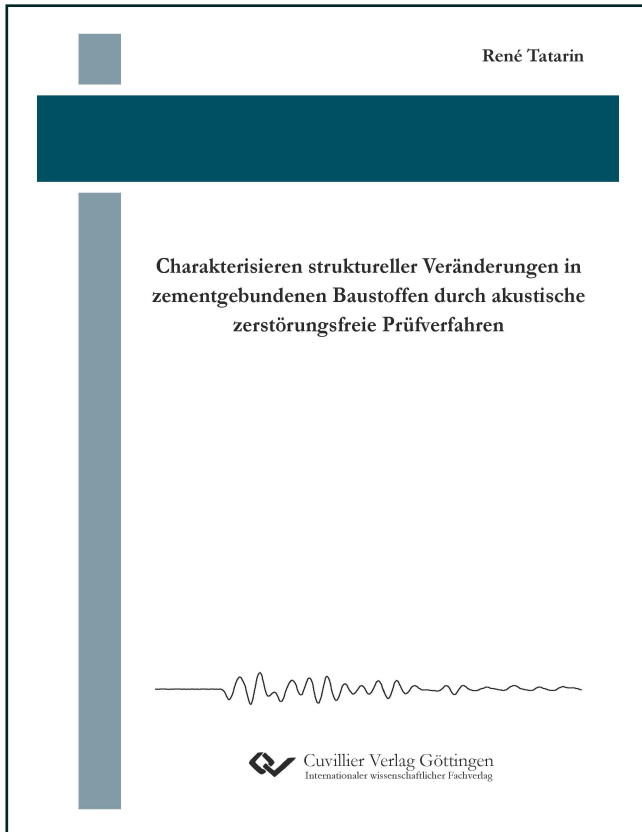




René Tatarin (Autor)

# Charakterisieren struktureller Veränderungen in zementgebundenen Baustoffen durch akustische zerstörungsfreie Prüfverfahren



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/8600>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

**INHALTSVERZEICHNIS**

Kurzreferat .....	I
Abstract.....	II
Vorwort.....	III
Verwendete Symbole und Abkürzungen .....	IX
1 Einleitung und Zielsetzung.....	1
1.1 Einführung und Motivation.....	1
1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit.....	1
2 Theoretische Grundlagen .....	3
2.1 Mechanische Wellen in zementgebundenen Baustoffen.....	3
2.1.1 Wellenarten und elastische Parameter .....	3
2.1.2 Kenngrößen des Schallfeldes .....	8
2.1.3 Wechselwirkung mechanischer Wellen .....	8
2.1.4 Wellenausbreitung in frischen zementgebundenen Systemen .....	11
2.2 Methoden zur Anregung und Erfassung von Ultraschall .....	25
2.2.1 Piezoelektrische Prüfkopfsysteme.....	27
2.2.2 Laserbasierte Anregung von Ultraschall.....	31
2.2.3 Laserbasierte Erfassung von Ultraschall .....	42
2.3 Angewandte akustische Prüfverfahren zur zerstörungsfreien Erfassung struktureller Veränderungen .....	47
2.3.1 Ultraschall-Transmissionsverfahren.....	47
2.3.2 Tomographische Messverfahren .....	49
2.3.3 Eigen- und Resonanzfrequenzmessungen.....	53
2.4 Zerstörungsfreie Charakterisierung der Strukturbildung und Homogenität frischer zementgebundener Systeme – Kenntnisstand.....	55
2.4.1 Hydratation von Portlandzement.....	55
2.4.2 Strukturbildung, Wellenausbreitung und elastische Eigenschaften.....	57
2.4.3 Akustische zerstörungsfreie Prüfverfahren.....	59
2.5 Zerstörungsfreie Charakterisierung struktureller Veränderungen zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit zementgebundener Baustoffe – Kenntnisstand .....	64
2.5.1 Frost- bzw. Frost-Tausalz-Angriff.....	64
2.5.2 Alkali-Kieselsäure-Reaktion .....	66
3 Messverfahren zur kontinuierlichen, zerstörungsfreien Charakterisierung der Struktur- bildung .....	71
3.1 Problemstellung.....	71

3.2	Systemkomponenten, Systemsteuerung und Datenerfassung .....	72
3.3	Prüfformen für Zementleim, Mörtel und Beton .....	73
3.4	Charakterisierung der Prüfkopfsysteme.....	75
3.4.1	Frequenzcharakteristik.....	77
3.4.2	Richtcharakteristik.....	80
3.4.3	Temperaturabhängige Verzögerungszeiten .....	82
3.5	Detektion des Ersteinsatzes von Ultraschallsignalen.....	85
3.5.1	Manuelle Auswerteverfahren .....	85
3.5.2	Automatische Auswerteverfahren.....	86
3.5.3	Algorithmus zur Detektion des Ersteinsatzes .....	87
3.5.4	Modellierung experimenteller Daten der Ausbreitungsgeschwindigkeiten.....	92
3.6	Reproduzierbarkeit gewonnener Messdaten .....	94
3.7	Einflussfaktoren, Messgrößen und Ergebnisparameter zur Charakterisierung frischer zementgebundener Systeme.....	95
3.7.1	Materialien und Methoden .....	96
3.7.2	Ergebnisse und Diskussion .....	96
3.8	Schlussfolgerungen.....	109
4	Messsystem zur laserbasierten Untersuchung zementgebundener Baustoffe.....	115
4.1	Systemkomponenten, Systemsteuerung und Datenerfassung .....	115
4.2	Charakterisierung des Messsystems .....	118
4.2.1	Nd:YAG-Anregungslaser .....	118
4.2.2	2D-Scanning-Vibrometer .....	121
4.2.3	Systemspezifische Verzögerungszeiten .....	125
4.3	Berechnung der Messpunktpositionen.....	126
5	Untersuchungen zur laserbasierten Anregung und Erfassung von Ultraschall .....	127
5.1	Problemstellung.....	127
5.2	Signalcharakteristik.....	128
5.2.1	Materialien und Methoden .....	128
5.2.2	Ergebnisse und Diskussionf.....	128
5.2.3	Schlussfolgerungen.....	131
5.3	Richtcharakteristik.....	131
5.3.1	Materialien und Methoden .....	131
5.3.2	Ergebnisse und Diskussion .....	132
5.3.3	Schlussfolgerungen.....	133

---

5.4	Ablationsdynamik.....	133
5.4.1	Materialien und Methoden.....	133
5.4.2	Ergebnisse und Diskussion.....	135
5.4.3	Schlussfolgerungen.....	137
5.5	Laserinduzierte Oberflächenveränderungen.....	138
5.5.1	Materialien und Methoden.....	138
5.5.2	Ergebnisse und Diskussion.....	139
5.5.3	Schlussfolgerungen.....	143
5.6	Einflussfaktoren und Prozessoptimierung der ablativen Ultraschallanregung.....	144
5.6.1	Materialien und Methoden.....	144
5.6.2	Ergebnisse und Diskussion.....	150
5.6.3	Schlussfolgerungen.....	162
5.7	Verfahrensgrenzen der kombinierten laserbasierten Anregung und Erfassung.....	163
5.7.1	Materialien und Methoden.....	164
5.7.2	Ergebnisse und Diskussion.....	165
5.7.3	Schlussfolgerungen.....	169
6	Ortsaufgelöste Bewertung der Strukturbildung und Homogenität mit Laser-Ultraschall.....	171
6.1	Problemstellung.....	171
6.2	Adaption von Laser-Ultraschall zur Untersuchung frischer Systeme.....	173
6.3	Übersicht untersuchter Anwendungsfelder von Laser-Ultraschall.....	175
6.4	Erfassen der Strukturbildung und Homogenität zementgebundener Systeme.....	176
6.4.1	Materialien und Methoden.....	177
6.4.2	Ergebnisse und Diskussion.....	178
6.4.3	Schlussfolgerungen.....	186
6.5	Simultane Erfassung von Longitudinal- und Scherwellen während der Strukturbildung zementgebundener Systeme.....	187
6.5.1	Materialien und Methoden.....	187
6.5.2	Ergebnisse und Diskussion.....	188
6.5.3	Schlussfolgerungen.....	188
6.6	Bewertung der Homogenität von Laborproben und Betonbauteilen.....	189
6.6.1	Materialien und Methoden.....	190
6.6.2	Ergebnisse und Diskussion.....	192
6.6.3	Schlussfolgerungen.....	197
6.7	Relation zwischen den zerstörungsfreien Kennwerten und der Homogenität.....	198

---

7	Ortsaufgelöste Beurteilung der Dauerhaftigkeit zementgebundener Baustoffe mit Laser- Ultraschall.....	199
7.1	Problemstellung.....	199
7.2	Adaption von Laser-Ultraschall für tomographische Untersuchungen.....	200
7.3	Charakterisieren struktureller Gefügeveränderungen aus einem Frost-Tausalz- Angriff.....	203
7.3.1	Materialien und Methoden.....	203
7.3.2	Ergebnisse und Diskussion.....	206
7.3.3	Schlussfolgerungen.....	215
7.4	Charakterisieren struktureller Gefügeveränderungen aus einer Alkali-Kieselsäure- Reaktion.....	216
7.4.1	Materialien und Methoden.....	216
7.4.2	Ergebnisse und Diskussion.....	219
7.4.3	Schlussfolgerungen.....	224
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	225
8.1	Messverfahren zur kontinuierlichen, zerstörungsfreien Charakterisierung der Strukturbildung.....	225
8.2	Laserbasierte Charakterisierung zementgebundener Baustoffe.....	226
	Quellen.....	230
	Normen und Regelwerke.....	252
	Eigene Publikationen.....	256
	Anlagen.....	259