

1. Motivation:

Durch die Einführung der „Richtlinien für die rechnerische Dimensionierung von Betondecken im Oberbau von Verkehrsflächen“ bildet die Spaltzugfestigkeit einen wesentlichen Bemessungskennwert von Straßenverkehrsflächen. Sowohl als Hauptbemessungskenngröße für Neubetone (Laborbeton) als auch für die Restsubstanzbewertung an Altbetone (Bestandsbetone).

Als anzuwendendes Prüfverfahren wird die „Arbeitsanleitung zur Bestimmung der charakteristischen Spaltzugfestigkeit an Zylinderscheiben als Eingangsgröße in die Bemessung von Betondecken für Straßenverkehrsflächen (AL-Sp Beton)“ festgelegt.

In einem von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) durchgeführten Ringversuchs, wurde die Präzision des Prüfverfahrens unter Wiederhol- und Vergleichsbedingungen untersucht.

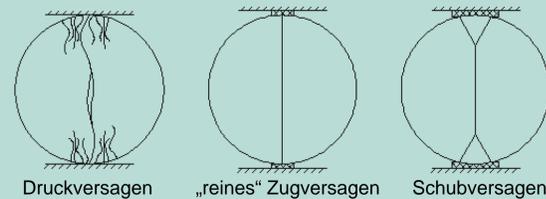
In der Abschlussarbeit war es beabsichtigt, in ergänzenden bzw. weiterführenden Untersuchungen des Ringversuchs, weitere Erkenntnisse über das Versagensverhalten unter statischer und dynamischer Spaltzugbeanspruchungen bei der Variation verschiedener Einflussfaktoren zu gewinnen.

2. Grundlagen der Spaltzugprüfung:

- Durch die Inhomogenität des Baustoffs Beton ist es schwierig die Zugfestigkeit durch eine axiale Zugkraft zu bestimmen.
- Die Spaltzugprüfung (auch Querszugprüfung oder indirekte Zugprüfung) ist ein indirektes Verfahren um die Zugfestigkeit des Betons zu bestimmen.

- Probekörper (Zylinder oder Prismen) werden über zwei sich genau gegenüber liegende Mantellinien in einer Druckprüfmaschine bis zum Bruch belastet.

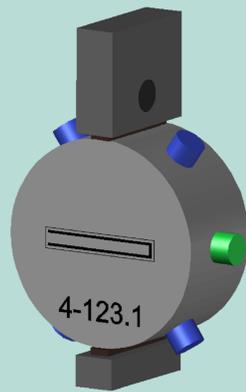
- Um Unebenheiten der Mantelfläche auszugleichen werden Zwischenstreifen eingelegt. In Abhängigkeit der Breite der Lasteinleitungsstreifen stellen sich verschiedenen Versagensformen ein:



3. Lösungsansatz:

Zur Charakterisierung der inneren und äußeren Schädigungsprozesse werden verschiedene Prüftechniken eingesetzt:

Schädigungsindikatoren zur Charakterisierung der Bruchmechanismen	
während der Beanspruchung	nach
- Schallemissionsanalyse (SEA)	- Spaltzugfestigkeit ($f_{ct,sp}$)
- Ultraschallgeschwindigkeit	- Bruchbilder
- Querdehnung	
- Photogrammetrie Aramis (flächig)	
- Dehnmessstreifen (punktuell)	
- Äußere Rissentwicklung auf der Stirnseite	



4. Experimentelle Untersuchungen:

Betonzusammensetzung [kg/m³]	Waschbeton	Unterbeton
Zement CEM I 42,5 (-st)	420	350
Sand 0/2	519 (31%)	567 (31%)
Edelsplitt		
2/8	1155 (69%)	292 (16%)
8/16	-	475 (26%)
16/22	-	494 (27%)
Frischwasser	188	156
BV Woerment BV 25 (BASF)	1,68	-
LP-Bildner Micro Air 102 (BASF)	0,71	0,63
Luftporen [l/dm³]	6,5	4,0
w/z-Wert	0,45	0,45

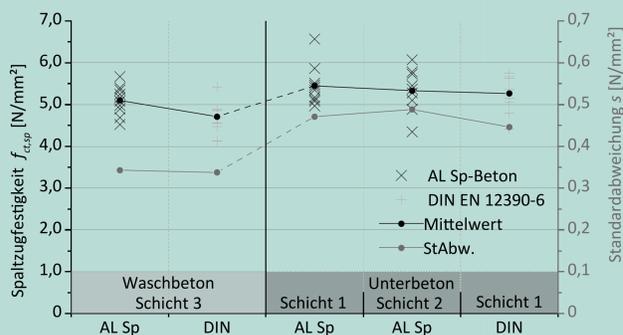


Die rechts dargestellte Prüfeinrichtung wurde je nach Bedarf durch die entsprechende Prüftechnik ergänzt.

5. Einfluss der Prüfvorschriften:

Zur Gegenüberstellung der Prüfvorschriften wurden 5 Versuchsserien analysiert:

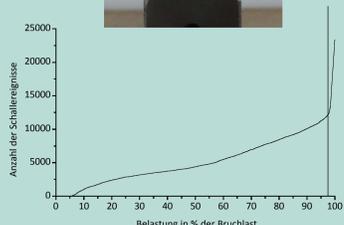
- 3 Serien nach AL-Sp Beton und 2 Serien nach DIN EN 12390-6 geprüft
- eine Prüferserie besteht aus 10 einzelnen Probekörpern
- Lagerungsbedingungen: 20°C / 65% rel. Luftfeuchtigkeit



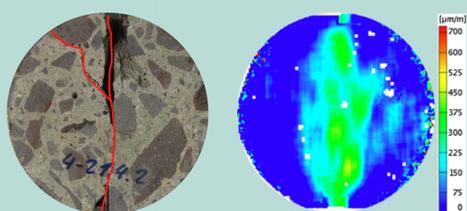
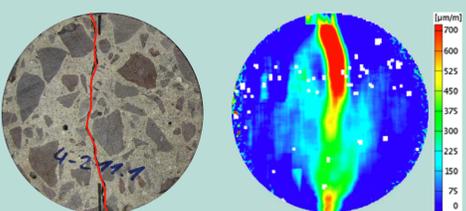
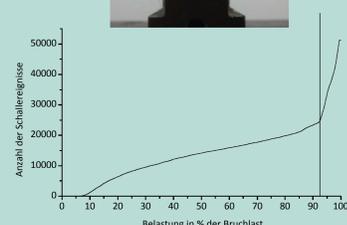
Ergebnisse:

- höhere Festigkeiten und größere StAbw. bei AL-Sp Beton im Wasch- und Unterbeton
- Einfluss der Schichthöhe im Unterbeton ist vernachlässigbar
- homogener Waschbeton mit geringerer Spaltzugfestigkeit
- die Kombination der beiden Prüfvorschriften ist folglich nicht möglich

Lasteinleitung nach DIN EN 12390-6



Lasteinleitung nach AL-Sp Beton



- Die Auswertung Schallemissions-Aktivität zeigt auf, dass sich bei beiden Arten der Lasteinleitung ein sehr sprödes Materialversagen einstellt. Bei DIN geprüften Probekörpern kündigt sich der Bruch jedoch noch später an.

- Bei Prüfungen nach der AL-Sp Beton kommt es häufiger zu Schubbrüchen (Y-Bruch), während bei DIN Prüfungen sich ein „reiner“ Zugbruch durch ein mittig verlaufenden Bruch einstellt.

- Die Bilder der Verformungsanalyse bestätigen die Bruchbilder. In dem linken Verformungsbild treten starke Dehnungskonzentration auf, während rechts die Oberflächendehnungen geringer und breiter verteilt ist.

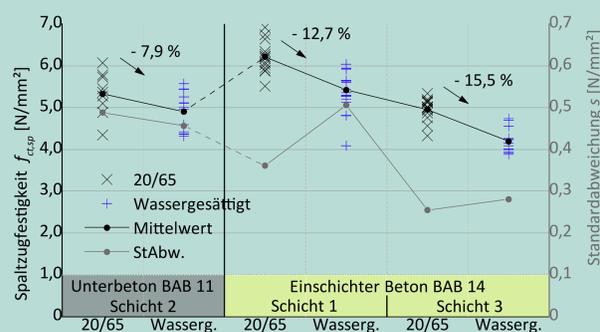
6. Einfluss der Lagerungsbedingungen:

Zur Gegenüberstellung der Lagerungsbedingungen wurden 6 Versuchsserien analysiert:

- Es wurden je 3 Prüferserien unter Normbedingungen bei 20 °C / 65 rel. Luftfeuchtigkeit bzw. bis zur Wassersättigung gelagert
- eine Prüferserie besteht aus 10 einzelnen Probekörpern
- alle Serien wurden nach der AL-Sp Beton geprüft

Hintergrund:

Nach AL-Sp Beton erfolgt die Restsubstanzbewertung von Altbetonen (Bestandsbetone) an Proben mit 20°C / 65% rel. Luftfeuchtigkeit. Neubetone (Laborbetone) müssen wassergesättigt geprüft werden.



Tabellarische Übersicht zur Wassersättigung

Prüferserie	Wasseraufnahme [g/dm³]	Festigkeitsabfall [%]	
A 11	2. Schicht	8	- 7,9
A 14	1. Schicht	26	- 12,7
	3. Schicht	44	- 15,5

Ergebnisse:

- der Feuchteinfluss hat, wie bei der Druckfestigkeit, einen erheblichen Einfluss auf die Spaltzugfestigkeit
- bei Wassersättigung geringere Spaltzugfestigkeit als unter Lagerung bei 20°C / 65% rel. Luftfeuchtigkeit
- die Lagerungsbedingung hat keinen erkennbaren Einfluss auf die Standardabweichung
- Zusammenhang zwischen Wasseraufnahme und Festigkeitsabfall (siehe Tabelle)
- die Ergebnisse der unterschiedlichen Lagerungsbedingungen können nicht miteinander verglichen werden

7. Zusammenfassung und Ausblick:

- Es ist gelungen das Bruchverhalten unter spaltzuginduzierter Belastung hinsichtlich verschiedener Einflussparameter zu charakterisieren und zu erklären.

- Prüfungen nach der AL-Sp Beton ergaben höhere Spaltzugfestigkeiten als bei Prüfungen in Anlehnung an DIN EN 12390-6 mit ebenen Lasteinleitungsschienen und Hartfaserstreifen.

- Wassergesättigte Probekörper von Neubetonen (Laborbeton) haben eine geringere Spaltzugfestigkeit.

- Die Verformungen konnten in guter Übereinstimmung konventionell mit Dehnmessstreifen, sowie innovativ auf der Stirnseite photogrammetrisch mit dem Aramis-System gemessen werden.

- Die quantitative SE-Aktivität stellt den Rissbildungsmechanismus über den Belastungszeitraum sehr gut dar, zeigt aber als Schädigungsindikator keine weiteren Erkenntnisse über den Bruchvorgang auf.

- Der mittig zwischen den Lasteinleitungsschienen verlaufende Bruch konnte über den Ortungsalgorithmus der SEA aufgezeigt werden. Eine dreidimensionale Darstellung sollte Bestandteil weiterer Forschung sein.

- Großes Potenzial zur Charakterisierung des Bruchvorgangs hat die Aufzeichnung des Probekörperversagens mit einer Hochgeschwindigkeitskamera mit nachgeschalteter Verformungsanalyse mittels Aramis.

- Für die dynamischen Untersuchungen muss ein Schädigungsindikator erarbeitet werden.