

Institut für Werkstoffe im Bauwesen

IWVB

MITTEILUNGEN

2005/1

Jahresbericht

2002/04

Activities



Universität
Stuttgart

Jahresbericht

2002/04

Activities

Mitteilungen des Institut für Werkstoffe im Bauwesen; Band 2005/1

JAHRESBERICHT 2002/04 ACTIVITIES

Herausgeber: Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart
o. Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Hans-Wolf Reinhardt
Prof. Dr.-Ing. Rolf Eligehausen

Anschrift: Institut für Werkstoffe im Bauwesen
Pfaffenwaldring 4
70569 Stuttgart
oder:
Universität Stuttgart
Institut für Werkstoffe im Bauwesen
70550 Stuttgart
Telefon: (0711) 685 3324
Telefax: (0711) 685 3349

Redaktion: Dr.-Ing. Joachim Schwarte
Dr.-Ing. Tassilo Rinder

© IWB; Stuttgart 2005

Alle Rechte vorbehalten

ISSN 0932-5921

EINFÜHRUNG

Das Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart veröffentlicht im Rahmen der Schriftenreihe „IWB-Mitteilungen“ Berichtsbände, in denen die wesentlichen Aktivitäten des Instituts und seiner Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter geschildert werden. Der Berichtszeitraum des vorliegenden Berichts erstreckt sich über die Jahre 2002, 2003 und 2004.

Entsprechend der Aufgabenteilung eines jeden Hochschulinstituts in Forschung und Lehre besitzt auch dieser Bericht zwei Schwerpunkte: Erstens werden alle zur Zeit angebotenen Lehrveranstaltungen des Instituts im Rahmen der Diplom-Prüfungsordnung für den Studiengang Bauingenieurwesen erläutert. Zum anderen kommen zahlreiche wissenschaftliche Mitarbeiter mit kurzen Ausarbeitungen über ihre aktuellen Forschungsarbeiten zu Wort. Darüber hinaus finden sich in diesem Bericht Aufzählungen aller in den Berichtszeitraum fallenden Dissertationen, Diplomarbeiten und Veröffentlichungen sowie Informationen statistischer Natur.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass aktuelle Informationen über das IWB und seine Aktivitäten auch über das Internet (WWW) abrufbar sind. Die Adresse lautet:

<http://www.iwb.uni-stuttgart.de>

Der Berichtsband gibt auch die Gelegenheit, allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für die geleistete Arbeit zu danken und alle zu ermuntern, sich trotz verschlechternder Randbedingungen weiterhin für die Belange des Instituts tatkräftig einzusetzen. Allen Institutionen, Firmen und Personen außerhalb der Universität sei an dieser Stelle für die stetige Kooperation und Unterstützung herzlich gedankt.

Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. H.-W. Reinhardt
Geschäftsführender Direktor des IWB
Dezember 2004

INTRODUCTION

The Institute of Construction Materials at the University of Stuttgart publishes the volume „Activities“ every few years within its series „IWB-Mitteilungen“. This is done to report about the main activities of the institute and its members. The present report covers the years 2002, 2003 and 2004.

Due to the fact that every institute, that is part of a university, is involved in both, research and teaching, this report has two major topics: First, all current lecture courses that are offered by members of the institute are described and the examination rules, that are valid for students of civil engineering, are explained. On the other hand, numerous scientific co-workers of the institute are giving brief reports about current research work. Furthermore, this report contains lists of all doctoral and diploma theses and publications that were finished during the past two years. Some information of statistical interest are also given.

It should be mentioned, that more information about IWB and its activities is also offered via Internet within the World-Wide-Web. The address reads:

<http://www.iwb.uni-stuttgart.de>

This report offers also a welcome opportunity to thank all the members of the institute for their successful work and to encourage them, despite growing constraints, to serve the interests of the institute.

The steady cooperation and support of organizations, companies and persons outside the university is gratefully acknowledged.

Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. H.-W. Reinhardt
managing director of IWB
Dezember 2004

INHALT / CONTENT**Lehrveranstaltungen**

Werkstoffe im Bauwesen I	6
Werkstoffe im Bauwesen II	9
Bauschäden und Instandhaltung	11
Befestigungstechnik	12
Betontechnologie	14
Korrosionsschutz.....	15
Erhaltung historischer Bauten	16
Maßstabeffekt in Beton- und Stahlbetonkonstruktionen.....	17
Numerische Modellierung von Werkstoffen	18
Baustoffauswahl nach ökologischen Gesichtspunkten	19
Akkreditierung, Zertifizierung, Notifizierung, Qualitätsmanagement	20
COMMAS-Kurse C2 und E2-2.....	21
Einführung in die Informatik.....	25
Sichere Befestigungen mit Dübeln – Aus- und Weiterbildung	27

Forschung

Untersuchung des Erstarrungsverhaltens und der Dicke von Beton mit dem Impact-Echo-Verfahren	34
Erforderliche Steifigkeit von Ankerplatten.....	40
Schallemissionsanalyse bei Spaltzugversuchen an Beton.....	47
Das Versagen von Befestigungen durch Spalten des Betons.....	53
Tragverhalten von Schraubdübeln in gerissenem Beton	59
Fortschritte bei der Automatisierung der Schallemissionsanalyse	65
Modellierung des Verbundverhaltens in der Finite Element Analyse von Stahlbetonbauteilen.....	77
Injektionsdübel in Mauerwerk	85
Modellierung von hochfesten Hybridbetonen.....	92
Ultraschallphasenspektroskopie, ein neues Verfahren bei der zerstörungsfreien Prüfung von Werkstoffen im Bauwesen	101
Zweifach-Befestigungen mit Verbunddübeln am Bauteilrand unter Torsionsbeanspruchung – Numerische Simulationen.....	106
Überblick über die Aktivitäten des IWB auf dem Gebiet der Schädigung von Bauteilen aus Cellulose-Kurzfaserverbundwerkstoffen	113
Eingemörtelte Bewehrungsstäbe – Dehnkörperversuche mit gestoßenen Bewehrungsstäben in Normalbeton höherer Festigkeit C50/60	121
Eigenschaften von faserverstärktem Dränbeton.....	129
Untersuchungen zum Nachweis von Betonzusatzmitteln in Betonen mit MR-Spektroskopie.....	139
Frischbeton- und Festbetoneigenschaften von selbstverdichtendem Beton (SVB).....	145
E-Learning Aktivitäten am IWB unter Einsatz von LORe.....	152
Publikationen.....	160
Diplomarbeiten	176
Dissertationen	179
Personal	181

**VORLESUNGSREIHE „WERKSTOFFE IM BAUWESEN I“ (UNTERSTUFE)
LECTURE COURSE „WERKSTOFFE IM BAUWESEN I“ (BASIC LEVEL)**

Prof. Reinhardt

Im Diplomstudiengang Bauingenieurwesen wird im 2. und 3. Semester der Unterstufe die Vorlesungsreihe „Werkstoffe im Bauwesen I“ als Pflichtveranstaltung mit einem Umfang von insgesamt 6 SWH angeboten. Für das gesamte Spektrum der im Bauwesen verwendeten Werkstoffe werden die Grundlagen hinsichtlich der charakteristischen Eigenschaften unter Berücksichtigung ihrer praktischen Bedeutung behandelt. Als Voraussetzung für eine angemessene Wahl der Werkstoffe im Hinblick auf das Gebrauchs- und Versagensverhalten sowie die Dauerhaftigkeit der damit erstellten Konstruktionen nimmt diese Vorlesungsreihe im Rahmen des Bauingenieurstudiums einen besonderen Stellenwert ein. In der Tabelle 1 sind die Vorlesungsinhalte im Einzelnen dargestellt.

The basic level lecture course in „Construction Materials I“ is obligatory for all students studying civil engineering. The lectures are offered for students in the second and third semester with a total of 6 lecture hours per week. For the whole spectrum of the materials used in civil engineering the basics will be taught. As the knowledge of material properties is an important prerequisite for the proper use of materials in construction this course has got a big significance.

The topics covered by these lectures are listed in Table 1.

Tabelle 1: *Vorlesungsinhalte „Werkstoffe im Bauwesen I“*

Semester / Term	Themen / Topics
2. Semester	<ul style="list-style-type: none"> * Stahl im Bauwesen * Korrosion und Korrosionsschutz * Anwendungen der Statistik * Bitumen und seine Anwendung * Guss im Bauwesen * Nichteisen-Metalle * Kunststoffe
3. Semester	<ul style="list-style-type: none"> * Holz * Mineralische Bindemittel * Beton * Leichtbeton * Sonderbeton * Steine, Mörtel, Mauerwerk * Betonkorrosion und Bautenschutz * Brandverhalten von Baustoffen * Messverfahren und Probleme der Materialprüfung

**VORLESUNGSREIHE „WERKSTOFFE IM BAUWESEN I“ (UNTERSTUFE)
LECTURE COURSE „WERKSTOFFE IM BAUWESEN I“ (BASIC LEVEL)**

Prof. Reinhardt

Im Diplomstudiengang Bauingenieurwesen wird im 2. und 3. Semester der Unterstufe die Vorlesungsreihe „Werkstoffe im Bauwesen I“ als Pflichtveranstaltung mit einem Umfang von insgesamt 6 SWH angeboten. Für das gesamte Spektrum der im Bauwesen verwendeten Werkstoffe werden die Grundlagen hinsichtlich der charakteristischen Eigenschaften unter Berücksichtigung ihrer praktischen Bedeutung behandelt. Als Voraussetzung für eine angemessene Wahl der Werkstoffe im Hinblick auf das Gebrauchs- und Versagensverhalten sowie die Dauerhaftigkeit der damit erstellten Konstruktionen nimmt diese Vorlesungsreihe im Rahmen des Bauingenieurstudiums einen besonderen Stellenwert ein. In der Tabelle 1 sind die Vorlesungsinhalte im Einzelnen dargestellt.

The basic level lecture course in „Construction Materials I“ is obligatory for all students studying civil engineering. The lectures are offered for students in the second and third semester with a total of 6 lecture hours per week. For the whole spectrum of the materials used in civil engineering the basics will be taught. As the knowledge of material properties is an important prerequisite for the proper use of materials in construction this course has got a big significance.

The topics covered by these lectures are listed in Table 1.

Tabelle 1: *Vorlesungsinhalte „Werkstoffe im Bauwesen I“*

Semester / Term	Themen / Topics
2. Semester	<ul style="list-style-type: none"> * Stahl im Bauwesen * Korrosion und Korrosionsschutz * Anwendungen der Statistik * Bitumen und seine Anwendung * Guss im Bauwesen * Nichteisen-Metalle * Kunststoffe
3. Semester	<ul style="list-style-type: none"> * Holz * Mineralische Bindemittel * Beton * Leichtbeton * Sonderbeton * Steine, Mörtel, Mauerwerk * Betonkorrosion und Bautenschutz * Brandverhalten von Baustoffen * Messverfahren und Probleme der Materialprüfung

ÜBUNGEN ZU „WERKSTOFFE IM BAUWESEN I“ (UNTERSTUFE) EXERCISES IN „WERKSTOFFE IM BAUWESEN I“ (BASIC LEVEL)

Begleitend zur Vorlesung finden im Wintersemester praktische Übungen statt. Diese bestehen im Wesentlichen aus Vorführversuchen, die in den Räumen der *Forschungs- und Materialprüfungsanstalt für das Bauwesen (FMPA) – Otto-Graf-Institut* und mit der Unterstützung deren Mitarbeiter durchgeführt werden. Sie dienen zur Ermittlung von charakteristischen Eigenschaften der in der Vorlesung behandelten Werkstoffe. Dabei werden Grundlagen der anzuwendenden Messtechnik und der Materialprüfung vermittelt. Die Teilnahme ist für die Studierenden obligatorisch und gilt als Prüfungsvorleistung. Der Umfang der Übungen beläuft sich gemäß Studienplan auf 2 SWh. Zur effizienten Durchführung der Übungen werden die Studierenden in überschaubare Gruppen von ca. 16 Teilnehmern aufgeteilt.

The lectures are accompanied by exercises, that are offered once a year in the winter semester. During these exercises the equipment and the laboratories of the *Forschungs- und Materialprüfungsanstalt für das Bauwesen (FMPA) – Otto-Graf-Institut* are used. The here presented tests shall give a further knowledge on how to determine characteristic properties of the materials the lectures deal with. The basics of generally used measuring techniques and material testing are shown. Participation in these exercises is obligatory for the students to take the examination. In accordance with the examination regulations, the exercises cover 2 lecture hours per week. For an efficient execution of the exercises, the students are divided into groups of manageable size of about 16 persons.

Tabelle 2: Themenübersicht der praktischen Übungen

Übung / Exercise:	Themen / Topics:
Ü1: Stahl	<ul style="list-style-type: none"> * Zugversuche, Recken * Wärmebehandlung: Vergüten * Zähigkeit: Biegen von Betonstahl * Vorführungen zum Schweißen
Ü2: Holz und Kunststoffe	<ul style="list-style-type: none"> * Druckversuche mit unterschiedlichen Kraft / Faser-Winkeln * Versuche zur Tragfähigkeitsermittlung von Nagel-, Dübel- und Leimverbindungen * Zugversuche an unterschiedlichen Kunststoffen * Temperatureinfluss auf Kunststoff: Kriechen, Relaxation
Ü3: Beton I	<ul style="list-style-type: none"> * Bestimmung der Festigkeitseigenschaften von Zement * Frischbetonkennwerte
Ü4: Bitumen	<ul style="list-style-type: none"> * Asphaltproben * Druckversuch (Marshall-Versuch) * Penetrationsversuch, Ermittlung von Erweichungs- und Brechpunkt
Ü5: Beton II	<ul style="list-style-type: none"> * Zerstörende und zerstörungsfreie Prüfverfahren für Festbeton * Ermittlung der Carbonatisierungstiefe * Druckprüfungen an Ziegeln und einem Mauerwerksprüfkörper

Jede Gruppe nimmt an 5 Veranstaltungen (Dauer jeweils 120 min) mit unterschiedlichen Themenschwerpunkten teil. Zusätzlich werden Einführungsvorträge angeboten. Die Themen der einzelnen Übungsveranstaltungen sind in der oben stehenden Tabelle 2 zusammengefasst.

Da es sich um eine Pflichtveranstaltung handelt, stimmen die Zahlen der eingeschriebenen Studenten mit den Teilnehmerzahlen verhältnismäßig gut überein. Tabelle 3 gibt dazu eine Übersicht über den Berichtszeitraum.

Each group visits the laboratories for 5 events (duration of each event 120 min). Several experiments with different centres of interest are demonstrated. Additionally introducing lectures are given. The topics covered in the exercises are presented in Table 2 (given above).

The numbers of participants are listed in Table 3. Since participation is a matter of duty, the number of participants almost equals to the number of students registered in the concerning semester.

Tabelle 3: Teilnehmerzahlen der praktischen Übungen

Semester	Teilnehmerzahl Number of participants	Einteilung Division
WS 2000/01	66	4 Gruppen mit 16 bis 17 Teiln.
WS 2001/02	76	4 Gruppen mit 19 Teiln.
WS 2002/03	63	4 Gruppen mit 14 bis 18 Teiln.
WS 2003/04	86	5 Gruppen mit 17 bis 18 Teiln.
WS 2004/05	99	6 Gruppen mit 15 bis 18 Teiln.

**PRÜFUNG IM FACH „WERKSTOFFE IM BAUWESEN I“ (UNTERSTUFE)
EXAMINATION IN „WERKSTOFFE IM BAUWESEN I“ (BASIC LEVEL)**

Im Fach „Werkstoffe im Bauwesen I“ findet zweimal jährlich eine vierstündige schriftliche Prüfung statt. Darin wird anhand von 34 Aufgaben zu Themen aus dem gesamten Lehrinhalt der Vorlesungsreihe das erworbene Fachwissen abgeprüft. Tabelle 4 enthält statistische Angaben zu den letzten Prüfungen.

Options to take the examination in „Werkstoffe im Bauwesen I“ are offered twice a year. The examination takes 4 hours. 34 questions to topics from all contents of the lectures are to be answered. In Table 4 some statistical data concerning the examinations is summarized.

Tabelle 4: Schriftliche Prüfungen „Werkstoffe im Bauwesen I“

Prüfungszeitraum	Teilnehmerzahl schriftliche Prüfung	Bestanden (schriftlich)	Teilnehmerzahl mündliche Ergänzungsprüfung	Bestanden (mündlich)	Bestanden (insgesamt)
F 2002	56	32 (57 %)	2	2 (100 %)	34 (61 %)
H 2002	30	23 (77 %)	4	0 (0 %)	23 (77 %)
F 2003	40	30 (75 %)	2	1 (50 %)	31 (78 %)
H 2003	22	21 (95 %)	1	1 (100 %)	22 (100 %)
F 2004	61	42 (69 %)	0	-	42 (69 %)
H 2004	27	20 (74 %)	3	0 (0 %)	20 (74 %)

VORLESUNGSREIHE „WERKSTOFFE IM BAUWESEN II“ (OBERSTUFE)
LECTURE COURSE „WERKSTOFFE IM BAUWESEN II“ (ADVANCED LEVEL)

Prof. Reinhardt / Dr. Schwarte

Insbesondere der als Konstrukteur tätige Ingenieur wird über die im Fach „Werkstoffe im Bauwesen I“ vermittelten Grundlagen hinaus vertiefte Kenntnisse der material- und milieugerechten Anwendung der Ingenieurbaustoffe erwerben müssen. Die Grundfachvorlesung „Werkstoffe im Bauwesen II“ richtet sich an Studierende im 6. und 7. Fachsemester. In der folgenden Tabelle sind die Themen, die von der Vorlesungsreihe abgedeckt werden, zusammengestellt.

Die Vorlesungen über „Betriebsfestigkeit“, „Bruchmechanik“, „Rheologie“ und „Transportvorgänge“ werden durch Hörsaalübungen ergänzt.

Apart from the basics offered in „Werkstoffe im Bauwesen I“ the civil engineer will need deeper knowledge about the behaviour of the building materials and their interaction with other media.

The lecture course „Werkstoffe im Bauwesen II“ is offered for students in the 6th and 7th term.

In the following table the topics, that are covered by the lecture course, are listed.

The lectures on „cyclic loading“, „rheology“, „fracture mechanics“ and „transport phenomena“ are accompanied by exercises.

Tabelle 5: *Vorlesungsinhalte „Werkstoffe im Bauwesen II“*

Semester / Term	Themen / Topics
6. Semester	<ul style="list-style-type: none"> * Ordnung im Festkörper * Stahl * Bruchmechanik (mit Übungen) * Betriebsfestigkeit (mit Übungen) * Baustoffe und Ökologie (Dr. Lünser/Innenministerium) * Nichtrostende Stähle (Prof. Nürnberger/MPA-OGI)
7. Semester	<ul style="list-style-type: none"> * Transportvorgänge (mit Übungen) * Rheologie (mit Übungen) * Junger Beton * Faserbeton * Hochfester Beton * Bautenschutz * Holz (Dr. Aicher/MPA-OGI)

PRÜFUNG IM FACH „WERKSTOFFE IM BAUWESEN II“ (OBERSTUFE)
EXAMINATION IN „WERKSTOFFE IM BAUWESEN II“ (ADVANCED LEVEL)

Im Fach „Werkstoffe im Bauwesen II“ findet zweimal jährlich eine zweistündige schriftliche Prüfung statt. Die Daten aller in den Berichtszeitraum fallenden Prüfungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Twice a year a two hours written examination is held. The following table shows the results of these examination.

Tabelle 6: *Schriftliche Prüfungen in „Werkstoffe im Bauwesen II“*

Prüfungs- zeitraum	Teilnehmerzahl schriftliche Prüfung	Bestanden (schriftlich)	Teilnehmerzahl mündliche Ergänzungsprüfung	Bestanden (mündlich)	Bestanden (insgesamt)
F 2002	54	40 (74 %)	1	1 (100%)	41 (76 %)
H 2002	23	13 (57 %)	6	4 (67 %)	17 (74 %)
F 2003	44	32 (73 %)	1	1 (100 %)	33 (75 %)
H 2003	11	8 (73 %)	1	1 (100 %)	9 (82 %)
F 2004	21	17 (81 %)	1	1 (100 %)	18 (86 %)
H 2004	6	5 (83 %)	-	-	5 (83 %)

VORLESUNGSREIHE „BAUSCHÄDEN UND INSTANDHALTUNG“
LECTURE COURSE „BUILDING DAMAGE AND RESTORATION“

Prof. Reinhardt

Die Vorlesungsreihe beschäftigt sich mit Schäden an Bauwerken sowie deren Instandsetzung. Ausgehend von den Schadensbildern, Schädigungsmechanismen und Schadensverläufen werden anhand von Beispielen Möglichkeiten zur Analyse der Schadensursachen gezeigt. In Vorlesungen und praktischen Übungen werden Geräte und Verfahren zur Bauwerksuntersuchung vorgestellt, die z.T. innovativen Charakter besitzen. So werden zerstörungsfreie Prüfmethode wie z.B. Radar und Ultraschall näher erläutert.

Die Darlegung prinzipieller Möglichkeiten zur Vermeidung von Schäden und ihrer dauerhaften Sanierung ist ein weiterer Bestandteil der Vorlesungsreihe. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf dem Gebiet des Betonbaus, wobei aber auch Themengebiete wie Naturstein, Holzkonstruktionen und Brandschäden Berücksichtigung finden.

Die Vorlesung wird für Studenten/innen des 8. Semesters angeboten und hat einen Umfang von 3 SWH. Sie schließt mit einer 1½-stündigen Prüfung ab. In der folgenden Tabelle sind die Resultate der Prüfungen im Berichtszeitraum zusammengestellt.

The lecture „Building Damage and Restoration,“ enters into questions about causes of damage on buildings and the appropriate repair system.

Damage of structures, the mechanism and formation of damage are discussed and analysis of causes is shown. In the lecture course and the exercises innovative methods and appliances for examination of buildings are presented. Nondestructive testing methods, for example radar and ultrasonic, are exemplified.

Furthermore the course covers basic methods of prevention of damages and long lasting reinstatement of buildings.

Main subject of the course are concrete structures. Natural stone, wood structures and fire damages are treated also.

The course is offered to advanced level student in the 8th term including 3 lecture hours per week. At the end of each term there is an examination taking 1½ hours.

The following table shows the results of the examinations during the reported time.

Tabelle 7: *Übersicht über die schriftlichen Prüfungen in „Bauschäden und Instandhaltung“*

Prüfungszeitraum	Datum	Teilnehmer	davon erfolgreich
H 2002	29.07.02	18	17
F 2003	09.04.03	3	3
H 2003	05.08.03	22	22
F 2004	16.02.04	3	3
H 2004	23.07.04	25	25
F 2005	23.02.05	2	2

VORLESUNGSREIHEN „BEFESTIGUNGSTECHNIK“ LECTURE COURSES „FASTENING TECHNIQUES“

Prof. Eligehausen

Die Universität Stuttgart bietet als einzige Universität der Bundesrepublik Vorlesungen über Befestigungstechnik im Massiv- und Mauerwerksbau an. Der Studienplan „Bauingenieurwesen“ trägt diesem Gebiet Rechnung und sieht folgende Vorlesungen vor:

- a) Grundvorlesung (Wahlvorlesung) „Moderne Befestigungstechnik im Ingenieurbau“ für Studenten des 3. Semesters (2 Semesterwochenstunden, Prof. Eligehausen)
- b) Vertiefervorlesung „Befestigungstechnik I“ für Studenten der Vertiefungsfachrichtung „Konstruktiver Ingenieurbau“ im Rahmen des Vertiefungsfaches „Werkstoffe/Bauphysik“ als Kernfach. Die Vorlesung wird laut Studienplan angeboten für Hörer des 7. Semesters. (3 SWh, Prof. Eligehausen)
- c) Vertiefervorlesung „Befestigungstechnik II“ für Studenten der Vertiefungsfachrichtung „Konstruktiver Ingenieurbau“ als Ergänzungsfach. Die Vorlesung wird laut Studienplan angeboten für Hörer des 8. Semesters. (3 SWh, Prof. Eligehausen)

Die Vorlesungen „Befestigungstechnik I“ und „Befestigungstechnik II“ sollen einen Überblick über den Stand der Befestigungstechnik im In- und Ausland geben und es dem Hörer ermöglichen, für eine gegebene Anwendung das richtige Befestigungselement auszuwählen und zu bemessen. Behandelt werden Einlege- teile (u. a. Kopfbolzen, Ankerschienen), Dübel (Spreiz-, Hinterschnitt-, Verbund-, Kunststoff- und Injektionsdübel), Setzbolzen und Betonschrauben für Anwendungen in Beton und Mauerwerk, sowie die Verstärkung von Bauteilen mittels geklebter Stahllaschen und CFK-Lamellen, als auch nachträgliches Anschließen von Bauteilen mit eingemörtelten Bewehrungsstäben.

Stuttgart is Germany's only University offering lectures in Fastening Techniques for reinforced concrete and masonry structures. Following lectures are included in the civil engineering department's educational programme.

- a) Basic course (facultative) „Modern Fastening Techniques in structures“ for students of the 3rd Semester (2 hours per week, Prof. Eligehausen)
- b) Graduate course „Fastening Techniques I“ for students of the 7th Semester graduating in structural engineering is a (facultative) part of the graduate course „Construction Materials/Physics relating to Construction“. (3 hours per week, Prof. Eligehausen)
- c) Graduate course „Fastening Techniques II“ for students of the 8th Semester graduating in structural engineering is a (facultative) part of the graduate course relating to Construction“. (3 hours per week, Prof. Eligehausen)

The lectures „Befestigungstechnik I“ and „Befestigungstechnik II“ offer a survey of Fastening Techniques in Germany and foreign countries and provide the student with the knowledge how to select and design the right fastenings for a problem at hand. During the course following topics are treated: cast-in-place systems (e.g. headed studs, anchor channels), post-concreting systems/anchors (expansion, undercut and bonded anchors, plastic and injection fasteners), powder-actuated fasteners and concrete screws for applications in concrete and masonry, both strengthening of existing r.c. structures with adhesive bonding and CFRM (Carbon-Fibre Reinforced Materials) and post-installed rebar connections.

Die Vorlesungen werden regelmäßig durch Exkursionen ergänzt. Diese führten in den Jahren 2002 und 2003 zur Fa. fischerwerke.

In der folgenden Tabelle sind die Themen, die von den Vorlesungen „Befestigungstechnik I“ und „Befestigungstechnik II“ abgedeckt werden, zusammengestellt.

Beside the lectures possibility is given to the students to participate in technical excursions. The company „fischerwerke“ was visited in 2002 and 2003.

The subjects of the lectures given during the courses „Fastening Techniques I“ and „Fastening Techniques II“ are listed in the table below.

Tabelle 8: *Vorlesungsinhalte:*

Befestigungstechnik I	<ul style="list-style-type: none"> * Befestigungssysteme * Zugfestigkeit des Betons * Tragverhalten und Bemessung von Befestigungen für mittlere und hohe Lasten im ungerissenen und gerissenen Beton * Einfluss der Lasteinleitung durch Befestigungen auf das Tragverhalten des als Ankergrund dienenden Bauteils * Korrosionsschutz und Feuerwiderstand * Praktische Übungen im Labor
Befestigungstechnik II	<ul style="list-style-type: none"> * Mauerwerksarten * Tragverhalten und Bemessung von Befestigungen in Beton und Mauerwerk für niedrige und mittlere Lasten * Verstärken von Bauteilen (geklebte Stahllaschen, CFK-Lamellen) * Anschließen von Bauteilen mit eingemörtelten Bewehrungsstäben * Probabilistisches Sicherheitskonzept * Wirtschaftlichkeit von Befestigungen * Befestigungstechnik im Ausland * Qualität

Für die Vorlesungen werden jeweils schriftliche Prüfungen angeboten.

Written examinations complete the above mentioned courses.

Tabelle 9: *Übersicht über die Prüfungen in „Befestigungstechnik“*

Prüfung	Datum	Anzahl Teilnehmer	davon erfolgreich
I	07.02.02	27	26
II	10.10.02	13	7
I	20.02.03	14	13
II	13.10.03	2	2
I	10.02.04	10	10
II	13.10.04	4	4

**VORLESUNGSREIHE „BETONTECHNOLOGIE“
LECTURE COURSE „TECHNOLOGY OF CONCRETE“**

Prof. Reinhardt

Die im Wintersemester 96/97 erstmalig von Prof. Reinhardt angebotene Vorlesung „Betontechnologie“ behandelt ausführlich den Werkstoff Beton. Hierbei werden detailliert alle Facetten des Beton, wie z.B. Betonkomponenten, Zusatzmittel /-stoffe, Erhärtungsvorgänge, Festigkeiten, etc. behandelt. Neben den theoretischen Grundlagen wird auch auf die für die Praxis wichtigen Bereiche wie Prüfverfahren, Verarbeitung, etc. eingegangen. Ziel der Vorlesung „Betontechnologie“ soll es sein, dem Studenten eine vertiefte Ausbildung in betontechnologischen Fragen zu geben.

Seit dem Sommersemester 1998 wird im Rahmen eines Praktikums den Studenten die Möglichkeit geboten, den theoretischen Teil des E-Scheins (erweiterte Betontechnologischen Ausbildung) zu erlangen.

Die Vorlesung hat einen Umfang von drei Semesterwochenstunden und wird durch eine eineinhalbstündige schriftliche Prüfung beendet. Zum Bestehen des E-Schein Praktikums ist eine erfolgreiche Teilnahme an einem Kolloquium erforderlich.

In der folgenden Tabelle sind die Resultate der letzten Prüfungen zusammen gestellt.

The lecture „technology of concrete“, which has been provided by Prof. Reinhardt in the winter-term 96/97 for the first time, discusses the characteristics of concrete. In this course all faces of concrete are discussed in detail: Components of concrete, additives, hardening process, strengths e.g. In addition to the theoretical basics the practical aspects are also taken into account, being testing methods, handling, etc. discussed. The aim of this lecture should be to give the students a recessed training in the main questions of concrete.

Since the summer term 1998, our institute offer the possibility of a practical training to get the theoretical conditions of the E-Schein.

The extent of the lecture „technology of concrete“ comes to tree hours per week. At the end, there is an one and a half hour written examination. To receive the E-Schein, the students have to withstand a colloquium.

The following table shows the results of the last examinations.

Tabelle 10: *Übersicht über die schriftliche Prüfung in „Betontechnologie“*

Prüfungszeitraum	Datum	Anzahl Teilnehmer	davon erfolgreich
F 2002	12.02.02	6	6
F 2003	05.05.03	12	12
F 2004	22.04.04	7	7

VORLESUNGSREIHE „KORROSIONSSCHUTZ“
LECTURE COURSES „CORROSION PROTECTION“

Prof. Nürnberger

Die im Rahmen der Vertiefung „Werkstoffe/Bauphysik“ angebotene Vorlesung „Korrosionsschutz“ bietet die fachliche Grundlage für Probleme und Aufgaben beim vorbeugenden Korrosionsschutz sowie bei Instandhaltung und Instandsetzung von Baukonstruktionen.

Die Vorlesung „Korrosionsschutz“ wird abwechselnd mit zwei unterschiedlichen thematischen Schwerpunkten angeboten:

Themen SS:

Korrosionsschutz durch Beton, Korrosionsprobleme im Spannbetonbau, Betonbeschichtung, Instandsetzung von Betonbauwerken

Themen WS:

Korrosionsschutz durch metallische Überzüge (Verzinken), organische Beschichtungen und Werkstoffauswahl (wetterfeste und nichtrostende Stähle, Aluminium, Kupfer) sowie korrosionsgerechtes Konstruieren.

Die Vorlesung kann alternativ im SS oder im WS gehört werden und hat einen Umfang von 2 Semesterwochenstunden. Sie wird durch eine einstündige schriftliche Prüfung beendet. In der folgenden Tabelle sind die Resultate dieser Prüfungen für den Berichtszeitraum zusammengestellt.

The lecture course „corrosion protection“ is offered as a part of the graduate level topic „materials and physics of buildings and structures“. It covers the basics for problems concerning preventive corrosion protection as well as maintenance and repair of constructions in civil engineering.

The lecture course „corrosion protection“ is offered with two different central aspects of interest.

Topics in summer terms.

Corrosion protection causes by concrete. Corrosion problems in prestressed concrete. Coatings for concrete. Repair of concrete constructions

Topics in winter terms:

Corrosion protection caused by metallic coatings, organic coatings and special materials (weatherproof steel and non-corrosive steel, aluminium, copper). Quality of constructions with respect to corrosion problems.

The lecture course may be visited either in the summer or in the winter term. Two lecture hours per week are offered. The course is ended with an one hour written examination. In the following table the results of the examinations within the years covered by this report are collected.

Tabelle 11: *Übersicht über die Prüfungen in „Korrosionsschutz“*

Prüfungszeitraum	Datum	Anzahl Teilnehmer	davon erfolgreich
F 2002	25.02.02	21	20
H 2002	29.07.02	18	17
F 2003	09.04.03	23	21
H 2003	05.08.03	16	16
F 2004	19.02.04	12	12
H 2004	30.07.04	13	13

VORLESUNGSREIHE „ERHALTUNG HISTORISCHER BAUTEN“
LECTURE COURSES „MAINTENANCE OF HISTORICAL BUILDINGS“

Prof. Horn

Die Vorlesungsreihe wird von Herrn Prof. Carl Theodor Horn, ehem. Erzbischöfliches Ordinariat München, gehalten. An ausgewählten Beispielen werden Bestandsaufnahme, Sicherung und Sanierungsmethoden von vorwiegend sakralen Bauten erläutert. Neben technischen und bauphysikalischen Problemen werden auch ethische und ästhetische Fragen der Denkmalpflege angesprochen. Im Rahmen der Vorlesungen können auch Seminararbeiten durchgeführt werden.

The lecture course is given by Prof. Carl Theodor Horn, Erzbischöfliches Ordinariat München. With selected examples the survey of existing conditions, the securing and methods of maintenance, mainly of sacral buildings are explained. Besides technical and building physics problems, ethical and esthetical aspects of the preservation of monuments are discussed. Within the course the acquired knowledge can be shown on a free chosen object in a seminar workshop.

Tabelle 12: *Übersicht über die Prüfungen in „Erhaltung historischer Bauten“*

Prüfungszeitraum	Datum	Anzahl Teilnehmer	davon erfolgreich
H 2002	26.06.2002	12	12
H 2003	02.07.2003	5	5
H 2004	07.07.2004	7	7

**VORLESUNGSREIHE „MASSTABEFFEKT IN BETON UND
STAHLBETONKONSTRUKTIONEN“
LECTURE COURSES „SIZE EFFECT IN CONCRETE AND
REINFORCED CONCRETE STRUCTURES“**

PD J. Ozbolt (IWB)

Die Vorlesung „Maßstabeffekt in Beton- und Stahlbetonkonstruktionen“ soll den Hörern einen Überblick über die theoretischen Grundlagen der Bruchmechanik sowie deren Anwendung in Beton- und Stahlbetonkonstruktionen geben. Sie gliedert sich in folgende Themenbereiche:

- Lineare Bruchmechanik
- Nichtlineare Bruchmechanik
- Bestimmung der bruchmechanischen Parameter für Beton
- Anwendung der Bruchmechanik in Beton- und Stahlbetonkonstruktionen
- Maßstabeffekt - Einfluss der Bauteilgröße auf: Festigkeit, Duktilität, erforderliche Mindestbewehrung und erforderliche konstruktive Bewehrung von Stahlbetonbauteilen
- Berechnungen für die Praxis: Biegebalken aus Beton und Stahlbeton, Schubversagensart (schlanke und gedrungene Balken mit und ohne Schubbewehrung), Torsion, Befestigungselemente

Auf Grundlage der Vorlesung können anschließend Seminar- und Diplomarbeiten durchgeführt werden.

The lecture „Size effect in concrete and reinforced concrete structures“ offers the students an overview through the theory of fracture mechanics and its application in concrete and reinforced concrete structures. The lecture consists of the following topics:

- Linear fracture mechanics
- Nonlinear fracture mechanics
- Measuring of fracture parameters
- Use of the fracture mechanics in concrete and reinforced concrete structures
- Size effect - influence of the structural size on: structural resistance, ductility, minimum reinforcement, distributed reinforcement.
- Practical examples from the engineering practice: beam failing in bending - minimum reinforcement requirement - ductility - minimum distributed reinforcement, diagonal shear failure of slender and deep beams with and without shear reinforcement, torsion and anchorage technics.

In the frame of the lectures the students may take the part in an seminar or on a final graduate work in the field of the application of fracture mechanics.

VORLESUNGSREIHE „NUMERISCHE MODELLIERUNG VON WERKSTOFFEN“
LECTURE COURSES „NUMERICAL MODELLING OF MATERIALS“

PD J. Ozbolt (IWB)

Die Vorlesung „Numerische Modellierung von Werkstoffen“ soll den Hörern einen Überblick über die verschiedenen Materialmodellen und Verfahren bei der numerischen Analyse von Bauteilen aus verschiedenen Materialien (wie z.B. Stahl, Beton, Stahlbeton) geben. Sie gliedert sich in folgende Themenbereiche:

- Überblick über die verschiedenen konstitutiven Gesetze
- Kontinuum-Modelle (Modelle nach Elastizitäts-, Plastizitäts- und Schädigungstheorie, Modelle der verschmierten Risse, Microplane Modelle)
- Mikromechanische Modelle
- Diskrete und „Interface“ Modelle
- Kombinierte Modelle
- Anwendung in den Finite-Elemente Berechnungen

Auf Grundlage der Vorlesung können anschließend Seminar- und Diplomarbeiten durchgeführt werden.

The lecture „Numerical modelling of materials“ offers the students an overview through the different material models and procedures that can be used in the nonlinear numerical analysis of structures made of different materials (steel, concrete, reinforced concrete etc.). The lecture consists of the following topics:

- Overview of different constitutive laws
- Continuum models (models based on the elasticity and plasticity theory, damage theory models, smeared damage models, microplane models)
- Discrete models - models based on the micromechanics of materials
- Interface models
- Combined models
- Application of the models in the finite element analysis.

In frame of the lecture it is possible to workout a seminar or final graduate work.

BAUSTOFFAUSWAHL NACH ÖKOLOGISCHEN GESICHTSPUNKTEN SELECTION OF BUILDING MATERIALS ON THE BASIS OF ECOLOGICAL CRITERIA

Dr.-Ing. H. Lünser (Innenministerium Baden-Württemberg)

Die Vorlesung "Baustoffauswahl nach ökologischen Gesichtspunkten" wurde im Wintersemester 1999/2000 erstmals angeboten.

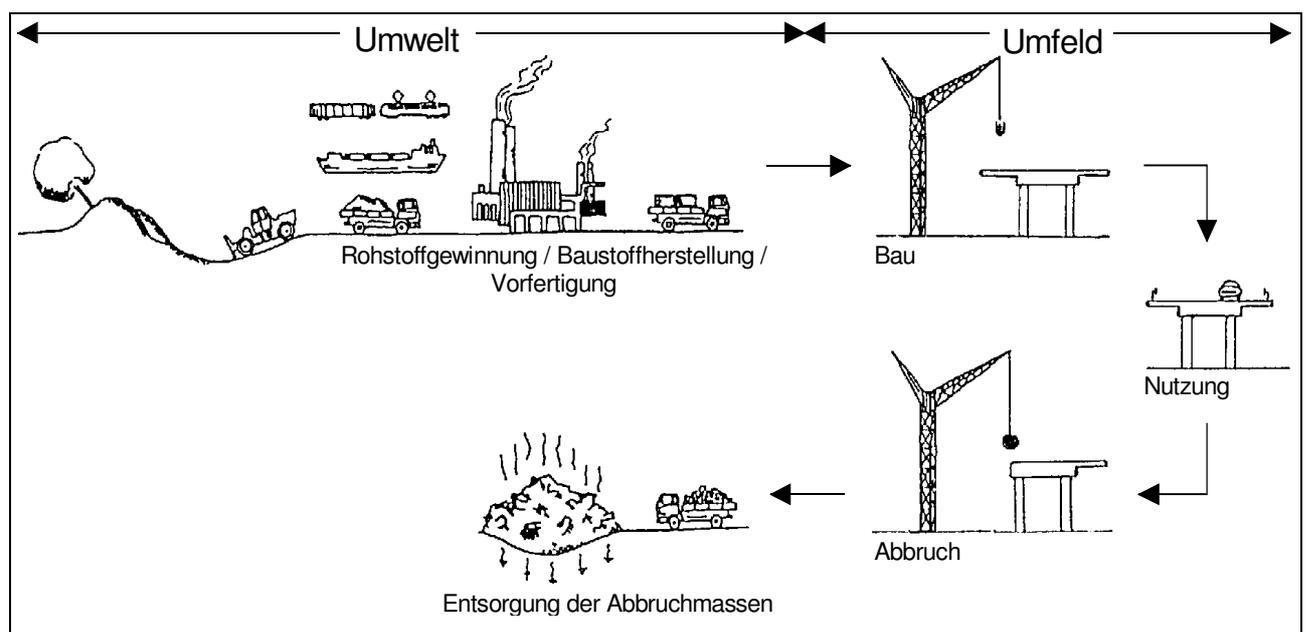
The Course "Selection of building materials on the basis of ecological criteria" is offered for the first time in winter 1999/2000.

Planende Bauingenieure und Architekten müssen die zu verwendenden Baustoffe aus einer Vielfalt von Möglichkeiten auswählen. Dies geschieht in Kenntnis von Eigenschaften wie Festigkeit, Dauerhaftigkeit, Wärmeleitfähigkeit, Brandverhalten oder Kosten. Zunehmend werden auch die ökologischen Eigenschaften von Baustoffen hinterfragt. In der Vorlesung werden hierzu Kenntnisse vermittelt und folgende Themen behandelt:

When selecting building materials civil engineers and architects have the choice between a large variety of opportunities. Selection criteria are the properties and characteristics of the materials such as strength, durability, thermal conductivity, behaviour under fire as well as costs. Increasingly ecological properties of building materials are taken into account. This course shows the state of the art and highlights the following topics:

- Einführung in die Bauökologie
- Baustoffherstellung
- Verarbeiten von Baustoffen
- Verhalten von Baustoffen während der Nutzung
- Recycling und Entsorgung von Baustoffen
- Ökologische Eigenschaften an Beispielen

- Introduction to building ecology
- Manufacturing of building materials
- Working with building materials
- Behaviour of building materials during utilization
- Recycling and disposal of building materials
- Examples of ecological properties



AKKREDITIERUNG, ZERTIFIZIERUNG, NOTIFIZIERUNG, QUALITÄTSMANAGEMENT ACCREDITATION, CERTIFICATION, NOTIFICATION, QUALITY MANAGEMENT

Dipl.-Ing. Rudolf Brinkmann

Gegenstand der Vorlesung „Akkreditierung, Zertifizierung, Notifizierung, Qualitätsmanagement“ sind die aktuellen internationalen Verfahren zur Konformitätsbewertung und Kompetenzbestätigung.

Folgende Themen werden behandelt:

- Qualitätsmanagement
- Akkreditierung von Prüflaboratorien
- Akkreditierung von Kalibrierlaboratorien
- Akkreditierung von Zertifizierungsstellen für Produkte
- Akkreditierung von Zertifizierungsstellen für QM-Systemen
- Akkreditierung von Zertifizierungsstellen für Personal
- Akkreditierung von Inspektionsstellen
- EU-Notifizierung von Prüfstellen
- Umsetzung europäischer Harmonisierungsrichtlinien

Die Vorlesung wendet sich an Hörer aller Fachrichtungen.

Im Anschluss an die Veranstaltung wird bei entsprechendem Bedarf eine mündliche Prüfung angeboten.

The subject of the lecture course „Accreditation, Certification, Notification, Quality Management“ are the current international procedures for evaluation of conformity and competence.

The following topics are treated:

- Quality Management
- Accreditation of testing laboratories
- Accreditation of calibration laboratories
- Accreditation of certification bodies for products
- Accreditation of certification bodies for QM-Systems
- Accreditation of certification bodies for personnel
- Accreditation of inspection bodies
- EU-Notification of testing bodies
- Implementation of European policies of harmonization

The course is offered to students of all subject areas.

Subsequent to the lecture course oral examination can be offered as required.

VORLESUNGSREIHEN „INGENIEURWERKSTOFFE – METALL, BETON, BODEN“
LECTURE COURSES “ENGINEERING MATERIALS – METALS, CONCRETE, SOILS“
[COMMAS – C2]

Prof. Schmauder (MPA), Prof. Eligehausen (IWB), Prof. Reinhardt (IWB), Prof. Vermeer (IGS)

Das IWB unterstützt mit dem Einführungskurs „Ingenieurwerkstoffe - Beton“ das „Master of Science“ Programm „Computerunterstützter Mechanik von Materialien und Strukturen“ (COMMAS). Der Kurs „C2“ ist eine Einführung in Werkstoffe, die oft bei Entwurf und Analyse von Modellen verwendet werden. Die Vorlesung ist in folgende drei Abschnitte unterteilt: Metall, Beton, Boden. Eine Zusammenfassung des Kursinhalts ist in Tabelle 13 dargestellt. Ziel des Kurses ist es das Verständnis für das Materialverhalten der gezeigten Werkstoffe zu fördern. Da die Studenten von COMMAS aus verschiedenen Studienfächern des Ingenieurwesens stammen, wird mit C2 ein allgemeines grundlegendes Wissen über Werkstoffe vermittelt. Die Vorlesung wird gemeinsam vom Institut für Werkstoffe im Bauwesen (IWB), dem Institut für Geotechnik (IGS) und der Materialprüfungsanstalt (MPA) abgehalten.

The Institute of Construction Materials supports the master of science program “computer-aided mechanic of materials and structures” with its lecture “Engineering material – concrete”.

The course is an introduction into materials that are used often for the design and analyses of models. The lecture is split into these three parts: metals, soils, concrete. An overview of the contents of the lectures is shown in Table 13. The aim of the course is to improve the understanding of the behavior of the materials presented. Because the COMMAS students have different engineering backgrounds the C2 course presents a basic knowledge of the materials.

It is organized by the Institute of Construction Materials, the Institute of Geotechnical Engineering and the State Material Testing Institute.

Table 13: *Course Outline*

Metals	<ul style="list-style-type: none"> * Crystal structure * Plastic deformation * Strengthening mechanisms for metals * Mechanical behavior of metals
Concrete	<ul style="list-style-type: none"> * Introduction <ul style="list-style-type: none"> Properties of concrete Classifications * Compressive behavior <ul style="list-style-type: none"> Compressive failure of concrete Stress-strain behavior in uniaxial compression * Time dependent behavior <ul style="list-style-type: none"> Rheological models for concrete Shrinkage/Swelling Creep/Relaxation Fatigue

	<ul style="list-style-type: none"> * Tensile behavior and fracture mechanics <ul style="list-style-type: none"> Tensile failure of concrete Stress-strain behavior in uniaxial tension Fracture mechanics of concrete * Special concretes <ul style="list-style-type: none"> High strength concrete Lightweight concrete Fiber reinforced concrete
Soils	<ul style="list-style-type: none"> * Origin of soils * Classification of soils * Soil stiffness as measured in oedometer tests * Soil strength and dilatancy in shear tests * Observed behavior in triaxial tests

Table 14: *Overview of Examinations for C2*

Semester	Examination Date	Total No. of Students	Passed (Written)	Passed (Retake - oral)	Passed (Total)
Winter 2002	09.03.01	19	11	8	19
Winter 2003	05.03.03	28	27	1	28
Winter 2004	05.03.04	21	19	2	21

VORLESUNGSREIHEN „INGENIEURWERKSTOFFE – BETON“
LECTURE COURSES “ENGINEERING MATERIALS - CONCRETE”
[COMMAS – E2-2]

PD J. Ozbolt (IWB)

Dieser Kurs gehört zum „Master of Science“ Studiengang in Computerunterstützter Mechanik von Materialien und Strukturen (COMMAS). Der Kurs hat zwar den gleichen Titel wie COMMAS C2 – Ingenieurwerkstoffe, aber E2-2 behandelt die numerische Modellierung von quasi-spröden Materialien, wobei C2 ein reiner Werkstoffkunde Kurs ist. Der Kurs E2, der früher gemeinsam vom Institut für Werkstoffe im Bauwesen (IWB), dem Institut für Geotechnik (IGS) und der Materialprüfungsanstalt (MPA) betreut wurde, ist letztes Jahr in drei getrennte Wahlkursen (E2-1, E2-2, E2-3) unterteilt wurden.

E2-2 handelt von der detaillierten 3D numerischen Modellierung von quasi-spröden Materialien. Nach einer Einführung in lineare Bruchmechanik und nichtlineare Bruchmechanik werden die Grundlagen der Schädigungs-, Plastizitäts-, Verschmiert- und Diskretriss und Mikroplanetheorie dargestellt. Anwendungen von diesen Theorien zur Beton werden betont. Außerdem wird über die speziellen Methoden für die Modellierung von quasi-spröden Materialien berichtet, die im Rahmen einer FE Analyse zu einer realistischen Modellierung solcher Materialien führen und die, die Grundlagen der nichtlinearen Bruchmechanik berücksichtigen.

This course is part of the Master of Science Program in Computational Mechanics of Materials and Structures (COMMAS). The course has the same title as COMMAS C2 – Engineering Materials, however, E2-2 focuses on aspects of computational modeling of quasibrittle materials, whereas C2 is purely a material science course. The course E2, which was previously jointly taught by the Institute of Construction Materials (IWB), the Institute of Geotechnical Engineering (IGS) and the State Material Testing Institute (MPA), was split into three separate elective courses (E2-1, E2-2, E2-3) last year.

In E2-2 the development of computational material models for detailed 3D analysis of quasibrittle materials is treated. After beginning with a general introduction to linear and nonlinear fracture mechanics, material models such as damage, plasticity, smeared and discrete crack and microplane are discussed. Strong emphasis is placed on the application of these models to concrete. The topics of regularization techniques and adaptive remeshing are also discussed.

Table 15: *Course Outline*

Introduction and course organization	<ul style="list-style-type: none"> * Course organization and outline * Quasibrittle materials and motivation for nonlinear analysis
Concrete material properties	<ul style="list-style-type: none"> * Review of concrete behavior in tension and compression * Extension to 3D

Modeling of concrete and fracture mechanics	<ul style="list-style-type: none"> * Basic frameworks for modeling of quasibrittle materials * Continuum / Combination continuum-discontinuum / Discrete * Linear Elastic Fracture Mechanics (LEFM) * Griffith & Irwin * Nonlinear Fracture Mechanics (NLFM) * Discrete crack concept / Smeared crack concept * Size effect
Plasticity models for concrete	<ul style="list-style-type: none"> * Associated vs. non-associated flow * Failure surfaces for quasibrittle materials
Damage mechanics	<ul style="list-style-type: none"> * Simple isotropic damage * Mazar's damage model for concrete * Other damage models
"The Smeared Crack Models"	<ul style="list-style-type: none"> * Fixed / Multi-direction fixed / Rotating * Stress locking
Microplane theory	<ul style="list-style-type: none"> * Concept and fundamental equations * Relaxation of kinematic constraint / Anisotropy / Model validation
Objectivity of the analysis (regularization) and new developments	<ul style="list-style-type: none"> * Crack band and higher order methods * Adaptive meshing
Course summary	

Table 16: Overview of Examinations for E2-2

Semester	Examination Date	Total No. of Students	Passed (Written)	Passed (Total)
Summer 2002	26.07.02	7	7	7
Summer 2003	13.08.03	5	5	5
Summer 2004	20.08.04	7	7	7

EINFÜHRUNG IN DIE INFORMATIK INTRODUCTION TO INFORMATICS

Dr.-Ing. J. Schwarte / Dipl.-Ing. J. Borrmann

Im Wintersemester 2003/2004 wurde die Lehrveranstaltung „Einführung in die Informatik“ für Studierende im ersten Semester des Bauingenieurwesens sowie der Immobilien-technik und –wirtschaft erstmals von Mitarbeitern des IWB durchgeführt. Die Veranstaltung setzt sich zusammen aus Vorlesungen (Dr. Schwarte) und Hörsaalübungen (Dipl.-Ing. Borrmann) im Umfang von je zwei Semesterwochenstunden sowie virtuellen Gruppenübungen, die unter Benutzung des Online-Kooperationssystems BSCW abgewickelt werden.

Starting in winter term 2003/3004 the course „Introduction to Informatics“ for students of civil engineering and engineering and economy of real estates in their first year is held by members of the IWB. The course consists of lectures (Dr. Schwarte) and exercises (Dipl.-Ing. Borrmann) with an extend of two hours per week each. These lectures and exercises are additionally supplemented by virtual group exercises, that are organized using the online cooperations software system BSCW.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die in den Vorlesungen behandelten Themen.

The following table shows the topics covered by the lectures.

Tabelle 17: *Themen und Stichworte / Topics and Keywords*

Nr.	Thema / Topic	Stichworte / Keywords
1	Algorithmen und Turing-Maschinen	Bsp.: Euklidischer Algorithmus; Berechenbarkeit; Halteproblem
2	Computer	Geschichtliche Entwicklung; Von-Neumann-Rechner; Betriebssysteme; Dateien und Dateisysteme; Kompatibilität
3	Programmiersprachen	Maschinenorientierte Programmierung; Assembler; Interpreter; Compiler; nichtprozedurale Sprachen; Programmierparadigmen
4	Programmierprinzipien	„Top-Down-Methode“; Rekursion; Iteration; Backtracking-Verfahren; Heuristik; „Teile und Herrsche“; Simulation
5	Vom Algorithmus zum Programm	Unterprogramme; Prozeduren; Funktionen; Ausdrücke; Operatoren; Beispiele in JavaScript
6	Tabellenkalkulation	Geschichtliche Entwicklung; Bsp.: Massenermittlung
7	Datenstrukturen	Graph, Baum; Liste; Adjazenzmatrix, Inzidenzmatrix, „Königsberger Brückenproblem“; Netzplan; Petry-Netze
8	Relationale Datenbanken	Normalformen; Entity-Relationship-Modell; Bsp.: Verwaltung eines Mietwohnhauses
9	Computernetzwerke	Topologien; Leitungsvermittlung; Paketvermittlung; Schichtenmodelle; Internet
10	Internet-Anwendungen 1	Ethernet; IP; ICMP; DNS
11	Internet-Anwendungen 2	UDP; TCP; FTP; E-Mail
12	Internet-Anwendungen 3	Usenet; WWW; Dynamische Webseiten
13	Wissensbasierte Systeme	Daten; Informationen; Wissen; Aussagenlogik; Prädikatenlogik; Bsp.: Prolog; Wissensrepräsentation; Semantisches Netz; Thesaurus; Glossare
14	Online Datenbanken	Suchen im WWW; Metadaten; „Semantic Web“
15	Sicherheit	Datenschutz; Viren; Zertifizierung; Redundanz; Kryptographie
16	Ausblick	Numerische Methoden; FEM; graphische Datenverarbeitung; CAD; CIM; Projektmanagement; AVA

Am Ende der Lehrveranstaltung steht eine zweistündige schriftliche Prüfung.

At the end of the course a two hours written examination has to be passed.

Die Daten der in den Berichtszeitraum fallenden Prüfungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

The following table shows the results of these examination.

Tabelle 18: *Schriftliche Prüfungen in „Einführung in die Informatik“*

Prüfungs- zeitraum	Teilnehmerzahl schriftliche Prüfung	Bestanden (schriftlich)	Teilnehmerzahl mündliche Ergänzungsprüfung	Bestanden (mündlich)	Bestanden (insgesamt)
F 2004	98	81 (83 %)	-	-	81 (83 %)
H 2004	12	9 (75 %)	1	1	10 (83 %)

SICHERE BEFESTIGUNGEN MIT DÜBELN – AUS- UND WEITERBILDUNG

Werner Fuchs und Rolf Eligehausen

Summary

A wide variety of fastening systems have been invented over the years to help achieve more flexibility in the planning, design and strengthening of concrete and masonry structures. The understanding of the behaviour of these fastening systems, the range of the fields of applications, the design methods and installation procedures have made significant advances in the past three decades. Although a large number of fasteners are installed every day, understanding in the engineering community about their design is very limited. Furthermore the installers are confronted with a bewildering multitude of fastening systems with different installation procedures, they have to consider for proper installation. In order to improve the general knowledge and awareness of both the engineers and installers in the field of fastening technology seminars with different focus were developed. This paper gives a brief overview on the different seminars, their targets and their content.

Zusammenfassung

Die Befestigungstechnikindustrie als eine der innovativsten Branchen hat in den vergangenen Jahren eine große Anzahl von Produkten mit dem Ziel entwickelt, die Planung, die Bemessung und das Verstärken von Beton- und Mauerwerkskonstruktionen flexibler zu gestalten. Das Verständnis des Tragverhaltens dieser Befestigungsmittel, die Art der Anwendungsgebiete, Bemessungsmethoden und Montageverfahren haben in den letzten dreißig Jahren entscheidende Fortschritte gemacht. Obwohl Dübel in großen Stückzahlen täglich eingebaut werden, ist das Verständnis der Bemessungsmethoden bei den Planern sehr eingeschränkt. Zudem sehen sich die Monteure mit einer Vielzahl unterschiedlicher Befestigungssysteme, die wiederum unterschiedliche Montageverfahren aufweisen, die sie für eine fachgerechte Montage beachten müssen, gegenübergestellt. Um das Allgemeinwissen von Planern und Monteuren in der Befestigungstechnik zu verbessern, wurden Seminare mit unterschiedlicher Zielrichtung entwickelt. Dieser Beitrag gibt einen kurzen Überblick über die verschiedenen Lehrgänge, ihre Zielrichtungen und Inhalte.

Der gerade in den beiden letzten Jahrzehnten zunehmende Druck, die Bauzeiten entscheidend zu reduzieren, hat in der Bauindustrie dazu geführt, dass ständig neue Baustoffe und Bauverfahren entwickelt werden. Hinzu kommt die Forderung nach mehr Flexibilität in der Planung, dem Entwurf sowie einfachen Mitteln zur Durchführung von Befestigungsaufgaben und Verstärkungsmaßnahmen von Bauwerken. Die Befestigungstechnikindustrie hat sich diesen Herausforderungen gestellt.

Dies führte zu einer rasanten Entwicklung von innovativen Befestigungsmitteln und ihrer verstärkten Verwendung für die Einleitung hoher und konzentrierter Lasten in Bauwerke

aus Beton und Mauerwerk. Verschiedenste Typen von Metallspreiz- und Hinterschnittdübeln sowie chemischen Befestigungssystemen mit durch Zulassungsbescheide nachgewiesener Leistungsfähigkeit stehen zur Verfügung, um ein großes Lastspektrum in einem weiten Bereich von Befestigungsaufgaben sicher und wirtschaftlich zu lösen. Der richtige Einsatz von Dübelssystemen führt zu Vorteilen im Bauablauf und steigert die Produktivität auf der Baustelle.

Vor wenigen Jahren war die Zahl der auf dem Markt befindlichen Produkte der Befestigungstechnik noch gut überschaubar. Inzwischen gibt es jedoch weit über 200 verschiedene Zulassungen allein für Dübelssysteme.

Diese große Produktvielfalt und der stetig wachsende Bereich der Anwendungen erfordern für einen optimalen Einsatz von Befestigungsmitteln von Planer und Anwender jedoch immer mehr Spezialwissen zur Funktionsweise von Dübelssystemen, deren Bemessung und Montage. Liegt dieses Wissen nicht vor, ist die Möglichkeit einer fehlerhaften Anwendung hoch.

Vorlesungen, Seminare und Schulungen sind Lösungsansätze zur Verringerung von Wissensdefiziten. Im folgenden wird beschrieben, wie Anwender von Befestigungsmitteln dazu in die Lage versetzt werden können, modernste Befestigungstechnik qualifiziert einzusetzen.

Analyse des Schulungsbedarfs

Inzwischen gibt es für nahezu jede Anwendung geeignete Befestigungsmittel aus Stahl und Kunststoff für die sichere und dauerhafte Lasteinleitung in den Untergrund. Die Dübel sind durch ihre unterschiedlichen Wirkungsprinzipien, Werkstoffe und Abmessungen den verschiedensten Anwendungen in Verankerungsgründen aus Stahlbeton und Mauerwerk angepasst. Die sichere Funktionsweise der Dübel wird durch eine Vielfalt von unterschiedlichen Zulassungsbescheiden der bauaufsichtlichen Stellen, die Vorschriften für die Anwendung, Bemessung und Montage der Dübel enthalten, sowie die Eigen- und Fremdüberwachung beim Hersteller sichergestellt. Für manchen Anwender sind die Dübelvielfalt und die zugehörigen Zulassungsbescheide kaum überschaubar. Dies führt teilweise zu Verwirrung und Unsicherheit bei den Anwendern.

Der richtige Einsatz von Dübeln auf der Baustelle ist jedoch sicherzustellen.

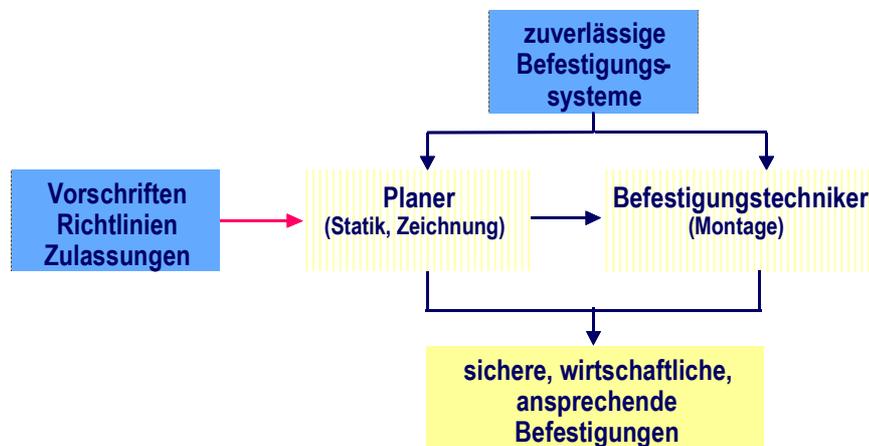


Bild 1: Erfolgsfaktoren für sichere Befestigungen mit Dübeln

Daher sollte die Wahl eines Befestigungsmittels zunächst auf folgender Frage beruhen: Welche Art von Befestigungsmitteln ist für die Lösung meines Befestigungsproblems am besten geeignet?

Die zweite Frage ist:

Wie kann ich die Leistungsfähigkeit des Befestigungsmittels bestmöglich ausnutzen?

Mit diesen Fragestellungen setzen sich im wesentlichen der Planer und der Ingenieur auseinander und entwerfen auf dieser Basis den Befestigungspunkt.

Die beste Dübelauswahl und sorgfältigste Entwurfsmethode nützen jedoch nichts, wenn das Befestigungsmittel nicht zuverlässig funktioniert oder nicht richtig montiert ist (Bild 1).

Die nationalen und europäischen Zulassungsbescheide setzen als selbstverständlich voraus, dass Dübel, die hohe Lasten übertragen sollen und in sicherheitsrelevanten Anwendungen verwendet werden, von erfahrenen Personen geplant und bemessen werden. Nachvollziehbare Berechnungen und Zeichnungen sind zu erstellen. Weiterhin wird gefordert, dass die Dübelmontage durch geschulte und erfahrene Monteure, möglichst geschulte Befestigungstechniker erfolgt.

Denn zuverlässige Verbindungen, basierend auf zuverlässigen Dübeln und rechnerischen Nachweisen, können nur durch die Zusammenarbeit von den beiden bei der Lösung einer Befestigungsaufgabe vor Ort Beteiligten: Planer und Monteur erreicht werden. Nachfolgend werden entsprechende Schulungskonzepte und -inhalte erläutert.

Schulung von Ingenieuren und Planern

Die Schulung von Ingenieuren und Planern beginnt bei der Ausbildung. So werden an der Universität Stuttgart seit 1985 neben Vorlesungen, in denen ein Überblick über die Befestigungstechnik gegeben wird, 2semestrige Vorlesungen angeboten, die es dem Hörer ermöglichen, für eine gegebene Anwendung das richtige Befestigungselement auszuwählen und nach nationalen und internationalen Regelungen zu bemessen. Behandelt werden Einlegeteile (u. a. Kopfbolzen, Ankerschienen), Dübel (Spreiz-, Hinterschnitt-, Verbund-, Kunststoff- und Injektionsdübel), Setzbolzen und Betonschrauben für Anwendungen in Beton und Mauerwerk. Berücksichtigt werden dabei u.a. Aspekte wie Korrosionsschutz und Feuerwiderstand. Weiterhin werden die Verstärkung von Bauteilen mittels geklebter Stahllaschen und CFK-Lamellen sowie auch nachträgliches Anschließen von Bauteilen mit eingemörtelten Bewehrungsstäben behandelt. Die Vorlesungen werden durch Laborübungen und Exkursionen zu Befestigungstechnikfirmen ergänzt. Eine ähnlich umfangreiche Vorlesung wird seit einem Jahr an der Universität Karlsruhe gehalten. Vorlesungen zur Vermittlung eines

Überblicks über die Befestigungstechnik haben inzwischen auch vereinzelt weitere Hochschulen eingeführt.

Für Ingenieure und Planer, die mitten im Berufsleben stehen, werden durch Weiterbildungsakademien wie z.B. das Haus der Technik, Essen und das TAE in Esslingen in regelmäßigen Abständen Befestigungstechnikseminare durchgeführt. Weiterhin bieten die Befestigungstechnikfirmen Schulungen für Ingenieure an, in denen aktuelle Befestigungsmittel präsentiert sowie Broschüren und Software zur Dübelauswahl und -bemessung erklärt werden. Teilweise behandeln diese Schulungen auch ganz gezielt Anwendungsgebiete, in denen Aktualisierungsbedarf gegeben ist.

Die Befestigungstechnikindustrie ist eine der innovativsten Branchen. Bemessungsverfahren und Zulassungsbescheide werden ständig und zwar nicht nur für neue sondern auch bestehende Produkte weiterentwickelt. Deshalb sollte sich diese Zielgruppe regelmäßig über Änderungen und Verbesserungen informieren bzw. durch die Befestigungstechnikfirmen informiert werden.

Schulung zur ‚Fachkraft für Befestigungstechnik‘

Im Juli 2002 wurde in Deutschland das erste ‚Kompetenzzentrum für Befestigungstechnik‘ im Bildungs- und Technologiezentrum (BTZ) der Handwerkskammer Heilbronn (HWK) eingeweiht.

Handwerk und Industrie waren sich einig, dass nach den heute bestehenden Lehrplänen auch noch so gut ausgebildete Gesellen oder Meister in den Bauhandwerksberufen i.d.R. nicht das geforderte Spezialwissen in der Befestigungstechnik besitzen, das der nach nationalen und internationalen Vorschriften geforderte ‚geschulte‘ Handwerker aufweisen sollte.

Der sichere Umgang mit Dübeln ist jedoch eine Grundvoraussetzung für die Herstellung von sicheren Befestigungen. Aus diesem Grund sehen die Zulassungsbescheide für nachträglich eingemörtelte Bewehrungsstäbe

bereits heute eine eintägige Schulung inkl. Prüfung des Baustellenfachpersonals durch eine vom Deutschen Institut für Bautechnik in Berlin anerkannte unabhängige Prüfstelle vor. Bisher gibt es allerdings noch keine gesetzliche Verordnungen hinsichtlich der Berechtigung zur Durchführung von Befestigungsarbeiten mit Dübeln. Unbestritten ist jedoch, dass qualifizierte „Befestigungstechniker“ für die sichere und wirtschaftliche Ausführung von Befestigungen sorgen sollen. Solange dieser Qualifizierungsnachweis nicht gesetzlich erforderlich ist, kann sein Vorliegen zu einem Wettbewerbsvorsprung führen.

Daher wurde der Weiterbildungslehrgang zur Qualifikation als „Fachkraft für Befestigungstechnik“ in Zusammenarbeit von HWK, IWB und eine namhafte Befestigungstechnikfirma konzipiert und umgesetzt. Voraussetzung für die Teilnahme ist eine bestandene Gesellen- oder Abschlussprüfung in einem anerkannten Ausbildungsberuf. Der in enger Abstimmung aller Beteiligten entwickelte Rahmenlehrplan, der ca. 40 Stunden praktische Laborübungen

beinhaltet, umfasst insgesamt 180 Stunden und vermittelt stark anwendungsorientiert Wissen zu den Themen: Befestigungstechnik in der Praxis, Umgebungsbedingungen, Einwirkungen und Widerstände, Verankerungsgründe, Verankerungsmittel aller massgeblichen Hersteller, Wirkprinzipien, Montagearten, Tragverhalten und Versagensarten, Regelungen und gesetzliche Bestimmungen, Grundlagen der Bemessung und Bemessungssoftware, Fehlanwendungen, Direktmontage, eingemörtelte Bewehrungsstäbe, Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und Haftungsfragen.

Mit der Genehmigung von Rahmenlehrplan und Prüfungsordnung durch das Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg wurde der Lehrgang von staatlicher Stelle anerkannt.

Bereits im Januar 2003 startete der Pilotlehrgang als Wochenendkurs und im Juli 2003 konnten nach bestandener Prüfung die bundesweit ersten 8 "Fachkräfte für Befestigungstechnik" benannt werden.



Bild 2: Die bundesweit ersten Fachkräfte für Befestigungstechnik mit Prüfungsausschuss

Die "Fachkräfte für Befestigungstechnik" sind durch den Abschluss des Lehrgangs dazu qualifiziert, in bestehenden und neu entwickelten Untergründen im Beton und Mauerwerksbau, darauf abgestimmte Befestigungssysteme sowie Auswahl- und Berechnungsverfahren korrekt und wirtschaftlich anzuwenden. Hierdurch sind sie kompetente Ansprechpartner für Architekten und Ingenieure. Nach dem Erfolg des ersten Lehrgangs an der HWK Heilbronn soll dieses Weiterbildungskonzept bundesweit angeboten und so für einen kontinuierlichen praxis- und nachfragegerechten Know-how-Transfer in der Befestigungstechnik gesorgt werden. Dabei wird angestrebt, dass sich auch andere namhafte Firmen der Befestigungstechnikindustrie an diesem Lehrgang durch Vorträge beteiligen.

Für die Montage von nachträglichen Bewehrungsanschlüssen ist allerdings nach wie vor eine Zusatzausbildung erforderlich.

Ausbildung zur Montage von nachträglichen Bewehrungsanschlüssen

Vergessene Bewehrungsstäbe nachträglich im Bauteil befestigen oder bei Um- und Neubauten Zusatz- und Anschlussbewehrungen nachträglich einbringen war über viele Jahre hinweg ein nicht geregeltes Gebiet. Die Konsequenzen, die aus einer fehlerhaften Anwendung entstehen, können sehr schwerwiegend sein. Daher haben die Zulassungseleitlinien in diesem Fall nicht nur die prinzipielle Eignung des Verankerungsmittels sondern zum ersten Mal auch der Ausführenden festgelegt.

Die Zulassungen für Produkte zur Erstellung von bauaufsichtlich relevanten nachträglichen Bewehrungsanschlüssen setzen voraus, dass nachträglich eingemörtelte Bewehrungen nur von Betrieben mit gültigem Eignungsnachweis durch Baustellenfachpersonal mit Bestätigung ausgeführt werden dürfen.

Die Eignung des Betriebs wird durch eine vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) anerkannte unabhängige Stelle überprüft und

vom DIBt widerruflich für 3 Jahre erteilt. Der Betrieb muss nachweisen, dass er qualifiziert geführt wird, Mitarbeiter mit ausreichende Kenntnissen im Stahlbetonbau besitzt, sowie Bauleiter und Baustellenfachpersonal mit Bestätigung der erfolgreichen Teilnahme an einer Schulung zur Montage nachträglicher Bewehrungsanschlüsse sowie die zur Montage erforderliche Ausrüstung vorhanden sind. In eintägigen Schulungen mit festgelegtem Lehrplan, die von den Herstellern der Befestigungssysteme angeboten werden, wird der sichere Umgang mit den aufeinander abgestimmten Montage- und Injektionswerkzeugen sowie mit den Auspressgeräten durch Referate und praktische Anwendungen vermittelt. Weiterhin werden häufig in der Praxis auftretende Fehler und deren Konsequenzen aufgezeigt. Die Schulung wird durch eine theoretische und praktische Qualifizierungsprüfung des Baustellenfachpersonals vor einer vom DIBt anerkannten unabhängigen Stelle abgeschlossen.

Damit sind für Architekten und Tragwerksplaner nur noch Betriebe mit Eignungsnachweis Ansprechpartner für die Ausführung von bauaufsichtlich relevanten nachträglichen Bewehrungsanschlüssen.

Monteurschulungen

Mit Monteurschulungen werden die reinen Anwender auf der Baustelle angesprochen. Monteurschulungen sollen zur Minimierung von für den Arbeitgeber „unproduktiven“ Zeiten möglichst kompakt und komplett, übersichtlich und "handfest" sein und alles Wissenswerte zu richtiger Montage, Sicherheit, gesetzliche Grundlagen und Vorschriften sowie Neuheiten von Befestigungsmitteln in Beton und Mauerwerk schnell und einfach vermitteln. Außerdem ist die Montage in der Praxis mit unterschiedlichen Dübeltypen zu schulen.

Dieser Aufgabe haben sich alle führenden Hersteller von Befestigungsmitteln durch den Aufbau von Schulungszentren und Akademien gestellt. Sie bieten nach nicht einheit-

lich festgelegten Lehrplänen produkt- und anwendungsbezogene Schulungen unterschiedlicher Dauer an, die i.d.R. mit einer Teilnahmebestätigung durch den jeweiligen Hersteller abgeschlossen werden.

Zertifizierter Befestigungstechniker

Eine über das übliche Mass hinausgehende Monteurschulung stellt die in 2003 begonnene Qualifizierung zum „Zertifizierten Befestigungstechniker“ dar. Hier haben sich das IWB und ein namhafter Hersteller von Befestigungsmitteln gemeinsam in Inhalt, Ablauf und Anforderungen des Schulungskonzepts eng an der Grundidee, eine nachgewiesene Ausbildung mit Prüfung vor neutraler Stelle, wie sie bereits bei den nachträglichen Bewehrungsanschlüssen umgesetzt wurde, orientiert.

Zunächst wurden Dübelfachleute des Herstellers in ca. 2wöchigen Seminaren des IWB, die mit einer Prüfung am IWB abgeschlossen wurde, zum „Trainer für Zertifizierte Befestigungstechniker“ anhand eines festgelegten Lehrplans in Theorie und Praxis ausgebildet. Besonderes Augenmerk der Trainerausbildung liegt auf der Vermittlung von Kenntnissen zu Auswahl und Anwendung von Befestigungsmitteln entsprechend den Umgebungsbedingungen, dem Tragverhalten und der Montage im Umfeld der geltenden baurechtlichen Vorschriften. Die Eignung zum Trainer wird durch eine Urkunde bestätigt und widerruflich für 3 Jahre erteilt.

Diese geprüften Trainer sind dazu berechtigt, ihr fachliches Wissen in 2½tägigen Schulungen zum „Zertifizierten Befestigungstechniker“ an Gruppen von maximal 15 Teilnehmern weiterzugeben. Der Lehrplan für die Schulungen wurde vom IWB ausgearbeitet und beinhaltet je etwa zur Hälfte Schulungsanteile von Theorie und Praxis. Neben Grundlagenwissen der Befestigungstechnik werden Zulassungen und Vorschriften zu den bauaufsichtlich relevanten Befestigungssystemen dieses einen Herstellers für eine Vielzahl von Anwendungen in Beton und

Mauerwerk erläutert. Weiterhin müssen die Seminarteilnehmer zur Übung des sicheren Umgangs mit Befestigungssystemen und Bohrwerkzeugen fachgerechte Dübelmontagen in gerissenem und ungerissenem Beton sowie Mauerwerk durchführen.

Der Lehrplan beinhaltet folgende Themen:

- Dübelanwendungen in der Praxis
- Umgebungsbedingungen
- Übertragbare Lasten
- Verankerungsgründe
- Haltemechanismen von Dübeln
- Montage
- Tragverhalten
- Brucharten
- Regelungen und gesetzliche Vorschriften
- Fehlanwendungen
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen
- Haftungsfragen
- Anwendungsbezogene Laborübungen

Anhand von Versuchen mit den gesetzten Dübeln lassen sich Unterschiede zwischen fehlerhaft und richtig gesetzten Dübeln schnell feststellen. Die Konsequenzen fehlerhafter Ausführung werden den Teilnehmern damit sofort vor Augen geführt und diskutiert.

Zum Abschluss des Lehrgangs prüft das IWB als neutrale Stelle die erarbeiteten Inhalte bei den Teilnehmern ab. Bei erfolgreichem Abschluss erhalten die Teilnehmer vom IWB, Universität Stuttgart den Titel „Zertifizierter Befestigungstechniker“ durch ein Zertifikat bestätigt.

Dieses Zertifikat dokumentiert, dass die Absolventen des Lehrgangs fachlich dazu in der Lage sind, Befestigungsmittel des Herstellers qualifiziert auszuwählen, korrekt anzuwenden und zu montieren. Die Gültigkeit beträgt drei Jahre. Aufgrund des schnellen Wandels und des hohen Innovationspotentials in der Befestigungstechnik ist nach Ablauf dieser Zeit ein Auffrischungslehrgang mit erneuter Prüfung zu absolvieren.

Die Autoren würden sich wünschen, wenn im Sinne der weiteren Verbesserung der Sicherheit in der Befestigungstechnik das Ausbildungskonzept für „Zertifizierte Befestigungstechniker“ auch von anderen Herstellern von

Befestigungsmitteln übernommen werden würde.

Damit wäre dann von Herstellerseite ein Qualitätssiegel im Hinblick auf die Berechtigung zur Durchführung von Befestigungsarbeiten geschaffen.

**UNTERSUCHUNG DES ERSTARRUNGSVERHALTENS UND DER DICKE
VON BETON MIT DEM IMPACT-ECHO-VERFAHREN
EVALUATION OF SETTING TIME AND THICKNESS OF CONCRETE
USING THE IMPACT-ECHO METHOD**

von/ by: R. Beutel, C. Leuze

Zusammenfassung

Für die Verbesserung der Qualitätskontrolle von neu errichteten Bauwerken ist es ein großer Vorteil, den Beton bereits während der Erhärtung kontrollieren zu können. Hierzu gehört die Überprüfung des Erhärtungsverlaufs und der geforderten Bauteildicke. Um dieses Ziel erreichen zu können, wurden am Institut für Werkstoffe im Bauwesen erste Versuche durchgeführt, den Beton schon während des Abbindens auf seinen Erhärtungsverlauf hin und die Dicke der Betonschicht zu kontrollieren. Verwendet wurde hierzu das Impact-Echo-Verfahren. Die Untersuchungen wurden im Rahmen einer durch die DFG geförderten Forschergruppe „FOR 384“ /9/ durchgeführt.

Das Impact-Echo-Verfahren

Beim Impact-Echo-Verfahren wird mittels einer kleinen Stahlkugel ein Impact auf der Betonoberfläche erzeugt. Die dadurch generierten Schallwellen breiten sich im Bauteil aus und werden an Grenzflächen (z. B.: Beton-Luft) reflektiert. Mittels eines Sensors werden die Wellen aufgezeichnet und an eine Messkarte übertragen. Die Daten werden dann mit Hilfe der Softwareprogramme FreshCon /7/ und IEDA /1/ ausgewertet. Mittels einer durchgeführten Fouriertransformation wird das Frequenzspektrum der aufgezeichneten Signale ermittelt und die Resonanzfrequenz f_R bestimmt. Bei bekannter P-Wellengeschwindigkeit c_P kann dann mit der Formel

$$d = \frac{c_P}{2 \cdot f_R} [m]$$

die Dicke d einer Betonplatte bzw. die Tiefe einer Fehlstelle bestimmt werden /8/.

Abstract

To implement an improvement of quality control for new buildings, it is an advantage to make controlling the concrete during hardening possible. For this, it is necessary, that the control of hardening and demanded thickness is part of the examination. To achieve that aim, first investigations during hardening are done with the impact-echo method on the Institute of Construction Materials. These tests were carried out within the research group “FOR 384” /9/, established by the German Research Society (DFG).

The impact-echo method

An Impact is generated by dropping a small steel ball on the surface of the specimen. This generates a sound wave which propagates in the structural member. At an interface (such as concrete-air) the sound wave will be reflected and moves back to the top of the surface. There, a sensor measures the vibrations and transfers the signals to a data acquisition set. The data are analysed with the aid of the software programs FreshCon /7/ and IEDA /1/. The frequency spectra is calculated by Fast-Fourier-Transform and the frequency f_R can be determined by the dominant frequency. If the velocity c_P of the p-wave is known, the thickness d of a plate or the depth of a flaw can be calculated by following equation /8/:

$$d = \frac{c_P}{2 \cdot f_R} [m].$$

Experimentelle Untersuchungen

Die P-Wellengeschwindigkeit c_p ist eine Größe, die mit der Festigkeit des Mediums korreliert. Ändert sich nun die Festigkeit des Mediums, wie z.B. bei der Erhärtung von Beton, so kann die Bestimmung der Dicke nicht aus der Messung des Frequenzmaximums bei konstanter Geschwindigkeit erfolgen. Es ergibt sich folgender zeitabhängiger Zusammenhang:

$$d = \frac{c_p(t)}{2 \cdot f_R(t)} [m]$$

In der vorliegenden Untersuchung /2/, wurde mittels Impact-Echo-Messungen der Erhärtungsverlauf von Beton, bzw. der Verlauf der Resonanzfrequenz ermittelt.

Das Versuchsprogramm umfasste mehrere Impact-Echo Messungen an 80 x 80 cm² großen, unbewehrten Plattenelementen. Die Betonmischung blieb für alle Untersuchungen annähernd gleich. Variiert wurde lediglich die Plattendicke. Der Versuchsaufbau ist in *Figure 1* dargestellt. Die Schallwellen wurden mittels eines Kugelgebers USIP erzeugt. Hierzu wurde für die Ultraschallanregung eine 4 mm große Kugel auf eine an der Oberfläche des Betons angebrachte Plexiglasplatte geschossen. Zur Schallaufzeichnung wurde ein breitbandiger Sensor verwendet.

Experimental Details/ setup

The strength of a medium correlates with the velocity c_p . When strength is changing e.g. at hardening of concrete, the thickness can't be calculated by the maximum frequency peak assuming a constant velocity. In this case, following time-dependant correlation is given by:

$$d = \frac{c_p(t)}{2 \cdot f_R(t)} [m]$$

In the present investigation /2/, impact-echo measurements has been implemented during hardening of concrete. The time dependent progression of hardening and the frequency $f_R(t)$ were determined.

The experimental program includet several impact-echo measurements on 80 x 80 cm² nonreinforced concrete plates. The mixture was equal to all specimens, only the thickness of the plates was varied. The experimental setup is shown in *figure 1*. For generating sound waves the impactor USIP has been used, shooting a 4 mm steel ball on a plexiglass plate, lied on the top of the specimen. Then, a broadband transducer recorded the signals on the surface of the slab.

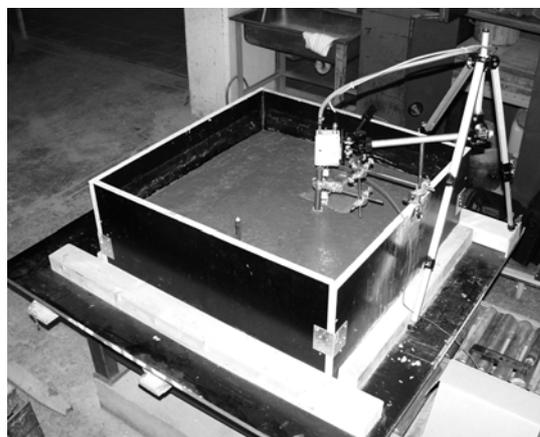


Figure 1: Messaufbau der Impact-Echo-Messungen an Frischbeton

Parallel dazu wurde die sich mit der Erhärtung des Betons ändernde P-Wellengeschwindigkeit an einem separaten Gefäß nach /6/ aufgezeichnet. Mit dem so ermittelten zeitlichen Verlauf der Geschwindigkeit konnte der erwartete Verlauf der Resonanzfrequenz $f_{R,e}(t)$ berechnet werden. Er diente als Bezugsgröße für die aus den IE-Messungen ermittelten Frequenzspektren.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der bisher durchgeführten Untersuchungen zeigen eine Zunahme höherfrequenter Signalanteile bei zunehmender Erhärtung des Betons. Dies ist in den folgenden Abbildungen (*Figure 2* und *3*) dargestellt. Aufgetragen ist hier der Frequenzgehalt in Abhängigkeit vom Alter des Frischbetons, die Amplituden sind dabei farblich kodiert. Ab etwa 3,5 Stunden nach Wasserzugabe verändert sich der Frequenzgehalt der Impact-Echo Signale, bis sich ab etwa 10 Stunden ein gleichmäßiges Frequenzbild einstellt. Die Frequenzbreite der Signale ist am Anfang klein, es werden zudem nur tieffrequente Signale übertragen. Dies geschieht aufgrund der Dämpfung insbesondere hoher Frequenzen im noch flüssigen Medium. Mit zunehmender Erhärtung kehrt sich dieser Effekt um und es werden breitbandigere Signale mit höheren Frequenzanteilen übertragen. Die Frequenzbilder liefern somit, zusammen mit den Verläufen der P-Wellengeschwindigkeiten, einen Indikator für den jeweiligen Erstarrungszustand des Betons.

At the same time, velocity of the p-waves was measured changing during time on a separate container, according to /6/. With this time dependent progression of velocity, the expected frequency $f_{R,e}(t)$ was calculated. This frequency served as a reference value for the frequency spectrums determined by the impact-echo measurements.

Test Results

The results of the investigations carried out so far, show an increasing of higher frequencies during hardening of concrete (*figure 2* and *3*). In this figures, the frequency content of each signal is plotted versus concrete age, the amplitudes are plotted monochrome. Effective from 3.5 hours after adding water to cement mixture, the frequency content of the recorded signals changes. From about 10 hours, the frequency distribution is equally. At the beginning, the frequency broad is small and only low frequency signals are transmitted, because of attenuation of high frequencies at early age. This effect inverts with increasing hardening and more broadband signals including higher frequencies are transmitted. Together with the progression of velocity, the frequency images act as an indicator for the respecting setting time of concrete.

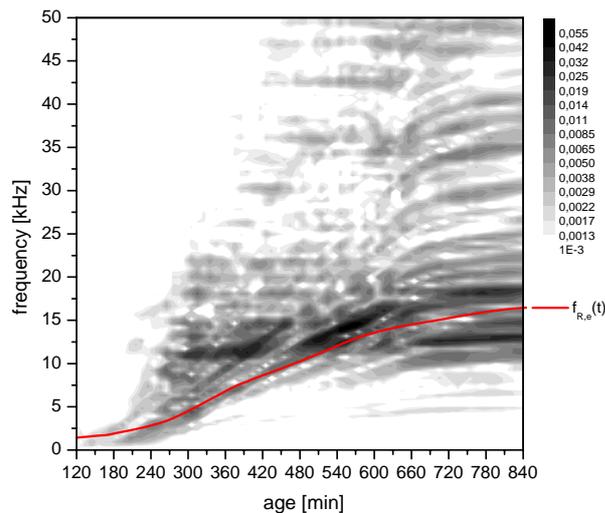


Figure 2: Frequenz- Contourplot der Impact-Echo Messung an einer 10 cm dicken Platte

Die in den Abbildungen *Figure 2* und *Figure 3* dargestellten Ergebnisse einer 10 cm und 20 cm dicken Betonplatte zeigen zudem, dass bei dickeren Platten die Maximal-Amplituden der Frequenzen geringer sind als die bei dünneren. Die höheren Frequenzanteile sind dadurch in der obigen Darstellungsart bei der 20 cm dicken Platte weniger stark ausgeprägt. In beiden Abbildungen gibt es eine recht gute Übereinstimmung zwischen der sich aus den Maximalpeaks ergebenden Frequenzbänder und dem aus der Durchschallungsmessung berechneten zeitlichen Verlauf der Resonanzfrequenz $f_{R,e}(t)$.

In *Figure 4* ist exemplarisch der zeitliche Verlauf der maximalen Peaks aller FFTs aus der Impact-Echo-Messung an der 10 cm dicken Platte berechnet und der Resonanzfrequenz $f_{R,e}(t)$ gegenübergestellt. Zur besseren Veranschaulichung ist der Verlauf der Peaks zusätzlich als gleitender Durchschnitt dargestellt. In diesem Ergebnis lässt sich vor allem im Anfangsbereich eine gute Übereinstimmung des Verlaufs beider Kurven erkennen.

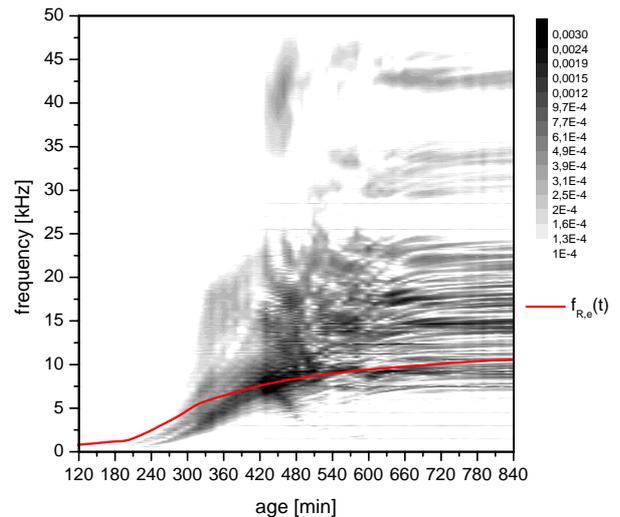


Figure 3: Frequenz- Contourplot der Impact-Echo Messung an einer 20 cm dicken Platte

Furthermore the results of a 10 cm and 20 cm thick concrete slab in *figure 2* and *3* show a lower amplitude on a slab with larger thickness. Thus, on the 20 cm thick slab, the higher frequencies exist less. In both figure, there is a good agreement between the progression of the maximum frequency values and calculated frequency $f_{R,e}(t)$.

Exemplary, in *figure 4* the progression of maximum peaks of all ffts from the impact-echo measurement on the 10 cm thick slab is displayed and faced with the frequency $f_{R,e}(t)$. For comparison, the moving average of the maximum frequency peaks is shown additionally. In the early age, this result shows a very good agreement between the progression of both curves, maximum peaks and $f_{R,e}(t)$.

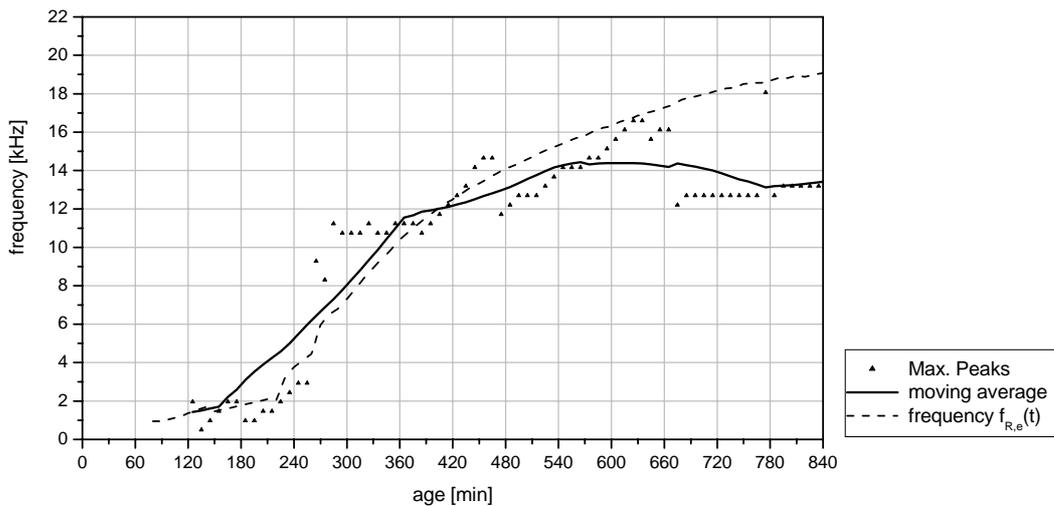


Figure 4: Zeitlicher Verlauf der maximalen Frequenzpeaks und der Resonanzfrequenz $f_{R,e}(t)$.

Fazit und Ausblick

Wie die ersten Ergebnisse laufender Untersuchungen zeigen, bietet die Impact-Echo-Methode eine Möglichkeit, den Erstarrungsverlauf von Beton zu bestimmen. Der zeitliche Verlauf der Resonanzfrequenz ist aus den Frequenzbildern nur bedingt zu erkennen. Um die Dicke während der Erhärtung von Beton möglichst genau zu einem frühen Zeitpunkt ermitteln zu können, sind weitere Versuchsreihen notwendig. Durch eine Weiterentwicklung der Versuchstechnik und neuere Auswertemethoden, wie die Waveletanalyse, werden weitere, in ihrer Aussage verbesserte Ergebnisse erwartet.

Conclusion

As the first investigations has shown, the impact-echo method is able to control the hardening process of concrete. The time dependent progression of the frequency $f_R(t)$ can be recognised conditionally on the frequency images. To be able to determine the thickness at early age, further investigations are necessary. By futher developments of the experimental system and newer evaluation methods, like the Wavelet-Transformation, improved results are expected.

Literatur / References

- /1/ Bahr, G.: *IEDA – Impact-Echo Data Analysing Program. Handbuch zu Version 1.20*, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, 2003.
- /2/ Leuze, C.: *Zerstörungsfreie Prüfung von Frischbeton mit der Impact-Echo-Methode – Gleichzeitige Bestimmung der Dicke und des Erhärtungsgrades*. University of Stuttgart, Construction Materials Institute (IWB), thesis, 2003.
- /3/ Pessiki, S.P.; Carino, N.J.: *Measurement of Setting Time and Strength of Concrete by the Impact-Echo Method*, NBSIR 87-3575, National Bureau of Standards, July 1987, 121 pp.
- /4/ Pessiki, S.P.; Carino, N.J.: *Setting Time and Strength of Concrete using the Impact-Echo Method*, ACI Materials Journal, Vol.85, No.5, September-October 1988, pp. 389-399
- /5/ Pessiki, S.P.; Johnson, M.R.: *Nondestructive Evaluation of Early-Age Concrete Strength in Plate Structures by the Impact-Echo Method*, ACI Materials Journal, Vol.93, No.3, May-June 1996, pp. 260-271
- /6/ Reinhardt, H.-W.; Große, C.; Herb, A.: *Kontinuierliche Ultraschallmessung während des Erstarrens und Erhärtens von Beton als Werkzeug des Qualitätsmanagements*. In: Hefte des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton DafStb 490. 1999, S.21-64.
- /7/ Ruck, H.-J.; Grosse, C.; Reinhardt, H.-W.; Bahr, G.; Schlaich, P.: *FRESHCON 2.0 - Software for data acquisition and data analysis*. In: Otto Graf Journal (2000), Vol. 11, pp 49-58.
- /8/ Sansalone, M.; Streett, W.: *Impact-Echo - Nondestructive Evaluation of Concrete and Masonry*, Bullbrier Press, Ithaca N.Y. 1997
- /9/ www.for384.uni-stuttgart.de, Homepage of the research project "FOR 384"

ERFORDERLICHE STEIFIGKEIT VON ANKERPLATTEN NECESSARY STIFFNESS OF BASEPLATES

von/by: S. Fichtner

Einleitung

Mit der CC-Methode können nahezu beliebige Befestigungen mit Ankerplatten in Beton- und Stahlbetonbauteilen bemessen werden.

Zunächst müssen aus den an der Ankerplatte angreifenden Schnittkräften die Widerstände der einzelnen Befestigungsmittel einer Gruppe berechnet werden. Die Berechnung der Kräfte in den Bolzen oder Dübeln erfolgt auf der Grundlage der Elastizitätstheorie (CEB (1997) und EOTA (1997)).

Dabei werden folgende Annahmen getroffen (vgl. Abb. 1):

- Die Ankerplatte ist unendlich steif (entspricht der Bernoulli-Hypothese im Stahlbetonbau)
- Die Dehnsteifigkeit der Befestigungsmittel entspricht der Stahlsteifigkeit der Bolzen. Der Schlupf der Befestigungsmittel wird vernachlässigt.

Der E-Modul des Betons hängt von der Betondruckfestigkeit des verwendeten Betons ab, darf aber nach CEB (1997) bzw. EOTA (1997) zu $E_c = 30.000 \text{ N/mm}^2$ angenommen werden.

Introduction

Using the CC-Method a large variety of fastenings with baseplates in (un-)reinforced concrete can be designed.

First the static forces in the anchor group have to be calculated by taking into account the actions on the baseplate.

The calculation of the static forces in the fasteners is based on the elasticity theory (see CEB (1997) or EOTA (1997)).

Therefore the following conditions are assumed (see Fig. 1):

- The baseplate has to be stiff (corresponding to the "Bernoulli-Hypothesis" for structural engineering)
- The stiffness of the fasteners is equal to the steel stiffness of itself. The slip of the fasteners will not be taken into account.

The E-Modulus for concrete is depending on the concrete strength, but according to CEB (1997) / EOTA (1997) it can be set to $E_c = 30.000 \text{ N/mm}^2$.

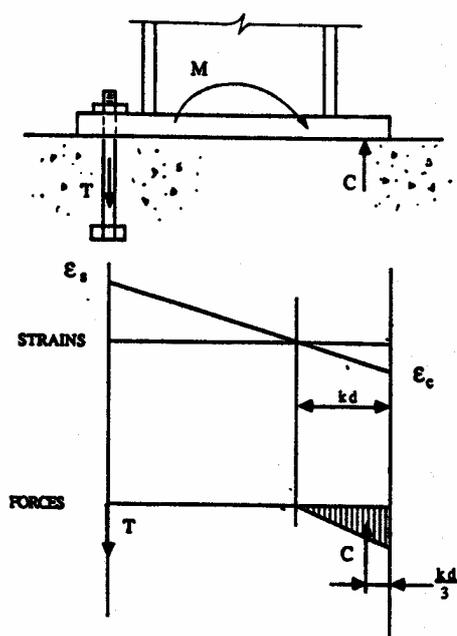
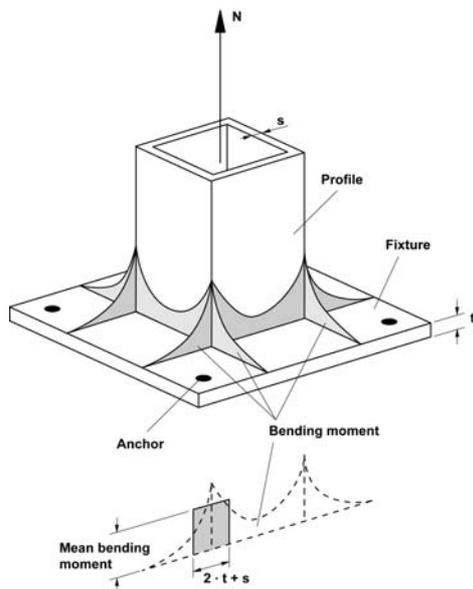


Abb. 1: Spannungs- und Dehnungsverteilung bei Annahme einer starren Ankerplatte

Fig. 1: Stress and strain distribution assuming a stiff baseplate

Die erforderliche Dicke der Ankerplatte wird derzeit im CC-Verfahren über die maximal zulässige Biegespannung ermittelt. Über einen Bereich von $2 \cdot t + s$ wird die mittlere Biegespannung bestimmt. Diese darf den Bemessungswert der zulässigen Stahlspannung nicht überschreiten (1). Die Berechnung der erforderlichen Plattendicke wird iterativ durchgeführt, bis dieses Kriterium eingehalten wird.

$$\sigma_{sd} \leq f_{yd} \quad (1)$$



The necessary baseplate thickness is actually calculated with the CC-Method by taking into account the permissible bending tension. Therefore the average of the bending stresses in an area $2 \cdot t + s$ is calculated and has to be lower than the permissible steel tension (1). This iteration will be continued until this criterion is kept.

Abb. 2: Ermittlung des maßgebenden Biegemomentes (Mallée/Burkhardt (1999))

Fig. 2: Determining the considerable bending moment (Mallée/Burkhardt (1999))

Im Folgenden werden Befestigungen mit Ankerplatten betrachtet, in denen als Beanspruchungen Normalkräfte N und Biegemomente M_x und M_y aufgebracht werden. Diese rufen Zugkräfte in den Befestigungsmitteln und Druckkräfte zwischen Ankerplatte und Beton hervor.

In the following studies normal forces N and bending moments M_x and M_y are applied on fastenings with baseplates. These loads are creating tension forces in the fasteners and pressure between the baseplate and the concrete.

Bisherige Untersuchungen

Schneider (1999) führte Finite-Element-Rechnungen an Befestigungen mit vier Dübeln unter Biegung um eine und zwei Achsen mit einer Drucknormalkraft durch. Es wurden vergleichsweise geringe Verankerungstiefen und große Achsabstände zwischen den Befestigungsmitteln gewählt. Des Weiteren wurde die Position des Anbauteils auf der Ankerplatte variiert (Abb. 3).

Overview

Schneider (1999) did perform finite-element studies on fastenings with four anchors and bending in one and two directions combined with a normal pressure force. Compared to the embedment depth the distances between the anchors were very large. Furthermore the position of the profile on the baseplate varied (Fig. 3).

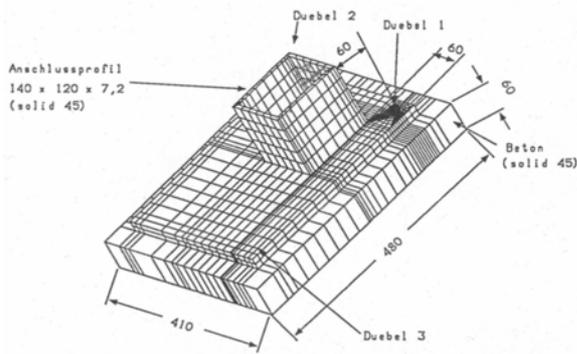


Abb. 3: FE-Modell mit exzentrisch angegeschlossenem Profil (Schneider (1999))

Fig. 3: FE-Model with eccentrically mounted profile (Schneider (1999))

Mallée/Burkhardt (1999) ergänzten diese Untersuchungen durch experimentelle und numerische Studien an Gruppen mit 4 Dübeln unter einer (ex-)zentrischen Zugnormalkraft und mittig angeordnetem Profil.

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die durchgeführten Versuche.

Mallée/Burkhardt (1999) additionally did experimental and numerical tests with a group of four anchors and a (ec-)centrically normal tension force and a centrally welded profile.

In Table 1 an overview of the numerical and experimental tests is listed.

		s_x	s_y	Profile l_x	Profile l_y	e_1	e_2	N [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	Anchor stiffness	t_{fix}
Schneider (1999)	sym. loaded baseplate					-	-					30
						-	-					25
						-	-					22
						-	-					20
						-	-					18
						-	-					16
	asym. loaded baseplate	350	280	140	120	-	-	-	-	-	24	30
						-	-					25
						-	-					22
						-	-					20
						-	-					18
						-	-					16
asym. loaded baseplate, ecc. profile					70	45					30	
					-	-					25	
					-	-					22	
					-	-					20	
					-	-					18	
					-	-					16	
Mallée/Burkhardt (1999)	200/200, small profile, bending one direction	200		80	80	-	-	0.0	5.6	0.0	40	24
						-	-	5.0	5.0	0.0		24
						-	-	-6.1	6.1	0.0		26
						-	-	0.0	3.3	3.3		29
						-	-	3.1	3.1	3.1		28
						-	-	-3.5	3.5	3.5		31
	200/500, small profile, bending one direction	500	200	200	200	-	-	0.0	13.2	0.0	33	
						-	-	10.6	10.6	0.0	33	
						-	-	-16.1	16.1	0.0	38	
						-	-	0.0	4.9	4.9	29	
						-	-	4.4	4.4	4.4	29	
						-	-	-5.3	5.3	5.3	31	
200/500, large profile, bending one direction	500		400	400	-	-	0.0	13.2	0.0	20		
					-	-	10.6	10.6	0.0	20		
					-	-	-16.1	16.1	0.0	20		
					-	-	0.0	4.9	4.9	20		
					-	-	4.4	4.4	4.4	20		
					-	-	-5.3	5.3	5.3	20		

Tabelle 1: Zusammenstellung der experimentellen und numerischen Untersuchungen

Table 1: Summary of experimental and numerical tests

Während *Schneider (1999)* feststellte, dass die Beanspruchungen in den Befestigungsmitteln im Vergleich zu den Werten nach dem CC-Verfahren teilweise stark überschritten wurden, stimmten die Ergebnisse der experimentellen und numerischen Untersuchungen von *Mallée/Burkhardt (1999)* gut mit den Werten der CC-Methode überein.

Die Vorgabe einer Spannungsbegrenzung erachtet *Schneider (1999)* für allgemeine Fälle als nicht ausreichend. Daher sei eine genauere Beschreibung des Ankerplattenproblems in der Zulassung erforderlich, was zusätzliche Forschung auf diesem Gebiet erforderlich macht.

Finite-Element Rechnungen

Die Beobachtung von *Schneider (1999)*, dass die Beanspruchungen der einzelnen Befestigungsmittel innerhalb einer Ankerplatte im Gebrauchszustand höher sein können als es nach der Elastizitätstheorie derzeit ermittelt wird, lässt vermuten, dass auch die mittlere Bruchlast einer Konstruktion herabgesetzt wird. Um die Parameter, die im Wesentlichen für die erhöhte Beanspruchung der Befestigungsmittel verantwortlich sind, herauszuarbeiten, wurden in Anlehnung an die numerischen Berechnungen von *Schneider (1999)* erste Finite-Element-Rechnungen mit dem Programm MASA durchgeführt.

Es wurden Gruppen mit 4 und 6 Kopfbolzen unter einachsiger Biegung sowie Gruppen mit 4 Bolzen unter zweiachsiger Biegung getestet. Zusätzlich wurde die Position des Anbauteils auf der Ankerplatte variiert (Tabelle 2).

While *Schneider (1999)* determined, that the stresses in the tensioned bolts were partly very much larger than the values calculated with the CC-Method, the results from *Mallée/Burkhardt (1999)* did match the values of the elasticity theory very well.

The limitation of the bending stresses in the plate is not satisfactory for common applications of baseplates (*Schneider (1999)*). Therefore a more precise description of the baseplate design in the approvals should be developed. This requires further research in this area.

Finite-element calculations

Referring to the observation from *Schneider (1999)* concerning the stresses in the fastenings to be higher than calculated in the serviceability limit state, it is very likely to expect, that the ultimate load of such a construction will be reduced. To get the parameters, which may have a significant influence on the bolt stresses, some numerical calculations were performed, which based on the models from *Schneider (1999)*. The calculations were done with the program MASA (IWB).

Groups with 4 and 6 anchors with bending in one direction and with 4 anchors with bending in two directions were simulated. Additionally the profile was moved on the baseplate (see Table 2).

	s_x	s_y	Profile I_x	Profile I_y	e_1	e_2	N_{CC} [kN]	N_{FE} [kN]	Anchor stiffness	$t_{fix,CC}$	t_{fix}	$F_{u,FE}/F_{u,CC}$
4 bolts, bending in one direction, centr. profile	350	280	140	120	-	-	48,2	46,3	163	22,2	20	0,96
								49,5	163	22,2	34	1,03
								57,6	163	22,2	70	1,20
4 bolts, bending in one direction, eccentr. profile					70	-		34,3	163	29,3	26	0,71
								41,3	163	29,3	43	0,86
								56,3	163	29,3	85	1,17
6 bolts, bending in one direction, centr. profile	480	280	160	120	-	-	80,9	78,6	163	30,2	28	0,97
								71,9	163	30,2	46	0,89
								92,5	163	30,2	90	1,14
6 bolts, bending in one direction, eccentr. profile					100	-		41,8	163	42	40	0,52
								55,9	163	42	67	0,69
								87,9	163	42	130	1,09
4 bolts, bending in two directions, centr. profile	350	280	140	120	-	-	35,8	34,3	163	22,9	20	0,96
								34,9	163	22,9	34	0,98
								42,4	163	22,9	70	1,19
4 bolts, bending in two directions, eccentr. profile					70	46		20,1	163	28,5	26	0,56
								23,6	163	28,5	43	0,66
								38,2	163	28,5	85	1,07

Tabelle 2: Zusammenstellung der FE-Rechnungen und Ergebnisse

Table 2: Summary of the FE calculations and results

Um den Einfluss der Ankerplattendicke zu studieren, wurden drei Plattendicken verwendet. Neben der Plattendicke, die sich unter den Bemessungswiderständen der Bolzen ergibt, wurde auch die erforderliche Plattendicke eingesetzt, welche bei Ansatz der mittleren Bruchlast der Befestigungsmittel ermittelt wird. Zusätzlich wurden die Bruchlasten der Konstruktion mit der doppelten Plattendicke (sehr steif) berechnet.

Ergebnisse

Bei allen bisherigen Tastrechnungen ergab sich ein Versagen der Konstruktion durch Betonausbruch der zugbeanspruchten Kopfbolzen. Die mittlere Betonausbruchlast der Bolzen stimmte gut mit den Werten nach dem CC-Verfahren überein.

Bei einer Gruppe mit 4 Bolzen und zentrisch angeschlossenem Profil wurde eine mittlere Bruchlast der Konstruktion bei allen drei Plattendicken erreicht, wie sie nach dem CC-Verfahren ermittelt wird. Dies gilt auch für die anderen beiden Bolzengruppen mit zentrisch angeschweißtem Profil.

Wird das Anbauteil auf der Ankerplatte hin zu den zugbeanspruchten Befestigungsmitteln verschoben, kann die Maximallast der Konstruktion deutlich geringer sein als die nach dem CC-Verfahren ermittelten Werte.

To catch the influence of the baseplate thickness, three different ones were used. First the thickness is used calculated with the design resistances of the fasteners. In the second case the thickness were designed by using the ultimate loads of the fasteners. The third simulation used a baseplate, which was twice thick (very stiff).

Results

In all calculations concrete cone breakout of the tensioned bolts was the reason for the failure of the construction. The ultimate tension load in the bolts corresponded very well with the values according to the CC-Method.

A group with 4 anchors and a centrally welded profile reached the ultimate load, which is calculated with the CC-Method, in all three cases of plate thicknesses. The other two bolt/force arrangements with centrally mounted columns showed the same results.

If the attached profile was positioned towards the tensioned fasteners, the ultimate load of the construction in the simulation was lower than the value calculated with the CC-Method.

Wird die Ankerplatte unter Einhaltung der Bemessungswiderstände der Bolzen bemessen, so verringert sich die Bruchlast bei einer Gruppe mit 4 Bolzen unter einachsiger Biegung um ca. 30%. Betrachtet man hingegen Gruppen mit 6 Bolzen und einachsiger Biegung bzw. Gruppen mit 4 Bolzen und zweiachsiger Biegung, so wurde die Bruchlast der Konstruktion gemäß dem CC-Verfahren um ca. 46% unterschritten (Tabelle 2).

Für die Abminderung der Maximallast ist die Verringerung des Hebelarms der inneren Kräfte verantwortlich. Durch einen kleineren Hebelarm sind die Kräfte in den zugbeanspruchten Bolzen größer als es bei gleicher äußerer Last nach dem CC-Verfahren berechnet wird.

Grund für die Verkürzung des inneren Hebelarms ist die Druckkraft zwischen Ankerplatte und Beton. Sie „wandert“ bei fortschreitender Durchbiegung der Ankerplatte in Richtung des Anbauteils. Ist dieses weit vom gedrückten Plattenrand entfernt, so kann die Druckkraft den inneren Hebelarm und somit die Bruchlast der Konstruktion erheblich verringern.

Zur Quantifizierung und Verallgemeinerung der bisherigen Ergebnisse sind weitere Forschungsarbeiten erforderlich.

Zusammenfassung

Erste numerische Untersuchungen haben gezeigt, dass die Bemessung der Ankerplattendicke nach der Elastizitätstheorie, wie sie im CC-Verfahren vorgeschrieben ist, in den meisten Anwendungsfällen ausreichend genaue Ergebnisse liefert. Bei einigen Konstruktionen kann die Bruchlast jedoch deutlich geringer sein als sie mit der erforderlichen Plattendicke nach dem CC-Verfahren ermittelt wird.

Im Wesentlichen stellten sich in den Finite-Element-Rechnungen zwei Einflüsse für die Verringerung der Maximallast der Konstruktion heraus. Sowohl ein sehr steifes Befestigungsmittel als auch ein sehr großer Abstand zwischen Anbauteilrand und gedrücktem Ankerplattenrand bewirken eine höhere Beanspruchung der Befestigungsmittel und somit eine geringere mittlere Bruchlast der Konstruktion.

By using the necessary plate thickness, which is determined with the design values for the resistances of the bolts, the ultimate load of the construction with 4 bolts and bending in one direction was 30% lower than the value according to the CC-Method. For groups with 6 bolts and bending in one direction or with 4 bolts and bending in two directions the maximum load of the construction was nearly 46% lower than the calculated value of the CC-Method (see Table 2).

The reason for the reduction of the ultimate load comes from a shorter lever arm of the static forces. Due to a shorter lever arm the forces in the tensioned fasteners are higher than calculated by the CC-Method at the same load level.

The cause for this shorter inner lever arm is the pressure force between the baseplate and the concrete. Due to proceeded bending of the baseplate this force is moving towards the welded profile. If this one is far away from the pressed baseplate edge, the pressure force is reducing the inner lever arm and therefore the ultimate load of the construction very much.

To quantify the influences and make them available for the design method, further research is necessary.

Summary

First numerical analyses showed that the design of baseplates according to the elasticity theory, which has to be used with the CC-Method, in most applications leads to satisfactory results. Nevertheless some constructions which are designed with the necessary baseplate thickness do not reach the ultimate load according to the CC-Method at all.

Overall the Finite-Element simulations emphasised two main influences which lowered the ultimate load of the constructions. As well as very stiff fasteners a large distance between the profile and the pressed baseplate edge lead to higher stresses on the bolts and less ultimate load of the construction.

Aufgrund der großen Diskrepanz zwischen den Werten nach dem CC-Verfahren und realen Ankerplattenverhalten besteht größerer Forschungsbedarf. In einem folgenden Forschungsvorhaben werden die Parameter qualitativ und quantitativ bestimmt, so dass das in der Praxis erfolgreich eingesetzte CC-Verfahren auch für besondere Konstruktionsfälle Gültigkeit besitzt.

Because of the large discrepancy between the values according to the CC-Method and the realistic baseplate behaviour an immense research need exists. In further research the characteristic parameters will be qualitatively and quantitatively determined to ensure that the CC-Method gives secure design guidance in any case of a baseplate construction.

Literatur / References

CEB Design Guide (1997): Design of Fastenings in Concrete, Comite Euro-International du Beton, Thomas Telford, 1997

European Organisation for Technical Approvals (EOTA) (1997): ETAG – Guideline for European Technical Approvals of Anchors (Metal Anchors) for Use in Concrete, 1997

Eligehausen, R.; Fichtner, S. (2003): Erforderliche Steifigkeit von Ankerplatten, Bericht-Nr. AF 03/1 – DIBt 4/01, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, ISBN 3-8167-6515-7, Fraunhofer IRB Verlag, Februar 2003

Eligehausen, R.; Mällée, R. (2000): Befestigungen im Beton- und Mauerwerkbau, Bauingenieur-Praxis, Ernst & Sohn, März 2000

Mällée, R.; Burkhardt, F. (1999): Befestigungen von Ankerplatten mit Dübeln, Beton- und Stahlbetonbau 94, Heft 12, S. 502-511, Ernst & Sohn Verlag, 1999

Schneider, H. (1999): Zum Einfluss der Ankerplattensteifigkeit auf die Ermittlung der Dübelkräfte bei Mehrfachbefestigungen, Landesgewerbeamt Baden-Württemberg, Landesstelle für Bautechnik, August 1999

SCHALLEMISSIONSANALYSE BEI SPALTZUGVERSUCHEN AN BETON ACOUSTIC EMISSION ANALYSIS ON SPLITTING TESTS WITH CONCRETE

von/by: Florian Finck

Einleitung

Bruchprozesse in Beton und anderen spröden Materialien sind mit der Emission von Schallsignalen verbunden. Mit Hilfe der Schallemissionsanalyse können einzelne Bruchereignisse lokalisiert und der Schadensverlauf genau verfolgt werden. Darüber hinaus können aus der räumlichen Abstrahlung seismischer Energie bruchmechanische Untersuchungen durchgeführt werden. Dafür werden die Amplituden der Schallsignale in eine Inversionsrechnung eingegeben. Ergebnis ist der Momententensor. Aus diesem physikalischen Modell, das einen Bruchprozess durch äquivalente Kräfte beschreibt, können dann z. B. die Orientierung des Spannungsfeldes, Bruchtyp, und Bruchenergie extrahiert werden. In diesem Beitrag wird ein Experiment vorgestellt [Finck et al., 2003], bei dem ein hybrides Verfahren zur Momententensorinversion auf Schallemissionsdaten eines Spaltzugversuches angewendet wird. Da die Schädigung der Probe entlang eines engbegrenzten Risses erfolgte, konnte dieser nach dem Experiment durch schrittweises Abschleifen digitalisiert und kartiert werden.

Versuchsaufbau

Ziel des Experimentes war die kontrollierte Ausbildung eines Öffnungsbruches in Beton auf Grund von möglichst reinen Zugspannungen. Der Versuch wurde in Anlehnung an DIN 1048(5) [1991] durchgeführt. Ein Betonwürfel (0/16 mm, C 35/45 nach DIN 1045) mit einer Kantenlänge von 20 cm wurde einer Druckkraft ausgesetzt, wobei die Lasteinleitung über Stahlschneiden auf der Ober- und Unterseite erfolgte (Abb.1). Die servohydraulische Prüfmaschine wurde über die mittlere Rissöffnung gesteuert. Diese wurde aus den Werten von Wegaufnehmern (LVDT) an der Vorder- und Rückseite des Prüflings ermittelt.

Introduction

Fracture processes in concrete and other brittle materials are accompanied by acoustic emissions. Using acoustic emission analysis methods, single events can be localized and the spatial and temporal progress of damage can be evaluated. Furthermore, investigations on fracture mechanics can be performed using the radiated seismic energy. Amplitudes of an acoustic emission are put in an inverse calculation, which results in the moment tensor. This physical model represents a single fracture process by a set of equivalent forces. Its eigenvalue decomposition yields for example the orientation of the stress field, the type of fracture and its energy. In this presentation, an experiment will be introduced [Finck et al., 2003], where a hybrid moment tensor inversion technique is applied on acoustic emission data from a splitting test. The tensile crack run through the center of the specimen within a well defined zone. This enabled the digitalization and mapping of the crack by a stepwise grinding of the cube.

Experimental Setup

One intention of the experiment was the controlled generation of a pure tensile crack in concrete. The test was performed according to DIN 1048(5) [1991]. Compressive load was applied on a concrete cube (0/16 mm, C 35/45 according to DIN 1045) with an edge length of 20 cm via steel edges on the top and the bottom of the specimen (Fig.1). The servo hydraulic test device was controlled by the mean crack opening, which was obtained from two linear displacement sensors (LVDT) at the front and the back side of the cube. Acoustic emissions were registered by 8 piezo-electric sensors and stored on a transient recorder (5 MHz per channel with 12 bit amplitude resolution).

Die Schallereignisse wurden von 8 Schallsensoren registriert und mit einem Transientenrekorder (5 MHz pro Kanal mit 12 bit Amplitudenauflösung) aufgezeichnet.

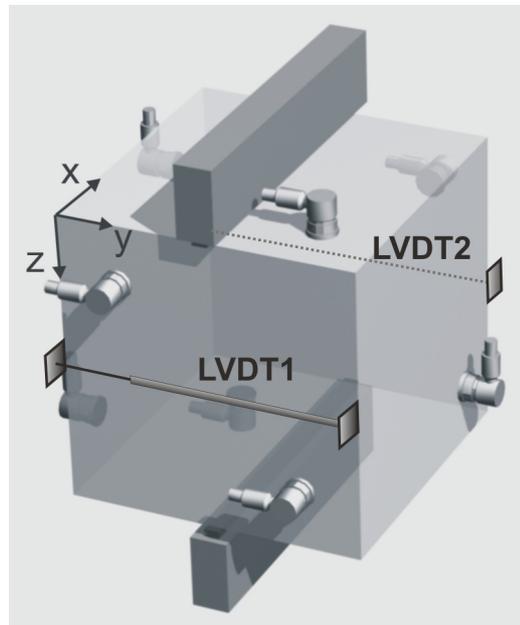


Abb.1: Aufbau des Spaltzugversuches: Die Einleitung der Druckkraft erfolgte über zwei Stahlschneiden, die Rissöffnung wurde über Wegaufnehmer (LVDT) registriert und damit die Prüfmaschine gesteuert. Über 8 Sensoren wurden die Schallereignisse aufgezeichnet.

Fig.1: Setup of the test: Application of compressive load via two steel edges, registration of the crack opening (LVDT), which was used for the control of the test device. Acquisition of acoustic emissions with 8 sensors.

Lokalisierung der Schallereignisse

Durch die sensible Steuerung der Prüfmaschine über die Rissöffnung konnten über 900 Schallereignisse aufgezeichnet werden, die mit der Entstehung des Risses im Zusammenhang stehen. 378 Schallereignisse konnten mit einer Genauigkeit von über 5 mm lokalisiert werden. In Abb.2 sind die Lokalisierungsergebnisse in einer Seitenansicht dargestellt. Der zeitliche Verlauf der Schallereignisse ist durch die Helligkeit der Punkte wiedergegeben, helle Ereignisse haben zu Beginn des Versuches stattgefunden, dunkle Ereignisse am Ende. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Schädigung von der Rückseite des Prüflings (rechts im Bild) nach vorne wächst. Dieses Verhalten konnte durch die Auswertung der Daten der Wegaufnehmer

Localization of the acoustic emissions

Due to the sensible control of the test device by the crack opening, over 900 acoustic emissions were recorded during the generation of the tensile crack. From these, 378 events were localized with an accuracy better than 5 mm. In Fig.2 the results of the localization are presented in a side view projection. The temporal progress of the damage zone is given by the brightness of the dots representing the acoustic emission locations. Events from the beginning of the test are marked in light gray, events from the end of the test are black. It is obvious, that the crack grew from the backside of the specimen (in the figure on the right) to the front. This could be confirmed by the data from the displacement sensors monitoring the crack opening.

mer bestätigt werden. Außerdem wurden in dem Kontaktbereich der Lasteinleitung kaum Schallereignisse lokalisiert. Die Schallereignisse liegen alle in einer ca. 2 cm schmalen Zone um den später sichtbaren Makroriss.

Only a small number of acoustic emissions were detected in the contact area of load application. All events were situated in a narrow zone of ca. 2 cm along the macro crack which was visible after the test.

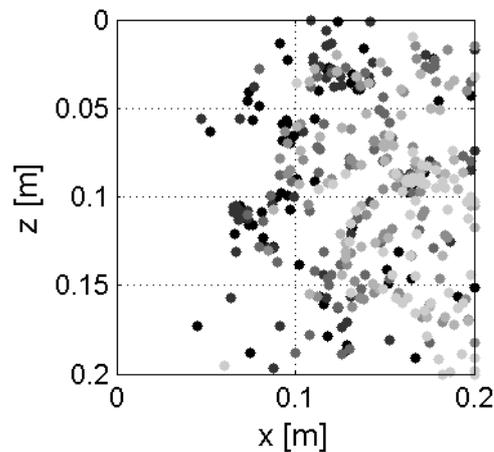


Abb.2: Lokalisierungsergebnisse der Schallemissionsanalyse in einer Seitenansicht auf den Würfel. Helle Ereignisse fanden zu Beginn des Experiments statt, dunkle gegen Ende. Die Lokalisierungsgenauigkeit ist besser als 5 mm.

Fig.2: Results of the localization in a side view projection. Events from the beginning of the test are marked in light gray, late events are black. The accuracy of the localization is better than 5 mm.

Bruchmechanische Analyse

Verschiedene Methoden zur Momententensorinversion sind im Einsatz. Absolute Methoden können auf einzelne Ereignisse angewendet werden, allerdings ist hierzu die umfassende Kenntnis der Green'schen Funktionen erforderlich. Relative Methoden mit oder ohne Referenzereignis werden auf Cluster von Ereignissen angewendet, wodurch die Green'schen Funktionen unter der Annahme gemeinsamer Laufwege der Signale eliminiert werden. Bei diesen Verfahren treten allerdings Probleme auf, wenn die Datenqualität schlecht ist oder Ereignisse innerhalb des Clusters ähnliche Mechanismen aufweisen. Ein neuer Ansatz [Andersen, 2001] kombiniert die o. g. Methoden zur sog. hybriden Momententensorinversion, wodurch der Einfluss von schlechten oder verrauschten Daten, Ankopplungsprobleme der Sensoren usw. eliminiert und die Lösungen robuster werden. Die Methode beruht auf einem Wichtungsverfahren auf Basis des Medians der Residuen aller Ereignisse eines Clusters.

Fracture mechanical studies

Various methods for an inversion on the moment tensor are in use. Absolute inversion can be performed on single events, but require a broad knowledge of the Green's functions. Relative methods with or without reference mechanism are applied on clusters of events and the Green's functions can be neglected by the assumption of common ray paths. Problems occur when the S/N ratio is poor or the events have similar mechanisms, which is often the case in acoustic emission analysis. Andersen [2001] introduced a new approach, the hybrid moment tensor inversion as a combination of the previous methods, where the effects of noise, low quality data, site effects, etc. are minimized and the solutions get more robust. The method is based on an iterative weighting scheme using the median of the distribution of residuals (for a particular geophone site, channel and wave phase), calculated using all events in the cluster.

Auf Grund der Lokalisierungsergebnisse wurden zwei Ereigniscluster ausgewählt und genauer untersucht. Nach einer digitalen Aufarbeitung der Signale wurden die Amplituden der P-Wellenersteinsätze ausgelesen und an das Programm zur hybriden Momententensorinversion übergeben.

From the localization of the events of the splitting test, two clusters were identified and investigated. After some digital processing of the signals, the amplitudes of the compressional wave onsets were read out and transferred to the hybrid moment tensor inversion program.

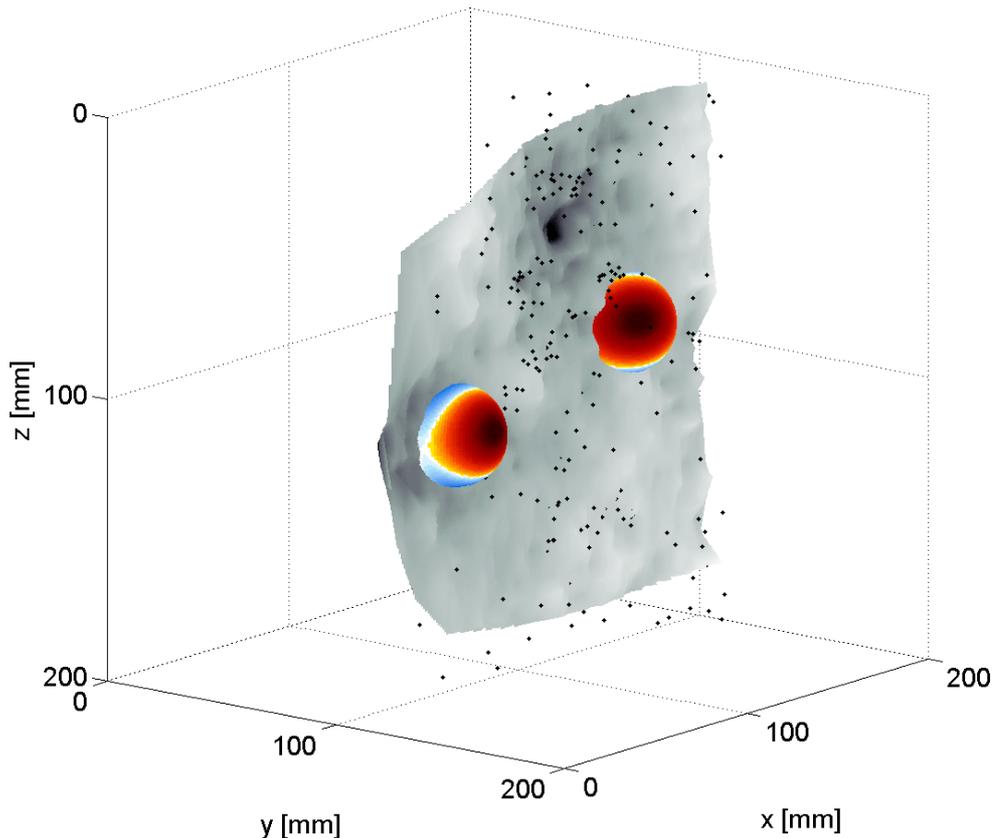


Abb.3: Lösungen der Momententensorinversion für je ein ausgewähltes Ereignis der beiden Cluster. Dargestellt ist die Amplitudenverteilung auf einer den Herd umgebenden Kugeloberfläche. Die Hauptspannungsrichtung verläuft parallel zur y-Achse, wo positive Amplituden (dunkel) die Öffnung des Risses verdeutlichen. Daraus ergibt sich ein Versagen nach Mode I. Des Weiteren ist die digitalisierte Rissfläche dargestellt und die darum liegenden Schallereignisse.

Fig.3: Solutions for the moment tensor inversion of each one selected event from the two clusters. Illustrated is the distribution of the amplitudes on a sphere around the focus. The mean tensile stress axis is parallel to the y-coordinate, where positive amplitudes (dark) are radiated. This confirms the tensile (mode I) failure of the specimen. Additionally, the topography of the digitized crack surface and the surrounding acoustic emissions are plotted.

Eine Auswahl der Ergebnisse der Inversion ist in Abb.3 dargestellt. Die Herdflächenlösungen, die die abgestrahlte seismische Energie im Raum wiedergeben, deuten mit ihren positiven Amplituden entlang der y-Achse auf Zugversagen hin. In dieser Richtung liegt auch die Hauptzugspannungsachse, die unter der Spaltzuglast hervorgerufen wird.

Visualisierung

Für jeden Momententensor, der ein einzelnes Ereignis repräsentiert, kann die Abstrahlcharakteristik der seismischen Energie berechnet und farblich dargestellt werden. Zweidimensionale, stereografische Projektionen dieser Charakteristika werden als Herdflächenlösungen in tektonischen Karten verwendet. Da Konstruktionen und Bauteile im Bauwesen normalerweise in dreidimensionalen Grafiken und Modellen dargestellt werden, wurde ein dreidimensionales Visualisierungsprogramm entwickelt, in dem die Ergebnisse verschiedener Untersuchungen an einem Bauteil dargestellt werden können (Abb.3). Dieses können Lokalisierungen und bruchmechanische Untersuchungen von Schallereignissen sein, die Topografie von Bruchflächen, oder aber auch Ergebnisse von FE-Simulationen. Dadurch können Schadensprozesse und Spannungsfelder über die Lastgeschichte in Bauteilen besonders anschaulich wiedergegeben werden.

Zusammenfassung

Der Aufbau des durchgeführten Experiments war sehr gut zur kontrollierten Erzeugung eines Öffnungsbruches in Beton geeignet. Erste Ergebnisse einer Anwendung des Verfahrens der hybriden Momententensorinversion waren plausibel und stabil. Zugversagen (Mode I) als Hauptversagensmechanismus konnte bestätigt werden und auch die Richtungen der Hauptspannungsachsen stimmen mit der Geometrie des Experiments überein. Das Verständnis der Wellenformen und die Entwicklung von Standardprozeduren zur

Some selected results of the inversion are presented in Fig.3. The focal plane solutions representing the spatial radiation of seismic energy point to tensile failure. The positive amplitudes are parallel to the tensile principal stress in y-direction, produced by the splitting stress.

Visualization

For each moment tensor representing one point source, the radiation pattern of seismic energy on a focal sphere can be calculated. Red colors refer to outwards motion with positive wave onsets, blue colors to inwards motion with negative wave onsets. Two dimensional, stereographic projections of these patterns are used in tectonic maps. Since constructions and members in civil engineering are usually visualized in 3D graphics or models, a 3D plot routine was developed (Fig.3) and can be added by results from further investigations. This integrated visualization of moment tensors and additional information (e. g. topography of cracks, AE positions, FE simulation) gives an ideal impression of the damage processes and the stress field in the construction over the loading history.

Conclusions

The setup of this experiment was very well suited to generate controlled tensile failure within a concrete specimen. First results from moment tensor inversions using the hybrid method yielded reliable and robust results and confirmed the expectation of tensile failure.

Understanding of the waveforms and development of standard routines during data processing allows for the automation of the evaluation of fracture processes. Some of these routines are implemented in the new

Datenbearbeitung ermöglichen die Automatisierung einzelner Arbeitsschritte. Einige dieser Routinen sind bereits in der neuen Auswertesoftware POLAR^{AE} (*Program for Onset Detection, Localization and Amplitude Readout for Acoustic Emission* [Rosenbusch, 2003]) implementiert. Das Programm wurde am IWB entwickelt.

Die Erfahrungen, die am IWB auf den Gebieten der digitalen Signalverarbeitung und der signal-basierten Schallemissionsanalyse gewonnen wurden, stellen eine gute Basis für zukünftige Anwendungen z. B. auf dem Gebiet der Bauwerksüberwachung dar.

Die integrierte 3D Visualisierung der Ergebnisse verschiedener Verfahren, ermöglicht die Analyse von Spannungsfeldern und Schäden in Bauteilen.

POLAR^{AE} software (*Program for Onset Detection, Localization and Amplitude Readout for Acoustic Emission* [Rosenbusch, 2003]) developed at the IWB.

The experiences gained in digital signal processing and signal-based AE analysis is the basis for future applications in the field of construction health monitoring for example.

The integrated 3D visualization of the results obtained from all the different evaluation methods, reveals valuable information for a judging interpretation of the stress field or damage processes.

Literatur

References

- L. M. Andersen: *A relative moment tensor inversion technique applied to seismicity induced by mining*. PhD thesis, Univ. of the Witwatersrand, RSA, 2001.
- DIN 1048 Teil 5: *Prüfverfahren für Beton – Festbeton, gesondert hergestellte Probekörper*. Deutsches Institut für Normung, 1991.
- F. Finck, M. Yamanouchi, H.-W. Reinhardt, C. U. Grosse: *Evaluation of mode-I failure of concrete in a splitting test using acoustic emission technique*. Submitted to International Journal of Fracture, 2003.
- C. U. Grosse, H.-W. Reinhardt, F. Finck: *Signal-Based Acoustic Emission Techniques in Civil Engineering*. Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 15, No. 3, pp. 274-279, 2003.
- N. Rosenbusch: *Entwicklung eines Programmes zur Bestimmung von Ersteinsätzen und Amplituden sowie zur 3D-Lokalisierung von Schallemissionen*. Diplomarbeit, IWB, Universität Stuttgart, 2003.

DAS VERSAGEN VON BEFESTIGUNGEN DURCH SPALTEN DES BETONS THE FAILURE OF FASTENINGS BY SPLITTING OF CONCRETE

von/by: Thorsten Hüer

Einleitung

Befestigungsmittel werden angewendet, um Lasten z.B. aus Stahlkonstruktionen in Betonbauteile einzuleiten. Dabei wird die Zugtragfähigkeit des Betons genutzt. Wird die einzuleitende Last zu groß, kommt es zu einem Versagen durch Überschreiten der Zugtragfähigkeit des Betons. Im Fall einer Zugbelastung des Befestigungsmittels kann das Versagen des Betons entweder durch Ausbruch eines Betonkegels oder durch die Bildung von Spaltrissen erfolgen.

Für das Versagen durch Betonausbruch liegt mit dem CC-Verfahren eine Bemessungsgleichung vor, deren Gültigkeit durch ein theoretisches Modell und zahlreiche Versuche untermauert ist. Sind jedoch die Bauteilabmessungen gering (Höhe, Breite) oder die Befestigung befindet sich nahe am Bauteilrand, kann es vor Erreichen der Betonausbruchlast zu einem Versagen durch Spalten des Betons kommen. Dies tritt insbesondere bei Dübelssystemen auf die hohe Spreizkräfte erzeugen, wie Metallspreizdübel.

Für form- und reibschlüssige Befestigungsmittel hat Asmus [1] Bemessungsgleichungen zur Ermittlung der Spaltbruchlast entwickelt. Diese sind jedoch wenig anwenderfreundlich, da für ihre Anwendung die Kenntnis der genauen Konstruktionsmaße des Befestigungsmittels erforderlich ist. Daher sollen sie überarbeitet werden und auf die Anwendbarkeit für Verbunddübel erweitert werden.

Übersicht

Durch die Einleitung einer Zugkraft über ein Befestigungsmittel werden im Beton Spaltkräfte hervorgerufen. Die Spaltkräfte wirken senkrecht zu der am Befestigungsmittel angreifenden Zuglast (Abbildung 1) und steigen

Introduction

Fastenings are used to introduce loads, e.g. from steel constructions, in concrete members. Thereby the tensile resistance of the concrete is used. A failure by exceeding the tensile strength of the concrete occurs if the introduced load is too big. In case of a tensile loading of fasteners, failure of the concrete takes place as a cone breakout or by generating of splitting cracks.

The CC-Method provides a design model for concrete cone failure of fastenings. Its validity is supported by a theoretical model and numerous tests. Failure by splitting of the concrete, however, may occur before the load of concrete cone failure is obtained if the dimensions (thickness, width) of the concrete member are small or the application is located near to an edge. This occurs frequently if the fastening generates high expansion forces, as is the case for expansion anchors.

Asmus [1] developed a design model to calculate the load of splitting failure for fastenings that transfer load to concrete by friction or mechanical interlock. Because the model requires detailed information about the construction of the fastening it is not very user-friendly. Therefore the model is to be revised and extended to include bonded anchors.

Overview

When tensile forces are introduced by a fastening, splitting forces are generated. The splitting forces act perpendicular to the tensile force (figure 1) and increase with the tensile force. Both the magnitude of the splitting

mit der Zugkraft an. Sowohl die Größe der Spaltkräfte als auch der funktionelle Zusammenhang zwischen Spalt- und Zugkraft hängen vom jeweiligen Befestigungssystem ab.

Die Spaltkraft steigt bei Metallspreizdübeln nach Mayer [4] proportional zur angreifenden Zugkraft an. Der Proportionalitätsfaktor hängt von der Konussteigung und der Reibung zwischen Konus und Sprezhülse des verwendeten Dübels ab. Mit zunehmender Zugkraft wird der Konus weiter in die Sprezhülse gezogen, und die Sprezhülse drückt mit größerer Kraft gegen die Bohrlochwandung (Abbildung 1).

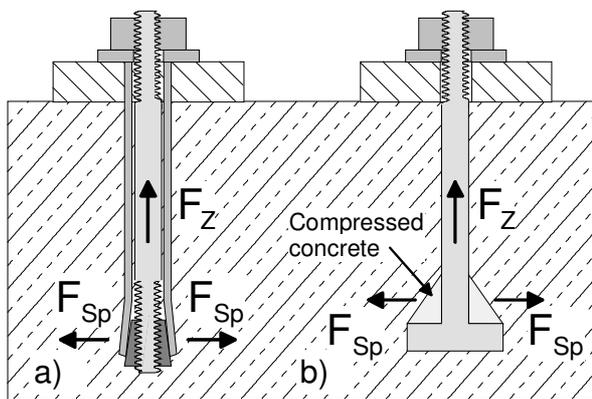


Abbildung 1:
Zug- und Spaltkraft bei a) Metallspreizdübel und b) Kopfbolzen

Figure 1:
Tension and splitting force for a) expansion anchor and b) headed stud

Bei formschlüssigen Befestigungen, wie Kopfbolzen oder Hinterschnittdübel, kommt es im Bereich der Lasteinleitung zu sehr großen Pressungen (Abb. 1b) des Betons und damit einhergehenden Ringzugspannungen. Verschiedene experimentelle Untersuchungen [1,3] zeigen, dass die Spaltkraft nicht linear wie bei Metallspreizdübeln sondern überproportional zur Zugkraft ansteigt.

Verbunddübel, die die Last über Stoffschluss einleiten, rufen ähnlich wie Bewehrungsstäbe Spaltkräfte hervor. Nach Untersuchungen von

forces and the functional interrelationship between splitting and tensile force depend on the type of fastening system.

According to Mayer [4], for expansion anchors the splitting force increases proportional to the tension force. The factor depends on the gradient of the cone and the friction between the cone and expansion sleeve of the anchor. With increasing tension force the cone is pulled further into the expansion sleeve and the sleeve bears against the borehole with higher force (figure 1).

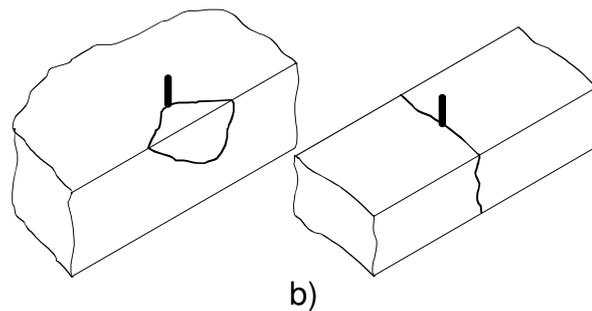


Abbildung 2:
a) Spalten am Bauteilrand und b) Spalten beim Plattenstreifen

Figure 2:
a) Splitting on the edge and b) splitting of a small member

Fasteners with mechanical interlock, such as headed studs or undercut anchors, generate very high pressure in the concrete near the load bearing area. This pressure generates tensile hoop stresses. The evaluation of different experimental investigations [1,3] shows that the proportion of splitting force to tension force is not constant as with expansion anchors, but increases with the tension force.

Bonded anchors generate splitting forces in a similar manner as reinforcing bars. For reinforcing bars according to investigations of

Eligehausen/Mayer [5] ist das Verhältnis zwischen Spalt- und Zugkraft bei Bewehrungsstäben zunächst nahezu konstant und steigt dann bei Überschreiten einer kritischen Verbundfestigkeit überproportional an. Erste Tastversuche mit Verbunddübeln lassen erkennen, dass auch hier die Spaltkraft überproportional zur Zugkraft ansteigt.

Die von den Befestigungsmitteln ausgehenden Spaltkräfte erzeugen im Verankerungsgrund Zugspannungen. Mit zunehmender Zugkraft am Dübel können diese so groß werden, dass der Beton sie nicht mehr aufnehmen kann. Es entstehen Spaltrisse. Eine weitere Laststeigerung ist nicht mehr möglich. Je nach Anwendungsfall wird dabei ein Teil vom Beton abgespalten oder das gesamte Bauteil spaltet durch (Abbildung 2).

Der Widerstand eines Betonbauteils gegenüber der Spaltkraft hängt von seiner Festigkeit und der Größe der Bruchfläche ab, die aufgrund seiner Abmessungen und der Lage der Befestigung im Bauteil aktiviert werden kann.

Untersuchungen

Mit Metallspreizdübeln wurden von Asmus [1] zahlreiche Versuche durchgeführt, jedoch größtenteils in Plattenstreifen. Die vorhandene Datenbasis soll daher mit Rand und Eckversuchen ergänzt werden. Dabei wird der Einfluss des Randabstandes, der Bauteildicke, der Betonfestigkeit und des Achsabstandes untersucht. Die Versuche werden mit einer engen Abstützung durchgeführt, d.h. die Reaktionskraft wird dicht am Dübel in den Beton geleitet. Dadurch werden Biegespannungen im Bauteil verhindert. Die Biegespannungen würden sich ansonsten mit den Spannungen aus der Spaltkraft überlagern und könnten so Einfluss auf das Versagen nehmen. Weiterhin garantiert die enge Abstützung, dass der Verankerungsgrund nur durch Spalten und nicht durch Betonausbruch

Eligehausen/Mayer [5], the relationship between splitting and tension force is initially constant and rises strongly after exceeding a critical bond strength. Initial tests with bonded anchors shows that the splitting force increases similarly as with reinforcing bars.

The splitting forces generated by the fastening cause tension stresses in the concrete. With increasing tension force at the fastening the stress can become so large that it exceeds the concrete tensile strength. Cracks develop and a further load increase is not possible. Depending on the type of application a part of the concrete is split off or the complete member splits (figure 2).

The resistance of a concrete member against a splitting force depends on its strength and the size of the cracked area that can be activated due to the dimensions of the member and the position of the fastening in the member.

Experimental Investigation

Asmus [1] performed numerous tests with expansion anchors, however, mostly in small members. Therefore the present data shall be extended by experimental tests at the corner and on the edge. Thereby the influence of the edge distance, the member thickness, the concrete strength and the anchor spacing will be investigated. The tests will be performed as confined tests, i.e. the reaction force is transferred close to the anchor into the concrete. This avoids bending stresses in the member. If bending stresses are present, they will superpose with the stresses from the splitting force and might have an influence on the failure. Furthermore a confined test ensures that the base of embedment will fail only by splitting and not by a concrete cone breakout or a combination of splitting and

oder eine Kombination von Spalten und Betonausbruch versagt. Abbildung 4 zeigt eine Bauteilecke in der die Befestigung durch Spalten des Betons versagt hat.

Die von Bewehrungsstäben hervorgerufenen Spaltkräfte wurden bereits eingehend untersucht [5]. Auch über eingemörtelte Bewehrungsstäbe liegen ausführliche Untersuchungen [6] vor. Für Verbunddübel werden größtenteils die gleichen Verbundmörtel wie für Bewehrungsstäbe verwendet. Es liegt nahe, dass das Verhalten von Verbunddübeln dem von (eingemörtelten) Bewehrungsstäben stark ähnelt. Unterschiede bestehen nur in ihrer Oberflächengestalt. Als Bewehrungsstäbe kommen überwiegend gerippte Stäbe zum Einsatz. Dagegen werden für Verbunddübel Gewindestangen verwendet. Die einzelnen Gewindegänge liegen dabei wesentlich enger beieinander als die Rippen der Bewehrungsstäbe. Von Mayer [5] ist bekannt, dass die Rippengeometrie einen Einfluss auf das Spaltbruchverhalten hat. Seinen Untersuchungen zufolge wirkt sich eine größere bezogene Rippenfläche günstig auf das Spaltbruchverhalten aus, insbesondere wenn sie durch einen geringen Rippenabstand begründet ist. Die bezogene Rippenfläche von Bewehrungsstäben beträgt ungefähr 0,08, Gewindestangen haben Werte von ca. 0,65. Vergleichsversuche zwischen eingemörtelten Bewehrungsstäben und Verbunddübeln zeigen, dass bei gleichem Randabstand und gleicher Verankerungslänge die Verbunddübel eine etwas höhere Last tragen (Abb.3). Die Versuche wurden mit einem Epoxydharzmörtel durchgeführt.

concrete cone breakout. Figure 4 shows the corner of a concrete member that failed by splitting of the concrete.

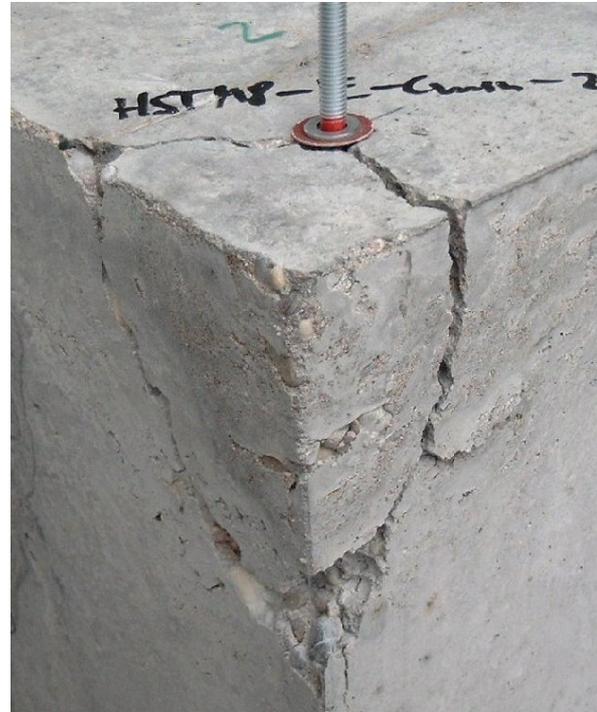


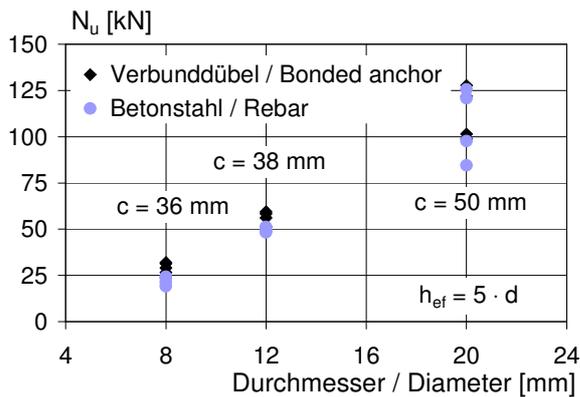
Abbildung 4:

Metallspreizdübel in der Bauteilecke: Versagen durch Spalten des Betons.

Figure 4:

Expansion anchor in the corner of a concrete member: Failure by splitting of the concrete

The splitting forces caused by reinforcement were investigated in detail in [5]. Also extensive investigations of post-installed rebars are available [6]. The adhesive mortar used for rebars or bonded anchors is nearly the same. Thus it is self-evident that the performance of bonded anchors and (post-installed) rebars is similar. Differences exist only in the shape of the surface of the metal. The surface of rebars normally has ribs and bonded anchors have threaded rods. A single thread has much smaller spacing than the ribs of the rebar. From Mayer [5] is known that the rib geometry has an influence on the perfor-

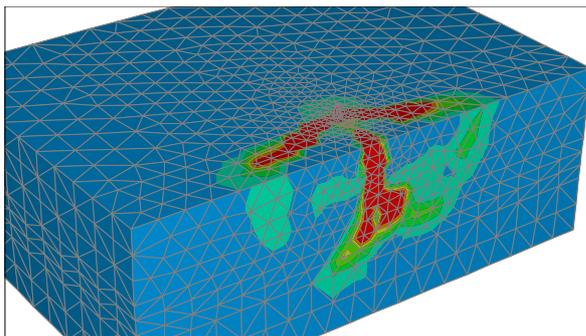
**Abbildung 3:**

Versuche mit Verbunddübeln und eingemörtelten Bewehrungsstäben

Figure 3:

Tests with bonded anchors and post-installed re-bars

Für formschlüssige Befestigungsmittel sind Finite-Element-Berechnungen mit dem nicht-linearen Finite-Element-Programm MASA [7] vorgesehen. Dazu werden Kopfbolzen modelliert. In den Berechnungen werden Randabstand, Bauteildicke, Verankerungstiefe und Betonfestigkeit variiert. Dabei werden die Anwendungsfälle Rand, Ecke und Plattenstreifen untersucht. Analog zu den experimentellen Untersuchungen wird auch hier eine enge Abstützung simuliert.

**Abbildung 5:**

Kopfbolzen am Bauteilrand

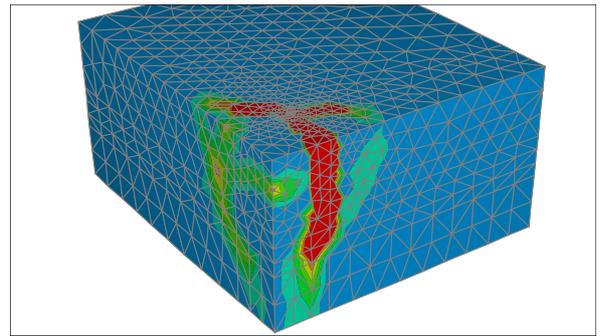
Figure 5 :

Headed stud on the edge

Neben der Ermittlung von Bruchlasten kann durch die FE-Berechnungen auch der Versagensmechanismus untersucht werden. So lässt sich aus den Dehnungsverteilungen

mance in splitting failure mode. According to his investigations, a larger related rib area positively affects the performance, especially if it is caused by smaller rib spacing. The related rib area of rebar amounts to 0.08 and of threaded rods to about 0.65. Comparing tests between bonded anchors and post-installed rebar shows that for similar edge distance and embedment depth, bonded anchors resist a slightly higher load. The tests were performed with an epoxy resin mortar.

For fastenings with mechanical interlock finite element calculation with the nonlinear finite element program MASA [7] were performed. For this purpose a model of a headed stud is generated. The edge distance, the member thickness, the embedment depth and the concrete strength is varied in the numerical investigations. Similar to in the experimental investigations, a confined test was simulated as well.

**Abbildung 6:**

Kopfbolzen in der Ecke

Figure 6 :

Headed stud at the corner

Besides the identification of the failure load the calculations enable one to investigate the failure mechanism. So the creation of the cracks can be deduced from the strain alloca-

der einzelnen Lastschritte die Entwicklung der Rissbildung ableiten. Die dunklen Bereiche in den Abbildungen 5 und 6 haben sehr große Dehnungen und können daher als gerissen angesehen werden.

Ausblick

Mit den aus den Versuchen und FE-Berechnungen gewonnenen Erkenntnissen werden die Bemessungsgleichungen modifiziert und so weit wie möglich vereinfacht, um die Anwenderfreundlichkeit zu erhöhen.

tion of the single load steps. The dark areas of figure 5 and 6 have large strains and so these areas can considered cracked.

Outlook

The design model will be modified by the results from the experimental and numerical investigations and as far as possible simplified to make the model more user-friendly.

Literatur / References

- [1] Asmus, J. (1999): *Bemessung von zugbeanspruchten Befestigungen bei der Versagensart Spalten des Betons*, Dissertation, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart.
- [2] Eligehausen, R.; Mallee, R. (2000): *Befestigungstechnik im Beton- und Mauerwerksbau*, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH, Berlin.
- [3] Furche, J.; Eligehausen, R. (1991): *Lateral Blowout failure of Headed Studs Near a Free Edge*, In: Senkiw, G.A.; Lancelot, H.B. (Herausgeber), SP-130, Anchors in Concrete, Design and Behaviour. American Concrete Institute, Detroit, 1991, S. 235-252.
- [4] Mayer, B. (1991): *Funktionsersatzprüfungen für die Beurteilung der Eignung von kraftkontrolliert spreizenden Dübeln*, Dissertation, Universität Stuttgart.
- [5] Eligehausen, R.; Mayer, U. (2000): *Untersuchungen zum Einfluss der bezogenen Rippenfläche von Bewehrungsstäben auf das Tragverhalten von Stahlbetonbauteilen im Gebrauchs- und Bruchzustand*, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 503, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [6] Spieth, H. (2001): *Tragverhalten und Bemessung von eingemörtelten Bewehrungsstäben*, Dissertation, Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart.
- [7] Ožbolt, J.; Li, Y.-J.; Kožar, I. (2000): *Microplane model for concrete with relaxed kinematic constraint*, International Journal of Solids and Structures (IJSS) 38 (2001) 2683-2711, 2000/2001.

TRAGVERHALTEN VON SCHRAUBDÜBELN IN GERISSENEM BETON LOAD BEARING PERFORMANCE OF CONCRETE SCREWS IN CRACKED CONCRETE

von/by J. H. R. Küenzlen

Abstract

Concrete screws are a new fastening system which can easily be installed. Concrete screws are screwed into predrilled cylindrical holes. During installation, concrete screws cut a thread into the wall of the drilled hole. Therefore, tensile loads are transferred into the base material by mechanical interlock. The load transfer mechanism is similar to that of deformed reinforcing bars cast into concrete.

In structural members of reinforced concrete one can assume that cracks in the concrete appear. If a concrete screw is anchored in a crack, the undercut area of the thread flanks is reduced in comparison to non-cracked concrete. Furthermore, the axially symmetric state of stress around the screw is disturbed by the crack. These effects cause that the stiffness of the fastening and the failure loads in comparison to non-cracked concrete are reduced. The decrease of the failure load averages at about 30 % at a crack width of 0,3 mm. This reduction is on the same order of magnitude as that for expansion or undercut anchors.

To investigate the load-bearing performance of concrete screws in cracked concrete, tension tests were performed in cracked concrete. Varied parameters were the type of screw, crack width, embedment depth, drill bit diameter and concrete strength. In this paper the results of these tests are presented.

Einleitung

Schraubdübel sind ein relativ neues Befestigungssystem. Der große Vorteil dieser Art von Befestigung liegt in der einfachen und schnellen Montage. Es muss lediglich ein Loch in den Beton gebohrt werden, in das der Schraubdübel beim Setzen ein Gewinde schneidet und somit über mechanische Verzahnung hohe Lasten in den Beton einleiten kann. In Bild 1 ist ein Schraubdübel dargestellt, der in ein sehr großes Zuschlagskorn gesetzt wurde.



Bild 1: Schraubdübel in einem großen Zuschlagskorn [1]

Forschungsvorhaben

Das Tragverhalten von Schraubdübeln in gerissenem Beton unter Einfluss verschiedener Rissweiten, Einschraubtiefen, Betondruckfestigkeiten, Bohrlochdurchmessern, Herstellern und Bohrereckmaßen ist bisher weitgehend ungeklärt. Ziel der hier durchgeführten Versuche war es, das Tragverhalten im niederfesten und hochfesten gerissenen Beton zu untersuchen. Weiter soll ein Bemessungsansatz für Schraubdübel im gerissenen Beton entwickelt werden. Alle durchgeführten und beschriebenen Versuche wurden in Beton mit einer Betondruckfestigkeit um ca. 30 N/mm² bzw. um ca. 60 N/mm² durchgeführt. Um die Ergebnisse besser vergleichen zu können, wurden die Versagenslasten über $\beta_w^{0,5}$ auf eine einheitliche Druckfestigkeit von 30 N/mm² umgerechnet. Die Versuchsergebnisse wurden [2] entnommen.

Verwendete Schraubdübel

Die Versuche wurden mit vier in Deutschland zugelassenen Schraubdübeln durchgeführt. Die verwendeten Bohrlochdurchmesser betragen zwischen 8 und 12 mm. In Bild 2 sind Schraubdübel mit $d_0 = 10$ mm dargestellt.



Bild 2: In den Versuchen verwendete Schraubdübel mit $d_0 = 10$ mm [1]

Definition der Verankerungstiefe

In [3] wurde ein Ansatz für die Verankerungstiefe von Schraubdübeln vorgestellt. Dieser Ansatz wurde auch für die Auswertung der Versuche in gerissenem Beton verwendet. Die effektive Verankerungstiefe kann nach Gleichung (1) bestimmt werden.

$$h_{ef} = h_{nom} - 0,5 \cdot h - h_s \quad (1)$$

mit

h_{nom} = Abstand von der Schraubdübelspitze bis zur Betonoberfläche (Einschraubtiefe)

h = Gewindesteigung des Schraubdübels

h_s = Länge der Zusatzspitze ohne Gewinde

Der Ansatz nach Gl. (1) berücksichtigt, dass die Lasteinleitung in einem Abstand von der Schraubdübelspitze beginnt, der von der Ausbildung des Schraubdübels abhängt. Er ermöglicht eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Versuchen mit Schraubdübeln unterschiedlicher Hersteller bzw. Ausbildung.

Typische Last-Verschiebungskurven

In Bild 3 sind die Last-Verschiebungskurven für ungerissenem Beton mit der Rissweite $\Delta w = 0$ mm und mit der maximal untersuchten Rissweite $\Delta w = 0,7$ mm dargestellt. In

Bild 4 sind Last- Verschiebungskurven bei Variation des Bohrereckmaßes in gerissenem Beton mit der Rissweite $w = 0,5$ mm dargestellt. Wie aus den Bildern entnommen werden kann, versagen Schraubdübel in ungerissenem und in gerissenem Beton durch Betonausbruch mit anschließendem Herausziehen. Die Last steigt anfangs sehr steil an und wird dann im Bereich um die Höchstlast flacher. Nach Erreichen der Höchstlast bildet sich ein Lastplateau. Anschließend werden die Schraubdübel herausgezogen. Die linear abfallende Äste der Kurven sind versuchstechnisch bedingt.

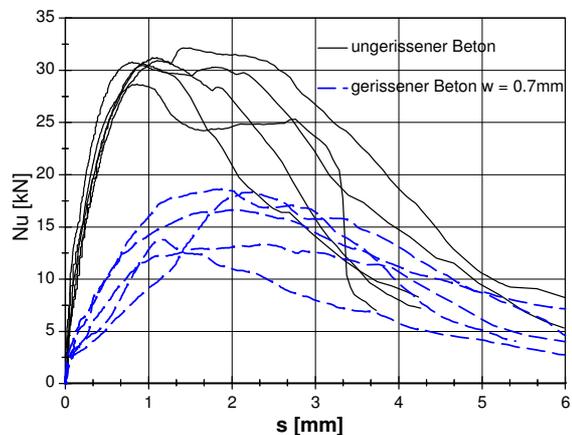


Bild 3: Last-Verschiebungskurven bei Zunahme der Rissweite zwischen $\Delta w = 0$ mm und 0,7 mm bei Schraubdübeltyp 21 ($d_0 = 10$ mm, $h_{nom} = 70$ mm, $f_{cc} = 27,9$ N/mm²) [2]

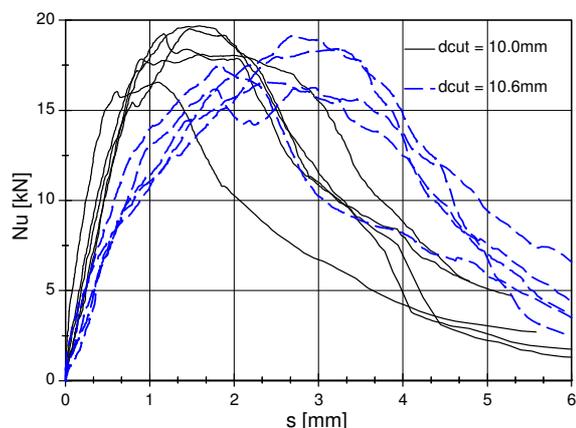


Bild 4: Last-Verschiebungskurven bei Zunahme des Bohrereckmaßes zwischen $d_{cut} = 10,0$ mm und 10,6 mm bei Schraubdübeltyp 21 ($d_0 = 10$ mm $h_{nom} = 70$ mm, $w = 0,5$ mm, $f_{cc} = 25,6$ N/mm²) [2]

Einfluss der Rissweite

In Bild 5 ist der Einfluss der Rissweite auf die Höchstlast in gerissenem Beton, bezogen auf die mittlere Höchstlast in ungerissenem Beton, dargestellt. In Bild 6 sind die Höchstlasten in Abhängigkeit von der Rissweite dargestellt. Alle Versuche wurden in Beton aus einer Betoncharge durchgeführt, um den Einfluss der Streuung des Betons zu minimieren. Deshalb tritt nur ein relativ schmales Streuband der Versuchsergebnisse (Bild 5) auf. Wie sich aus Bild 5 entnehmen lässt, ist der Lastabfall bei einer Rissweite von ca. $\Delta w = 0,3$ mm ähnlich wie bei Hinterschnittdübeln, Kopfbolzen oder risstauglichen Metallspreizdübeln [4]. Die Last wird um ca. 30 % abgemindert. Mit zunehmender Rissweite nehmen die Höchstlasten bei allen geprüften Schraubdübeln deutlich ab. Bei einer Rissweite von 0,7 mm beträgt die mittlere Abminderung bezogen auf ungerissenen Beton, ca. 50 %. Dies kann auf die starke Abnahme der Hinterschneidung des Betons und somit auf eine deutliche Verringerung der mechanischen Verzahnung zurückgeführt werden.

Ein signifikanter Einfluss des Schraubdübeltyps und des Bohrlochdurchmessers ist nicht erkennbar.

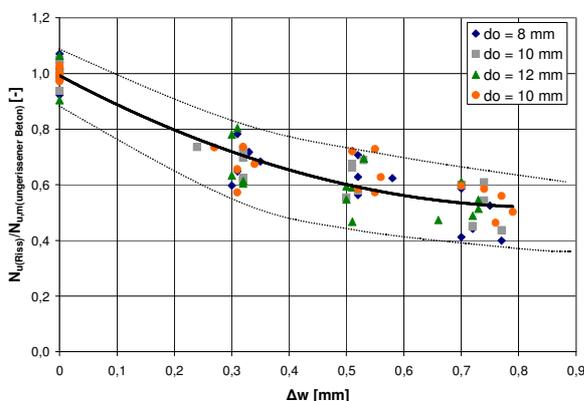


Bild 5: Einfluss der Rissweite auf die Höchstlast in gerissenem Beton, bezogen auf die mittlere Höchstlast in ungerissenem Beton (AB 16, $f_{cc} = 28$ N/mm², $h_{nom} = 70$ mm) [2]

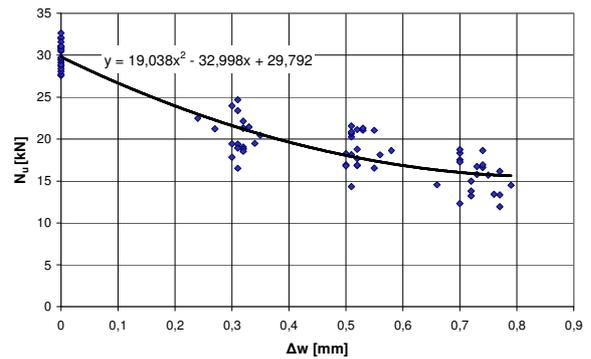


Bild 6: Einfluss der Rissweite auf die Höchstlast in gerissenem Beton (AB 16, $f_{cc} = 28$ N/mm², $h_{nom} = 70$ mm) [2]

Einfluss der Verankerungstiefe

In Bild 7 sind alle in der Forschungsdatenbank vorhandenen Versuche aufgetragen. Zur Berücksichtigung des Einflusses der Rissbreite auf die Höchstlast wurden die gemessenen Werte mit Hilfe der in Bild 6 eingetragenen Gleichung auf eine einheitliche Rissbreite von $w = 0,3$ mm normiert. Da die Versuche an Versuchskörpern mit unterschiedlichen Betonfestigkeiten durchgeführt wurden, wurden die Höchstlasten über $\beta_w^{0,5}$ auf $\beta_w = 30$ N/mm² umgerechnet. Dieses Bild zeigt, dass die Versagenslasten von Schraubdübeln in gerissenem Beton im Mittel proportional zu $h_{ef}^{1,5}$ ansteigen. Dies stimmt mit dem Verhalten in ungerissenem Beton überein [5] und ist auf den Maßstabeffekt zurückzuführen [4].

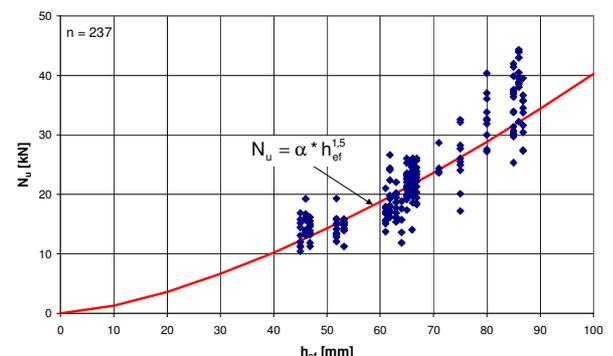


Bild 7: Einfluss der Verankerungstiefe auf die Höchstlast bei einer Rissweite von $\Delta w = 0,3$ mm über alle vorhandenen Versuche (AB16, $f_{cc} = 30$ N/mm²) [2]

Einfluss der Betondruckfestigkeit

In Bild 8 ist der Einfluss der Betondruckfestigkeit, gemessen an quadratischen Probestwürfeln mit einer Seitenlänge von 20 cm, dargestellt. Die Höchstlast steigt bei beiden untersuchten Schraubdübeltypen und bei beiden untersuchten Rissweiten etwa proportional zu $\beta_w^{0,5}$ an. Dieses Verhalten entspricht dem Verhalten in ungerissenem Beton [6].

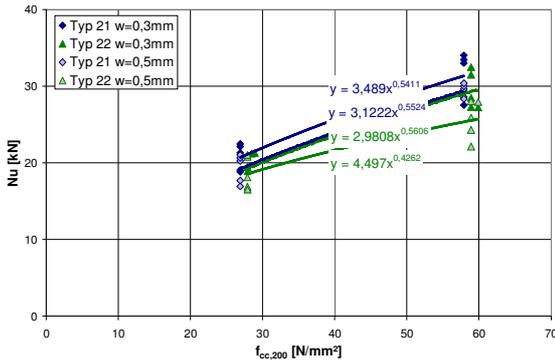


Bild 8: Einfluss der Betondruckfestigkeit auf die Höchstlast bei Schraubdübeln in gerissenem Beton ($h_{nom} = 70 \text{ mm}$, $d_{cut} = 10,2 \text{ mm}$) [2]

Einfluss des Bohrereckmaßes

In Bild 9 ist der Einfluss des Bohrereckmaßes auf die Höchstlasten der Schraubdübel Typ 21 und Typ 22 bei einer Rissweite von $w = 0,5 \text{ mm}$ dargestellt. Es kann bei beiden untersuchten Schraubdübeltypen nur ein geringer Einfluss des Bohrereckmaßes auf die Höchstlast in gerissenem Beton festgestellt werden.

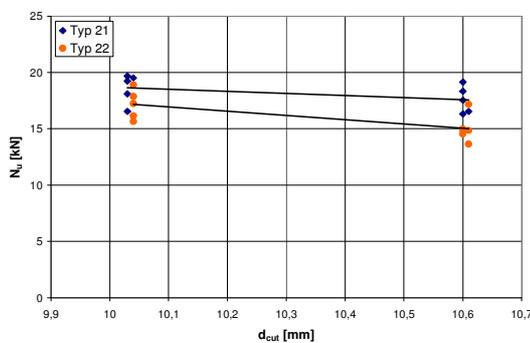


Bild 9: Einfluss des Bohrereckmaßes auf die Höchstlast in gerissenem Beton ($w = 0,5 \text{ mm}$, $h_{nom} = 70 \text{ mm}$, $f_{cc} = 25,6 \text{ N/mm}^2$) [2]

Mittlere Höchstlast

Als erster Schritt für einen Bemessungsansatz für Schraubdübel soll die Anwendbarkeit des für die Bemessung von Metalldübeln entwickelten CC-Verfahrens [7] auf Schraubdübel in gerissenem Beton überprüft werden. Dieses Verfahren bietet einen einfachen und hinreichend genauen Ansatz zur Bemessung von Einzel- und Gruppenbefestigungen mit Metallspreiz- und Hinterschnittdübeln in ungerissenem und gerissenem Beton.

Nach dem CC-Verfahren nach [7] beträgt die mittlere Betonausbruchlast von Einzeldübeln in:

- ungerissenem Beton:

$$N_{u,c}^0 = 13,5 * \sqrt{\beta_w} * h_{ef}^{1,5} \tag{2}$$

mit

β_w = Betondruckfestigkeit

h_{ef} = effektive Verankerungstiefe

- gerissenem Beton:

$$N_{u,c}^0 = \psi_w * N_{u,c}^0(\text{ungerissener Beton}) \tag{3}$$

mit

$\psi_w \sim 0,75$ für Kopfbolzen und Hinterschnittdübel

$\psi_w \sim 0,68$ für risstaugliche, drehmomentkontrolliert spreizende Dübel

Vorschlag für eine Anpassung des CC-Verfahrens an Schraubdübel nach [3]:

- ungerissener Beton:

$$N_u^0 = 10,5 * \sqrt{\beta_w} * h_{ef}^{1,5} \tag{4}$$

mit

h_{ef} = effektive Verankerungstiefe für Schraubdübel nach Gl. (1)

- gerissener Beton:

$$N_u^0 = \psi_w * N_{u,c}^0(\text{ungerissener Beton}) \tag{5}$$

mit

$\psi_w \sim 0,70$ für Schraubdübel

In Bild 10 sind die gemessenen Bruchlasten (umgerechnet über $\beta_w^{0,5}$ auf $\beta_w = 30 \text{ N/mm}^2$) in Abhängigkeit von der effektiven Verankerungstiefe aufgetragen. Mit eingetragen ist die rechnerische Betonausbruchlast nach Gl. (3) und Gl. (5).

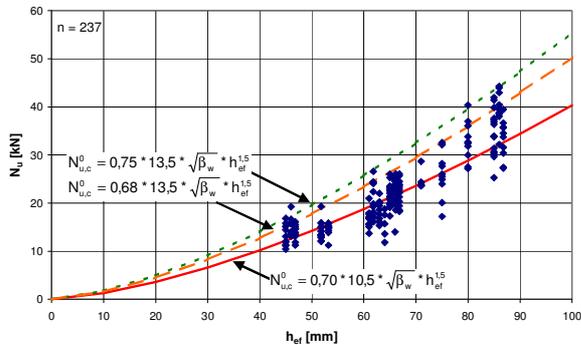


Bild 10: Vergleich CC-Verfahren mit allen Versuchsergebnissen (N_u) bei $\beta_w = 30 \text{ N/mm}^2$ in Abhängigkeit von der Verankerungstiefe h_{ef} [2]

Wie aus den in Bild 10 dargestellten Kurven für das CC-Verfahren für Metalleidübel und für Schraubdübel ersichtlich ist, ist die Kurve für Schraubdübel flacher als die für Metalleidübel. Der Abstand der beiden Kurven nimmt mit zunehmender Verankerungstiefe zu. Dieser Einfluss kann auf das in [3] erläuterte Versagensverhalten der Schraubdübel zurückgeführt werden.

Wie aus den Bildern 11 und 12 ersichtlich ist, ergibt sich eine sehr gute Übereinstimmung der Versuchsergebnisse mit den Rechenwerten nach Gleichung (5). Die Versuchsergebnisse sind nach Bild 11 normalverteilt. Die Streuung von $v \sim 15\%$ ist etwas größer als die Streuung der Betonzugfestigkeit. Es kann also gesagt werden, dass die vorgeschlagene Formel hersteller- und größenunabhängig eingesetzt werden kann.

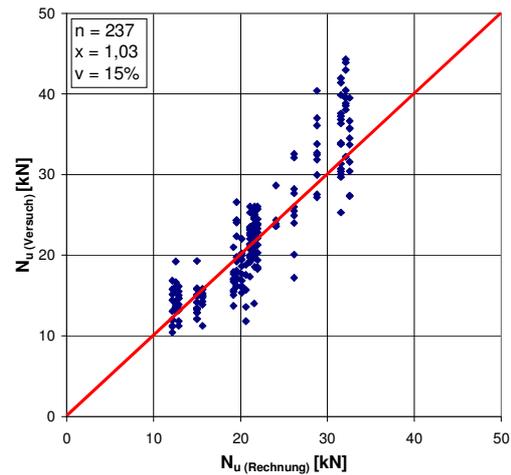


Bild 11: Vergleich der Versuchsergebnisse N_u mit den Rechenwerten N_u^0 nach Gleichung (5) [2]

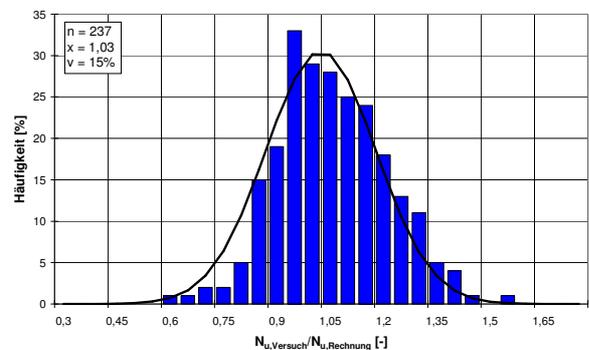


Bild 12: Häufigkeitsverteilung des Quotienten aus gemessener und rechnerischer Betonausbruchlast bei zentrischer Zugbeanspruchung von Schraubdübeln [2]

Zusammenfassung

Bauaufsichtliche Zulassungen des DIBt regeln die Anwendungsbedingungen von Schraubdübeln für sicherheitsrelevante Befestigungen über zulässige Lasten in Beton. Die zulässigen Lasten werden hierbei aus Versuchsergebnissen abgeleitet. Einen allgemein gültigen Bemessungsansatz für Schraubdübel in Beton gibt es bisher nicht.

Das Tragverhalten von Schraubdübeln unter Einfluss verschiedener Rissweiten in gerissenem Beton ist bisher weitgehend ungeklärt. Weiter sollten der Einfluss der Verankerungstiefe, des Bohrereckmaßes, des Bohrlochdurchmessers, der Betondruckfestigkeit und des Herstellers untersucht werden. Daher wurden am Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart Versuche mit verschiedenen Schraubdübeltypen in gerissenem Beton durchgeführt.

Für die Versuche wurden in Deutschland erhältliche Schraubdübeltypen mit Zulassung verwendet. Es wurden vier unterschiedliche Schraubdübeltypen mit einem Bohrlochdurchmesser von 8 bis 12 mm geprüft.

Festgestellt werden kann, dass der Bohrlochdurchmesser und das Bohrereckmaß nur einen geringen Einfluss auf das Tragverhalten haben und dass sich der Einfluss der Verankerungstiefe und die Betondruckfestigkeit wie bei anderen Metalldübeln verhält.

Weiterhin kann festgestellt werden, dass vor allem bei großen Verankerungstiefen die von Seiten des Betons vorhandene Zugfestigkeit nicht ausgenutzt wird.

Außerdem wurde eine erste Abschätzung zum Einsatz des CC-Verfahrens für Schraubdübel in gerissenem Beton gegeben und eine Gleichung zur Berechnung der mittleren Höchstlast vorgeschlagen.

Literaturverzeichnis

- [1] Küenzlen (2001)
Drehmomentversuche mit Schraubdübeln in ungerissenem Beton. IWB Jahresbericht 2000/01. Stuttgart: Institut für Werkstoffe im Bauwesen, 2001
- [2] Küenzlen / Eligehausen (2002)
Tragverhalten von Schraubdübeln in gerissenem Beton. Bericht über Ausziehversuche mit Schraubdübeln. Bericht Nr. W8/7-02/5, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, 2002, nicht veröffentlicht
- [3] Eligehausen / Küenzlen (2002)
Tragverhalten von Befestigungen mit Schraubdübeln, Beton- und Stahlbetonbau, Vol. 97, Nr. 2, 2002, S. 61-68
- [4] Eligehausen / Mallée (2000)
Befestigungstechnik im Beton- und Mauerwerksbau. Ernst und Sohn, Berlin, 2000.
- [5] Küenzlen / Eligehausen 2001
Tragverhalten von Schraubdübeln in niederfestem Beton. Bericht Nr. W8/1-01/1, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, 2001, nicht veröffentlicht
- [6] Küenzlen / Eligehausen (2001)
Tragverhalten von Schraubdübeln in hochfestem Beton. Bericht Nr. W8/2-01/2, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, 2001, nicht veröffentlicht
- [7] Eligehausen / Fuchs / Mayer (1987)
Tragverhalten von Dübelbefestigungen bei Zugbeanspruchung. Beton + Fertigteil-Technik 1987, Heft 12, S. 826-832 und 1988 Heft 1, S. 29-35.

FORTSCHRITTE BEI DER AUTOMATISIERUNG DER SCHALLEMISSIONSANALYSE ADVANCES IN AUTOMATIC ACUSTIC EMISSION ANALYSIS

von/by: Jochen H. Kurz

Einleitung

Schallemissionen sind definiert als in unter Spannung stehendem Material spontan freigesetzte Deformationsenergie. Aufgrund der hierbei auftretenden Mikrobrüche, kann diese Energiefreisetzung mittels Sensoren an der Materialoberfläche gemessen werden. [Grosse, 2002]. Mit der Schallemissionsanalyse ist es möglich Schädigungsprozesse in Materialien während ihrer gesamten Belastungszeit zu detektieren. Es ist offensichtlich, dass die Aufzeichnung von Schädigungsprozessen von der mikroskopischen zur makroskopischen Skala große Datenmengen in relativ kurzen Zeiträumen produziert. Die Anzahl der Ereignisse kann bis zu mehreren tausend betragen. Diese große Anzahl muss bei der Auswerteprozedur berücksichtigt werden. Aufgrund des häufigen schlechten Signal-Rausch Verhältnisses werden noch weitere Prozessierungsschritte benötigt, bevor interpretierbare Ergebnisse vorliegen (Abb. 1).

Introduction

Acoustic emissions are defined as the spontaneous release of localized strain energy in stressed material. Due to micro cracking in the material this energy release can be recorded by transducers on the material's surface [Grosse, 2002]. Acoustic emission analysis is capable of revealing damage processes in materials during the entire load history. It is obvious that the recording of damage processes from the microscopic to the macroscopic scale produces large data sets even during relatively short time spans. The number of events can be about several thousand during one test. The high number of acoustic emissions is one fact that needs to be considered during the analysis procedure, due to the signal's often low signal to noise ratio, several further data processing steps are needed before interpretable results are gained (Fig. 1).

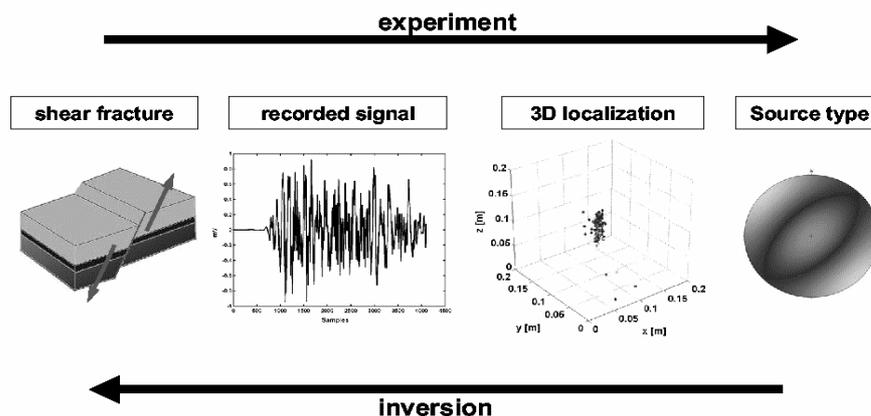


Abb.1: Prinzipskizze der Signalbasierten Schallemissionsanalyse. Das Experiment liefert die Rohdaten des Bruchprozesses, die entsprechend konditioniert werden müssen, bevor eine 3D Lokalisierung oder eine statistische Untersuchung durchführbar ist. Dann kann auf einen Momententensor invertiert werden, der eine Aussage über den Bruchmechanismus zulässt, der die gemessene Schallemission verursacht hat.

Fig.1: Principle sketch of the signal based acoustic emission analysis. The experiment provides raw data of the fracture process which needs to be converted and conditioned before a 3-dimensional localization or a statistical analysis is possible. Finally a moment tensor inversion can be calculated which leads to the fracture mechanism that initially generated the acoustic emissions.

Die Automatisierung der Daten Auswertung ist hier bevorzugenswert. Insbesondere Signal-konditionierung und Ersteinsatzbestimmung sind sehr zeitraubend. Schallemissionsanalyse heißt aber auch, Informationen über den Bruchprozess aus den aufgezeichneten Daten zu gewinnen. Allerdings gibt es verschiedene Ebenen des Informationsgehaltes, z.B. die Lokalisierung, die den Ort des Bruches wiedergibt oder eine statistische Analyse, die Aussagen über die Entwicklung der Schädigung zulässt oder die Momententensorinversion, die ein Bild des Bruches selber wiedergibt. Jede Ebene braucht unterschiedliche Algorithmen. Häufig bauen die Ebenen auch aufeinander auf, d.h. die Momententensorinversion braucht die Ergebnisse der Lokalisierung, die Sensor Koordinaten und die Amplituden des Ersteinsatzes. Die benutzten Algorithmen sind in der Regel als nicht-trivial zu betrachten. Eine Fehlersuche in einem vollständig automatisierten Auswerteprozess ist somit schwierig. Daher wird das Optimum zwischen Transparenz und Automatisierung, sowohl der einzelnen Auswerteschritte als auch der gesamten Schallemissionsanalyse benötigt [Kurz et al., 2003]

Transienten Rekorder Entwicklung

Das Auftreten von einer großen Zahl von Schallemissionen innerhalb von kurzen Zeiträumen bedarf eines schnellen Aufzeichnungsgerätes. Die Frequenzen der Ereignisse liegen im Ultraschall Bereich. Ein Transientenrekorder braucht somit eine gute Auflösung bei der A/D Wandlung und somit der Sampling Rate. Das bis jetzt benutzte Gerät kann nur 1 Ereignis pro Sekunde triggern und speichern bei einer Abtastrate von 5 MHz.

The automation of the data processing steps is a highly preferable status. Especially signal conditioning and onset detection are very time consuming. However, acoustic emission analysis means obtaining information about the fracture process from the recorded signals. But there are different stages of information content like localization which says where the fracture occurred, statistical analysis which permits several statements about the development of the fracture and moment tensor inversion which gives an image of the fracture process itself. Each stage needs different numerical algorithms. Often the stages synthesize one another e. g. the moment tensor inversion needs the localization results, the sensor coordinates and the onset amplitudes. The applied numerics are generally non-trivial, that means error search within a fully automatic process is really difficult. Therefore, a good balance between transparency and automation of the processing steps themselves and the entire acoustic emission analysis is needed. [Kurz et al., 2003]

Transient recorder development

Due to the large number of occurring acoustic emissions within short periods, it is obvious that a fast recording system is needed. Furthermore, the events' frequencies are in the ultrasonic frequency range. Therefore, the transient recorder needs a high resolution in the A/D conversion and so a high sampling rate. The up to now used transient recorder is only able to trigger and store about one event per second with a sampling rate of 5 MHz.

Mit diesem System ist die Aufzeichnung aller auftretenden Ereignisse nicht möglich. Aus diesem Grund wurde ein neuer Transientenrekorder entwickelt.

Das neue System besteht aus zwei Transientenrekordern auf einer Hardware-Basis. Das erste „Gerät“ zeichnet alle Daten kontinuierlich auf, mit einer Auflösung von 12 Bit und einer maximalen Abtastfrequenz von 1,25 MHz bei Verwendung von 8 Kanälen. Der Vorteil dieses Prinzips ist, dass alle Ereignisse aufgezeichnet und danach über einen Schwellwert extrahiert werden. Dieses Verfahren erzeugt allerdings sehr große Datenmengen. Allerdings besteht so zusätzlich die Möglichkeit in den relativ langen Zeitreihen, nach Langzeit-Korrelationen zu suchen. Das zweite „Gerät“ ist in der Lage zwischen 40 und 50 Ereignisse pro Sekunde bei einer Abtastfrequenz von 2,5 MHz zu speichern. Da die eingebauten Messkarten für beide Systeme verwendet werden liegt dieselbe Amplitudenauflösung vor.

Schallemissionsexperimente mit Beton zeigen eine Ereignisrate von bis zu mehr als 30 Ereignissen pro Sekunde. D.h. das zweite Transientenrekorder-System ist in der Lage die Mehrheit der Ereignisse zu erfassen, wenn nicht sogar alle [Kurz et al., 2003].

Die große Zahl der aufgezeichneten Schallemissionen führt zwangsläufig zu neuen Strategien in der Signalanalyse. Automatisierung ist hier ein wichtiger Punkt, der durch die Möglichkeit der statistischen Betrachtung von Ergebnissen wie z.B. der Zuverlässigkeit von automatischen Lokalisierungen unterstützt wird.

Signalkonditionierung

Bevor die Ersteinsatzbestimmung und Lokalisierung mit dem selbst entwickelten Programm Polar^{AE} möglich ist, müssen einige Bearbeitungsprozeduren mit den Rohdaten durchgeführt werden. Hierfür wurde unter LabVIEW das Programm all2sdf entwickelt.

Using this system the detection of nearly all events is not possible. Therefore, a new transient recorder system was developed.

This new system contains two transient recorders on one hardware platform. The first one is a continuously recording system which has got an amplitude resolution of 12 bit and a maximum sampling rate of 1,25 Mhz using 8 channels. The advantage of that data acquisition principle is that really all signals are recorded and after the recording extracted via a threshold trigger. A fact that has to be considered is that huge dataset are gained using this method. But therefore, it is possible to investigate relative long time series from an experiment e.g. to search for long term correlations. The second transient recorder stores directly the triggered signals with a storing rate between 40 and 50 events per second and a sampling rate of 2.5 MHz. Due to the use of the same data acquisition cards the amplitude resolution is for both transient recorders the same.

During experiments with concrete the acoustic emission rate can be about more than 30 events per second. The second transient recorder system is able to detect the majority of events unless even all events [Kurz et al., 2003].

Furthermore, the large number of acoustic emissions leads to new strategies in signal processing. As mentioned above automatic analysis is highly preferable. This approach is supported by the possibility to work due to huge datasets with features from statistical analysis.

Signal conditioning

Several analysis procedures need to be applied to raw data before onset detection and localization using the self developed program Polar^{AE} is possible. Therefore, a program based on the development environment LabVIEW called all2sdf was evolved.

Häufig liegen die Rohdaten in einem Format vor, dass nicht von Polar^{AE} gelesen werden kann, oder das im Ascii Format gewünscht wird. Somit ist die Format-Konvertierung der erste Bearbeitungsschritt. Dies wird automatisch von all2sdf durchgeführt. In die Konvertierung ist die Signalkonditionierung mit eingeschaltet. Ein sog. Formelknoten macht die direkte Interaktion von Matlab und LabVIEW möglich. Die komplette Matlab Funktionalität hinsichtlich Signal Konditionierung (Filtern und Entrauschen) kann genutzt werden. Aufgrund häufiger niederfrequenter Störgeräusche der Prüfmaschinen wird dieses Verfahren generell angewendet. Für Filtern und Entrauschen wird die Wavelet- Transformation benutzt. In den Wavelet-Koeffizienten stecken die Informationen über die Änderung der Frequenz (proportional zur Skalierung) des Signals mit der Zeit, die so eine genaue und komfortable Signal Konditionierung ermöglichen [Kurz et al., 2003]

Often the raw data is in a binary format which cannot be read by the onset detection software or which is wanted in ascii format. Data conversion is the first step which must be processed. This is done automatically by all2sdf. Within the conversion process signal conditioning is implemented. The so called formula node makes a direct interaction of LabVIEW and Matlab possible. That means the whole Matlab functionality regarding signal conditioning (filtering and de-noising) is used. Due to the often low signal to noise ratio and disturbances (low frequent) of the testing apparatus this procedure is generally applied. Filtering and de-noising is applied using the the wavelet transform. The time-scale joint representation of the wavelet transform offers a lot of information of the time series separated in the coefficients. This enables accurate and comfortable signal conditioning [Kurz et al., 2003]

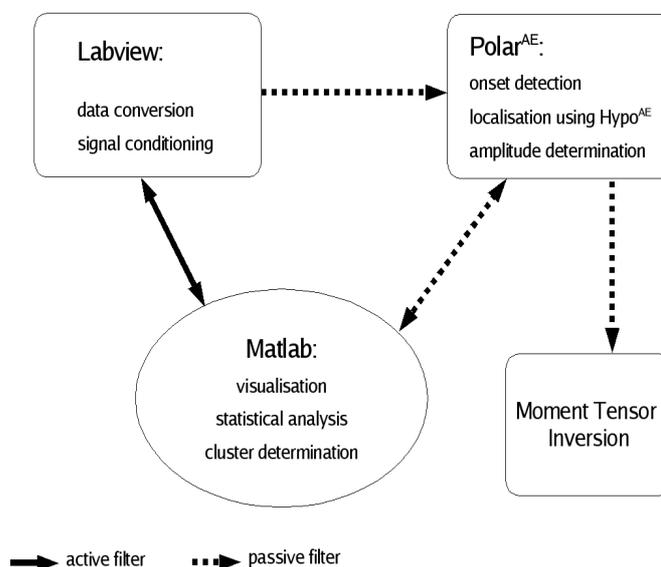


Abb.2: Flussdiagramm der Datenverarbeitungsschritte. Die Interaktion der Programme und Entwicklungsumgebungen wird durch die Pfeile beschrieben. Eine Verbindung, die einem passiven Filter entspricht wird als Funktion oder Prozedur aufgerufen. Insbesondere die sehr gute Interaktion der Programme Matlab und LabVIEW über sog. Formelknoten, die einen aktiven Filter darstellen, erlauben einen hohen Grad an Automatisierung der von diesem Umgebungen gesteuerten Prozesse. Ein aktiver Filter startet selbstständig als ein separates Programm oder Thread.

Fig.2: Flowchart of the data processing steps. The interaction of the different programs/development environments is described through arrows. An interaction which equals a passive filter is accessed as a function or procedure for execution. Especially the good interaction skills of the Matlab - LabVIEW formula node which equals an active filter allows a high degree of automation of the routines handled by these two environments. Though, an active filter starts autonomous as a separate program or thread.

Polar^{AE}

Die Ersteinsatzbestimmung und 3D-Lokalisierung von Schallemissionen bedarf einer zuverlässigen und komfortablen Software. Das bisher benutzte Programm WinPecker [Grosse, 2001] zeigte einige Einschränkungen hinsichtlich Stabilität und Bedienungsfreundlichkeit. Daher wurde eine neue Software, die den WinPecker Rechenkern weiterbenutzt mit dem Namen Polar^{AE} (Programm for Onset Detection, Localization and Amplitude Readout for Acoustic Emission) entwickelt (Abb. 3). Die neue GUI (Graphical User Interface) Umgebung gewährleistet eine höhere Programstabilität und neue Bedienmöglichkeiten. Die Zoom Funktionen wurden erweitert genauso wie die Möglichkeit den Picker mit der Maus zu setzen und andere Visualisierungsmöglichkeiten [Rosenbusch & Kurz, 2003]. WinPecker hatte schon einen implementierten Hochpass Filter für die automatische und semi-automatische Ersteinsatzbestimmung. Mit Polar^{AE} ist es jetzt möglich, zwischen der Ansicht von ungefilterten und gefilterten Daten hin und her zu schalten. Eine komplett neues Element ist die Möglichkeit Amplituden auszulesen. Hierfür wurde ein gesonderter Modus implementiert. Das Benutzen von Entwicklungsmustern aus der theoretischen Informatik sowie der neuesten Visualisierungsbibliothek führte zu einem optimal einsetzbaren Programm [Rosenbusch, 2003].

Polar^{AE}

The onset detection and 3-dimensional localization of acoustic emissions requires a high performance, stable and comfortable software. Due to the stability and handling limitation of the up to now used software WinPecker [Grosse, 2001] a new software using the WinPecker kernel of calculation called Polar^{AE} (Programm for Onset Detection, Localization and Amplitude Readout for Acoustic Emission) was developed (Fig. 3). The new graphical user interface (GUI) environment implicates a better stability and several new features. The zoom functions were upgraded as well as the opportunity to set the picker by using the mouse and several other visualization features [Rosenbusch & Kurz, 2003]. WinPecker already had an implemented high pass filter for automatic and semi-automatic onset detection, but now it is possible to switch the view between filtered and unfiltered data. A complete new feature is the ability to read out amplitude values. Herefore, an extra mode was implemented. Considering methods and design patterns from the field of theoretical informatics and using the latest visualization library lead to an optimum performance of the software [Rosenbusch, 2003].

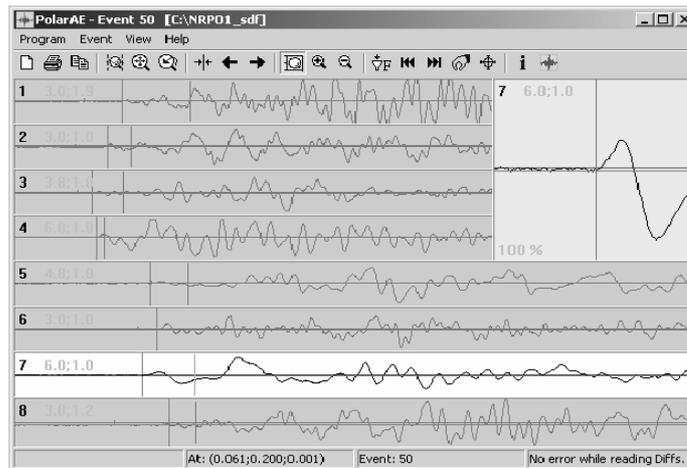


Abb. 3: Screenshot des Programmes Polar^{AE}. Die neue GUI Umgebung erleichtert die Bedienung der Software erheblich. Zudem hat das Programm erheblich an Stabilität gewonnen. Aufgrund der besseren Bedienbarkeit ist die manuelle Ersteinsatzbestimmung um etwa 15 % schneller durchführbar als mit dem Programm WinPecker.

Fig. 3: Screenshot of Polar^{AE}. The new GUI facilitates the software handling and is more stable than WinPecker. Due to the better handling the manual onset detection is about 15 % faster than using WinPecker.

Ansätze für die automatische Ersteinsatzbestimmung

Die Ersteinsatzbestimmung ist wichtig für die weitere Datenanalyse, insbesondere für die Lokalisierung. Die Lokalisierung wiederum wird für die Momententensorinversion benötigt [Grosse et al., 2003]. Die großen Datensätze an Schallemissionen sollten mit automatischen Routinen bearbeitet werden. Ein hierbei wichtiges Feld ist automatische Ersteinsatzbestimmung. Nicht alle Ereignisse aus großen Datensätzen müssen lokalisiert werden. Eine auch bei niedrigem Signal-Rausch Verhältnis verlässliche Lokalisierung mit einer Erfolgsquote von 40 % bis 50 % wäre schon ausreichend.

Polar^{AE} genauso wie sein Vorgänger WinPecker haben einen implementierten automatischen Picker, der den Ersteinsatz über die Energieänderung im Signal definiert, auch bekannt als Hinkley Kriterium [Grosse, 2001]. Kürzlich durchgeführte Tests an Signalen mit mittlerem Signal-Rausch Verhältnis haben eine Erfolgsquote von 40 % ergeben.

Different approaches for automatic onset detection

Important for all further data analysis is the exact onset detection which is essential for localisation of the events. The localization is important e.g. for the moment tensor inversion [Grosse et al., 2003]. The large datasets gained during acoustic emission experiments require automatic analysis routines. One important field of investigation is the automatic onset detection. Within large datasets not all events need to be localized. If there is only a rate of success of about 40 to 50 %, this would be sufficient. But the results need to be reliable and it should work with a relatively low signal to noise ratio.

Polar^{AE} as well as its forerunner WinPecker have got an implemented automatic picker based on the change of energy when the onset occurs. This is also known as the Hinkley criterion [Grosse, 2001]. Recent tests have shown a rate of success of about 40 % for typical noisy data.

Aber es gibt einige, bisher noch nicht in der Schallemissionsanalyse getestete automatische Picker, die aus der Seismologie stammen. Im folgenden werden zwei in der Seismologie erfolgreich benutzte Verfahren vorgestellt.

Der STA/LTA Picker [Baer & Kradolfer, 1987] basiert auf einer Frequenz Analyse. Die Einhüllende des Signals wird als charakteristische Funktion benutzt. *Short Term Average* und *Long Term Average* werden durch Mittelung der Ergebnisse für benachbarte Datenpunkte bestimmt. Die aktuellen STA und LTA Werte werden dann durch Bilden der Differenz zwischen vorangehendem STA bzw. LTA Wert mit dem entsprechenden Wert der charakteristischen Funktion und Multiplikation mit verschiedenen Konstanten für STA und LTA ermittelt. Bei der Ermittlung des LTA findet maßgeblich der niedrige Frequenzbereich Berücksichtigung, wohingegen beim STA hohe Frequenzen hervorgehoben werden (Abb. 4). Das Verhältnis von STA zu LTA wird bestimmt, genauso wie eine Triggerschwelle, die sich aus LTA multipliziert mit einer weiteren Konstanten ergibt. Der erste Schnittpunkt von Triggerschwelle und STA zu LTA Verhältnis ist der Ersteintritt. Für lokale seismische Ereignisse hat dieser Picker eine Erfolgsquote von bis zu 70 %. Auf seine Anwendbarkeit für Schallemissionen, wo Signal und Rauschen im selben Frequenzbereich liegen, wurde dieser Picker noch nicht untersucht.

Die andere Methode ist, ein neuronales Netz mit rückwärtiger Ausbreitung für die Ersteintrittsbestimmung zu verwenden. Theorie und Anwendung neuronaler Netze sind in Callan (2003) und Dai & MacBeth (1995) beschrieben. Strukturell handelt es sich bei einem neuronalen Netz um eine Verbindung von Einheiten, die miteinander kommunizieren können. Die Einheiten werden mit verschiedenen Eingangssignalen anderer Einheiten gespeist. Die Signale werden dann zu einer Anweisung zum Ausführen einer einfachen Berechnung verknüpft. Das Ergebnis dient als Ausgangssignal, das über Datenleitungen zu

But there are a few more automatic picker from seismology available and not tested on acoustic emissions yet. In the following a short theoretical description of two successful in seismology implemented methods will be given.

The STA/LTA picker [Baer & Kradolfer, 1987] is based on a frequency analysis. The signal's envelope is taken as the characteristic function. The short term average (STA) and the long term average (LTA) values are gained by calculating the mean value of each average form for adjacent data points, then building the difference between the corresponding value of the characteristic function and the average and multiplying the difference with a different constant for the STA and the LTA. The LTA corresponds to a frequency of a low-pass filter (Fig. 4). Then the STA/LTA ratio should be calculated and a trigger which is LTA times another constant is needed. The first intersection of trigger and STA/LTA ratio is the onset. The LTA takes into consideration the low frequencies while the STA is targeted at the high frequencies which contain the signal. The rate of success is for local seismic events about 70 % but for acoustic emissions where frequency and noise are in the same frequency range this algorithm has not been tested yet.

The other method is to use backpropagating neural networks for onset detection. The theory of neural networks and their application is described briefly in Callan (2003) and Dai & MacBeth (1995). The principle of a neural network is simple. Several connected units are able to communicate with each other. The output from each unit which is generally the input for another unit is a calculated result by the unit itself. The unit's connections are weighted, i.e. the data flow can be forced or suppressed which is a severe influence on the whole process. This behaviour is quite similar to biological neural networks. The weights will be learned by the net during training on showcase data. Backpropagation means that a

anderen Einheiten kommuniziert wird. Die gewichteten Datenleitungen können dabei die Übertragung verstärken oder hemmen und somit den Prozess wesentlich beeinflussen. Die erforderliche Gewichte werden in einer Trainingsphase an exemplarischen Daten erlernt. Während des Lernprozesses wird der momentane Fehler rückwärtig übermittelt. Dai & MacBeth trainierten ein neuronales Netz mit verschiedenen Ersteinsätzen und Segmenten von Hintergrundrauschen zur optimalen Bestimmung der Ersteinsätze. Mit einem sich bewegenden Fenster wird dann der Absolutwert des Signals abgetastet. Die Ausgabekoeffizienten des neuronalen Netzes sind die Eingabewerte zur Berechnung der charakteristischen Funktion des Signals, deren absolutes Maximum dann der Ersteinsatz ist (Abb. 4). Die Erfolgsquote lag für seismische Daten bei etwa 90 %. Allerdings ist dieses Verfahren relativ Rechenzeitintensiv.

special training procedure is used whose core idea is to backpropagate the error within the net.

Such a neural network was used by Dai & MacBeth (1995) to detect onsets in seismological data. The net was trained on ideal onsets and background noise. The application on real data is realised by a sliding window which is shifted along the transformed signal. The signal's transform into a characteristic function is done by the neural network, i.e. the output coefficients are the coefficients of the characteristic function (Fig. 4). The rate of success was about 90 %. The procedure's disadvantage is that it is a relative slow process.

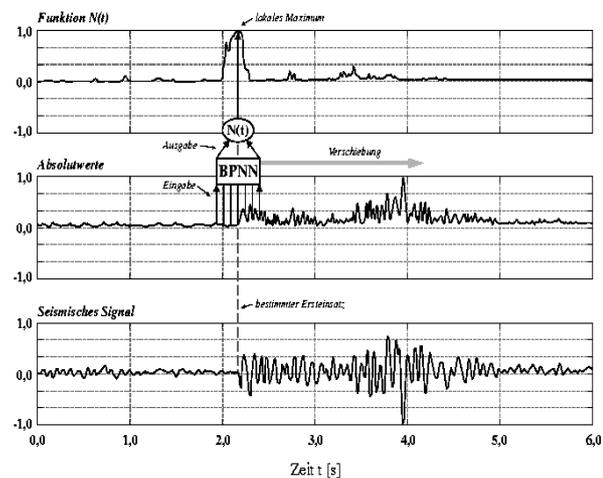
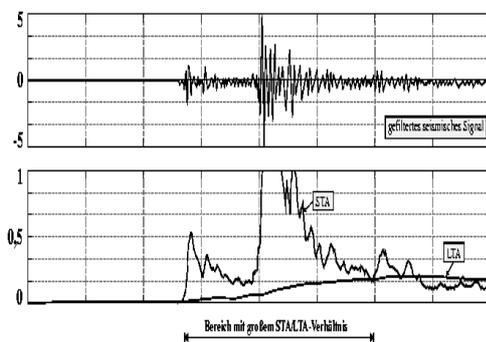


Abb. 4: Die linke Abbildung zeigt ein seismisches Signal mit zugehöriger LTA- und STA-Funktion [Baer & Kradolfer, 1987]. Die rechte Abbildung zeigt die Anwendung des Neuronales Netzes auf ein seismisches Signal. Die Absolutwerte des Signals werden dabei vom neuronalen Netz abgetastet und die charakteristische Funktion wird berechnet (oberstes Bild). Dabei entspricht das absolute Maximum der charakteristischen Funktion dem Ersteinsatz [Dai & MacBeth, 1995].

Fig.4: The left figure shows a seismic signal with its LTA und STA function [Baer & Kradolfer, 1987]. The figure on the right hand side shows the application of a neural network on a seismic signal. The modulus of the signal is sampled by the neural network and the characteristic function is calculated (top picture). The total maximum of the characteristic function represents the onset [Dai & MacBeth, 1995].

Weitere Auswerteverfahren

Neben den bisher genannten Auswertemethoden ist es auch möglich statistische Verfahren in der Schallemissionsanalyse zu verwenden. Eine Anwendung sind sog. Scalegrams [Scargle et al., 1993]. Hierfür bildet man die normierte mittlere quadratische Abweichung der Wavelet-Koeffizienten eines Skalenwertes. Das Ergebnis ist ein Energieäquivalent (Abb. 5). Dieses Verfahren ist dann besonders hilfreich, wenn die maximale Amplitude der Signale aufgrund einer Amplitudenbegrenzung z.B. des Vorverstärkers nicht verwendet werden kann (Abb. 5). Das Scalegram kann für die Raum-Zeit-Analyse des Bruchprozesses verwendet werden wie z.B. die b-Wert Bestimmung [Shiotani, 2002].

Schallemissionen stammen häufig von ähnlichen Quellen wie z.B. wachsende Risse. Auffällig wird dies anhand der lokalisierten Cluster der Ereignisse. Ein Cluster ist definiert als ein begrenzter Raum im Probekörper, in dem mindestens zwei Ereignisse dicht beieinander unter Berücksichtigung der Laufwege und der Fehlergrenzen lokalisiert wurden [Grosse et al., 2003].

Die Ähnlichkeit der Wellenform von Schallemissionen kann durch verschiedene Algorithmen untersucht werden. Jeder Algorithmus kann auf das reine Signal oder dessen Einhüllende angewendet werden. Eine Möglichkeit ist die Kreuzkorrelation zu verwenden [Schulte-Theis, 1995]. Ein Anwendungsbeispiel hierzu zeigt Abb. 6. Dort ist eine sortierte Ähnlichkeitsmatrix von 932 Ereignissen dargestellt. Benutzt wurde die Einhüllende des Signals.

Darüber hinaus kann man die spektrale Kohärenz zur Untersuchung der Ähnlichkeit von Wellenformen benutzen [Grosse, 1996]. Allerdings sind hier mehrere frei wählbare Parameter zu beachten, die bei der Kreuzkorrelation nicht vorliegen.

Ein weiterer Ansatz, der bisher nur rudimentär getestet wurde ist, den Absolutwert einer Skalierung der komplexen Wavelet-Transformation zu verwenden. Dieser Absolutwert entspricht der Einhüllenden des Signals, die

Further Analysis Methods

Beside the features presented above there are several statistical methods applicable on acoustic emissions. One of these features is making a so called scalegram [Scargle et al., 1993]. A scalegram is produced by taking the mean square wavelet coefficient over a scale. That means it is a measure for the energy over a scale of a signal (Fig. 5). This is especially important if the maximum amplitude cannot be taken due to an amplitude limit e.g. of a preamplifier (Fig. 5). The energy equivalent (scalegram) can be taken for a b-value analysis [Shiotani, 2002] or for other investigations on the spatiotemporal behaviour of the fracture process.

Acoustic emission data often comes from a similar source like a growing crack. This fact is expressed by numerous clusters occurring during the recording interval. A cluster is defined as a location with a certain extension in the specimen, where more than two events are located close to each other in relation to the travel path and considering the uncertainties of localization [Grosse et al., 2003].

The similarity of acoustic emission waveforms can be shown by applying several algorithms. Each algorithm can be applied to the pure signal or to the signal's envelope. One possibility is to calculate the correlation coefficients of the cross correlation of several signals [Schulte-Theis, 1995]. An example for the application of the cross correlation is shown in Fig. 6. Here, a similarity matrix of the envelope of 932 events was calculated. The raw matrix then has to be sorted by the rows and columns which are similar to each other.

Furthermore, one can take the magnitude squared coherence function to show the similarity of acoustic emission waveforms [Grosse, 1996]. But there are more free parameters which have to be handled carefully than by using a simple cross correlation.

Another approach tested rudimentarily yet is to take the modulus of the scale of a complex wavelet transform instead of the signal's envelope. The modulus of the complex wavelet

für das Signal sonst über die Hilbert-Transformation berechnet wird. Der Absolutwert der Skalierung, die proportional zur Frequenz ist, mit der größten Amplitude wird dann für die Berechnung der Kreuzkorrelation genommen. Die so erzielten Korrelationskoeffizienten von ähnlichen Signalen zeigen viel höhere Werte, als die mit dem reinen Signal oder dessen Einhüllender errechneten. Der Vorteil in der beschriebenen Wavelet-Methode liegt darin, dass die Skalierung mit der maximalen Amplitude generell kaum störendes Rauschen enthält. Durch die Wavelet-Transformation können Signal und Rauschen sehr gut voneinander getrennt werden, da das Rauschen in den höheren Skalierungen zu finden ist. Eine Annahme bei dieser Vorgehensweise ist, dass die Skalierung mit der maximalen Amplitude, die Wellenform des Signals am besten wiedergibt, und die ersten Ergebnisse bestätigen diese These.

transform is equal to the the signal's envelope gained by the hilbert transform.

Taking the modulus of the wavelet scale (which is proportional to the frequency) with the highest amplitude for cross correlation higher correlation coefficients for similar signals were gained than with the other described methods. The advantage here is that by taking the scale with the maximum amplitude rather no disturbing noise is present, due to the fact that the noise is generally represented by the highest scales which do not include the signal's main part. The assumption is that the scale with the maximum amplitude represents the signal's waveform best and the first results confirm this procedure.

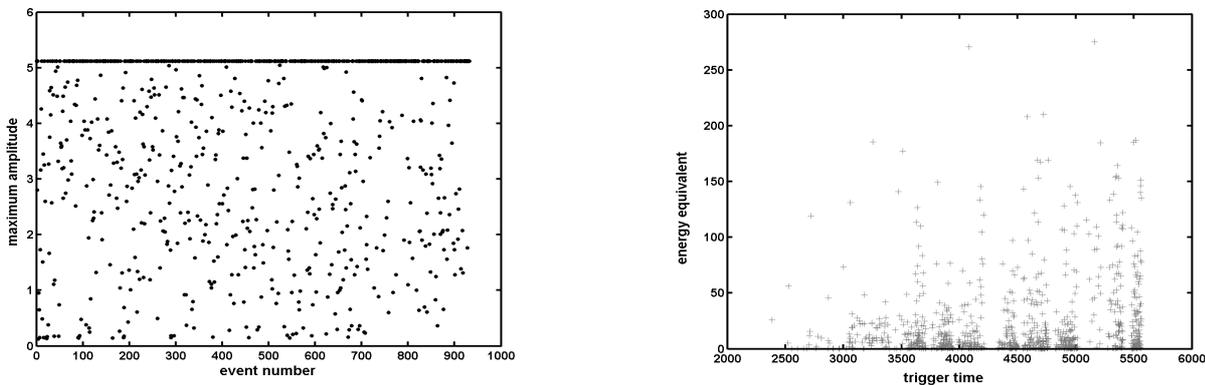


Abb. 5: Die linke Abbildung zeigt die ausgelesene maximale Amplitude von den 932 Ereignissen eines Druckversuches. Deutlich erkennbar ist, dass der Vorverstärker nur einen Signalbereich von maximal 5 Volt bearbeiten kann. Bei größeren Amplituden werden diese auf den Maximalwert des Gerätes gesetzt. Die rechte Abbildung zeigt ein berechnetes Scalegram für denselben Datensatz. Mit einem Scalegram wird das Problem der maximalen Amplitude umgangen, da ein Äquivalent für die Gesamtenergie des jeweiligen Signals berechnet wird.

Fig. 5: The left figure shows the maximum amplitude of 932 events from a pressure test. It is obvious that the preamplifier only has got a maximum range of 5 Volts. Higher Amplitudes are cut off at 5 Volts. The right figure shows a scalegram for the same dataset. Using a scalgram instead of the signal's maximum amplitude an equivalent for the energy of each signal is gained which solves the amplitude problem.

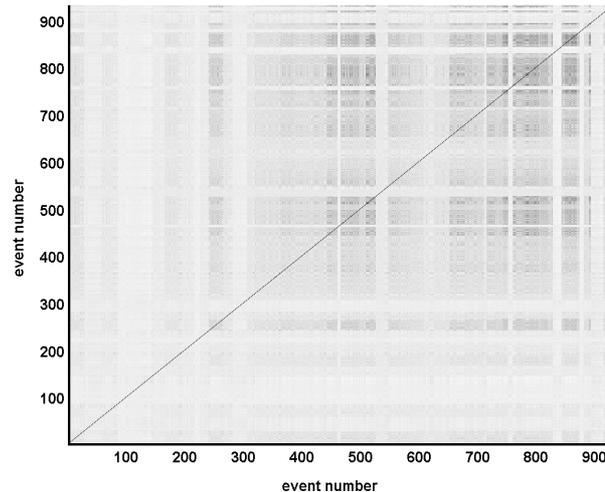


Abb. 6: Sortierte Ähnlichkeitsmatrix für 932 Ereignisse eines Druckversuches. Die dunklen Bereiche zeigen hohe Korrelationswerte an, wohingegen die hellen Bereiche niedrige Korrelationswerte wiedergeben. Man erkennt deutlich, dass sich einige Cluster von Schallemissionen mit ähnlichen Wellenformen hervorheben.

Fig. 6: Sorted similarity matrix of 932 events from a pressure test. The dark parts represent high correlation values and the light part show low correlation values. Several clusters showing acoustic emissions with similar waveforms are clearly visible.

Zusammenfassung

Schallemissionsdaten beinhalten eine Vielzahl an Informationen über Bruchprozesse, durch die sie verursacht wurden. Die Signalbasierte Schallemissionsanalyse erlaubt detaillierte Untersuchungen des Bruchprozesses und der Versagensart. Häufig erhält man jedoch mehrere tausend Ereignisse aus einem Versuch. Die manuelle Auswertung dieser Datenmengen ist sehr zeitaufwendig und deshalb wurde häufig nur eine verkürzte Auswertung betrieben. Zusätzlich ist meistens das Signal-Rausch-Verhältnis sehr gering. Aus diesem Grunde wurde eine automatische Auswerteroutine, die die Format-Konvertierung, das Entrauschen, die Lokalisierung, die Momententensorinversion und weitere Verfahren aus dem Gebiet der Statistik enthält, entwickelt. Allerdings ist hierbei auch zu beachten, dass das Optimum zwischen Transparenz der Prozesse und deren Automatisierung erreicht wird.

Conclusion

Acoustic emission data contains a lot of information about the fracture process it was emitted from. A signal based acoustic emission analysis permits detailed investigations on the fracture mechanics and the failure process. But often there are several thousand events from one fracture area. Doing the data analysis by hand is a very time consuming process and therefore often only a rudimentary analysis is performed. Furthermore, the data's signal to noise ratio is often very low. Therefore, the development of an automatic analysis method containing data conversion, denoising, localization, moment tensor inversion and other features from the field of statistical mathematics is indispensable. But also a good balance between transparency and automation of the processing steps themselves and the entire acoustic emission analysis should be reached.

Literatur**References**

- Baer, M., Kradolfer, U.: An automatic phase picker for local and teleseismic events. BSSA, Vol. 77, No. 4, pp. 1437-1445, 1987.
- Callan, R.: Neuronale Netze im Klartext. Pearson Studium, München, 1. Aufl, 2003.
- Dai, H., MacBeth, C.: Automatic picking of seismic arrivals in local earthquake data using an artificial neural network. Geophys. J. Int. Vol. 120, pp. 758-774, 1995.
- Grosse, C. U., Finck, F. Kurz, J. H., Reinhardt, H.-W.: Improvements of the acoustic emission technique using wavelet algorithms, coherence functions and automatic data analysis techniques. J. Constr. Build. Mat., 2003, submitted.
- Grosse, C. U., Reinhardt, H.-W, Finck, F.: Signal based acoustic emission techniques in civil engineering. J. Mat. Civ. Eng., Vol. 15, No. 3, pp. 274-279, 2003.
- Grosse, C. U.: Basics of acoustic emission measurement techniques. Kluwer Academic Publishers, Hingham MA, USA, Ch. 9, p. 45, 2002.
- Grosse, C.U.: WinPecker Instruction Manual – Program for the 3D Localization of Acoustic Emissions and the Automatic Determination of Onset Times. Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, 1. Aufl., 2001.
- Grosse, C. U.: Quantitative zerstörungsfreie Prüfung von Baustoffen mittels Schallemissionsanalyse und Ultraschall. Dissertation, Universität Stuttgart, Stuttgart, 1996.
- Kurz, J. H., Finck, F., Grosse, C. U., Reinhardt, H.-W.: Automatic analysis of acoustic emission measurements on concrete. Proc. NDT-CE, Berlin Sept. 2003, DGZfP, 2003.
- Kurz, J. H., Ruck, H.-J., Finck, F., Grosse, C. U., Reinhardt, H.-W.: Wavelet algorithms for non destructive testing. Proc. NDT-CE, Berlin Sept. 2003, DGZfP, 2003.
- Kurz, J. H., Wolter, V. Bahr, G., Motz, M.: Concepts of transient recorder development for acoustic emission analysis. Otto-Graf-Journal, Vol. 14, 2003, in press.
- Roebusch, N., Kurz, J. H.: PolarAE – Funktionen und Bedienung. Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, unveröffentlicht, 2003.
- Rosenbusch, N.: Entwicklung eines Programmes zur Bestimmung von Ersteinsätzen und Amplituden sowie zur 3D-Lokalisierung von Schallemissionen. Diplomarbeit, unveröffentlicht, 2003.
- Schulte-Theis, H.: Automatische Lokalisierung und Clusteranalyse regionaler Erdbeben. Berichte des Instituts für Geophysik der Ruhr-Universität Bochum, Reihe A, Nr, 41, 1995.
- Shiotani, T., Yuyuma, S., Li, Z. W., Ohtsu, M.: Application of AE improved b-value to quantitative evaluation of fracture process in concrete materials. J. Acoustic Emission, Vol. 19, pp. 118-133, 2001.

**MODELLIERUNG DES VERBUNDVERHALTENS IN DER
FINITE ELEMENT ANALYSE VON STAHLBETONBAUTEILEN
MODELLING OF BOND BEHAVIOR IN THE
FINITE ELEMENT ANALYSIS OF RC STRUCTURES**

von/by: S. Lettow, U. Mayer, J. Ožbolt

EINLEITUNG

Die Funktionsfähigkeit des Verbundwerkstoffes Stahlbeton wird durch die Übertragung der Zugkräfte von der Bewehrung in den Beton gewährleistet. Diese Kraftübertragung beruht auf der Verbundwirkung zwischen Bewehrung und Beton. Folglich ist es bei der Finite Element Analyse von Stahlbetonkonstruktionen notwendig, das Verbundverhalten zwischen Bewehrung und Beton wirklichkeitsnah zu erfassen. Hierfür ist ein geeigneter Ansatz zur Beschreibung der Interaktion zwischen Bewehrung und Beton, also der Kraftübertragung in der Verbundfuge (Abb. 1a), für den Einsatz in der dreidimensionalen FE Analyse erforderlich. Die Modellierung des Verbundverhaltens ist prinzipiell auf zwei Arten möglich: (1) phänomenologisch, basierend auf einer verschmierten oder diskreten Modellierung der Beton-Bewehrungsstahl Kontaktzone (Abb. 1b) und (2) detailliert, wobei der Beton und der Bewehrungsstahl explizit dreidimensional modelliert werden (Abb. 1c).

Bei der diskreten phänomenologischen Modellierung des Verbundverhaltens werden Beton und Bewehrungsstab durch spezielle Finite Elemente miteinander verbunden. Diese Verbindung kann z.B. durch sog. "*zero thickness*" Federelemente (Elemente ohne geometrische Breite) realisiert werden. Dadurch besteht die Möglichkeit mit relativ geringem Modellierungs- und auch Rechenaufwand das Verhalten von Stahlbetonbauteilen realitätsnah zu simulieren. Bei der detaillierten Modellierung, d.h. der tatsächlichen Abbildung der Rippen des Bewehrungsstabes und der Betonkonsolen zwischen den Stabrippen, muss zwangsläufig ein sehr feines FE-Netz generiert werden.

INTRODUCTION

Reinforced concrete structures perform well only if the transfer of tensile forces from the reinforcing bars into the surrounding concrete is ensured. This load transfer relies on the bond action between reinforcement and concrete. Hence, for the finite element analysis of reinforced concrete structures one needs to simulate the bond behavior between reinforcement and concrete realistically. Thus for a three-dimensional finite element analysis a capable approach to describe the interaction between reinforcement and concrete, such as the force transfer in the interface between concrete and reinforcement (Fig. 1a) is required. Numerical modeling of bond is principally possible at two different levels: (1) phenomenological modeling based on smeared or discrete formulation of the bar-concrete interface (Fig. 1b) and (2) detailed analysis in which the geometry of the bar-concrete connection is modeled by a three-dimensional model (Fig. 1c).

Using the discrete phenomenological modeling method of the bond behavior the concrete and the reinforcement are connected by special finite elements. Linking can be realized by so called "*zero thickness*" spring elements (elements with no geometric width). Thus one has the possibility to realistically simulate the behavior of reinforced concrete structures with relatively low effort in modeling and computing time. By the use of detailed modeling, such as both modeling of the ribs of the reinforcement and the concrete lugs between the ribs of the reinforcement a quite fine finite element mesh has to be generated. This leads again to a high effort in modeling work and also to a really

Dies bedeutet eine aufwendige Modellierung, sowie lange Rechenzeiten, besonders bei komplexen Stahlbetonbauteilen.

long computing time in particular while carrying out a finite element analysis on complex reinforced concrete structures.

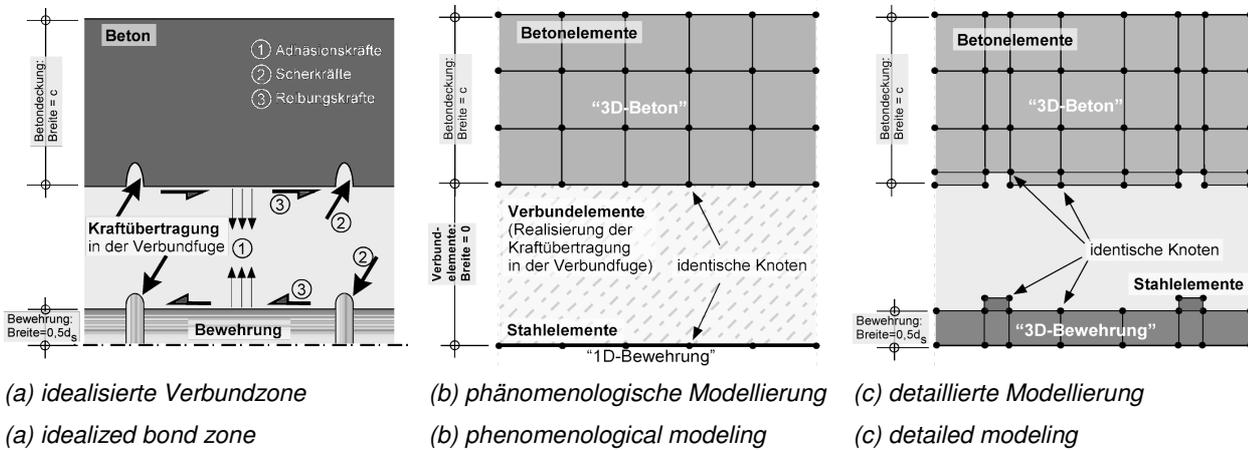


Abb. 1 – Möglichkeiten der Simulation der idealisierten Verbundzone

Fig. 1 – Options for the simulation of the idealized bond zone

In ein am IWB entwickeltes FE-Programm [1] wurde ein diskretes Verbundelement implementiert [2], das zur drei-dimensionalen FE Analyse von Stahlbetonkonstruktionen eingesetzt werden kann. Das in dem Verbundelement verwendete Modell wird durch zwei Parametergruppen gesteuert. (1) Grundmodell-Parameter: Verbundsteifigkeit und –festigkeit, Form der Verbundspannungs-Schlupf-Beziehung, und (2) veränderliche Parameter: Spannungs- und Dehnungszustand des Bewehrungsstahls und des Betons im Bereich der Bewehrung. Anschließend wird anhand von numerischen Beispielberechnungen unter Verwendung verschiedener Ansätze zur Berücksichtigung des Verbundverhaltens die Funktionalität der Verbundelemente demonstriert und Ergebnissen aus vorangegangenen experimentellen Untersuchungen zum Verbundverhalten gegenübergestellt.

A discrete bond element has been implemented [2] into a finite element code [1] which was developed at the institute of construction materials for the nonlinear three-dimensional finite element analysis of reinforced concrete structures. The bond element model is controlled by two groups of parameters: (1) the basic model parameters like the bond stiffness, the bond strength and the shape of the bond stress-slip relation, and (2) variable parameters like the state of stresses and strains of the reinforcement and the concrete in the vicinity of the bar. On the basis of numerical examples by using different options for the simulation of the bond zone the basic performance of the bond element model is demonstrated and compared with the results of previous experimental investigations on the bond behavior of reinforced concrete structures.

NUMERISCHE UNTERSUCHUNGEN

NUMERICAL INVESTIGATION

Allgemeines

General

Zur Untersuchung der Wirkungsweise der Verbundelemente und zur Kalibrierung der Parameter des Grundmodells wurden Ausziehversuche an einem in einem Stahling

To investigate the performance of the bond elements and to calibrate the parameters of the basic model, calculations on pull-out tests (so-called "ringtest") of a reinforcing bar

($d_R = 60$ mm) einbetonierten Bewehrungsstab ($d_s = 12$ mm) mit Einbettungslänge $l_E = 60$ mm (sog. "Ringtest") berechnet. Die Ergebnisse dieser numerischen Untersuchungen werden nachfolgend den Versuchsergebnissen [3] gegenübergestellt.

In den experimentellen Untersuchungen wurden neben der Kraft und der Relativverschiebung am unbelasteten Stabende auch mittels Dehnungs-Mess-Streifen (DMS) die Ringzugdehnungen im Stahlring an verschiedenen Positionen gemessen. Hieraus können Erkenntnisse zum Spaltkraftverlauf und zur Spaltkraftverteilung über die Einbettungslänge gewonnen werden. In den numerischen Studien wurden zusätzlich zu den Berechnungen mit "1D-Bewehrung" und dem Einsatz diskreter Verbundelemente, zum Vergleich Berechnungen an einem FE-Modell mit detaillierter Modellierung des Bewehrungsstabes ("3D-Bewehrung") durchgeführt.

Abb. 2 zeigt die FE-Netze (Abb. 2a und b) sowie den in den experimentellen Untersuchungen verwendeten Versuchskörper (Abb. 2c).

($d_s = 12$ mm) embedded in concrete (embedment length $l_E = 60$ mm) surrounded by a steel ring ($d_R = 60$ mm) have been carried out. The results of these numerical investigations are compared with the results of the experimental investigations [3].

In the experimental investigations beside the force and the free end displacement the radial tensile (hoop) strains in the steel ring at different locations have been measured using strain gages. These results are consulted to obtain knowledge of the distribution of the splitting forces along the embedment length. Beside the calculations using a finite element model with (one-dimensional) bar elements to represent reinforcement and discrete bond elements for simulation of the bond behavior, in these numerical investigations also calculations have been carried out using a finite element model with a detailed three-dimensional modeling of the reinforcement.

Fig. 2 shows the finite element meshes (Fig. 2a and b) and as well the test specimen used in the experimental investigations (Fig. 2c).

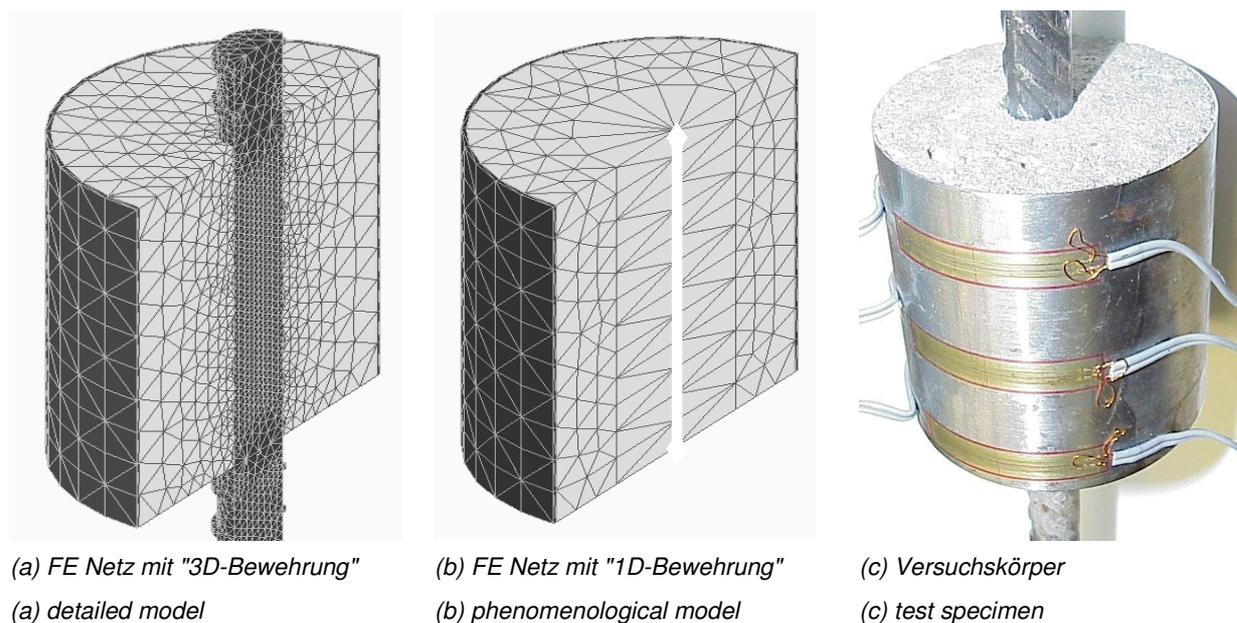


Abb. 2 – Finite Element Modelle und Versuchskörper

Fig. 2 – Finite element models and test specimen

Ergebnisse der Untersuchungen

In den Diagrammen in Abb. 3 sind sowohl die mittlere Verbundspannung (linke Seite), als auch die Ringzugdehnungen im Stahlring (rechte Seite) aus Berechnungen und Versuchen in Abhängigkeit von der Relativverschiebung (Schlupf) dargestellt. Abb. 3a zeigt die Ergebnisse der numerischen Untersuchungen mit detaillierter Modellierung der Bewehrung. In Abb. 3b sind die Ergebnisse der Berechnungen unter Verwendung von ein-dimensionalen Stabelementen zur Idealisierung der Bewehrung mit (schwarze Linien) und ohne (graue Linien) Verbundelemente dargestellt. In den Diagrammen in Abb. 3c sind die in den Versuchen gemessenen Kurven aufgetragen.

Die Verbundspannungs-Schlupf-Beziehung der FE Berechnung mit detaillierter Modellierung der Bewehrung (Abb. 3a) entspricht im wesentlichen der Kurve der experimentellen Untersuchung (Abb. 3c). Während die gemessene und berechnete Verbundfestigkeit gut übereinstimmen, wird die Verbundsteifigkeit in der FE Analyse überschätzt. Bei Betrachtung des Verlaufs der Ringzugdehnungen mit zunehmendem Schlupf kann keine zufrieden stellende Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen festgestellt werden. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass das FE Programm (bzw. das im Programm verwendete Materialmodell) nicht für die Finite Element Analyse von Stahlbeton bei sehr großen Verformungen geeignet ist.

Durch geeignete Wahl der Parameter im „Grundmodell“ zeigt der Verlauf der Verbundspannungs-Schlupf-Kurve der FE Berechnung mit "1D-Bewehrung" unter Verwendung der Verbundelemente eine sehr gute Übereinstimmung mit den gemessenen Kurven. Ebenso ist in Abb. 3 b zu erkennen, dass der prinzipielle Verlauf der Ringzugdehnungen die Kurven der experimentellen Untersuchungen gut reproduziert, und damit deutlich bessere Ergebnisse erzielt werden,

Results of the investigations

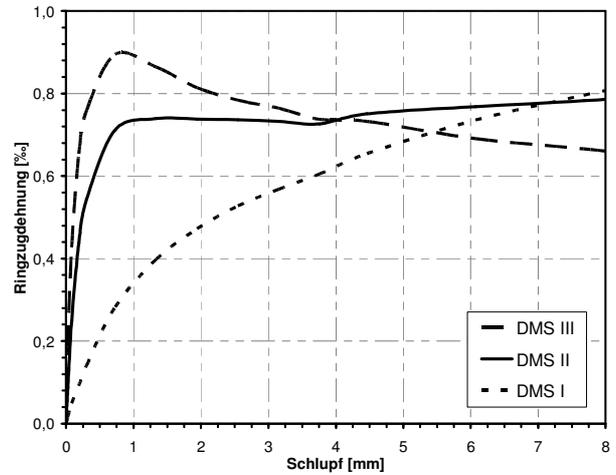
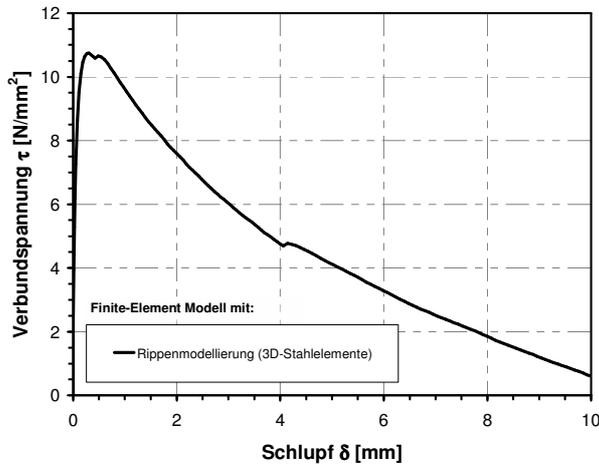
In Fig. 3 both the calculated mean bond stress (left hand) and the hoop strains in the steel ring (right hand) are plotted over the relative free end displacement (slip). Additionally the measured results from the experimental investigations are represented. In Fig. 3a the results of the numerical investigations with three-dimensional modeling of the reinforcement are shown. Fig. 3b shows the results of the calculations using bar elements for the reinforcement with (black curves) and without (grey curves) the use of the discrete bond elements. The diagrams in Fig. 3c show the curves measured in the experimental investigations.

The bond stress-slip-relation obtained in the finite element calculation when the three-dimensional modeling of the reinforcement (Fig. 3a) is used are substantially corresponding to the curves of the experimental investigations (Fig. 3c). While the calculated and the measured bond strength agrees well, the bond stiffness is overestimated by the finite element analysis. Regarding the distribution of the hoop strains as a function of the slip no satisfactory agreement with the experimental results could be found. This can be constituted by the reason that the finite element program (the material model used in the code respectively) is not suitable for the finite element analysis of reinforced concrete with very large displacements.

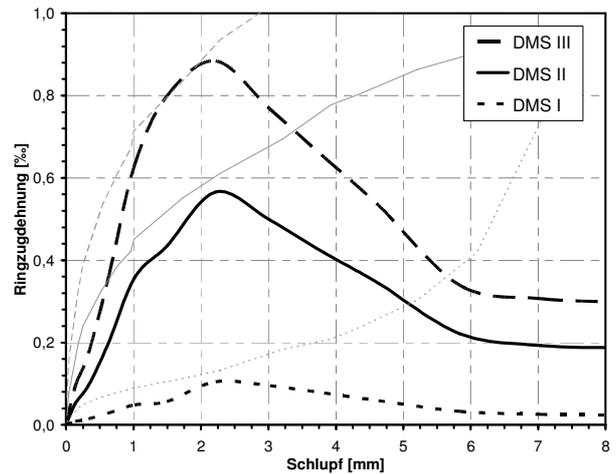
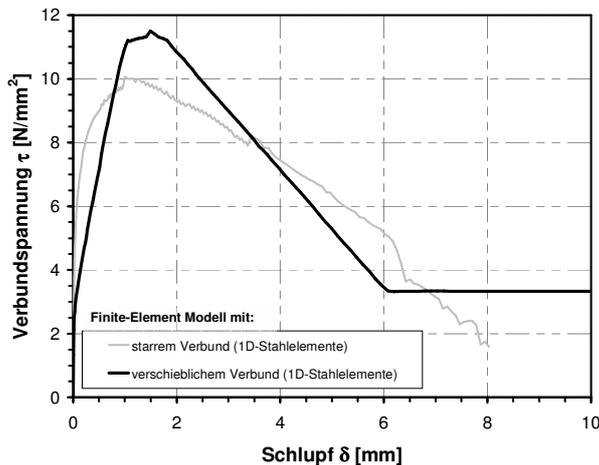
By the use of adequate parameters in the basic model the shape of the bond stress-slip curve as a result of the finite element calculation using bar elements with the discrete bond elements agrees very well with the measured curves. It also can be found in Fig. 3b, that the distribution of the hoop strains in principle fits quite good with the curves of the experimental investigations. Therefore obviously much better results as in the finite element calculation with detailed

als bei der Berechnung mit detaillierter Rippenmodellierung.

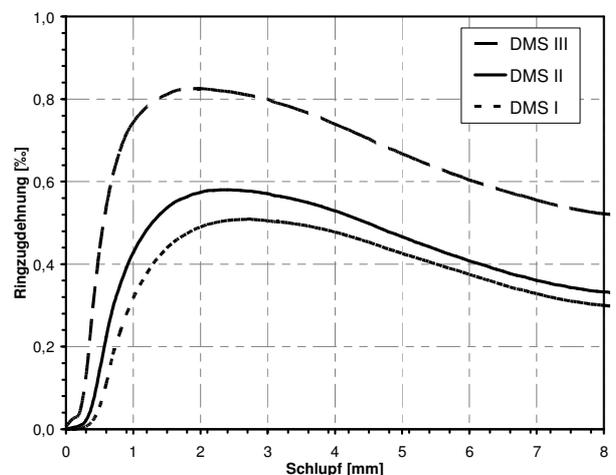
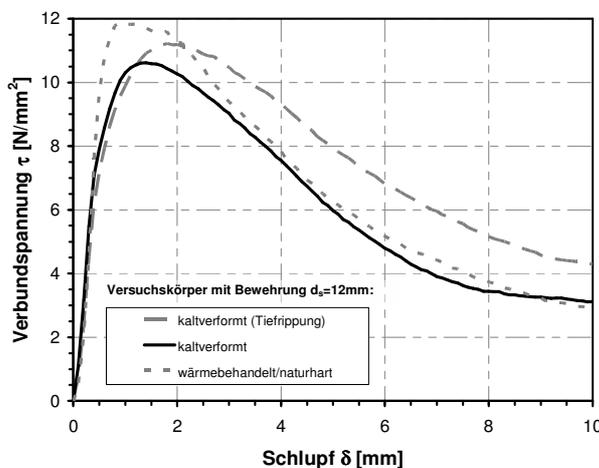
modeling of the ribs can be obtained.



(a) FE-Netz mit detaillierter Rippenmodellierung (3D-Bewehrung)
 (a) FE mesh with detailed modelling of the ribs (3-d reinforcement)



(b) FE-Netz mit phänomenologischer Verbundmodellierung (1D-Bewehrung) mittels Verbundelemente
 (b) FE mesh with phenomenological modelling of bond using bond elements (1-d reinforcement)



(c) Versuchskörper mit Bewehrungsstäben mit verschiedenen Rippengeometrien
 (c) Test specimen using reinforcement with different rib geometry

Abb. 3 – Verbundspannung und Ringzugdehnung in Abhängigkeit vom Schlupf
Fig. 3 – Bond stress and hoop strain as a function of the free end slip

In Abb. 3.4 sind für verschiedene Beanspruchungsniveaus die Hauptzugdehnungen ϵ_{11} im Beton des FE Modells mit detaillierter 3D-Bewehrung abgebildet. Es ist sehr deutlich die Lasteinleitung und damit die Rissbildung im Beton im Bereich der Bewehrungsstahlrippen zu erkennen. Bis zum Erreichen der Verbundfestigkeit τ_{max} (Abb. 4a) nehmen die Dehnungen ϵ_{11} im Beton weiter zu und die Rissbildung verlagert sich in Richtung des unbelasteten Bewehrungsstabendes (Abb. 4b). Nach Überschreiten von τ_{max} (Abb. 4c) kommt es mit zunehmendem Schlupf zum kompletten Abscheren des Betons im Bereich der Bewehrungsstahlrippen und der Bewehrungsstab wird herausgezogen.

Fig. 4 shows the principle tensile strains ϵ_{11} in the concrete elements (mesh with detailed three-dimensional modeling of the reinforcement) for different loading levels. The load transfer from the ribs into the concrete and thus the crack formation in the area of the ribs of the reinforcement is clearly visible. Until the bond strength τ_{max} is reached (Fig. 4a) the strains ϵ_{11} in the concrete increase and the crack formation is shifted more and more to the free end of the reinforcing bar (Fig. 4b). After exceeding bond strength τ_{max} (Fig. 4c) the concrete corbels between the ribs are sheared off with increasing displacement and the reinforcing bar is pulled out of the concrete.

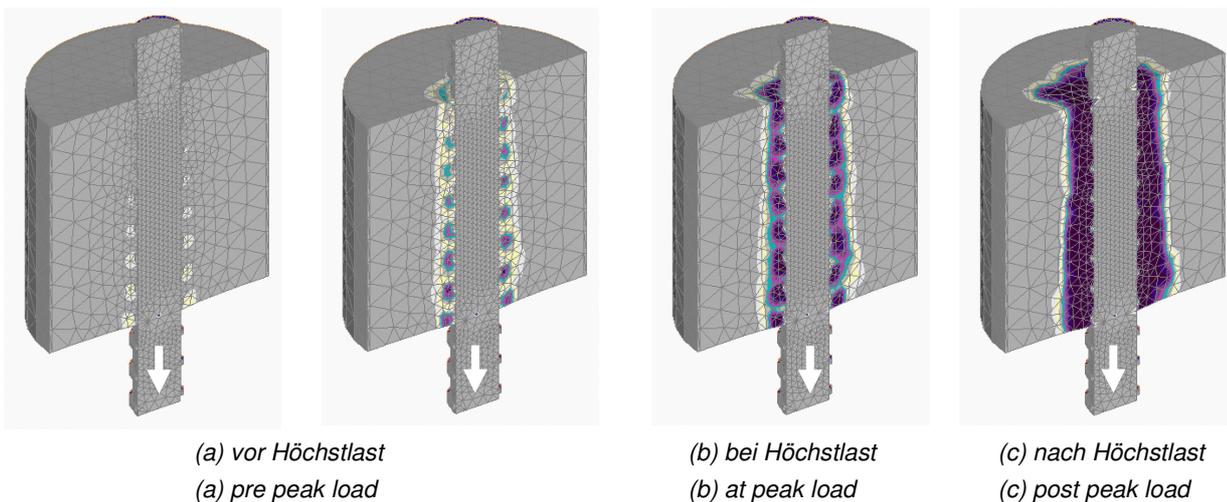


Abb. 4 – Hauptzugdehnungen in den Betonelementen der FE Berechnungen mit detaillierter Modellierung für verschiedene Laststufen

Fig. 4 – Principle tensile strains in the concrete elements at different load levels (detailed finite element model)

Zusammenfassend kann folgendes festgestellt werden. Bei Verwendung eines relativ groben FE Netzes und Modellierung der Bewehrung mittels 1D-Stabelementen mit diskreten Verbundelementen kann das prinzipielle Verbundspannungs-Schlupf-Verhalten sowie die Kraftübertragung von der Bewehrung in den Beton gut wiedergegeben werden. Dies lässt den Schluss zu, dass das verwendete Verbundelement-Modell für FE Analysen von Stahlbetonbauteilen prinzipiell geeignet ist. Zur Darstellung von ausgesuch-

To summarize the investigations the following can be stated. By the use of a coarse finite element mesh, modeling the reinforcement by one-dimensional bar elements and the application of discrete bond elements the bond stress-slip behavior in principle as well as the force transfer from the reinforcement into the concrete can be represented well. Thus one can reach the conclusion that the implemented bond element model is substantially capable for the finite element analysis of reinforced concrete structures.

ten Detailbereichen und deren Lastübertragungsmechanismen wie z. B. der Spannungs- und Dehnungsverteilung im Beton im Bereich der Bewehrung (vgl. Abb. 4) ist jedoch eine detaillierte Modellierung der Bewehrung und der Betonkonsolen besser geeignet.

ZUSAMMENFASSUNG

Zur wirklichkeitsnahen Simulation der Verbundtragwirkung zwischen Bewehrung und Beton wurde ein Verbundelement [2] in ein nichtlineares drei-dimensionales FE Programm [1] implementiert. Das Verbundelement verbindet ein ein-dimensionales Stabelement ("1D-Bewehrung") mit drei-dimensionalen Volumenelementen ("3D-Beton").

Zur Überprüfung der Wirkungsweise der Verbundelemente und zur Kalibrierung der Parameter im "Grundmodell" wurde in dieser FE Studie das Ausziehverhalten eines in einem Stahlring einbetonierten Bewehrungsstabes (sog. "Ringtest") untersucht. Die Ergebnisse wurden mit entsprechenden experimentellen Untersuchungen [3] und numerischen Untersuchungen mit detaillierter Modellierung der Rippengeometrie verglichen. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die diskreten Verbundelemente in der Lage sind durch Variation der Parameter im Grundmodell das prinzipielle Verbundverhalten gut abzubilden und aufgrund des deutlich geringeren Modellierungs- und Rechenaufwands gegenüber der detaillierten drei-dimensionalen Modellierung der Bewehrung für komplexe Stahlbetonbauteile Vorteile bieten.

In zukünftigen numerischen Studien werden die Einsatzmöglichkeiten der Verbundelemente überprüft und sowohl die Parameter des Grundmodells, als auch die veränderlichen Parameter kalibriert, um die im FE Programm hierfür formulierten Ansätze zu verifizieren.

For representing the load transfer mechanism in detail e.g. the distribution of stresses and strains in the concrete in the vicinity of the reinforcement (Fig. 4), however the three-dimensional detailed modeling of the reinforcement and the concrete lugs is more suitable.

SUMMARY

For a realistically simulation of the bond action between reinforcement and concrete a discrete bond element has been implemented [2] into a three-dimensional nonlinear finite element code [1]. The bond element connects a truss/bar finite element (1-d reinforcement) with three-dimensional solid finite elements (3-d concrete).

To check the potential and the accuracy of the bond elements and to calibrate the basic model parameters finite element calculations have been performed to investigate the pull-out behavior of a reinforcing bar in a concrete cylinder embedded in a steel ring (so-called "ringtest"). The results have been compared with equivalent experimental investigations [3] and with numerical investigations which use a detailed modeling of the rib geometry. It can be concluded that by varying the basic model parameters the discrete bond elements are able to represent the bond behavior sufficiently well. Thus due to the obviously reduced complexity of modeling and calculating compared to the detailed three-dimensional modeling the application of the discrete bond elements is more suitable for the finite element analysis of reinforced concrete structures.

In the future numerical studies will be performed to check the field of application of the bond elements and to calibrate and verify the basic model parameters, the variable parameters and the assumptions used in the finite element code.

Literatur / References

- [1] OŽBOLT, J.; LI, Y.-J.; KOŽAR, I. (2001): *Microplane model for concrete with relaxed kinematic constraint. International Journal of Solids and Structures. 38 (2001), pp. 2683-2711.*
- [2] OŽBOLT, J.; LETTOW, S.; KOŽAR, I. (2002): *Discrete Bond Element for 3D Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Structures. In: Balazs-Bartos-Cairns-Borosnyoi (Eds.): Proceedings of the 3rd International Symposium: Bond in Concrete - from research to standards, pp. 9-19. Budapest University of Technology and Economics, Hungary.*
- [3] LETTOW, S; MAYER, U.; ELIGEHAUSEN, R. (2003): *Experimentelle Untersuchungen zum Verbundverhalten von gerippten Bewehrungsstäben. Versuchsbericht des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart. (in Bearbeitung)*

INJEKTIONSDÜBEL IN MAUERWERK INJECTION ANCHORS FOR USE IN MASONRY STRUCTURES

von/by: Andrea Meyer

Einleitung

Für Befestigungen in Mauerwerk werden Kunststoffdübel und Injektionsdübel eingesetzt. Das Tragverhalten dieser Befestigungen wurde u.a. in [1] untersucht. Es wurde gezeigt, dass die Höchstlast von Kunststoff- und Injektionsdübeln von zahlreichen Parametern abhängt, z. B. Konstruktion der Dübel, Festigkeit und Lochbild der Mauersteine. Allerdings ist es bisher nicht möglich, die Bruchlast von Dübeln bei bekannter Dübelgeometrie und bekanntem Ankergrund analytisch zu bestimmen.

Die Traglast von Verankerungen mit Injektionsdübeln wird maßgeblich vom Mauerwerk bestimmt. Daher ist es erforderlich neben dem Befestigungssystem auch den Ankergrund zu untersuchen. Dies erfolgt zum einen durch experimentelle Untersuchungen, zum anderen durch numerische Parameterstudien mit dem von Ožbolt entwickelten nichtlinearen FE- Programm MASA.

Aus den Ergebnissen sollen Gleichungen zur Bestimmung der Höchstlast eines Einzeldübeln in Abhängigkeit von den maßgebenden Parametern abgeleitet werden. Weiterhin soll analog zum CC-Verfahren für Dübel in Beton der Einfluss von Achs- und Randabständen auf die Höchstlast erfasst werden.

Mauerwerk in Deutschland

Mauerwerk stellt einen sehr vielfältigen Baustoff dar. Zur Herstellung stehen grundsätzlich drei Materialien zur Verfügung: Ziegel, Kalksandstein und Beton, wobei Beton in Normal-, Leicht- und Porenbeton unterschieden werden kann. In Bild 1 sind die Marktanteile der einzelnen Steinarten in den Jahren 1992-1999 dargestellt. Danach nehmen Ziegel- und Kalksandsteine mit insgesamt 72% den größten Anteil am deutschen Markt ein.

Introduction

For fastenings in masonry several types of plastic and injection anchors are used. The behaviour was investigated in [1]. It was shown that the maximum load of plastic and injection anchors depends on many parameters, e.g. design of the fastener, brick strength and hole configuration. At the present it is not possible to determine the failure load of fasteners even with well-known geometry and base material.

The maximum load of anchorages with injection anchors is determined primarily by the masonry structure. Therefore it is necessary not only to investigate the fastening system, but also the base material. This will be done by experimental investigations and by numeric parameter studies with the nonlinear FE- program MASA.

Equations are to be derived from the results of these investigations for the approximation of the maximum load of a single anchor as a function of the determining parameters. Furthermore the influence of anchor spacings and edge distances on the maximum load is to be determined in manner similar to the CC- method for metal anchors in concrete.

Masonry structures in Germany

Masonry is a very diverse material. Three materials are typically used for the production: clay, limestone and concrete, whereby concrete can be differentiated in normal, lightweight and aerated concrete.

In figure 1 the market shares of the individual kinds of brick are represented for the years 1992 to 1999. Clay and limestone masonry with altogether 72% are the most popular brick materials in Germany.

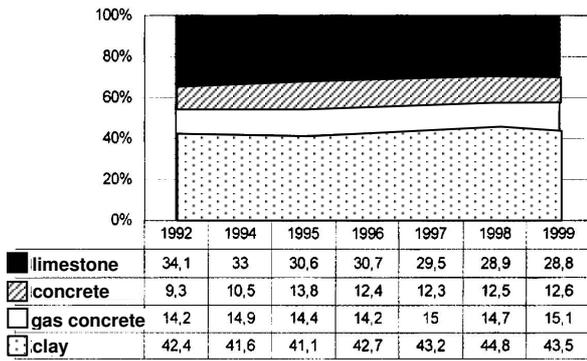


Bild 1:
 Marktanteile der Mauersteinhersteller nach [2]
 Figure 1:
 Market shares of brick manufacturers, [2]

Die Anforderungen an die Steine hinsichtlich Abmessungen, Lochbild, Festigkeits-eigenschaften und Rohdichteklassen sind in den entsprechenden Normen angegeben. Grundsätzlich ist für jedes Material zwischen Vollsteinen und Lochsteinen zu unterscheiden, wobei Vollsteine ebenfalls einen Lochanteil besitzen dürfen, der auf 15 % der Lagerfläche beschränkt ist. Auch für Lochsteine ist meist nur der zulässige Lochanteil genormt, wodurch neben den möglichen Formaten, Festigkeiten und Rohdichten eine Vielzahl von unterschiedlichen Lochbildern existieren (Bild 2). Zusätzlich sind zahlreiche bauaufsichtlich zugelassene Steine auf dem Markt erhältlich.

Im Hinblick auf Befestigungen in Mauerwerk sind vor allem die Außenstegdicke sowie das Vorhandensein von zusätzlichen Innenstegen im Bereich der Verankerungstiefe für die Traglast eines Injektionsdübels von Bedeutung. Weiterhin sind die Steinfestigkeit, das Format und die im Mauerwerk wirkende Vorspannung für das Versagen relevant.

Mauerwerk erweist sich somit als inhomogener, komplexer Ankergrund mit zahlreichen Variationen in der allgemeinen Ausführung. Diese Vielfalt stellt eine besondere Herausforderung an die auf ein praktikables, analytischen Modell gerichteten Forschungsarbeiten dar.

The requirements for dimensions, hole configuration, strength and density of masonry units are given in DIN Standards. Masonry can be differed for each material between solid bricks and hollow bricks, whereby solid bricks can have hollow spaces limited to 15 % of the contact surface. Also for hollow bricks usually only the permissible hollow fraction is standardized. Thus there exist among the possible formats, strengths and densities a multiplicity of different hole patterns (figure 2).

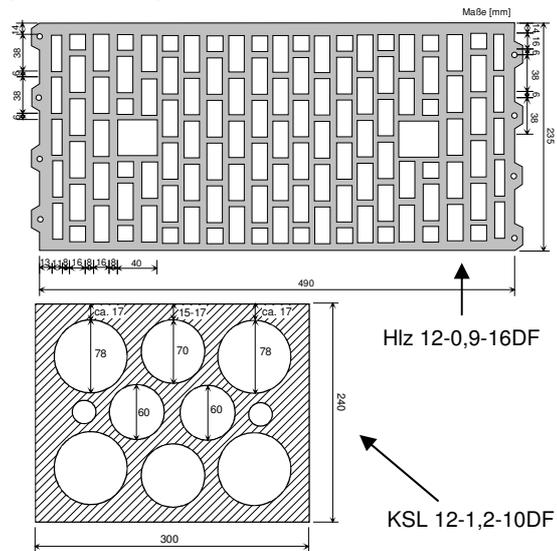


Bild 2: Beispiele für Mauersteine nach DIN
 Figure 2:
 Examples of bricks as defined by a DIN Standard

Additionally a lot of units are produced according to Technical Approvals of the Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt).

The failure load of fasteners in masonry structures is strongly influenced by the thickness and number of webs along the embedment depth of the fastener. Additionally, the brick strength and the format and the pre-loading on the masonry structure are relevant for the failure. Masonry is thus an inhomogenous, complex base material with numerous variations in the general design. This variety presents a special challenge to the development of a practical, analytic model.

Zugelassene Injektionssysteme

Bauaufsichtlich zugelassene Injektionssysteme werden in Vorsteckmontage gesetzt. Systeme für Anwendungen in Mauerwerk nach Bild 3 bestehen aus einer Siebhülse aus Metall oder Kunststoff, einer Ankerstange, einer Unterlegscheibe und Sechskantmutter sowie einem Verbundmörtel, der aus einer Kartusche oder einem Schlauchbeutel über einen Statikmischer injiziert wird.



Injektionsdübel übertragen Zugkräfte überwiegend über mechanische Verzahnung des in den angeschnittenen Hohlraum gepressten Mörtels mit dem Untergrund. Zusätzlich wirken Verbundkräfte im Bereich der angeschnittenen Stege. Wird beim Bohren kein Hohlraum angeschnitten, muss eine Zugkraft über Verbundspannungen zwischen Mörtel und Bohrlochwand übertragen werden. Injektionsdübel versagen im allgemeinen durch Steinausbruch.

Experimentelle Untersuchungen

Zur Bestimmung der wesentlichen, die Traglast beeinflussenden Parameter wurden und werden zahlreiche experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Es werden u.a. folgende Einflüsse untersucht:

- Außenstegdicke
- Steinkennwerte, z. B. Druckfestigkeit
- zusätzliche Innenstege
- Feuchte

Es ist darauf zu achten, dass nur der zu untersuchende Parameter variiert wird. Dies erscheint zunächst selbstverständlich, stellt aber in Mauersteinen ein Problem dar. So ist es z. B. unwahrscheinlich, dass ein Stein mit einer Außenstegdicke von 30mm die gleiche Druckfestigkeit hat wie ein Stein mit einer

Injection systems with Technical Approval

Injection systems for use in masonry structure with Technical Approval as shown in figure 3 consist of a mesh sleeve of metal or plastic, a threaded rod, a washer, a hexagon nut and an injection mortar, which is injected with a cartridge or a bag through a mixing nozzle.

Bild 3: Zugelassene Injektionssysteme: a) Siebhülse, b) Ankerstange, c) Statikmischer, d) Verbundmörtel, e) Auspressgerät

Figure 3: Injection systems with Technical approval: a) mesh sleeve, b) threaded rod, c) mixing nozzle, d) injection cartridge, e) injection tool

Injection fastening systems transmit load by mechanical interlock. The mortar passes through the openings of the mesh sleeve into the hollows of the brick. In the area of webs, the load is transmitted by bond. If no voids are encountered by the fastener, the load is only transmitted by bond. Injection anchors generally fail by brick cone failure, so that the strength of the base material determines the maximum load.

Experimental Investigations

To determine the parameters that influence the failure load, numerous experimental tests are planned. The following influences will be investigated:

- outer web thickness,
- brick properties, e.g. strength,
- additional interior webs,
- humidity.

It must be insured that only the investigated parameter is varied. This proves challenging in masonry units. For example it is improbable that a brick with a web thickness of 30mm has the same compressive strength as a brick with a web thickness of 50mm. Even if both have the same nominal

Stegdicke von 50mm. Selbst wenn beide dieselbe Nenndruckfestigkeit aufweisen, können sich bei einer Überprüfung große Unterschiede herausstellen. Daher sind besondere Überlegungen zur Durchführung der Versuche erforderlich.

Weiterhin soll das Tragverhalten von Dübelgruppen sowie der Einfluss von Achs- und Randabständen im Mauerwerksverband untersucht werden, um ein vollständiges Bemessungskonzept zu entwickeln.

Numerische Untersuchungen

Es wurden Finite- Element- Modelle für ausgewählte Steingeometrien erstellt, die beispielhaft in Bild 4 und Bild 5 dargestellt sind.

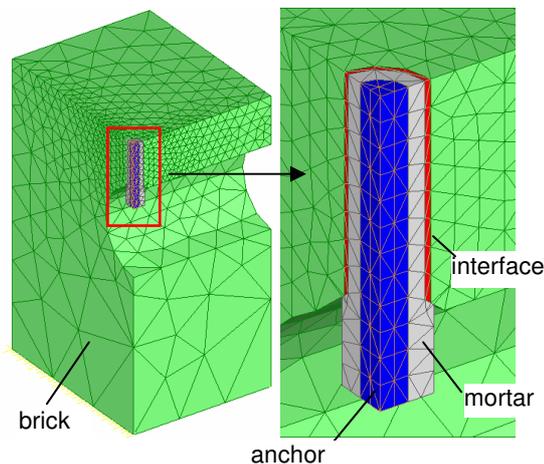


Bild 4:
FE- Modell für Injektionsdübel in Kalksandstein
Figure 4:
FE- modell for injection anchors in limestone brick

Der wesentliche Unterschied zu den bislang am IWB in Beton durchgeführten FE- Simulationen liegt in den Materialgesetzen für die einzelnen Steinarten. Daher sind zunächst die in das Materialgesetz eingehenden Kennwerte für Ziegel, Kalksandstein und Leichtbeton zu bestimmen. Aufgrund der geringen Menge auffindbarer Daten aus der Literatur sind Materialprüfungen zur Ermittlung der Steinzugfestigkeit und Druckfestigkeit, des E-Moduls und der Bruchenergie erforderlich.

Anschließend werden die Erkenntnisse in das FE- Programm MASA eingefügt.

compressive strength, large differences can exist. Therefore special considerations are necessary for the execution of the tests.

The behavior of group anchorages, as well as the influence of anchor spaces and edge distances in the masonry structure will be evaluated to develop a complete design method.

Numerical Investigations

Finite element models were generated for some selected brick geometries as they shown in figure 4 and figure 5.

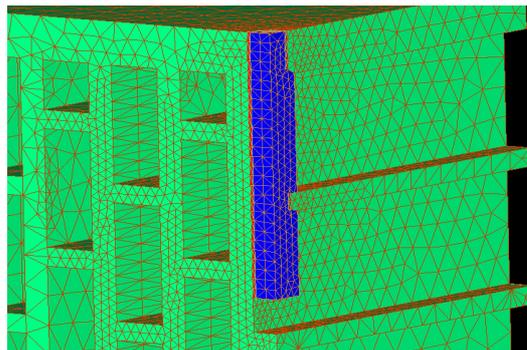


Bild 5:
FE- Modell für Injektionsdübel in Hochlochziegel
Figure 5:
FE- model for injection anchors in perforated clay brick

The main difference to the existing FE-calculations made at the IWB lies in the changing material laws for the individual kinds of brick. It is necessary to evaluate the input properties of limestone, clay and lightweight concrete.

Due to the small quantity of available data in the literature material tests were planned to determine the brick tensile strength and compressive strength, the elastic modulus and the fracture energy. The results were used in the FE program MASA.

In den numerischen Untersuchungen soll der Einfluss der Lochgeometrie, des Formats und der Einfluss einer Vorspannung, die sich aus dem Mauerwerkverband ergibt, untersucht werden. Auch soll der Bruchmechanismus in Abhängigkeit der unterschiedlichen Lochbilder numerisch erfasst werden.

Ergebnisse

Eine Vielzahl der experimentellen Versuche und einige modellüberprüfende Simulationsrechnungen wurde bereits durchgeführt. Im folgenden werden einige Ergebnisse in Kürze dargestellt.

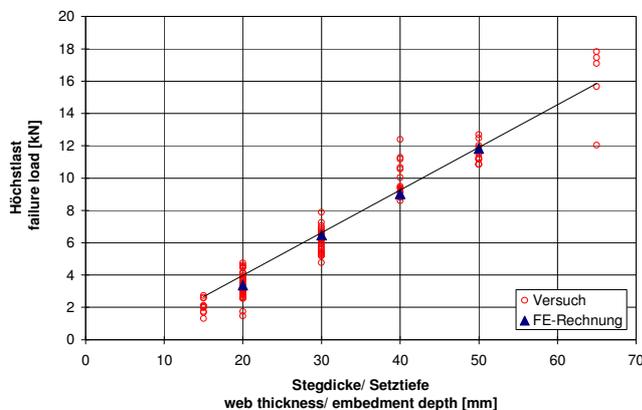


Bild 6:
Einfluss der Verankerungstiefe und der Außenstegdicke auf die Höchstlast in Kalksandsteinen
Figure 6:
Influence of the embedment depth and the web thickness on the failure load in limestone bricks

Die Traglast einer Verankerung mit Injektionsdübeln in Mauerwerk hängt wesentlich von der über die Setztiefe vorhandenen Stegdicke ab. Dabei ist es irrelevant, ob es sich um einen Vollstein mit einer bestimmten Setztiefe h_{ef} oder um einen Lochstein mit einer bestimmten Außenstegdicke h_{Steg} handelt. In Bild 6 sind die Ergebnisse von Versuchen in Kalksandvoll- und Kalksandlochsteinen mit variierender Setztiefe bzw. Außenstegdicke eingetragen. Mit zunehmendem Steg steigt die Höchstlast linear an. Entsprechende Resultate ergaben sich aus numerischen Rechnungen mit dem FE- Programm MASA.

In future numerical simulations different void geometries, formats and pre-loadings, which result from the masonry structure should be carried out. Also the failure mechanism in dependence of the different hole patterns should be numerically investigated.

Results

Many of the planned experimental investigations and some FE- calculations are already completed. In this section some results are presented.

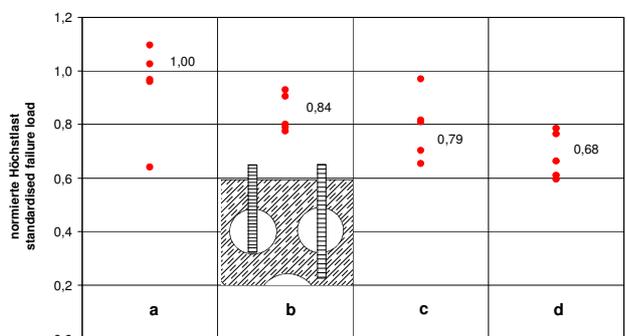


Bild 7:
Einfluss zusätzlicher Innenstege in Abhängigkeit der Reinigung: a) mit Innensteg, ausgesaugt, b) mit Innensteg, 3x bürsten, 3x blasen, 3x bürsten, c) mit Innensteg ohne Reinigung, d) nur Außensteg
Figure 7:
Influence of an additional web in dependence on the borehole cleaning: a) additional web, vacuumed, b) additional web, 3x brush, 3x blow, 3x brush, c) additional web, no cleaning, d) without additional web

The maximum load of an injection anchor in a masonry structure is mainly influenced by the thickness of the webs along the embedment depth. It is not important to differentiate between the embedment depth h_{ef} in solid bricks and the outer web thickness in hollow bricks. In figure 6 the results of pullout tests in solid and perforated limestone units are presented with varying embedment depth and web thickness. With increasing depth and/or thickness the maximum load increases linearly. Appropriate effects resulted from numeric calculations with the FE- program MASA.

Weitere Versuche wurden in Lochsteinen zum Einfluss zusätzlicher Innenstege durchgeführt. Es zeigte sich, dass die Höchstlast unter bestimmten Voraussetzungen linear mit Erhöhung des Steganteils zunimmt.

Die Traglast steigt an, wenn der Innensteg vollständig durchbohrt wird und der Dübel sich durch seine Mörtelmasse formschließend verankern kann. Wird der Innensteg hingegen nur angeschnitten, ist eine optimale Bohrlochreinigung in diesem Bereich erforderlich, um einen entsprechenden Anstieg der Höchstlast zu erhalten. In Bild 7 werden Versuchsergebnisse mit und ohne Verankerung in einem Innensteg mit unterschiedlichen Reinigungen verglichen. Die Ergebnisse wurden auf optimal im Innensteg verankerte Dübel bezogen. Es zeigt sich, dass die Höchstlasten mit einer schlechten bzw. keiner Bohrlochreinigung im angeschnittenen Innenstegbereich den Bruchlasten ohne zusätzlichen Innensteg nahe kommen.

Aus den ersten Ergebnissen ergibt sich für eine abschätzende, analytische Bestimmungsgleichung der Höchstlast für einen Einzeldübel, dass die Stegdicke in Lochsteinen bzw. die Setztiefe in Vollsteinen linear eingeht. Auf der sicheren Seite liegend können angeschnittene Innenstege vernachlässigt werden. Die Stegdicke setzt sich somit aus der Summe der Dicke des Außenstegs und der über die Setztiefe vollständig durchbohrten Innenstege zusammen.

Zusammenfassung

Ziel des Forschungsvorhabens ist, das Tragverhalten von Injektionsdübel allgemein zu erfassen.

Mit Hilfe experimenteller und numerischer Untersuchungen werden die wesentlichen Parameter, die auf die Traglast einwirken, systematisch herausgearbeitet. Im weiteren soll ein analytisches Verfahren erarbeitet werden, mit dem die Höchstlast eines Einzeldübel und von Dübelgruppen anhand von Gleichungen ausreichend genau berechnet werden kann.

Further tests were accomplished in hollow bricks for the influence of additional interior webs. It was shown that the maximum load under certain conditions increases linear with increase of the total web thickness.

The load increases, if the interior web is completely perforated and the anchor can interlock itself by its mortar mass. If the interior web is only partially cut, however, an optimal borehole cleaning is necessary in this range to receive an appropriate rise of the maximum load. In figure 7 test results are compared with and without anchorage in an interior web with different cleaning methods.

The results were referred to optimally bonded anchors in the interior web. It is shown that the maximum loads with a bad and/or no borehole cleaning are comparable to the loads without additional interior webs.

From these initial results it is possible to conclude for an analytic design equation of the maximum load for single anchors that the web thickness in hollow bricks and/or the embedment depth in solid bricks is linear. To be on the safe side, partially cut interior webs can be neglected. The web thickness consists of the sum of the thickness of the outer web and the completely perforated interior webs over the setting depth.

Conclusion

The aim of the research is to explain the behavior of injection anchors.

With the help of experimental and numeric investigations the significant parameters that influence the load will be determined systematically.

In the future an analytic procedure is to be prepared, with which the maximum load of a single anchor and anchor groups can be calculated with sufficient accuracy.

Literatur/References

- [1] Eligehausen, R.; Pregartner, T.; Weber, S.: Befestigungen in Mauerwerk; Mauerwerk-Kalender 2000, S.361-385; Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH, Berlin, 2000
- [2] Schwieriges Jahr für die Ziegelindustrie, Fassade, S.6-7, Heft 4, Juli/ August 2001, 10. Jahrgang

MODELLIERUNG VON HOCHFESTEN HYBRIDBETONEN MODELLING OF HIGH STRENGTH HYBRID CONCRETE

von/by: Sven Mönnig

Einleitung

In Versuchen die am Institut für Werkstoffe im Bauwesen (IWB) durchgeführt wurden [1,3], konnte festgestellt werden, dass der wassergesättigte Leichtzuschlag als Wasservorrat im Inneren eines hochfesten Betons wirkt und somit den Zweck der inneren Nachbehandlung erfüllt. Trotz fehlender Nachbehandlung von außen erreichte der Beton mit 25% Leichtzuschlag nach 1. Jahr eine um ca. 20% höhere Festigkeit als der Beton ausschließlich mit Normalzuschlag. Beim Beton mit Leichtzuschlag traten im Gegensatz zum Normalbeton keine sichtbaren Risse auf und der bei Normalbeton beobachtete Festigkeitseinbruch nach 180 Tagen blieb aus. Diese Eigenschaften des hochfesten Betons sollten in einer Computersimulation (DuCOM) dargestellt und mittels ihrer Hilfe die späteren baupraktischen Eigenschaften vorhergesagt werden. Das verwendete Programm basiert auf einer Entwicklung der Universität Tokio [2].

Grundlagen

Die Liapor F8 Körner haben eine Sieblinie, bei der 88% der Körnung eine Größe zwischen 4 und 8 Millimeter haben. Also wurde der durchschnittliche Durchmesser mit 6 Millimetern angenommen. Dies führt zu einem Kugelvolumen von $113,09 \text{ mm}^3$. Dieses Volumen wurde auf einen gleichvoluminösen Quader mit den Kantenlängen 4,8 mm umgerechnet. Für die Modellierung wurden Quader verwendet, da DuCOM nur 8 Knoten Elemente berechnen kann. Abhängig vom Anteil Liapor an der Betonmischung wurde die Größe der Betonmatrix modelliert. Die Namen der Versuche und der verwendeten Betonmischungen beziehen sich auf den Anteil Leichtzuschlag.

Introduction

Experiments performed [1,3] by the IWB found that water saturated light weight aggregates were functioning as additional water reservoir inside the concrete and that they were fulfilling the function as an after treatment for concrete. Without any outside after treatment the concretes with 25% light weight aggregates content reached a 20% higher strength after one year compared to concretes with solely normal weight aggregates. In comparison to normal weight concrete there weren't any visible cracks found at specimens with light weight aggregates and the slump of the 180 days strength of normal weight concrete failed to appear. These attributes of high strength concrete should be simulated with DuCOM and attributes relevant for construction sites should be predicted by the computer model. The program that was used is based on a development of the university Tokio [2].

Principles

The Liapor F8 grains have a grading curve where a 88% fraction remains between the sieve sizes of 4 and 8 millimetres. Hence the average diameter was assumed with six millimetre. This assumption results in a globe volume of 113.09 mm^3 . This volume was converted to an equivalent sized cuboid having an edge length of about 4.8 mm. It was necessary to use cuboids because DuCOM is only able to calculate with eight nodes elements. In dependence of the fraction of Liapor of the concrete mixture the size of the surrounding concrete matrix was calculated. The names of the simulated cubes and mixtures refer to the proportion of light weight aggregates in the mixture. The used mixtures are given in Table 1.

Table 1: Used mixtures

		HB 0	HB 15	HB 25	HB 30
light weight aggregate	[vol.-%]	0	15	25	30
w/c-value		0,33	0,33	0,33	0,33
cement	[kg/m ³]	450	450	450	450
fine aggregates fraction ≤ 4/8	[kg/m ³]	815	737	691	689
coarse aggregates fraction ≥ 4/8 without light weight aggregates	[kg/m ³]	934	800	524	449
light weight aggregates 4/8	[kg/m ³]	0	212	534	611
17% water content of the light weight aggregates	[kg/m ³]	0	36,04	90,78	103,87

Die verwendeten Mischungen sind in Tabelle 1 gezeigt. Während der ersten drei simulierten Tage waren die Umgebungsbedingungen konstant bei 20°C und 100% rel. Luftfeuchte. Danach wurde die Luftfeuchte auf 65% gesenkt. Die Temperatur blieb konstant bei 20°C. Das Liapor Korn wurde als eine Betonmischung modelliert die einen sehr hohen Wassergehalt, einen niedrigen Zementgehalt und keine Zuschläge enthielt. Dadurch wurden ein hoher Wassergehalt und eine niedrige Festigkeit erreicht. Dieser Ansatz wurde notwendig da DuCOM keine anderen Materialien außer Beton modellieren kann.

Implementierung der Leichtzuschläge

Zwei verschiedene Modelle wurden für die Simulationen verwendet. Eines mit hoher Elementanzahl, dieses wurde für die Berechnung der Feuchtigkeitsverteilung verwendet (Abb. 3) und eines für die Berechnungen des Hydratationsgrades und der Druckfestigkeit (Abb. 2). Für dieses war ein gröberes Netz notwendig, da sonst die Berechnungszeiten sehr lang gewesen wären. Die Größe der Leichtzuschläge blieb konstant, während die Dicke der umgebenden Betonmatrix je nach Anteil an Leichtzuschlag unterschiedlich war (Abb. 1). Für jedes Modell wurden drei unterschiedliche Randbedingungen modelliert. Eine für einen adiabatischen Versuchsaufbau, eine für ein

During all simulations the used boundary conditions were constant for the first three days. The temperature was 20 degrees Celsius and rel. humidity 100%. After this time the humidity was reduced to 65%. The temperature remained constant. The Liapor grain was modelled as a concrete mixture that has a very high water content, a very low cement content and no other supplements. Thereby a sufficient water content and a relatively low strength were achieved. This approach was chosen because DuCOM can't simulate any other materials except of concrete.

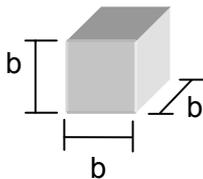
Implementation of lightweight aggregates

Two types of models were used for the simulations. One with a dense mesh for simulations of the dispersal of moisture within the concrete (figure 3) and another one for the calculation of the compressive strength and the degree of hydration. Therefore it was necessary to use a coarse mesh (figure 2) otherwise computing time would have been very high. The size of the light weight aggregate has been constant while the thickness of the concrete matrix differed in dependence of the proportion of light weight aggregate (figure 1). For each model three simulations were performed. One to simulate an adiabatical system, another one with a system where one side of the cube

System mit Austausch von Temperatur und Feuchte über eine offene Seite und eine mit zwei offenen Seiten. Diese Randbedingungen wurden gewählt um den Kern, die Seite und die Ecke einer Stütze zu modellieren.

had an exchange of temperature and humidity and the last one where two sides had an exchange with the environment. These boundary conditions were chosen to simulate the inside of a column, a cube placed on the surface of the column and one in the corner having two surfaces.

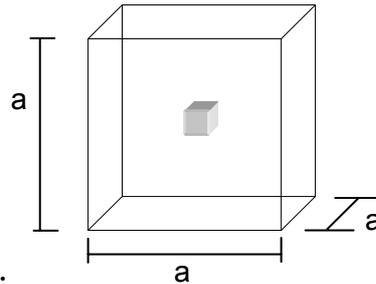
light weight aggregate:



with all mixtures:

$b = 4.836 \text{ mm}$
 $V = 113.09 \text{ mm}^3$

concrete matrix:



dimensions :

HB 0	$a = 9.09 \text{ mm}$	$V = 751.2 \text{ mm}^3$
HB 15	$a = 9.09 \text{ mm}$	$V = 751.2 \text{ mm}^3$
HB 25	$a = 7.67 \text{ mm}$	$V = 450.7 \text{ mm}^3$
HB 30	$a = 7.22 \text{ mm}$	$V = 375.6 \text{ mm}^3$

Figure 1: Geometry of the simulated cubes

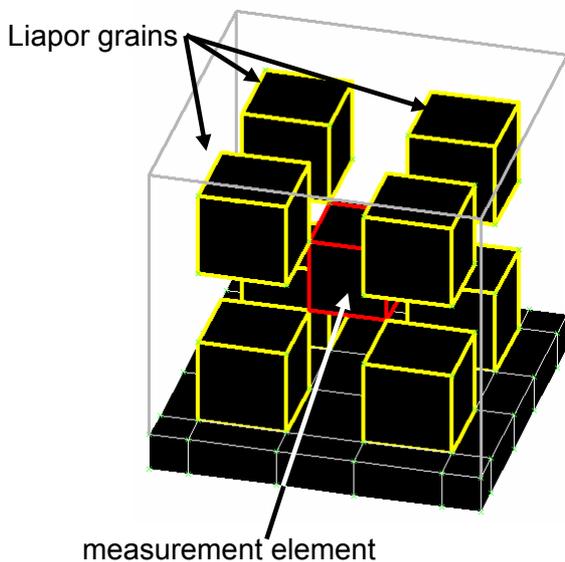


Figure 2: Model with 8 Liapor grains

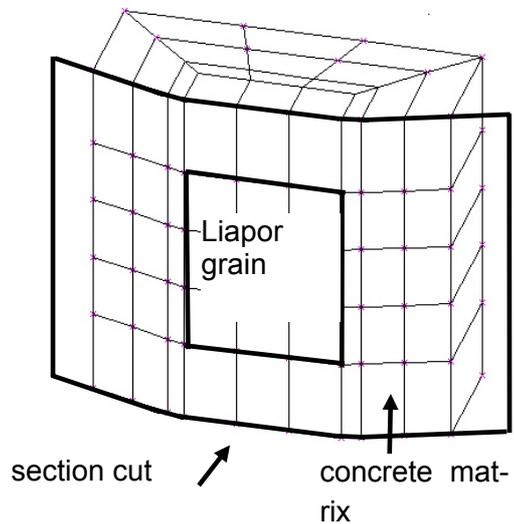


Figure 3: Model with 1 Liapor grain

Ergebnisse der Berechnungen

Hydratationsgrad

Die in Abb. 4 gezeigten Kurvenverläufe sind das Ergebnis einer Berechnung des Hydratationsgrades die 365 Tage simulierte. Die adiabatischen Kurven sind als Beispiel für die Ergebnisverläufe dargestellt.

Results of the simulations

Degree of hydration

The in figure 4 shown curve-progressions are the results of the simulations of the hydration degree resulting after 365 days of curing. The adiabatical curves are shown as an example for the simulations.

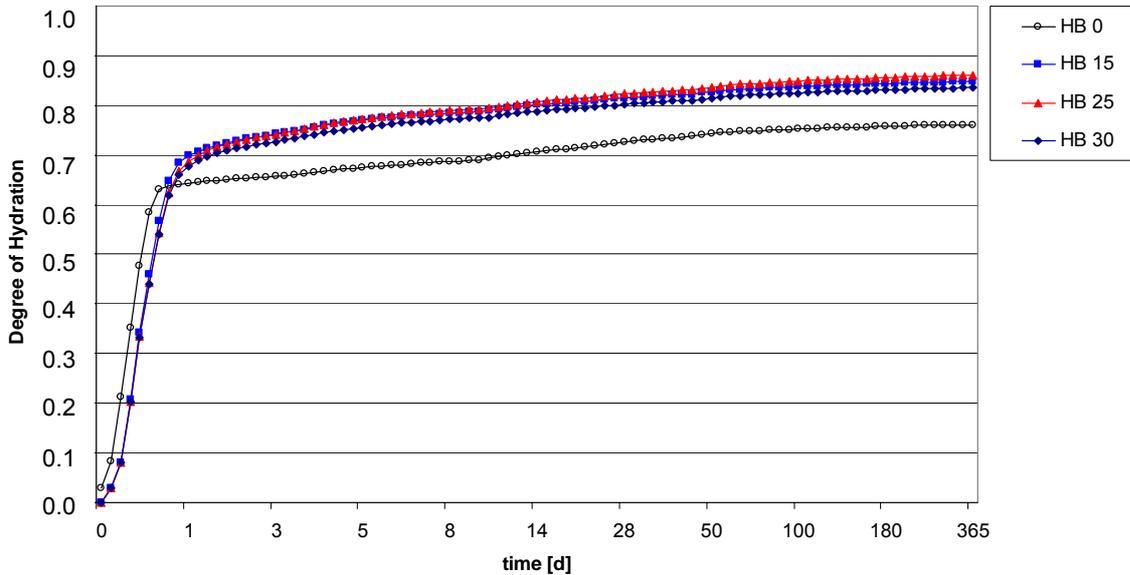


Figure 4: Development of the hydration degree in an adiabatical system

Da der Wärmeverlust im adiabatischen System verhindert wird, erhöhen sich die Temperatur und der Hydratationsgrad sehr schnell. Nach einem Tag reduziert der Wassermangel die Reaktionsgeschwindigkeit deutlich und der Kurvenanstieg der Mischung ohne Leichtzuschlag (HB 0) flacht ab. Dieser Effekt wird für Mischungen mit Leichtzuschlag aufgeschoben. Dies führt zu einem höheren Hydratationsgrad. Es kann gezeigt werden, dass die Hydratation bis zum 80. Tage weitergeht. Zwischen dem 2. und dem 80. Tag diffundiert das verbliebene Kapillarwasser durch die CSH Nadeln in das Korn und reagiert mit dem übrigen Zement. Der Unterschied zwischen den Mischungen mit und ohne Leichtzuschlag wächst bis zum 9. Tag an. Danach wird er wieder geringer. Dies kann durch die langsamere Reaktionsgeschwindigkeit der stärker hydrierten Mischungen erklärt werden. Im Vergleich zu ihnen kann die Mischung HB 0 noch eine Zeit ungebremst weiter rea-

Because the heat loss is circumvented within an adiabatical system the heat and the hydration degree increases rapidly. After one day the water loss reduces the reaction speed significantly and the curve growth of the mixture without an additional water reservoir (HB 0) decreases. For the mixtures with water saturated light weight aggregates this effect is postponed. This results in a higher degree of hydration. It can be shown that the hydration continues approximately up to the age of 80 days. Between the 2. and the 80. day the remaining capillary water diffuses into the grain through the CSH needles and reacts with the cement. The difference between mixtures with and without light weight aggregates is growing until the 9. day. After this time the gap between HB 0 and the other curves closes again. This can be explained by the resulting slower reaction because of the bigger grain boundary surface of the higher hydrated mixtures. The mixture HB 25 reaches the

gieren. Die Mischung HB 25 erreicht den höchsten Hydratationsgrad von allen. Um die Abhängigkeit von den Lagerungsbedingungen und der Mischung aufzuzeigen, wurden diese Informationen in einer einzigen Grafik aufgeführt (Abb. 5). Der Beton war zu diesem Zeitpunkt 14 simulierte Tage alt. Die Unterschiede zwischen den Mischungen sind zu diesem Zeitpunkt am deutlichsten zu sehen.

highest level of hydration of all mixtures. To show the influence of the light weight aggregates and the boundary conditions on the hydration degree it was best to provide these information in a single plot. At the age of 14 days the difference between the curves are the biggest. Figure 5 shows the hydration degrees at this age.

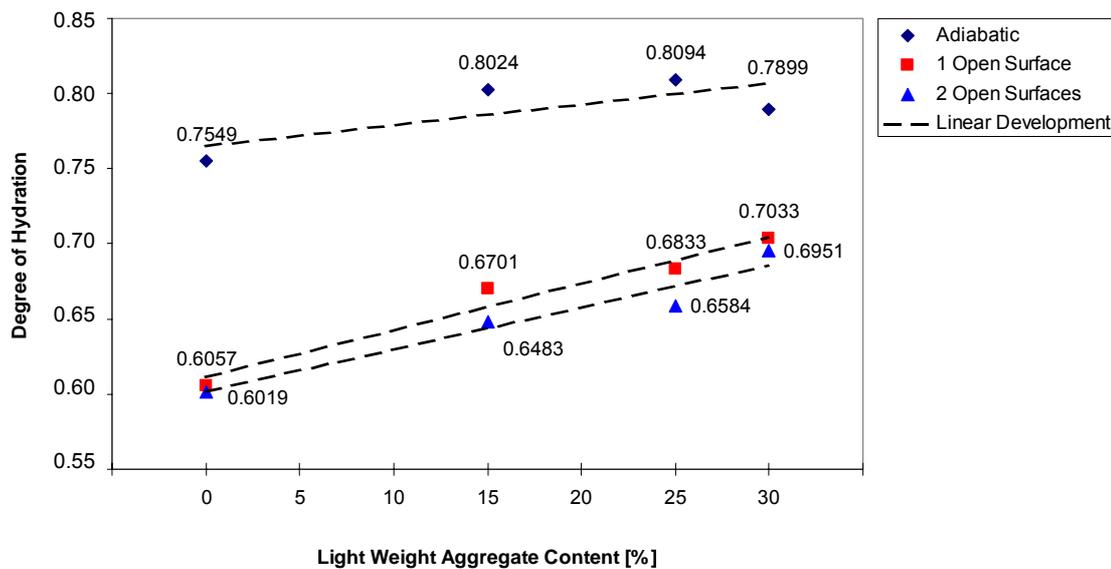


Figure 5: Degree of hydration at the age of 14 days

Der Einfluss des Anteils der wassergesättigten Leichtzuschläge am Beton ist deutlich sichtbar. Bei Zunahme des Anteils erhöht sich der erreichte Hydratationsgrad auch. Die linearen Trendlinien zeigen bei Berechnungen mit nicht adiabatischen Lagerungsbedingungen eine starke Steigung. Die Linien für eine und zwei geöffneten Seiten entwickeln sich nahezu parallel zueinander. Die Linie für das adiabatische System hat einen sehr flachen Verlauf. Ein Grund weshalb der zusätzliche Wassergehalt bei adiabatischen Systemen eine geringe Wirkung auf den Hydratationsgrad hat könnte darin liegen, dass das Gesetz von Darcy die Durchlässigkeit des Betons steuert. Dieses Gesetz verknüpft lokale Druckunterschiede mit der Permeabilität. Dadurch existiert innerhalb eines adiabatischen Systems kein Transport von Luftfeuchte und Wasser. Der

The influence of the content of water saturated light weigh concrete is clearly visible. With increasing aggregate content the hydration degrees reached are increasing too. The linear development lines show for the simulations with an exchange with the environment a fast ascending slope. The lines for one and two open sides develop approximately parallel to each other. The line for an adiabatical system has a very flat progression. One reason why the additional water content has little effect on the hydration degree might be that the water transport mechanism is controlled by Darcy's law which connects local pressure differences with permeability. Hence within an adiabatical system no transport of vapour and water exists. The influence of the additional water is reduced to nodes of elements that are connected with light weight aggregates and

Einfluss des zusätzlichen Wassers wirkt nur auf diejenigen Knoten der Elemente die mit den wassergesättigten Leichtzuschlägen und der Betonmatrix in Kontakt sind.

Feuchteverteilung

Diese Graphik soll von den Möglichkeiten der Simulationen mit DuCOM einen Eindruck vermitteln. Sie zeigt das Wasser in den Kapillarporen nach 4,2 Tagen in kg/m³. Der Würfel hatte eine offene Seite die einen Temperatur- und Feuchtigkeitsaustausch mit der Umgebung zuließ. Diese lag in Richtung der z-Achse.

the cement matrix. Since the compressive strength is dependent on the hydration degree the curve progressions do resemble each other.

Dispersion of moisture

This picture should provide an impression of the possibilities of the simulations. It shows a plot of the results of the capillary water after 4.2 days. The water content is given in kg/m³. The cube had one open side that permitted an exchange of temperature and moisture. It was the side the z-axis is directed to

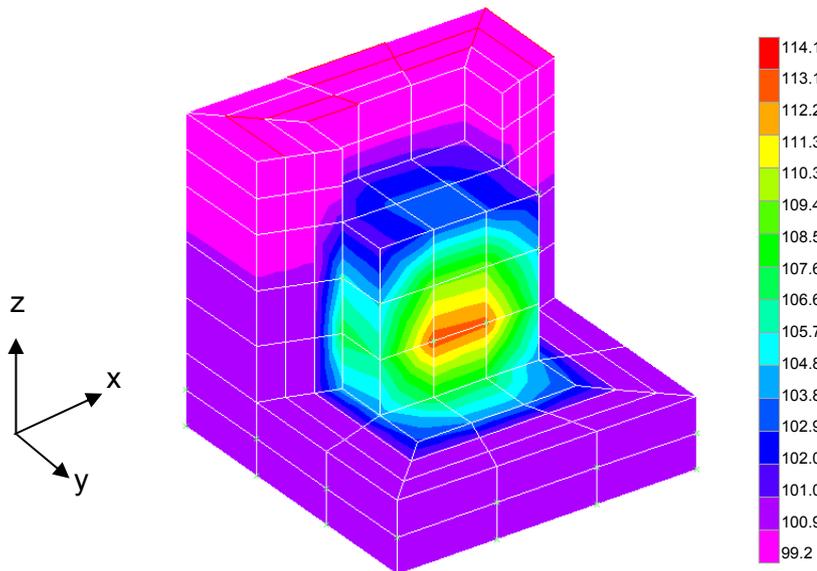


Figure 6: Dispersion of humidity simulated with a model as shown in figure 3 and the mixture HB 15

Mit 113,1 kg/m³ ist der Wassergehalt im Zentrum des Liaporornes deutlich größer als in den umliegenden Bereichen. An der freien Oberfläche des Probekörpers beträgt die Menge des vorhandenen Wassers nur noch 99,2 kg/m³. In der restlichen Betonmatrix sind noch 100,9 kg/m³ Wasser vorhanden. Im Bereich des Überganges von Korn zu Matrix wurden 102,9 kg/m³ Wasser berechnet. Die Berechnungen zeigen ein deutlich niedrigeres Schwinden bei Probewürfeln mit wassergesättigtem Leichtzuschlag.

The water content in the center of the Liapor core is reaching 113 kg/m³. This is significantly higher than the moisture content of the surrounding areas. At the free open side the free water content is 99.2 kg/m³. The remaining concrete matrix has a water content of 100.9 kg/m³ while the transition area between the core and the matrix has an average water content of 102.9 kg/m³. The calculated autogenous unrestrained drying shrinkage shows a significant decrease for specimens with water saturated light weight aggregates.

Diskussion

Die errechneten Ergebnisse wurden mit experimentell erzielten verglichen. Die Versuche wurden von Weber durchgeführt [1]. Bei der Beurteilung der Berechnungen darf nicht außer Acht gelassen werden, dass die absolute Größe der simulierten Würfel wesentlich kleiner war als die der im Labor geprüften. Während adiabatische Simulationen davon nicht betroffen sind, beeinflusst es aber das Verhalten von Würfeln mit offenen Seiten. Die Größe der Modelle war durch die Anzahl der von DuCOM berechenbaren Elemente limitiert. Daher sollten die Ergebnisse als erste Näherung gesehen werden.

Hydratation

Weber zeigte, dass der Hydratationsgrad nach 180 Tagen 0,67 und nach 360 Tagen 0,82 erreichte. Der dabei verwendete Beton war mit der in den Simulationen verwendeten Mischung HB 15 identisch. Die Außentemperatur schwankte zwischen 15 und 25°C und die rel. Luftfeuchte zwischen 40 und 50%. Die Versuchsbedingung entsprach der Situation „2 geöffnete Seiten“. Nach 360 Tagen erreichten die Hydratationsgrade 0,75 bei einem System mit einer offenen Seite, 0,76 bei zwei offenen Seiten und 0,84 bei einem adiabatischen System. Die Mischung HB 0 erreicht bei zwei offenen Seiten nach 360 Tagen einen berechneten Hydratationsgrad von 0,73 und einen gemessenen von 0,67. Dieser Unterschied kann durch die unterschiedliche Größe der modellierten Probewürfel oder die höhere rel. Luftfeuchte erklärt werden.

Festigkeitsentwicklung

Der Festigkeitsverlauf muss der Entwicklung des Hydratationsgrades folgen. Dies liegt daran, dass aus dem Hydratationsgrad die Porosität berechnet wird und aus dieser die Druckfestigkeit. Experimentelle Untersuchungen wurden mit der Mischung HB 15 durchgeführt. Die 365 Tage Ergebnisse werden in Tabelle 2 dargestellt und mit den

Discussion

The calculated results were compared with experimentally obtained numbers. These laboratory experiments have been performed by Weber [1]. During the appraisal of the results it should not be forgotten that the size of the simulated cubes was much smaller compared to the one of the experimentally tested. While adiabatical simulations are not affected by the size of the concrete spheres the simulations with an open side are. The size of the models was limited by the number of elements with whom DuCOM can compute. Thus the results should be seen as a first approximation in order to show the general tendencies.

Hydration

Weber has shown that the hydration degree after 180 days reached 0.67 and after 360 days 0.82. The used mixture was comparable to the HB 15. The temperature fluctuated during the experiments between 15 and 25°C and the humidity between 40 and 50%. The experimental condition was comparable to the situation “2 open sides”. After 360 days the calculated hydration degrees of the mixture HB 15 were ranging between 0.75 for 1 open side, 0.76 for 2 open sides and 0.84 for the adiabatical system. For the mixture HB 0 the measured hydration degree was 0.67 after 360 days while the calculated value was 0.73 in a system with two open sides. The difference may be explained by the size effect or simply the higher humidity during the calculation.

Strength development

The compressive strength development is following the curve development of the hydration degree. Laboratory experiments have been performed with the mixture HB 15. The 365 days experimental results are presented in Table 2 and compared with the computed ones.

berechneten verglichen.

Table 2: Results after 365 days

	experimentally determined compressive strength [N/mm ²]	calculated compressive strength [N/mm ²]
adiabatical	122	144.5
1 open side	120	128
2 open sides	122	125

Einerseits stimmen die Werte für die berechneten und geprüften Würfel bei den Systemen mit einer bzw. zwei offenen Seiten fast überein, andererseits liegt der berechnete Wert für den adiabatischen Würfel weit über dem des experimentell gemessenen. Die durchgeführten Experimente ergaben, dass ein Feuchtigkeitsaustausch mit der Umgebung verhindert wird da die Betonmatrix zu dicht wird. Die Simulationen konnten dies nicht darstellen. Die simulierte Porosität war zu allen Zeiten hoch genug um einen Wasser Verlust bzw. Gewinn durch Verdunstung oder Kondensation stattfinden zu lassen. Die adiabatische Simulationen erreichten beinahe die theoretisch maximale Druckfestigkeit. Daher kann davon ausgegangen werden, dass das vorhandene Wasser für eine beinahe vollständige Hydratation ausreicht. Der vorhandene Größenunterschied und die berechnete Porosität sind Grund die Ergebnisse mit Vorsicht zu interpretieren. Allerdings ist die Simulation genau genug um als erste Näherung verwendet zu werden.

Feuchtigkeitsverteilung

Die Menge an Anmachwasser betrug bei der Mischung HB 15 150 kg/m³. Zusätzlich wurden 47 kg/m³ durch die wassergesättigten Leichtzuschläge zur Verfügung gestellt. Nach 360 Tagen wurden bei den Würfel mit 2 offenen Seiten noch 155 kg/m³ Wasser vorgefunden und die adiabatisch gelagerten Probekörper enthielten noch 175 kg/m³. Bei den Simulationen wurden für das adiabatische System 170 bis 180 kg/m³ berechnet.

On the one hand the results for the calculations with one or two open sides seem to be accurate, on the other the value for the adiabatical calculation is overestimated. The experiments performed found that the concrete matrix is dense enough to circumvent any moisture transport from the outside. The simulation did not reproduce this situation exactly. The porosity was during all time steps high enough to simulate a water loss/gain by evaporation/condensation. The adiabatical simulation nearly reached the maximum compressive strength of 145.5 N/mm². Hence it can be assumed that the amount of available water was sufficient for complete hydration. So the size-effect and the overestimated porosity are reasons why it can be concluded that the strength development is overestimated and the results of the simulation must be regarded with care. But the simulation is accurate enough to provide a first approximation.

Dispersion of moisture

The mixture HB 15 had 150 kg/m³ water content and additionally 47 kg/m³ were provided by the saturated aggregates. After 360 days the cube with 2 open sides contained 155 kg/m³ and the adiabatically stored cube had 175 kg/m³ water content. The calculated results are slightly different. The adiabatical system reached a water content between 170 and 180 kg/m³ and the cube with an exchange with the environment reached 180 to 190 kg/m³. The higher water content of the simulated cube with an exchange with the environment can be ex-

Die Berechnungen für die Würfel mit einem Austausch mit der Umgebung ergaben Werte von 180 bis 190 kg/m³. Dies kann durch die höhere vorgegebene Luftfeuchte bei den Berechnungen erklärt werden.

Zusammenfassung

Das weiterentwickelte Chaube Modell kann die Entwicklung von Hochleistungsbetone simulieren. Einige der Ergebnisse haben eine gute Übereinstimmung mit den experimentell ermittelten Werten. Allerdings war die Datenbasis der Laborwerte sehr klein.

Die 360 Tage Hydratationsgrade waren nahe an den gemessenen. Es konnten aber nur die Werte nach 180 und 360 Tage verglichen werden.

Es zeigte sich, dass die Porosität und die Frühfestigkeiten von DuCOM überschätzt werden. Die Ergebnisse bei Würfeln mit einem Austausch mit der Umgebung waren allerdings sehr gut.

Der Einfluss des zusätzlichen durch die Leichtzuschläge zur Verfügung gestellten Wassers ist sichtbar. Die berechneten Mengen an physikalisch und chemisch gebundenen Wassers entsprechen den in Versuchen gemessenen Werten.

Die Weiterentwicklung, Ziel ist die Integration des Leichtzuschlages in die Berechnungsformeln für die Hydratation, des Rechenmodells wird die Genauigkeit der berechneten Materialparameter weiter verbessern.

plained by the higher humidity during the simulation, compared with the experimental conditions.

Summary

The modified Chaube model proves to be able to simulate high performance concrete. Some of the results seem to be in compliance with the found laboratory results. Although the experimentally obtained amount of data was very humble.

The 360 days computed hydration degrees were close to the measured ones. Even though due to the lack of data it was only possible to compare concrete at the age of 180 days and 360 days.

It was found that the porosity and the early age compressive strength is slightly overestimated by DuCOM. The results for the cubes with an exchange with the environment have been very good.

The influence of the additionally provided water is measurable. The amount of physically and chemically bound water is corresponding with experimentally found numbers.

The future development of this model where the water saturated light weight aggregates will be attached to the governing equations will improve the accuracy of calculated material parameters.

[1] Weber, S.: *Nachbehandlungsunempfindlicher Hochleistungsbeton*, Mitteilungen des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen, Band 1996/2, Universität Stuttgart, 1996

[2] Maekawa, K.; Chaube, R.; Kishi, T.: *Modelling of concrete Performance*, E&FN Spon, 1999

[3] Reinhardt, H.W.; Weber, S.: *Hochfester Beton ohne Nachbehandlungsbedarf*, Beton- und Stahlbetonbau 92 (1997), Nr.2, S. 37-41, Nr.3, S. 79-83

ULTRASCHALLPHASENSPEKTROSKOPIE, EIN NEUES VERFAHREN BEI DER ZERSTÖRUNGSFREIEN PRÜFUNG VON WERKSTOFFEN IM BAUWESEN

Von Dipl.-Phys. Hans-Jürgen Ruck

Einleitung

Zur Bewertung inneren Struktur und der Qualität eines Prüfkörpers gibt es unterschiedliche Möglichkeiten und Techniken. Die an unserem Institut am gebräuchlichsten eingesetzten zerstörungsfreie Prüfmethode sind die Schallemissionsanalyse, die Ultraschall-Transmissionsmessung und das Impakt-Echo Verfahren. Ein neueres Prüfsystem an Werkstoffen im Bauwesen stellt die Ultraschall-Phasenspektroskopie (UPS) dar. Bei diesem Verfahren wird die Phase des Ausgangssignals mit der Phase eines durch den Prüfkörper transmittierten Signals verglichen. Trägt man diesen Phasenverlauf über die Frequenz auf, kann die Wellengeschwindigkeit in der Probe bestimmt werden, woraus sich die akustische Impedanz, sowie die elastischen Konstanten ermitteln lassen. Durch die Abtastung der Flächen des Körpers mit dieser Methode ergibt sich ein Abbild der Geschwindigkeitsverteilung, der maximal transmittierten Frequenzverteilung und der Amplitudenverteilung mit denen auf die innere Struktur geschlossen werden kann. Bei der hier beschriebenen Ultraschallphasenspektroskopie wird mit Hilfe eines Netzwerkanalysators die Phasenverschiebung zwischen dem eingekoppelten und dem transmittierten Signal, sowie die Amplitude und die Filtereigenschaft des Probekörpers über die Frequenz während des Druckversuches aufgezeichnet. Da diese Methode bei der Aufzeichnung des Verlaufs der Schädigung neu ist, wurde hierfür ein PC-gesteuertes Messsystem entwickelt [3].

Ultraschallphasenspektroskopie

Zur Bestimmung der Gruppen- und Phasengeschwindigkeit in Materialien gibt es verschiedene Messmethoden. Eine davon ist die Ultraschallphasenspektroskopie (UPS), die in der Messtechnik allgemein auch als π -Phasen

Vergleichsverfahren bekannt ist. Entwickelt wurde die UPS Anfang der 70er Jahre [1], wo noch mit Hilfe von Frequenzoszillatoren, Frequenzzählern und Oszilloskopen gearbeitet wurde, die sicherlich einen hohen Aufwand in der gemeinsamen Geräteabstimmung bedeuteten. Durch die Entwicklung moderner Netzwerkanalysatoren ist das Verfahren in großem Umfang vereinfacht worden [2] und für die Messung während eines Druckversuchs an Werkstoffen im Bauwesen [3] angepasst worden. Man benötigt neben dem Analysator lediglich zwei Ultraschallsensoren. Bei der UPS wird eine Welle der Frequenz f durch einen Körper der Länge L transmittiert und mit dem Eingangssignal verglichen. Da der Körper für das Signal einen Widerstand darstellt, es sozusagen „bremst“, kommt es zwischen den beiden Signalen zu einem Laufzeitunterschied. Wird nun die Frequenz des Signals erhöht, führt dies zu einer kontinuierlichen Phasenverschiebung. Trägt man die Phasenverschiebung gegen die Frequenz auf, kann die Wellengeschwindigkeit über die Steigung bestimmt werden. Der heutige Messaufbau gestaltet sich durch die Entwicklung kompakter Netzwerkanalysatoren recht einfach. Der Analysator beinhaltet alle Messgeräte, die zur Signalaufzeichnung notwendig sind. Zur Kompensation der Sensor-Kennlinien kann der Analysator zum Anfang der Messung kalibriert werden. Neben dem Analysator sind zur Messung noch zwei Ultraschall-Sensoren nötig, die über einen weiten Frequenzbereich eine geringe Schwankung in der Verstärkung, so wie einen glatten Phasenverlauf aufweisen sollten. Im Experiment wird der Phasenverlauf über die Frequenz aufgezeichnet. Aus der Steigung dieser Kurve kann die Gruppengeschwindigkeit ermittelt werden. Neben der Auswertung der Geschwindigkeit ist auch eine Auswertung der Amplitude und der maximalen

und minimalen transmittierten Frequenz möglich, so dass eine Fülle von Daten bei der Beurteilung der inneren Struktur zur Verfügung stehen.

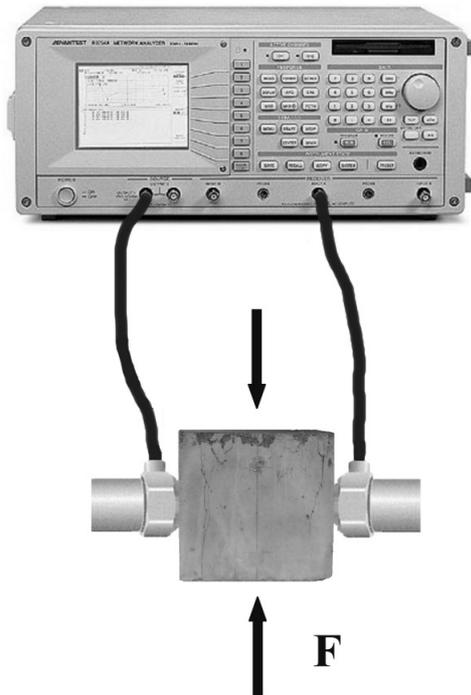


Abbildung 2: Messaufbau zur Ultraschallphasenspektroskopie bei einem einachsigen Druckversuch.

3.3.2 Ultraschallphasenspektroskopie an Betonen

Bei der Ultraschallphasenspektroskopie (UPS) wird eine Welle der Frequenz f durch einen Körper der Länge L transmittiert. Man vergleicht nun die Phase des Eingangssignals mit der Phase des transmittierten Signals. Es wird die kleinste Frequenz bestimmt, bei der das Signal bei L in Phase mit dem Eingangssignal ist. Dies korrespondiert mit einer halben Wellenlänge λ im Körper, so dass $\lambda/2 = L$ ist. Durch erhöhen der Eingangsfrequenz wird das Ausgangssignal sukzessive in und außer Phase mit dem Eingangssignal gebracht. Bei jeder dieser Beziehungen wird die Periodenzahl der Welle um $1/2$ erhöht, damit ist die Periodenzahl N im Körper bei jeder Frequenz bekannt. Dieser Prozess wird so lange wiederholt, bis auf Grund von Dämpfungseffekten in der Probe oder einer Bandbreitenbegren-

zung im Empfänger kein Signal mehr detektiert wird [4]. Das Dispersionsverhältnis und die Phasengeschwindigkeit können für jede Frequenz f bestimmt werden, für die N bekannt ist. Um die Datenaufnahme während eines Druckversuches zu automatisieren, wurde das Programm UPAS entwickelt [3], mit dem für die Messungen eingesetztem Netzwerkanalysator (Advantest R3754A) angesteuert werden kann. Ziel war es ein Programm zur UPS zu entwickeln. Dazu müssen vor Messbeginn die Sensoren durch eine face to face Messung kalibriert werden. Zur Auswertung der Geschwindigkeit wird die Steigung des Phasenverlaufs ($\pm \infty$) über die Frequenz bestimmt. Um die Beurteilung der Messdaten zu erleichtern, wird auch die Signalamplitude ($\log \text{Mag}$), zur Frequenzbeurteilung die lineare Amplitude mit herangezogen. Das zu speichernde Dateiformat besitzt damit vier Spalten für Frequenz, Phase, logarithmische und lineare Amplitude.

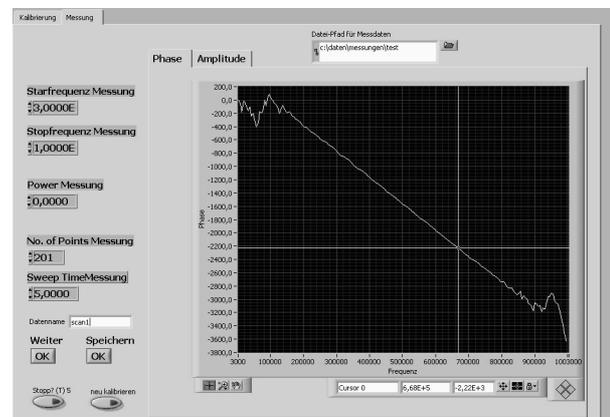


Abbildung 2: Messfenster von UPAS.

Bei einem einachsigen Druckversuch können dabei bis zu 200 Einzeldateien aufkommen, was einen erheblichen Aufwand bei der Auswertung der Signale darstellen würde. Daher wurde ein Programm entwickelt, dass die Steigung der Messkurve automatisch bestimmt und daraus die Wellengeschwindigkeit ableitet. In diesem Programm muss das Verzeichnis der Ergebnisdateien vorgegeben werden, sowie die Dicke der Probe. Hat man die gewünschten Einstellungen erledigt, wird

das Ergebnis in einem automatisch im Datenverzeichnis erstellten Unterverzeichnis (Ergebnis) abgelegt. Ein weiteres Problem stellt die Ankopplung der Sensoren an den Werkstoff dar. Als Beispiel für die Frequenzabhängigkeit verschiedener Stoffe dient das Messbeispiel in Abbildung 3. Hier wurde eine Kalibrierungsmessung der Sensoren mit Bienenwachs, medizinischem Ultraschallgel, Karosserieklebeband auf Butyl-Basis und Heißkleber als Kopplungsmittel durchgeführt.

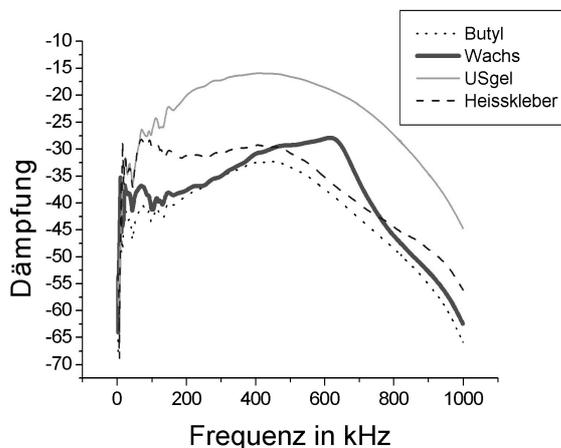


Abbildung 3: Dämpfung verschiedener Kopplungsmittel.

Betrachtet man die Dämpfungseigenschaften der Werkstoffe, so erzielt das Ultraschallgel die besten Ergebnisse. Dies wird dadurch erreicht, das auf Grund der Gel-Eigenschaften eine dünne Koppelschicht entsteht, die kaum Lufteinschlüsse enthält. Heißkleber hat im unteren Frequenzbereich bessere Eigenschaften als Wachs, Butyl liegt dazwischen. Neben den Frequenzeigenschaften sind auch die Verarbeitbarkeit und vor allem die Haftungseigenschaften der diversen Koppelmittel auf den zu prüfenden Proben zu berücksichtigen. Wachs muss flüssig gemacht werden, so dass eine dünne, aber auf die raue Oberfläche von Beton angepasste Koppelschicht entsteht. Somit ist eine Vorbereitung der Proben nötig. Heißkleber ist als Koppelmittel in Bezug auf Beton schon reichlich mit Erfolg eingesetzt worden. Probleme stellen sich aber beim Kalibriervorgang ein, wenn die Koppelflächen

der Sensoren größer als 15mm werden, was das Lösen der aneinander geklebten Flächen betrifft. Butyl ist eine knetbare Masse, die sich der Oberfläche des Probekörpers anpasst, und daher gut ohne größeren Aufwand zu verarbeiten. Schwierigkeiten bereiten aber staubige Oberflächen, welche die Haftung von Butyl stark herabsetzen. Abhilfe dagegen schafft Butylprimer, eine Art Versiegelungsmasse, die zusätzlich die Klebeeigenschaften verbessert. Wie sich aber gezeigt hat, lässt die Haftwirkung von Butyl mit der Zeit nach, so dass für einen Anpressmechanismus gesorgt werden muss (näheres dazu unter [5]). Ein sehr effektiver Koppelmechanismus, dafür aber etwas aufwendiger, hat sich durch die Vorbearbeitung der Prüfkörperoberfläche mittels Klarlack oder flüssigem Kunststoff ergeben. Man erhält so eine glatte, staubfreie Schicht auf der mit Ultraschallgel gekoppelt werden kann.

Im folgendem werden die Ergebnisse der Phasenmessung an einem Betonwürfel mit der Kantenlänge 15 cm (Korngruppe 1,2/2 mm, Faseranteil 0,4 Vol.-%, W/Z von 0,4) dargestellt.

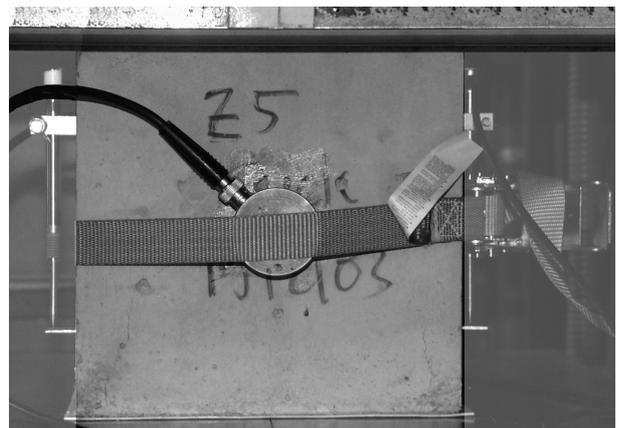


Abbildung 4: Ankopplung der Sensoren mittels Butyl, Butylprimer und Transportband. Rechts unten zeigen sich schon erste Risse.

Der Würfel wurde in einem einachsigen Druckversuch bis zum Versagen des Bauteils belastet. Die Ankopplung erfolgte mittels Karosserieklebeband. Da man hierbei für einen konstanten Anpressdruck der Sensoren sorgen muss, wurden diese durch ein Transport-

band fixiert. Die Messung erfolgte während der Krafteinleitung, wobei ein Sweep 10 s dauerte. Wie aus nachfolgender Abbildung ersichtlich wird, wurde die Verformung des Würfels über zwei Wegaufnehmer detektiert. Abbildung 5 präsentiert den aus der Phasemessung berechneten Geschwindigkeitsverlauf. Man erkennt deutlich einen Knick in der Kurve bei einem Weg von etwa 0,25 mm. In diesem Bereich hat die Schädigung in einem Maß zugenommen, so dass die transmittierten Signale stark gedämpft werden. In diesem Bereich nimmt auch die maximal transmittierte Frequenz ab, was die Bestimmung der Geschwindigkeit aus der Steigung des Phasenverlaufs erschwert.

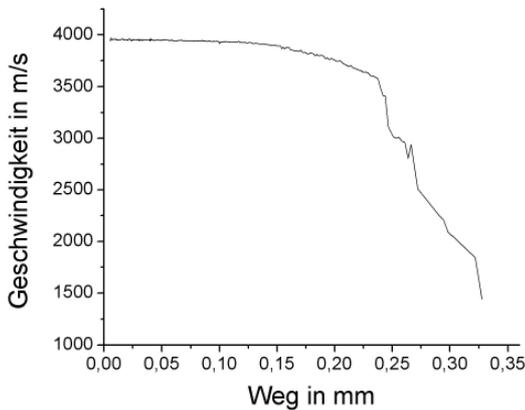
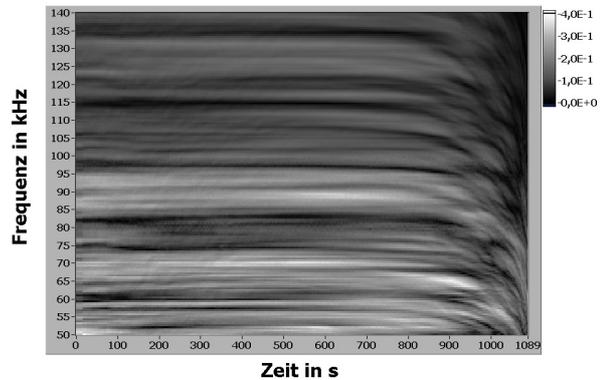


Abbildung 5: Geschwindigkeitsverlauf über die Verformung.

Als zusätzliche Information kann die lineare Amplitude herangezogen werden, die, zeitlich aneinandergereiht, ein Frequenzdiagramm (einer FFT Berechnung gleich) ergibt. Wie schon bei der Auswertung der Ultraschallimpulssignale erläutert, findet man auch in dieser Anordnung Frequenzmaxima oder wie oben erwähnt Frequenzschläuche, wie die Abbildung 14 als Beispiel an der Probe Z5 zeigt. In der Tabelle daneben sind diese Maxima eingetragen. Mit Hilfe der Wellengeschwindigkeit von 3950 m/s, die man Abbildung 13 entnimmt, lassen sich damit die entsprechenden Wellenlängen berechnen ($\lambda(m)$). Mit Hilfe der Probekörpergeometrie können

die Wellenlängen der einzelnen Moden berechnet werden ($\lambda(r)$), auf Grund der Mode 1. Ordnung von 30 cm.



F in kHz	$\lambda(m)$ in mm	$\lambda(r)$ in mm	Mode
54	73	75	4
68	58	60	5
87	45	42	7
103	38	37,5	8
121	32	33	9

Abbildung 6: Frequenzspektrum zum Druckversuch der Probe Z5 und eine Tabelle in der die Resonanzstellen eingetragen sind. F steht für Frequenz, $\lambda(m)$ für die aus der Messung resultierende Wellenlänge, $\lambda(r)$ die berechnete Wellenlänge und Mode bezeichnet die Oberwelle in Bezug auf 30 cm für die 1. Mode.

Wie der Vergleich deutlich macht, lassen sich die Frequenzen sehr gut einzelnen Moden zuordnen. Die Genauigkeit wird jedoch durch die Frequenzauflösung des Netzwerkanalysators begrenzt, der maximal 1201 Punkte pro Frequenzbereich aufzeichnen kann. In diesem Beispiel waren das 500 Hz. Mit Hilfe neuartiger Auswerteverfahren ist es bei dieser Methode auch möglich, den Amplitudenverlauf für bestimmte Frequenzbereiche zu ermitteln. Wie nachfolgendes Diagramm zeigt, nehmen die hohen Frequenzen rascher ab, sind also ein empfindlicherer Indikator für die Schädigung, als tiefere Frequenzen.

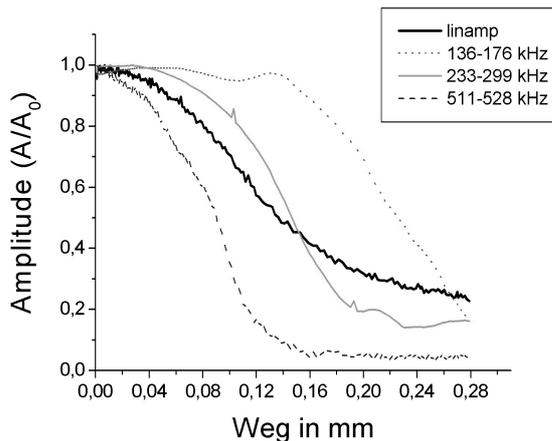


Abbildung 7: Normierte Amplitudenverläufe für bestimmte Frequenzbereiche über die Verformung.

Zusammenfassung

Mit Hilfe des einachsigen Druckversuchs und der Ultraschallphasenspektroskopie wurde die quantitative Schädigung von Stahlfaserbeton untersucht. Dabei ist es möglich, die zunehmende Schädigung an Hand der Geschwindigkeit, Frequenz und Amplitude der transmittierten Signale zu verfolgen. Die Ultraschallphasenspektroskopie hat den Vorteil, dass durch eine vorausgehenden Kalibrierung die frequenzabhängigen Eigenschaften der Messanordnung ausgeglichen werden. Bei dieser Methode werden direkt die Filtereigenschaften des Prüfkörpers ermittelt. Weiteres Potenzial verspricht die Amplitudenauswertung, die bei diesem Verfahren für jede Frequenz ermittelt werden kann. Das Verfahren eignet sich auch für andere Werkstoffe, wie z.B. Sandstein oder Kunststoff, es eignet sich aber nicht für stark dämpfende Materialien wie Gips oder sehr dicke Schichten. Wie in [6] gezeigt, harmonisiert das Messsystem sehr gut mit den Ergebnissen aus der Impulsspektroskopie. Beide Methoden kombinieren sich in so weit, als dass mit der UPS der hohe Frequenzbereich abgedeckt wird und mit der Impulsspektroskopie der niedrigere. Weitere Versuche werden daher so durchgeführt, dass beide Messmethoden gleichzeitig an einer Probe während eines Druckversuchs angewendet werden.

Dieser Bericht ist Teil der Ergebnisse von Teilprojekt A9 des Sonderforschungsbereich 381 „Charakterisierung des Schädigungsverlaufes in Faserverbundwerkstoffen mittels zerstörungsfreier Prüfung“ unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Hans-Wolf Reinhardt.

Literaturliste

- [1] Lynnworth, L., Papadakis, E. P., Rea, W. (1973): Ultrasonic measurement of phase and group velocity using continuous wave transmission techniques. AMMRC Report CTR 73-2.
- [2] Wanner, A. (1998): Elastic modulus measurements of extremely porous ceramic materials by ultrasonic phase spectroscopy. Materials Science and Engineering A248, pp. 35 - 43.
- [3] Ruck, H.-J., Reinhardt, H.-W.: Ultraschallphasenspektroskopie. VIP-2003 (Hrsg. R. Jamal, H. Jaschinski), Hühthig (2003), pp. 92 - 97.
- [4] Papadakis, P. (1976): Physical Acoustics. Vol. XII, Chap. 5, Academic, pp. 277-374. Journal (2001), pp. 81 - 92.
- [5] Sönmez, H.: Anwendung der Ultraschall-Phasenspektroskopie zur. Diplomarbeit, Universität Stuttgart, 2003.
- [6] Ruck, H.-J.: *Quantitative Bestimmung der Schädigung von Faserkompositen mit mineralischer Matrix mittels Ultraschall*. In: Sonderforschungsbereich 381, Teilprojekt A9. Universität Stuttgart, Ergebnisbericht 2000-2002. S. 125-150.

ZWEIFACH-BEFESTIGUNGEN MIT VERBUNDDÜBELN AM BAUTEILRAND UNTER TORSIONSBEANSPRUCHUNG – NUMERISCHE SIMULATIONEN

GROUP FASTENINGS WITH TWO BONDED ANCHORS CLOSE TO AN EDGE UNDER TORSION LOADING – NUMERICAL INVESTIGATIONS

von/by: K. Rüdinger, J. Hofmann

Einleitung

Befestigungen mit Dübeln oder Einlegeteilen (z.B. Ankerplatten mit angeschweißten Kopfbolzen) können durch äußere Lasten auf unterschiedliche Weise beansprucht werden. Die angreifenden Lasten werden in Zuglast, Querlast sowie Biegemomente bzw. Torsionsmomente aufgeteilt. Einen dieser Fälle stellt die Beanspruchung durch ein reines Torsionsmoment dar.

Die Beanspruchung durch ein Torsionsmoment ist im CC-Verfahren jedoch explizit ausgeschlossen, so dass eine Berechnung der Bruchlasten für diesen Fall nicht zulässig ist. Von Mallée (2002) wurden daher einige Versuche zu Dübelgruppen unter reiner Torsionsbeanspruchung am Bauteilrand durchgeführt, um den Anwendungsbereich des CC-Verfahrens für diesen Fall zu erweitern.

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse aus den numerischen Untersuchungen zu Zweifach-Befestigungen mit Verbunddübeln am Bauteilrand unter Torsionsbeanspruchung dargestellt.

Torsionsbeanspruchung

Eine Torsionsbeanspruchung entsteht, wenn Befestigungen durch exzentrisch angreifende Querlasten beansprucht werden. Hierbei kann zwischen geringer Exzentrizität ($e_v \leq s/2$) und großer Exzentrizität ($e_v > s/2$) unterschieden werden.

Introduction

Fastenings with bonded anchors or headed anchors can be loaded by external forces in different ways. The forces are divided into tension load, shear load as well as into bending moments or torsional moments. A special loading case is the action of only a torsional moment.

It is not allowed to calculate the ultimate load for fastenings under torsion loading with the CC-Method, because the two anchors of the fastening are not loaded in the same direction. Therefore experimental tests with group fastenings with two bonded anchors close to an edge under pure torsion were realized by Mallée (2002). This has been carried out to expand the application area of the CC-Method for torsion loading.

Based on numerical calculations of group fastenings with two bonded anchors close to an edge under torsion loading, in this paper the most important results of the research work are shown.

Torsion loading

A torsion loading is generated if fastenings are subjected to eccentric shear loads. Thereby it has to be distinguished between a little eccentricity ($e_v \leq s/2$) and a large eccentricity ($e_v > s/2$).

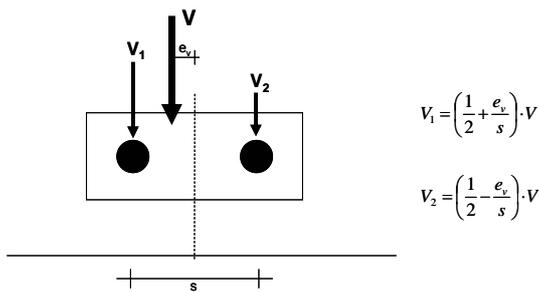


Abbildung 1:

Zweifach-Befestigung unter exzentrischer Belastung mit Ausmitte $e_v \leq s/2$.

Figure 1:

Group fastening with two bonded anchors under eccentric shear load with eccentricity $e_v \leq s/2$.

Greift eine exzentrische Querlast greift mit einer Ausmitte von $e_v \leq s/2$ an der Zweifach-Befestigung an (vgl. Abbildung1) werden beide Dübel der Gruppe durch betragsmäßig unterschiedliche Querlasten zum Bauteilrand beansprucht. Für diesen Fall kann nach dem CC-Verfahren ein Abminderungsfaktor $\psi_{ec,v}$ berechnet werden, der die Bruchlast der Gruppe infolge der vorhandenen Exzentrizität abmindert.

$$\psi_{ec,v} = \frac{1}{1 + 2 \cdot e_v / (3 \cdot c_1)}$$

- mit e_v Ausmitte der exzentrischen Querlast [mm]
- c_1 Randabstand [mm].

Wird eine Dübelgruppe durch eine Querlast mit einer Exzentrizität $e_v > s/2$ belastet, so werden die Dübel der Gruppe in entgegengesetzter Richtung beansprucht. Ein Dübel wird hierbei zum Bauteilrand, der andere Dübel mit geringerer Last entgegen dem Bauteilrand belastet.

Für exzentrisch angreifende Querlasten mit einer sehr großen Ausmitte $e_v \gg s/2$ entsteht ein reines Torsionsmoment M_T (vgl. Abbildung 3) im Schwerpunkt der Dübelbefestigung.

Figure 1 shows a fastening with two bonded anchors under an eccentric shear load. The eccentricity of the shear load is $e_v \leq s/2$. All anchors of the group are loaded in the same direction but with different absolute values of the shear forces. In this case the CC-Method calculates a influence factor $\psi_{ec,v}$. This factor reduces the failure load of group fastenings because of the existing eccentricity.

$$\psi_{ec,v} = \frac{1}{1 + 2 \cdot e_v / (3 \cdot c_1)}$$

- e_v : eccentricity of the shear load [mm]
- c_1 : edge distance [mm].

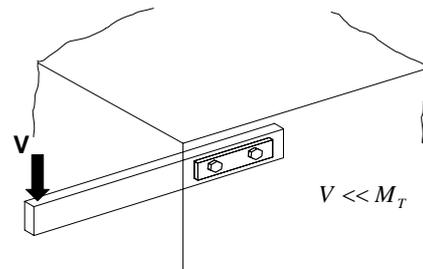


Abbildung 2:

Beispiel für die Belastung einer Dübelgruppe durch ein Torsionsmoment.

Figure 2:

Example of an anchor group under torsion loading.

Figure 3(a) shows an anchorage under shear loading with eccentricity $e_v > s/2$. In this case the load direction within the anchor group changes. One anchor is loaded perpendicular towards the free edge and the other one away from the edge.

For shear loading with very large eccentricity $e_v \gg s/2$ a torsional moment M_T is generated in the center of the anchor group (Figure 3(b)).

$$M_T = V \cdot s$$

- V : excentric shear load [kN]
- s : anchor spacing [mm].

$$M_T = V \cdot s$$

mit V exzentrische Querlast [kN]
 s Achsabstand [mm].

Dieses Torsionsmoment M_T kann in zwei Querkräfte gleichen Betrags jedoch entgegen gesetzter Richtung aufgeteilt werden. Ein Dübel wird hierbei durch eine Querlast V_1 in Richtung des Randes belastet, der andere Dübel durch eine Querlast V_2 , die vom Rand weg gerichtet ist.

Der Versagensmechanismus sowie die Verteilung der Lasten auf die einzelnen Dübel der Zweifach-Befestigung unter reiner Torsionsbeanspruchung ist in Abbildung 4 vereinfachend dargestellt (Mallée (2002)).

Demnach treten am oberen Bohrlochrand hohe Betondruckspannungen auf. Daraus resultieren die Druckkräfte A_1 und A_2 . Im unteren Bereich des Dübels treten aus Gleichgewichtsgründen die entgegengesetzt wirkenden Druckkräfte B_1 und B_2 auf. Die Kraft A_1 lässt den Dübel 1 durch Betonkantenbruch versagen. Dübel 2 versagt infolge der Druckkraft B_2 durch rückseitiges Herausbrechen oder durch Stahlbruch.

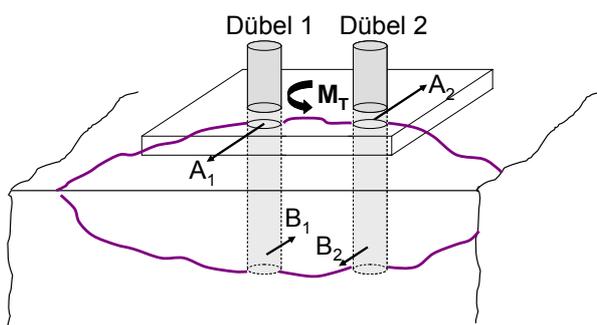


Abbildung 4: Versagensmechanismus unter Torsionsbeanspruchung (Mallée (2002)).

Figure 4: Group fastening with two anchors under torsion: reaction forces in the concrete (Mallée (2002)).

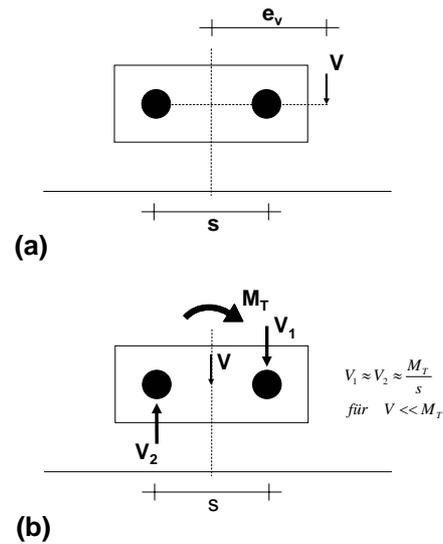


Abbildung 3: Befestigung unter Torsionsbeanspruchung: (a) Zweifach-Befestigung unter exzentrischer Belastung mit Ausmitte $e_v > s/2$. (b) Torsionsmoment M_T und Aufteilung in die Querkräfte V_1 und V_2 .

Figure 3: Anchor group under torsion loading: (a) Fastening with two bonded anchors under excentric loading with eccentricity $e_v > s/2$. (b) Torsional moment M_T and split in shearing loads V_1 and V_2 .

This torsional moment can be divided in two diametrical shear loads with same absolute values. One of the anchors is subjected to a shear force V_1 perpendicular towards the free edge and the other one is subjected to a shear force V_2 away from the edge.

Figure 4 shows the failure mechanism of a fastening with two anchors under torsion loading as well as the reaction forces in the concrete (Mallée (2002)). According to this mechanism compressive stresses in the concrete are generated in the range of the opening of the drilled hole. The resulting forces of these stresses are the forces A_1 and A_2 . For conditions of equilibrium also compressive stresses occur close to the end of the anchor in diametrical direction. On this account the resulting forces B_1 and B_2 (Figure 4) are generated.

Numerische Simulationen

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Befestigungen unter Querlast“ wurden 55 numerische Simulationen durchgeführt, die das Tragverhalten von Zweifach-Befestigungen am Bauteilrand unter Torsionsbeanspruchung detailliert untersuchen.

In den durchgeführten numerischen Simulationen wurden die Parameter Achsabstand, Durchmesser, Randabstand und Verankerungstiefe variiert.

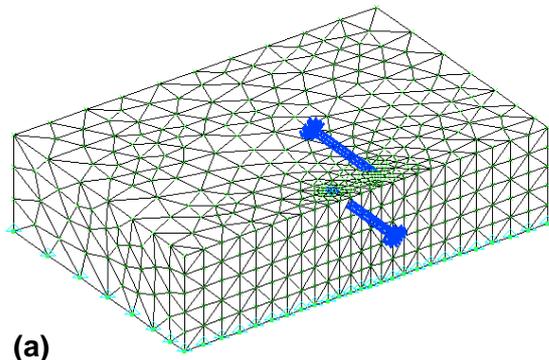


Abbildung 5(a):

FE-Modell: Zweifach-Befestigung unter Torsion

Figure 5(a):

FE-Model: Fastening with two anchors under pure torsion loading.

Abbildung 5 zeigt exemplarisch die für die numerischen Simulationen verwendeten FE-Modelle. Abbildung 5(a) zeigt das Modell für die untersuchten Zweifach-Befestigungen unter Torsionsbeanspruchung, Abbildung 5(b) das Modell für die Referenzberechnung einer Einzelbefestigung unter Querlast senkrecht zum Bauteilrand.

Auswertung der numerischen Simulationen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der numerischen Simulationen zu Zweifach-Befestigungen am Bauteilrand unter Torsionsbeanspruchung dargestellt und mit den Referenzberechnungen zu Einzelbefestigungen am Bauteilrand unter Querlast senkrecht zum Rand verglichen.

Numerical Investigations

Within the scope of the research work „Anchorages under shear loading“ 55 numerical investigations were carried out. The aim of these investigations is to analyse the load bearing behavior of fastenings with two anchors close to an edge under torsion loading in a detailed way.

In the numerical investigations the varied parameters are the anchor spacing, the bolt diameter, the edge distance and the effective embedment depth.

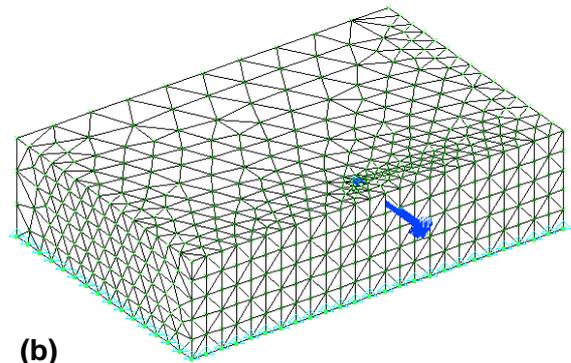


Abbildung 5(b):

FE-Modell: Einzelbefestigung unter Querlast.

Figure 5(b):

FE-Model: Single anchor under shear loading.

Figure 5 represents the finite element models which were used for the calculations. Figure 5(a) shows the model of a fastening with two anchors under torsion loading, figure 5(b) the model of a single anchorage under shear loading perpendicular to the free edge.

Evaluation of the Numerical Investigations

In the following the results of the investigations are presented and the finite element calculations of fastenings with two anchors close to an edge under torsion loading are compared with single anchorages under shear loading perpendicular to the free edge.

Abbildung 6 zeigt exemplarisch die Last-Verschiebungskurven der Zweifach-Befestigung mit Verbunddübeln am Bauteilrand unter Torsionsbeanspruchung mit Randabstand $c_1 = 100$ mm und Durchmesser $d_{nom} = 24$ mm für verschiedene Achsabstände.

Es wird ersichtlich, dass die berechneten Bruchlasten und das Last-Verschiebungsverhalten für die untersuchten Achsabstände nahezu gleich ist. Dieses Verhalten zeigt sich auch in den übrigen numerischen Simulationen. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Bruchlast und das Last-Verschiebungsverhalten von Zweifach-Befestigungen unter Torsionsbeanspruchung unabhängig vom Achsabstand ist.

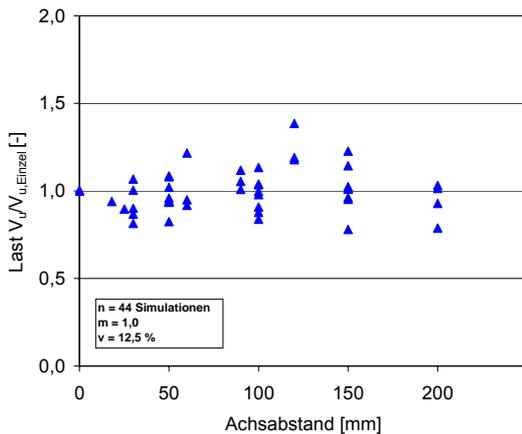


Abbildung 7: Einfluss des Achsabstandes auf die bezogene Bruchlast $V_u/V_{u, Einzel}$.

Figure 7: Failure load $V_u/V_{u, single}$ of a fastening with two anchors as a function of the anchor spacing.

Abbildung 7 zeigt den Einfluss des Achsabstandes aller durchgeführten Berechnungen auf die bezogene Bruchlast $V_u/V_{u, Einzel}$ für verschiedene Randabstände, Durchmesser und Verankerungstiefen.

Es wird ersichtlich, dass die bezogenen Bruchlasten um einen Mittelwert von 1, 0 streuen. Die Ergebnisse zeigen somit, dass sich für torsionsbeanspruchte Zweifach-

Figure 6 shows the load-displacement curves of fastenings with two anchors close to an edge under torsion loading. The model used in these calculations has been done with an edge distance of $c_1 = 100$ mm, a bolt diameter of $d_{nom} = 24$ mm and different anchor spacings of $s = 50, 100, 150, 200$ mm.

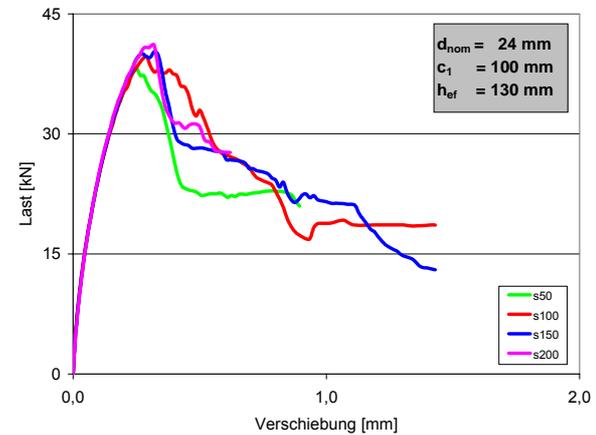


Abbildung 6: Last-Verschiebungskurven einer Zweifach-Befestigung am Bauteilrand unter Torsionsbeanspruchung.

Figure 6: Load-displacement-curves of fastenings with two anchors close to an edge under torsion loading.

The failure load and the relation between shear load and displacement are nearly the same for the investigated anchor spacings (Figure 6). The identical behavior was observed in the other numerical investigations. It can be concluded that the failure load and the relation between shear load and displacement of fastenings under torsion loading is not influenced of the anchor spacing.

Figure 7 shows the failure load ratio $V_u/V_{u, single}$ as a function of the anchor spacing for all numerical investigations. The results of the single anchor under shear loading are plotted for a spacing $s = 0$.

All the failure loads are in the same range of scatter. The average value is 1.0, the coefficient of variation 12.5%.

The results indicate that fastenings with two anchors close to an edge under torsion loading approximately reach the same failure

Befestigungen unabhängig vom Achsabstand näherungsweise dieselben Bruchlasten wie für eine Einzelbefestigung unter Querlast ergeben. Die Bruchlast einer torsionsbeanspruchten Zweifach-Befestigung wird allein durch den in Richtung des Randes belasteten Dübel bestimmt.

In den untersuchten numerischen Simulationen konnten unterschiedliche Ausbruchkörper (vgl. Abbildung 8) beobachtet werden. Diese lassen sich grundsätzlich in zwei Typen von Ausbruchkörpern einteilen:

- Gemeinsamer Ausbruchkörper beider Dübel (G)
- Einzelner Ausbruchkörper des zum Rand belasteten Dübels (E).

Achsabstand s [mm]		Durchmesser d_{nom} [mm]		
		12	24	32
Randabstand c_1 [mm]	30	90	60	60
	60	100	100	100
	100	100	100	150

Tabelle 1:

Achsabstände für einen gemeinsamen Ausbruchkörper beider Dübel in Abhängigkeit von Randabstand und Durchmesser.

Table 1:

Anchor spacing for a break-out body of both anchors depending on diameter and edge distance.

Die numerischen Simulationen wurden hinsichtlich der berechneten Ausbruchkörper ausgewertet und die Ergebnisse in Tabelle 1 dargestellt. Hierbei ist der Übergang zwischen den beiden Typen von Ausbruchkörpern von besonderem Interesse. Es gilt zu klären, für welche Achsabstände ein einzelner bzw. ein gemeinsamer Ausbruchkörper auftritt.

load as a single anchor under shear loading perpendicular towards the free edge. It is obvious that the anchors of the group do not affect each other. Thus only the anchor loaded perpendicular towards the free edge is responsible for the failure load of the fastening under torsion loading.

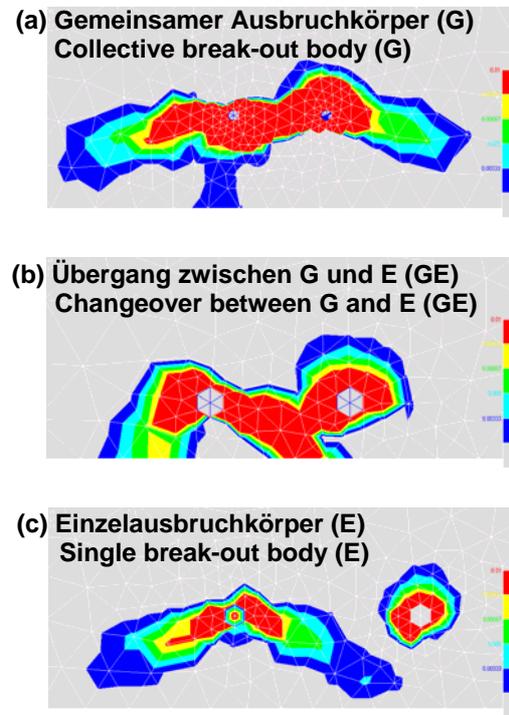


Abbildung 8:

Berechnete Hauptzugdehnungen E_{11} (Rissverlauf).

Figure 8:

Calculated principle tensile strains E_{11} (failure cracks).

Figure 8 shows different break-out bodies which were obtained in the several numerical investigations. Actually one can see the crack distribution at failure (break-out body) displayed by the principle tensile strains E_{11} .

The break-out bodies can be divided into different types (Figure 8):

- Collective break-out body of both anchors (G)
- Single break-out body of the anchor loaded to the free edge (E)
- Changeover between collective and single break-out body (GE)

Aus Tabelle 2 wird ersichtlich, dass mit zunehmendem Randabstand der kritische Achsabstand zunimmt, bis zu dem sich ein gemeinsamer Ausbruchkörper beider Dübel bildet. Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse der numerischen Berechnungen, dass sich ein gemeinsamer Ausbruchkörper bis zu einem Achsabstand von ca. $s = 1,5 c_1$ bildet.

Zusammenfassung

Die Ergebnisse aus den numerischen Simulationen ermöglichen eine Erweiterung des CC- Verfahrens im Hinblick auf Dübelbefestigungen unter exzentrischer Belastung, um auch für Zweifach-Befestigungen unter beliebiger Querlast oder Torsionsbeanspruchung die Bruchlast berechnen zu können. Die Bruchlast einer Dübelgruppe unter Torsionsbeanspruchung wird durch die Bruchlast des zum Rand belasteten Dübels bestimmt. Die entgegen den Rand wirkenden Lasten können daher für die Berechnung der Bruchlasten vernachlässigt werden.

The numerical investigations have been analyzed with regard to the different types of break-out bodies and the results are represented in table 1. The changeover between collective and single break-out body is of particular interest.

Table 1 show the critical anchor spacing until a collective break-out body of both anchors can be obtained. It can be seen that the critical anchor spacing increases with the increase of the edge distance.

To summarize it can be stated, that until reaching an anchor spacing of about $s = 1,5 c_1$ collective break-out bodies can be obtained.

Summary and Conclusions

The results of the numerical investigations can be used to expand the application area of the CC-Method with regard to anchorages under eccentric loading. By now it will be possible to calculate both the failure load of anchorages under arbitrary shear loading and torsion loading.

The failure load of an anchor group under torsion loading is limited by the failure load of the anchor loaded towards the free edge. The anchor loaded away from the edge can be neglected for the calculation of the failure load.

Literatur / References

- Eligehausen, R.; Mallée, R. (2000): Befestigungsverfahren im Beton- und Mauerwerksbau. Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2000.
- Mallée, R. (2002): Dübelgruppen am Bauteilrand unter Torsionsbeanspruchung. Beton- und Stahlbetonbau 97, 2002, Heft 2, Verlag Ernst Sohn.
- Rüdinger, K. (2003): Numerische Untersuchungen zu Zweifach-Befestigungen mit Verbunddübeln am Bauteilrand unter Quer- und Torsionsbeanspruchung, Diplomarbeit.

ÜBERBLICK ÜBER DIE AKTIVITÄTEN DES IWB AUF DEM GEBIET DER SCHÄDIGUNG VON BAUTEILEN AUS CELLULOSE–KURZFASER-VERBUNDWERKSTOFFEN OVERVIEW OF THE IWB ACTIVITIES ON THE FIELD OF THE DAMAGE OF STRUCTURAL ELEMENTS OF CELLULOSE SHORT FIBRE COMPOSITES

von/by: Maik Schulz

Zusammenfassung

Die Verwendung von Cellulose–Kurzfasern in Verbundwerkstoffen gewinnt infolge der hohen technischen und ökologischen Vorzüge des nachwachsenden und voll recyclebaren Faserstoffes hohe Attraktivität für diverse Anwendungen. Der breite Einsatzbereich dieser neuen Faserverbundwerkstoffe, die mit unterschiedlichen Faservolumenanteilen sowohl mit organischen wie mit anorganischen Matrixmaterialien hergestellt werden, erstreckt sich vom Bauwesen über den Maschinen- und Fahrzeugbau bis hin zur Konsumgüterindustrie.

Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 381 wird der im Bauwesen eingesetzte Cellulosefaser–Gips-Werkstoff untersucht. Aus dem Material mit einem Faservolumenanteil von ca. 20% werden Platten von 10 bis 40 mm Dicke hergestellt und als Beplankungen für Wandtafeln verwendet. Die Cellulosefaser–Gips–Werkstoffplatten sind nicht brennbar und weisen ein duktileres Versagensverhalten als die ebenfalls unbrennbaren, jedoch sprödebrüchigen Gipskartonplatten auf.

Einleitung

Als Grundlage für eine quantitative Materialcharakterisierung und eine Modellierung des Schädigungsverhaltens, wurden erste Vorversuche an exemplarischen Prüfkörpern durchgeführt. Hierzu wurden 12,5 mm starke Platten mit und ohne Loch einachsig auf Zug beansprucht. Die Belastung erfolgt bei allen Versuchskörpern statisch bzw. quasi–statisch zyklisch unter Zug–Schwellbeanspruchung. Aufgrund der in früheren Versuchen festgestellten hohen Energiedissipationsfähigkeit kann die Verwendung von Cellulosefaser–Gips–Werkstoffplatten insbesondere für dy-

Abstract

The usage of recyclable cellulose short fibres in composites is interesting for several applications due to the high technical and ecological advantages. The wide range of application of this new fibre composites with its different fibre volume ratio and both organic and non–organic matrix materials, spread from civil engineering, mechanical engineering, vehicle construction to consumer goods industry.

Within the scope of the Collaborative Research Centre 381 the cellulose fibre gypsum material, being used in civil engineering, will be investigated. The material is manufactured with a fibre volume ratio of 20% and panel thicknesses from 10 to 40 mm. Preferentially the plates are used as sheathing panels for wood– framed elements. The cellulose fibre gypsum plates are non–flammable and show a much more ductile behaviour compared to brittle gypsum carton plates.

Introduction

As for a quantitative material characterisation and for the modelling of the damage behaviour, first preliminary experimental tests were performed. For this purpose panels with a thickness of 12,5 mm and round hole were loaded uniaxially by a tensile load. All specimen were loaded both, with monotonic static and quasi static cyclic histories. Due to the high potential of energy dissipation, know from earlier studies, it seems to be promising to use the cellulose fibre gypsum plates for dynamic/seismic loaded constructions. The principal aim of the pre-

namisch/ seismisch beanspruchte Konstruktionen sinnvoll sein. Das Hauptziel der Untersuchungen orientiert sich an der praktischen Anwendungsrelevanz für ausgeprägt energiedissipative Bauteile sowie auf ein werkstoffübergreifendes Materialverständnis bezüglich der Schädigung stark vernetzter Kurzfaserverbundwerkstoffe bei primär quasi-statisch zyklischen und niederfrequenten Einwirkungen. Vornehmlich steht die Charakterisierung der Schädigung des Werkstoffs bei vorerst reinen nicht überlagerten Normalkraft-Beanspruchungen im Vordergrund.

Der bisherige Wissensstand beschränkt sich weitgehend auf klassische Steifigkeits- und Festigkeitswerte, wie sie für statische Bemessungsprobleme im Bauwesen erforderlich sind. Die für zyklische/ dynamische Beanspruchungen äußerst vorteilhafte, ausgeprägte Dehnungsentfestigung der Cellulosefaser-Gips-Werkstoffplatten soll in den Versuchen anhand zyklischer Zug- Schwellbelastungen nachgewiesen werden.

Die irreversible Materialentfestigung bzw. das Verhalten im plastischen Bereich des Werkstoffs kann durch die Materialkenngröße dissipierte Energie pro Belastungszyklus charakterisiert werden.

Von großem Interesse ist hierbei auch, ob mit zunehmender Verformung die je Hystereseschleife dissipierte Energie derart zunimmt, dass das Verhältnis zwischen dissipierter und potenzieller Energie konstant bleibt. Ein solches Verhalten ist für Anschlüsse bekannter, jedoch spröderer Holzwerkstoffe (z. B. Spanplatten) mit zylindrischen Verbindungsmitteln typisch.

Experimentelle Untersuchungen

Das Versuchsprogramm umfasste 2 unterschiedliche Versuchskörpergeometrien mit jeweils 5 bzw. 4 unterschiedliche Lochgrößen. Die Probekörper der ersten Versuchsserie wiesen eine Länge von 240 mm, eine Breite von 60 mm und eine Dicke von 12,5 mm auf. Die mittig angeordneten Löcher wurden mit den Größen 12, 14, 16, 18 und

sented preliminary test was oriented to the industrial application of structural elements being able to dissipate energy and in the understanding of the general damage behaviour of short fibre materials with a quasi static cyclic loading. At this moment the damage characterisation of the material with pure uniaxial normal loading is studied.

Up to now the state of knowledge is limited to usual mechanical stiffness and strength values, which are necessary for static design in civil engineering. The plastic, respectively pronounced strain softening behaviour of the cellulose fibre gypsum panels exposed by cyclic loading, is shown in the test results.

The strain softening respectively the plasticity of the material can be quantified by the material parameter energy per load cycle.

Additionally it is interesting, if the ratio of the dissipated energy to the potential energy remains constant with increasing displacement. Such a behaviour is typical for usual brittle wooden composites (for example chipboards) with cylindrical fasteners.

Experimental Investigations

The preliminary testing program included 2 different specimen geometrics with 5 resp. 4 different hole sizes. The specimens of the first series had a length of 240 mm, a width of 60 mm and the thickness of 12,5 mm. The central holes were manufactured with the diameters of 12, 14, 16, 18 and 20 mm. The specimens of the second series had a length

20 mm gefertigt. Die Probekörper der zweiten Versuchsserie wiesen eine Länge von 240 mm, eine Breite von 80 mm und eine Dicke von 12,5 mm auf. Die mittig angeordneten Löcher wurden mit den Größen 10, 20, und 30 mm ausgeführt. Da die Prüfkörper dieser Versuchsserie eine Verjüngung aufwiesen, konnte eine Probenreihe auch ohne Loch geprüft werden. Der genaue Versuchsaufbau ist exemplarisch in den Abbildungen 1a, b dargestellt.

of 240 mm, a width of 80 mm and a thickness of 12,5 mm. The central holes were drilled with diameters of 10, 20 and 30 mm. Because of the tapering of the second specimen lay-up, it was also possible to test specimens without holes. The test set-up is exemplary represented in figures 1a, b.

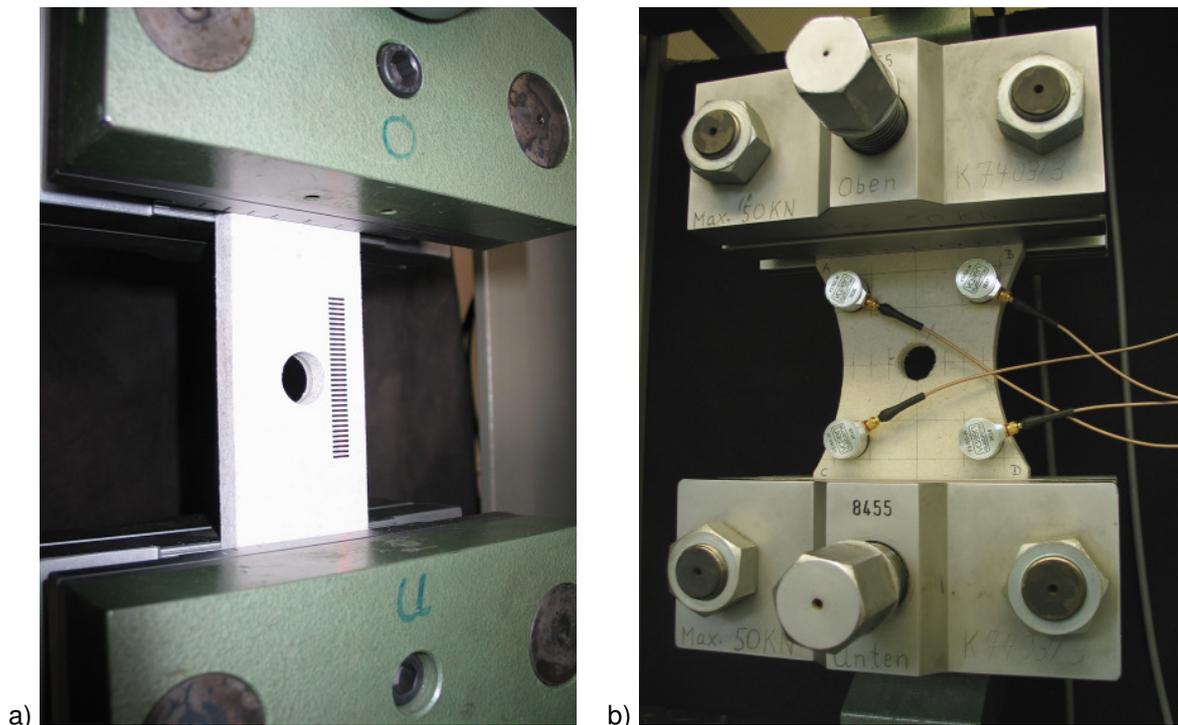


Abbildung 1a, b: Prinzipieller Versuchsaufbau der 60 mm breiten Lochscheibe (Bild a) und der verjüngten 80 mm breiten Lochscheibe (Bild b).
 Figure 1a, b: Test set-up of the specimen with the width of 60 mm (picture a) and of the tapered specimen with the width of 80 mm (picture b).

Bei beiden Versuchsaufbauten betrug die Einspanntiefe pro Spannzeug 60 mm, so dass die freie Länge 120 mm maß. Alle Versuche wurden weggesteuert in einer elektromechanischen Prüfmaschine durchgeführt. Für die statischen Zugversuche wurde die globale Verformung (Traversenweg) und die zugehörige Zugkraft gemessen. Diese Versuche dienten der Ermittlung des Einflusses der Lochgröße auf die maximal erreichte Spannung bezogen auf den Nettoquerschnitt in der Lochenebene.

For both test set-ups the clamping depth was 60 mm, so that the remaining free length measured 120 mm. All tests were performed at displacement control in a electromechanical testing machine. For the monotonic static tension tests only the global displacement (traverse stroke) was measured. The latter tests were performed to study the influence of the hole size on the maximal stress related to minimal cross-section.

In der Abbildung 2 sind beispielhafte Kraft–Verformungs–Diagramme für die in Abbildung 1a gezeigten Versuchskörpergeometrie mit den Lochdurchmessern 12, 14, 16, 18 und 20 mm dargestellt.

In figure 2, a force–displacement–diagram is exemplarily represented for the test configuration shown in figure 1a with the hole sizes of 12, 14, 16, 18 and 20 mm.

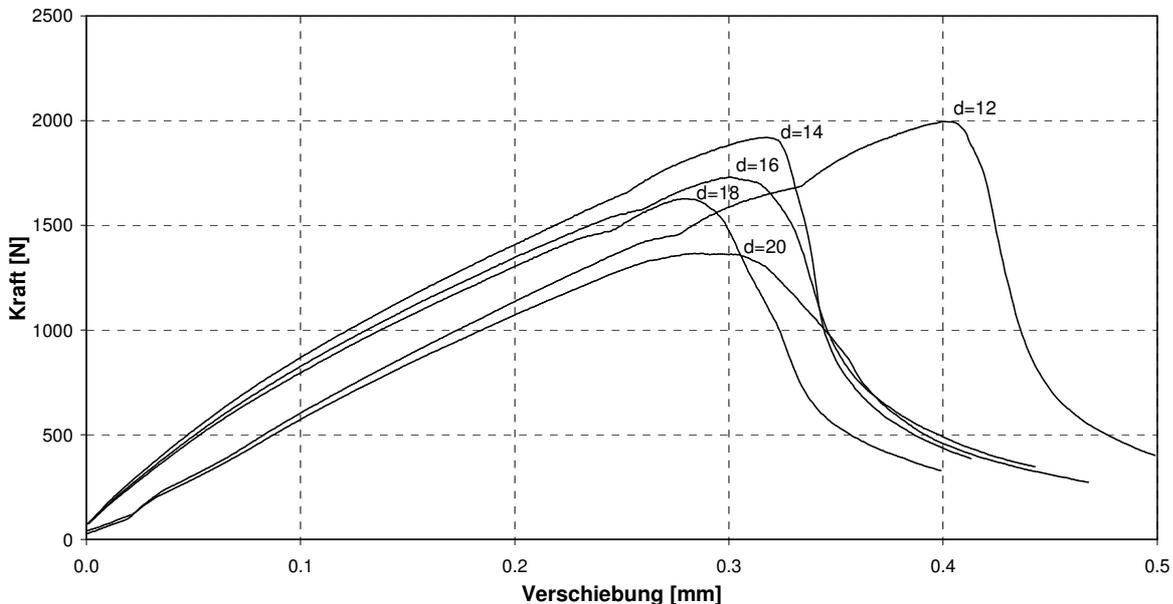


Abbildung 2: Beispielhaftes Kraft–Verformungs–Diagramm in Abhängigkeit der Lochdurchmesser
Figure 2: Exemplary force–displacement–diagram depending on the hole diameter

Unabhängig von der Lochgröße war bei jedem Zugversuch ein entfestigendes Verhalten zu beobachten. Nach dem Erreichen der Höchstlast kam es nicht zu einem Sprödbruch. Bei den Versuchen konnte visuell eine Rissentwicklung vom Lochrand zu den Kanten hin beobachtet werden, was über eine stark überhöhte Lochrandspannung zu erklären ist. Eine FEM–Vergleichsrechnung bestätigt, dass das Verhältnis Lochrandspannung/Kantenspannung bei den verwendeten Geometrien von 3,09 bis 4,04 reicht. Die Abbildung 4 zeigt ein Beispiel für Spannungsverteilung einer gelochten und auf Normalkraft beanspruchten Lochscheibe.

Obwohl der Cellulosefaser–Gips–Verbundwerkstoff einen Kurzfaserverbundwerkstoff mit spröden Cellulosefasern und spröder Gips–Matrix darstellt, ist das Gesamtverhalten der Kombination dieser spröden Bestandteile eher als duktil zu bezeichnen. Der untersuchte Werkstoff ist ein Beispiel für die mate-

Irrespective of the hole size, each tension test shows ductile behaviour. After maximum load, the material did not fail in a brittle way. In each test a crack evolution starting from the hole edge and propagating to the specimen edges could be observed. This can be explained by the stress increase at the hole edge. Comparing calculations by means of Finite Element Method confirms, that the ratio of the hole edge stress to the edge stress ranges from 3,09 to 4,04 for the used configurations. Figure 4 shows an example for the stress distribution in a board with a central hole. The board is loaded uniaxially.

Although the cellulose fibre gypsum composite is a short fibre composite with brittle cellulose fibres and brittle gypsum matrix, the behaviour of the composite structure can be described as ductile or strain softening. The investigated material is an example for the importance of the microstructure (fibre geometry and the order of the fibres) for the

rialübergreifend wichtigen Einflüsse der Mikrostruktur, insbesondere der Fasergeometrie und des Vernetzungsgrades, auf das makroskopische Versagensverhalten. Hiermit kann qualitativ das dehnungsentfestigende Verhalten erklärt werden.



Abbildung 3: Ansicht von der Faseranordnung
Figure 3: Picture of the fibre orientation

Die mikroskopische Aufnahme der Abbildung 3 zeigt den Faserverlauf am Anriss. Durch die fortschreitende Verformung nach dem Versagen der Gips-Matrix kommt es zu einer fortschreitenden Verschränkung bzw. zu einem Auszug der rissüberbrückenden Fasern, so dass nach dem Überschreiten der Höchstlast eine Restfestigkeit bestehen bleibt.

Eine Methode zur Ermittlung des Versagensverhaltens von Faserverbundwerkstoffen besteht in der Prüfung von Zugprüfkörpern mit unterschiedlich großen Lochdurchmessern. Die Abnahme der Festigkeit mit der Lochgröße ist dabei ein Hinweis auf die Heterogenität und das Entfestigungsvermögen des Werkstoffes. Bei den durchgeführten Vorversuchen konnte aus technischen Gründen nur die Lochgröße, jedoch nicht in gleichem Maßstab auch die Probenbreite variiert werden, so dass die gemessenen Festigkeiten auch einen Einflussanteil aus dem Randeffect des endlichen Bauteils haben.

Diese Verminderung der Bruchspannung in Abhängigkeit des Lochdurchmessers wird

macroscopic damage behaviour. Qualitatively the ductile behaviour of the brittle material can be explained by the microstructure.

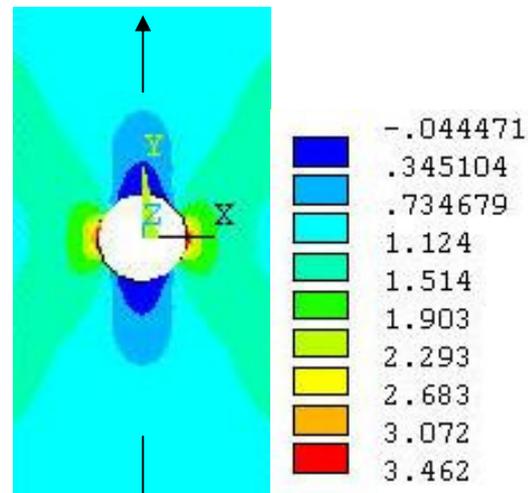


Abbildung 4: FEM-Rechnung der Lochscheibe
Figure 4: FEM-calculation of the board

The microscopic picture (figure 3) shows the fibre orientation in the crack area. Caused by the progressive displacement after damage of the gypsum material, the fibres are pulled out and twisted, so that the material shows non-zero residual strength after exceeding the maximum load.

One method to investigate the damage behaviour of fibre composites is the testing of specimens with different hole sizes. The decrease of the mechanical strength depending on the hole size contains information with respect to the heterogeneity and the ductile behaviour of this material. Due to technical reasons only the hole size and not the specimen width could be varied. Due to this limitation, the maximum mechanical strength depends not only on the material behaviour but also on the edge effect.

The decrease of the maximum tension stress depending on the hole size is shown together with a regression curve in figure 5. A clear trend is visible in spite of the limited number of specimens.

über eine Regressionskurve in der Abbildung 5 verdeutlicht. Trotz der geringen Anzahl der Prüfkörper der in Abbildung 1a dargestellten Konstellation ist eine definierte Tendenz auszumachen.

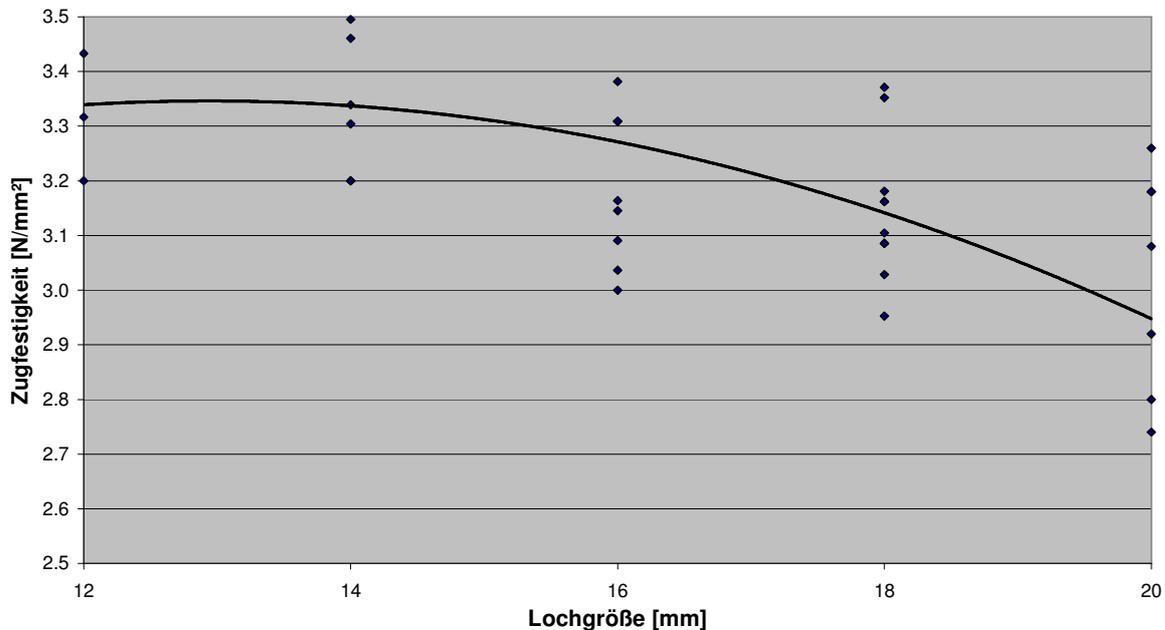


Abbildung 5: Bruchfestigkeit in Abhängigkeit der Lochgröße
Figure 5: Mechanical strength in dependence on the hole size

In einer Versuchsreihe mit zyklischer Zugschwell-Belastung sollte die Schädigungsentwicklung anhand ortsaufgelöster Dehnungsmessungen bestimmt werden.

Im einzelnen wurde ein Messgitter auf die Probe geklebt, das durch einen Laser zyklisch abgetastet wurde. Aus dem von einer Fotodiode aufgenommenen Rückstreusignal wurde, bei exakt vorgegebener Geschwindigkeit der zyklischen Abtastzeit des Lasers, die Verschiebung der Streifen des Messgitters gegeneinander und damit die Dehnungsverteilung berechnet. Das beschriebene Laser-rückstreuverfahren ist in der Lage, eine ein-dimensionale Dehnungsverteilung entlang eines geraden Pfades mit einer Zeitauflösung von 50 Hz zu messen. Ein typisches Dehnungs-Zeit-Diagramm für eine Zug-Schwellbeanspruchung mit kontinuierlich zunehmender Oberlast ist in der Abbildung 7 dargestellt.

The damage evolution should be characterised in one test series with cyclic loading by local strain measurements.

In detail a measuring grid was applicated to the specimen being cyclically scanned with a laser beam. By detection of the reflection signal using photo-diode, it is possible to calculate the displacement between the single grid stripes. Because of the known distance before testing, the local strain distribution along a straight line can be continuously calculated. With the used laser extensiometer it was possible to collect strain data with a frequency of 50 Hz. One typical strain-time-diagram for a cyclic tension test with continuously increasing load is shown in figure 7.

The behaviour observed for the presented cause of gradual increasing of maximum load can principally also be achieved with a constant load amplitude. In order to get fail-

Das beobachtete Verhalten der sukzessiven Dehnungsentfestigung ergibt sich ebenso bei konstanter Oberlast bei Überschreiten eines Schwellwertes. Um bei zunächst unbekanntem Schwellwert das Versagen bei einer vorgegebenen endlichen Lastspielzahl zu erreichen, wurde das Verfahren des kontinuierlichen Anhebens der Oberlast gewählt.

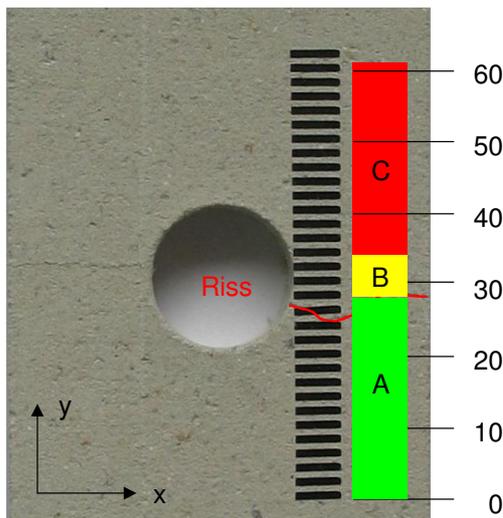


Abbildung 6: Gerissene Probe mit Messgitter
Figure 6: Cracked specimen with measure stripes

Das Dehnungs–Zeit–Diagramm der Abbildung 7, das zum Probekörper der Abbildung 6 gehört, veranschaulicht die unterschiedliche Dehnungsentwicklung. Es wurde eine frühzeitige Lokalisierung der Schädigung im hochbelasteten Bereich B in Form eines exponentiellen Dehnungsanstieges beobachtet, während die Bereiche A und C offensichtlich ungeschädigt sind und elastisches Dehnungsverhalten zeigen. Kurz vor dem Bruch tritt jedoch eine sprunghafte Veränderung der am stärksten entfestigenden Zone ein. Während der ursprünglich höchstbeanspruchte Probenbereich B entlastet, erfolgt im Bereich A ein exponentieller Dehnungsanstieg bis zum Bruch. Die optisch erkennbare Risslinie korreliert mit dem speziellen Dehnungsverhalten.

ure of the specimens within a low number of cycles, the procedure of a continuous increase of the amplitude was used in these first tests.

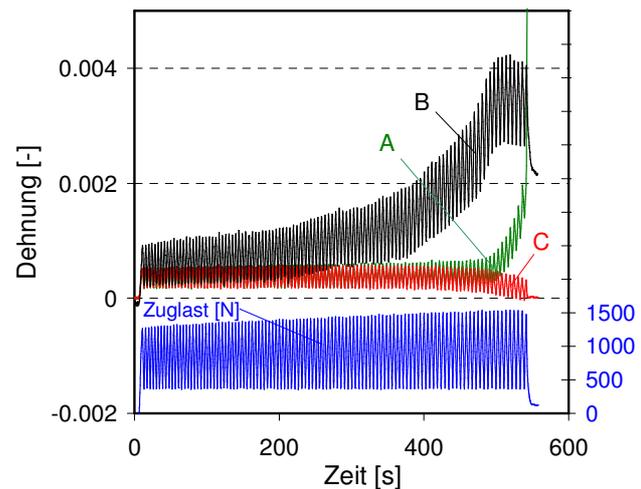


Abbildung 7: Dehnungs–Zeit–Diagramm
Figure 7: Strain–time–diagram

The strain–time–diagram in figure 7, showing the results of the specimen depicted in figure 6, demonstrates the different evolutions in different local areas. The early localisation of the damage in area B is clearly evident from the exponential strain increase compared to the strain in area A and C. Just before failure with obvious undamaged/ elastic behaviour a sudden shift of the damaged area occurs. While the first damaged area B releases, the strain of area A exponentially increases until damage. The visual identifiable crack correlates with the curves in the diagram.

Ausblick

Bei einachsialer Beanspruchung des Cellulosefaser-Gips-Werkstoffes ist ein dehnungs-entfestigendes Verhalten mit frühzeitiger Schädigungslokalisierung zu beobachten. Die qualitativen Ergebnisse des in Vorbereitung befindlichen Forschungsprojektes geben Hinweise auf das schädigungstolerante Verhalten des untersuchten Baustoffes.

Um jedoch noch genauere Aussagen über das Gesamtverhalten tätigen zu können, müssen Versuche mit unterschiedlichen Geometrien und mit Beanspruchungskombinationen durchgeführt werden.

Für explizite Bemessungsvorschläge bezüglich der Tragfähigkeitscharakterisierung bei dynamischer bzw. seismischer Beanspruchung eines gesamten Bauteils (z. B. schubbeanspruchte Wandscheibe) ist ein Materialmodell zu entwickeln, zu kalibrieren und anhand von Bauteilversuchen zu bestätigen.

Outlook

Uniaxially loaded cellulose fibre gypsum material shows pronounced strain softening behaviour with an early damage localisation. The qualitative results of the preliminary test in the frame of a new project show evidence for non-brittle and damage tolerant behaviour of the studied material.

To make more precise statements with reference to the global behaviour, it will be necessary to perform tests with more different dimensions and with combined loading situations.

For explicit design proposals with reference to the dynamic and seismic load carrying capacity, a material model has to be generated and calibrated, and the complete model has to be validated with component testing at full structural size scale.

Literaturliste/References

- [1] Hummel, H.-U.: Advanced gypsum fiberboard products for high end applications in the building industry. Inorganic-bonded wood and fiber composite materials, Vol 7 (2000), S. 356-368, Sun Valley, Idaho.
- [2] Schöler, M.: Die Herstellung von Gipsfaserplatten mit hohen Biegefestigkeiten. Dissertation Universität Hamburg (1992).
- [3] Patt, R.: Herstellung von Gipsfaserplatten auf Altpapierbasis mit hohen Festigkeiten. Forschungsbericht Universität Hamburg (1988) IRB-T-2348.
- [4] Thompson, R.J.H.; Ansell, M. P.; Bonfield, P.; Dinwoodie: Fatigue in wood-based panels. Part 1: The strength variability and fatigue performance of OSB, chipboard and MDF. Wood Science and Technology 36 (2002), S. 255-269
- [5] Heyden, S.: A network model applied to cellulose fibre materials. Report TVSM-3018, Div. of Structural Mechanics, Lund University of Technology (1996)
- [6] Stalne, K.; Gustafsson, P. J.: A 3D model for analysis of stiffness and hygroexpansion properties of fiber composite materials. Proc. Int. Conf. on Wood and Wood Fiber Composites (2000), S. 585-596, Stuttgart

EINGEMÖRTELTE BEWEHRUNGSSTÄBE – DEHNKÖRPERVERSUCHE MIT GESTOSSENEN BEWEHRUNGSSTÄBEN IN NORMALBETON HÖHERER FESTIGKEIT C50/60

von: Isabelle Simons

Einleitung

Anschlüsse mit nachträglich eingemörtelten Bewehrungsstäben gehören zu den Neuentwicklungen in der Befestigungstechnik und erfreuen sich in der Praxis immer größer werdender Beliebtheit. Sie werden gezielt im bestehenden bewehrten Betonbauteil verankert oder mit der vorhandenen Bewehrung gestoßen.

Das grundsätzliche Tragverhalten solcher Anschlüsse wurde in [7, 8] hinreichend unter statischer Beanspruchung untersucht. Danach können Anschlüsse mit eingemörtelten Bewehrungsstäben wie gerade einbetonierte Stäbe bemessen werden [3, 6]. Allerdings muss das Injektionsmörtelsystem geeignet sein, eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung besitzen [2, 3] und der Anschluss muss von zertifizierten Monteuren ausgeführt werden.

Auf dem Markt werden jedoch zahlreiche Systeme angeboten werden, deren Tragverhalten zum Teil nicht genügend experimentell erforscht ist. Daher kann im Allgemeinen nicht ausgeschlossen werden, dass Anschlüsse mit Produkten ausgeführt werden, die die geltenden Anforderungen der ETAG [5] nicht erfüllen.

Ziel dieser Untersuchung war es zu überprüfen, ob solche Systeme für Übergreifungsstöße in Beton höherer Festigkeit so bemessen werden können, z.B. für C20/25, dass sie ein vergleichbares Tragverhalten aufweisen wie einbetonierte Bewehrungsstöße.

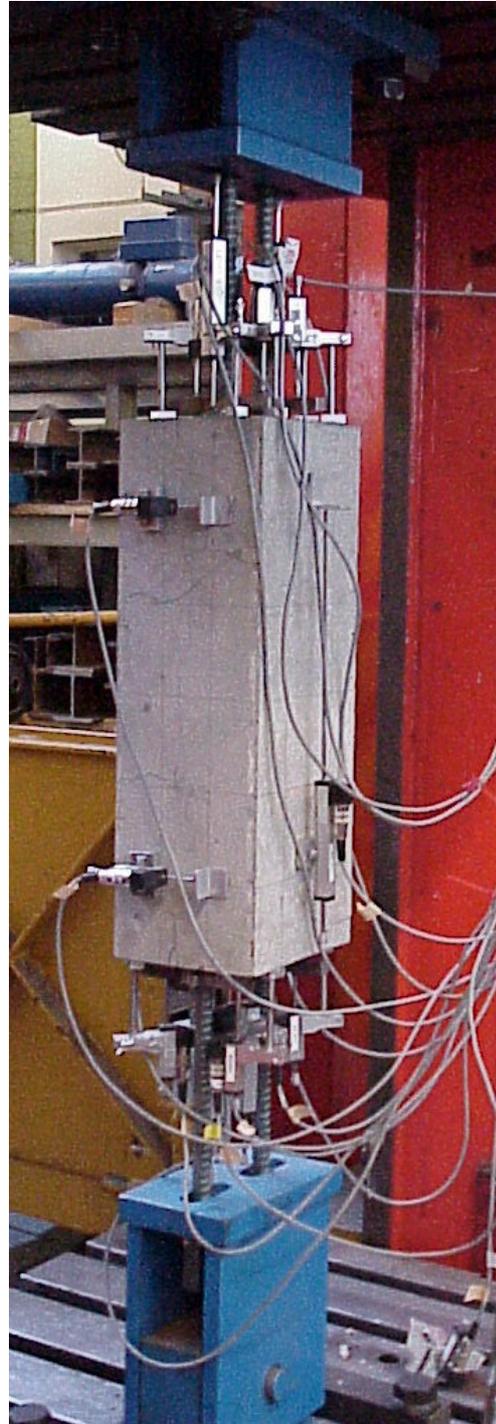


Abb. 1: Eingebauter Dehnkörper

Experimentelle Untersuchungen

In diesem Aufsatz wurden Untersuchungen an einem System auf Basis von Polyesterharz durchgeführt, das in Beton C20/25 eine mittlere Verbundfestigkeit von $\tau_{u,C20/25} \sim 7 \text{ N/mm}^2$ erreicht. Dies entspricht einer Verbundfestigkeit, die die geltenden Anforderungen der ETAG an Bewehrungsanschlüsse nicht erfüllt (vgl. Abb. 2). Das Verbundversagen der Bewehrungsstäbe trat durch Herausziehen des Mörtelkörpers an der Grenzfläche zwischen Mörtel und Beton auf.

Das Versuchsprogramm gliederte sich in zwei Teile. Zunächst wurde das Tragverhalten von Dehnkörpern untersucht, bei denen einbetonierte Bewehrungsstäbe mit eingemörtelten Bewehrungsstäben gestoßen wurden (halbseitig eingemörtelter Bewehrungsstoß). Hierbei wurde die Bemessung der Übergreifungslänge variiert. Es wurden Übergreifungslängen für Beton C20/25 (Serie 2) und für Beton C50/60 (Serie 3) nach EC2 [6] bemessen. Die Ergebnisse der halbseitig eingemörtelten Bewehrungsstöße wurden mit Referenzversuchen mit komplett einbetonierten Bewehrungsstößen (Serie 1) verglichen; deren Übergreifungslänge für C50/60 bemessen wurde. Die Bemessung der Übergreifungslänge erfolgte für alle Versuchskörper nach den geltenden Regelungen des EC2 [6].

Anschließend wurde der Einfluss einer Vorlänge untersucht, die am vorderen und hinteren Ende des Übergreifungsstoßes mit einer Länge von $l=30\text{cm}$ angebracht war.

Es wurden pro Serie jeweils 1 Versuchskörper ohne Vorlänge (Abb. 3a)) und 2 Versuchskörper mit Vorlänge (Abb. 3b)) ausgebildet. Insgesamt wurden 9 Versuchskörper geprüft.

Um Stahlfließen zu vermeiden, wurden hochfeste Bewehrungsstäbe (St900/1100) Durchmesser $d_s=20\text{mm}$ gewählt.

Der Querbewehrungsanteil im Bereich der Übergreifungslänge wurde nach den geltenden Regelungen des EC2 [6] bemessen. Im Bereich der Vorlänge wurde der Querbewehrungsanteil so gewählt, dass ein vorzeitiges Versagen im Lasteinleitungsbereich vermieden wurde.

Die Querschnittabmessungen waren für alle Versuchskörper gleich (Abb.5). Die Bemessung des Querschnitts wurde nach Elgehausen [4] so gewählt, dass Spalten in Stoßebene (Bruchart A) auftrat (Abb. 4).

Alle Versuchskörper wurden zuerst bis zur Gebrauchslast nach EC2 [6] belastet. Die Versuche der Serie 1 und Serie 3 wurden bis zu einer Gebrauchslast von ca. 120 kN (entspricht 60 kN Stoßkraft), die Versuche der Serie 2 bis ca. 224 kN (=112 kN Stoßkraft) belastet. Anschließend erfolgte eine Entlastung bis auf ca. 10 kN. Bei der erneuten Belastung wurde der Probekörper schließlich bis zum Versagen belastet. Das Ziel dieser Belastungsgeschichte war die Überprüfung einer eventuellen Schädigung des Verbundes bei Belastungen im Gebrauchszustand gewesen.

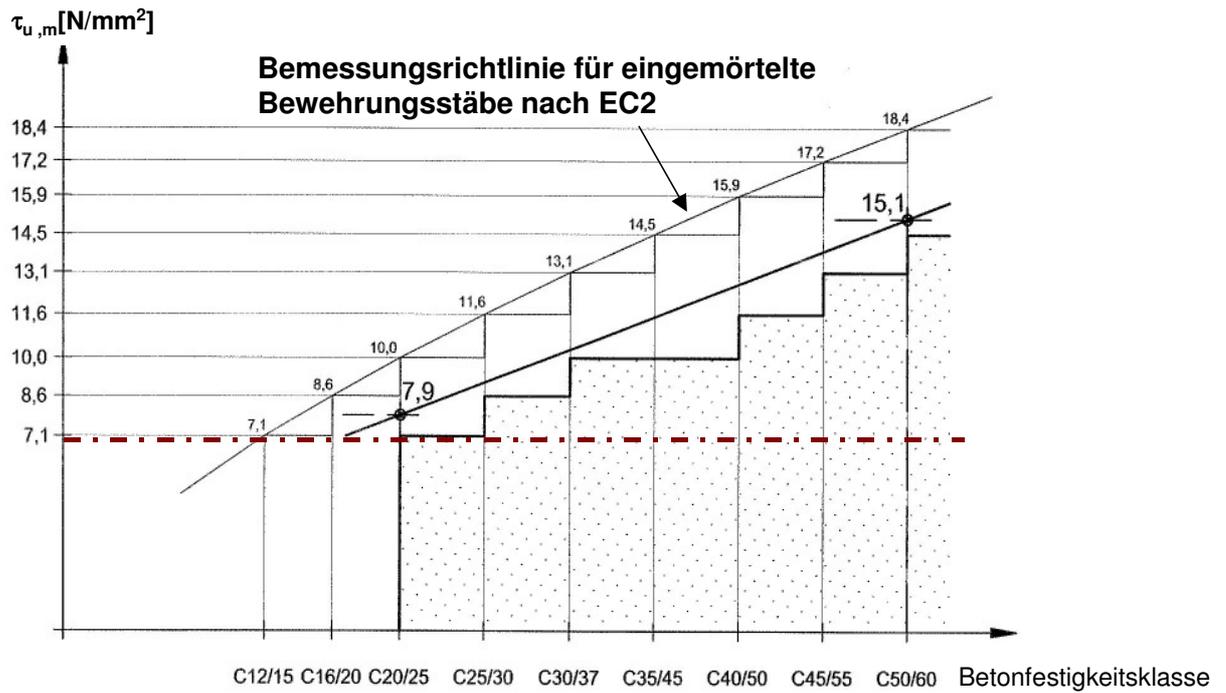
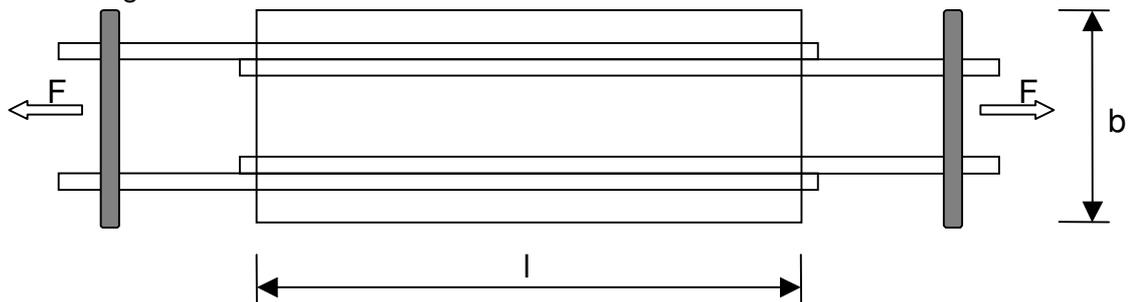


Abb. 2: Bemessungsrichtlinie EC2 – TR Rebars [5]

a) ohne Vorlänge



b) mit Vorlänge

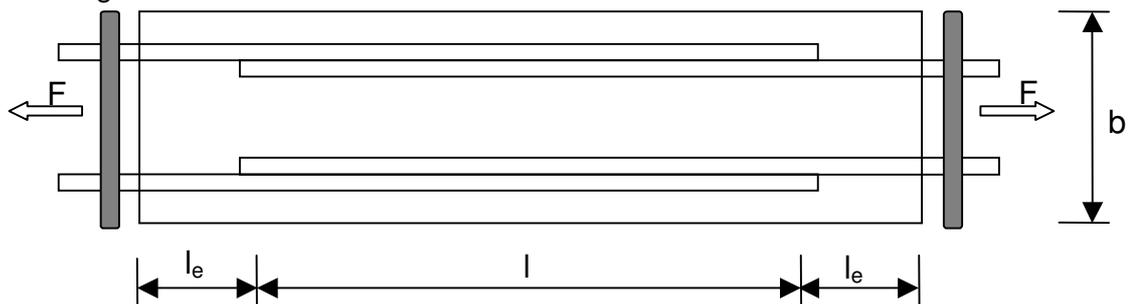


Abb. 3a), b): Versuchskörper ohne und mit Vorlänge (schematisch)

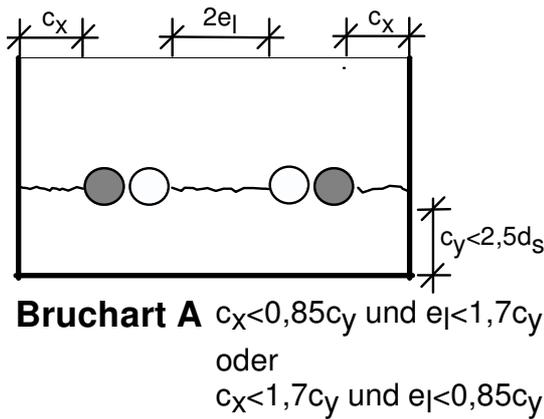


Abb. 4: Bruchart – Spalten in Stoßebene [4]

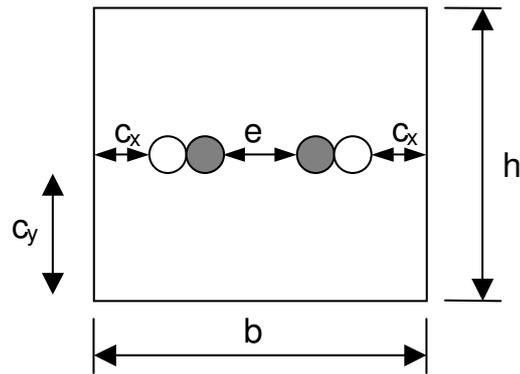


Abb. 5: Schematische Darstellung des Querschnitts ($b/h/c_x/c_y=220/180/40/80\text{mm}$)

Auswertung der Ergebnisse

Das Versagen der Übergreifungsstöße erfolgte durch Spalten des Betons in der Ebene der gestoßenen Stäbe (vgl. Abb. 6).

Die experimentellen Untersuchungen haben gezeigt, dass bei halbseitig eingemörtelten Bewehrungsstößen ein Einfluss der Vorlänge vorhanden ist. Die Versuche ohne Vorlänge erreichten eine ca. 20% höhere Verbundfestigkeit im Vergleich zu den Versuchen mit Vorlänge (vgl. Abb. 7).

Wohingegen bei den komplett einbetonierten Bewehrungsstößen kein Einfluss einer Vorlänge auf das Tragverhalten festgestellt werden konnte.

Die geringe Tragfähigkeit bei den halbseitig eingemörtelten Bewehrungsstößen, die mit Vorlänge ausgebildet wurden, wird zum Teil auf Ungenauigkeiten bei der Bohrlocherstellung zurückgeführt; dies haben nachträgliche Untersuchungen der Bohrlochlage weitestgehend bestätigt.

In Abb. 7 ist die Stahlspannung in Abhängigkeit der untersuchten Systeme (Serie 1, Serie 2, Serie 3) aufgetragen.

Es ist zu erkennen, dass die halbseitig eingemörtelten Bewehrungsstöße, deren Übergreifungslänge nach C20/25 bemessen wurde, ein vergleichbares bzw. höheres Tragverhalten zeigten als die komplett einbetonierten Bewehrungsstäbe, deren Übergreifungslänge für C50/60 bemessen wurde.

Demgegenüber erreichten die halbseitig eingemörtelten Bewehrungsstöße, die für Beton höherer Festigkeit bemessen wurden, ein deutlich geringeres Tragverhalten.

Die Versuche haben gezeigt, dass die Übergreifungslänge für Systeme, die in niederfestem Beton eine geringe Verbundfestigkeit aufweisen (z.B. 7 N/mm^2), für höherfesten Beton gemäß den Bemessungsrichtlinien für C20/25 bemessen werden können.

Die Versuche haben ebenfalls gezeigt, dass sich das Tragverhalten des halbseitig eingemörtelten Bewehrungsstoßes beim Versagen des Versuchskörpers, hinsichtlich der Spaltrissöffnungen und der Verschiebungen, wesentlich vom komplett einbetonierten Bewehrungsstoß unterscheidet.

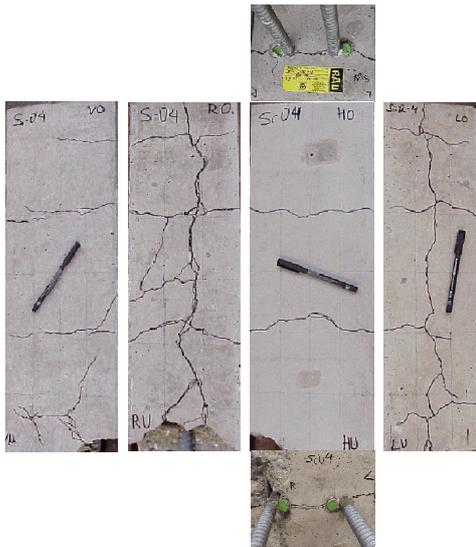


Abb. 6: Typisches Bruchbild eines Versuchskörpers – Versagen infolge Spalten

Zur Klärung des unterschiedlichen Tragverhaltens dienen Abb. 8a), b), c). Hier sind die Stahlspannungen in Abhängigkeit der mittleren Spaltrissöffnung der Serie 1, Serie 2 und Serie 3 aufgetragen. Die Rissöffnung beginnt bei allen Versuchen bei einer Stahlspannung von ca. 200 N/mm².

Bei den komplett einbetonierten Bewehrungsstößen versagen die Versuchskörper bei einer Rissbreite von ca. 0,5mm (Abb. 8a)).

Bei den Versuchen mit halbseitig eingemörtelten Bewehrungsstößen wurde ein asymmetrisches Tragverhalten festgestellt (Abb. 8b), c)). Bei den Körpern dieser Versuchsreihe traten die Spaltrisse immer konzentriert an einer Seite des Körpers auf, an der Seite des außenliegenden, einbetonierten Bewehrungsstoßes (Abb. 8b), c)). Die Spaltrissöffnung des innenliegenden, eingemörtelten Stoßes war bei gleicher Stahlspannung deutlich geringer als die im Bereich des außenliegenden, einbetonierten Bewehrungsstoßes. Beim Versagen des Versuchskörpers betragen die mittleren Rissbreiten im Bereich des außenliegenden Stoßes ca. 0,5mm und die mittleren Rissbreiten des innenliegenden Stoßes ca. 0,2mm.

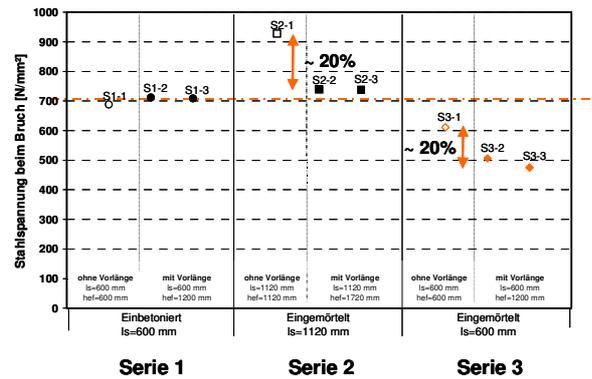
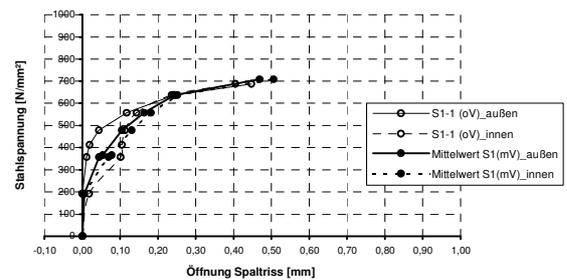
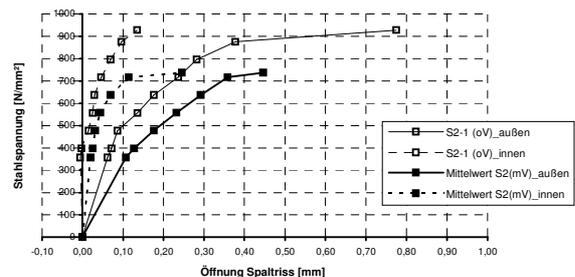


Abb. 7: Stahlspannung beim Bruch in Abhängigkeit der verschiedenen untersuchten Systeme

a) Serie 1 (komplett einbetoniert)



b) Serie 2 (halbseitig eingemörtelt)



c) Serie 3 (halbseitig eingemörtelt)

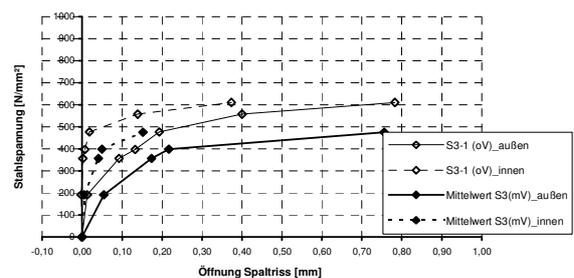


Abb. 8a), b), c): Stahlspannung aufgetragen über die Spaltrissöffnung.

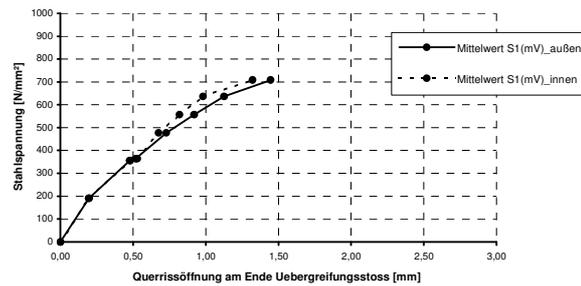
Dies deutet auf eine geringere Spaltwirkung des eingemörtelten Bewehrungsstoßes hin, hervorgerufen durch eine frühzeitige Überwindung der Adhäsion zwischen Mörtel und Beton und ein anschließendes Durchziehen des Mörtelkörpers durch das Bohrloch.

Dieses Verbundversagen zeigt sich auch bei der gemessenen Querrissöffnung am Ende des Übergreifungsstoßes.

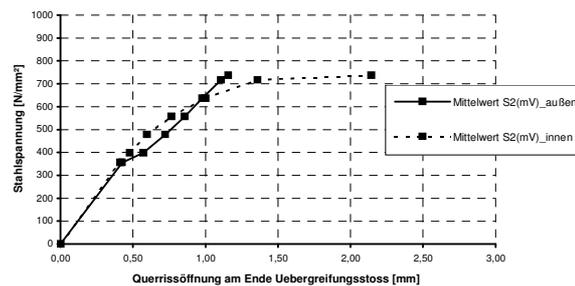
Im Bereich des innenliegenden, eingemörtelten Stoßes zeigten sich deutlich größere Rissöffnungen (ca. 2,2 mm) als im Bereich des außenliegenden, einbetonierten Stoßes (ca. 1,2mm) (vgl. Abb. 9b, c)). Die Querrissöffnung des komplett einbetonierten Bewehrungsstoßes ist für den innen- und außenliegenden Stoß gleich und ist in etwa vergleichbar mit der Querrissöffnung des außenliegenden, einbetonierten Stoßes der Serien 2 und 3 (vgl. Abb. 9a, b), c)).

In Abb. 11 ist ein typisches Bruchbild eines halbseitig eingemörtelten Bewehrungsstoßes dargestellt, der mit Vorlänge ausgebildet wurde (siehe auch Abb. 10). Es ist deutlich die unterschiedlich große Querrissöffnung (unten: innenliegender, eingemörtelter Stoss) zu erkennen.

a) Serie 1 (komplett einbetoniert)



b) Serie 2 (halbseitig eingemörtelt)



c) Serie 3 (halbseitig eingemörtelt)

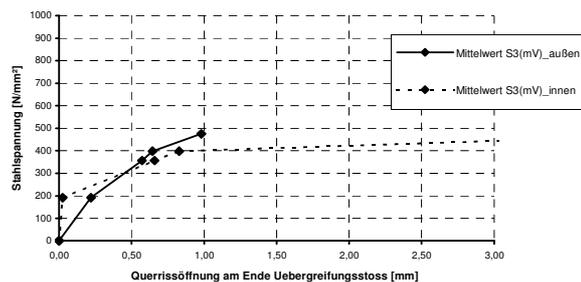


Abb. 9a), b), c): Stahlspannung aufgetragen über die Querrissöffnung am Ende des Übergreifungsstoßes.

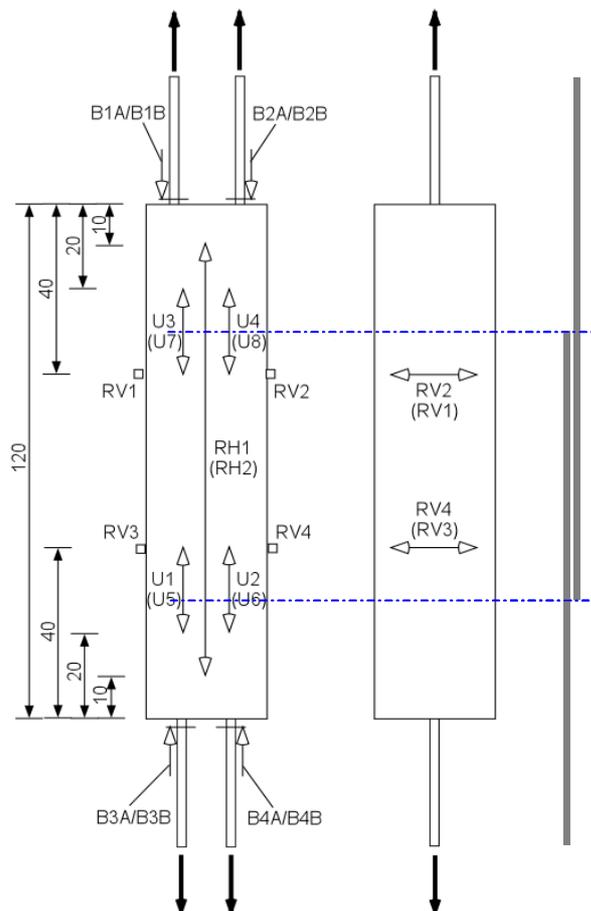


Abb. 10: Darstellung der Lage der Wegaufnahme und des Übergreifungsstoßes bei Versuche mit Vorlänge (schematisch).

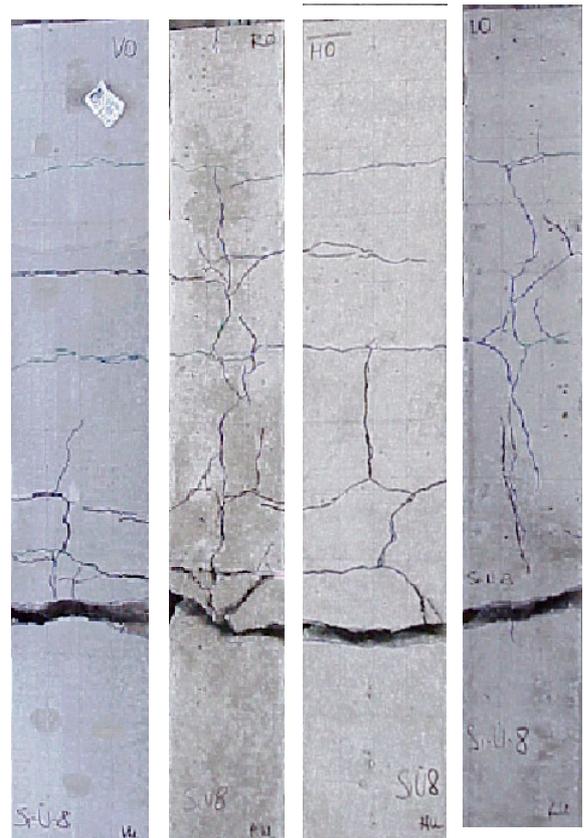


Abb. 11: Typisches Bruchbild eines halbseitig eingemörtelten Bewehrungsstoßes mit Vorlänge.

Fazit

Die Versuche haben gezeigt, dass Anschlüsse mit halbseitig eingemörtelten Bewehrungsstößen, eingemörtelt mit einem System, das in C20/25 eine Verbundfestigkeit von $\tau_{u,C20/25} = 7 \text{ N/mm}^2$ erreicht und deren Übergreifungslänge für Beton C20/25 bemessen wurde, in Beton höherer Festigkeit eine vergleichbare Tragfähigkeit besitzen, wie ein komplett einbetonierter Bewehrungsstoß, dessen Übergreifungslänge für C50/60 bemessen wurde.

Aufgrund der geringen Verbundfestigkeit, versagt der eingemörtelte Stoß durch Herausziehen des Mörtelkörpers aus dem Bohrloch und weist eine geringere Spaltwirkung auf als der einbetonierte Stoß. Dies zeigt sich auch in der deutlich größeren Querrissöffnung des eingemörtelten Stoßes im Vergleich zum einbetonierten Stoß.

Literatur

- [1] **Deutsches Institut für Bautechnik, DIBt (2000):** Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung (Z-21.3-1649). Bewehrungsanschluss mit Upat-Injektionsmörtel UPM 44; Berlin.
- [2] **Deutsches Institut für Bautechnik, DIBt (2000):** Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung (Z-21.8-1648). Bewehrungsanschluss mit Hilti-Injektionsmörtel HIT-HY 150; Berlin.
- [3] **DIN 1045 (1988):** Beton und Stahlbetonbau; Bemessung und Ausführung. Deutsches Institut für Normung e.V.; Beuth Verlag; Berlin.
- [4] **Eligehausen, R. (1979):** Übergreifungsstöße zugbeanspruchter Rippenstäbe mit geraden Stabenden. Schriftenreihe des Deutscher Ausschusses für Stahlbeton (DAfStB); Heft 301; Wilhelm Ernst&Sohn, Berlin.
- [5] **EOTA: ETAG N°001 (2002):** Guideline for European Technical Approval of Metal Anchors for Use in Concrete; Part 5: Bonded Anchors, Draft: Technical Report for Post-Installed Rebar Connections.
- [6] **Eurocode 2 (1992), DIN V ENV 1992 Teil 1-1:** Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken; Beuth Verlag GmbH; Berlin.
- [7] **Eligehausen, R.; Spieth, H.A.; Sippel, Th.M. (1999):** Eingemörtelte Bewehrungsstäbe – Tragverhalten und Bemessung. Beton- und Stahlbetonbau 94, Heft 12; pp.512-523.
- [8] **Spieth, H.A. (2002):** Tragverhalten und Bemessung von eingemörtelten Bewehrungsstäben, Dissertation. Institut für Werkstoffe im Bauwesen; Universität Stuttgart.

EIGENSCHAFTEN VON FASERVERSTÄRKTEM DRÄNBETON PROPERTIES OF FIBER-REINFORCED DRAINAGE CONCRETE

von/by M. Stegmaier

Einleitung

Die Minderung des Straßenverkehrslärms ist in der heutigen Zeit bei ständig zunehmenden Verkehrszahlen von zentraler Bedeutung. Der Straßenverkehrslärm setzt sich aus dem Lärm des Fahrzeugantriebs und dem Rollgeräusch zusammen. Untersuchungen haben gezeigt, dass ab einer Geschwindigkeit von ca. 70 km/h das Rollgeräusch dominiert [8]. Hier besteht nun die Möglichkeit, mit einer geeigneten Straßendeckschicht den Verkehrslärm zu reduzieren. Bei der Betonstraßenbauweise wurden schon unterschiedliche Oberflächenstrukturen hinsichtlich der Lärmreduktion untersucht. Dabei hat sich die Behandlung der Oberfläche mittels Besenstrich bzw. Jutetuch als geeignet herausgestellt [8]. Eine deutlich höhere Lärmreduktion ist jedoch durch den Einsatz eines porösen Materials für die Deckschicht möglich. Beton kann gezielt so hergestellt werden, dass er über ein frei zugängliches Porensystem verfügt, welches in der Lage ist, Schall zu absorbieren. Messungen an einer Teststrecke aus diesem offenporigen Beton (Dränbeton) auf einer Bundesautobahn haben gezeigt, dass bei PKW bei einer Geschwindigkeit von 120 km/h die Schallenergie um 63 % und bei LKW bei 80 km/h um 80 % reduziert werden kann [3, 7]. Infolge dieser offenporigen Struktur zeigt dieser Beton jedoch ein äußerst sprödes Materialverhalten. Des Weiteren bestehen Bedenken, dass sich durch den Abrieb der Reifen einzelne Zuschlagkörner lösen und durch die Fahrzeuge umhergeschleudert werden könnten. Um diese Gefahr zu verringern und die Duktilität von Dränbeton zu steigern, wurden bei den hier beschriebenen Versuchen dem Dränbeton Polypropylenfasern zugegeben und der Fasergehalt variiert. In einem weiteren Schritt wurden Versuche zum Frost-Tausalzstand an faserbewehrten Dränbetonen durchge-

Introduction

The reduction of noise of road traffic is nowadays with a steady increasing number of vehicles of large interest. The road traffic noise is composed of the noise of the engine and the noise of rolling. Investigations have shown that noise of rolling is dominating at velocities higher than 70 km/h [8]. Here now the possibility exists to reduce the noise with a suitable road surface layer. With the concrete road building method different surface textures were already examined regarding the noise reduction. The treatment of the surface turned out suitably by means of broom line and/or jute cloth [8]. A clearly higher noise reduction is however possible by the employment of a porous material for the surface layer. Concrete can be manufactured purposefully in such a way that it has a freely accessible pore system which is able to absorb sound. Measurements of a test track from this open-porous concrete (drainage concrete) on a federal motorway showed that with passenger car at a speed of 120 km/h the sound energy can be reduced by 63 % and for a truck at 80 km/h by 80 % [3, 7]. Due to this open-porous structure this concrete shows however an extremely brittle material behaviour. Moreover doubts exist that due to the abrasion of the tyres single grains could loosen and be hurled around by the vehicles. In order to reduce these dangers and to increase the ductility of drainage concrete polypropylene fibers were added and the fiber content was varied. In a further step investigations on the freeze and deicing salt resistance have been accomplished. Drainage concrete containing fibers shows a sufficient freeze – thaw resistance.

führt, die einen ausreichenden Frost-Tausalzwiderstand zeigten.

Stand der Kenntnisse

Dränbeton ist ein Beton mit einem haufwerksporigem Gefüge, der in der Regel nur aus einer Kornfraktion hergestellt wird. Als Bindemittel wird Portlandzement CEM I 32,5R verwendet, wobei die Zementleimenge so eingestellt wird, dass die Zuschlagskörner vollständig umhüllt und untereinander verkittet werden, die Zwischenräume zwischen den Zuschlägen aber frei bleiben. Die DIN 1045 darf für diesen Beton nicht angewendet werden. Aus dieser werden lediglich die Einteilungen in die Festigkeitsklassen übernommen [4, 5, 11]. In bereits bekannten Untersuchungen [1, 2, 3, 6, 7] sind immer ähnliche Mischungen verwendet worden. Üblicherweise wurden bisher 300 - 350 kg/m³ Zement CEM I 32,5 R und ca. 1500 kg/m³ Moräne-Edelsplitt mit einer Korngrößenverteilung von 5 - 8 mm verwendet. Die Wasserzementwerte lagen zwischen 0,24 und 0,30 und es wurde bei der Mischungszusammensetzung ein Hohlraumgehalt von 15 - 25 Vol.-% vorgesehen. Dieser hohe Hohlraumgehalt ist für eine ausreichende Schallabsorptionsfähigkeit notwendig. Des Weiteren wurde den Mischungen in der Regel noch eine Kunststoffdispersion zur Verbesserung des Frost - Tausalzwiderstandes zugegeben. Um einen ausreichenden Frost - Tausalzwiderstand zu erreichen, muss nach [1, 2] zusätzlich noch Silicastaub hinzugefügt werden.

Umfang der Untersuchungen

Die Ermittlung der Druckfestigkeit und der Spaltzugfestigkeit erfolgte nach DIN 1048 T. 5. Bei allen hergestellten Mischungen wurde die Druckfestigkeit an 3 Würfeln mit einer Kantenlänge von 150 mm im Alter von 28 Tagen ermittelt. Die Bestimmung der Biegezugfestigkeit erfolgte an den für Straßenbaubeton in der ZTV Beton StB (2001) [12] vorgesehenen Balken mit den Abmessungen 700 mm x 150 mm x 100 mm (l x b x h). Die

State of the art

Drainage concrete is a concrete with a raw ore structure that contains only a single fraction of aggregates. As bonding agent portland cement CEM I 32,5 R is used, whereby the amount of cement paste is designed in that way that the aggregate grains are totally coated, however the gaps between the aggregates remain empty. The DIN 1045 can not be applied for this type of concrete. Only the strength classification is adopted [4, 5, 11]. In well known investigations [1, 2, 3, 6, 7] always similar mixtures were used. Usually 300 - 350 kg/m³ cement CEM I 32,5 R and about 1500 kg/m³ moraine crushed stone with a particle size distribution between 5-8 mm was used. The water-cement ratios varied between 0,24 and 0,30 and with the mix composition a void content of 15 - 25 volume-% was planned. This void content is necessary for an appropriate sound absorption of this concrete. Moreover a polymeric dispersion was added to improve the freeze - thaw resistance of the drainage concrete. To get a sufficient freeze - thaw resistance additionally silica fume is necessary according to [1, 2].

Range of the investigations

The determination of the compressive strength and the splitting tensile strength was after DIN 1045 T. 5. The compressive strength of all manufactured mixtures was determined by means of 3 cubes with a length of the edges of 150 mm at an age of 28 days. The bending tensile strength of the concretes was determined according to the ZTV Beton StB (2001) [12] with beams with the dimensions 700 mm x 150 mm x 100 mm

Norm sieht für diesen Versuch vor, dass dieser kraftgesteuert durchgeführt wird. Da gleichzeitig aber auch die Last-Durchbiegungslinie zur Beurteilung der Duktilität gemessen werden sollte, mussten die Versuche weggesteuert gefahren werden. Dadurch sind die Ergebnisse der Biegezugfestigkeiten mit Werten aus der Literatur nur bedingt vergleichbar. Die Durchbiegungsgeschwindigkeit bei diesen Versuchen betrug 1 mm/min. Die Durchbiegung der Probe wurde durch den Kolbenweg der Prüfmaschine ermittelt. Da die Beurteilung und der Vergleich der Duktilität der einzelnen Mischungen untereinander ausschließlich anhand der Last-Durchbiegungslinien schwierig ist, wurde zusätzlich noch die Bruchenergie nach folgender Gleichung (1) für die einzelnen Mischungen ermittelt:

$$G_f = \frac{1}{A} \cdot \int_0^f P(f) df \quad (1)$$

mit:

G_f = Bruchenergie [N/mm]

A = Querschnittsfläche [mm²]

P = Last [N]

f = Durchbiegung [mm]

Die Spaltzugfestigkeit wurde an den Reststücken der Biegezugprüfung bestimmt. Für jeden Beton wurden 4 Messungen durchgeführt.

Der Frost-Tausalz widerstand der Betone wurde in Anlehnung an das CDF-Verfahren bestimmt. Die Prüfkörper haben eine Abmessung von 150 mm x 150 mm x 75 mm. Für die Herstellung der Proben wurden abweichend vom CDF-Verfahren zerlegbare Plastischalungen mit einer Kantenlänge von 200 mm verwendet, die nicht mit Schalöl behandelt wurden. Die so hergestellten Würfel wurden anschließend mit Hilfe einer Trockensäge auf die geforderte Prüfkörpergröße zu rechtgesägt. Als Prüffläche diente im Folgenden jeweils die an der Schalung anliegende Seitenfläche des Würfels. Das weitere Vor-

(l x w x h). The standard plans for this measurement that this is accomplished strength-steered. Since at the same time in addition, the load - deflection line should be measured for the evaluation of the ductility, the tests had to be performed deformation controlled. Therefore the results of the bending tensile measurements can't be compared directly with results from other investigations. The displacement rate at these tests was 1 mm/min. The deflection of the specimens was determined by the displacement of the plunger of the testing machine. As the evaluation and comparison of the ductility of the individual mixtures among themselves exclusive on the basis of the load - deflection lines is difficult, additionally the fracture energy using the following equation (1) for the individual mixtures was determined:

$$G_f = \frac{1}{A} \cdot \int_0^f P(f) df \quad (1)$$

with:

G_f = fracture energy [N/mm]

A = cross sectional area [mm²]

P = load [N]

f = deflection [mm]

The splitting tensile strength was determined with the oddments of the bending tests. 4 measurements were performed for each mixture.

The freeze - thaw resistance of the concretes was tested according to the CDF-test. The dimensions of the specimens were 150 mm x 150 mm x 75 mm. Deviating from the CDF-test demountable plastic formwork with dimensions of 200 mm x 200 mm x 200 mm have been used. They were not treated with a separating agent. The cubes manufactured with this formwork were subsequently cut to the necessary specimen size with a stone saw. As inspection surface the sides resting against the formwork were used. The further procedure corresponded to the recommendations of the CDF-procedure [13].

gehen entsprach den Empfehlungen des CDF-Verfahrens [13].

Betonzusammensetzungen

Bei dem verwendeten Zement handelt es sich um einen Portlandzement CEM I 32,5 R. Der Zuschlag bestand aus Moräne-Edelsplitt mit einer Korngröße von 5-8 mm. Für die Untersuchungen zu den mechanischen Eigenschaften wurde eine Polymerdispersion (im weiteren Dispersion 1 genannt) verwendet, die je zur Hälfte aus Feststoff und Wasser besteht und eine Dichte von $1,04 \text{ kg/dm}^3$ aufweist. Die wirksamen Bestandteile sind ein Copolymerisat auf Styrolbasis und Acrylsäureester. Für die Untersuchungen zum Frost – Tausalz widerstand wurde noch eine weitere Dispersion benutzt. Dabei handelt es sich um eine Acrylharzdispersion mit zementreaktiven Mineral- und Wirkstoffen zur Modifizierung zementgebundener Mörtel und Haftbrücken (im weiteren Dispersion 2 genannt). Die Dichte dieser Dispersion beträgt $1,25 \text{ kg/dm}^3$ bei einem Feststoffanteil von ca. 56%. Alle Mischungen wurden mit einem Gesamthohlraumgehalt von 20 Vol.-% konzipiert. Die genauen Zusammensetzungen sind in Tabelle 1 dargestellt. Für die Untersuchungen zum Frost-Tausalz widerstand wurden zu einer Basismischung mit 400 kg/m^3 Zement CEM I 32,5 R, einem w/z-Wert von 0,29 und einem Fasergehalt von 1,5 Vol.-% Betonzusatzstoffe oder Betonzusatzmittel zugegeben, um deren Einfluss auf das Frost-Tausalzverhalten zu ermitteln. Der angestrebte Gesamthohlraumgehalt dieser Mischungen betrug ebenfalls 20 Vol.-%. Die Zusammensetzung der Mischungen ist in Tabelle 2 dargestellt.

Concrete mix proportions

The cement used for these investigations was a portland cement CEM I 32,5 R. As aggregates moraine crushed stone with a grain distribution from 5-8 mm was employed. For the investigations on the mechanical properties a polymeric dispersion (furthermore called dispersion 1) was added. The dispersion has a density of $1,04 \text{ kg/dm}^3$ and contains about 50 % water and 50 % solids. The effective components are a copolymerisat on styrene basis and acrylic acid ester. For the investigations on the freeze – thaw resistance another dispersion was used. It was an acrylate resin dispersion with cement-reactive mineral substances and active substances for the modification of cement-bound mortars and bonding layers (called in further dispersion 2). The density of this dispersion amounts to $1,25 \text{ kg/dm}^3$. The fraction of solids is about 56 %. All mixtures were designed with a total voids content of 20 volume -%. The detailed mix proportions are shown in table 1. For the investigations on the freeze – thaw resistance different additives and admixtures were added to a basic mixture containing 400 kg/m^3 cement CEM I 32,5 R, a water-cement ratio of 0,29 and a fiber content of 1,5 volume -%. The purpose was to test the influence of these additives and admixtures on the freeze – thaw resistance of the drainage concrete. The designed void content of these mixtures was also 20 volume -%. The mix proportions for the CDF-tests are shown in table 2.

Tabelle 1: Zusammensetzung der Betone für die Untersuchungen der mechanischen Eigenschaften.

Table 1: Composition of the concretes for the investigations on the mechanical properties.

Bezeichnung	Fasergehalt [Vol.-%]	Zementgehalt [kg/m ³]	w/z - Wert [-]	Zuschlaggehalt [kg/m ³]	Dispersionsgehalt [% v. Zementgehalt]
R3	0,0	300	0,29	1554	20
F23	1,0	300	0,29	1527	20
F24	2,5	300	0,29	1488	20
OZ1	1,0	400	0,29	1341	20
OZ2	2,5	400	0,29	1302	20
OZ3	1,0	350	0,29	1434	20
OZ4	2,5	350	0,29	1395	20
OF1	1,5	400	0,29	1328	20
OF2	2,0	400	0,29	1315	20
OF3	0,5	400	0,29	1354	20

Tabelle 2: Zusammensetzung der Betone für die Untersuchungen des Frost-Tausalz widerstandes.

Table 2: Composition of the concretes for the investigations on the freeze – thaw resistance.

Bezeichnung	Zuschlaggehalt [kg/m ³]	Dispersion	Dispersionsgehalt [M.-% v. Z.]	Gehalt an Silicastaub [M.-% von Z.]	Gehalt an SFA ¹⁾ [M.-% von Z.]	weitere Zusatzmittel
CF1	1328	1	20	0	0	
CF2	1426	-	0	0	0	
CF3	1362	2	20	0	0	
CF4	1425	-	0	0	0	Sperrpulver (8g/kg Zement)
CF5	1425	-	0	0	0	Innenversiegler (15ml/kg Zement)
CF6	1425	-	0	0	0	Luftporenbildner (1,5 ml/kg Zement)
CF7	1425	-	0	0	0	Microhohlkugeln (1kg/m ³)
CF8	1403	-	0	10	0	
CF9	1311	-	0	0	25	
CF10	1288	-	0	10	25	

¹⁾Steinkohlenflugasche

Versuchsergebnisse und Diskussion

Einfluss des Zementgehaltes auf die mechanischen Eigenschaften

Die Ergebnisse der Druckfestigkeit in Abhängigkeit vom Zementgehalt der Betone ist in Abbildung 1 dargestellt.

Es ist zu erkennen, dass sowohl bei einem Fasergehalt von 1 Vol.-%, als auch bei 2,5 Vol.-% die Druckfestigkeit mit zunehmendem Zementgehalt ansteigt. Die Zunahme der Festigkeit ist auf zweierlei Ursachen zurückzuführen. Zum einen wird der Hohlraumge-

Test results and discussion

Influence of cement content on the mechanical properties.

The results of the compressive strength against the cement content of the mixtures is shown in figure 1.

It can be seen that both with a fiber content of 1 volume -%, and with 2,5 volume -% the compressive strength rises with increasing cement content. The increase of the strength can be explained by two different causes. On the one hand the voids content of the mix-

halt der Mischungen mit ansteigendem Zementgehalt geringer und zum anderen verringert sich der Zuschlaggehalt mit zunehmendem Zementgehalt.

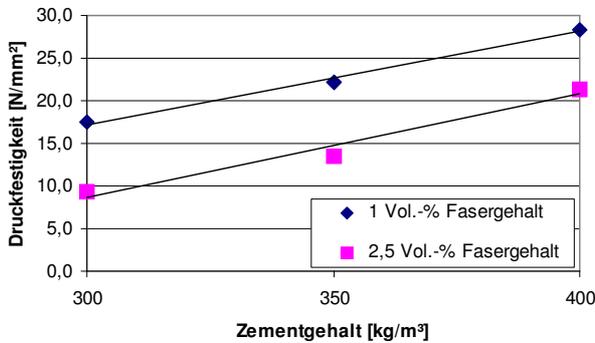


Abbildung 1: Druckfestigkeit in Abhängigkeit vom Zementgehalt.

Figure 1: Compressive strength against the cement content.

Dies führt zu einer geringeren spezifischen Oberfläche bei steigendem Zementleimgehalt und somit zu einer besseren Verkittung der Zuschläge und Fasern. Auch bei der Spaltzugfestigkeit und Biegezugfestigkeit ist ein Anstieg mit zunehmendem Zementgehalt zu verzeichnen (siehe Abbildung 2). Die Ursachen für die ansteigenden Festigkeiten sind dieselben wie bei der Druckfestigkeit.

Bei beiden Fasergehalten ist mit zunehmendem Zementgehalt ein Ansteigen der Bruchenergie zu erkennen (siehe Abbildung 3). Bei einem Fasergehalt von 2,5 Vol.-% wird die Bruchenergie durch die Erhöhung des Zementgehaltes annähernd verdoppelt, während bei 1 Vol.-% Fasergehalt die Steigerung ca. 50 % beträgt.

Durch den zunehmenden Zementleimgehalt werden die Fasern besser in der Matrix verankert und können so durch den besseren Verbund länger an der Lastabtragung teilnehmen.

tures becomes smaller with rising cement content and on the other hand the aggregate content decreases with increasing cement content. This leads to a smaller specific surface with rising cement paste content and thus to a better connection of the aggregates and the fibers.

Also with the splitting tensile strength and the bending tensile strength an increase can be recognised with increasing cement content (figure 2). The reasons for the improved strength are the same as mentioned for the compressive strength.

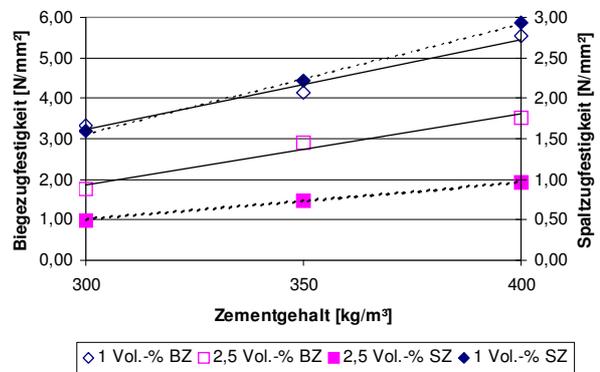


Abbildung 2: Biegezugfestigkeit und Spaltzugfestigkeit in Abhängigkeit vom Zementgehalt.

Figure 2: Bending tensile strength and splitting tensile strength against the cement content.

With both fiber contents an increase of the fracture energy is connected with the increasing amount of cement (see figure 3). With a fiber content of 2,5 volume -% the fracture energy is approximately doubled by the increase of the cement content, while with 1 volume -% fiber content the increase amounts approx. to 50 %. Due to the increasing cement paste content the fibers are embodied better in the matrix and can therefore participate for a longer time period in bearing the load.

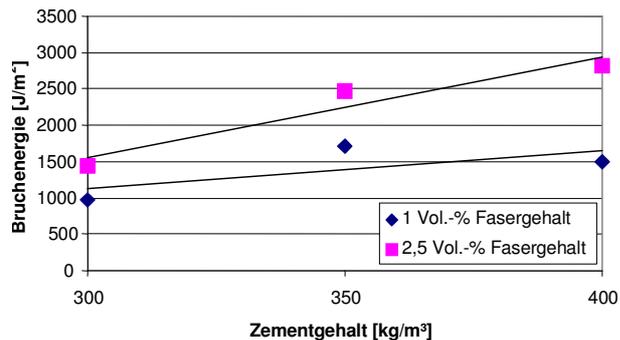


Abbildung 3: Bruchenergie in Abhängigkeit vom Zementgehalt.

Figure 3: Fracture energy against the cement content.

Einfluss des Fasergehaltes auf die mechanischen Eigenschaften

Bei der Variation des Fasergehaltes ist ein Rückgang der Druckfestigkeit mit zunehmendem Fasergehalt zu erkennen (siehe Abbildung 4). Die Druckfestigkeit der Mischung mit einem Fasergehalt von 2,5 Vol.-% weist mit ca. 20 N/mm² eine etwa um 1/3 geringere Festigkeit auf als die Mischung mit einem Faseranteil von nur 0,5 Vol.-%.

Bei der Mischungszusammenstellung führt die Zunahme des Fasergehaltes zu einer Reduktion des Zuschlaganteils. Die spezifische Oberfläche der Fasern ist jedoch deutlich größer als die des Zuschlags, so dass mit dem Austausch von Zuschlag durch Fasern eine starke Vergrößerung der zu verkitenden Oberfläche einhergeht. Die spezifische Oberfläche von 0,5 Vol.-% Fasern ist ca. 40 mal so groß wie die der entsprechenden Zuschlagmenge. Da der Zementleimgehalt konstant gehalten wurde, ist somit eine Schwächung der Matrix und der beobachtete Rückgang der Druckfestigkeit verbunden.

Wie in Abbildung 6 zu erkennen ist, nehmen sowohl bei der Spaltzugfestigkeit, als auch bei der Biegezugfestigkeit die erreichbaren Festigkeiten mit ansteigendem Fasergehalt ab.

Influence of fiber content on the mechanical properties

With increasing fiber content a reduction of the compressive strength can be recognised (see figure 4). The compressive strength of 20 N/mm² of the mixture with a fiber content of 2,5 volume -% is about 30 % less than the compressive strength of the concrete with 0,5 volume -% fiber content. The increase of the fiber content within the mix design leads to a reduced fraction of aggregates. The specific surface of the fibers is however much bigger than the specific surface of the aggregates so that the replacement of aggregates with fibers induces a great enlargement of surface that has to be connected by the cement paste.

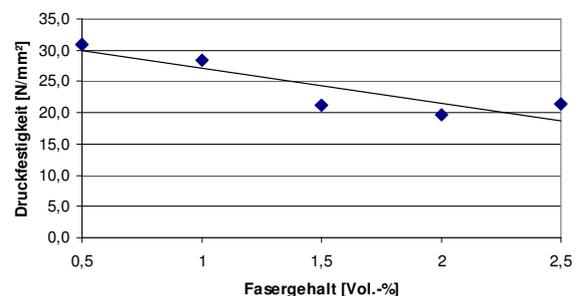


Abbildung 4: Druckfestigkeit in Abhängigkeit vom Fasergehalt.

Figure 4: Compressive strength against the fiber content.

The specific surface of 0,5 volume -% fibers is about 40 times bigger than the specific surface of the corresponding aggregates. Since the amount of cement paste was held constant a weakening of the matrix occurred and therefore the compressive strength decreases.

As can be seen in figure 5 the splitting tensile strength as well as the bending tensile strength also decreases with the fiber content.

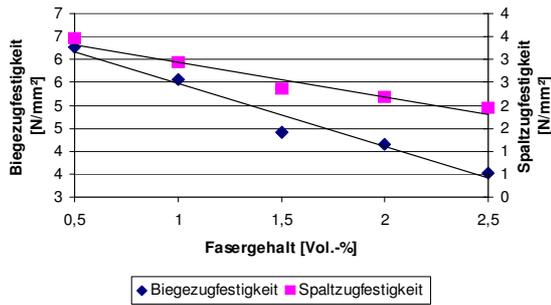


Abbildung 5: Biegezugfestigkeit und Spaltzugfestigkeit in Abhängigkeit vom Fasergehalt.

Figure 5: Bending tensile strength and splitting tensile strength against the fiber content.

Die Ursache ist analog zur Druckfestigkeit eine Schwächung der Matrix durch die ansteigende spezifische Oberfläche bei konstantem Zementleimgehalt.

Bei der Bruchenergie ist eine deutliche Steigerung mit zunehmendem Fasergehalt zu verzeichnen. Die Vergrößerung des Fasergehaltes von 0,5 Vol.-% auf 2,5 Vol.-% führt zu einer Verdreifachung der Bruchenergie (siehe Abbildung 6). Der Unterschied in der Bruchenergie zwischen 2,0 und 2,5 Vol.-% Fasergehalt ist nur noch gering.

Der Anstieg der Bruchenergie bei zunehmendem Fasergehalt ist vermutlich auf die Verteilung der Last im Bruchquerschnitt auf eine größer werdende Anzahl an Fasern zurückzuführen. Diese werden offensichtlich trotz der schwächeren Matrix bei zunehmendem Fasergehalt langsamer aus der Zementleimmatrix herausgezogen.

Ergebnisse der CDF – Versuche

In Abbildung 7 ist eine Übersicht über die Abwitterung der einzelnen Betone nach 28 Frost-Tauwechseln abgebildet. Es sind sehr starke Unterschiede bei den gemessenen Abwitterungen zu verzeichnen. Die besten Ergebnisse erzielen die beiden Mischungen mit jeweils 20 Vol.-% Polymerdispersion, wobei die Betonmischung CF3 mit der Dispersion 2 das beste Frost-Tauverhalten aufweist. Auffallend ist das Ergebnis der Mischung CF2.

The reason for the reduction of strength is a weakened matrix due to the bigger specific surface at a constant cement paste content.

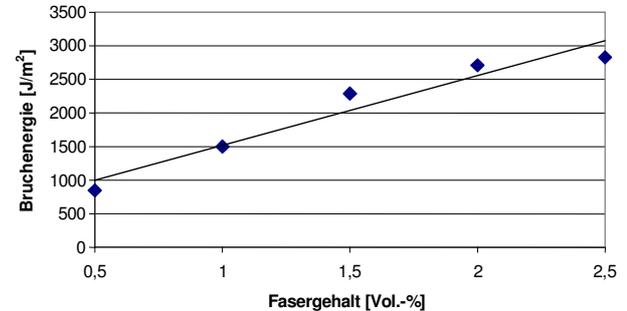


Abbildung 6: Bruchenergie in Abhängigkeit vom Fasergehalt.

Figure 6: Fracture energy against the fiber content.

The increasing fiber content produces a noticeable gain in fracture energy. The extension of the fiber content from 0,5 volume -% to 2,5 volume -% leads to a 3 times bigger fracture energy (see figure 6). The difference in fracture energy between a fiber content of 2,0 volume -% and 2,5 volume -% is however small.

The increase of the fracture energy with fiber content is possibly a consequence of a better distribution of the load in the fracture cross section due to the growing number of fibers. The fibers are obviously pulled out of the matrix slower in spite of the weakened cement paste matrix.

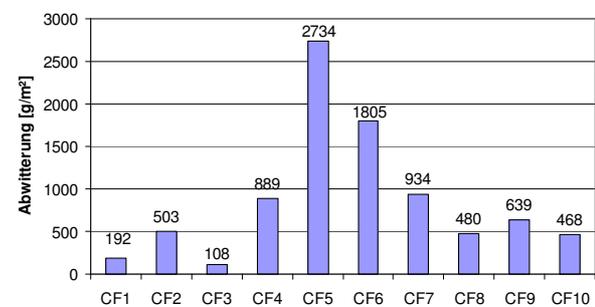


Abbildung 7: Ermittelte Abwitterungsmengen bei den CDF – Versuchen.

Figure 7: Results of the CDF – tests.

Dieser Mischung wurden keine Zusatzstoffe und/oder Zusatzmittel zur Verbesserung des Frost-Tauverhaltens zugegeben und zeigt mit einer Abwitterung von 503 g/m^2 dennoch ein gutes Verhalten. Dies belegt, dass für einen ausreichenden Frost-Tausalz widerstand nicht unbedingt die Zugabe einer Polymerdispersion notwendig ist. Das besonders gute Verhalten der Mischungen mit Polymerdispersion ist vermutlich auf die Verbesserung d.h. eine Abdichtung der Übergangszone zwischen Gesteinskörnung und der Zementleimmatrix zurückzuführen. Dabei scheint die Dispersion 2 mit den zementreaktiven Bestandteilen noch leistungsfähiger zu sein als die Dispersion 1.

Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass mit der Faserzugabe die Duktilität der Dränbetone deutlich gesteigert werden kann. Allerdings verringern sich mit zunehmendem Fasergehalt bei konstantem Zementgehalt die Werte der Druckfestigkeit und der Biege- bzw. Spaltzugfestigkeit. Dieser Tendenz kann durch die Vergrößerung des Zementgehaltes entgegengewirkt werden. Insgesamt muss jedoch ein Kompromiss zwischen der Steigerung der Duktilität und der Druckfestigkeit bzw. der Biege- und Spaltzugfestigkeit gefunden werden. Einen sinnvollen Fasergehalt stellt nach dem bisherigen Stand der Untersuchungen ein Wert von 1,5 Vol.-% Fasern bei einem Zementgehalt von 400 kg/m^3 dar. An einer auf diese Weise zusammengesetzten Mischung wurden Untersuchungen zum Frost-Tausalz widerstand mit Hilfe des CDF-Verfahrens durchgeführt. Dabei sollte der Einfluss unterschiedlicher Zusatzmittel bzw. Zusatzstoffe geklärt werden. Dabei zeigte sich, dass mit der Zugabe von Polymerdispersionen die besten Resultate erzielt werden können. Allerdings verfügt auch ein Dränbeton ohne jegliche Zusätze mit einer durchschnittlichen Abwitterung von 503 g/m^2 nach 28 Frost-Tauzyklen über einen guten Frost - Tausalz widerstand. Mit einer weiteren Erhöhung des Zementgehaltes

Results of the CDF – tests

Figure 7 shows the results of the CDF – tests after 28 freeze – thaw cycles. There are great differences in the behaviour of the different concretes. The best freeze – thaw resistance have the mixtures with both 20 volume -% polymeric dispersion whereby the mix CF3 with dispersion 2 is the best one. Remarkable is the result of the mixture CF2. This concrete contained no admixtures and/or additives and however showed a good freeze – thaw behaviour. This proves that the addition of a polymeric dispersion is not absolutely necessary to get a sufficient freeze - thaw resistance. The notably good behaviour of the mixtures with the polymeric dispersion is possibly a consequence of a denser transition zone between the aggregates and the matrix. For this purpose the dispersion 2 seems to be more suitable due to the reactive ingredients.

Conclusions

The results of the investigations show that the ductility of drainage concrete can be improved noticeably by the addition of fibers. But with increasing fiber content the compressive strength and the tensile strength decreases. This can be counteracted by increasing the amount of cement. In the end one has to find a compromise between the ductility and the compressive and tensile strength. A reasonable fiber content seems to be 1,5 volume -% with an amount of cement of 400 kg/m^3

CDF-tests concerning the freeze – thaw behaviour were conducted with concretes composed like this. Different additives and admixtures were added to investigate their influence on the freeze – thaw resistance. The mixtures with a polymeric dispersion produced the best results. However the fiber reinforced drainage concrete without any admixtures and an average weathering of 503 g/m^2 after 28 freeze – thaw cycles has a satisfying freeze – thaw resistance.

With a further addition of the cement content the compressive and tensile strength can

könnten die Werte der Druckfestigkeit sowie der Biege- und Spaltzugfestigkeit bei einem Fasergehalt von 1,5 Vol.-% noch weiter verbessert werden. Dabei sollte jedoch der w/z-Wert verringert werden.

possibly be increased at a fiber content of 1,5 volume-%. Simultaneously the water cement ratio should be reduced.

Literatur

- [1] EICKSCHEN, E., SIEBEL, E.: „Dauerhaftigkeit von Dränbeton für Betonfahrbahndecken (Teil 1)“, beton 50 (2000), H. 7, S. 421-424.
- [2] EICKSCHEN, E., SIEBEL, E.: „Dauerhaftigkeit von Dränbeton für Betonfahrbahndecken (Teil 2)“, beton 50 (2000), H. 8, S. 483-486.
- [3] RIFFEL, S.: „Deckschichten aus Dränbeton – eine ökologische Bauweise“. Straße und Autobahn 47 (1996), H. 11, S. 653-659.
- [4] DRINKGERN, G.: „Dränbeton“. Schriftenreihe Spezialbetone Band 2, Verlag Bau + Technik (1999).
- [5] BORGWARDT, S., GERLACH, A., KÖHLER, M.: „Versickerungsfähige Verkehrsflächen – Anforderungen, Einsatz und Bemessung.“ Berlin: Springer (2000).
- [6] BAUBERATUNG ZEMENT STUTTGART: „Erprobungsstrecke Dränbeton, Paver compacted concrete.“ Bericht (2000).
- [7] RIFFEL, S.: „Dränbeton – leise, sicher, umweltfreundlich.“ Straßen- und Tiefbau 51 (1997), H. 7-8, S. 8-14.
- [8] SIEGFRIED, U.: „Akustische Erfahrungen mit lärmindernden Texturen – eine Zwischenbilanz.“ Straße + Autobahn 47 (1996), H. 8, S. 432-435.
- [9] Richtlinie für die Herstellung und Güteüberwachung von wasserdurchlässigen Pflastersteinen aus haufwerksporigem Beton. Bundesverband Deutsche Beton- und Fertigteilindustrie e.V., Fassung Oktober 1995.
- [10] Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsausschuss Kommunaler Straßenbau, Ausgabe 1998
- [11] Merkblatt für Dränbetontragschichten. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Betonstraßen, Ausgabe 1996
- [12] ZTV Beton-StB (2001), Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton.
- [13] SETZER, M.J., FAGERLUND, G., JANSSEN, D.J.: „CDF – Test – Test method for the freeze – thaw resistance of concrete-testes with sodium chloride solution (CDF)“, Materials and Structures 29 (1996), S. 523-528.
- [14] EICKSCHEN, E.: „Lärmarme, dauerhafte Betonfahrbahndecken.“ In: Beiträge zum 41. Forschungskolloquium des DAfStb am 11. und 12. Juli 2002, Düsseldorf (2002)

UNTERSUCHUNGEN ZUM NACHWEIS VON BETONZUSATZMITTELN IN BETONEN MIT NMR-SPEKTROSKOPIE

DETERMINATION OF CONCRETE ADDITIVES IN CONCRETE BY NMR SPECTROSCOPY

von/by: Uwe Herterich und Gerhard Volland (MPA)

Zusammenfassung

Bei zusatzmittelhaltigen zementgebundenen Baustoffen wurden Art und Menge der mobilisierbaren Wirkstoffe bzw. Wirkstoffanteile sowie der auftretenden Abbau- bzw. Reaktionsprodukte durch Elution mit verschiedenen organischen Lösungsmitteln bzw. Wasser erfasst. Die Identifizierung und Quantifizierung der relevanten löslichen Verbindungen in Zusatzmitteln und Extrakten wurden mit Kernresonanzspektroskopie ($^1\text{H-NMR}$) sowie Gaschromatographie/ Massenspektrometrie durchgeführt.

Einleitung

Betonzusatzmittel werden Beton und Mörtel in Konzentrationen zwischen 0,5 – 2 % zugegeben, um bestimmte Eigenschaften des Frischbetons und/oder Festbetons zu beeinflussen. Im folgenden werden ausschließlich die als Betonverflüssiger, Fließmittel bzw. als Verzögerer eingesetzten Substanzen / Wirkstoffe betrachtet. Die eingesetzten Rohstoffe weisen meist eine geringe biologische Abbaubarkeit auf und dürfen nicht direkt in Gewässer und Kanalisation eingeleitet werden [1]. Die vorliegende Untersuchung dient dazu, zu erkennen, welche Stoffe (Wirkstoffe und Abbauprodukte) aus verschiedenen Betonzusatzmitteln in Betonen über den Wasserpfad mobilisierbar sind. So wurden bei den Untersuchungen Bedingungen gewählt, bei denen auch wenig mobile Anteile der Zusatzmittel mobilisiert und damit erfasst werden können. Daneben sollen die Ergebnisse einen Weg aufzeigen, mit welchen Methoden der Nachweis der Verwendung von Betonzusatzmitteln erbracht werden kann. Es galt nicht zu klären, welche Stoffmengen unter realen Nutzungsbedingungen (monolithischer Betonkörper) in das Grundwasser abgegeben werden.

Abstract

Within this project mobilizable fractions of additives of cement-bound building materials and the amount of mobile reaction products were determined. Cement mortar and concrete were extracted with different organic solvents and aqueous solutions. The identification and quantification of the relevant soluble compounds in additives and extracts were carried out by nuclear magnetic resonance spectroscopy ($^1\text{H NMR}$) as well as by gas chromatography/ mass spectrometry.

Introduction

Concrete additives are mixed to concrete and mortar in concentrations of 0.5 – 2 % to influence the properties of fresh and/or hardened concrete. In the following only active agents and supplies of plasticizers, superplasticizers and retarders are considered. Active agents of additives are not readily biodegradable and are not allowed to discharge directly in surface water or sewage [1]. The goal of the present investigation is to determine the substances (active agents and decomposition compounds) which can be mobilized out of concrete containing additives via the water path. Experimental conditions were chosen so, that even components with low intrinsic mobility could be mobilized and thus detected. Another goal was to establish a method for the determination of concrete additives applied in concrete. The present work does not deal with the quantification of the relevant compounds mobilized in practical usage of concrete.

Probenherstellung und -analytik

Für die Untersuchungen wurden Betonzusatzmittel mit den Wirkstoffen Polyacrylat bzw. Acrylat-copolymer, Ligninsulfonat, Naphthalinsulfonat und Polycarboxylatether ausgewählt. Die Betonzusatzmittel wurden jeweils in zwei verschiedenen Konzentrationen (0,5 und 2 % bezogen auf den Zementgehalt) zur Herstellung von tafelförmigen Zementsteinproben ($w/z=0,5$) eingesetzt.

Nach einer Aushärtungszeit von 7 Tage wurden die Zementsteinproben in gemahlener Form in unterschiedlich polaren Extraktions- bzw. Lösemitteln wie Wasser, Wasser/Aceton, Methanol und Dichlormethan bei erhöhten Temperaturen eluiert bzw. extrahiert. Die drastischen Bedingungen dienten dazu, ggf. auch wenig mobile Komponenten der Zusatzmittel zu mobilisieren und nicht, um zu klären, welche Stoffmengen unter praktischen Nutzungsbedingungen ins Grundwasser abgegeben werden. Die relevanten Verbindungen in den Extrakten bzw. Eluaten sowie in den Zusatzmitteln selbst wurden mit Kernresonanzspektroskopie ($^1\text{H-NMR}$) sowie Gaschromatographie/Massenspektrometrie identifiziert und quantifiziert.

Ergebnisse

Bei Betonzusatzmitteln, die Naphthalinsulfonat enthalten, können in den Extrakten bzw. Eluaten chemisch unterscheidbare charakteristische Naphthalinsulfonatderivate nachgewiesen werden. Die in den Wasser-, Methanol- und Aceton/ H_2O -Extrakten von Zementsteinproben nachweisbaren Naphthalinsulfonatverbindungen (Derivate des Naphthalinsulfonats) sind gegenüber dem Naphthalinsulfonat der Ausgangsverbindungen chemisch modifiziert. In den Dichlormethanextrakten kann zusätzlich eine weitere Verbindung auf Basis von Naphthalinsulfonaten nachgewiesen werden. Dieses Naphthalinsulfonatderivat ist in sämtlichen untersuchten naphthalinsulfonathaltigen Betonzusatzmitteln nachweisbar und unterscheidet sich chemisch von den Naphthalinsulfonatderivaten der wässrigen

Sample Preparation and Methods of Investigation

Concrete additives with active agents like polyacrylate, acrylate-copolymer, lignosulfonate, naphthaline sulfonate and polycarboxylate ester were tested. The concrete additives were applied in two different concentrations (0.5 and 2 % relative to the cement content) for the fabrication of sheet shaped hardened cement paste ($w/c=0.5$).

After hardening for 7 days the ground cement paste was extracted in solvents of different polarity like water, water/acetone, methanol and dichloromethane at higher temperatures. These "worst-case" conditions were chosen to mobilize even components of the concrete additives with low intrinsic mobility. It was not aimed to quantify the substances released from cement bound building materials in contact with ground water under common conditions. The identification and quantification of the relevant compounds in additives and extracts were carried out by nuclear magnetic resonance spectroscopy ($^1\text{H NMR}$) and gas chromatography/ mass spectrometry.

Results

For concrete additives containing naphthaline sulfonate, chemically different typical naphthaline sulfonate derivatives can be detected in organic and aqueous extracts (pure water, methanol and acetone/water mixtures) of hardened cement paste. The detected naphthaline sulfonate compounds (derivatives of naphthaline sulfonate) are chemically modified compared to the naphthaline sulfonate contained in original additives. Besides this an additional naphthaline sulfonate derivative soluble in dichloromethane can be detected. This derivative can be detected in all tested concrete additives containing naphthaline sulfonate and differs chemically from the naphthaline sulfonate derivatives found in aqueous (polar) solutions. This nonpolar component is not

(polaren) Extrakte. Dieser unpolare Anteil ist in den wässrigen Eluaten nicht nachweisbar und damit über den Wasserpfad de facto nicht mobilisierbar.

Betonzusatzmittel auf der Basis von Polycarboxylatethern bestehen aus einem Polyacrylsäuregrundgerüst, dessen Säurekomponente mit Polyolen, im vorliegenden Fall Polyethylenglykol verschiedener Kettenlänge verestert ist. Dabei kann methodenbedingt nicht unterschieden werden, ob neben den veresterten Polyethylenglykolderivaten nicht verestertes „freies“ Polyethylenglykol in den Originalprodukten vorhanden ist. Beide Komponenten, das Polyacrylatgrundgerüst und die Polyethylenglykolseitenketten sind in den Ausgangsprodukten gut nachweisbar. Bei Zementsteinproben mit Zusatzmitteln, die Polyacrylat/Polycarboxylat enthalten, treten in den Wasser-Extrakten ausschließlich charakteristische Ethoxyverbindungen (z.B. Methylether des Polyethylenglykols) auf. Das in den Originalproben der entsprechenden Betonzusatzmittel nachweisbare Polycarboxylat (Polyacrylat)- Grundgerüst ist in den Eluaten nicht mehr nachweisbar.

Diskussion

Ein Vergleich der unterschiedlich polaren Eluenten zeigt, dass die Eluenten Methanol bzw. Aceton/H₂O keine Inhaltsstoffe aufweisen, die nicht bereits in den wässrigen Eluaten identifiziert werden konnten. Die NMR-Spektren geben auch keine Hinweise darauf, dass mit modifizierten Eluenten signifikant größere Mengen eluierbar sind. Für die Erfassung der mobilisierbaren Inhaltsstoffe sind deshalb Untersuchungen mit den Eluenten Wasser bzw. Dichlormethan völlig ausreichend. Trotz Einschränkungen in Bezug auf die Genauigkeit bei der Auswertung von ¹H-NMR-Spektren auf Wasserbasis sind folgende Feststellungen möglich:

- Eine Erhöhung der Dosierung des Betonzusatzmittels (um das Vierfache) korreliert bei sämtlichen Inhaltsstoffen mit einer Erhöhung der jeweils eluierba-

detectable in aqueous solutions and thus is not mobilizable via the water path.

Concrete additives based on polycarboxylate esters consist of a polyacrylic acid backbone, whose acid component is esterified with a polyol, here polyethylene glycol (mostly polyethylene glycol methylether) of different chain length. With the method chosen it can not be differentiated whether some parts of polyethylene glycol derivatives are non esterified “free” polyethylene glycol derivatives which may be original compounds in commercially available products. Both components, the polyacrylate backbone and the polyethylene glycol side chains are detected in the tested commercial products. For hardened cement paste with additives based on polyacrylate/ polycarboxylate only typical ethoxy compounds (e.g. methylether of polyethylene glycol) are mobilizable in aqueous solutions. On the other hand, the polyacrylate (polycarboxylate) backbone detectable in the original products can not be detected in aqueous solutions.

Discussion

A comparison of solvents of different polarity used for extraction shows in general that solvents like methanol or acetone/water do not improve the mobility of characteristic compounds. All characteristic compounds found in extracts with modified solvents can be also detected in (pure) aqueous solutions. Hence, pure water and dichloromethane as solvents are sufficient for the determination of characteristic mobile compounds in concrete with additives. Despite limitations regarding the accuracy of ¹H NMR spectra on water basis the following conclusions can be made:

- An increase of the dosage of the concrete additive (factor 4) correlates for nearly all mobile compounds with an increase of the mobilized amounts (factor 2 – 6) (Fig. 1).

ren/extrahierbaren Mengen an Wirkstoff (Faktor 2 – 6) (Abb. 1).

- Neben den wirkstoffspezifischen Komponenten der Betonzusatzmittel sind über den Wasserpfad nur das als Entschäumer verwendete Tributylphosphat, sowie die allgegenwärtigen Mineralölkohlenwasserstoffe, Formiat und Acetat mobilisierbar. Andere organische Inhaltsstoffe sind weder mit polaren (Wasser) noch unpolaren (Dichlormethan) Lösungsmitteln mobilisierbar. Die mobilisierbaren Mengen liegen in der Regel zwischen < 5 mg/kg (für Tributylphosphat) und 20 – 30 mg/kg für Formiat und Acetat (Tab. 1).

Insgesamt liegen die über NMR erfassbaren, unter diesen Versuchsbedingungen maximal eluierbaren Wirkstoffmengen für Betonzusatzmittel auf Basis von Naphthalinsulfonat bei 20 – 35 % der Menge an eingesetztem Wirkstoff. Sie liegen damit etwa um den Faktor 2 höher als entsprechende Daten aus anderen Arbeiten [2,3,4]. Diese Unterschiede in den eluierbaren Anteilen sind auf erhöhte Temperatur und die wesentlich längeren Auslaugungszeiten, wie sie hier gewählt wurden, zurückzuführen. Die hier vorgestellten Werte stellen nach unserer Ansicht somit eine obere, maximale Grenze für die eluierbaren Wirkstoffmengen dar.

Anders ist die Situation für Betonzusatzmittel mit dem Wirkstoff Polycarboxylatether. Zwar gilt auch für diesen Wirkstoff, dass eine Erhöhung der Wirkstoffmenge zu einer Erhöhung der eluierbaren Anteile führt. Die entsprechenden Wiederfindungsraten sind jedoch wesentlich vom eingesetzten Betonzusatzmittel abhängig. Hier schwanken die Wiederfindungsraten zwischen 50 und 5 %, wobei die Absolutmengen 350 mg/kg Zementstein nicht überschreiten.

- Besides the active agents of the concrete additives only tributyl phosphate used as antifoaming agent as well as ubiquitous formiate, acetate and mineral oil hydrocarbons are mobile in aqueous media. Other organic compounds cannot be detected neither with polar (water) nor nonpolar (dichloromethane) solvents. Mobilizable amounts are generally < 5 mg/kg (tributylphosphate) and 20 – 30 mg/kg for formiate and acetate, respectively (Table 1).

Under the experimental conditions chosen, for additives based on naphthaline sulfonate the maximum amounts of active agent detected in aqueous solutions by NMR, are about 20 – 35 % of the originally applied amounts of active agent. These amounts exceed values given by other authors [2,3,4] by a factor of approx. 2. These differences can be attributed to the higher temperatures and the substantially longer times of leaching used in this investigation. In our opinion the values presented here give an upper limit for the amounts of active agent which can be leached out of cement bound building materials with additives.

For concrete additives based on polycarboxylate as active agent only polyethylene glycol (resp. methylether derivatives of polyethylene glycol) is mobile in aqueous solutions. The corresponding regaining rates differ however substantially dependent on the specific concrete additive applied and vary between 50 and 5 %, whereby the maximum amount of mobile polyethylene glycol reaches 350 mg/kg hardened cement paste.

Tabelle 1: Wirkstoffgehalte in den Ausgangsprodukten und in den entsprechenden wässrigen Eluaten.

Table 1: Active agents of concrete additives in the fresh cement mixtures and in aqueous solutions of hardened cement paste.

Betonzusatzmittel (Dosierung in % bezogen auf Original-BZM)	Wirkstoffgehalt – Anteil Naphthalinsulfonat (Derivat) (berechnet aus ¹ H-NMR) in mg/kg Zement	Wirkstoffgehalt – Anteil Polyethylenglykol (Derivat) (berechnet aus ¹ H-NMR) in mg/kg Zement	Anteil wasserlösliche Wirkstoffe und ausgewählte Hilfsstoffe Gehalte in mg/kg Zementstein (w/z = 0,5)		
			Naphthalinsulfonat (Derivat)	Polyethylenglykol (Derivat)	Tributylphosphat
A (0,5)	150	n.n.	25	< 20	< 5
A (2)	600	n.n.	40	< 20	10
B (0,5)	100	50	20	50	< 5
B (2)	400	200	80	70	10
C (0,5)	100	n.n.	30	< 20	< 5
C (2)	400	n.n.	80	< 20	< 5
D (0,5)	n.n.	1500	n.n. *	130	n.n. *
D (2)	n.n.	6000	n.n. *	350	n.n. *
E (0,5)	200	n.n.	50	< 20	< 5
E (2)	800	n.n.	100	< 20	ca. 5

n.n. = nicht nachweisbar

* nicht im Ausgangsprodukt enthalten

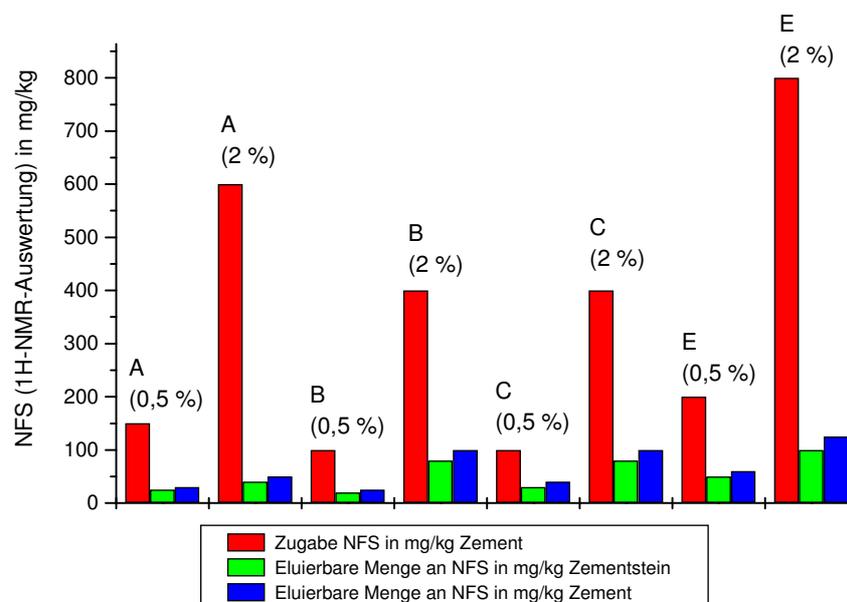


Abbildung 1: Vergleich von zugesetzter Menge an Naphthalinsulfonat (NFS) mit dem in den wässrigen Eluaten von Zementstein ermittelten NFS bei Zugabe von 0,5 bzw. 2 % Betonzusatzmittel.

Figure 1: Amount of applied naphthalene sulfonate (NFS) and corresponding amount of NFS found in aqueous solutions of hardened cement paste with 0.5 and 2 % additives.

Schluss

- Die Inhaltsstoffe der Betonzusatzmittel können mit $^1\text{H-NMR}$ und GC/MS charakterisiert werden: Die Wirkstoffe und die zusätzlichen Inhaltsstoffe können erkannt und quantifiziert werden.
- Die Wirkstoffe des bei der Herstellung von Beton- oder Zementmörtelproben verwendeten Betonzusatzmittels können anhand charakteristischer Fingerprints im $^1\text{H-NMR}$ Spektrum der Eluate sicher nachgewiesen werden.
- Die eluierbaren Mengen der Zusatzmittel korrelieren mit der zugegebenen Menge der Betonzusatzmittel.
- Neben den wirkstoffspezifischen Komponenten sowie allgegenwärtigen Formiat, Acetat und ggf. geringen Mengen Tributylphosphat sind keine weiteren organischen Inhaltsstoffe über den Wasserpfad mobilisierbar.

Conclusion

- The components of concrete additives can be characterized by $^1\text{H NMR}$ and GC/MS: Active agents as well as side components can be identified and quantified.
- Active agents of concrete additives applied in concrete and/or mortar samples can be determined by characteristic fingerprints in the $^1\text{H NMR}$ spectra of aqueous solutions and/or organic extracts.
- An increase of the dosage of the concrete additives correlates with an increase of the mobilized amounts.
- Besides the active agents of the concrete additives only tributyl phosphate as well as ubiquitous formiate, acetate and mineral oil hydrocarbons are mobile in aqueous media. Other organic compounds are not detected.

Literaturliste/References

- [1] Deutsche Bauchemie e.V. – Betonzusatzmittel und Umwelt Sachstandsbericht Mai 1999.
- [2] Spanka, G. und Thielen, G.: Untersuchungen zum Nachweis von verflüssigenden Betonzusatzmitteln und deren Sorptions- und Eluationsverhalten Beton 45 (1995) S. 320-327.
- [3] Herb, H.: Zur Mobilisierung von sulfonathaltigen Betonzusatzmitteln aus Zementstein, Dissertation Universität Karlsruhe, 2001.
- [4] Ruckstuhl S.: Environmental exposure assessment of sulfonated naphthalene formaldehyde condensates and sulfonated naphthalenes applied as concrete superplasticizers, Naturwissenschaften ETH Zürich, Nr. 14477, 2002.

FRISCHBETON- UND FESTBETONEIGENSCHAFTEN VON SELBSTVERDICHTENDEM BETON (SVB) FRESH AND HARDENED PROPERTIES OF SELF-COMPACTING CONCRETE (SCC)

von/by: Timo Wüstholtz

Einleitung

Selbstverdichtender Beton (SVB) wurde Mitte der 1980er Jahre in Japan entwickelt. Er fließt allein unter seinem Eigengewicht bis zum Niveausgleich, entlüftet und verdichtet sich dabei ohne Eintrag zusätzlicher Verdichtungsenergie selbständig, ohne sich dabei nennenswert zu entmischen. Im Grunde verfügt er also über drei Schlüsseigenschaften, wie sie im Abb. 1 dargestellt sind.

Ermöglicht wurden diese Eigenschaften erst durch die Entwicklung hochwirksamer Fließmittel, die meist auf Polycarboxylatethern basieren.

SVB weist im Gegensatz zu Rüttelbeton eine abweichende Mischungszusammensetzung auf. I.d.R. liegen die Mehlkorngelhalte oberhalb (teilweise sogar erheblich oberhalb) über denen von herkömmlichen Rüttelbetonen.

Introduction

Self-compacting concrete (SCC) was developed in the middle of the 1980's in Japan. SCC flows alone under its dead weight up to leveling, airs out and consolidates itself thereby without any entry of additional compaction energy and without a nameable segregation. SCC owns over three key characteristics which are shown in fig. 1.

These characteristics were made possible by the development of highly effective water reducing agents (superplasticizers), those usually based on polycarboxylate ethers.

The mixture composition of SCC deviates from conventional concrete. The powder contents of SCC are normally lying (in some cases even considerably) above those of conventional concrete.

Formausfüllungsvermögen (Filling Ability)	Fähigkeit zur Überwindung von Hindernissen (Passing Ability)	Ausreichend hoher Entmischungswiderstand (Resistance to Segregation)
Fließen unter Eigengewicht bis zum Niveausgleich	z.B.: Hindurchfließen Zwischen Bewehrungsstäben Zwischen Bewehrung und Schalung	Homogenes Gefüge beim Transport, während und nach dem Einbau z.B. kein Absinken von grober Gesteinskörnung und kein Absondern von Wasser bzw. Leim

Abb. 1: Schlüsseigenschaften von SVB

Fig. 1: Key characteristics of SCC

Wegen seiner besonderen Fließfähigkeit erfordert SVB im Vergleich zu herkömmlichen Rüttelbetonen modifizierte Frischbetonprüfverfahren, die z.B. in [Reinhardt et al., 2001] aufgeführt sind. Diese Frischbetonprüfverfahren müssen sicherstellen, dass die in Abb. 1 genannten Anforderungen an die Fließfähigkeit zielsicher erfüllt werden.

SVB reagiert sehr sensibel auf Schwankungen in der Zusammensetzung. Bereits geringste Abweichungen können dazu führen,

Because of its special fluidity, SCC requires modified fresh concrete testing methods compared with conventional concrete. These testing methods are specified e.g. in [Reinhardt et al., 2001]. The fresh concrete testing methods must guarantee that the demands to the fluidity mentioned in fig. 1 to be fulfilled.

SCC responds very sensible to deviations of mixture proportions. Already slightest deviations can lead to a concrete that does not

dass eine oder mehrere dieser charakteristischen Eigenschaften nicht erreicht werden. Dies ist meist mit erheblichen Mängeln am fertigen Bauteil verbunden, die nicht zuletzt die Dauerhaftigkeit drastisch herabsetzen und im schlimmsten Fall eine Konstruktion unbrauchbar machen.

Aufgrund der von herkömmlichen Rüttelbeton abweichenden Zusammensetzung besteht auch Forschungsbedarf hinsichtlich der Festigkeit, der Dauerhaftigkeit und der Umweltverträglichkeit von SVB.

Um diese Fragen zu klären, werden am IWB umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Die folgenden Seiten sollen einen kurzen Überblick über einen Teil dieser Untersuchungen wiedergeben.

obtain one or more of these key characteristics. This is usually connected with substantial lack of the finished construction unit, which lower not least the durability drastically and make in the worst case a construction useless.

More research work has to be done to clarify questions regarding to the strength, durability and the environmental compatibility of SCC due to a mixture composition which deviates clear from that of conventional concrete.

To give an answer to these questions intensive investigations are performed at the IWB. The next pages give a brief overview on some of these investigations.

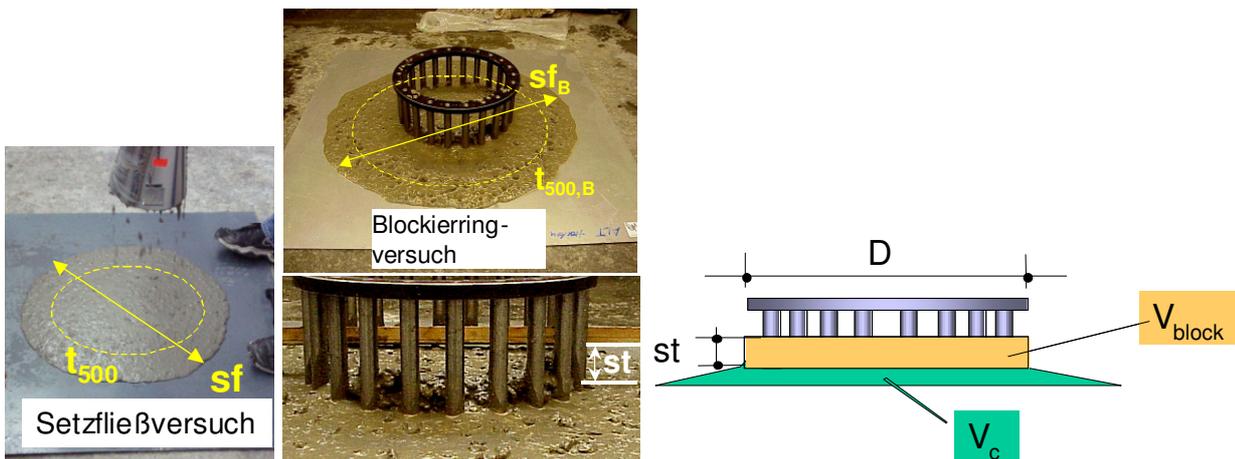


Abb. 2: Setzfließversuch ohne (links) und mit Blockierring (Mitte). Die Blockierneigung kann durch Messung des Höhensprungs zwischen den Stäben quantifiziert werden (hier mit 22 Stäben). Rechts: Seitenansicht des Blockierrings mit idealisiertem Betonausbreitkuchen zur Berechnung des Blockierindexes.

Fig. 2: Slump flow test without (left side) and with J-Ring (center). The blocking behavior can easily be quantified due to the step before and behind the steel rods of J-Ring (here 22 rods). Right side: Side view of J-Ring with idealized concrete shape for calculation of the blocking index.

**Experimentelle Untersuchungen
Frischbetoneigenschaften**

Auf die ersten beiden in Abb. 1 genannten Schlüsseigenschaften soll im Folgenden näher eingegangen werden:

Im Rahmen des Projekts „Selbstverdichtender Beton unter Verwendung von lokalen Ausgangsstoffen“ (Versuchsprogramm A) sowie im Rahmen eines europäischen Ringprojekts „Testing-SCC“ (Versuchsprogramm B) wurden eine Reihe von Frischetonunter-

**Experimental investigations
Fresh concrete properties**

The first two key characteristics mentioned in fig. 1 are considered in the following in greater detail:

A set of fresh concrete investigations were accomplished in the context of the project „Self-compacting concrete under use of local raw materials“ (test program A) as well as under an European ring project „Testing-SCC“ (test program B).

suchungen an SVB durchgeführt. Im ersten Fall dienen diese Versuche zur Klärung der Zusammenhänge zwischen der Zusammensetzung und den Fließeigenschaften sowie zur Auswahl von geeigneten Mischungen für Untersuchungen an erhärtendem und erhärtetem Beton.

Die Versuche, die im Zusammenhang des EU-Projekts durchgeführt wurden, dienen zur Beurteilung der Blockierneigung von SVB. Hierbei wurde im Wesentlichen der sogenannte Blockierring (in der Literatur auch J-Ring genannt, siehe Abb. 2) verwendet.

Beide Versuchsprogramme unterschieden sich hinsichtlich der verwendeten Betonausgangsstoffe und der Reihenfolge der durchgeführten Frischbetonversuche.

Abhängig von der Mischungszusammensetzung kann trotz Erreichen eines definierten Durchmessers des Ausbreitkuchens ein deutlich erhöhter Gehalt an grober Gesteinskörnung innerhalb des Ringes beobachtet werden (Abb. 2, Mitte). Augenscheinlich kann zwar Blockieren festgestellt werden. Jedoch nur durch zusätzliches Messen des mittleren Höhengsprungs des Betons, der sich unmittelbar vor und hinter den Stäben des Blockierrings einstellt, kann eine Aussage über den Anteil des blockierten Betonvolumens getroffen werden. Wird der Ausbreitkuchen des Betons gemäß Abb. 2 (rechts) idealisiert, so kann ein Blockierindex β nach Gl. 1 als Verhältnis des blockierten Betonvolumens V_{block} (unter Verwendung des gemessenen Höhengsprungs st) und des Ausgangsvolumens V_c errechnet werden.

$$\beta = \frac{V_{\text{block}}}{V_c} = \frac{\frac{\pi D^2}{4} \cdot st}{V_c} = \underbrace{\frac{\pi D^2}{4}}_{\text{const.}} \cdot st \quad (\text{Gl., eq. 1})$$

Der Blockierindex β ist dann direkt proportional zum gemessenen Höhengsprung st .

The investigations of the first test program served to clarify the connections between composition and flow characteristics as well as to the selection of suitable mixtures for investigations on hardening and hardened SCC.

Tests for evaluation of the passing ability of SCC were done in the context of the European Project. For evaluation of the blocking behavior the so-called blocking ring (in the literature also well-known as J-Ring, see fig. 2) was mainly used.

Both test programs differed according to the used concrete raw materials and the order of the accomplished fresh concrete tests.

Dependent on the mixture composition a clearly increased content of coarse aggregates can be observed within the ring despite reaching a defined spread diameter (fig. 2, center). Apparently blocking can be determined. But only by an additional measurement of the mean step of the concrete, which adjusts itself directly before and behind the rods of the blocking ring, a statement about the portion of blocked concrete volume is possible. If one idealizes the spread of the concrete in accordance with fig. 2 (right side), then a blocking index β according to eq. 1 can be calculated as the ratio of the blocked concrete volume V_{block} (using of measured st) to the total concrete volume V_c .

The blocking index β is then directly proportional to the measured step st .

Damit kann durch Messung des Höhengsprungs die Blockierneigung unabhängig vom Ausbreitkuchendurchmesser quantifiziert werden.

Auch in der EFNARC-Richtlinie wird die Messung des Höhengsprungs erwähnt und als Akzeptanzkriterium für eine Abnahmekontrolle vorgeschlagen.

Für jede SVB-Mischung aus dem Versuchsprogramm B wurde in Abb. 3 der Höhengsprung st über der Trichterauslaufzeit $t_{V,B}$ aufgetragen. Zwischen dem blockierte Betonvolumen und der Trichterauslaufzeit besteht demnach ein Zusammenhang.

Thus the passing ability can be quantified independently of the diameter of the concrete spread due to the measurement of the step.

Also the EFNARC guideline mentions the measurement of the step. There, the step is recommended as a criterion for an acceptance check.

Fig. 3 contains the step st and the funnel time $t_{V,B}$ for each SCC mixture from test program B. Thus a connection between the blocked concrete volume and the funnel time exists.

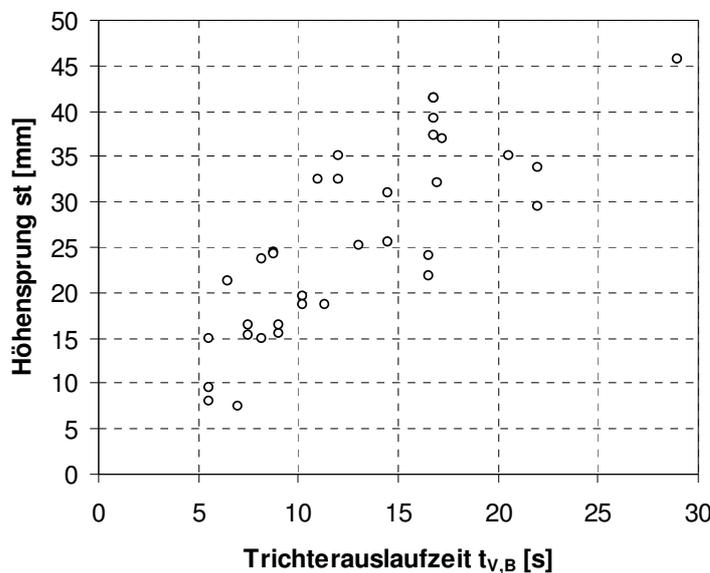


Abb. 3: Zusammenhang zwischen Trichterauslaufzeit und Höhengsprung am Blockierring mit $n=16$ Stäben (Mischungen aus Versuchsprogramm B)

Fig. 3 Step of blocking st as a function of the funnel time $t_{V,B}$ (J-Ring with $n=16$ rods, mixtures of test program B)

Abb. 4 zeigt für Mischungen aus dem Versuchsprogramm A die Trichterauslaufzeit $t_{V,B}$ über dem Setzfließmaß sf_B aufgetragen. Robuste Mischungen verfügten über Setzfließmaße zwischen 70 und 82 cm und Trichterauslaufzeiten zwischen 9 und 15 s. Außerhalb dieses Bereichs wurde Blockieren, Entmischen oder Stagnieren beobachtet. In der Literatur sind mehrere solche Zielfenster angegeben (z.B. [Kordts, 2002]); sie sind jedoch nur dann übertragbar, wenn alle Versuchsrandbedingungen übereinstimmen.

Fig. 4 shows for mixtures of test program A the funnel time $t_{V,B}$ and the slump flow value sf_B . Robust mixtures had slump flow values between 70 and 82 cm and funnel times between 9 and 15 s. Out of these limitations, segregation and stagnation was observed. There are a lot of such areas recommended in the literature (e.g. [Kordts, 2002]); they are however transferable only if all conditions agree.

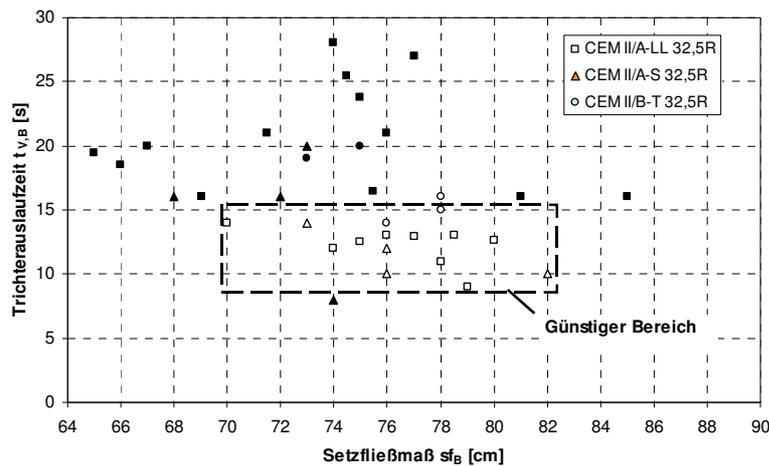


Abb. 4:
Frischbetoneigenschaften (Versuchsprogramm A): Trichterauslaufzeit und Setzfließmaß für unterschiedliche Mischungszusammensetzungen. Robuste Mischungen sind in dem gestrichelten Fenster eingezeichnet.

Fig. 4:
Fresh concrete properties (test program A): funnel time $t_{V,B}$ and slump flow value s_{f_B} for different SCC mixtures. Well-designed mixtures are inside the marked box.

Festbetoneigenschaften

Zur Beurteilung der Rissneigung von SVB im jungen Alter werden Betonplatten im Windkanal bei 30°C und 50% rel. Feuchte scharfen Austrocknungsbedingungen ausgesetzt (Abb. 5, links). Schwindversuche und Kriechversuche unter Zugbeanspruchungen an Schulterproben sollen Aufschluss über das zeit- und lastabhängige Verformungsverhalten von SVB geben (Abb. 5, Mitte u. rechts).

Hardened properties

To evaluate the cracking tendency at young age of SCC concrete slabs are exposed sharp drying conditions with 30°C and 50% relative humidity (fig. 5, left side). Shrinkage and creeping tests under tensional stresses on shouldered specimens are to give information on the time and stress dependent deformation behavior of SCC (fig. 5, center and right side).

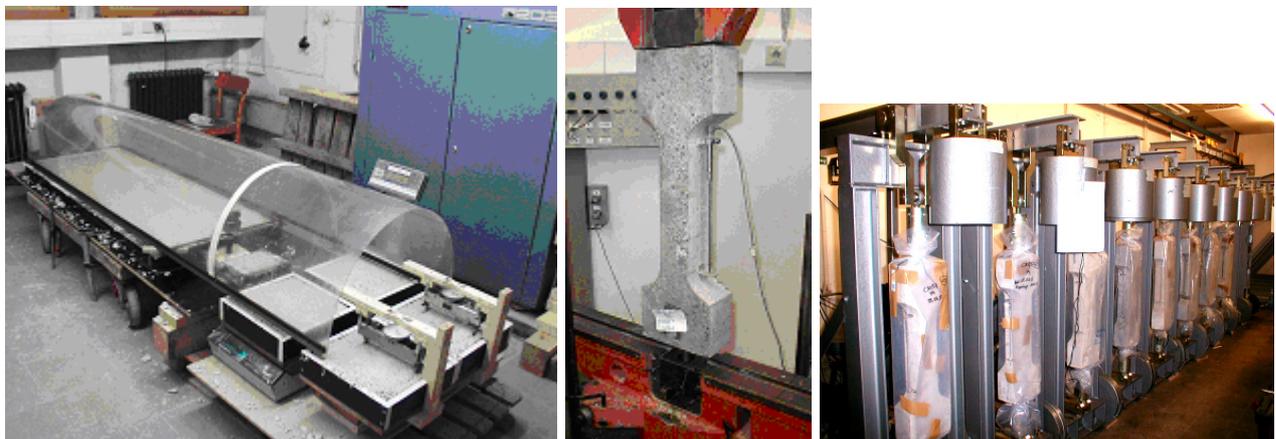


Abb. 5: Links: Versuchsaufbau zur Überprüfung der Rissneigung in jungem Alter
Mitte: In Prüfmaschine eingehängte Schulterprobe zur Ermittlung der Kurzzeitzugfestigkeit
Rechts: Zugkriechstände mit eingehängten Schulterproben

Fig. 5: Left: Test for characterizing the resistance of crack development at young age
Center: Specimen for determination of short-time tensional strength
Right: Apparatuses for determining tensional creeping with shouldered specimens

Weiter wurden Versuche zur Ermittlung der Festigkeitsentwicklung durchgeführt. Hierzu wurden Druck-, Biegezug- und Spaltzugfestigkeitsprüfungen an Würfeln und Prismen

Furthermore tests for determining the development of strength were performed. For this compression, flexural and tensional splitting strength tests were accomplished at an age

von SVB im Alter von 3, 7 und 28 Tagen durchgeführt.

Die Druck- bzw. Spaltzugfestigkeit wurde an Würfeln der Kantenlänge 150 mm bzw. an Teilstücken von Prismen der Abmessung 100x100x530 mm bestimmt und in Abb. 6 gegenübergestellt.

Die Betonmischungen enthielten unter anderem Portlandkompositzemente in Verbindung mit Steinkohlenflugasche. Alle Betonmischungen verfügten über einen äquivalenten Wasser-Zementwert $(w/z)_{eq} = 0,45$. Die Leimgehalte lagen im Bereich von 350 bis 375 dm^3/m^3 . In Abb. 6 ebenfalls eingezeichnet ist die von Heilmann [1969] (Gl. 2) angegebene Beziehung.

of 3, 7 and 28 days.

The compression respective tensional splitting strength was determined at cubes of the edge length 150 mm respective at sections of prisms of the dimensions 100x100x530 mm. The results are printed together in fig.6.

The concrete mixtures contained among other things portland composite cements with the use of fly ash. All concrete mixtures had an equivalent water-cement ratio $(w/z)_{eq} = 0.45$. The paste contents lay within the range of 350 to 375 dm^3/m^3 . Fig. 6 contains the relationship stated from Heilmann [1969] (eq. 2).

$$f_{ct} = a \cdot f_{ccm}^{2/3} \quad \text{(Gl., eq. 2)}$$

mit:

- f_{ct} Zugfestigkeit
- a $a = 0,22 \div 0,32$ für Spaltzugfestigkeit ($f_t = f_{ct,sp}$)
- f_{ccm} mittlere Würfeldruckfestigkeit

with:

- f_{ct} tensional strength
- a $a = 0.22 \div 0.32$ for tensile splitting strength ($f_t = f_{ct,sp}$)
- f_{ccm} mean compressive strength

Abb. 6 zeigt, dass diese Beziehung auch für die untersuchten SVB-Mischungen anwendbar ist.

Fig. 6 shows that the well-known relationship is also applicable for the tested SCC mixtures.

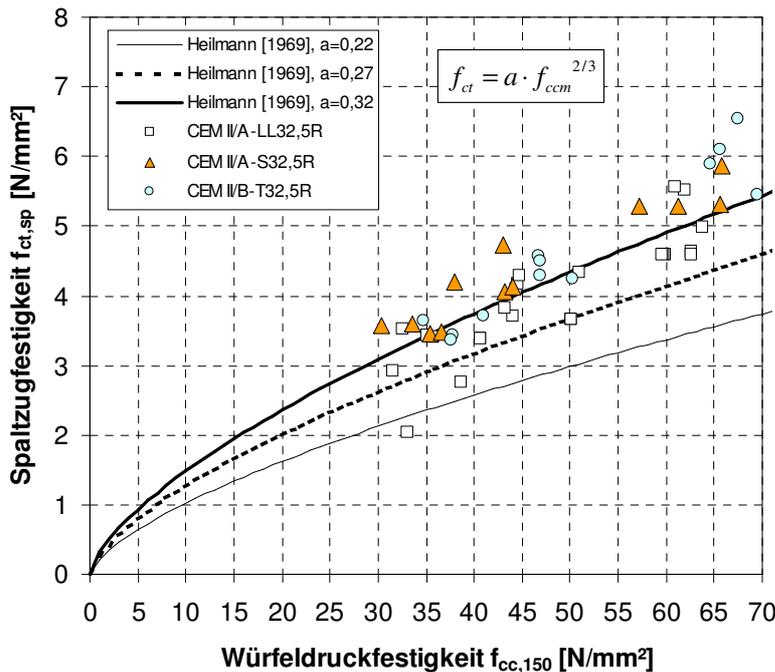


Abb. 6: Zusammenhang zwischen Spaltzugfestigkeit und Würfeldruckfestigkeit
 Fig. 6: Relationship between tensional splitting strength and compression strength

Zusammenfassung

Zur Charakterisierung der Frischbetoneigenschaften von SVB sind im Gegensatz zu Rüttelbeton abweichende Frischbetonprüfverfahren erforderlich, die u.a. in [Reinhardt et al., 2001] aufgeführt sind.

Das Blockierverhalten von SVB kann unter Zuhilfenahme des Blockierings (in der Literatur häufig als J-Ring bezeichnet) überprüft werden. Durch zusätzliche Messung des Höhengsprungs st kann auf einfache Weise eine weitere Kenngröße bestimmt werden, die zudem direkt proportional zum blockierten Betonvolumen ist. Der Anteil des blockierten Betonvolumens kann somit angegeben werden. Weiter konnte ein Zusammenhang zwischen blockiertem Betonvolumen und der Trichterauslaufzeit festgestellt werden.

Festigkeitsuntersuchungen ergaben, dass sich die Spaltzugfestigkeit der untersuchten SVB-Mischungen durch die bekannte Beziehung von Heilmann [1969] als Funktion der Druckfestigkeit beschreiben lässt.

Literatur/References

EFNARC: *Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete*. February 2002.

HEILMANN, G.: *Beziehung zwischen Zug- und Druckfestigkeit des Betons*. In: Beton, Band 19, Heft 2 (1969), S. 68-70.

KORDTS, S.: *Selbstverdichtender Beton*. In: Tagungsband zum 41. Forschungskolloquium des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) am 11./12.07.2002 in Düsseldorf.

REINHARDT, H.-W. (HRSG.) ET AL.: *Sachstandbericht Selbstverdichtender Beton (SVB)*. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb), Heft 516. Berlin, Beuth Verlag, 2001.

Summary

For characterization of fresh concrete behavior of SCC contrary to ordinary concrete, modified fresh concrete tests are necessary which are mentioned among other things in [Reinhardt et al., 2001].

The blocking behavior can be checked with the help of the blocking ring (called in the literature frequently also J-ring). By measurement of the step st , a further parameter can be determined in a simple manner, which is directly proportional to the blocked concrete volume. Thus the part of the blocked concrete volume can be denoted. Furthermore a relationship between the blocked concrete volume and the funnel time could be determined.

Strength investigations showed that the tensile splitting strength of the investigated SCC mixtures can be described by the well-known relationship of Heilmann [1969] as a function of the compressive strength.

E-LEARNING AKTIVITÄTEN AM IWB UNTER DEM EINSATZ VON LORE

E-LEARNING ACTIVITIES AT THE IWB USING LORE

von/by: Jens Borrmann, Joachim Schwarte

Zusammenfassung

LORe (*Learning Objects Repository*) ist eine Onlineanwendung, die am Institut für Werkstoffe im Bauwesen unter Berücksichtigung der Erfordernisse innerhalb der Projekte 100-online, self-study online sowie WiBA-Net® entwickelt und genutzt wird.

Ziel dieser Entwicklung war ein Onlinesystem, das Materialien unterschiedlicher Granularitätsstufe speichern kann und zur Unterstützung des universitären Lehrbetriebs eingesetzt werden soll. Die Systemarchitektur von LORe erlaubt dies in einer themen- und standortunabhängigen Art und Weise. Insbesondere die parallele Verwendung von Lehr- bzw. Prüfungsmaterialien an mehreren Hochschulinstiuten desselben Fachgebietes und an unterschiedlichen Hochschulstandorten kann durch LORe besonders gefördert werden.

Abstract

LORe (*Learning Objects Repository*) is an Online-Application, which is being developed at the Institute of Construction Materials under the requirements of different E-Learning projects as there are 100-online, self-study online and WiBA-Net®.

The main objective of the development was to realise an Online-System, which has the ability to store learning materials of different granularity and supports tutors teaching at the university. The architecture of the LORe application provides this possibility in a thematically unspecific way. Especially the corporative usage of learning and examination materials at different universities teaching the same subject can be aided by LORe in an effective way.

Einleitung

Das Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart (IWB) ist an unterschiedlichen E-Learning Projekten beteiligt, bei denen unterschiedliche Zielvorgaben im Mittelpunkt stehen. Das Spektrum reicht von vorlesungsbegleitenden Maßnahmen bis hin zu Selbstlerneinheiten, die es den Studierenden ermöglichen sollen, Themenbereiche unabhängig von Präsenzvorlesungen zu bearbeiten und zu erleben. Aufgrund dieses weiten Einsatzgebietes wurde am IWB die Onlineanwendung LORe konzipiert und entwickelt [1], die genau diesen Anforderungen gerecht wird. Nach einer Erläuterung der Funktionalitäten und Datenstruktur von LORe, werden die E-Learning Projekte am IWB vorgestellt und der Einsatz von LORe innerhalb dieser Projekte verdeutlicht.

Introduction

The Institute of Construction Materials at the University of Stuttgart (IWB) is involved in different e-learning projects. Each of the projects has different main objectives, ranging between supporting tutors doing their daily work in the lecture room up to the creation and delivery of web based training units like courses which can be offered to the students to investigate subjects on their own without attending lectures at the university.

Because of this various range of requirements, an Online-Application called LORe was developed [1] at the IWB. After a short description of the functionality of LORe and the implemented data structure, the different e-learning projects will be introduced and how LORe serves their needs will be explained.

Funktionalitäten von LORe

Neben den einzelnen Projektvorgaben, wurden bei der Konzeptionierung von LORe nicht nur die Anliegen der Lerner, sondern im gleichen Maße die der Inhaltsersteller berücksichtigt. Beiden Anwendergruppen ist es unter anderem wichtig, dass Suchmöglichkeiten innerhalb des Systems einen raschen und präzisen Zugriff auf jeweils benötigte Materialien sicherstellen. Hierzu bietet das System zum einen die Möglichkeit über die Gliederungen zu dem gewünschten Themenbereich zu gelangen. Es wird dabei zwischen einer zentralen Globalgliederung, die das gesamte Stoffgebiet abdeckt und einzelnen, optionalen Lokalgliederungen unterschieden. Die Lokalgliederungen sind kontextorientierte Strukturen wie beispielsweise Kapitelhierarchien eines Skripts, Gliederung einer Vorlesungsreihe, usw. Des Weiteren kann der Nutzer den Systeminhalt über eine Stichwortsuche ansteuern.

Die Präsentation der Inhalte kann in unterschiedlichem Umfang und Layout erfolgen. So bleibt es dem einzelnen Autor überlassen, in welcher Granularitätsstufe er dem Lernenden die Lerneinheiten zur Verfügung stellt. Die Wahl der Granularität von Lerneinheiten, mit der das System umgehen muss, ist nicht nur abhängig von den Präsentationsmöglichkeiten gegenüber den Lernern. Auf Autorensseite muss damit gerechnet werden, dass eine zu grobe Granularität der Lehrinhalte, wie ganze Lehrpfade oder virtuelle Skripte, in der Regel, aufgrund Ihrer autorenspezifischen Eigenschaften, nicht unmodifiziert an anderen Hochschulen oder Instituten als primäres Unterrichtsmaterial verwendet werden können. Herrscht unter den Autoren kein Konsens über den Inhalt dieser E-Learning Materialien, so muss befürchtet werden, dass derartigen Objekten die Rolle "virtueller Sekundärliteratur" zukommt und somit einen Austausch von Lernmaterial zwischen den aktiven Autoren behindert wird.

LORe wird auf der Basis der kostenfreien als

Functionality of LORe

Besides the different demands of the project, not only the students' needs, but also these of the content creators were taken into account. Therefore a search mechanism was implemented which guarantees a precise and quick access to the e-learning material. On the one hand there is the possibility to browse through topic structures and on the other there is also a keyword search engine available. LORe works with two different types of structures: one global structure which covers the whole scope of the learning content in a highly detailed way and optional individual local structures being more context oriented in order to fit to the students needs, like content tables of their lecture notes, course outlines, etc.

The e-learning content can be disseminated in different levels of complexity and layout. So the author himself can decide, in which granularity he wants to deliver the learning objects to his students. The size of these learning objects stored and created with LORe does not only depend on the requirements of the learners. The editors of the e-content are as well possibly not satisfied with bigger e-learning objects of other partners like complete e-learning courses or virtual lecture notes. The bigger the learning objects are, the less they can probably be transferred into different learning contexts. If they don't fit into their teaching concept, they only can be treated like virtual secondary literature and won't be exchanged between the participating authors to teach their students in a collaborative way at all.

LORe is being developed as an open-source solution which uses the PHP scripting language and a MySQL database backend to guarantee an economic development. The structure of the relational database has at the time the size of 44 tables which are being needed to store text fragments, keywords, URLs, metadata, content structures, metadata and information about the participating authors. Table 1 shows all the different content

Open Source-Software verfügbaren Entwicklungsumgebung PHP4 [2] und unter Verwendung des Datenbankmanagementsystems MySQL [3] entwickelt. Die Struktur der relationalen Datenbank besteht aus derzeit 44 Tabellen, die der Speicherung von Autoreninformationen, Textinhalten, Begriffen, etc. und deren Metadaten dienen. Tabelle 1 zeigt die unterschiedlichen Inhaltstypen die mit Hilfe von LORe erfasst werden können.

types which can be represented by LORe.

Tabelle 1: Inhaltstypen in LORe

Begriffe	Schlagworte
Aussagen	Definitionen, Merksätze, Textpassagen zur inhaltlichen Gestaltung von Screens.
Globalgliederungspunkte	(=Kapitelüberschriften einer feinstmöglichen allgemeinen Stoffgliederung)
Lokalgliederungspunkte	(=Kapitelüberschriften einer tatsächlichen Veranstaltung oder eines existierenden Werkes)
Asset-URLs	Web-Adressen von Ressourcen (Bildern, Videos, Textdokumenten, Folien etc.)
Asset-Captions	Über- bzw. Unterschriften, die Assets zugeordnet werden können.
Lokalmaterial-URLs	Web-Adressen von Ressourcen (PDF-Dokumente, Powerpoint-Präsentationen, Folien etc.), die den Studenten eines Instituts aber nicht dem gesamten System zur Verfügung gestellt werden sollen.
Screens	Gruppierungen von Aussagen und Assets, die als Bildschirmseiten in unterschiedlichen Layouts ausgegeben werden können
Stapel	Abfolgen von Screens, die in einer thematischen Ordnung zueinander stehen

Table 1: content types defined in LORe

Terms	keywords
statements	definitions, mnemonic sentences, text fragments to create screens
Global structure	(=chapters headings of an as finest as possible structure which finds general approval)
Local structures	(=chapter headings of an existing course structure or course compendium)
Asset URLs	World Wide Web address of content resources (pictures, videos, textual documents, transparencies, etc.)
Asset-Captions	multiple asset captions to describe Assets in different contexts

Lokalmaterial-URLs	URLs of Resources (PDF documents, PowerPoint presentations, transparencies etc.), which should be presented to the local students but not to the whole System
Screens	Arrangements of assets and statements and Assets, which can be disseminated in different layouts
Stapel	sequences of screens which are thematically linked to each other

Alle inhaltlich relevanten Elemente des Systems werden in der relationalen MySQL-Datenbank vorgehalten. Die Präsentation der Inhalte geschieht durch PHP-Skripte mit modularem Aufbau wodurch bedarfsgerechte Layoutvarianten möglich werden.

Die interne Datenstruktur des Systems ermöglicht es u. a. zu erkennen, welche Begriffe eines Screens einer noch zu erfassenden Definition bedürfen und welche nicht. Dies ist eine wesentliche Leistungsfähigkeit von LORe und wurde durch die Einführung von Relevanzstufen innerhalb der verknüpfenden Metadaten realisiert, die vom Autor jeweils im Zuge der Erfassung von Inhalten zusätzlich vergeben werden müssen.

Zu den verknüpfenden Metadaten zählen:

- Zuordnung der Begriffe zu zugehörigen Aussagen inkl. einer Kennzeichnung der Verknüpfungsart (“Zuordnungsrelevanzstufe“ = ZRS).
- Zuordnung der Aussagen zu den zugehörigen Kapiteln der Globalgliederung
- Zuordnungen von Assets zu Globalgliederungspunkten
- Zuordnungen von Asset-Captions (Unter- bzw. Überschriften) zu Assets
- Zuordnung von Einzelelementen (Aussagen, Assets) zu Screens
- Zuordnung von Screens zu Stapeln.

Neben den verknüpfenden Metadaten werden alle Content-Datensätze durch Beschreibungen bzgl. ihrer Urheber, ihrer Verwendbarkeit, ihrer technischen Gegebenheiten etc. entsprechend dem SCORM-Datensatz der Initiative Advanced Distributed Learning (ADL) [4] ergänzt. Für die Implementierbarkeit intelligenter Anwendungen des Repositories sind

The whole collection of the learning content is organized in the relational database system and the presentation of the content is being realized by PHP script modules. The modularisation guarantees individual layouts for different learning environments like lecture halls or the usage of learning objects as a part of an e-learning strategy.

The internal data structure of the system allows it to inform the authors whether there's a lack of keyword definitions within a screen or not. This elementary feature of LORe enabled by the possibility of tagging keywords to statements in 6 different levels of relevance. This decision has to be made while acquiring the statements needed to create a learning screen.

The levels are part of the linking metadata which describe the relations between the different content types. Therefore six different types of relations have been implemented:

- Relations between keywords and statements inclusive the level of relevance.
- Relations between assets and chapters of the global structure.
- Relations between assets and different asset captions.
- Relations between single content elements like statements, assets and Screens.
- Relations between Screens and paths.

Besides the linking metadata there are describing metadata as well. They are mainly derived from the SCORM Content Aggregation Model of the Advanced Distributed Learning Initiative (ADL) [4] and provide information about the originator, the expected use cases, technical specifications, etc. To develop an

jedoch verknüpfende Metadaten weit wichtiger [5] und spielen bei der Erstellung von Lehrhalten im Rahmen der Forschungsprojekte eine wesentliche Rolle.

Anwendungen von LORe

100-online

Das Programm 100-online wurde im Sommer 2001 von der Universität Stuttgart mit der Absicht gestartet, die Verwendung multimedialer Techniken in Lehrveranstaltungen auf breiter Basis zu fördern [6]. Das primäre Ziel der meisten Teilprojekte bestand darin, Vorlesungsmaterialien zu digitalisieren und in einer geeigneten Form, vorlesungsbegleitend mit Hilfe des WWW den Studenten zur Verfügung zu stellen.

Im IWB begann mit diesem Förderprogramm der Einsatz von LORe, primär mit dem Ziel vorhandene Lehrmaterialien des Studienfachs „Werkstoffe im Bauwesen 2“ themenspezifisch anhand der Gliederung der Vorlesung zu organisieren und damit nicht nur die Studenten in ihrer Prüfungsvorbereitung zu unterstützen, sondern auch den Lehrkörpern am IWB über eine geeignete Oberfläche auch eine zentrale Recherchemöglichkeiten aller bereits erfassten Inhalte zu ermöglichen [7].

Der Zugang zum Inhalt erfolgt über unterschiedliche Schnittstellen. Während sich der Autor direkt über eine eigens entwickelte grafische Oberfläche in das LORe-System einloggen kann, wurde aufgrund des Wiedererkennungswertes der Studentenzugang vollständig in die bereits vorhandene Internetseite des Instituts integriert (Bild 1).

intelligent application it is much more important to keep an eye on the linking metadata [5] playing a main role within the scope of the projects.

The usage of LORe

100-online

The research program 100-online was launched in summer 2001 as an initiative of the University of Stuttgart to fund local institutes developing e-learning material using multimedia technology to improve their local lectures [6]. The main goal of most of the sub-projects was to digitalize the existing lecture notes and to provide this material to the students via the World Wide Web in an appropriate way.

Within this funding program, the Institute of Construction Materials started to use the LORe application to collect and organize its learning material of the Construction Materials 2 course. The objective was not only to improve the students learning environment but also to support the authors at the IWB by providing a suitable user interface to search already existing learning materials [7].

The access to the content can be done by two different ways. On the one hand the authors are able to work with the application directly over an especially developed interface and on the other the content output for the students is directly integrated into their already known online-environment (fig. 1).

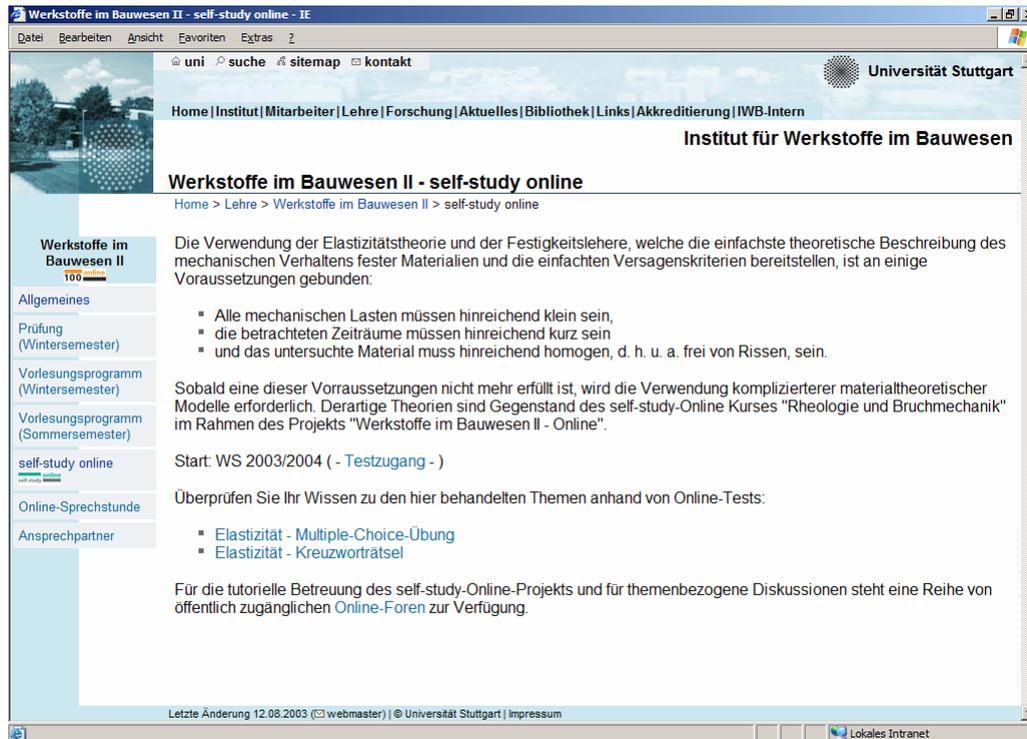


Abb. 1: Integration der LORé Inhalte in die IWB-Internetseite

Fig. 1: Integration of LORé content into the existing website of the IWB

Self-study online

Aufbauend auf 100-online startete im Frühjahr 2003 das Förderprogramm self-study online als zweiter Schritt auf dem Weg zum Online-Campus der Universität Stuttgart [8]. Dem Studenten soll im Rahmen dieses Programms die Möglichkeit eröffnet werden, ihren Lehrstoff im Selbststudium zu vertiefen, unabhängig von Zeit und Ort, wie sie durch Präsenzveranstaltungen vorgegeben werden.

Die Materialien zu Vorlesungsinhalten des Faches „Werkstoffe im Bauwesen 2“ in der Merksatz- und Materialdatenbank LORé, die bereits im Rahmen des Projekts 100-online erfasst wurden, werden in ausgewählten Themenschwerpunkten detailliert ergänzt. Des Weiteren wurde ein zusätzliches Programmmodul entwickelt, mit dem einzelne, aus Aussagen und Assets zusammengesetzte, Screens zu Stapeln kombiniert werden können.

WiBA-Net

WiBA-Net ist ein vom BmBF im Rahmen des

Self-study online

As a second step towards the “Online Campus” [8] the University of Stuttgart started a new program in 2003 called self-study online. As a result of the self-study sub-projects the students should be able to improve their knowledge with e-learning objects on their own, without visiting additional lectures at the present university. The learning material to the lecture Construction Materials 2 which was already within the 100-online project collected and implemented into the LORé database, will be enhanced with more detailed information about special subjects. In addition, a further application module was developed to organize and structure single screens and combine them to even bigger e-learning sequences.

WiBA-Net

WiBA-Net is a research project which was financed by the funding program “New Media

Förderprogramms Neue Medien in der Bildung gefördertes, interdisziplinäres Forschungsprojekt, an dem sowohl Bauingenieure und Architekten als Autoren, sowie Informatiker und Pädagogen aktiv beteiligt sind [9]. Ziel von WiBA-Net ist es, eine Online-Plattform zu entwickeln, deren Inhalt den im Hochschullehrer-Memorandum [10] festgelegten Stoffumfang vollständig abdeckt, und in ihrer funktionalen Gestaltung viele Facetten des E-Learning, d.h. vermittelnde und kommunikative Komponenten, miteinander vereint. LORe kommt hier, neben Produkten wie Dreamweaver von Macromedia, sowohl zur Erstellung einzelner Lehrpfadseiten, als auch zur Generierung des WiBA-Net Glossars zum Einsatz. Um den Datentransfer zwischen den beiden Softwareapplikationen zu realisieren (Abb. 2), und damit die mit LORe generierten Inhalte über den WiBA-Net Infopool recherchierbar zu machen, wurde mit Hilfe von SCORM kompatiblen XML-Metadatenätzen die erforderliche Schnittstelle realisiert. Die Funktion des WiBA-Net Glossars hingegen greift mit Hilfe von SQL-Befehlszeilen direkt auf die LORe Datenbasis zu und liest alle erforderlichen Datensätze direkt aus der relationalen Datenbank von LORe aus. Analog zum Einbinden von herkömmlichen HTML-Lehrpfadseiten, die im WiBA-Net Infopool abgelegt sind, werden auch LORe-Seiten über Ihre URL in die L3-Lehrpfade von WiBA-Net integriert. Abbildung 2 zeigt die unterschiedlichen Datentypen von LORe und deren Integration in die WiBA-Net Umgebung.

in Education" which was announced by the Federal Ministry of Education and Research (BmBF) in 2001 and lasts until the end of 2003 [9]. Authors of civil engineering institutes as well as architects took part as content authors. The development of the learning management system and the pedagogical consulting was managed by computer scientists and pedagogues. The objective of WiBA-Net was to realise an e-learning platform that contains all the learning content mentioned in the professors' memorandum [10] and provides all the different facets of e-learning functionality like, communicative and teaching components.

Besides commercial Software tools like Macromedia Dreamweaver, LORe is being used as an application die generate single pages for learning paths and to collect definitions for the WiBA-Net glossary.

To realise the data exchange between LORe and the WiBA-Net Infopool (fig.2) and, as a result, to make the LORe content searchable within the WiBA-Net environment, LORe was enhanced by an interface which generates XML-Metadata documents to communicate with the WiBA-Net info pool. The entries of the LORe glossary are accessed directly via SQL-commands which were activated by the WiBA-Net Infopool itself.

To built up larger e-learning units like online-paths the LORe pages are implemented into the L3-generated path structures in the same way like Dreamweaver pages. The authors simply have to reference the pages by their URL. Fig. 2 shows the different data types of LORe and their integration into the WiBA-Net environment.

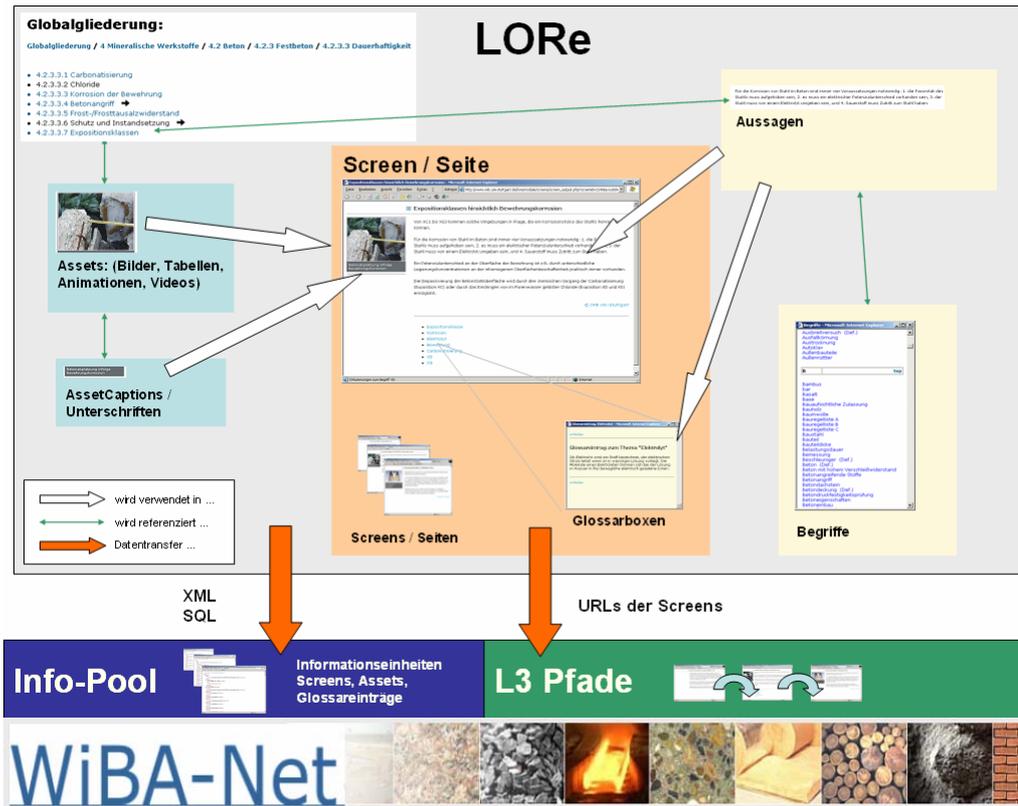


Abb. 2: Integration der LORe Inhalte in die WiBA-Net Umgebung
 Fig. 2: Integration of LORe content into the WiBA-Net environment

Literatur

[1] Learning Objects Repository – LORe, <http://www.iwb.uni-stuttgart.de/lore4lore/>, 2003.

[2] PHP – Hypertext Preprozessor, <http://www.php.net>, 2003.

[3] MySQL, <http://www.mysql.com>, 2003.

[4] Advanced Distributed Learning Initiative, Sharable Content Reference Model (SCORM) Version 1.2, The SCORM Content Aggregation Model, 2001 - <http://www.adlnet.org/>. 2003.

[5] Koptik, J.; Schwarte, J.: E-Learning standards used in civil engineering education. In: Proceeding of the European Conference on Information and Communication Technology Advances and Innovation in the Knowledge Society - Part B. eSM@RT 2002 in Collaboration with CISEMIC 2002, 18.-21.11.2002, University of Salford, UK. Salford/Manchester, UK: 2002, p. 359ff.

[6] Universität Stuttgart, 100-online, <http://www.uni-stuttgart.de/100-online>, 2003.

[7] Schwarte, J.; 100-online e-letter: "Werkstoffe im Bauwesen II" – Online; http://www.uni-stuttgart.de/100-online/e-letter/archiv/01_2002/gesamt/A_086.html, 2002

[8] Universität Stuttgart, self-study online, <http://www.uni-stuttgart.de/self-study/>, 2003.

[9] WiBA-Net Portal, <http://www.wiba-net.de>, 2003.

[10] Reinhardt, H.-W.; Franke, L.; Grübl, P.; Setzer, M. J.; Wittmann, F. H. (eds.): Hochschullehrer-Memorandum: Werkstoffe im Bauwesen – universitäre Lehre und Forschung. In: Bauingenieur 75(2000), Nr. 11, S. 723-729.

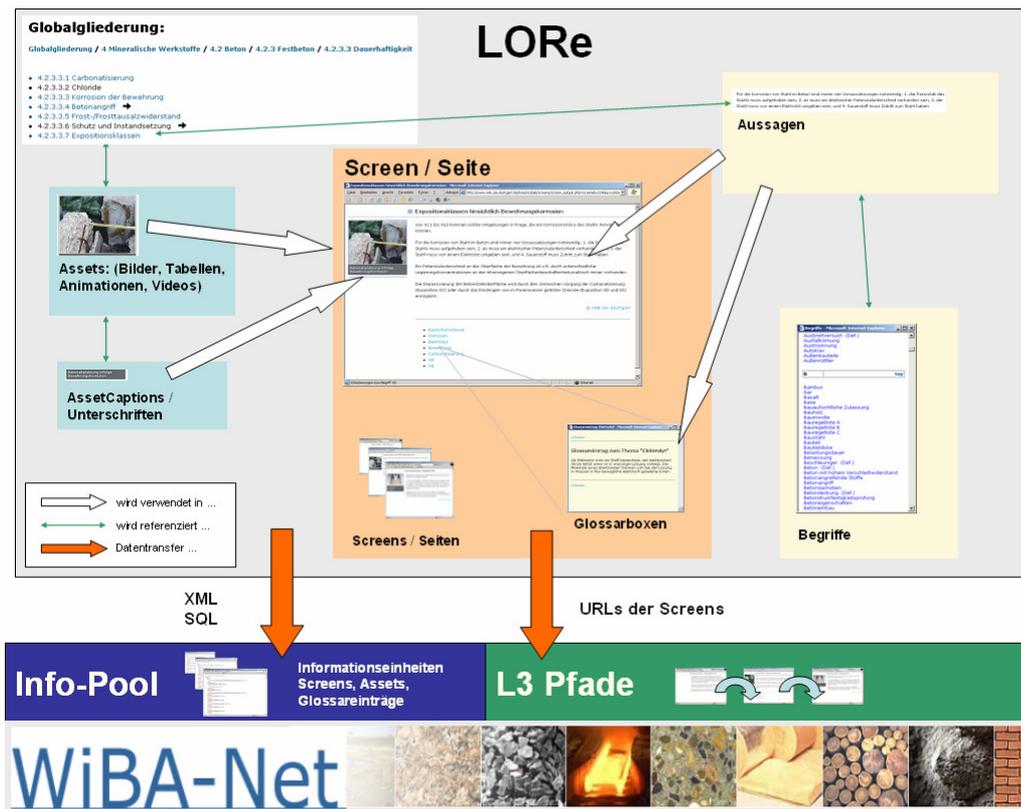


Abb. 2: Integration der LORe Inhalte in die WiBA-Net Umgebung
 Fig. 2: Integration of LORe content into the WiBA-Net environment

Literatur

- [1] Learning Objects Repository – LORe, <http://www.iwb.uni-stuttgart.de/lore4lore/>, 2003.
- [2] PHP – Hypertext Preprozessor, <http://www.php.net>, 2003.
- [3] MySQL, <http://www.mysql.com>, 2003.
- [4] Advanced Distributed Learning Initiative, Sharable Content Reference Model (SCORM) Version 1.2, The SCORM Content Aggregation Model, 2001 - <http://www.adlnet.org/>. 2003.
- [5] Koptik, J.; Schwarte, J.: E-Learning standards used in civil engineering education. In: Proceeding of the European Conference on Information and Communication Technology Advances and Innovation in the Knowledge Society - Part B. eSM@RT 2002 in Collaboration with CISEMIC 2002, 18.-21.11.2002, University of Salford, UK. Salford/Manchester, UK: 2002, p. 359ff.
- [6] Universität Stuttgart, 100-online, <http://www.uni-stuttgart.de/100-online>, 2003.
- [7] Schwarte, J.; 100-online e-letter: "Werkstoffe im Bauwesen II" – Online; http://www.uni-stuttgart.de/100-online/e-letter/archiv/01_2002/gesamt/A_086.html, 2002
- [8] Universität Stuttgart, self-study online, <http://www.uni-stuttgart.de/self-study/>, 2003.
- [9] WiBA-Net Portal, <http://www.wiba-net.de>, 2003.
- [10] Reinhardt, H.-W.; Franke, L.; Grübl, P.; Setzer, M. J.; Wittmann, F. H. (eds.): Hochschullehrer-Memorandum: Werkstoffe im Bauwesen – universitäre Lehre und Forschung. In: Bauingenieur 75(2000), Nr. 11, S. 723-729.

PUBLIKATIONEN / PUBLICATIONS**2002**

Aicher, S.; Reinhardt, H.-W.; Gierl, M.; Klöck, W.: *Untersuchungen zur Bruchenergie von Fichte in Modus II-Beanspruchung*. In: Natürliche Konstruktionen in Raum und Zeit. Norderstedt: BoD - Books on Demand GmbH, 2002, pp. 222-231

Appl, J.: *Stoßtragverhalten von Bewehrungsstäben mit aufgestauchtem Kopf*. In: Beiträge aus der Befestigungstechnik und dem Stahlbetonbau, Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. R. Eligehausen. Stuttgart: ibidem-Verlag, 2002, S. 3-8

Appl, J.; Ozbolt, J.; Eligehausen, R.: *Numerical Analysis of Splices with Headed Deformed Reinforcing Bars*. In: Balazs - Bartos - Cairns - Borosnyoi. Bond in Concrete - from research to standards -, Budapest University of Technology and Economics, 20 - 22.11.2002, Budapest. Hungary: Publishing Company of Budapest University of Technology and Economics No. 1414/02, 2002, pp. 463 - 468. - ISBN 963 420 714 6

Clauss, A.; Birkle, G.: *Durchstanzen an Innenstützen – Die Auswirkung der Anordnung der Doppelkopfbolzen*. In: Beiträge aus der Befestigungstechnik und dem Stahlbetonbau, Festschrift zum 60. Geb. von Prof. Dr.-Ing. R. Eligehausen. Stuttgart: ibidem-Verlag, 2002, S. 45-55

Eligehausen, R.; Hofacker, I.N.; Lettow, S.: *Chemische Befestigungen im Ingenieurbau*. In: Verbindungstechnik im Bauwesen, Institut für Füge-technische Fertigungsverfahren, 31.01.-01.02.02, Rosenheim. 2002

Eligehausen, R.; Küenzlen, J. H. R. : *Tragverhalten von Befestigungen mit Schraubdübeln*. In: Beton- und Stahlbetonbau (2002), Heft 02/2002

Finck, F.: *Acoustic Emission Analysis of SFRC Beams under Cyclic Bending*. In: Otto-Graf-Journal (2002), Vol. 13, pp. 83-92

Finck, F.; Grosse, C.; Ruck, H.-J.; Reinhardt, H.-W.: *Untersuchung der Schädigungszone einer Teilflächenlast auf Gestein*. In: Berichtsband 80. DGZfP-Jahrestagung, DGZfP, 05.-08.05.2002, Weimar. Berlin: 2002. - auf CD

Finck, F.; Motz, M.; Grosse, C.; Reinhardt, H.-W.; Kröplin, B.: *Integrated Interpretation and Visualization of a Pull-Out Test using Finite Element Modelling and Quantitative Acoustic Emission Analysis*. In: ndt.net (2002), Vol. 7, No. 9. - <http://www.ndt.net/article/v07n09/09/09.htm>

Gappoev, M.; Reinhardt, H.-W.: *Abschätzung der Tragfähigkeit der Verbindungen von historischen Holzkonstruktionen unter Verwendung bruchmechanischer Methoden*. In: Natürliche Konstruktionen in Raum und Zeit. Norderstedt: BoD - Books on Demand GmbH, 2002, pp. 275-284

Grosse, C.: *About the Improvement of US measurement techniques for the quality control of fresh concrete*. In: Otto-Graf-Journal (2002), No. 13, pp. 93-110

Grosse, C.: *Bauphysik: Stichworte zur Vorlesung*. WS 2002, 2003: FH-Biberach, Fachbereich Projektmanagement (Bau): 2002. - 32 p.

Grosse, C.; Beutel, R.; Finck, F.; Jarczynski, M.; Ruck, H.-J.: *Fortschritte bei der Anwendung zerstörungsfreier Prüfungsmethoden im Bauwesen*. In: Beiträge aus der Befestigungstechnik und dem Stahlbetonbau (Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr. R. Eligehausen). ibidem-Verlag, 2002, pp. 69-82

Grosse, C.; Finck, F.; Kurz, J.H.: *Grundlagen der signal-basierten Schallemissionsanalyse im Bauwesen*. In: 2. Symposium: Experimentelle Untersuchungen von Baukonstruktionen, Schriftenreihe des Instituts für Tragwerke und Baustoffe. Technische Universität Dresden, Heft 17. 2002, pp. 17-24

Grosse, C.; Hidalgo, R. C.; Kun, F.; Reinhardt, H.-W.; Herrmann, H.: *Acoustic emission analysis as a tool in percolation theories of compressed granular systems media*. In: NDT.net September(2002), Vol. 7, No. 9. - <http://www.ndt.net/article/v07n09/10/10.htm>

Grosse, C.; Motz, M.; Reinhardt, H.-W.; Kröplin, B.: *Signal conditioning in acoustic emission analysis using wavelets*. In: NDT.net September(2002), Vol. 7, No. 9. - <http://www.ndt.net/article/v07n09/08/08.htm>

Grosse, C.; Reinhardt, H.-W.: *Basics of air-coupled ultrasound for applications in civil engineering*. In: Befestigungstechnik, Bewehrungstechnik und... (Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr. R. Eligehausen, eds. W. Fuchs & H.-W. Reinhardt). ibidem-Verlag, 2002, pp. 555-568

Grosse, C.; Reinhardt, H.-W.: *Anwendung von ZfP-Methoden im Rahmen einer gemeinsamen Forschungsinitiative der DFG*. In: DACH-Jahrestagung. Mai, 2002, Weimar. Berlin: DGZfP-Berichtsband 80, 2002. - on CD-ROM

Hidalgo, R. C.; Grosse, C.; Kun, F.; Reinhardt, H.-W.; Herrmann, H.: *Evolution of percolation force chains in compressed granular media*. In: Phys. Rev. Let. 89 (2002), No. 20, pp. 205501-1 to 205501-4

Hoehler, M.S.: *Formulation and implementation of the Menegotto-Pinto cyclic steel model for the finite element program MASA*. In: Festschrift zum 60. Geb. von Prof. Dr.-Ing. R. Eligehausen. Stuttgart: ibidem-Verlag, 2002, pp. 83-95

Hoehler, M.S. & Eligehausen, R.: *Fastenings to concrete for use in seismically active regions*. In: Conference Proceedings of the 1st fib Congress. 2002, Osaka, Japan. 2002

Hoehler, M.S.; Ožbolt, J.: *Application of the microplane model for three-dimensional reversed-cyclic analysis of reinforced concrete members*. In: Finite Elements in Civil Engineering Applications. Proceedings of the 3rd DIANA World Conference, 9-11 October, Tokyo, Japan. A.A. Balkema Publishers, 2002, pp. 51-59

Hofmann, J.; Eligehausen R.: *Development Length of Headed Reinforcing Bars*. In: Balazs-Bartos-Cairns-Borosnyoi (Eds.): Proceedings of the 3rd International Symposium held at the Budapest University of Technology and Economics. Bond in Concrete – from research to standards, 20-22.11. 2002, Hungary, Budapest. Publishing Company of Budapest University, 2002, S. 477-484

Jooss, M., Reinhardt, H.-W.: *Permeability and diffusivity of concrete as function of temperature*. In: Cement and Concrete Research 32(2002), pp. 1497-1504

Koptik, J.; Schwarte, J.: *E-Learning standards used in civil engineering education*. In: Proceeding of the European Conference on Information and Communication Technology Advances and Innovation in the Knowledge Society - Part B. eSM@RT 2002 in Collaboration with CISEMIC 2002, 18.-21.11.2002, University of Salford, UK. Salford/Manchester, UK: 2002, p. 359ff.. - ISBN 0902896415

Krüger, M.: *Bond behaviour of textile reinforcement in reinforced and prestressed concrete*. In: 4th International Ph.D. Symposium in Civil Engineering. September 2002, München. Springer-Verlag, 2002, pp. 373-381

Krüger, M., Ozbolt, J., Reinhardt, H.-W. : *A discrete bond model for 3D analysis of textile reinforced and prestressed concrete elements*. In: Otto-Graf-Journal 2002. Vol. 13. Ed. H.-W. Reinhardt & M. Krüger. Stuttgart: ISSN 0938-409X, 2002, pp. 111-128

Krüger, M., Xu, S., Reinhardt, H.-W., Ozbolt, J.: *Experimental and numerical studies on bond properties between high performance fine grain concrete and carbon textile using pull out tests*. In: Beiträge aus der Befestigungstechnik und dem Stahlbetonbau. Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. R. Eligehausen . Stuttgart: ibidem, 2002, pp. 151-164

Kurz, J.H.; Jahr, T.; Jentzsch, G.: *Geodynamic modellings (FEM) for the swarm earthquake region Vogtland/NW-Bohemia*. In: Geophysical Research Abstracts (2002), Vol. 4

Leichti, R.J.; Hofacker, I.; Cheng, P.; McLain, T.E.: *T-bracing for stability of compression webs in wood trusses*. In: Journal of Structural Engineering (2002)

Lettow, S.; Hofmann, J. (Hrsg.): *Beiträge aus der Befestigungstechnik und dem Stahlbetonbau: Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. R. Eligehausen*. Stuttgart: ibidem-Verlag, 2002. - ISBN: 3-89821-207-6

Lettow, S.; Mayer, U.; Eligehausen, R.: *Contribution of Concrete between Cracks - Investigations on High Strength and Fiber Reinforced High Strength Concrete*. In: Balazs-Bartos-Cairns-Borosnyoi (Eds.): Proceedings of the 3rd International Symposium held at the Budapest University of Technology and Economics. Bond in Concrete - from research to standards, 20. - 22.11.2002. Budapest, Hungary: Publishing Company of Budapest University, 2002, pp. 554 - 561. - ISBN 963 420 7146

Mayer; U.; Eligehausen, R.: *Influence of the related rib area of reinforcement on the structural behaviour of RC members – does an optimum rib pattern exist?*. In: Balazs-Bartos-Cairns-Borosnyoi (Eds.): Proceedings of the 3rd International Symposium held at the Budapest University of Technology and Economics. Bond in Concrete – from research to standards, 20 - 22.11. 2002. Hungary, Budapest: Publishing Company of Budapest University, 2002, S. 335-342

Ozbolt, J.; Lettow, S.; Kozar, I.: *Discrete Bond Element for 3D Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Structures*. In: Beiträge aus der Befestigungstechnik und dem Stahlbetonbau, Festschrift zum 60. Geb. von Prof. Dr.-Ing. R. Eligehausen. Stuttgart: ibidem-Verlag, 2002, S. 239-258

Ozbolt, J.; Lettow, S.; Kozar, I.: *Discrete Bond Element for 3D Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Structures*. In: Balazs-Bartos-Cairns-Borosnyoi (Eds.): Proceedings of the 3rd International Symposium held at the Budapest University of Technology and Economics. Bond in Concrete - from research to standards, Budapest University of Technology and Economics, 20. - 22.11.2002. Budapest, Hungary: Publishing Company of Budapest University No. 1414/02, 2002, pp. 9-19. - ISBN 963 420 7146

Ozbolt, J.; Reinhardt, H.-W.: *Numerical study of mixed-mode fracture in concrete. Intern.* In: Journal of Fracture 118(2002), S. 145-161

Reinhardt, H.-W.: *Festigkeit ägyptischen Schilfrohrs*. In: Natürliche Konstruktionen in Raum und Zeit. Norderstedt: BoD - Books on Demand GmbH, 2002, pp. 232-238.

Reinhardt, H.-W.: *Selbstverdichtender Beton, Richtlinie des DAfStb*. In: Beton + Fertigteil-Jahrbuch 2002. 50 Jg.. Wiesbaden: 2002, pp. 75-82

Reinhardt, H.-W.: *Hochtemperaturverhalten von Stahlbetonen in Abhängigkeit der Betonzusammensetzung*. In: TFB Wildegg. 2002, pp. 3/1-3/25

Reinhardt, H.-W.: *Zwölf Jahre erfolgreiche Zusammenarbeit im IWB*. In: Befestigungstechnik, Bewehrungstechnik und.... : Festschrift zu Ehren von Prof. Dr.-Ing. Rolf Eligehausen anlässlich seines 60. Geburtstages; aktuelle Beiträge aus Forschung und Praxis. Stuttgart: Ibidem, 2002, pp. 21-22

Reinhardt, H.-W.: *Beton für den Hochbau: Baustoffeigenschaften*. In: Bergmeister, K. (Hrsg.); Wörner, H.-D.: Beton-Kalender 2003. Teil 2. 92. Jahrg.. Berlin: Ernst & Sohn, 2002, S. 1-71

Reinhardt, H.-W.: *Is there a European concrete?*. In: Betão Estrutural 2002: Encontro Nacional (Lissabon 2002). Lissabon: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2002, pp. C33 - C37

Reinhardt, H.-W.: *Autogenous and drying shrinkage of hybrid concrete*. In: Concrete Science and Engineering 4(2002), No. 14, pp. 77-83

Reinhardt, H.-W.: *LCA van bouwmaterialen en gebouwen*. In: Cement 54(2002), No. 4, pp 72-73.
Reinhardt, H.-W., Krüger, M.: *Fine grain concrete panels prestressed with a textile fabric*. In: Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composites (DFRCC). JCI International Workshop, Japan Concrete Institute, October 2002, Takayama, Japan. Japan: 2002, pp. 23-32

Reinhardt, H.-W., Krüger, M., Grosse, C.U.: *Thin plates prestressed with textile reinforcement*. In: Concrete: Materials Science to Application. A Tribute to Surendra P. Shah. USA, Farmington Hills, Michigan: ACI SP-206, 2002, pp. 355-372. - Ed. by Balaguru, P, Naaman, A., Weiss, W.; ISBN 0-87031-075-5

Reinhardt, H.-W., Rück, R.: *Verhalten von Mehrscheiben-Isolierglas bei statischer und stoßartiger Einwirkung*. In: Bauingenieur 77(2002), pp. 498-504

Reinhardt, H.-W.; Aicher, S.: *Holz als Werkstoff, (Holz-)Bruchmechanik*. In: Natürliche Konstruktionen in Raum und Zeit. Norderstedt: BoD - Books on Demand GmbH, 2002, pp. 28-54

Reinhardt, H.-W.; Krüger, M.; Grosse, C.: *Thin plates prestressed with textile reinforcement*. In: Concrete - Material science to application (Ed. P. Balaguru et al.). A Tribute to Surendra P. Shah. USA, Farmington Hills, Michigan: ACI International SP-206-22. 2002, pp. 355-372

Reinhardt, H.-W.; Kümmel, J.: *Rezyklieren von Leichtbeton*. In: Müller, C.; Schießl, P.: Betonwaren mit Recyclingzuschlägen. DAfStb 529. Berlin: Beuth, 2002, S. 75-100

Reinhardt, H.-W.; Pfingstner, A.: *Pore-size determination from penetration tests on concrete with n-decane*. In: Otto Graf Journal 13(2002), pp. 65-76

Reinhardt, H.-W.; Reiner, R.: *Natürliche Konstruktionen in Raum und Zeit*. Norderstedt: BoD - Books on Demand GmbH, 2002. - 454 pp.

Reinhardt, H.-W.; Rück, R.: *Mehrscheiben-Isolierglas unter stossartiger Einwirkung*. In: *Befestigungstechnik, Bewehrungstechnik und.... : Festschrift zu Ehren von Prof. Dr.-Ing. Rolf Eligehausen anlässlich seines 60. Geburtstages ; aktuelle Beiträge aus Forschung und Praxis*. Stuttgart: Ibidem, 2002, pp. 585-598

Ruck, H.-J.: *Entrauschung von Schallemissionssignalen*. In: Beiträge aus der Befestigungstechnik und dem Stahlbau. Stuttgart: ibidem, 2002, S. 291-299

Ruck, H.-J.; Reinhardt, H.-W.: *Anwendung der Wavelet-Transformation in der Signalanalyse*. In: Virtuelle Instrumente in der Praxis. 1. Aufl.. Heidelberg: Hüthig, 2002, S. 92-97

S. Mönning: *Modelling of concrete hydration*. In: Otto Graf Journal 2002(2002), Heft 13, S. 215

Schwarte, J.: *"Werkstoffe im Bauwesen II" - Online*. In: 100-online e-letter (2002), 1, S. 30-31

Schwarte, J.; Schreyer, M.: *Metadata Enhancement of scientific Document Repositories in Civil Engineering*. In: Proceeding of the European Conference on Information and Communication Technology Advances and Innovation in the Knowledge Society - Part B. eSM@RT 2002 in Collaboration with CISEMIC 2002, University of Salford, UK. , 18.-21.11.2002, Salford/Manchester, UK. 2002, pp. 367-374

Spieth, H.; Eligehausen, R.: *Design of post-installed rebar connections*. In: Balazs-Bartos-Cairns-Borosnyoi (Eds.): Proceedings of the 3rd International Symposium held at the Budapest University of Technology and Economics. Bond in Concrete - from research to standards, 20. - 22.11. 2002, Budapest, Hungary. Publishing Company of Budapest University, 2002, S. 439-446

Stegmaier, Michael: *Faserverstärkter Dränbeton: Neuer Werkstoff für den Betonstraßenbau*. In: Beiträge aus der Befestigungstechnik und dem Stahlbetonbau - Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing R. Eligehausen. Stuttgart: ibidem, 2002, S. 313-326

Wais, A.; Bruckner, M.; Lettow, S.: *Nichtlineare Finite Elemente Simulation ausgewählter Stahlbetonbauteile*. In: Beiträge aus der Befestigungstechnik und dem Stahlbetonbau, Festschrift zum 60. Geb. von Prof. Dr.-Ing. R. Eligehausen. Stuttgart: ibidem-Verlag, 2002, S. 341-350

Zilch, K.; Schmidhuber, C.; Quast, U.; Reinhardt, H.-W.; Koptik, J.; Schwarte, J.: *BK:/3: Interaktive Beiträge aus dem Beton-Kalender*. Berlin: Ernst & Sohn, 2002. - ISBN 3-433-02528-2

2003

Aicher, S.; Höfflin, L.; Reinhardt, H.-W.: *Verifizierung versagensrelevanter Dehnungsverteilungen im Bereich runder Durchbrüche in Brettschichtholzträgern*. In: Bautechnik 80(2003), H. 8, S. 523-533

Borrmann, J.; Schwarte, J.: *Einsatz von LORe (Learning Objects Repository) im Institut für Werkstoffe im Bauwesen*. In: Bröckling, C.; Köhler, S.; Schmidt, B.; Schnittker, N. (Red.): Neue Medien in der Aus- und Weiterbildung von Bauingenieuren und Architekten - Tagungsband. Gröbl, P.; TU Darmstadt; Institut für Massivbau, 21.-22. Oktober 2003, TU Darmstadt. Darmstadt: TU Darmstadt - Institut für Massivbau, 2003, Teil B: XIV, S. 1-6

Brameshuber, W., Koster, M., Hegger, J., Voss, S., Gries, T., Barle, M., Reinhardt, H.-W., Krüger, M., : *Textile Reinforced Concrete (TRC) for Integrated Formworks*. In: 12. Internationale Techtex-til-Symposium für technische Textilien, Vliesstoffe und textilarmierte Werkstoffe. Messe Frankfurt GmbH, 07.04.03-10.04.03, Frankfurt. Frankfurt: 2003, 4.23. - CD-Rom

Eligehausen, R.; Fichtner, S.: *Erforderliche Steifigkeit von Ankerplatten*. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag, 2003. - ISBN 3-8167-6515-7

Eligehausen, R.; Hoehler, M.S.: *Testing of post-installed fastenings to concrete structures in seismic regions*. In: fib Symposium on Concrete Structures in Seismic Regions. 6-8 May, 2003, Athens, Greece. 2003

Eligehausen, R.; Simons, I.: *Fastenings with Bonded Anchors and Connections with Post-Installed Rebars*. In: Joining Techniques in the Building Construction Industry. 21st International Symposium on bonding technology, IFF GmbH, January 13-14, 2003, New Munich Trade Fair Center. 2003, p. 1-5

Eligehausen, R.; Simons, I.; Clauss, A.: *Neue Tendenzen auf dem Gebiet der Befestigungstechnik*. In: Neue Perspektiven im Betonbau . 5. Tagung Betonbauteile, HTWK (FH) Leipzig (Prof. K. Holschemacher), 27.05.2003, Leipzig. Berlin: Bauwerk Verlag GmbH, 2003, S. 131-140

Eligehausen, R.; Simons, I.; Clauss, A.: *Neue Tendenzen auf dem Gebiet der Befestigungstechnik*. In: BWI BetonWerk International 11 (2003), Heft 2, S. 132-144

Eligehausen, R.; Vocke, H.; Clauss, A.; Furche, J.; Bauermeister, U.: *Neue Durchstanzbewehrung für Elementdecken*. In: Beton- und Stahlbetonbau 98 (2003), Heft 6, S. 334-344

Finck, F.: *Introduction of a ground penetrating radar system for investigations on concrete structures*. In: Otto-Graf-Journal (2003), Vol. 14, pp. 35-44

Finck, F.; Kurz, J. H.; Grosse, C.; Reinhardt, H.-W.: *Fortschritte in der Datenverarbeitung zur Automatisierung der quantitativen Schallemissionsanalyse*. In: Berichtsband 14. 14. Kolloquium Schallemission, DGZfP, 27.-28.03.2003, Berlin. 2003

Finck, F.; Kurz, J. H.; Grosse, C.; Reinhardt, H.-W.: *Advances in Moment Tensor Inversion for Civil Engineering*. In: Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE), DGZfP und BAM, 16.09.-19.09.2003, Berlin. 2003

Finck, F.; Yamanouchi, M.; Reinhardt, H.-W.; Grosse, C.: *Evaluation of mode I failure of concrete in a splitting test using acoustic emission technique*. In: International Journal of Fracture (2003), Vol. 124, pp. 139-152

Grosse, C.: *Monitoring of large structures using acoustic emission techniques*. In: Symposium: Niet-destructief onderzoek in de bouwsector. 23.10.2003, Antwerpen. 2003, pp. 15-24

Grosse, C. U.; Reinhardt, H.-W., Finck, F.: *Signal-Based Acoustic Emission Techniques in Civil Engineering*. In: Journal of Materials in Civil Engineering (2003), Vol. 15, No. 3, pp. 274-279.

Grosse, C.; Kurz, J.; Finck, F.: *Seismologische Inversionsmethoden für die Schallemissionsanalyse in der Materialprüfung*. In: Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, Jena, 63. Extended Abstract. 2003, pp. 340-341

Grosse, C.; Reinhardt, H.-W.: *New developments in quality control of concrete using ultrasound*. In: Intern. Symposium Non Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE), BB85-CD. 16.09.-19.09.2003, Berlin. Berlin: DGZfP, 2003. - v087 - CD-ROM

Grübl, P.; Encarnação, J.; Franke, L.; Hillemeier, B.; König, G., Mühlhäuser, M.; Reinhardt, H.-W.; Sesink, W.; Setzer, M.J.: *Multimediales Netzwerk zur Wissensvermittlung im Fach „Werkstoffe im Bauwesen“ für die Aus- und Weiterbildung von Bauingenieuren und Architekten*, <http://www.wiba-net.de>. Darmstadt: 2003

H.-W. Reinhardt, M. Stegmaier: *Der Einfluss von Polypropylenfasern auf die mechanischen Eigenschaften von Dränbeton*. In: Straße + Autobahn 54(2003), Nr. 9, S. 504-516

Hainzl, S.; Kurz, J.H.; Ogata, Y.: *Signals of fluid and stress triggering in local earthquake clusters*. In: EOS Trans. AGU, 84 (46). Fall Meet. Suppl.. 2003. - Abstract S52E – 0170

Krüger, M., Ozbolt, J., Reinhardt, H.-W.: *A new 3D discrete bond model to study the influence of bond on the structural performance of thin reinforced and prestressed concrete plates*. In: High Performance Fiber Reinforced Cement Composites (HPFRCC 4). HPFRCC 4, Naaman, A., Reinhardt, H.-W., June 15-18, 2003, Ann Arbor, USA. Rilem, 2003, pp. 49-63

Krüger, M., Ozbolt, J., Reinhardt, H.-W. : *Einfluss des Verbunds auf das Tragverhalten vorgespannter und nicht vorgespannter textilbewehrter Betonplatten*. In: 12. Internationale Techtexil-Symposium für technische Textilien, Vliesstoffe und textilmarmierte Werkstoffe. Messe Frankfurt GmbH, 07.04.03-10.04.03, Frankfurt. Frankfurt: 2003, 4.15

Krüger, M., Reinhardt, H.-W., Yong, X. : *Sulphoaluminate cement matrices used for textile and glass fibre reinforced concrete elements*. In: High Performance Fiber Reinforced Cement Composites (HPFRCC 4). HPFRCC 4, Naaman, A., Reinhardt, H.-W., June 15-18, 2003, Ann Arbor, USA. Rilem, 2003, pp. 349-360

Krüger, M.; Ozbolt, J.; Reinhardt, H.W.: *A new 3D discrete bond model to study the influence of bond on the structural performance of thin reinforced and prestressed concrete plates*. In: Naaman, A.E.; Reinhardt, H.W. (Eds.): *High Performance Fiber Reinforced Cement Composites (HPFRCC4)*. RILEM, 2003, pp. 49-63

Kurz, J.; Finck, F.; Grosse, C.: *Wavelets and Time Series Analysis - an Example for Acoustic Emissions*. In: Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, Jena 63. Extended Abstract. 2003, pp. 342-343

Kurz, J.; Finck, F.; Grosse, C.; Reinhardt, H.-W.: *Automatic analysis of acoustic emission measurements on concrete*. In: Intern. Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE), BB85-CD. Berlin. 2003. - on CD-ROM

Kurz, J.; Ruck, H.-J.; Finck, F.; Grosse, C.; Reinhardt, H.-W.: *Wavelet algorithms for non destructive testing*. In: Intern. Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE), BB85-CD. Berlin. 2003. - on CD-ROM

Kurz, J.H.; Jahr, T.; Jentzsch, G.: *Geodynamic modelling of the recent stress and strain field in the Vogtland/Western Bohemia swarm earthquake area using the finite-element method*. In: *Journal of Geodynamics* (2003), No. 35, pp. 247-258

Kurz, J.H.; Wolter, V.; Bahr, G.; Motz, M.: *Concepts of transient recorder development for acoustic emission analysis*. In: *Otto-Graf-Journal* (2003), Vol. 14, pp. 115-130

Leichti, R.; Kleemann, K.; Simons, I.: *T- and L-Reinforcements for Stability of Metal Plate Connected Wood Truss Webs*. In: *Wood Design Focus* (2003), Volume 13, Number 4, pp. 11-16

Motz, M., Krüger, M., Grosse, C., Haller, P., Beutel, R.: *Impact-Echo: New developments regarding hard- and software*. In: *Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE)*. *Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE)*, DGZfP & BAM, September 16-19, 2003, Berlin. Berlin: 2003

Naaman, A.E.; Reinhardt, H.-W.: *High Performance Fiber Reinforced Cement Composites HPFRCC-4: International RILEM Workshop*. In: *Materials and Structures* 36(2003), S. 710-712

Naaman, A.E.; Reinhardt, H.W. (Eds.): *High Performance Fiber Reinforced Cement Composites (HPFRCC4): RILEM Pro 30*. 2003. - 546 pp.

Reick, M; Eligehausen, R.: *Befestigungen unter Brandbeanspruchung*. In: *Beton- und Stahlbetonbau* 98(2003), Heft 6, Verlag Ernst & Sohn, S. 317 – 325

Reinhardt H.-W.; Ozbolt J.; Mönning S.: *Modellierung der Hydratation von Hybridbetonen mit Hilfe eines modifizierten Ansatzes nach Chaube*. Heft 2003/1: IWB-Mitteilung. IWB: 2003.

Reinhardt, H.-W.: *Ökologische Bauproduktbewertung (GaBi-Projekt)*. In: *Darmstädter Nachhaltigkeitssymposium* (Darmstadt 2003). Darmstadt: 2003, S. V-1 - V-14

- Reinhardt, H.-W.: *Dauerhaftigkeit von Stahlbetonkonstruktionen in feuchter Umgebung*. In: DBV/FhG Tagungsband Praxisseminar „Wasser- und Feuchteschäden im Stahlbetonbau“. 14. November 2003. Stuttgart: 2003, S. 7-16
- Reinhardt, H.-W.: *Otto Graf's Fragen zum Betonstraßenbau - Noch heute aktuell*. In: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, Schriftenreihe Arbeitsgruppe "Betonstraßen", Heft 26, Tagungsband Betonstraßentagung 2003. 2003, S. 5-11
- Reinhardt, H.-W.: *56. RILEM „Annual Week“ 2002*. In: Bauingenieur 78(2003), S. 23
- Reinhardt, H.-W.: *57. RILEM „Annual Week“ 2003*. In: Bauingenieur 78(2003), S. 524
- Reinhardt, H.-W., Krüger, M., Grosse, C.U.: *Concrete Prestressed with Textile Fabric*. In: Journal of Advanced Concrete Technology Vol. 1(2003), No. 3, pp. 231-239
- Reinhardt, H.-W.; Grosse, C.: *Improvement and Application of NDT Methods in Civil Engineering in the Frame of a Collaborative Research Project funded by the German Research Society*. In: Intern. Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE), BB85-CD. 16.09.-19.09.2003, Berlin. Berlin: DGZfP, 2003. - v003 – CD-Rom
- Reinhardt, H.-W.; Grosse, C.; Beutel, R.: *Strukturbestimmung von erhärtenden Bauteilen aus bewehrtem und unbewehrtem Beton mit Hilfe einer modifizierten Impact-Echo-Technik*. Forschergruppe 384, Teilprojekt VIII, Universität Stuttgart, Ergebnisbericht 2001-2003: 2003, pp. 139-154
- Reinhardt, H.-W.; Grosse, C.; Finck, F.; Kurz, J.: *Detektion und Lokalisierung von Rissen und Fehlstellen in Stahlbeton und Faserbeton*. Sonderforschungsbereich 381, Teilprojekt A6, Universität Stuttgart, Ergebnisbericht 2000-2002: 2003, pp. 321-348
- Reinhardt, H.-W.; Jooss, M.: *Permeability and self-healing of cracked concrete as a function of temperature and crack width*. In: Cement and Concrete Research 33(2003), pp. 981-985
- Reinhardt, H.-W.; Jooß, M.: *Wasserspeicher aus UHFB - Technologie*. In: König, G.; Holschemacher, K.; Dehn, F. (Hrsg.): Ultrahochfester Beton - Innovationen im Bauwesen. Berlin: 2003, S. 239-255
- Reinhardt, H.-W.; Jooß, M.: *Permeabilität und Diffusion von Hochleistungsbeton mit und ohne Risse zwischen 20 und 80 °C*. In: 15. ibausil: Tagungsbericht (Weimar 2003), Band 1. 2003, S. 1-0001 - 1-0013
- Reinhardt, H.-W.; Ozbolt, J.; Krüger, M.: *Verbund von Textilien in vorgespanntem Beton*. In: Curbach, M. (Ed.): Proceedings 2nd Colloquium on Textile Reinforced Structures (CTRS2 Dresden 2003). Dresden: 2003, S. 91-99
- Reinhardt, H.-W.; Pfingstner, A.: *Sequentielles Eindringen von zwei Flüssigkeiten in Beton*. In: Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. P. Schießl, Schriftenreihe Baustoffe (2003), Heft 2/2003, S. 339-348. - TU München

Reinhardt, H.-W.; Ruck, H.-J.: *Ultraschallphasenspektroskopie*. In: Jamal, R.; Jaschinski, H. (Hrsg.): *Virtuelle Instrumente in der Praxis*, Begleitband zum Kongress VIP 2003. Hüthig Verlag, 2003, S. 50-54

Reinhardt, H.W.: *Expositionsklassen und Mindestanforderungen an die Betonzusammensetzung. Beitrag 1-1*. In: Erläuterungen zu den Normen DIN EN 206-1, DIN 1045-2, DIN 1045-3, DIN 1045-4 und DIN 4226. DAfStb, Heft 526. Berlin: Beuth, 2003, S. 59-67

Reinhardt, H.W.; Jooss, M.: *Permeability and diffusivity of self-compacting concrete as function of temperature*. In: Wallevik, O.; Nielsson, I. (Eds.): *Self-compacting concrete*. RILEM PRO 33. 2003, pp. 808-817

Rinder, T.: *Hochfester Beton unter Dauerzuglast*. DAfStb Heft 544. Berlin: Ernst & Sohn, 2003.
Ruck, H.-J.; Reinhardt, H.-W.: *Anwendung der Wavelet-Transformation - Analyse von Schallemissionssignalen*. In: *Materialprüfung* 45(2003), 9, S. 382-386

S. Lettow, J. Ozbolt, U. Mayer, R. Eligehausen: *Modellierung des Verbundverhaltens in der Finite Element Analyse von Stahlbetonbauteilen*. In: Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. Peter Schießl. Heft 2/2003: cbm - Centrum Baustoffe und Materialprüfung, Schriftenreihe Baustoffe. München: TUM - Technische Universität München, 2003, S. 161-168. - ISSN 0940-886X

S. Mönning: *Modelling of the hydration of high performance concrete with normal and lightweight aggregates*. In: *Otto Graf Journal* (2003), Heft 14, S.79

Stegmaier, M.: *Fiber reinforced drainage concrete*. In: *Otto-Graf-Journal* Vol. 14(2003), pp. 67-78.
Vocke, H.; Eligehausen, R.: *Durchstanzen von Flachdecken im Bereich von Rand- und Eckstützen*. In: *Beton- und Stahlbetonbau* 98(2003), Heft 2, Verlag Ernst & Sohn, S. 66 – 73

Wüstholtz, Timo: *Fresh properties of self-compacting concrete (SCC)*. In: *Otto Graf Journal*. Vol. 14. 2003, pp. 179-188

2004

Anita Claus: *Analysis of the placement of punching shear reinforcement in flat slabs*. In: Proceedings of the 5th International PhD Symposium in Civil Engineering. 5th International PhD Symposium in Civil Engineering, CEB-fib, 16.-19.6.2004, Delft, The Netherlands. London: A. A. Balkema Publishers, 2004, pp. 67-74

Eligehausen, R.; Fichtner, S.: *Stiffness Requirements for Baseplates*. In: Proceedings of 5th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures. 5th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures, IA-FraMCoS, 12.04.-16.04., Vail, Colorado, USA. Illinois, USA: 2004

Eligehausen, R.; Hofmann, J.; Fuchs, W.: *Quertragfähigkeit randnaher Befestigungsmittel mit Belastung senkrecht zum Bauteilrand*. In: Beton- und Stahlbetonbau 99(2004), Heft 10, S. 806 – 812

F. Heuzea; R. Archuleta; F. Bonilla; S. Day; M. Doroudian; A. Elgamal; S. Gonzales; M. Hoehler; T. Lai; D. Lavalley; B. Lawrence; P.-C. Liu; A. Martin; L. Matesic; B. Minster; R. Mellors; D. Oglesby; S. Park; M. Riemer; J. Steidl; F. Vernon; M. Vucetic; J. Wagoner & Z. Yang: *Estimating site-specific strong earthquake motions*. In: Soil Dynamics and Earthquake Engineering (2004), 24, pp. 199–223

Finck F.; Kurz J.; Grosse C.: *Charakterisierung von Bruchmechanismen in der Schallemissionsanalyse*. In: DACH Jahrestagung 2004, Salzburg, Österreich, BD89. DGZfP. Berlin: 2004.

Finck, F.; Grosse, C.; Reinhardt, H.-W.: *Investigation of fracture processes using moment tensor inversion technique*. Proc. EWGAE 2004 symposium in Berlin, DGZfP. Bd. 90. Berlin: 2004, pp. 761-772

Finck, F.; Manthei, G.: *On near-field effects in signal based acoustic emission analysis*. In: Otto-Graf-Journal (2004), Vol. 15, pp. 121-133

Finck. F; Grosse C.; Reinhardt H.-W.: *Investigation of fracture processes using moment tensor inversion technique*. In: EWGAE Symposium 2004, Berlin, BB90. DGZfP, Berlin. 2004, pp. 761-772

Grosse C.; Beutel R.; Krüger M.; Kurz J.; Schubert F.: *Verbesserung des Impact-Echo-Verfahrens hinsichtlich Riss- und Fehlstellenerkennung*. In: DACH Jahrestagung 2004, Salzburg, Österreich, BB89. DGZfP. Berlin: 2004

Grosse C.; Finck F.; Hidalgo R. Cruz: *Stress transmission in compressed granular materials evaluated by acoustic emission techniques*. In: 26th European Conference on Acoustic Emission Testing (EWGAE), BB90. DGZfP, Berlin. 2004, pp. 885-892

Grosse C.; Finck F.; Kurz J.; Reinhardt H.-W.: *Monitoring techniques based on wireless AE sensors for large structures in civil engineering*. In: EWGAE Symposium 2004, Berlin, BB90. DGZfP, Berlin. 2004, pp. 843-856

Grosse C.; Finck F.; Kurz J.; Reinhardt H.-W.: *Improvements of AE technique using wavelet algorithms, coherence functions and automatic data analysis techniques*. In: Construction and Building Materials 18(2004), no. 3, pp. 203-213

Grosse, C.: *Qualitätssicherung von Frischbeton mit Ultraschall*. In: Bauphysikkalender. Berlin: Ernst & Sohn, 2004, pp. 397-403

Grosse, C.: *Bauphysik: Stichworte zur Vorlesung*. SS 2004, 2003. FH-Biberach, Fachbereich Gebäudetechnik und Projektmanagement (Bau): 2004. - 42 p. (see <http://www.iwb.uni-stuttgart.de/grosse/biberach.htm>)

Grosse, C.; Beutel, R.; Krüger, M.; Kurz, J.; Schubert, F.: *Verbesserung des Impact-Echo-Verfahrens hinsichtlich Riss- und Fehlstellenerkennung*. Proc. DACH Jahrestagung 2004, Salzburg, Österreich, DGZfP. Bd. 89. Berlin: 2004

Grosse, C.; Finck, F.; Hildago, R. Cruz: *Stress transmission in compressed granular materials evaluated by acoustic emission techniques*. Proc. 26th European Conference on Acoustic Emission Testing (EWGAE), DGZfP. Bd. 90. Berlin: 2004, pp. 885-892

Grosse, C.; Finck, F.; Kurz, J.; Reinhardt, H.-W.: *Monitoring techniques based on wireless AE sensors for large structures in civil engineering*. Proc. EWGAE 2004 symposium in Berlin, DGZfP. Bd. 90. Berlin: 2004, pp. 843-856

Grosse, C.; Reinhardt, H.-W.; Beutel, R.: *Impact-Echo Measurement on Fresh and Hardening Concrete*. In: Kovler, K.; Marchand, J.; Mindess, S.; Weiss, J. (Eds.): Concrete Science and Engineering, RILEM PRO 36. RILEM Publ. S.A.R.L., 2004, pp. 95-104

Isabelle Simons: *Connections with post-installed rebars under seismic loading*. In: Proceedings of the 5th International PhD Symposium in Civil Engineering. 5 th International PhD Symposium in Civil Engineering, CEB-FIP, 16.-19.6.2004, Delft, The Netherlands. London: A.A. Balkema Publishers, 2004, pp. 57-65

J. Appl, R. Eligehausen, J. Ozbolt: *Behaviour of lapped splices with headed reinforcement*. In: Walraven, Blaauwendraad, Scarpas, Snijder. 5 th International PhD Symposium in Civil Engineering, 16.06-19.06.2004, Delft, Niederlande. Niederlande: A.A. Balkema Publishers, 2004, pp 1419 bis 1424

Krüger M.; Grosse C.: *Structural health monitoring with wireless sensor networks*. In: Otto-Graf-Journal (2004), No. 14, pp. 77-90

Krüger, M., Große, C.U.: *Structural Health Monitoring with Wireless Sensor Networks*. Vol. 15 2004: Otto-Graf-Journal. Stuttgart: 2004. - ISSN 0938-409X

Krüger, M.; Grosse, C.: *Structural health monitoring with wireless sensor networks*. Otto-Graf-Journal. 14. 2004, pp. 77-90

Krüger, M.; Reinhardt, H.-W.: *Vorgespannte Bauteile aus textildbewehrtem Beton*. In: Beton- und Stahlbetonbau 99(2004), H. 6, pp. 472-475

Kurz J.; Finck F.; Grosse C.; Reinhardt H.-W.: *Similarity matrices as a new feature for acoustic emission analysis of concrete*. In: 26th European Conference on Acoustic Emission Testing, DGZfP (Berlin 2004). Berlin: DGZfP (Berichtsband 90-CD), 2004, pp. 947-958

Kurz J.; Finck F.; Grosse C.; Reinhardt H.-W.: *Ansätze von Monitoring von Betonbauwerken mit der Schallemissionsanalyse*. In: DACH Jahrestagung 2004, Salzburg, Österreich, BD89. DGZfP. Berlin: 2004

Kurz, J.; Finck, F.; Grosse, C.; Reinhardt, H.-W.: *Similarity matrices as a new feature for acoustic emission analysis of concrete. Proc EWGAE 2004 symposium in Berlin; DGZfP. Bd 90*. Berlin: 2004, pp. 843-856

Kurz, J.H.: *Signal conditioning of acoustic emissions and ultrasound signals - mind the traps*. In: Otto-Graf-Journal (2004), Vol. 15, pp. 76-93

Kurz, J.H.; Jahr, T.; Jentzsch, G.: *Earthquake swarm examples and a look at the generation mechanism of the Vogtland/Western Bohemia earthquake swarms*. In: Physics of the Earth and Planetary Interiors (2004), Vol. 142 (1-2), pp. 75-88

Mallée, R.; Simons, I.; Eligehausen, R.: *Anschluss finden - Bemessung mit eingemörtelten Bewehrungsstäben*. In: fischer connect it (2004), Ausgabe 4, S. 4-11

Naaman, A.E.; Reinhardt, H.W.: *Fiber reinforced concrete: current needs for successful implementation*. In: Ahmad, S.; di Prisco, M.; Meyer, C.; Plizzari, G.A.; Shah, S. (Eds.): Fiber reinforced concrete from theory to practice, Int. Workshop on Advances in Fiber Reinforced Concrete (BEFIB 2004), Bergamo, Sept. 2004. 2004, S. 151-155

Naujoks, M.; Jahr, T.; Jentzsch, G.; Kurz, J.H.: *Den Schwarmbeben auf der Spur: Vergleichende geodynamische Modellierungen zu Kenia Rift und Vogtland*. In: 16. deutschsprachige Abaqus Benutzerkonferenz. 20.-21. September 2004, Königswinter. 2004

R. Eligehausen; L. Mattis; R. Wollmershauser & M. S. Hoehler: *Testing anchors in cracked concrete – Guidance for testing laboratories: how to generate cracks*. In: Concrete International (2004), 26(07), 66-71

R.Eligehausen, J.J. Appl, B. Lehr, J. Meszaros, W. Fuchs: *Tragverhalten und Bemessung von Befestigungen mit Verbunddübeln unter Zugbeanspruchung Teil 1: Einzeldübel mit großem Achs- abstand*. In: Beton- und Stahlbetonbau 99(2004), 7, S.561-571

Reinhardt, H.-W.: *Mens agitat molem - Otto Graf forschte auf vielen Gebieten des Bauwesens*. In: Die Universität Stuttgart nach 1945. Universität Stuttgart: Thorbecke Verlag, 2004, S. 140-145
Reinhardt, H.-W.: *Beton*. In: Bergmeister, K.; Wörner, H.-D. (Hrsg.): Beton-Kalender 2005. Teil 2. 94. Jahrg. Berlin: Ernst & Sohn, 2004, S. 1-142

Reinhardt, H.-W.: *Otto Graf's Fragen zum Betonstraßenbau - Noch heute aktuell*. In: Straße + Autobahn 55(2004), Nr. 3, S. 142-150

Reinhardt, H.-W.: *58. RILEM "Annual Week" 2004*. In: Bauingenieur 79(2004), S. 515.

Reinhardt, H.-W.: *Development of concrete construction in Europe*. In: Otto Graf Journal 15(2004), pp. 9-31

Reinhardt, H.-W.: *Werkstoffe - verstehen und anwenden. Festvortrag anl. der Verleihung der Ehrendoktorwürde an Prof. Reinhardt*. In: Braunschweiger Universitätsreden 30(2004), S. 20-44

Reinhardt, H.-W.; Grosse, C.: *Continuous monitoring of setting and hardening of mortar and concrete*. In: Construction and Building Materials 18(2004), no. 3, pp. 145-154

Reinhardt, H.-W.; Weiß, G.: *Demontables Deckensystem*. In: Beton + Fertigteil-Jahrbuch 2005. 53. Ausgabe. Gütersloh: Bauverlag, 2004, pp. 138-142

Reinhardt, H.W.; Jooss, M.: *Permeability and diffusivity of high performance concrete with and without cracks*. In: Ying-shu Yuan, S.P. Shah, Heng-lin Lü (Eds.): Advances in concrete and structures, Proc. of the Intern. Conf. ICACS 2003, Xuzhou, China, RILEM PRO 32, Vol. 1. 2004, pp 32-43

Reinhardt, H.W.; Krüger, M.: *Prestressed concrete plates with high strength fabric*. In: Di Prisco, M.; Felicetti, R.; Plizzari, G. A.: Fibre-reinforced concretes. 6th RILEM Symposium BEFIB 2004, Varenna, Italy, Vol. 1. 2004, pp. 187-196

Reinhardt, H.W.; Weiss, G.: *Aluminiumschaum in Kombination mit Beton für den Fertigteilbau - eine Utopie?*. In: Tue, N.V.; Dehn, F. (Hrsg.): Erfahrung und Zukunft des Bauens. Schriftenreihe des Institut für Massivbau und Baustofftechnologie. Universität Leipzig, 2004, pp. 85-94

Reinhardt, H.W.; Weiss, G.: *Demountable concrete structures with aluminium foam as joint material*. In: Kashino, N.; Ohama, Y. (Eds.): Environment-conscious materials and systems for sustainable development, Proceedings of the Intern Symposium (Koriyama 2004). Cachan. RILEM (PRO xx), 2004, pp. 265-275

Rinder, T.; Reinhardt, H.-W.: *Zeitstandzugfestigkeit von hochfestem Beton*. In: Beton 54(2004), Nr. 7 + 8, S. 360-367

Ruck, H.-J.; Kurz, J. H.; Reinhardt, H.-W.: *Strategien zur Bestimmung des Ersteinsatzes von Messsignalen*. In: Jamal, R.; Jaschinski, H. (Hrsg.): Virtuelle Instrumente in der Praxis, Begleitband zum Kongress VIP 2004. Hüthig Verlag, 2004, S. 53-57

Ruck, H.-J.; Kurz, J.H.; Reinhardt, H.-W.: *Stratgien zur Bestimmung des Ersteinsatzes von Messsignalen*. In: Begleitband zum Kongress Virtuelle Instrumente in der Praxis, R. Jamal & H. Jaschinsky (Ed.). Reihe: Praxiswissen Elektronik Industrie. Hüthig Verlag, 2004, pp. 53-58. - ISBN 3-7785-2932-3

S. Lettow (Supervisors J. Ozbolt, R. Eligehausen): *The Simulation of Bond between Concrete and Reinforcement in Nonlinear Three-dimensional Finite Element Analysis*. In: Proceedings of the 5th International PhD Symposium in Civil Engineering. Volume 2. Eds.: J. Walraven, J. Blaauwendraad, T. Scarpas, B.: Snijder. Delft, The Netherlands: A.A. Balkema Publishers, 2004, 757-764. - ISBN 90 5809 678 5

S. Lettow, U. Mayer, J. Ozbolt, R. Eligehausen: *Bond of RC members using nonlinear 3D FE analysis*. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures. FraMCoS 5, Eds.: V.C. Li, C.K.Y. Leung, K.J. Willam, S.L. Billington, 12-16 April, Vail, Colorado, USA. 2004, pp. 861-868. - ISBN 0-87031-135-2

Schubert F.; Wiggenhauser H.; Gardei A.; Lausch R.; Grosse C.; Beutel R.: *Bildgebende Darstellung von Impact-Echo-Daten bei der zerstörungsfreien Betonprüfung*. In: DACH Jahrestagung 2004, Salzburg, Österreich, BB89. DGZfP. Berlin: 2004

Stegmaier, M.; Reinhardt, H.-W.: *Fire behaviour of plain self-compacting concrete (SCC)*. In: Otto Graf Journal 15(2004), pp. 33-42

Xu, S.; Krüger, M.; Reinhardt, H.W.; Ozbolt, J.: *Bond characteristics of carbon, alkali resistant glass, and aramid textiles in mortar*. In: Journal of Materials in Civil Engineering 16(2004), No. 4, pp. 356-364

Xu, Shilang; Reinhardt, H.W. : *Double-K parameters and the cohesive-stress-based K_R curve for the negative geometry*. In: V.C. Li, C.K.Y. Leung, K.J. Willam, S.L. Billington (Eds.) „Fracture mechanics of concrete structures“, Proc. of 5th Intern. Conf. on Fracture mechanics of concrete structures 2004, Vail, USA, Vol. 1. 2004, pp. 423-430

DIPLOMARBEITEN**2002**

Nr.	Kandidat	Betreuer	Thema
1	Köhler, Anja	Rinder	Hochleistungsbeton: Mechanische Kennwerte und Einsatz in der Praxis
2	Vogel, Markus	Prof. Horn	Kulturzentrum Großbottwar
3	Russ, Manfred	Prof. Eyerer	Erstellung einer standortspezifischen Ökobilanz für das Daimler-Chrysler-Werk Rastatt
4	Bückert, Rudolf	Krüger	Zugversuche an vorgespannten und nicht vorgespannten, textilbewehrten Betonplattenstreifen
5	Gkarvanos, Alexandros	Dr. Jooß	Selbstverdichtender Beton unter Einsatz lokaler Ausgangsstoffe – Mischungsstabilität bei Variation der Sieblinie
6	Wüstner, Jörg	Kraus	Tragverhalten von Ankerschienen
7	Ranger, Jochen	Hofmann	Befestigungsmittel unter Querlast
8	Wais, Axel	Lettow	Nichtlineare Finite Elemente – Simulation ausgewählter Beton- und Stahlbetonbauteile
9	Kalantidou, Lukia	Prof. Horn	Alte Mühle Aldingen – Treffpunkt der Generationen
10	Ioakeimidou, Desponi	Dr. Menzel	Einfluss von Altsanierungen auf die Ergebnisse der Potentialfeldmessung
11	Mönnig, Sven	Dr. Ozbolt	Modellierung des Hydratationsverlaufes von Beton
12	Stern, Tilman	Meyer	Dübelgruppen und Einfluss des Rand- und Achsabstands von Injektionsdübeln im Mauerwerk
13	Mössle, Jörg	Küenzlen	Tragverhalten von Schraubdübeln in ungerissenem Beton – Untersuchung verschiedener Einflüsse auf das Tragverhalten und Entwicklung eines Finite-Elemente-Modells
14	Eckert-Schwegler, Christine	Bruckner	Ausgesuchte Beispiele von Rahmenecken und Rahmenknoten – Bemessung nach Kordina mittels Stabwerkmodellen
15	Berwanger, Karin	Dr. Schwarte	Schadensmechanismen an den Deckenplatten des Olympiadaches in München
16	Wengert, Michael	Prof. Horn	Ehemalige Brauerei Boxberg-Schwabhausen – Umnutzung als Bildungs- und Tagungsstätte
17	Lötterle, Clemens	Hoffmann	Durchstanzen von Flachdecken im Bereich der Eckstützen
17	Luft, Maren	Fink Dr. Große	Kalibrierung von piezoelektrischen Schwingungssensoren
18	Roth, Sandra	Stegmaier	Faserbewehrter Dränbeton – Optimierung der Mischungszusammensetzung

2003

Nr.	Kandidat	Betreuer	Thema
1	Bossert, Joachim	Ozbolt / Grassegger	Numerische Simulation an kunstharzvollgetränkten Objekten in der Denkmalpflege – FE Berechnungen zur thermomechanischen Interaktion
2	Kitsakis, Aristotelis	Wüstholtz	Selbstverdichtender Beton unter Einsatz lokaler Ausgangstoffe – Mischungsstabilität bei Variation der Zementart und Zementmenge
3	Pflumm, Stephan	Simons	Eingemörtelte Bewehrungsstäbe unter zyklischer Beanspruchung
4	Leuze, Christiane	Beutel	Zerstörungsfreie Prüfung von Frischbeton mit der Impact-Echo-Methode – Gleichzeitige Stimmung der Dicke und des Erhärtungsgrades
5	Brünninghaus, Kerstin	Krüger	Untersuchungen zur Beständigkeit textiler Faser in zementgebundenen Systemen auf der Basis von Sulfoaluminatzementen
6	Saada, Tarek	Krüger	Finite-Element-Simulationen von textiler Bewehrung in Beton unter Verwendung eines diskreten Verbundmodells
7	Rüdinger, Karin	Hofmann	Numerische Simulation von Verbunddübel unter Quer- und Torsionsbelastung
8	Hartmann, Christian	Finck	Charakterisierung von Quellmechanismen an Modellversuchen mit Hilfe der Schallemissionsanalyse
9	Böttiger, Harald	Krüger	4-Punkt-Biegeversuche an vorgespannten und nicht vorgespannten textilbewehrten Betonplatten
10	Iakimov, Momtchil	Krüger	Untersuchungen zum Brandverhalten von textilbewehrten Betonelementen
11	Schillinger, Peter	Meyer	Einfluss des Randabstandes von Injektionsdübeln im Mauerwerk aus Kalksandlochsteinen und Leichtbetonhohlblöcken
12	Sönmez, Hüseyin	Ruck	Anwendung der Ultraschall-Phasenspektroskopie
13	Topic, Suzana	Prof. Horn	Nachhaltige Instandhaltungsanalyse für die Gebäude Eichhornstraße 3 (C1) und Linkstr. 4 (B6) am Potsdamer Platz Prognose und Entwicklung
14	Maier, Franz-Josef	Aicher	Versuche an geklebten Lastenverbindungen mit OSB-Platten
15	Rosenbusch, Nico	Kurz	Entwicklung eines Programmes zur Bestimmung von Ersteinsätzen und Amplituden sowie zur 3D-Lokalisierung von Schallemissionen
16	Schilling, Christian	Reinhardt / Wüstholtz	Hochfließfähige Betone in der Produktion
17	Weichert, Dina	Eligehausen	Behavior of Embedments with Shear Lugs.

2004

Nr.	Kandidat	Betreuer	Thema
1	Zoller, Burkhard	Bruckner	Untersuchung zum Einfluss der Ankerkopfstellung, des Bewehrungsgrades und der konstruktiven Bügelbewehrung auf das Tragverhalten einer mit Ankerbolzen bewehrten Rahmenecke
2	Bohnacker, Tobias (Gwl)	Radovic	Leistungssteigerung von Stabdübel- und Gewindebolzenverbindungen am Holzbau durch zusätzliche Verklebung
3	Gaspar, Angela	Grassegger-Schön	Nachträgliche Abdichtungstechniken zur Sanierung aufsteigender Mauerfeuchte an Baudenkmälern, Literaturlauswertung und Vorüberlegungen zur datentechnischen Aufbereitung
4	Gaissert, Daniel	Wüstholtz	Rheologische Untersuchungen an Selbstverdichtendem Beton unter Verwendung des Frischbetonrheometers „BTRHEOM“
5	Kircher, Hannes	Clauss	Durchstanzen von Flachbetondecken mit Doppelkopfbolzen
6	Diler, Seref	Wüstholtz	Rissneigung von selbstverdichtendem Beton bei frühem Austrocknen im Luftzug
7	Karinoglou, Georgios	Lettow	Versuchskörper zur Untersuchung des Verbundverhaltens zwischen Bewehrung und Beton
8	Vassiliou, Chrisoula	Beutel	Anwendung des Impact-Echo-Verfahrens in der Praxis
9	Asel, Tim	Finck	Schallemissionsanalyse zum Vergleich des Versagens von Beton und Stahlfaserbeton am einseitig belasteten Auflager
10	Szabo, Mirjam	Finck	Untersuchung ausgewählter Strukturelemente eines Betonbauwerks mit Hilfe des Radarverfahrens
11	Strauß, Christian	Beutel	Untersuchung des Erstarrungs- und Erhärtungsverlaufs von Beton mit dem Impact-Echo-Verfahren
12	Kirtzakis, Vassilios	Simons	Experimentelle Untersuchungen an eingemörtelten Bewehrungsstäben unter monotoner Belastung
13	Kodas, Güven	Wüstholtz	Rheologische Untersuchungen an Selbstverdichtendem Beton unter Verwendung des Frischbetonrheometers „BTRHEOM“
14	Wu, Xuan	Prof. Nürnberger	Kenntnisse zum Einsatz nichtrostender Stähle bei hinterlüfteten Außenwandverkleidungen
15	Kretschmar, Markus	Simons	Tragverhalten von eingemörtelten Bewehrungsstäben unter zyklischer Belastung im ungerissenen und gerissenen Beton

DISSERTATIONEN / THESES**Bernhard Lehr**

Tragverhalten von Gruppenbefestigungen am Bauteilrand mit Verbundankern unter zentrischer Belastung

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Rolf Eligehausen

Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Konrad Bergmeister

Tag der mündlichen Prüfung: 08.02.2002 / IWB-Mitteilungen 2003/1

Henrik Vocke

Zum Durchstanzen von Flachdecken im Bereich von Rand- und Eckstützen

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Rolf Eligehausen

Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Joseph Hegger

Tag der mündlichen Prüfung: 26.02.2002 / IWB-Mitteilungen 2002/2

Hannes Spieth

Tragverhalten und Bemessung von eingemörtelten Bewehrungsstäben

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Rolf Eligehausen

1. Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Konrad Bergmeister

2. Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Balthasar Novák

Tag der mündlichen Prüfung: 15.05.2002 / IWB-Mitteilungen 2002/3

Marcus Schreyer

met@BiM - Ein semantisches Datenmodell für Baustoff-Informationen im World Wide Web (Anwendungen für Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung)

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Hans-Wolf Reinhardt

Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Peter Grübl

Tag der mündlichen Prüfung: 29.05.2002 / IWB-Mitteilungen 2002/5

Josef Kraus

Tragverhalten und Bemessung von Ankerschienen unter zentrischer Zugbelastung

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Rolf Eligehausen

Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Konrad Bergmeister

Tag der mündlichen Prüfung: 08.07.2002 / <http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2003/1350/>

Georg Weiß

Zu Deckenscheiben zusammengespannte Stahlbetonfertigteile für demontable Gebäude

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Hans-Wolf Reinhardt

Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Werner Sobek

Tag der mündlichen Prüfung: 11.12.2002 / DAfStb Heft 546

Tassilo Rinder

Hochfester Beton unter Dauerzuglast

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Hans-Wolf Reinhardt

Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Balthasar Novák

Tag der mündlichen Prüfung: 17.12.2002 / DAfStb Heft 544

Thilo Pregartner

Tragverhalten von Kunststoffdübeln im ungerissenen und gerissenen Beton

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Rolf Eligehausen

Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Peter Eyerer

Tag der mündlichen Prüfung: 21.05.2003 / IWB-Mitteilungen 2003/2

Alexander Herb

Indirekte Beobachtung des Erstarrens und Erhärtens von Zementleim, Mörtel und Beton mit der Schallwellenausbreitung

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Hans-Wolf Reinhardt

Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Harald Schorn

Tag der mündlichen Prüfung: 13.08.2003 / <http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2003/1509/>

Jürgen H. R. Küenzlen

Tragverhalten von Schraubdübeln unter zentrischer Kurzzeitbelastung

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Rolf Eligehausen

Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Konrad Bergmeister

Tag der mündlichen Prüfung: 06.07.2004

Markus Krüger

Vorgespannter textildbewehrter Beton

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Hans-Wolf Reinhardt

1. Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Brameshuber

2. Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Balthasar Novák

Tag der mündlichen Prüfung: 07.07.2004 / <http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2004/1985/>

Jan Hofmann

Tragverhalten und Bemessung von Befestigungen unter beliebiger Querbelastung in ungerissem Beton

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Rolf Eligehausen

1. Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Konrad Bergmeister

2. Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann

Tag der mündlichen Prüfung: 04.10.2004

PERSONAL / STAFF**Institutsleitung**

Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Dr.-Ing. E.h. Hans-Wolf Reinhardt	Geschäftsführender Direktor
Prof. Dr.-Ing. Rolf Eligehausen	Stellvertretender Direktor
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing Dr.-Ing. .E.h., Dr.h.c. Gallus Rehm (emeritiert)	
Hella Schmidt	Sekretariat Prof. Reinhardt
Silvia Choynacki	Sekretariat Prof. Eligehausen
Engela Korkowski	Sekretariat Prof. Eligehausen

Honorarprofessoren, Außerplanmäßige Professoren, Hochschuldozenten

Prof. Dipl.-Ing. Carl Theodor Horn	Honorarprofessor
Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Manns	Honorarprofessor, MPA
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulf Nürnberger	Außerplanmäßiger Professor, MPA
Dr.-Ing. habil. Josko Ozbolt	Hochschuldozent

Abteilung Werkstoffe und Konstruktion, Wissenschaftliche Mitarbeiter

Beutel, Ralf	Dipl.-Ing.	
Borrmann, Jens	Dipl.-Ing.	
Finck, Florian	Dipl.-Geophys.	
Große, Christian	Dr.-Ing.	
Herb, Alexander	Dr.-Ing.	bis 30.04.03
Herterich, Uwe	Dr. rer. nat.	seit 16.09.2002
Höfflin, Lilian	Dipl.-Ing.	von 01.09.-31.12.2003
Jarczyński, Manfred	Dipl.-Phys.	bis 30.04.2002
Jooß, Martin	Dr.-Ing.	bis 30.04.2002
Kalka, Dirk	Dipl.-Ing.	von 01.01.-31.03.2004
Krüger, Markus	Dr.-Ing.	
Mönnig, Sven	Dipl.-Ing.	seit 01.06.2002
Pfingstner, Arno	Dipl.-Ing.	bis 30.06.2002
Rinder, Tassilo	Dr.-Ing.	
Ruck, Hans-Jürgen	Dipl.-Phys.	bis 31.12.2003
Saukh, Olga	M.Sc.	ab 01.11.2004
Schreyer, Marcus	Dr.-Ing.	bis 31.05.2002
Schwarte, Joachim AOR	Dr.-Ing.	
Stegmaier, Michael	Dipl.-Ing.	
Weiß, Georg	Dipl.-Ing.	bis 31.05.2002
Wüstholtz, Timo	Dipl.-Ing.	
Xu, Shilang	Dr.-Ing.	von 01.09.2002 bis 31.12.2003

Abteilung Befestigungstechnik, Wissenschaftliche Mitarbeiter

Appl, Jörg	Dipl.-Ing.	
Baumberger, Sonja	Dipl.-Ing.	von 16.06. bis 31.08.2003
Bezecny, Lubor	Dipl.-Ing.	
Bruckner, Markus	Dipl.-Ing.	bis 30.06.2003
Chau, Chung Kong	Dr.-Ing.	bis 31.03.2002
Fichtner, Stefan	Dipl.-Ing.	
Fuchs, Werner	Dr.-Ing.	
Grewin, Yvonne	Dipl.-Ing.	bis 31.03.2004
Hoehler, Matthew	M.Sc.	
Hofmann, Jan	Dr.-Ing.	bis 30.06.2004
Hüer, Thorsten	Dipl.-Ing.	
Kraus, Josef	Dr.-Ing.	bis 28.02.2002
Krausz, Karoly	Dr.-Ing.	bis 31.03.2002
Küenzlen, Jürgen	Dr.-Ing.	bis 30.09.2003
Lettow, Steffen	Dipl.-Ing.	
Lin, Yong-Zhi	Dr.-Ing.	
Lutz, Clemens	Dipl.-Ing.	bis 15.01.2003
Maliha, Ramzi	Dipl.-Ing.	seit 01.03.2002
Mayer, Utz	Dr.-Ing.	bis 30.09.2003
Meyer, Andrea	Dipl.-Ing.	
Periskic, Goran	Dipl.-Ing.	seit 15.02.2004
Potthoff, Michael	Dipl.-Ing.	
Pregartner, Thilo	Dr.-Ing.	bis 30.06.2003
Röble, Kerstin	Dipl.-Ing.	
Röble, Michael	Dipl.-Ing.	bis 30.06.2004
Simons, Isabelle	Dipl.-Ing.	
Schlottke, Bernd AOR	Dipl.-Ing.	
Schmid, Klaus	Dipl.-Ing.	
Schneider, Josef	Dipl.-Ing.(FH)	seit 01.12.2004
Spieth, Hannes	Dipl.-Ing.	bis 31.07.2002
Welz, Georg	Dipl.-Ing.	seit 15.01.2004

Nichtwissenschaftliche Mitarbeiter

Bahr, Gerhard		
Baur, Gisela		
Choyacki, Silvia		
Geiger, Paul		
Korkowski, Engela		seit 04.07.2002
Langenfeld, Mike		seit 01.01.2002
Lindenmeier, Eugen		
Maier, Regina		bis 31.12.2002
Neumann, Meike		von 01.11.2002 bis 28.02.2003
Nörren, Hartmut		bis 31.10.2002
Schattmann, Karin		bis 30.06.2002

Scherf, Peter

Schmidt, Hella

Schmidt, Markus

seit 01.09.2003

Washington, Luis Oscar

Werner, Monika

Wippler, Walter

bis 31.07.2003

Verzeichnis

der bisher in der Schriftenreihe „IWB-Mitteilungen“ erschienenen Hefte:

- 1986/1 Institutsbericht 1983-1985 Activities
- 1987/1 Verdrehfähigkeit plastizierter Tragwerksbereiche im Stahlbetonbau, von Peter Langer
- 1987/2 Jahresbericht 1986 Activities
- 1987/3 Übertragbarkeit von Werkstoffkennwerten bei Glasfaser-Harz-Verbundstäben, von G. Rehm und B. Schlottke
- 1988/1 Zum Tragverhalten kunstharzgebundener Glasfaserstäbe im Bereich von Endverankerungen und Rissen in Beton, von Martin Faoro
(ISBN 3-9801833-0-0)
- 1988/2 Einfluß der Stahlkennlinie auf den möglichen Grad der Schnittkraftumlagerung bei Stahlbetontragwerken
Teil 1: Theoretische Untersuchungen, von R. Eligehausen, H. Kreller
Teil 2: Versuchsbericht, von R. Eligehausen, H. Kreller, P. Langer
(ISBN 3-9801833-1-9)
- 1989/1 Beiträge zur Befestigungstechnik
- Moderne Befestigungstechnik im Bauwesen - Systeme und Anwendungsbedingungen, von R. Eligehausen, W. Fuchs, M. Reuter
- Tragverhalten von Dübelbefestigungen bei Zugbeanspruchung - Loadbearing Behaviour of Anchor Fastenings in Tension, von R. Eligehausen, W. Fuchs, B. Mayer
- Tragverhalten von Dübelbefestigungen bei Querzug-, Schrägzug- und Biegebeanspruchung - Loadbearing Behaviour of Anchor Fastenings under Shear, Combined Tension and Shear or Flexural Loading, von R. Eligehausen, W. Fuchs
- Bemessung von Befestigungen mit Stahldübeln - Zukünftiges Konzept - design of Fastenings with Steel Anchors - Future Concept, von R. Eligehausen
- 1989/2 Zum Weiterreißverhalten von beschichteten Geweben, von Walter Bidmon
(ISBN 3-9801833-2-7)
- 1989/3 Zum Tragverhalten von Übergreifungsstößen in Stahlbetonbauteilen bei Brandeinwirkung, von Roland Gerster
(ISBN 3-9801833-3-5)
- 1989/4 Zum nichtlinearen Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen unter Last- und Zwangeinwirkung, von Helmut Kreller
(ISBN 3-9801833-4-3)
- 1989/5 Untersuchungen zum Verbundverhalten gerippter Bewehrungsstäbe mit praxisüblicher Betondeckung, von Rolf Eligehausen, Helmut Kreller, Peter Langer
(ISBN 3-9801833-5-1)
- 1989/6 Jahresbericht 1987-1988 Activities
- 1990/1 SBETA Computer Program for Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Structures, von V. Cervenka, R. Eligehausen, R. Pukl
(ISBN 3-9801833-6-X)
- 1990/2 Tragverhalten von Befestigungen unter Querlast in ungerissenem Beton, von Werner Fuchs
(ISBN 3-9801833-7-8)
- 1991/1 Funktionsersatzprüfungen für die Beurteilung der Eignung von kraftkontrolliert spreizenden Dübeln, von Burkhard Mayer
(ISBN 3-9801833-8-6)
- 1991/2 Jahresbericht 1989-1990 Activities
- 1992/1 Zur Korrosion von verzinktem Stahl in Kontakt mit Beton, von Klaus Menzel
(ISBN 3-9801833-9-4)
- 1993/1 Tragverhalten und Anwendung von Dübeln unter oftmals wiederholter Belastung, von Dieter Lotze
(ISBN 3-9803044-0-X)

- 1994/1 Tragverhalten von randfernen Kopfbolzenverankerungen bei Betonbruch, von Guochen Zhao (ISBN 3-9803044-2-6)
- 1994/2 Zum Trag- und Verschiebungsverhalten von Kopfbolzen bei zentrischem Zug, von Johannes Furcher (ISBN 3-9803044-3-4)
- 1994/3 Tragverhalten von Metallspreizübeln im ungerissenen und gerissenen Beton bei der Versagensart Herausziehen, von Rolf Lehmann (ISBN 3-9803044-1-8)
- 1994/4 Ein energetisches Materialmodell zur Berechnung des Tragverhaltens von zugbeanspruchtem Beton, von Gottfried Sawade (ISBN 3-9803044-4-2)
- 1994/5 Zur bruchmechanischen Modellierung des Kurzzeit-Bruchverhaltens von Holz im Rißöffnungsmodus I, von Tino Schatz (ISBN 3-9803044-5-0)
- 1995/1 Rotationsfähigkeit von plastischen Gelenken im Stahl- und Spannbetonbau, von Longfei Li (ISBN 3-9803044-6-9)
- 1995/2 Maßstabeffekt und Duktilität von Beton- und Stahlbetonkonstruktionen, von Josko Ozbolt (ISBN 3-9803044-7-7)
- 1995/3 Jahresbericht 1993-1995 Activities
- 1996/1 Gas Permeability as a Means to Assess The Performance Properties of Concrete, von Abebe Dinku (ISBN 3-9803044-8-5)
- 1996/2 Nachbehandlungsunempfindlicher Hochleistungsbeton, von Silvia Weber (ISBN 3-9803044-9-3)
- 1996/3 Zum Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetontragwerken unter Betriebsbelastung, von Thomas M. Sippel (ISBN 3-9805102-0-4)
- 1996/4 Tragverhalten von Ankerschienen ohne Rückhängebewehrung, von Rolf Wohlfahrt (ISBN 3-9805102-1-2)
- 1997/1 Jahresbericht 1996-1997 Activities
- 1999/1 Bemessung von zugbeanspruchten Befestigungen bei Versagensart Spalten des Betons, von Jörg Asmus (ISBN 3-9805102-2-0)
- 1999/2 Jahresbericht 1998-1999 Activities
- 2000/1 Ökobilanzierung von Baustoffen am Beispiel des Recyclings von Konstruktionsleichtbeton, von Julian Kümmel (ISBN 3-9805102-4-7)
- 2001/1 Dichtheit von Heißwasser-Langzeitspeichern aus Hochleistungsbeton, von Martin Jooß (ISBN 3-9805102-3-9)
- 2001/2 Zum Trag- und Rotationsverhalten von Stahlbetontragwerken mit nicht-linearer Schnittgrößenermittlung, von Eckhart Fabritius (ISBN 2-9805102-5-5)
- 2001/3 Jahresbericht 2000-2001 Activities
- 2001/4 Brandverhalten von Befestigungen mit großem Randabstand in Beton bei zentrischer Zugbeanspruchung, von Michael Reick (ISBN 3-9805102-6-3)
- 2002/1 Zum Einfluß der Oberflächengestalt von Rippenstählen auf das Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen, von Utz Mayer (ISBN 3-9805102-7-1)

- 2002/2 Zum Durchstanzen von Flachdecken im Bereich von Rand- und Eckstützen, von Henrik Vocke (ISBN 3-9805102-8-X)
- 2002/3 Tragverhalten und Bemessung von eingemörtelten Bewehrungsstäben, von Hannes A. Spieth (ISBN 3-9808542-1-3)
- 2002/4 Tragverhalten von Einzelverbunddübeln unter zentrischer Kurzzeitbelastung, von Juraj Meszaros (ISBN 3-9808542-0-5)
- 2002/5 met@BiM - Ein semantisches Datenmodell für Baustoff-Informationen im World Wide Web (Anwendungen für Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung), von Marcus Schreyer (ISBN 3-9805102-9-8)
- 2003/1 Tragverhalten von Verbunddübeln unter zentrischer Zugbelastung im ungerissenen Beton – Gruppenbefestigungen und Befestigungen am Bauteilrand, von Bernhard Lehr (ISBN 3-9808542-2-1)
- 2003/2 Tragverhalten von Kunststoffdübeln im ungerissenen und gerissenen Beton, von Thilo Pregartner (ISBN 3-9808542-3-X)
- 2005/1 Jahresbericht 2002-2004 Activities