

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 112 (1994)
Heft: 1/2

Artikel: Industrieabfall als Zuschlagstoff: Herstellung und Eigenschaften von konstruktivem Leichtbeton mit Zuschlagstoff aus Flugasche
Autor: Adamek, Jiri
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-78378>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.03.2025

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

Verhalten in Einklang zu bringen. Mit anderen Worten: Wir streben nach einer humanen, kulturellen, ökologischen Welt, in welcher sich mit möglichst wenig Staat eine liberale Marktwirtschaft entfalten kann.

Für den SIA als Verein und seine Mitglieder sollte diese Leitidee Entscheidungshilfe sein. Für die nun laufenden, eingangs erwähnten Gesetzesvorlagen bestimmen wir die Vorgaben leider nicht. Um uns dem fremdbestimmten Zugzwang zu entziehen, müssen wir aktiv werden, um unsere Zielsetzungen einzubringen. Dabei müssen wir unseren abgehobenen Standort aufgeben,

uns auf den politischen Marktplatz begeben und uns mit Gleichdenkenden solidarisieren.

Alles bleibt Theorie, wenn sich in unseren Köpfen nichts ändert. Als erstes müssen wir uns vom einseitig fachorientierten Denken lösen und uns mit unternehmerischem Engagement als Teil eines härter werdenden Marktes begreifen. Die Alchimie, bei der unsere gute Leistung automatisch in Gold verwandelt wurde, gibt es nicht mehr. Es gilt, eine Synergie von geistes- und naturwissenschaftlichem Engagement und unternehmerischem Denken zu erreichen. Dabei ist Tradiertes zu hinter-

fragen und mit Kreativität neue Lösungen anzustreben. Auf den Vorwurf, wir bauten zu teuer, sind konkrete Antworten zu finden. Der Markt wird uns dies honorieren. Diese neue Rolle als unternehmerisch denkende Architekten und Ingenieure setzt fachliche Kompetenz und die Bereitschaft, grössere Verantwortung zu übernehmen, voraus. Diese werden nur erreicht durch permanente fachliche Weiterbildung und ein breites, kulturell-gesellschaftliches Denken. So können wir an dieser sich verändernden Welt mitgestalten.

Hans Zwimpfer

Industrieabfall als Zuschlagstoff

Herstellung und Eigenschaften von konstruktivem Leichtbeton mit Zuschlagstoff aus Flugasche

In osteuropäischen Ländern bildet die Entsorgung von Industrieabfall gewaltige Probleme in bezug auf die gesamte Umwelt. Beim Verbrennen von Braunkohle in thermischen Kraftwerken entstehen grosse Mengen feiner Flugasche, die man entsorgen muss. Die Idee von Verarbeitung der Flugasche als leichten Zuschlagstoff für Beton ist nicht neu; schon seit den sechziger Jahren beschäftigt dieses Problem eine Reihe von verschiedenen Forschungsinstituten. Es ist zugleich ein ökonomisches Problem; künstliche Zuschlagstoffe ergänzen den Mangel an natürlichen Zuschlagstoffen und werden durch diese ersetzt.

Agloporit-Herstellung und -Eigenschaften

In technischer Hinsicht bedeutet die Verwendung der Flugasche als Zuschlagstoff vor allem eine Reduktion

VON JIRI ADAMEK, BRNO,
TSCHECHISCHE REPUBLIK

des Eigengewichtes der Betonkonstruktion um 20 bis 30%. Diese Verringerung wirkt sich besonders dort aus, wo das Eigengewicht den grössten Teil der Gesamtbelastung bildet. Diese Gewichtsvorteile bringen automatisch grössere Spannweiten mit sich, was dem Leichtbeton gute Ausnützung sowie neue Möglichkeiten in der Bauindustrie gewährleistet.

Ende der sechziger Jahre wurde in den USA eine Lizenz zur Herstellung von neuem porösem Zuschlagstoff, genannt Agloporit, gekauft. Der Herstellungsprozess besteht darin, dass man aus Flugasche, Ton und Staubkohle mit Beigabe von Wasser eine Mischung bil-

det, die man zwischen zwei horizontalen Walzen durchpresst. Auf diese Weise entstehen aus dieser Masse lange trapezförmige Stücke.

Unterhalb der Walzenanlage zerfallen sie in einem Trichter in eine Menge kleinerer Teile, und von hier gelangen einzelne Stücke auf ein Kettenförderband, wo die brennbaren Teile der Flugasche sowie Staubkohle mittels Gasbrenner gezündet werden. Durch langsame Bewegungen des Förderbandes kommt die ganze Schicht zum Ausbrennen. Die Brenntemperatur bewegt sich zwischen 900 und 1100 °C. Ausgebrannte Stücke werden im Trichter des Bechers zuerst gebrochen und dann sortiert auf Fraktionen von 1,5/4 mm, 4/8 mm und 8/16, eventuell 16/22 mm (Bild 1).

Von den Eigenschaften des Agloporites Fraktion 8/16 mm sind als wichtigste zu nennen: das Schüttgewicht von 550 bis 830 kg/m³, Rohdichte des Kornes von 1010 bis 1500 kg/m³, Saugfähigkeit 15–38% der Rohdichte und Festigkeit beim Zusammendrücken (Probekör-

per-Zylinder Durchmesser: 150 mm)
1,5 bis 5,2 N/mm².

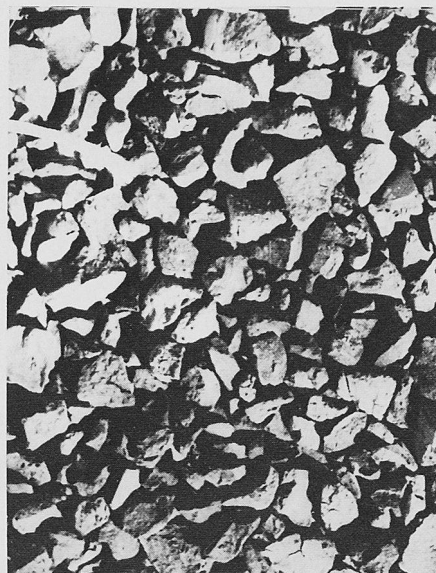
Eigenschaften des Leichtbetons, hergestellt aus Agloporit

Konstruktivbeton aus künstlichem porösem Zuschlagstoff, genannt Agloporit, gilt als neuer Baustoff. Seine technische und ökonomische Bedeutung für die Bauwirtschaft basiert auf neuen Erkenntnissen und Forschungsarbeiten einiger *Wissenschafts- und Forschungsinstitute in der Tschechischen Republik*. Die Resultate zeigen eindeutig, dass dieser Konstruktivbeton der passende Baustoff vor allem für die tragenden Konstruktionen ist und dass man ihn mit Recht als Baustoff der Zukunft nennen darf. Durch das geringe Interesse der Höchstorgane in der ehemaligen CSFR bei der Lösung von ernsthaften ökologischen Problemen in den siebziger und achtziger Jahren sind leider die Bemühungen um die Verwendung dieses neuen Baustoffes in der Bauwirtschaft gebremst worden. Erst jetzt, bei der Entstehung der neuen Tschechischen Republik und der Annäherung an die westeuropäischen Industrienationen ist zu hoffen, dass die Entwicklung und ein vermehrter Gebrauch von Leichtbeton mit Zuschlagstoff aus Flugasche beschleunigt werden.

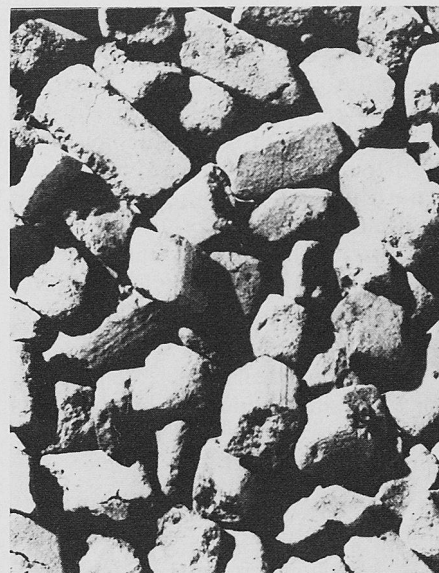
Bei der Projektierung und dem Entwurf neuer Konstruktionen ist es unentbehrlich, immer wieder Vergleiche zu ziehen sowie Vor- und Nachteile gegenüber dem Beton aus natürlichem Zuschlagstoff anzustellen. Wichtigstes Vergleichskriterium ist der Würfeldruckfestigkeit-Probekörper (Würfel 15 cm Kantenlänge). Bei allen Vergleichen ist immer zu berücksichtigen, dass es sich um zwei verschiedene Betonsorten mit



Fraktion 1,5/4 mm



4/8 mm



8/16 mm

Bild 1. Verschiedene Fraktionen der Zuschlagstoffe

der gleichen Würfeldruckfestigkeit handelt.

Würfeldruckfestigkeit und Rohdichte

Würfeldruckfestigkeit und Rohdichte sind die zwei wichtigsten Kriterien bei der Beurteilung des Leichtbetons, und sie spiegeln mögliche konstruktive und ökonomische Vorteile seiner Verwendung wider. Die niedrigere Rohdichte des Leichtbetons aus Agloporit (1800–1850 kg/m³) bedeutet eine Reduktion von 20–25% im Vergleich mit Beton aus natürlichem Zuschlagstoff; die Würfeldruckfestigkeit beträgt 20 bis 50 N/mm². Diese Verringerung spiegelt sich vor allem im geringeren Gewicht der konstruktiven Elemente aus Leichtbeton bei gleichen Abmessungen wider oder bietet die Möglichkeit von grösseren Dimensionen bzw. Spannweiten bei gleichem Raumgewicht. Diese Ersparnisse sind am markantesten bei Konstruktionen, wo das Eigengewicht den wesentlichen Anteil am Gesamtgewicht der ganzen Konstruktion ausmacht.

Zugfestigkeit

Die Zugfestigkeit ist als weiteres, wichtiges Kriterium bei der Beurteilung des Leichtbetons mit porösem Zuschlagstoff in bezug auf die Verwendung für verschiedene Bauelemente zu nennen. Je nach der Prüfmethode unterscheiden wir:

□ Zugfestigkeit: beim zentrischen (reinen) Zug, Probekörper Prismen oder Zylinder, Bezeichnung R_{bz}

□ Zugfestigkeit: beim Querzug, Spaltversuche auf Probekörpern, Würfel oder Zylinder, Bezeichnung R_{bzp}

□ Biegezugfestigkeit: Biegeversuche, Probekörper Prismen, Bezeichnung R_{bzf}

Für den Vergleich der Zugfestigkeiten sowie der Würfeldruckfestigkeit ist es notwendig, theoretische, oder besser gesagt empirische Beziehungen festzulegen. Für die Beziehung zwischen der Zugfestigkeit beim zentrischen Zug und der Würfeldruckfestigkeit gilt für Leichtbeton empirisch:

$$R_{bz} = 0,433 R_b^{0,67} \quad (1)$$

Gemäss den an der TH Brno gewonnenen Ergebnisse resultiert:

$$R_{bz} = (0,48 - 0,0003 R_b) \cdot R_b^{0,67} \quad (2)$$

Zwischen der Zugfestigkeit beim Querzug R_{bzp} für Leichtbeton und der Würfeldruckfestigkeit R_b gilt eine Beziehung:

$$R_{bzp} = 0,5 R_b^{0,67} \quad (3)$$

Die Biegezugfestigkeit R_{bzf} wurde mit Prüfversuchen auf quadratischen Balken mit 2 Lasten in 1/3 der Stützweite festgelegt. Für Leichtbeton wird (empirisch) zwischen der Biegezugfestigkeit und Würfeldruckfestigkeit folgende Beziehung empfohlen:

$$R_{bzf} = 0,988 R_b^{0,67} \quad (4)$$

Die Werte der Biegezugfestigkeit für Leichtbeton mit Agloporit liegen bei den Prüfversuchen der TH Brno etwas niedriger:

$$R_{bzf} = 0,8 R_b^{0,67} \quad (5)$$

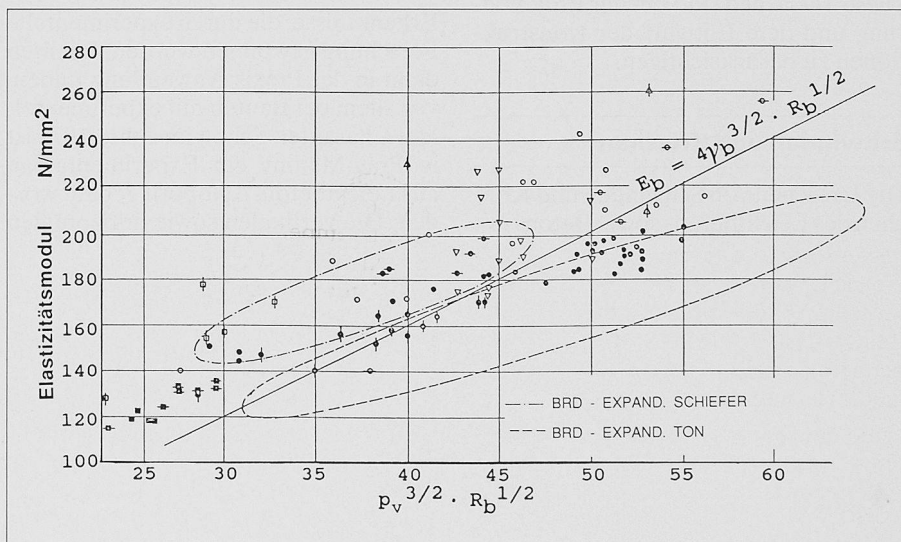


Bild 2. Abhängigkeit zwischen Elastizitätsmodul, Rohdichte und Würfeldruckfestigkeit

Elastizitätsmodul

Der Elastizitätsmodul des Leichtbetons ist vor allem von der Würfeldruckfestigkeit und der Rohdichte abhängig. Er ist niedriger als beim Beton mit natürlichem Zuschlagstoff mit derselben Würfeldruckfestigkeit. Die Werte der Elastizitätsmoduli des Leichtbetons bewegen sich zwischen $\frac{1}{3}$ bis $\frac{2}{3}$ der Werte des Betons mit natürlichem Zuschlagstoff.

Den experimentell festgelegten Werten für Elastizitätsmoduli des Leichtbetons aus Agloporit entspricht am besten folgende empirische Beziehung:

$$E_b = 1265 \cdot p_v^{1.5} \cdot R_b^{0.5} \quad (6)$$

wobei bedeutet:

- E_b Rechenwert des Elastizitätsmoduls in N/mm²
- p_v Rohdichte des Leichtbetons in kg/m³
- R_b Würfeldruckfestigkeit des Leichtbetons in N/mm²

Die Abhängigkeit zwischen dem Elastizitätsmodul, der Rohdichte und der Würfeldruckfestigkeit vom Leichtbeton ist im Bild 2 dargestellt.

Auf dem Bild sind gewonnene Grenzwerte von verschiedenen Forschungsinstituten in Deutschland und Grossbritannien für Leichtbeton aus expandiertem Ton, Blähschiefer und Schlackenbims dargestellt. Unsere Resultate (TH Brno), auf dem Bild als Punktemenge dargestellt, zeigen, dass sie sich durchaus in diesen Grenzwerten bewegen.

Niedrige Werte der Elastizitätsmoduli (um 25–30%) wirken sich in grösseren Verformungen als beim Beton mit natürlichem Zuschlagstoff aus. Bei der Konstruktion bedeutet es in Druckgliedern (z. B. Stützen) grössere Zusammendrückung oder bei den Biegeelementen grössere Durchbiegungen. Diese Tatsachen sind bei der Projektierung und dem Entwurf der Konstruktionen zu berücksichtigen.

Schwinden und Kriechen

Die Ursachen von Schwinden und Kriechen des Leichtbetons sowie Betons mit

natürlichem Zuschlagstoff sind identisch, der Verlauf beim Beton mit porösem Zuschlagstoff ist jedoch beträchtlich von der Struktur des Leichtzuschlagstoffes beeinflusst. Das Schwindmass wird durch folgende Faktoren beeinflusst:

- relative Feuchtigkeit und Temperatur der Umgebung
- Bauteildicke
- Zusammensetzung der Betonmischung
- Art des porösen Zuschlagstoffes und die Korngrösse
- Zementart und Zementmenge
- Wasser/Zement Faktor
- Inneren Spannungszustand des Bauteiles
- Alter des Betons im Zeitpunkt der Belastung

Das Schwindmass der Probekörper (Prismen) aus Leichtbeton ist in der Anfangsphase kleiner als beim Beton aus natürlichem Zuschlagstoff. Diese Erscheinung wird durch den höheren Wasserinhalt in der Struktur des Leichtbetons, vor allem im porösen Korn des Zuschlagstoffes verursacht. Erst nach einer gewissen Zeitspanne von etwa 100 bis 300 Tagen entspricht das Schwindmass von Leichtbeton ungefähr dem Schwindmass von Normalbeton, danach nimmt es sogar noch zu.

Das Kriechen ist im allgemeinen beim Leichtbeton um 30 bis 50% grösser im Vergleich mit Beton aus natürlichem Zuschlagstoff. Diese Tatsache ist erklärbar durch den kleineren Widerstand der Struktur aus Leichtbeton gegenüber äusserer Beanspruchung der Konstruktion.

Realisation aus Leichtbeton-Agloporit

Erkenntnisse, die durch experimentelle Forschung gewonnen wurden, konnten dann in der Praxis Anwendung finden, vor allem bei Bauten mit experimentellem Charakter. Schon im Jahre 1972 ist in Prag-Maniny ein Experimentalbau aus Leichtbeton-Agloporit gebaut worden. Die vertikalen sowie horizontalen

Bauelemente des Trägergerippes wurden aus Leichtbeton LB 25 gebildet. Der Umfassungsmantel besteht aus mehreren Schichten, und zwar aus Agloporitbeton, Polystyrenplatten als Wärmeisolation und aus tragendem Mauerwerk.

Die Wärme- und Feuchtigkeitsverhältnisse im Objekt wurden verfolgt und ausgewertet. Ähnlich sind in Ostrava ein fünfstöckiges Verwaltungsgebäude eines Forschungsinstitutes und ein Rechenzentrum gebaut worden. In beiden Fällen bestand die Konstruktion aus Ortbeton oder vorgefertigten Elementen aus Leichtbeton-Agloporit und Schlackenbims.

In Olomouc entstand aus Leichtbeton-Agloporit ein Verwaltungsgebäude einer Firma, die sich mit Fertigteilbauweise für Wohn- und Industriebauten befasst.

Im weiteren findet Leichtbeton breite Verwendung bei Umbauten und Rekonstruktionen, besonders dort, wo die Vorteile des niedrigeren Raumgewichtes von Vorteil sind.

Schlussbemerkung

Der konstruktive Leichtbeton aus künstlichem porösem Zuschlagstoff kann in der Zukunft auf breiter Basis seinen Platz sowie Verbreitung in der Bauindustrie durchaus finden.

Bei statischen und konstruktiven Lösungen muss man bei der Berechnung und dem Entwurf von einer neuen Philosophie ausgehen, so dass man alle spezifischen Eigenschaften des neuen Baustoffes ausnutzt und dabei alle Bedingungen und die Zweckmässigkeit der entsprechenden Bauwerke erfüllt.

Adresse des Verfassers: *Jiri Adamek*, dipl. Ing., Gorazdova 6, 60200 Brno, Tschechische Republik.