

Ferrozement

Autor(en): **Sulzer, Hans D.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **100 (1982)**

Heft 48

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74900>

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.

Ferrozement

Von Hans D. Sulzer, Zürich

Obwohl vor mehr als hundert Jahren erfunden und patentiert, hat Ferrozement erst seit Mitte der siebziger Jahre ernsthaftes Interesse in der Bauwelt erweckt. Dass dieses Material sich nicht von Anfang an gleich schnell wie Stahlbeton durchzusetzen vermochte, ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass die Herstellung des für Ferrozement erforderlichen Dünndrahtgeflechtes damals um einiges komplizierter und teurer war als die des üblichen Bewehrungsstahls. Heute gilt diese Einschränkung nicht mehr; Ferrozement stellt für manche Anwendung eine konkurrenzfähige Lösung dar, insbesondere bei der Ausbildung dünner und gekrümmter Flächen.

Ursprung und Geschichte

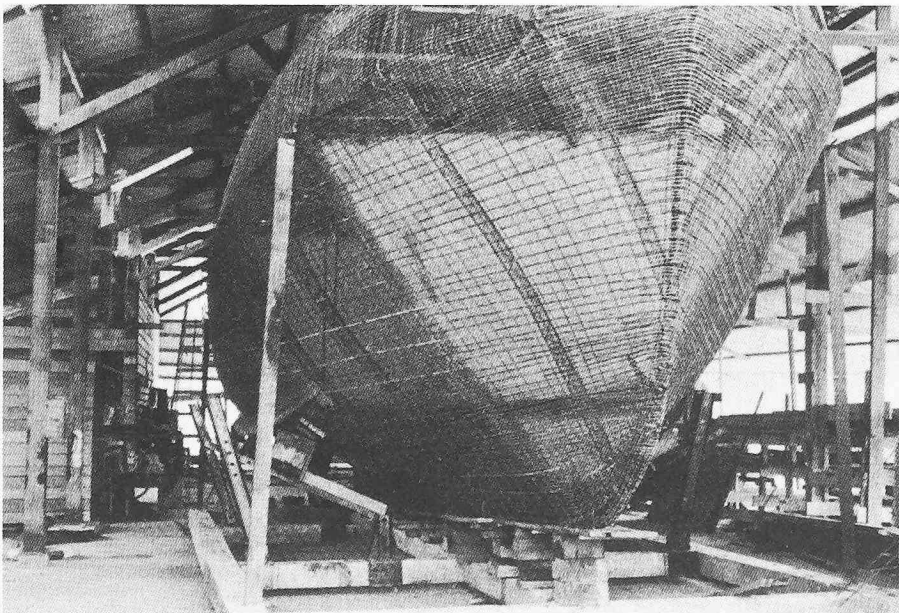
Im Jahre 1894 liess der Franzose *Lambot* Ferrozement patentieren, also Jahre

bevor es den Stahlbeton gab. Das neue Material wurde lange Zeit vereinzelt im Schiffsbau (Bild 1) verwendet; Lambot selber baute damit einige Ruderboote, die sich im Wasser hervorragend be-

Bild 1. 80 Jahre nach seiner Herstellung war im Jahre 1967 dieses Ferrozementboot im Amsterdamer Zoo noch immer wassertüchtig («Cement», Amsterdam, The Netherland)



Bild 2. Rumpf eines Fischerbootes vor Mörteltrag in Neuseeland (Photo: D. Alexander, Neuseeland)



währten. Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde vermehrt mit Ferrozement experimentiert, so etwa durch den italienischen Architekten und Konstrukteur *Luigi Nervi* (1891–1979), der feststellte, dass manche Eigenschaften des neuen Kompositmaterials sich von denen des konventionellen Stahlbetons stark unterscheiden. Er nannte es «*Ferrocemento*» und baute damit verschiedene grossflächige Dünnschalen über Stadien, Hallen usw.

Doch erst in den sechziger Jahren wurde, hauptsächlich in *Australien* und *Neuseeland*, Ferrozement systematisch entwickelt und angewendet, jedoch vorwiegend im Schiffsbau. Seit 1974 ist in der Anwendung von Ferrozement eine neue Phase eingetreten, angeregt nicht zuletzt durch Bemühungen des «*American Concrete Institutes*», so dass heute eine umfassende Literatur über die Bauweise vorhanden ist.

Gegenwärtig wird Ferrozement vorwiegend in den Entwicklungsländern und dort für *Fischerboote*, *Lastkähne*, *Wassertanks*, *Schwimmaissons* verwendet (Bild 2). Doch sind schon die ersten *Ferrozement-Bauelemente* auf dem Markt erschienen wie z.B. *Dachwellplatten*, *selbsttragende Deckenelemente*, *Fassadentafeln*, *tragende Säulen*. In letzter Zeit sind sogar einige auf Ferrozement basierende *mehrstöckige Bausysteme* vorgeschlagen worden.

Das letzte Ferrozement-Symposium, das von der *Rilem* (Reunion Internationale des Laboratoires d'Essais sur les Matériaux de Construction) organisiert wurde, fand im Juli 1981 in *Bergamo* statt. Er wurde von mehr als 100 Fachleuten aus 30 Ländern besucht, ein sicherer Hinweis auf das wachsende Interesse der Fachwelt.

Materialeigenschaften

Unter «Ferrozement» versteht man ein *stark bewehrtes Kompositmaterial aus mehrschichtigem dünnem, mit zementreichem Mörtel imprägniertem Gittergewebe*, das sich unter Beanspruchung wie ein homogener Stoff verhält (Bild 3). Diese Definition ist unbefriedigend, doch ist sie die beste, die formuliert werden kann. Tatsächlich ist der *Übergang von Ferrozement zu Stahlbeton verschwommen* und die Begriffe nicht eindeutig, weil die verschiedensten Kombinationen von Gitterarten, Drahtdurchmessern, Mörtelzusammensetzungen möglich sind. Als *Bewehrung* kommen *geschweisste Netze*, *gewobene Netze* oder *Streckmetall* in Frage (Bild 4). Die am breitesten eingesetzte Bewehrung ist das sogenannte *hexagonale*

Hühnergeflecht, das heutzutage in geschweisster und galvanisierter Ausführung überall und kostengünstig erhältlich ist. Der Grossteil der technischen Literatur basiert auf Versuchen mit diesem Geflecht oder mit rechteckigen geschweissten Gittern. Der Drahtdurchmesser beträgt normalerweise 0,4–1,5 mm und die Maschenweite 6–25 mm.

In einigen Anwendungen sind zwischen den Gitterschichten zusätzliche *Betonstähle* angeordnet, die gleichzeitig Armierungs- und Befestigungsgerüst für das Geflecht darstellen. Somit ist Ferrozement *stahlintensiv*, mit 400–500 kg Stahl je Kubikmeter. Bei mehrschichtiger Geflechtsanordnung und bei den üblichen Wandstärken von 8–30 mm ist nur eine geringe Stahlüberdeckung von 2–5 mm möglich. Angesichts der für Ferrozement *typischen Feinrissbildung* sind diese Überdeckungen zum Schutz des Stahlgitters dennoch ausreichend.

Als *Zement* kommen die handelsüblichen Portlandqualitäten in Frage, in einem Mischungsverhältnis von 400–500 kg je Kubikmeter Mörtel. *Grober Sand* mit etwa 1–2 mm Körnung ist der geeignete *Zuschlagstoff*, wobei der Feinsandanteil unter 0,2 mm zur Beschränkung des Zementverbrauchs 5 Prozent des Sandgewichtes nicht überschreiten sollte. Feinkies (bis 6 mm Durchmesser) wird manchmal zugesetzt. Der Wasserzementwert wird normalerweise zwischen 0,35 und 0,55 gewählt. Als Mittelwert gilt 0,45, ein Gehalt, der eine annehmbare Porosität bei geeigneter Verarbeitbarkeit ergibt. Wie bei Normalbeton können *Zusatzmittel* zur Erhöhung der Plastizität bei geringem Wasserzementwert beige-mischt werden.

Abbinden und Erhärten sollten wie bei Beton in einer feuchten und wenn möglich warmen Atmosphäre erfolgen. Als Folge des hohen Zementgehaltes und der fein verteilten Armierung ist die Schwindrissbildung (im Bereich von einigen μ) bei Ferrozement ausgeprägter als beim Stahlbeton. Diese Erscheinung kann durch kontrollierte langsame Erhärtung vermindert werden. Nach dem Erhärten wird Ferrozement zu einem anisotropen Material mit interessanten mechanischen Eigenschaften, welche die des Stahlbetons in mancher Beziehung übertreffen.

Vorteile und Nachteile

Aufgrund seiner Zusammensetzung wird Ferrozement immer in dünnen Schichten oder Wandstärken (8–30 mm) eingesetzt. Demzufolge tritt dieses

Kompositmaterial nur bei vereinzelt Anwendungen in Konkurrenz zum Stahlbeton auf. Je nach Verwendung kann Ferrozement eine *Alternative* zu zahlreichen und verschiedenartigen anderen Baustoffen darstellen, wie zu Stahlblech, Holz oder glasfaserverstärktem Kunststoff im Schiffs- und Behälterbau und zu Asbestzement, Fibrozement, Spanplatten, Sandwichpanels, Mauerwerk usw. im Hochbau.

Die Vor- und Nachteile dieses Kompositmaterials dürfen deshalb nicht nur im Vergleich mit denen des Stahlbetons erwogen werden, sondern bedürfen einer besonderen Analyse. Tatsächlich ist Ferrozement ein faszinierendes Material, weil es die Vorteile des Betons (Dauerhaftigkeit, Feuerbeständigkeit, Möglichkeit, daraus fugenlose Tragwerke zu gestalten) mit manchen Eigenschaften organischer und anorganischer Baustoffe vereinigt.

Ferozement ist dünn und leicht, lässt sich einfach herstellen, dies sowohl mit primitiven handwerklichen Techniken als auch mit modernen Methoden, wie «Slip Forming» oder Spritzmörtel. Er erfordert keine teuren oder seltenen Grundstoffe, sondern nur die herkömmlichen Materialien Zement und Geflecht und ist noch einfacher als Beton herzustellen, da der in weiten Teilen der Welt nicht vorhandene Kies zu seiner Herstellung nicht benötigt wird.

Eine besonders interessante Eigenschaft des Ferrozements beruht auf der *fast unbeschränkten Verformbarkeit der Bewehrung*, eine Eigenschaft, die es möglich macht, sogar die kompliziertesten Schalen aus diesem Kompositmaterial zu gestalten. Dadurch werden dem Baufachmann neue Möglichkeiten in der Formgebung und in der Materialfestigkeit eröffnet.

Ferozementstrukturen lassen sich auch *leicht reparieren*. Wenn sie ausgeübt haben, erfordern sie keine aufwendige Abbrucharbeit, wie dies beim Stahlbeton der Fall ist. Die *Wirtschaftlichkeit* des Ferrozements beruht einmal auf den mässigen Handelspreisen von Zement und Geflecht, im wesentlichen kommt sie jedoch durch den *extrem niedrigen Materialaufwand* zustande. Ein neuseeländischer Schiffbauer behauptet sogar, dass er eine Segeljacht-Schale aus Ferrozement (8 mm) leichter bauen kann als seine Konkurrenten dies mit Holz vermögen. In vielen Fällen aber beruht die Wirtschaftlichkeit des Ferrozements darauf, dass aufwendige Schalungsarbeiten reduziert, unter Umständen sogar ganz ausgeschaltet werden können, weil das Bewehrungsstahlskelett als Befestigungsgerüst für das Geflecht dienen kann.

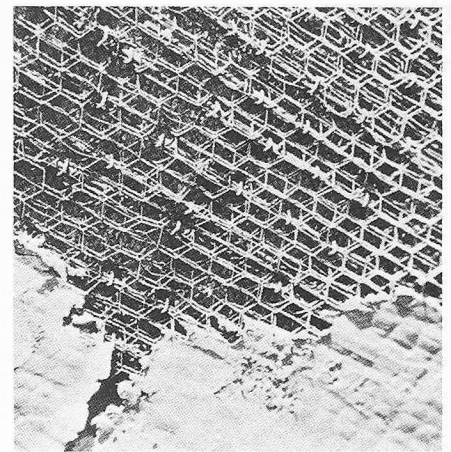


Bild 3. Prinzip des Ferrozements (Photo: Noel D. Vietmeyer)

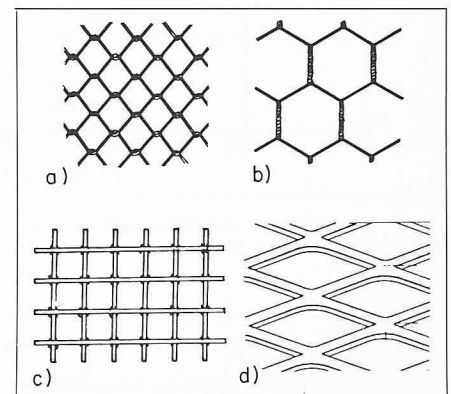


Bild 4. Bewehrung für Ferrozement
a) gewobenes Gitter b) Hühnergeflecht c) geschweisstes rechteckiges Gitter d) Streckmetall

Als *Nachteile* sind der *hohe Stahlgehalt* und die *Zementintensität* zu verzeichnen, die dünnwandige Strukturen bedingen. Schwerwiegender bei Hochbauanwendungen sind die *tiefen thermischen und akustischen Dämmwerte* des Ferrozements, die zu zusätzlichen Isolationsmassnahmen zwingen.

Trotzdem ist Ferrozement ein zukunfts-trächtiges Material, dies vor allem wegen seiner vorzüglichen mechanischen Eigenschaften.

Mechanische Eigenschaften

Die Druckfestigkeit des Ferrozements als Kompositmaterial ist offensichtlich von der der Mörtelkomponente stark abhängig. Vergleicht man aber die Druckbruchwerte eines Probekörpers aus reinem Mörtel mit denen eines mit Feingeflecht armierten Musters, merkt man, dass mit zunehmender Geflechtbewehrung die Druckfestigkeit sich merklich erhöht. Dies trifft dann besonders zu, wenn geschweisste rechteckige Gitter als Bewehrung verwendet werden. Mit zunehmender Anzahl Bewehrungsschichten steigt die Festigkeit

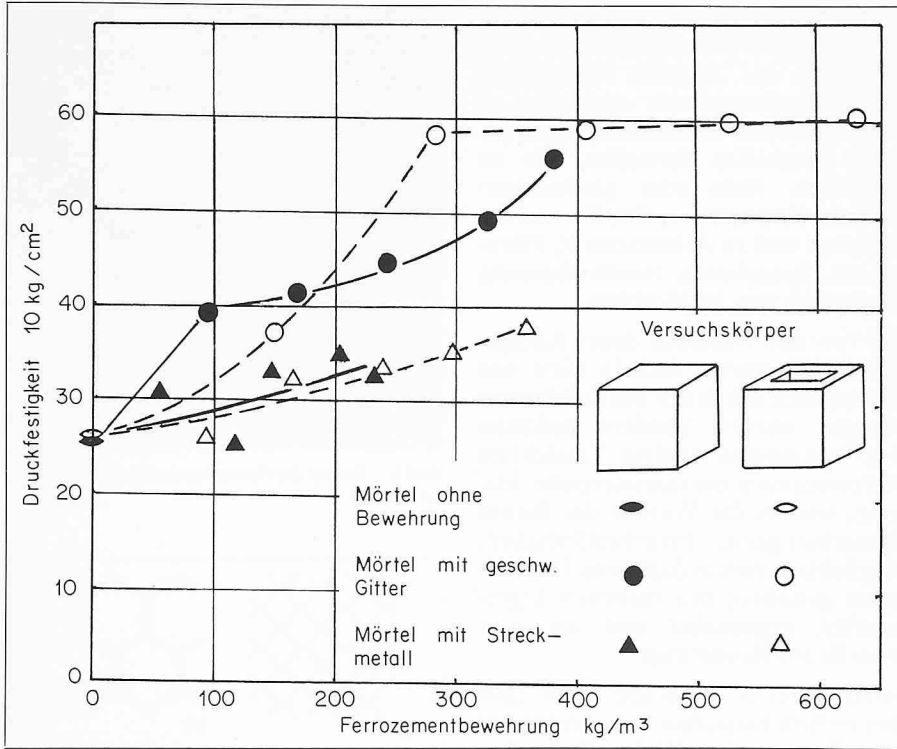


Bild 5. Druckfestigkeit von Ferrozement an Probepismen (292×102×102 mm) mit umgebender Bewehrung (C. Johnston und S. Mattar)

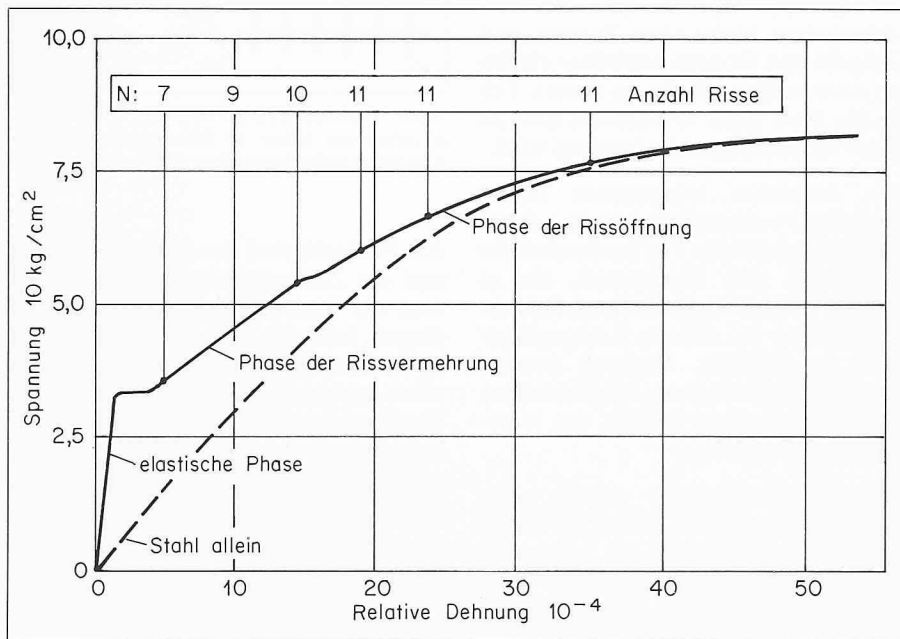


Bild 6. Typisches Spannungs-Dehnungsdiagramm von Ferrozement (S. Somayaji and S.P. Shah, Uni Pittsburg USA)

des Kompositmaterials bis auf das doppelte der Mörtelfestigkeit (Bild 5) [1].

Besonders eindrucksvoll ist der Festigkeitsgewinn aus der ersten Schicht Bewehrungsgitter, der in der dargestellten Versuchsreihe etwa 50 Prozent beträgt. Diese günstige Eigenschaft des Ferrozements lässt sich dadurch erklären, dass die Lateralbewehrung die Stauchverformung des Körpers verhindert, so dass sich ein dreidimensionaler Spannungszustand mit optimaler Ausnutzung der Mörtelfestigkeit entwickeln kann, ein Effekt, der stark von der Geo-

metrie und der Art der Bewehrung abhängig ist. Setzt man nicht geschweisste Gitter, sondern Streckmetall als Armierung ein, dann ist der Festigkeitsgewinn unbedeutend. Die heute dafür akzeptierte Erklärung liegt in der Vermutung, dass obwohl die Lateralstahlquerschnitte des Streckbleches die Stauchungsdeformationen aufnehmen, sich gleichzeitig eine ungünstige Scherwirkung der Streckmetallmaschen entwickelt und zum frühen Bruch führt.

Wenn auf Zug beansprucht, unterscheidet sich Ferrozement vom Stahlbeton

noch viel deutlicher als es bei Druck der Fall ist. Dies ist vor allem auf den einzigartigen Rissbildungsvorgang bei Ferrozement zurückzuführen (Bild 6) [2, 3]. In der ersten Stufe des *Spannungs-Dehnungsdiagramms* verhält sich Ferrozement wie ein elastisches Material, während in der zweiten Stufe mehrfache Risse erscheinen (Größenordnung 0,01 mm), deren Anzahl mit der Belastung wächst, ohne dass die Rissweite sich merkbar vergrößert. Während der letzten Phase bleiben im Gegenteil die Anzahl Risse nahezu konstant. Die Dehnung des Kompositmaterials erfolgt durch die Öffnung der Risse, und das Verhalten des Ferrozements ist durch die Festigkeit der Geflechtbewehrung bestimmt. Offensichtlich liegt bei den praktischen Anwendungen im Hochbau der Verwendungsbereich des Ferrozements in der zweiten Zone, in der der Mikrorissbildung. In dieser Zone beeinflussen Bewehrungsmass und -dichte die Rissbildung massgebend. Erhöht man die Anzahl Bewehrungsschichten und ordnet man die Transversalmaschinen in engen Abständen an, so vergrößert sich die Arbeitszone, d.h. der Bereich der Mikrorissbildung. Dies erklärt sich dadurch, dass die Anzahl der Risse je Längeneinheit bei kleiner werdenden Rissweiten merklich wächst. Die Risse werden also kleiner und enger verteilt. Verschiedene Methoden sind zur Voraussage der Rissweite vorgeschlagen worden (Bild 7) [2]. Auch in diesem Fall beeinflussen Art und Geometrie der Bewehrung die Festigkeit des Ferrozements in massgebender Weise. Streckmetall erweist sich bei einachsiger Zugbeanspruchung als die beste Lösung, solange die Spannungsrichtung mit der Hauptrichtung des Streckbleches übereinstimmt. Wird aber das Streckblech quer zur Zugrichtung angeordnet, so sinkt die Festigkeit des Kompositmaterials auf etwa 10-20 Prozent seines Normalwertes. Rechteckiges geschweisstes Gitter verhält sich dagegen in den beiden Hauptrichtungen gleich, so dass es bei zweidimensionalen Spannungszuständen geeigneter ist als Streckblech.

Biegeversuche bestätigen den Einfluss der Bewehrungsgeometrie und zeigen unter anderem auch, dass die Mörtelqualität die Festigkeit des Kompositmaterials nur wenig beeinflusst. Dagegen beeinflusst die *Lage des Geflechtes* innerhalb des Ferrozementquerschnittes die Biegefestigkeit massgebend. Die beste Ausnutzung des Stahles wird bei gleichmässigen Abständen der Armierungsschichten über die ganze Wandstärke erreicht und nicht wie man es vermuten könnte, durch ihre Konzentrierung in der Nähe der Druck- und Zugfläche (Bild 8) [4].

Herstellung

Ferrozement lässt sich problemlos entweder *von Hand* oder *maschinell* herstellen. Bei den meisten Anwendungen im Schiffs- und Behälterbau (Tanks, Silos) wird zuerst ein Gerüst aufgestellt, auf dem die Geflechschichten befestigt werden (Bild 9). Anschliessend wird der Mörtel in der Stahlgeflechtmatte eingetragene, manchmal sogar ohne dass eine Form auf der Rückseite aufgestellt wird. Eine sorgfältige *Handarbeit* liefert gute Ferrozementqualitäten, annehmbare Porosität und Wasserdichtigkeit, sogar ohne Vibrieren, was für die unproblematische Verarbeitung des Materials zeugt. Andere, moderne Herstellungsmethoden zur industriellen Produktion von Standardelementen sind aber auch gebräuchlich.

Slip-Forming ist zur Herstellung langer Elemente geeignet. Dabei bewegt sich der Mörtelverteiler und Formschlitten über ein langes Brett, worauf die Bewehrungsgeflechte gespannt sind. Der Ferrozementkuchen wird im gleichen Arbeitsgang geformt und kompaktiert. Zur Massenproduktion kürzerer Bauteile, wie z.B. Welldachplatten, kann die *Stempelmethode* angewendet werden. Dabei müssen das Stahlgeflecht vorgeformt werden (Bild 10) [5] und eine genügende Anzahl von Formen vorhanden sein. Diese Methode wird gegenwärtig in *China* und *Indien* verwendet. *Spritzmörtel* ist ein weiteres und wahrscheinlich das zukunftsreichste maschinelle Herstellungsverfahren für Ferrozement. Sein Nachteil ist die schwer zu kontrollierende Mörtelpenetration in die Geflechmatte, was zu mangelnder Kompaktheit und zu Luftporen führen kann. Auch können die Mörtelverluste durch Rückprall beträchtlich sein. Dies kann durch mehrschichtiges Spritzen vermieden werden, was aber bedingt, dass zwischen jedem Spritzvorgang abgewartet werden muss, bis die Oberfläche hart genug ist, um die neue Spritzmörtelschicht zu tragen.

Eine weitere Möglichkeit, kleinere einfach gekrümmte Elemente aus Ferrozement herzustellen, liegt in der *Verformung* des weichen Kompositmaterialkuchens unmittelbar nach dem Mörtel eintrag. Dabei kann die Formgebung entweder auf einer Negativschalung oder einfach durch das Hängenlassen bzw. Zusammenstossen des Ferrozementteiges erfolgen. Vorteil dieser Methode ist, dass das Geflecht mit guter Genauigkeit in die Mörtelschicht eingebettet werden kann, was bei den anderen Methoden viel problematischer ist. Tatsächlich stellt die Kontrolle der Geflechtlage im Mörtel eine der Haupt-

schwierigkeiten beim Herstellen von dünnen Ferrozement-Elementen dar.

Bemessungsgrundlage

Obwohl keine offiziellen Ferrozement-Normen gegenwärtig vorhanden sind, haben sich einige Autoren bemüht, Empfehlungen zur Bemessung von Strukturen aus diesem Kompositmaterial zu entwerfen. Sie gelten für Ferrozement aus normalem Sandmörtel und rechteckigen Bewehrungsgittern [7]. Dementsprechend kann bei Hochbauanwendungen mit zulässiger *Zugspannung* in der Bewehrung bis 60 Prozent der Streckgrenze gerechnet werden. Bei Ferrozementobjekten, die wasserdicht sein müssen (Schiffe, Tanks usw.) sollte der Stahl nicht höher als etwa 200 N/mm² beansprucht werden, solange Rissmessungen auf Versuchskörper nicht beweisen, dass höhere Werte annehmbar sind. Als *Berechnungsbasis* kann eine Druckfestigkeit von 0,45 der Mörtelfestigkeit angenommen werden, wobei die Mörtelfestigkeit am Zylinder 7,5×15 cm gemessen wird. Die *Geflechtbewehrung* sollte nicht weniger als 1,8 Prozent volumetrisch in jeder Richtung und die totale spezifische Haftflä-

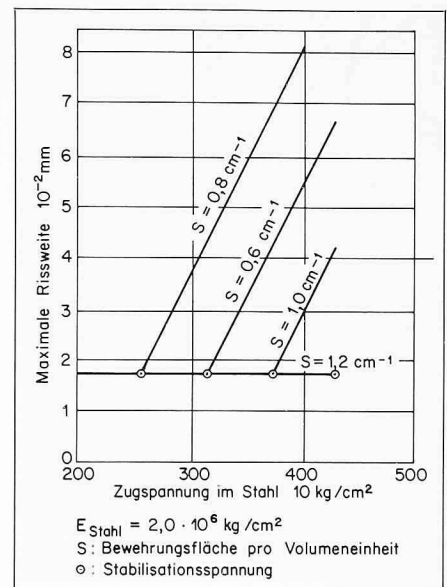
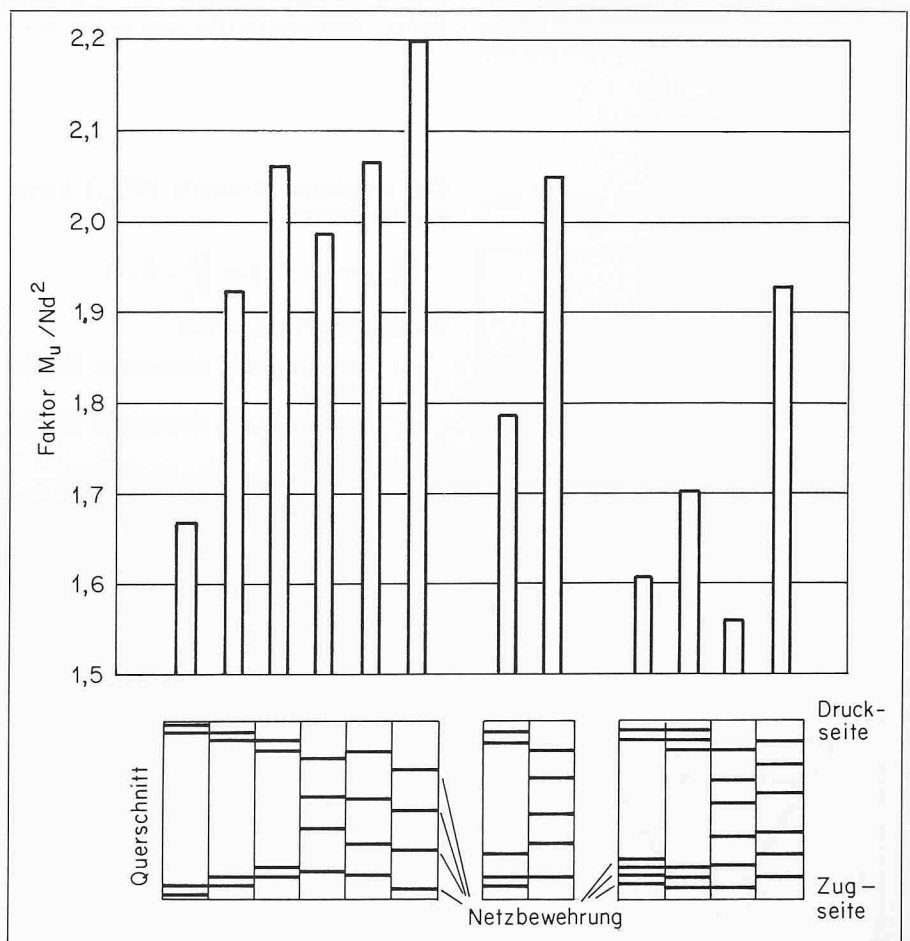


Bild 7. Maximale Rissweite (A. Naaman)

che (exklusive Stahlstäbe) nicht weniger als 0,8 cm²/cm³ betragen. Die empfohlene *Geflechtüberdeckung* ist etwa 2 mm. Kleinere Werte sind bei Spezialmassnahmen (wasserdichter Anstrich) annehmbar. Bei grösseren Überdeckungen läuft man Gefahr, dass die Bewehrungsschichten nicht mehr regelmässig über die Wandstärke verteilt werden können.

Bild 8. Biegefestigkeit bei verschiedenen Bewehrungsanordnungen (C. Johnston and D. Mowat)



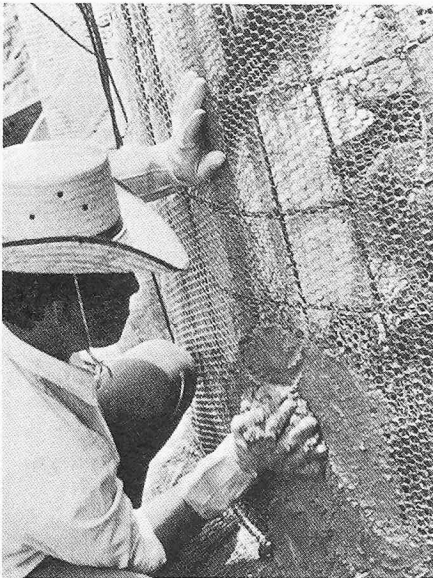


Bild 9. Handwerkliche Herstellung von Ferrozement (Smith Kampempool, Appl. Scientific Research Corp. of Thailand)

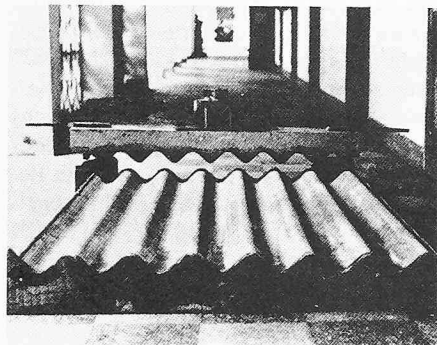


Bild 10. Herstellung von Dachwellplatten aus Ferrozement mit der Stempelmethode (P.S. Rao and M.S. Mathews)

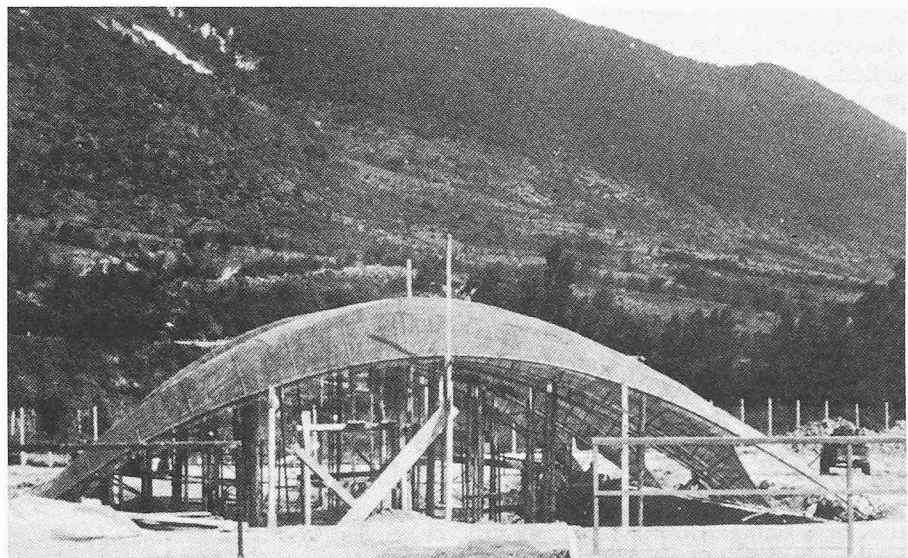
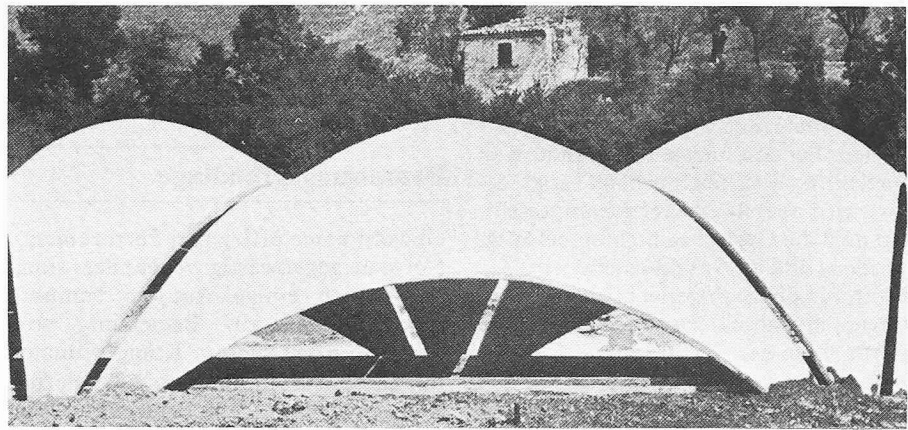
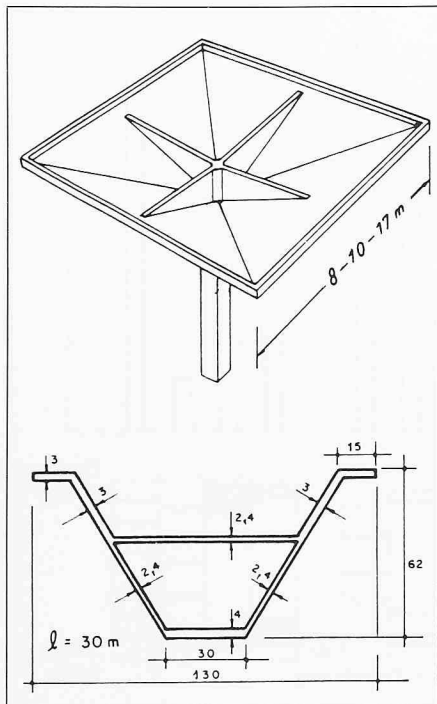


Bild 11. Dachkuppel aus Ferrozement vor Mörteltrag (Photo: Vittorio Barberio, Rom)

Bild 12. Ferrozement-Anwendung (D.A.O. Martinelli and al. Sao Paulo)



Die maximale Rissweite (W_{max}) kann aus der Formel

$$W_{max} = \epsilon_s \cdot S \cdot \beta = \frac{\sigma_s}{E_R} \cdot S \cdot \beta$$

berechnet werden, wobei

- ϵ_s : Dehnung der äussersten Stahlschicht
- σ_s : Spannung der äussersten Stahlschicht
- S : Maschenweite des Geflechtes
- β : Abstand neutrale Faser bis zur äussersten Zugfläche/Abstand neutrale Faser bis zum äussersten Zugschicht
- E_R : Elastizitätsmodul des Bewehrungsstahls

Bei Wandstärken t des Kompositmaterials sollte die Maschenweite S des Gitters

$$S \leq t$$

und die Anzahl Schichten N

$$N \geq 1,6 \cdot t$$

betragen, wobei t in cm anzugeben ist.

Wenn eine zusätzliche Stabbewehrung

zwischen den Geflechschichten angeordnet wird, sollte sie nicht mehr als 50 Prozent der totalen Wandstärke ausmachen. Bei solchen Fällen ist empfohlen, mit dem gleichen Richtwert N wie oben zu operieren, wobei t als Wandstärke nach Abzug der Stabstärke einzusetzen ist.

Verwendungsmöglichkeiten

Angesichts seiner einmaligen mechanischen Eigenschaften, seiner vielfältigen und einfachen Herstellungsmöglichkeiten und seines günstigen Preises, darf erwartet werden, dass Ferrozement immer zahlreichere Anwendung finden wird. Obwohl Ferrozement heute noch zum grössten Teil für Schiffs- und Behälterbau angewendet wird, ist wahrscheinlich, dass er sich auch im Hochbausektor zunehmend durchsetzen wird. Für dünne weitgespannte Dachkuppeln ist dieses Kompositmaterial schon weitgehend akzeptiert (Bild 11).

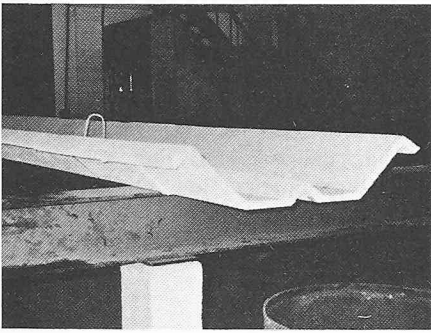


Bild 13. Selbsttragendes Dachelement aus Ferrozement (Bangkok, Asian Institute of Technology, Photo: H.D. Sulzer)

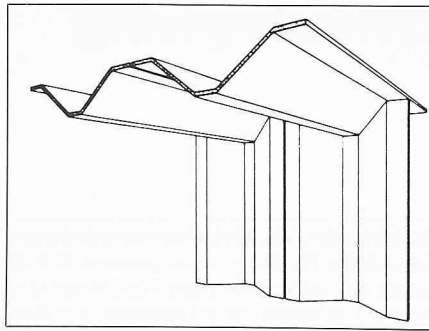


Bild 14. Faltwerk aus Ferrozement (Piet Stroeven, Delft University)



Bild 15. Prototyp Ferrozement-Haus in Manila (Photo: H.D. Sulzer)

Berichte aus entfernten Ländern beschreiben eindruckliche Ausführungen wie zum Beispiel die V-Träger, die in Brasilien zur Überdachung einer 1500-m²-Halle mit Spannweite von 30 m eingesetzt worden sind, oder die «umgekehrte Schirmstruktur» aus Singapur (Bild 12).

Einfachere Elemente können ebenfalls aus Ferrozement hergestellt werden wie die schon erwähnten Dachwellplatten, die angesichts des immer rarer werdenden Asbestes eine Ersatzlösung darstellen können, oder die selbsttragenden Dachelemente, die im Asian Institute of Technology in Bangkok entwickelt werden (Bild 13). Dies sind aber nur einige einfache Anwendungen von Ferrozement. Anspruchsvollere Lösungen werden sicher mit der Zeit aus dem Prinzip der gefalteten Scheiben (Bild 14) oder der Rippenversteifung entstehen und eröffnen Architekten und Ingenieuren neue aufregende Perspektiven. Doch liegen vielleicht die interessantesten Möglichkeiten in fugenlosen Strukturen, wie ein Prototyp aus Manila zeigt (Bild 15).

Wohnhäuser aus Ferrozement rücken in die Nähe des Realisierbaren. Doch müssen bei den Wohnbau-Anwendungen die Probleme der Wärme- und Lärmdämmung gezielt gelöst werden, zum Beispiel durch zweischalige Wände, wobei der Zwischenraum mit Isolationsstoff gefüllt wird.

Obwohl die Zukunft des Ferrozements in den Industrieländern optimistisch betrachtet werden darf, sind die grössten Verwendungsmöglichkeiten in den

Entwicklungsländern zu erwarten, insbesondere in denen, die von Erdbeben bedroht sind, oder wo Holz rar und teuer ist. Dank seinem leichten Gewicht, seiner hohen Flexibilität und seinem Widerstand gegen Einstürzen ist Ferrozement für Erdbebengebäude prädestiniert. Darüberhinaus wird er in vielen Gebieten der Welt, wo Wälder und Baumbestände gerodet worden sind, eine geeignete Alternative zu Holz darstellen und sollte deshalb gefördert werden.

Zukunftsaufgaben

Es bleibt noch viel zu tun, bis Ferrozement so weit entwickelt ist, dass er den in ihn gestellten Anforderungen genügen kann. Vorerst muss noch mehr Grundlagenforschung zum besseren Verständnis seines Verhaltens und seiner Eigenschaften getrieben werden. Besondere Anstrengungen sind auch in der Herstellungstechnik von Ferrozementelementen oder Strukturen zu machen. Diese sollten sich besonders auf die Probleme der genauen Positionierung der Geflechte in die Matrix und auf die Technik des Mörtel eintrags konzentrieren. Versuchsreihen sollten unternommen werden, um eine weitere Verbesserung der Ferrozement-eigenschaften mit den letzten Hilfsmitteln der Technik zu erreichen. Fibromörtel, Polymerisationszusätze und Plasticiser können dazu einen entscheidenden Einfluss auf die Qualität des Grundma-

Literaturhinweise

- [1] Johnston, C. and Mattar, S.: «Ferrocement-Behaviour in Tension and Compression». Journal of Structural Division, ASCE, No ST5, May 1976, pp 875-889.
- [2] Naaman, A.: «Design Predictions of Crack Widths in Ferrocement». Publication SP-61 Amer. Concrete Institute, p 25-42.
- [3] Somayaji, S. and Shah, S.P.: «Prediction of Tensile Response of Ferrocement». Proceedings of Int. Symposium on Ferrocement, RILEM 1981, p 1/73-1/84.
- [4] Johnston, C. and Mowat, D.: «Ferrocement - Material Behaviour in Flexure». Journal of Structural Division, ASCE, No ST 10, Oct. 1974, pp 2053-2069.
- [5] Li Hui-Xiang: «The Development of Ferro-cement Products for Building Construction in China». Proceedings of Int. Symposium on Ferrocement, RILEM 1981, pp 3/53-3/60.
- [6] Raichvarger, Z. and Tatsa, E.Z.: «Manufacturing Technologies of Structural Elements Made of Ferrocement». Int. Conference on Materials of Construction for Developing Countries, Aug. 1978, Bangkok, Thailand, pp 713-723.
- [7] Naaman, A. and Sab, G.: «Tentative Guidelines for the Use of Ferrocement in some Structural Applications». Proceedings of Int. Conference on Materials of Construction for Developing Countries, Aug. 1978, Bangkok, Thailand, pp 677-687.

terials haben. Schliesslich sind innovative Impulse erforderlich, um die Möglichkeiten des neuen Materials zu erschöpfen, sei es durch die Entwicklung geeigneter Bauelemente oder von ganzen Bausystemen.

Adresse des Verfassers: H.D. Sulzer, dipl. Ing. ETH, Institut für Hochbautechnik, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich.