3) Flachfasern sicher verhindert werden. Übliche Dosierungen von PP-Fasern zur Verringerung/Vermeidung der Abplatzneigung sind 2-5 (kg/m^3).

Die größten Abplatzungen traten bei Versuchskörpern ohne Flachfaserzugabe (0-Beton) und bei Luftporenbeton ohne Faserzugabe auf.

Flachfasern bestehen je nach Qualität und Aufschlussgrad des Ausgangsmaterials aus mehr oder weniger dicken Bündeln von Einzelfasern. Diese Einzelfasern sind zu den Enden spitz zulaufend ausgeformt und haben mittig einen Durchmesser von $10 \text{ }\mu\text{m}$ bis $30 \text{ }\mu\text{m}$ und bei Längen von 20mm bis 40 mm. Flachfasern sind bis etwa $230 \text{ }^\circ\text{C}$ thermisch stabil, mithin bis zu Temperaturen, die deutlich über dem Schmelzpunkt der Kunststofffasern liegen. Da die Flachfaser unter den Versuchsbedingungen den Kunststofffasern einen mindestens ebenbürtigen Brandschutz zeigt, muss deren Wirkmechanismus von dem der Kunststofffaser abweichen.

Betrachtet man den Zustand, in den die Flachfaser durch Einmischung in den Beton gelangt, so wird deutlich, dass der zelluläre Charakter der Flachfasern eine entscheidende Rolle bei der Brandschutzwirkung spielt: Die Flachfaser quillt unter den Verarbeitungsbedingungen der Betonherstellung auf, indem Wasser in den intrazellulären Raum der einzelnen Faserzellen eintritt. Die in verarbeitungsfähigen Beton

anzutreffenden Drücke sind relativ gering im Vergleich zum osmotischen Druck der Wassereinlagerung in die Faserzelle. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass die Faserzellen ihr vergrößertes Volumen so lange beibehalten, bis die Aushärtung des Betons einsetzt. Während der Aushärtungsphase geben die Faserzellen das Wasser bis zu einem Gleichgewichtszustand (Restfeuchte Faser ca. 8 %) in den sie umgebenden Beton ab, wo sie zur Hydratation des Zements zur Verfügung stehen. Durch die damit einhergehende Volumenreduktion der Flachfasern filtert diese die Betonmatrix jederzeit und ohne dass es – wie bei der Kunststofffaser – einer Mantelporosität durch Wasseranlagerung bedarf. Ein begleitend positiver Aspekt des dargestellten Wirkmechanismus ist die deutliche Reduktion von Fröhschwindrissen aufgrund der zeitabhängigen Wasserrückgabe der Flachfaser. Die Flachfaser wirkt also hinsichtlich Brandschutz zweistufig, da die Gasdurchgängigkeit der durch sie geschaffenen Perforierung nach Erreichen ihrer Zerfallstemperatur nochmals beträchtlich erhöht wird.

Gaspermeabilität

Die Durchlässigkeit von Beton wird durch das gesamte Kapillarporenvolumen und die Porengrößenverteilung gekennzeichnet. Für das Transportvermögen sind die kapillaren Porengrößen von wesentlicher Bedeutung.

Aufschlussreich für das Transportvermögen von Beton sind Permeabilitätsverfahren. Als Durchströmungsmedien eignen sich Inertgase oder auch Luft. Für Gase gilt nach RILEM TC116 PCD die Gaspermeabilität. [3]

Die Ergebnisse der Permeabilitätsversuche an den Faserbetonen zeigen, dass Betone mit Flachfasern (FF) eine höhere Luftdurchlässigkeit aufweisen als ein vergleichbarer Beton ohne Flachfaserzugabe (0-Beton) bzw. ein Luftporenbeton (> 10 % Feinluft), wie in Bild 6 erkennbar ist.

Dies ist insofern überraschend, als Luftporenbeton einen mehr als doppelt so hohen Luftgehalt als beide Flachvarianten aufweist.

Allerdings gleichen die Lufteinschlüsse in Luftporenbeton eher einer Schwammstruktur, während es sich bei Flachs eher um eine durchgehende dreidimensionale Gitterstruktur handelt.

Diese erhöhte Luftdurchlässigkeit bei Verwendung der Flachfaser ermöglicht eine Abfuhr von Dampfdrücken im Brandfall bereits bei Temperaturen, die niedriger sind als zum Abschmelzen von Kunststofffasern erforderlich ist.

Vom absoluten Niveau her lassen die Permeabilitäten auf keine Beeinträchtigung hinsichtlich Dauerhaftigkeit der Flachbetone schließen. Dies wird durch zurzeit flankierende Versuche (Wassereindringtiefen, kapillares Saugen) bestätigt.

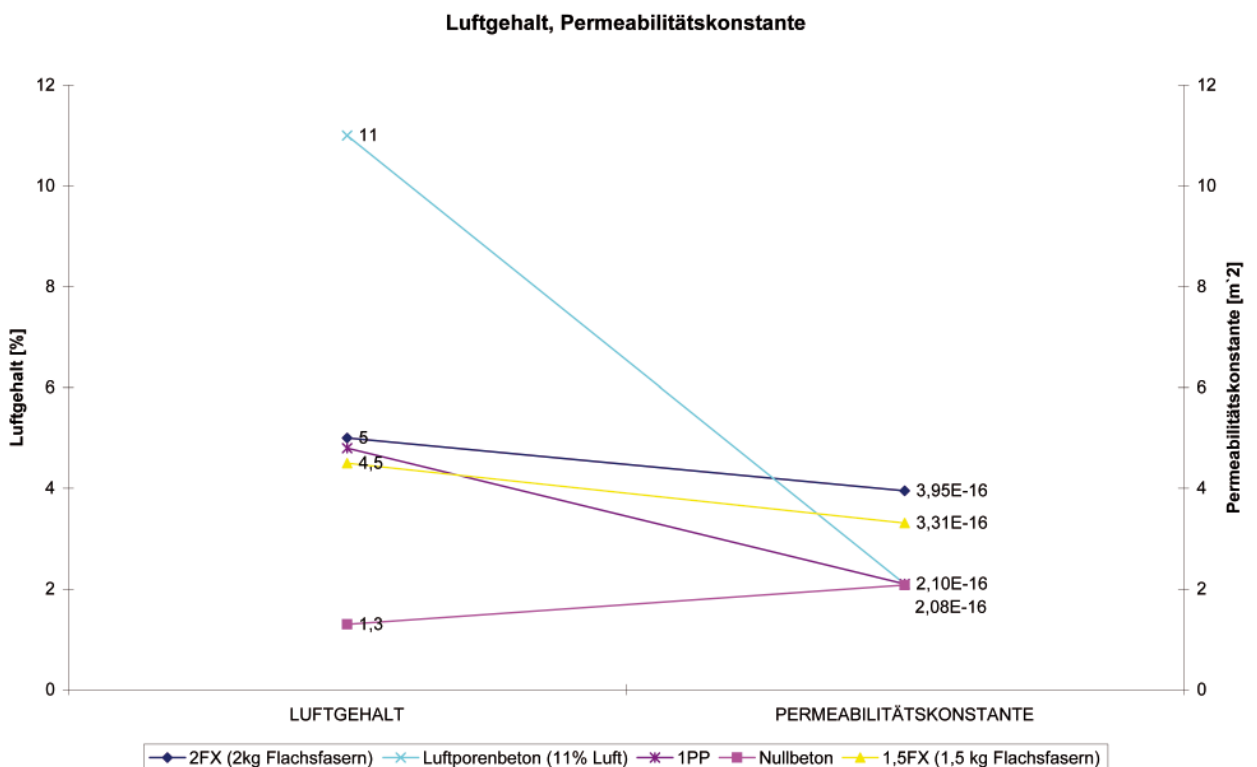


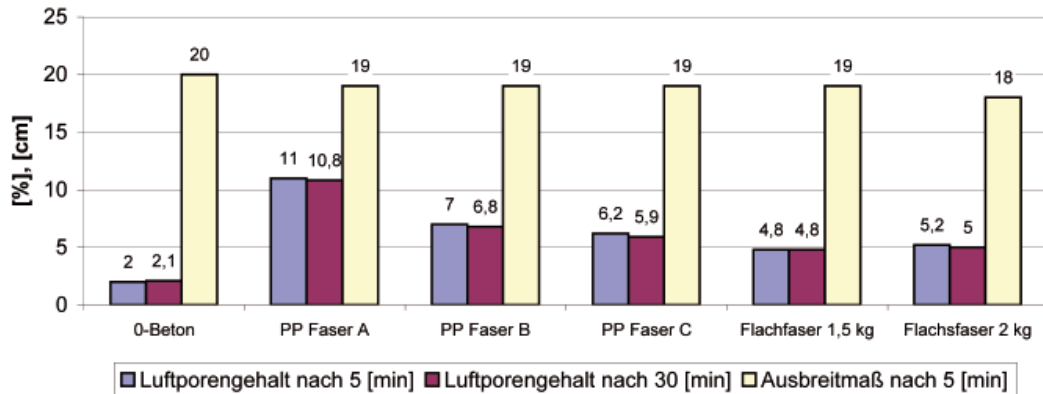
Bild 4: Gaspermeabilität

Es liegt nun der Verdacht nahe, dass eine wie oben beschriebene dreidimensionale Störung der kristallinen Struktur zu einer reduzierten Druckfestigkeit führen könnte. Eine solche Reduktion ist zwar zu beobachten, liegt jedoch innerhalb eines akzeptablen Rahmens.

Proportional zur zusätzlichen Luftzufuhr der Flachfaserbetone liegen deren Druckfestigkeiten unter der 0-Beton-Festigkeit, aber deutlich über den Festigkeiten des Luftporenbetons.

Verarbeitung

Tabelle 2: Luftgehalt und Ausbreitmaß von FF- und PP-Fasern am Mörtelversuch



Um sicherzustellen, dass eine positive Brandschutzwirkung nicht durch eine mangelhafte Verarbeitungsfähigkeit obsolet wird, wurden auch wesentliche Parameter der Verarbeitungsfähigkeit geprüft.

Im Vergleich zu handelsüblichen PP-Faser-Produkten ist in Bezug auf Konsistenz und Ausbreitmaßverlust kein reproduzierbarer Unterschied feststellbar. Die Flachfaser bringt weniger zusätzliche Luft in die Mörtel ein, was positiv zu werten ist.

Zusammenfassung

Die Brandversuche bestätigten eindeutig die positive Wirkungsweise von Flachfasern. Die Fasertechnologie dürfte auch auf Spritzbeton übertragbar sein.

Die größten Abplatzungen traten bei Versuchskörpern ohne Flachfaserzugabe (0-Beton) und bei Luftporenbeton ohne Faserzugabe auf.

Für eine erhöhte Brandbeständigkeit und eine reduzierte Abplatzneigung von Beton ist vor allem eine ausreichende Gasdurchlässigkeit entscheidend und wird durch die Flachfaser aufgrund beschriebener natürlicher Beschaffenheiten und dadurch erleichterten Transportmechanismen gewährleistet. Ein zuverlässiger Schutz der Betonüberdeckung besteht auch vor dem Abschmelzen der Faser in der Betonmatrix. Gleichmäßige Einmischung und Verteilung der Fasern im Beton ist notwendig und ist mit Flachfasern erreichbar – sowohl als Haufwerkszugabe als auch als Granulat.

Als Vorteil beim Einsatz von Flachfasern können die gleich bleibende Verarbeitungseigenschaften (ABM und Luftzufuhr), eine verbesserte Wirkungsweise aufgrund der natürlichen Beschaffenheit der Flachfaser, eine Kosteneinsparung von 10-20 % zur PP-Faser und eine Möglichkeit der Faserbehandlung (Impregnierung, Granulierung) angegeben werden.

Des Weiteren können regionale bzw. wirtschaftliche Vorteile aufgrund der dezentralen Verfügbarkeit und des Potenzials zur Schaffung regionaler Wertschöpfungsketten aus einem landwirtschaftlichen Abfallprodukt und ökologische Vorteile (geringere Herstellungsenergie und CO₂-Neutralität, einfache Entsorgung) genannt werden.

Mögliche Einsatzgebiete

Im Normalbeton zur Erhöhung der Brandbeständigkeit (Verringerung bzw. Verhinderung der Abplatzneigung), in Faserkompositbeton, Spritzbeton und Feuerfestbeton.

Eventuell zur Erhöhung der Frost-Tausalz-Beständigkeit durch Zufuhr eines zusätzlichen Expansionsraumes in Kombination mit Feinluft, wobei diesbezüglich flankierende Versuche Aufschluss geben werden. Flachfaserbeton eignet sich für die verschiedensten Brandschutzanwendungen im Hoch- und Tiefbau.

Richtlinien und Normenkonformität

Als Faserbewehrung können Stahlfasern, Kunststofffasern, Glasfasern und natürliche Fasern verwendet werden.

Fasern aus anderen Materialien und/oder Materialgemischen sind sinngemäß zu spezifizieren und zu prüfen. Auf die Verträglichkeit mit und die Dauerhaftigkeit im Beton ist zu achten. [2]

Eine geringe Alkalibeständigkeit von Flachsfasern ist zu beachten. Diese geringe Alkalibeständigkeit stellt zwar hinsichtlich der Brandbeständigkeit keinen Nachteil dar, eine Beeinträchtigung der Dichtigkeit des Betons ist durch flankierende Versuche zu ermitteln.

Ermittelte Gaspermeabilitäten bestätigen eine ausreichende Dichtigkeit von Flachsfaserbeton.

Herstellungsart, Art und Einheit der Verpackung, Lagerungsbedingungen, Zugfestigkeit, Länge, Querschnittsform, Durchmesser, Oberflächenbeschaffenheit, Toleranzen und Sicherheitshinweise sind vom Faserhersteller anzugeben.[2]

Die Anforderungen an Toleranzen betragen bei geschnittenen PP-Fasern in Bezug auf Dicke 5 (%) im Mittel und 10 (%) im Einzelfall bzw. 3 (%) im Mittel und 5 (%) im Einzelfall in Bezug auf die Länge der Faser.

Diese PP-Faser-Toleranzen hinsichtlich Darreichung bzw. Herstellungsgenauigkeit sind von Naturfasern generell nicht zu erreichen. Dies hängt mit der Herstellungstechnologie von PP-Fasern bzw. der natürlichen Herkunft der Flachsfaser zusammen. PP-Fasern werden endlos durch eine Düse fixen Durchmessers gepresst und auf beliebige, jedoch stets gleich bleibende Länge eingekürzt. Solch geringe Toleranzen sieht die Natur bei Betrachtung von Einzelfasern nicht vor, da jede einzelne Faserzelle ihre eigene Geschichte hat (Lokalisierung im Flachsstängel, Lokalisierung im Flachsfeld, Sorte, Düngung, Witterung, Röste, mechanische Aufbereitung etc.).

Allerdings gibt es in der Textilindustrie leistungsfähige Systeme, die große Zahlen von Einzelfasern betrachten und über deren gemeinsame Messung zu reproduzierbaren Eigenschaften von Fasertypen gelangen, die in enger Korrelation zu den Messwerten stehen. Wenn zudem Sicherheitsteile im Automobilbau aus dem gleichen Fasertyp hergestellt werden, wird eine wirklich sinngemäße Anwendung der entsprechenden Richtlinien/Normen einer praktischen Verwendung der Flachsfaser zur Erhöhung der Brandbeständigkeit von Beton nicht entgegenstehen.

Literatur

- [1] Lindlbauer, W.; Zeiml, M.; Heel, A.; Kusterle, W.: „Die Brandbeständigkeit von Faser-, Stahl- und Spannbeton“, Straßenforschung 3.269 und HL-AG, aktualisiert Febr. 2003.
- [2] Richtlinie „Faserbeton“, Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Wien 2001.
- [3] Paulini P.; Nasution F.: „Beurteilung von Beton anhand der Luft-Permeabilität“, ibausil 2005,
- [4] Bericht zu Brandschutzversuche, Lyfor c/o Fortatech AG, 9015 St.Gallen

Diese Thematik erscheint ebenfalls in der Fachzeitschrift Tunnel, Springer Verlag, als Publikation unter dem Titel „Konfektionierte Naturfaser aus Flachs zur Erhöhung der Brandbeständigkeit von Tunnelinnenschalen und Tübbing“, Ausgabe 5/2007.

Universität Innsbruck
Fakultät für Bauingenieurwissenschaften
PR -Team der Bau fakultät

Wir informieren Sie gerne über das laufende Geschehen (Veranstaltungen, Lehre und Forschung etc.) an der Bau fakultät der Universität Innsbruck:

Subskribieren Sie den kostenfreien
„NEWSLETTER DER BAUFAKULTÄT“

<http://www.uibk.ac.at/fakultaeten/bauingenieurwissenschaften/newsletter.html>

oder senden Sie ein E-Mail an

public-relations-baufakultaet@uibk.ac.at

