

Mitteilung aus dem Institut für baulichen Luftschutz der Technischen Hochschule Braunschweig
Herausgegeben im Auftrage des Reichsluftfahrtministeriums, Inspektion des Luftschutzes

BIBLIOTHEK
Institut für baulichen Luftschutz und Brandschutz
der Technischen Hochschule Braunschweig
Hertzstr. 21a
38100 Braunschweig

Die Entwicklung der Schutzbewehrung von Wehrbauten insbesondere LS-Bauten aus Stahlbeton

Von

o. Prof. Dr.-Ing. habil. Th. Kristen
und Dr.-Ing. K. Ehrenberg

Nur für den Dienstgebrauch!

Die Entwicklung der Schutzbewehrung von Wehrbauten insbesondere LS-Bauten aus Stahlbeton

Von

o. Prof. Dr.-Ing. habil. Th. Kristen und Dr.-Ing. K. Ehrenberg

I. Einleitung

Die Fortschritte in der Entwicklung der Luftwaffe, die eine Einwirkung von Luftangriffsmitteln auf die Zivilbevölkerung im Kriegsfall erwarten ließen, veranlaßten die Inspektion des Luftschutzes im Reichsluftfahrtministerium schon vor dem Kriege, der Schaffung von Schutzbauten ein erhöhtes Interesse zuzuwenden. Dabei trat bei Stahlbetonbauten die Frage nach der wirkungsvollsten Schutzbewehrung in den Vordergrund.

Unter Schutzbewehrung ist hierbei jener Teil der Stahleinlagen eines Stahlbetonbaues zu verstehen, der statisch nicht erforderlich ist, sondern die Aufgabe hat, den Umfang der durch den Aufschlag und die Detonation von Bomben oder durch das Eindringen von Geschossen im Baukörper verursachten Schäden möglichst gering zu halten und die Auswirkung der entstandenen Schäden auf die zu schützenden Personen zu verhindern. (Schutzwirkung.)

Großversuche der Wehrmachtteile mit verschiedenen Schutzbewehrungsarten ergaben wohl einige wichtige Hinweise, konnten aber keine einwandfreie Klärung herbeiführen. Es ergab sich somit die Notwendigkeit weiterer umfangreicher Versuchsreihen, um so mehr als wissenschaftliche Erkenntnisse über die Wirkung von Explosionskräften auf Baukörper zu dieser Zeit noch nicht vorlagen. Großversuche, in dem für eine systematische Forschung erforderlichen Umfang, hätten einen nicht tragbaren Zeit- und Arbeitsaufwand erfordert.

Es lag daher nahe, sich des in vielen anderen Forschungsgebieten mit Erfolg zur Anwendung gelangenden Modellverfahrens zu bedienen. Von der Inspektion des

Luftschutzes im Reichsluftfahrtministerium wurde das „Institut für baulichen Luftschutz“ an der Technischen Hochschule Braunschweig mit dem Auftrage betraut, für Explosionsvorgänge geeignete Modellregeln zu entwickeln und sodann die praktischen Aufgaben des baulichen Luftschutzes, insbesondere die Frage nach der günstigsten Schutzbewehrung zu lösen. Vom Institut wurden Modellregeln¹⁾ auf Grund theoretischer Untersuchungen und zahlreicher praktischer Versuche entwickelt und durch Vergleich einander entsprechender Groß- und Modellversuche ihre Richtigkeit bewiesen. Durch die Anwendung des Modellverfahrens wurde es nunmehr möglich, in kurzer Zeit verschiedene Bewehrungssysteme auf ihre Wirksamkeit zu erproben und die Entwicklung der Schutzbewehrung voranzutreiben. Das Ziel der Entwicklung war die Erfüllung folgender Forderungen:

1. Aus wirtschaftlichen Erwägungen muß der Stahlgehalt auf ein Minimum herabgesetzt werden,
2. die Schutzwirkung soll trotzdem keine Einbuße erleiden,
3. zur Erzielung größter Betonfestigkeit muß die Einbringung und Verarbeitung eines möglichst grobkörnigen Betons mit geringem Wassergehalt gewährleistet sein.

Die nachfolgenden Ausführungen sollen einen Überblick über die meisten seit dem Jahre 1939 erprobten Bewehrungskonstruktionen geben. Sie wurden möglichst nach dem Zeitpunkt ihrer Entstehung eingeordnet und zeigen in großen Zügen den Verlauf der Entwicklung.

II. Wirkung von Bomben auf Beton und Stahlbeton

Zunächst galt es, ein Bild über die Art der durch Bomben in Beton- und Stahlbetonkörpern hervorgerufenen Zerstörungen zu gewinnen.

Die Wirkung einer Spreng- oder Minenbombe mit Aufschlagzündung auf eine unbewehrte Betondecke zeigt schematisch Bild 1. Durch die unmittelbare Einwirkung der Sprenggase entsteht an der Oberseite eine muldenförmige Materialzerstörung, der „Sprengkegel oder -trichter“. Durch den Sprengstoß wird eine Stoßwelle ausgelöst, die sich etwa kugelförmig ausbreitet und zu einer Absprengung an der Unterseite führt. Diese Absprengung soll mit „Ausschußkegel oder Sprenglinse“ bezeichnet werden. Zwischen den beiden Kegeln bleibt eine erschütterte Betonschicht stehen, deren Dicke von der Größe der Sprengladung abhängt. Wird

die Ladung immer mehr erhöht, so erfolgt schließlich Durchschlag (gestrichelt gezeichnet). Bei gleichbleibender Ladung hängt die Größe der entstehenden Absprengungen von der Lage der Bombe bei der Detonation und von Betonfestigkeit und Raungewicht ab. Hat die Bombe die Lage *a*, ist die Wirkung am größten; sie nimmt um so mehr ab, je mehr sich die Bombe der Lage *b* nähert. Bei Lage *b* verschwindet der Sprengtrichter fast vollständig und zur Erzielung einer ebenso großen Sprenglinse wie bei Lage *a* ist ein Vielfaches der Ladung nötig.

Je größer Festigkeit und Raungewicht des Betons unter sonst gleichen Bedingungen sind, desto größer ist der Energieverbrauch für die Zerstörung und desto

¹⁾ Ehrenberg, „Modellregeln“, Zentrale für wissenschaftliches Berichtswesen, 1944.

kleiner werden somit die Abspregungen. Diese Zusammenhänge wurden im Institut systematisch untersucht. Das Schaubild 4 gibt über die Ergebnisse Aufschluß.

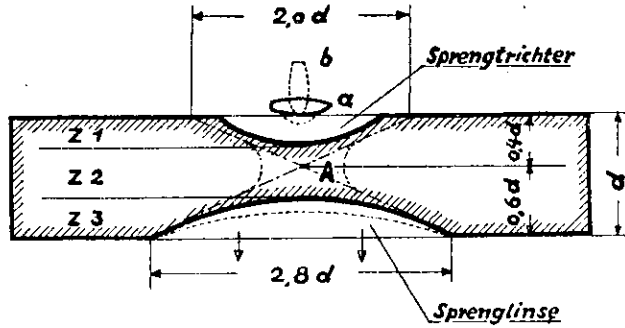


Bild 1

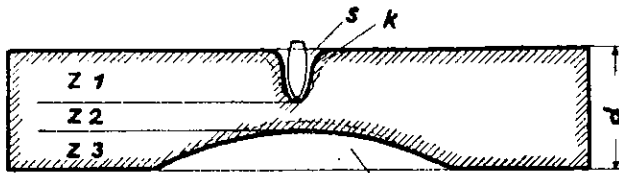


Bild 2

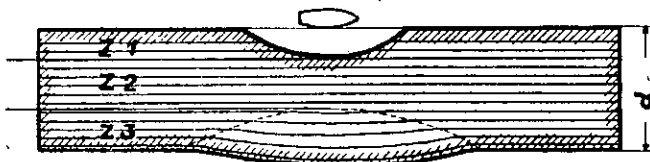


Bild 3

- Z 1 = Zone des zerstörten Betons
- Z 2 = Zone des erschütterten Betons
- Z 3 = Zone des abgesprengten Betons

Bild 1 bis 3. Wirkung von Bomben auf Beton und Stahlbeton

Handelt es sich um eine Sprengbombe mit Verzögerung, so ändert sich der Zerstörungsvorgang nach Bild 1 nicht wesentlich. Eine normale Sprengbombe besitzt nicht die Festigkeit, um erheblich in den Beton einzudringen, sondern sie zerschellt, falls sie nicht vorher zur Detonation gelangt.

III. Schutzbewehrungen mit gleichmäßiger oder vorwiegend gleichmäßiger Stahlverteilung (Grundform: Kubische Bewehrung)

Eine große Zahl neuer Bewehrungssysteme sind in den letzten Jahren vorgeschlagen und erprobt worden. Eine nähere Betrachtung aller dieser Vorschläge zeigt deutlich, daß es sich im Grunde genommen nur um zwei grundsätzlich verschiedene Konstruktionsgruppen handelt. Bei der einen Gruppe sind die Stahleinlagen gleichmäßig oder vorwiegend gleichmäßig im Baukörper verteilt, während bei der anderen Gruppe der Stahlanteil gegen die Innenseite der Decke oder Wände zu anwächst.

1. Kubische Bewehrung

Die kubische Bewehrung ist die älteste in Deutschland zur Ausführung gelangte Bewehrung. Zur Zeit ihres Entstehens war von Abwurfmunition noch nicht die Rede, und die Bewehrung war dazu bestimmt, die Widerstands-

fähigkeit von Festungsbauten gegen Artillerietreffer zu erhöhen. Durch die Auftreffwucht, das dem Auftreffen folgende Eindringen und schließlich durch die Detonation der (verhältnismäßig geringen) Sprengladung erfolgen Zerstörungen des Betons, die durch eine möglichst enge „Vernähung“ durch zahlreiche in den drei Raumrichtungen gleichmäßig verteilte Stahleinlagen verhindert werden sollten. Der Stahlgehalt war ursprünglich 150 kg je m³ fertigen Beton und wurde später auf rund 80 kg/m³ und schließlich auf rund 30 kg/m³ herabgesetzt. Die Durchmesser der Stahleinlagen betragen erst 10 und später 12 mm.

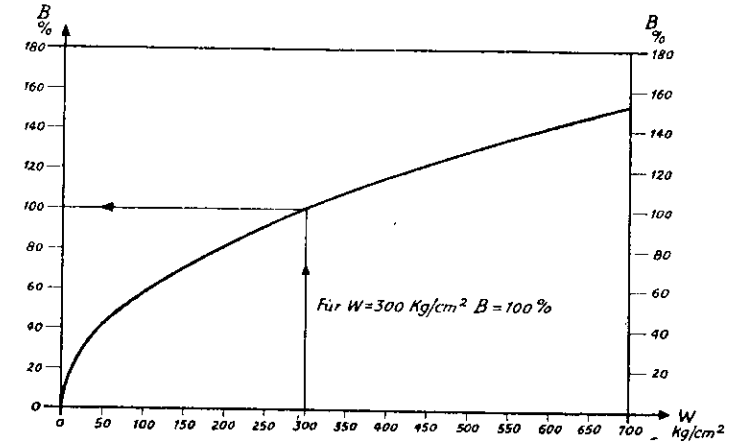


Bild 4. Zusammenhang zwischen der Betondruckfestigkeit W und der Widerstandsfähigkeit gegen Beanspruchung (B) durch Explosionskräfte

gewisse Strecke ein, wobei sich ein kleiner Einschuss-trichter S , ein Schußkanal K und wieder ein Ausschuss-kegel L an der Unterseite bildet. Die Detonation der — infolge der großen Wanddicke des Geschosses — geringen Geschossladung bewirkt nur kleine Veränderungen. Der Einschuss-trichter S und Schußkanal K werden ausgeweitet (gestrichelt gekennzeichnet) und der Ausschuss-kegel L etwas vertieft.

Die Wirkung der gleichen Bombe wie in Bild 1, jedoch auf einen Stahlbetonbaukörper, zeigt schematisch Bild 3, wobei der Übersicht halber nur horizontale Stahleinlagen gezeichnet sind. Die Größe des Spreng-trichters S wird von den Stahleinlagen kaum beeinflusst, da diese innerhalb des Kegels vollständig zerstört oder herausgeschleudert werden. Auch die Sprenglinse L bildet sich, jedoch können nunmehr die entstehenden Trümmer — falls die Stahleinlagen genügend eng beieinanderliegen — nicht herausfallen, sondern die Bewegungsenergie wird zur Dehnung der Stähle verwendet. Es entsteht an der Unterseite lediglich eine Ausbauchung und kein Ausbruch. Die Beanspruchung der Stähle nimmt nach unten hin zu und ist in der Zone zwischen Ein- und Ausschusskegel gleich Null.

Die Durchmessertreffer zu erhöhen. Durch die Auftreffwucht, das dem Auftreffen folgende Eindringen und schließlich durch die Detonation der (verhältnismäßig geringen) Sprengladung erfolgen Zerstörungen des Betons, die durch eine möglichst enge „Vernähung“ durch zahlreiche in den drei Raumrichtungen gleichmäßig verteilte Stahleinlagen verhindert werden sollten. Der Stahlgehalt war ursprünglich 150 kg je m³ fertigen Beton und wurde später auf rund 80 kg/m³ und schließlich auf rund 30 kg/m³ herabgesetzt. Die Durchmesser der Stahleinlagen betragen erst 10 und später 12 mm.

Diese Verminderung des Stahlgehaltes war eine zwingende wirtschaftliche Notwendigkeit. Außerdem war bei der angewandten Maschenweite von 10 bis 15 cm die Verarbeitung wasserarm grobkörnigen Betons, besonders bei großen Baudicken, sehr schwierig.

Zur Verminderung des Stahlgehaltes kann entweder der Durchmesser der Stahleinlagen verkleinert oder die Maschenweite vergrößert werden. Beide Wege wurden im Institut untersucht. Die Schaubilder 5 und 7 zeigen die Ergebnisse einer Versuchsreihe, in der bei einer

daß bei 30 kg/m^3 nurmehr rund 70 % der Ladung angewandt werden müssen, um die gleiche Ausbauchung (10 %) wie bei 120 kg/m^3 hervorzurufen. Wird die Maschenweite vergrößert und werden die Stahleinlagen dicker gehalten, so treten die Ausbrüche an der Unter-

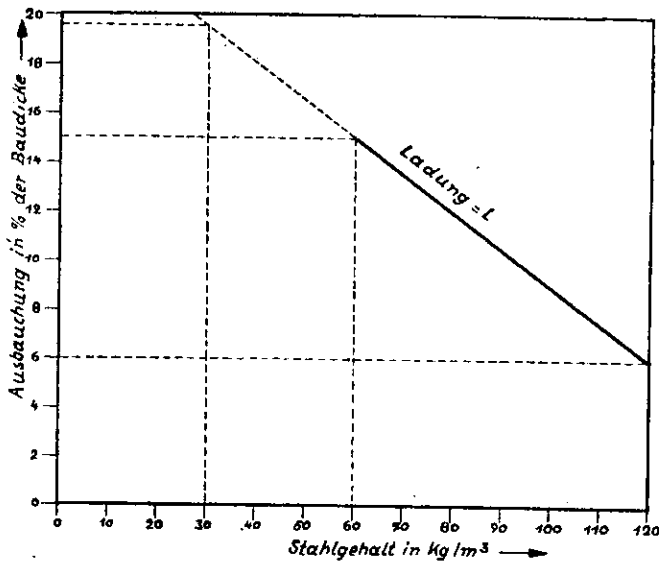


Bild 5. Zusammenhang der Ausbauchung in % (Baudicke = 100 %) mit dem Stahlgehalt in kg/m^3 bei gleichbleibender Ladung L

gleichbleibenden Maschenweite von 15 cm der Durchmesser der Stahleinlagen herabgesetzt wurde.

Die Platten wurden so beansprucht, daß an der Unterseite noch kein Durchschlag auftrat, sondern nur eine Ausbauchung, die sich auf Grund zahlreicher Versuche

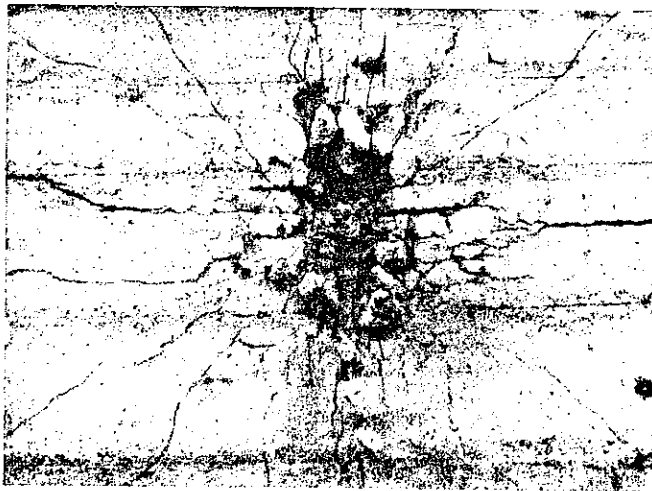


Bild 6. Kubische Bewehrung, Maschenweite 15 cm, Ausbauchung > 15 %
Aufnahme: Inst. f. baul. LS.

als ein brauchbares Maß für die Widerstandsfähigkeit der Bewehrungen erwies. Aus der Geraden im Schaubild 5 geht hervor, daß eine gleichbleibende Sprengladung L , die bei einem Stahlgehalt von 120 kg/m^3 eine Ausbauchung von 6 % der Plattendicke hervorruft, bei 30 kg/m^3 eine Ausbauchung von rund 19 % erzeugen würde. Es erfolgt jedoch bei der Maschenweite 15 cm schon bei über 15 % Ausbauchung Ausbruch von Betonteilen und Zerstörung der unteren Stahleinlagen (Bild 6), so daß bei der Ladungsgröße L unterhalb 60 kg/m^3 keine Schutzwirkung mehr vorhanden ist. Wird die Ladungsgröße L so verändert, daß bei Platten mit verschiedenem Stahlgehalt stets eine Ausbauchung von 10 % entsteht, so ergibt sich die Gerade Bild 7. Aus ihr geht hervor,

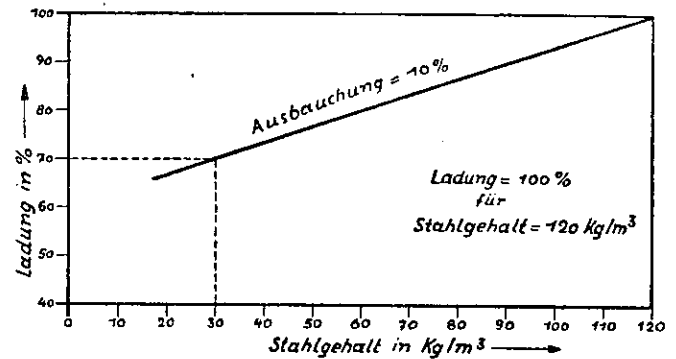


Bild 7. Zusammenhang der Ladung in % mit dem Stahlgehalt in kg/m^3 bei gleichbleibender Ausbauchung = 10 %

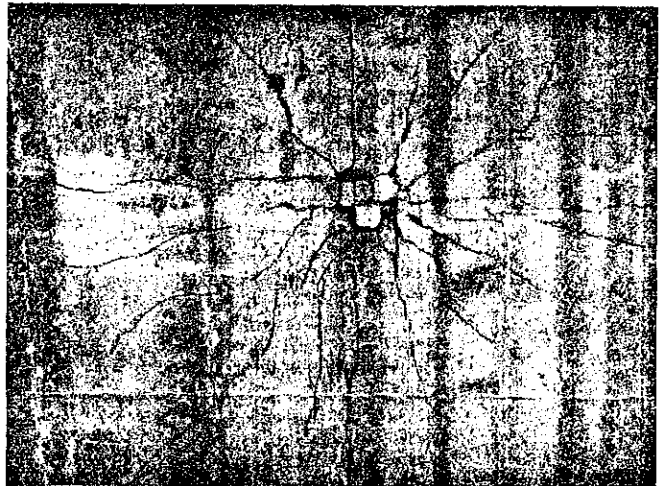


Bild 8. Kubische Bewehrung, Maschenweite 15 cm, Ausbauchung 12 %
Aufnahme: Inst. f. baul. LS.



Bild 9. Kubische Bewehrung, Maschenweite 30 cm, Ausbauchung 8,5 %
Aufnahme: RdL/IL.

seite noch früher auf. Bild 8 zeigt eine kubisch bewehrte Platte mit einer Maschenweite von 15 cm und 12 % Ausbauchung, bei der noch keine Ausbrüche vorhanden sind, während bei der Versuchsplatte Bild 9 mit 30 cm Maschenweite und einer Ausbauchung von nur 8,5 % bereits Betonbrocken abgesprengt wurden. Eine Herab-

setzung des Stahlgehaltes der kubischen Bewehrung führt also in jedem Fall zu einem erheblichen Absinken der Schutzwirkung.

2. Benzinger-Bewehrung

Die Verwendung dieser Bewehrung für verschiedene Zwecke im Stahlbetonbau ist bekannt. Eine besondere, für bombensichere Bauwerke bestimmte Konstruktion wurde von der Firma Saardrahtwerke G. m. b. H. zum Patent angemeldet (DRP. Nr. 692 014, Klasse 72 g, Gruppe 303 vom 21. März 1936). Das Bewehrungsgewicht betrug rund 60 kg/m³. Durch ein Drahtgeflecht (Draht Durchmesser 2,5 mm) von 8 cm Maschenweite, das durch Stähle von 8 mm Durchmesser gehalten wird, ergibt sich jeweils eine Bewehrungslage von 15 cm Höhe, die vor Einbringung der nächsten Lage betoniert wird, wodurch die Verwendung von erdfeuchtem Beton möglich ist. Die Verbindung der einzelnen Lagen erfolgt durch vertikal eingetriebene Stahlklammern. Die Baudicke ist gleichmäßig von Stahl durchsetzt. Die Konstruktion bietet ein Beispiel dafür, daß eine Bewehrung, die für statische Belastungen, ja sogar für gewisse dynamische Beanspruchungen (Straßenbau!) sich gut bewährt, für Beanspruchungen durch Explosionskräfte ungeeignet sein kann. Die Bewehrung war nach Versuchen des Instituts den anderen Bewehrungen unterlegen. Das lagenweise Betonieren verursacht Trennschichten, die abplatzen; und die dünnen Drähte zerreißen.

3. Spiralbewehrung der Firma Dyckerhoff & Widmann KG.

Bei der ältesten Ausführungsform dieser Bewehrung besteht der Unterschied gegenüber der kubischen Bewehrung im wesentlichen darin, daß in einer der drei Raumrichtungen an Stelle von geraden, einzelnen, eine aus fortlaufenden, spiralgig gewundenen Stählen bestehende Matte eingesetzt wird. Gerade Stähle finden sich nur an der Ober- und Unterseite der Platte vor. Die den Baukörper nicht nur winkelrecht, sondern infolge ihrer Krümmung auch schräg durchsetzenden Spiralen sollen die in den kegelförmigen Gleitflächen der Sprenglinie auftretenden Schubspannungen aufnehmen und so eine bessere Verankerung bewirken. Ferner ist die Verlegung der Bewehrung durch die fertigen Spiralmatten vereinfacht. Großversuche der Luftwaffe ergaben keinen Vorteil gegenüber der kubischen Bewehrung, Beschußversuche des Heeres und der Marine sogar einen Nachteil.

Die Spiralbewehrung wurde auf Grund dieser Ergebnisse geändert und dann so ausgeführt, wie sie in den „Anweisungen für den Bau bombensicherer LS-Räume“, Fassung November 1940, enthalten ist. Der Stahlgehalt beträgt rund 70 kg/m³. Bei dieser Ausführung sind mehrere Lagen Längs- und Quereisen hinzugekommen und die konstruktive Übereinstimmung mit der kubi-

schen Bewehrung ist nunmehr noch weitgehender. Modellversuche des Instituts ergaben, daß sich diese Ausführungsform günstiger als die kubische Bewehrung verhielt. Die Erklärung hierfür ist darin zu erblicken, daß sowohl durch die Spiralenform wie durch zusätzlich verlegte Längs- und Quereisen der Stahlgehalt gegen die Unter- bzw. Rückseite der Versuchsplatten zu etwas zunimmt, während er bei der kubischen Bewehrung vollkommen gleichmäßig ist. Da eine weitere Herabsetzung des Stahlgehaltes aus wirtschaftlichen Gründen gefordert wurde, gelangte die Spiralbewehrung schließlich mit nur 30 kg/m³ zur Ausführung. Hierbei wurde die Herabsetzung des Gewichtes in der Hauptsache durch Vergrößerung der Abstände der Stahleinlagen erzielt und die grundsätzliche Konstruktion beibehalten. Groß- und Modellversuche ergaben jetzt nur einen sehr geringfügigen Vorteil gegenüber der kubischen Bewehrung mit gleichem Stahlgewicht. Die Herabsetzung des Stahlgehaltes führt ebenso wie bei der kubischen Bewehrung zu einem entsprechenden Absinken der Schutzwirkung.

4. Gitterraumbewehrung der Firma Luz-Bau G. m. b. H.

Bei dieser Bewehrung verlaufen die Stähle in zwei Raumrichtungen so, daß sie zu der dritten unter 60° geneigt sind. Hierbei wird in einer Richtung eine zusammenhängende Matte hergestellt, während die Verlegung der Stähle in der dazu senkrechten Richtung einzeln erfolgen muß. Die Ähnlichkeit mit der kubischen Bewehrung ist im Grundriß besonders hervortretend. Der Unterschied liegt lediglich darin, daß bei der Gitterraumbewehrung die von der Ober- bis zur Unterseite der Decke reichenden, nicht von Stählen durchzogenen Quadern von schrägen Stählen umgeben sind, während bei der kubischen Bewehrung die Einfassung dieser Quadern durch horizontale und senkrecht verlaufende Stahleinlagen erfolgt. Modellversuche des Instituts ergaben, daß diese scharf ausgeprägten „Trennwände“ innerhalb des Baukörpers ungünstig sind und insbesondere in Richtung der zusammenhängenden Matten zur Ribbildung Anlaß geben. Hinsichtlich der Schutzwirkung ist etwa Gleichwertigkeit mit der Spiralbewehrung in der Ausführungsform nach den Bestimmungen Fassung November 1940 vorhanden.

5. Einheitsschutzbewehrung nach Vorschlag des Reichsluftfahrtministeriums

Diese Bewehrung übernahm von der Spiralbewehrung die Spiralmatten und von der Gitterraumbewehrung die schrägen Steckstäbe in der zur Mattenebene senkrechten Richtung. Durch weitere Längs- und Querstäbe ist gegen die Unterseite zu eine Zunahme des Stahlgehaltes erzielt. Aus diesem Grunde hat auch die Erprobung der Einheitsbewehrung im Modellversuch eine etwas günstigere Schutzwirkung als die der Spiral- und Gitterraumbewehrung ergeben.

IV. Schutzbewehrungen mit ungleichmäßiger Stahlverteilung

(Grundform: Braunschweiger Bewehrung)

1. Braunschweiger Bewehrung nach den Bestimmungen Fassung Juli 1941

Schon die ersten, in der Einleitung erwähnten Großversuche der Luftwaffe ergaben, daß die größte Beanspruchung der Bewehrungsstähle an der Unter- bzw. Innenseite der Baukörper auftritt.

In den Jahren 1939/40 fanden vergleichende Untersuchungen der kubischen, Spiral- und Gitterraum-

bewehrung im Modellverfahren statt, deren Ergebnisse unter Mitwirkung des damaligen Referenten bei der Inspektion des Luftschutzes, Oberreg.-Baurat Winter, zur Schaffung einer neuen Bewehrung führten, die in den „Bestimmungen für den Bau von LS-Bunkern, Fassung Juli 1941“, als „Braunschweiger Schutzbewehrung“ bezeichnet und vorläufig als einzige Bewehrungsart reichseinheitlich zugelassen wurde. Eine eingehende

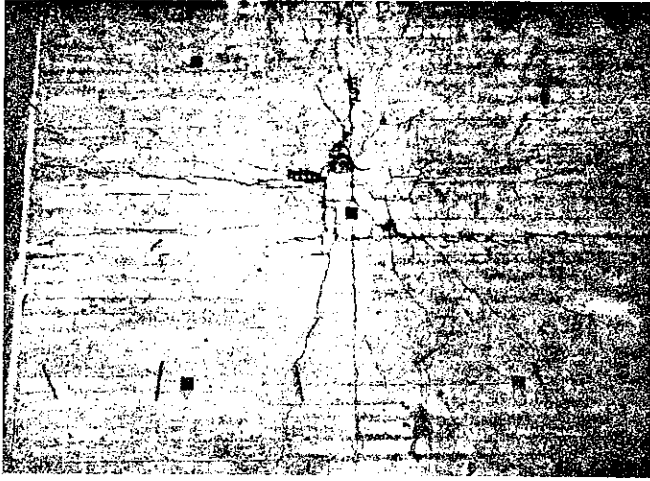


Bild 10. Braunschweiger Schutzbewehrung, 1. Sprengung
Aufnahme: RdLlL.

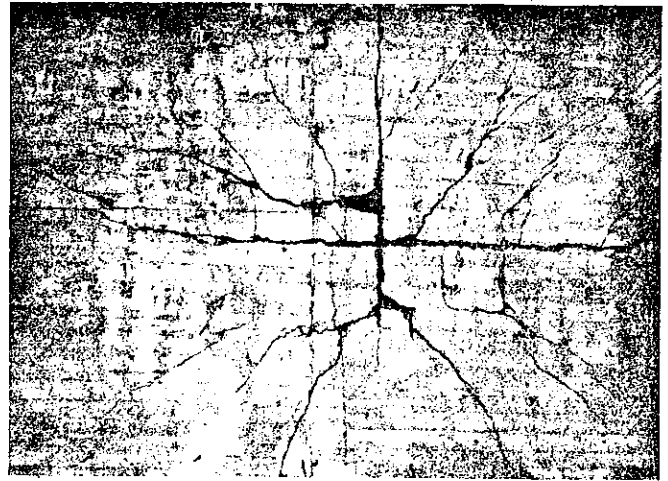


Bild 14. Kubische Bewehrung, 1. Sprengung Aufnahme: RdLlL.

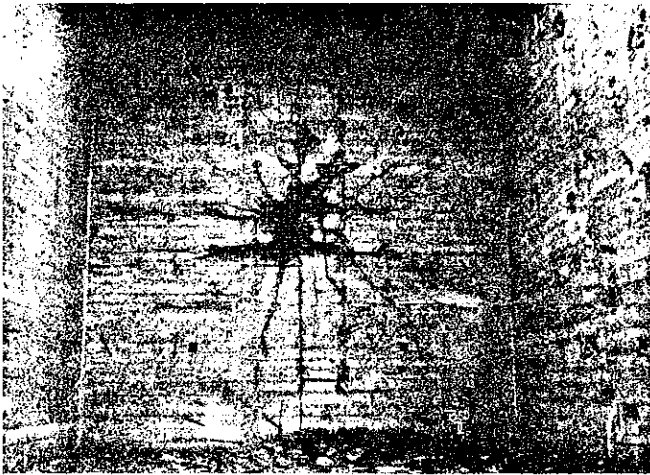


Bild 11. Braunschweiger Schutzbewehrung, 2. Sprengung
Aufnahme: RdLlL.

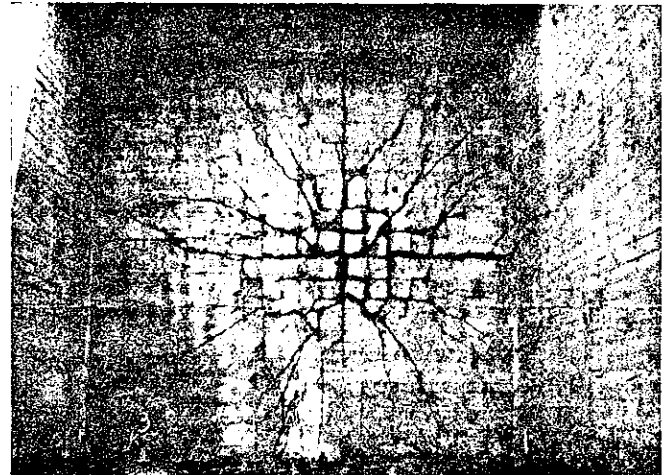


Bild 15. Kubische Bewehrung, 2. Sprengung Aufnahme: RdLlL.

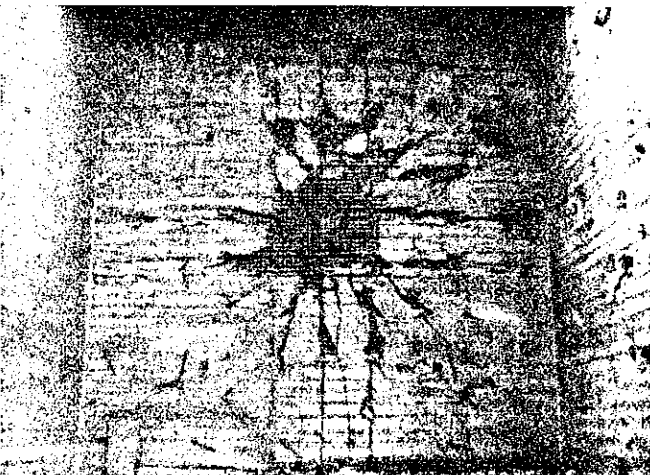


Bild 12. Braunschweiger Schutzbewehrung, 3. Sprengung
Aufnahme: RdLlL.

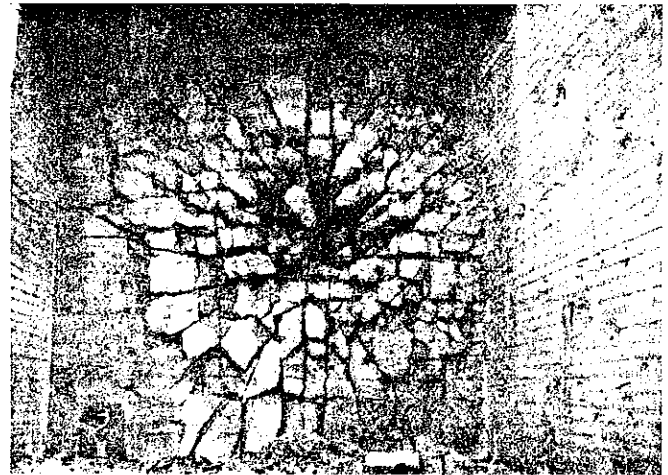


Bild 16. Kubische Bewehrung, 3. Sprengung Aufnahme: RdLlL.

50

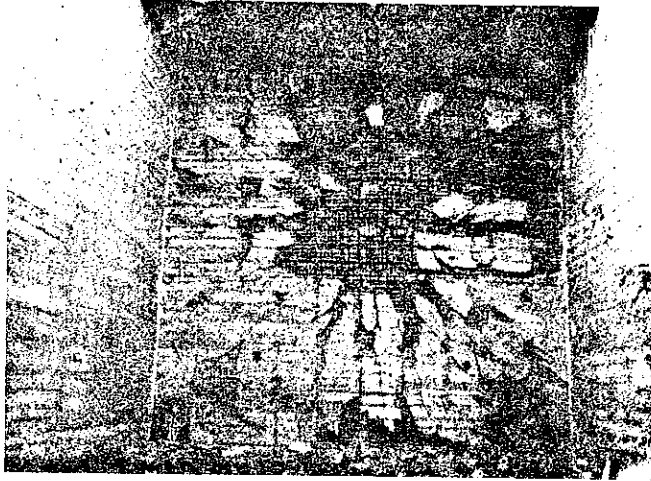


Bild 13. Braunschweiger Schutzbewehrung, 4. Sprengung
Aufnahme: RdLfl.

Beschreibung dieser Bewehrung ist im „Baulichen Luftschutz (N. f. d. D.)“ erschienen²⁾. Die hauptsächlichsten Konstruktionsgrundsätze sind:

1. Anordnung von rund 60 % des Gesamtstahlgehaltes an der Unter- bzw. Innenseite des Baukörpers,
2. große Maschenweite der Stahleinlagen.

Das Prinzip der Weitmaschigkeit ist lediglich bei der untersten Matte verlassen. Diese Matte soll jedoch ohnehin von möglichst wenig Beton überdeckt sein und behindert infolge ihrer Lage an der Unter- bzw. Innenseite den Betonierungsvorgang nicht. Das Bewehrungsgewicht betrug rund 30 kg/m³ und die Schutzwirkung war, wie zahlreiche Versuche ergaben, mindestens ebenso groß wie die der bis dahin angewandten Bewehrungen mit 55 bis 80 kg/m³.

Für die Beurteilung der Eignung eines Bewehrungssystems als Schutzbewehrung für LS-Bunker ist auf Grund der Kriegserfahrungen folgende Überlegung maßgebend:

Aus wirtschaftlichen Gründen besteht nicht die Möglichkeit, die LS-Bunker in Baudicken auszuführen, die auch bei Treffern von schwersten Bomben das Auftreten von Schäden an der Innenseite vollkommen ausschließen. Es ist daher jene Schutzbewehrung am günstigsten, die bei derartigen Überbeanspruchungen die Bunkerinsassen vor größeren Schädigungen schützt. Abspaltungen dünner Betonschichten müssen hierbei in Kauf genommen oder durch eine Schutzvorrichtung aufgefangen werden.

Die Braunschweiger Bewehrung wurde im Modellverfahren und durch Großversuche der Luftwaffe geprüft.

Sie erwies sich besonders bei sehr starken Beanspruchungen den bisherigen Bewehrungen überlegen. Einige Aufnahmen von der erwähnten Großversuchsreihe führen dies anschaulich vor Augen.

Die Bilder 10 bis 13 zeigen die Rückseite einer Versuchsplatte mit Braunschweiger Bewehrung nach der ersten bis vierten Sprengung, die Bilder 14 bis 17 die mit den gleichen Ladungen beanspruchte Vergleichsplatte mit kubischer Bewehrung. Nach der ersten Sprengung (Bilder 10 und 14) ist der Unterschied der Zerstörungen noch gering, lediglich die Ausbauchung der Plattenmitte betrug bei der Braunschweiger Bewehrung 6 cm, bei der

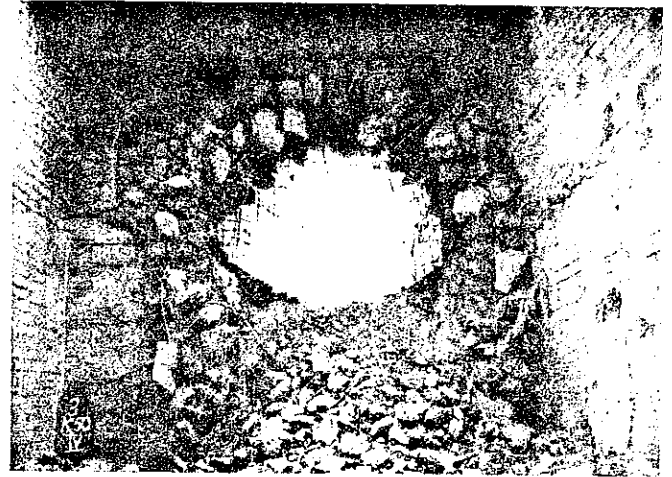


Bild 17. Kubische Bewehrung, 4. Sprengung Aufnahme: RdLfl.

kubischen Bewehrung 11 cm. Nach der zweiten Sprengung platzte bei der Braunschweiger Bewehrung (Bild 11) ein Teil des dünnen Überdeckungsbetons ab, die Ausbauchung betrug 15 cm. Bei der Platte mit kubischer Bewehrung (Bild 15) bildeten sich bereits Betonquader, die bis 48 cm über die ursprüngliche Plattenebene herausragten. Nach der dritten Sprengung hatte sich das Zerstörungsbild bei der Braunschweiger Bewehrung (Bild 12) nicht wesentlich geändert, nur die abgeplatzte Betonfläche war etwas vergrößert, die Ausbauchung betrug 25 cm. Hingegen trat bei der kubischen Bewehrung (Bild 16) nach der dritten Sprengung vernichtende Wirkung auf. Die schon nach der zweiten Sprengung sich abzeichnenden Betonquadern wurden nunmehr zum größten Teil weit herausgeschleudert. Nach der vierten Sprengung platzten bei der Braunschweiger Bewehrung (Bild 13) weitere Flächen Unterbeton ab, die Ausbauchung erhöhte sich auf 41 cm, das enge Netz an der Rückseite hielt jedoch noch immer stand und verhinderte das Herausschleudern größerer Brocken. Bei der kubischen Bewehrung (Bild 17) trat nach der vierten Sprengung ein vollständiger Durchschlag mit 3 m lichter Weite auf. Ähnlich wie die kubische verhielt sich auch die Spiralbewehrung. Der Verlauf der Zerstörung und die Schadensbilder waren nahezu dieselben.

Der mit Schaffung der Braunschweiger Bewehrung Deutschland erstmalig beschrittene Weg der ungleichmäßigen Stahlverteilung erwies sich somit als richtig und wurde dann auch bei anderen Schutzbewehrungen angewendet.

2. Großgitterraumbewehrung der Firma Luz-Bau G. m. b. H.

Die Großgitterraumbewehrung stellt eine Änderung der Gitterraumbewehrung nach dem Muster der Braunschweiger Bewehrung dar. Sie unterscheidet sich von der Gitterraumbewehrung dadurch, daß in Richtung der zusammenhängenden Matten an der Unter- bzw. Innenseite noch weitere Matten verlegt sind, deren Höhe nur etwa ein Drittel der Baudicke beträgt. Die Matten sind so angeordnet, daß abwechselnd eine kleine Matte an einer großen und eine kleine Matte zwischen zwei großen liegt. Ferner sind an der Unterseite Längs- und Querstäbe mit einem gegenseitigen Abstand von 5 cm eingezogen. Es ist somit der Hauptstahlanteil nach unten bzw. innen gelegt und auch ein engmaschiges Netz an der Unterseite vorhanden.

²⁾ Winter und Kristen, Die Braunschweiger Schutzbewehrung, „Baulicher Luftschutz (N. f. d. D.)“, 1942, S. 8.

Die Bewehrung wurde im Groß- und Modellversuch erprobt und zeigte sich der kubischen und Spiralbewehrung überlegen, fiel aber gegenüber der Braunschweiger Bewehrung ab, da die schon bei der Gitterraumbewehrung erwähnte Neigung zu starker Ribbildung auch bei der Großgitterraumbewehrung nachteilig in Erscheinung trat.

3. Wellenmattenbewehrung

Die Wellenmattenbewehrung wurde vom OKM entwickelt und stellt eine Verbesserung der Großgitterraumbewehrung dar. Bei den durchlaufenden Matten sind scharfe Ecken vermieden und die Matten haben Wellenform. Der gegenseitige Abstand der großen Matten ist größer als bei der Großgitterraumbewehrung. Im unteren Drittel sind ebenfalls kleine Wellenmatten angeordnet, und zwar ist an jeder großen eine kleine Matte befestigt. Im Zwischenraum liegen weitere zwei kleine Matten. Die bei der Großgitterraumbewehrung in der zur Mattenebene senkrechten Ebene liegenden schrägen Steckstäbe sind nicht vorhanden, an ihrer Stelle sind in jedem Kreuzungspunkt der kleinen Matten Quereisen eingesteckt, wodurch der Stahlanteil im unteren Bewehrungsdrittel größer ist als bei der Großgitterraumbewehrung. Bei Modellversuchen erwies sich die Wellenmattenbewehrung für 2 m Baudicke den anderen Bewehrungen einschließlich der Braunschweiger Bewehrung nach den Bestimmungen Fassung Juli 1941 überlegen.

4. Braunschweiger Bewehrung (neueste Ausführung)

Die bisher beschriebene Braunschweiger Bewehrung war ursprünglich für eine Deckendicke von 1,40 m, dem für die Bauten der „ersten Bauwelle“ vorgeschriebenen Maß, entwickelt worden. Die „zweite Bauwelle“ sah bereits Baudicken von 2,0–2,5–3,0 m vor, auf die die Konstruktion zunächst so übertragen wurde, daß das Bewehrungsgewicht von rund 30 kg/m³ erhalten blieb. Dies geschah im wesentlichen durch Zulegen von weitmaschigen Matten in verschiedenen Höhen. Trotz der beim Großversuch deutlich vorhandenen Überlegenheit über die anderen Bewehrungen ergab sich, daß die Bewehrung noch besser standgehalten hätte, wenn für die unterste Matte dickere Stähle angewandt worden wären. Auf Grund von Überlegungen aus der statischen Festigkeitslehre wurden zunächst nur die Stahleinlagen senkrecht zu der Bügelebene verstärkt. Das größere Gewicht wurde durch Weglassen von Zwischenmatten ausgeglichen. Diese Konstruktion erwies sich der ersten Ausführung der Braunschweiger Bewehrung überlegen und hatte auch eine größere Schutzwirkung als die Wellenmattenbewehrung, wie Modellversuche ergaben.

Trotzdem durch die erwähnten Änderungen ein Fortschritt erzielt worden war, konnte das Ergebnis nicht voll befriedigen. Die dickeren Stähle hielten zwar stand, jedoch die dünneren rissen, eine Erscheinung, deren Gesetzmäßigkeiten vom Institut schon vorher auf theoretischem Wege erkannt wurden und nunmehr ihre praktische Bestätigung, die durch eine Reihe weiterer Versuche ergänzt wurde, fanden.

Als praktisches Ergebnis dieser Untersuchungen ergab sich folgende Regel:

„Soll ein Bewehrungssystem mit Stahleinlagen mit den Durchmessern Φ_1 und den Abständen a_1 , das für eine bestimmte Baudicke d_1 erprobt und als vorteilhaft

erkannt wurde, auf eine andere Baudicke d_2 angewendet werden, so gilt:

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{\Phi_2}{\Phi_1} = \frac{a_2}{a_1}$$

Im gleichen Verhältnis wie die Baudicken müssen die Durchmesser und die Abstände stehen.“

Nur wenn die Bewehrung nach dieser Regel bemessen wird, kann die Decke oder Wand voll beansprucht werden, d. h. mit Sprengladungen, die sich wie die dritten Potenzen der Baudicken verhalten, also $L_1 : L_2 = d_1^3 : d_2^3$, wobei L_1 und L_2 die den Dicken d_1 bzw. d_2 entsprechenden Ladungen bedeuten.

Zu einer größeren Baudicke gehören somit dickere Stähle und größere Abstände der Stahleinlagen. Für den Statiker liegt der Gedanke nahe, die dickeren Stähle durch mehrere dünnere mit der gleichen Querschnittssumme zu ersetzen. Theoretisch und praktisch läßt sich jedoch beweisen (zahlreiche Versuchsergebnisse liegen hierüber vor), daß dem nicht so ist, sondern die dünneren Stähle nur geringe Beanspruchungen ertragen. Überhaupt ist das Verhalten der Stähle bei statischer und bei dynamischer, durch Explosionskräfte hervorgerufener Beanspruchung sehr unterschiedlich. Über diesbezügliche Untersuchungen, die insbesondere für die Verwendung des sogenannten Granatstahles von Bedeutung sind, wurde an anderer Stelle bereits berichtet³⁾.

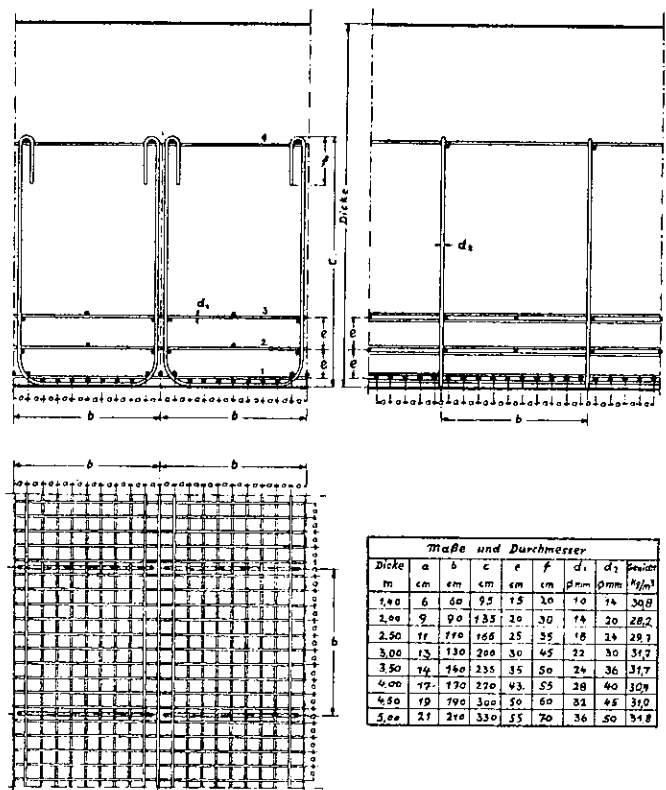


Bild 18. Braunschweiger Schutzbewehrung für verschiedene Wand- und Deckendicken

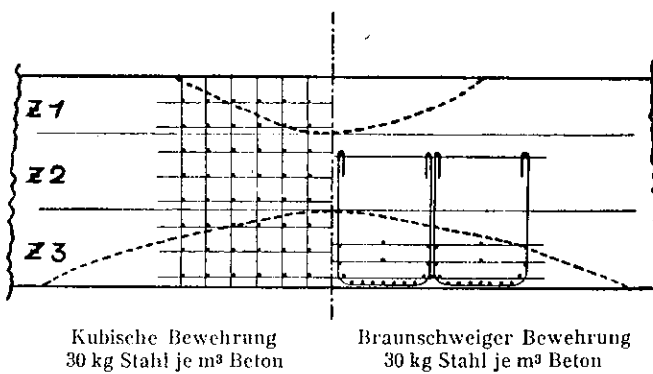
Auf Grund der obigen Erkenntnisse wurde die neue Braunschweiger Bewehrung für verschiedene Wand- und Deckendicken (Bild 18) entworfen. Die Zahlentafel auf Bild 18 gibt die Maße für die wichtigsten Baudicken

³⁾ Th. Kristen und K. Ehrenberg, Beton- und Stahlbetonbau 1943, Heft 5/6 und Heft 11/12.

von 1,40 m bis 5,00 m an. Wenn bei Beschaffung und Verlegung der für größere Baudicken vorgeschriebenen Stähle Schwierigkeiten eintreten, so kann die Ausführung nach einer kleineren Baudicke erfolgen. Der Stahlgehalt von rund 30 kg/m³ muß dann durch entsprechende Veränderung der Abstände eingehalten werden. Allerdings ist dann eine geringe Unterlegenheit gegenüber der regelrechten Ausführung in Kauf zu nehmen.

Die Bewehrung erstreckt sich nur noch über zwei Drittel der Baudicke, während das obere Drittel unbewehrt bleibt. Das Bewehren des oberen bzw. äußeren Drittels unterbleibt nicht nur aus Gründen der Stahlersparnis, sondern erhöht die Widerstandsfähigkeit der Platte gegen Einwirkung von Spreng- und Minenbomben. Wie schon erwähnt, beeinflussen Stahleinlagen die Größe des Sprengtrichters und die Eindringtiefe an der Oberseite nicht. In dieser Hinsicht ist es also gleichgültig, ob im oberen Teil der Platte Stahleinlagen vorhanden sind oder nicht. Reichen jedoch die Bügel bis knapp unter die Plattenoberfläche, so werden sie an der Einschlagstelle im Sprengtrichter zerstört, die Haken abgerissen und so die Verankerung der Matten aufgehoben.

Durch die Beschränkung der Bewehrung auf zwei Drittel der Baudicke wird die Stahlverteilung noch günstiger, wie Bild 19 zeigt, auf dem diese Anordnung



Zone	Gew.-Anteil in % des Gesamtstahlgewichts		kg Stahl je m ³ Beton	
	Kub. Bew.	Br. Bew.	Kub. Bew.	Br. Bew.
1	25	0	30	0
2	40	15	30	11
3	35	85	30	73

Bild 19. Vergleich des Stahlanteiles in den drei Zonen bei kubischer und Braunschweiger Bewehrung

der Braunschweiger Bewehrung mit der kubischen Bewehrung verglichen wird.

Die neue Braunschweiger Bewehrung wurde in zahlreichen Modellversuchen geprüft und hohen Beanspruchungen ausgesetzt. Sie hat ihre Überlegenheit über alle anderen Konstruktionen immer wieder unter Beweis gestellt. Die Bilder 20, 21 und 22 zeigen die Unterseiten von Modellplatten mit Spiral-, alter und neuer Braunschweiger Schutzbewehrung, die der gleichen Beanspruchung durch aufgelegte Bomben o. V. ausgesetzt wurden. Während bei der Spiralbewehrung ein Ausbruch erfolgte, trat bei der alten Braunschweiger Bewehrung nur Reißen der Stähle, und bei der neuen Braunschweiger Bewehrung weder ein Ausbruch noch



Bild 20. Spiralbewehrung

Aufnahme: Inst. f. baul. I.S.

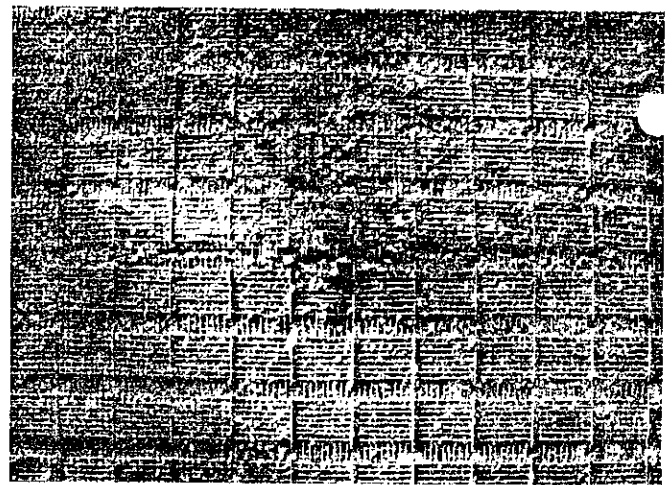


Bild 21. Braunschweiger Bewehrung nach den Bestimmungen Fassung Juli 1941

Aufnahme: Inst. f. baul. I.S.

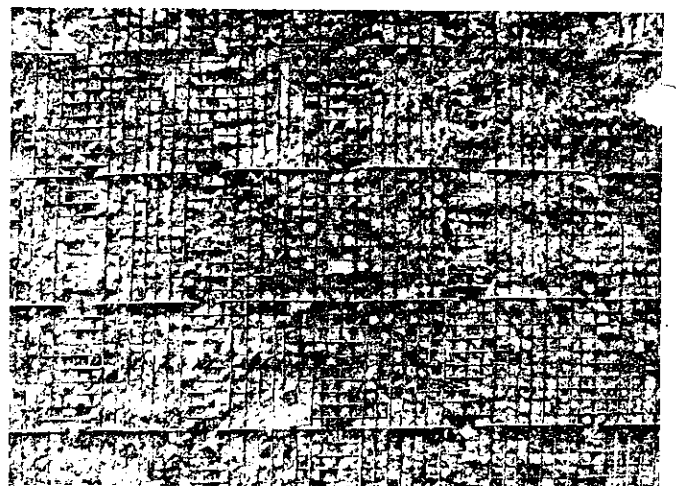


Bild 22. Braunschweiger Bewehrung neuester Ausführung

Aufnahme: Inst. f. baul. I.S.

Reißen von Stählen ein. Auch bei Großversuchen des Heeres ergaben sich an der Plattenrückseite geringere Zerstörungen als bei anders bewehrten Zielbauten.

Durch Auswertung vieler Groß- und Modellversuche konnte eine Kurve (Bild 23) ermittelt werden, die den Zusammenhang zwischen den Deckendicken, bei denen

noch mit Sicherheit Schutzwirkung vorhanden ist, und den Ladungsinhalt von Bomben wiedergibt. Es gelten hierbei folgende Voraussetzungen: Betondruckfestigkeit $W \geq 400 \text{ kg cm}^2$, Braunschweiger Schutzbewehrung neuester Konstruktion mit rund 30 kg m^3 , anliegend detonierende Bombe mit Füllpulver 60/40.

Wie Versuche gezeigt haben, können jedoch diese Ladungen noch bis 30 % (bei Füllpulver 60/40) höher sein, ohne daß ein Durchbruch erfolgt. Bei dieser Überbeanspruchung entsteht eine starke Ausbauchung an der Innenseite (Pfeilhöhe bis 20 % der Plattendicke), jedoch die Stähle der Matte 1 halten stand und es stürzen keine größeren Betonbrocken in den Bunkerraum.

5. Halbkreisbewehrung der Firma Dyckerhoff & Widmann KG.

Die Konstruktion dieser Bewehrung (mit 30 kg m^3) entspricht grundsätzlich der Braunschweiger Bewehrung. Sowohl das enge Netz an der Innenseite als auch die Bewehrung von nur zwei Dritteln der Baudicke finden sich vor.

Unterschiedlich ist lediglich die Verankerung der unteren Matte, die an Stelle der geraden Bügel durch

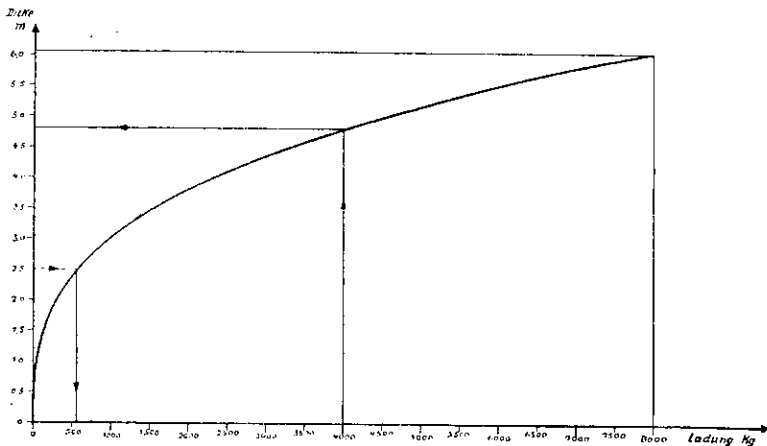


Bild 23. Abhängigkeit der erforderlichen Deckendicke von der Sprengladung

halbkreisförmig gebogene Stähle nach zwei Raumrichtungen erfolgt, auch die Proportionalität der Durchmesser und Abstände der Stahleinlagen mit der Baudicke ist eingehalten, wobei allerdings drei verschiedene Ausführungsmöglichkeiten vorgesehen sind.