

**Zeitschrift:** IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte  
**Band:** 60 (1990)  
  
**Artikel:** Entwurf von Verbundbauten in Erdbebengebieten  
**Autor:** Sedlacek, Gerhard / Kuck, Jürgen / Hoffmeister, Benno  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-46524>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 15.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Entwurf von Verbundbauten in Erdbebengebieten

### Design of Composite Structures in Seismic Regions

### Projet de structures mixtes en zones sismiques

#### G. SEDLACEK

Prof. Dr.-Ing.  
RWTH  
Aachen, BRD

Gerhard Sedlacek, geboren 1939, promovierte an der TU Berlin. Acht Jahre arbeitete er in der Stahlbauindustrie, zuletzt als Leiter einer Brückenbauabteilung, seit 1976 ist er Professor für Stahlbau an der RWTH Aachen.

#### Jürgen KUCK

Dipl.-Ing.  
RWTH  
Aachen, BRD

Jürgen Kuck, geboren 1960, ist seit 1987 an der RWTH Aachen am Lehrstuhl für Stahlbau als wiss. Angestellter tätig.

#### B. HOFFMEISTER

Dipl.-Ing.  
RWTH  
Aachen, BRD

Benno Hoffmeister, geboren 1961, ist seit 1989 an der RWTH Aachen am Lehrstuhl für Stahlbau als wiss. Angestellter tätig.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Für die Interpretation von Testergebnissen, die aus Versuchen an zyklisch belasteten Träger-Stützen-Verbindungen mit unterschiedlichen Anschlußkonstruktionen gewonnen wurden, ist eine Methode entwickelt worden, die sowohl die Verbundwirkung von Stahlträgern und bewehrtem Beton als auch das lokale Verhalten der nachgiebigen Knotenverbindungen numerisch erfaßt. Diese Methode erlaubt die Simulation des nicht-linearen Verhaltens von Stahl- und Verbundkonstruktionen unter monotoner, zyklischer und zeitabhängiger Belastung einschließlich des überkritischen Bereiches und berücksichtigt die Steifkeits- und Festigkeitsdegradation als Folge der zyklischen Dehnungen. Das entwickelte Programm ist u.a. zur Herleitung von Bemessungsregeln im Eurocode 8 und zur Überprüfung von Gebäuden unter vorgegebenen Akzellerogrammen benutzt worden.

#### SUMMARY

For the interpretation of the test results of cyclic tests that were conducted with beam-to-column-connections with different structural detailing, a numerical calculation method was developed that takes into account the composite action of the steel parts and the reinforced concrete parts as well as the local semirigidity of the joints. The method allows to simulate the non-linear behaviour of steel and composite structures with such beam-to-column-connections under time dependent monotonic or non-monotonic loading in the ultimate range and considers the stiffness and strength degradation due to cyclic straining. The program has been used for deriving design rules in Eurocode 8 and for the verification of buildings with given accelerograms.

#### RÉSUMÉ

Pour l'interprétation de résultats d'essais, obtenus lors des essais sur différents types d'assemblages poutre-poteau chargés cycliquement, une méthode de calcul a été développée saisissant numériquement l'effet combiné des poutres métalliques et du béton armé, ainsi que le comportement local des assemblages semi-rigides. Cette méthode permet la simulation du comportement non linéaire des structures métalliques et des constructions mixtes sous des charges monotones, cycliques et périodiques, au delà de la charge ultime prenant en compte la dégradation de la rigidité et de la résistance due aux elongations cycliques. Le logiciel a été utilisé pour la dérivation de règles de dimensionnement dans l'Eurocode 8 ainsi que pour la vérification de bâtiments soumis à des accélérogrammes donnés.

## 1. KURZE VORSTELLUNG DER VERSUCHE (ARBED-SRCS)

Um das Verhalten von Stahl- und Stahlverbundkonstruktionen in erdbebengefährdeten Gebieten sicher abschätzen zu können und um aus der Vielfalt möglicher Träger-Stützen-Verbindungen diejenigen auszuwählen, welche unter zyklischer Belastung hinsichtlich ihres duktilen Verhaltens die besten Eigenschaften aufweisen, wurden im Rahmen des ARBED-SRCS-Projektes eine Reihe verschiedener Träger-Stützen-Verbindungen untersucht, die ein günstiges Verhalten erwarten ließen.

Es wurden drei Versuchsserien durchgeführt (vgl. Bild 1), zunächst Untersuchungen an einzelnen Träger-Stützen-Verbindungen in Form von T-Verbindungen (Serie 1) und Kreuzverbindungen (Serie 2) und anschließend Versuche mit ausgewählten Träger-Stützen-Verbindungen an kompletten Rahmensystemen (Serie 3).

Variiert wurden bei den Versuchen außer den Anschlußausbildungen auch die Träger und Stützen, indem sie als reine Stahlträger oder Stahlverbundträger mit oder ohne Betonplatte ausgebildet wurden.

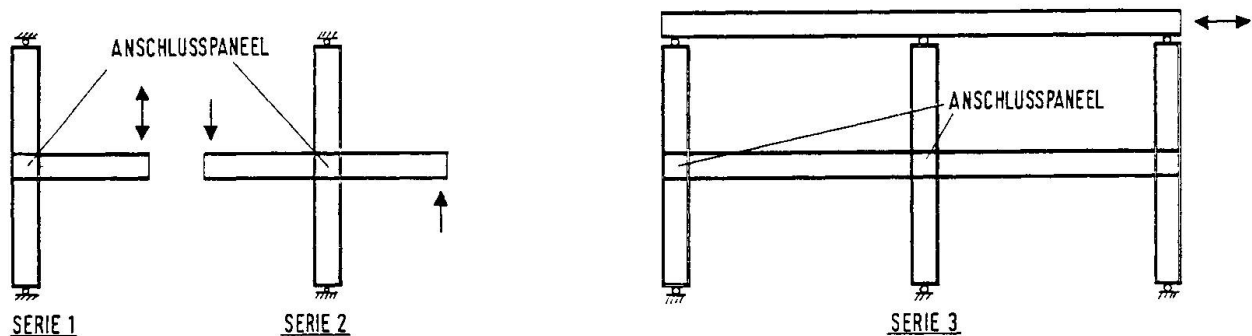


Bild 1 Versuchsserien des ARBED-SRCS-Programms mit Träger-Stützen-Verbindungen

Die Ergebnisse der Verformungshysteresen, die in Serie 1 und Serie 2 ermittelt wurden, siehe Bild 2, haben gezeigt, daß die Ausbildung eines plastischen Schubmechanismus im Anschlußspaneel von Träger und Stütze von maßgebendem Einfluß auf das Verformungs- und Dissipationsverhalten der untersuchten Konstruktionen war. Dieses Verhalten mußte bei der numerischen Simulation berücksichtigt werden (vgl. Abs. 2.3).

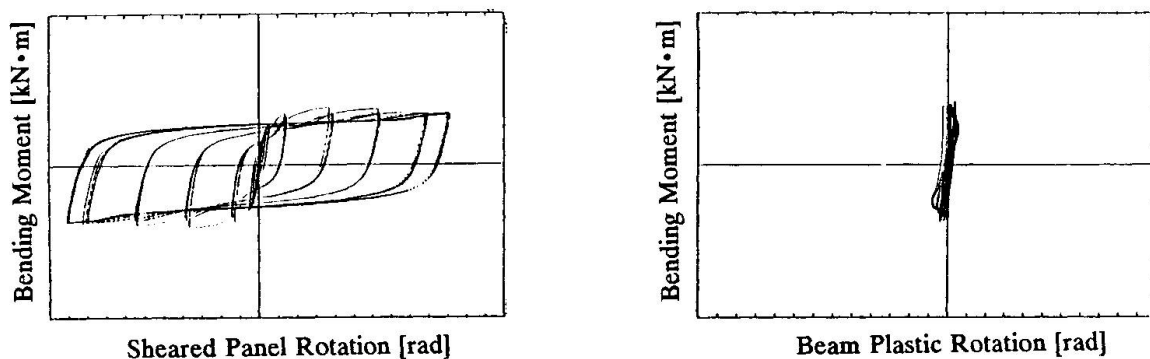


Bild 2 Momenten-Rotationskurven des Versuchs J3

## 2. ALLGEMEINES ZU DEM VERWENDETEN SIMULATIONSPROGRAMM

Als Simulationsprogramm wurde das an der RWTH Aachen entwickelte Programm PLANT [3] benutzt. Dieses ist ein räumliches Stabwerksprogramm, das zunächst für den Stahlbau entwickelt wurde und folgende Leistungsmerkmale aufweist:

- Berücksichtigung großer, räumlicher Verformungen und beliebig vorgegebener Werkstoffgesetze für monotone und zyklische Belastung [4,5]

- Erfassung beliebiger Momenten-Rotations-Kurven für die Träger-Stützen-Verbindungen [6,7]
- Berechnung mit monotoner Last- oder Verformungssteigerung für statische Fragestellungen
- Zeitverlaufsrechnungen für beliebig vorgegebene Akzellerogramme [8]
- Anwendbarkeit auf Stab-, Seil- und Trägerkonstruktionen

## 2.1 Berücksichtigung der Nichtlinearität

- Last-Verformungs-Zustände

Eine besonders effektive Berechnung wird durch die Verwendung des Verfahrens der orthogonalisierten Last-Verformungszustände [9] erreicht, bei dem die Steifigkeitsmatrix des Gesamtsystems nur am Anfang der Berechnung für den elastischen Ausgangszustand aufgestellt wird, um Last-Verformungszustände für die iterative Bestimmung der Gleichgewichtslagen zu generieren. Die Gleichgewichtslagen auf der nichtlinearen Last-Verformungskurve des Systems werden mittels der Orthogonalisierung dieser Last-Verformungs-Zustände iterativ ermittelt.

- Belastungsgeschichte

Bei auftretenden Plastizierungen der Querschnitte unter zyklischer oder dynamischer Belastung (z.B. Erdbeben) ist es notwendig, die Belastungsgeschichte zu erfassen. Es wurde ein Verfahren zur Integration der Spannungen zu Schnittgrößen entwickelt, das mit der geringstmöglichen Zahl von Integrationspunkten für die Spannungen im Querschnitt beginnt und bei komplizierter werdender Belastungsgeschichte zusätzliche Punkte auf den Eckpunkten des Spannungspolygons einsetzt und eventuell auch wieder löscht [8]. Damit ist erstens eine exakte Integration der Spannungen möglich und zweitens ist an jedem Querschnitt nur das benötigte Minimum an Integrationspunkten vorhanden (vgl. Bild 3).

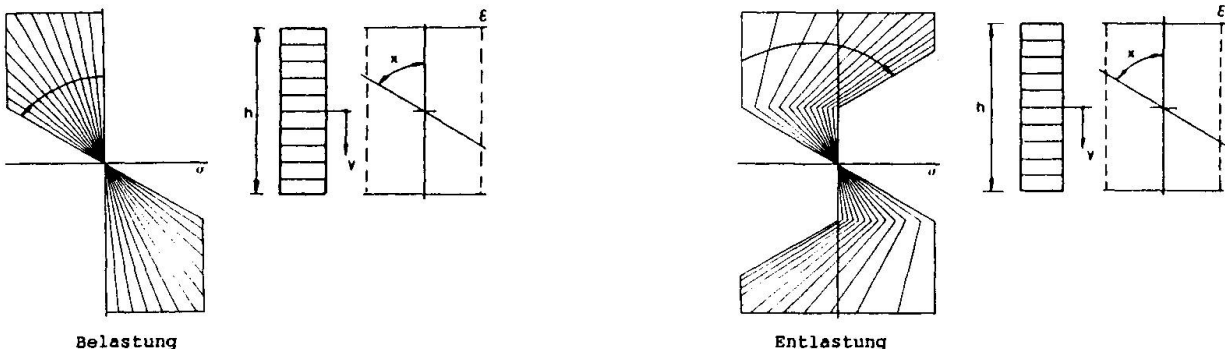


Bild 3 Berücksichtigung von Eigenspannungen und der Belastungsgeschichte

- Zeitschrittverfahren

Die Erweiterung der Berechnungsmöglichkeiten auf dynamische Belastung erfolgt in der Weise, daß die für die statische Belastung entwickelten Verfahren mit Hilfe der Newmarkschen Gleichungen in kleinen Zeitschritten angewendet werden.

## 2.2 Berechnungsmethoden

- Die Berechnung unter monotoner Last kann sowohl belastungs- als auch verformungsgesteuert durchgeführt werden. Die verformungsgesteuerte Berechnung ermöglicht, das Systemverhalten auch an der Traglast und im überkritischen Bereich zu simulieren.
- Zur Simulation von Low-Cycle-Fatigue-Versuchen, wie sie im Rahmen des SRCS-Projektes durchgeführt wurden, verfügt das Programm über die Möglichkeit einer verformungsgesteuerten zyklischen Berechnung.
- Das Verhalten von Systemen unter Erdbebenbelastung kann mit gegebenen Akzellerogrammen untersucht werden.

### 2.3 Werkstoffgesetze und mechanische Modelle

#### - Querschnittsbeschreibung

Der Querschnitt setzt sich aus dünnen, plattenartigen Lamellen zusammen, so daß die Spannungen genügend genau durch die Spannungen in der jeweiligen Lamellenachse beschrieben werden. Der Verlauf der Spannungen in einer Lamelle wird durch die Dehnungen der Lamellenendpunkte bestimmt und hängt von der Art des Materials ab, aus dem die Lamelle besteht und, wenn erforderlich, von der Belastungsgeschichte.

#### - Materialgesetze

Der Querschnitt kann sich aus folgenden Materialkomponenten zusammensetzen: Baustahl, Bewehrungsstahl und Beton.

Das Verhalten von Baustahl unter Druck- oder Zugspannung wird durch ein idealisiertes bilineares  $\sigma$ - $\epsilon$ -Gesetz beschrieben, in dem die Verfestigung des Stahls nach Erreichen der Fließgrenze berücksichtigt wird.

Die Bewehrungsstäbe werden im Druckbereich des Querschnittes mit ihrer wirklichen Querschnittsfläche zusätzlich zum Betonanteil berücksichtigt. Im Bereich von Zugspannung wird die noch vorhandene Zugfestigkeit des Betons zwischen den Rissen durch den Ansatz einer vergrößerten ideellen Querschnittsfläche des Betonstahls erfaßt.

Das Materialverhalten des Betons im Druckbereich wird durch eine Parabel 2. Grades abgebildet.

#### - Kennlinie mit Belastungsgeschichte und Schädigung

Die Erfassung und Abbildung komplexer Träger-Stützen-Verbindungen wird mittels vereinfachender Ersatzmodelle unter Verwendung von Stäben, die durch Normalkraftkennlinien beschrieben werden, ermöglicht [10] (vgl. Bild 4).

Für Berechnungen unter zyklischer Belastung wird die Belastungsgeschichte und die Schädigung [11] berücksichtigt. Mittels Variation verschiedener innerer Parameter ist es möglich, das aus Versuchen gewonnene Anschlußverhalten sehr genau abzubilden.

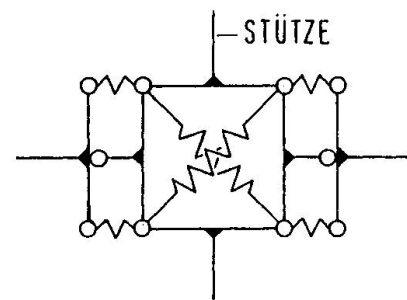


Bild 4 Modell der Träger-Stützenverbindung

Der plastische Schubmechanismus in den Anschlußpaneelen wird durch das in Bild 5 abgebildete Modell simuliert. Die Anpassung der Momenten-Rotationsbeziehungen des Mechanismus an die Versuchsergebnisse erfolgt durch die Vorgabe der Kennlinien der Diagonalstäbe in dem Anschlußpaneel.

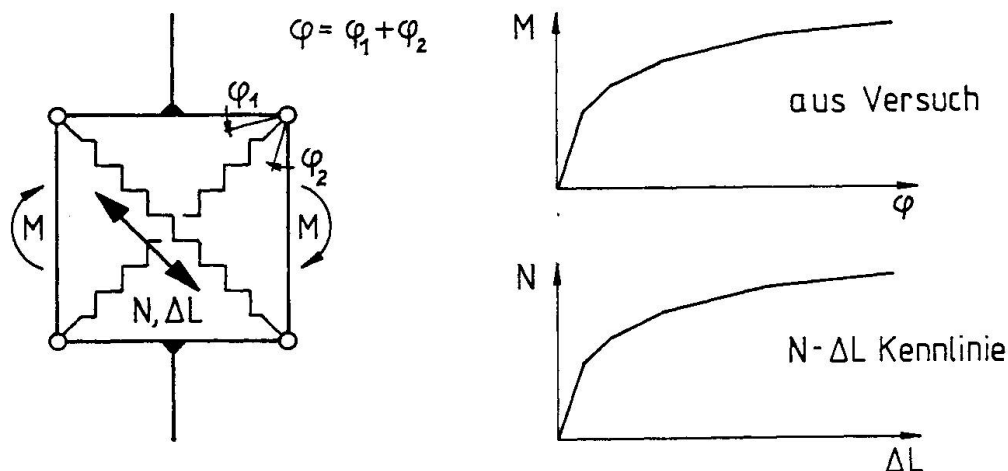


Bild 5 Modell für die Anschlußpaneele der Träger-Stützen-Verbindungen mit zugehöriger Kennlinie

### 3. BERECHNUNGSBEISPIELE

#### 3.1 Rahmen, verformungsgesteuert

Der unten abgebildete Rahmen wird an der Universität in Lüttich auf das Verhalten unter zyklischer Belastung getestet. Die vorgestellte Berechnung stellt eine mögliche Prognose auf Grundlage der Versuche aus Serie 1 und Serie 2, wie sie zu erwarten sind, dar (Bild 6).

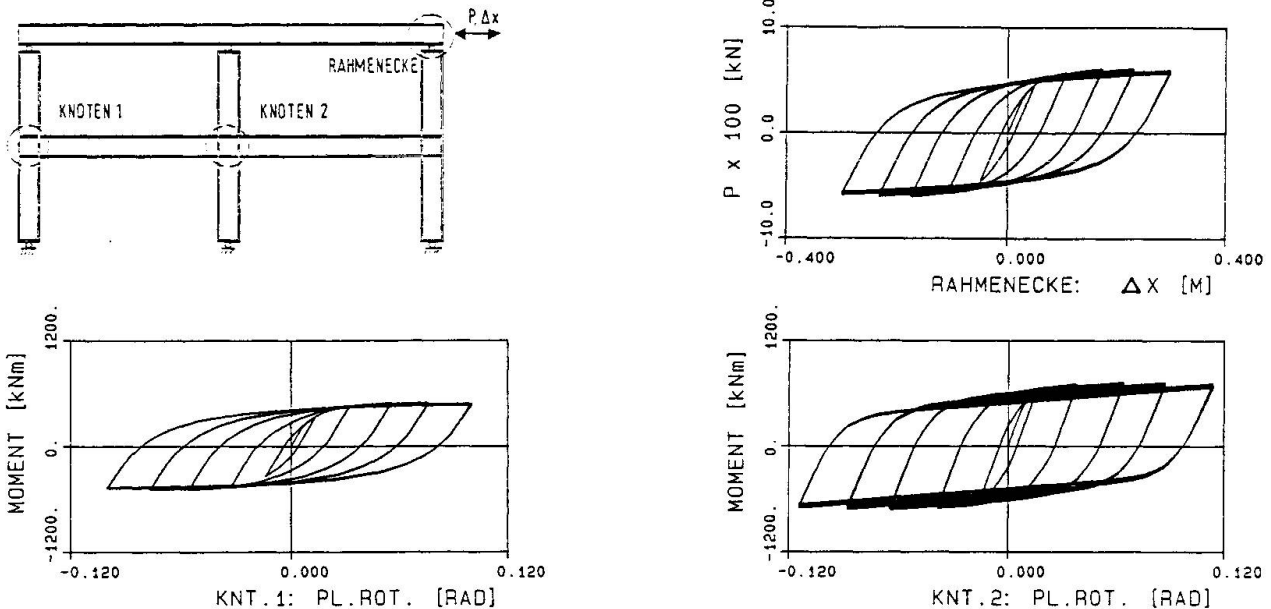


Bild 6 Ergebnisse der verformungsgesteuerten Berechnung

#### 3.2 Rahmen unter Erdbebenbelastung

Es wurde das Verhalten eines fünfstöckigen Rahmens unter Einwirkung des El-Centro Erdbebens untersucht. Die Momenten-Rotationsbeziehungen der Träger-Stützen-Verbindungen wurden aus den Versuchsergebnissen entnommen (Bild 7).

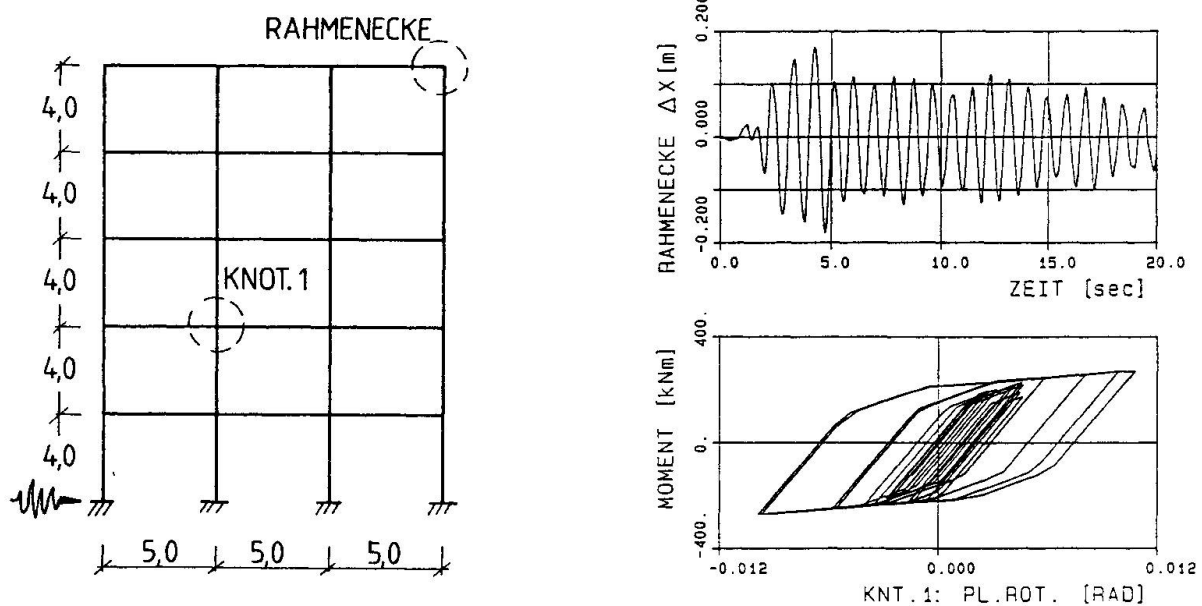


Bild 7 Ergebnisse der Berechnung unter Erdbebenlast



#### 4. SCHLUSSFOLGERUNG

Es hat sich gezeigt, daß mit dem vorgestellten Simulationsprogramm die vorhandenen Versuchsergebnisse auf numerischem Wege sehr gut wiedergegeben werden können. Es ist damit möglich, das Verhalten komplexerer Strukturen, mit ähnlichen Anschlüssen, wie sie experimentell untersucht wurden, vorherzusagen. Außerdem lassen sich die Sicherheitsreserven solcher Strukturen unter Erdbebenlast zuverlässig abschätzen.

#### Anerkennung

Für die freundliche Übersendung von Unterlagen und Versuchsergebnissen des ARBED-SRCS-Projektes und die fruchtbaren Diskussionen sei der Firma ARBED, insbesondere Herrn Schleich und Herrn Pepin sowie den Herren Prof. Ballio, Prof. Bouwkamp, Prof. Klingsch und Dr. Plumier herzlich gedankt.

#### Literatur

1. EGKS-Projekt N° 7210-SA/506 - Seismic Resistance of Composite Structures
2. EUROCODE NR. 8, Bauten in Erdbebengebieten. Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Ausgabe Mai 1988
3. LOPETEGUI J.; SALEH A.; STUTZKI CH., Benutzerhandbuch zu PLANT. Aachen 1987
4. SEDLACEK G.; LOPETEGUI J.; SPANGEMACHER R.; STUTZKI CH., Nichtlineare Berechnungen von Stabwerken aus Stahl. Nichtlineare Berechnungen im konstruktiven Ingenieurbau; Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 1989
5. SEDLACEK G.; LOPETEGUI J.; STUTZKI CH.; SALEH A., Ein Computerorientiertes Verfahren zur statischen Berechnung räumlicher Stabwerke unter Berücksichtigung nichtlinearer Effekte. Der Bauing. 60 (1985) 297-305.
6. STUTZKI CH; LOPETEGUI J.; SEDLACEK G., Semi-rigid Connections in Frames, Trusses and Grids. State of the Art Workshop: Connections and the Behaviour, Strength and Design of Steel Structures, Ecole Normal Supérieur, Cachan-France, May 25-27. 1987
7. STUTZKI CH., Traglastberechnung räumlicher Stabwerke unter Berücksichtigung verformbarer Anschlüsse. Heft 3 der Schriftenreihe des Lehrstuhls für Stahlbau der RWTH Aachen, 1982
8. SEDLACEK G.; KOOK S.; KUCK J.; LOPETEGUI J.; NGUYEN B.T., Entwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung der Bauwerksantwort räumlicher Stahlbauten auf Erdbeben. Nichtlineare Berechnungen im konstruktiven Ingenieurbau, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo, 1989
9. LOPETEGUI J., Verfahren der orthogonalisierten Last-Verformungszustände zur Lösung nichtlinearer Probleme der Stabstatik. Heft 2 der Schriftenreihe des Lehrstuhls für Stahlbau der RWTH Aachen, 1983
10. TSCHEMMERNEGG F. et al., Rahmentragwerke in Stahl. Österreichischer Stahlbauverband (ÖSTV); Schweizerische Zentralstelle für Stahlbau (SZS), 1987
11. DORKA U.E., Ein Beitrag zur Beurteilung und vereinfachten Berechnung von Bauwerken unter Berücksichtigung der Hystereseevolution. Tech.-wiss. Mitteilungen des Instituts für konstruktiven Ingenieurbau, Ruhr-Univ. Bochum, Mitteilung Nr. 88-10