

**Tragfähigkeit von Betondruck-  
streben für Stabwerkmodelle nach  
DIN 1045-1 und EN 1992-1-1 (EC2)**

**T 3037**

T 3037

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

2004, ISBN 3-8167-6541-6

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 [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.IRBbuch.de](http://www.IRBbuch.de)

## **Schlussbericht**

**Forschungsvorhaben P32-5- 7.218-1040/02**

**„Tragfähigkeit von Betondruckstreben für Stabwerkmodelle nach  
DIN 1045-1 und EN 1992-1-1 (EC2)“**

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Konrad Zilch  
Dipl.-Ing. Angelika Schießl  
Dipl.-Ing. Michael Cylllok**

Bericht Nr.: cy – 2303459

vom: 05.11.2003

Auftraggeber: Deutsches Institut für Bautechnik  
Kolonnenstraße 30L

10829 Berlin

Der Untersuchungsbericht umfasst 22 Textseiten

Der Bericht darf nur ungekürzt veröffentlicht werden.

Die gekürzte oder auszugsweise Veröffentlichung bedarf der vorherigen Genehmigung des Lehrstuhls

# Inhalt

1	Einleitung .....	3
2	Literaturrecherche .....	4
3	Untersuchungen an der Technischen Universität München.....	7
3.1	Experimentelle Untersuchungen .....	7
3.2	Berechnungsmodell / Parameterstudie .....	9
4	Bemessungsansatz.....	12
5	Zusammenfassung.....	15
6	Unterschriften.....	16
7	Literatur.....	17
Anhang A	Zusammenfassung des Vorhabens „Tragfähigkeit von Betondruckstreben“ ...	20
Anhang B	Kurzzusammenfassungen.....	21

# 1 Einleitung

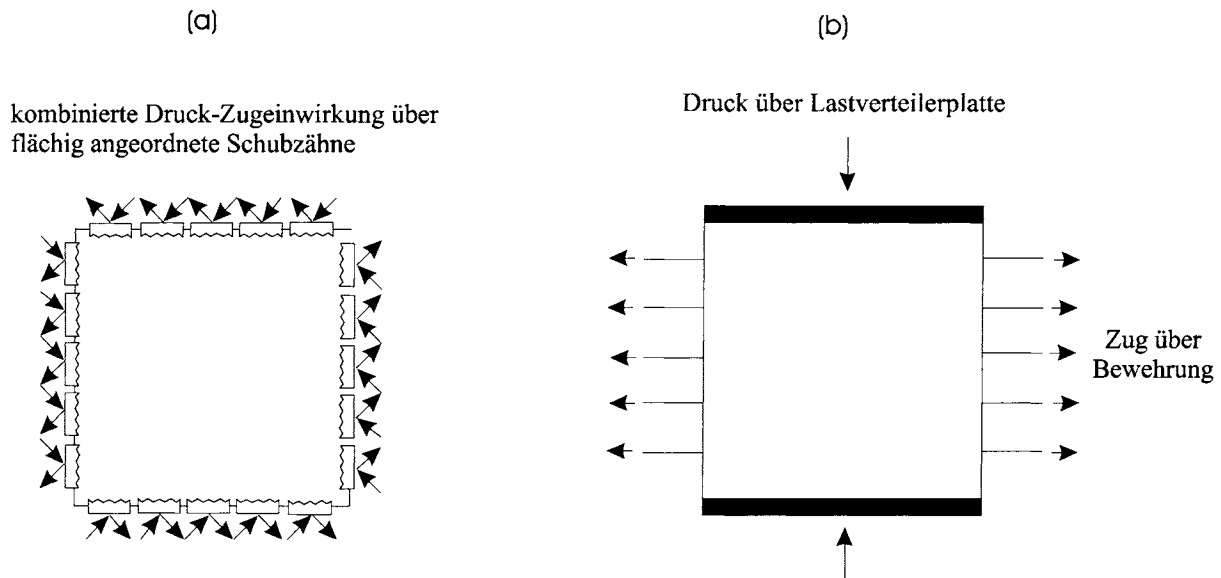
In den aktuellen Normen DIN 1045-1 [1] und prEN 1992-1-1 [2] ist die Verwendung von Stabwerkmodellen bestehend aus Zugstreben (Stahl), Druckstreben (Beton) und Knoten erlaubt. Während die Bemessung von Zugstreben und Knoten ausreichend beschrieben ist, findet man für die Bemessung der Betondruckstreben in DIN 1045-1 und prEN 1992-1-1 unterschiedliche Regelungen, die jeweils nur Sonderfälle behandeln. Ziel des Forschungsvorhabens ist es, eine einheitliche, einfache Regelung zu finden, mit der der Rechenwert der aufnehmbaren Druckspannung einer Betondruckstrebe umfassend bestimmt werden kann.

An der Technischen Universität wurde kürzlich ein umfangreiches Forschungsvorhaben zur Bestimmung des Rechenwerts der aufnehmbaren Druckspannung einer Betondruckstrebe in zweiachsig beanspruchten Scheibenelementen abgeschlossen. Das Forschungsvorhaben umfasste eine Literaturrecherche, ein Versuchsprogramm zur Untersuchung des Einflusses der Hauptzugverzerrung, des Risswinkels und des Betontyps und die Entwicklung eines Berechnungsmodells und dessen programmtechnische Umsetzung. Mit dem entwickelten Berechnungsprogramm wurde eine Parameterstudie durchgeführt, deren Ergebnisse zur Klärung der im Rahmen dieses Forschungsvorhabens vorliegenden Fragestellung dienen. Eine detaillierte Zusammenstellung aller experimentellen und theoretischen Ergebnisse ist der Dissertation von Schießl [3] zu entnehmen.

## 2 Literaturrecherche

Seit über drei Jahrzehnten werden experimentelle Untersuchungen zum Tragverhalten von bewehrten Stahlbetonscheiben mit sehr unterschiedlichen Zielsetzungen durchgeführt. Eine Auswahl der wichtigsten Versuche ist Tabelle 1 zu entnehmen.

Die bisher in der Literatur beschriebenen Scheibenversuche lassen sich nach der Art der Versuchsdurchführung untergliedern (siehe Abbildung 1): Für die in Houston und Toronto durchgeführten Versuche wurden so genannte „Panel Tester“ konstruiert. Die Scheibe wird in die Anlage eingebaut und ist an den Rändern mit mehreren, kombinierten Druck-Zug-Pressensystemen ausgestattet. Die Krafteinleitung in den Beton erfolgt über Schubzähne. Diese Versuchsanlage hat den großen Vorteil, dass jede beliebige Kräftekombination (Druck, Zug, Schub) als gleichmäßig verteilte Flächenlast von den Rändern aus eingeleitet werden kann. Der große Nachteil dieser Versuchsanlage ist jedoch, dass eine Anschaffung mit erheblichen Kosten verbunden ist.



**Abbildung 1 Systemskizze der unterschiedlichen Versuchsaufbauten (a) Panel Tester z.B. nach [15] und (b) getrennte Druck-Zugkraftaufbringung z.B. nach [21]**

Bei den anderen Versuchen wurde die Zugkraft entweder über angeklebte Stahllaschen in die Scheibe eingeleitet oder aber über die Verbundwirkung durch die Bewehrungsstäbe. Zusätzlich wurden die Scheiben senkrecht auf Druck beansprucht. Bei den Versuchen mit getrennter Druck- und Zugkraftaufbringung ist der finanzielle Aufwand für die Konstruktion der Versuchsanlage wesentlich geringer als im „Panel Tester“, jedoch verfügt man nur über begrenzte

Möglichkeiten, unterschiedliche mehrachsige Spannungszustände zu erzeugen. Die Erzeugung einer zusätzlichen Schubkraft ist nur indirekt über eine diagonal eingelegte Bewehrung möglich.

Versuchsreihe	Versuchsdurchführung	Parameter <sup>1)</sup>	Erkenntnisse <sup>1)</sup>
Peter (1964) [4]	einachsige Zugbeanspruchung über geklebte Laschen	Winkel zwischen Hauptspannungsrichtung und Bewehrungsrichtung	Richtung der Primärrisse unabhängig von Bewehrungsrichtung
Robinson/Demorieux (1968-1972) [5], [6]	Druck, Druck-Zug (Zug über Bewehrung)	Betongüte, Bewehrungsgrad, Diagonalbewehrung <sup>2)</sup>	$f_{c,cyl} > f_{c,sch,1ax} > f_{c,sch,2ax}$ <sup>3)</sup> (unabhängig von Betongüte und B.-grad)
Aoyagi (ab1979) [7]	Zug-Zug, Zug-Druck (Zug über Laschen)	Winkel zwischen Hauptspannungsrichtung und Bewehrungsrichtung	schwacher Bewehrungsgrad führt zu Zugversagen der Scheibe
Cornell University (1980-182) [8], [9], [10]	Zug-Zug (Zug über Bew.), Schub (Druck/Zug über Ecken)	Beanspruchung, Lastpfad, Diagonalbewehrung,	Diagonalbew. führt zu unterschiedlichem Scheibenverhalten
Portland Cement Association (1980/81) [11]	siehe Cornell University	Maßstabseinfluss	keine Aussagen möglich, Scheibenversagen aufgrund von ungünstigem Versuchsaufbau
University of Toronto (ab 1982) [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18]	„ Panel Tester “	Lastkombination, Lastaufbringung (zyklisch oder monoton), Lastpfad, Bewehrungsgrad, Betonfestigkeit, Versuchsstand, Maßstabseinfluss; etc.	Scheibentragfähigkeit kann als Funktion der Hauptzugverzerrung und der Betonfestigkeit (HLB) dargestellt werden, die anderen Parameter sind von untergeordneter Bedeutung.
Schlaich/Schäfer/ Schelling (1982) [19], [29]	Druck, Druck-Zug (Zug über Bewehrung)	Bewehrungsgrad, Bewehrungsrichtung	Rissbreiten und Rissabstände haben einen größeren Einfluss als Querzug
Kolleger/ Mehlfhorn (1988-1990) [21], [22]	Druck, Druck-Zug (Zug über Bewehrung)	Größe des Querzuges, Winkel zwischen Hauptzug- und Bewehrungsrichtung, Betonfestigkeit, Oberfläche der Bewehrung	Höhe des Querzuges bzw. Querspannung hat größeren Einfluss als Bewehrungsparameter
Eibl/Neuroth (1988) [23]	Druck, Druck-Zug (Zug über Bewehrung)	Bewehrungsanordnung bei gleichem Bewehrungsgehalt	Großer Einfluss der Rissbreiten und Rissabstände
University of Houston (ab 1991) [24], [25]	„ Panel Tester “	Lastpfad, Stababstand der Zugbewehrung in Längsrichtung, Einfluss einer Diagonalbewehrung, etc.	Scheibentragfähigkeit kann als Funktion der Hauptzugverzerrung und des Lastpfades (sequentiell oder proportional) dargestellt werden.

1) Die untersuchten Parameter und Erkenntnisse beziehen sich nur auf die hier behandelte Problematik, andere Parameter sind den Literaturstellen zu entnehmen.  
2) Mit Diagonalbewehrung ist eine unter 45° zur Zugrichtung verlaufende Bewehrung gemeint.  
3)  $f_{c,cyl}$  : Zylinderdruckfestigkeit,  $f_{c,sch,1ax}$  : aufnehmbare Druckspannung in einer einachsigen belasteten Scheibe,  $f_{c,sch,2ax}$  : aufnehmbare Druckspannung in einer zweiachsigen belasteten Scheibe

**Tabelle 1 Chronologischer Zeitplan der durchgeführten Scheibenversuche**

Bisher wurde aber weder bei Versuchen mit Panel Testern, noch bei Versuchen mit getrennter Druck- und Zugkraftaufbringung der Einfluss der Rissneigung, d.h. des Winkels zwischen Hauptdruckspannungsrichtung und Rissrichtung untersucht. Dieser Winkel resultiert aus früheren Beanspruchungszuständen (z.B. Bauzustand), sowie aus der Spannungsumlagerung nach der Rissbildung. Wenn die Zugkraft über die Bewehrung aufgebracht wird, ist es versuchstechnisch schwierig, einen Winkel zwischen Hauptdruckspannungsrichtung und Rissrichtung zu erzeugen. Mit dem an der technischen Universität München entwickelten Versuchsaufbau (siehe auch [3]) mit zweistufiger Lastaufbringung kann dieser Einfluss jedoch untersucht werden.



# 3 Untersuchungen an der Technischen Universität München

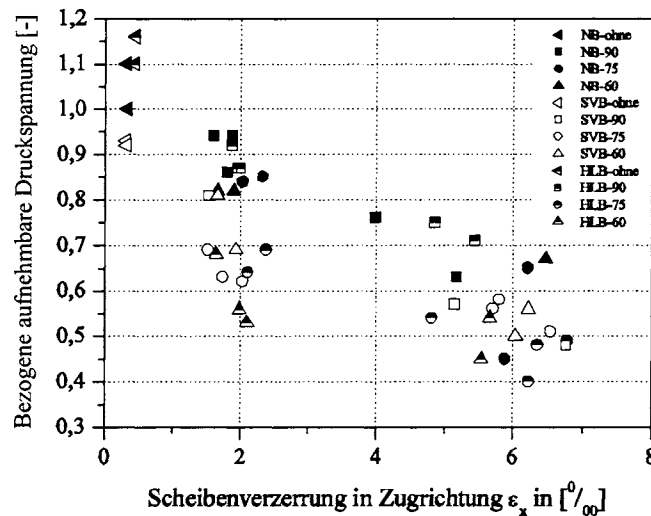
## 3.1 Experimentelle Untersuchungen

Zuerst wurden den Scheiben Risse unter einem bestimmten Winkel eingepreßt. Die Risse wurden durch Spaltwirkung erzeugt. Danach wurden die gerissenen Scheiben auf Zug beansprucht (Versuchsphase 1). Bei Erreichen eines bestimmten Zugspannungsniveaus wurde die Zugkraft konstant gehalten und die Scheiben wurden durch eine senkrecht zur Zugkraft wirkenden Druckkraft beansprucht (Versuchsphase 2). Die Druckkraft wurde solange gesteigert, bis die Scheiben zu Bruch gingen. Die variierten Parameter waren der Betontyp (NB, SVB, HLB), der Winkel zwischen Bewehrung und Riss ( $\varphi = 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$ ) und das Zugspannungsniveau (bzw. Dehnungsniveau) der Bewehrung ( $\sigma < f_{sy}, \sigma > f_{sy}$ ). Außerdem wurde die aufnehmbare Druckspannung in bewehrten und unbewehrten Scheiben ohne gleichzeitig wirkenden Querszug ermittelt. Für die meisten der untersuchten Parameterkombinationen wurden 2-3 Versuche durchgeführt.

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse der experimentellen Untersuchung. Dargestellt ist die auf die Zylinderdruckfestigkeit bezogene aufnehmbare Druckspannung in einer Scheibe in Abhängigkeit der Hauptzugverzerrung. Grundsätzlich ist es auch möglich, die aufnehmbaren Spannungen auf eine wirkliche, d.h. geometrieunabhängige, einachsige Festigkeit zu beziehen. Das Ziel der hier beschriebenen Forschung ist jedoch die Bemessung nach Norm, die sich wiederum stets auf die Zylinderdruckfestigkeiten bezieht. Aus diesem Grund wurde der Bezug auf diese, messbare Größe vorgezogen. Die so bezogenen Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Zunehmende Scheibenhauptzugverzerrungen führen zu einer Abnahme der aufnehmbaren Druckspannung. Das gleiche Ergebnis wurde in den letzten 30 Jahren in einer Vielzahl von nationalen und internationalen Forschungsvorhaben mit teilweise unterschiedlichen Fragestellungen erzielt. Bei einem Vergleich aller Versuchsergebnisse lassen sich große Streuungen beobachten und aus diesem Grund weichen auch die Modelle und die entsprechenden Haupteinflussparameter voneinander ab. Bei einem Vergleich der normierten Versuchsergebnisse zeigte sich, dass sich die Abnahme der aufnehmbaren Druckspannung

zweiachsig beanspruchter Scheibenelemente gut durch die Scheibenhauptzugverzerrung darstellen lässt.



**Abbildung 2** Abhängigkeit der aufnehmbaren Druckspannungen in einer Scheibe (bezogen auf die Zylinderdruckfestigkeit) von der Scheibenverzerrung (Eigene Versuche)

- Die Zylinderdruckfestigkeit und die aufnehmbare Druckspannung in einer einachsig belasteten Scheibe sind abgesehen von Prüfkörper- und herstellungsbedingten Einflüssen gleich.
- Stimmt die Hauptdruckspannungsrichtung mit der Rissrichtung überein ( $\varphi = 90^\circ$ ), so unterscheidet sich die auf die Zylinderdruckfestigkeit bezogene aufnehmbare Druckspannung in Scheiben aus NB und SVB nicht voneinander. Aufgrund der guten Verbundeigenschaften liegt die bezogene aufnehmbare Druckspannung in Scheiben aus HLB geringfügig über der bezogenen aufnehmbaren Druckspannung in Scheiben aus NB und SVB. Dies gilt für alle untersuchten Scheibenhauptzugverzerrungen.
- Weicht die Hauptdruckspannungsrichtung von der Rissrichtung ab ( $\varphi = 75^\circ$  und  $60^\circ$ ), so nimmt auch die auf die Zylinderdruckfestigkeit bezogene aufnehmbare Druckspannung in der Scheibe ab. Die Größe dieses Effektes hängt von den Rissverzahnungseigenschaften des Betons ab. Die Rissverzahnung ist bei HLB aufgrund der glatten Rissufer geringer als bei NB oder SVB. Folglich ist die Abnahme der aufnehmbaren Druckspannung mit zunehmendem Risswinkel für HLB am deutlichsten. Auch dies gilt unabhängig von der Größe der Scheibenhauptzugverzerrung.

Das heißt, dass neben der Scheibenhauptzugverzerrung auch der Risswinkel und bei geeigneten Risswinkeln die Betondruckfestigkeit (als Unterscheidung zwischen NB und HLB) einen

Einfluss auf die aufnehmbare Druckspannung in zweiachsig beanspruchten Scheibenelementen hat.

Es fällt auf, dass die eigentliche Rissbreite als Einflussfaktor weder direkt, noch indirekt über den Rissabstand genannt wird, obwohl Eibl/Neuroth [23] diese als wesentlich bezeichnen. Dem kann entgegnet werden, dass Rissabstand und Rissbreite baupraktisch durch die Nachweise der Gebrauchstauglichkeit begrenzt werden. Auf dieser Basis lässt sich der Einfluss von Rissbreite und Rissabstand für die Bemessung begrenzen. Detailliertere Untersuchungen wären hierfür sinnvoll.

Löst man eine Scheibe in ein Stabwerkmodell auf, so ist die aufnehmbare Druckspannung der Druckstreben maßgebend für die aufnehmbare Druckspannung der Scheibe. Aufgrund diesen Zusammenhangs und der Versuchsergebnisse wurde die Berechnungsformel von Vecchio und Collins [17] zur Berechnung der aufnehmbaren Druckspannung einer Druckstrebe wie folgt erweitert:

$$f_{c,eff} = f_{c,cyl} \cdot \frac{1}{\left(0,8 + 170 \cdot \varepsilon_{1,res}\right) \cdot \left(1 + 0,02 \cdot (90 - \Delta\varphi) \cdot \left(\frac{f_{c,cyl}}{100}\right)^2\right)} \quad (1)$$

Dabei ist  $f_{c,eff}$  die auf die Zylinderdruckfestigkeit bezogene aufnehmbare Druckspannung in der Scheibe,  $f_{c,cyl}$  die Zylinderdruckfestigkeit,  $\varepsilon_{1,res}$  die Hauptzugverzerrung und  $\Delta\varphi$  die Abweichung der Rissrichtung von der Hauptdruckspannungsrichtung.

## 3.2 Berechnungsmodell / Parameterstudie

Das Berechnungsmodell baut auf Gleichgewichtsbeziehungen, Verzerrungsbeziehungen und Materialgesetzen auf. Zur Kopplung der hergeleiteten Gleichgewichts- und Verzerrungsbeziehungen werden Materialgesetze für Beton, Stahl, Rissverzahnung, Dübelwirkung und Verbund benötigt. Für Verbund und Rissverzahnung wurde das Materialverhalten der drei Betone anhand von Pull-out-Versuchen bzw. Messungen der Bruchflächen untersucht. Mit den erzielten Versuchs- bzw. Messergebnissen wurden bestehende Materialmodelle neu kalibriert. Die Materialgesetze für Beton, Stahl und Dübelwirkung wurden der Literatur entnommen.

Die programmtechnische Umsetzung des Berechnungsmodells ist [3] zu entnehmen. Mit Hilfe eines Iterationsverfahrens (Newton-Raphson-Verfahren) wurde ein Berechnungsalgorithmus entwickelt, der bei Eingabe der geometrischen Randbedingungen, der Materialkenngrö-

ßen und der äußeren Beanspruchungen die inneren Spannungen und Verzerrungen berechnet. Ein Vergleich der Versuchsergebnisse und des Modells zeigte eine sehr gute Übereinstimmung.

Mit dem Programm wurde eine Parameterstudie durchgeführt, in der geklärt werden sollte, ob sich aufgrund der Betonzusammensetzung bzw. der Betondruckfestigkeit die Notwendigkeit einer Änderung für die bestehenden Bemessungsregeln ergibt. Zunächst wurden die Auswirkungen streuender Verbundparameter untersucht. Da in früheren Forschungsarbeiten bereits sehr ausführliche experimentelle und theoretische Parameterstudien zu Scheibengeometrie, Bewehrungsanordnung, Bewehrungsgrad und Lastpfad durchgeführt wurden, wurden im Rahmen dieser Arbeit die Auswirkungen der Materialgesetze Verbund/Tension Stiffening und Rissverzahnung untersucht.

Es zeigte sich, dass unterschiedliche Verbundeigenschaften zu Schwankungen der bezogenen aufnehmbaren Druckspannung der modellierten Druckstrebe von bis zu 20 % führen können. Dies gilt aber unabhängig vom Betontyp und von der Betonzusammensetzung. Die auf die Zylinderdruckfestigkeit bezogenen aufnehmbaren Druckspannungen in der Scheibe lagen bei einer Übereinstimmung zwischen Riss- und Hauptspannungsrichtung zwischen  $f_{c,eff} = 0,75$  und 0,91.

Bei der Untersuchung der Auswirkungen streuender Rissverzahnungsparameter für eine Abweichung zwischen Riss- und Hauptspannungsrichtung von  $\Delta\varphi = 15^\circ$  zeigte sich, dass es bei niedrigen Bewehrungsgehalten durch große Rissgleitungen zum Fließen der Bewehrung kommen kann und anschließend zu einem duktil-sprödem Versagen. Diese Versagensart führt im Vergleich zum sprödem Betonversagen zu größeren Abnahmen der bezogenen aufnehmbaren Druckspannung in der Scheibe - sie kann aber vermieden werden, wenn der Bewehrungsgrad ausreichend bemessen ist. Bei einem Vergleich aller Ergebnisse, also auch der Berechnungen mit duktil-sprödem Versagen, ergaben sich in Abhängigkeit der untersuchten Parameter Schwankungen bis zu 100 %. Die auf die Zylinderdruckfestigkeit bezogene aufnehmbare Druckspannung in den modellierten Scheiben lag in diesem Fall zwischen  $f_{c,eff} = 0,36$  und 0,85. Wurden nur die Nachrechnungen mit sprödem Versagen berücksichtigt, betrug die Schwankungen bis zu 60 % mit bezogenen aufnehmbaren Druckspannungen zwischen  $f_{c,eff} = 0,51$  und 0,85. Es zeigte sich jedoch, dass der Betontyp bzw. die Betonzusammensetzung bei streuenden Rissverzahnungsparametern nur zu vergleichsweise geringen Abminderungen der bezogenen aufnehmbaren Druckspannung der Druckstrebe führt. Dagegen war die

Abnahme der bezogenen aufnehmbaren Druckspannung der Druckstrebe in Abhängigkeit der Betonfestigkeitsklasse signifikant und sollte im Rahmen einer Bemessung berücksichtigt werden.

## 4 Bemessungsansatz

Momentan sind die Bemessungsregeln für Betondruckstreben in DIN 1045-1 [1] und in prEN 1992-1-1 [2] unterschiedlich. In diesem Abschnitt werden die beiden Normenregelungen kurz vorgestellt und jeweils im Anschluss mit den eigenen Ergebnissen verglichen. Am Ende des Abschnitts wird eine neue, umfassende Regelung für prEN 1992-1-1 und DIN 1045-1 vorgeschlagen.

In DIN 1045-1 sind die folgenden Bemessungsregeln für Betondruckstreben zu finden (Kapitel 10.6.2 (2)):

$$\sigma_{Rd,max} = 1,0 f_{cd} \quad \text{für ungerissene Betondruckzonen} \quad (2)$$

$$\sigma_{Rd,max} = 0,75 f_{cd} \quad \text{für Druckstreben parallel zu Rissen} \quad (3)$$

Dabei ist  $\sigma_{Rd,max}$  der Rechenwert der aufnehmbaren Druckspannung einer Druckstrebe. Nach DIN 1045-1 wird dieser Rechenwert als Bemessungswert der Druckstrebenfestigkeit bezeichnet. Außerdem wird darauf hingewiesen, dass bei Druckstreben mit kreuzenden Rissen kleinere Werte erforderlich sein können. In diesem Zusammenhang wird auf das DAfStb Heft 525 [26] verwiesen. In einer Vorfassung des DAfStb Heft 525 findet man die folgende Regelung:

$$\sigma_{Rd,max} = 0,6 f_{cd} \quad \text{für Druckstreben, die Risse kreuzen können} \quad (4)$$

Zusätzlich wird hervorgehoben, dass für Bauteile mit starker Rissbildung, wie z.B. Zuggurte von Hohlkastenträgern, im Schrifttum noch niedrigere Werte angegeben sind.

Gleichung (2) gilt für ungerissene Betondruckzonen ohne oder mit nur sehr kleinem Querzug. Die an der Technischen Universität und an anderen Universitäten durchgeführten Versuche an Scheiben unter einachsiger Druckbeanspruchung haben gezeigt [3], dass die aufnehmbare Druckspannung in einer Scheibe unter einachsiger Belastung abgesehen von Prüfkörper- und Herstellungseinflüsse, die jedoch im Sicherheitsbeiwert zur Bestimmung des Bemessungswertes der Betondruckfestigkeit enthalten sind, der Zylinderdruckfestigkeit entspricht. Folglich kann die in DIN 1045-1 angegebene Gleichung (2) zur Bestimmung der aufnehmbaren Druckspannung von Druckstreben in ungerissenen Betondruckzonen auch weiter verwendet werden.

Vergleicht man Gleichung (3) mit den in [3] beschriebenen experimentellen und numerischen Ergebnissen - insbesondere mit den Ergebnissen der Parameterstudie, so entspricht die Ab-

minderung von 0,75 genau dem ungünstigsten Wert. Gleichung (3) wird also ebenfalls durch die eigenen Ergebnisse bestätigt.

Gleichung (4) gilt für Druckstreben, die von Rissen gekreuzt werden können. Für diesen Fall wurden im Rahmen der Parameterstudie diverse Parameter untersucht, die zu Abminderungen führen können (z.B. Risswinkel, Rissdehnung, Größtkorndurchmesser, Stahlspannung im Riss, etc...). Vergleicht man die berechneten bezogenen aufnehmbaren Druckspannungen mit dem in Gleichung (4) enthaltenen Abminderungsfaktor von 0,6, so zeigen die Ergebnisse der Parameterstudie, dass sich für ungünstige Kombinationen niedrigere bezogene aufnehmbare Druckspannungen ergeben, insbesondere für Betone mit hohen Druckfestigkeiten. Die meisten der untersuchten Parameter, die zu hohen Abminderungen der bezogenen aufnehmbaren Druckspannung führen, können nicht explizit in eine Normenformulierung mit einfließen, da der bemessende Ingenieur keine oder nur unzureichende Informationen über diese Parameter hat. Nur die Betonfestigkeit, die auch gleichzeitig einer der Parameter ist, der zu den höchsten Abminderungen der bezogenen aufnehmbaren Druckspannung führt, sollte in der Bemessung berücksichtigt werden. Das heißt, dass Gleichung (4) nicht den Ergebnissen der eigenen Untersuchung entspricht, sondern auf der unsicheren Seite liegt.

In prEN 1992-1-1 gilt für ungerissene Betondruckzonen ebenfalls Gleichung (2). Bei Druck und gleichzeitigem Querkzug wird nicht zwischen parallel zu Rissen verlaufenden Druckstreben und Druckstreben, die Risse kreuzen, unterschieden. Soweit nicht genauere Berechnungsansätze herangezogen werden, wird in Abschnitt 6.5.2 folgende Formulierung vorgeschlagen:

$$\sigma_{Rd,max} = 0,6 \cdot \nu' \cdot f_{cd} \quad \text{mit} \quad \nu' = 1 - \frac{f_{ck}}{250} \quad (5)$$

Die Abminderung des Rechenwerts der aufnehmbaren Druckspannung zweiachsig beanspruchter Druckstreben gegenüber der Zylinderdruckfestigkeit ist in Tabelle 2 in Abhängigkeit von  $f_{cm}$  angegeben.

$f_{cm}$	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$0,6 \cdot \nu'$	0,57	0,55	0,52	0,50	0,48	0,45	0,43	0,40	0,38

**Tabelle 2** Abminderung  $0,6 \cdot \nu' = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$  in Abhängigkeit von

$$f_{cm} \quad (f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ N/mm}^2)$$

Der Vergleich mit den Ergebnissen der Parameterstudie, bei denen Riss- und Hauptspannungsrichtung übereinstimmen, zeigt, dass für Druckstreben, die parallel zu Rissen verlaufen,

die Abminderungen nach Gleichung (5) zu hoch sind. Außerdem haben die eigenen Untersuchungen gezeigt, dass die ansetzbare aufnehmbare Druckspannung bei parallel zu Rissen verlaufenden Druckstreben nicht in Abhängigkeit von  $f_{cm}$  abgemindert werden muss. An dieser Stelle stimmen die Regelungen in prEN 1992-1-1 also nicht mit den Ergebnissen dieser Arbeit überein.

Dagegen ist es sinnvoll, für Druckstreben, die Risse kreuzen, die ansetzbare aufnehmbare Druckspannung in Abhängigkeit der charakteristischen Festigkeit durch Gleichung (5) abzumindern. Ein Vergleich mit den Berechnungsergebnissen der Parameterstudie für die Rissverzahnung ergibt, dass die Abminderungen für mittlere Betondruckfestigkeiten (Normalbeton) in allen Fällen größer oder fast gleich wie der in Tabelle 2 vorgeschlagene Wert von 0,52 sind. Das heißt, dass die in prEN 1992-1-1 vorgeschlagene Abminderung zur Berechnung der ansetzbaren aufnehmbaren Druckspannung für mittlere Betondruckfestigkeiten sehr gut mit den eigenen Ergebnissen übereinstimmt. Für HLB liegen die berechneten, bezogenen aufnehmbaren Druckspannungen nur in wenigen Fällen knapp unter dem in Tabelle 2 vorgeschlagenen Wert von 0,45. Jedoch sind die Abweichungen für HLB zwischen den eigenen Ergebnissen und prEN 1992-1-1 ebenfalls so gering, dass man zusammenfassen kann, dass Gleichung (5) den gesamten untersuchten Betondruckfestigkeitsbereich abdeckt.

Wenn man also die in DIN 1045-1 vorgeschlagene Regelung für ungerissene Betondruckzonen und Druckstreben, die parallel zu Rissen verlaufen, übernimmt und die in prEN 1992-1-1 angegebene Formulierung für Druckstreben, die Risse kreuzen, so ergibt sich eine sehr gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen dieser Arbeit. Allerdings enthält die DIN 1045-1 einen Faktor  $\gamma'$  für Betone ab der Festigkeitsklasse C55/67 bzw. LC 55/60, der mit dem Sicherheitsbeiwert  $\gamma_c$  zu multiplizieren ist:

$$\gamma' = \frac{1}{1,1 - \frac{f_{ck}}{500}} \quad (6)$$

Durch diesen Faktor werden größere Streuungen der Materialeigenschaften von Hochleistungsbetonen berücksichtigt, wozu man die Abminderung der Scheibentragfähigkeit mit zunehmender Festigkeit zählen kann. Ändert man den Abminderungsfaktor für Betone ab der Festigkeitsklasse C55/67 bzw. LC 55/60 in  $\nu' = 1 - \frac{f_{ck}}{220}$ , so erhält man für Betone dieser Festigkeitsklassen unter Berücksichtigung des Faktors  $\gamma'$  nahezu dieselben Ergebnisse wie in Tabelle 2 angegeben.



Der eigene Vorschlag für eine Normenformulierung zur Bestimmung des Bemessungswertes der Druckstrebenfestigkeit (Formulierung nach DIN 1045-1) ist deshalb der folgende:

Wenn der Sicherheitsbeiwert  $\gamma_c$  unabhängig von der Festigkeitsklasse ist, wie z.B. in prEN 1992-1-1, gilt:

$$\begin{aligned} \sigma_{Rd,max} &= 1,0 f_{cd} && \text{für ungerissene Betondruckzonen} \\ \sigma_{Rd,max} &= 0,75 f_{cd} && \text{für Druckstreben parallel zu Rissen} \\ \sigma_{Rd,max} &= 0,6 \cdot v' \cdot f_{cd} \quad \text{mit} \quad v' = 1 - \frac{f_{ck}}{250} && \text{für Druckstreben, die Risse kreuzen können} \end{aligned}$$

Für DIN 1045-1, in der der Sicherheitsbeiwert  $\gamma_c$  für Betone ab der Festigkeitsklasse C55/67 bzw. LC55/60 um einen Faktor  $\gamma'$  erhöht wird, gilt für Druckstreben, die Risse kreuzen können:

$$\begin{aligned} \sigma_{Rd,max} &= 1,0 f_{cd} && \text{für ungerissene Betondruckzonen} \\ \sigma_{Rd,max} &= 0,75 f_{cd} && \text{für Druckstreben parallel zu Rissen} \\ \sigma_{Rd,max} &= 0,6 \cdot v' \cdot f_{cd} && \text{für Druckstreben, die Risse kreuzen können} \end{aligned}$$

mit  $v' = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$  für Betone bis zu den Festigkeitsklassen C50/60 und LC50/55

mit  $v' = 1 - \frac{f_{ck}}{220}$  für Betone ab den Festigkeitsklassen C55/67 und LC55/60

## 5 Zusammenfassung

Mit den Ergebnissen der an der Technischen Universität München durchgeführten experimentellen und numerischen Untersuchungen konnten die bestehenden Bemessungsansätze in DIN 1045-1 [1] und prEN 1992-1-1 [2] überprüft werden. Da beide Normen zum Teil mit den Untersuchungsergebnissen übereinstimmen, zum Teil aber davon abweichen, wurde für beide Normen ein neuer Bemessungsansatz entwickelt, der mit den Ergebnissen der eigenen Untersuchungen übereinstimmt. Die neuen Bemessungsansätze in DIN 1045-1 und prEN 1992-1-1 unterscheiden sich aufgrund der unterschiedlichen Sicherheitsbeiwerte für hochfeste Betone - die berechneten Rechenwerte der aufnehmbaren Druckspannungen von Druckspannungen (nach DIN 1045-1: Druckstrebenfestigkeiten)  $\sigma_{Rd,max}$  in Abhängigkeit der Betonfestigkeit sind jedoch nahezu identisch.

## 6 Unterschriften



Univ.-Prof. Dr.-Ing, Konrad Zilch  
Antragsteller



Dipl.-Ing. Angelika Schießl  
Sachbearbeiter



Dipl.-Ing. Michael Cyllok  
Sachbearbeiter

## 7 Literatur

- [1] DIN 1045-1:Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Juli 2001
- [2] prEN 1992-1-1: Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1: General Rules and Rules for Buildings, April 2003
- [3] Schießl, A.: Die Druckfestigkeit von zweiachsig beanspruchten Scheiben unter Berücksichtigung des Betontyps. Dissertation. Lehrstuhl für Massivbau, Technische Universität München, 2003 (eingereicht)
- [4] Peter, J.: Zur Bewehrung von Scheiben und Schalen für Hauptspannungen schiefwinklig zur Bewehrungsrichtung. Dissertation, Stuttgart, 1964.
- [5] Robinson, J. R., Demoriux, J. M.: Essais de traction-compression sur modeles d'ame de poutres en beton armé, Teil 1, Institutsbericht IRABA 1968
- [6] Robinson, J. R., Demoriux, J. M.: Essais de traction-compression sur modeles d'ame de poutres en beton armé, Teil 2, Institutsbericht IRABA 1972
- [7] Aoyagi, Y. and Yamada, K.: Strength and Deformation Characteristics of Reinforced Concrete Shell Elements Subjected to In-Plane Forces, Concrete Library of Japan Society of Civil Engineers, No.4, December 1984
- [8] Perdikaris, P. C., White, R. N., and Gergely, P.: Strength and Stiffness of Tensioned Reinforced Concrete Panels Subjected to Membrane Shear, Two-Way Reinforcing, NUREG/CR-1602, Cornell University 1980
- [9] Conley, C. H., White, R. N., and Gergely, P.: Strength and Stiffness of Reinforced Concrete Panels Subjected to Membrane Shear, Two-Way and Four-Way Reinforcing, NUREG/CR-2049, Cornell University 1981
- [10] Hilmy, S. I., White, R. N., and Gergely, P.: Strength and Stiffness of Uniaxially Tensioned Reinforced Concrete Panels Subjected to Membrane Shear, NUREG/CR-2788, Cornell University 1982
- [11] Oesterle, R. G., and Russell H. G.: Tangential Shear Tests of Reinforced Concrete Containment Elements. Nuclear Engineering and Design 59 (1980) 99-112
- [12] Kirschner, U., Collins, M. P.: Investigating the Behavior of Reinforced Concrete Shell Elements, Publication No. 86-09, University of Toronto 1986
- [13] Marti P., Meyboom, J., Response of Prestressed Concrete Elements to In-Plane-Shear Forces. ACI Journal V.89 (1992) pp. 503-514

- [14] Stevens, N. J., Uzumeri S. M. Collins, M. P.: Analytical Modelling of Reinforced Concrete Subjected to Reversed Cyclic Shear Experiments and Constitutive Model, ACI Journal V. 88 (1991) pp. 135-146
- [15] Vecchio, F., and Collins, M. P. The Response of Reinforced Concrete to In-Plane Shear and Normal Stresses, Department of Civil Engineering, University of Toronto, Publication No. 82- 03, 1982
- [16] Bhide, S. B. and Collins, M. P.: Reinforced Concrete Elements in Shear and Tension, Department of Civil Engineering, University of Toronto, Publication No. 87-02, 1987
- [17] Vecchio, F. J. and Collins M. P.: The Modified Compression-Field Theory for Reinforced, Concrete Elements Subjected to Shear, Journal of the American Concrete Institut, Vol. 83, No. 2, March April 1986, pp. 219-231
- [18] André, H. und Collins, M. P.: Toronto/ Kajima Study on Scale Effects in Reinforced Concrete, Department of Civil Engineering, University of Toronto, 1987
- [19] Schlaich, J. und Schäfer, K.: Zur Druck-Querzug-Festigkeit des Stahlbetons, Beton- und Stahlbetonbau 78, (1983), 73-78
- [20] Schäfer, K., Schelling, G. und Kuchler T. (1990): „Druck und Querzug in bewehrten Betonelementen“, Heft 408, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Beuth Verlag
- [21] Kolleger, J., (1988), „Ein Materialmodell für die Berechnung von Stahlbetonflächen-tragwerken“, Dissertation, Fachbereich Bauingenieurwesen der Gesamthochschule Kassel
- [22] Kolleger, J. and Mehlhorn, G., (1990), „Experimentelle Untersuchungen zur Bestimmung der Druckfestigkeit des gerissenen Stahlbetons bei einer Querzugbeanspruchung“, Heft 413, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton
- [23] Eibl, J. und Neuroth, U. (1988): „Untersuchungen zur Druckfestigkeit von bewehrtem Beton bei gleichzeitig wirkendem Querzug“, Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben, Universität Karlsruhe, Institut für Massivbau und Baustofftechnologie, Abteilung Massivbau
- [24] Belarbi, A., and Hsu, T.T.C. (1991): „Constitutive Laws of Reinforced Concrete in Biaxial Tension- Compression“, University of Houston, Department of Civil & Environmental Engineering, Research Report UHCEE 91-2, sponsored by the National Science Foundation

- [25] Pang, X.-B., and Hsu, T. T. C.: Constitutive Laws of Reinforced Concrete in Shear, University of Houston, Department of Civil & Environmental Engineering, Research Report UHCEE 92-1, sponsored by the National Science Foundation
- [26] Erläuterungen zur DIN 1045-1 (In Vorbereitung - Stand April 2003). Heft 525, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton

# Anhang A Zusammenfassung des Vorhabens

## „Tragfähigkeit von Betondruckstreben“

In den aktuellen Normen DIN 1045-1 [1] und prEN 1992-1-1 [2] ist die Verwendung von Stabwerkmodellen bestehend aus Zugstreben (Stahl), Druckstreben (Beton) und Knoten erlaubt. Während die Bemessung von Zugstreben und Knoten ausreichend beschrieben ist, findet man für die Bemessung der Betondruckstreben in DIN 1045-1 und prEN 1992-1-1 unterschiedliche Regelungen, die jeweils nur Sonderfälle behandeln. Ziel des Forschungsvorhabens ist es, eine einheitliche, einfache Regelung zu finden, mit der die aufnehmbare Druckspannung von Betondruckstreben umfassend bestimmt werden kann.

An der Technischen Universität wurde kürzlich ein umfangreiches Forschungsvorhaben zur Bestimmung der aufnehmbaren Druckspannung von Betondruckstreben zweiachsig beanspruchter Scheibenelemente abgeschlossen. Das Forschungsvorhaben umfasste eine Literaturrecherche, ein Versuchsprogramm zur Untersuchung des Einflusses der Hauptzugverzerrung, des Risswinkels und des Betontyps und die Entwicklung eines Berechnungsmodells und dessen programmtechnische Umsetzung. Mit dem entwickelten Berechnungsprogramm wurde eine Parameterstudie durchgeführt, deren Ergebnisse zur Klärung der im Rahmen dieses Forschungsvorhabens vorliegenden Fragestellung dienen.

Mit den Ergebnissen dieser experimentellen und numerischen Untersuchungen konnten die bestehenden Bemessungsansätze in DIN 1045-1 [1] und prEN 1992-1-1 [2] überprüft werden. Da beide Normen zum Teil mit den Untersuchungsergebnissen übereinstimmen, zum Teil aber davon abweichen, wurde für beide Normen ein neuer Bemessungsansatz entwickelt, der mit den Ergebnissen der eigenen Untersuchungen übereinstimmt. Die neuen Bemessungsansätze in DIN 1045-1 und prEN 1992-1-1 unterscheiden sich aufgrund der unterschiedlichen Sicherheitsbeiwerte für hochfeste Betone - die berechneten aufnehmbare Druckspannung von Betondruckstreben (nach DIN 1045-1: Druckstrebenfestigkeiten)  $\sigma_{Rd,max}$  in Abhängigkeit der Betonfestigkeit sind jedoch nahezu identisch.

# Anhang B Kurzzusammenfassungen

## Tragfähigkeit von Betondruckstreben für Stabwerkmodelle

### (Kurzzusammenfassung)

An der Technischen Universität München wurden experimentelle und numerische Untersuchungen der Tragfähigkeit von Betondruckstreben in Scheiben durchgeführt. Mit den Ergebnissen dieser Untersuchungen konnten die entsprechenden bestehenden Bemessungsansätze in DIN 1045-1 und prEN 1992-1-1 überprüft werden.

In beiden Normen stimmen diese Ansätze nur zum Teil mit den Untersuchungsergebnissen überein. Aus diesem Grund wurde für beide Normen ein neuer Bemessungsansatz entwickelt, der mit den Ergebnissen der oben genannten Untersuchungen übereinstimmt. Die neuen Bemessungsansätze in DIN 1045-1 und prEN 1992-1-1 unterscheiden sich aufgrund der unterschiedlichen Sicherheitsbeiwerte für hochfeste Betone - die berechneten aufnehmbare Druckspannung von Betondruckstreben (auch: Druckstrebenfestigkeiten)  $\sigma_{Rd,max}$  in Abhängigkeit der Betonfestigkeit sind jedoch identisch.

### Capacity of concrete struts for strut-and-tie models (Summary)

Experimental and numerical examinations of the resistance of concrete struts in panels were undertaken at the Technische Universität München. With the results of these examinations it was possible to check the relevant, already existing design methods in the codes DIN 1045-1 and prEN 1992-1-1.

In both codes those approaches comply with the results of the examinations only partly. Hence, a new design approach complying fully with above mentioned results was developed for both codes. The new design approaches for DIN 1045-1 and prEN 1992-1-1 vary only due to different safety factors for high strength concretes – the calculated capacities for a strut  $\sigma_{Rd,max}$  correlated to the concrete strength are identical.

### La capacité des bielles du béton en modèle bielles et tirants (Résumé)

Une enquête expérimental et numérique en la résistance des bielles du béton en parois fut opérée en la Technische Universität München. Avec les résultats de cette enquête il était possible de revoir les approches relevantes, qui déjà existent en les normes DIN 1045-1 et prEN 1992-1-1.

Dans les deux normes ces approches ne s'accordent avec les résultats de l'enquête que partielle. Pour cette raison une approche nouvelle, qui s'accorde avec les résultats au-dessus fut développée pour les deux normes. Car il y a des coefficients partiels différents aux bétons à haute résistance en DIN 1045-1 et prEN 1992-1-1, les deux approches se distinguent. Toutefois, les capacités calculées des bielles  $\sigma_{Rd,max}$  corrélées à la résistance du béton sont identique.



- Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch in Niedrigenergie- und Passivhäusern**  
 W. Richter, T. Ender, T. Hartmann, A. Kremonke, u.a.  
 Hrsg.: TU Dresden, Fakultät Maschinenwesen, Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung, Bereich TGA  
 Band 63: 2003, 127 S., zahlr. Abb., Tab., Lit., ISBN 3-8167-6345-6  
 € 35,- [sFr 58,-]
- Baukostensenkung durch Anwendung innovativer Wettbewerbsmodelle**  
 Udo Blecken, Lothar Boenert  
 Hrsg.: Universität Dortmund, Lehrstuhl Baubetrieb, Fakultät Bauwesen  
 Band 62: 2003, 350 S., zahlr. Abb., Tab., Lit., ISBN 3-8167-6338-3  
 € 50,- [sFr 82,-]
- Flachdachsanieerung über durchfeuchteter Dämmschicht**  
 Ralf Spilker  
 Aachener Institut für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik gGmbH AIBau  
 Band 61: 2003, 260 S., zahlr. farbige Abb., ISBN 3-8167-6183-6  
 € 45,- [sFr 74,-]
- Bauqualität – Verfahrensqualität und Produktqualität bei Projekten des Wohnungsbaus**  
 Hannes Weeber, Simone Bosch  
 Band 60: 2003, 170 S., Abb., Tab., ISBN 3-8167-4259-9  
 € 45,- [sFr 74,-]
- Brandschutzkosten im Wohnungsbau**  
 Karl Deters  
 Band 59: 2001, 245 S., Abb., Tab., ISBN 3-8167-4258-0  
 € 50,- [sFr 82,-]
- Gemeinschaftliches Wohnen im Alter**  
 R. Weeber, G. Wölflle, V. Rösner  
 Band 58: 2001, 175 S., Abb., Tab., ISBN 3-8167-4257-2  
 € 46,- [sFr 76,-]
- Entwicklung eines Bewertungssystems für ökonomisches und ökologisches Bauen und gesundes Wohnen**  
 C.J. Diederichs, P. Getto, S. Streck  
 Band 57: 2002, 230 S., mit CD-ROM, Abb., Tab., ISBN 3-8167-4256-4  
 € 50,- [sFr 82,-]
- Vergabeverfahren und Baukosten**  
 Hannes Weeber, Simone Bosch  
 Band 56: 2001, 192 S., Abb., Tab., ISBN 3-8167-4255-6  
 € 50,- [sFr 82,-]
- Konzepte für die praxisorientierte Instandhaltungsplanung im Wohnungsbau**  
 Ralf Spilker, Rainer Oswald  
 Band 55: 2000, 71 S., 5 Abb., zahlr. Tab., ISBN 3-8167-4254-8  
 € 22,- [sFr 37,-]
- Bewährung innen wärmegeämmteter Fachwerkbauten**  
 Reinhard Lamers, Daniel Rosenzweig, Ruth Abel  
 Band 54: 2000, 173 S., 123 Abb., ISBN 3-8167-4253-X  
 € 25,- [sFr 41,60]
- Überprüfbarkeit und Nachbesserbarkeit von Bauteilen – untersucht am Beispiel der genutzten Flachdächer**  
 Rainer Oswald, Ralf Spilker, Klaus Wilmes  
 Band 53: 1999, 133 S., 49 Abb., 4 Tab., ISBN 3-8167-4252-1  
 € 37,- [sFr 61,-]
- Bauschadensfibel für den privaten Bauherrn und Hauskäufer**  
 Rainer Oswald, Ruth Abel, Volker Schnapauff  
 Band 52: 1999, 140 S., 19 Abb., 3 Tab., fester Einband, ISBN 3-8167-4251-3  
 € 25,- [sFr 41,60]
- Balkone – kostengünstig und funktionsgerecht**  
 Hannes Weeber, Margit Lindner  
 Band 51: 1999, 146 S., 102 Abb., 26 Tab., ISBN 3-8167-4250-5  
 € 38,- [sFr 62,50]
- Kostenfaktor Erschließungsanlagen**  
 Hannes Weeber, Michael Rees  
 Band 50: 1999, 226 S., 107 Abb., 15 Tab., ISBN 3-8167-4249-1  
 € 50,- [sFr 82,-]
- Eigenleistung beim Bauen**  
 R. Weeber, H. Weeber, S. Kleebaur, u.a.  
 Band 49: 1999, 154 S., 25 Abb., 12 Tab., ISBN 3-8167-4248-3  
 € 22,- [sFr 37,-]
- Kosteneinsparung durch Bauzeitverkürzung**  
 Barbara Bredenbals, Heinz Hullmann  
 Band 48: 1999, 174 S., 38 Abb., 36 Tab., ISBN 3-8167-4247-5  
 € 37,- [sFr 61,-]
- Das wärme- und feuchteschutztechnische Verhalten von stählernen Fassadendurchdringungen**  
 Lutz Franke, Gernod Deckelmann  
 Band 47: 1998, 74 S., 38 Abb., 13 Tab., ISBN 3-8167-4246-7  
 € 15,- [sFr 25,80]
- Kostengünstige bauliche Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs im Wohnungsbestand**  
 R. Oswald, R. Lamers, V. Schnapauff, u.a.  
 Band 46: 1998, 100 S., 57 Abb., ISBN 3-8167-4245-9  
 € 17,- [sFr 28,80]
- Sicherung des baulichen Holzschutzes**  
 Horst Schulze  
 Band 45: 1998, 168 S., 136 Abb., 10 Tab., ISBN 3-8167-4244-0  
 € 22,- [sFr 37,-]
- Luftdichtigkeit von industriell errichteten Wohngebäuden in den neuen Bundesländern**  
 Wolfgang Richter, Dirk Reichel  
 Band 44: 1998, 88 S., 34 Abb., 15 Tab., ISBN 3-8167-4243-2  
 € 15,- [sFr 25,80]
- Leitfaden Kostendämpfung im Geschoßwohnungsbau**  
 Karl Deters, Joachim Arlt  
 Band 43: 1998, 162 S., 135 Abb., 34 Tab., ISBN 3-8167-4242-4  
 € 22,- [sFr 37,-]
- Langzeitbewährung und Entwicklungstendenzen von Kunststoff-Bauprodukten im Wohnungsbau**  
 Dieter Arlt, Rainer Weltring  
 Band 42: 1998, 137 S., 90 Abb., 7 Graph., ISBN 3-8167-4241-6  
 € 20,- [sFr 33,40]
- Gebrauchsanweisung für Häuser**  
 Volker Schnapauff, Silke Richter-Engel  
 Band 40: 1997, 116 S., 4 Abb., 7 Tab., ISBN 3-8167-4239-4  
 € 19,- [sFr 31,90]
- Ergänzender Neubau in bestehenden Wohnsiedlungen**  
 H. Weeber, R. Weeber, M. Lindner, u. a.  
 Band 39: 1997, 194 S., 230 Abb., ISBN 3-8167-4238-6  
 € 25,- [sFr 41,60]
- Lüftung in industriell errichteten Wohnhäusern**  
 Wilfried Jank  
 Band 37: 1997, 66 S., 17 Abb., 12 Tab., ISBN 3-8167-4236-X  
 € 15,- [sFr 25,80]

**Bestellschein**

**Fax 07 11 / 970 - 25 08 oder -25 07**

**Fraunhofer IRB Verlag**  
 Fraunhofer-Informationszentrum  
 Raum und Bau IRB  
 Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart

Telefon 07 11 / 970 - 25 00  
 E-Mail: irb@irb.fraunhofer.de  
 www.IRBbuch.de

Absender .....

.....

E-Mail.....

Straße/PF .....

PLZ/Ort .....

Datum .....

Unterschrift .....

1/2004 [BfP\_Gesamt-Anzeige.qxd]

- Auswirkungen der neuen Wärmeschutzverordnung auf den Schallschutz von Gebäuden**  
Siegfried Koch, Werner Scholl  
Band 36: 1997, 72 S., 33 Abb., 2 Tab.,  
ISBN 3-8167-4235-1  
€ 15,- [sFr 25,80]
- Baukostensenkung durch gesicherte Schadensbeurteilung an haufwerksporigen Leichtbetonelementen der industriell errichteten Wohnbauten der ehemaligen DDR**  
Mirko Neumann, Mathias Reuschel  
Band 35: 1997, 320 S., 227 Abb., 105 Tab.,  
ISBN 3-8167-4234-3  
€ 41,- [sFr 68,-]
- Verhinderung von Emissionen aus Baustoffen durch Beschichtungen**  
Lutz Franke, Martin Wesselmann  
Band 34: 1997, 68 S., 11 Abb., 9 Tab.,  
ISBN 3-8167-4233-5  
€ 15,- [sFr 25,80]
- Wirksamkeit von Lüftungsgeräten – Zuluftversorgung von Wohnungen mit dezentralen Lüftungseinrichtungen**  
Wolfgang Richter, Dirk Reichel  
Band 33: 1996, 161 S., Abb., Tab.,  
ISBN 3-8167-4232-7  
€ 22,- [sFr 37,-]
- Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) im Wohnungsbau**  
Institut für Bauforschung e.V., Hannover  
Band 32: 1997, 250 S., 128 Abb., 20 Tab.,  
ISBN 3-8167-4231-9  
€ 30,- [sFr 50,40]
- 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.,  
ISBN 3-8167-4230-0  
€ 14,- [sFr 24,30]
- Fenster – Sanierung und Modernisierung**  
Hans-Rudolf Neumann  
Band 30: 1997, 134 S., 90 Abb., 11 Tab.,  
ISBN 3-8167-4229-7  
€ 20,- [sFr 33,40]
- 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.,  
ISBN 3-8167-4228-9  
€ 17,- [sFr 28,80]
- Die Berechnung von Flachdecken über Zustands- und Einflußflächen**  
Max Baerschneider  
Band 26: 1996, 380 S., 196 Tab., zweibändig,  
ISBN 3-8167-4225-4  
€ 49,- [sFr 80,-]
- Feuchttransportvorgänge in Stein und Mauerwerk – Messung und Berechnung**  
M. Krus, H.-M. Künzel, K. Kießl  
Band 25: 1996, 75 S., 31 Abb., 2 Tab.,  
ISBN 3-8167-4224-6  
€ 15,- [sFr 25,80]
- Wohngebäudesanierung und Privatisierung**  
Hannes Weeber, Michael Rees  
Band 24: 1996, 107 S., 51 Abb., 17 Tab.,  
ISBN 3-8167-4223-8  
€ 20,- [sFr 33,40]
- Der Feuchtehaushalt von Holz-Fachwerkwänden**  
Helmut Künzel  
Band 23: 1996, 85 S., 32 Abb., 10 Tab.,  
€ 15,- [sFr 25,80]
- Neue Konstruktionsalternativen für recyclingfähige Wohngebäude**  
Barbara Bredenbals, Wolfgang Willkomm  
Band 22: 1996, 110 S., 26 Abb., 3 Tab.,  
ISBN 3-8167-4221-1  
€ 17,- [sFr 28,80]
- Standsicherheit der Wohnbauten in Fertigteilbauweise in den neuen Bundesländern**  
E. Cziesielski, N. Fouad, F.-U. Vogdt  
Band 21: 1996, 226 S., 71 Abb.,  
ISBN 3-8167-4220-3  
€ 30,- [sFr 50,40]
- Sicherheit von Glasfassaden**  
X. Shen, H. Techen, J. D. Wörner  
Band 20: 1996, 38 S., 26 Abb., 4 Tab.,  
ISBN 3-8167 4219-X  
€ 12,- [sFr 20,70]
- Kostengünstige Umnutzung aufgegebener militärischer Einrichtungen für Wohnzwecke, Wohnergängungseinrichtungen und andere Nutzungen**  
B. Jacobs, J. Kirchhoff, J. Mezler  
Band 19: 1996, 204 S., zahlreiche Abb.,  
ISBN 3-8167-4218-1  
€ 28,- [sFr 46,70]
- 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.,  
ISBN 3-8167-4216-5  
€ 15,- [sFr 25,80]
- Transparent gedämmte Altbauten**  
G. H. Bondzio, K. Brandstetter, P. Sulzer, u.a.  
Band 15: 1996, 130 S., 44 Abb., 7 Tab.,  
ISBN 3-8167-4214-9  
€ 22,- [sFr 37,-]
- Kosten und Techniken für das »Überwintern« erhaltenswerter Bausubstanz**  
Michael Rees, Hannes Weeber  
Band 14: 1995, 190 S., zahlreiche Abb.,  
ISBN 3-8167-4213-0  
€ 25,- [sFr 41,60]
- Körperschalldämmung von Sanitärräumen**  
Karl Gösele, Volker Engel  
Band 11: 1995, 76 S., zahlreiche Abb.,  
ISBN 3-8167-4210-6  
€ 15,- [sFr 25,80]
- Bauschäden an Holzbalkendecken in Feuchtraumbereichen**  
Gertraud Hofmeister  
Band 9: 1995, 210 S., zahlreiche Abb.,  
ISBN 3-8167-4208-4  
€ 25,- [sFr 41,60]
- Ökologische Auswirkungen von Hochhäusern**  
Band 8: 1995, 418 S., 114 Abb.,  
ISBN 3-8167-4207-6  
€ 50,- [sFr 82,-]
- Abfallvermeidung in der Bauproduktion**  
Barbara Bredenbals, Wolfgang Willkomm  
Band 6: 1994, 198 S., 75 Abb., 16 Tab.,  
ISBN 3-8167-4205-X  
€ 25,- [sFr 41,60]
- Niveaugleiche Türschwellen bei Feuchträumen und Dachterrassen**  
R. Oswald, A. Klein, K. Wilmes  
Band 3: 1994, 56 S., 48 Abb.,  
ISBN 3-8167-4202-5  
€ 12,- [sFr 20,70]
- Wohnbauten in Fertigteilbauweise in den neuen Bundesländern**  
R. Oswald, V. Schnapauff, R. Lamers, u. a.  
Band 2: 1995, 333 S., 515 Abb.,  
ISBN 3-8167-4201-7  
€ 40,- [sFr 66,70]
- Heizung und Lüftung im Niedrigenergiehaus**  
Gerhard Hausladen, Peter Springl  
Band 1: 1994, 214 S., 74 Abb., 17 Tab.,  
ISBN 3-8167-4200-9  
€ 25,- [sFr 41,60]
- Informieren Sie mich bitte laufend über Neuerscheinungen

## Bestellschein

**Fax 07 11 / 970 - 25 08 oder -25 07**

**Fraunhofer IRB Verlag**  
Fraunhofer-Informationszentrum  
Raum und Bau IRB  
Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart

Telefon 07 11 / 970 - 25 00  
E-Mail: [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)  
[www.IRBbuch.de](http://www.IRBbuch.de)

Absender .....

.....

E-Mail.....

Straße/PF .....

PLZ/Ort .....

Datum .....

Unterschrift .....

Alle Bände (außer Band 52) mit kartoniertem Einband

Herausgegeben von Günter Zimmermann und Ralf Ruhнау

- Gründungsschäden**  
Klaus Hilmer, Manfred Knappe  
Band 34: 2004, ca. 172 S., zahlr. Abb. und Tab.,  
ISBN 3-8167-6347-2  
ca. € 46,- [sFr 76,-]
- Schäden an Balkonen**  
Nils Oster  
Band 33: 2004, 148 S., 79 Abb., 9 Tab.,  
ISBN 3-8167-6313-8  
€ 39,- [sFr 65,20]
- Schäden durch mangelhaften Wärmeschutz**  
Michael Bonk, Frank Anders  
Band 32: 2004, 130 S., 92. Abb., 2 Tab.,  
ISBN 3-8167-6307-3  
€ 39,- [sFr 65,20]
- Die vorsorgliche Beweissicherung im Bauwesen**  
Georg Philipps, Frank Stollhoff, Jürgen Wieck  
Band 31: 2004, 211 S., 29 Grafiken,  
83 Abb., 9 Tab.,  
ISBN 3-8167-6306-5  
€ 49,- [sFr 80,-]
- Schäden an Tragwerken aus Stahl**  
Peter Oehme, Werner Vogt  
Band 30: 2003, 152 S., 148 Abb., 7 Tab.,  
ISBN 3-8167-6133-X  
€ 39,- [sFr 65,20]
- Schäden an Holzfußböden**  
Andreas O. Rapp, Bernhard Sudhoff  
Band 29: 2003, 176 S., 80 Abb., 17 Tab.,  
ISBN 3-8167-6170-4  
€ 46,- [sFr 76,-]
- Schäden an Holztragwerken**  
Georg Dröge, Thomas Dröge  
Band 28: 2003, 169 S., 80. Abb., 2 Tab.,  
ISBN 3-8167-6156-9  
€ 46,- [sFr 76,-]
- Mangelhafter Schallschutz von Gebäuden**  
Herwig Baumgartner, Roland Kurz  
Band 27: 2003, 256 S., 143 Abb., 29 Tab.,  
ISBN 3-8167-5797-9  
€ 58,- [sFr 94,-]
- Schäden an polymeren Beschichtungen**  
Robert Engelfried  
Band 26: 2001, 146 S., 94 Abb., 14 Tab.,  
ISBN 3-8167-5795-2  
€ 40,- [sFr 66,70]
- Schäden an Belägen und Bekleidungen mit Keramik- und Werksteinplatten**  
Günter Zimmermann  
Band 25: 2001, 190 S., 175 Abb., 16 Tab.,  
ISBN 3-8167-5791-X  
€ 48,- [sFr 79,-]
- Schäden an Installationsanlagen**  
Heinz Wirth, Stefan Wirth  
Band 24: 2001, 256 S., 114 Abb., 33 Tab.,  
ISBN 3-8167-5790-1  
€ 57,- [sFr 92,-]
- Schäden an Türen und Toren**  
Ralf Schumacher  
Band 23: 2001, 368 S., 291 Abb., 32 Tab.,  
ISBN 3-8167-4169-X  
€ 71,- [sFr 114,-]
- Schäden an elastischen und textilen Bodenbelägen**  
Hans-Joachim Scheewe  
Band 22: 2001, 232 S., 80 Abb., 50 Tab.,  
ISBN 3-8167-4168-1  
€ 50,- [sFr 82,-]
- Schäden an Glasfassaden und -dächern**  
Peter Küffner, Oliver Lummertzheim  
Band 21: 2000, 132 S., 106 Abb., 6 Tab.,  
ISBN 3-8167-4165-7  
€ 40,- [sFr 66,70]
- Schäden an Wärmedämm-Verbundsystemen**  
Erich Cziesielski, Frank Ulrich Vogdt  
Band 20: 2000, 202 S., 75 Konstruktions-  
skizzen, 28 Tab., 98, teilw. farb. Fotos,  
ISBN 3-8167-4164-9  
€ 50,- [sFr 82,-]
- Schäden an Dränanlagen**  
Wilfried Muth  
Band 17: 2., überarb. und erw. Aufl. 2003,  
128 S., 157 Abb., 13 Tab.,  
ISBN 3-8167-6261-1  
€ 36,- [sFr 59,50]
- Tauwasserschäden**  
Richard Jenisch, Martin Stohrer  
Band 16: 2., überarb. Aufl. 2001, 129 S.,  
66 Abb., 6 Tab.,  
ISBN 3-8167-5792-8  
€ 37,- [sFr 61,-]
- 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 76,-]
- Schäden an Tragwerken aus Stahlbeton**  
Bernhard Brand, Gerhard Glatz  
Band 14: 2., erw. Aufl. 2004, ca. 220 S.,  
129 Abb., 24 Tab.,  
ISBN 3-8167-6422-3  
ca. € 49,- [sFr 80,-]
- Schäden an Außenwänden aus Ziegel- und Kalksandstein-Verblendmauerwerk**  
Helmut Klaas, Erich Schulz  
Band 13: 2., überarb. Aufl. 2002, 224 S.,  
162 Abb., 13 Tab.,  
ISBN 3-8167-6114-3  
€ 49,- [sFr 80,-]
- Schäden an Metallfassaden und -dachdeckungen**  
Franz Lubinski, Fritz Röbber, Uwe Nagel, u.a.  
Band 12: 2., erw. Aufl. 2001, 410 S.,  
303, teilw. farb. Abb., 22 Tab.,  
ISBN 3-8167-4166-5  
€ 76,- [sFr 122,-]
- Schäden an Fassadenputzen**  
Helmut Künzel  
Band 9: 2., erw. Aufl. 2000, 142 S.,  
97 Abb., 3 Tab.,  
ISBN 3-8167-4167-3  
€ 38,- [sFr 62,50]
- Schäden an Abdichtungen in Innenräumen**  
Erich Cziesielski, Michael Bonk  
Band 8: 2., überarb. und erw. Aufl. 2003,  
111 S., 76 Abb., 5 Tab.,  
ISBN 3-8167-6197-6  
€ 35,- [sFr 58,-]
- Risschäden an Mauerwerk**  
Werner Pfefferkorn, Helmut Klaas  
Band 7: 3., überarb. Aufl. 2002, 292 S.,  
290 Abb., 18 Tab.,  
ISBN 3-8167-5793-6  
€ 53,- [sFr 86,-]
- 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 76,-]
- Schäden an Flachdächern und Wannen aus 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 82,-]
- Gesamtausgabe Bände 1 – 34**  
2004, alle Bände mit festem Einband und  
Register-CD-ROM,  
ISBN 3-8167-6447-9  
€ 1 368,- [sFr 2 066,-]

## Bestellschein

Fax 07 11 / 970 - 25 08 oder -25 07

**Fraunhofer IRB Verlag**  
Fraunhofer-Informationszentrum  
Raum und Bau IRB  
Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart

Telefon 07 11 / 970 - 25 00  
E-Mail: [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)  
[www.IRBbuch.de](http://www.IRBbuch.de)

Absender .....

.....

E-Mail .....

Straße/PF .....

PLZ/Ort .....

Datum .....

Unterschrift .....

# 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 .....

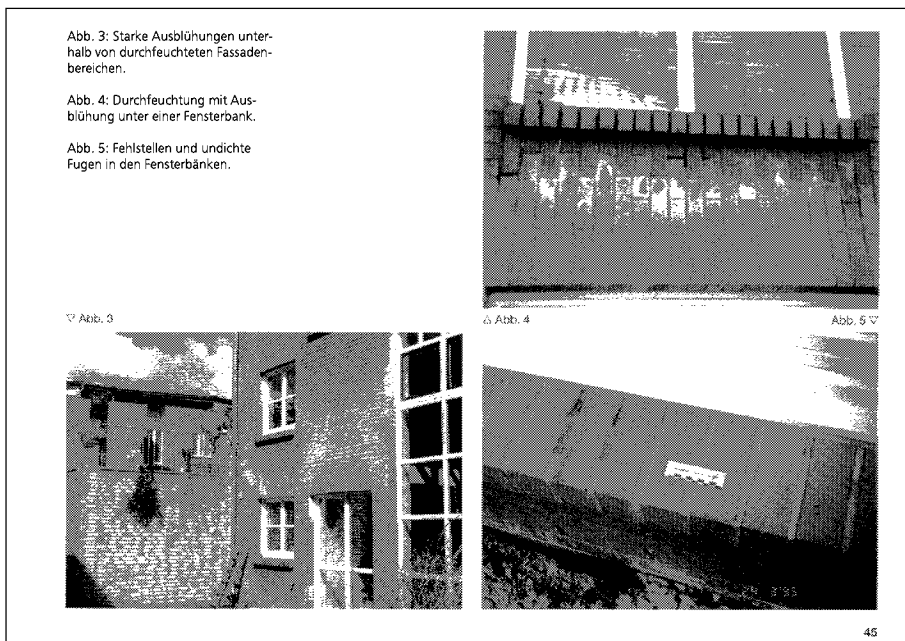


Abb. 3: Starke Ausblühungen unterhalb von durchfeuchteten Fassadenbereichen.

Abb. 4: Durchfeuchtung mit Ausblühung unter einer Fensterbank.

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

Abb. 3

Abb. 4

Abb. 5