

# DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR STAHLBETON

## Einfluß von rezykliertem Zuschlag aus Betonbruch auf die Eigenschaften, insbesondere die Dauerhaftigkeit von Beton

von  
Dipl.-Ing. Beatrix Kerkhoff  
Dr.-Ing. Eberhard Siebel  
Forschungsinstitut der Zementindustrie  
Düsseldorf

## Einfluß von Feinstoffen aus Betonbruch auf den Hydratationsfortschritt

von  
Dr. rer. nat. Walter Wassing  
Forschungsinstitut der Zementindustrie  
Düsseldorf

## Recycling von Beton, der durch eine Alkalireaktion gefährdet oder bereits geschädigt ist

von  
Professor Dr.-Ing. Wolfgang Aue  
Professor Dr.-Ing. Jürgen Dahms  
Professor Dr.-Ing. Rosemarie Haase  
Materialprüfanstalt Eckernförde

## Frostwiderstand von rezykliertem Zuschlag aus Altbeton und mineralischen Baustoffgemischen (Bauschutt)

von  
Dr. rer. nat. Stefan Wies  
Professor Dr.-Ing. Wilhelm Manns  
Forschungs- und Materialprüfungsanstalt (FMPA), Otto-Graf-Institut,  
Universität Stuttgart

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben „Baustoffkreislauf im Massivbau“ wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Wissenschaft, Forschung und Technologie unter dem Förderkennzeichen 01 - ZB 9506 und mit Drittmitteln gefördert.  
Projektträger: Deutsches Forschungszentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Bonn  
Projektleitung: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin, und TU Darmstadt

**Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Verfassern.**

# INHALTSVERZEICHNIS

|          |                                                                  |          |          |                                                                                                        |           |
|----------|------------------------------------------------------------------|----------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung und wissenschaftliche Problemstellung</b>          | <b>7</b> | 4.2      | Zementfeiner Betonbrechsand als Bestandteil der Mehlkornmatrix....                                     | 15        |
| <b>2</b> | <b>Stand der Erkenntnisse</b>                                    | <b>7</b> | 4.2.1    | Ausgangsstoffe                                                                                         | 15        |
| 2.1      | Eigenschaften des rezyklierten Zuschlags                         | 7        | 4.2.1.1  | Physikalische und chemische Eigenschaften der Mischungen aus Portlandzement und zementfeinem Brechsand | ...15     |
| 2.2      | Frischbetoneigenschaften                                         | 8        | 4.2.2    | Betonzusammensetzung                                                                                   | 16        |
| 2.3      | Festbetoneigenschaften                                           | 8        | <b>5</b> | <b>Darstellung und Diskussion der Ergebnisse</b>                                                       | <b>16</b> |
| 2.3.1    | Druckfestigkeit                                                  | 8        | 5.1      | Rezyklierter Zuschlag                                                                                  | 16        |
| 2.3.2    | Elastizitätsmodul                                                | 8        | 5.1.1    | Kornzusammensetzung und abschlämbare Bestandteile                                                      | 16        |
| 2.3.3    | Carbonatisierung                                                 | 8        | 5.1.2    | Kornrohichte und Wasseraufnahme                                                                        | 16        |
| 2.3.4    | Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand                              | 8        | 5.1.3    | Anteil des natürlichen Zuschlags im rezyklierten Zuschlag                                              | 17        |
| 2.3.5    | Schwinden und Kriechen                                           | 8        | 5.1.4    | Kornfestigkeit                                                                                         | 17        |
| <b>3</b> | <b>Ziel des Forschungsvorhabens...</b>                           | <b>8</b> | 5.1.5    | Frostwiderstand                                                                                        | 17        |
| <b>4</b> | <b>Versuchsdurchführung</b>                                      | <b>8</b> | 5.2      | Mörtel                                                                                                 | 18        |
| 4.1      | Betonsplitt und Betonbrechsand als Zuschlag für Beton und Mörtel | 9        | 5.2.1    | Festigkeiten                                                                                           | 18        |
| 4.1.1    | Herstellung der rezyklierten Zuschläge                           | 9        | 5.2.2    | Porengrößenverteilung                                                                                  | 18        |
| 4.1.2    | Untersuchung der rezyklierten Zuschläge                          | 9        | 5.2.3    | Schwinden                                                                                              | 19        |
| 4.1.2.1  | Kornzusammensetzung und abschlämbare Bestandteile                | 9        | 5.3      | Beton                                                                                                  | 19        |
| 4.1.2.2  | Kornrohichte und Wasseraufnahme                                  | 9        | 5.3.1    | Frischbeton                                                                                            | 19        |
| 4.1.2.3  | Kornfestigkeit                                                   | 10       | 5.3.2    | Festbeton                                                                                              | 20        |
| 4.1.2.4  | Frostwiderstand                                                  | 10       | 5.3.2.1  | Rohdichte und Druckfestigkeit                                                                          | 20        |
| 4.1.3    | Mörtelversuche mit rezykliertem Zuschlag                         | 10       | 5.3.2.2  | Spaltzugfestigkeit                                                                                     | 20        |
| 4.1.3.1  | Ausgangsstoffe                                                   | 10       | 5.3.2.3  | Dynamischer und statischer Elastizitätsmodul                                                           | 21        |
| 4.1.3.2  | Mörtelzusammensetzung                                            | 11       | 5.3.2.4  | Spannungsdehnungslinie                                                                                 | 21        |
| 4.1.3.3  | Herstellung der Probekörper                                      | 11       | 5.3.2.5  | Carbonatisierung                                                                                       | 22        |
| 4.1.3.4  | Lagerung der Probekörper                                         | 11       | 5.3.2.6  | Permeabilität                                                                                          | 22        |
| 4.1.3.5  | Mörtelprüfung                                                    | 11       | 5.3.2.7  | Frostwiderstand                                                                                        | 23        |
| 4.1.4    | Betonversuche mit rezykliertem Zuschlag                          | 11       | 5.3.2.8  | Frost-Tausalz-Widerstand                                                                               | 23        |
| 4.1.4.1  | Ausgangsstoffe                                                   | 11       | 5.3.2.9  | Quellen                                                                                                | 23        |
| 4.1.4.2  | Betonzusammensetzungen                                           | 13       | 5.3.2.10 | Schwinden                                                                                              | 24        |
| 4.1.4.3  | Herstellung des Betons und der Probekörper                       | 13       | 5.3.2.11 | Kriechen                                                                                               | 25        |
| 4.1.4.4  | Lagerung der Probekörper                                         | 14       | 5.4      | Zementfeiner Brechsand als Bestandteil der Mehlkornmatrix ....                                         | 25        |
| 4.1.4.5  | Frischbetoneigenschaften                                         | 14       | 5.4.1    | Frischbetoneigenschaften                                                                               | 25        |
| 4.1.4.6  | Festbetoneigenschaften                                           | 14       | 5.4.2    | Druckfestigkeit                                                                                        | 25        |
|          |                                                                  |          | 5.4.3    | Frostwiderstand                                                                                        | 26        |
|          |                                                                  |          | 5.4.4    | Schwinden                                                                                              | 26        |
|          |                                                                  |          | <b>6</b> | <b>Zusammenfassung</b>                                                                                 | <b>27</b> |
|          |                                                                  |          | <b>7</b> | <b>Literaturanhang</b>                                                                                 | <b>28</b> |
|          |                                                                  |          | <b>8</b> | <b>Anhang</b>                                                                                          | <b>29</b> |

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

|          |                                                                                                             |    |                     |                                                                                                                                       |    |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Bild 1:  | Wasseraufnahme in M.-% von verschiedenen Zuschlägen der Korngruppe 2/8 mm                                   | 7  | Bilder 22a und 22b: | Mit Phenolphthalein besprühte Bruchfläche von 1,5 Jahre altem Beton mit 100 % rezykliertem Zuschlag Ra (22a) und Rheinkies sand (22b) | 22 |
| Bild 2:  | Gebrochene Platten vor der Aufbereitung im Prallbrecher                                                     | 9  | Bild 23:            | Carbonatisierungsfortschritt von Beton mit rezykliertem Zuschlag                                                                      | 22 |
| Bild 3:  | Geräte zur Prüfung der Wasseraufnahme bei Betonbrechsand                                                    | 10 | Bild 24:            | Gasdurchlässigkeit der Betone mit rezykliertem Zuschlag                                                                               | 22 |
| Bild 4:  | Abgesiebter Betonbruch (Ra) in den Korngruppen 0/4 mm, 4/8 mm und 8/16 mm                                   | 12 | Bild 25:            | Frostwiderstand von Beton mit rezykliertem Zuschlag                                                                                   | 23 |
| Bild 5:  | Sieblinien der Betone mit 100% rezykliertem bzw. natürlichem Zuschlag                                       | 13 | Bild 26:            | Verlauf des relativen dynamischen Elastizitätsmoduls während der Frostbeanspruchung                                                   | 23 |
| Bild 6:  | Betonbruch (Ra) und Rheinkies (8-16 mm)                                                                     | 13 | Bild 27:            | Beton (10-cm-Würfel) mit 100 % rezykliertem Zuschlag nach 100 Frost-Tau-Wechseln                                                      | 23 |
| Bild 7:  | Rohdichte der rezyklierten Zuschläge Ra und Rb in Abhängigkeit von den Korngruppen                          | 16 | Bild 28:            | Quellen von Beton mit rezykliertem Zuschlag Ra                                                                                        | 24 |
| Bild 8:  | Wasseraufnahme (nach 10 min bzw. 24 h) der rezyklierten Zuschläge Ra und Rb                                 | 17 | Bild 29:            | Schwinden von Beton mit rezykliertem Zuschlag Ra                                                                                      | 24 |
| Bild 9:  | Kornfestigkeit von den rezyklierten Zuschlägen Ra und Rb                                                    | 17 | Bild 30:            | Gewichtsverlust von Beton mit rezykliertem Zuschlag Ra                                                                                | 25 |
| Bild 10: | Masseverlust der rezyklierten Zuschläge Ra und Rb nach Frostbeanspruchung                                   | 18 | Bild 31:            | Kriechen von Beton mit rezykliertem Zuschlag Ra                                                                                       | 25 |
| Bild 11: | Druckfestigkeit von Mörteln mit Betonbrechsand mit 2 mm Größtkorn                                           | 18 | Bild 32:            | Druckfestigkeit von Beton mit zementfeinem Betonbrechsand                                                                             | 26 |
| Bild 12: | Druckfestigkeit von Mörteln mit Betonbrechsand mit 4 mm Größtkorn                                           | 18 | Bild 33:            | Frostwiderstand von Beton mit zementfeinem Betonbrechsand                                                                             | 26 |
| Bild 13: | Porenvolumen von Mörteln mit Brechsand und Normsand mit 2 mm Größtkorn                                      | 19 | Bild 34:            | Verlauf des dyn. Elastizitätsmoduls von Beton mit zementfeinen Brechsandanteilen während der Frostbeanspruchung                       | 26 |
| Bild 14: | Porenvolumen von Normsand und Brechsand                                                                     | 19 | Bild 35:            | Schwinden von Beton mit zementfeinen Brechsandanteilen                                                                                | 26 |
| Bild 15: | Schwinden von Mörtel mit Brechsand (2 mm)                                                                   | 19 | Bild A1:            | Schwinden von Beton mit Rheinkies sand bzw. 100 % rezykliertem Zuschlag Ra bzw. Rb                                                    | 34 |
| Bild 16: | Fließmittel-Zugabemenge bei Betonen mit Betonsplitt und unterschiedlichem Anteil Brechsand.                 | 20 | Bild A2:            | Schwinden von Beton mit rezykliertem Zuschlag Rb                                                                                      | 34 |
| Bild 17: | Druckfestigkeit (28 Tage) der Betone mit rezykliertem Zuschlag                                              | 20 | Bild A3:            | Schwinden von Beton mit rezykliertem Zuschlag ohne Mehlkorn (0,125 mm)                                                                | 35 |
| Bild 18: | Spaltzugfestigkeit der Betone mit rezykliertem Zuschlag                                                     | 20 | Bild A4:            | Schwinden von Beton mit rezykliertem Zuschlag bei 24-stündigem Vornässen der Zuschläge                                                | 35 |
| Bild 19: | Statischer Elastizitätsmodul von Beton mit rezykliertem Zuschlag                                            | 21 |                     |                                                                                                                                       |    |
| Bild 20: | Vergleich statischer und dynamischer Elastizitätsmodul von Betonen mit rezykliertem Zuschlag (Ra bzw. Rb).. | 21 |                     |                                                                                                                                       |    |
| Bild 21: | Spannungsdehnungslinie von Betonen mit rezykliertem Zuschlag...                                             | 21 |                     |                                                                                                                                       |    |