

**Online-Vermessung von  
Düsenstrahlsäulen**

**T 3009**

**T 3009**

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2003, ISBN 3-8167-6513-0

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69  
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00  
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

e-mail [info@irb.fhg.de](mailto:info@irb.fhg.de)

URL <http://www.IRBbuch.de>

Gutachten ■  
Beratung ■  
Planung ■  
Bauleitung ■

**GuD GEOTECHNIK und  
DYNAMIK CONSULT GmbH**



Univ. Prof. Dr.-Ing. S. Savidis · Dr.-Ing. Th. Richter  
Dipl.-Ing. H. L. Hebener · Dr.-Ing. K.-M. Borchert

GuD CONSULT GmbH · Dudenstraße 78 · 10965 Berlin

**Beratende Ingenieure  
Vereidigte und nach Bauordnungsrecht  
anerkannte Sachverständige**

Dudenstraße 78 · 10965 Berlin  
Tel.: (030) 78 90 89-0 Fax: (030) 78 90 89-89  
e-mail: geo@gudconsult.de  
www.gudconsult.de

**Baugrunduntersuchungen  
Schwingungsmessungen**

**Erdbau · Grundbau · Erschütterungsschutz  
Abdichtungen · Altlasten · Tunnelbau**

## SCHLUSSBERICHT

**zum Forschungsvorhaben**

**„Online-Vermessung von Düsenstrahlsäulen“**

---

**Auftraggeber:** Deutsches Institut für Bautechnik  
Anstalt des Öffentlichen Rechts  
Kolonnenstraße 30 L  
10829 Berlin

---

**Bearbeiter:** Univ. Prof. Dr.-Ing. S. Savidis  
Dipl.-Ing. N. Schneider

Berlin, 10.12.2002

Dieser Schlussbericht (X 59/01) umfaßt 42 Seiten und 7 Anlagen.

Geschäftsführer:  
Dr.-Ing. Kurt-M. Borchert  
Dipl.-Ing. Hans L. Hebener  
Dr.-Ing. Thomas Richter  
Univ. Prof. Dr.-Ing. Stavros Savidis

Handelsregister Nr.:  
HRB 16 439  
Berlin-Charlottenburg

Dresdner Bank Berlin  
BLZ 100 800 00  
Konto 0405 332 100  
Postbank Berlin  
BLZ 100 100 10  
Konto 4228 90-105

■ 14469 Potsdam · Am Neuen Palais 2 a  
Tel. (0331) 90 01 31 Fax (0331) 97 23 43  
■ 04277 Leipzig · Arthur-Hoffmann-Str. 170  
Tel. (0341) 3 05 64-0 Fax (0341) 3 05 64-10



	<b>INHALTSVERZEICHNIS</b>	<b>SEITE</b>
1.	Veranlassung	2
2.	Aufgabenstellung	3
3.	Einführung in die Meßtechnik zur Durchmesserbestimmung von Düsenstrahlsäulen	5
4.	Literaturzusammenstellung	9
5.	Patentrecherchen	11
6.	Meßtechnische Systemversuche Teil I	12
	6.1 Beschreibung	12
	6.2 Meßtechnik	13
	6.3 Maschinen- und Verfahrenstechnik	13
	6.4 Beschreibung der Versuchsstufen	15
	6.5 Ergebnisse der Versuchsdurchführung	18
7.	Gewonnene Erkenntnisse der Systemversuche Teil I	24
8.	Meßtechnische Systemversuche Teil II	25
	8.1 Beschreibung	25
	8.2 Meßtechnik	27
	8.3 Simulationsstufen	28
	8.4 Auswertungsunterstützung	29
	8.5 Ergebnisse der Versuchsdurchführung	32
9.	Gewonnene Erkenntnisse der meßtechnischen Systemversuche Teil II	41
	Verzeichnis der Anlagen	42
	7 Seiten Anlage	

## 1. VERANLASSUNG

Mit dem Werkvertrag vom 06. März 2001 des Deutschen Institutes für Bautechnik wurde das Ingenieurbüro GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH, vertreten durch Prof. Savidis, mit dem Forschungsvorhaben „Online-Vermessung von Düsenstrahlsäulen“ beauftragt. Eine nachfolgende Betreuung für Herrn Prof. Rodatz wurde nicht benannt.

Als Betreuer für das Forschungsvorhaben war

Herr Prof.-Dr.-Ing. Walz  
Bergische Universität  
Gesamthochschule Wuppertal  
Pauluskirchstraße 7

in das Projekt eingebunden.

## 2. AUFGABENSTELLUNG

Beengte innerstädtische Platzverhältnisse führen bedingt durch die beschränkte Bauhöhe der Neubauvorhaben zu einer immer intensiveren Nutzung des Grundstücks in Form von Untergeschossen und Tiefgaragenebenen.

Diese Entwicklungstendenz, den Baugrund in der Tiefe auszunutzen, ist gerade in den letzten Jahren besonders deutlich geworden.

Das in Berlin dicht unter der Geländeoberkante anstehende Grundwasser erfordert auf Grund der wasserrechtlichen Vorschriften eine nahezu wasserdichte Trogbaugrubenkonstruktion.

Diese Trogbaugruben werden mit einer unterirdischen, horizontalen Düsenstrahlsohle geschlossen, um den Auflagen der Baugenehmigungsbehörde nach umweltverträglicher und grundwasserschonender Bauweise zu entsprechen. Mit zunehmender Aushubtiefe in diesen innerstädtischen Trogbaugruben haben sich praktisch die sogenannten verankerten, hochliegenden Düsenstrahlsohlen durchgesetzt. Dieser Sohlentyp ist ein zweiachsig beanspruchtes Flächentragelement, daß die Baugruben horizontal im Fußbereich abstützt und gleichzeitig mit Verpreßpfählen gegen Auftrieb gesichert ist.

Das Sicherheitskonzept der Überwachung der Ausführung muß berücksichtigen, daß das Flächentragelement der Düsenstrahlsohle aus rotationssymmetrischen Einzelsäulen zusammengesetzt wird, deren konstruktive Eigenschaften erst dann wirken, wenn die geometrischen Überschneidungen aller Einzelsäulen ohne Einschränkung planmäßig ausgebildet sind. Imperfektionen in der geometrischen Ausbreitung, die erst im Zuge des Aushubes festgestellt werden, führen zu Havarien, die plötzlich und ohne Vorankündigung eintreten und die Standsicherheit der Baugrubenumschließung und der Nachbargebäude gefährden können.

Um die Ausführungssicherheit bei der Herstellung der Düsenstrahlsohle zu erhöhen und gleichzeitig die Gefährdung der Gründungskonstruktion der Nachbargebäude zu minimieren, ist es von besonderer Bedeutung, den hergestellten Durchmesser der Düsenstrahlsäule produktionsbegleitend zu erfassen, auszuwerten und in die Ausführungsplanung zu übernehmen. Vor dem Hintergrund dieser Fragestellung wurde das Konzept der Online-Düsenstrahlvermessung konzipiert und in die Versuche zum Nachweis der Meßtechnik übernommen.

### 3. EINFÜHRUNG IN DIE MESSTECHNIK ZUR DURCHMESSERBESTIMMUNG VON DÜSENSTRAHLSÄULEN

Die Anwendung des Düsenstrahlverfahrens wird derzeit durch Zulassungen geregelt, die vom Deutschen Institut für Bautechnik ausgestellt werden.

Auf jeder Baustelle sind dabei mindestens zwei Probesäulen herzustellen, bei bindigen Böden fordert die Zulassung drei Probesäulen.

Von jeder Probesäule ist der mittlere Durchmesser zu bestimmen (z. B. durch Freilegung der Probesäulen) und mit dem im Entwurf vorgesehenen Durchmesser zu vergleichen.

Hinweise zur grundsätzlichen Technik der Durchmesserbestimmung, wenn die Probesäulen unterhalb des Grundwasserspiegels zum liegen kommen, gibt die Zulassung nicht.

Derzeit haben sich für die Vermessung von singulären Probesäulen nachfolgende Meßmethoden entwickelt.

#### **Tastsonde**

Diese mechanische Meßsonde besteht aus einem speziellen Rohrgehäuse, das in den Bohrkanal eingehoben wird. In diesem Gehäuse verläuft ausgehend vom Gehäusekopf ein Innengestänge, welches im unteren Bereich in eine flexible Tast-Seele (Federstahlband – vergleichbar dem eines Maßbandes) übergeht. Diese Tast-Seele wird zur Messung des erreichten Durchmessers am unteren Ende des Rohrgehäuses über einen Krümmer im rechten Winkel umgelenkt und ausgefahren bis sie auf die Säulenwandung trifft. Die vertikale Verschiebung des Innengestänges ist dabei ein Maß für die am Meßpunkt erzielte Reichweite und damit für den lokalen Radius der Säule.

### **Mechanischer Meßschirm**

Der einfache mechanische Meßschirm besteht im wesentlichen aus drei Armen, die sich durch einen Klappmechanismus (ähnlich wie das Aufspannen eines Regenschirmes) an die Bohrlochwandung anlegen. Die ausgeklappten Tastarme bilden ein gleichschenkliges Dreieck und ermöglichen je nach Meßschirm die Vermessung von Säulen mit einem maximalen Durchmesser von 2,60 m bis 3,0 m. Unmittelbar nach dem Herstellen des Düsenstrahlkörpers wird der zusammengeklappte Meßschirm an einem Kabel durch den Bohrkanal bis in die frische, noch nicht erhärtete Säule abgelassen. Durch einen Seilzugmechanismus wird der Schirm über eine in dem Kabel verlaufende Kunststoff-Seele geöffnet. Der Weg des Seilzuges ist dabei das Maß für die Öffnungsweite des Schirms und damit für den Durchmesser der Säule.

### **Kalibriermeßsonde (Kalibriermeßschirm)**

Die Meßkomponenten setzen sich aus einer 4-armigen Meßsonde, einem Datenkabel zur Übertragung der Meßergebnisse und einem Auswertungscomputer zusammen. Die vier Meßarme legen sich über einen Klappmechanismus, analog wie bei dem zuvor erwähnten Meßschirm an die Wandung des Düsenstrahlkörpers an. Durch das Ausklappen der Arme verändert sich ein elektrischer Widerstand im Kopfbereich der Sonde. Der dadurch erzeugte Spannungsabfall wird über ein Meßkabel übertragen und im Computer als Maß für den Säulendurchmesser ausgewertet.

### **Pegelmeßverfahren**

Bei dieser Methode werden Pegel (Kunststoff oder Stahlrohre), bevor der Düsenstrahl-Probekörper hergestellt wird, in den Boden eingebracht und in ihrer Lage und in ihrem Verlauf vermessen. Anschließend wird der eigentliche Probekörper gedüst. Die eingebrachten Pegel registrieren den Kontakt mit dem bodenerodierenden Hochdruckstrahl. Die einzelnen Pegelmeßverfahren unterscheiden sich in der Art und Weise wie das Auftreffen des Strahls auf das Pegelrohr registriert wird. Praxisgebräuchlich wurde dabei die Meßanordnung von Bilfinger + Berger entwickelt.

Die von Bilfinger + Berger optimierte Reichweitenvermessung beruht auf der Überlegung, daß die durch das Verfahren hervorgerufenen Bodenerschütterungen mit der Reichweite des Hochdruckstrahles korreliert sind. Bilfinger + Berger treibt dazu Pegel mit Sensoren in verschiedenen Abständen in der Umgebung eines HDI-Gestänges in den Boden und erfaßt über die Meßfolge Sensor, Verstärker, Auswertelektronik und Schreiber Signale, nämlich den Amplituden-Zeitverlauf der Bodenerschütterungen, aus deren Form die Stahlgeometrie erkannt werden kann. Die räumliche Lage der Pegel und des Gestänges werden vorher exakt vermessen. Bilfinger + Berger kann on-line die Hochdruckinjektion während des Düsens überwachen, indem die Sensoren zeitgleich und auf gleicher Höhe mit der Austrittsdüse gezogen werden. Während der Messung kann der Injektionserfolg gesteuert werden, indem die entscheidenden Parameter Strahldruck, Drehzahl und Ziehgeschwindigkeit entsprechend den anstehenden Bodenschichten variiert werden.

### **Abtasten der Säulenkontur durch Bohrungen**

Eine Überprüfung des erreichten Säulendurchmessers am festen Körper ist mit Kernbohrungen möglich. Ausgehend von der planmäßigen Reichweite werden die Bohransatzpunkte für die Erkundungsbohrungen festgelegt. Der tatsächlich erreichte Durchmesser muß dann dadurch gefunden werden, daß mit Hilfe einer Vielzahl von Bohrungen der Rand des Düsenstrahlkörpers „ertastet“ wird. Die Bohrungen müssen dabei in Lage und Verlauf vermessen werden.

### **Abtasten der Säulenkontur durch Rammsondierungen**

Durch den Einsatz von Rammsondierungen besteht ebenfalls, wie bei Kontrollkernbohrungen, die Möglichkeit, den Säulendurchmesser zu ertasten. Die Vorgehensweise verläuft analog zu der der Kontrollbohrungen. Die Rammsondierungen sind jedoch nur bis zu einer bestimmten Tiefe sinnvoll, da die Rammsonde in größeren Tiefen aufgrund des geringen Gestängedurchmessers nicht richtungsstabil ist und Inklinometermessungen zur Bestimmung des Verlaufes der Sondierungen nicht möglich sind.

Es hat sich gezeigt, daß der erfolgreiche Einsatz der **Tastsonde** und der **Meßschirme** abhängig von dem geologischen Verhalten ist. Beide Verfahren werden eingesetzt, unmittelbar nachdem die Düsenstrahlsäule hergestellt worden ist. Es muß dabei die Meßvorrichtung nach Abschluß der Düsenstrahlarbeit über das ungestützte Bohrloch in die Düsenstrahlsäule eingeführt werden. Stehen beispielsweise steinhaltige oder fremdkörperhaltige (Auffüllung) Böden an, dann ist es möglich, daß nach Ziehen des Düsenstrahlgestänges vorher zur Seite gedrückte Partikel zurückfedern und den Bohrkanal versperren. Zur Abhilfe werden dann, soweit diese Hindernisse oberhalb der zu vermessenden Säulen anstehen, z. B. sogenannte „Bohrschlote“ vorgedüst.

Nach deren Aushärtung und dem neuerlichen Durchbohren dieser Bereiche wird dann der eigentliche Säulenkörper hergestellt und für dessen Vermessung kann dann die Meßvorrichtung im Schutze dieser „freigebohrten kleinen Düsenstrahlsäule“ in die tieferliegenden Vermessungsbereiche niedergebracht werden.

#### 4. LITERATURZUSAMMENSTELLUNG

Die online-Vermessung von Düsenstrahlsäulen leitet sich von dem Erfordernis ab, die planmäßigen Eigenschaften des Düsenstrahlkörpers meßtechnisch bereits während der Herstellung nachzuweisen. Um den Stand der Düsenstrahltechnik und Durchmesserbestimmung herauszuarbeiten wurde bereits nachfolgende Literaturlauswertung vorgenommen.

- DIN 4093 - Einpressen in den Baugrund
- Kutzner, C. - Injektionen im Baugrund, F. Enke Verlag
- Buja, O. - Handbuch des Spezialtiefbaus, Werner Verlag
- Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung verschiedener Antragsteller:
  - Düsenstrahlverfahren „Bilfinger + Berger (HDI)“
  - Düsenstrahlverfahren „Bauer (HDI)“
  - „SOILCRETE“
- Deutsche Fassung DIN EN 12716 - Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) - Düsenstrahlverfahren
- Arbeitsausschuß ATV DIN 18301 - Düsenstrahlverfahren
- Bieberstein, A., Herbst, I., Brauns, I.: Hochliegende Dichtsohlen bei Baugrubenumschließungen - Bemessungsregel zur Vermeidung von Sohlaufrüchen, Geotechnik 22, 1999, 114-122
- Borchert, K.-M.: Dichtigkeit von Baugruben bei unterschiedlichen Sohlkonstruktionen - Lehren aus Schadensfällen, VDI-Tagung Tiefe Baugruben, VDI-Berichte Nr. 1430, 1999, 21-43

- Gudehus, G., Schwarz, W.: Düsenstrahlverfahren in holzhaltigem, nichtbindigem Baugrund  
Baugrundtagung, Stuttgart 1998, 643-655
- Kluckert, K. D.: 20 Jahre HDI in Deutschland von den Fehlerquellen über die Schäden zur Qualitätssicherung, Baugrundtagung, Berlin 1996, 235-258
- Raabe, E.W., Kalthoff, D., Stewering, T.: Sohlaussteifung einer tiefen Baugrube unter Anwendung des Soilcrete-Verfahrens, Köln 1994, 259-270
- Ostermayer, H., Gollup, P.: Baugrube Karstadt in Rosenheim, Berlin 1996, 341-360
- Schrank, M.: Stand der Soilcrete-Technik, Graz 2000, 1-14
- Hoffmann, H., Katzenbach, R., Quick, H., Weidle, A.: Überlegungen zum Risk Assessment beim Düsenstrahlverfahren auf der Basis aktueller Entwicklungen, Graz 2000, 31-46
- Bergschneider, B., Walz, B.: Anschauungsversuche zur Ausbreitung und Schneidwirkung des Düsenstrahls beim Verfahren der Hochdruckbodenvermörtelung, Graz 2000, 65-82
- Rodatz, W., Leifhelm, M.: Planung und Qualitätssicherung beim Düsenstrahlverfahren, Diplomarbeit an der Technischen Universität Braunschweig, 1999
- Müller-Kirchenbauer, H., Schlötzer, C., Friedrich, W., Kuk, M.: Neuere Ergebnisse zur Wirkungsweise und zur Anwendung des Düsenstrahlverfahrens, Graz 2000, 201-217

## 5. PATENTRECHERCHEN

Die Literaturübersicht wurde erweitert, in dem eine systematische Patentrecherche gestartet wurde, die zum Themenschwerpunkt der unterirdischen Hohlraumvermessung herangezogen werden konnte.

- Offenlegungsschrift des Deutschen Patent- und Markenamtes DE 19849786 A1, Anmelder Firma Keller Grundbau GmbH
- Offenlegungsschrift des Deutschen Patent- und Markenamtes DE 19622282 C1, Anmelder N. Schneider, 14057 Berlin
- Offenlegungsschrift des Deutschen Patentamtes DE 19807060 A1, Anmelder Socon Sonar Control Kavernenvermessung GmbH, 31180 Giesen
- Offenlegungsschrift des Deutschen Patentamtes DE 3511917 A1, Anmelder NL Industries, Inc. New York, N.Y., US
- Offenlegungsschrift des Deutschen Patent- und Markenamtes DE 10017 054 A1, Anmelder Ed. Züblin AG, Erfinder Weber Klaus

## 6. MESSTECHNISCHE SYSTEMVERSUCHE TEIL I

### 6.1 Beschreibung

Die meßtechnischen Systemversuche wurden im April 2001 durchgeführt.

Ziel der Versuche war die Durchschallung von verschiedenen Suspensionen mit Ultraschall, wobei die vorlaufende Messumgebung durch einen generierten Wasserstrahl erzeugt wurde.

Die Versuche wurden in einem Container durchgeführt, der mit unterschiedlichen Suspensionen d. h. unterschiedlichen Durchschallungsmedien gefüllt werden konnte.

In den Container wurde eine vertikale Hilfsebene eingeführt, auf der die Empfangseinheit positioniert war. Der Abstand dieser Hilfsebene zur fest installierten Abschlußebene, auf der die Sendeeinheit montiert war, war veränderbar, so daß die Versuche mit unterschiedlichen Durchschallungswegen gefahren werden konnten.

Um den vorlaufenden Meßstrahl zu simulieren, wurde die Sendeeinheit so gefertigt, daß ein regulierbarer Wasserstrahl durch die Sendeeinheit geführt werden konnte.

Der Container, gefüllt mit unterschiedlichen Suspensionen, war ca. 6 m lang und etwa 2 m breit.

Die Beaufschlagung der Wasserdüse in der Sendeeinheit erfolgte mit einem Wasseranschluß von außen, über den ein definiertes Volumen zugeführt werden konnte. Die Fördermenge durch die Wasserdüse war veränderbar.

## 6.2 Meßtechnik

Die Meßtechnik zur Durchführung der Versuche bestand im wesentlichen aus einer Sende- und Empfangseinheit, die im Suspensionscontainer positioniert war.

Aufbau der Meßtechnik:

1. Schallsender mit integriertem Druckwasseranschluß
  - Sendeleistung max. 400 Watt
  - Frequenzbereich 90 kHz
2. Empfangssensor mit zwei Resonanzplatten
3. Aufzeichnungsgerät der Schallsignale am Empfänger
4. Digitalspeicher zur Kontrolle der Sende- und Empfangsechos
5. Funktionsgenerator der Frequenzbereiche
6. Leistungsschallsender und Empfänger

## 6.3 Maschinen- und Verfahrenstechnik

Der Versuchsaufbau wurde mit Funktionseinheiten durchgeführt, die im wesentlichen aus Baugruppen bestanden, die auch im Baustellenbetrieb zur Ausführung kommen.

Der vorlaufende Meßstrahl, der die Durchschallung der Suspension unterstützen soll, wurde über eine volumensteuerbare Mohnopumpe erzeugt.

Der Versuchsaufbau bestand aus folgenden Funktionseinheiten:

- |                      |  |
|----------------------|--|
| 1. Zementsilo        | zur Aufnahme von Bentonit/Zement   |
| 2. Mischanlage       | zur Aufbereitung der Suspension  |
| 3. Rührwerk          | zur Homogenisierung der Suspension   |
| 4. Versuchscontainer | zur Aufnahme der unterschiedlichen Suspensionen                              |
| 5. Mohnpumpe 1       | zur Umwälzung der Suspensionen im Versuchscontainer                          |
| 6. Mohnpumpe 2       | zur regulierbaren Volumen- und Drucksteuerung des generierten Wasserstrahles |
| 7. Meßcontainer      | zur Aufnahme der Auslesegeräte   |

#### 6.4 Beschreibung der Versuchsstufen

Die Versuche zur Durchschallung wurden im wesentlichen durch zwei Parameter verändert; einmal durch die Art der Suspension (Wasser, Bentonitsuspension, Zementsuspension) und zum anderen durch die Zugabe von Druckwasser in Form eines vorlaufenden Strahles.

Kurzfristig wurden die beschriebenen Versuche in einer wassergefüllten Maurerwanne erweitert, da die aufgebaute Meßtechnik auch während der Beruhigungsphase der Suspension genutzt werden sollte.

**6.4.1 Stufe 1: Wassergefüllter Container**

Der Container wurde mit Wasser gefüllt, so daß die Sende- und Empfangseinheit unter Wasser waren. Ein zusätzlicher Wasserstrahl wurde nicht zugeschaltet. Das Wasser im Container war in Ruhe. Dieser Versuchsaufbau diente zum Nullabgleich der Meßanordnung und Testmessungen.

**6.4.2 Stufe 2: Wassergefüllter Container mit zusätzlichem Wasserstrahl durch die Düse**

Während des Meßvorganges war das Wasser im Container in Bewegung, da durch die Düse in der Sendeeinheit Druckwasser zugeleitet wurde.

**6.4.3 Stufe 3: Bentonitgefüllter Container**

Der Container wurde mit Bentonitsuspension gefüllt. Das Mischungsverhältnis entsprach ca. 50 kg Bentonit pro 1000 l Wasser. Der Bentonit war mit ausreichendem zeitlichen Abstand angemischt worden und damit vorgequollen.

**6.4.4 Stufe 4: Bentonitsuspensionsgefüllter Container mit zusätzlichem Wasserstrahl durch die Düse**

Der zusätzliche Wasserstrahl wird durch die Sendeeinheit geleitet und strahlt in die Bentonitsuspension. Die Suspension wird durch den Wasserstrahl für die Ultraschallmessung verdünnt und damit für die Messung vorbereitet.

6.4.5      Stufe 5: Wassergefüllte Wanne mit planmäßigem Eintrag von Luftbläschen

Um den möglichen Einfluß von Lufteintrag, wie er z. B. bei luftunterstützten Düsen eingesetzt wird, wurde ein Becken mit Wasser gefüllt und mit Eimern „wasserfallartig“ mit kleinstverteilten Luftbläschen aufgeladen.

Die Sende- und Empfangseinheit waren in dem Becken eingelegt. Der Abstand und die Zuordnung zueinander waren durch einen vorgefertigten Rahmen festgelegt.

6.4.6      Stufe 6: Bentonitsuspensionsgefüllte Wanne mit planmäßigem Eintrag von Luftbläschen

Analoger Versuchsaufbau wie Stufe 5, allerdings wurde als Durchschallungsmedium die Bentonitsuspension gewählt.

## 6.5 Ergebnisse der Versuchsdurchführung

### 6.5.1 Stufe 1: Wassergefüllter Container

Der Schallsender und der Schallempfänger hatten einen Abstand von 2215 mm. Die Echoauswertung hatte eine Amplitude von 1,6 Volt SS bei 10 Watt Ansteuerung.

Bei 100 Watt Schallsendung ergab sich eine Echoauswertung von 4 Volt SS. Die Entfernung wurde mit 2240 mm gemessen.

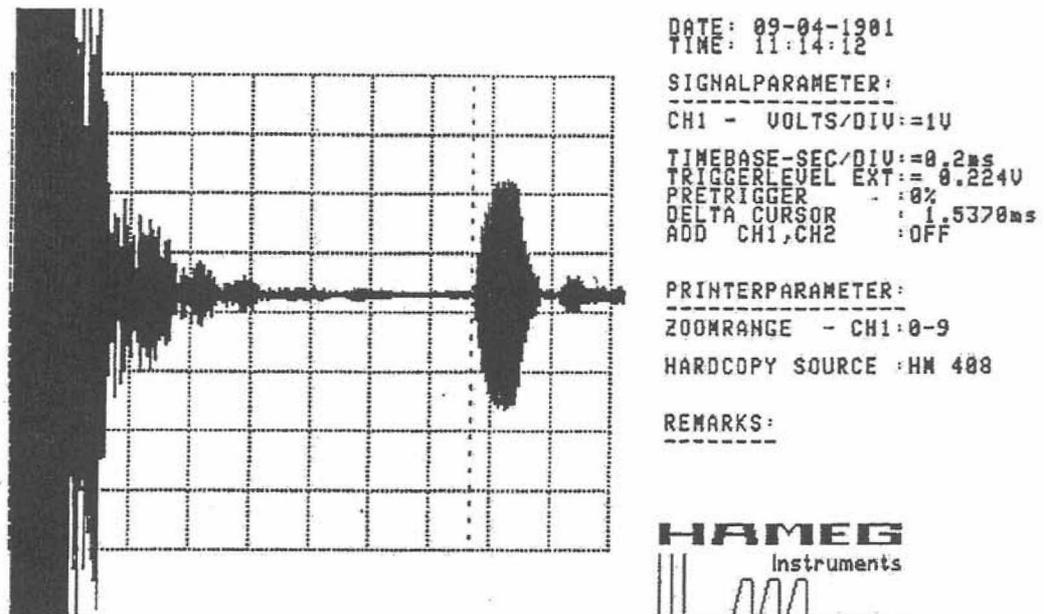


Abb. 1: Diagramm 1 mit Meßergebnis 4,0 Volt SS

### 6.5.2 Stufe 2: Wassergefüllter Container mit zusätzlichem Wasserstrahl durch die Düse

Der Wasserstrahl aus der Düse wurde durch eine Mohnpumpe mit einem Druck von ca. 14 bar erzeugt. Nach der Einschaltung der Mohnpumpe ging das Echo auf Null-Volt zurück. Die Störsignale haben die Nutzsignale überdeckt. Ein Meßergebnis konnte nicht erzielt werden.

Als Ursache wurden die Störsignale bei Betrieb der Mohnpumpe vermutet. Eine Frequenzbestimmung der Störsignale zeigte, daß die Eigenfrequenz der Mohnpumpe bei ca. 40 kHz liegt und damit im Meßfrequenzbereich.

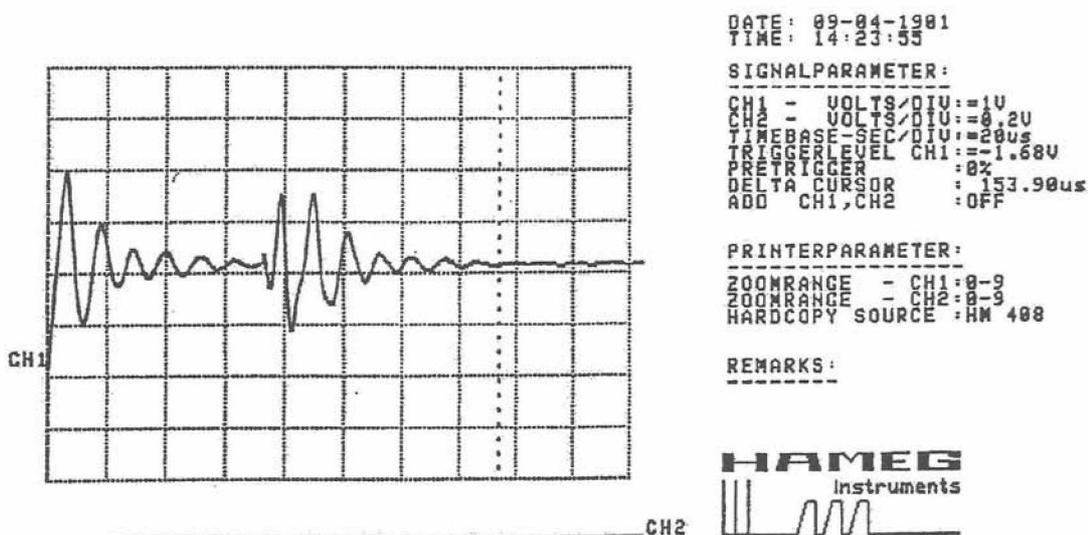


Abb. 2: Bestimmung der Störfrequenz, ausgehend von der Mohnpumpe

In Auswertung der Störsignale durch die Mohnpumpe wurde die Pumpe abgeschaltet. Der Wasserdruck wurde nun direkt vom Hydranten übernommen.

Gemäß Meßdatenaufzeichnung standen aus dem Hydranten 2 bar mit einem Durchfluß von 55 l/min an.

Bei dieser Art der Meßstrahlgenerierung konnte kein Echo erzielt werden. Der Anschluß zum Hydrant wurde abgenommen. Nach ca. einer Minute stellte sich wieder ein meßbares Echo ein.

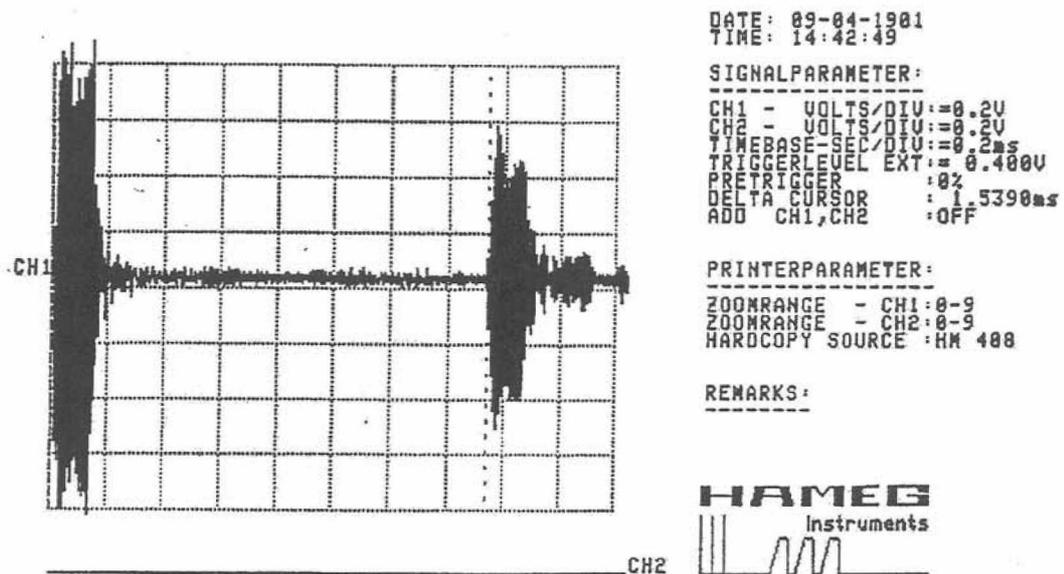


Abb. 3: Meßbares Echo nach der Rücknahme der Druckbeaufschlagung

### 6.5.3 Stufe 3: Bentonitsuspensionsgefüllter Container

Während des Füllvorganges des Containers mit Bentonitsuspension wurden bereits laufend gemessen. Nachdem die Schallwandler unter dem Bentonitsuspensionsniveau lagen, konnte ein schwaches Echo von 0,4 Volt SS gemessen werden.

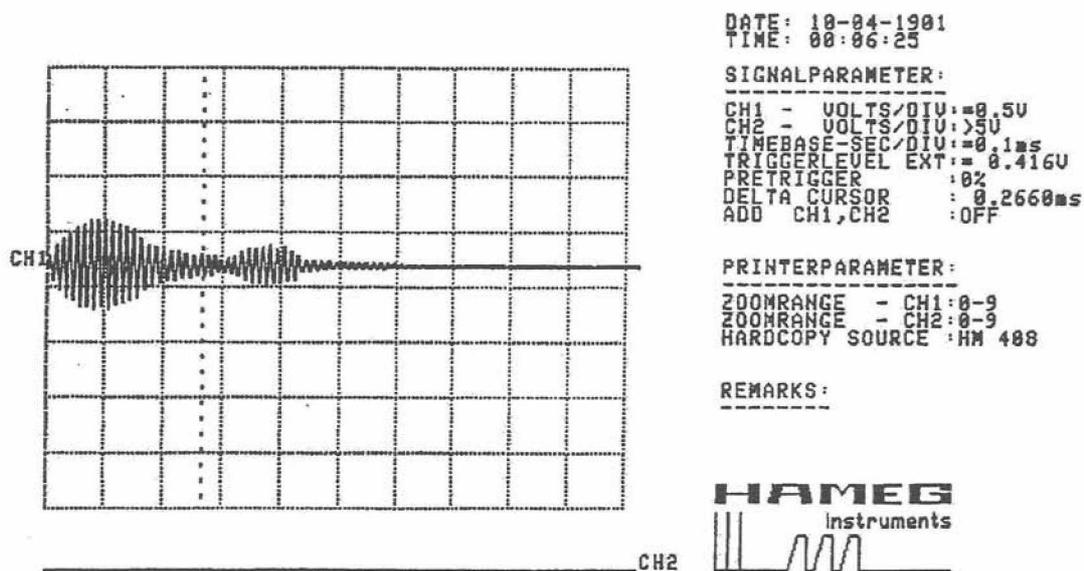


Abb. 4: Schwaches Echo während des Befüllens des Containers mit Bentonitsuspension

Bei einem Suspensionsüberstand von ca. 20 cm über den Sende-/Empfangseinheiten wurde das Echo immer schwächer und verschwand. Nach einer Beruhigungsphase von ca. 1 Stunde nach dem Befüllen mit Bentonitsuspension konnte wieder ein Echo von 4,5 Volt SS gemessen werden.

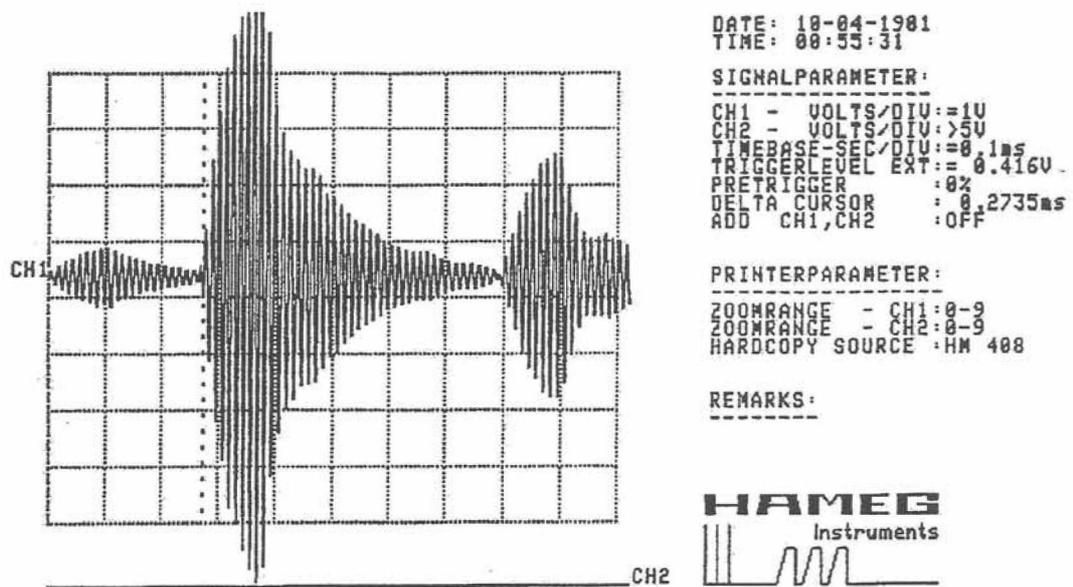


Abb. 5: Starkes Echo nach dem Befüllen des Containers mit Bentonitsuspension und einer Beruhigungsphase von 1 Stunde

**6.5.4 Stufe 4: Bentonitsuspensionsgefüllter Container mit zusätzlichem Wasserstrahl durch die Düse**

Der aus dem Hydranten zugeführte Wasserstrahl brachte ca. 50 l/min in den Container ein. Mit dem Aufdrehen des Wasserstrahles verschwindet das bei stehendem Bentonit sichtbare Signal.

Auch nach längerer Ruhezeit (ca. 2 Stunden) der Bentonitsuspension konnte in dieser Suspension kein Signal mehr gefunden werden.

**6.5.5 Stufe 5: Wassergefüllte Wanne mit planmäßigem Eintrag von Luftbläschen**

Das Wasser in der Wanne wird durch einen Wasserstrahl aus 1 Meter Höhe in Bewegung versetzt. Durch den Aufprall auf die Wasseroberfläche wird Luft in Form von kleinsten Bläschen eingetragen. Durch die starke Anreicherung des Wassers mit kleinen Luftbläschen waren selbst auf die kurze Meßdistanz von 38 cm kein Echo erkennbar.

Ca. 1 Minute nach Beendigung des Eintrages durch den Wasserstrahl haben sich die meßbaren Echos wieder aufgebaut.

**6.5.6 Stufe 6: Bentonitsuspensionsgefüllte Wanne mit planmäßigem Eintrag von Luftbläschen**

Die bentonitsuspensionsgefüllte Wanne wird mit einem Suspensionsstrahl, der aus ca. 1,00 m Höhe in die Wanne trifft mit feinen Luftbläschen angereichert. Der festinstallierte Meßdruck aus Sender- und Empfangseinheit liegt in einen vormontierten Rahmen in der Wanne.

Mit dem Eintrag der Luftbläschen aus dem Strahl verliert sich das meßbare Echosignal. Erst nach ca. 10 Minuten ist das ursprünglich vorhandene Signal wieder empfangbar.

## 7. GEWONNENE ERKENNTNISSE DER SYSTEMVERSUCHE TEIL I

Die durchgeführten Versuche in dem suspensionsgefüllten Container und in der Wanne lassen folgende Schlußfolgerungen für die weiteren Versuche zu

1. Um die Durchdringung beweglicher und fester Teilchen in einer Suspension unterschiedlicher Homogenität zu erreichen, muß mit anderen Frequenzen im Ultraschallbereich gearbeitet werden. Für die nächste Stufe werden ausgewählt hohe und niedrige Frequenzen gewählt.
2. Die Lufteinschlüsse in der Suspension stellen einen wesentlichen Problemkreis bei der Durchschallung der Suspension dar. Bei der Anmischung von Versuchssuspensionen ist baustellenbedingt mit kleinsten Lufteinschlüssen zu rechnen. Für die weiteren Versuche ist der Lufteintrag zu simulieren.
3. Die Versuche in den großen Baustellencontainern mit den Abmessungen von 6,00 m x 2,50 m sind zu aufwendig. Für die weiteren Versuche ist ein auf die Randbedingungen der Versuche zugeschnittener Meßcontainer einzusetzen.
4. Die turbulenten Verhältnisse im Bereich des Hochdruckstrahles sind stufenweise im Versuchsprogramm zu simulieren und dürfen reproduzierbare Meßergebnisse nicht beeinflussen.
5. Der Schallsender mit einer Leistung von 400 Watt ist zu gering. Die Leistung ist signifikant zu erhöhen.

## 8. MESSTECHNISCHE SYSTEMVERSUCHE TEIL II

### 8.1 Beschreibung

Die meßtechnischen Systemversuche mit den erweiterten Vorgaben wurden im August 2002 durchgeführt. Ziel der Versuche war es, die neu entwickelten Meßgeber mit den Frequenzen 200 kHz und 15 kHz zu erproben. Die Erprobung sollte in einer Bentonitsuspension durchgeführt werden.

Die Versuchsanordnung wurde so erweitert, daß die turbulenten Störeinflüsse in der Suspension durch drei Anregungsmöglichkeiten eingebracht werden können.

Die Messungen erfolgten in einem speziellen Stahlbecken, mit den Abmessungen 2,5 m x 0,6 m x 0,6 m.



Abbildung 8: Messbecken für die Systemversuche Teil II

Die Druckluftaufladung der Suspension erfolgte über einen separaten Anschluß in das Stahlbecken. Der Druck mit dem die Luft über einen Kompressor eingetragen wurde, betrug ca. 10 bar.

Diese Versuchskomponente sollte den unterstützenden Luftdruckstrahl simulieren, wie er auf Baustellen unter Produktionsbedingungen verwendet wird.

Als Vorstufe für die Messungen in einer turbulenten Suspension wurde ein Elektromotor mit Rührwerk variabel über das Becken montiert. Durch den Motor wurde ein Rührwerk angetrieben, das die Suspension in gleichmäßiger Bewegung hält. Die Umdrehungszahlen für das Rührwerk konnten bis auf 20 Umdrehungen pro Minute variiert werden.

Der Motor war an einem schwenkbaren Arm befestigt, so daß die Position der Achse innerhalb des Beckens verändert werden konnte.

Zur Steigerung der turbulenten Situation in der Versuchssuspension war auch ein separater Anschluß im Becken zum Eintrag eines Hochdruckstrahles bis 150 bar vorgesehen. Der Hochdruck wurde durch eine Raab-Kärcher Pumpe erzeugt.

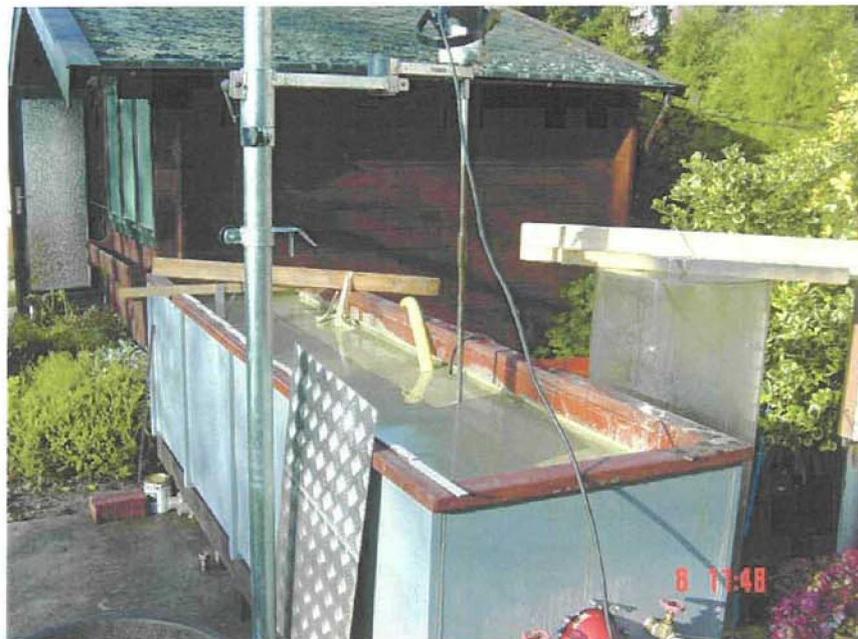


Abbildung 9: Rührwerk mit schwenkbaren Arm

## 8.2 Meßtechnik

Die meßtechnischen Systemversuche im Jahre 2001 zeigten, daß sich mit einer Senderfrequenz von 90 kHz die gewünschten Ergebnisse nicht erzielen lassen. Daraufhin wurden 2 weitere Schallsender gebaut, die mit deutlich unterscheidbarer Frequenz arbeiten. Die Messungen wurden in folgenden Frequenzbereichen durchgeführt.

- Frequenzbereich 200 kHz
- Frequenzbereich 15 kHz

Bei beiden Sendern wird ein kurzer Ultraschallimpuls horizontal vom Wandler in die Suspension eingeleitet, wobei ein Teil der Schallenergie an der Zielwandung oder an anderen festen Medien reflektiert wird. Dieser trifft dann als Echoimpuls auf den Wandler zurück. Der Wandler arbeitet als Sende- und Empfangseinheit.



Abbildung 10: 15 kHz und 200 kHz Sender neben dem Stahlbecken

### 8.3 Simulationsstufen

Die Störung der im idealen Zustand ruhenden Suspension sollte über mehrere Stufen erfolgen. Der Stufencharakter war somit ein Anpassungsprozeß für die Meßtechnik um sich schrittweise bis an die hochturbulenten Verhältnisse der Suspension unter Produktionsverhältnissen heranzutasten.

Für diese Annäherung wurden 5 Simulationsstufen vorbereitet und dann meßtechnisch durchfahren. Die Versuche setzten die Reflexion der Ultraschallwellen an der Wandung des Stahlbeckens voraus. Der Sender arbeitet dabei gleichzeitig als Empfänger. Die Meßlänge beträgt dabei die doppelte Beckenlänge.

Stufe I: Durchschallung der stehenden Suspension

Stufe II: Durchschallung der gerührten Suspension

Stufe III: Durchschallung einer mit Druckluft aufgeladenen Suspension

Stufe IV: Durchschallung der mittels eines Hochdruckstrahles verwirbelten Suspension

Stufe V: Durchschallung einer Suspension, die mit Hochdruck verwirbelt und gleichzeitig durch Druckluft aufgeladen wird.

#### 8.4. Auswertungsunterstützung

Die Impulsanregung im Senderteil der Versuchsdurchführung erfolgt auf Basis von piezo-elektronischen Bauelementen, der reversibel auch als Empfangseinheit konzeptioniert ist. Die Versuchsanalyse der meßtechnischen Systemversuche Teil I erfolgte mittels graphischer Erfassung der Empfangssignale in einem Oszilloskop.

Die gemessenen Reflexionen wurden in elektrische Spannung umgewandelt und zeitorientiert auf dem Oszilloskop visualisiert. Der Versuchsaufbau war für ausgesuchte Signale ausgelegt, die als Einzelmessungen singulär aufbereitet wurden. Es wurden einzelne Impulssignale als Einzelschüsse ausgesendet, deren Reflexion auf einer Zeitachse aufgetragen werden.

In der Versuchsanordnung der Systemversuche Teil II wurde dieser grundsätzliche Meßaufbau durchgehend erweitert. Die singulären Meßimpulse werden auf kontinuierlichen Signalfrequenzen mit bekannter Impulssequenz erweitert. Damit können die empfangenen Meßsignale nicht mehr in Abhängigkeit zu einem Sendeimpuls, sondern in Abhängigkeit von einer definierten Impulssendefrequenz interpretiert werden.

Die Erweiterung dieser Versuchsansätze fand Eingang in den Aufbau der Hard- und Software Komponenten . Die Aufnahme der Meßsignale erfolgt in einer erweiterten Meßtechnik, die die empfangenen Signale in einer hardwarekonformen Steckkarte mit digitaler Umwandlung bearbeitet. Damit werden die analogen Signale digital aufbereitet und codiert.

Die digitale Aufbereitung der Meßwerte erlaubt eine systematische Auswertung der Ergebnisse unter vordefinierten Kriterien. Die Vielzahl der eingegangenen Signale kann unter Maßgabe von eingestellten Kriterien ausgewertet werden.

Diese Aufbereitung erlaubt die Anwendung einer Software-unterstützten Filtertechnik.



Abbildung 11: Neue Hard- und Software

Ausgelegt ist die Filterfunktion auf die zeitabhängig eingehenden Empfangssignale, die zwischen Echtsignalen, reflektiert an der geometrischen Zielkontur und Störsignalen, reflektiert an Suspensionseinschlüssen unterschieden werden.

Als Kriterium für die Unterscheidung wird die Laufzeitänderung eingeführt.

Geometrische Konturgrenzen wie z.B. die eingeführte Stahlwandung liefern laufzeitkonstante Reflexionen. Fehlreflexionen an Luftpneumatischen Einschlüssen oder an Turbulenzen in der Suspension werden Laufzeitänderungen erfahren, da sie nicht reproduktionsstabil sind. Damit gilt es solche Zeitsignale herauszufiltern, die bei wiederholter Beaufschlagung unterschiedliche Laufzeitkennwerte aufweisen. Es handelt sich dabei um Störwerte.

Eine Erweiterung dieser Auswertungsunterstützung bei zeitkonstanten Signale ist insofern möglich, als dass nur solche Signale zur weiteren Bearbeitung herangezogen werden, die im Erwartungskorridor der Zielreflexion liegen.

Reflexion, die aus einem offensichtlich nicht zielnahen Bereich aufgenommen wurden, können damit systematisch ausgeblendet werden. Dies setzt eine ungefähre Abschätzung des Reflexionsabstandes und der damit verbunden Laufzeit voraus.

Eine derartige Voreinstellung erscheint unter den zu erwartenden Säulendurchmessern vertretbar, da die Kontur der erodierten Düsenstrahlsäule in erster Näherung einem plausiblen Schätzwert nahe kommt.

### 8.5. Ergebnisse der Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden gleichzeitig sowohl im 15 kHz Bereich als auch im 200 kHz Bereich durchgeführt. Die Unterscheidung der Frequenz erfolgt grafisch entweder durch rote Wiedergabe (15 kHz) oder blaue Wiedergabe (200 kHz).

Die Darstellung der Meßergebnisse wurde PC-konform auf einem Standardbildschirm vorgenommen.

Die Meßergebnisse wurden zeitabhängig visualisiert, wobei die Horizontalachse, die Zeitachse und die Bildschirmhochachse die Meßentfernung wiedergibt.

Die Entfernung zwischen Sender- und Stahlwandung als Reflektor war auf 2 m-Abstand eingestellt, die Laufzeiten wurden entsprechend kalibriert.

### Durchschallung der gerührten Suspension

Die Versuchssuspension wird aus dem Ruhezustand in Bewegung gebracht und mit ca. 10 Umdrehungen pro Minute gerührt. Dies stellt die erste Versuchsstufe einer sich in Bewegung befindlichen Suspension dar.



Abbildung 12: Meßwertaufzeichnungen der gerührten Suspension

Die Meßergebnisse sowohl im 200 kHz Bereich als auch im 15 kHz Bereich sind stabil und weisen die gemessene Entfernung eindeutig aus.

Störechos aus der gerührten Suspension sind ausgefiltert.

Das konstante Störecho auf dem linken Bildschirmteil stellt die Achse des Rührwerkes in der Suspension dar. Durch die erweiterte Zusatzfunktion der Ausblendung von Störechos können diese herausgenommen werden.

Die Achse des Rührwerkes ist ca. 40 cm vom Sender entfernt und damit unterscheidbar von der Zielebene in 200 cm Abstand.

Die Meßergebnisse sowohl im 200 kHz Bereich als auch im 15 kHz Bereich zeigen keine grundsätzlichen Unterscheidungen.

### Durchschallung einer mit Druckluft aufgeladenen Suspension

In die Versuchssuspension werden kleinste Luftblasen von unten in das Stahlbecken eingeblasen. Der Druck wird in einem handelsüblichen Kompressor mit 10 bar erzeugt. Die Luftblasen stellen meßtechnisch neben den Turbulenzen aus dem Rührwerk eine erweiterte Inhomogenität der Versuchssuspension dar. In der Regel gelten Lufteinschlüsse als sehr schwierig zu durchschallen.

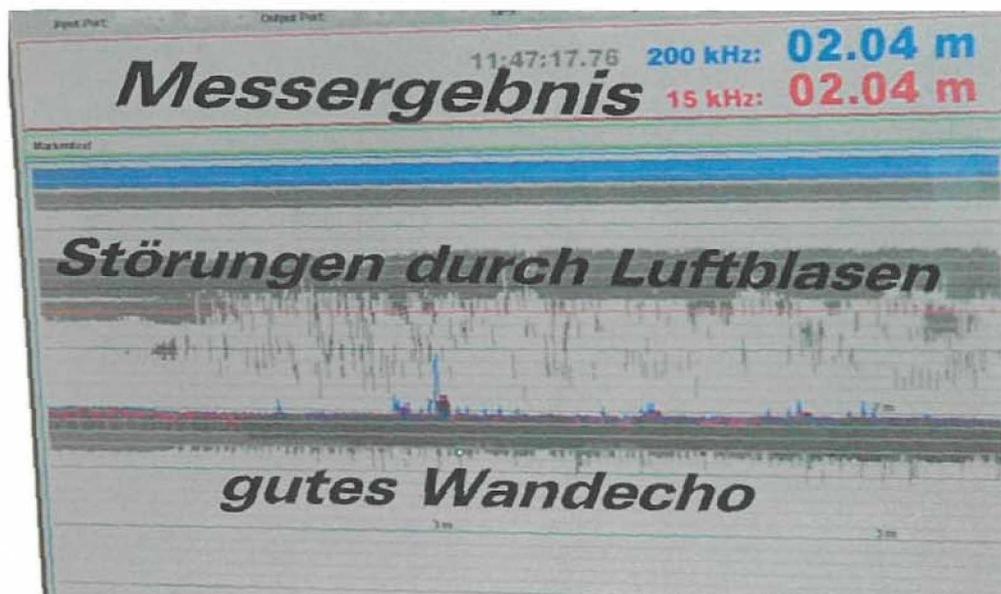


Abbildung 13: Meßwertaufzeichnung der mit Druckluft aufgeladenen Suspension

Durch den Luftblaseneintrag kommt es zu gleichmäßigen Störechos im Meßbereich. Gegenüber den Turbulenzen aus dem Rührwerk bilden diese Signale eine deutlich veränderte Meßwerterscheinung.

Erwartungsgemäß laufen die Werte der 15 kHz Messungen stabiler am Sollwert der Meßentfernung entlang als die 200 kHz Signale. Die hochfrequenten Signale sind gegenüber den Störungen durch die Luftblasen auffälliger. Ungeachtet davon, ist mit der vorliegenden Meßverlaufzeichnung eine sichere Beurteilung des gemessenen Abstandes zwischen Sender und Empfänger möglich.

### Durchschallung bei Verwirbelung mittels Hochdruckstrahl

In die Versuchssuspension wird ein Hochdruckstrahl aus einem Raab-Kärcher bei 140 bar eingeleitet. Das Einluftmedium ist aus der Versuchssuspension entnommen und wird dafür im Kreis gepumpt. Rührwerk und Drucklufteintrag sind für diesen Versuch herausgenommen.

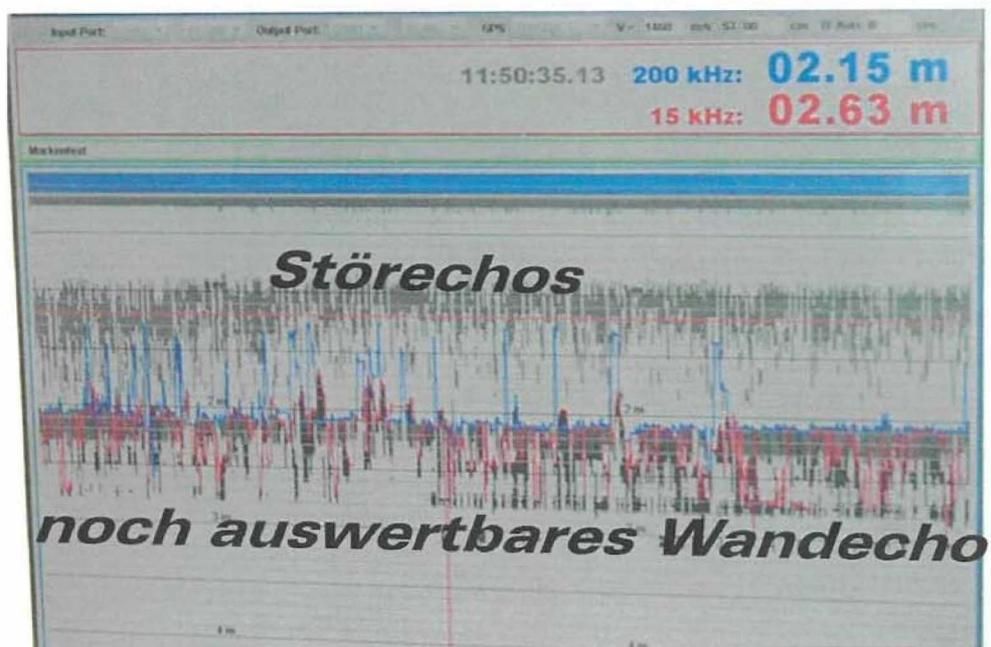


Abbildung 14: Meßwertaufzeichnung der Hochdruck beaufschlagten Suspension

Die Kennlinie der durchschnittlichen Reflexionen im 200 kHz Bereich erscheint gegenüber der 15 kHz Messungen klar und liegt näher am Sollwert.

Die Störechos im Bereich 0 m bis 1 m sind planmäßig ausgeblendet.

Die Ausschlagspitzen der 200 kHz Messungen sind größer, allerdings in der Anzahl geringer als die 15 kHz Reflexionen.

Die Meßwerte haben trotz deutlicher Einflüsse der Störechos noch eine klare Kennung des gemessenen Abstandes.

### Durchschallung einer mit Druckluft und Hochdruck beauftragten Versuchssuspension

Diese Versuchsanordnung erzeugt den höchsten Turbulenzgrad der Versuchsreihe, einschließlich der Inhomogenisierung der Suspension mit Luft-einschlüssen. Das Rührwerk ist in dieser Anordnung herausgenommen, da die Turbulenzen aus der Hochdruckzuleitung sich als maßgebend herausgestellt haben.

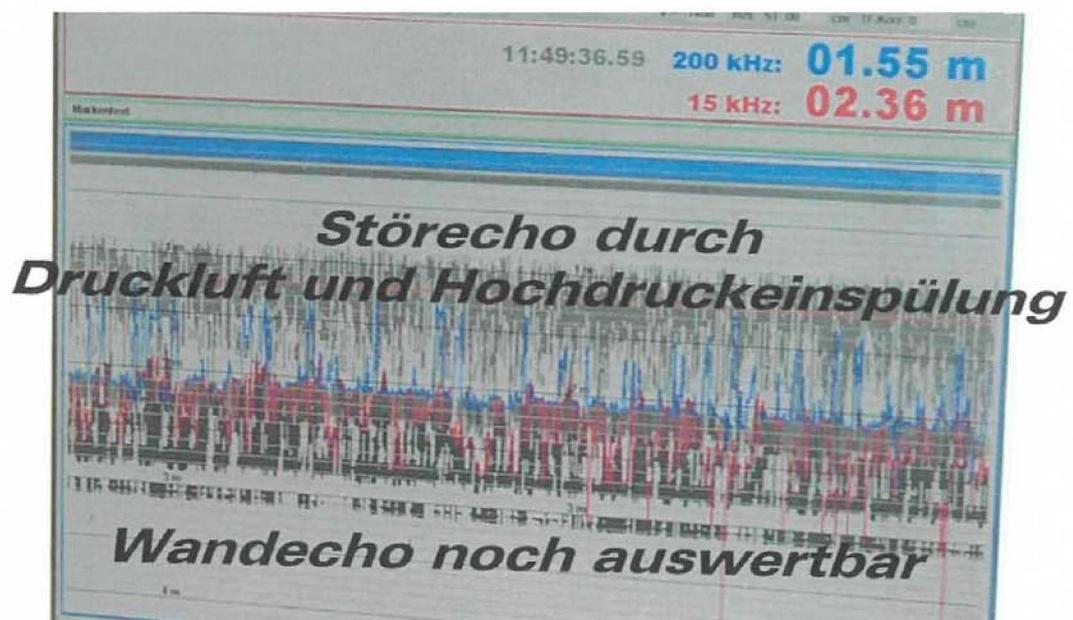


Abbildung 15: Meßwertaufzeichnung der Druckluft und Hochdruck beaufschlagten Suspension

Die Störechos in Überlagerung aus den Einflüssen des Drucklufteintrages und der Hochstrahleinwirkung erschweren die Interpretation der Meßergebnisse.

Der erste Meter der Meßlaufstrecke wurde durch eine planmäßige Ausblendung herausgenommen.

Grundsätzlich sind die Meßwerte noch interpretierbar und auswertbar. Die 200 kHz Meßfrequenz liefert gegenüber der 15 kHz Meßfrequenz stärkere Konvergenz der Meßwerte um die bekannte Meßentfernung.

## 9. GEWONNENE ERKENNTNISSE DER MESSTECHNISCHEN SYSTEMVERSUCHE TEIL II

Die gewonnenen Erkenntnisse aus den Systemversuchen Teil II lassen folgende Schlußfolgerungen zu. Diese ergänzen die Ergebnisse aus den Versuchen Teil I.

1. Die digitale Aufbereitung der Meßsignale in einem analog/digital-Wandler ermöglicht eine hinreichend sichere Interpretation von Meßergebnissen in stark turbulenten und inhomogenen Versuchssuspensionen.
2. Die Software zur Störechounterdrückung ist noch zu verbessern und an die tatsächlichen Produktionsverhältnisse einer Düsenstrahlsohle anzupassen.
3. Die Voraussetzung für die Weiterführung der Online-Vermessung mit verkleinerter Meßsensorik auf Grundlage der parallel ausgewerteten 200 kHz und 15 kHz Frequenzen sind erarbeitet worden.
4. Der Einfluß der spezifischen Laufzeit in inhomogenen Suspensionen ist noch durch Zusatzuntersuchungen zu kalibrieren.
5. Der Inhomogenitätsgrad der Suspension in Form von eingemischten Sandanteilen ist noch zu erhöhen.



Univ. Prof. Dr.-Ing. S. Savidis

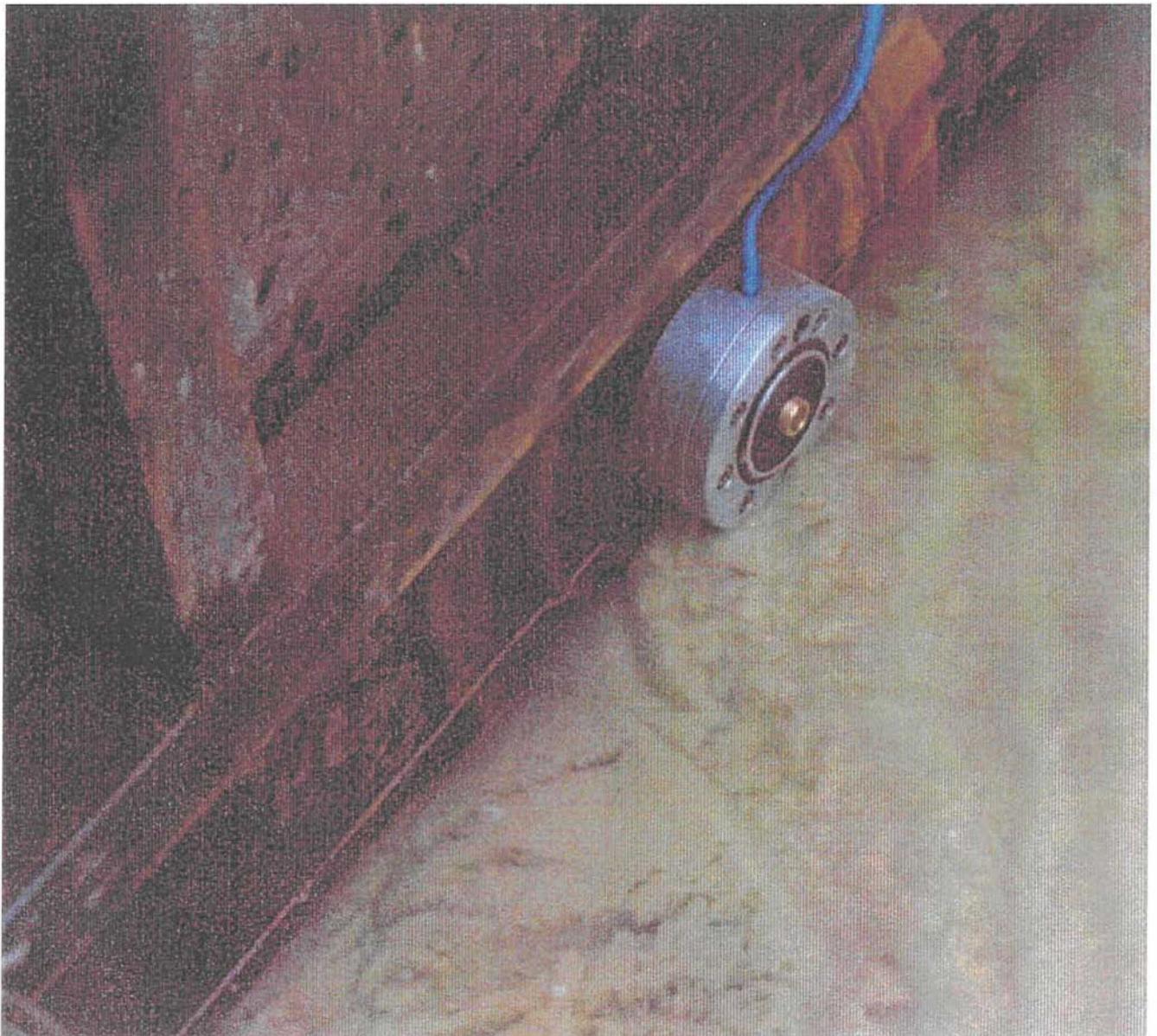


Dipl.-Ing. N. Schneider

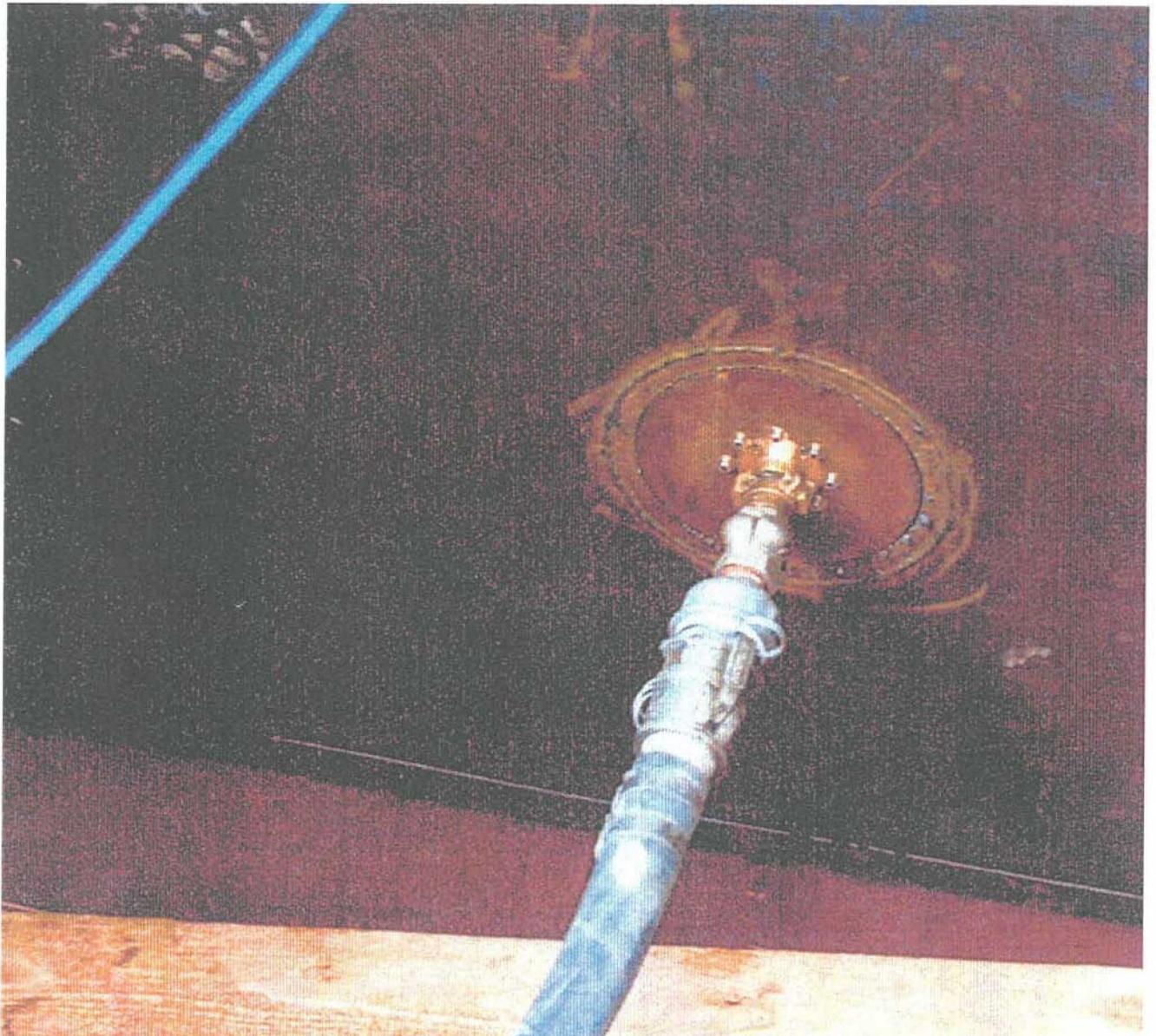
VERZEICHNIS DER ANLAGEN	ANZAHL DER SEITEN
1. Versuchsaufbau	1
2. Sendeeinheit mit integrierter Wasserdüse	1
3. Externer Wasseranschluß an die Sendeeinheit	1
4. Wasserstrahl aus der Sendeeinheit, der auf die Empfangseinheit trifft	1
5. Wasserbefüllung des Versuchscontainers	1
6. Bentonitbefüllung des Containers	1
7. Erkennbare Ausfallerscheinungen des Bentonits nach der Durchschallung	1



Anlage 1: Versuchsaufbau



Anlage 2: Sendeeinheit



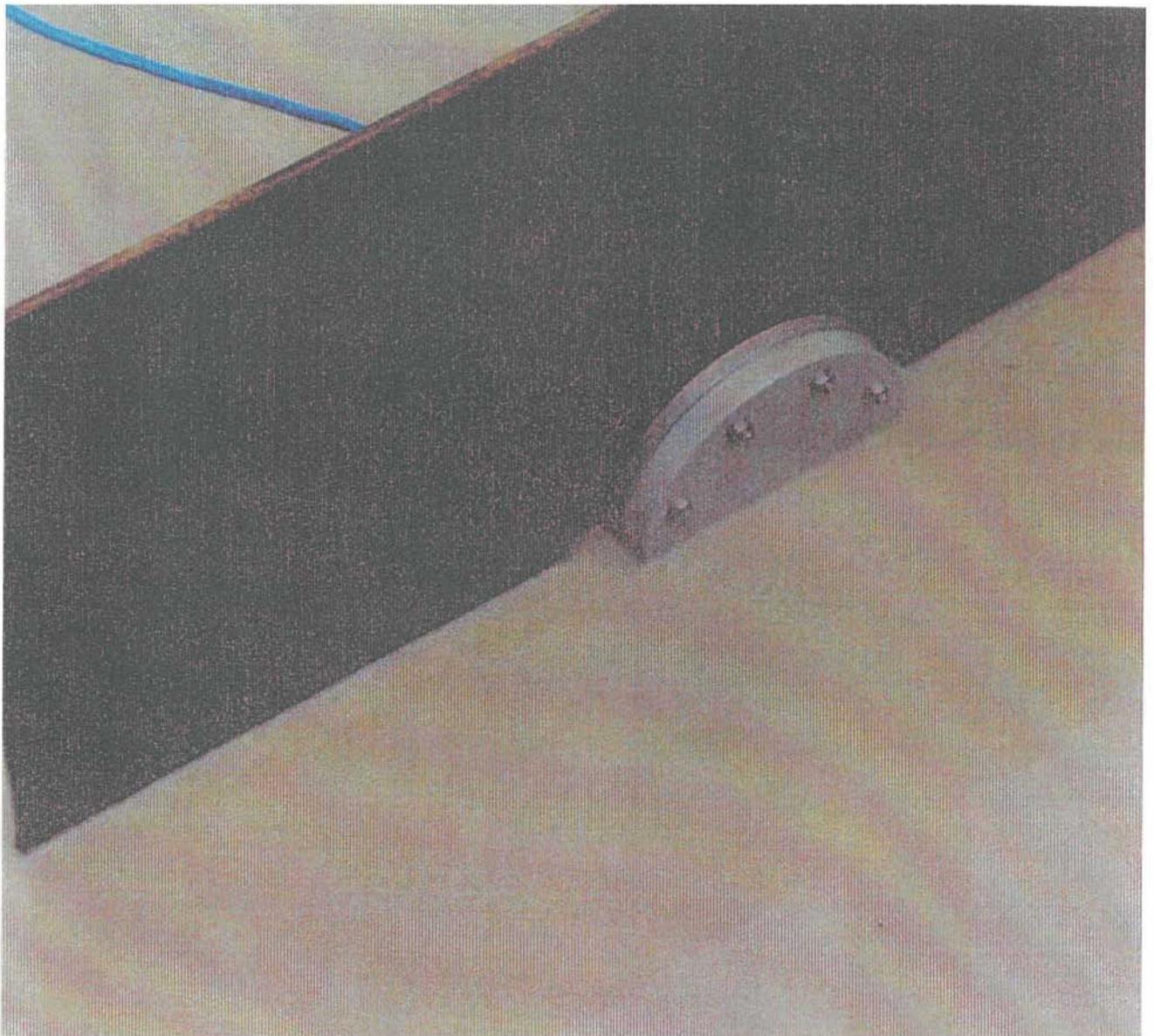
Anlage 3: Externer Wasseranschluß



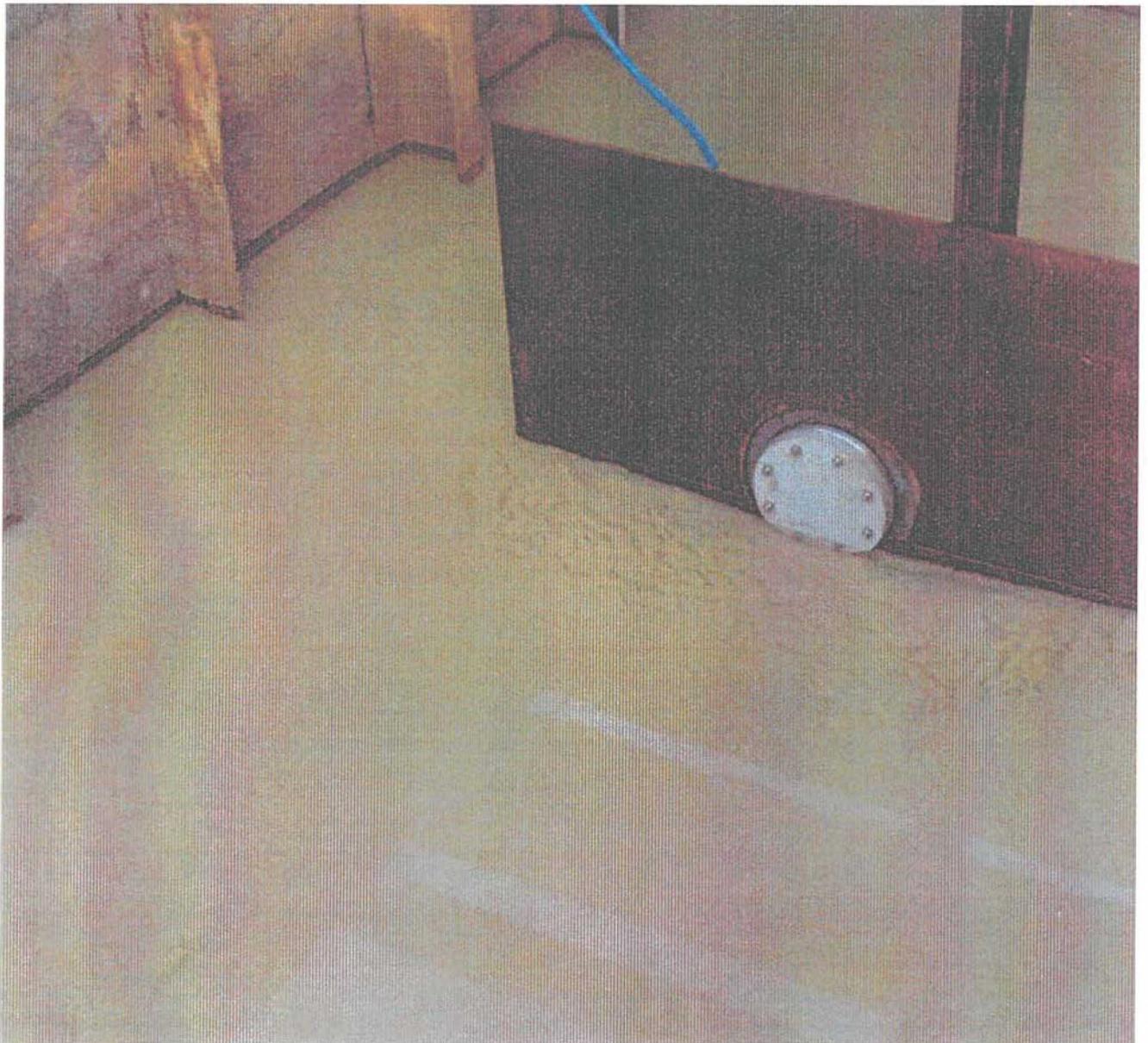
Anlage 4: Wasserstrahl



Anlage 5: Wasserbefüllung



Anlage 6: Bentonitbefüllung



Anlage 7: Ausfallerscheinungen des Bentonits





- Niedrigenergiehäuser unter Verwendung des Dämmstoffes Styropor**  
Teil 1, Konstruktionsempfehlungen und optimierte Anschlußsituationen (Details)  
W.-H. Pohl, S. Horschler, R. Pohl  
Teil 2, Quantitative Darstellung der Wirkung von Wärmebrücken  
Gerd Hauser, Horst Stiegel  
Band 31, 1997, 294 S., 169 Abb., kart., ISBN 3-8167-4230-0  
€ 14,- | sFr 25,-
- Fenster - Sanierung und Modernisierung**  
Hans-Rudolf Neumann  
Band 30, 1997, 134 S., 90 Abb., 11 Tab., kart., ISBN 3-8167-4229-7  
€ 20,- | sFr 35,-
- Schäden an nicht industriell hergestellten Wohnbauten der neuen Bundesländer**  
R. Oswald, R. Spilker, V. Schnapauff, u. a.  
Band 29, 1996, 116 S., 66 Abb., 30 Tab., kart., ISBN 3-8167-4228-9  
€ 17,- | sFr 30,50
- Parkierungsanlagen im verdichteten Wohnungsbau**  
Hannes Weeber, Rotraut Weeber  
Band 28, 1997, 156 S., 60 Abb., 28 Tab., kart., ISBN 3-8167-4227-0  
€ 22,- | sFr 39,50
- Möglichkeiten der Einsparung von Wohnkosten durch Mieterbeteiligung**  
M. Elff, K. Goldt, B. Harms, u. a.  
Band 27, 1997, 157 S., 3 Abb., 8 Tab., kart., ISBN 3-8167-4226-2  
€ 22,- | sFr 39,50
- Die Berechnung von Flachdecken über Zustands- und Einflußflächen**  
Max Baerschneider  
Band 26, 1996, 380 S., 196 Tab., kart., zweibändig, ISBN 3-8167-4225-4  
€ 49,- | sFr 83,50
- Feuchttransportvorgänge in Stein und Mauerwerk - Messung und Berechnung**  
M. Krus, H.-M. Künzel, K. Kießl  
Band 25, 1996, 75 S., 31 Abb., 2 Tab., kart., ISBN 3-8167-4224-6  
€ 15,- | sFr 26,-
- Wohngebäudesanierung und Privatisierung**  
Hannes Weeber, Michael Rees  
Band 24, 1996, 107 S., 51 Abb., 17 Tab., kart., ISBN 3-8167-4223-8  
€ 20,- | sFr 35,-
- Der Feuchtehaushalt von Holz-Fachwerkwänden**  
Helmut Künzel  
Band 23, 1996, 85 S., 32 Abb., 10 Tab., kart., ISBN 3-8167-4222-X  
€ 15,- | sFr 26,-
- Neue Konstruktionsalternativen für recyclingfähige Wohngebäude**  
Barbara Bredenbals, Wolfgang Willkomm  
Band 22, 1996, 110 S., 26 Abb., 3 Tab., kart., ISBN 3-8167-4221-1  
€ 17,- | sFr 30,50
- Standisicherheit der Wohnbauten in Fertigteilbauweise in den neuen Bundesländern**  
E. Cziesielski, N. Fouad, F.-U. Vogdt  
Band 21, 1996, 226 S., 71 Abb., kart., ISBN 3-8167-4220-3  
€ 30,- | sFr 51,50
- Sicherheit von Glasfassaden**  
X. Shen, H. Techen, J. D. Wörner  
Band 20, 1996, 38 S., 26 Abb., 4 Tab., kart., ISBN 3-8167-4219-X  
€ 12,- | sFr 21,50
- Kostengünstige Umnutzung aufgegebener militärischer Einrichtungen für Wohnzwecke, Wohnergängungseinrichtungen und andere Nutzungen**  
B. Jacobs, J. Kirchoff, J. Mezler  
Band 19, 1996, 204 S., zahlreiche Abb., kart., ISBN 3-8167-4218-1  
€ 28,- | sFr 47,50
- Holztafelbauweise im mehrgeschossigen Wohnungsbau**  
Barbara Bredenbals, Heinz Hullmann  
Band 18, 1996, 237 S., 116 Abb., 23 Tab., kart., ISBN 3-8167-4217-3  
€ 30,- | sFr 51,50
- Gefährdungspotentiale asbesthaltiger Massenbaustoffe in den neuen Bundesländern**  
Klaus Bergner, unter Mitarbeit von Franka Stodollik und Hans-Otto Eckler  
Band 17, 1996, 75 S., 26 Abb., 9 Tab., kart., ISBN 3-8167-4216-5  
€ 15,- | sFr 26,-
- Transparent gedämmte Altbauten**  
G. H. Bondzio, K. Brandstetter, P. Sulzer, S. Al Bosta, u. a.  
Band 15, 1996, 130 S., 44 Abb., 7 Tab., kart., ISBN 3-8167-4214-9  
€ 22,- | sFr 39,50
- Kosten und Techniken für das "Überwintern" erhaltenswerter Bausubstanz**  
Michael Rees, Hannes Weeber  
Band 14, 1995, 190 S., zahlreiche Abb., kart., ISBN 3-8167-4213-0  
€ 25,- | sFr 44,-
- Menschengerechte Raumklimatisierung durch Quelllüftung und Flächenkühlung**  
Erhard Mayer (Hrsg.)  
Band 13, 1995, 190 S., zahlreiche Abb., kart., ISBN 3-8167-4212-2  
€ 25,- | sFr 44,-
- Zusätzliche Wärmedämmsysteme bei Fertigteilbauten**  
Typenserie P2  
P. Bauer, B. Loeser, H. Schwarzgig, T. Spengler  
Band 12, 1995, 118 S., zahlreiche Abb., kart., ISBN 3-8167-4211-4  
€ 20,- | sFr 35,-
- Körperschalldämmung von Sanitärräumen**  
Karl Gösele, Volker Engel  
Band 11, 1995, 76 S., zahlreiche Abb., kart., ISBN 3-8167-4210-6  
€ 15,- | sFr 26,-
- Bauschäden an Holzbalkendecken in Feuchtraumbereichen**  
Gertraud Hofmeister  
Band 9, 1995, 210 S., zahlreiche Abb., kart., ISBN 3-8167-4208-4  
€ 25,- | sFr 44,-
- Ökologische Auswirkungen von Hochhäusern**  
Band 8, 1995, 418 S., 114 Abb., kart., ISBN 3-8167-4207-6  
€ 50,- | sFr 86,-
- Wohnhochhäuser heute**  
H. Weeber, R. Weeber, M. Hasenmaier, u. a.  
Band 7, 1995, 165 S., zahlreiche Abb., kart., ISBN 3-8167-4206-8  
€ 25,- | sFr 44,-
- Abfallvermeidung in der Bauproduktion**  
Barbara Bredenbals, Wolfgang Willkomm  
Band 6, 1994, 198 S., 75 Abb., 16 Tab., kart., ISBN 3-8167-4205-X  
€ 25,- | sFr 44,-
- Barrierefreie Erschließungssysteme von Wohngebäuden**  
R. Weeber, M. Rees, H. Weeber  
Band 5, 1994, 64 S., 52 Abb., 6 Tab., kart., ISBN 3-8167-4204-1  
€ 12,- | sFr 21,50
- Die Ausführung des Umkehrdaches bei erhöhten Anforderungen an den Wärmeschutz**  
Lutz Franke, Gernod Deckelmann  
Band 4, 1994, 80 S., zahlreiche Abb. und Tab., kart., ISBN 3-8167-4203-3  
€ 20,- | sFr 35,-
- Niveaugleiche Türschwellen bei Feuchträumen und Dachterrassen**  
R. Oswald, A. Klein, K. Wilmes  
Band 3, 1994, 56 S., 48 Abb., kart., ISBN 3-8167-4202-5  
€ 12,- | sFr 21,50
- Wohnbauten in Fertigteilbauweise in den neuen Bundesländern**  
R. Oswald, V. Schnapauff, R. Lamers, u. a.  
Band 2, 1995, 333 S., 515 Abb., kart., ISBN 3-8167-4201-7  
€ 40,- | sFr 69,50
- Heizung und Lüftung im Niedrigenergiehaus**  
Gerhard Hausladen, Peter Springl  
Band 1, 1994, 214 S., 74 Abb., 17 Tab., kart., ISBN 3-8167-4200-9  
€ 25,- | sFr 44,-
- Informieren Sie mich bitte laufend über neue **Fachbücher**

## BESTELLSCHEIN

■ **Titel ankreuzen und im Umschlag oder per Fax (07 11) 970 - 2508 oder -2507 senden an:**

■ **Fraunhofer IRB Verlag**

■ Fraunhofer-Informationszentrum  
■ Raum und Bau IRB

■ **Postfach 80 04 69, D-70504 Stuttgart**

■ **Telefon (07 11) 970 - 2500**

■ **E-Mail: info@irb.fhg.de**

■ **URL: <http://www.IRBbuch.de>**

■ Absender .....

■ .....

■ .....

■ Straße/PF .....

■ PLZ/Ort .....

■ Datum .....

■ Unterschrift .....

# Schadenfreies Bauen

Herausgegeben von Professor Günter Zimmermann

- Schadenfreies Bauen**  
**Gesamtausgabe Bände 1 – 26**  
2002, alle Bände mit festem Einband  
ISBN 3-8167-5796-0  
€ 1037,- | sFr 1744,-  
Bei Abnahme der Gesamtausgabe sparen Sie € 115,-
- Schäden an polymeren Beschichtungen**  
Robert Engelfried  
Band 26: 2001, 146 S., 94 Abb., 14 Tab.,  
ISBN 3-8167-5795-2  
€ 40,- | sFr 68,50
- Schäden an Belägen und Bekleidungen mit Keramik- und Werksteinplatten**  
Günter Zimmermann  
Band 25: 2001, 200 S., 175 Abb., 16 Tab.,  
ISBN 3-8167-5791-X  
€ 48,- | sFr 82,50
- Schäden an Installationsanlagen**  
Heizungs- und Raumluftechnische Anlagen,  
Trinkwasser-, Abwasser- und Gasinstallationsanlagen  
Heinz Wirth, Stefan Wirth  
Band 24: 2001, 270 S., 114 Abb., 33 Tab.,  
ISBN 3-8167-5790-1  
€ 57,- | sFr 96,-
- Schäden an Türen und Toren**  
Ralf Schumacher  
Band 23: 2001, 372 S., 291 Abb., 32 Tab.,  
ISBN 3-8167-4169-X  
€ 71,- | sFr 118,-
- Schäden an elastischen und textilen Bodenbelägen**  
Hans-Joachim Scheewe  
Band 22: 2001, 232 S., 80 überw. farb. Abb.,  
50 Tab.,  
ISBN 3-8167-4168-1  
€ 50,- | sFr 86,-
- Schäden an Glasfassaden und -dächern**  
Peter Küffner, Oliver Lummertzheim  
Band 21: 2000, 132 S., 106 z.T. farb. Abb.,  
6 Tab.,  
ISBN 3-8167-4165-7  
€ 40,- | sFr 68,50
- Schäden an Wärmedämm-Verbundsystemen**  
Erich Cziesielski, Frank Ulrich Vogdt  
Band 20: 2000, 202 S., 75 Konstruktionsskizzen,  
28 Tab. u. Diagramme, 98 Fotos,  
ISBN 3-8167-4164-9  
€ 50,- | sFr 86,-
- Schäden an Außenwänden aus Mehrschicht-Betonplatten**  
Ralf Ruhnau, Nabil Fouad  
Band 19: 1998, 104 S., 61 Abb.; 7 Tab.,  
ISBN 3-8167-4160-6  
€ 35,- | sFr 60,50
- Schäden an Deckenbekleidungen und abgehängten Decken**  
Hubert Satzger  
Band 18: 1998, 78 S., 59 Abb., 5 Tab.,  
ISBN 3-8167-4159-2  
€ 23,- | sFr 40,50
- Schäden an Dränanlagen**  
Wilfried Muth  
Band 17: 1997, 114 S., 128 Abb., 10 Tab.,  
ISBN 3-8167-4154-1  
€ 35,- | sFr 60,50
- Tauwasserschäden**  
Richard Jenisch  
Band 16: 2. überarb. Aufl., 2001, 129 S.,  
66 Abb., 6 Tab., ISBN 3-8167-5792-8  
€ 37,- | sFr 62,50
- Schäden an Estrichen**  
Klaus G. Aurnhammer  
Band 15: 2., erg. Aufl., 1999, 216 S., 44 Abb.;  
17 Tab.,  
ISBN 3-8167-4162-2  
€ 46,- | sFr 78,-
- Schäden an Tragwerken aus Stahlbeton**  
Bernhard Brand, Gerhard Glatz  
Band 14: 1996, 217 S., 129 Abb., 24 Tab.,  
ISBN 3-8167-4153-3  
€ 46,- | sFr 78,-
- Schäden an Außenwänden aus Ziegel- und Kalksandstein-Verblendmauerwerk**  
Helmut Klaas, Erich Schulz  
Band 13: 1995, 224 S., 162 Abb., 13 Tab.,  
ISBN 3-8167-4152-5  
€ 46,- | sFr 78,-
- Schäden an Metallfassaden und -dachdeckungen**  
Franz Lubinski, Fritz Röbber, Uwe Nagel, u. a.  
Band 12: 2. erw. Aufl., 2001, 415 S., 303  
Abb., 22 Tab.,  
ISBN 3-8167-4166-5  
€ 76,- | sFr 127,-
- Schäden an Außenmauerwerk aus Naturstein**  
Martin Sauder, Renate Schloenbach  
Band 11: 1995, 274 S., 95 Abb., 31 Tab.,  
ISBN 3-8167-4150-9  
€ 50,- | sFr 86,-
- Schäden an Außenwänden mit Asbestzement-, Faserzement- und Schieferplatten**  
Klaus W. Liersch  
Band 10: 1995, 146 S., 86 Abb., 20 Tab.,  
ISBN 3-8167-4149-5  
€ 38,- | sFr 65,-
- Schäden an Fassadenputzen**  
Helmut Künzel  
Band 9: 2. erw. Aufl., 2000, 142 S., mit zahlr.  
Abb. und Tab.,  
ISBN 3-8167-4167-3  
€ 38,- | sFr 65,-
- Schäden an Abdichtungen in Innenräumen**  
Erich Cziesielski, Michael Bonk  
Band 8: 1994, 112 S., 55 Abb., 4 Tab.,  
ISBN 3-8167-4147-9  
€ 33,- | sFr 57,-
- Rissschäden an Mauerwerk**  
Ursachen erkennen - Rißschäden vermeiden.  
Werner Pfefferkorn  
Band 7: 3. überarb. Aufl., 2002, 292 S.,  
290 Abb., 18 Tab.,  
ISBN 3-8167-5793-6  
€ 53,- | sFr 89,-
- Schäden an Fenstern**  
Wolfgang Klein  
Band 6: 1994, 154 S., 92 Abb., 2 Tab.,  
ISBN 3-8167-4145-2  
€ 37,- | sFr 64,-
- Schäden an Wänden und Decken in Holzbauart**  
Horst Schulze  
Band 5: 1993, 158 S., 140 Abb.,  
ISBN 3-8167-4144-4  
€ 37,- | sFr 64,-
- Schäden an Industrieböden**  
Erich Cziesielski, Thomas Schrepfer  
Band 4: 2., erw. Aufl., 1999, 169 S., 69 Abb.,  
33 Tab.,  
ISBN 3-8167-4163-0  
€ 46,- | sFr 78,-
- Schäden an Sichtbetonflächen**  
Heinz Klopfer  
Band 3: 1993, 123 S., 77 Abb., 9 Tab.,  
ISBN 3-8167-4142-8  
€ 35,- | sFr 60,50
- Schäden an Flachdächern und Wannenaus wasserundurchlässigem Beton**  
Gottfried C.O. Lohmeyer  
Band 2: 3. neu bearb. Aufl., 2001, 272 S.,  
171 Abb., 28 Tab.,  
ISBN 3-8167-5794-4  
€ 50,- | sFr 86,-
- Schäden an Außenwandfugen im Beton- und Mauerwerksbau**  
Ralf Ruhnau  
Band 1: 1992, 132 S., 87 Abb.,  
ISBN 3-8167-4140-1  
€ 35,- | sFr 60,50

## BESTELLSCHEIN

**Titel ankreuzen und im Umschlag oder per Fax (07 11) 970 - 25 08 oder -25 07 senden an:**  
 **Fraunhofer IRB Verlag**  
 Fraunhofer-Informationszentrum  
 Raum und Bau IRB  
 **Postfach 80 04 69, D-70504 Stuttgart**  
 **Telefon (07 11) 970 - 25 00**  
 **E-Mail: info@irb.fhg.de**  
 **URL: http://www.IRBbuch.de**

**Absender** .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 **Straße/PF** .....  
 .....  
 **PLZ/Ort** .....  
 .....  
 **Datum** .....  
 .....  
 **Unterschrift** .....

02/2002 [sFBalle Titel-AnzeigeA4.qxd

# Die »Bauschäden-Sammlung« in 13 Bänden

Herausgegeben von Professor Günter Zimmermann



In der Fachwelt hat diese Zusammenstellung von typischen Bauschadensfällen als wichtiger Beitrag zur Verbesserung der Bau- und Planungsleistungen großes Ansehen erlangt.

Die 13 Bände mit dem Untertitel »Sachverhalt - Ursachen - Sanierung« enthalten Schadensberichte aus allen baukonstruktiven Bereichen und sind durch Themen- und Sachregister erschlossen.

Der Nutzer kann so auf Anhieb feststellen,

- ob ein gleicher oder ähnlicher Schaden bereits dokumentiert ist,
- welche Schäden für ein bestimmtes Bauteil typisch sind,
- wie diese Schäden vermieden werden können oder welche Maßnahmen zu ihrer Behebung in Frage kommen.

Seit 3 Jahrzehnten ist die »Bauschäden-Sammlung« eine ständige Rubrik des »Deutschen Architektenblattes«.

## Bauschäden-Sammlung, Band 13 Sachverhalt - Ursachen - Sanierung

2001, 184 Seiten,  
zahlreiche, überwiegend farbige  
Abbildungen, fester Einband,  
ISBN 3-8167-4185-1  
€ 27,- | sFr 44,-

Der Herausgeber

Professor Günter Zimmermann, ein bekannter Bausachverständiger mit langjähriger Erfahrung, betreut seit 3 Jahrzehnten die »Bauschäden-Sammlung« im »Deutschen Architektenblatt« und ist auch für die Herausgabe der Buchausgabe verantwortlich.

### BESTELLSCHEIN

- Band 1: 168 Seiten  
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 2: 168 Seiten  
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 3: 168 Seiten  
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 4: 168 Seiten  
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 5: 168 Seiten  
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 6: 168 Seiten  
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 7: 168 Seiten  
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 8: 168 Seiten  
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 9: 184 Seiten  
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 10: 184 Seiten  
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 11: 184 Seiten  
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 12: 184 Seiten  
€ 27,- | sFr 44,-
- Band 13: 184 Seiten  
€ 27,- | sFr 44,-

### Sie sparen € 36,- bei Abnahme der

- Bände 1-13 komplett:  
€ 315,- | sFr 476,-

Alle Bände im Format A 5 quer, mit zahlreichen, zum Teil farbigen Abbildungen, festem Einband und Fadenheftung

Titel ankreuzen und im Umschlag oder per Fax (07 11) 970 - 25 08 oder -25 07 senden an:

### Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum  
Raum und Bau IRB

Postfach 80 04 69, D-70504 Stuttgart  
Telefon (07 11) 9 70 - 25 00  
E-Mail: [info@irb.fhg.de](mailto:info@irb.fhg.de)  
URL: <http://www.IRBbuch.de>

Absender .....

Straße/PF .....

PLZ/Ort .....

Datum .....

Unterschrift .....

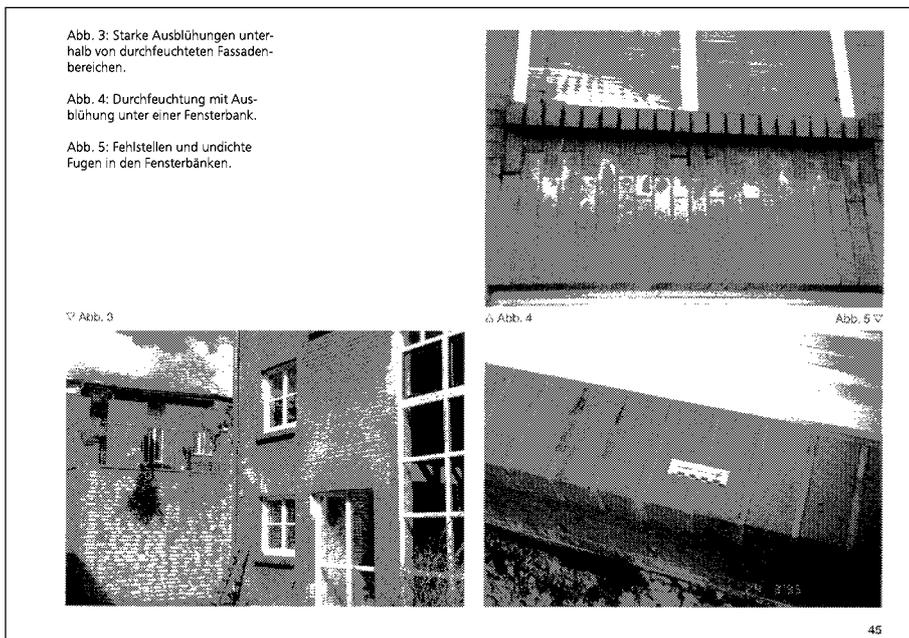


Abb. 3: Starke Ausblühungen unterhalb von durchfeuchteten Fassadenbereichen.

Abb. 4: Durchfeuchtung mit Ausblühung unter einer Fensterbank.

Abb. 5: Fehlstellen und undichte Fugen in den Fensterbänken.

Abb. 3

Abb. 4

Abb. 5