

Moderne Befestigungstechnik

1. Einleitung

Die Befestigungstechnik ist so alt wie die Bautechnik. Dies wird an einigen Beispielen aus dem Altertum verdeutlicht. Bild 1 zeigt die Ruinen des Zeus-Tempels in Athen. Dabei wurden die Säulen – wie aus Bild 2 zu erkennen ist – aus Abschnitten hergestellt, die an den plangeschliffenen Enden Dübellöcher enthielten, in die Zapfen des darüberliegenden Säulenabschnittes eingriffen.

Da die Marmorvorräte begrenzt waren, wurden viele Bauwerke aus Sandstein errichtet und mit Marmorplatten verkleidet. In Bild 3 ist ein eingemeißeltes Loch zu erkennen, in das ein Dollen eingesteckt wurde. Das Ausfüllen der Hohlräume erfolgte durch Blei, das über einen Vergußkanal eingegossen wurde.

Die moderne Bautechnik erfordert nicht nur die Ausführung von wesentlich mehr Befestigungen als früher, sondern brachte auch neue Aufgabenstellungen. Heute werden alle nur denkbaren Bauteile aneinander befestigt oder miteinander verbunden. Einige Beispiele mögen dies belegen:

- Gebäude aus Mauerwerk oder Stahlbeton werden auch heute noch aus ästhetischen und funktionalen Gründen mit hochwertigen Fassaden verkleidet. Bild 4 zeigt ein Beispiel aus Paris, bei dem die Fassade farbig gestaltet wurde. In Bild 5 ist das Schwabenzentrum in Stuttgart zu sehen.
- Stahlstützen werden durch Dübel mit Stahlbetonfundamenten verbunden (Bild 6) und Stahlträger werden an Wänden befestigt (Bild 7).
- Fertigteilwände werden kraftschlüssig miteinander verbunden (Bild 8) und Holzbinder an den Stahlbetonringbalken angeschlossen (Bild 9).
- Rohrleitungen mit Lüftungskanälen werden abgehängt (Bild 10) und anschließend durch abgehängte Decken verdeckt (Bild 11).

* Prof.Dr.-Ing. Rolf Eligehausen, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Abt. Befestigungstechnik
Dipl.-Ing. Thomas Sippel, ebenda

- Es gibt wohl keinen Bereich des Bauwesens sei es
- im Industriebau (Bild 12 zeigt ein Hochregallager, Bild 13 Anlagen in der chemischen Industrie)
 - im Brückenbau (in Bild 14 ist als Beispiel eine Schallschutzwand zu sehen, Bild 15 zeigt die Auflagerung der Stütze einer Holzbrücke)
 - oder im Tunnelbau, (Bilder 16 und 17) in dem nicht zahllose Befestigungen eingesetzt werden.

Bild 1:
Zeus-Tempel
in Athen



Bild 2:
Säulenabschnitte

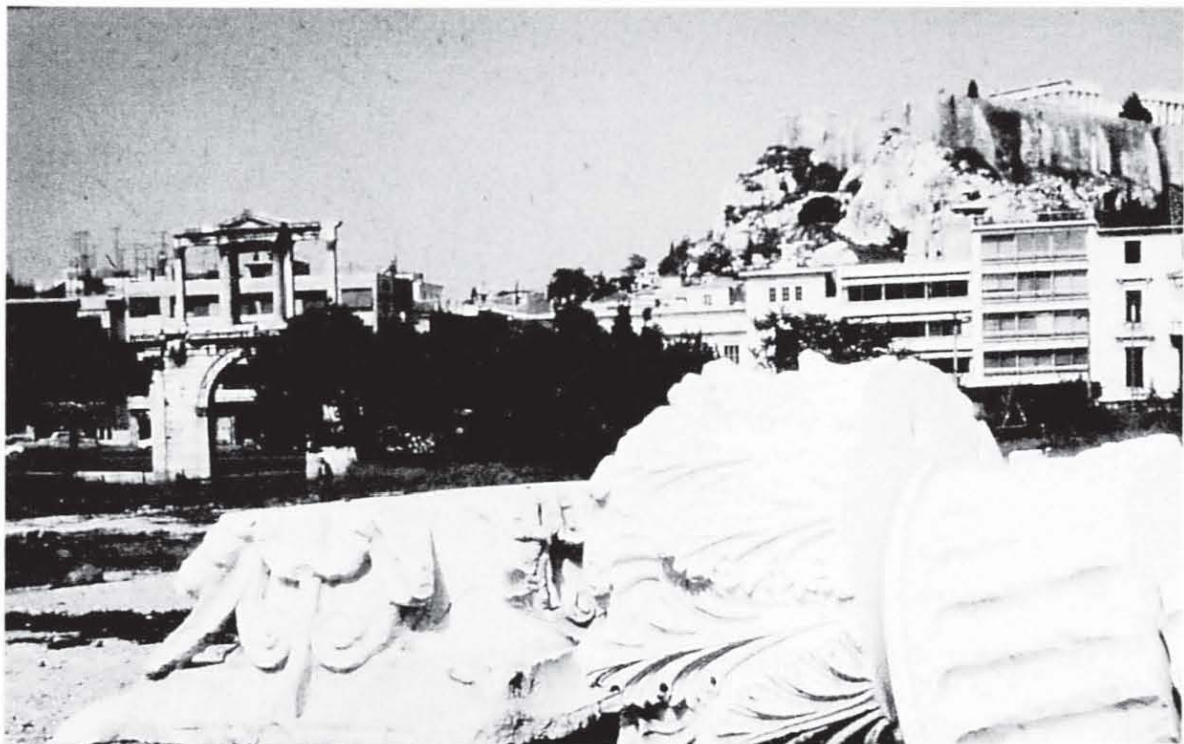




Bild 3:
Hohlraum zur Aufnahme
der Dollen



Bild 4:
Beispiel einer Fassade –
La Défense (Paris)



Bild 5: Beispiel einer Fassade – Schwabenzentrum in Stuttgart

Bild 6: Befestigung einer Stahlstütze auf dem Fundament

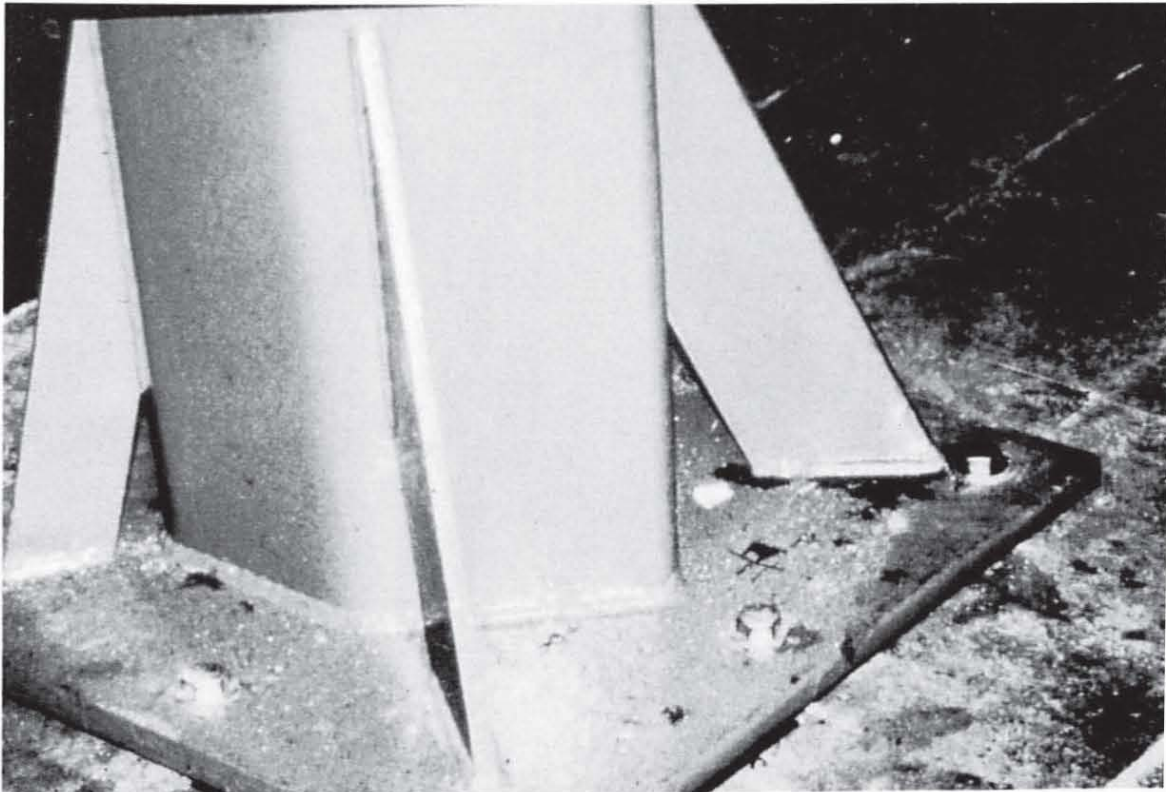


Bild 7: Befestigung eines Stahlträgers an einer Wand

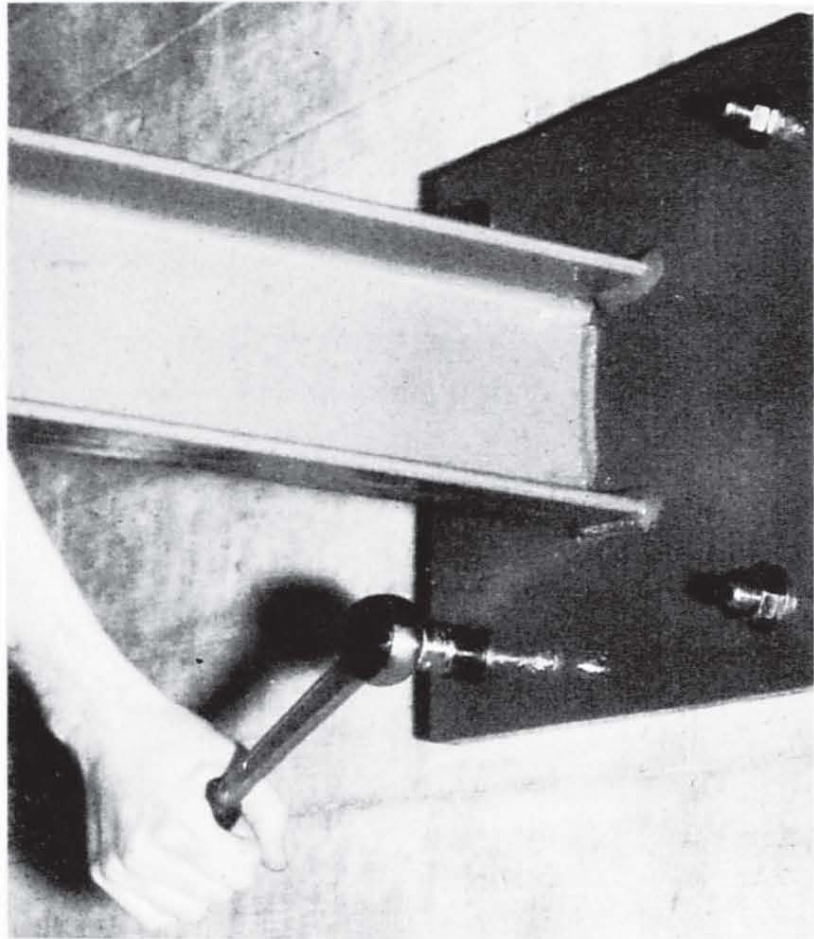
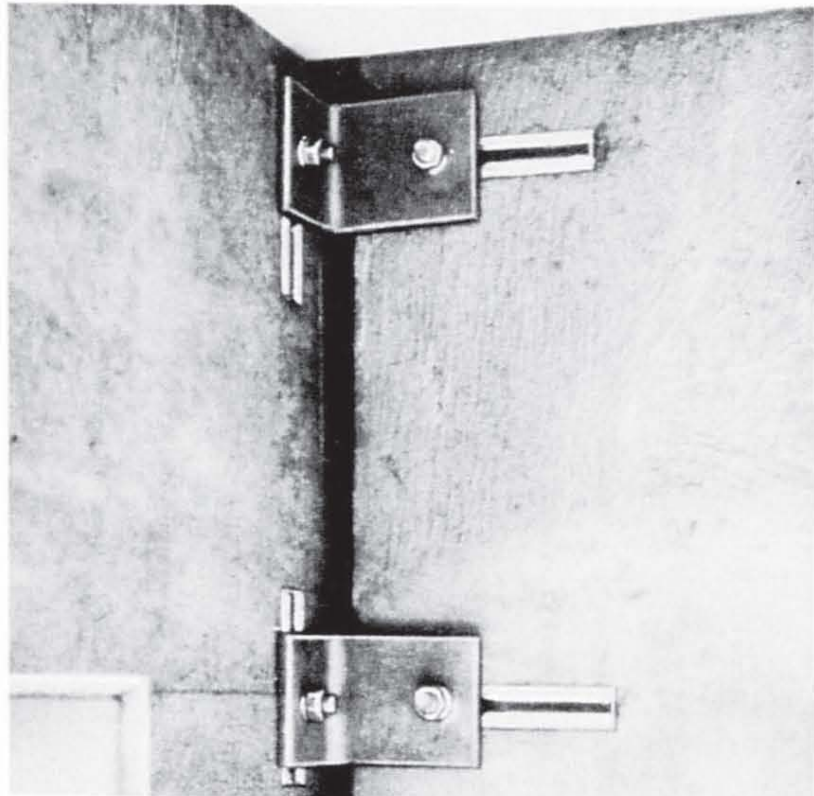


Bild 8: Verbindung von Fertigteilwänden



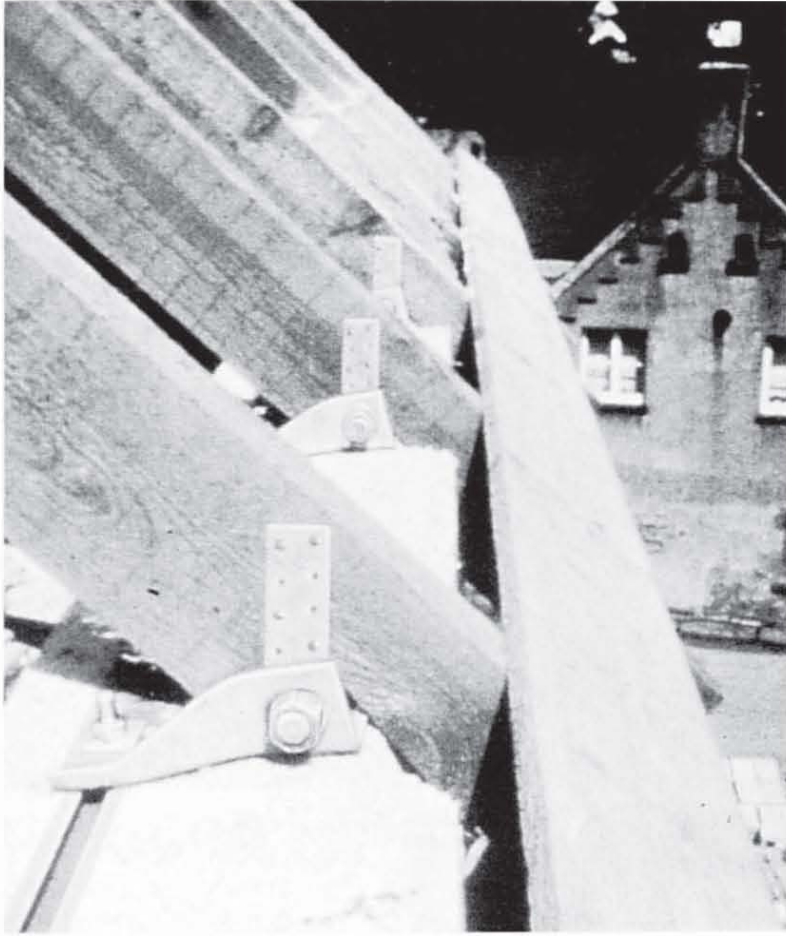


Bild 9: Anschluß eines Holzbinders an den Stahlbetonringbalken



Bild 10: Abgehängte Rohrleitungen

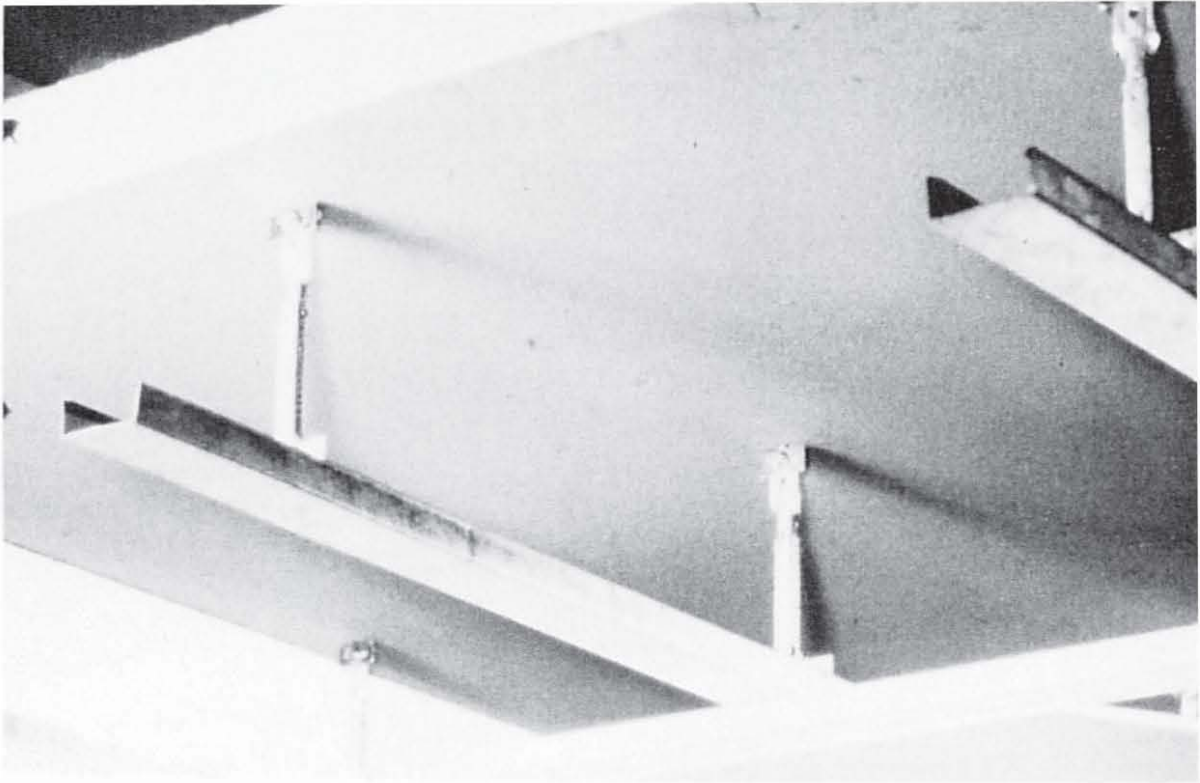


Bild 11:
Abgehängte Decke

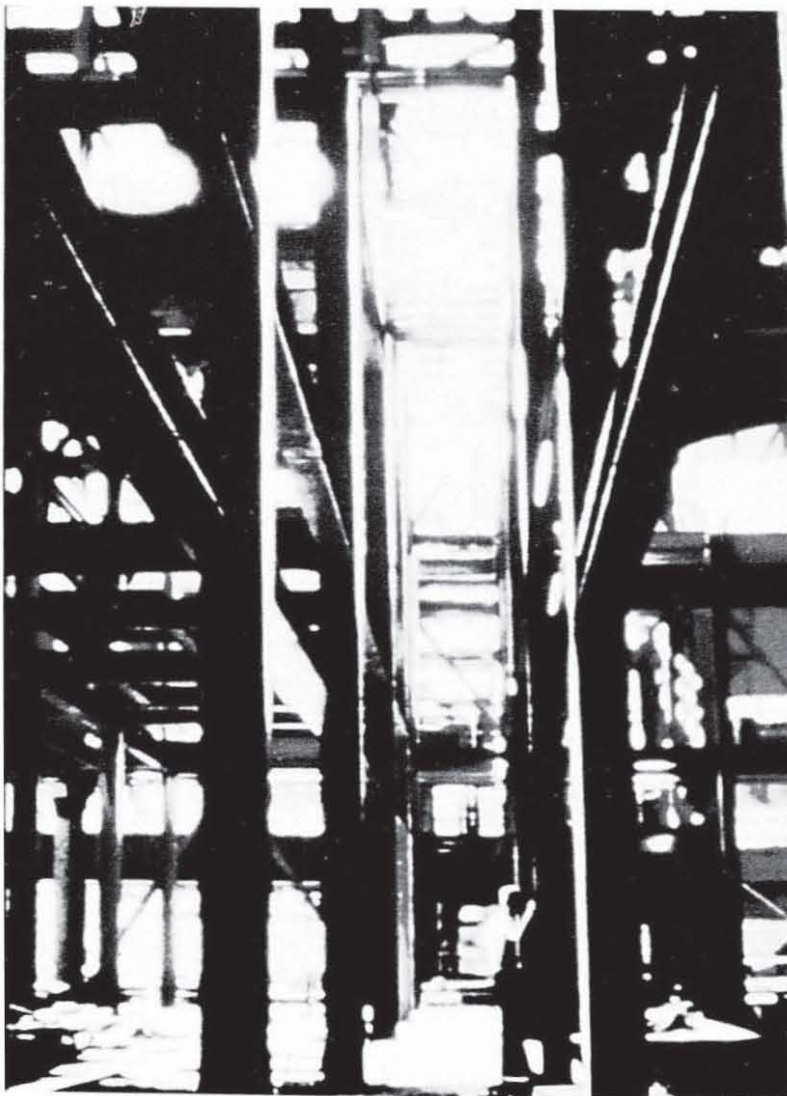
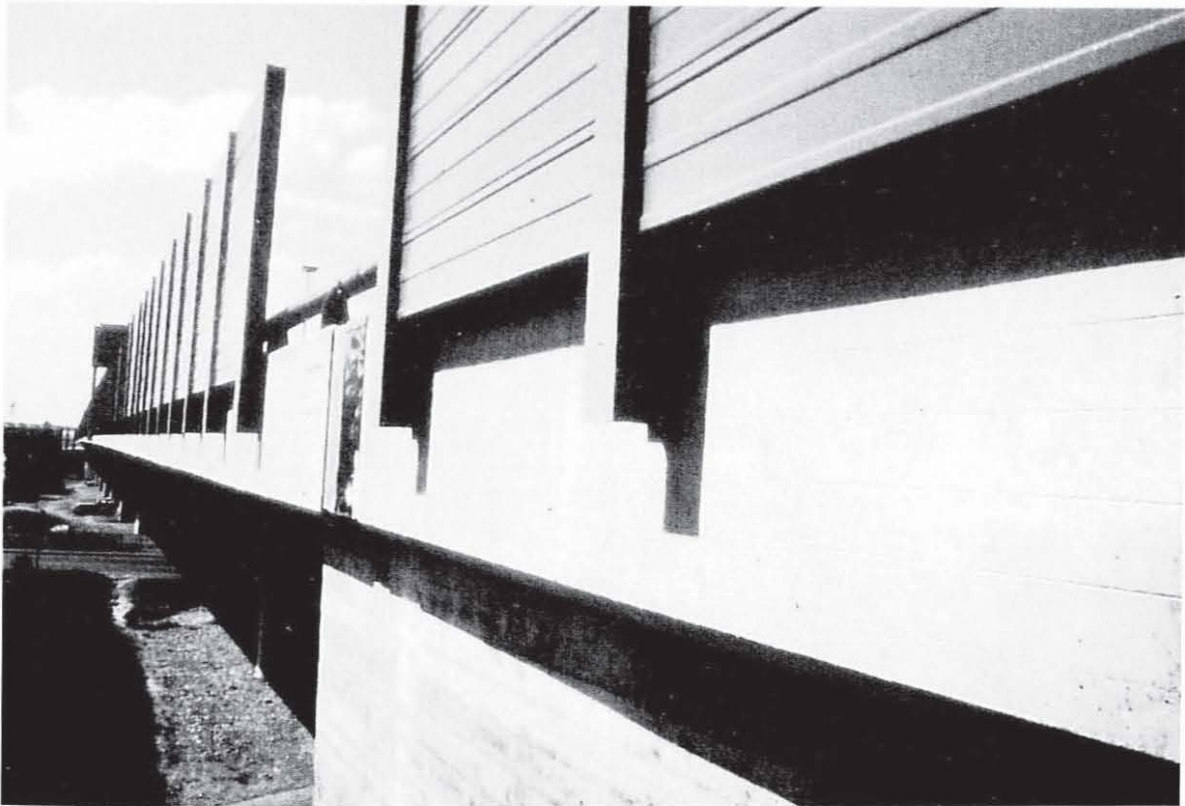


Bild 12:
Hochregallager



Bild 13: Anlagen der chemischen Industrie

Bild 14: Schallschutzwand



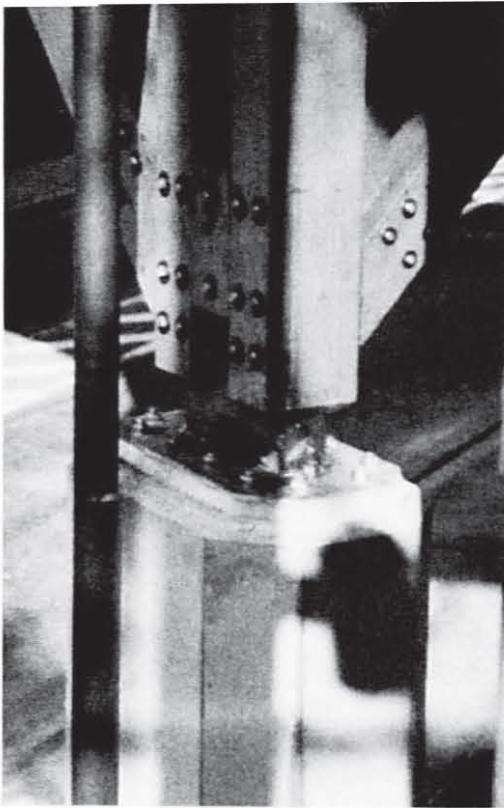
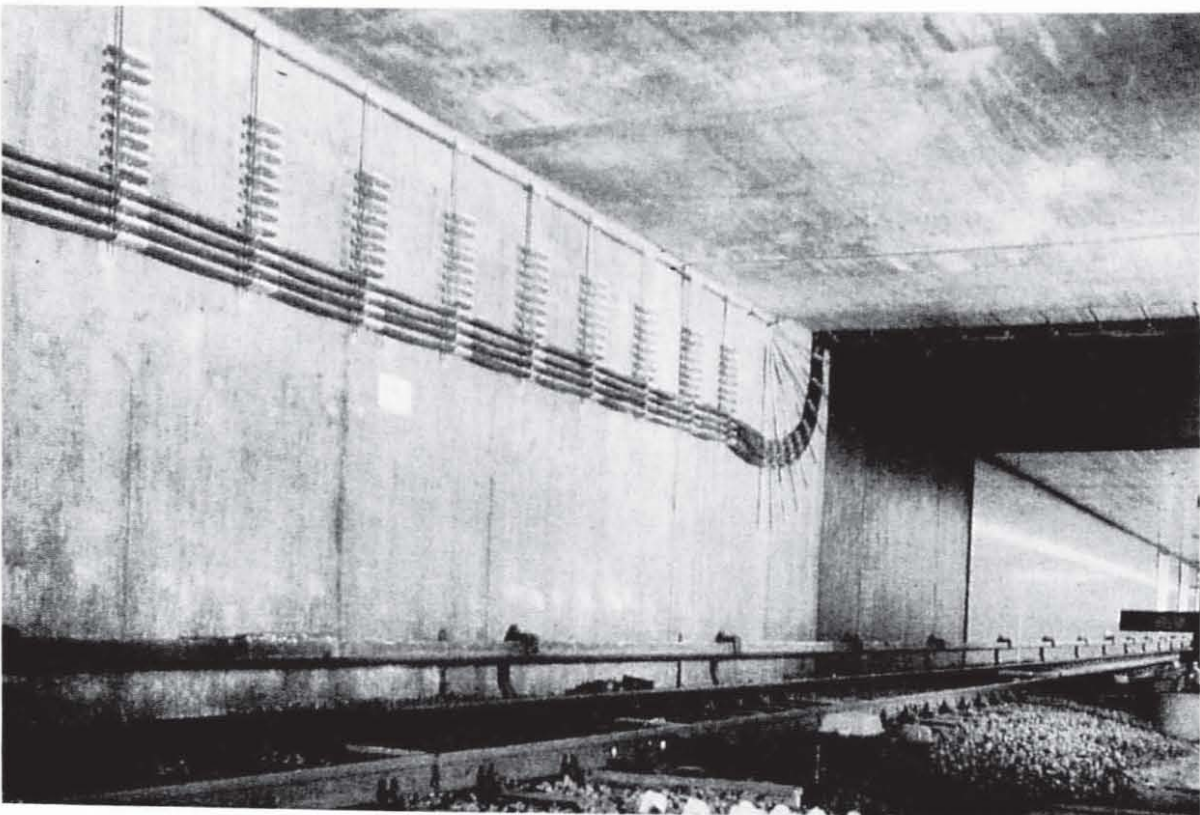


Bild 15: Auflagerung einer Holzbrücke



Bild 16: Befestigungen im Tunnelbau

Bild 17: Befestigungen im Tunnelbau



2. Arten und Wirkungsweise der Befestigungselemente

Befestigungen im Massiv- und Mauerwerksbau wurden bis etwa Anfang der 60er Jahre größtenteils mit Hilfe der Einlegetechnik erstellt. Zunächst wurden Holzteile oder mit Haken versehene Stahlstäbe einbetoniert (Bild 18). Die Entwicklung führte zu Spezialschienen, die in die Schalung eingelegt und einbetoniert werden (Bild 19a). Der Anschluß des zu befestigenden Gegenstandes an die Schiene erfolgt über spezielle Hammerkopfschrauben, und die zu verankernde Kraft wird über Anker, die auf dem Schienenrücken aufgeschweißt sind in den Beton über Formschluß (mechanische Verzahnung) eingeleitet. Ankerplatten mit angeschweißten Kopfbolzen (Bild 19b) werden ebenfalls einbetoniert, und die an das Stahlbetonbauteil anzuschließende Stahlkonstruktion wird an die Platte angeschweißt.

Die Einlegetechnik hat zwar einige Vorteile – wie Krafteinleitung in den Beton über mechanische Verzahnung –, ihr wesentlicher Nachteil ist jedoch die erforderliche frühzeitige Planung. Da diese jedoch trotz vieler guter Vorsätze oft hinter der Bauausführung herhinkt, hat sich die nicht im Detail vorgeplante nachträgliche Befestigung zu einem Schwerpunkt der modernen Befestigungstechnik entwickelt.

Voraussetzung für die rasante Entwicklung der nachträglichen Befestigung mit Dübeln ist die moderne Bohrtechnik. Heute kann man Bohrlöcher selbst in härtestem Beton ohne wesentlichen Kraftaufwand mit Hammerbohrmaschinen (Bild 20) oder Diamantbohrmaschinen (Bild 21) schnell und wirtschaftlich erstellen.

Bis ca. 1960 war es Stand der Technik, Schrauben in mehr oder weniger hinterschnittene, in mühseliger Handarbeit erstellte Bohrlöcher einzumörteln (Bild 22a) oder Holzschrauben in zylindrische Holzpflocke, die in ein Bohrloch getrieben werden, einzuschrauben (Bild 22b). Diese Befestigungen waren wenig zuverlässig und kostenintensiv.

1959 erfolgte durch Prof. Fischer die bahnbrechende Entwicklung des Kunststoffdübels, bei dem durch das Eindrehen einer Schraube ein Anpreßdruck erzeugt wird (Bild 23). Äußere Lasten werden über Reibung in den Ankergrund eingeleitet. Von diesem Dübeltyp werden in Deutschland jährlich mehrere Milliarden hergestellt und verbraucht für das Aufhängen von Bildern bis zur Befestigung leichter Fassaden.

Zur Übertragung höherer Lasten in Beton- und Stahlbetonbauteile kommen nur Metalldübel in Betracht. Es werden in der BRD mehrere hundert Millionen dieser Elemente pro Jahr verbaut.

Bei Metallspreizdübeln (Bild 24) erfolgt die Verankerung durch Aufspreizen

der Hülse. Dabei werden hohe Spreizkräfte geweckt, die – wie Bild 25 zeigt – hohe Spannungen im Beton hervorrufen. Beim Verspreizen wird eine geringe Verformungsmulde im Ankergrund erzeugt, so daß äußere Zugkräfte über eine Kombination von Reibung und (geringe) mechanische Verzahnung übertragen werden.

Man unterscheidet kraftkontrolliert spreizende Dübel, die durch das Aufbringen eines Drehmomentes verankert werden und die bei Belastung nachspreizen können, sowie wegkontrolliert spreizende Dübel, die durch das Einschlagen eines Konus in die Hülse bzw. Auftreiben der Hülse auf den Konus verankert werden und die nicht nachspreizen können.

Bei Verbunddübeln (Bilder 26 und 27) wird eine Glaspatrone, die Reaktionsharz, Härter und Zuschlag enthält, in das Bohrloch eingeführt und anschließend die Ankerstange eingetrieben und mit dem Ankergrund verklebt. Äußere Lasten werden über Verbundspannungen zwischen Mörtel und Bohrlochwand in den Ankergrund eingeleitet.

In den der 80er Jahren wurden verschiedene Typen von Hinterschnittdübeln entwickelt (Bild 28). Dabei wird entweder das Bohrloch durch einen Spezialbohrer örtlich aufgeweitet und der Dübel in dieser Hinterschneidung verankert oder die Hinterschneidung wird beim Auftreiben der Spreizhülse auf den Konus erzeugt. Die Kraftübertragung erfolgt wie bei Ankerschienen und Kopfbolzen über mechanische Verzahnung. Bild 29 zeigt die von Prof. Fischer entwickelten Hinterschnittdübel im eingebauten Zustand. Das besondere an diesem Dübelssystem ist, daß das Bohrloch einfach mit einem speziellen Bohrer durch Verschwenken der Bohrmaschine erstellt und die Hülse mit einigen Hammerschlägen über den Konus getrieben wird.

Für Befestigungen im Hohlmauerwerk dienen Injektionsdübel (Bild 30), bei denen Zement- oder Kunstharzmörtel in das Bohrloch injiziert wird. Die Verankerung erfolgt über mechanische Verzahnung der Gewindehülse mit dem Mörtel und des Mörtels mit dem Stein. Bild 31 zeigt den ersten, von Prof. Fischer entwickelten Injektionsdübel.

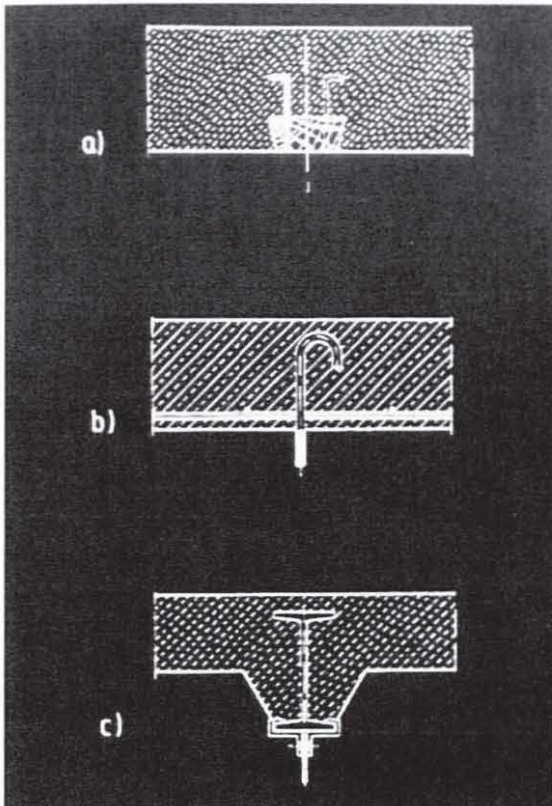


Bild 18: „Klassische“ Einlegeteile

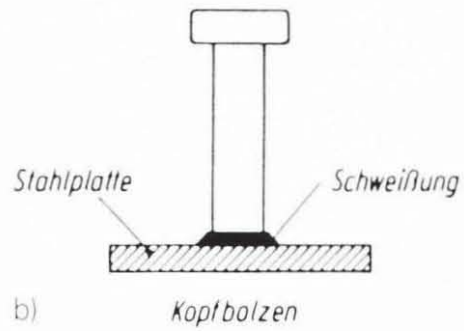
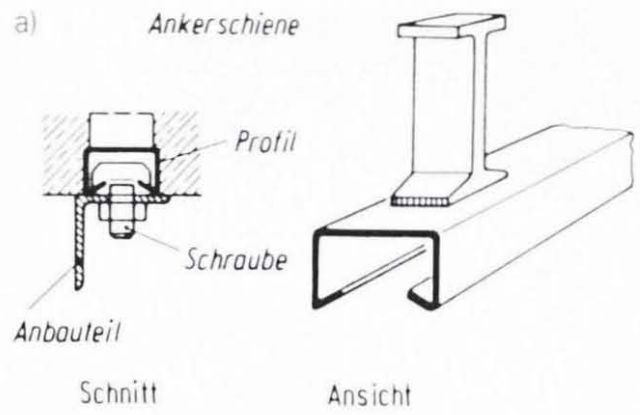
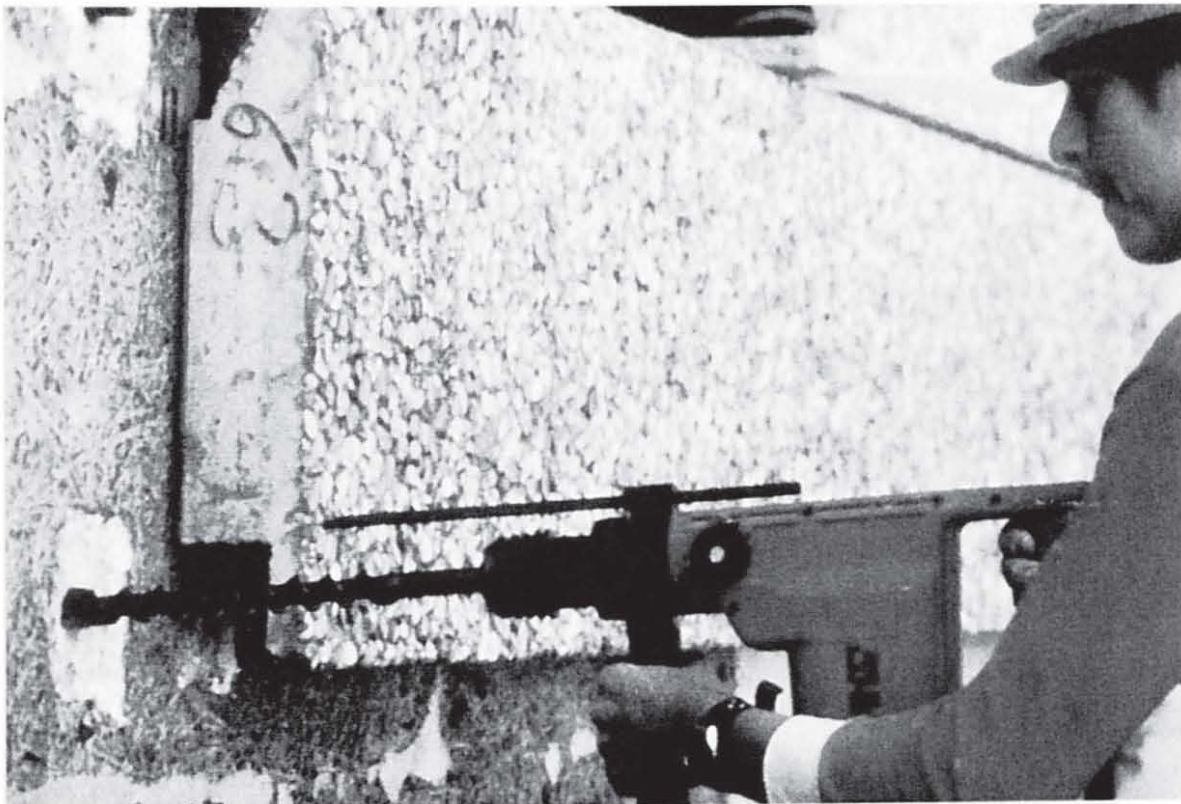


Bild 19: Moderne Einlegeteile

Bild 20: Hammerbohrmaschine



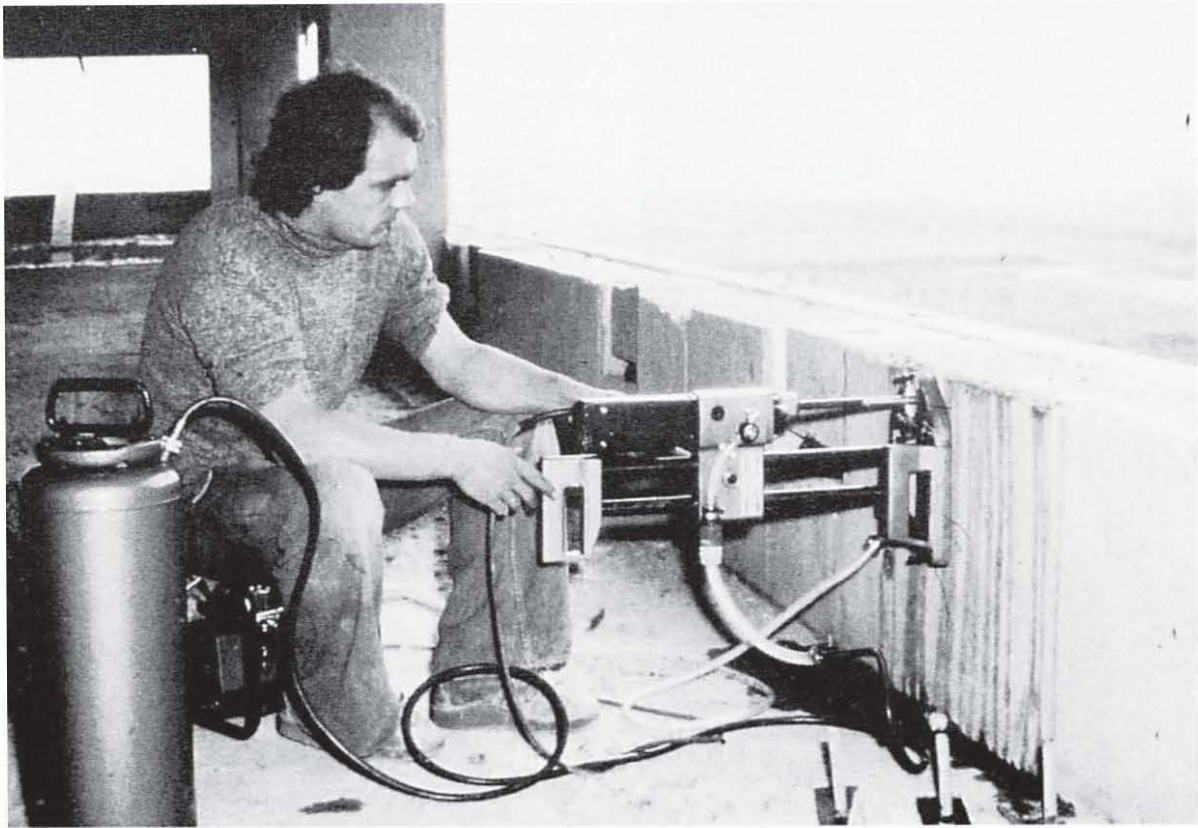
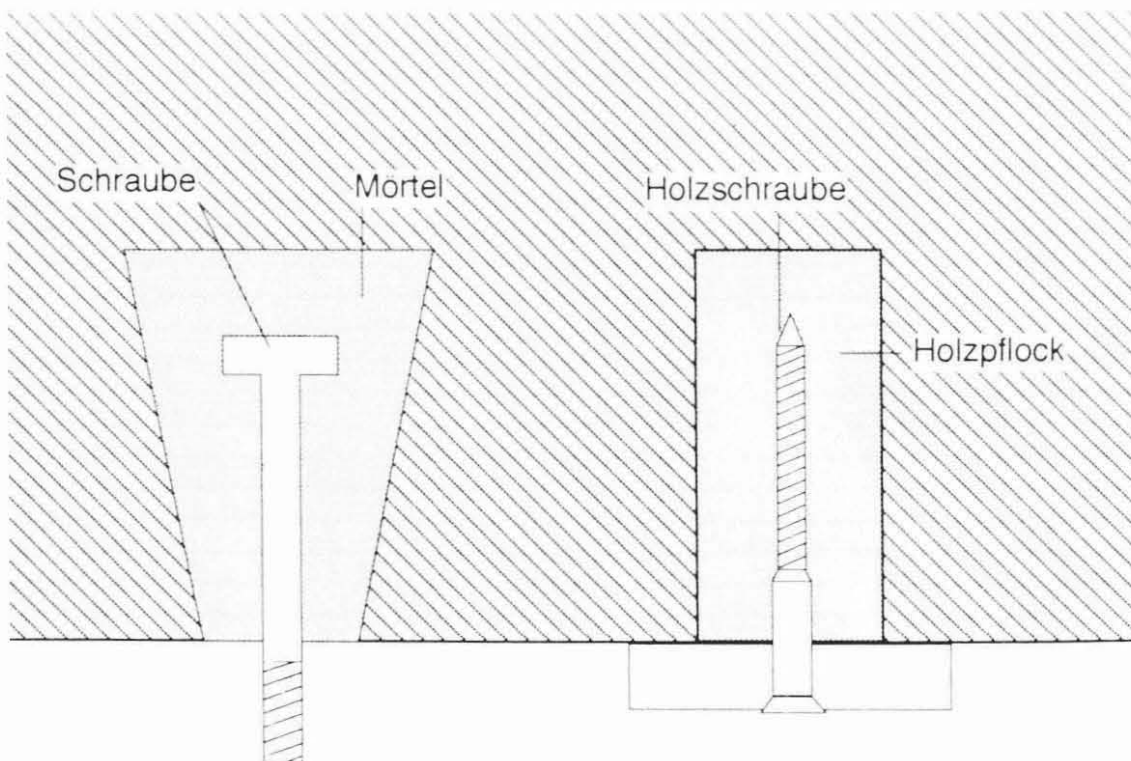


Bild 21: Diamantbohrmaschine

Bild 22: Frühere Befestigungsmittel für nachträgliche Montage



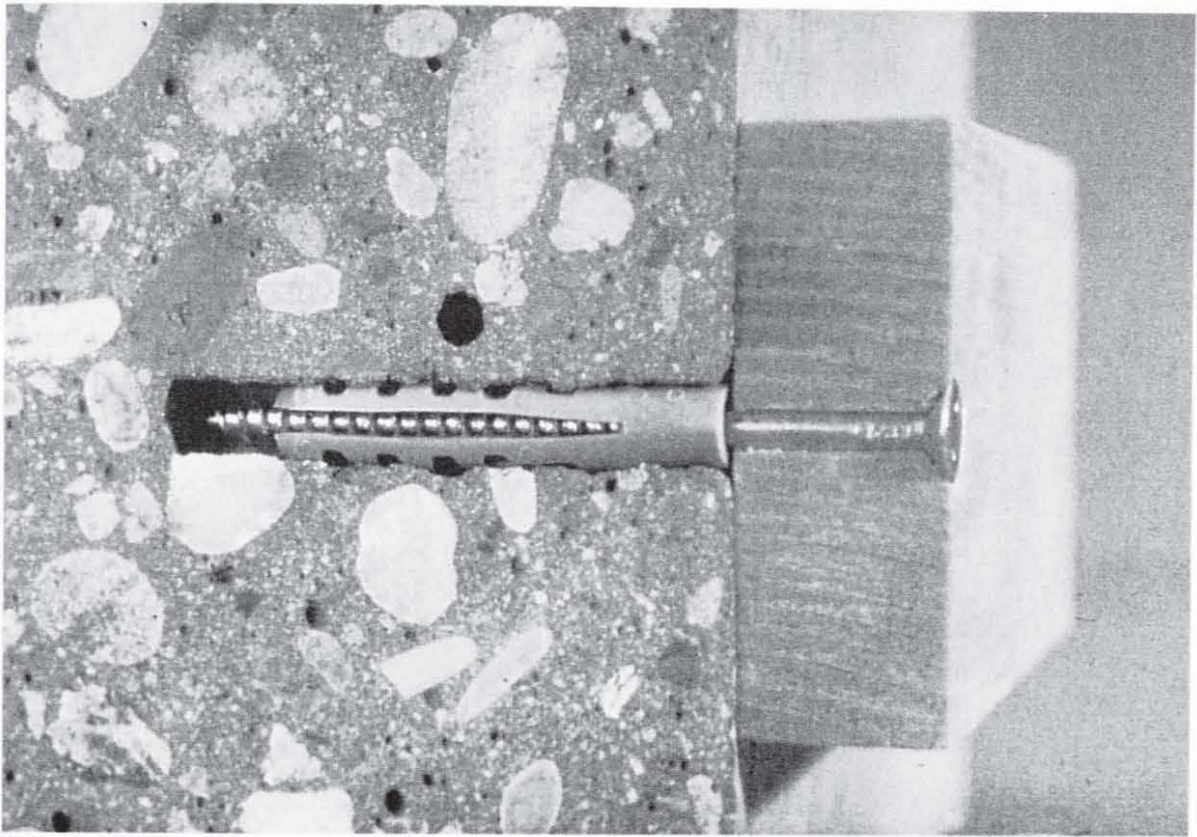
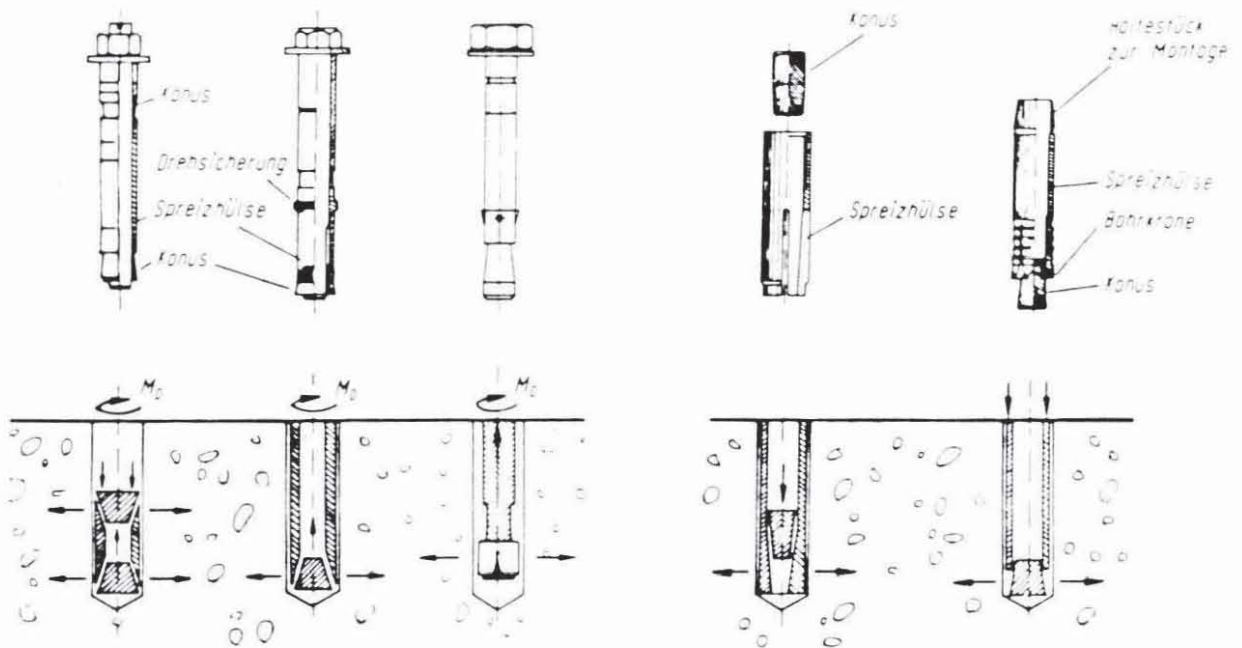


Bild 23: Kunststoffdübel

Bild 24: Metallspreizdübel



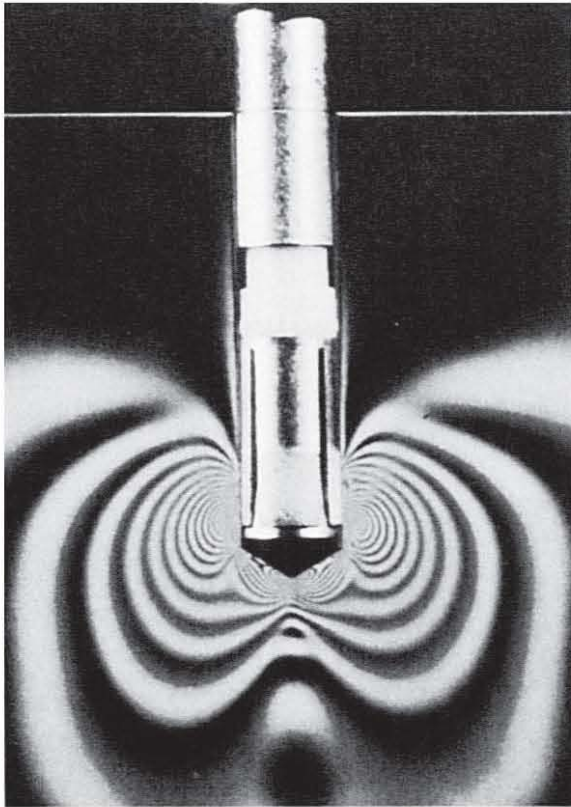


Bild 25: Spannungsverteilung im Verankerungsbereich eines Metallspreizdübels, nach [14]

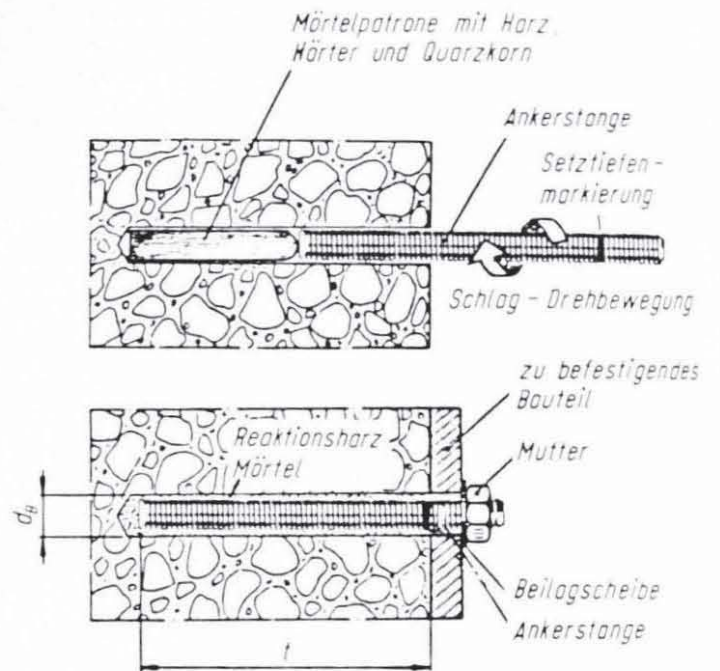
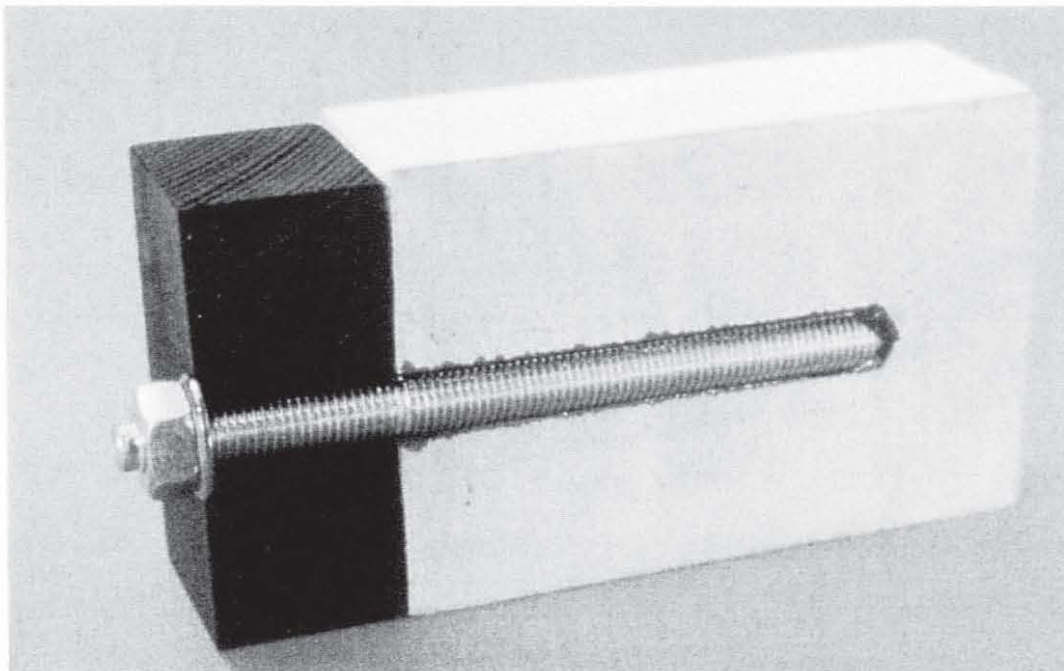


Bild 26: Verbunddübel

Bild 27: Verbunddübel



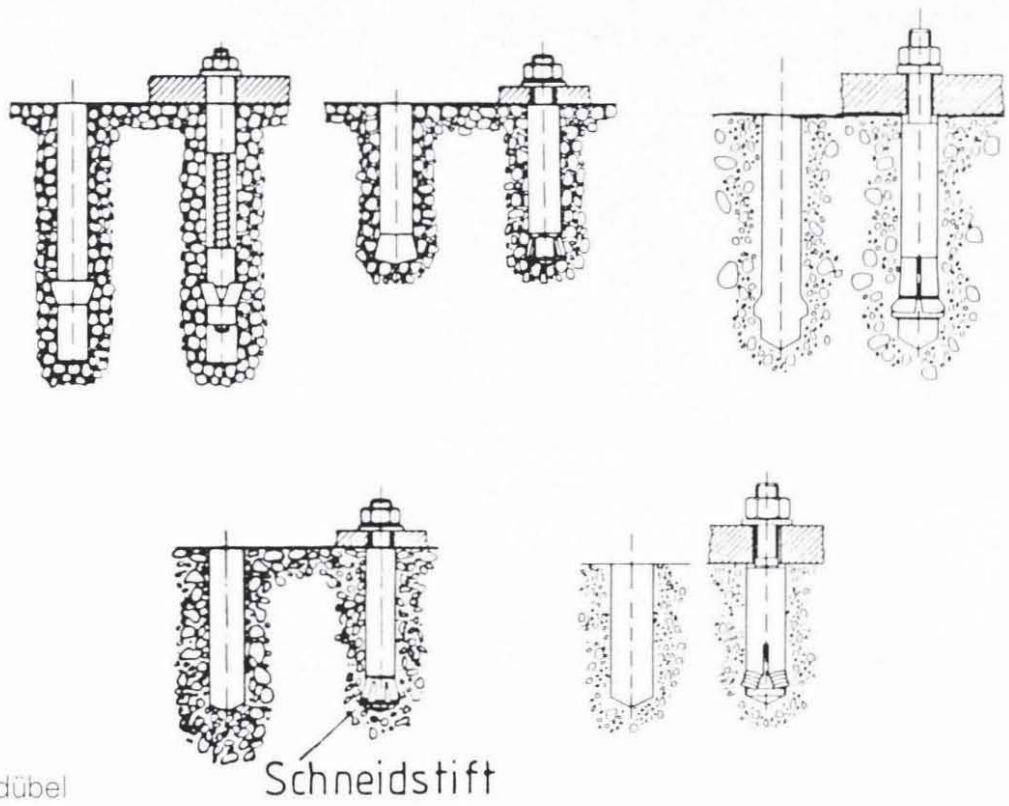


Bild 29: fischer-Zykon-Anker



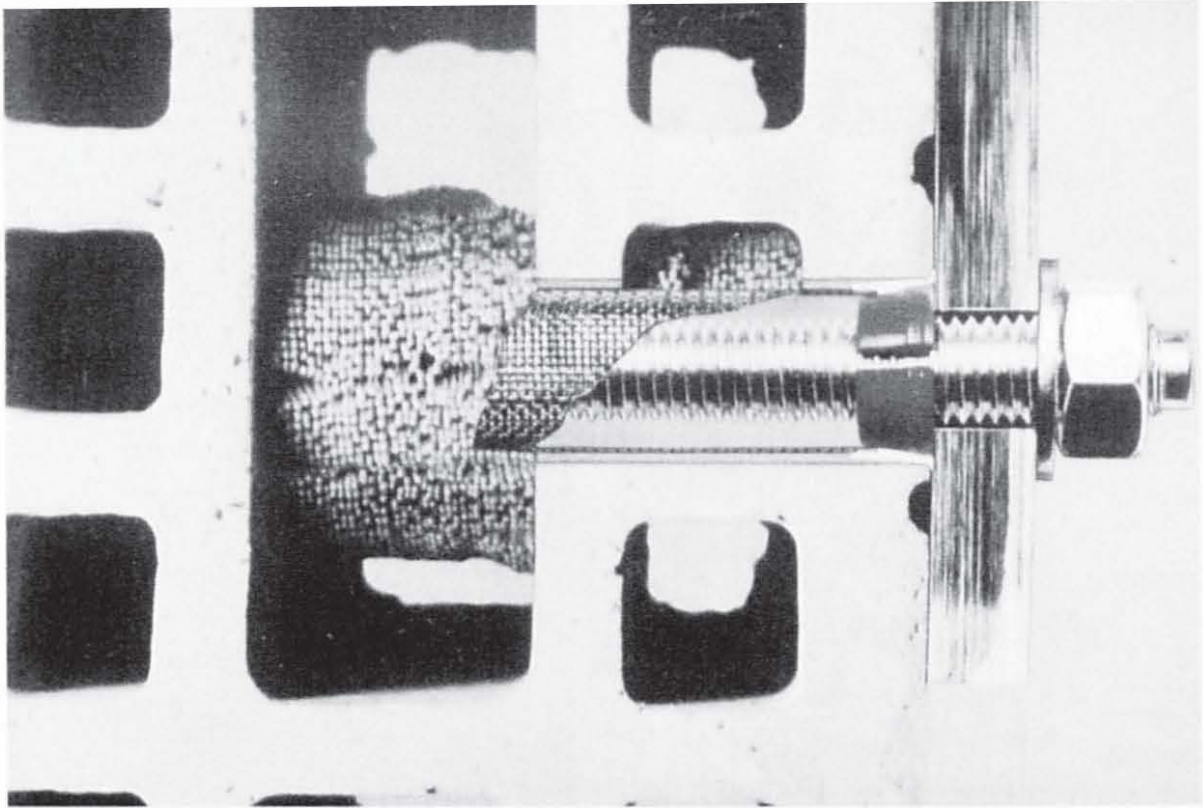


Bild 30: Injektionsdübel

Bild 31: fischer-Injektionsdübel



3. Tragverhalten von Befestigungen

Die beschriebenen Einlegeteile sowie Spreiz- und Verbunddübel wurden in den 60er und 70er Jahren zwar häufig eingesetzt, jedoch standen kaum technische Daten zur Verfügung und das Wissen der Anwender über den speziellen Wirkungsmechanismus der verschiedenen Systeme war gering. Daher ist es nicht verwunderlich, daß Anfang der 70er Jahre einige Befestigungen versagten und dabei Menschen verletzt und sogar getötet wurden. Darauf schritt die Bauaufsicht ein und erteilte ab 1975 Zulassungen für Befestigungen im ungerissenen Beton, in denen der zulässige Anwendungsbereich der Dübel und Einlegeteile festgeschrieben wurde. Allerdings deckten diese Zulassungen nur einen kleinen Bereich aller Anwendungsfälle ab, da beispielsweise bei Dübeln nur Einzelbefestigungen geregelt waren.

Da ein wesentliches Wissensdefizit bei Anwendern und Herstellern bestand, wurde 1982 auf Initiative von Herrn Prof. Rehm am Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart (IWB) ein Forschungsverbund „Befestigungstechnik“ gegründet. Das besondere an dieser Forschung ist, daß sie zu nahezu 100 % langfristig von der Befestigungsindustrie finanziert wird, anfangs durch 2 Firmen, derzeit durch 5 Firmen aus dem In- und Ausland. Die Firma Fischerwerke war von Anfang an dabei. Für diese Unterstützung möchten wir uns an dieser Stelle sehr herzlich bedanken.

Die Arbeiten verfolgen im wesentlichen folgende Ziele:

- Klärung des Tragverhaltens der verschiedenen Befestigungsmittel im ungerissenen und gerissenen Beton sowie im Mauerwerk.
- Erarbeitung von Kriterien zur Prüfung und Beurteilung von Befestigungsmitteln.
- Ableitung eines Verfahrens zur Bemessung von Befestigungen.
- Einbringen der Forschungsergebnisse in die zuständigen nationalen und internationalen Gremien.

Langfristig wird angestrebt, daß Befestigungen mit Einlegeteilen und Dübeln mit der gleichen Selbstverständlichkeit angewendet werden wie andere Verbindungstechniken (z. B. Schweißen oder Schrauben) . Dazu sind sichere Befestigungsmittel, ein allgemein akzeptiertes Bemessungsverfahren sowie geschulte Handwerker erforderlich.

Im folgenden werden einige Forschungsergebnisse erläutert:

Befestigungselemente können bei Zugbeanspruchung durch Herausziehen, Betonausbruch, Spalten des Betons oder Bruch der Stahlteile versagen (Bild 32).

Betonausbruch ist die am häufigsten vorkommende Versagensart. Bild 33 zeigt einen typischen Bruchkegel eines Hinterschnittdübels. Die Bruchlast hängt hauptsächlich von der Verankerungstiefe, die die Größe der Bruchfläche bestimmt, und der Betonzugtragfähigkeit ab.

Das Verhalten von Befestigungen bei der Versagensart Betonausbruch kann mit nichtlinearen FE-Programmen zutreffend berechnet werden, wenn das Materialmodell für Beton auf der nichtlinearen Bruchmechanik beruht. Ein solches Programm auf der Grundlage des sog. „non-local microplane model“ wurde am IWB entwickelt [1]. Bild 34 zeigt die damit berechnete Rißbildung im Beton bei Höchstlast sowie im Nachbruchbereich.

Die numerischen Untersuchungen [2] zeigen in Übereinstimmung mit experimentellen [3] und analytischen [4] Untersuchungen eindeutig, daß sich bereits bei 30 % bis 50 % der späteren Bruchlast Mikrorisse im Beton im Lasteinleitungsbereich bilden. Diese Umfangsrisse wachsen bis zur Höchstlast stabil an, und haben bei Höchstlast je nach Verankerungstiefe ca. 40 % bis 60 % der Mantelfläche des späteren Bruchkegels durchtrennt. Dieser wird nach Überschreiten der Höchstlast im abfallenden Ast der Last-Verschiebungskurve (instabiles Rißwachstum) vollständig ausgebildet.

Da die Spannungsverteilung entlang der Mantellinie des Ausbruchkörpers recht kompliziert ist und von der Verankerungstiefe abhängt, kann die Betonausbruchlast nicht mit einfachen Modellen (z. B. Annahme einer konstanten Zugspannung über die Bruchoberfläche) bestimmt werden.

Die Bruchoberfläche von Einzelbolzen ist proportional zum Quadrat der Verankerungstiefe h_{ef} . Die Ausbruchlast steigt jedoch nur proportional zu $h_{ef}^{1,5}$ an. (Bilder 35, 36) Dieser Maßstabeffekt kann mit der Bruchmechanik erklärt werden ([3] bis [5]). Er gilt aber nicht nur für die Betonausbruchlast, sondern für alle Fälle, in denen Beton auf Zug beansprucht wird und ein Dehnungsgradient vorhanden ist [6]. Als Beispiel seien die Biegezugfestigkeit sowie die Querkrafttragfähigkeit von Platten ohne Schubbewehrung erwähnt. In beiden Fällen nimmt bekanntlich die Bruchspannung mit zunehmender Bauteildicke ab.

Die Höhe der Bruchlast wird zusätzlich von geometrischen Gegebenheiten wie Abstand zum Bauteilrand oder zu benachbarten Befestigungselementen beeinflußt. Überschneiden sich die Bruchkegel benachbarter Bolzen oder Dübel (Bild 37) bzw. wird der Bruchkegel durch einen Bauteilrand begrenzt, wird die Bruchlast reduziert.

Dieses in zahlreichen Versuchen festgestellte Verhalten läßt sich durch ein einfaches mechanisches Modell, dem CC-Verfahren, beschreiben [7]. In diesem Ingenieurmodell wird der Ausbruchkörper einer Einzelbefestigung als Pyramide mit quadratischem Grundriß idealisiert (Bild 38). Die Bruchlast einer Ankergruppe ergibt sich durch Multiplikation der Bruchlast einer Einzelbefestigung mit dem Quotienten der Grundfläche des Ausbruchkörpers zur Grundfläche einer Einzelbefestigung.

Die bisherigen Ausführungen gelten für ungerissenen Beton. Bei der Bemessung von Stahlbetonbauteilen wird jedoch im allgemeinen von einer gerissenen Zugzone ausgegangen, weil der Beton nur eine sehr geringe Zugfestigkeit besitzt, die zudem durch in der Berechnung nicht berücksichtigte Eigen- oder Zwangsspannungen ganz oder teilweise verbraucht werden kann. Da Befestigungen häufig im gerissenen Beton angeordnet werden, wurde ihr Verhalten intensiv studiert.

Das Tragverhalten von allen Befestigungselementen wird durch Risse im Beton wesentlich beeinflußt. Bei Kopfbolzen und Hinterschnittdübeln ist eine Reduktion der Betonausbruchlast um ca. 30 % zu erwarten (Bild 39). Dies ist auf die Störung des Spannungszustandes im Beton durch den Riß zurückzuführen, da senkrecht zum Riß keine Betonzugspannungen übertragen werden können [8]. Die bisher verwendeten Spreiz- und Verbunddübel, die für den Einsatz im ungerissenen Beton konstruiert sind, sind für Anwendungen im gerissenen Beton meist nicht geeignet. Bild 40 zeigt dies am Beispiel eines kraftkontrolliert spreizenden Dübels des Bolzentyps. Zur Gewährleistung eines ausreichenden Tragverhaltens im gerissenen Beton wurden von der Industrie Spreiz- und Verbunddübel neu konstruiert. Die Eignung dieser Dübel für den vorgesehenen Anwendungsbereich wird in speziellen Versuchen untersucht. Dazu wurden Prüf- und Beurteilungskriterien abgeleitet [9].

Die am IWB und an anderen Forschungsstellen erarbeiteten Forschungsergebnisse wurden von einer Arbeitsgruppe des Comité Euro-International du Béton (CEB) unter Leitung des Erstverfassers in einem State-of-the-Art-Report zusammengefaßt [10].

Weiterhin wurde die Bemessung von Befestigungen in einem vom Deutschen Institut für Bautechnik herausgegebenen Bemessungsverfahren für Verankerungen in Beton geregelt [11], das auf den erläuterten Forschungsergebnissen beruht.

Bild 32: Versagensarten von zugbeanspruchten Befestigungen

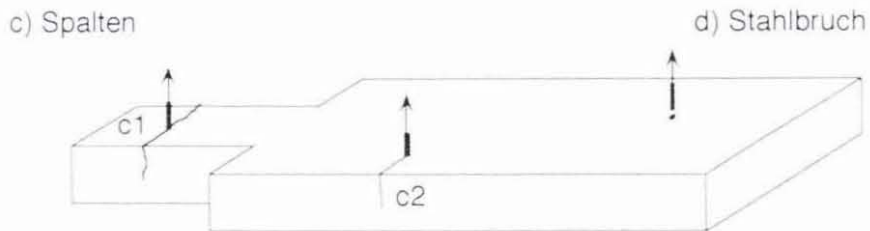
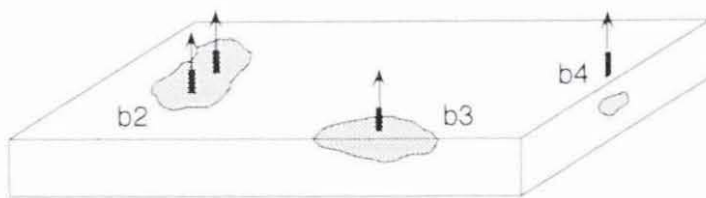
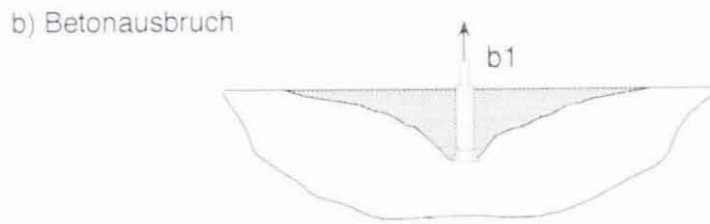
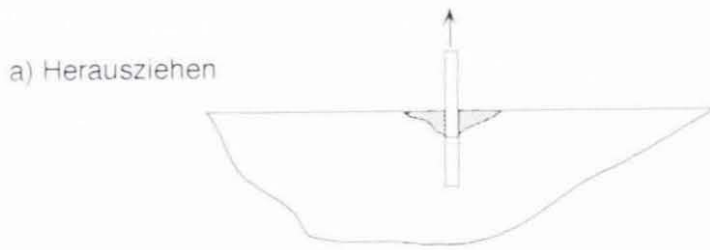
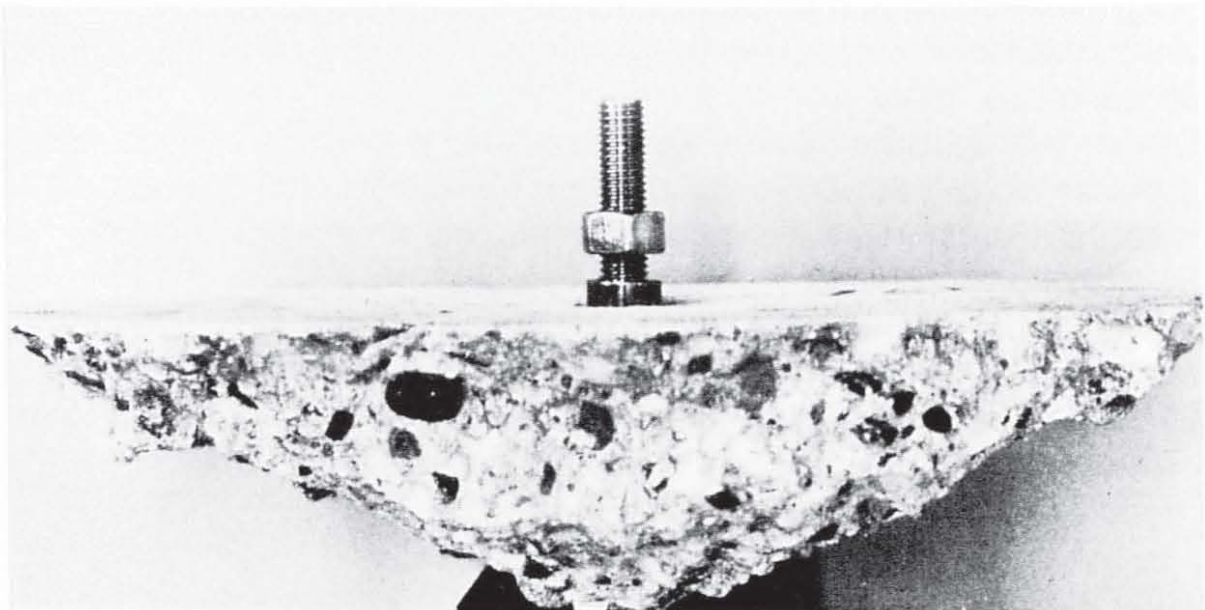


Bild 33: Bruchkegel eines Hinterschnittdübels



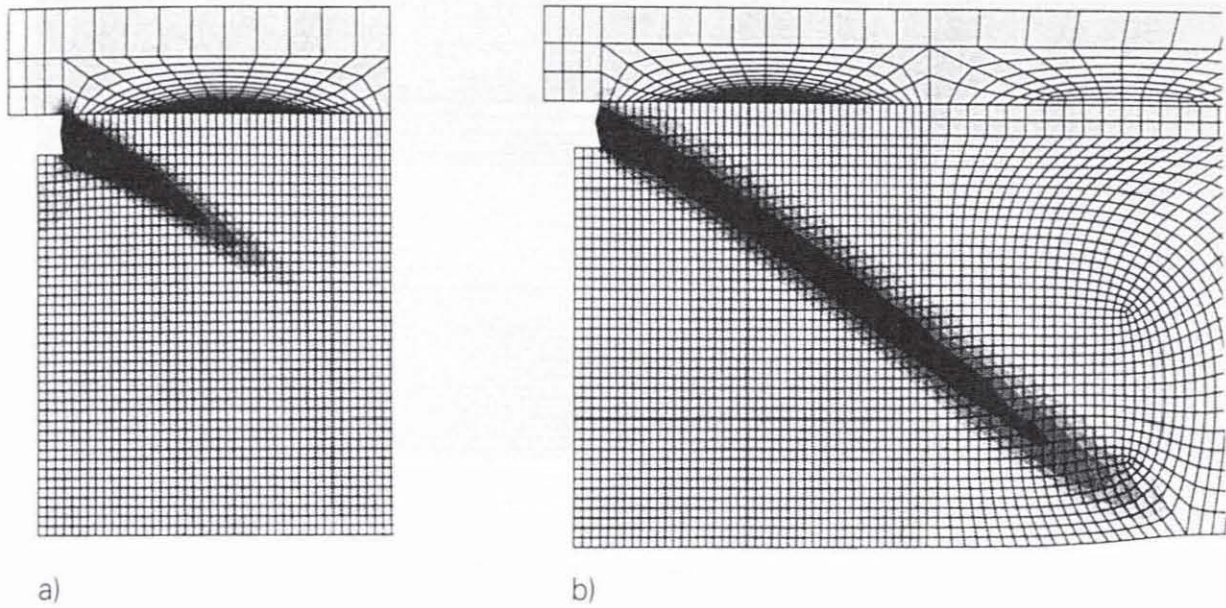


Bild 34: Rißbildung im Beton nach FE-Rechnungen, $h_{ef} = 1350 \text{ mm}$,
 a) bei Höchstlast b) im Nachbruchbereich

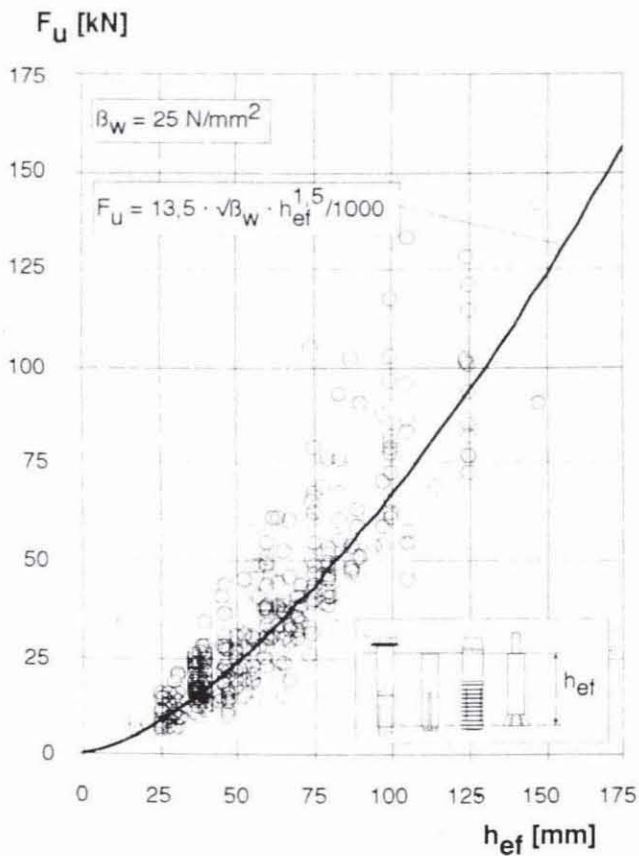


Bild 35: Betonausbruchlast von Metallspreizdübeln in Abhängigkeit von der Verankerungstiefe, nach [15]

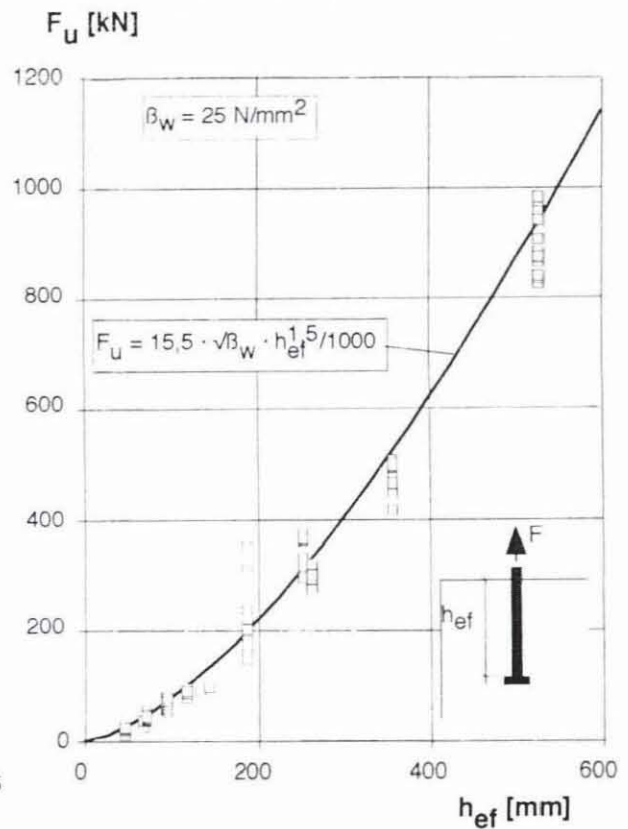


Bild 36: Betonausbruchlast von Kopfbolzen in Abhängigkeit von der Verankerungstiefe, nach [15]

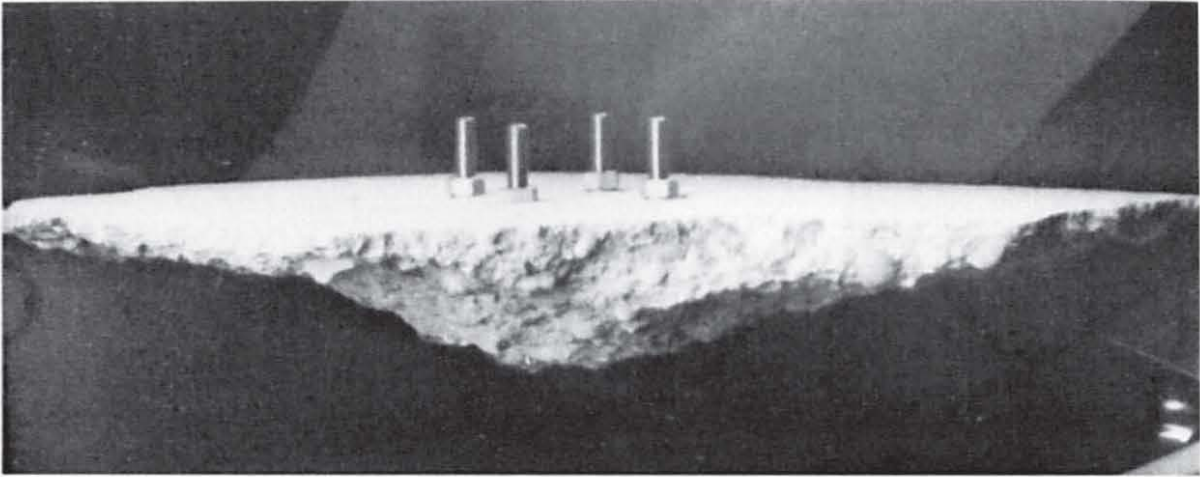


Bild 37: Gemeinsamer Ausbruchkegel bei einer Vierfachbefestigung

Bild 38: CC-Verfahren

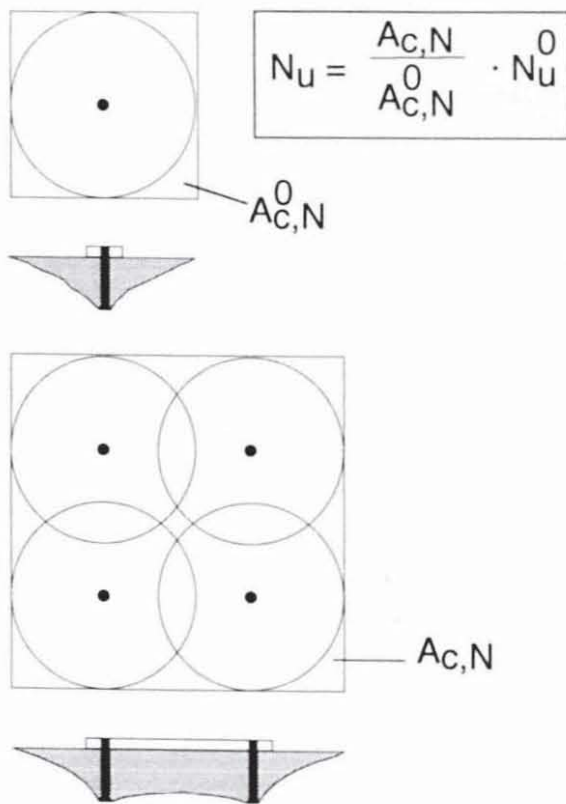
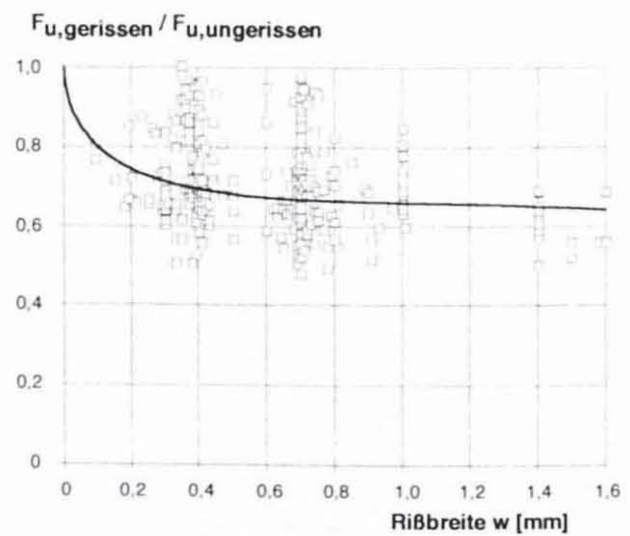


Bild 39: Reduzierung der Betonausbruchlast im gerissenen Beton



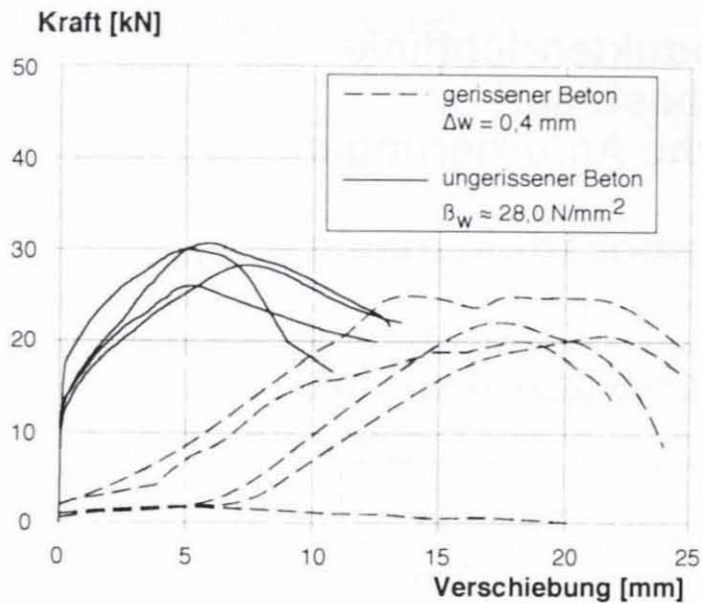


Bild 40: Last-Ver-schiebungskurven eines kraftkontrolliert spreizen-den Dübels, der für An-wendungen im ungerisse-nen Beton konstruiert ist

4. Regelungen in Europa

Seit 1993 besteht in Europa offiziell ein gemeinsamer Binnenmarkt. Die das Bauwesen betreffenden Regelungen sind in der Bauproduktenrichtlinie zusammengefaßt [12]. Nach dieser Richtlinie müssen Bauteile, die dauerhaft in Bauwerke eingebaut werden sollen, festgelegte wesentliche Anforderungen erfüllen (Bild 41). Dieser Nachweis der Brauchbarkeit kann auf der Grundlage von harmonisierten Europäischen Normen oder Europäischen Technischen Zulassungen erfolgen.

Für Dübel sind nach allgemeiner Auffassung Europäische Technische Zulassungen erforderlich, da sich der Stand der Technik ständig schnell verändert und daher noch nicht normbar ist. Daher wird derzeit intensiv an einer entsprechenden Richtlinie für die Prüfung und Beurteilung von Dübeln gearbeitet [13]. (Bild 42). Die Richtlinie unterteilt sich in 5 Teile und 3 Anhänge. Die Teile 1 bis 3 sowie die Anhänge sind verabschiedet, die Teile 4 und 5 sollen 1995 abgeschlossen werden.

Die EOTA Leitlinie baut weitgehend auf den Erfahrungen in Deutschland auf. Nach ihr können ab 1995 Europäische Technische Zulassungen erteilt werden.

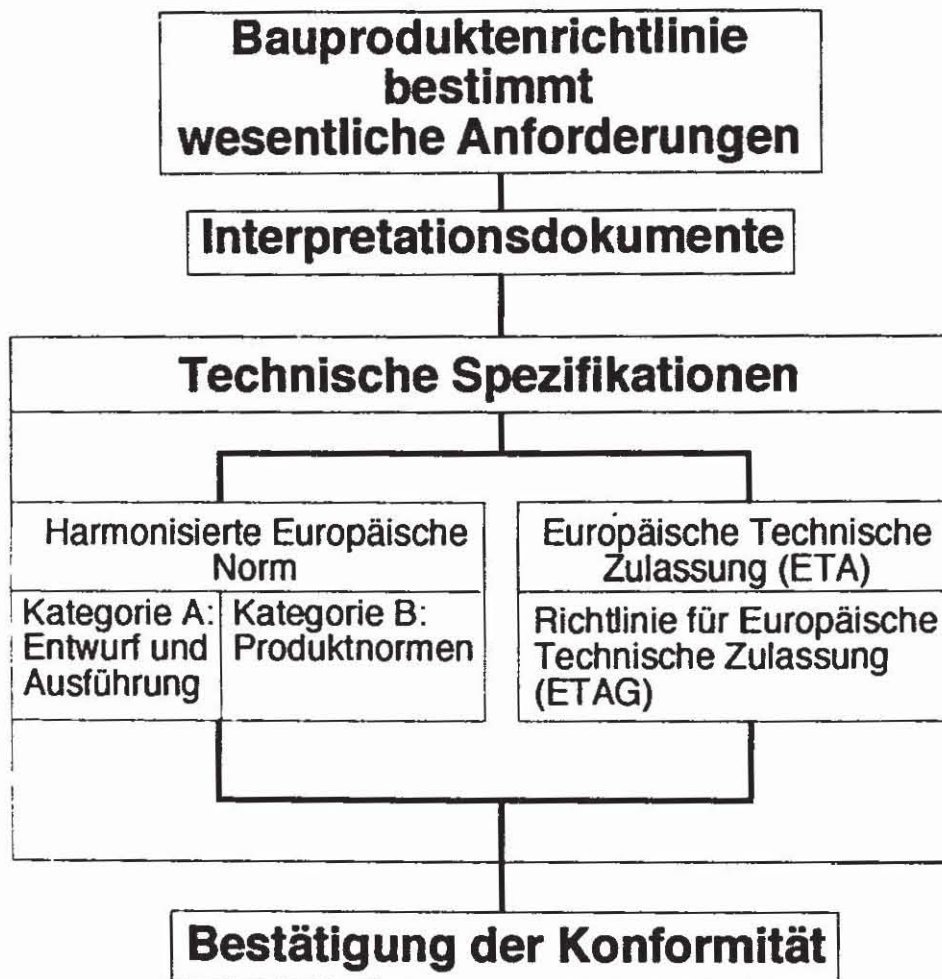


Bild 41: Regelung nach der Bauproduktenrichtlinie zur Bestätigung der Konformität

Teil 1	Metalldübel, allgemeine Anforderungen
Annex A:	Versuchsbeschreibung
Annex B:	Zul. Anwendungsbedingungen
Annex C:	Bemessungsmethoden
Teil 2	Kraftkontrolliert spreizende Dübel
Teil 3	Hinterschnittdübel
Teil 4	Wegkontrolliert spreizende Dübel
Teil 5:	Verbunddübel
Teile 1-3 sind verabschiedet, Teile 4 und 5 werden 1995 fertiggestellt.	
Erweiterung der Richtlinie auf andere Systeme (Deckenabhängiger, Kunststoffdübel, Setzbolzen) ist notwendig	

Bild 42: Aufbau der Europäischen Richtlinie für die Prüfung und Beurteilung von Dübeln

5. Zusammenfassung

Die Befestigungstechnik leistet einen selbstverständlichen und unentbehrlichen Beitrag zum wirtschaftlichen Bauen. Eine Vielzahl von Befestigungssystemen gewährleistet – bei sachgemäßer Anwendung – die sichere Einleitung auch hoher Lasten in Beton und Mauerwerk. Aufgabe des Anwenders ist es, das für den jeweiligen Ankergrund und Verwendungszweck optimale Befestigungselement aus dem breiten Angebot auszuwählen und zu montieren. Allerdings ist bei Anwendern und teilweise auch Herstellerfirmen ein Wissensdefizit über Funktionsprinzipien sowie Anwendungsbedingungen und -bereiche der einzelnen Befestigungssysteme festzustellen. Um dieses Wissensdefizit abzubauen, wird am IWB seit ca. 13 Jahren Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Befestigungstechnik betrieben. In den letzten 20 Jahren hat sich die Befestigungstechnik stürmisch entwickelt. Wie Herr Reinhardt noch ausführen wird, ist dies wesentlich auf die richtungsweisenden Erfindungen von Herrn Prof. Fischer zurückzuführen. Da der Ideenreichtum und die Schaffenskraft von Herrn Prof. Fischer noch ungebrochen sind, kann man sicher sein, daß er auch in Zukunft die Befestigungstechnik wesentlich befruchten wird.

Literatur

- [1] Ozbolt, J.: Fracture Analysis of Concrete Structures – Improved Microplane Model Bericht Nr. 4/17–93/5, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, 1993
- [2] Ozbolt, J.; Elgehausen, R.: Numerical Analysis of Headed Studs Embedded in Large Concrete Blocks. Tagungsband, Second International Conference „Computer Aided Analysis and Design of Concrete Structures“, Zell am See, April 1990
- [3] Sawade, G.; Elgehausen, R.: A Fracture Mechanics Based Description of Pull-Out Tests on Headed Studs in Concrete. Fracture Mechanics of Concrete Structures, RILEM Report, Chapman and Hall, London, 1989
- [4] Sawade, G.: Ein energetisches Materialmodell zur Berechnung des Tragverhaltens von zugbeanspruchtem Beton. Dissertation, Universität Stuttgart, 1994
- [5] Elgehausen, R.; Ozbolt, J.: Size Effect in Anchorage Behavior. Proceedings, European Conference on Fracture Behavior and Design of Materials and Structures, Turin, Okt. 1990
- [6] Bazant, Z. P., Ozbolt, J.; Elgehausen, R.: Fracture Size Effect: Review of Evidence for Concrete Structures. ASCE Journal of Structural Engineering, Vol 10, No 8, August 1994
- [7] Fuchs, W., Elgehausen, R.: Das CC-Verfahren zur Berechnung der Betonausbruchlast von Verankerungen. Beton- und Stahlbetonbau, Heft 1 bis 3, 1995

- [8] Elgehausen, R.; Ozbolt, J.: Influence of Crack Width on the Concrete Cone Failure Load. Fracture Mechanics of Concrete Structures, Elsevier Applied Science, New York, 1992
- [9] Elgehausen, R ; Tewes, R.: Rationale for the UEAtc Draft Directive on Anchor Bolts Used in the Tensile Zone of Reinforced Concrete Members. Bericht Nr. 1/29–88/4, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart, 1988
- [10] Comité Euro-International du Béton: Fastenings to Concrete and Masonry Structures Thomas Telford, London, 1994
- [11] Deutsches Institut für Bautechnik; Bemessungsverfahren für Dübel zur Verankerung in Beton, Berlin, Juni 1993
- [12] The Council of the European Communities: Council Directive of 21 December 1988 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to construction products (89/106/EEC)
- [13] European Organisation for Technical Approvals (EOTA). Guideline for European Technical Approval of Anchors (Metal Anchors) for Use in Concrete; Parts 1 to 3 and Annex A to C, September 1994
- [14] Seghezzi, H. D.: Wirtschaftliche und sichere Befestigungssysteme für die Baupraxis. Betonwerk + Fertigteil-Technik, 1983, Heft 1, S. 41–45 und Heft 2, S. 117–123
- [15] Rehm, G.; Elgehausen, R.; Mallée, R : Befestigungstechnik. Betonkalender 1992, Teil 2, S. 594–715, Verlag W Ernst & Sohn, Berlin, 1992