

Auswirkung verschiedener Vibrationsanregungen auf aushärtenden Beton

K. Alten, Ch. Gasser, A. Lechner, AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Wien, A

Abstract

Vibrationen werden im Zuge der Herstellung von Betonbauteilen gezielt zur Verdichtung verwendet. Dabei wird der Luftporenraum im unverdichteten Frischbeton mittels Rüttler (Arbeitsfrequenz bei ca. 200 Hz) reduziert und folglich die Betonfestigkeit erhöht. Betonbauteile der Verkehrsinfrastruktur, insbesondere Brücken und Viadukte, unterliegen im Falle von Erneuerung, Ertüchtigung oder Erweiterung des Bestands üblicherweise den jeweiligen Fahrzeug-Erschütterungsemissionen. Innerhalb der ersten Stunden wird daher oft eine – zumindest partielle – Verkehrssperre erlassen, um dauerhafte Schäden an der Konstruktion zu vermeiden. In der Baupraxis variiert die genaue Dauer dieser kritischen Aushärtungsphase je nach Literatur zwischen 3 und 15 Stunden und der tatsächliche Einfluss der Vibrationen auf die Materialeigenschaften während dieses Zeitraums wurde noch nicht systematisch untersucht.

Im Rahmen des hier präsentierten laufenden Forschungsprojekts wurde die künstliche Vibrationsanregung von Frischbeton in mehreren Versuchsserien untersucht, um Aufschluss über eventuelle Änderungen der mechanischen Eigenschaften und des Gefüges zu bekommen. Die Anregungsformen umfassten harmonische Signale zwischen 5-35 Hz sowie transiente Zeitverläufe realer Zug- und LKW-Fahrten.

In der ersten Versuchsserie wurden kontrollierte Schwingungen auf aushärtenden unbewehrten Normalbeton aufgebracht. Hierbei wurden sowohl die Amplitude als auch der Frequenzinhalt und die Einwirkungsdauer variiert, um Aussagen über die Vibrationseinwirkung auf das Material an sich zu erhalten. In der zweiten Serie wurden die gleichen Schwingungseinwirkungen auf die Bewehrung von aushärtendem Stahlbeton appliziert. Anhand der anschließenden Ausziehversuche wurde eine Aussage über die Verbundfestigkeit ermöglicht. Nach den Laborversuchen der Serie 1 und 2 finden in der aktuell laufenden dritten Serie Großversuche statt, bei denen aushärtende Stahlbetonplatten in direktem Kontakt zu schwingenden erhärteten Stahlbetonplatten stehen. Der vorliegende Beitrag zeigt Details zur Versuchsdurchführung und erste Erkenntnisse aus den Serien 1 und 2.

Auswirkung verschiedener Vibrationsanregungen auf aushärtenden Beton

**K. Alten, C. Gasser, A. Lechner, AIT Austrian Institute of Technology
GmbH, Wien**

Kurzfassung

Vibrationen werden im Zuge der Herstellung von Betonbauteilen gezielt zur Verdichtung verwendet. Dabei wird der Luftporenraum im unverdichteten Frischbeton mittels Rüttler (Arbeitsfrequenz bei ca. 200 Hz) reduziert und folglich die Betonfestigkeit erhöht. Betonbauteile der Verkehrsinfrastruktur, insbesondere Brücken und Viadukte, unterliegen im Falle von Erneuerung, Ertüchtigung oder Erweiterung des Bestands üblicherweise den jeweiligen Fahrzeug-Erschütterungsemissionen. Diese können wiederum zu dauerhaften Schäden an der Konstruktion führen. Innerhalb der ersten Stunden wird daher oft eine – zumindest partielle – Verkehrssperre erlassen. In der Baupraxis variiert der Zeitraum dieser kritischen Aushärtungsphase je nach Literatur zwischen 3 und 15 Stunden und der tatsächliche Einfluss der Vibrationen auf die Materialeigenschaften während dieses Zeitraums wurde noch nicht systematisch untersucht.

Im Rahmen des hier präsentierten laufenden Forschungsprojekts wird die künstliche Vibrationsanregung von Frischbeton in mehreren Versuchsserien untersucht, um Aufschluss über eventuelle Änderungen der mechanischen Eigenschaften und des Gefüges zu bekommen. Die Anregungsformen umfassten harmonische Signale zwischen 5-35 Hz sowie transiente Zeitverläufe realer Zug- und LKW-Fahrten.

In der ersten Versuchsserie wurden kontrollierte Schwingungen auf aushärtenden unbewehrten Normalbeton aufgebracht. Hierbei wurden sowohl die Amplitude als auch der Frequenzinhalt und die Einwirkungsdauer variiert, um Aussagen über die Vibrationseinwirkung auf das Material an sich zu erhalten. In der zweiten Serie wurden die gleichen Schwingungseinwirkungen auf die Bewehrung von aushärtendem Stahlbeton appliziert. Anhand der anschließenden Ausziehversuche wurde eine Aussage über die Verbundfestigkeit ermöglicht. Nach den Laborversuchen der Serie 1 und 2 finden in der aktuell laufenden dritten Serie Großversuche statt, bei denen aushärtende Stahlbetonplatten in direktem Kontakt zu schwingenden erhärteten Stahlbetonplatten stehen. Der vorliegende Beitrag zeigt Details zur Versuchsdurchführung und erste Erkenntnisse aus den Serien 1 und 2.

1. Motivation

Im Rahmen der Herstellung von Betonbauteilen werden Vibrationen gezielt zur Verdichtung des Frischbetons eingesetzt, um den Luftporenanteil im Material zu verringern und dadurch die Materialfestigkeit zu erhöhen sowie den Formschluss zum Bewehrungsstahl und zur Schalung sicherzustellen. Der Einsatz von Innenrüttlern sollte hinsichtlich Durchmesser und Betriebsfrequenz auf das Bauteil abgestimmt sein. Die Methode und Dauer der Verdichtung hängen üblicherweise von der Konsistenz des Betons ab; bei zu langer Verdichtung kommt es zur Entmischung.

Bei Verkehrsbauwerken, insbesondere bei Brücken und Viadukten, kommt es bei Baumaßnahmen im Bestand unweigerlich zur Einwirkung von Erschütterungen auf den aushärtenden Beton, wenn keine Verkehrssperre erfolgt. Aus ökonomischen Gründen werden Totalsperren nur in Ausnahmefällen eingesetzt, dadurch müssen übliche Erweiterungen, Ertüchtigungen und Erneuerungen oft bei halbseitiger Befahrung umgesetzt werden. Kürzlich konnte durch einwirkungsseitige Untersuchungen an einer österreichischen Autobahnbrücke gezeigt werden, wie für den Fugenschluss eines

Brückenbauwerkes an der A23 (140.000 Fahrzeuge pro Tag und Richtung) die Baumaßnahmen optimiert werden können: Ein ursprünglich geplantes Stützgerüst im Fugenanschluss konnte entfallen, siehe [7]. Dies trug mitunter dazu bei, dass die Brücke Monate früher für den Verkehr freigegeben werden konnte.

In der Baupraxis liegt der kritische Zeitbereich der Erhärtungsphase zwischen 3 und 15 Stunden nach der Betonherstellung. In der Literatur gibt es unterschiedliche Auffassungen über die geeignetste Messgröße (Schwingweg vs. Schwinggeschwindigkeit) sowie über den empfohlenen Grenzwert (5-35 mm/s) für unbedenkliche Schwingungen, siehe z. B. [1]-[5]. Ein Richtwert von 20 mm/s, aufbauend auf [1] wurde von mehreren Autoren vorgeschlagen und stellte in der Vergangenheit einen Kompromiss zwischen Empfehlungen der verschiedenen Veröffentlichungen dar.

Im Zuge des hier vorgestellten Forschungsprojekts „COUNT“ wurde daher eine systematische Untersuchung der Auswirkung von Vibrationen auf Betonprüfkörper im Rahmen von 3 Versuchsserien geplant und entsprechende Versuchsaufbauten entworfen. Ziel ist eine Aussage über die Materialeigenschaften und Betonbeschaffenheit bei verschiedenen Einwirkungen, die sowohl auf makroskopischer Ebene durch Druck-, Auszieh- und Dauerhaftigkeitsversuche als auch auf mikroskopischer Ebene durch Dünnschliffe und Simulationen untersucht wurden. Die Dauerhaftigkeitstests (Permeabilitätsmessungen hinsichtlich Luft und Wasser) sind zum aktuellen Zeitpunkt noch im Gange.

2. Prüfkörper und Untersuchungsmethoden

Bei den für die Untersuchungen erzeugten Kleinkörpern (Würfel und Prismen) handelt es sich um Standard-Brückenbeton B3-C30/37 und „Randbalkenbeton“ B7-C25/30, wobei in Kapitel 4 nur auf die Detailergebnisse des Brückenbetons eingegangen wird; die Ergebnisse des Randbalkenbetons verhalten sich analog dazu. Beim B3 (Kurzbezeichnung nach ÖNORM B 4710-1) handelt es sich um die Betonsorte C30/37/F52/GK22 mit Zement CEM II/B-M (S-L) 42,5 N (340 kg/m³). Der Luftporenanteil betrug 2,5–6,5 %. Die Betonmischungen wurde vom Projektpartner SmartMinerals hergestellt, in die Schalung gegossen und zu AIT gebracht, so dass die Anregung der Würfel bzw. Prismen (Serie 1 & 2) innerhalb der ersten 1,5 Stunden der Aushärtung beginnen konnte. Das Prüfmaterial für Serie 3 wurde erst am Versuchsort in die Schalung gegossen, fachgerecht mit Rüttler verdichtet und die Oberfläche geglättet, bevor nach etwa 1 Stunde die dynamische Anregung startete. Für alle Prüfkörper wurden die jeweiligen Materialtests erst nach vollständiger, normgerechter Erhärtung nach 28 Tagen durchgeführt.

2.1. Serie 1: Unbewehrter Normalbeton

Pro Anregungsart wurden 6 Würfel mit 150 mm Kantenlänge (für die anschließenden Druckversuche und Mikroskopie) sowie 2 Prismen (für E-Modul- und Spaltzugfestigkeitstests) und 4 Referenzkörper hergestellt, die ruhend gelagert wurden. Durch die künstliche Schwingungsanregung sollten potenzielle Schädigungen durch Risse bzw. die Entmischung der Bestandteile untersucht werden. Nach jedem 15-stündigen Durchgang der dynamischen Anregung mit unterschiedlichen Signalformen und Amplituden wurden die Würfel und Prismen entsprechend den Normvorgaben [8] 28 Tage im Wasserbad gelagert, bevor die Materialprüfungen erfolgten.

2.2. Serie 2: Stahlbetonwürfel

Für diese Versuchsreihe wurden je Anregungsart 4 Betonwürfel mit einer Kantenlänge von 200 mm entsprechend den Vorgaben der Auszugstest nach [9] gefertigt plus 2 Referenzkörper. Zentrisch wurde ein Bewehrungsstab (Standardrippenprofil) mit 16 mm Durchmesser und einer Verbundlänge von 80 mm (= 5 × Ø nach [9]) eingelegt. Die Auszugversuche erfolgten mit einer Hohlkolbenpresse nach 28 Tagen.

2.3. Serie 3: Stahlbetonplatten

Bei diesem Großversuch wurde eine ausgehärtete Stahlbetonplatte mit Befestigungsdornen an einem Stahlrahmen montiert und über die ausragenden Bewehrungsseisen der Frischbeton einer 1,5 x 1,5 x

0,18 m Stahlbetonplatte in Schwingung versetzt. Die Abmessungen entsprechen realistischen Bauteilmaßen, wodurch die im Anschluss an die Aushärtung stattfindenden Materialtests eventuelle Size-Effekte berücksichtigen können. Entsprechende Referenzkörper werden in ausreichend großer Entfernung zum schwingenden Stahlrahmen auf der gegenüberliegenden Seite der Platte entnommen.

3. Künstliche Vibrationsanregung

Um die in Kapitel 2 beschriebenen Prüfkörper wiederholbaren Versuchen zu unterziehen, war ein Versuchsaufbau mit kontrollierbaren Randbedingungen erforderlich. Die Vibrationsanregung musste somit künstlich erfolgen und wurde mittels verschiedener Erschütterungsgeneratoren realisiert.

Das grundlegende Ziel war die systematische Untersuchung der Auswirkung verschiedener Anregungstypen mit jeweils verschiedenen Amplituden. Die Typen werden nachfolgend im Detail beschrieben und lassen sich in die Kategorien *harmonisch* und *transient* unterteilen. Die Amplituden der Anregung wurden in mehreren Schritten zwischen 5-50 mm/s variiert (plus ein Sondertest mit 80 mm/s). Als Gesamtversuchsdauer wurden jeweils 15 Stunden gewählt (Maximum der kritischen Erhärtungsphase laut Literatur) und innerhalb dieser 15 Std erfolgte die künstliche Vibrationsanregung im Allgemeinen intermittierend (außer beim Szenario Dauerverkehr). Eine Übersicht der Einwirkungen befindet sich in Tabelle 1 und die grafische Darstellung der Signale in Abbildung 1.

Tabelle 1. Zusammenfassung der auf die Prüfkörper applizierten Anregungsformen

Anregungstyp	Harmonisch			Transient			
Signalinhalt	5 Hz	20 Hz	35 Hz	Zug	LKW	Dauerverkehr	
Spitzenamplitude	5 10 15 20 30 50 mm/s						
Anregungsintervall	20 sec alle 10 min		1 Zug alle 20 min		1 LKW alle 3 min		Kontinuierlich

3.1. Transiente Signale

Um reale verkehrsinduzierte Schwingungsverläufe zu simulieren, wurden tatsächlich aufgezeichnete Messdaten (Schwingungsgeschwindigkeiten) von Brückentragwerken herangezogen und daraus typische Fahrzeugvorbeifahrten extrahiert. Die Daten der LKW-Signale stammen von einer Autobahnbrücke mit zwei Fahrstreifen, auf der LKW mit 80-90 km/h verkehren. Das Zugsignal wurde aus Messungen an einem 2-gleisigen Verbundtragwerk entnommen und stellt einen Güterzug dar. Das Signal zur Dauerverkehrseinwirkung (PKW-Verkehr) ist ein Rauschen im Frequenzbereich 5-25 Hz.

Die ausgewählten Zeitsignale (siehe Abbildung 1) dienten als Eingangssignal für die Versuche und wurden durch den Erschütterungsgenerator am Anregungspunkt repliziert. Diese Anregungsform wurden bei Versuchsserien 1 und 2 angewandt.

3.2. Harmonische Signale

Hierbei wurde durch den Erschütterungsgenerator ein reiner Sinus-Verlauf mit der entsprechenden Frequenz und Amplitude erzeugt. Es wurden für Versuchsserie 1 die Frequenzen 5 Hz, 20 Hz und 35 Hz ausgewählt, um einerseits typische Werte der tiefen Eigenfrequenzen der Tragwerke zu verwenden und andererseits den Frequenzbereich der Verkehrseinwirkung abzudecken. Bei Versuchsserie 3 wurde ein harmonisches Signal mit der Eigenfrequenz des Versuchsaufbaus gewählt, um ausreichend Vibrationsenergie in die Betonplatte einzuleiten bzw. ausreichende Relativbewegungen zu erzielen.

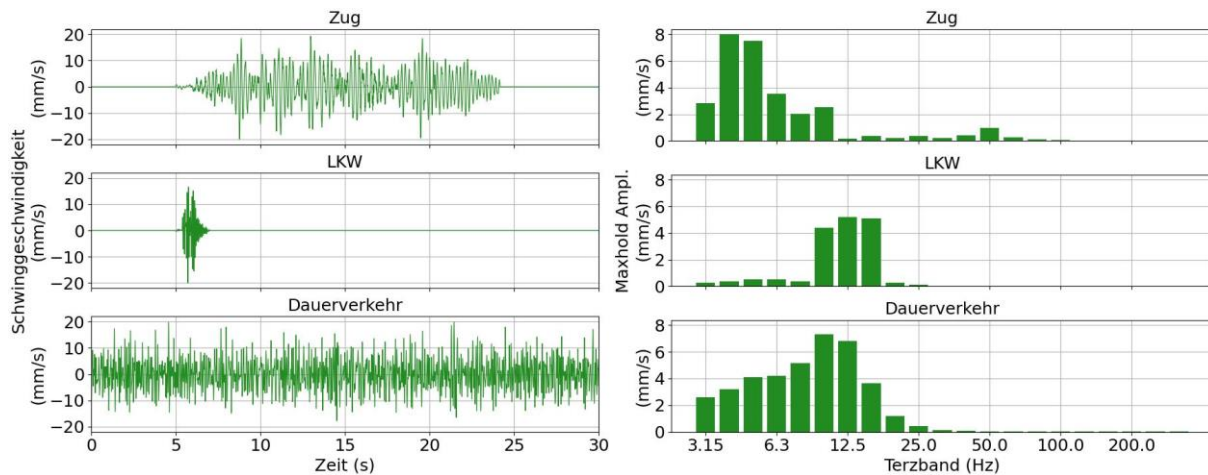


Abbildung 1. Linke Spalte: Zeitverläufe der verwendeten Anregungssignale, skaliert auf 20 mm/s. Rechte Spalte: Maxhold-Terzbandspektren der Anregungssignale, Integrationszeit für RMS=0,125 sec (fast-Bewertung)

3.3. Versuchsaufbau

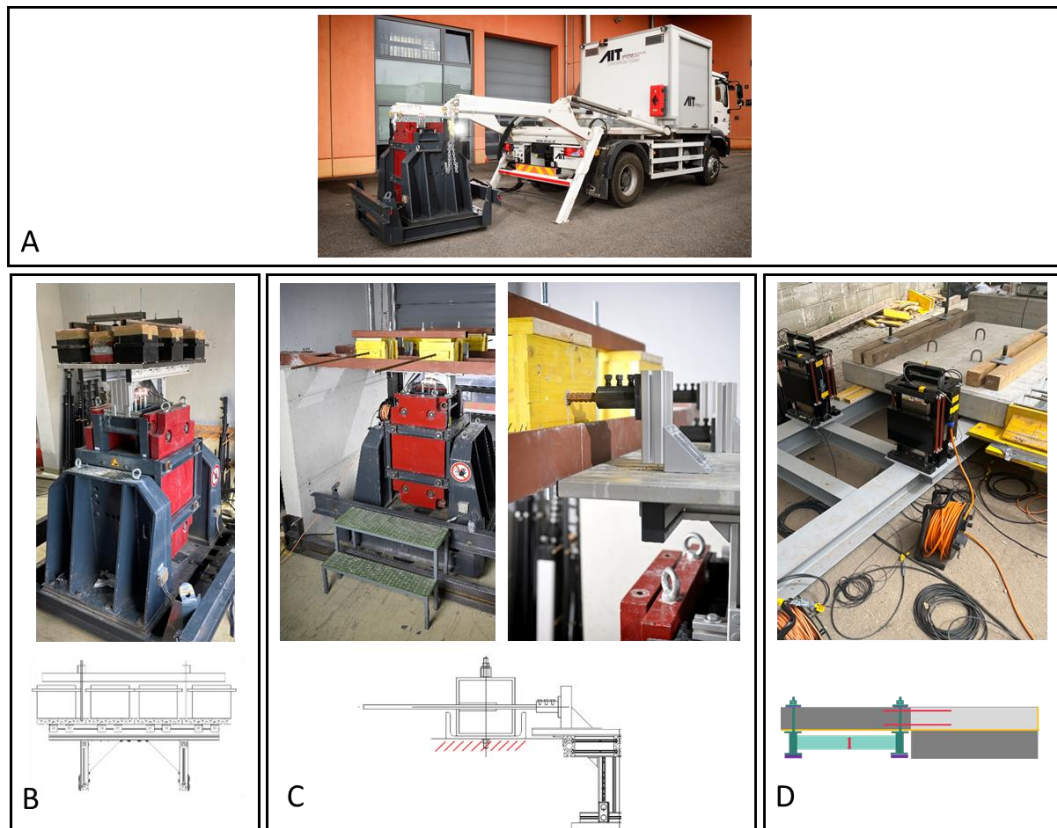
Für die künstliche Anregung der Prüfkörper kamen verschiedene Schwingungsgeneratoren zum Einsatz. In Serie 1 und 2 wurde der *Mobile Seismic Simulator* (MoSeS, Abbildung 2A) von AIT verwendet. Dieser LKW setzt hydraulisch bewegte Massen in Form eines Absetzkippers für Anregungen des Untergrundes oder von Bauwerken ein. Bei üblichen Anwendungen werden die Reaktionskräfte der schwingenden Masse über drei Füße in den Boden eingeleitet und über Piezoelemente gemessen. Das Gewicht des absetzbaren Schwingerregers beträgt 3,7 t und die maximale Kolbenkraft 35 kN. Der Frequenzbereich des Schwingerregers liegt zwischen 0-80 Hz und kann in Form von beliebigen Eingangssignalen ausgeführt werden (bei voller Massenbestückung kann die Erregerkraft 15 kN ab ca. 3 Hz konstant gehalten werden. Die max. Erregerkraft 25 kN kann ab ca. 7 Hz konstant gehalten werden). Um die aushärtenden Prüfkörper anzuregen, wurde ein aufsetzbarer Schwingtisch konzipiert, der durch den darunter befindlichen Erreger mitbewegt wird. Im Vorfeld erfolgte eine FE-Berechnung der Systemeigenfrequenzen (Tisch plus Betonmassen), um eventuell Resonanzprobleme während der Anregung auszuschließen.

Für Serie 1 (Normalbeton ohne Bewehrung) wurden pro 15-stündigem Prüfverlauf jeweils 6 aushärtenden Würfel und die zwei Prismen auf dem Schwingtisch befestigt, siehe Abbildung 2B. Vier ruhende Referenzproben befanden sich währenddessen in derselben Halle, um dem gleichen Temperatur- und Feuchtigkeitsverlauf zu unterliegen.

Für Serie 2 wurden die Versuchskörper auf einer unbeweglichen Vorrichtung montiert und nur der Bewehrungsstab mit dem Schwingtisch über eine Schraubmuffe verbunden, siehe Abbildung 2C. Pro 15-stündigem Prüfverlauf der verschiedenen Anregungsformen (siehe Tabelle 1) wurden 2 Referenzkörper neben der Prüfvorrichtung gelagert, um Temperatureinflüsse in der Auswertung auszuschließen. Neben den Schwinggeschwindigkeiten am Prüftisch wurde zudem an ausgewählten Proben beidseitig der Bewehrungsdurchführung der Schwingweg am Stab über die gesamte Anregungsdauer gemessen. Bedingt durch die Nachgiebigkeit der Befestigungsvorrichtung kommen von der am Schwingtisch erzeugten Verformung nur etwa 60-65% an der Innenseite der Schalung an (dieser Wert nimmt über die Zeit ab, da der Beton kontinuierlich erhärtet). An der gegenüberliegenden Seite des Würfels schwingt der Stab frei.

Für Serie 3 wurde eine elastisch gelagerte Plattform konzipiert, auf der zwei Long-Stroke Shaker einen Metallrahmen in Resonanzschwingung versetzen. Auf diesem befindet sich eine ausgehärtete Betonplatte, die über die Bewehrung mit einer frisch gegossenen Stahlbetonplatte verbunden ist, siehe Abbildung 2D. Auch für diesen Aufbau fanden im Vorfeld FE-Analysen statt, um die Eigenfrequenz in einen für die Shaker gut anregbaren Frequenzbereich zu dimensionieren. Zum Zeitpunkt dieses

Beitrags ist die Versuchsserie noch am Laufen und die ersten Proben noch am vollständigen Aushärten, bevor Materialtests durchgeführt werden können.



**Abbildung 2. A: AIT Mobile Seismic Simulator im Grundzustand.
B: Schwingungserreger und Betonwürfel der Versuchsserie 1 (inkl. schematische Zeichnung des Schwingtisches)
C: Gesamt- und Detailansicht des Versuchsaufbaus der Serie 2 (inkl. schematische Zeichnung der Ankopplung zwischen Schwingtisch und fix gelagerten Würfeln via Bewehrungsseisen
D: Long-Stroke Shaker und Stahlbetonplatten in Versuchsserie 3**

4. Ergebnisse

4.1. Materialkennwerte

Die Labortests an Prüfkörpern der Serie 1 zeigen, dass die mechanischen Eigenschaften Druckfestigkeit (siehe Abbildung 3) und E-Modul (siehe Abbildung 4) kaum bzw. nur geringfügig durch Vibrationen während der Aushärtung beeinflusst werden. Es gibt aus den Versuchen keinen eindeutigen Hinweis darauf, dass ein bestimmter Anregungstyp oder eine bestimmte Frequenz besonders kritisch ist. Noch interessanter ist, dass auch die gewählte Anregungsamplitude keinen Einfluss auf die mechanischen Betoneigenschaften zu haben scheint (bei einem Versuch wurde die Spitzenamplitude testweise sogar auf 80 mm/s erhöht).

Insgesamt sind die Mittelwerte der Festigkeiten aller Probekörper (sowohl der angeregten als auch der ruhenden Referenzproben) deutlich erhöht gegenüber den üblichen Werten der untersuchten Betonsorten, was wohl auf die sorgfältige Herstellung der Betonproben unter Laborbedingungen zurückzuführen ist. Tendenziell waren die ermittelten Festigkeiten der angeregten Proben noch etwas höher als jene der Referenzproben, was auf eine bessere Verdichtung durch die Schwingungen hindeutet. Stichprobenuntersuchungen mit dem Mikroskop ergaben keine Hinweise, dass zufolge der Erschütterungen eine Entmischung oder messbare Änderungen im Mikrogefüge auftreten.

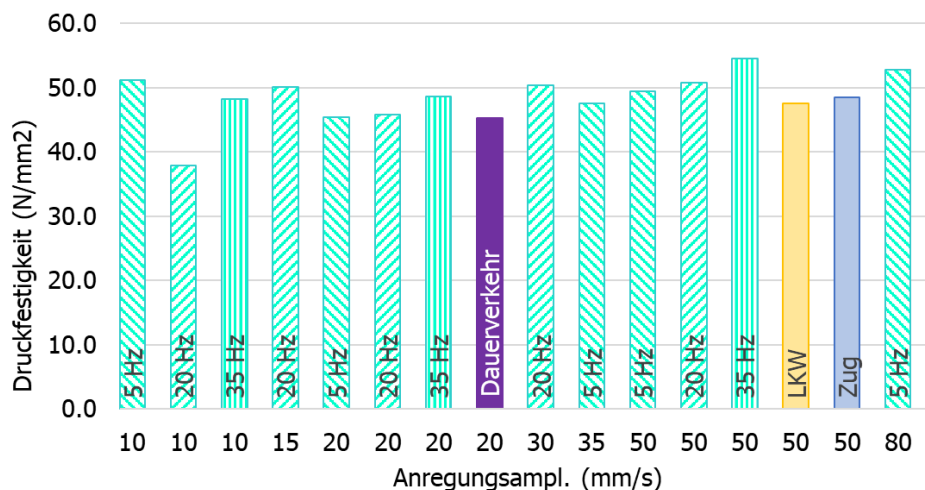


Abbildung 3. Druckfestigkeit nach 28 Tagen (gemittelt über alle Prüfkörper pro Versuch) je nach Amplitude und Anregungsart

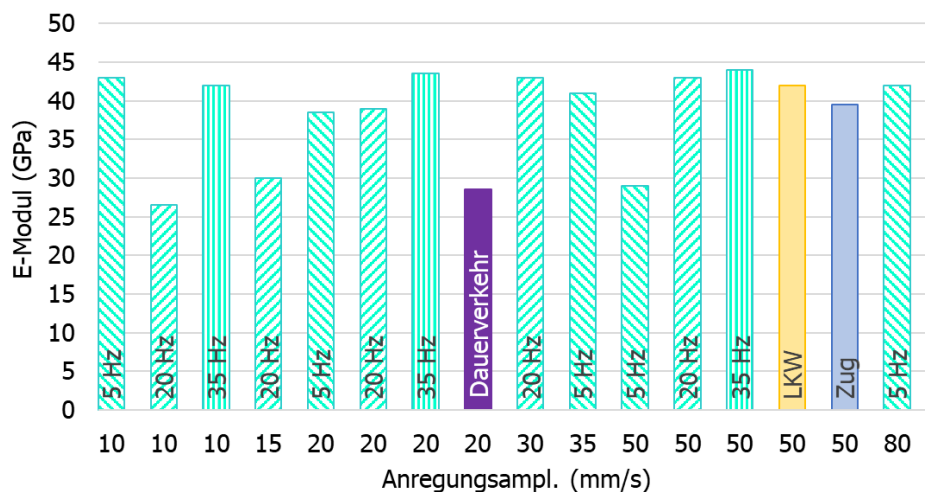


Abbildung 4. E-Modul (gemittelt über alle Prüfkörper pro Versuch) je nach Amplitude und Anregungsart

4.2. Ausziehversuche

An den Prüfkörpern der Serie 2 erfolgte der sogenannte RILEM Pull-Out Test, bei dem im Anschluss an die vollständige Aushärtung der Proben eine Belastungsrate von $0,5 (d_s)^2$ N/sec (mit d_s = Durchmesser des Bewehrungsstahls) auf den Bewehrungsstab aufgebracht wird, so dass die Steigerung der Verbundspannung konstant ist. Der Versuch erfolgt mittels aufgesetzter Hohlkolbenpresse und ermittelt die Maximalkräfte und Verschiebewege, um die Auswirkungen der Erschütterungen auf den Verbund zwischen Beton und Bewehrung zu untersuchen.

Erste Ergebnisse dieser Tests zeigen eine Abnahme der mittleren Verbundfestigkeit bei starker Schwingungsanregung, was auf die große Relativbewegung zwischen Beton und Bewehrungsstab während dem Aushärten zurückzuführen ist. Deutliche Abnahmen der mittleren Verbundfestigkeiten bei einer Steigerung der Schwingungsamplituden sind bei den Überfahrten von Zügen erkennbar (siehe Abbildung 5; dargestellt sind Ergebnisse für Betonsorte B3). Anders verhält es sich beim Dauerverkehr. Hier ist zunächst bei geringeren Relativverschiebungen von bis zu ca. 0,14 mm (erzeugt durch 5-10 mm/s am Schwingtisch) eine deutliche Verbesserung der Verbundspannung messbar, die bei 20 mm/s (entspricht etwa 0,23 mm Relativverschiebung an der Bewehrung) wieder abnimmt.

Diese Beobachtung schließt sich den Erfahrungsberichten von ausführenden Firmen an und legt den Rückschluss nahe, dass sich kleine Verschiebungen positiv auf die Verbundfestigkeiten auswirken können, da sie eine Nachverdichtung bewirken.

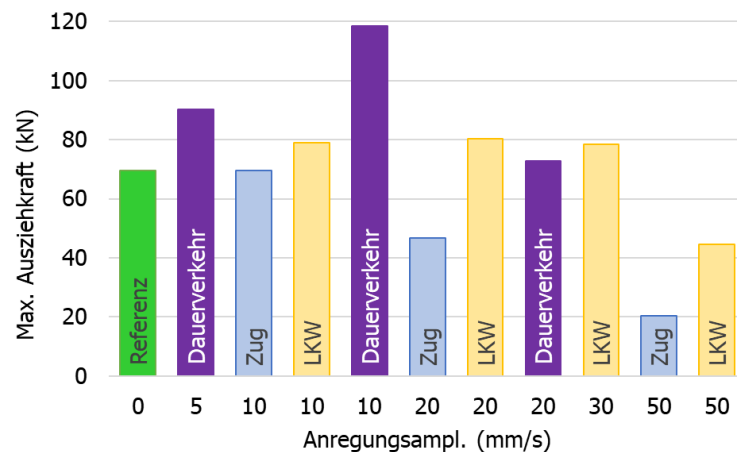


Abbildung 5. Maximale Ausziehkraft (gemittelt über alle Prüfkörper pro Versuch) je nach Amplitude und Anregungsart

4.3. Serie 3

Durch diesen Versuchsaufbau wird die Anregung von Verkehrsschwingungen an Brücken inklusive Schalungen nachgestellt. Wenn die ersten Platten dieser Testreihe vollständig ausgehärtet sind, werden sie zusammen mit den Referenzplatten in Balken geschnitten und großskaligen Biegeversuchen unterzogen, um eventuelle Size-Effekte an realen Bauteilabmessungen zu beurteilen.

5. Empfehlungen

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 mm bei Dauerverkehr konnte hingegen sogar eine deutlich positiv wirkende Nachverdichtung entdeckt werden, die sich bei weiterer Zunahme der Amplitude aber wieder verschlechtert.

Danksagung

Das 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.

Literaturangaben

- [1] Bonzel, J.; Schmidt, M.: Einfluß von Erschütterungen auf frischen und auf jungen Beton. Betontechnischer Bericht (1980), abgerufen von www.vdz-online.de

- [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] 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⁻¹ und 30000 min⁻¹ (ISO 10816-3:2009 + Amd.1:2017).
- [7] 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
- [8] 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.
- [9] 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.*