

# Reduzierung der Schwindverformungen des Straßenbetons durch den Einsatz neuartiger Schwindreduzierer

FA 8.231

Forschungsstelle: Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Baustofftechnik (Prof. Dr.-Ing. R. Breitenbücher)

Bearbeiter: Breitenbücher, R. / Penttilä, J. / Schulte-Schrepping, C.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

Abschluss: Dezember 2017

## 1 Zielsetzung

Fahrbahndecken aus Beton werden neben den überrollenden Verkehrslasten auch durch lastunabhängige Einwirkungen beansprucht. Hierzu zählen neben den thermischen Verformungen vor allem Schwindverformungen, die bei Verformungsbehinderung zu entsprechenden Zwangsspannungen führen. Überschreiten diese Zwangsspannungen die Zugfestigkeit des Betons, kann es zu einer Rissbildung kommen. Um dieser Rissbildung entgegenzuwirken, werden in Betonfahrbahndecken in der Regel in einem Abstand von rund fünf Metern Fugen angeordnet, die – werden sie rechtzeitig geschnitten – die Zwangsspannungen wirksam reduzieren. Zur Reduktion von Zwangsspannungen infolge Schwindverformungen stehen seit geraumer Zeit sogenannte Schwindreduzierer (SRA) als Betonzusatzmittel zur Verfügung, durch die sowohl die Schwindverformungen im jungen Alter (autogenes Schwinden) als auch das Trocknungsschwinden und die daraus resultierenden Zwangsspannungen während der Erhärtung vermindert werden können.

Ziel des Forschungsprojekts war es, zu eruieren, inwieweit mit schwindreduzierenden Betonzusatzmitteln Schwindverformungen und damit potenzielle Risse in Verkehrsflächen aus Beton unter deren besonderen Randbedingungen effektiv vermindert werden können. Dazu waren insbesondere Schwinduntersuchungen sowohl im frischen/verhärtenden Beton als auch im späteren Alter am erhärteten Beton mit und ohne diese Zusätze durchzuführen. Daneben war auch zu untersuchen, inwieweit die weiteren maßgebenden Betoneigenschaften, wie zum Beispiel Druckfestigkeit, Spaltzugfestigkeit, Elastizitätsmodul und Frost-Taumittel-Widerstand, durch SRA potenziell beeinflusst werden.

## 2 Untersuchungsmethodik

In die Untersuchungen wurden insgesamt zwölf Betone, konzipiert als übliche Waschbetone für Betonfahrbahndecken, einbezogen. Dabei wurden zwei Zemente der gleichen Art und Festigkeitsklasse (CEM I 42,5 N) jedoch mit unterschiedlichem Na<sub>2</sub>O-Äquivalent verwendet. Alle Betone wurden als Luftporenbetone hergestellt. Als Gesteinskörnung kamen durchweg Rheinsand (0/2 mm) und Basaltspplitz (2/8 mm) zum Einsatz. Die Konsistenz lag bei allen Betonen in der Konsistenzklasse C1/C2.

Als schwindreduzierende Additive kamen zwei flüssige Mittel auf Basis Glykol (SRA 1) beziehungsweise Polyglykol (SRA 2)

sowie ein Produkt auf Basis suspendierter beziehungsweise vorgequollener superabsorbierender Polymere (SAP beziehungsweise SRA 3) zum Einsatz. Diese Produkte wurden den Betonen mit unterschiedlichen Zugabemengen zugegeben. Die untersuchten Varianten sind in der Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Materialvariationen (Zugabemengen SRA)

| Beton | Zement | SRA        |                 |           | Zugabemenge [M.-%/Z.] |   |     |   |
|-------|--------|------------|-----------------|-----------|-----------------------|---|-----|---|
|       |        | I (Glykol) | II (Polyglykol) | III (SAP) | 0                     | 1 | 2,5 | 5 |
| A-Ref | A      |            |                 |           | X                     |   |     |   |
| A-1   | A      | X          |                 |           |                       | X | X   |   |
| A-2   | A      | X          |                 |           |                       |   |     |   |
| A-3   | A      | X          |                 |           |                       |   |     |   |
| A-4   | A      | X          |                 |           |                       |   |     |   |
| A-5   | A      |            | X               |           |                       |   | X   |   |
| A-6   | A      |            | X               |           |                       |   |     |   |
| A-7   | A      |            |                 | X         |                       |   |     |   |
| A-8   | A      |            |                 | X         |                       |   |     | X |
| B-Ref | B      |            |                 |           | X                     |   |     |   |
| B-1   | B      | X          |                 |           |                       |   | X   |   |
| B-2   | B      | X          |                 |           |                       |   |     |   |

## 3 Untersuchungsergebnisse

Hinsichtlich der Frischbetoneigenschaften zeigte sich keine nennenswerte Veränderung durch die Zugabe von SRA.

Die angestrebte Konsistenz des Frischbetons im Bereich C1/C2 wurde von allen Varianten erreicht. Ebenso steiften alle Frischbetone im gewohnten Maße an. Die Konsistenz wurde genauso wie das Ansteifen nicht signifikant durch die SRA beeinflusst.

Der Luftgehalt im Frischbeton lag zehn Minuten nach Betonherstellung durchweg zwischen 5,0 und 6,0 Vol.-%. Innerhalb der nächsten 50 Minuten war – wie in der Praxis üblich – ein geringfügiger Abfall im Luftgehalt zu verzeichnen (Bild 1). Die Zugabe von SRA beeinflusste den im Frischbeton gemessenen Luftgehalt nicht.

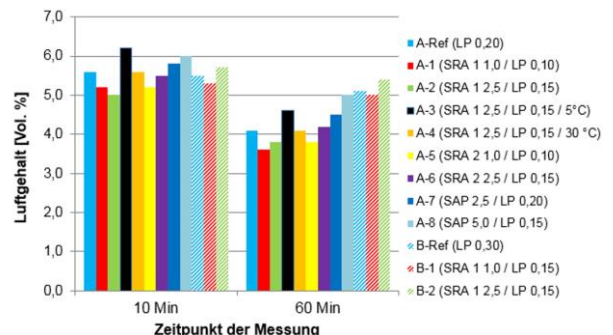
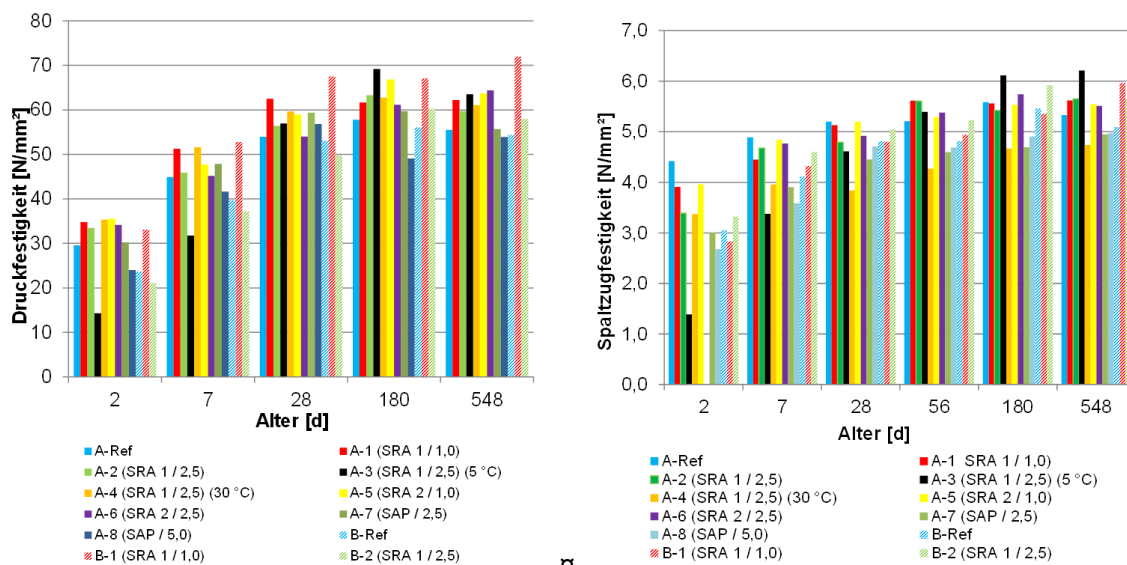


Bild 1: Luftgehalt im Frischbeton

Hinsichtlich der Festbetoneigenschaften war Folgendes festzustellen:

Die Druckfestigkeit (einschließlich Frühfestigkeit) und die Spaltzugfestigkeit (Bild 2) sowie der statische Elastizitätsmodul wurden durch die SRA nicht signifikant beeinflusst.



**Bild 2: Links: Druckfestigkeit bis 548 Tage, Rechts: Spaltzugfestigkeit bis 548 Tage**

Hingegen wurden in den Betonen mit SRA auf Basis von Glykol/Polyglykol deutlich ungünstigere Mikroluftporenkennwerte im Festbeton festgestellt als in den zugehörigen Referenzbetonen (Tabelle 2). Während sich der Gesamtluftgehalt nicht signifikant unterschied, war der Mikroluftporengehalt A300 bei den Betonen mit SRA zum Teil deutlich niedriger. Großteils lag dieser sogar unter dem geforderten Mindestwert ( $\geq 1,8$  Vol.-%). Der Abstandsfaktor  $\bar{L}$  war deutlich höher als im Referenzbeton und lag großteils sogar über dem maximalen zulässigen Wert ( $\leq 0,20$  mm).

**Tabelle 2: Luftporenkennwerte im Festbeton**

| Beton             | Luftgehalt [Vol.-%] | A300 [Vol.-%] | $\bar{L}$ [mm] |
|-------------------|---------------------|---------------|----------------|
| A-Ref             | 4,28                | 1,42          | 0,21           |
| A-2 (SRA 1 / 2,5) | 4,88                | 1,69          | 0,29           |
| A-5 (SRA 2/1,0)   | 4,57                | 1,23          | 0,33           |
| A-6 (SRA 2/2,5)   | 4,06                | 0,78          | 0,32           |
| A-8 (SAP 5,0)     | 5,30                | 3,58          | 0,13           |
| B-Ref             | 6,06                | 2,83          | 0,13           |
| B-2 (SRA 1 / 2,5) | 5,21                | 2,27          | 0,19           |

Dementsprechend stellte sich bei den Betonen mit SRA teilweise ein ungünstigerer Frost-Taumittel-Widerstand als bei den zugehörigen Referenzbetonen ein. Bei den Betonen mit SAP konnten die Abwitterungsmengen in der CDF-Prüfung hingegen um rund 15 % vermindert werden, was mit dem durch die SAP positiv veränderten Mikroluftporensystem in Verbindung gebracht werden kann.

Die Schwindverformungen (kombiniertes Schwindmaß aus Früh- und Trocknungsschwinden) der Betone ohne SRA (Referenzbetone)

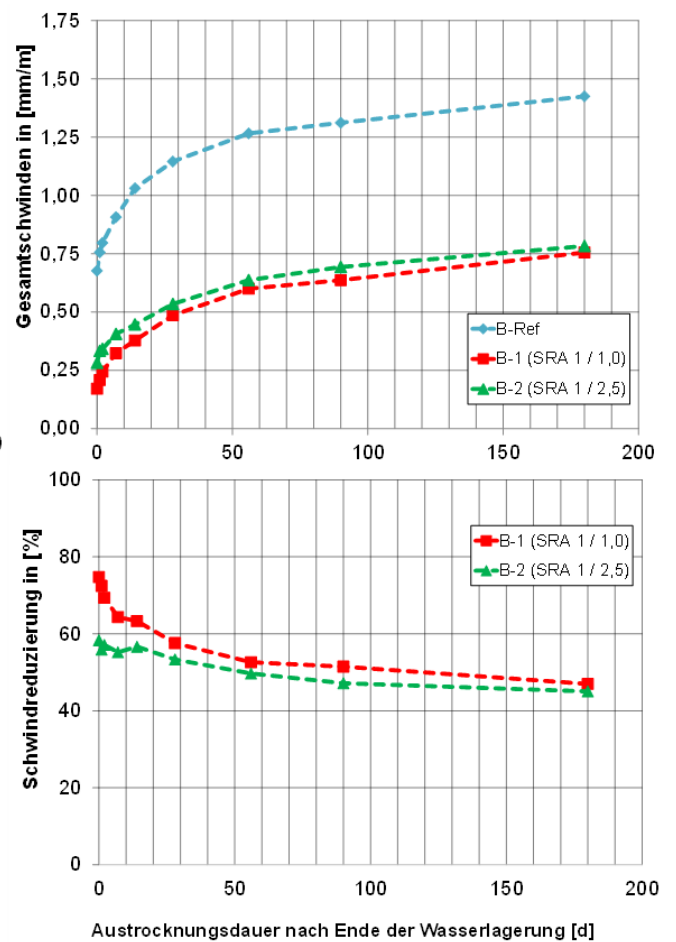
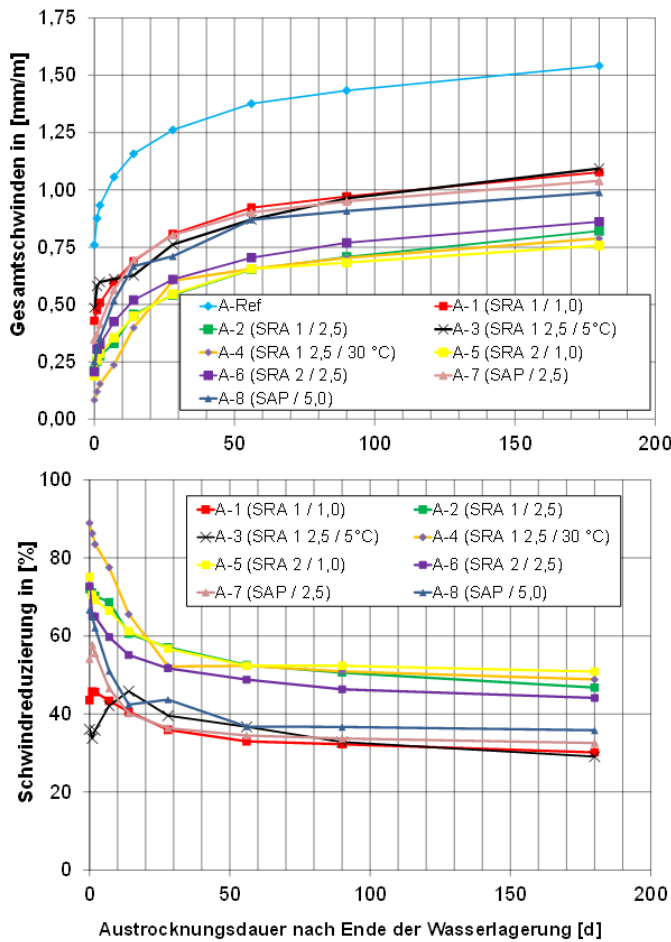
liegen nach insgesamt 187 Tagen in der Größenordnung von rund 1,5 mm/m. Durch die Zugabe von SRA reduzierten sich diese auf rund 0,75 bis 1,1 mm/m, was einer Schwindreduzierung durch diese Zusätze von rund 30 bis 50 % entspricht. Dabei zeigte sich auch ein (geringer) Einfluss des verwendeten Zements.

Die Schwindreduzierung war in der Anfangsphase stets größer und nahm dann im Lauf der Messungen auf die genannten Werte ab. Daraus kann abgeleitet werden, dass sich die schwindreduzierende Wirkung der SRA vor allem beim Frühschwinden und in den ersten Tagen der Austrocknung des Festbetons zeigt. Die Schwindverformungen hatten nach 187 Tagen noch kein konstant bleibendes Niveau erreicht, sodass nicht ausgeschlossen werden kann, dass sich der Effekt der SRA bei weiterer Austrocknung noch weiter verringert.

Durch die Zugabe von SRA 1 auf der Basis von Glykol wurden die Schwindverformungen des Betons (mit Zement A) bei gleicher Dosierung (hier 1,0 M.-%/Z.) weniger reduziert als durch die Zugabe von SRA 2 auf der Basis von Polyglykol. Bei dem Beton mit Zement A ( $\text{Na}_2\text{O}$ -Äquivalent: 0,75 M.-%) wurden die Schwindverformungen erwartungsgemäß bei dem SRA 1 mit zunehmender Dosierung stärker reduziert. Bei Einsatz von SRA 2 liegt die Schwindreduktion bei beiden Zugabemengen bei Berücksichtigung des Frühschwindens in etwa auf gleichem Niveau. Bei dem Beton mit Zement B ( $\text{Na}_2\text{O}$ -Äquivalent: 0,40 M.-%) lagen die Schwindverformungen bei einer Zugabe von 1,0 M.-%/Z. an SRA 1 in gleicher Höhe beziehungsweise sogar geringfügig niedriger als bei einer Zugabemenge von 2,5 M.-%/Z. desselben Produkts. Daraus lässt sich ableiten, dass die optimale Zugabemenge von SRA – wie auch von anderen Betonzusatzmitteln bekannt – von der chemischen Zusammensetzung beeinflusst wird.

Die Zugabe von 2,5 beziehungsweise 5,0 M.-%, jeweils bezogen auf den Zementgehalt, an SAP führte bei Beton mit Zement A nach 187 Tagen zu einer vergleichbaren Verminderung der

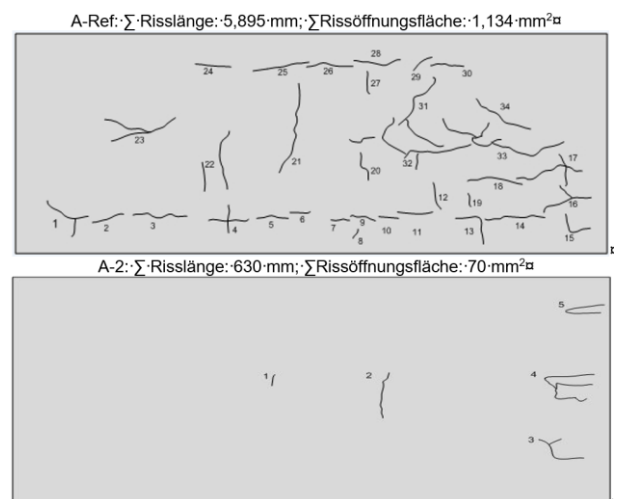
Schwindverformungen (35 bis 40 %) wie die SRA auf Basis von Glykol beziehungsweise Polyglykol.



**Bild 3: Schwindverformungen der Betone mit Zement A (links) und Zement B (rechts) inkl. des Frühschwindens**

Weiterhin zeigte sich, dass die Schwindreduzierung durch die Herstell- beziehungsweise Lagerungstemperatur beeinflusst wird. Im Vergleich von Beton A-2 (2,5 M.-% SRA 1 bei 20 °C) und Beton A-4 (2,5 M.-% SRA 1 bei 30 °C) zeigte sich nur ein geringer Unterschied in den Schwindverformungen und somit auch in der Schwindreduzierung. Hingegen wurden bei Beton A-3 (2,5 M.-% SRA 1 bei 5 °C) gegenüber dem 20 °C-Beton A-2 um rund 0,2 mm/m höhere Schwindverformungen festgestellt, was in einer rund 20 % geringeren Schwindreduzierung resultierte.

Am deutlichsten zeigte sich die Wirkung der SRA bei den Untersuchungen des behinderten Schwindens. Innerhalb der Beobachtungszeit von sieben Stunden stellten sich gegenüber dem Referenzbeton ohne SRA nur 3 bis 7 % an Rissen ein (bewertet anhand der jeweiligen Rissöffnungsfläche) (Bild 4). Dieser Effekt ist bei den SRA auf Glykol-/Polyglykolbasis primär auf eine Reduzierung der Oberflächenspannung des Wassers zurückzuführen, da sich die parallel ermittelten Wasserverluste zwischen den Betonen mit/ohne SRA deutlich weniger unterschieden. Gleichmaßen positive Effekte auf die Rissbildung während des behinderten Schwindens waren bei Einsatz des SAP (Zugabemenge: 5 M.-%/Z.) festzustellen. Dabei konnten im Beobachtungszeitraum keine Risse festgestellt werden.



**Bild 4: Rissbilder der Schwindplatten (1600 x 600 x 80 mm³) von A-Ref (oben) und A-2 (unten)**

Mit den Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass Schwindreduzierer insbesondere die sich frühzeitig einstellenden Schwindverformungen reduzieren können. Besonders positiv wirkt sich dies auf die Vermeidung von Frühschwindrissen in

den ersten Tagen aus. Die Schwindreduzierung war generell in der Anfangsphase stets größer und nahm dann zum Messende nach 187 Tagen auf Werte zwischen 30 bis 50 % ab. Inwieweit das über Jahre ablaufende Trocknungsschwinden auch über lange Zeiten reduziert wird, kann aus diesen bis lediglich sechs Monate umfassenden Untersuchungen nicht abgeleitet werden.

Die Frischbetoneigenschaften wurden durch die SRA nicht beeinflusst. Ebenso zeigten sich keine nennenswerten Änderungen in der Druckfestigkeit, der Spaltzugfestigkeit und im statischen Elastizitätsmodul infolge einer SRA-Zugabe zum Beton. Hingegen zeigte sich, dass das Mikroluftporensystem in Betonen mit hohem Frost-Taumittel-Widerstand durch die Zugabe von SRA auf Basis von Glykol und Polyglykol nachteilig beeinflusst werden kann.