

# Betonieren unter Verkehr: Untersuchung der Auswirkungen von Erschütterungen auf jungen Beton

Dipl.-Ing. Dr. Alois Vorwagner<sup>1</sup>, Dipl.-Ing. Dr. Christian Gasser<sup>1</sup>,  
Dipl.-Ing. Dr. Vazul Boros, MBA<sup>1</sup>, Dipl.-Ing. (FH) Alfred Lechner<sup>1</sup>, Lukas Hausner, BSc<sup>2</sup>

<sup>1</sup> AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Wien

<sup>2</sup> Smart Minerals GmbH, Wien

## KURZFASSUNG

*Im vorgestellten Beitrag wird der Einfluss von Erschütterungen auf den jungen Beton systematisch und anhand von realistischen Versuchen an Kleinkörpern aus unbewehrtem und bewehrtem Beton behandelt. Die kontrollierte dynamische Anregung erfolgt künstlich mit dem AIT-Schwingungsgenerator. Die Proben (zwei verschiedene Betonsorten: „Standard-Brückenbeton“ B3-C30/37 und „Randbalkenbeton“ B7-C25/30) werden während der Erhärtungsphase systematisch mit harmonischen als auch mit realen verkehrsinduzierten Brückenschwingungsverläufen beaufschlagt. Variiert werden Intensitäten und Frequenzgehalt sowie Signalform. Im Anschluss werden die Materialparameter bestimmt und mit ruhend gelagerten Referenzkörpern verglichen.*

*Erste Ergebnisse zeigen, dass die mechanischen Eigenschaften Druckfestigkeit und E-Modul wenig oder nur gering beeinflusst werden. Dauerhaftigkeitstests und Untersuchungen am Mikrogefüge dienen dazu, Fehler, Risse und Veränderungen im Gefüge zu identifizieren und werden im laufenden Forschungsprojekt noch weiter durchgeführt. Auswirkungen auf den Verbund zwischen Beton und Bewehrung werden durch Auszugversuche analysiert. Bei diesen Versuchen wurden bei größeren Relativbewegungen zwischen Beton und Bewehrungsstab Abnahmen der mittleren Verbundfestigkeit beobachtet. Bei geringeren Relativverschiebungen (Amplituden von ca. 0,14 mm bei Dauerverkehr) konnte die Verbundfestigkeit hingegen sogar gesteigert werden.*

## 1 Einleitung

War in den vergangenen Jahrzehnten der Fokus hauptsächlich auf Neubauten gerichtet, so gewinnt das Bauen im Bestand nun immer mehr an Bedeutung. Zum einen sind Ersatzneubauten oft betriebliche und finanzielle Grenzen gesetzt, zum anderen bietet die Nutzung bereits vorhandener Bausubstanz ein großes Potential zur Ressourcen- und CO<sub>2</sub>-Einsparung. Dies trifft besonders im Infrastrukturbereich zu, da einerseits Landverbrauch minimiert werden soll, aber auch ein dauernd funktionierendes und leistungsfähiges Transportsystem zur Verfügung gestellt werden muss. Dies erfordert neue Möglichkeiten der fortlaufenden Ertüchtigung, Erneuerung und Erweiterung der beste-

henden Tragwerke unter Verkehrsbetrieb. Um die Beeinträchtigungen des Verkehrsflusses auf Bestandstragwerke während der Bauphase auf ein Minimum einzuschränken, finden diese Bauarbeiten bei bestehenden Straßen- und Eisenbahnbrücken heute vermehrt unter (teilweise) aufrechtem Verkehr statt.

Vor allem Arbeiten wie Tragwerkstausch bei komplexen Verkehrsbauwerken (innerstädtische Verkehrsknoten), Arbeiten an Brücken mit mehreren Richtungsfahrbahnen bzw. mehrgleisigen Brücken oder Erweiterungen/Ergänzungen müssen „unter rollendem Rad“ oder bei halbseitiger Befahrung umgesetzt werden können. Nur in Ausnahmefällen erfolgen Totalsperrungen bei kritischen Arbeitsschritten, welche

a) Fugenschluss bei Brückensystemen  
(z. B. 2gleisige Bahnstrecken)



b) Ersatzneubau - Verbinden von Bauteilen



c) Tausch von Randbalken oder  
Aufbetonverstärkung



d) Brückenergänzungen/Tausch/  
Erweiterung



Bild 1: Beispiele von möglichen Betonierarbeiten an Brücken, bei welchen Erschütterungen auf den jungen Beton erzeugt werden (schematische Schnittdarstellung eines typischen Tragwerks; grau: Bestand; grün/blau: Neubau)

immer immense Auswirkungen (Staus, Umfahrungen etc.) auf das gesamte Transportsystem haben. Beispiele von Betonierarbeiten von Tragwerksanschlüssen oder Arbeiten an Brückenbauten unter rollendem Rad sind in Bild 1 dargestellt und sind für Bahn- und Straßenbrücken gleichermaßen wichtig. Bild 1 a) bzw. b) zeigen schematisch den Arbeitsfugenschluss bei Teilbauphasen (z. B. bei Brückenerneuerung an gleichem Ort und Stelle). Eine Aufbetonverstärkung, der Tausch von Randbalken und Brückenergänzungen bei Bestandsbrücken sind in Bild 1 c) und d) skizziert.

### 1.1 Erschütterungen auf jungen Beton

Die Auswirkungen von Erschütterungen auf Menschen und auch auf (historische) Gebäude wurden in der Vergangenheit detailliert untersucht. Demgegenüber gibt es kaum Studien zu den schädlichen Wirkungen von Erschütterungen auf jungen, noch erhärtenden Beton. Ein gängiges Ingenieurverständnis ist, dass verkehrsbedingte Erschütterungen den aushärtenden Beton, und damit die Konstruktion insgesamt, dauerhaft schädigen können. Für den „kritischen Zeitbereich“ der Erhärtungsphase gibt es in der Literatur unterschiedliche Werte, die von 3 bis 15 h reichen. Ebenso gibt es unter-

schiedliche Auffassungen über die geeignetste Messgröße und zum Grenzwert für unbedenkliche Schwingungen, siehe z. B. [1]–[5].

Kaum etwas ist zum dynamischen Verhalten der Betonmatrix im Zuge des Erhärtungsvorganges unter Schwingungseinwirkung bekannt. Bei der Betonerhärtung kommt es im Zuge der Hydratation des Zementsteins zur Kristallisation von Ettringit und von Calciumsilikathydrat (CSH-Phasen) oder auch Calciumaluminatsilikathydrat (CASH-Phasen), welche für die mikroskopische Verzahnung und in weiterer Folge für die Festigkeitsentwicklung des Betons verantwortlich sind. Ebenfalls spielen diese frühen Prozesse der Hydratation eine primäre Rolle bei den später zu erwartenden Dauerhaftigkeitseigenschaften des Betons. In welcher Weise eine dynamische Belastung die Hydratation auf mikroskopischer Ebene strukturell beeinflusst, ist vollständig unbekannt. Ebenso ist der Zeitpunkt einer auftretenden dynamischen Belastung (Schwingungseinwirkung) gerade im frühen Betonalter von entscheidender Bedeutung. Da entsprechende (Grenz-)Werte bislang kaum systematisch wissenschaftlich ermittelt wurden, herrscht derzeit oft beträchtliche Unsicherheit in der Baupraxis. Grenzwerte, die bislang in vereinzelt Veröffentlichungen zu finden sind, sind sehr divergent

und reichen von 5 mm/s bis 35 mm/s [1]–[7]. Klare Regeln fehlen derzeit, bzw. sind die Richtwerte sehr konservativ (z. B. [5]) ausgelegt worden.

Ein Richtwert von 20 mm/s, aufbauend auf [1], wurde von mehreren Autoren vorgeschlagen. Er stellte in der Vergangenheit einen Kompromiss zwischen Empfehlungen der verschiedenen Veröffentlichungen dar. Dieser Richtwert wurde nie systematisch auch mit unterschiedlichen Anregungsformen (harmonisch, transient) in Bezug auf Verkehrsschwingungen untersucht. Es ist von großem Interesse, bei welchen dynamischen Anregungsverhältnissen (Frequenzgehalt, Schwingungsdauer, Amplituden) es zu nachteiligen Auswirkungen auf Betoneigenschaften kommt. Dies betrifft sowohl kurzzeitig nachweisbare (z. B. die 28-Tage-Festigkeit) als auch Langzeitwirkungen im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit. Zwar gibt es Hinweise darauf, dass Druck- oder Verbundfestigkeit von Erschütterungen sowohl positiv als auch negativ beeinflusst werden können ([3], [4]), aber Aussagen zur Dauerhaftigkeit fehlen bzw. wurden nur kürzlich indirekt, z. B. in [3], über die Wassereindringtiefe im Labormaßstab ermittelt. Die Proben wurden dazu aber nur harmonisch für einen kurzen Zeitraum ( $1 \times 30$  s) angeregt. Völlig unbekannt ist der Einfluss auf Langzeiteffekte, womit mögliche Schäden aufgrund heute falsch gesetzter Grenzwerte bei Baumaßnahmen erst in einigen Jahren zum Vorschein kommen könnten.

Andererseits wären bei zu konservativ angesetzten Grenzwerten Bauphasen nicht oder nur unter starken Einschränkungen möglich. Die Folge wären dann unnötig lange Verkehrssperren, großräumige Umleitungen oder aufwendige Konstruktionen (Unterstellung) bis hin zu verfrüht durchgeführten Ersatzneubauten, da die Tragwerke aufgrund zu konservativ gesetzter Grenzwerte nicht mit Betonierarbeiten am Tragwerk verstärkt werden können. Kürzlich konnte durch Mitwirken der Autoren mit speziellen einwirkungsseitigen Untersuchungen gezeigt werden, wie für den Fugenschluss eines Brückenbauwerkes an der A 23 – mit 140.000 Fahrzeugen pro Tag und Richtung Österreichs meistbefahrenen Autobahn – die Baumaßnah-

men optimiert werden können. Ein ursprünglich geplantes Stützgerüst im Fugenanschluss konnte entfallen, siehe [6]. Dies trug mitunter wesentlich dazu bei, dass die Brücke Monate früher für den Verkehr freigegeben werden konnte.

## 1.2 Messgröße

Von Bedeutung ist die Wahl der geeigneten dynamischen Messgröße. Zur Auswahl stehen (entsprechend der Bewegungsgleichung) Schwingweg, Schwinggeschwindigkeit und Beschleunigung:

- **Schwingweg  $u$ :** Die Verschiebungen in einer Struktur sind über die Steifigkeiten  $K$  mit den einwirkenden Kräften  $F$  gekoppelt:  $F = K \cdot u$ .
- **Schwinggeschwindigkeit  $\dot{u}$ :** Die Schwinggeschwindigkeit ist die Standardgröße im Erschütterungsschutz, da sie ebenfalls eine gute Kopplung mit dem inneren Verzerrungszustand zulässt. Ein weiterer Grund ist die historische Entwicklung der Messtechnik: Geophone messen Schwinggeschwindigkeit. Diese werden bei Erschütterungen primär eingesetzt, da sie in tieferen Frequenzbereichen besser messen als piezoelektrische Beschleunigungsaufnehmer. In den einschlägigen Erschütterungsnormen, z. B. [10], werden deshalb Grenzwerte ausschließlich für Schwinggeschwindigkeiten definiert. Auch in den derzeit in der Literatur angegebenen Grenzwerten für Betonieren unter Verkehr wurde diese Größe herangezogen, wengleich oft mit dem Zusatz, dass die relativen Verschiebungswege klein sein müssen, siehe z. B. [1], [2], [5]. Im Maschinenbau wird die Schwinggeschwindigkeit auch für die Messung und Bewertung von Ermüdung von Maschinenbauteilen, Lager und Schmiermittel als Beurteilungsgröße herangezogen. Begründet ist dies dadurch, dass die Schwinggeschwindigkeit über die Masse direkt mit der kinetischen Energie verbunden ist,  $E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \dot{u}^2$  [7], und dadurch Rückschlüsse auf die Dauerbelastung aussagekräftiger sind.
- **Beschleunigung  $\ddot{u}$ :** Gemäß dem 2. Newtonschen Gesetz sind Beschleunigungen proportional zu den einwirkenden Kräften:  $F = m \cdot \ddot{u}$ . Von Interesse sind Beschleunigungen, wenn

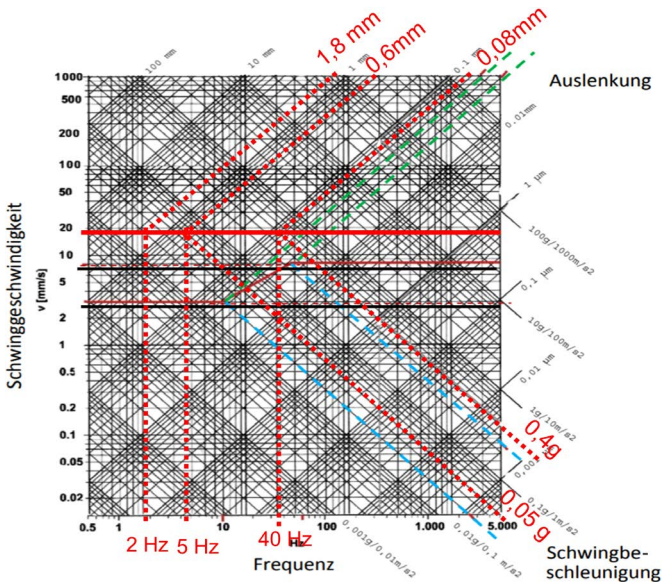


Bild 2: Frequenzabhängigkeit der dynamischen Größen/Amplituden beim derzeit oft empfohlenen Grenzwert von 20 mm/s (rot)

Trägheitskräfte der einzelnen Partikel untersucht werden sollen.

Gemessen werden kann grundsätzlich jede Größe. An ihr sollte sich aber die Wahl der Sensorik orientieren. Niedrige Frequenzen benötigen z. B. größere Schwingwege bzw. sind die Beschleunigungswerte dabei eher gering. Die Größen Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung können grundsätzlich durch Integration bzw. Differentiation ineinander übergeführt werden. Im Fall einer harmonischen Schwingung besteht zwischen diesen Größen ein einfacher multiplikativer Zusammenhang über die (fixe) Frequenz (siehe auch Bild 2). Die Messung der Schwinggeschwindigkeit hat sich auch deshalb als vorteilhaft erwiesen, weil jeweils durch einmaliges Integrieren bzw. einmaliges Ableiten Weg bzw. Beschleunigung errechnet werden können.

## 2 Experimentelle Umsetzung

### 2.1 Versuchskonzept

Die Auswirkungen von Erschütterungen auf erhärtenden Beton wurden noch nicht syste-

matisch anhand real auftretender Brückenschwingungen untersucht. Um diese Zusammenhänge besser zu verstehen bzw. ein grundsätzliches Materialverständnis zu erlangen, werden Versuche mit kontrolliert aufgeführten Schwingungen auf den erhärtenden Beton durchgeführt. Um die potenziell bei Brücken auftretenden Erschütterungen zu berücksichtigen, werden neben harmonischen Schwingungen auch reale transiente Signale zur künstlichen Anregung verwendet. Diese sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Variiert werden Frequenz, Signalform, Anregungsdauer und Amplitude. Die Kleinprobekörper (Würfel und Prismen) werden mit und ohne Bewehrungsstab ausgeführt.

Nach Befüllen der Schalkkörper werden die Proben während der kritischen ersten 15 h der Erhärtungsphase mit künstlich erzeugten Schwingungen beaufschlagt. Nach vollständiger normgerechter Erhärtung nach 28 d werden Materialtests durchgeführt. Das Grundschema ist in Bild 3 dargestellt. Verwendet werden – wie in Tabelle 1 ersichtlich – zwei Betonsorten: ein Standardbeton für Brücken der Festigkeit C30/37 (Expositionsklasse B3 nach [9]) sowie ein Regelbeton für Randbalken (Kappen) mit C25/30 (B7 nach [9]).

Nach Befüllen der Schalkkörper werden die Proben während der kritischen ersten 15 h der Erhärtungsphase mit künstlich erzeugten Schwingungen beaufschlagt. Nach vollständiger normgerechter Erhärtung nach 28 d werden Materialtests durchgeführt. Das Grundschema ist in Bild 3 dargestellt. Verwendet werden – wie in Tabelle 1 ersichtlich – zwei Betonsorten: ein Standardbeton für Brücken der Festigkeit C30/37 (Expositionsklasse B3 nach [9]) sowie ein Regelbeton für Randbalken (Kappen) mit C25/30 (B7 nach [9]).

### 2.2 Serie 1: unbewehrte Betonwürfel

Die Kleinprobekörper (im Allgemeinen sechs Würfel mit 150 mm Kantenlänge sowie zwei Prismen) werden durch einen AIT-eigenen Schwingungsgenerator systematisch angeregt (Bild 4). Dieser erlaubt auch unterschiedliche Intensitäten von realen Signalformen. Pro Durchgang wurden zusätzlich Referenzproben gefertigt und daneben „ruhend“ gelagert.

<b>Anregungstyp</b>	<b>Harmonisch</b>	5   20   35 Hz	Intermittierende Anregung: harmonische Schwingung von 20 s alle 10 min
	<b>Transient</b>	Realer Zug	Intermittierend: 1 Zug alle 20 min
		Realer LKW	Intermittierend: 1 LKW alle 3 min
		Dauerverkehr	Kontinuierlich
<b>Spitzengeschwindigkeit/ Amplituden der Anregung</b>		5   10   15   20   30   50 mm/s	80 mm/s (angenommene einzige Ausnahme)
<b>Anregungsdauer</b>		Generell: 15 h   Fallweise < 15 h	
<b>Betonsorte</b>	<b>B3<sup>*)</sup></b>	C30/37/F52/GK22 Zement: CEM II/B-M (S-L) 42,5 N 340 kg/m <sup>3</sup> w/z-Wert: 0,55 Luftporenanteil: 2,5–6,5 %	Hinweis: Typische Betonsorte für Tragwerke von Brücken
	<b>B7<sup>*)</sup></b>	C25/30/F52/GK22 Zement: CEM II/A-M (S-L) 42,5 N 380 kg/m <sup>3</sup> w/z-Wert: 0,45 Luftporenanteil: 4–8 %	Hinweis: Typische Betonsorte für Randbalken (erhöhte Frostbeständigkeit)

<sup>\*)</sup> Kurzbezeichnung nach ÖNORM B 4710-1 [9]

Tabelle 1: Parameterset Anregungsmatrix und Betone

**Anregungssignale**

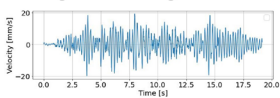
**Harmonisch**



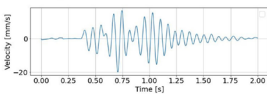
- 3 Frequenzen
- F1 5 Hz,
- F2 20 Hz
- F3 35 Hz

**Transient**

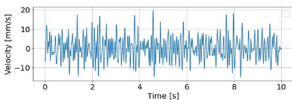
Folge realer Zugüberfahrten



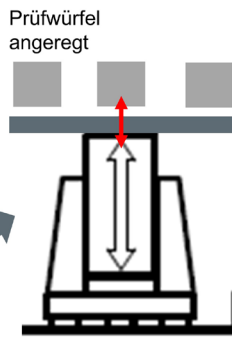
Folge realer LKW-Überfahrten



Dauerverkehr

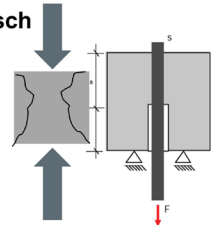


**Schwingung während der Erhärtung**



**Materialuntersuchungen**

**Mechanisch**



**Mikroskopie + Dauerhaftigkeit**

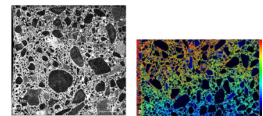


Bild 3: Exemplarische Versuchsabfolge: Anregungssignale als Schwinggeschwindigkeit  $\dot{u}$  [mm/s] für Zug und LKW sowie Dauerverkehr, umgesetzter schematischer Versuchsaufbau und Prüfprogramm Material

In der ersten Prüferie sollen die Auswirkungen von Schwingungen auf die mechanischen und dauerhaften Betoneigenschaften untersucht werden. Mögliche erwartete Schädigungen sind insbesondere Risse und Entmischung der Bestandteile, welche zu nachteiligen Ei-

genschaften führen könnten. Pro Durchgang wurden die Würfel und Prismen während der ersten 15 h dynamisch mit unterschiedlichen Signalformen und Amplituden entsprechend Tabelle 1 angeregt und danach entsprechend den Normvorgaben [9] im Wasserbad 28 d ge-

lagert, bevor die Materialprüfungen erfolgen.

### 2.3 Serie 2: bewehrte Probekörper – Auszugversuche

In der 2. Serie wurden pro Schwingserie vier Betonwürfel mit einer Kantenlänge von 200 mm entsprechend den Vorgaben für Auszugstests nach [8] gefertigt. Zentrisch wurde ein Bewehrungsstab  $\varnothing 16$  mm mit Standardrippenprofil und einer Verbundlänge von 80 mm ( $= 5 \times \varnothing$  nach [8]) eingelegt und Proben für beide Betonsorten (C30/37 bzw. C25/30, vgl. Tabelle 1) erstellt. Die Würfel wurden diesmal auf einer unbeweglichen Vorrichtung montiert und nur der Bewehrungsstab mit dem Schwingungstisch über eine Schraubmuffe verbunden (siehe Bild 5). Wiederum wurden die Durchgänge während der ersten 15 h dynamisch mit unterschiedlichen Signalformen und Amplituden entsprechend Tabelle 1 angeregt. Jeweils zwei Referenzkörper wurden pro Durchgang ohne Schwingung neben der Prüfvorrichtung gelagert, um Temperatureinflüsse in der Auswertung auszuschließen. Die Auszugversuche erfolgten mit einer Hohlkolbenpresse nach 28 d.

Neben den Schwinggeschwindigkeiten wurde zudem an ausgewählten Proben beidseitig der Bewehrungsdurchführung der Schwingweg am Stab über die gesamte Anregungsdauer gemessen (Bild 6).



Bild 4: Versuchsaufbau für unbewehrte Betonwürfel und Prismen für die mechanischen und Dauerhaftigkeitstests

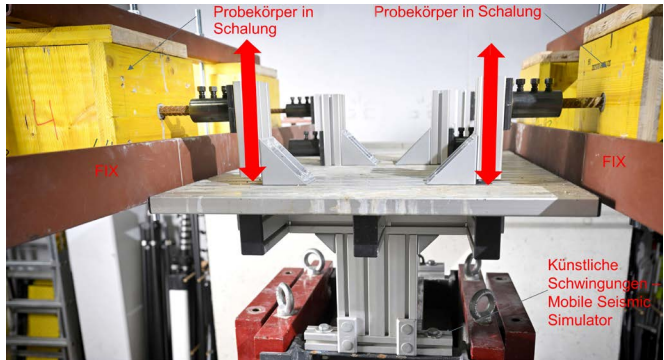


Bild 5: Versuchsaufbau der Betonkörper für spätere Auszugversuche: der Bewehrungsstab wird in der Mitte mit unterschiedlichen Amplituden und Schwingungssignalen während der ersten 15 h relativ zum Betonkörper bewegt

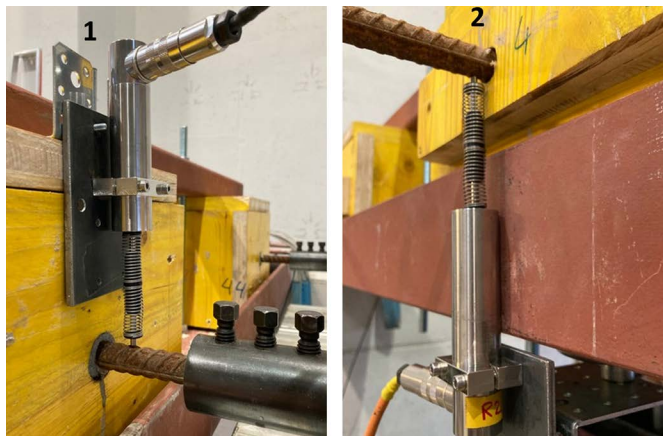


Bild 6: Details Messung der Schwingwege am Eintrittspunkt 1 und gegenüberliegendem Eintrittspunkt 2 des Bewehrungsstabs (s. a. oben links und rechts in Bild 5)

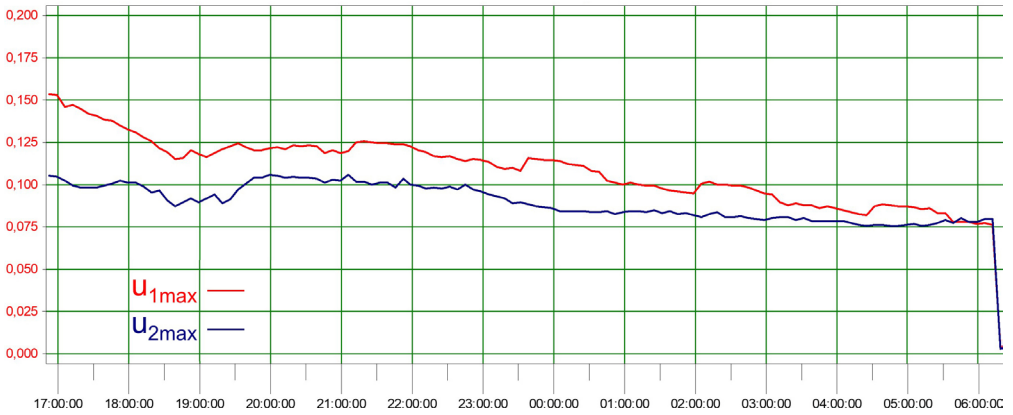
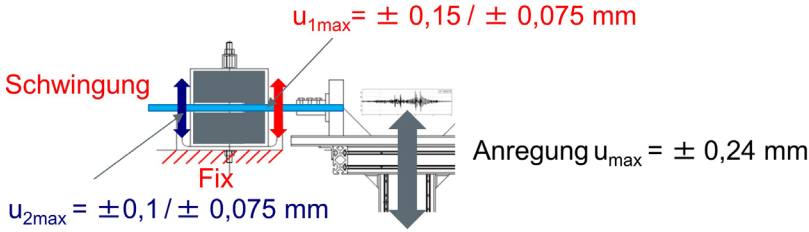


Bild 7: Verlauf der maximalen Verschiebungsamplituden während der ersten 15 h bei Anregung durch Dauerverkehr mit einer (Geschwindigkeits-)Amplitude von 10 mm/s

Für einen exemplarischen Probekörper (Dauerverkehr mit Amplitude 10 mm/s) sind die zeitlichen Verläufe der Wegamplituden in Bild 7 ersichtlich. Die am Schwingtisch aufgebraachte Wegamplitude ( $u_{max}$ ) betrug bei diesem Experiment  $\pm 0,24$  mm. Durch die Nachgiebigkeit der Befestigungsvorrichtung kommen von dieser ursprünglichen Verformung an der Innenseite der Schalung ( $u_{1max}$ ) maximal  $\pm 0,15$  mm an. Dieser Wert nimmt über die Zeit auf  $\pm 0,075$  mm ab, da der Beton kontinuierlich erhärtet. An der gegenüberliegenden Seite des Würfels schwingt der Stab frei. Hier sind die maximalen Amplituden ( $u_{2max}$ ) etwas geringer.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Betonfestigkeit und E-Modul (Serie 1)

Erste Laborergebnisse deuten darauf hin, dass Festigkeit und Steifigkeit des Betonkörpers im Allgemeinen nicht durch Schwingungen beeinträchtigt werden, die durch allgemeine Ver-

kehrssituationen verursacht werden. Es gibt aus den Versuchen keinen eindeutigen Hinweis darauf, dass eine bestimmte Erregungsart (eine bestimmte Frequenz) besonders kritisch ist. Noch interessanter ist, dass auch die gewählte Amplitude der Anregung keinen Einfluss auf die mechanischen Betoneigenschaften zu haben scheint (die höchste Anregungsamplitude betrug 80 mm/s).

Bild 8 zeigt die Ergebnisse der Würfeldruckfestigkeiten der Serie für den Beton B3, wobei dies jeweils die Mittelwerte der jeweils durchgeführten vier Würfeltests je Parameterkombination sind. Neben den Ergebnissen der mit harmonischen Signalen (5, 20 und 35 Hz) angeregten Probekörper sind auch die Ergebnisse für die Simulationen von Dauerverkehr, LKW- und Zugverkehr dargestellt. Auch ist der Mittelwert der Referenzergebnisse (Proben in Ruhe) angegeben.

Die Mittelwerte der Festigkeiten sowohl der angeregten als auch der (ruhenden) Referenz-

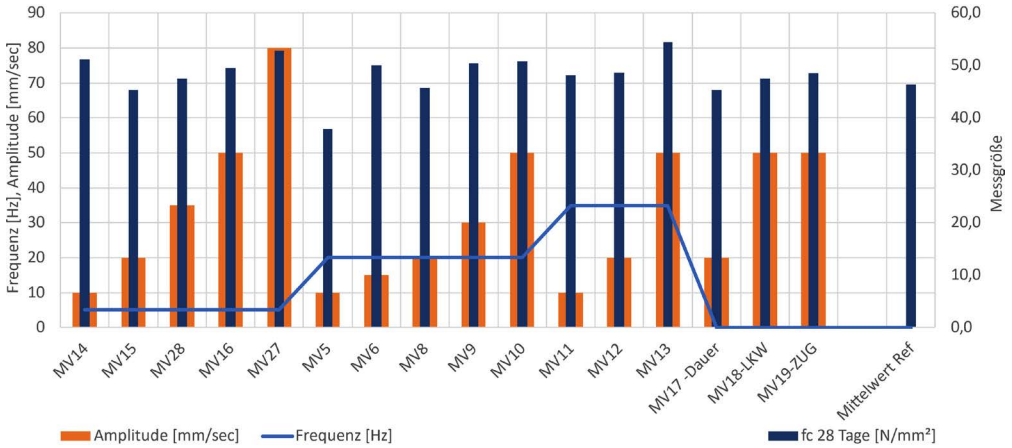


Bild 8: Druckfestigkeit nach 28 d bei unterschiedlichen Anregungsarten (harmonisch und transient)

proben sind deutlich erhöht, was wohl auf die sorgfältige Herstellung der Betonproben unter Laborbedingungen zurückzuführen ist. Generell waren die ermittelten Festigkeiten der geschüttelten Proben tendenziell noch etwas höher als jene der Referenzproben.

### 3.2 Verbundfestigkeit (Serie 2)

Durch Pull-out-Tests mittels aufgesetzter Hohlkolbenpresse wurden die Maximalkräfte und

Verschiebewege ermittelt. Ein exemplarisches Ergebnis eines Versuchsdurchgangs und der dazugehörigen Referenzversuche ist in Bild 9 ersichtlich. In diesem Fall (Anregung mit Dauerverkehr und einer Geschwindigkeitsamplitude von 10 mm/s) liegt die nach [8] berechnete mittlere Verbundfestigkeit deutlich über den Referenzwerten. Der erreichbare Schlupf  $s$  ist geringer, liegt aber über 2 mm, mit Ausnahme von Versuch V4 – hier wurde Stahlfließen erreicht, wenn auch der Betonkörper schlussendlich

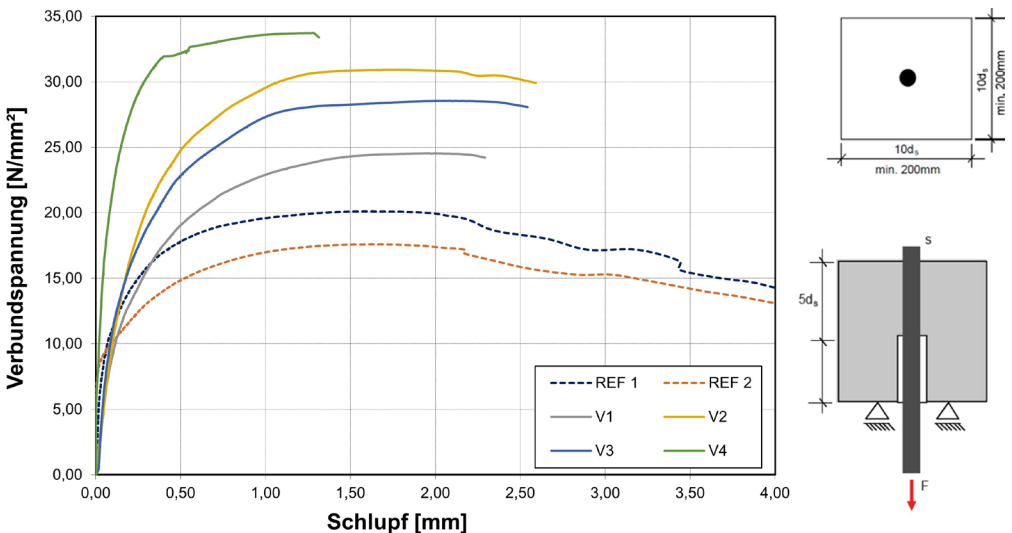


Bild 9: Ergebnisse des Auszugversuchs MV 2-13: Anregung mit Dauerverkehr und Geschwindigkeitsamplitude 10 mm/s



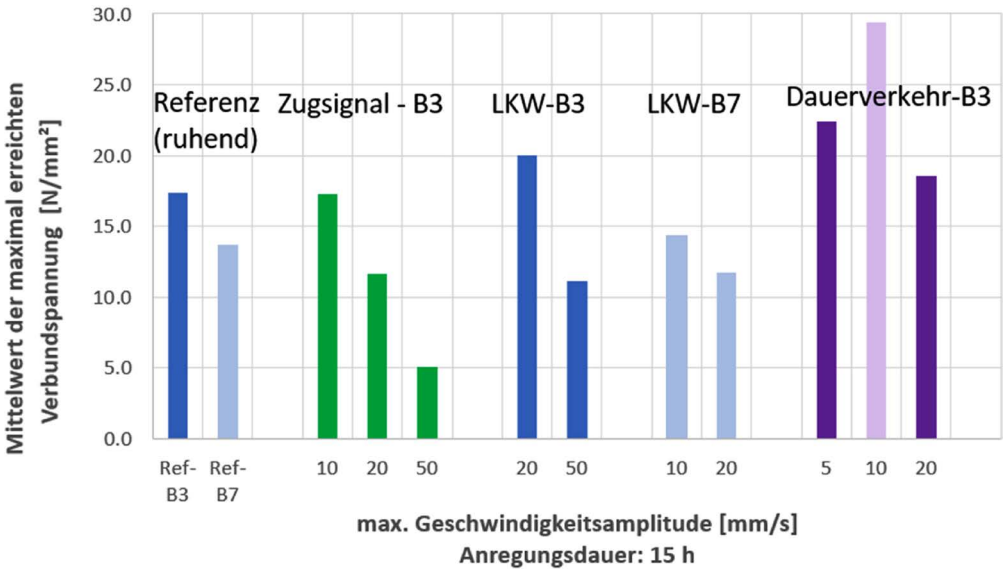


Bild 10: Gegenüberstellung der maximalen Verbundspannungen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeitsamplitude am Schwingtisch

durch Spaltbruch versagte. Die beim Versuch V4 erreichte Maximalkraft betrug 135,57 kN, dies entspricht einer Stahlspannung von 647,48 N/mm.

Gegenüberstellungen der Ergebnisse für die Serie 2 mit einer Anregungszeit von 15 h sind in Bild 10 und Bild 11 ersichtlich. Pro Durchgang wurden jeweils die Mittelwerte der dynamisch angeregten Proben gebildet und nach Anregungsart gruppiert. Proben wurden sowohl aus Beton B3-C30/37 als auch aus B7-C25/30 gefertigt. Die meisten Ergebnisse liegen für die Betonsorte B3 vor. Dieser Beton hat im Vergleich zum B7 mehr Zementgehalt und weniger Luftporenanteil und damit generell höhere Verbundfestigkeiten. Die Referenzwerte (Proben in Ruhe) beziehen sich auf die Mittelwerte aller erreichten Auszugkräfte für die jeweilige Betonsorte.

Deutliche Abnahmen der mittleren Verbundfestigkeiten bei einer Steigerung der Intensitäten der Schwingungsamplituden sind bei den Überfahrten von Zügen erkennbar. Anders verhält es sich beim Dauerverkehr. Hier ist zunächst (bei 5 mm/s und mehr noch bei 10 mm/s) eine

deutliche Verbesserung der Verbundspannung messbar, die bei 20 mm/s wieder abnimmt. Ähnliche Phänomene der Verbesserung sind aus Erfahrungsberichten von ausführenden Firmen bekannt. Auch in [4] sind Hinweise auf Steigerungen der Verbundwirkung bei real angeregten Proben entdeckt worden.

Noch klarer werden die Zusammenhänge, wenn die Ergebnisse in Abhängigkeit von Verschiebungsamplituden betrachtet werden, siehe Bild 11. Der Dauerverkehr weist hier aufgrund der breitbandigen Anregung wesentlich geringere Verschiebewege auf als etwa die Anregung durch Zugüberfahrten. Dies legt den Rückschluss nahe, dass die relative Verschiebung der maßgebliche Schädigungsparameter ist. Zusätzlich deutet eine Anregung bei kleinen Verschiebungswegen auf eine Nachverdichtung hin, die sich positiv auf die Verbundfestigkeiten auswirkt. Die angegebenen Verschiebewege beziehen sich auf den Schwingtisch. An der Probe kommen ca. 60 % an (siehe Bild 9). Das würde mit Blick auf die Ergebnisse der Dauerverkehrsanregung bedeuten, dass eine optimale Verdichtung (Verbesserung des Verbundes) bei  $0,24 \text{ mm} \cdot 0,6 = 0,144 \text{ mm}$  erreicht wird, wäh-

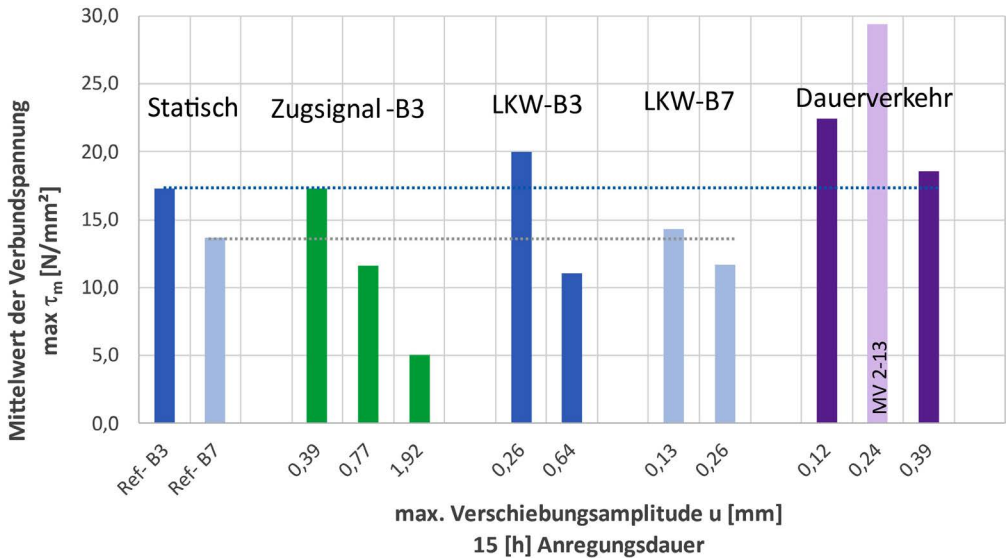


Bild 11: Gegenüberstellung der maximalen Verbundspannungen in Abhängigkeit von der Verschiebungsamplitude am Schwingtisch

rend bei größeren Erschütterungen, nämlich bei  $0,39 \text{ mm} \cdot 0,6 = 0,234 \text{ mm}$  die nachteiligen Effekte der Relativverschiebungen schon wieder deutlicher zutage treten.

#### 4 Fazit

Erste Laborergebnisse deuten darauf hin, dass mechanische Betonkennwerte, allen voran die Festigkeit und Steifigkeit von Normalbeton, im Allgemeinen nicht durch Schwingungen beeinträchtigt werden, die durch gewöhnliche Verkehrssituationen verursacht werden.

Erste Ergebnisse am Verbundverhalten des Bewehrungsstabs zeigen jedoch sehr deutlich, dass die Verbindung zwischen Beton und Bewehrungsstäben durch starke Erschütterungen beschädigt werden kann. Hier sind wohl vorrangig die Relativverschiebungen für die Schädigung maßgebend. Bei kleinen Verschiebeamplituden von ca.  $0,14 \text{ mm}$  bei Dauerverkehr konnte sogar eine deutlich positiv wirkende Nachverdichtung entdeckt werden, die sich bei weiterer Zunahme der Amplitude aber wieder verschlechtert. Die Unterschiede zwischen den Betonen B3 und B7 sind wohl begründet

durch den höheren Luftporen- und Zementanteil von B7.

Durch vertiefende Untersuchungen werden die Probekörper noch weiter untersucht bzw. werden gegebenenfalls noch ergänzende Kleinproben für maßgebliche Anregungskombinationen gefertigt.

Es erfolgen vertiefte Auswertungen zur Ermittlung der Dauerhaftigkeit und zur Mikrostruktur. Zudem sind Großversuche an Platten geplant (Serie 3), um beispielsweise Size-Effekte zu beurteilen sowie die Anregung von Verkehrsschwingungen an Brücken inklusive Schalungen besser nachstellen zu können.

#### Dank

Die gegenständliche Forschungsprojekt „*Concreting under Traffic - COUNT*“ wird im Rahmen des FFG-Förderprogramms *Collective Research* finanziert. Die Autoren danken dem Österreichischen Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation, und Technologie (BMK), der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG), der

Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG), der ÖBB Infrastruktur AG (ÖBB), der Abteilung Brücken und Grundbau der Stadt Wien (MA29) sowie allen beteiligten Branchenmitgliedern, Planungsbüros sowie ausführenden Firmen für die Unterstützung, die sehr gute Zusammenarbeit und den wertvollen fachlichen Austausch.

## Literatur

- [1] Bonzel, J.; Schmidt, M.: Einfluß von Erschütterungen auf frischen und auf jungen Beton. Beton 30 (1980) 9 | 10, S. 333–337 | 371–378.
- [2] Ansell, A.; Silfwerbrand, J.: The vibration resistance of young and early-age concrete. Structural Concrete 4 (2003), S. 125–134.
- [3] Mähner, D.; Basler, F.; Hesselink, J.: Einfluss von Erschütterungen auf jungen Beton. Beton- und Stahlbetonbau 114 (2019), S. 176–184.
- [4] Krohn, S.; Schrick, M.; Maurer, R.: Betonieren unter Verkehr. Beton- und Stahlbetonbau 116(2021), S. 89–100 – DOI: 10.1002/best.202000072
- [5] Hunkeler, F.; Jacobs, F.: Erschütterungen von jungem Beton bei Neubauten und Instandsetzungen – Empfehlungen für Beurteilung, Vermeidung und Maßnahmen. Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton, 25.01.2016.
- [6] Ralbovsky, M.; Vorwagner, A.; Kleiser, M.; Kozakow, T.; Geier, R.: Verkehrsschwingungen bei Betonierarbeiten auf bestehenden Straßenbrücken. Beton- und Stahlbetonbau 115 (2020), S. 179–187 – DOI: 10.1002/best.201900092
- [7] DIN ISO 10816-3:2018-01: Mechanische Schwingungen – Messung und Bewertung der Schwingungen von Maschinen – Teil 3: Industriemaschinen mit einer Leistung über 15 kW und Betriebsdrehzahlen zwischen 120 min<sup>-1</sup> und 30000 min<sup>-1</sup> (ISO 10816-3:2009 + Amd.1:2017).
- [8] Wildermuth, A. M.: Untersuchungen zum Verbundverhalten von Bewehrungsstäben mittels vereinfachter Versuchskörper. In: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb, Hrsg.): Schriftenreihe des DAfStb, Heft Nr. 609, Berlin: Beuth Verlag, 2013.
- [9] ÖNORM B 4710-1:2018-01: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung, Verwendung und Konformität – Teil 1: Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 206 für Normal- und Schwerbeton.
- [10] DIN 4150-1:2022-12: Erschütterungen im Bauwesen – Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen.

## Bildquellen

Bild 1: Asfinag und AIT

Bilder 2, 4–11: © AIT

Bild 3: AIT und Smart Minerals