

# Stahlzellenverbundbauweise im Kernkraftwerksbau

Autor(en): **Eichstädt, J. / Aleksejew, I.A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE proceedings = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen**

Band (Jahr): **6 (1982)**

Heft P-50: **Cellular composite structures for nuclear reactor vessels**

PDF erstellt am: **30.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-36656>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## **Stahlzellenverbundbauweise im Kernkraftwerksbau**

Cellular Composite Structures for Nuclear Reactor Vessels

Constructions mixtes cellulaires pour des centrales nucléaires

### **J. EICHSTÄDT**

Prof. Dipl.-Ing., Direktor  
Institut für Industriebau, Bauakademie  
Berlin, DDR

### **I. A. ALEKSEJEW**

Dipl.-Ing., Direktor  
Allunionsinstitut Teploelektroprojekt  
Moskau, UdSSR

### **ZUSAMMENFASSUNG**

Es werden die konstruktiven und bautechnologischen Grundlagen der Stahlzellenverbundbauweise erläutert und es wird auf wissenschaftlich-technische Probleme hingewiesen. Diese Bauweise wurde gemeinsam zwischen Forschungseinrichtungen der DDR und der UdSSR entwickelt. Ihre Anwendung bei sicherheitstechnisch relevanten Bauteilen für Kernkraftwerke ermöglicht eine Industrialisierung der komplizierten und aufwendigen Bauleistungen.

### **SUMMARY**

The article reports on constructional and technological basics for cellular composite structures and mentions related technical and scientific problems. This construction method has been jointly developed by research institutes in the GDR and USSR. Its application in the construction of safety elements of nuclear power plants makes it possible to industrialize production of this complicated and labor-intensive work.

### **RÉSUMÉ**

L'article expose les bases constructives et technologiques de la construction mixte cellulaire et en mentionne les problèmes techniques et scientifiques. Cette méthode de construction a été développée conjointement par des instituts de recherche en RDA et en URSS. Son emploi permet une production industrielle d'activités de chantier laborieuses et compliquées, en particulier pour les éléments de sécurité de réacteurs nucléaires.



## 1. EINFÜHRUNG

Eine konstruktiv und bautechnologisch anspruchsvolle Bauaufgabe für Kernkraftwerke ist der Sicherheitseinschluß des Reaktors.

Die Konstruktion des Sicherheitseinschlusses ist vom Reaktortyp und Standort des Kernkraftwerkes abhängig. In jedem Fall muß sie sicherstellen, daß bei Störfällen und Havarien eine unkontrollierte Freisetzung von Spaltprodukten ausgeschlossen wird. Die Baukonstruktionen des Sicherheitseinschlusses müssen daher mit höchster Zuverlässigkeit extremen Tragfähigkeits- und Dichtigkeitsanforderungen gerecht werden.

Für Kernkraftwerke mit 440 MW Druckwasserreaktoren, die in der UdSSR und den anderen sozialistischen Ländern eingesetzt werden, wird die Druckraumbauweise für den Sicherheitseinschluß angewandt, für Kernkraftwerke mit 1000 MW Druckwasserreaktoren die Containmentbauweise. Die Reaktorbox als Teil des Druckraumsystems umschließt hermetisch den ersten Kreislauf.

Die Wände und Decken der Reaktorboxen für 440 MW Druckwasserreaktoren wurden bei den Blöcken 1 bis 3 des Kernkraftwerkes "Bruno Leuschner" bei Greifswald, DDR in monolithischem Stahlbeton projektiert und ausgeführt. Sie sind an der Innenseite zur hermetischen Abdichtung mit Stahlblech verkleidet. In Auswertung der dabei gesammelten Erfahrungen und in Übereinstimmung mit den volkswirtschaftlichen Erfordernissen wurde ab Block 4 die monolithische Stahlbetonkonstruktion des Reaktorgebäudes weitgehend durch eine Montagebauweise, die Stahlzellenverbundbauweise, ersetzt. Diese Bauweise wurde gemeinsam von der Bauakademie der DDR und dem Allunionsinstitut 'Teploelektroprojekt' der UdSSR entwickelt und patentrechtlich in der UdSSR, DDR, Großbritannien, Frankreich, CSSR und Ungarn gesichert.

Sie trägt in der DDR, UdSSR und in weiteren sozialistischen Ländern mit Erfolg zur weiteren Industrialisierung des Baues dieses Kernkraftwerkstyps bei.

Mit der Entwicklung der Stahlzellenverbundbauweise für Kernkraftwerke mit 440 MW Druckwasserreaktoren wurde auf der Grundlage eines mit dem Generalprojektanten für Kernkraftwerke im RGW 'Teploelektroprojekt' abgestimmten Forschungs- und Entwicklungsprogramm 1972 begonnen. /1/

Die Ersterprobung unter Baustellenbedingungen erfolgte 1973/74 /2/, die serienmäßige Anwendung begann 1977. Die bauweisenspezifischen Besonderheiten für die bauliche Durchbildung, Berechnung, Ausführung und Qualitätssicherung von Stahlzellenverbundkonstruktionen sind in einer Technischen Vorschrift /3/ zusammengefaßt.

## 2. PROJEKTIERUNGSGRUNDLAGEN DER STAHLZELLENVERBUNDBAUWEISE

### 2.1. Konstruktionsgrundsätze

Bei dieser Bauweise wird die im Stahlbeton übliche Rundstahlbewehrung weitgehend durch eine Stahlblechbewehrung ersetzt, die gleichzeitig die hermetische Abdichtung der Sicherheitsräume gewährleistet und als Schalung dient.

Wände und Decken der Bauwerksabschnitte werden durch ein Raster in einzelne Abschnitte aufgelöst (Bild 1), deren Größe von den

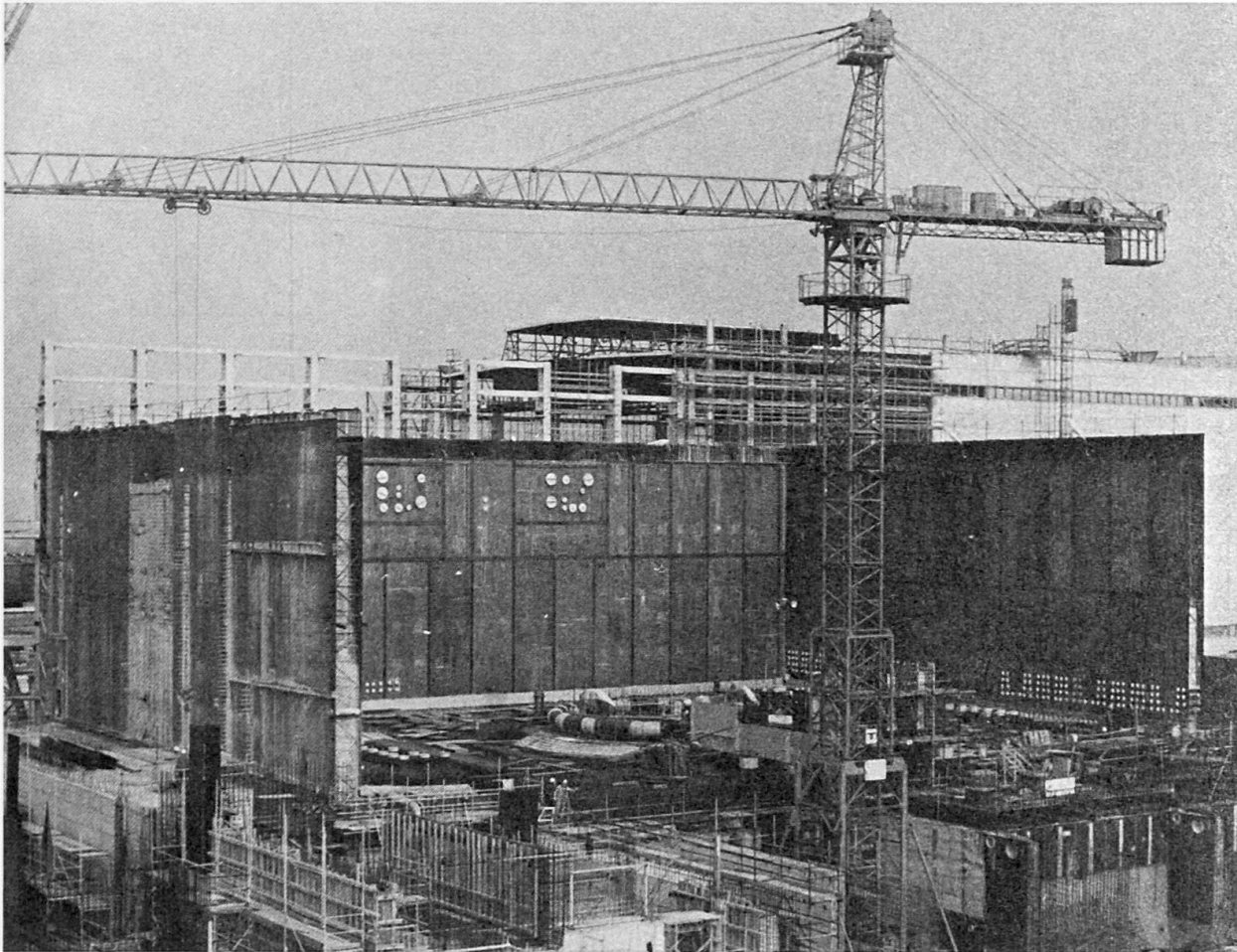


Bild 1 Montierte Wandzellen einer Reaktorbox

möglichen Transportabmessungen bestimmt wird. Die einzelnen Abschnitte, sogenannte Stahlzellen (Bild 2), werden als räumlich stabilisierte, großflächige Tragwerke in spezialisierten Stahlbaubetrieben gefertigt, auf die Baustelle transportiert, versetzt, kraftschlüssig miteinander verschweißt, die Anschlußbewehrung zu angrenzenden Bauteilen eingebracht und ausbetoniert. Durchführungen für Rohrleitungen und Kabel (Versatzteile) sowie Anschlußkonstruktionen werden mit hoher Genauigkeit im Vorfertigungsbetrieb eingebaut (Bild 1). Eine durchgängige Qualitätskontrolle von der Vorfertigung bis zu den Baustellenprozessen sichert die geforderten hohen Gebrauchseigenschaften zur Gewährleistung der Festigkeit und Dichtigkeit der Konstruktion.

In Abhängigkeit von der konstruktiven Durchbildung werden unterschieden:

- Wandzellen mit zweiseitiger Blechbewehrung (Bild 2)
- Wandzellen mit einseitiger Blechbewehrung, Rundstahlbewehrung auf der anderen Seite
- Deckenzellen mit untenliegender Blechbewehrung und oberer Rundstahlbewehrung

Eine Stahlzelle besteht aus dem Stahlblech mit Blechaussteifungen und Dübeln, der Rundstahlbewehrung sowie den Längs- und Quertragwerken.

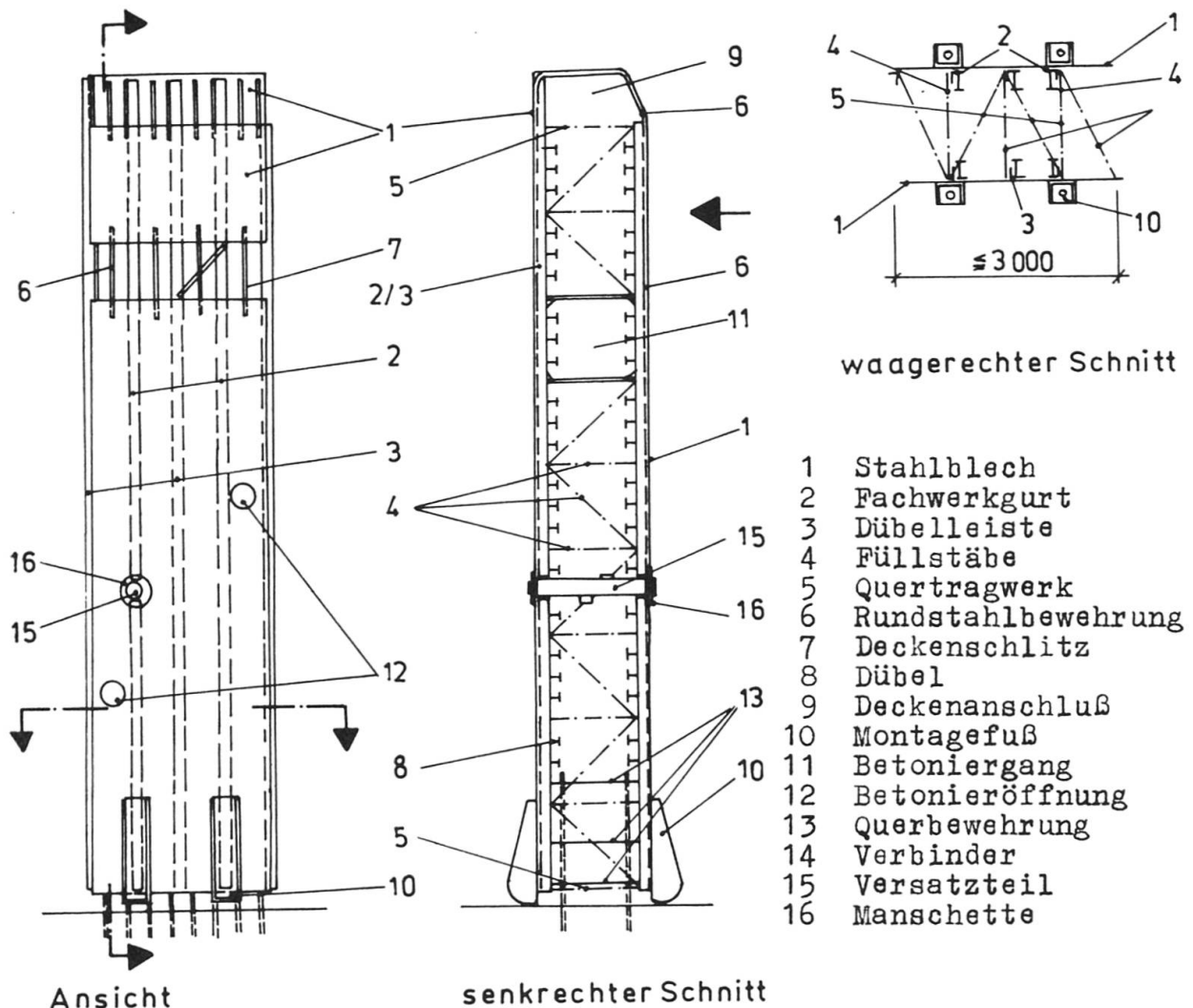


Bild 2 Konstruktionsprinzip der Stahlzellenverbundbauweise;  
Wandzelle mit zweiseitiger Blechbewehrung

Die Stahlzelle wird durch Versatzteile, Anschlußbauteile (zum Beispiel Kopf-, Fuß- und Wandanschlüsse) und Anschlagkonstruktionen komplettiert.

### Konstruktionselemente

Bild 2 zeigt die Konstruktionselemente einer Stahlzelle

- zur Blechbewehrung zählen das Stahlblech und die Blechaussteifungen. Die erforderliche Blechdicke und die Abmessungen der Blechaussteifung ergeben sich aus der statischen Berechnung und aus konstruktiven Erwägungen. Für die verschiedenen Einsatzbereiche des Stahlzellenverbundbaus sind Mindestblechdicken vorgeschrieben, bei Druckräumen im Kernkraftwerksbau zum Beispiel 5 mm.
- In verschiedenen Bereichen wird die Stahlblechbewehrung durch eine Rundstahlbewehrung ergänzt.

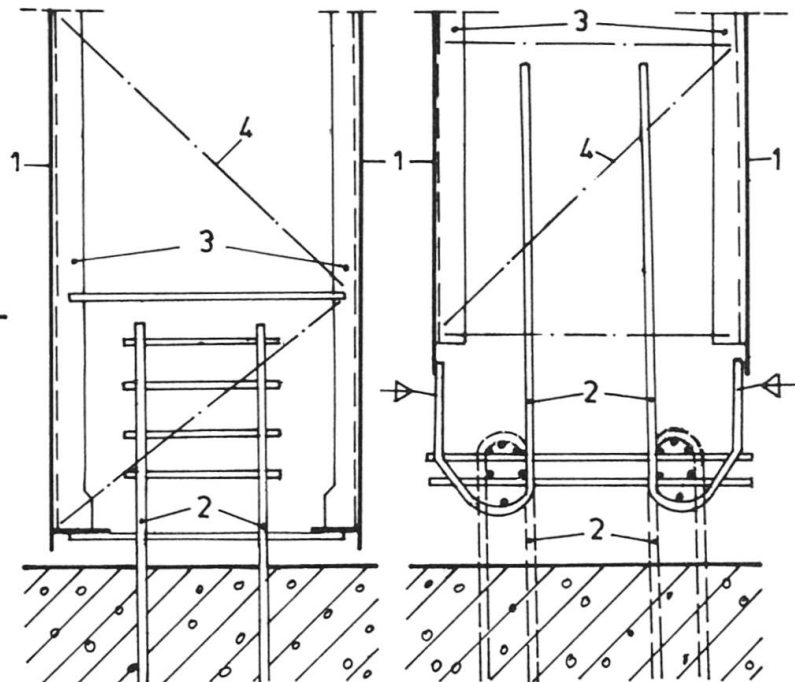
Die Blechaussteifungen in Form von Längsrippen (zum Beispiel Winkelprofile) stabilisieren das Stahlblech und sind Träger der Dübel.



- = Die Stabilisierung der Zellen für Transport und Montage wird im allgemeinen durch mindestens je 2 Längs- und Querfachwerke und durch die Scheibenwirkung der Blechbewehrung gewährleistet. Im Bereich von Wand- und Deckeneinbindungen oder sonstigen Öffnungen wird das Stahlblech durch Rundstahlbewehrung oder Stahlblechverstärkungen (Manschetten) ersetzt.
- Zur Verbundsicherung zwischen Blechbewehrung und Beton werden aus dem Hoch- und Brückenbau bekannte Verbundmittel eingesetzt, für Stahlzellen vorzugsweise Kopfbolzen auf den Blechaussteifungen (Bild 10).

### Verbindungen und Anschlüsse

- Konstruktionsvarianten zur Verbindung der Stahlzellen mit dem Fundament sind in Bild 3 dargestellt. Zur Gewährleistung der erforderlichen Paßgenauigkeit sind bei diesen Montageverbindungen zusätzliche Maßnahmen, zum Beispiel Einbaulehren erforderlich. Die im Montagezustand auftretenden Kräfte werden durch Montagefüße aufgenommen.



Überdeckungsstoß

Schlaufenstoß

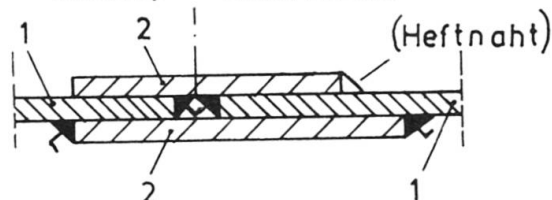
- Zellenverbindungen können sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung verlaufen. Sie werden im allgemeinen als Decklaschenstoß ausgeführt (Bild 4).

Der Hohlraum zwischen den Laschen wird gleichzeitig als Prüfkammer für die Dichtigkeitsprüfung der Schweißnähte verwendet.

- Wandecken (Bild 5) sind ebenfalls als montagefähige Zellen ausgebildet. Ihre Stabilität für den Transport und die Montage ist durch konstruktive Maßnahmen gesichert.

- 1 Stahlblech
- 2 Rundstahlanschlußbewehrung
- 3 Blechaussteifung
- 4 Längstragwerk

Bild 3 Verbindung Wandzelle (Grundzelle) - Fundament

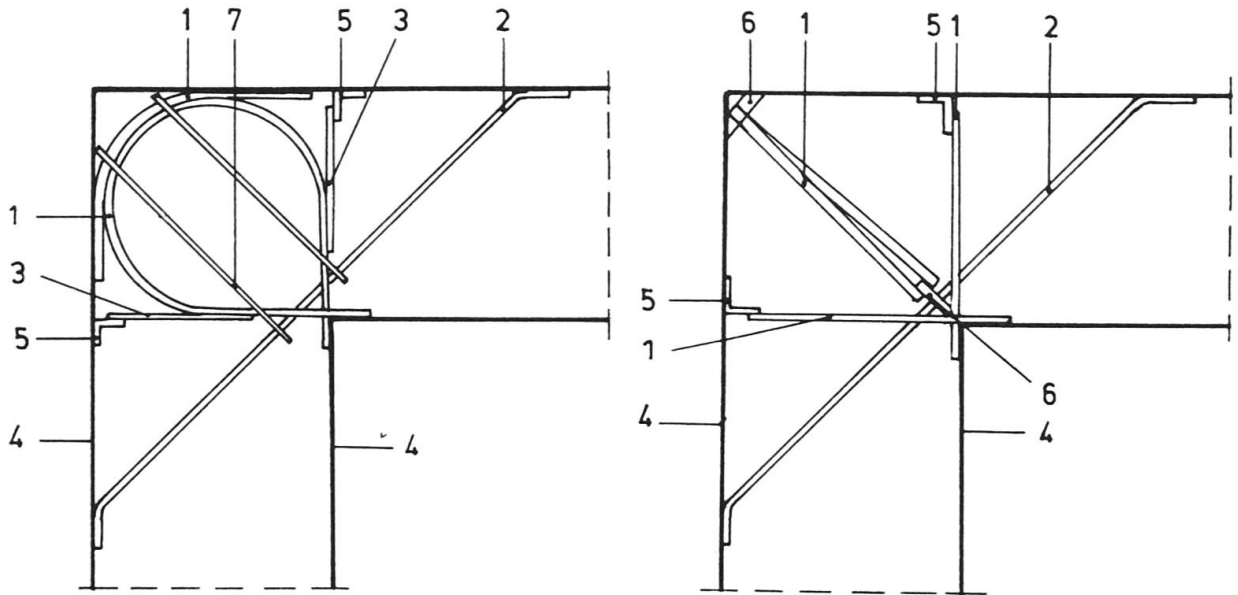


- 1 Stahlblech
- 2 Lasche

Bild 4 Laschenstoß zur Zellenverbindung



Die nach Bild 5 bewehrten Wandecken haben mindestens die gleiche Biegesteifigkeit wie ein analoger Stahlbetonwandquerschnitt. Die Hauptbewehrung 1 wird nach statischen Erfordernissen festgelegt und kraftschlüssig mit der Blechbewehrung verbunden. Die Zulagebewehrung 2 ist nur an bestimmten Ecken vorzusehen und



- 1 Hauptbewehrung-Rundstahl
- 2 Zulagebewehrung-Rundstahl
- 3 Zulagebewehrung-Rundstahl

- 4 Hauptbewehrung-Stahlblech
- 5 Blechaussteifung
- 6 Knotenblech
- 7 Bügel

Bild 5 Wandecken

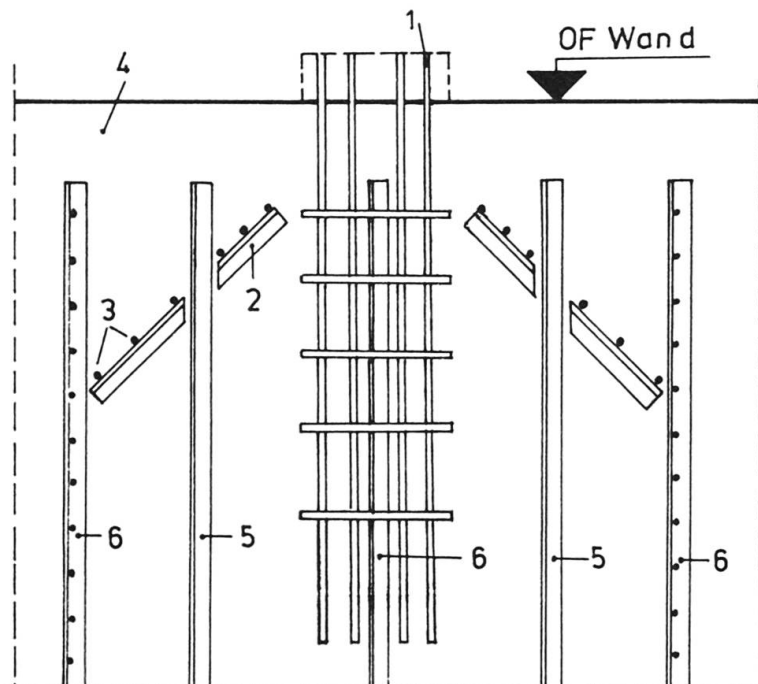


Bild 6 Stützenanschluß auf Wänden

kann mit zur Querkraftdeckung herangezogen werden. Die Zulagebewehrung 3 dient als Aussteifung der Stahlzelle während der Fertigung, des Transports und der Montage sowie zur Aufnahme des Betonierdruckes. Die Umlenkkräfte bei außenliegender Druckzone werden durch Bügel 7 aufgenommen. Analog werden biegesteife Verbindungen der Decken mit den Wänden ausgeführt. Eine Vorzugslösung für das Einbinden von Stützen in die Stahlzellen zeigt Bild 6.

- 1 Stützenanschlußbewehrung
- 2 Enddübel
- 3 Rückverankerung der Enddübel
- 4 Stahlblech
- 5 Fachwerk
- 6 Dübelleiste



## 2.2. Brandschutz

Ungeschützte Stahlzellen weisen gegenüber Stahlbetonkonstruktionen ein anderes Brandverhalten auf.

- Die außenliegende, ungeschützte Stahlblechbewehrung ist direkt der Temperaturwirkung ausgesetzt, die einen Festigkeitsabfall im Stahlblech bewirkt.
- Im Inneren der hermetisch abgeschlossenen Stahlzelle kann sich bei höheren Temperaturen ein Dampfdruck entwickeln, der den Beton zerstört und im Stahlblech zusätzliche Beanspruchungen hervorruft.

Deshalb sind in brandgefährdeten Bereichen, z.B. bei Brandlasten über  $50 \text{ Mcal/m}^2$ , an den Decken und Wänden Brandschutzmaßnahmen vorgesehen. Hierfür werden übliche Verkleidungen und schaubildende Anstriche eingesetzt.

Bei entsprechender Anordnung der statisch erforderlichen Rundstahlbewehrung können weitere Brandschutzmaßnahmen entfallen. Brandversuche an Stahlzellen haben gezeigt, daß bei einseitig beflamten Wänden nur die äußere Betonschale zerstört wird und sich kein die Gesamtkonstruktion schädigender Dampfdruck aufbaut.

## 2.3. Korrosionsschutz

Auf der betonabgewandten Seite des Stahlblechs ist ein den Nutzungsbedingungen der betreffenden Räume entsprechender Korrosionsschutz aufzubringen und ständig so zu unterhalten, daß keine Dickenminderung der Stahlbleche durch Abrosten auftreten kann. Wird der Korrosionsschutz bereits im Herstellerwerk aufgebracht, sind Bereiche der Stahlzellen, in denen während der Montage noch Schweißverbindungen auszuführen sind, entweder freizulassen oder durch schweißbare Anstrichmittel zu schützen.

Wenn aus technologischen Gründen der Korrosionsschutz erst nach der Montage erfolgt, darf eine bestimmte Zeit bis zum Aufbringen der Schutzschichten nicht überschritten werden. Damit wird eine unzulässige Dickenminderung der Stahlbleche vermieden.

Auf der betonzugewandten Seite des Stahlblechs ist kein Korrosionsschutz erforderlich. Langzeituntersuchungen haben gezeigt, daß die Stahlbleche durch den Beton dauerhaft gegen Korrosion geschützt sind, wenn die Betonzusammensetzung bestimmten Mindestforderungen genügt und die Stahlbleche zu Beginn des Betonierens keinen schuppigen bzw. blättrigen Rost mit Narbenbildung aufweisen.

Die zur Verwendung vorgesehenen Zemente müssen gewährleisten, daß der pH-Wert des erhärteten Betons im Laufe der Nutzung nicht unter 11,3 absinkt. Die bauliche Gestaltung schließt das Eindringen von korrosionsfördernden Medien wie Leckwasser, Dekontaminierungsflüssigkeiten und dergleichen in die Stahlzellen aus.





### 3. TECHNOLOGISCHE PRINZIPIEN DER STAHLZELLENVERBUNDBAUWEISE

#### 3.1. Vorfertigung

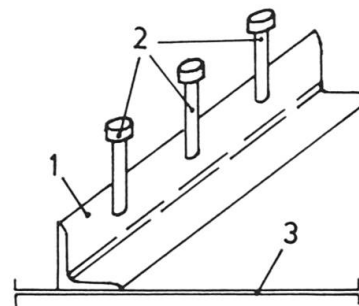
Für die Fertigung der Stahlzellen in einem Stahlbaubetrieb (Bild 7, 8, 9) wurde eine Rahmentechnologie entwickelt, in der die einzelnen Arbeitsgänge zu einer technologischen Linie verkettet sind. Die stahlbaumäßige Fertigung der Stahlzellen mit den Arbeitsgängen

- Zuschnitt (Sägen, Trennschleifen, Scheren, Brennschneiden),
- Richten, Oberflächenbehandlung (Strahlen, Trommeln, Entfetten),
- mechanische Bearbeitung (Gewindeschneiden, Bohren, Stanzen),
- Schweißen, Zusammenbau,
- innerbetrieblicher Transport
- Qualitätssicherung

unterscheidet sich nur wenig von der üblichen Stahlhochbaufertigung. Besondere Aufmerksamkeit wird der Schweißtechnologie gewidmet, um Schweißverformungen bei den relativ dünnwandigen und großflächigen, räumlichen Konstruktionen kleinzuhalten und um umfangreiche Richtarbeiten zu vermeiden.

Eine Besonderheit bei der Stahlzellenfertigung besteht im Aufschweißen einer Vielzahl von Dübelelementen zur Verbundsicherung (Bild 10). Hierfür wurde ein hochmechanisiertes Widerstands-Buckel-Schweißverfahren eingesetzt.

Für die Qualitätssicherung der Stahlzellen wurden umfangreiche zusätzliche Maßnahmen festgelegt, die durch eigene Organe der Betriebe und durch die Staatliche Bauaufsicht überwacht werden. Dazu gehören vor allem die Prüfungen der Schweißverbindungen und die Sicherung der Zellengeometrie. Die Gasdichtigkeitsprüfung der Schweißnähte erfolgt in der Vorfertigung entsprechend den Festlegungen des Projektes und der ASAO 880 /4/.



- 1 Winkelprofil
- 2 Kopfbolzen
- 3 Stahlblech

Bild 10 Dübelleiste

Eine volle Ausschöpfung der Vorzüge der Stahlzellenverbundbauweise für die Verkürzung der Bauzeit und die Verringerung des Aufwandes bedingt eine Organisation der Produktion im Stahlbaubetrieb nach den Prinzipien der Takt- und Fließfertigung. Voraussetzung dafür ist die Einordnung des Baukörpers in ein Raster, um weitgehendst gleiche Zellenabmessungen zu erhalten.

#### 3.2. Transport

Die äußeren Abmessungen der Stahlzellen und die Montagemassen können für einen Straßen- und Schienentransport oder für einen Transport auf dem Wasserweg ausgelegt werden.

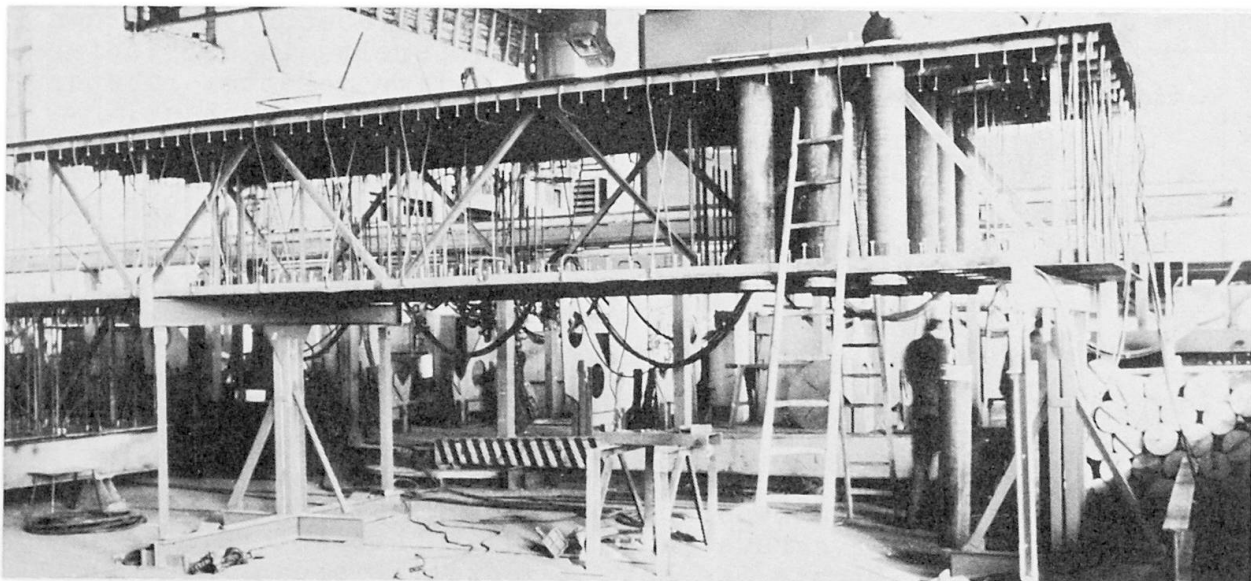
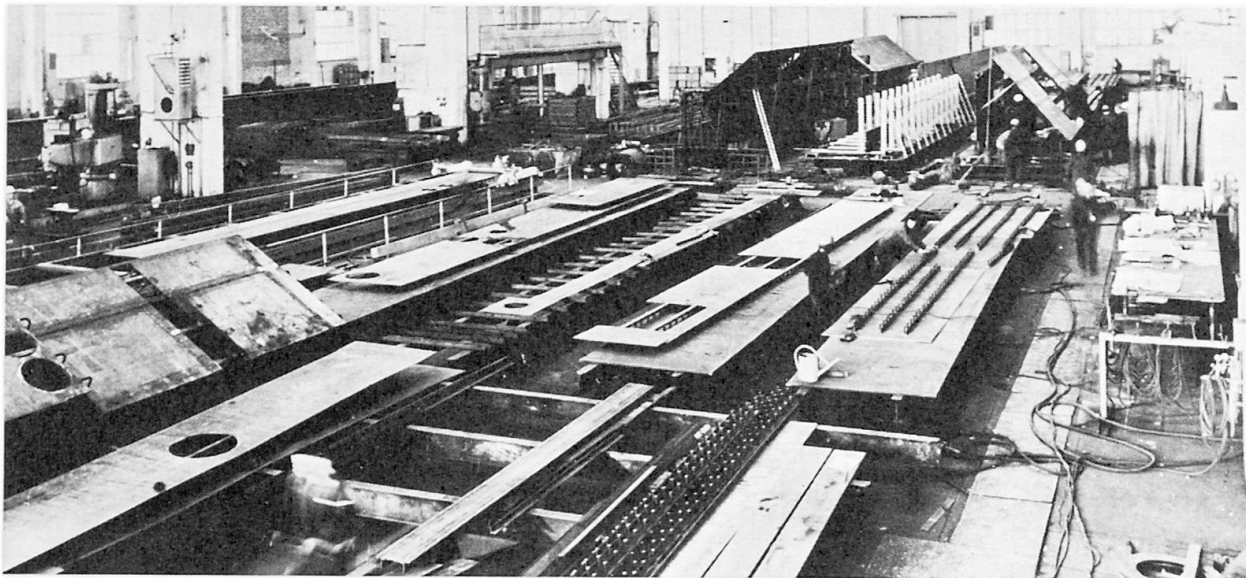
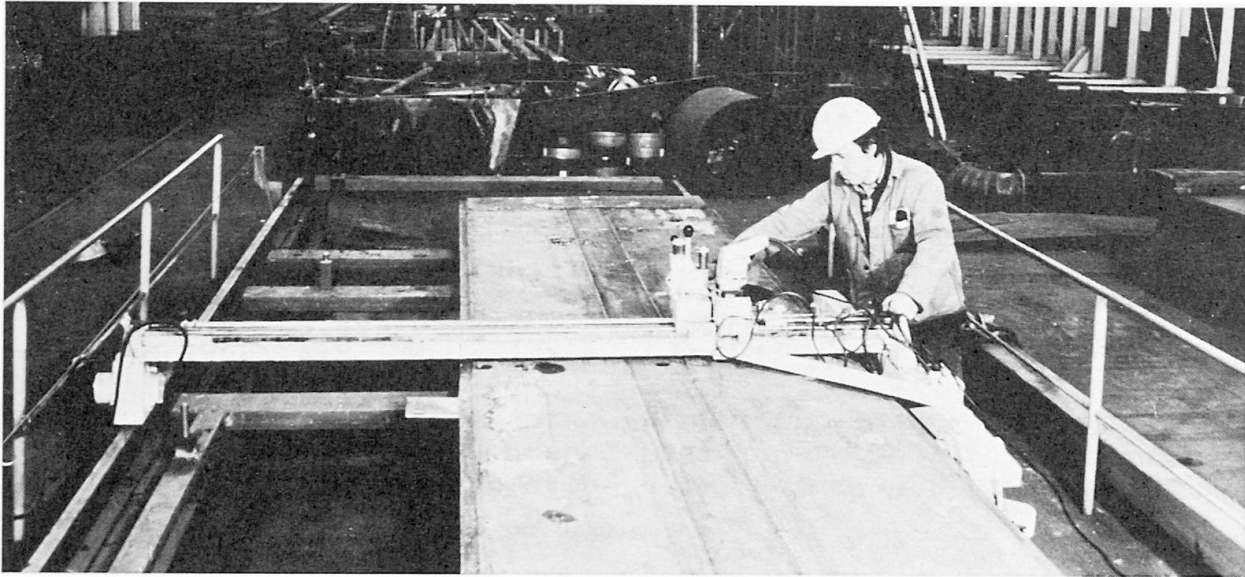


Bild 7 bis 9 Fertigung der Stahlzellen



Für das sichere Anschlagen, das Be- und Entladen sowie den Transport der Stahlzellen unter Berücksichtigung der bautechnologischen und statischen Erfordernisse liegen technische Vorschriften und Arbeitsschutzinstruktionen vor.

### 3.3. Montage

Vor dem Versetzen werden die Stahlzellen mit den erforderlichen Justiereinrichtungen versehen, an den Montageösen angeschlagen und über spezielle Montagefüße in die Einbaulage aufgerichtet. Das Absetzen erfolgt auf den Montagefüßen. Für das Ausrichten und Justieren wurden spezielle Einrichtungen entwickelt. Nach dem Verschweißen der Stöße und dem Ausbetonieren der Zellen werden die Montagefüße wieder entfernt. Danach erfolgt die Prüfung der Baustellennähte des Liners auf Gasdichtigkeit.

### 3.4. Betonieren

Stahlzellen mit einer Wanddicke  $\geq 1000$  mm sind nach den Arbeitsschutzvorschriften der DDR von innen begehbar. Sie besitzen senkrechte Einstieg- und Betonierschächte mit einem freien Arbeitsraum von 600 mm x 800 mm und horizontale Betoniergänge mit den Abmessungen 1800 mm x 700 mm (Bild 11). Stahlzellen mit einer

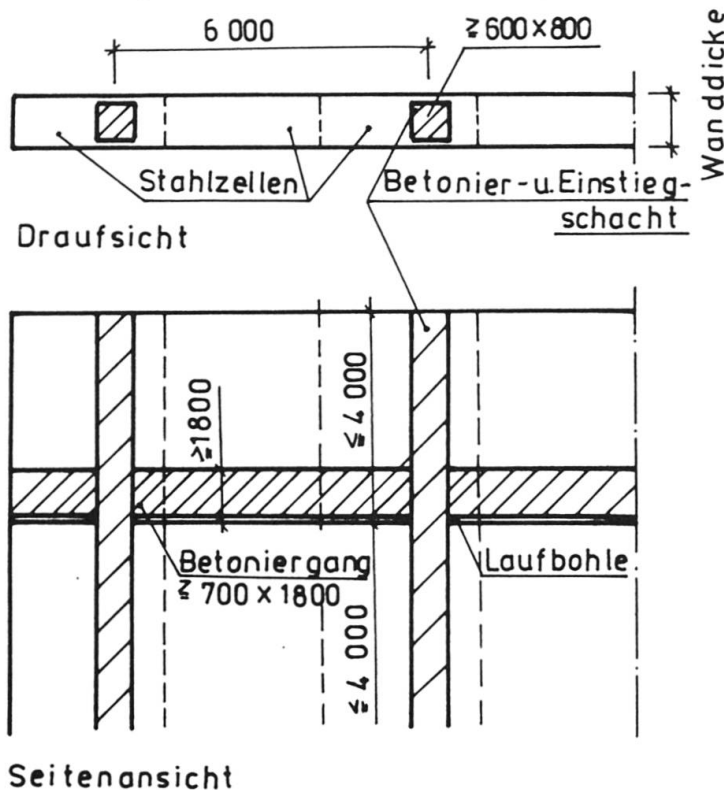


Bild 11 Betoniergänge und Betonschächte

Stahlzellen mit einer Wanddicke  $< 1000$  mm werden mit Innenvibratoren verdichtet, die über spezielle Öffnungen eingeführt werden. Außenvibratoren wurden ebenfalls zum Verdichten des Betons eingesetzt. Durch die Verwendung von Betonverflüssigern kann der Verdichtungsprozeß wirksam unterstützt werden. An Grenzen der Betonierabschnitte werden bereits in der Vorfertigung Betonierabsperungen eingebaut. Zum Einbringen des Betons können alle bekannten Verfahren des Betonbaus angewandt werden. Die spezifische konstruktive Lösung der Stahlzellen läßt eine nachträgliche Kontrolle der Betondichte nur schwer zu. Eine Augenscheinprüfung der Betonoberfläche, wie sie bei nicht verkleideten monolithischen Betonkonstruktionen allgemein üblich ist, scheidet aus. Da aber gerade im KKW-Bau erhöhte Anforderungen an die Festigkeit und Dichte des Betons gestellt werden, sind verschiedene wirksame Kontrollmaßnahmen für den Betonierprozeß vorgesehen.

### 3.5. Qualitätssicherung

Für die Projektierung, Fertigung, Montage und das Betonieren der Stahlzellen wurden spezielle Qualitätssicherungsvorschriften erarbeitet, die nach Prüfung und Bestätigung durch die staatlichen Überwachungsorgane verbindlich anzuwenden sind. Die Qualitätssicherungsvorschriften nehmen Bezug auf staatliche Vorschriften und Standards und beinhalten spezielle Festlegungen, die sich aus der Bauweisenspezifik ergeben. Das bezieht sich beispielsweise auf die Geometrie-, Korrosionsschutz- und Schweißnahtkontrolle in den verschiedenen Produktionsstufen. Nach Fertigstellung der Bauwerke zum Sicherheitseinschluß erfolgt eine Dichtigkeits- und Festigkeitskontrolle nach einem speziellen Prüfprogramm.

## 4. WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHE GRUNDLAGEN

Die zur Entwicklung und Praxiseinführung der Stahlzellenverbundbauweise erforderlichen umfangreichen theoretischen und experimentellen Untersuchungen umfaßten im wesentlichen folgende Komplexe:

- Berechnungs- und Bemessungsgrundlagen
- spezifische Materialeigenschaften
- konstruktive Durchbildung
- Korrosions- und Brandschutz
- Vorfertigung, Transport, Montage, Betonieren
- Qualitätssicherung

Die vielfältigen Probleme waren neben den zugehörigen theoretischen Betrachtungen Gegenstand eines umfangreichen Versuchsprogramms. Die experimentellen Arbeiten umfaßten Untersuchungen von Detaillösungen, von ganzen Bauteilen bis zur Untersuchung des Sicherheitsraum-Modells eines KKW im Maßstab etwa 1:3, bezogen auf entscheidende Konstruktionsparameter. Auf einige Probleme, die bei der Einführung der Stahlzellenbauweise zu klären waren, soll kurz eingegangen werden.

### Verdübelung

Ein statisch-konstruktives Hauptproblem für die Anwendung von blechbewehrten Betonkonstruktionen ist die Verdübelung des Stahlblechs. Hierfür wurden Kopfdübel auf Winkelprofile (sog. Dübelleisten) und diese wiederum auf das Stahlblech geschweißt. Durch experimentelle Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, daß bei Anwendung eines geeigneten vollautomatisierten Verfahrens - des Buckelschweißens - Schweißverbindungen mit der erforderlichen Tragfähigkeit erzielt werden. Ein weiteres Problem aus dem Bereich "Dübelverhalten" ist die Tragfähigkeit des einbetonierten Kopfbolzendübel und das Zusammenwirken mit dem umgebenden Beton im Zugbereich der Konstruktion.

Weitergehende Untersuchungen betrafen die Auswertung des elastisch-plastischen Verhaltens der Verdübelung in diesem Bereich auf das Trag- und Verformungsverhalten der Bauteile. In entsprechenden Bauteilversuchen (Baiken, Platten, Eckkonstruktionen) wurden unterschiedliche Varianten der Bewehrungsanordnung und Verdübelung geprüft und die Abweichungen gegenüber dem Verhalten traditioneller Stahlbetonkonstruktionen ermittelt (Bsp.:Bild 12).



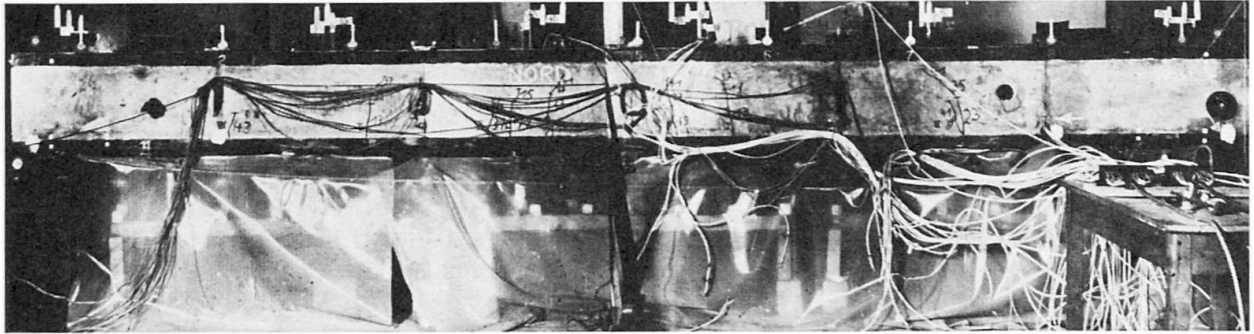


Bild 12 Prüfung eines Stahlzellenbalkens

Auf der Grundlage der theoretischen Untersuchungen und experimentellen Erprobungen wurde ein dem Traglastverfahren analoges Bemessungsverfahren für blechbewehrten Beton entwickelt.

#### Betoneigenschaften

Die Temperatureinwirkungen in Sicherheitsräumen beeinflussen in Verbindung mit den speziellen Erhärtingsbedingungen in den Stahlzellen die Materialeigenschaften des Betons. Insbesondere die rheologischen Kenngrößen werden durch den Einfluß der Erhärtung unter Luftabschluß, wie er für Stahlzellenkonstruktionen charakteristisch ist und die auftretenden höheren Temperaturen beeinflusst.

#### Weitere Untersuchungen

Die beiden kurz erläuterten Komplexe - Verdübelung und Betoneigenschaften - stellen nur einen Teil der durchgeführten Forschungsarbeiten dar. Es wurden noch zahlreiche andere Probleme theoretisch und experimentell untersucht, z.B. Stahlzellen unter Normalkraftbeanspruchung, das Risseverhalten (Bild 13),

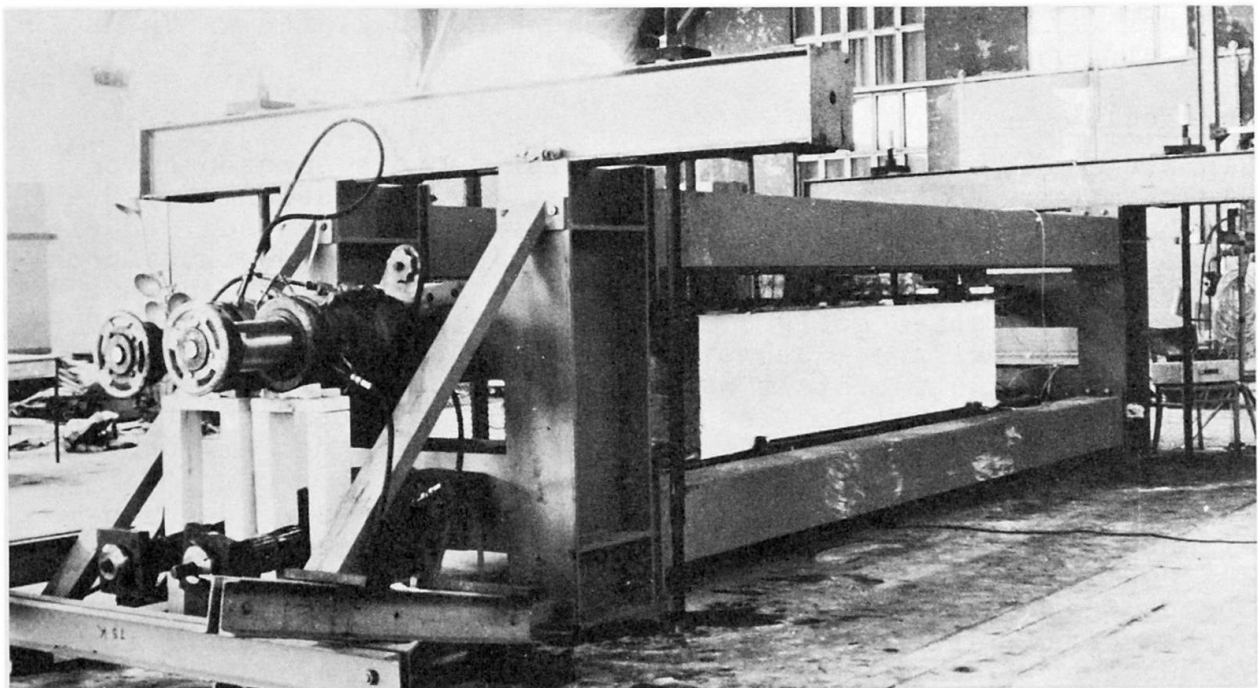


Bild 13 Versuche zur Rissesicherung an Stahlzellenverbundkonstruktionen



Schweißverbindungen, Montage- und Betonierprobleme, das Tragverhalten im Anschlußbereich von Stahlzellen untereinander (Ecken), an monolithische Konstruktionen und Fundamentesowie zwischen Wand und Decke.

Vorfertigungs- und Baustellenprozesse wurden u.a. auch an einem Originalausschnitt einer Reaktorbox erprobt (Bild 14).

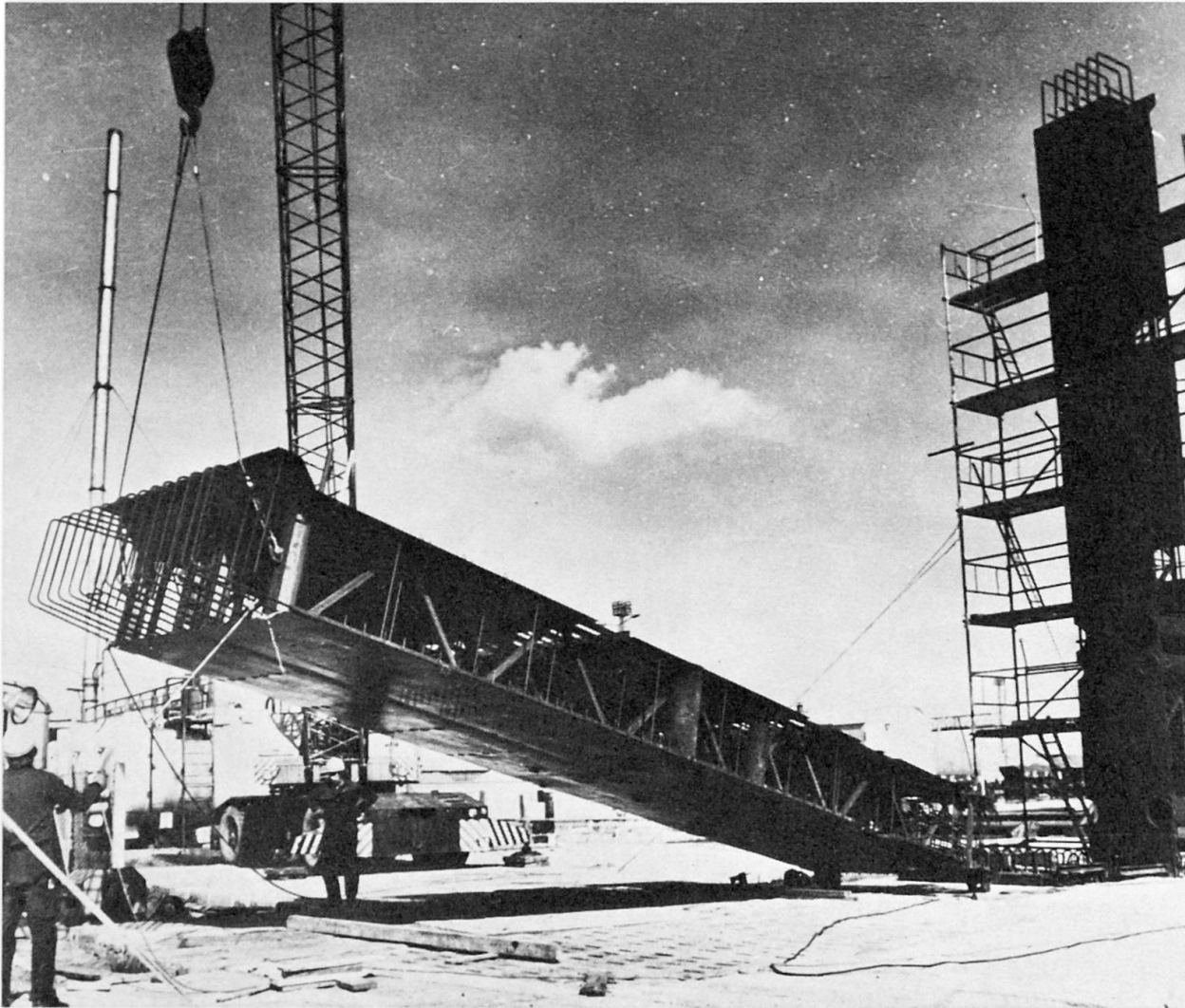


Bild 14 Montageversuch am Originalausschnitt einer Reaktorbox

### Druckraummodell

Der vorläufige Abschluß der Erprobungen der Stahlzellenverbundmontagebauweise war eine Versuchsreihe an einem Druckraum. Der Versuchskörper ist geometrisch ein verkleinertes Modell eines KKW-Sicherheitsraumes mit rechteckigem Grundriß, an dem die bisher an Bauteilen durchgeführten experimentellen Erprobungen komplex an einem Versuchsbauwerk bestätigt werden sollen (Bild 15,16).

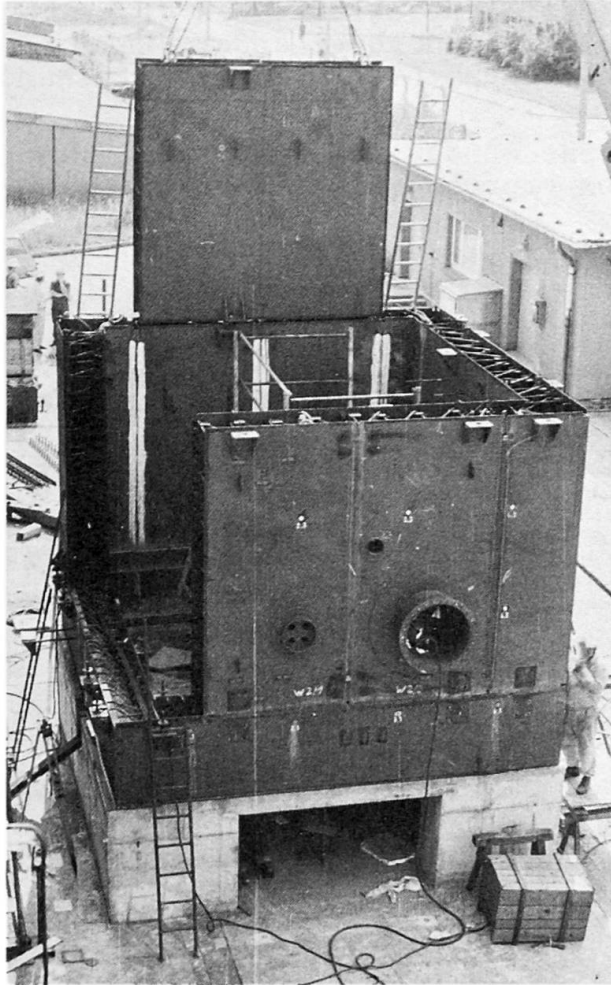


Bild 15 Druckraum-Versuchskörper

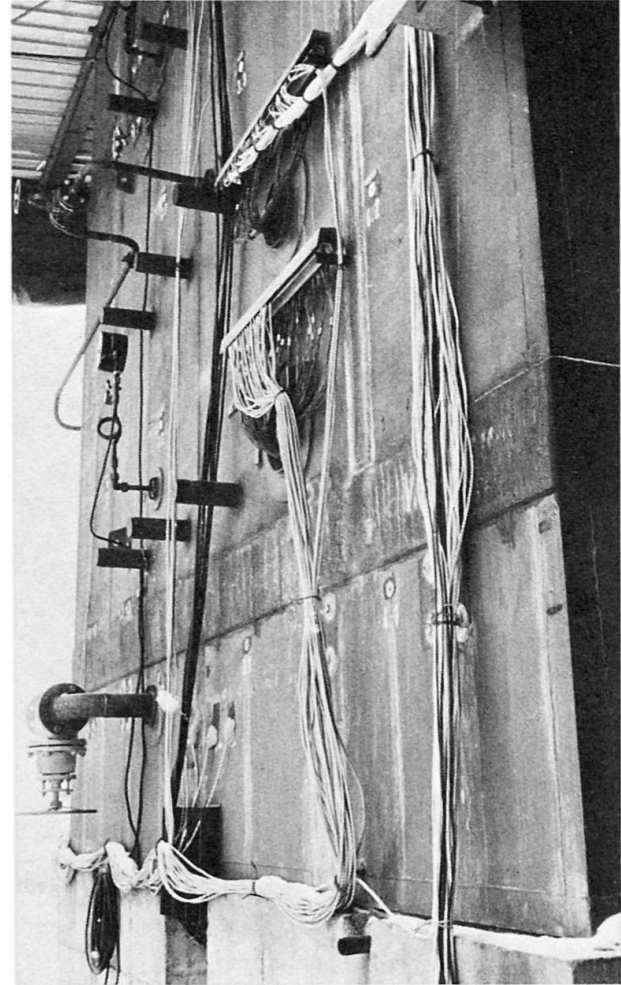


Bild 16 Leitungsdurchführungen am Druckraum

Im einzelnen wurden folgende Probleme untersucht:

- Optimierung des Montageprozesses und Erprobung von Meßverfahren
- Beanspruchung der Konstruktion während des Betoniervorganges
- Dichtigkeit des Versuchsraumes sowie Einfluß definierter Lecks auf die Dichtigkeit bei verschiedenen Innenraumdrücken und Temperaturen
- Belastung der Konstruktion bei stationärer Temperatureinwirkung (Betriebszustand)
- Spannungs- und Verformungszustand bei stationärer Temperatureinwirkung und Innendruckbeanspruchung
- Trag- und Verformungsverhalten der Konstruktion bei reiner Innendruckbelastung
- Einfluß einer teilweisen Zerstörung des Innenblechs (bei Innenraumdruck, z.B. durch umherfliegende Teile)
- Ermittlung der Temperatur- und Feuchteverteilung im Beton sowie das Schwind- und Kriechverhalten des Betons unter Beachtung des Temperatureinflusses und Luftabschluß.

Die Außenabmessungen des Versuchskörpers betragen 4,4 m x 4,4 m und die Wanddicke 0,45 m. Die Wände bestanden innen und außen aus einer Blechbewehrung mit einer wirksamen Dicke von 3 mm im Feld und 4 bzw. 6 mm in den Eckbereichen.

Die Versuchsergebnisse haben die technische Zuverlässigkeit der Stahlzellenverbundbauweise bestätigt und den Nachweis erbracht, daß mit den vorgeschlagenen Berechnungs- und Konstruktionsgrundlagen eine ausreichend sichere Bemessung und konstruktive Durchbildung erfolgen kann. Es wurden vielfältige neue Erkenntnisse gewonnen, insbesondere bezüglich des Dichtigkeitsverhaltens, des elastisch-plastischen Verhaltens im Bereich der Grenztragfähigkeit sowie des Verhaltens bei Temperatureinwirkungen.

## 5. ANWENDUNGSBEISPIELE

Die Stahlzellenverbundbauweise wurde erstmalig am Block 4 des KKW 'Bruno Leuschner' in Greifswald (DDR) großtechnisch erprobt. Die dabei gesammelten Erfahrungen wurden bei der Projektierung der weiteren Ausbaustufen dieses Kernkraftwerkes berücksichtigt (Bild 17 bis 19). Der Anwendungsumfang wurde wesentlich erweitert. Bei den nächsten Blöcken werden ca. 12 000 t Stahlzellen eingesetzt. Die Anwendung dieser Bauweise bei Kernkraftwerken mit größeren Blockeinheiten wird gegenwärtig untersucht.

## 6. WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNGEN

In Auswertung der mit dieser Bauweise bereits realisierten Vorhaben werden im Vergleich zur monolithischen Ausführung wirtschaftliche Vorteile bei gleichzeitiger Erhöhung der Qualitätsparameter erreicht. Diese resultieren vor allem aus einer Verkürzung der Bauzeit durch Verlagerung von arbeitsaufwendigen Baustellenprozessen in die Vorfertigung sowie durch eine Reduzierung des Stahl- und Arbeitszeitaufwandes.

## LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ THOMASCH, H.; FRIEDRICH, F.: Stahlzellenverbundmontagebau, Bauplanung-Bautechnik 30(1976), H.12 und 31(1977), H. 1
- /2/ HEYNISCH, W.: Neue Erkenntnisse zur bautechnischen Rationalisierung des Kernkraftwerksbaus. Bauplanung-Bautechnik 29(1975), H. 4
- /3/ TECHNISCHE VORSCHRIFT für die bauliche Durchbildung, Berechnung, Ausführung und Qualitätssicherung von Stahlzellenverbundkonstruktionen. Bauakademie der DDR, Institut für Industriebau, Berlin 1977 (unveröffentlicht)
- /4/ TECHNISCHE GRUNDSÄTZE zur Arbeitsschutzanordnung 880/1. Errichtung von Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktoren. Berlin, März 1980 (unveröffentlicht)



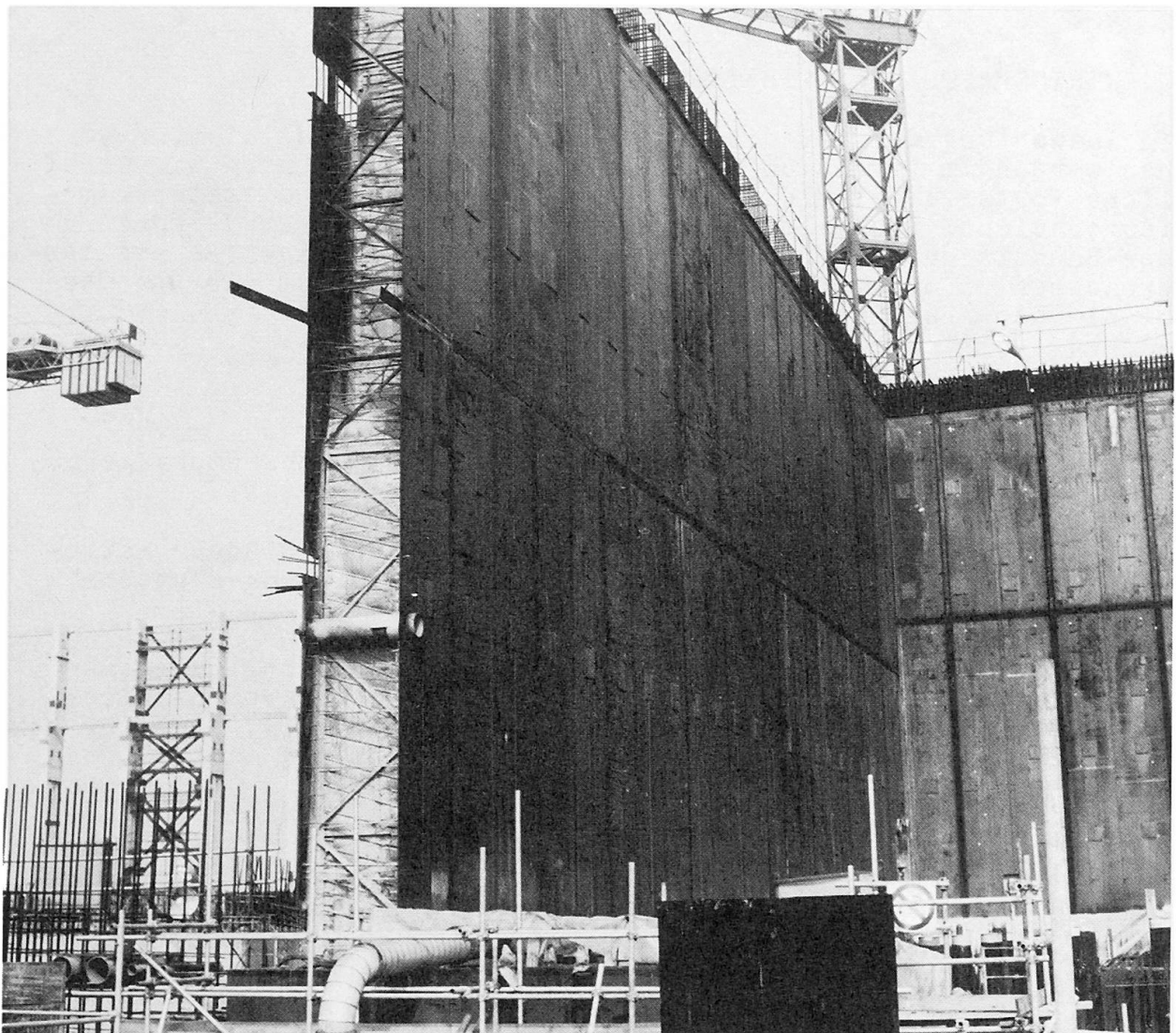
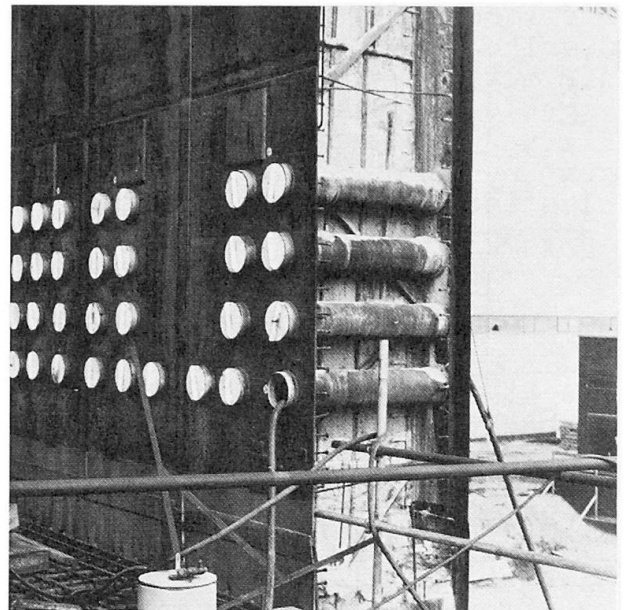
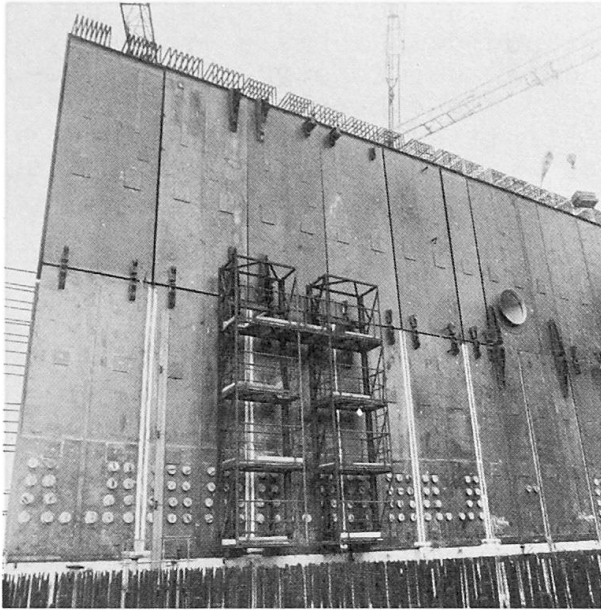


Bild 17  
bis 19 Anwendung von Stahlzellen im KKW 'Bruno Leuschner'